

备案号：J XXXXX-202X

DB

浙江省工程建设标准

DB 33/T XXXX-202X

建筑幕墙工程技术标准

Technical standard for building curtain wall

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

浙江省工程建设标准

建筑幕墙工程技术标准

Technical standard for buildings curtain wall

DB 33/T XXXX-202X

主编单位：浙江省建筑装饰行业协会

浙江中南建设集团有限公司

浙江亚厦幕墙有限公司

批准部门：浙江省住房和城乡建设厅

施行日期：202X年 月 日

前 言

本标准根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发<2012 年省建筑节能及相关工程建设地方标准制订计划>的通知》（建设发〔2012〕192 号）的要求，由浙江省建筑装饰行业协会会同有关设计、科研、高校及幕墙施工企业等单位组成编制组，经编制组广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 19 章和 7 个附录，主要技术内容是：总则，术语、符号，材料，建筑设计，结构设计，面板设计，构件式幕墙，单元式幕墙，双层幕墙，全玻璃幕墙，点支承玻璃幕墙，采光顶、雨篷与金属屋面，光伏幕墙，幕墙信息模型，加工制作，安装施工，检验与检测，工程验收，维护保养等。

本标准由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，由浙江省建筑装饰行业协会负责日常管理，并负责具体技术内容的解释。

本标准在执行过程中的意见和建议，请及时反馈给浙江省建筑装饰行业协会（地址：浙江省杭州市莫干山路 18 号蓝天商务中心 14 楼，邮政编码：310005）。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

本 标 准 主 编 单 位： 浙江省建筑装饰行业协会

浙江中南建设集团有限公司

浙江亚厦幕墙有限公司

本 标 准 参 编 单 位： 浙江大学建筑设计研究院有限公司

汉嘉设计集团股份有限公司

浙江工业大学工程设计集团有限公司

浙江省建筑设计研究院

浙江宝业幕墙装饰有限公司

浙江省武林建筑装饰集团有限公司

宁波建工建乐工程有限公司

浙江建工幕墙装饰有限公司

浙江中天方圆幕墙有限公司

杭州嘉威幕墙设计咨询有限公司
 浙江正和建筑装饰有限公司
 圣大控股有限公司
 中哲创建科技股份有限公司
 浙江宏厦建设有限公司
 浙江高明幕墙装潢有限公司
 浙江开达装饰工程有限公司
 杭州加多建筑设计咨询有限公司
 婺江装饰集团有限公司
 鸿顺达控股有限公司
 龙驰幕墙工程有限公司
 浙江高进幕墙有限公司
 杭州之江有机硅化工有限公司
 北京江河幕墙系统工程有限公司
 喜利得（中国）商贸有限公司
 泰诺风保泰（苏州）隔热材料有限公司
 慧鱼（太仓）建筑锚栓有限公司
 浙江年代建设工程有限公司
 浙江久正工程检测有限公司
 浙江宝龙建设有限公司

本标准主要起草人员：

贾华琴	方 浩	梁曙光	郭新雅	白启安
徐增建	朱志雄	梁方岭	杨德林	潘国平
黄 刚	胡 晨	刘明志	陈光华	樊 葳
钟嘉良	张 智	蔡明辉	徐海峰	苏忠英
许传惠	胡瑞宾	李效虎	黄拥军	郭承毅
缪钢粮	吴建挺	韩章微	李依蔚	刘 军
刘 明	汪利民	刘 兵	张安祥	张宇威
张 坚	刘小玲	金垚丞	周朝杰	

本标准主要审查人员：

游劲秋	赵宇宏	刘忠伟	徐 勤	崔华东
杜 力	汤金宣	赵立国	汤明杭	

目 次

1 总 则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	5
3 材 料	8
3.1 一般规定	8
3.2 铝合金材料	8
3.3 钢材	10
3.4 玻璃	13
3.5 石材	15
3.6 金属板材	17
3.7 人造板材	20
3.8 连接件与紧固件	22
3.9 结构胶和密封材料	26
3.10 其它材料	27
4 建筑设计	29
4.1 一般规定	29
4.2 性能设计	29
4.3 构造设计	32
4.4 开启窗设计	33
4.5 热工设计	35
4.6 防火设计	35
4.7 防雷设计	38
5 结构设计	40
5.1 一般规定	40
5.2 荷载与地震作用	41
5.3 作用效应组合与计算	42
5.4 连接设计	43
5.5 硅酮结构密封胶设计	45
6 面板设计	48

6.1	一般规定.....	48
6.2	玻璃面板.....	48
6.3	金属面板.....	56
6.4	石材面板.....	61
6.5	人造面板.....	70
7	构件式幕墙	87
7.1	一般规定.....	87
7.2	构造设计.....	87
7.3	横梁结构设计	88
7.4	立柱结构设计	90
7.5	连接设计.....	93
8	单元式幕墙	95
8.1	一般规定.....	95
8.2	构造设计	95
8.3	结构设计.....	102
8.4	连接设计.....	104
9	双层幕墙	106
9.1	一般规定.....	106
9.2	构造设计.....	107
9.3	结构设计.....	108
9.4	连接设计.....	109
10	全玻璃幕墙	110
10.1	一般规定.....	110
10.2	构造设计.....	110
10.3	结构设计.....	111
10.4	连接设计	113
11	点支承玻璃幕墙	115
11.1	一般规定.....	115
11.2	构造设计.....	115
11.3	结构设计.....	116
11.4	连接设计	118
12	采光顶、雨篷与金属屋面	120
12.1	一般规定.....	120

12.2	构造设计.....	120
12.3	结构设计.....	123
13	光伏幕墙.....	126
13.1	一般规定.....	126
13.2	构造设计.....	126
14	幕墙信息模型	128
14.1	一般规定.....	128
14.2	模型创建.....	128
14.3	模型应用.....	130
14.4	模型交付.....	131
14.5	模型精度.....	131
15	加工制作	134
15.1	一般规定.....	134
15.2	铝型材构件	134
15.3	钢构件	136
15.4	玻璃	138
15.5	石材面板.....	140
15.6	金属面板.....	142
15.7	人造板材.....	144
15.8	构件组装.....	145
15.9	构件检验.....	149
16	安装施工	150
16.1	一般规定.....	150
16.2	构件式幕墙	150
16.3	单元式幕墙	156
16.4	全玻璃幕墙	159
16.5	点支承玻璃幕墙.....	160
16.6	光伏幕墙.....	162
16.7	采光顶与金属屋面	162
16.8	安全规定.....	166
17	检验与检测	168
17.1	一般规定.....	168
17.2	材料检验.....	168
17.3	性能检测.....	169

17.4 现场检测与试验.....	171
18 工程验收	172
18.1 一般规定.....	172
18.2 主控项目.....	173
18.3 一般项目.....	178
19 维护保养	182
19.1 一般规定.....	182
19.2 检查与维护	183
19.3 保养和清洗	183
附录 A 平板式预埋件设计与构造.....	185
附录 B 槽式预埋件设计与构造.....	191
附录 C 弹性板的弯矩系数和挠度系数.....	216
附录 D 交叉肋的弯矩系数和剪力系数.....	222
附录 E 双层幕墙热工计算	224
附录 F 建筑幕墙隐蔽工程验收记录表	231
附录 G 隔热型材.....	233
本标准用词说明	242
引用标准名录	243
附：条文说明	250

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	5
3	Materials	8
3.1	General requirements.....	8
3.2	Aluminum alloy	8
3.3	Steel.....	10
3.4	Glass	13
3.5	Natural stone panel.....	15
3.6	Metal panel	17
3.7	Artificial panel.....	20
3.8	Connections and fixings	22
3.9	Structural sealant and sealing materials	26
3.10	Other materials	27
4	Architectural design	29
4.1	General requirements	29
4.2	Performance design	29
4.3	Detailing design.....	32
4.4	Openable window design	33
4.5	Thermal performance design.....	35
4.6	Fire protection design.....	35
4.7	Lightning protection design.....	38
5	Structural design	40
5.1	General requirements	40
5.2	Loads and earthquake action	41
5.3	Combination and calculations of action effects.....	42
5.4	Connection design	43
5.5	Structural silicone sealant design	45
6	Panel design	48
6.1	General requirements	48
6.2	Glass panel	48

6.3	Metal panel	56
6.4	Natural stone panel	61
6.5	Artificial panel	70
7	Stick curtain wall	87
7.1	General requirements	87
7.2	Detailing design	87
7.3	Structural design of transom	88
7.4	Structural design of mullion	90
7.5	Connection design	93
8	Unitized curtain wall	95
8.1	General requirements	95
8.2	Detailing design	95
8.3	Structural design	102
8.4	Connection design	104
9	Double-skin curtain wall	106
9.1	General requirements	106
9.2	Detailing design	107
9.3	Structural design	108
9.4	Connection design	109
10	Completely curtain wall	110
10.1	General requirements	110
10.2	Detailing design	110
10.3	Structural design	111
10.4	Connection design	113
11	Point supported glass curtain wall	115
11.1	General requirements	115
11.2	Detailing design	115
11.3	Structural design	116
11.4	Connection design	118
12	Skylight, canopy and metal roofing	120
12.1	General requirements	120
12.2	Detailing design	120
12.3	Structural design	123
13	Photovoltaic curtain wall	126
13.1	General requirements	126

13.2	Detailing design.....	126
14	Curtain wall information model.....	128
14.1	General requirements	128
14.2	Model creation.....	128
14.3	Model application.....	130
14.4	Model delivery	131
14.5	Model accuracy	131
15	Processing and manufacturing	134
15.1	General requirements	134
15.2	Aluminum profile.....	134
15.3	Steel member.....	136
15.4	Glass	138
15.5	Natural stone panel.....	140
15.6	Metal panel.....	142
15.7	Artificial panel.....	144
15.8	Assembling.....	145
15.9	Components inspection	149
16	Installation and construction.....	150
16.1	General requirements	150
16.2	Stick curtain wall.....	150
16.3	Unitized curtain wall	156
16.4	Full glass curtain wall.....	159
16.5	Point-supported glass curtain wall.....	160
16.6	Photovoltaic curtain wall.....	162
16.7	Daylighting roof and metal roof.....	162
16.8	Safety requirements.....	166
17	Inspection and test	168
17.1	General requirements	168
17.2	Material retest.....	168
17.3	Performance test	169
17.4	Field testing and testing.....	171
18	Acceptance inspection	172
18.1	General requirements	172
18.2	Dominant item.....	173
18.3	General item	178

19 Maintenance.....	182
19.1 General requirements	182
19.2 Investigation and repairing.....	183
19.3 Maintenance and cleaning.....	183
Appendix A Design of flat plate embedded parts.....	185
Appendix B Design and construction detail of anchor channel.....	191
Appendix C Moment coefficient and deflection coefficient of elastic platel	216
Appendix D Moment coefficient and shear coefficient of cross ribs	222
Appendix E Thermal calculation of double curtain wal	224
Appendix F Acceptance record of concealed works	231
Appendix G Insulating aluminum alloy profilesr	233
Explanation of wording in this code	242
List of quoted standards.....	243
Addition: Explanation of provisions.....	250

1 总 则

1.0.1 为适应浙江省建筑幕墙发展的需要，使建筑幕墙工程做到安全可靠、技术先进、经济合理、节能环保，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于浙江省下列建筑幕墙工程的设计、制作、施工、检验与检测、工程验收和维护保养：

- 1 幕墙高度不大于 300m 的玻璃幕墙和金属幕墙工程；
- 2 幕墙高度不大于 150m 的花岗岩石材幕墙工程；
- 3 幕墙高度不大于 80m 的其它面板材料幕墙工程。

1.0.3 在正常使用状态下，建筑幕墙应具有良好的工作性能。建筑幕墙设计使用年限为 25 年。

1.0.4 建筑幕墙应按抗震设防烈度进行设计，在多遇地震作用下应能正常使用；在设防烈度地震作用下经修理后应仍可使用；在罕遇地震作用下幕墙骨架不应脱落。

1.0.5 超高层建筑宜采用单元式幕墙，高度大于 200m 的建筑应采用单元式幕墙。

1.0.6 建筑幕墙工程除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 建筑幕墙 building curtain wall

由面板与支承结构体系组成，具有规定的承载能力、变形能力和适应主体结构位移能力，不分担主体结构所受作用的建筑外围护墙体结构或装饰性结构。

2.1.2 斜幕墙 inclined curtain wall

与水平方向夹角大于等于 75° 且小于 90° 的建筑幕墙。

2.1.3 采光顶 transparent roof, skylight

由透明面板与支承体系所组成，不分担主体结构所受作用且与水平方向夹角小于 75° 的建筑围护结构。

2.1.4 金属屋面 metal roof

由金属面板与支承体系组成，不分担主体结构所受作用且与水平方向夹角小于 75° 的建筑围护结构。

2.1.5 框支承幕墙 frame supporting curtain wall

面板由横梁及立柱连接构成的框架支承的建筑幕墙。

2.1.6 肋支承幕墙 rib supporting curtain wall

面板支承结构为肋板的建筑幕墙。

2.1.7 点支承幕墙 point supporting curtain wall

以点连接方式（或近似于点连接的局部连接方式）直接承托和固定面板的建筑幕墙。

2.1.8 构件式幕墙 stick curtain wall

在现场依次安装立柱、横梁和面板的框支承建筑幕墙。

2.1.9 单元式幕墙 unitized curtain wall

由面板与支承框架在工厂制成的不小于一个楼层高度的幕墙结构基本单位，直接安装在主体结构上组合而成的框支承建筑幕墙。可分为插接型、连接型和对接型三类。

2.1.10 全玻璃幕墙 full glass curtain wall

肋板及其支承的面板均为玻璃的建筑幕墙。

2.1.11 双层幕墙 double-skin curtain wall

由外层幕墙、空气间层和内层幕墙构成的建筑幕墙。

2.1.12 封闭式幕墙 sealed curtain wall

幕墙板块之间接缝采取密封措施,具有气密和水密性能的建筑幕墙,包括注胶封闭式和胶条封闭式。

2.1.13 开放式幕墙 unsealed curtain wall

幕墙板块之间接缝不采取密封措施,不具有气密和水密性能的建筑幕墙,包括开缝式、遮挡式、搭接式和嵌条式。

2.1.14 光伏幕墙 photovoltaic curtain wall

含有光伏构件并具有太阳能光电转换功能的幕墙。

2.1.15 玻璃幕墙 glass curtain wall

面板材料为玻璃的建筑幕墙。

按面板支承框架显露程度可分为:

(1) 明框幕墙 exposed framing glass curtain wall

横向和竖向框架构件显露于面板室外侧的建筑幕墙。

(2) 隐框幕墙 hidden framing glass curtain wall

横向和竖向框架构件不显露于面板室外侧的建筑幕墙。

(3) 半隐框幕墙 semi-exposed framing glass curtain wall

横向或竖向框架构件显露于面板室外侧的建筑幕墙。

2.1.16 金属板幕墙 metal panel curtain wall

面板材料为金属板材的建筑幕墙。

2.1.17 石材幕墙 natural stone curtain wall

面板材料为天然石材的建筑幕墙。

2.1.18 人造板材幕墙 artificial panel curtain wall

面板材料采用人造材料或天然材料与人造材料复合制成的人造外墙板(不含玻璃和金属板材)的建筑幕墙。

2.1.19 组合〔面板〕幕墙 combination [panel]curtain wall

由不同材料面板(如玻璃、石材、金属、金属复合板、人造板材等)组成的建筑幕墙。

2.1.20 玻璃比 glass-wall ratio

立面上外露玻璃面积与该立面面积的比值。

2.1.21 玻璃托条 glazing support

设置在玻璃下端长期承受玻璃自重的金属构件。

2.1.22 玻璃附框 glass with frame

与玻璃四边或对边采用结构胶粘结、并与立柱或横梁等主框架连接固定的铝合金型材框架。

2.1.23 压板 pressure plate

位于明框幕墙玻璃的室外侧，起到固定玻璃作用的型材构件，并可作为幕墙外装饰扣盖的底座。

2.1.24 插芯 spigot

位于幕墙立柱之间端部连接位置，起到立柱滑动支座作用的插接构件。

2.1.25 双金属腐蚀 bimetallic corrosion

由不同的金属或其他电子导体作为电极而形成的电偶腐蚀。

2.1.26 相容性 compatibility

粘接密封材料之间或粘接密封材料与其他材料相互接触时，相互不产生有害物理、化学反应的性能。

2.1.27 毛截面面积 gross section area

垂直构件长度方向的总体截面面积。

2.1.28 净截面面积 net section area

构件毛截面面积中去除孔洞后的截面面积。

2.1.29 有效截面面积 effective section area

构件受压板件宽厚比大于规定的限值时，扣除超出限值部分后的截面。

2.1.30 有效净截面面积 effective net section area

构件有效截面部分带有孔洞时，扣除孔洞部分后的截面。

2.1.31 雨篷 canopy

建筑出入口上方为遮挡雨水而设置的部件。

2.2 符 号

2.2.1 材料力学性能

E ——材料弹性模量；

f ——材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_v ——材料抗剪强度设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{ce} ——钢材承压强度设计值；

f_y ——钢材屈服强度设计值；

f_u ——钢材极限抗拉强度设计值；

f_c^b ——铝材承压强度设计值；

f_g ——玻璃强度设计值；

f_k^b ——面板抗弯强度设计值；

f_k^v ——面板抗剪强度设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_y ——钢筋受拉强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应

d_f ——作用标准值引起的幕墙构件挠度值；

G_k ——重力荷载标准值；

M ——弯矩设计值；

M_x ——绕截面 x 轴的弯矩设计值；

M_y ——绕截面 y 轴的弯矩设计值；

N ——轴力设计值；

P_{EK} ——平行于幕墙平面的集中地震作用标准值；

q_{EK} ——垂直于幕墙平面的水平地震作用标准值；

q_E ——垂直于幕墙平面的水平地震作用设计值；

q_G ——幕墙单位面积重力荷载设计值；

R ——构件截面承载力设计值；

S_d ——荷载作用效应组合的设计值；

S_{EK} ——地震作用效应标准值；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；
 S_{WK} ——风荷载效应标准值；
 S_{Tk} ——温度作用效应标准值；
 V ——剪力设计值；
 w ——风荷载设计值；
 w_0 ——基本风压；
 w_k ——风荷载标准值；
 σ_{WK} ——风荷载作用下幕墙面板最大应力标准值；
 σ_{EK} ——地震作用下幕墙面板最大应力标准值。

2.2.3 几何参数

a ——矩形面板的短边边长；
 A ——构件截面面积或毛截面面积；
 A_n ——主要受力杆件型材净截面面积；
 A_s ——锚固钢筋总截面面积；
 b ——矩形面板的长边边长；
 d ——锚固钢筋直径；
 l ——跨度；
 t ——面板厚度；型材截面厚度；表面处理层厚度；
 W ——毛截面抵抗矩；
 W_e ——等效截面抵抗矩；
 W_n ——净截面抵抗矩；
 W_{nx} ——绕截面 x 轴的净截面抵抗矩；
 W_{ny} ——绕截面 y 轴的净截面抵抗矩；
 z ——外层锚固钢筋中心线之间的距离。

2.2.4 系数

α ——材料线膨胀系数；
 α_{max} ——水平地震影响系数最大值；
 β_E ——地震作用动力放大系数；
 β_{gz} ——阵风系数；
 φ ——稳定系数；

γ ——截面塑性发展系数；
 γ_0 ——结构构件重要性系数；
 γ_g ——材料自重标准值；
 γ_G ——永久荷载分项系数；
 γ_w ——风荷载分项系数；
 γ_E ——地震作用分项系数；
 γ_T ——温度作用分项系数；
 ψ_w ——风荷载的组合值系数；
 ψ_E ——地震作用的组合值系数；
 ψ_T ——温度作用的组合值系数；
 γ_{RE} ——结构构件承载力抗震调整系数；
 η ——折减系数；
 μ_s ——风荷载体型系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 ν ——材料泊松比；
 ψ_E ——地震作用效应的组合值系数；
 ψ_w ——风荷载作用效应的组合值系数。

2.2.5 其他

$d_{f, \lim}$ ——构件挠度限值；
 D ——面板材料的刚度（N.mm）、密度（g/cm³）；
 λ ——长细比；
 θ_e ——主体结构的楼层弹性层间位移角限值（rad）。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 幕墙所用材料应符合国家、行业和浙江省现行有关标准的规定，并应有出厂合格证、质量保证书及相关性能检测报告，进口材料应按规定进行商品检验。尚无相应标准的材料应符合设计要求，并经专项技术论证。

3.1.2 幕墙所用材料应满足结构安全性、耐久性和环境保护要求。

3.1.3 幕墙系统所使用的面板、支承结构、连接件和保温材料应采用不燃材料，其燃烧性能应符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定。

3.1.4 硅酮结构密封胶和硅酮建筑密封胶必须在有效期内使用；严禁硅酮建筑密封胶作为硅酮结构密封胶使用，硅酮结构密封胶不得作为建筑密封胶使用。

3.2 铝合金材料

3.2.1 铝合金牌号所对应的化学成份应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190 的有关规定，铝合金型材质量应符合现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237.1~ GB/T 5237.6 的有关规定，型材尺寸允许偏差应达到高精级或超高精级。

3.2.2 铝合金型材采用阳极氧化、电泳涂漆、喷粉、喷漆进行表面处理时，表面处理层的厚度应满足表 3.2.2 的要求。

表 3.2.2 铝合金型材表面处理层的厚度要求

表面处理方法		膜厚级别 (涂层种类)	厚度 t (μm)	
			平均膜厚	最小局部膜厚
阳极氧化		不低于 AA15	$t \geq 15$	$t \geq 12$
电泳涂漆	阳极氧化膜	B (有光或亚光 透明漆)	—	$t \geq 9$
	漆膜		—	$t \geq 7$
	复合膜		—	$t \geq 16$
	阳极氧化膜	S (有光或亚光 有色漆)	—	$t \geq 6$
	漆膜		—	$t \geq 15$
	复合膜		—	$t \geq 21$
喷粉		—	—	—
喷漆	二涂	—	$t \geq 30$	$t \geq 25$

	三涂	—	$t \geq 40$	$t \geq 34$
	四涂	—	$t \geq 65$	$t \geq 55$

3.2.3 隔热铝合金型材技术性能和外观质量应符合现行国家标准《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB/T 5237.6 和现行行业标准《建筑用隔热铝合金型材》JG 175 的规定，也可按表 3.2.3 采用。

表 3.2.3 隔热铝合金型材性能要求

检测项目	复合方式	纵向抗剪特征值 / (N/mm)			横向抗拉特征值 / (N/mm)			变形量平均值 / (mm)
		室温	低温	高温	室温	低温	高温	
纵向剪切试验	穿条式	≥ 24	≥ 24	≥ 24	≥ 30	—	—	—
横向拉伸试验	浇注式	≥ 32	≥ 32	≥ 24	≥ 30	≥ 30	≥ 20	—
高温持久 负荷试验	穿条式	—	—	—	—	≥ 30	≥ 30	≤ 0.6
热循环试验	浇注式	≥ 32	—	—	—	—	—	≤ 0.6

3.2.4 采用后置隔热条作为隔热铝合金型材构造时，隔热条应采用耐候性好、导热系数低、硬度高的材料。后置式隔热条应连续通长，且内外型材之间应采用螺栓或螺钉连接。

3.2.5 铝合金型材的强度设计值可按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定采用，也可按表 3.2.5 采用。

表 3.2.5 铝合金型材的强度设计值 (N/mm²)

铝合金材料			用于构件计算		用于焊接连接计算		用于栓接
牌号	状态	厚度 (mm)	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	焊接热影响区抗拉、抗压和抗弯 $f_{u,haz}$	焊接热影响区抗剪 $f_{v,haz}$	局部承压 f_c^b
6061	T6	所有	200	115	100	60	305
6063	T5	所有	90	55	60	35	185
	T6	所有	150	85	80	45	240
6063A	T5	≤ 10	135	75	75	45	220
		> 10	125	70	70	40	

	T6	≤ 10	160	90	90	50	255
		> 10	150	85	85	50	

3.3 钢 材

3.3.1 幕墙用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢和碳钢铸件的钢种、牌号和等级应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274、《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的相关规定。

3.3.2 钢材的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定采用，也可按表 3.3.2-1 和表 3.3.2-2 采用。

表 3.3.2-1 钢材的设计用强度指标 (N/mm²)

钢材牌号		厚度或直径 d (mm)	强度设计值			屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
			抗拉、抗压 和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨 平顶紧) f_{ce}		
碳素结 构钢	Q235	$d\leq 16$	215	125	320	235	370
		$16<d\leq 40$	205	120		225	
		$40<d\leq 100$	200	115		215	
低合金 高强度 结构钢	Q355	$d\leq 16$	305	175	400	345	470
		$16<d\leq 40$	295	170		335	
		$40<d\leq 63$	290	165		325	
		$63<d\leq 80$	280	160		315	
		$80<d\leq 100$	270	155		305	
	Q390	$d\leq 16$	345	200	415	390	490
		$16<d\leq 40$	330	190		370	
		$40<d\leq 63$	310	180		350	
		$63<d\leq 100$	295	170		330	
	Q420	$d\leq 16$	375	215	440	420	520
		$16<d\leq 40$	355	205		400	
		$40<d\leq 63$	320	185		380	
		$63<d\leq 100$	305	175		360	
	Q460	$d\leq 16$	410	235	470	460	550
		$16<d\leq 40$	390	225		440	
		$40<d\leq 63$	355	205		420	
		$63<d\leq 100$	340	195		400	
注: 1 表中直径指实芯棒材直径, 厚度系指计算点的钢材或钢管壁厚度, 对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度;							
2 冷弯型材和冷弯钢管, 其强度设计值应按现行有关国家标准的规定采用。							

表 3.3.2-2 冷成型薄壁型钢强度设计值 (N/mm²)

钢材牌号	抗拉、抗压、抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (磨平顶紧) f_{ce}
Q235	205	120	310
Q355	300	175	400

3.3.3 建筑幕墙用不锈钢材料应采用奥氏体不锈钢或奥氏体-铁素体型双相不锈钢,其镍铬总含量不宜小于 25%。其中有高耐腐蚀要求的不锈钢承重构件宜选用奥氏体-铁素体类不锈钢。不锈钢材料牌号和等级应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220、《不锈钢冷加工钢棒》GB/T 4226、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《结构用不锈钢无缝钢管》GB/T 14975、《奥氏体-铁素体型双相不锈钢棒》GB/T 31303 的相关规定。

3.3.4 不锈钢抗拉强度标准值 f_{sk1} 可取其屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。不锈钢抗拉强度设计值 f_{s1}^t 可按其抗拉强度标准值 f_{sk1} 除以系数 1.15 后采用;其抗剪强度设计值 f_{s1}^v 可按其抗拉强度标准值 f_{sk1} 除以系数 2.00 后采用。不锈钢型材和棒材的常用牌号及强度设计值可按表 3.3.4-1 采用;不锈钢板的常用牌号及强度设计值可按表 3.3.4-2 采用。

表 3.3.4-1 不锈钢型材和棒材的常用牌号及强度设计值 (N/mm²)

牌号		屈服强度 $\sigma_{0.2}$	抗拉强度 f_{s1}^t	抗剪强度 f_{s1}^v	局部承压强度 f_{s1}^c
06Cr19Ni10	S30408	205	180	100	250
06Cr19Ni10N	S30458	275	240	140	315
022Cr19Ni10	S30403	175	155	90	220
022Cr19Ni10N	S30453	245	215	125	280
06Cr17Ni12Mo2	S31608	205	180	105	250
06Cr17Ni12Mo2N	S31658	275	240	140	315
022Cr17Ni12Mo2	S31603	175	155	90	220
022Cr17Ni12Mo2N	S31653	245	215	125	280

表 3.3.4-2 不锈钢板的常用牌号及强度设计值 (N/mm²)

牌号		屈服强度 $\sigma_{0.2}$	抗拉强度 f_{s2}^t	抗剪强度 f_{s2}^v	端面承压强度 f_{s2}^c
06Cr18Ni10	S30408	205	180	105	255
06Cr17Ni12Mo2	S31608	205	180	105	255
06Cr19Ni13Mo3	S31708	205	180	105	255

3.3.5 对耐腐蚀有特殊要求或腐蚀性环境中幕墙结构用钢材,应采用耐候钢或不锈钢。幕墙用耐候钢应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 的规定。

3.3.6 幕墙用钢型材表面除锈等级应不低于 Sa2.5 级,碳素结构钢、低合金结构钢和低合金高强度结构钢时,必须采取有效的防腐措施,并应符合下列规定:

1 采用热浸镀锌防腐处理时,镀层厚度应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定;也可按表 3.3.6-1、表 3.3.6-2 采用。

表3.3.6-1 未经离心处理的镀层厚度最小值

制件及厚度 / mm	镀层局部厚度 / μm	镀层平均厚度 / μm
	min	min
钢厚度 ≥ 6	70	85
$3 \leq$ 钢厚度 < 6	55	70
$1.5 \leq$ 钢厚度 < 3	45	55
钢厚度 < 1.5	35	45
铸铁厚度 ≥ 6	70	80
铸铁厚度 < 6	60	70

表3.3.6-2 经离心处理的镀层厚度最小值

制件及厚度 / mm		镀层局部厚度 / μm	镀层平均厚度 / μm
		min	min
螺纹件	直径 ≥ 20	45	55
	$6 \leq$ 直径 < 20	35	45
	直径 < 6	20	25
其他制件(包括铸铁件)	厚度 ≥ 3	45	55
	厚度 < 3	35	45

2 采用氟碳漆喷涂或聚氨酯漆喷涂时,面漆的厚度不宜小于 $35\mu\text{m}$,在空气污染严重及海滨地区,面漆的厚度不宜小于 $45\mu\text{m}$;

3 采用其他防腐涂料时,表面处理方法、涂料品种、漆膜厚度及维护年限应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和现行行业标准《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 的有关规定,并完全覆盖钢材表面;

4 闭口型材的内侧应采用防腐处理或端部封闭。当采用防腐涂料进行表面处理时,除密闭的闭口型材的内表面外,涂层应覆盖钢材表面,其厚度应符合防

腐要求。

3.3.7 幕墙支承结构用拉索、钢拉杆应符合下列规定：

- 1 不锈钢拉索应符合现行行业标准《不锈钢拉索》YB/T 4294 的规定，高强度钢拉索应符合现行国家标准《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026 的规定；
- 2 钢拉杆的质量、性能应符合现行行业标准《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389 的规定。

3.3.8 张拉杆、索的抗拉强度设计值应按下列规定采用：

- 1 不锈钢拉杆的抗拉强度设计值可按其屈服强度标准值 $\sigma_{0.2}$ 除以系数 1.4 采用；
- 2 高强钢绞线或不锈钢绞线的抗拉强度设计值可按其极限抗拉承载力标准值除以系数 2.0，并按其等效截面面积换算后采用；
- 3 钢拉杆的抗拉强度设计值应按其极限抗拉承载力标准值除以系数 1.7 和屈服强度标准值 $\sigma_{0.2}$ 除以系数 1.15 的较小值采用。

3.3.9 点支承玻璃幕墙的支承装置，其化学成分、外观质量和力学性能应符合现行行业标准《建筑玻璃点支承装置》JG/T 138 的规定。全玻璃幕墙的吊夹装置，其化学成分、外观质量和力学性能应符合现行行业标准《吊挂式玻璃幕墙用吊夹》JG/T 139 的规定。

3.3.10 点支承玻璃幕墙用锚具的技术要求应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85、《建筑幕墙用钢索压管接头》JG/T 201 的相关规定。

3.3.11 焊接材料应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《热强钢焊条》GB/T 5118、《不锈钢焊条》GB/T 983、《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

3.4 玻 璃

3.4.1 玻璃的外观质量和性能指标应符合现行国家标准《平板玻璃》GB 11614 、《超白浮法玻璃》JC/T 2128 、《建筑用安全玻璃》GB 15763.1~GB 15763.4、《半钢化玻璃》GB/T 17841 、《釉面钢化及釉面半钢化玻璃》JC/T 1006 、《真空玻璃》JC/T 1079 的相关规定。

3.4.2 幕墙采用中空玻璃时，应符合现行国家标准《中空玻璃》GB/T 11944 的

有关规定，并应符合下列规定：

1 中空玻璃选用的主要原材料应符合现行标准的规定。干燥剂应符合现行行业标准《中空玻璃用干燥剂》JC/T 2072 的规定；硅酮结构密封胶应符合现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776 和《中空玻璃用硅酮结构密封胶》GB 24266 的规定；丁基热熔密封胶应符合现行行业标准《中空玻璃用丁基热熔密封胶》JC/T 914 的规定；中空玻璃间隔条应符合现行行业标准《中空玻璃间隔条 第 1 部分：铝间隔条》JC/T 2069、《中空玻璃间隔条 第 2 部分：不锈钢间隔条》JC/T 2452、《中空玻璃间隔条 第 3 部分：暖边间隔条》JC/T 2453 的规定；

2 中空玻璃气体层厚度不应小于 12mm。中空玻璃应采用双道密封。一道密封应采用丁基热熔密封胶。隐框、半隐框及点支承玻璃幕墙用中空玻璃的二道密封必须采用硅酮结构密封胶，结构胶尺寸经过计算确定。明框玻璃幕墙用中空玻璃的二道密封宜采用聚硫类玻璃密封胶，也可采用硅酮建筑密封胶，二道密封应采用专用打胶机进行混合、打胶；

3 中空玻璃间隔材料可采用金属间隔条或暖边间隔条，不得使用热熔型间隔胶条。中空玻璃的铝间隔条应采用连续折弯型，铝间隔条中的干燥剂宜采用专用设备装填；

4 中空玻璃合片加工时，应采取措施防止玻璃表面产生凹凸变形；

5 中空玻璃中空腔内需要充惰性气体时，初始气体含量应不低于 85%(v/v)；

6 中空玻璃钻孔时应采用大、小孔相对的方式，孔周边应细磨并倒棱处理，合片时孔位应采取多道密封措施；

7 中空玻璃的单片玻璃厚度不应小于 6mm，两片玻璃厚度差不宜大于 3mm。

3.4.3 玻璃幕墙采用夹层玻璃时，应采用干法加工合成，其胶片宜采用聚乙烯醇缩丁醛胶片（PVB）或离子性中间层胶片，且 PVB 胶片厚度不应小于 0.76mm，离子性中间层胶片厚度不应小于 0.89mm，外露的 PVB 夹层玻璃边缘应进行封边处理。夹层玻璃的单片玻璃厚度不应小于 5mm，两片玻璃厚度差不应大于 3mm。

3.4.4 玻璃幕墙、采光顶及雨篷用钢化玻璃应符合现行行业标准《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T 455 的规定。

3.4.5 阳光控制镀膜玻璃应符合现行国家标准《镀膜玻璃 第 1 部分：阳光控制

镀膜玻璃》GB/T 18915.1 的规定。低辐射镀膜玻璃应符合现行国家标准《镀膜玻璃 第 2 部分：低辐射镀膜玻璃》GB/T 18915.2 的规定。玻璃幕墙采用单片或夹层低辐射镀膜玻璃时，应使用在线热喷涂低辐射玻璃；离线镀膜的低辐射玻璃宜加工成中空玻璃使用，且镀膜面朝向中空气体层。

3.4.6 有防火功能的幕墙玻璃，应根据防火等级采用单片或复合防火玻璃。防火玻璃的耐火极限性能应符合现行国家标准《建筑用安全玻璃 第 1 部分：防火玻璃》GB 15763.1 的规定。

3.4.7 玻璃的强度设计值应符合表 3.4.7 的规定。

表 3.4.7 玻璃的强度设计值 f_g (N/mm²)

类型	厚度 (mm)	短期荷载			长期荷载		
		中部 强度	边缘 强度	端面 强度	中部 强度	边缘 强度	端面 强度
平板玻璃 超白浮法 玻璃	4~12	28	22	20	9	7	6
	15~19	24	19	17	7	6	5
	≥20	20	16	14	6	5	4
半钢化 玻璃	4~12	56	44	40	28	22	20
	15~19	48	38	34	24	19	17
	≥20	40	32	28	20	16	14
钢化玻璃	4~12	84	67	59	42	34	30
	15~19	72	58	51	36	29	26
	≥20	59	47	42	30	24	21

- 注：1 夹层玻璃和中空玻璃的强度设计值可按所采用的玻璃类型确定；
- 2 当钢化玻璃的强度标准值达不到平板玻璃强度标准值的 3 倍时，表中数值应根据实测结果予以调整；
- 3 半钢化玻璃强度设计值可取平板玻璃强度设计值的 2 倍。当半钢化玻璃的强度标准值达不到平板玻璃强度标准值的 2 倍时，其设计值应根据实测结果予以调整；
- 4 端面指玻璃切割后的断面，其宽度为玻璃厚度；边缘指玻璃大面上与端面边缘 1 倍玻璃厚度范围内的区域。

3.5 石 材

3.5.1 石材幕墙面板宜采用花岗石板材。石材不应有软弱夹层，有层状花纹的石材不宜有粗粒、松散、多孔的条纹，石材面板应作表面防护处理。石材面板的技术、质量要求应符合现行国家标准《天然花岗石建筑板材》GB/T 18601、《天然大理石建筑板材》GB/T 19766、《天然砂岩建筑板材》GB/T 23452、《天然石灰

石建筑板材》GB/T 23453 的规定。

3.5.2 石材面板弯曲强度、最小厚度、吸水率等指标应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 石材面板的弯曲强度、吸水率、最小厚度和单块面积要求

项目	花岗岩		大理石	石灰石	砂岩
	磨光面板	粗面板材			
最小厚度(mm)	≥25mm	≥28mm	≥35mm	≥35mm	≥40mm
(干燥及水饱和) 弯曲强度 (N/mm ²)	≥8.0		≥7.0	≥6.0	≥6.0
吸水率 (%)	≤0.6		≤0.5	≤5.0	≤5.0
单块面积 (m ²)	不宜大于 1.5		不宜大于 1.0		

3.5.3 幕墙高度超过 100m 时,花岗石面板的弯曲强度试验平均值 f_{m} 不应小于 12.0 N/mm², 标准值 f_{rk} 不应小于 10.0 N/mm², 厚度不应小于 30mm。

3.5.4 材质疏松或带有孔洞的石材面板弯曲强度试验平均值 f_{m} 小于 8.0N/mm² 的石材面板, 应采取背面增强措施, 并宜采取孔洞密实填充措施。

3.5.5 石材的强度应由法定检测机构检测, 并应满足表 3.5.2 中的规定。石材面板的抗弯、抗剪强度设计值可根据其弯曲强度试验的平均值 f_{gm} 按照表 3.5.5 所规定的安全系数计算得出。石材抗弯强度设计值、抗剪强度设计值应按下列公式计算:

$$f_{g1}=f_{gm}/K_{bm} \quad (3.5.5-1)$$

$$f_{g2}=f_{gm}/K_{cm} \quad (3.5.5-2)$$

式中: f_{g1} —— 石材面板抗弯强度设计值 (N/mm²) ;
 f_{g2} —— 石材面板抗剪强度设计值 (N/mm²) ;
 f_{gm} —— 石材面板弯曲强度试验平均值 (N/mm) ;
 K_{bm} —— 石材抗弯设计材料强度安全系数;
 K_{cm} —— 石材抗剪设计材料强度安全系数。

表 3.5.5 不同石材安全系数取值

石材种类	抗弯		抗剪
	总安全系数 K_b	材料强度安全系数 K_{bm}	材料强度安全系数 K_{cm}
花岗石	3	2.15	4.30
大理石	5	3.60	7.10

石灰石	6	4.30	8.60
砂岩	8	5.70	11.40

3.6 金属板材

3.6.1 单层铝板宜采用铝锰合金板、铝镁合金板，并应符合现行国家标准《一般工业用铝及铝合金板、带材》GB/T 3880.1~GB/T 3880.3、《变形铝及铝合金牌号表示方法》GB/T 16474、《变形铝及铝合金状态代号》GB/T 16475 和现行行业标准《建筑幕墙用氟碳铝单板制品》JG/T 331、《铝幕墙板》YS/T 429.1~YS/T 429.2 的相关规定。

3.6.2 铝板表面采用氟碳涂层时，应符合下列规定：

- 1 氟碳树脂含量不应低于树脂总量的 70%；
- 2 氟碳涂层厚度应符合表 3.6.2 的规定。

表 3.6.2 氟碳涂层厚度 (μm)

涂装工艺类型 涂层	喷 涂		辊 涂	
	平均膜厚	最小局部膜厚	平均膜厚	最小局部膜厚
二涂	≥ 30	≥ 25	≥ 25	≥ 22
三涂	≥ 40	≥ 35	≥ 35	≥ 30
四涂	≥ 65	≥ 55	—	—

3.6.3 单层铝板的板基厚度宜符合表 3.6.3 的规定。

表 3.6.3 单层铝板的板基厚度

铝板屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	<100	$100 \leq \sigma_{0.2} < 150$
铝板的厚度 t (mm)	≥ 3.0	≥ 2.5

注：波纹形单层铝板的板基厚度可小于本表的规定。

3.6.4 铝板抗拉强度标准值 f_{ak1} 可取其屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。铝板抗拉强度设计值 f_{a1}^t 可按其抗拉强度标准值 f_{ak1} 除以系数 1.2 后采用；其抗剪强度设计值 f_{a1}^v 可按其抗拉强度标准值 f_{ak1} 除以系数 2.07 后采用。铝板的强度设计值也可按表 3.6.4 采用。

表 3.6.4 铝板的强度设计值 (N/mm^2)

铝板牌号	合金状态	屈服强度最小值	抗拉强度 f_{a1}^t	抗剪强度 f_{a1}^v
1050	H14、H24、H44	75	65	40
	H18	120	100	60

1060	H14、H24、H44	65	55	35
1100	H14、H24、H44	95	80	50
3003	H14、H24、H44	115	100	60
	H16、H26	145	125	70
3004	H42	140	120	65
	H14、H24	170	145	85
3005	H42	95	80	50
	H14、H24、H44	135	115	65
	H46	160	135	80
3105	H25	130	110	65
5005	H42	90	75	45
	H14、H24、H44	115	100	60
5052	H42	130	110	65
	H44	175	150	85
5754	H42	140	120	65
	H14、H24、H44	160	135	80
	H16、H26、H46	190	160	95

3.6.5 铝塑复合板应符合现行国家标准《建筑幕墙用铝塑复合板》GB/T 17748 的规定，并应符合下列规定：

- 1 厚度不应小于 4mm，内、外面层铝板厚度不应小于 0.5mm，厚度允许偏差为±0.02mm（不含涂层厚度）；
- 2 外表面采用表面处理方式及涂层厚度，应符合本标准第 3.6.2 条的规定；
- 3 应选用 3XXX 系铝合金及 5XXX 系铝合金板材；
- 4 板材的燃烧性能应满足设计要求。

3.6.6 铝蜂窝复合板应符合现行行业标准《建筑外墙用铝蜂窝复合板》JG/T 334 的规定，并应满足下列要求：

- 1 截面厚度不应小于 10mm；
- 2 板基宜采用铝锰合金板、铝镁合金板，应符合现行国家标准《一般工业用铝及铝合金板、带材 第 2 部分：力学性能》GB/T 3880.2 和《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190 中 3×××或 5×××系列的规定，板基的厚度允许偏差为±0.025mm；
- 3 铝合金板材与芯材的滚筒剥离强度平均值不应小于 90N•mm/mm，单个

测试值不应小于 $80\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$ 。平拉强度平均值不应小于 $0.8\text{ N}/\text{mm}^2$ ，单个测试值不应小于 $0.6\text{N}/\text{mm}^2$ ；

4 芯材应采用铝蜂窝，铝蜂窝芯边长宜不大于 10mm 。边长 $6\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 时铝蜂窝芯材铝箔厚度不宜小于 0.07mm ，边长不大于 6mm 时铝蜂窝芯材铝箔厚度不宜小于 0.05mm ；

5 铝蜂窝板面层厚度不应小于 1mm 。铝蜂窝板的厚度为 10mm 时，其背板厚度不应小于 0.7mm ；铝蜂窝板的厚度大于 10mm 时，其背板厚度不应小于 1.0mm 。

3.6.7 铝波纹芯复合铝板应符合现行行业标准《铝波纹芯复合铝板》JC/T 2187 的规定，并应符合下列规定：

1 总厚度不应小于 4.0mm ，面板厚度不应小于 0.7mm ，背板厚度不应小于 0.5mm ，铝波纹芯壁厚不应小于 0.20mm ；

2 外表面应采用氟碳辊涂，涂层厚度应符合本标准第 3.6.2 条的规定；

3 双向弯曲强度不小于 100MPa ，滚筒剥离强度不小于 $100\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$

3.6.8 不锈钢板作面板时，其材质应符合本标准第 3.3.4 条的有关规定；其截面厚度，当为平板时不宜小于 2.0mm ，当为波纹板时，不宜小于 1.0mm 。沿海地带或严重腐蚀地区，可采用单面涂层或双面涂层的不锈钢板，涂层厚度不宜小于 $35\mu\text{m}$ 。

3.6.9 彩色涂层钢板应符合现行国家标准《彩色涂层钢板及钢带》GB/T 12754 的规定。抗拉强度设计值可按其屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 除以系数 1.15 采用。基材钢板应采用热浸镀锌。用于幕墙面板时，板厚不应小于 1.2mm ，表面应采用氟碳涂层，厚度应符合本标准第 3.6.2 条的规定。

3.6.10 钛锌合金饰面板厚度不应小于 1.2mm ，钛锌合金饰面复合板厚度不应小于 4.0mm ，其产品应符合现行国家标准《钛及钛合金板材》GB/T 3621 和《建筑用钛锌合金饰面复合板》JG/T 339 的规定。

3.6.11 铜合金板应符合现行国家标准《铜及铜合金板材》GB/T 2040 的规定，宜选用 TU1、TU2 牌号的无氧铜，当为平板时厚度不应小于 2.0mm ，当为波纹板时，厚度不应小于 1.0mm 。

3.6.12 搪瓷涂层钢板板基厚度不应小于 1.4mm ，不应在现场开槽或钻孔，产品

应符合现行行业标准《建筑装饰用搪瓷钢板》JG/T 234 的规定。

3.7 人造板材

3.7.1 幕墙用面板材料应符合现行行业标准《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217、《建筑陶瓷薄板应用技术规程》JGJ/T 172、《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872、《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328、《超薄天然石材型复合板》JC/T 1049、《建筑幕墙用陶板》JG/T 324、《玻璃纤维增强水泥外墙板》JC/T 1057、《玻璃纤维增强水泥（GRC）装饰制品》JC/T 940 、《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396 的相关规定。

3.7.2 幕墙用微晶玻璃的厚度不应小于 20 mm，并应按照现行行业标准《建筑装饰用微晶玻璃》JC/T 872 的规定进行抗急冷急热试验，采用墨水渗透法对试样表面进行检查，不应有目视可见的裂纹。

3.7.3 幕墙用石材蜂窝板面板石材为亚光面或镜面时，厚度宜为 3mm~5mm；面板石材为毛面时，厚度宜为 5mm~8mm。石材表面应涂刷符合现行行业标准《建筑装饰用天然石材防护剂》JC/T 973 规定的一等品及以上要求的饰面型石材防护剂，其耐碱性、耐酸性宜大于 80%。材料应符合下列规定：

1 背板宜采用铝合金板或镀铝锌钢板。采用铝合金板厚度不得小于0.5mm，涂层厚度不得小于5 μ m；采用镀铝锌钢板应符合现行国家标准《连续热镀铝锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 14978的要求，板材厚度不得小于0.35mm，铝锌涂层不得小于15 μ m；

2 铝蜂窝芯孔径不得大于9.53mm，铝蜂窝室壁厚不得小于0.05mm，且应符合现行行业标准《夹层结构用耐久铝蜂窝芯材规范》HB 5443的要求；

3 石材蜂窝复合板总厚度不得小于20mm。

3.7.4 瓷板不包括背纹的实测厚度不应小于12mm，单块面积不应大于1.0m²，瓷板的力学性能应满足表3.7.4的要求，其它性能指标应符合现行行业标准《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217的规定。

表 3.7.4 瓷板力学性能要求（N/mm²）

项目	要求	设计值
弯曲强度（N/mm ² ）	平均值（ R ） ≥ 30.0 ；最小值（ $R_{\min}$ ） ≥ 27.0	15.0
剪切强度（N/mm ² ）	平均值（ τ ） ≥ 15.0 ；最小值（ $\tau_{\min}$ ） ≥ 13.5	7.5

- 注：1 圆弧板力学性能检查，在用于弯制圆弧板的普型板上进行；
2 弯曲强度和剪切强度小于平均值要求的试样数量均不超过 2 个。

3.7.5 陶板力学性能应满足表 3.7.5 的要求，其它性能指标应符合现行行业标准《建筑幕墙用陶板》JG/T 324 的规定。

表 3.7.5 陶板物理力学性能指标

项目		技术指标		
		AI 类	AIIa 类	AIIb 类
吸水率（E）平均值/%		$E \leq 3$	$3 < E \leq 6$	$6 < E \leq 10$
弯曲强度/MPa	平均值	≥ 23	≥ 13	≥ 9
	最小值	≥ 18	≥ 11	≥ 8
弹性模量/GPa		≥ 20		
泊松比		≥ 0.13		
抗冻性		无破坏		
抗热震性		无破坏		
耐污染性		无明显污染痕迹		
抗釉裂性 ^a		无龟裂		
线性热膨胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$		$\leq 7 \times 10^{-6}$		
湿膨胀系数/%		≤ 0.06		
耐化学腐蚀性		无明显变化		

注：^a只适用于釉面陶板。

3.7.6 陶板、微晶玻璃的抗弯、抗剪强度设计值可按下列公式计算：

$$f_{p1} = f_{pm} / 2.00$$

$$f_{p2} = f_{pm} / 10.00$$

式中： f_{p1} ——陶板、微晶玻璃抗弯强度设计值（ N/mm^2 ）；

f_{p2} ——陶板、微晶玻璃抗剪强度设计值（ N/mm^2 ）；

f_{pm} ——陶板、微晶玻璃弯曲强度试验平均值（ N/mm^2 ）。

陶板弯曲强度试验中任一试件的弯曲强度试验值低于 8.0 N/mm^2 时，该批陶板不得用于幕墙工程。

3.7.7 幕墙用纤维水泥板的基板应采用现行行业标准《外墙用非承重纤维增强水泥板》JG/T 396 规定的外墙用涂装板，在未经表面防水处理和涂装处理状态下，板材的表观密度不宜小于 1.5 g/cm^3 ，吸水率不应大于 20%，强度等级不宜低于 III

级（饱水状态抗折强度不宜小于 18MPa）。

3.8 连接件与紧固件

3.8.1 幕墙常用紧固件应符合下列规定：

1 螺钉、螺栓的材质和机械性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098. 1、《紧固件机械性能螺母》GB/T 3098. 2、《紧固件机械性能 自攻螺钉》GB/T 3098. 5、《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098. 6、《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098. 11、《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098. 15 等的规定；

2 螺钉、螺栓的品种、规格应符合现行国家标准《I 型六角螺母 C 级》GB/T 41、《平垫圈 C 级》GB 95、《平垫圈 A 级》GB 97. 1、《十字槽盘头螺钉》GB/T 818、《十字槽盘头自攻螺钉》GB 845、《轻型弹簧垫圈》GB 859、《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780、《六角头螺栓 全螺纹 C 级》GB/T 5781、《自钻自攻螺钉》GB/T 15856. 1~GB/T 15856. 5 等的规定；

3 抽芯铆钉的材质、机械性能和品种、规格，应符合现行国家标准《紧固件机械性能 抽芯铆钉》GB/T 3098. 19 和《开口型平圆头抽芯铆钉 51 级》GB/T 12618. 4 等的规定；

3.8.2 幕墙与建筑主体结构或支承结构之间，应采用钢连接件或铝合金连接件。钢连接件的材质和表面防腐处理应分别符合本标准第 3.3.2 和 3.3.6 条的规定。铝合金连接件的材质和表面处理应符合现行国家标准《铝合金建筑型材 第 1 部分：基材》GB/T 5237.1 和《铝合金建筑型材 第 2 部分：阳极氧化型材》GB/T 5237.2 的规定，型材尺寸允许偏差不应低于高精级的要求，型材表面应进行阳极氧化处理，氧化膜厚度不得低于 AA15 级。

3.8.3 后置埋件应选用扩底型机械锚栓和特殊倒锥形化学锚栓等性能可靠的锚栓，锚栓的直径不应小于 10mm，锚栓应采用不锈钢、碳素钢或合金钢材质。机械锚栓应符合现行行业标准《混凝土用机械锚栓》JG/T 160 的规定；特殊倒锥形化学锚栓应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，不得使用普通化学锚栓和膨胀锚栓。当采用特殊倒锥形化学锚栓时，应提供化学锚栓的耐高温测试报告。

3.8.4 锚栓材质选用碳素钢或合金钢时，性能等级不得低于 4.8 级，力学性能指

标应按表 3.8.4-1 采用；当锚栓材质选用奥氏体不锈钢时，性能等级不得低于 70 级，力学性能指标应按表 3.8.4-2 采用。

表 3.8.4-1 碳素钢及合金钢锚栓的力学性能指标

性能等级		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
极限抗拉强度标准值	f_{stk} (N/mm ²)	400	500	500	600	800
屈服强度标准值	f_{yk} 或 $f_{s, 0.2k}$ (N/mm ²)	320	300	400	480	640
伸长率	δ_5 (%)	14	20	10	8	12

表 3.8.4-2 奥氏体不锈钢锚栓的力学性能指标

性能等级	螺纹直径 (mm)	极限抗拉强度标准值 f_{stk} (N/mm ²)	屈服强度标准值 f_{yk} 或 $f_{s, 0.2k}$ (N/mm ²)	伸长值 δ
70	≤24	700	450	0.4d
80	≤24	800	600	0.3d

3.8.5 幕墙面板用不锈钢挂件，宜采用经固溶处理的奥氏体不锈钢制品。幕墙面板用铝合金型材挂件，表面应进行防腐蚀处理并应符合设计要求。

3.8.6 幕墙用背栓最小直径不应小于 6.0mm，应采用奥氏体不锈钢制作。其组别和性能等级不宜低于现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 和《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 中组别为 S316 的奥氏体不锈钢。

3.8.7 螺栓、铆钉、不锈钢螺栓、焊缝等连接材料强度设计值按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用，也可按表 3.8.7-1~3.8.7-4 采用。

表 3.8.7-1 螺栓连接的强度设计值 (N/mm²)

螺栓的性能等级、锚栓和 构件钢材的牌号		普通螺栓						锚栓	承压型连接 高强度螺栓		
		C 级螺栓			A 级、B 级螺栓						
		抗 拉	抗 剪	承 压	抗 拉	抗 剪	承 压	抗拉	抗拉	抗剪	承压
		f_t^b	f_v^b	f_c^b	f_t^b	f_v^b	f_c^b	f_t^a	f_t^b	f_v^b	f_c^b
普通螺栓	4.6、4.8 级	170	140	—	—	—	—	—	—	—	—
	5.6 级	—	—	—	210	190	—	—	—	—	—
	8.8 级	—	—	—	400	320	—	—	—	—	—
锚栓	Q235 钢	—	—	—	—	—	—	140	—	—	—

	Q355 钢	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—
承压型连接 高强度螺栓	8.8 级	—	—	—	—	—	—	—	400	250	—
	10.9 级	—	—	—	—	—	—	—	500	310	—
构件	Q235 钢	—	—	305	—	—	405	—	—	—	470
	Q355 钢	—	—	385	—	—	510	—	—	—	590
	Q390 钢	—	—	400	—	—	530	—	—	—	615

注：1 A 级螺栓用于工程直径 d 不大于 24mm、螺杆工程长度不大于 $10d$ 且不大于 150mm 的螺栓；

2 B 级螺栓用于工程直径 d 大于 24mm、螺杆工程长度大于 $10d$ 或大于 150mm 的螺栓；

3 A、B 级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度，C 级螺栓孔允许偏差和孔壁表面粗糙度，应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

表 3.8.7-2 铆钉连接的强度设计值 (N/mm^2)

铆钉钢号和构件钢材牌号		抗拉（铆头拉脱）	抗剪		承压	
			I 类孔	II 类孔	I 类孔	II 类孔
铆钉	BL2、BL3	120	185	155	—	
构件	Q235 钢	—	—		450	365
	Q345 钢	—	—		565	460
	Q390 钢	—	—		590	480

注：1 属于下列情况者为 I 类孔：

- 1) 在装配好的构件上按设计孔径钻成的孔；
- 2) 在单个零件和构件上按设计孔径分别应钻模钻成的空；
- 3) 在单个零件上先钻成或冲成较小的孔径，然后在装配好的构件上再扩钻至设计孔径的孔。

2 在单个零件上一次冲成或不用钻模钻成设计孔径的孔属于 II 类孔。

表 3.8.7-3 不锈钢螺栓连接的强度设计值 (N/mm^2)

类别	组别	性能等级	σ_b	抗拉	抗剪
A（奥氏体）	A1、A2	50	500	230	175
	A3、A4	70	700	320	245
	A5	80	800	370	280
C（马氏体）	C1	50	500	230	175
		70	700	320	245
		100	1000	450	350
	C3	80	800	370	280
	C4	50	500	230	175
		70	700	320	245
F（铁素体）	F1	45	450	210	160
		60	600	275	210

表 3.8.7-4 焊缝的强度设计值 (N/mm²)

焊接方法和焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌号	厚度或直径 d (mm)	抗压 f_c^w	抗拉和抗弯受拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉抗压 抗剪 f_f^w
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和 E43 型焊条的手工焊	Q235	d≤16	215	215	185	125	160
		16<d≤40	205	205	175	120	
		40<d≤60	200	200	170	115	
自动焊、半自动焊和 E50 型焊条的手工焊	Q355	d≤16	310	310	265	180	200
		16<d≤35	295	295	250	170	
		35<d≤50	265	265	225	155	
自动焊、版自动焊和 E55 型焊条的手工焊	Q390	d≤16	350	350	300	205	220
		16<d≤35	335	335	285	190	
		35<d≤50	315	315	270	180	
	Q420	d≤16	380	380	320	220	220
		16<d≤35	360	360	305	210	
		35<d≤50	340	340	290	195	

- 注：1 表中的一级、二级、三级是指焊缝质量等级，应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。厚度小于 8mm 钢材的对接焊缝，不应采用超声探伤确定焊缝质量等级；
- 2 自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属力学性能不低于现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293 和《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的相关规定；
- 3 表中厚度是指计算点钢材厚度，对轴心受力构件是指截面中较厚板件的厚度。

3.8.8 幕墙材料的物理力学性能指标应按表 3.8.8 采用。

表 3.8.8 材料的物理力学性能指标

材料		弹性模量 E（N/ mm ² ）	泊松比 <i>ν</i>	线膨胀系数 <i>α</i> （1/K）
玻璃		0.72×10 ⁵	0.200	0.80×10 ⁻⁵ ~1.00×10 ⁻⁵
铝合金型材及铝板		0.72×10 ⁵	0.330	2.35×10 ⁻⁵
钢材		2.06×10 ⁵	0.300	1.20×10 ⁻⁵
不锈钢				1.80×10 ⁻⁵
不锈钢绞线		1.20×10 ⁵ ~1.50×10 ⁵		1.80×10 ⁻⁵
消除应力的高强钢丝		2.05×10 ⁵		根据产品厂家实测值
高强钢绞线		1.95×10 ⁵		
钢丝绳		0.80×10 ⁵ ~1.00×10 ⁵		
蜂窝铝板	10mm	0.35×10 ⁵		0.250

	15mm	0.27×10^5		
	20mm	0.21×10^5		
铝塑复合板	4mm	0.20×10^5	0.250	$\leq 4.00 \times 10^{-5}$
	6mm	0.30×10^5		
搪瓷钢板	单体	2.06×10^5	0.300	1.20×10^{-5}
	复合	1.20×10^5	0.250	0.90×10^{-5}
花岗岩板		0.80×10^5	0.125	0.80×10^{-5}
陶板		0.20×10^5	0.130	0.60×10^{-5}
微晶玻璃		0.80×10^5	0.250	0.62×10^{-5}
瓷板		0.60×10^5	0.250	0.60×10^{-5}

3.8.9 材料的重力密度标准值可按表 3.8.9 采用。

表 3.8.9 材料的重力密度标准值 γ_g (KN/m³)

材料	γ_g	材料	γ_g
玻璃	25.6	矿棉	1.2~1.5
		玻璃棉	0.5~1.0
钢材	78.5	岩棉	0.5~2.5
铝合金	28.0	微晶玻璃	27.0
花岗岩	28.0	石灰石	26.0
陶板	22.5	瓷板	23.0

3.9 结构胶和密封材料

3.9.1 幕墙用硅酮结构密封胶的性能应符合现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776 和现行行业标准《建筑幕墙用硅酮结构密封胶》JG/T 475 的规定。幕墙用硅酮建筑密封胶应符合现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 中 G_W 类的规定。

3.9.2 幕墙用硅酮建筑密封胶和硅酮结构密封胶, 应经国家认定的检测机构进行与密封胶相接触的有机材料的相容性试验; 硅酮结构密封胶还应进行与被粘结材料的剥离粘接性试验以及硅酮结构密封胶邵氏硬度、标准条件拉伸粘结性能试验。

3.9.3 硅酮结构密封胶生产厂家应提供产品合格证、有质保年限的质量保证书及相关性能检测报告。硅酮结构密封胶生产商还应提供结构胶拉伸试验的应力应变

曲线供设计选用。硅酮结构胶的强度设计值应按表 3.9.3 采用：

表 3.9.3 硅酮结构胶的强度设计值 (N/mm²)

项目	强度设计值	项目	强度设计值
短期荷载作用下 强度设计值 f_1	0.20	长期荷载作用下 强度设计值 f_2	0.01

3.9.4 与金属、镀膜玻璃、夹层玻璃、中空玻璃以及中性硅酮结构密封胶接触的建筑密封胶，应使用中性硅酮密封胶。

3.9.5 石材、陶板、纤维水泥板等多孔性幕墙板缝用耐候密封胶应符合现行国家标准《石材用建筑密封胶》GB/T 23261 的有关规定，并进行污染性试验。

3.9.6 玻璃、金属板、瓷板等非多孔性幕墙板缝用耐候密封胶应符合现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 中对 Gw 类的规定，并应在施工前进行粘结性试验。

3.9.7 幕墙中的建筑接缝和干缩位移接缝用改性硅酮建筑密封胶性能应符合现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 的有关规定。硅酮耐候密封胶位移能力不宜低于 35 级、改性硅酮密封胶不宜低于 25 级，应与所接触的有机材料相容，且不应污染所粘结材料。

3.9.8 石材挂件与通槽或短槽的填充宜采用柔性胶，可采用性能符合现行行业标准《干挂石材幕墙用环氧胶粘剂》JC 887 的环氧树脂胶，不得采用不饱和聚酯树脂胶。

3.9.9 防火封堵密封胶理化性能技术要求应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 的规定，并出具有效期内型式检验报告。

3.9.10 幕墙用密封胶条宜采用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶、热塑性弹性体及硅橡胶制品，并应符合现行国家标准《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498 的有关规定。

3.10 其它材料

3.10.1 幕墙的密封衬垫材料，宜采用聚乙烯泡沫，其密度不应大于 37kg/m³。

3.10.2 与单组份硅酮结构密封胶配合使用的低发泡间隔双面胶条应具有透气性。

3.10.3 玻璃支承垫块宜采用邵氏硬度 85-90 的氯丁橡胶等材料，不得采用易老化、腐蚀及吸水的材料。

3.10.4 与幕墙配套使用的五金件、紧固件及附件应符合相应的产品标准。

3.10.5 幕墙的隔热保温材料应采用岩棉、矿棉、玻璃棉等不燃材料。岩棉保温材料的密度不应低于 80kg/m^3 ，并应设置防潮保护层。

3.10.6 防火封堵材料的燃烧性能、耐火性能应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 的有关规定。

3.10.7 防火封堵构造所用的岩棉、硅酸铝棉等矿物棉的燃烧性能应达到现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 中规定的 A 级，密度不应小于 100kg/m^3 ，熔点不应小于 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.10.8 双层幕墙空气间层内的遮阳织物或百叶等材料的燃烧性能不应低于现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 中规定的 B1 级。

4 建筑设计

4.1 一般规定

4.1.1 采用建筑幕墙的建设工程，设计单位应根据建筑高度、周边环境等因素，结合建筑布局合理设计绿化带、裙房等缓冲区域以及挑檐、顶棚等防护设施。建筑出入口上方设有建筑幕墙的，应设置有效的水平防护措施。

4.1.2 建筑幕墙使用范围及安全防护应符合相关规定。外倾斜玻璃幕墙不得采用隐框形式。

4.1.3 幕墙的性能设计应根据建筑物所在地的地理、气候、环境，建筑物的类别、体型、高度以及设计使用年限和设计基准期等条件进行，性能指标和设计要求应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 和《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 的规定。

4.1.4 幕墙的面板应可拆卸、更换，并不得破坏相邻周边构造。幕墙高度超过 50m 时，应设置清洗、维修装置。

4.1.5 幕墙与主体结构的连接部位应能承受幕墙荷载的传递作用。幕墙的面板不应跨越主体结构的变形缝，变形缝两侧应设置独立的幕墙支承结构。与主体结构变形缝相对应的幕墙构造缝应能够适应主体结构的变形要求。幕墙构造缝宜采用柔性连接设计或滑动型连接设计，并采取易于修复的构造措施。

4.1.6 玻璃幕墙可根据所处环境、幕墙造型及节能要求采取外遮阳措施。

4.1.7 幕墙玻璃不应对外围环境产生有害反射光的影响，应符合现行国家标准《玻璃幕墙光热性能》GB/T 18091 的规定。

4.1.8 泛光照明设备应可靠的安装在幕墙构件上，线路及灯具的布置和安装不得影响建筑外立面效果和双层幕墙的物理性能，泛光照明系统的安装和布置应考虑维修和更换措施。

4.2 性能设计

4.2.1 幕墙的抗风压性能设计应符合下列要求：

1 幕墙的抗风压性能指标值，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的外围护结构风荷载标准值计算确定，取正、负风荷载标准值的最

大绝对值作为指标值，并不得小于 1.0KPa；

2 超高层建筑、体型不规则或风环境复杂的幕墙结构，除按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的计算外，应结合风洞模型试验所得结果进行分析、比较和判断，并取最大值；

3 在抗风压性能指标值的作用下，幕墙的支承结构挠度变形应符合表 4.2.1-1 的规定，幕墙面板相对挠度变形应符合表 4.2.1-2 的规定；

表 4.2.1-1 幕墙支承结构相对挠度和绝对挠度的要求

支承结构类型		相对挠度 (L 跨度)	绝对挠度/mm
构件式玻璃幕墙 单元式玻璃幕墙	铝合金型材	L/180	20 (30) ^a
	钢型材	L/250	20 (30) ^a
石材幕墙 金属板幕墙 人造板幕墙	铝合金型材	L/180	—
	钢型材	L/250	—
点支承玻璃幕墙	钢结构	L/250	—
	索杆结构	L/200	—
全玻璃幕墙	玻璃肋	L/200	—
^a 括号内数据适用于跨距超过 4500mm 的建筑幕墙产品。			

表 4.2.1-2 幕墙面板的挠度限值

幕墙类型	面板种类	挠度
构件式玻璃幕墙 单元式玻璃幕墙	玻璃面板	短边/60
	光伏玻璃面板	短边/120
金属板幕墙	金属面板	短边距/60
	加强肋	跨距/180
点支承玻璃幕墙	玻璃面板	支承点间较大跨距/60
全玻璃幕墙	玻璃面板	跨距/60
采光顶、雨篷	玻璃面板	自重作用下跨距/120 风荷载作用下跨距/60
石材幕墙	石材面板	—

4 双层幕墙的抗风压性能应满足在风荷载指标值作用下，内外两层幕墙的变形均不应超过表 4.2.1 规定值，且不应发生任何功能障碍和损坏。

4.2.2 幕墙的水密性能设计应符合下列要求：

1 受热带风暴和台风袭击的地区，水密性能设计取值应按下式计算，且固定部分的取值不应低于 1000Pa：

$$P = 1000 \mu_z \mu_{sl} w_0 \quad (4.2.2)$$

式中：P ——水密性能设计风压力差值（Pa）；

w_0 ——基本风压（kN/m²）；

μ_z ——风压高度变化系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》

GB 50009 的规定采用；

μ_{sl} ——局部风压体型系数，可取 1.2。

2 其它地区水密性能可按第 1 款计算值的 75%进行设计，且取值不应低于 1000Pa；

3 可开启部分水密性能等级宜与固定部分相对应，水密性能分级应不低于现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 中规定的 3 级。开放式建筑幕墙的水密性能不作要求。

4.2.3 幕墙的气密性能应符合建筑节能设计，可开启部分和幕墙整体的气密性指标分级应不低于现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 中规定的 3 级。开放式建筑幕墙的气密性能不作要求。

4.2.4 幕墙平面内变形性能应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定，平面外变形性能及垂直方向变形性能应满足设计要求，并应符合现行国家标准《建筑幕墙层间变形性能分级及检测方法》GB/T 18250 的规定。在计算是应满足下列要求：

1 主体结构楼层弹性层间位移角控制值应按层间高度内弹性层间位移量计算，其值由主体设计计算并提供。主体设计未提供时，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定采用；

2 建筑幕墙层间变形性能指标值不应小于主体结构小震时弹性层间位移角控制值的 3 倍；

3 层间变形性能指标值仅供模拟测试判定使用。测试不满足时，应调整幕墙连接构造设计。

4.2.5 建筑幕墙热工性能应满足建筑节能及相关规范的要求，还应符合本标准第 4.5 节的规定。

4.2.6 幕墙的空气声隔声性能应根据建筑物的使用功能和环境条件确定，满足《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的要求，性能指标应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 和《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 的规定。

4.2.7 幕墙耐撞击性能指标应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 和《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 耐撞击性能分级规定，幕墙室内侧耐撞击性能指标不应低于 1 级，人员流动密度大或青少年、幼儿活动的公共建筑的建筑幕墙，耐撞击性能指标不应低于 2 级。

4.3 构造设计

4.3.1 建筑幕墙的构造设计应满足安全、实用与美观的原则，并应便于制作安装、面板更换和维修保养。

4.3.2 建筑幕墙立面上有雨篷、压顶以及其它凸出构造时，结合部位应采取防水、排水构造措施，排水坡度不应小于 3%。

4.3.3 幕墙框架可采用铝合金型材、钢型材或铝合金型材和钢型材组合的形式。横梁可通过连接件、螺栓、螺钉或销钉与立柱连接，也可采用焊缝连接。

4.3.4 注胶封闭式幕墙胶缝应能够适应建筑物由于风荷载、地震作用和温度变化产生的变形。密封胶应采用硅酮建筑密封胶，玻璃及铝板幕墙用硅酮建筑密封胶的厚度不应小于 3.5mm，胶缝宽度不宜小于 10mm；石材幕墙用硅酮建筑密封胶的厚度不应小于 3.5mm，胶缝宽度不宜小于 8mm；人造板幕墙用硅酮建筑密封胶厚度不宜小于 6mm，胶缝宽度不宜小于 6mm。较深密封槽口的底部应采用聚乙烯发泡材料填塞。

4.3.5 胶条封闭式幕墙板缝可采用三元乙丙、氯丁橡胶或硅橡胶密封条密封，纵横密封条交叉处应有防水密封措施。单元式幕墙板块接缝构造上宜按照雨幕原理进行多空腔设计，并应设置导排水系统。

4.3.6 开放式幕墙应在面板的背面空间设置防水构造或在建筑主体墙面上设置防水层，并应设置可靠的导排水系统。

4.3.7 玻璃幕墙面板后部设置保温构造时，保温材料燃烧性能应为 A 级，应有防潮措施并可靠固定，固定保温材料的内衬板与玻璃内表面的间距不得小于 50mm，并设置透气孔。

4.3.8 建筑幕墙框架与主体结构连接应采用预埋件为主。预埋件的规格、型号及

位置应符合设计要求。当采用后置埋件时，应在设计图中明确锚栓的品种、规格及抗拉力设计值。

4.3.9 幕墙的连接构造应采取防止由于风压力、结构变形、温度变化而产生的响声或金属摩擦噪音的措施。幕墙的立柱与横梁采用螺栓连接时，连接处可设置柔性垫片或预留 1mm~2mm 的间隙注胶填充。

4.3.10 除不锈钢外，幕墙中不同种类金属材料的直接接触处，应设置绝缘垫片或采取其它有效的防止双金属腐蚀措施。

4.3.11 幕墙构件的内侧表面与主体结构的外缘之间应预留空隙，且不宜小于 30mm。

4.4 开启窗设计

4.4.1 幕墙开启窗的尺寸、数量、位置及外观应满足使用功能和立面效果要求，并应启闭方便，使用安全。

4.4.2 玻璃幕墙中开启窗宜采用内开窗及上悬外开的形式，不宜采用推拉窗、外平开窗。除消防排烟窗外，超高层建筑玻璃幕墙中开启窗不应采用外平开窗、平推窗及下悬外开窗。单扇面积不宜大于 1.5m²，开启角度不宜大于 30°，最大开启距离不宜大于 300mm。外开窗应采取防止窗扇坠落的措施。隐框开启扇底部应设置托条，托条厚度不应小于 2mm，长度不小于 100mm，玻璃四周应设置防止结构胶外露的构造措施。

4.4.3 开启窗的框、扇角部连接处应密封处理，宜采用机械组角。开启扇与窗框应不少于二道密封，并采用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶或硅橡胶密封条制品嵌填密闭。开启窗窗框与幕墙框架的结合宜采用搭接构造形式，连接处应有防雨水渗漏密封措施。

4.4.4 玻璃幕墙开启窗用型材壁厚不应小于 1.8mm。窗框与窗扇连接用合页、滑撑等应采用螺钉连接，连接部位型材的局部壁厚不应小于 4mm。当不满足时，应采用铆螺母或增加衬板等连接措施，衬板厚度不应小于 4mm，并采用螺纹连接。外露螺钉头与型材结合处应有密封措施。

4.4.5 连接门窗框的幕墙型材局部壁厚不应小于 2.0mm，窗框与幕墙型材采用自攻螺钉连接时，螺钉间距不应大于 300mm，边距不应大于 150 mm，螺钉尖部露出长度不小于 8mm。外露螺钉与型材连接处应密封处理。门框与幕墙型材不应

采用自攻螺钉连接。

4.4.6 开启窗用五金件应满足承载力要求，并应符合现行行业标准《建筑门窗五金件 通用要求》JG/T 212相关规定。

4.4.7 上悬窗采用悬挂式连接时，应设置有效的防脱措施。被悬挂的横梁应校核自重作用下的挠度，挠度值应不大于跨度的 $1/500$ ，且不大于 3mm。

4.4.8 开启窗用滑撑应符合现行行业标准《建筑门窗五金件 滑撑》JG/T 127 的规定，应根据开启扇的荷载和开启角度确定滑撑型号、规格，长度不宜小于窗扇高度的 $1/3$ 。当滑撑长度小于边框的 $1/2$ 时，应设置限位撑档，撑档应符合现行行业标准《建筑门窗五金件 撑档》JG/T 128 的规定，并根据开启扇的规格和要求确定撑档型号、规格，两侧应对称配置。

4.4.9 开启窗用执手、锁闭器应符合现行行业标准《建筑门窗五金件 传动机构用执手》JG/T 124 和《建筑门窗五金件 多点锁闭器》JG/T 215 的规定。应根据开启窗的面积、功能及要求确定型号、规格。当开启扇对角线长度大于 0.7m 时，不应采用旋压式执手。开启扇面积大于 1.0m^2 时，应采用多点锁闭器。锁点应根据计算确定，且锁点间距不宜大于 600mm，边距不应大于 300mm。

4.4.10 隐框形式开启窗所使用的中空玻璃，第二道密封胶应采用硅酮结构密封胶，结构密封胶的尺寸应经计算确定，中空玻璃合片用硅酮结构密封胶的位置和中空玻璃与窗扇粘接用硅酮结构密封胶的位置应重合。因特殊结构需要，确需采用玻璃飞边或者中空玻璃采用大小片构造时，应至少确保在一对边位置的硅酮结构密封胶重合。

4.4.11 内外倾斜玻璃幕墙立面上不宜设置开启窗，确需设开启窗时，内倾斜幕墙开启窗的下边框应设置构造性的引排水措施，外倾斜幕墙开启窗的窗扇应设置安全限位和防窗扇坠落的构造措施。

4.4.12 幕墙中采用成品铝合金门窗时，产品应符合现行国家标准《铝合金门窗》GB/T 8478 和现行浙江省工程建设标准《建筑门窗应用技术规程》DB 33/1064 的相关规定。

4.4.13 幕墙中设置排烟窗时，其位置、构造及有效排烟面积的计算应符合相关规范的规定。

4.5 热 工 设 计

4.5.1 建筑幕墙热工性能应符合建筑节能设计和相关规范的要求,热工性能指标应满足现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189、现行浙江省工程建设标准《公共建筑节能设计标准》DB 33/1036、《居住建筑节能设计标准》DB 33/1015 的规定,热工性能计算可按附录 E 的规定。

4.5.2 透明幕墙玻璃可采用中空玻璃、Low-E 中空玻璃、充惰性气体 Low-E 中空玻璃等保温性能良好的玻璃,也可采用双中空玻璃、真空玻璃等。传热系数较低的中空玻璃可采用双银 Low-E 玻璃、暖边间隔条、充惰性气体等构造。透明幕墙宜设置外遮阳措施。

4.5.3 玻璃幕墙的传热系数应按照现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定计算确定,计算幕墙传热系数所采用的边界条件应为实际工程的冬季计算条件。非透明幕墙的传热系数应按照其构造组成的各材料层热阻相加的方法计算,同时应将幕墙框架的热冷桥对非透明幕墙的传热系数影响计算在内。幕墙面板背后材料层不同时,应按照相应数值的面积加权平均计。

4.5.4 明框幕墙用金属型材应采用隔热型材或采取其他有效的隔热措施。隐框构造的外露金属护边宜采用隔热型材或其他组合材质护边。隔热构造及强度计算见附录 G。

4.5.5 玻璃幕墙层间梁位置宜采用中空玻璃,当采用单片玻璃或夹层玻璃时,应有防止层间玻璃及四周边框结露的有效措施。

4.5.6 透明玻璃幕墙应进行抗结露计算。抗结露计算应按照实际工程的冬季计算条件下幕墙型材和玻璃内表面温度是否低于露点温度为判定依据。

4.6 防 火 设 计

4.6.1 建筑幕墙的防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 及《浙江省消防技术规范难点问题操作技术指南》的规定。在幕墙面板上设置消防救援口应与建筑设计统一,数量、尺寸应符合相关规定。

4.6.2 幕墙防火封堵的承托板或支承构架应与主体结构牢固连接,缝隙应采用防火密封胶封闭。承托板、支承构架和连接件应能满足耐火时限要求。防火封堵在耐火时限内不应发生开裂或脱落。

4.6.3 幕墙与楼板边沿的实体墙和隔墙之间的缝隙、幕墙与建筑实体墙面间的空

腔以及建筑洞口边缘等部位的缝隙，均应采用防火封堵材料封堵，并应满足下列要求：

1 玻璃幕墙与建筑楼层边沿处应设置上下两道水平防火封堵构造。底部应采用厚度不小于 1.5mm 热浸镀锌钢板作承托板，与主体结构可靠连接，并采用厚度不小于 200mm 的岩棉、矿棉等耐高温、不燃材料填塞密实，上部外露部位应采用不燃材料覆盖。承托板与主体结构、幕墙构件以及承托板之间的接缝处应采用防火密封胶密封。封堵材料不应与玻璃直接接触。玻璃幕墙与楼板边沿实体墙的封堵间距不宜大于 200mm；

2 楼层边沿应有高度不小于 1.2m 的实体墙。当室内设置自动喷水灭火系统时，实体墙高度不应小于 0.8m。幕墙与实体墙的上下沿口应分别设置水平防火封堵。同一块玻璃幕墙面板不应跨越两个相邻的防火分区；

3 幕墙立柱与隔墙竖向防火封堵应连接牢固，封堵两侧应采用厚度不小于 1.5mm 的镀锌钢板封闭，空腔内密实填充不燃材料。防火封堵的厚度不宜小于 100mm 或建筑隔墙的厚度，缝隙应采用防火密封胶封闭；

4 非玻璃幕墙与建筑实体墙的间隙应设置水平防火封堵，与相邻防火封堵构造应连续封闭；

5 当建筑对水平防火封堵构造有通透要求时，可采用防火玻璃封堵，并应符合现行国家标准《建筑用安全玻璃 第 1 部分：防火玻璃》GB 15763.1 的规定，其耐火极限应符合设计要求。防火玻璃与其它构造间的缝隙应采用防火密封胶进行密封；

6 跨越变形缝的幕墙应在变形缝部位设置竖向防火封堵，防火封堵的填充材料应采用不燃材料，两侧采用 1.5mm 镀锌钢板进行封闭，并应紧密填实；

7 当建筑实体墙高度不满足规定时，应增设主体防火挑檐，燃烧性能应满足设计要求。

4.6.4 开放式幕墙防水背板与建筑实体墙之间的空腔应采取水平防火封堵。

4.6.5 幕墙设置消防排烟窗应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251 的规定。

4.6.6 在幕墙面板上设置消防救援口应与建筑设计统一。供消防救援人员进入的窗口应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定，并应满足下列要求：

1 窗口的净高度和净宽度均不应小于 1.0m，下沿距室内地面不宜大于 1.2m，间距不宜大于 20m 且每个防火分区不应少于 2 个，设置位置应与消防车登高操作场地相对应；

2 窗口采用玻璃时，应采用厚度不大于 8mm 的单片钢化玻璃或中空钢化玻璃，不得采用普通玻璃、半钢化玻璃或夹层玻璃。当窗口采用非玻璃材质时，应设置可方便开启的装置；

3 窗口应设置可在室外易于识别的明显标志。

4.6.7 双层幕墙的防火除符合上述规定外，还应符合下列规定：

1 内外层幕墙之间的金属支撑结构应进行防火保护，耐火极限不应低于 1.0h；

2 单楼层式双层幕墙应在每层设置层间防火封堵构造；

3 空气间层高度方向为两个层高的多楼层式双层幕墙应在分隔层设置层间防火封堵构造，在非分隔层设置不燃性防火挑檐或防火封堵系统；

4 箱体式双层幕墙的进风口与出风口之间的水平距离不应小于 0.5m。当水平距离小于 0.5m 时，应采取防火隔离措施；

5 当建筑高度小于或等于 50m 的民用建筑采用空气间层竖向（高度）为两个以上层高的多楼层式双层幕墙时，应每三层设置一道层间防火封堵构造及两道不燃性防火挑檐或防火封堵系统；

6 当建筑高度大于 50m 的民用建筑采用空气间层竖向（高度）为两个以上层高的多楼层式双层幕墙时，应每两层设置一道层间防火封堵构造，间隔层应设置不燃性防火挑檐或防火封堵系统；

7 内外层幕墙间距大于 2.0m 的整体式双层玻璃幕墙建筑，应设置自动喷水灭火系统，并在顶部和两侧设置敞开式自然排烟设施；

8 消防登高场地不宜设置在双层幕墙一侧。确需设置时，在对应消防救援窗位置，内层幕墙应设置可内外开启的门，内外层幕墙之间应设置连廊。

4.6.8 当建筑高度大于 250m 时，设置幕墙的建筑应在建筑外墙上、下层开口之间设置高度不小于 1.5m 的不燃性实体墙，且在楼板上的高度不应小于 0.6m；当采用防火挑檐替代时，防火挑檐的挑出宽度不应小于 1.0m、长度不应小于开口的宽度两侧各延长 0.5m。

4.6.9 玻璃采光顶与邻近建筑或设施净间距小于 6m 时，应有防止火灾蔓延的

措施。

4.7 防 雷 设 计

4.7.1 幕墙的防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057和现行行业标准《民用建筑电气设计规范》JGJ 16的有关规定。幕墙建筑应按建筑物的防雷分类等级采取防直击雷、侧击雷、雷电感应以及等电位连接措施。幕墙的防雷设计应符合电气设计专业要求。

4.7.2 建筑幕墙框架应与主体结构防雷系统可靠连接。除第一类防雷建筑物外，采用金属框架支承的幕墙、采光顶及金属屋面，宜采用外露金属本体作为接闪器，其材料规格应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057的规定，并按第二类建筑接闪器及其网格尺寸要求，与主体建筑防雷系统可靠连接或独立防雷接地。建筑幕墙防雷接地的电阻值，应满足主体防雷设计要求。

4.7.3 附设于建筑幕墙墙面上的金属构件、电气设施应采取措施防止直击雷和侧击雷，并与幕墙体系连接。

4.7.4 金属屋面宜利用金属面板及金属龙骨作为接闪器；女儿墙为金属压顶板时，宜利用金属压顶板作为接闪器；女儿墙压顶为石材或复合板等非导电材料时，应单独设置接闪器。

4.7.5 用作幕墙防雷连接的主要材料，其截面积应符合表 4.7.5 的规定。

表 4.7.5 防雷连接材料截面积 (mm²)

材料类别	截面积
铜质	≥16
铝质	≥25
钢质	≥50
不锈钢	≥50

4.7.6 构件式幕墙防雷构造：

- 1 隔热型材的内外侧金属型材应连接成电气通路；
- 2 幕墙框架金属构件相互间连接的接触面积不应小于 50mm²，构件连接部位有绝缘材料覆盖时，应采取措施形成有效的防雷电气通路；
- 3 幕墙立柱在套芯连接部位、幕墙与主体结构之间，防雷连接用材料的截面积应符合表 4.7.5 的规定；
- 4 金属幕墙的面板及其它外露金属部件，应与支承构件形成良好的电气贯

通。支承结构应与主体结构的防雷体系连通；

5 利用自身金属材料作为防雷接闪器的幕墙，其压顶板应选用厚度不小于2.5mm的铝单板。

4.7.7 单元式幕墙防雷构造：

1 幕墙型材有隔热构造时，应以等电位金属导体连接其内外侧金属材料，每一单元板块不少于两处；

2 单元板块横竖向型材均设有密闭橡胶条时，型材插口拼装连接处应采用等电位金属材料跨接，形成良好的电气通路，并按本标准第4.7.2条规定，与主体建筑防雷体系可靠连接。

4.7.8 双层幕墙的防雷设计应符合本的相关规定。双层幕墙的内外层幕墙的金属框架应与主体结构的防雷装置可靠连接，并保持导电畅通。

4.7.9 其它构造要求：

1 金属连接件（包括钢质绞线）采用焊接时，焊缝应作防腐蚀处理；

2 当采光顶未处于主体结构防雷保护范围时，应在采光顶的尖顶、屋脊及檐口部位设避雷带，并与其金属框架形成可靠连接；

3 光伏系统部件应采取防直击雷和侧击雷的措施，并采用共用接地方式。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 建筑幕墙应按外围护结构设计，结构设计基准期为 50 年并应满足建筑结构的规定。

5.1.2 幕墙结构设计应根据受力模型对幕墙面板、支承结构、连接件和锚固件等进行计算或复核，以确保幕墙的安全适用性。幕墙面板与其支承结构、支承结构与主体结构之间均应具有足够的相对位移能力。

5.1.3 幕墙结构设计应采用以概率理论为基础，以分项系数表达的极限状态设计方法，分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行结构设计：

1 承载能力极限状态

1) 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.1.3-1)$$

2) 地震设计状况：

$$S_E \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.1.3-2)$$

式中： S_d ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

R_d ——结构构件抗力设计值；

γ_0 ——结构构件重要性系数，应取不小于 1.0；

γ_{RE} ——结构构件承载力抗震调整系数，应取 1.0。

2 正常使用极限状态

$$d_f \leq d_{f,lim} \quad (5.1.3-3)$$

式中： d_f ——幕墙构件在荷载标准组合作用下的挠度值；

$d_{f,lim}$ ——结构构件挠度限值。

3 对双向受弯杆件，两个方向的挠度应分别符合本条第 2 款的规定。

5.1.4 结构构件的受拉承载力应按净截面计算，受压承载力应按有效净截面计算，稳定性应按有效截面计算，构件的变形和稳定系数可按毛截面计算。

5.1.5 采用螺栓连接、挂接或插接的幕墙构件，应采取可靠的防松动、防滑移、防脱措施。

5.1.6 幕墙构件应根据实际结构形式计算各设计状况下的弯矩、剪力和轴力。

5.1.7 屋顶幕墙结构距离屋面高度超过 5m 时，应设置主体结构用于幕墙框架的支承。

5.2 荷载与地震作用

5.2.1 幕墙风荷载标准值应按下式计算，并且不应小于 1.0kN/m^2 。

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z w_0 \quad (5.2.1)$$

式中： w_k ——风荷载标准值(kN/m^2)；

β_{gz} ——阵风系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用；

μ_{s1} ——风荷载局部体型系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用。对于体型或风荷载环境复杂的幕墙结构，宜采用风洞试验或数值风洞方法予以确定；

μ_z ——风压高度变化系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用；

w_0 ——基本风压(kN/m^2)，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用。

5.2.2 超高层、体型不规则或风环境复杂的幕墙结构，风荷载标准值应采用风洞试验或数值风洞方法确定，幕墙高度大于200m时应进行风洞试验确定。

5.2.3 与水平方向夹角小于 75° 的建筑幕墙，还应考虑雪荷载、活荷载和积灰荷载。

5.2.4 除索网幕墙外，幕墙结构的地震作用标准值可按以下方法计算：

1 垂直于幕墙平面的分布水平地震作用标准值可按下式计算：

$$q_{Ek} = \beta_E \alpha_{\max} G_k / A \quad (5.2.4-1)$$

式中： q_{Ek} ——垂直于幕墙平面的分布水平地震作用标准值(kN/m^2)；

β_E ——动力放大系数，可取不小于 5.0；

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值，应符合表 5.2.4 的规定；

G_k ——计算对象及所支承幕墙构件的重力荷载标准值(kN)；

A ——幕墙构件平面面积(m^2)。

表 5.2.4 水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
$\alpha_{\max}$	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)

注：括号中数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.30g的地区

2 平行于幕墙平面的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

$$P_{\text{Ek}} = \beta_{\text{E}} \alpha_{\max} G_{\text{k}} \quad (5.2.4-2)$$

式中： P_{Ek} ——平行于幕墙平面的集中水平地震作用标准值(kN)。

5.3 作用效应组合与计算

5.3.1 幕墙结构可按弹性方法计算，计算模型应与构件连接的实际情况相符合，计算假定应与结构的实际工作性能相符合。规则构件可按解析或近似公式计算作用效应，复杂边界或荷载的构件，可采用有限元方法计算作用效应。

5.3.2 大位移幕墙结构的作用效应计算应考虑几何非线性影响。压弯构件、复杂结构体系、桁架支承结构及其它大跨度结构应考虑结构和构件的稳定性。

5.3.3 考虑几何非线性影响计算幕墙结构时，应先进行荷载与作用的组合，再计算组合荷载与作用的效应。采用线弹性方法计算幕墙结构时，可先计算各荷载与作用的效应，再进行荷载与作用效应的组合。

5.3.4 计算幕墙构件承载力极限状态时，其作用或效应的组合应符合下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况：

$$S_d = \gamma_G S_{GK} + \psi_w \gamma_w S_{wk} + \psi_T \gamma_T S_{Tk} \quad (5.3.4-1)$$

2 地震设计状况：

$$S_d = \gamma_G S_{GK} + \psi_E \gamma_E S_{Ek} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (5.3.4-2)$$

式中： S_d ——作用组合的效应设计值；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；

S_{Ek} ——地震作用效应标准值；

S_{Tk} ——温度作用效应标准值，对变形不受约束的支承结构及构件，可取0；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_w ——风荷载分项系数；

γ_E ——地震作用分项系数；

γ_T ——温度作用分项系数；

ψ_w ——风荷载的组合值系数；

ψ_E ——地震作用的组合值系数；

ψ_T ——温度作用的组合值系数。

5.3.5 幕墙构件的承载力设计时，作用分项系数应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的规定，并按下列规定取值：

1 当作用效应对承载力不利时，永久荷载、风荷载、地震作用、温度作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E 、 γ_T 应分别取1.3、1.5、1.3和1.5；

2 当永久荷载对承载力有利时，其分项系数的取值不应大于 1.0；

3 对施加预应力的幕墙体系，应增加预加应力产生的组合效应；预应力作用效应对承载力不利时其分项系数应取 1.3，有利时取 1.0。

5.3.6 幕墙构件承载力设计时，可变作用的组合值系数应按下列规定采用：

1 持久设计状况、短暂设计状况且风荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 1.0，温度荷载组合值系数 ψ_T 应取 0.6；

2 持久设计状况、短暂设计状况且温度荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 0.6，温度荷载组合值系数 ψ_T 应取 1.0；

3 地震设计状况时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 0.2；

4 对施加预应力的幕墙体系，预加应力组合值系数应取 1.0。

5.3.7 幕墙构件的挠度验算时，仅考虑永久荷载、风荷载、温度荷载作用。永久荷载分项系数 γ_G 、风荷载分项系数 γ_w 、温度荷载分项系数 γ_T 均应取1.0，且可不考虑作用组合。施加预应力的幕墙体系应考虑预加应力的作用组合，预应力分项系数 γ_p 应取1.0。

5.4 连接设计

5.4.1 建筑幕墙应与主体结构可靠连接。连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。与主体结构或埋件直接连接的连接件厚度应经计算确定，钢质连接件厚度不应小于 5mm，铝合金连接件厚度不应小于

8mm。

5.4.2 幕墙立柱宜悬挂在主体结构上，与主体结构的连接节点应有可靠的防松、防脱和防滑措施。

5.4.3 幕墙构件采用隔热断桥构造时，应对内外型材之间的连接强度进行验算，隔热型材中的隔热材料不宜承受或传递荷载，应采用可靠的连接构造，将隔热材料外的荷载传至内侧的受力构件。

5.4.4 构件连接应作承载力验算。钢结构之间连接可采用螺栓连接或焊接，铝合金结构之间可采用螺钉或螺栓连接。螺钉或螺栓应采用不锈钢材质。

5.4.5 幕墙结构与主体结构宜通过预埋件连接，预埋件应在主体结构施工时埋入。当没有条件采用预埋件连接时，应采用其它可靠的连接措施，并通过试验确定其承载力。

5.4.6 由锚板 and 对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件，应按本标准附录A的规定进行设计。

5.4.7 槽型预埋件应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定，并宜通过试验确定其承载力。槽型预埋件的设计与构造见附录B。

5.4.8 幕墙结构与主体结构采用后置埋件连接时，锚栓、锚板布置应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的规定，并应满足下列要求：

1 后置埋件用锚栓可选用扩底型机械锚栓、特殊倒锥形化学锚栓等性能可靠的锚栓，不得使用膨胀型锚栓和普通化学锚栓；

2 锚栓直径和数量应通过承载力计算确定。锚栓直径不应小于10mm，每个后置埋件上不应少于2个锚栓，同一锚板应采用同类型锚栓；

3 锚栓在可变荷载作用下的承载力设计值应取其承载力标准值除以系数2.15；在永久荷载作用下的承载力设计值应取其承载力标准值除以系数2.5；

4 后置锚栓抗拔承载力应按照现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的规定进行现场检测，现场检测值不应小于其设计值的2倍；

5 在与特殊倒锥形化学锚栓接触的连接件上进行焊接操作时，应提供锚栓的耐高温测试报告，并充分考虑焊接对锚栓承载力和锚固性能的影响；

6 防火幕墙后锚固应采用扩底型机械锚栓等耐火性能可靠的锚栓。

5.4.9 轻质填充墙不应作为幕墙的支承结构。幕墙与砌体结构确需连接时，应在

连接部位的主体结构上增加钢筋混凝土或钢结构梁、柱，不得在砌体结构采用对穿螺栓连接。

5.4.10 幕墙与主体结构连接的钢构件宜在主体结构加工时完成，不宜在现场焊接。未经主体结构设计同意，现场不得在钢结构柱、梁上焊接各类转接件。

5.4.11 螺栓、螺钉和铆钉连接计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018、《铝合金结构设计规范》GB 50429的相关规定。

5.4.12 幕墙构件和连接计算分析模型应与实际受力状态一致。应考虑面板重力偏心和其他连接偏心产生的影响。

5.5 硅酮结构密封胶设计

5.5.1 硅酮结构密封胶的粘接宽度和粘接厚度应经计算确定。粘接厚度不应小于6mm，不宜大于12mm。粘接宽度宜大于厚度且不小于7mm，当采用单组份硅酮结构密封胶时不宜大于厚度的2倍。

5.5.2 硅酮结构密封胶应根据不同的受力情况进行承载力极限状态验算。在风荷载、水平地震作用下，硅酮结构密封胶的拉应力或剪应力设计值不应大于其强度设计值 f_1 ， f_1 应取 0.2N/mm^2 ；在永久荷载作用下，硅酮结构密封胶的拉应力或剪应力设计值不应大于其强度设计值 f_2 ， f_2 应取 0.01N/mm^2 。严禁硅酮结构密封胶单独承受长期剪力。

5.5.3 隐框、半隐框玻璃幕墙中，玻璃和铝框之间硅酮结构密封胶的粘接宽度 c_s ，应根据受力情况分别按下列规定计算，取第1、2、3款计算的较大值。

1 在风荷载和水平地震作用下，粘接宽度 c_s 应按下列公式计算：

$$c_s = \frac{(q_E + 0.2w)a}{2000 f_1} \quad (5.5.3-1)$$

式中： c_s ——硅酮结构密封胶的粘接宽度（mm）；

w ——作用在计算单元上的风荷载设计值（ kN/m^2 ）；

a ——矩形玻璃板的短边边长（mm）；

f_1 ——硅酮结构密封胶在风荷载或地震作用下的强度设计值，取 0.2N/mm^2 。

q_E ——作用在计算单元上的地震作用设计值（ kN/m^2 ）。

2 在永久荷载作用下，粘接宽度 c_s 应按下式计算：

$$c_s = \frac{q_G ab}{2000(a+b)f_2} \quad (5.5.3-2)$$

式中： q_G ——幕墙面板单位面积重力荷载设计值（ kN/m^2 ）；

a 、 b ——分别为矩形面板的短边和长边长度（ mm ）；

f_2 ——硅酮结构密封胶在永久荷载作用下的强度设计值，取

0.01N/mm^2 。

5.5.4 水平倒挂的半隐框玻璃和铝框之间硅酮结构密封胶的粘接宽度 c_s 应按下式计算：

$$c_s = \frac{wa}{2000f_1} + \frac{q_G a}{2000f_2} \quad (5.5.4)$$

5.5.5 硅酮结构密封胶的粘接厚度 t_s 不应小于 6mm，不宜大于12mm，并下式计算确定：

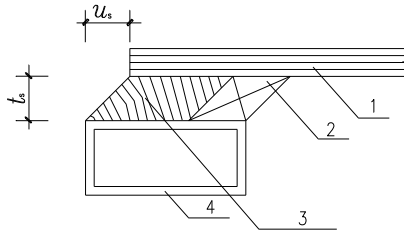


图 5.5.5 结构硅酮密封胶变形示意

1——玻璃；2——垫条；3——硅酮结构密封胶；4——铝合金框

$$t_s \geq \frac{u_s}{3\delta} \quad (5.5.5-1)$$

$$u_s = \eta[\theta]h_g \quad (5.5.5-2)$$

式中： t_s ——硅酮结构密封胶的粘接厚度（ mm ）；

u_s ——幕墙玻璃相对于铝合金框的位移（ mm ），必要时应考虑温度变化产生的相对位移；

η ——硅酮结构胶厚度方向剪切位移影响系数，取0.6；

$[\theta]$ ——风荷载标准值作用下主体结构的楼层弹性层间位移角限值（ rad ）；

h_g ——玻璃面板高度（ mm ），取其边长 a 或 b ；

δ ——硅酮结构密封胶的变位承受能力，取对应于其受拉应力为 0.14

N/mm^2 时的伸长率。根据硅酮结构密封胶生产商提供的结构胶拉伸

试验的应力应变曲线图选用。

5.5.6 隐框、半隐框中空玻璃的二道密封硅酮结构胶应能承受外侧面板传递的荷载作用，其有效宽度应按本标准第5.5.3条和第5.5.4条的规定计算，且不应小于7mm。

6 面板设计

6.1 一般规定

6.1.1 根据建筑物功能、建筑设计、建筑节能要求以及技术经济指标，选择面板的材料种类和构造形式，并应符合现行国家规范及标准。

6.1.2 幕墙面板的反射率、色泽及图案应符合建筑设计的要求，并应满足节能环保及绿色建筑要求。

6.1.3 面板设计应符合材质性能、加工制作、运输安装和维护更换的要求。

6.1.4 面板应与支承结构可靠连接，应根据面板的材质、截面形状和建筑装饰要求确定，并应满足由风荷载、雪荷载和地震、温度作用等产生平面内和垂直于平面的强度及挠度要求。面板的挠度应符合表 4.2.1-2 的规定。

6.2 玻璃面板

6.2.1 玻璃幕墙外片玻璃应采用安全夹层玻璃、超白钢化玻璃或者均质钢化玻璃及其制品，其中，商业中心、交通枢纽、公共文化体育设施等人员密集、流动性大的区域内的建筑，临街建筑和因幕墙玻璃坠落容易造成人身伤害、财产损失的其他情形的建筑，二层以上部位外片玻璃应采用安全夹层玻璃，并应满足幕墙的使用功能。外倾斜玻璃幕墙朝地面侧应采用夹层玻璃。

6.2.2 处于人员流动密度大或青少年、幼儿活动等场所，容易发生物体和人体冲击的玻璃面板应采用夹层玻璃，对使用中容易受到撞击的部位应设置防撞措施。

6.2.3 幕墙用钢化玻璃允许面积应符合表6.2.3-1的规定：

表 6.2.3-1 钢化玻璃允许面积（m²）

公称厚度	允许面积
6mm	≤3
8mm	≤4
10mm	≤5
12mm	≤6
15mm, 19mm	供需双方商定

注：当采用 10mm 及以上超白平板玻璃的钢化玻璃，其面积可适当加大。

幕墙用夹层玻璃允许面积应符合表 6.2.3-2 的规定：

表 6.2.3-2 夹层玻璃允许面积 (m²)

公称厚度 (mm)	允许面积
6.38 6.76 7.52	3.0
8.38 8.76 9.52	5.0
10.38 10.76 11.52	7.0
12.38 12.76 13.52	8.0

6.2.4 玻璃厚度应经过强度和挠度计算确定,玻璃幕墙单片玻璃的厚度不应小于 6mm,夹层玻璃的单片厚度不应小于 5mm;夹层玻璃、中空玻璃的单片玻璃厚度相差不宜大于 3mm。

6.2.5 高度大于 100m 时不宜采用隐框玻璃幕墙,确需采用时应在面板和支承结构之间采取除硅酮结构胶以外的防面板脱落构造措施。

6.2.6 玻璃幕墙转角处玻璃悬挑不宜超过 300mm 及玻璃宽度的 1/10。

6.2.7 四边支承单片玻璃在垂直于玻璃幕墙平面的风荷载和地震作用下,最大应力应符合下列规定:

1 最大应力标准值按几何非线性有限元方法计算,也可按下列公式计算:

$$\sigma_{wk} = \frac{6mw_k a^2}{t^2} \eta \quad (6.2.7-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} a^2}{t^2} \eta \quad (6.2.7-2)$$

$$\theta = \frac{w_k a^4}{Et^4} \text{ 或 } \theta = \frac{(q_{Ek} + 0.2w_k) a^4}{Et^4} \quad (6.2.7-3)$$

式中: θ ——参数;

σ_{wk} 、 σ_k ——分别为风荷载、地震作用下玻璃截面的最大应力标准值 (N/mm²);

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于玻璃幕墙平面的风荷载、地震作用标准值 (N/mm²);

a ——矩形玻璃板材短边边长 (mm);

t ——玻璃的厚度 (mm);

E ——玻璃的弹性模量 (N/mm²);

m ——弯矩系数,可由玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表 6.2.7-1 采用;

η ——折减系数，可由参数 θ 按表 6.2.7-2 采用。

表 6.2.7-1 四边支承玻璃板的弯矩系数 m

a/b	0.01	0.25	0.33	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
m	0.125	0.1230	0.1180	0.1115	0.600	0.0934	0.0868	0.0804
a/b	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	—
m	0.0742	0.0683	0.0628	0.0576	0.0528	0.0483	0.0442	—

表 6.2.7-2 折减系数 η

θ	≤ 5	10	20	40	60	80	100
η	1.00	0.96	0.92	0.84	0.78	0.73	0.68
θ	120	150	200	250	300	350	≥ 400
η	0.65	0.61	0.57	0.54	0.52	0.51	0.50

2 最大应力设计值应按本标准 5.3.4 规定组合；

3 最大应力设计值不应超过玻璃中部强度设计值 f_g 。

6.2.8 四边支承的单片玻璃在风荷载作用下的跨中挠度，应符合下列规定：

1 玻璃的刚度 D 按下式计算：

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.2.8-1)$$

式中： D ——玻璃刚度（ $N \cdot mm$ ）；

t ——玻璃厚度（ mm ）；

ν ——泊松比，可按本标准采用。

2 玻璃跨中挠度按几何非线性有限元方法计算，也可按下式计算：

$$d_f = \frac{\mu W_k a^4}{D} \eta \quad (6.2.8-2)$$

式中： d_f ——在风荷载标准值作用下挠度最大值（ mm ）；

W_k ——垂直于玻璃幕墙平面的风荷载标准值（ N/mm^2 ）；

μ ——挠度系数，由玻璃面板短边与长边边长之比 a/b 按表 6.2.8 采用；

η ——折减系数，按本标准表 6.2.7-2 采用。

表 6.2.8 四边支承板的挠度系数 μ

a/b	0.01	0.20	0.25	0.33	0.50
μ	0.01302	0.01297	0.01282	0.01223	0.0613
a/b	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
μ	0.00940	0.00867	0.00796	0.00727	0.00663
a/b	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.00603	0.00547	0.00496	0.00449	0.00406

3 在风荷载标准值作用下，四边支承玻璃的挠度限值 $d_{f,lim}$ 按其短边边长 1/60 采用。

6.2.9 四边支承的夹层玻璃荷载应按下列规定计算：

1 作用于夹层玻璃的风荷载和地震作用按下列公式分配至两片玻璃：

$$w_{k1} = w_k \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (6.2.9-1)$$

$$w_{k2} = w_k \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (6.2.9-2)$$

$$q_{Ek1} = q_{Ek} \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (6.2.9-3)$$

$$q_{Ek2} = q_{Ek} \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} \quad (6.2.9-4)$$

式中： w_k ——作用于夹层玻璃上的风荷载标准值（ N/mm^2 ）；

w_{k1} 、 w_{k2} ——分配到各单片玻璃的风荷载标准值（ N/mm^2 ）；

q_{Ek} ——作用于夹层玻璃上的地震作用标准值（ N/mm^2 ）；

q_{Ek1} 、 q_{Ek2} ——分配到各单片玻璃的地震作用标准值（ N/mm^2 ）；

t_1 、 t_2 ——各单片玻璃的厚度（mm）。

2 两片玻璃应力分别按本标准第 6.2.7 条计算；

3 玻璃挠度计算按本标准第 6.2.8 条计算，玻璃刚度 D 采用等效厚度 t_e ，计算公式：

$$t_e = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} \quad (6.2.9-5)$$

式中： t_e ——夹层玻璃的等效厚度（mm）。

6.2.10 四边支承的中空玻璃应按下列规定计算：

1 风荷载标准值按下列公式分配至两片玻璃：

1) 直接承受风荷载作用的单片玻璃：

$$w_{k1}=1.1w_k \frac{t_1^3}{t_1^3+t_2^3} \quad (6.2.10-1)$$

2) 不直接承受风荷载作用的单片玻璃:

$$w_{k2}=w_k \frac{t_2^3}{t_1^3+t_2^3} \quad (6.2.10-2)$$

2 作用于中空玻璃上的地震作用标准值 q_{Ek1} 、 q_{Ek2} , 根据各单片玻璃的自重, 按照本标准 5.2 的规定计算;

3 两片玻璃应力计算分别按本标准公式 6.2.7 计算;

4 中空玻璃的挠度按本标准 6.2.8 计算, 但计算玻璃刚度 D 时应采用等效厚度 t_e 按下式计算:

$$t_e=0.95 \sqrt[3]{t_1^3+t_2^3} \quad (6.2.10-3)$$

6.2.11 四边支承的中空单面夹层玻璃按下列规定计算:

1 将夹层玻璃按 6.2.9 换算成等效厚度 t_e , 再按 6.2.10 的规定作中空玻璃计算;

2 地震作用标准值 q_{Ek1} 、 q_{Ek2} 、 q_{Ek3} , 按 6.2.9 换算成等效厚度, 按照本标准规定计算;

3 三片玻璃应力按本标准第 6.2.7 条公式的规定计算;

4 中空夹层玻璃的挠度按本标准第 6.2.10 条的规定计算, 但计算玻璃刚度 D 时应采用等效厚度 t_e 按下式计算:

$$t_e=0.95 \sqrt[3]{t_1^3+t_2^3+t_3^3} \quad (6.2.11)$$

5 内外夹层中空玻璃可按上述规定推理计算。

6.2.12 在垂直于幕墙平面的风荷载和地震作用下, 四点支承玻璃面板的应力和挠度应符合下列规定:

1 最大应力标准值和最大挠度宜按考虑几何非线性有限元方法计算, 也可按下列公式计算:

$$\sigma_{wk} = \frac{6mw_k b^2}{t^2} \eta \quad (6.2.12-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} b^2}{t^2} \eta \quad (6.2.12-2)$$

$$d_f = \frac{\mu w_k b^4}{D} \eta \quad (6.2.12-3)$$

$$\theta = \frac{w_k b^4}{Et^4} \text{ 或 } \theta = \frac{(q_{Ek} + 0.2w_k)b^4}{Et^4} \quad (6.2.12-4)$$

式中： θ ——参数；

σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用下玻璃截面的最大应力标准值
(N/mm²)；

d_f ——在风荷载标准值作用下挠度最大值(mm)；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于玻璃幕墙平面的风荷载、地震作用标准值
(N/mm²)；

b ——支承点间玻璃面板长边边长 (mm)；

t ——玻璃的厚度 (mm)；

m ——弯矩系数，可由支承点间玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表
6.2.12-1 采用；

μ ——挠度系数，可由支承点间玻璃板短边与长边边长之比 a/b 按表
6.2.12-2 采用；

η ——折减系数，可由参数 θ 按表 6.2.7-2 采用；

D ——玻璃面板的刚度，可按公式 (6.2.8) 计算(N·mm)。

表 6.2.12-1 四点支承玻璃板的弯矩系数 m

a/b	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
m	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134	0.136
a/b	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	—
m	0.138	0.140	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	—

注： a 为支承点之间的短边边长。

表 6.2.12-2 四点支承玻璃板的挠度系数 μ

a/b	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
μ	0.01302	0.01317	0.01335	0.01367	0.01417	0.01451	0.01496
a/b	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
μ	0.01555	0.01630	0.01725	0.01842	0.01984	0.02157	0.02363

a/b	1.00	—	—	—	—	—	—
μ	0.02603	—	—	—	—	—	—

注：a 为支承点之间的短边边长。夹板式支承可取玻璃边长。

2 玻璃面板最大应力设计值应按本标准第 5.3 节的规定进行组合，并不应超过玻璃中部强度设计值 f_g ；

3 在风荷载标准值作用下，点支承玻璃面板的最大挠度 d_f 不宜大于其支承点间长边边长的 1/60。

6.2.13 明框幕墙的面板应嵌装在镶有弹性胶条的立柱、横梁的槽口内，或采用压板与立柱、横梁固定。明框玻璃的外压板及其连接应能承受玻璃面板的荷载和地震作用，截面受力部分的厚度不应小于 2.0mm，且不宜小于压板宽度的 1/35。外压板应采用螺栓与横梁、立柱可靠固定。

6.2.14 明框幕墙单层玻璃、夹层玻璃与型材槽口的配合尺寸应符合表 6.2.14 的规定。尺寸 C 应满足玻璃面板温度变化和幕墙平面内变形量，同时应考虑玻璃加工尺寸偏差，安装误差。玻璃面板与槽口之间应可靠密封。

表 6.2.14 单层玻璃、夹层玻璃与槽口的配合尺寸 (mm)

厚度 t	a	b	c	检测方法
6	≥ 3.5	≥ 15	≥ 5	卡尺
8~10	≥ 4.5	≥ 16	≥ 5	卡尺
12 以上	≥ 5.5	≥ 18	≥ 5	卡尺

注：夹层玻璃按总厚度计算。

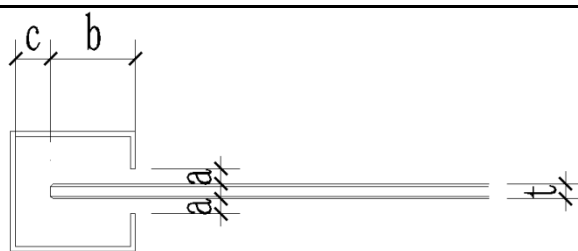


图 6.2.14 单层玻璃、夹胶玻璃与槽口的配合尺寸示意图

6.2.15 明框幕墙中空玻璃、中空夹层玻璃面板与型材槽口的配合尺寸应符合下表的规定。尺寸 c 应满足玻璃面板温度变化和幕墙平面内变形量及施工偏差。玻璃面板与槽口之间应可靠密封。

表 6.2.15 中空玻璃、中空夹层玻璃与槽口的配合尺寸 (mm)

厚度 t	a	b	c	检测方法
$6 + d_a + 6$	≥ 5	≥ 17	≥ 5	卡尺
$8 + d_a + 8$ 及以上	≥ 6	≥ 18	≥ 5	卡尺
注: d_a 为气体层厚度。				

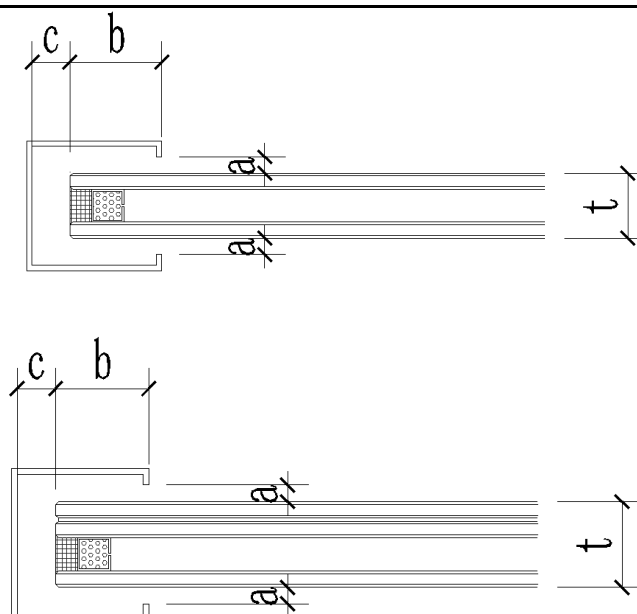


图 6.2.15 中空玻璃、中空夹层玻璃与槽口的配合尺寸示意图

6.2.16 明框玻璃面板应通过定位承托胶垫或托条将玻璃重量传递给支承构件,不得由隔热条承受玻璃自重。当采用胶垫直接承受玻璃自重时,数量不少于 2 块,厚度不小于 5mm,长度不小于 100mm,宽度与玻璃面板厚度相等,满足承载要求。当采用托条承受玻璃自重时,可用铝合金或不锈钢板材,长度不应小于 100mm,厚度不应小于 2mm,托条上应设置衬垫,并能托住外片玻璃,托条应与框架可靠连接,并应进行强度、挠度及连接构造的强度验算。

6.2.17 横向隐框的玻璃幕墙每块玻璃的下端应设置不少于两个的金属承托条,托条应与玻璃幕墙支承框架有效可靠连接。托条可采用铝合金或不锈钢材料,其长度不应小于 100mm,厚度不应小于 2mm。托条上应设置衬垫,并能托住中空玻璃的外片玻璃,托条的构造设置及连接应能承受各片玻璃面板的自重荷载。托条应验算在玻璃自重荷载及地震作用下自身的强度、挠度及连接构造的强度。

6.2.18 隐框、半隐框幕墙玻璃面板,隐框边采用结构密封胶与副框粘结时,应采用压块将副框固定至支承框架上。其构造应符合下列规定:

1 铝合金副框应有足够的刚度，在角部有可靠连接，其截面壁厚不应小于 2.0mm，外形宽度不宜小于 20mm，高度不宜小于 12mm；

2 隐框玻璃面板硅酮结构密封胶粘结宽度和厚度计算应符合本标准第 5.5 节的规定，与面板玻璃的粘结应在工厂制作一体完成；

3 固定副框用压块宜采用铝合金挤压型材，其最小处的截面厚度不宜小于 5mm。压块的长度应经计算确定，且不小于 40mm。与面板玻璃副框连接搭接量不宜小于 10mm，压板端部与副框内侧的间隙不应小于 5mm。压块距玻璃上下边缘应不大于 100mm；

压块与支承框架的连接应采用不锈钢螺栓或螺钉，连接数量应经计算确定，且直径不应小于 5.0mm。压块及螺钉的间距应不大于 350mm。压块不应采用自攻螺钉或自攻自钻螺钉连接。

6.2.19 隐框玻璃幕墙用中空玻璃合片用硅酮结构密封胶的位置和中空玻璃与副框粘接用硅酮结构密封胶的位置应重合。因特殊结构需要，确需采用玻璃飞边或者中空玻璃采用大小片构造时，应至少确保在一组对边位置的硅酮结构密封胶重合。结构胶的宽度 C_s 和厚度 t_s 应经计算确定，隐框用中空玻璃的结构胶宽度 C_{s1} 应按本标准第 5.5.3 条和第 5.5.4 条的规定计算。

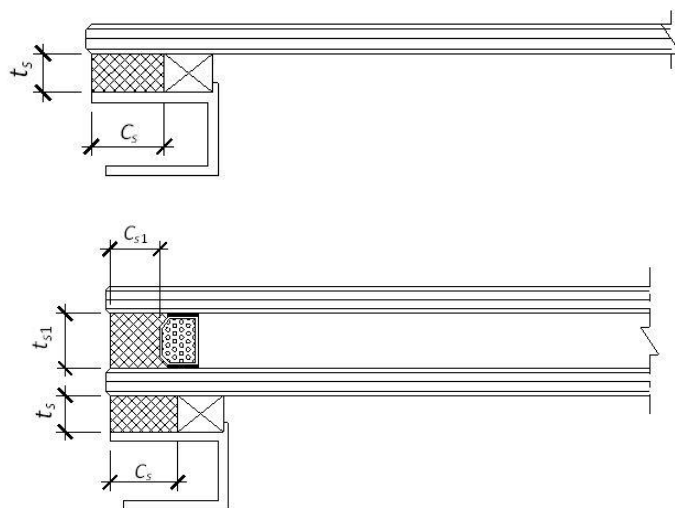


图 6.2.19 隐框玻璃板块结构胶尺寸及位置配合示意图

6.3 金属面板

6.3.1 金属面板可以采用铝锰或铝镁合金板、不锈钢板、彩色涂层钢板、铜合金板、钛合金板、搪瓷涂层钢板等不同的材质，可采用弧形、压型、异型等不同的

外形和制作方式。

6.3.2 单层金属面板可采用角码连接、挂钩连接、副框压板连接等形式与框架连接，单层铝合金板厚度不应小于 2.5mm，单层不锈钢平板不应小于 1.5mm，彩色钢板和合金钢板厚度不应小于 1.2mm。

6.3.3 金属面板上不宜采用螺钉、铆钉固定支承构件。确需应用时，应采用与硅酮结构密封胶相结合的受力形式或与幕墙框架连接，并应校核其强度，满足设计要求。

6.3.4 金属板可根据受力要求设置加强肋，并应符合下列要求。

1 加强肋可采用金属方管、槽形或角形型材制作，铝合金型材壁厚不应小于 2.5mm，且不小于面板厚度，钢型材壁厚不应小于 2.0mm，相邻间距不宜大于 400mm；

2 加强肋与金属面板背面连接可采用种植螺钉或硅酮结构密封胶的连接。采用螺钉连接时，连接螺钉不宜小于 5.0mm，相邻间距不宜大于 300mm；采用硅酮结构密封胶粘结时，胶缝尺寸应满足设计要求。

3 加强肋应与边肋或折边可靠连接，中肋与中肋的连接应满足传力要求。钢铝不同材料连接时应有防电化腐蚀措施。

6.3.5 四边支承金属面板弯曲应力计算应符合下列规定：

1 折边和肋所形成的面板区格，沿板材四周边缘按简支边计算，中肋支承线可按固定边计算；

2 在垂直于面板的荷载、地震作用下，面板最大弯曲应力标准值可按几何非线性有限元方法计算，也可按下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{6mW_k a^2}{t^2} \quad (6.3.5-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{EK} a^2}{t^2} \quad (6.3.5-2)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——板中最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

w_k ——风荷载标准值（N/mm²）；

q_{EK} ——垂直于板面方向的地震作用标准值（N/mm²）；

a ——面板区格短边边长（mm）；

m ——弯矩系数；

t——面板厚度（mm）。

3 中肋支承线上的弯曲应力标准值，取板格两侧固端弯矩的平均值计算；

4 面板在荷载作用下产生大挠度变形时，将公式（6.3.5-1）和（6.3.5-2）计算的应力值乘以折减系数 η （按表6.3.5采用）。

表6.3.5 折减系数 η

θ	5	6	20	40	60	80	60
η	1.00	0.95	0.90	0.81	0.74	0.69	0.64
θ	120	150	200	250	300	350	400
η	0.61	0.54	0.50	0.46	0.43	0.41	0.40

表中 θ 按公式（6.3.5-3）计算：

$$\theta = \frac{\omega_k a^4}{Et^4} \text{ 或 } \theta = \frac{(\omega_k + 0.6q_{EK})a^4}{Et^4} \quad (6.3.5-3)$$

式中： w_k ——风荷载标准值（N/mm²）；

q_{EK} ——垂直于面板方向的地震作用标准值（N/mm²）；

a ——面板区格短边的边长（mm）；

t ——面板的厚度（mm）；

E ——面板的弹性模量（N/mm²）。

6.3.6 在组合荷载作用下，面板的挠度应符合下列规定：

1 面板区格的跨中挠度可采用几何非线性形有限元方法计算，也可按下列公式简化计算：

$$d_f = \frac{\mu \omega_k a^4}{D} \eta \quad (6.3.6-1)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.3.6-2)$$

式中： d_f ——挠度最大值（mm）；

w_k ——垂直于面板的风荷载标准值（N/mm²）；

a ——面板区格短边边长（mm）；

t ——面板厚度（mm）；

E ——面板弹性模量（N/mm²）；

μ ——挠度系数（按表 6.2.8 采用）；

D ——面板弯曲刚度（N·mm）；

η ——折减系数；

ν ——泊松比。

2 在荷载标准值作用下，面板挠度限值 $d_{f,lim}$ 宜按其区格计算短边边长的 1/60 采用。

6.3.7 方形或矩形面板上作用的荷载可按三角形或梯形分布传递到板肋上，其它多边形可按对角线原则分配荷载（图6.3.7）。板肋上作用的荷载按等弯矩原则简化为等效均布荷载。

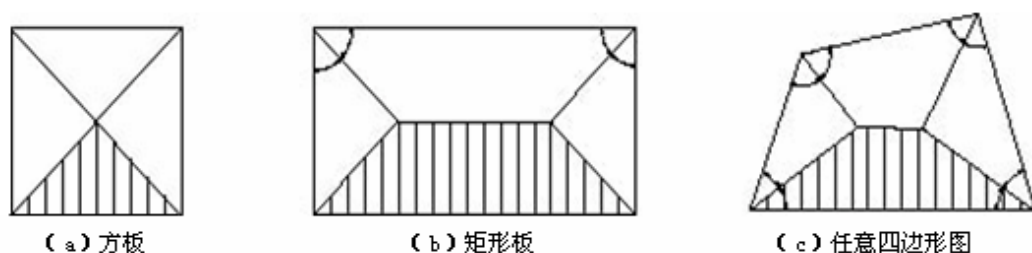


图6.3.7 荷载分布图

6.3.8 加强肋应有足够的刚度。在组合荷载标准值作用下，铝合金加强肋挠度限值 $d_{f,lim}$ 宜按中肋跨度的 1/180 采用，钢材加强肋挠度限值 $d_{f,lim}$ 宜按中肋跨度的 1/250 采用。四边支承面板的边肋截面尺寸可按构造要求设计计算。单跨中肋按简支梁计算；多跨交叉肋按梁系计算，刚性连接可按本标准附录 D 的规定计算。

6.3.9 金属面板可采用角码连接、挂钩连接、副框压板连接等形式与框架连接，连接部位应满足设计承载力要求。

6.3.10 金属面板采用角码连接方式时，其构造应符合下列规定：

- 1 金属面板应折边，折边宽度不小于 25mm，并设置固定角码为连接件；
- 2 角码采用铝合金型材或不锈钢制品。铝合金角码的截面厚度不应小 3mm，不锈钢角码的截面厚度不应小于 2.5mm，角码连接件的长度不宜小于 40mm，角码与折边处应采用实心铝铆钉或不锈钢抽芯铆钉连接，铆钉直径不应小 4.0mm，每个角码的连接铆钉不应少于 2 个；
- 3 金属板材周边可采用螺栓、螺钉或自钻自攻螺钉与幕墙框架固定，数量应经计算确定，直径不应小于 4.0mm，相邻间距不应大于 350mm。

6.3.11 金属面板采用两侧挂钩连接方式时，其构造应符合下列规定：

- 1 直接采用金属面板折边设置挂钩槽口的面板厚度不应小于 3mm，其折边

宽度不小于25mm，挂钩槽口中心至挂钩边缘不应小于15mm，且挂钩安装后的水平净宽度不应小于10mm，有效挂接深度不应小于10mm，挂槽与挂销之间的配合应能有效吸收温度作用及加工、安装偏差，并应设置防松动、防噪声、防脱落的构造措施；

2 挂钩销钉应采用不锈钢材质，直径经计算确定且不小于6mm，金属面板销钉挂钩的间距不宜大于450mm。支承框架上设置的挂钩螺栓、螺钉或钢销钉应满足承载力要求；

3 当金属面板另行设置挂钩连接件与支承框架连接时，挂钩连接件宜采用不锈钢或铝合金材料制成。不锈钢材料截面厚度不应小于2.5mm，铝合金材料不应小于3.0mm。连接件的长度不宜小于80mm；

4 另设挂钩连接件与金属面板宜采用不锈钢螺栓连接，也可采用实心铝铆钉或不锈钢抽芯铆钉连接，其直径不应小于 5.0mm，每一连接件的连接铆钉或螺栓不应少于2个；

5 挂钩连接不应用于挑沿、压顶、出屋面女儿墙及外挑构件等风荷载敏感部位。

6.3.12 单层金属面板采用副框压板连接方式时，其构造应符合下列规定：

1 铝合金副框应有足够的刚度，其截面壁厚不应小于2.0mm，外形宽度不宜小于20mm，高度不宜小于12mm；

2 面板可通过折边与副框采用实心铝铆钉或不锈钢抽芯铆钉连接，也可以采用种植螺钉与硅酮结构密封胶相结合的连接方式；

3 固定副框用压块宜采用铝合金挤压型材，其最小处的截面厚度不宜小于5mm。压块的长度应经计算确定，且不小于40mm，与副框连接搭接量不宜小于10mm，压板端部与副框内侧的间隙不应小于5mm。压块距面板上下边缘应不大于100mm；

4 压块与支承框架的连接应采用不锈钢螺钉或不锈钢螺栓，连接螺钉或螺栓的数量应经计算确定，且直径不应小于5.0mm。压块及螺钉的间距应不大于350mm。被连接钢型材的壁厚不应小于3mm，铝型材的局部壁厚不应小于螺钉公称直径。

6.3.13 金属板与门窗洞口收口不宜与门窗框或副框连接，应满足自身幕墙体系或采取可吸收主体变形的支撑体系。

6.3.14 面板板缝宽度应根据面板的温度变形、荷载作用下变形和地震变形等计算后确定，且不宜小于10mm。

6.3.15 面板板缝应符合下列规定：

1 注胶式板缝：板缝应避免三面粘结，底部应设置泡沫条，泡沫条直径应大于接缝宽度20%。硅酮耐候密封胶缝厚度不宜小于3.5mm，宽度不宜小于厚度的2倍；用于涂层表面的硅酮密封胶应经相容性试验和粘结性试验，必要时加涂底胶；采用深胶缝时，胶缝面与板材面间距离宜大于5mm；

2 嵌条式板缝宜采用多道密封措施，当采用三元乙丙橡胶条、氯丁橡胶条或硅橡胶条，胶条在十字交叉处宜采用压敏粘接材料严密粘结；

3 开放式板缝：面板背部空间应保持通风，顺畅排水；面板背面设置保温材料时应有防水措施。支承结构和金属连接件应采取有效防腐措施。

6.4 石材面板

6.4.1 石材幕墙面板宜采用天然花岗岩，高度大于 100m 时应采用花岗岩板材。

6.4.2 石材面板与支承框架之间的连接构造应安全可靠。可采用短槽、通槽、背栓等方式连接，不得使用钢销、斜插入式挂件和 T 型挂件等不便于拆卸的连接构造。高度超过 100m 的石材面板及水平倒挂面板应采用背栓连接。

6.4.3 石材面板厚度应经计算确定并应符合表 3.5.2 的规定。石材面板采用水平或外倾斜安装时，面板总宽度不得大于 900mm，且应在板背设置防止石材坠落的安全措施。

6.4.4 采用开放式板缝时，应符合下列要求：

- 1 面板内层板应进行抗风压设计；
- 2 石材面板背面宜设置加强措施；
- 3 石材面板应进行六面防水处理；
- 4 挂件应采用铝合金型材或不锈钢材；
- 5 支承面板的金属结构及其连接件应采取防腐措施。

6.4.5 采用封闭式注胶板缝时，应符合下列要求：

- 1 应采用无污染、无渗油的密封胶；
- 2 密封胶板缝的底部宜采用泡沫条充填，胶缝厚度不应小于 3.5mm，宽度不宜小于厚度的 2 倍，并应采取措施避免三面粘接；

3 挂件应采用铝合金型材或不锈钢材，不锈钢材质可采用 06Cr17Ni12Mo2 (S31608) 或 06Cr19Ni10 (S30408)。

6.4.6 石材面板及多条实线条之间的连接应采用锚固工艺，不得仅用胶粘接。石材实线条应采用背栓或化学螺栓与框架连接，锚固深度应大于锚固部位厚度的 1/2，规格、数量满足承载力要求。

6.4.7 支承边小于 300mm 的面板，可采用对边或两点连接，并采取附加的固定措施。宽度小于 150mm 的板无法与框架连接时，应与大面板可靠连接，并在工厂完成拼接，不得在施工现场组装。

6.4.8 采用短槽及通槽连接的构造应符合下列规定：

1 挂件及其连接应进行结构计算。不锈钢挂件厚度不应小于 3.0mm，铝合金挂件厚度不应小于 4.0mm。短槽挂件宽度不宜小于 50mm；

2 短槽挂件在面板内的实际插入深度不小于挂件厚度的 5 倍，短槽长度应比挂件长度大 40mm，宽度宜为挂件厚度加 2mm，深度宜为挂件插入深度加 3mm。槽口两侧板厚度均不小于 8mm。短槽边缘到板端的距离不宜小于板厚度 3 倍，且不宜大于 200mm。每个石材板块宜不少于 4 个挂件，每个挂件的固定螺栓宜不少于 2 个，固定应采用不锈钢螺栓，直径不小于 5mm；

3 通槽挂件插入面板内的深度不小于挂件厚度的 4 倍，且不小于 15mm。每边 1 个挂件，挂件长度为面板边长减去 30mm。槽深度为挂件插入深度加 3mm。槽宽及槽两侧板材有效厚度与短槽要求相同。挂件采用不锈钢螺栓固定，螺栓数量、直径和间距经计算确定，但每边不得少于 3 个，直径不小于 5mm；

4 石材板块与挂件间应采用环氧树脂型石材专用结构胶粘结，不得采用云石胶粘结。

6.4.9 连接石材面板的背栓应符合下列规定：

1 背栓的性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 的规定，其材质不宜低于组别为 A4 的奥氏体不锈钢，直径不应小于 6mm；

2 背栓的连接件应进行结构计算。可采用钢材或铝合金型材。钢材厚度不应小于 3mm，铝合金型材厚度不应小于 4mm。

6.4.10 采用背栓连接的构造应符合下列规定：

1 背栓连接可选择齐平式（图 6.4.10a）或间距式（图 6.4.10b）构造连接。

每块石材板块上背栓数量不少于 4 个；

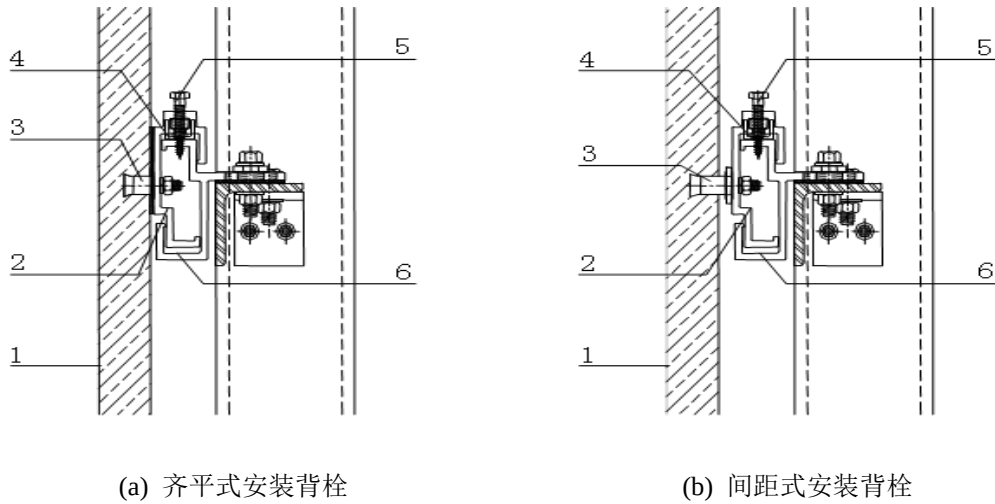


图 6.4.10 背栓支承构造

1-石材面板；2-铝合金挂件；3-背栓；4-限位块；5-调节螺栓；6-挂钩支座

2 背栓锚固深度不应小于石材厚度的 $1/2$ ，也不宜大于石材厚度的 $2/3$ ，背栓孔中心到石材板边不应小于 50mm，背栓之间的距离不宜大于 1200mm，孔底至板面的剩余厚度不应小于 10mm；

3 背栓支承应能吸收面板变形可调整量，并有防滑移和防脱构造；

4 背栓连接挂钩支座应采用不锈钢螺栓连接，螺栓直径不应小于 M6，每个托板上不应少于 2 个螺栓；

5 倒挂面板应采用互扣件连接，并设置定位锁定螺钉。

6.4.11 面板采用短槽、背栓支承时，应按四点支承板计算，并应满足下列要求：

1 两侧短槽连接时（图 6.4.11-1），支承边的计算长度为两支承点的中心距，非支承边的计算长度取边长。抗弯设计时，取两距离（ a_0 、 b_0 ）中较大值为长边进行计算。

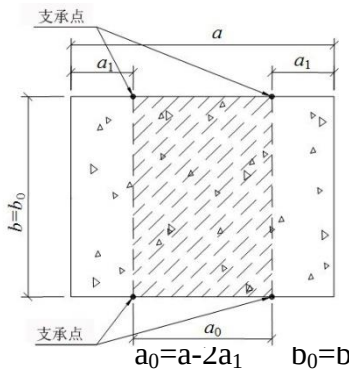
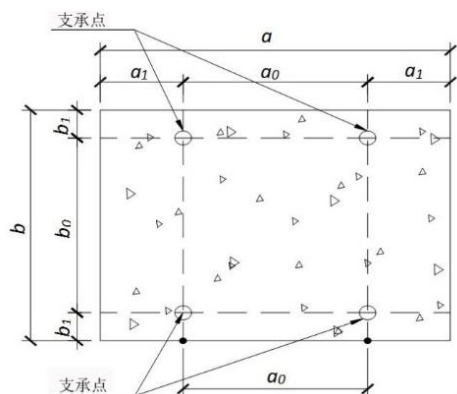


图 6.4.11-1 短槽支承时面板连接的计算边长 a_0 、 b_0

2 背栓支承连接时（图 6.4.11-2），横、纵向支承边的计算长度分别为两

个方向支承点间的距离（图中 a_0 、 b_0 ）。抗弯设计时，取两距离（ a_0 、 b_0 ）中较大值为长边进行计算。



$$a_0 = a - 2a_1 \quad b_0 = b - 2b_1$$

图 6.4.11-2 背栓支承时面板连接的计算边长 a_0 、 b_0

6.4.12 面板采用对边通槽连接时，按对边简支计算，面板跨度为两支承边之间的距离。

6.4.13 异形板或多点支承面板按有限元方法分析计算。

6.4.14 面板按支承方式的分类应进行抗弯设计：

1 面板采用短槽、背栓支承时，按四点支承板计算，抗弯设计应符合下列规定：

最大弯曲应力标准值可采用有限元方法分析计算，也可按下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{6m\omega_k b^2}{t^2} \quad (6.4.14-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} b^2}{t^2} \quad (6.4.14-2)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为垂直于面板的风荷载、地震作用下产生的最大弯曲应力标准值(N/mm²)；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于板面的风荷载、地震作用标准值(N/mm²)；

b ——四点支承板的长边计算边长(mm)；

t ——面板厚度(mm)；

m ——四角点支承板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可按本标准附录 C 表 C.2.2 采用。

2 面板采用通槽支承时，按对边简支板计算，抗弯设计应符合下列规定：

最大弯曲应力标准值可采用有限元方法分析计算，也可按下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = 0.75 \frac{w_k l^2}{t^2} \quad (6.4.14-3)$$

$$\sigma_{Ek} = 0.75 \frac{q_{Ek} l^2}{t^2} \quad (6.4.14-4)$$

式中: σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为垂直于面板的风荷载、地震作用下产生的最大弯曲应力标准值(N/mm²);

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于板面的风荷载、地震作用标准值(N/mm²);

l ——面板的跨度, 即支承边的距离(mm);

t ——面板厚度(mm)。

3 由各种作用产生的最大弯曲应力标准值, 应按本标准第 5.3.4 条规定进行组合, 组合的弯曲应力设计值不应超过石材面板的抗弯强度设计值 f_r^b 。

6.4.15 采用短槽或通槽连接时, 应进行槽口的抗弯设计, 并应符合下列规定:

1 短槽面板在垂直于面板的风荷载或地震作用下, 石板槽口处产生的最大弯曲应力标准值 σ_k 可按下式计算:

$$\text{对边开槽} \quad \sigma_k = \frac{12q_k abh}{nb_s(t-c)^2} \beta \quad (6.4.15-1)$$

$$\text{四边开槽} \quad \sigma_k = \frac{6q_k (b-a) ah}{nb_s(t-c)^2} \beta \quad (6.4.15-2)$$

式中: t ——面板厚度(mm);

c ——槽口宽度(mm);

h ——槽口受力一侧的深度(mm);

a 、 b ——分别为面板的短边、长边边长 (mm);

q_k ——垂直于面板的风荷载或地震作用标准值 (N/mm²), 即 w_k 或 q_{Ek} ;

n ——一个连接边上挂件的数量; 四侧连接时, 为一个长边上的挂件数量;

b_s ——挂件的长度 (mm);

β ——应力调整系数, 可按本标准表 6.4.15 采用。

表 6.4.15 应力调整系数 β

每块板材挂件个数	4	6	8
β	1.25	1.30	1.35

2 通槽面板在垂直于面板的风荷载或地震作用下, 槽口处产生的最大弯曲

应力标准值 σ_k 可按下式计算：

$$\sigma_k = \frac{8q_k l h}{(t - c)^2} \beta \quad (6.4.15-3)$$

式中： q_k ——垂直于板面的风荷载或地震作用标准值（N/mm²），即 w_k 或 q_{Ek} 。

t ——面板厚度(mm)；

c ——槽口宽度(mm)；

h ——槽口受力一侧的深度(mm)；

l ——面板的跨度，即支承边的距离(mm)；

β ——应力集中系数，可取 1.5。

3 由各种作用产生的弯曲应力标准值，应按本标准第 5.4.1 条的规定进行组合，组合的弯曲应力设计值不应超过石材面板的抗弯强度设计值 f_r^b 。

6.4.16 采用短槽或通槽连接时，应进行槽口的抗剪设计，并应符合下列规定：

1 短槽面板在垂直于面板的风荷载或地震作用下，挂件在石板槽口边产生的剪应力标准值 τ_k 可按下式计算：

$$\text{对边开槽} \quad \tau_k = \frac{q_k a b \beta}{n(t - c)s} \quad (6.4.16-1)$$

$$\text{四边开槽} \quad \tau_k = \frac{q_k (2b - a) \beta}{2n(t - c)s} \quad (6.4.16-2)$$

式中： q_k ——垂直于板面的风荷载或地震作用标准值（N/mm²），即 w_k 或 q_{Ek} ；

t ——面板厚度（mm）；

c ——槽口宽度(mm)；

a 、 b ——分别为面板的短边、长边边长（mm）；

s ——槽口剪切面总边长(mm)，可取挂件长度加上入槽深度的 2 倍；

β ——应力调整系数，可按本标准表 6.4.15 采用。

2 通槽面板在垂直于面板的风荷载、地震作用下，槽口处产生的剪应力标准值 τ_k 应按下式计算：

$$\tau_k = \frac{q_k l}{t - c} \quad (6.4.16-3)$$

式中： q_k ——垂直于板面的风荷载或地震作用标准值（N/mm²），即 w_k 或 q_{Ek} ；

t ——面板厚度(mm)；

l ——面板的跨度，即支承边的距离(mm)；

c ——槽口宽度(mm)。

3 由各种作用产生的剪应力标准值，应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，组合的剪应力设计值不应大于石材面板的抗剪强度设计值 f_t^v 。

6.4.17 采用短槽和通槽连接时，应对挂件进行下列计算：

1 短槽面板在垂直于面板的风荷载或地震作用下，挂件承受的剪应力标准值可按下列公式计算：

$$\text{两对边短槽连接时} \quad \tau_{pk} = \frac{q_k ab}{2nA_p} \beta \quad (6.4.17-1)$$

$$\text{四边短槽连接时} \quad \tau_{pk} = \frac{q_k (2b - a)}{4n A_p} \beta \quad (6.4.17-2)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值 (N/mm²) ；

q_k ——垂直于板面的风荷载或地震作用标准值 (N/mm²)，即 w_k 或 q_{Ek} ；

a 、 b ——分别为面板的短边、长边边长 (mm) ；

A_p ——挂件截面面积 (mm²) ；

n ——一个连接边上的挂件数量。四侧连接时，为一个长边上的挂件数量；

β ——应力调整系数，可按表 6.4.15 采用。

2 短槽面板在重力荷载作用下，挂件的剪应力标准值应按下列公式计算：

$$\tau_{pk} = \frac{G_k}{n_1 A_p} \beta \quad (6.4.17-3)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值 (N/mm²) ；

G_k ——面板的自重标准值 (N) ；

A_p ——挂件截面面积 (mm²) ；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量；

β ——应力调整系数，可按表 6.4.15 采用。

3 短槽面板在重力荷载作用下，挂件的弯曲应力标准值应按下列公式计算：

$$\sigma_{pk} = \frac{G_k e}{n_1 W_p} \beta \quad (6.4.17-4)$$

式中： σ_{pk} ——挂件弯曲应力标准值 (N/mm²) ；

G_k ——面板的自重标准值 (N) ;

e ——石材面板重心到挂件支座处的偏心距离 (mm) ;

W_p ——挂件截面的抵抗矩 (mm^3) ;

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量;

β ——应力调整系数, 可按表 6.4.15 采用。

4 通槽面板在垂直于面板的风荷载、地震作用下, 挂件的剪应力标准值应按下式计算:

$$\tau_k = \frac{q_k l}{2t_p} \quad (6.4.17-5)$$

式中: τ_k ——挂件剪应力标准值 (N/mm^2) ;

l ——面板的跨度, 即支承边的距离(mm);

q_k ——垂直于板面的风荷载或地震作用标准值 (N/mm^2) , 即 w_k 或 q_{Ek} ;

t_p ——挂件厚度(mm)。

5 由各种作用产生的剪应力标准值和弯曲应力标准值, 应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合, 组合的剪应力设计值不应大于挂件材料的抗剪强度设计值 f_a^v 或 f_s^v , 组合的弯曲应力设计值不应大于挂件材料的抗弯强度设计值 f_a 或 f_s 。

6.4.18 采用背栓连接时, 背栓的抗拉设计应符合下列规定:

1 在垂直于面板的风荷载、水平地震作用下, 单个背栓所受拉力标准值可按下列公式计算:

$$F_t = \frac{q_k \cdot a \cdot b \cdot \beta}{n} \quad (6.4.18-1)$$

式中: F_t ——单个背栓所受水平拉力标准值 (N) ;

q_k ——风荷载或垂直于板面方向地震作用标准值 (N/mm^2) ;

a, b ——面板长边、短边边长 (mm) ;

n ——每块面板上背栓数量;

β ——应力调整系数, 按表 6.4.15 采用。

2 在重力荷载作用下, 单个背栓所受拉力标准值可按下列公式计算:

$$F_t = \frac{G_k e \beta}{l_0 n_1} \quad (6.4.18-2)$$

式中： F_t ——单个背栓所受水平拉力标准值（N）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

e ——石材面板重心到挂件支座的偏心距离（mm）；

l_0 ——石材面板上下背栓之间的距离（mm）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量；

β ——应力调整系数，按表 6.4.15 采用。

3 背栓水平拉力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定组合，计算得到背栓拉力设计值 F ，并应符合下式的要求：

$$F \leq R_t \quad (6.4.18-3)$$

式中： F ——单个背栓所受水平拉力设计值（N）；

R_t ——单个背栓抗拉承载力设计值（N），按本条第 4 款采用。

4 受拉时单个背栓抗拉承载力设计值 R_t 应通过荷载试验确定，材料强度安全系数按表 3.5.5 采用，所得设计值不应小于下列经验公式计算值。不满足时，材料强度安全系数应取 3.50；

$$R_t = \frac{C f_k^{0.6} \cdot h_v^{1.7}}{3.0} \quad (6.4.18-4)$$

式中： f_k ——面板弯曲抗拉强度设计值（N/mm²）；

h_v ——锚固深度（mm）；

C ——材质系数，花岗岩取 17，大理石、砂岩、石灰岩等取 10。

5 小尺寸面板或条状面板，锚栓位置不满足本标准第 6.4.10 条第 2 款要求时，锚栓中心线至面板边缘距离不宜小于板厚的 2 倍且不小于 50mm，该背栓承载力设计值应乘以折减系数 0.50；

6 背栓螺栓尚应按净截面积验算抗拉承载力并应满足强度要求。

6.4.19 在面板自重作用下，背栓连接的抗剪设计应符合下列规定：

1 单个背栓连接的剪力设计值可按下式计算：

$$v = \frac{1.3 G_k \beta}{n_1} \quad (6.4.19)$$

式中： v ——单个背栓承受的剪力设计值（N）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的背栓数量；

β ——应力调整系数，可根据背栓数量 n_1 ，按表 6.4.15 采用。

2 背栓连接抗剪承载力设计值应由试验确定。背栓连接抗剪承载力设计值可取实测的受剪破坏承载力最小值除以背栓连接抗剪承载力分项系数后采用。

6.4.20 采用背栓连接时，石材面板的抗剪设计应符合下列规定：

1 在垂直于面板的重力荷载、风荷载、水平地震作用下，剪应力标准值取以下两式计算结果的较大值：

$$\tau_k = \frac{F_t}{\pi(d+t-h_v)(t-h_v)} \quad (\text{正风压时}) \quad (6.4.20-1)$$

$$\tau_k = \frac{F_t}{\pi(d+h_v)h_v} \quad (\text{负风压时}) \quad (6.4.20-2)$$

式中： τ_k ——背栓处面板的剪应力标准值（N/mm²）；

F_t ——单个背栓所受水平拉力标准值（N）；

d ——背栓孔直径（mm）；

n ——每块面板上背栓数量；

h_v ——背栓切入孔深度（mm）；

t ——面板厚度（mm）。

2 由各种作用产生的剪应力标准值，应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，组合的剪应力设计值不应大于石材面板的抗剪强度设计值 f_r^v ；

3 背栓处于本标准第 6.4.18 条第 5 款所述位置时，面板剪应力设计值应乘以放大系数 1.50。

6.5 人造面板

6.5.1 人造板材面板及其连接设计应符合现行行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336 的规定。

6.5.2 幕墙用人造板材面板可选用瓷板、陶板、微晶玻璃板、纤维水泥板、木纤维板等，其应用高度应满足表 6.5.2 要求：

表 6.5.2 人造面板许用幕墙高度 (m)

面板名称	瓷板	陶板	微晶玻璃板	木纤维板	纤维水泥板	
					平板	带肋板、单层板和背附钢架板
高度 (≤)	80	80	70	24	24	54

6.5.3 幕墙用石材铝蜂窝板面板石材为亚光面或镜面时, 厚度宜为 3mm~5mm; 面板石材为粗面时, 厚度宜为 5mm~8mm。石材蜂窝板块单边边长不宜大于 2.0m, 单块最大面积不宜大于 2.0m²。

6.5.4 人造板单块面积、厚度应符合表 6.5.4 规定。

表 6.5.4 人造板单块面积、厚度

板材类别	厚度 (mm)		单片面积(m ²)
瓷板	背栓式	其他连接方式	≤1.0
	≥12	≥13	
陶板	≥18		--
微晶玻璃板	≥20		≤1.5

6.5.5 人造板材幕墙板缝设计应满足下列要求:

1 具有保温围护要求的人造板材幕墙, 应采用封闭式板缝设计, 其中宜优先采用注胶封闭式, 也可采用胶条封闭式;

2 具有遮阳或装饰围护要求的人造板材幕墙, 宜采用开放式板缝设计。

6.5.6 面板采用短槽或背栓四点支承时, 可按四点支承板计算, 采用对边通槽连接时, 可按对边简支板计算。

6.5.7 面板设计时, 面板截面的计算厚度 t_e 应符合下列规定计算:

1 瓷板: 正面平整时, 按公称厚度 (总厚度) 减去背纹厚度采用, 正面有装饰花纹时, 还应减去装饰花纹的凸起高度或凹下深度;

2 微晶玻璃板: 正面、背面均为平整面时, 按公称厚度 (总厚度) 采用; 背面较粗糙时, 应减去背面粗糙层厚度;

3 陶板: 实心陶板正面平整时, 按公称厚度 (总厚度) 减去挂槽和挂钩宽度采用, 正面有装饰条纹时, 还应减去装饰条纹的凸起高度或凹下深度。空芯陶板可通过惯性矩、净截面模量计算得出;

4 纤维水泥板: 正面、背面均为平整面时, 按基材的公称厚度采用。正面

有装饰花纹时，还应减去装饰花纹的凸起高度或凹下深度。

6.5.8 当幕墙高度超过 24m，或面板为水平吊挂、外倾斜时，各相应连接部位应予以加强，板背面应设计防碎裂坠落措施。

6.5.9 面板挂件与支承框架之间应采用不锈钢螺栓或不锈钢螺钉连接。螺栓直径不应小于 M6，自钻自攻螺钉的直径不应小于 ST5.5，并应采取防松脱和滑移措施，不得采用自攻螺钉连接。

6.5.10 面板及其连接设计，应根据幕墙面板的材质、截面形状和建筑装饰要求确定。面板与幕墙构件的连接，宜采用下列形式：

- 1 瓷板、微晶玻璃板宜采用短挂件连接、通长挂件连接和背栓连接；
- 2 陶板宜采用短挂件连接，也可采用通长挂件连接；
- 3 纤维水泥板宜采用穿透支承连接或背栓支承连接，也可采用通长挂件连接。穿透连接的基板厚度不应小于 8mm，背栓连接的基板厚度不应小于 12mm，通长挂件连接的基板厚度不应小于 15mm；
- 4 石材蜂窝板宜通过板材背面预置螺母连接。

6.5.11 面板之间所采用密封胶的粘结性能和耐久性应满足设计要求，应具有适用于幕墙面板基材和板缝尺寸及变位量的类型和位移能力级别，且不应污染所接触的材料。

6.5.12 挂件的长度和截面厚度应符合下列规定：

- 1 瓷板短挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 2.0 mm；通长挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 1.5 mm。短挂件的长度不宜小于 50 mm；
- 2 微晶玻璃板短挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 3.0 mm，铝合金型材的截面厚度不宜小于 4.0 mm；通长挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 2.0 mm，铝合金型材的截面厚度不宜小于 3.0 mm。短挂件的长度不宜小于 60 mm；
- 3 陶板短挂件用不锈钢材料的截面厚度不宜小于 1.5 mm，铝合金型材的截面厚度不宜小于 2.0 mm；通长挂件用铝合金型材的截面厚度不宜小于 1.5 mm。定位弹簧片的截面厚度不宜小于 0.5 mm；
- 4 纤维水泥板通长挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 1.5 mm。

6.5.13 挂件与瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板面板的连接构造设计应符合下列

规定:

- 1 宜采用只承受一块面板自重荷载的挂件;
- 2 纤维水泥板的自重应由面板下部挂槽的顶部承受;
- 3 挂件在承托面板处宜设置弹性垫片, 垫片厚度不宜小于 2.0 mm;
- 4 短挂件外侧边与面板边缘的距离不宜小于板厚的 3 倍, 且不宜小于 50 mm; 通长挂件外端与面板边缘的距离不宜小于 20 mm, 且不宜大于 50 mm;
- 5 挂件安装槽口中心线宜以外表面为基准定位, 并宜位于面板计算厚度的中心;
- 6 瓷板挂件插入槽口的深度不宜小于 8 mm, 也不宜大于 12 mm; 微晶玻璃板、纤维水泥板挂件插入槽口的深度不宜小于 6 mm, 也不宜大于 15 mm;
- 7 挂件与面板之间的空隙应填充胶粘剂, 且不得污染面板。

6.5.14 挂件与陶板面板的连接构造设计应符合下列规定:

- 1 挂件与面板的连接, 不应使面板产生附加局部挤压应力和重力传递现象;
- 2 挂件为 L 形且全部采用挂装方式安装时, 其自重应由陶板上部挂件的挂钩承受;
- 3 上部采用插口式挂件, 且陶板自重由下部挂件承受时, 应采取防陶板断裂下坠措施, 承重处挂件与陶板挂槽内竖向的接触部位不应留有间隙;
- 4 挂件与陶板挂槽前后之间的空隙宜填充聚氨酯密封胶或设置弹性垫片, 采用橡胶垫片时, 其厚度不宜小于 1.0 mm;
- 5 挂件插入陶板槽口的深度不宜小于 6 mm。短挂件中心线与面板边缘的距离宜为板长的 1/5, 且不宜小于 50 mm;
- 6 陶板两端宜设置定位弹性垫片;
- 7 陶板与支承构件采用镶嵌式挂件时, 要采取措施, 防止挂件跳动、滑移。

6.5.15 与面板背面连接点直接连接的支承连接件宜采用铝合金型材, 其截面厚度不应小于 2.0mm。

6.5.16 短挂件支承连接的面板抗弯设计应符合下列规定:

- 1 短挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃和实心陶板, 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下, 面板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算。两对边对称连接的四点支承矩形面板, 也可按下列公式计算:

$$\sigma_{wk} = \frac{6mq_{wk}b_0^2}{t_e^2} \quad (6.5.16-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek}b_0^2}{t_e^2} \quad (6.5.16-2)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用在板中产生的最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²）；

a_0 ——支承点（挂件中心线）间较短距离；

b_0 ——支承点（挂件中心线）之间较大距离（mm）， $a_0 \leq b_0$ ；

t_e ——面板的计算厚度（mm）按本标准 6.5.7 确定；

m ——四点支承面板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可按照支承点间较短距离与较大距离之比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按表查取。

2 空心陶板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算，也可通过均布静态荷载弯曲试验确定其受弯承载能力，并应符合下式要求：

$$q \leq \frac{Q}{\gamma_r} \quad (6.5.16-3)$$

式中： Q ——空心陶板均布静态荷载弯曲试验的最小破坏荷载（N/mm²）；

q ——垂直于空心陶板板面方向的风荷载标准值和地震作用标准值按照本规范规定进行组合后所得之面板承受的荷载设计值（N/mm²）；

γ_r ——陶板的材料性能分项系数，可取 1.8。

3 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值，应按本标准规定进行组合。组合后面板承受的弯曲应力设计值 σ 不应大于面板材料的抗弯强度设计值 f 。

表 6.5.16 四点支承矩形面板的弯矩系数 m

a_0/b_0		0.00	0.6	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
m	$\nu=0.13$	0.125	0.125	0.126	0.126	0.128	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.20$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.25$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
	$\nu=0.30$	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
a_0/b_0		0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	$\nu=0.13$	0.136	0.138	0.140	0.144	0.147	0.150	0.153	0.156

<i>m</i>	<i>v</i> =0.20	0.136	0.138	0.140	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154
	<i>v</i> =0.25	0.136	0.138	0.140	0.142	0.144	0.147	0.150	0.152
	<i>v</i> =0.30	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143	0.146	0.148	0.151

6.5.17 短挂件支承连接的面板抗剪设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板挂件槽口处产生的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_k = \frac{q_k ab \beta}{n t_v s} \quad (6.5.17)$$

式中： τ_k ——短挂件在面板槽口处产生的剪应力标准值（N/mm²）；

q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²），

即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

a 、 b ——矩形面板的两个边长（mm）；

t_v ——面板槽口受剪面厚度（mm）。根据挂钩与挂槽的实际情况确定；

s ——槽口剪切面总长度（mm）。矩形槽或通槽，取挂钩的宽度加上 2 倍槽深；端部连接挂件，取挂钩的宽度与 1 倍槽深之和；陶板槽口剪切面的总长度，应根据实际构造确定；

n ——挂件总数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件总数量，按表 6.5.17 采用。

2 由各种荷载和作用产生的剪应力标准值，应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后面板槽口承受的剪应力设计值不应大于面板材料的抗剪强度设计值。

表 6.5.17 应力调整系数 β

每块板块挂件个数	2	4
β	1.00	1.25

6.5.18 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 挂件承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \frac{q_k ab \beta}{n A_p} \quad (6.5.18)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值（N/mm²）；

q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²），

即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

a 、 b ——矩形面板的两个边长（mm）；

A_p ——单个挂件挂钩受剪截面面积（mm²）；

n ——挂件数量；

β ——应力调整系数，可按表 6.5.17 采用。

2 挂件中由各种荷载和作用产生的剪应力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后的剪应力设计值 τ_p 不应超过本标准规定的挂件材料的抗剪强度设计值 f_v 。

6.5.19 在面板自重作用下，挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 挂件在面板自重作用下承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \beta \frac{G_k}{n_1 A_p} \quad (6.5.19-1)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值（N/mm²）；

G_k ——面板的自重标准值（N），可由面板材料的重力密度标准值 γ_{gk} 按本标准表 3.8.9 采用；

A_p ——单个挂件挂钩的受剪截面面积（mm²）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件的数量 n_1 ，按表 6.5.17 采用。

2 挂件所承受的剪应力设计值可按下式计算，且不得大于挂件材料的抗剪强度设计值。

$$\tau_p = \gamma_G \tau_{pk} \quad (6.5.19-2)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力设计值（N/mm²）；

γ_G ——永久荷载分项系数，可取 1.3。

6.5.20 两对边通长挂件支承连接的矩形面板抗弯设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，两对边通长挂件支承连接的瓷板、微晶玻璃、实心陶板和纤维水泥板矩形面板的最大弯曲应力标准值宜采用考虑几何非线性的有限元方法分析计算，也可按本标准的规定计算，公式中的 b_0 值应取面板的跨度 l ，弯矩系数 m 可取为 0.125；

2 空心陶板宜采用有限元方法分析计算，也可通过均布静态荷载弯曲试验确定其受弯承载能力，并应符合本标准的规定；

3 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值 σ ，应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应超过面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.5.21 纤维水泥板面板的挠度应符合下列规定：

1 在垂直于面板的风荷载作用下，纤维水泥板的挠度宜采用有限元方法分析计算。矩形面板的挠度也可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu w_k b^4}{D} \quad d_f = \frac{\mu W_k b^4}{D} \quad (6.5.21-1)$$

$$D = \frac{Et_e^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.5.21-2)$$

式中： d_f ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值（mm）；

μ ——挠度系数，可取 0.013；

w_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值（N/mm²）；

a 、 b ——面板的边长（mm）， $a \leq b$ ；

D ——面板的刚度（Nmm）；

E ——弹性模量（N/mm²），可按本标准表 3.8.8 采用；

t_e ——纤维水泥板的计算厚度（mm），按本标准的规定计算；

ν ——泊松比，可按本标准表 3.8.8 采用。

2 在风荷载标准值作用下，对边支承纤维水泥板面板的挠度限值 $d_{f,lim}$ 应按面板跨度的 1/250。

6.5.22 通长挂件支承连接的矩形面板，槽口处抗弯设计应符合下列规定：

1 由风荷载或垂直于板面方向地震作用在面板槽口处产生的最大弯曲应力标准值应按下列公式计算：

$$\sigma_k = \frac{2q_k lh}{t_v^2} \beta \quad (6.5.22)$$

式中： σ_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用在板中产生的最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

q_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用标准值（N/mm²），即 q_k

分别代表 w_k 或 q_{Ek} ;

l ——面板的跨度, 即支承边的距离 (mm);

h ——槽口受力一侧的深度 (mm);

β ——应力集中系数, 可取 1.5;

t_v ——面板槽口受力一侧的厚度 (mm)。

2 由各种荷载和作用产生的面板槽口处弯曲应力标准值, 应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应超过面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.5.23 通长挂件支承连接的矩形面板, 槽口处抗剪设计应符合下列规定:

1 由风荷载或垂直于板面方向地震作用在槽口处产生的剪应力标准值应按下列下式计算:

$$\tau_k = \frac{2q_k l}{t_v} \quad (6.5.23)$$

式中: τ_k ——挂件在面板槽口处产生的剪应力标准值 (N/mm^2);

q_k ——分别为风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值 (N/mm^2),

即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ;

l ——面板的跨度, 即支承边的距离 (mm);

t_v ——面板槽口受剪面厚度 (mm)。瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板取

面板计算厚度 (t_e) 减去槽口宽度 (c) 的一半, 既: $t_v = \frac{t_e - c}{2}$;

陶板取挂钩部分的实际受剪厚度。

2 由各种荷载和作用产生的面板槽口处剪应力标准值, 应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后的剪应力设计值 τ_p 不应超过面板材料的抗剪强度设计值 f_v 。

6.5.24 挂件的抗剪设计应符合下列规定:

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下, 挂件承受的剪应力标准值可按下列下式计算:

$$\tau_{pk} = \frac{q_k l}{2t_p} \quad (6.5.24)$$

式中: τ_{pk} ——挂件或挂钩的剪应力标准值 (N/mm^2);

q_k ——分别为风荷载或垂直于板面方向地震作用标准值 (N/mm^2)，即 q_k 分别代表 w_k 或 q_{Ek} ；

l ——面板的跨度，即支承边的距离 (mm)；

t_p ——挂件或挂钩厚度 (mm)。

2 由各种荷载和作用产生的剪应力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，组合后的剪应力设计值 τ_p 不应超过挂件材料抗剪强度设计值 f_v 。

6.5.25 背栓的数量应根据面板的形状、大小和所在位置并经过计算确定。背栓中心线与面板端部的距离不应小于 50 mm，也不宜大于边长的 20%。采用 2 个背栓连接的面板，应采取附加固定措施，防止面板滑移、偏斜。

6.5.26 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，背栓支承连接的面板抗弯设计应符合下列规定：

1 面板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算。4 个背栓对称布置支承连接的矩形面板，也可按本标准规定计算；

2 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应超过面板材料的抗弯强度设计值 f 。

6.5.27 背栓支承连接的纤维水泥板，在垂直于面板的风荷载标准值作用下，其挠度宜采用有限元方法分析计算。4 个背栓对称布置支承连接的矩形面板的挠度也可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu w_k b_0^4}{D} \quad d_f = \frac{\mu W_k b^4}{D} \quad (6.5.27-1)$$

$$D = \frac{Et_e^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.5.27-2)$$

式中： d_f ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值 (mm)；

μ ——挠度系数，按表 6.5.27 取；

w_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值 (N/mm^2)；

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点（背栓孔中心线）之间的距离 (mm)，

$$a_0 \leq b_0;$$

D ——面板的刚度 (Nmm)；

E ——弹性模量 (N/mm^2)，可按本标准表 3.8.8 采用；

t_e ——面板的厚度（mm），按本标准 6.5.7 规定确定；

ν ——泊松比，可按本标准表 3.8.8 采用。

2 在风荷载标准值作用下，四点支承纤维水泥板面板的挠度限值 $d_{f,lim}$ 宜按其支承点间长，边长的 1/250 采用。

表 6.5.27 四点支承纤维水泥板的挠度系数 μ

a_0/b_0	0.00	0.6	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
μ	0.0130	0.0139	0.0140	0.0142	0.0144	0.0147	0.0149	0.0152
a_0/b_0	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.0155	0.0162	0.0171	0.0183	0.0196	0.0213	0.0233	0.0257

6.5.28 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，背栓连接抗拉设计宜采用有限元方法分析计算，也可按下列公式计算：

1 两个背栓支承连接时，单个背栓连接的拉力标准值：

$$N_{wk} = \frac{w_k ab}{2} \quad (6.5.28-1)$$

$$N_{Ek} = \frac{q_{Ek} ab}{2} \quad (6.5.28-2)$$

2 四个背栓支承连接时，单个背栓连接的拉力标准值：

$$N_{wk} = \frac{w_k ab \beta}{4} \quad (6.5.28-3)$$

$$N_{Ek} = \frac{q_{Ek} ab \beta}{4} \quad (6.5.28-4)$$

式中： N_{wk} 、 N_{Ek} ——单个背栓连接在风荷载或垂直于板面方向地震作用下的拉力标准值（N）；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用标准值（N/mm²）；

a 、 b ——矩形面板的边长（mm）， $a \leq b$ ；

β ——应力调整系数，可按表 6.5.17 采用。

3 背栓连接的拉力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，组合后的拉力设计值不应超过背栓连接的受拉承载力设计值。

6.5.29 在面板自重作用下，背栓连接的剪力设计值应按下式计算：

$$V = \frac{1.35G_k\beta}{n_1} \quad (6.5.29)$$

式中：V——单个背栓承受的剪力设计值（N）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

n_1 ——承受面板自重荷载的背栓数量；

β ——应力调整系数，可根据背栓数量 n_1 ，按表 6.5.17 采用。背栓连接瓷板、微晶玻璃、纤维水泥板的抗剪承载力分项系数可取 2.15。

6.5.30 背栓连接的受拉承载力和受剪承载力应经试验确定，并应符合下列规定：

1 背栓连接的受拉承载力设计值应符合下式要求：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.5.30-1)$$

2 背栓连接的受剪承载力设计值应符合下式要求：

$$V \leq \frac{0.8P}{g_R} \quad (6.5.30-2)$$

式中：N ——按本标准第 6.5.28 条的规定计算，并按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合得到的单个背栓连接的拉力设计值（N）；

V ——按本标准第 6.5.29 条的规定计算得到的单个背栓连接的剪力设计值（N）；

P ——实测所得背栓连接受拉破坏力最小值（N）；

g_R ——背栓连接承载力分项系数，可取 2.15。

6.5.31 石材蜂窝板幕墙宜采用封闭式板缝，石材蜂窝板应镶框封边处理，蜂窝不应外露。宜采用蜂窝板粘结预置连接螺母的固定方式，预置连接螺母必须在工厂制作时埋入，不得现场临时埋设。

6.5.32 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，四点支承石材蜂窝板石材面板的抗弯设计应符合下列规定：

1 确定石材面板的最大弯曲应力时，应对正、负风荷载作用下产生的弯曲应力分别进行计算；

2 四点支承的矩形石材蜂窝板石材面板最大弯曲应力标准值可采用下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{mw_k b_0^2}{w_e} \quad (6.5.32-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{mq_{Ek} b_0^2}{w_e} \quad (6.5.32-2)$$

$$w_e = \frac{D_e}{El} \quad W_I = \frac{D}{E \times I} \quad (6.5.32-3)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为垂直于面板的风荷载、地震作用下产生的最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板方向的风荷载、地震作用标准值（N/mm²）；

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点（预置螺母中心线）之间的距离（mm），

$$a_0 \leq b_0;$$

m ——四点支承面板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可根据支承点间的距离比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按表查取；

w_e ——石材蜂窝板的等效截面模量（mm³）；

D_e ——石材蜂窝板的等效弯曲刚度（N·mm），由整板的弯曲性能试验所得；

E ——石材面板的弹性模量（N·mm²）；

l ——石材蜂窝板中性轴距石材面板表面的距离（mm）。

3 石材面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，所得的最大弯曲应力设计值不应超过石材面板的抗弯强度设计值 f 。

6.5.33 石材蜂窝板在垂直于面板的风荷载标准值作用下的挠度应符合下列规定：

1 四点支承的矩形石材蜂窝板的挠度可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu w_k b_0^4}{D_e} \quad (6.5.33)$$

式中： d_f ——在风荷载标准值作用下的最大挠度值（mm）；

μ ——挠度系数，可按表 6.5.33-1 选用；

w_k ——垂直作用于面板的风荷载标准值（N/mm²）；

a_0 、 b_0 ——四点支承面板支承点（预置螺母中心线）之间的距离（mm），

$$a_0 \leq b_0;$$

D_e ——石材蜂窝板的等效弯曲刚度（N·mm），由整板的弯曲性能试验所得。

2 在风荷载标准值作用下，石材蜂窝板的挠度限值 $d_{f,lim}$ （mm），不宜大于表 6.5.33-2 的规定。

表 6.5.33-1 四点支承石材蜂窝板挠度系数 μ

a_0/b_0	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.85	0.90	0.95	1.00
μ	0.0151	0.0147	0.0151	0.0157	0.0162	0.0171	0.0195	0.0212	0.0232	0.0255

表 6.5.33-2 石材蜂窝板的挠度限值

背部衬板类别	铝蜂窝板	钢蜂窝板	玻纤蜂窝板
相对挠度值 $d_{r, \lim}$	$L/120$		$L/180$
注： L 为板的长边长度。			

6.5.34 石材蜂窝板应采用铝合金或不锈钢材质专用挂件固定在支承结构上，挂件与预置螺母应可靠连接。

6.5.35 预置螺母连接的受拉承载力和受剪承载力应经试验确定，并应符合下列规定：

1 预置螺母连接的受拉承载力设计值应符合下式要求：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.5.35-1)$$

2 预置螺母连接的受剪承载力设计值应符合下式要求：

$$V \leq \frac{0.5P}{g_R} \quad (6.5.35-2)$$

式中： N ——按本标准第 6.5.28 条的规定计算，并按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合的预置螺母连接的拉力设计值（N）；

V ——按本标准第 6.5.29 条的规定计算得到的预置螺母连接的剪力设计值（N）；

P ——实测所得预置螺母连接受拉破坏力最小值（N）；

g_R ——预置螺母连接承载力分项系数，可取 2.15。

6.5.36 穿透支承连接的纤维水泥板面板应采用不锈钢螺钉、螺栓、不锈钢开口型平圆头抽芯铆钉或钉芯材为不锈钢的开口型平圆头抽芯铆钉固定。螺栓、螺钉和抽芯铆钉的直径不应小于 5 mm。

6.5.37 穿透支承连接的纤维水泥板支承连接设计应符合下列规定：

1 纤维水泥板边缘连接点的位置，平行于支撑框架方向到板边的距离不宜小于 80mm，垂直于支撑框架方向到板边的距离不宜小于 30mm，也不宜大于 160mm；

2 支承连接点应分为紧固点和滑动点，紧固点和滑动点的设置应满足板材变形的要求，8 mm 厚纤维水泥板的连接点间距不宜大于 800 mm，12 mm 厚纤维水泥板的连接点间距不宜大于 600 mm。

6.5.38 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，穿透支承连接的纤维水泥板面板的抗弯设计应符合下列规定：

1 穿透支承连接的纤维水泥板面板的最大弯曲应力标准值，宜采用有限元方法分析计算。四点对称布置穿透支承连接的矩形面板，也可按下列公式计算：

$$\sigma_{wk} = \frac{6mw_k b_0^2}{t_e^2} \eta \quad (6.5.38-1)$$

$$\sigma_{Ek} = \frac{6mq_{Ek} b_0^2}{t_e^2} \eta \quad (6.5.38-2)$$

$$\theta = \frac{w_k b_0^4}{Et_e^4} \text{ 或 } \theta = \frac{(w_k + 0.5q_{Ek}) b_0^4}{Et_e^4} \quad (6.5.38-3)$$

式中： σ_{wk} 、 σ_{Ek} ——分别为风荷载、地震作用下面板的最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板平面的风荷载、地震作用标准值（N/mm²）；

a_0 、 b_0 ——支承点间的距离（mm）， $a_0 \leq b_0$ ；

t_e ——面板的计算厚度（mm）；

m ——弯矩系数，可由支承点间的距离比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按表 6.5.16 查取；

θ ——参数；

E ——弹性模量（N/mm²），可按本标准表 3.8.8 采用；

η ——折减系数，纤维水泥板取 1.0。

2 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值应按本标准 5.3.4 规定进行组合。组合后的弯曲应力设计值不应超过面板材料的抗弯强度设计值 f 。

表 6.5.38 折减系数 η

θ	≤ 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
η	0.98	0.95	0.90	0.85	0.80	0.76	0.72
θ	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.8	≥ 7
η	0.68	0.65	0.62	0.60	0.58	0.55	0.50

6.5.39 在垂直于面板的风荷载标准值作用下，纤维水泥板面板的挠度应符合下列规定：

1 穿透支承连接的纤维水泥板面板产生的挠度，宜采用有限元方法分析计算。四点对称布置穿透支承连接的矩形面板，也可按下列公式计算：

$$d_f = \frac{\mu w_k b^4}{D} \eta \quad (6.5.39-1)$$

$$D = \frac{Et_e^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.5.39-2)$$

式中： d_f ——风荷载标准值作用下面板的最大挠度值（mm）；

w_k ——垂直于面板平面的风荷载标准值（N/mm²）；

b ——支承点间面板的长边边长（mm）；

t_e ——面板的计算厚度（mm），按本标准 6.5.7 确定；

μ ——挠度系数，可由支承点间面板短边与长边边长之比 a_0/b_0 查表：

纤维水泥板按表 6.5.27 采用；

η ——折减系数。纤维水泥板取 1.0；

ν ——泊松比，可按本标准表 3.8.8 采用；

D ——面板的刚度。

2 在风荷载标准值作用下，四点支承纤维水泥板的挠度限值 $d_{f,lim}$ 宜按其支承点间长边边长的 1/250 采用。

6.5.40 纤维水泥板穿透连接的抗拉设计应符合下列规定：

1 在垂直于面板平面的风荷载或地震作用下，单个连接点的拉力标准值宜采用有限元方法分析计算。按周边对称布置的矩形面板，也可按下列公式计算：

$$N_{wk} = \frac{w_k ab \beta}{n} \quad (6.5.40-1)$$

$$N_{Ek} = \frac{q_{Ek} ab \beta}{n} \quad (6.5.40-2)$$

式中： N_{wk} ——垂直于面板的风荷载作用下单个连接点的拉力标准值（N）；
 N_{Ek} ——垂直于面板的地震作用下单个连接点的拉力标准值（N）；
 w_k 、 q_{Ek} ——分别为垂直于面板平面的风荷载、地震作用标准值（N/mm²）；
 n ——连接点数量；
 a 、 b ——分别为矩形面板短边和长边的边长；
 β ——应力调整系数，可按 6.5.40 采用。

表 6.5.40 水泥纤维板穿透连接的应力调整系数 β

每块板材固定点数	4	6	≥ 8
β	1.25	1.53	1.78

2 穿透连接的拉力标准值应按本标准第 5.3.4 条的规定进行组合，组合的拉力设计值不应大于连接的受拉承载力设计值。

6.5.41 穿透连接点的受拉承载力应经试验确定，并应符合下式要求：

$$N \leq \frac{P}{g_R} \quad (6.5.41)$$

式中： N ——按本标准定计算得到的单个连接点的拉力设计值（N）；

P ——实测所得单个连接点的受拉破坏力最小值（N）；

g_R ——穿透连接受拉承载力分项系数，可取 2.15。

6.5.42 支承连接点到板边的距离不宜小于 80 mm，也不宜超过 6 倍板厚。支承连接点之间的最大间距应符合本标准规定。

6.5.43 面板背面的预制螺钉孔或背栓孔的形状和深度应根据锚固件规格及设计要求确定，钻孔深度宜比板厚小 2.5 mm。

6.5.44 在垂直于面板平面的风荷载和地震作用下，面板的最大弯曲应力可按本标准规定计算。

7 构件式幕墙

7.1 一般规定

7.1.1 幕墙的立柱、横梁、面板及配套连接件应在工厂加工制作，在现场依次安装立柱、横梁和面板，并通过连接件安装于建筑主体结构上。

7.1.2 幕墙支承结构与主体结构通过预埋件连接，预埋件在主体结构施工阶段完成。立柱或横梁与主体的连接构造应确保平面内外三维可调。转接构件的承载力应满足设计要求，并应有防松、防滑措施。

7.1.3 幕墙框架可采用铝合金型材、钢型材或铝合金型材和钢型材组合的形式，宜分层悬挂于主体结构上。

7.1.4 当幕墙跨越主体结构的变形缝时，应在变形缝两侧独立设置幕墙支承结构，幕墙构造伸缩缝尺寸应与主体结构的变形缝相协调，并采用柔性或滑移等方式的连接措施封闭处理。

7.2 构造设计

7.2.1 明框幕墙固定玻璃的压板应连续通长，截面受力部分的厚度不应小于2.0mm，且不宜小于压板宽度的1/35，固定压板的螺钉规格及间距应经过受力计算确定，且间距不大于300mm，螺钉直径不小于5mm。不得采用自攻螺钉固定压板。

7.2.2 明框幕墙的玻璃板块边缘至框槽底的间隙应满足下式要求：

$$2c_1(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1}) \geq u_{lim} \quad (7.2.2)$$

式中： u_{lim} ——主体结构层间位移引起框料的变形限值（mm）；

l_1 ——矩形玻璃板块竖向边长（mm）；

l_2 ——矩形玻璃板块横向边长（mm）；

c_1 ——玻璃与左右边框的平均间隙（mm），取值时应考虑施工偏差值1.5mm；

c_2 ——玻璃与上下边框的平均间隙（mm），取值时应考虑施工偏差值1.5mm。

注：非抗震设计时， u_{lim} 应根据主体结构弹性层间位移角限值确定；抗震设计时， u_{lim} 应根据主体结构弹性层间位移角的3倍确定。

7.2.3 隔热型材用隔热材料不应承受或传递荷载，应采取可靠构造,将隔热材料外侧的荷载传递到隔热材料内侧的受力构件上。

7.3 横梁结构设计

7.3.1 横梁截面主要受力部位的厚度，应符合下列要求：

1 截面自由挑出的板件（图 7.3.1a）和双侧加劲板件（图 7.3.1b）的宽厚比 b_0/t 应符合表 7.3.1 的规定，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018、《铝合金结构设计规范》GB 50429 的有关规定；

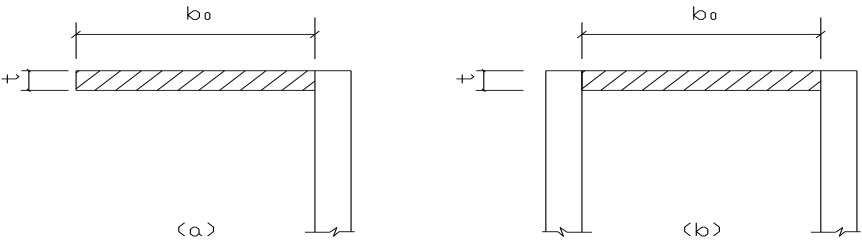


图 7.3.1 横梁的截面部位示意

表 7.3.1 板件宽厚比 b_0/t 限值

截面板件	铝型材				热轧钢型材		冷成型薄壁型钢	
	6063-T5 6061-T4	6063A-T6	6063-T6 6063A-T6	6061-T6	Q235	Q355	Q235	Q355
自由挑出	17	15	13	12	15	12	45	35
双侧加劲	50	45	40	35	40	33	100	80

2 当横梁跨度不大于 1.2m 时，铝合金型材截面主要受力部位的厚度不应小于 2.0mm；当横梁跨度大于 1.2m 时，其截面主要受力部位的厚度不应小于 2.5mm。采用螺纹连接时，连接部位的壁厚不应小于螺钉公称直径，宽度不应小于 13mm；

3 采用螺栓连接时，钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 3.5mm，采用焊接连接时，钢型材截面主要受力部位厚度不应小于 4.0mm。

7.3.2 应根据面板在横梁上的支承状况决定横梁的荷载，并计算横梁承受的弯矩

和剪力。大跨度开口截面横梁宜考虑约束扭转产生的双力矩。

7.3.3 横梁截面受弯承载力应符合下式要求：

$$\frac{M_x}{\gamma W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma W_{ny}} \leq f \quad (7.3.3)$$

式中： M_x ——横梁绕截面 x 轴的弯矩设计值(N • mm)；

M_y ——横梁绕截面 y 轴的弯矩设计值(N • mm)；

W_{nx} ——横梁截面绕截面 x 轴的净截面模量(mm³)；

W_{ny} ——横梁截面绕截面 y 轴的净截面模量(mm³)；

γ ——塑性发展系数。铝合金型材取1.0，钢型材取1.05；

f ——材料强度设计值，即 f_a^t 或 f_s^t (N/mm²)。

7.3.4 横梁截面受剪承载力应符合下式要求：

$$\frac{V_y S_x}{I_x t_x} \leq f \quad (7.3.4-1)$$

$$\frac{V_x S_y}{I_y t_y} \leq f \quad (7.3.4-2)$$

式中： V_x ——横梁水平方向 (x 轴) 的剪力设计值 (N) ；

V_y ——横梁竖直方向 (y 轴) 的剪力设计值 (N) ；

S_x ——沿竖直方向,计算剪应力处以上截面面积对水平中性轴的毛截面面积矩 (mm³) ；

S_y ——沿水平方向,计算剪应力处一侧截面面积对竖向中性轴的毛截面面积矩 (mm³) ；

I_x ——横梁截面绕 x 轴的毛截面惯性矩 (mm⁴) ；

I_y ——横梁截面绕 y 轴的毛截面惯性矩 (mm⁴) ；

t_x ——横梁截面垂直于 x 轴腹板的截面总宽度 (mm) ；

t_y ——横梁截面垂直于 y 轴腹板的截面总宽度 (mm) ；

f ——型材抗剪强度设计值，即 f_a^v 或 f_s^v (N/mm²)。

7.3.5 当面板在横梁上偏置使横梁产生较大的扭矩时，应进行横梁抗扭承载力计算，并采取相应的构造措施。

7.3.6 在重力荷载标准值作用下，横梁竖向弯曲变形挠度不超过构件支承点跨度的 $L/500$ ，挠度绝对值不超过 3mm。在风荷载标准值作用下，横梁的挠度限值

$d_{f,lim}$ 应符合下列规定:

$$\text{铝合金型材} \quad d_{f,lim} = L/180 \quad (7.3.6-1)$$

$$\text{钢型材} \quad d_{f,lim} = L/250 \quad (7.3.6-2)$$

式中: L ——横梁的跨度 (mm), 悬臂构件可取挑出长度的 2 倍。

7.3.7 当横梁和立柱连接采用的螺栓、螺钉或铆钉同时承受轴力和剪力时, 该连接承载力应符合下式计算要求:

$$\sqrt{\left(\frac{S_v}{V_s}\right)^2 + \left(\frac{S_N}{N_s}\right)^2} \leq 1 \quad (7.3.7)$$

式中: S_v ——单个螺栓、螺钉、铆钉的计算剪力值;

S_N ——单个螺栓、螺钉、铆钉的计算轴力值;

V_s ——单个螺栓、螺钉、铆钉只承受剪力的承载力设计值;

N_s ——单个螺栓、螺钉、铆钉只承受轴力的承载力设计值。

7.3.8 单个螺栓、螺钉、铆钉与型材连接时尚应验算型材本体的抗剪、局部承压的连接强度, 取各值中较小者为设计值。当横梁和立柱采用焊接连接构造时, 应按特定材料焊接要求进行计算。

7.4 立柱结构设计

7.4.1 立柱截面主要受力部位的厚度, 应符合下列要求:

1 铝合金型材截面开口部位的厚度不应小于 3.0mm, 闭口部位的厚度不应小于 2.5mm。采用螺纹连接时, 连接部位的壁厚不应小于螺钉公称直径, 宽度不应小于 13mm;

2 采用螺栓连接时, 钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 3.5mm, 采用焊接连接时, 钢型材截面主要受力部位厚度不应小于 4.0mm;

3 对偏心受压立柱, 其截面的宽厚比应符合本标准表 7.3.1 的相应规定。

7.4.2 立柱宜采用上端悬挂方式。当采用层内长短双跨连续梁式, 长短跨比不宜大于 10。立柱下端支承时, 应作压弯构件设计, 对受弯平面内和平面外作受压稳定验算。

7.4.3 上、下立柱之间的连接应符合下列要求:

1 上、下立柱的连接构造应结合紧密, 满足荷载传递, 适应层间变形。上下立柱间宜设置不小于 15mm 的缝隙, 接缝处宜封闭防水;

2 上、下立柱应采用芯柱连接。芯柱一端与立柱固定连接，另一端应能滑动伸缩。芯柱单端与立柱的结合长度不应小于型材长边边长，且不小于 120mm。芯柱可采用与立柱相同的材质，应有足够的刚度，壁厚不应小于立柱的壁厚；

3 芯柱与立柱固定连接可采用螺栓或焊接的方式。采用螺栓连接时，螺栓不应少于 2 个，直径不小于 10mm；采用焊接时，应标注焊缝位置及尺寸要求。

7.4.4 立柱的结构力学计算模型，应符合其实际支承条件、连接方式。根据立柱的实际支承条件，可分别按单跨梁、双跨梁或多跨铰接梁计算由风荷载或地震作用产生的弯矩和剪力，并按其支承条件计算轴力。

7.4.5 承受轴力和弯矩作用的立柱，其承载力应符合下式要求：

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma W_n} \leq f \quad (7.4.5)$$

式中：N——立柱的轴力设计值（N）；

M——立柱的弯矩设计值（N·mm）；

A_n ——立柱的净截面面积（mm²）；

W_n ——立柱在弯矩作用方向的净截面模量（mm³）；

γ ——截面塑性发展系数，铝合金型材取1.0，钢型材取1.05；

f ——型材的抗弯强度设计值 f_a^t 或 f_s^t （N/mm²）。

7.4.6 承受轴压力和弯矩作用的立柱，其在弯矩作用方向的稳定性应符合下式要求：

$$\frac{N}{\varphi A_n} + \frac{M}{\gamma W(1-0.8N/N_E)} \leq f \quad (7.4.6-1)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda^2} \quad (7.4.6-2)$$

式中：N——立柱的轴压力设计值（N）；

N_E ——临界轴压力（N）；

M——立柱的最大弯矩设计值（N·mm）；

φ ——弯矩作用平面内的轴心受压稳定系数，可按表7.4.6采用；

A_n ——立柱的毛截面面积（mm²）；

W——在弯矩作用方向上较大受压边的毛截面抵抗矩（mm³）；

λ ——长细比。等于构件侧向支承点之间的距离（mm）与截面回转半径（mm）的比值，即 $\lambda = L/i$ ；

γ ——截面塑性发展系数，可取1.05；

f ——型材的抗弯强度设计值 f_a^t 或 f_s^t （N/mm²）。

表 7.4.6 轴心受压柱的稳定系数 φ

长细 比 λ	热轧钢型材		冷成型薄壁型钢		铝型材			
	Q235	Q345	Q235	Q345	6063-T5 6061-T4	6063A-T5	6063-T6 6063A-T6	6061-T6
20	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.96	0.95
40	0.90	0.88	0.89	0.87	0.85	0.80	0.86	0.82
60	0.81	0.73	0.82	0.78	0.72	0.65	0.69	0.58
80	0.69	0.58	0.72	0.63	0.57	0.48	0.48	0.38
90	0.62	0.50	0.66	0.55	0.50	0.41	0.39	0.31
100	0.56	0.43	0.59	0.48	0.43	0.35	0.33	0.25
110	0.49	0.37	0.52	0.41	0.38	0.30	0.28	0.21
120	0.44	0.32	0.45	0.35	0.33	0.26	0.24	0.18
130	0.39	0.28	0.40	0.30	0.29	0.22	0.20	0.16
140	0.35	0.25	0.35	0.26	0.26	0.20	0.18	0.14
150	0.31	0.21	0.31	0.23	0.23	0.17	0.16	0.12

7.4.7 承受轴压力和弯矩作用的立柱，其长细比不宜大于 150。

7.4.8 在风荷载标准值作用下，立柱的挠度限值 $d_{f,lim}$ 应符合下列规定：

$$\text{铝合金型材} \quad d_{f,lim} = L/180 \quad (7.4.8-1)$$

$$\text{钢型材} \quad d_{f,lim} = L/250 \quad (7.4.8-2)$$

式中：L—立柱支点间的距离（mm），悬臂构件可取挑出长度的 2 倍。

7.4.9 立柱不宜采用铝合金型材腔内衬套钢型材作为共同参与受力的钢铝组合构件。确需采用钢铝组合截面立柱构造时应符合下列要求：

- 1 采用钢铝组合截面时，两种材料之间应采用绝缘材料隔离，以防止双金属防腐；
- 2 应考虑钢铝温度膨胀系数差异的影响；
- 3 钢铝组合截面尺寸应按其主受力型材强度计算确定。

7.4.10 钢铝组合截面立柱设计：

- 1 钢铝组合构造截面，不参与组合截面共同工作的部份，仍须按实际受力状况进行局部受力和连接部位计算；
- 2 钢铝共同工作的组合截面强度计算，可按刚度分配原理，分别按下式进

行计算：

$$q_{al} = \frac{I_{al}E_{al}}{I_{al}E_{al} + I_sE_s} \cdot q \cdot \gamma_F \quad (7.4.10-1)$$

$$q_s = \frac{I_sE_s}{I_{al}E_{al} + I_sE_s} \cdot q \quad (7.4.10-2)$$

式中：q——作用在立柱上的荷载值(N/mm)；

q_{al} ——组合截面上铝材承受的荷载值(N/mm)；

q_s ——组合截面上钢材承受的荷载值(N/mm)；

E_{al} ——铝材的弹性模量(N/mm²)；

E_s ——钢材的弹性模量(N/mm²)；

I_{al} ——组合截面中铝材独立的截面惯性距(mm⁴)；

I_s ——组合截面中钢材独立的截面惯性距(mm⁴)；

γ_F ——调正系数取 1.05。

3 钢铝共同工作的组合截面，应按材料力学方法验算型材间的剪力传递，按计算要求设置抗剪螺栓或螺钉；

4 钢铝组合截面立柱的挠度限值为 $l/250$ 。

7.5 连接设计

7.5.1 横梁与立柱的连接可采用螺栓、螺钉或焊接等方式，连接构造应能承受垂直于幕墙平面的水平力、幕墙平面内的垂直力及绕横梁水平轴的扭转力。

7.5.2 横梁与立柱采用螺栓或螺钉连接时应符合下列规定：

1 横梁与立柱间应有1.5mm~2.0mm间隙，采用柔性橡胶垫片或硅酮密封胶封闭；

2 横梁与立柱连接角码采用螺栓与立柱连接时，每个连接处的螺栓不应少于2个，开口横梁连接时不宜少于3个。螺栓直径不应小于6mm；

3 横梁与立柱的连接角码采用螺钉与立柱壁连接时，其连接处横梁和立柱的壁厚应满足各项承载能力极限状态要求，连接部位的壁厚不应小于螺钉公称直径，宽度不应小于13mm；

4 横梁与立柱的连接角码壁厚不应小于较厚的被连接铝合金构件，且不小于螺栓直径的0.6倍。

7.5.3 横梁与立柱采用销钉或弹簧销钉连接时应符合下列规定：

- 1 横梁与立柱间应有1.5mm~2.0mm间隙，采用柔性橡胶垫片或硅酮密封胶封闭；
- 2 销钉、弹簧销钉的材质应采用不锈钢304及以上，直径不应小于5mm，伸入立柱的深度不应小于10mm，孔径尺寸应满足精度配合要求；
- 3 销钉连接时，每个连接处销钉不应少于3个，应设置滑移后限位构造；
- 4 弹簧销钉连接时，应与其它连接组合使用，不得完全采用弹簧销钉连接。

7.5.4 横梁与立柱采用焊缝连接时应符合下列规定：

- 1 焊缝承载能力应满足设计要求，焊缝处应采取有效的防腐措施；
- 2 每间隔9m宜设一处水平向滑移铰接端，同一区段内横梁和立柱的连接构造应一致。

7.5.5 立柱与主体结构的连接应符合下列要求：

- 1 在楼层内布置时，上、下端均宜与主体结构铰接，宜采用上端悬挂方式；
- 2 跨层布置时，立柱与主体结构的连接支承点每层不宜少于一个，宜采用上端悬挂方式。每层设两个支承点时，上支承点宜采用圆孔，下支承点宜采用长圆孔；
- 3 连接支座应有满足平面内和平面外的调整措施。构件的连接宜对称布置，连接构造应有防松、防滑措施。当采用挂接或插接时应有防脱落、防滑动措施。

7.5.6 幕墙立柱与主体混凝土结构宜通过预埋件连接，预埋件应在主体结构施工时埋设，埋件位置应符合设计规定。不具备采用预埋件连接时，应采用其他可靠的连接措施，并应通过试验确定其承载力。支座反力应由原建筑主体设计单位复核。

7.5.7 扣合在幕墙面板压板上的装饰型材等部件，扣合连接应紧密可靠。当外侧装饰型材凸出面板超过80mm时应采用机械连接。

7.5.8 幕墙外挑构件或装饰部件，应通过连接件、转接件采用螺栓与幕墙支承框架连接，不得采用自攻螺钉连接，并考虑对幕墙支承框架的影响。开口截面型材不宜设置外挑构件。

8 单元式幕墙

8.1 一般规定

8.1.1 根据建筑形体及设计要求合理选择单元式幕墙构造系统,构造系统设计应安全可靠,并便于制作、安装、维修保养和局部更换。

8.1.2 单元式幕墙板块及相配套的装置和部件应在工厂内加工并完成组装,受运输或吊装影响的装饰构件可在施工现场组装。保温、防火、防雷、灯光和电动开窗装置等,宜与单元板块的安装同步施工。

8.1.3 单元式幕墙的结构计算、选材、构造、连接、防火防雷等除本章另有规定外,均应符合本标准相应章节的规定。

8.2 构造设计

8.2.1 幕墙板块四周的框架宜选用闭合腔体的型材。横梁和立柱的构造设计应符合本标准第7.3和第7.4节的相关规定。

8.2.2 单元板块的工艺防水:

1 板块组框时横梁与立柱的接触面应密封处理,组框的螺钉或螺栓孔应有防雨水渗漏措施,工艺孔应作封闭及防水处理;

2 板块四周框架采用闭合腔体型材时,型材端部应有可靠的防止雨水进入的封堵措施。受雨水侵蚀的拼装工艺孔应设有防水措施;

3 吊装孔及框架与主体结构的连接部位,不应损害幕墙的防水构造;

4 面板与框架及框架与框架连接处,应有可靠的密封措施。同一单元板块的明隐转换处密封措施应连续;

5 隔热型材构造部位应采取防雨水渗漏措施。

8.2.3 单元式幕墙的系统防排水:

1 单元式幕墙的系统排水路径应该清晰有效。单元式幕墙组件的插接部位、对接部位应按多腔减压和雨幕原理进行构造设计;

2 易渗入雨水和凝聚冷凝水的部位,应设计导排水构造,导排水构造中应无积水现象。横向内排水时,过桥与相邻两个单元板块的顶横梁间的搭接应有效密封;纵向内排水时,相邻两个单元立柱内的导排水插芯应该与单元立柱顶端有效密封,插芯与插芯之间对接时应有防止雨水外溢的技术措施。排水方式宜采用

同层横向排水，且排水孔距离纵向拼接缝不宜小于300mm。排水孔宜采用不小于12mm×40mm的长圆孔，排水孔宜采用透水材料遮挡；

3 横向相邻两个单元板块拼装后左、右两个立柱组合后形成腔体，前腔的水不应排入纵向相邻两个单元拼装后上、下两个横梁组合后形成腔体的后腔内。

8.2.4 横向隐框的玻璃面板底部应按本标准第6.2.17条规定设置托条，当玻璃面板与单元框架间采用浮动连接时，承托件应能承受吊装时玻璃自重产生的动力荷载。

8.2.5 隐框、半隐框玻璃面板的周边应有防护构造，防护构造宜方便面板的更换。当采用刚性防护构造时，防护构造与玻璃边缘的间隙不宜小于5mm，并采用柔性材料填塞、注胶。护边构造应有节能构造措施并应满足节能要求。

8.2.6 明框单元式幕墙面板周边与支撑框架的间隙应注胶密封，如图8.2.9-1中12位置。

8.2.7 玻璃周边与框架之间应设置柔性定位块，定位块长度不应小于100mm，每边不少于2块，定位块与框架之间应有可靠的固定连接。

8.2.8 单元板块密封胶条应整体贯通，密封胶条穿入后两端宜预留50mm，相邻边环通时应有可靠的组角固定措施。多单元共用同一胶条时，胶条应连续铺设，接口应有可靠的对接措施。多胶条相交时，接口应按有利防排水的原则采取可靠的对接措施，如图8.2.9-5中6位置。

8.2.9 单元式幕墙应根据密封性能、传力途径和装饰效果选择插接型、对接型或连接型构造系统。板块的接缝应进行最小缝宽、设计使用缝宽和最大缝宽的计算。最小缝宽不应导致立柱或横梁产生刚性挤压，最大缝宽不应使单元接缝传力或密封失效。

1 插接型接缝设计（图8.2.9-1）：

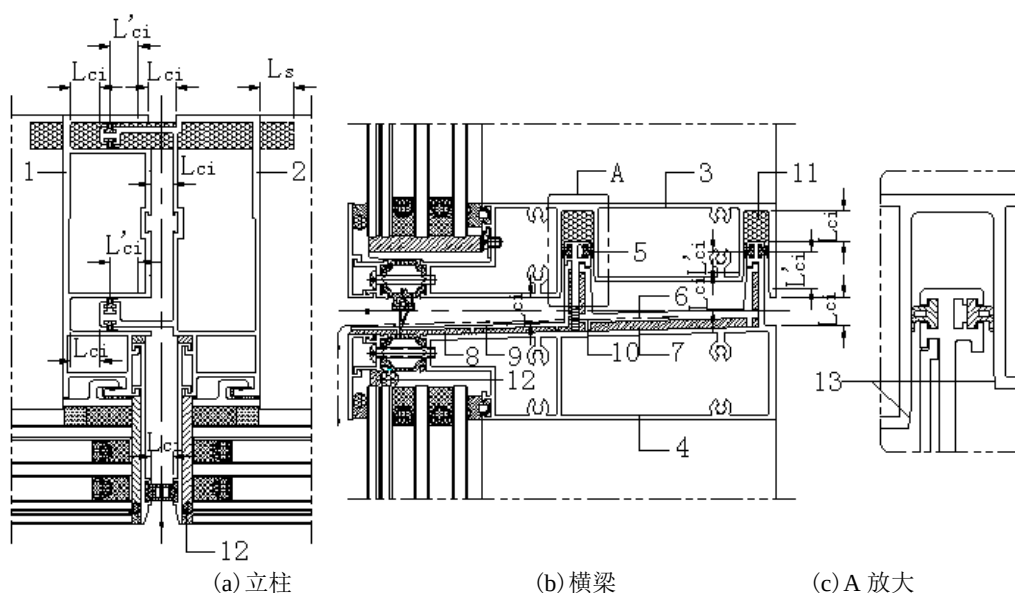


图 8.2.9-1 插接型接缝示意图

1—母立柱；2—公立柱；3—底横梁；4—顶横梁；5—密封胶条；6—过桥；

7、8—密封胶；9—批水板；10—排水路线；11—闭孔海绵；12—密封胶；13—导插构造

注：Lci为间隙，搭接量 L'_{ci} 为密封条中心至导插构造端点的距离。

1) 相邻单元拼接处立柱与横梁的设计使用缝宽 L_{cmin} 及有效搭接量 L'_{cmin} 应通过计算确定， L_{cmin} 应大于 L'_{cmin} ，且横梁的有效搭接量不应小于 15mm，立柱的有效搭接量不应小于 10mm。 L_{cmin} 的计算方法如下：

$$L_{cmin} \geq \alpha b \Delta t + d_C + d_E + \Delta h - \Delta f \quad (8.2.9-1)$$

$$L'_{cmin} \geq \alpha b \Delta t + d_C + d_E + \Delta f \quad (8.2.9-2)$$

$$\Delta f = f_b - f_t \quad (8.2.9-3)$$

式中： α ——横梁或立柱的线膨胀系数（ $1/^\circ\text{C}$ ）；

b ——计算方向横梁或立柱的长度（mm）；

Δt ——工程所在地年温度变化（ $^\circ\text{C}$ ），按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用；

d_C ——施工偏差（mm），可取 2mm；

d_E ——考虑地震作用等其它因素影响的预留量（mm）， $d_E \geq 2\text{mm}$ ；

Δh ——在永久荷载、楼面活荷载、屋面活荷载、屋面雪荷载作用下，层间主体结构压缩量（mm），适用于横梁间隙计算；

Δf ——幕墙单元底部主体结构梁或板与幕墙单元顶部主体结构梁或板的

竖向相对位移(mm)，适用于横梁间隙计算， $\Delta f < 0$ 时计入公式

8.2.9-1， $\Delta f > 0$ 时计入公式8.2.9-2；

f_b ——幕墙单元底部主体结构梁或板的竖向位移，向下为正；

f_t ——幕墙单元顶部主体结构梁或板的竖向位移，向下为正。

2) 过桥型材长度不应小于200mm，过桥与单元的上横梁间宜设置成一端铰接固定，另一端可滑动的连接形式。过桥与单元板块的上横梁间应留有间隙并用硅酮密封胶密封，间隙 t_s 根据过桥的两端伸缩情况按分别按①、②款计算，且不应小于3mm（图8.2.9-2）；

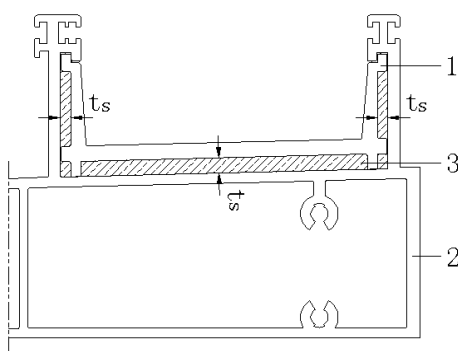


图 8.2.9-2 过桥型材与横梁胶缝示意图

1-过桥型材；2-顶横梁；3-硅酮密封胶

① 一端可以伸缩时，间隙 t_s 应按下式计算：

$$t_s \geq \frac{\alpha(b+l/2)\Delta t + d_E}{\sqrt{\delta(2+\delta)}} \quad (8.2.9-4)$$

式中： t_s ——过桥型材与顶横梁间的间隙(mm)；

α ——顶横梁的线膨胀系数（ $1/^\circ\text{C}$ ）；

b ——单元板块的分格宽度（mm）；

l ——过桥的长度（mm）；

Δt ——幕墙的年温度变化（ $^\circ\text{C}$ ）；

d_E ——考虑地震作用等其它因素影响的预留量(mm)， $d_E \geq 2\text{mm}$ ；

δ ——硅酮密封胶允许的变位承受能力。

② 两端可以伸缩时，间隙 t_s 应按下式计算：

$$t_s \geq \frac{\alpha(b+l)\Delta t + d_E}{2\sqrt{\delta(2+\delta)}} \quad (8.2.9-5)$$

3) 单元顶横梁上表面排水坡度宜大于2.5%；

4) 相邻四个单元拼装的十字缝处应有可靠的密封措施。可采用不透水不

透水的柔性材料封堵，柔性材料在长度方向单侧超出立柱宽度的尺寸 L_s 不应小于50mm，且不应小于3倍立柱的有效搭接量；安装时的压缩量不应小于横梁的有效搭接量。不影响装饰效果时宜注胶密封；

5) 插接处型材的槽口或插接壁应有导插构造，对插时胶条不应有脱槽或剪切破坏现象；

6) 立柱、横梁的插接壁和过桥起传力作用时，应进行抗剪和抗弯计算。

2 对接型接缝设计（图8.2.9-3）：

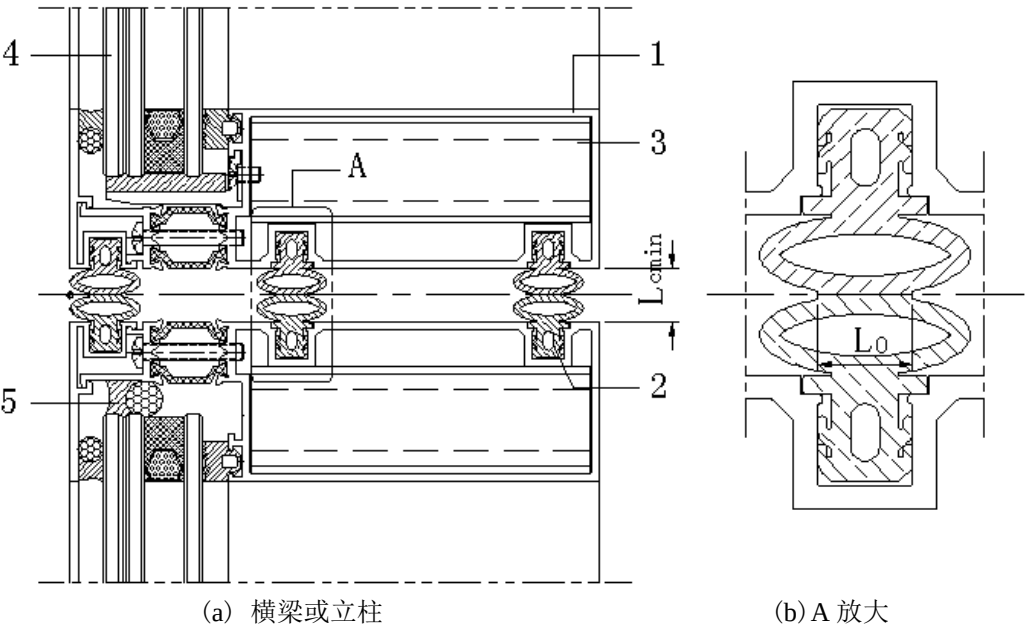


图 8.2.9-3 对接型接缝示意图

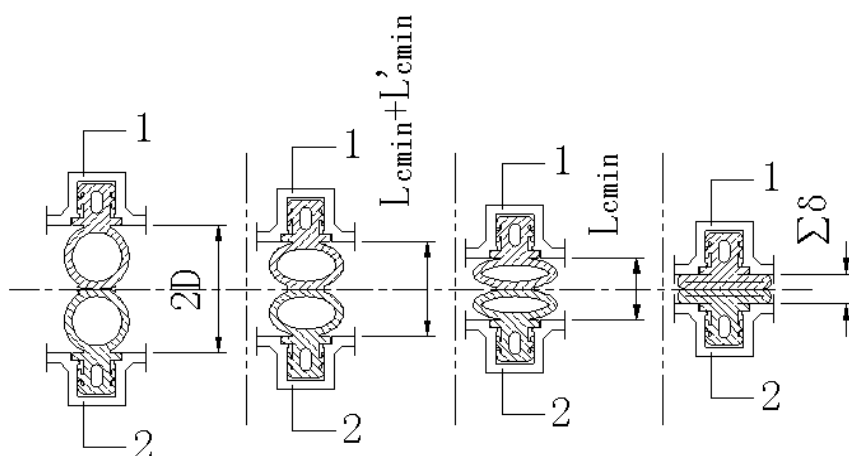
1-立柱或横梁；2-对接型密封胶条；3-组角角铝；4-面板玻璃；5-密封胶

1) 相邻单元拼接处横梁与立柱的设计使用缝宽 L_{cmin} 应通过计算确定，且不宜小于12mm， L_{cmin} 的计算方法如下：

$$L_{cmin} \geq \alpha b \Delta t + d_c + d_e + \Delta h - \Delta f + \sum \delta \quad (8.2.9-6)$$

式中： δ ——密封胶条壁厚（mm）。

2) 对接型密封胶条的硬度在最小缝宽时不应导致玻璃造成挤压应力，在设计使用缝宽时不宜导致立柱或横梁有明显的挤压变形，其尺寸D应通过下式计算，并应在最大缝宽时满足密封性能的要求（图8.2.9-4）：



松弛状态 最大缝宽 设计使用缝宽 最小缝宽

图 8.2.9-4 对接型接缝各状态胶条示意图

1-立柱或横梁；2-挤压式密封胶条

$$D \geq \frac{2}{3} (L_{cmin} + L'_{cmin}) \quad (8.2.9-7)$$

式中： L'_{cmin} 的计算方法见式 8.2.9-2。

3) 对接型密封胶条在设计使用缝宽和最大缝宽时的重叠量LO应大于横梁或立柱在幕墙面外荷载作用下的变形差；

4) 横梁和立柱的组角部位应密封处理，组角强度应满足设计要求。对接型密封胶条的组角措施应该可靠；

5) 采用对接型接缝的单元式幕墙不宜用在有明显的压缩量 (Δh) 或幕墙连接点间相对位移 (Δf) 的支撑结构上。

3 连接型接缝设计 (图8.2.9-5)：

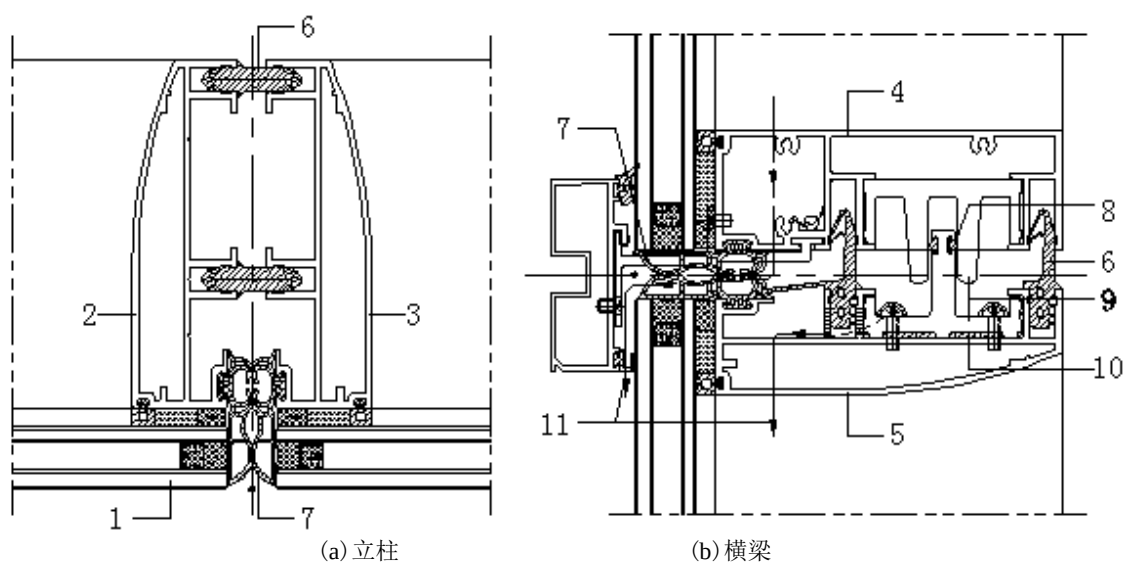


图 8.2.9-5 连接型接缝示意图

1-玻璃；2、3-立柱；4-底横梁；5-顶横梁；6-连接型密封胶条；7-对接型密封胶条；

8-密封胶条；9-定位传力插件；10-密封胶；11-流水线

1) 相邻单元拼接处横梁、立柱没有胶条覆盖部位和定位传力插件的设计使用缝宽 L_{cmin} 、搭接量 L'_{cmin} 之规定和计算方法见本标准第8.2.9条第1款；横梁和立柱有胶条覆盖部位的设计使用缝宽 L_{cmin} 在8.2.9条第1款之规定和计算方法中累计胶条厚度；

2) 对接型密封胶条起到密封作用时，应按本标准第8.2.9条第2款计算其尺寸D和重叠量 L_0 ；不起密封作用时其直径D宜按下式计算：

$$D \geq \frac{1}{2} (L_{cmin} + L'_{cmin}) \quad (8.2.9-8)$$

式中： L'_{cmin} 的计算方法见式 8.2.9-2。

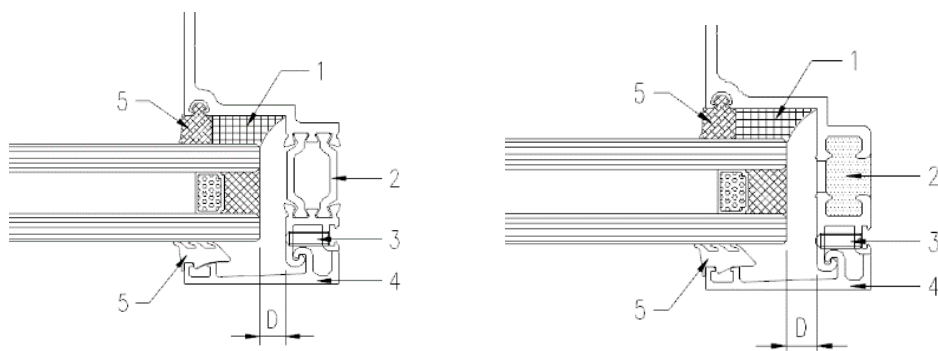
3) 横梁上的定位传力插件兼顾集排水作用时，与单元顶横梁的连接和密封方法应符合本标准第8.2.9条第1款中第2项的规定；

4) 连接型密封胶条与横梁或立柱槽口间应设计成一端限位一端滑移的形式，滑移端在最大缝宽时应满足密封要求；

5) 连接型密封胶条纵横交叉时应有可靠的交接密封措施，柔性挤压式密封胶条的组角措施应该可靠；

6) 当相邻两个横梁、立柱在荷载作用下的变形差大于3mm时，应设置定位传力插件。为相邻单元提供支反力的定位传力插件应就近设置。定位传力插件应进行抗弯、抗剪计算；与之配合的横梁壁应进行抗拉、抗弯、抗剪计算；采用螺钉或螺栓固定时，应验算螺钉或螺栓的受拉、受剪、承压的承载能力，螺钉还应计算螺纹牙的受剪承载力。

8.2.10 明框单元板块的龙骨采用隔热型材时，玻璃应采用结构胶与隔热型材的主要受力部分粘接。隔热型材应满足现行国家标准《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB/T 5237.6的规定。使用穿条式需满足现行国家标准《铝合金建筑型材用隔热材料 第1部分：聚酰胺型材》GB/T 23615.1中的规定。使用浇注式需满足现行国家标准《铝合金建筑型材用隔热材料 第2部分：聚氨酯隔热胶》GB/T 23615.2中的Ⅱ级胶的技术要求。明框单元体幕墙使用铝扣条安装玻璃的，须做机械防脱措施。玻璃与型材之间的间隙应满足注胶要求且不小于8mm，并应大于立柱与玻璃之间的侧向相对变形值，当此间隙采用密封胶密封时，密封胶应有相应的变位能力。



a 穿条式型材

b 浇注式型材

图 8.2.10 明框单元式幕墙玻璃安装

1-结构胶；2-隔热材料；3-机械防脱螺钉；4-铝合金扣条；
5-玻璃安装胶条；6-玻璃与型材之间的间隙 D

8.2.10 幕墙面板设计安装应便于更换维修，板块应有防滑脱、防坠落的构造措施。应有供面板拆卸更换用的临时固定构造措施。

8.2.11 固定在单元幕墙上的擦窗机防风销及灯光照明装置应连接牢固可靠，不得破坏幕墙的防水系统。

8.3 结构设计

8.3.1 单元式幕墙结构计算应有明确的计算模型，单元式幕墙的横梁和立柱的结构可按本标准的第 7.3 和第 7.4 节的规定计算，面板计算按本标准第 6 章的规定。

8.3.2 插接式单元式幕墙的横梁和立柱应分别按其在自身单元内所承受的面外荷载和作用进行承载力计算。相邻单元插接处的横梁或立柱间有确保协同变形的构造措施时，可按刚度分配后按各自承担的面外荷载和作用分别计进行承载力算。

$$q_1 = q \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad (8.3.2-1a)$$

$$\text{或 } F_1 = F \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad (8.3.2-1b)$$

$$q_2 = q \frac{I_2}{I_1 + I_2} \quad (8.3.2-2a)$$

$$\text{或 } F_2 = F \frac{I_2}{I_1 + I_2} \quad (8.3.2-2b)$$

式中：q、F——作用在相邻单元插接处组合横梁或立柱上的线荷载（N/mm）
或集中荷载（N）；

q_1 、 q_2 ——分配到组合横梁或立柱的单一组成部分上的线荷载 (N/mm)；

F_1 、 F_2 ——分配到组合横梁或立柱的单一组成部分上的集中荷载 (N)；

I_1 、 I_2 ——组合横梁或立柱的单一组成部分的截面惯性矩 (mm^4)。

8.3.3 紧固件连接强度的计算应符合下列规定：

1 构件、连接件、螺钉、螺栓和铆钉的强度设计值应按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429 和《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用；

2 构件、连接件、螺钉、螺栓和铆钉的承载力应按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 和《钢结构设计标准》GB 50017 的规定计算；

3 承受杆轴方向的拉力时，螺钉帽、螺帽及螺母下构件承压承载力设计值应按下式计算：

$$\text{螺钉：} \quad N_{cp}^S = A_b f_c^b \quad (8.3.3-1)$$

$$\text{螺栓：} \quad N_{cp}^b = A_b f_c^b \quad (8.3.3-2)$$

式中： A_b ——螺钉帽、螺帽或螺母的承载面积 (mm^2)，按现行国家标准《螺纹紧固件应力截面积和承载面积》GB/T 16823.1 计算或选取；

f_c^b ——螺钉或螺栓承压强度设计值 (N/mm^2)。

4 采用螺钉连接时，还应进行螺纹牙受剪承载力设计值的计算：

$$N_v^{st} = n_v^{st} \pi d_4 e^s f_v^s \quad (8.3.3-3)$$

$$n_v^{st} = \frac{t}{p} - 1 \quad (8.3.3-4)$$

$$d_4 = d + \frac{\sqrt{3}}{8} p - \sqrt{3} e^s \quad (8.3.3-5)$$

$$e^s = \frac{f_v p}{f_v^s + f_v} \quad (8.3.3-6)$$

式中： n_v^{st} ——受剪螺纹牙数目；

t ——螺钉与构件带有螺纹处咬合厚度 (mm)，主要受力连接处不应小于 4mm；

p ——螺距 (mm)；

d_4 ——螺钉与构件等效受剪承载力处直径 (mm)；

d ——螺钉公称直径 (mm)；

e^s ——螺钉与构件等效受剪承载力处螺钉螺纹牙受剪宽度 (mm)；

f_v ——连接构件的抗剪强度设计值 (N/mm^2) ;

f_v^s ——螺钉的抗剪强度设计值 (N/mm) 。

8.3.4 单元框架连接处螺钉的拉力和剪力应按下列规定计算并组合:

1 单元范围内不需要组框承受弯矩保证单元形状时, 通过被连接杆件的单元面内轴力计算螺钉的拉力, 通过被连接杆件的单元面内剪力、面外剪力和面外扭矩计算螺钉的剪力;

2 在单元范围内需要组框处承受弯矩保证单元形状时, 还应通过组框处弯矩计算螺钉的拉力;

3 组框处承受相邻单元的支反力时, 还应通过支反力产生的弯矩或扭矩计算螺钉的拉力或剪力。

8.3.5 单元式幕墙与主体结构连接组件及埋件应在最不利的荷载和作用组合和最不利的偏差位置进行强度计算, 确保连接安全。

8.3.6 对接形式的单元式幕墙, 对接处立柱与横梁应分别按其所承受的荷载和作用计算。幕墙面内的荷载和作用不应由相邻单元拼接处的相邻横梁或立柱承担。

8.3.7 开口型材的整体稳定性可采用有限元方法计算, 也可根据现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定计算。

8.4 连接设计

8.4.1 幕墙框架及幕墙与主体结构之间连接处的构件、连接件、焊缝、螺栓、螺钉等设计, 应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 和《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。单元式幕墙的连接设计除满足本节规定外, 还用满足本标准第 7.5 节的规定。

8.4.2 单元板块与主体结构连接设计应符合下列规定:

1 连接组件宜设计成使单元板块绕水平轴转动的构造形式。安装连接支座应确保三维可调节, 前后和左右方向的调节量不小于 30mm, 上下方向的调节量不小于 20mm, 安装定位后应有防止板块滑动及脱落的构造措施;

2 连接构件厚度经计算确定, 钢材不应小于 6mm, 铝合金型材不应小于 8mm。铝合金连接件宜采用 6061-T6 牌号;

3 单元式幕墙板块与连接件应采用不锈钢螺栓连接, 螺栓公称直径不小于

10mm，每个连接处不少于 2 个螺栓。限位作用的螺钉或螺栓的直径不宜小于 6mm。

8.4.3 单元板块构造连接设计应符合下列规定：

1 立柱和横梁应采用不锈钢螺钉连接，螺钉直径不应小于 5mm，螺钉数量应经计算确定且每个连接点不少于 3 个；

2 螺钉与型材的有效连接长度应经过计算确定，并不宜小于 30mm。螺纹孔最小壁厚不应小于 2mm，光孔的壁厚不应小于 3mm。不应采用沉头或半沉头螺钉；

3 顶、底横梁与立柱连接螺钉数量应经计算确定且每个连接点不少于 4 个。

8.4.4 平行单元板块平面方向，单元式幕墙与主体结构的连接应设计成一端防滑移，一端可吸收单元温度变形的构造形式，防滑移构造应能承受滑移方向的荷载和作用。单元式幕墙与主体结构的连接应有防脱落措施。

8.4.5 装饰构件与单元体的连接应符合下列规定：

1 用于固定装饰构件的立柱、横梁应能独立承受装饰构件、面板传递的拉力、剪力、双向弯矩、扭矩等共同作用；

2 装饰构件宜固定在立柱或顶底横梁中刚度较大的型材上。立柱、横梁插接部位的厚度应能有效传递、协调公母型材上的荷载，确保公母型材的协调变形；

3 装饰构件外端距离面板不宜大于 400mm，不应大于 600mm，超过上述尺寸的装饰构件或遮阳构件，宜直接固定在主体结构上；

4 装饰构件连接应采用螺栓固定。可按构造和受力需要，采用单排或双排螺栓固定；

5 外装饰构件不宜采用多个铝合金型材扣合。当采用铝合金型材扣合时，应设置有效的机械连接措施；

6 外装饰构件的连接件应安全牢固，连接件与埋件系统需有抗侧向荷载措施。

9 双层幕墙

9.1 一般规定

9.1.1 根据建筑物所在地的地理、气候和环境条件，结合保温、隔热、新风和隔声等性能要求，经综合的经济技术分析，选择采用双层幕墙的构造类型和通风形式。

9.1.2 采用双层幕墙的建筑，其建筑设计效果应与周围环境相协调，并根据建筑立面效果、防火要求、热工性能、光学性能、隔声性能及其它舒适性要求，确定双层幕墙的立面划分、空气间层的通风形式、空气间层的长度和宽度、空气间层的循环高度以及进出风口的尺寸。

9.1.3 采用双层幕墙应有利提高建筑物的舒适度和节能性能。双层幕墙宜具备室内外自然通风换气功能；双层幕墙的设计应有效利用太阳辐射热，减少太阳辐射热对室内环境的负面影响。

9.1.4 以隔热为主时应采用外通风双层幕墙，以保温为主时宜采用内通风双层幕墙或进出风口有关闭功能的双层幕墙。

9.1.5 玻璃选用：

1 外通风双层幕墙的外层幕墙宜采用单层或夹层玻璃，内层幕墙应采用 LOW-E 中空玻璃；

2 内通风双层幕墙的外层幕墙应采用中空玻璃或 LOW-E 中空玻璃，内层幕墙可采用单层或夹层玻璃；

3 宽腔双层幕墙的外层幕墙应采用夹层玻璃及其制品，窄腔双层幕墙的外层幕墙宜采用夹层玻璃及其制品。

9.1.6 双层幕墙宜设置中间遮阳装置，遮阳产品的控制系统应符合现行行业标准《建筑遮阳产品电力驱动装置技术要求》JG/T 276 和《建筑遮阳产品用电机》JG/T 278 的相关规定。

9.1.7 根据双层幕墙的不同结构形式，应设置可供双层幕墙清洗和维护的配套装置和设施。

9.1.8 双层幕墙的荷载作用计算、作用效用组合、选材、构造、结构及连接等设计除本章另有规定外，均应符合本标准相关章节的相关规定。双层幕墙的防

火设计应符合本标准第 4.6 节的规定,双层幕墙的防雷设计应符合本标准第 4.7 节的规定,双层幕墙的热工设计应符合本标准第 4.5 节和附录 E 的规定。

9.2 构造设计

9.2.1 双层幕墙的构造设计应满足安全、适用、美观的要求,并便于制作、安装、维修保养和局部更换。

9.2.2 单元式双层幕墙应自身连接牢固,构造完整,并具有吊装装置。

9.2.3 单元式双层幕墙的接缝设计应符合本标准的第 8 章的规定,并应符合下述 3 款的要求:

1 外通风双层幕墙的单元接缝处的密封构造措施应位于内层幕墙的密封界面上,外层幕墙的接缝处宜设置挡、排水构造;

2 内通风双层幕墙的单元拼接缝处的密封构造措施应位于外层幕墙的密封界面上,内层幕墙的接缝处宜设置密封、装饰构造措施;

3 内外通风双层幕墙的单元接缝处,在内外层幕墙的密封界面上均应设置密封构造措施。

9.2.4 外通风双层幕墙的进出风口部位,宜采用防水、挡水和导排水构造措施。外通风双层幕墙空气间层内和其它可能渗入雨水或产生冷凝水的部位,应采取有效的导排水构造措施。

9.2.5 双层幕墙与主体结构变形缝相对应的构造缝应能适应主体结构的变形要求,构造缝可采取柔性连接构造或设计成易修复的构造。双层幕墙的面板及支撑框架不应跨越主体结构的变形缝。

9.2.6 空气间层应根据形成气体流动的条件和驱动形式合理设计气流路线,进出风口宜设置导流装置。采用机械通风的空气间层系统,应与建筑暖通系统结合设计,进出风口的尺寸应与设计风速相匹配。

9.2.7 宽腔双层幕墙空气间层净宽不应小于 450mm,内层应设置出入空气间层的检修、维护门,检修、维护门的位置宜与外层消防救援窗的位置相对应,并结合消防救援窗设计空气间层内的救援通道。

空气间层内的检修维护通道应能承受检修荷载,救援通道的承载能力应满足上人楼面的要求,并不应小于 2.0KN/m^2 。门应设计成内外均可开启的形式。

9.2.8 窄腔双层幕墙空气间层两侧面层间净宽不应小于 240mm,不宜大于

400mm。内层幕墙的每个分格内均应设置检修、维护门。

9.2.9 进出风口设置开关装置时，开关装置应开关灵活、关闭严密。进出风口有消防排烟功能时，开关装置应便于手动开启或与消防联动控制。

9.2.10 进出风口位于不便于清理维护位置时，宜设置隔离网，防止鸟类或其它杂物进入。

9.2.11 置于空气间层内的活动遮阳装置应设有导向和防摆动构造，外通风双层幕墙的遮阳装置的位置宜靠近外层幕墙，内通风双层幕墙的遮阳装置的位置宜靠近内层幕墙，遮阳百叶的边缘距离幕墙表面的距离不应小于 30mm。遮阳装置应可维修和更换。

9.2.12 双层幕墙的保温构造应可靠固定，并采取有效的防潮措施。

9.3 结构设计

9.3.1 双层幕墙的内外层幕墙承受的风荷载标准值可按照本标准的规定确定，也可比照类似条件的风洞试验资料确定；条件具备时，宜由风洞试验确定；对于重要且风环境恶劣的建筑，应由风洞试验确定。

9.3.2 双层幕墙的风荷载标准值应区分主要受力结构或维护结构，分别按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和本标准第 5.2 节的规定计算。

9.3.3 内通风双层幕墙的内、外层幕墙风荷载标准值应根据自身的结构类型按本标准第 9.3.2 条的规定计算，并应符合下列规定：

1 内通风双层幕墙的外层幕墙应承受完全的风荷载，且风荷载标准值不应小于 1.0KN/m^2 ；

2 内通风双层幕墙的内层幕墙承受的风荷载标准值可按 50%进行折减，且折减后的风荷载标准值不应小于 0.8kN/m^2 。

9.3.4 外通风双层幕墙的内、外层幕墙风荷载标准值应根据自身的结构类型按本标准第 9.3.2 条的规定计算，并应符合下列规定：

1 外通风双层幕墙的外层幕墙应承受完全的风荷载；

2 外通风双层幕墙的内层幕墙为主要受力结构时，内层幕墙应承受完全的风荷载；外通风双层幕墙的内层幕墙为围护结构时，内层幕墙承受的风荷载标准值可按 80%进行折减；

3 外通风双层幕墙的内、外层幕墙风荷载标准值均不应小于 1.0KN/m^2 。

9.3.5 内外通风转换的双层幕墙的内、外层幕墙风荷载标准值应按本标准第 9.3.4 条的规定确定。

9.4 连接设计

9.4.1 双层幕墙的结构与构造连接的连接件、焊缝、螺栓、螺钉设计应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429、《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定，并应满足本标准的相关规定。

9.4.2 内外层幕墙组成单元体的连接件、螺栓、螺钉应符合：

- 1** 连接边的连接件的数量应根据被连接构件的受力需要确定，且不应少于两处。铝合金板材连接件的壁厚不应小于 8mm，钢连接件的壁厚不应小于 6mm；
- 2** 每处连接件上的螺栓或螺钉直径不应小于 8mm，数量不应少于两个。

9.4.3 双层幕墙的构造连接：

1 通道连接边的连接件数量应根据受力需要确定，且不少于两处。铝合金连接件的壁厚不应小于 4mm，钢连接件的壁厚不应小于 3mm；每处连接件上的螺栓或螺钉的直径不应小于 5mm，数量不少于 2 个；

2 进出风口、空气间层内隔板、遮阳设施连接边的连接件数量应根据受力需要确定，且不少于两处。铝合金连接件的壁厚不应小于 3mm，钢连接件的壁厚不应小于 2.5mm；每处连接件上的螺栓或螺钉的直径不应小于 5mm。

9.4.4 连接件应满足抗拉、抗剪、抗弯、抗扭的承载力要求，焊缝、螺栓、螺钉应具有与连接件相匹配的承载能力。

10 全玻璃幕墙

10.1 一般规定

10.1.1 全玻璃幕墙可采用自承重下端支承和悬挂体系。采用自承重下端支承全玻璃幕墙的最大高度应符合表10.1.1规定。超过规定高度时，全玻璃幕墙应采用悬挂在主体结构上的体系，宜采用吊夹或螺栓承力的吊挂系统。

表 10.1.1 下端支承全玻璃幕墙的最大高度

玻璃厚度（mm）	10	12、15	19
最大高度（m）	4	5	6
注：玻璃厚度指等效厚度，采用多层玻璃组合的面板玻璃时，其等效厚度按本标准第 6.2 节的规定。			

10.1.2 单片玻璃的厚度不应小于10 mm，中空玻璃及夹层玻璃单片厚度不应小于8 mm。

10.1.3 全玻璃幕墙的玻璃肋宜采用夹层玻璃，玻璃肋开孔时应采用钢化夹层玻璃。

10.1.4 吊挂式全玻璃幕墙的面板和玻璃肋，应直接或间接悬挂在同一主体结构上。

10.2 构造设计

10.2.1 全玻璃幕墙的周边收口槽壁与玻璃面板或玻璃肋的空隙均不应小于8 mm；下支撑式玻璃与下槽底应采用不少于两块硬质橡胶垫块，垫块长度不应小于100 mm，厚度不应小于10 mm；吊挂玻璃下端与下槽底垫块之间的空隙应满足玻璃及支承结构变形的要求，且不得小于10 mm，玻璃入槽深度不小于20mm，槽壁与玻璃间应采用弹性垫块支承或填塞，且用硅酮密封胶密封。

10.2.2 全玻璃幕墙的面板及玻璃肋不得与其他刚性材料直接接触。面板与装修面或结构面之间的空隙不应小于8 mm，且应采用密封胶密封。

10.2.3 全玻璃幕墙玻璃肋的截面厚度不应小于12 mm，夹层玻璃肋单片厚度不应小于8mm，玻璃肋截面高度不应小于100 mm。

10.2.4 玻璃肋用金属连接件应采用不低于06Cr19Ni10（室内）或06Cr17Ni12Mo2（室外）的不锈钢材料，厚度不应小于6 mm。连接螺栓应采用不锈钢螺栓，直

径不应小于10 mm。螺栓与玻璃孔之间应设置软铝、软铜等软金属衬套或软金属外覆非金属衬套，也可用高弹性模量的环氧胶填充密实。

10.2.5 玻璃面板或玻璃肋上开孔时，孔边至玻璃边距离不应小于单片玻璃厚度的 4.0倍和孔径的2.0倍，且不小于70mm。相邻两孔的孔边距不应小于单片玻璃厚度的 5.0倍，且不小于孔径的3.0倍，孔中心距不宜大于孔径的8倍。

10.3 结构设计

10.3.1 面板玻璃通过胶缝与玻璃肋相联结时，面板可按支承于玻璃肋的单向简支板设计，其应力与挠度可分别按本标准第6.2.7条和第6.2.8条的规定计算，公式中的值应取为玻璃面板的跨度，系数 m 和 μ 可分别取为0.125和0.013。

10.3.2 通过胶缝与玻璃肋连接的面板，在风荷载标准值作用下，其挠度不宜大于跨度的1/60。

10.3.3 全玻璃幕墙玻璃肋的截面高度 h_r (图 10.3.3)可按下列公式计算：

$$h_r = \sqrt{\frac{3qlh^2}{8f_g t}} \quad (\text{双肋}) \quad (10.3.3-1)$$

$$h_r = \sqrt{\frac{3q l^3 h}{4f_g t}} \quad (\text{单肋}) \quad (10.3.3-2)$$

式中： h_r ——玻璃肋截面高度（mm）；

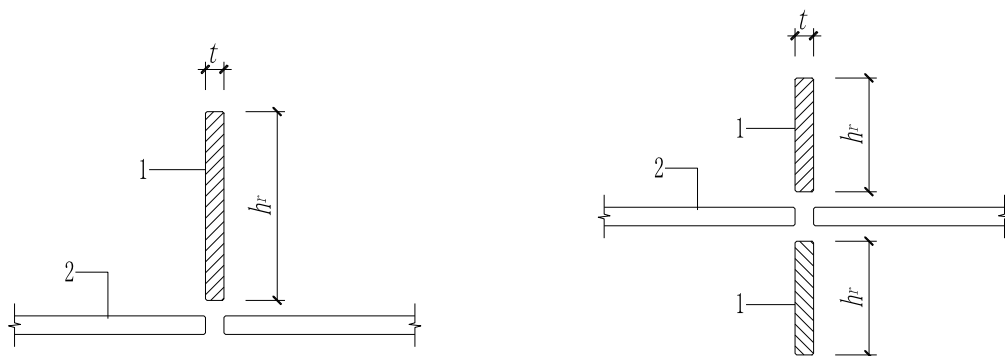
q ——风荷载和地震作用组合设计值（N/mm²）；

l ——两肋之间的玻璃面板跨度（mm）；

f_g ——取玻璃端面强度设计值（N/mm²）；

t ——玻璃肋截面厚度（mm）；

h ——玻璃肋上、下支点的距离，即计算跨度（mm）。



(a)

(b)

图10.3.3 全玻璃幕墙玻璃肋截面尺寸示意

(a)单肋；(b)双肋

1——玻璃肋；2——玻璃面板

10.3.4 全玻璃幕墙玻璃肋在风荷载标准值作用下的挠度 d_f 可按下列式计算：

$$d_f = \frac{5}{32} \times \frac{W_k l h^4}{E t_r^3} \quad (\text{单肋}) \quad (10.3.4-1)$$

$$d_f = \frac{5}{64} \times \frac{\omega_k l h^4}{E t_r^3} \quad (\text{双肋}) \quad (10.3.4-2)$$

式中： W_k ——风荷载标准值 (N/mm^2)；

E ——玻璃弹性模量 (N/mm^2)。

10.3.5 在风荷载标准值作用下，玻璃肋的挠度不宜大于其计算跨度的1/300。

10.3.6 玻璃肋面内承载力和变形验算时，夹层玻璃肋的等效截面厚度可取两片玻璃厚度之和。

10.3.7 高度大于8m的玻璃肋宜考虑平面外的稳定验算，高度大于12 m的玻璃肋，应进行平面外的稳定验算，并采取防止侧向失稳的构造措施。

10.3.8 采用胶缝传力的全玻璃幕墙，其胶缝必须采用硅酮结构密封胶。

10.3.9 全玻璃幕墙结构胶缝厚度不应小于8mm，承载力应满足下列要求：

1 与玻璃面板平齐或突出的玻璃肋：

$$\frac{q l}{2 t_1} \leq f_1 \quad (10.3.9-1)$$

2 后置或骑缝的玻璃肋：

$$\frac{q l}{t_2} \leq f_1 \quad (10.3.9-2)$$

式中： q ——垂直于玻璃面板的分布荷载设计值 (N/mm^2)；

l ——两肋之间的玻璃面板跨度 (mm)；

t_1 ——粘接宽度，取玻璃面板截面厚度 (mm)；

t_2 ——粘接宽度，取玻璃肋截面厚度 (mm)；

f_1 ——硅酮结构密封胶在风荷载或地震作用下的强度设计值，
取 0.2N/mm^2 。

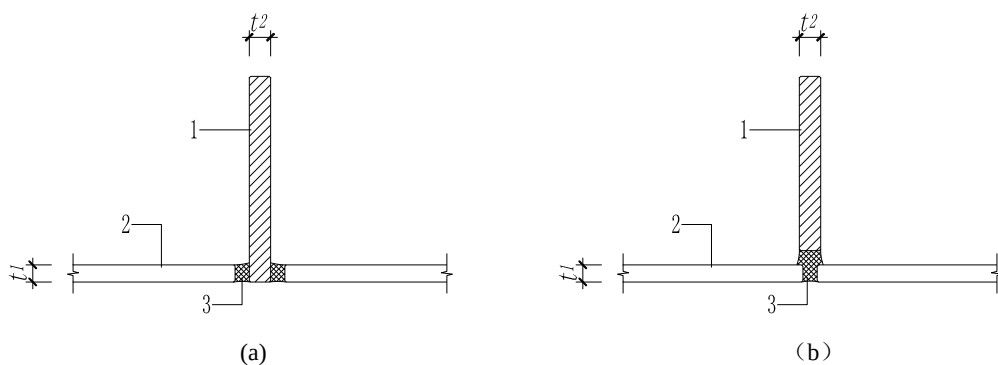


图10.3.9 全玻璃幕墙玻璃肋示意

(a)与玻璃面板平齐或突出的玻璃肋；(b)后置或骑缝的玻璃肋

1——玻璃肋；2——玻璃面板；3——结构胶

10.3.10 胶缝宽度不满足本标准第10.3.9条要求时，可采取附加玻璃板条或不锈钢条等措施，加大胶缝宽度。

10.3.11 吊挂式全玻璃幕墙的面板与玻璃肋与主体结构间应设置刚性水平传力结构。

10.3.12 吊挂全玻璃幕墙的主体结构和结构构件应有足够的刚度，每块玻璃及玻璃肋应吊挂在同一结构体上。采用钢桁架或钢梁作为受力构件时，在竖向荷载标准值作用下，最大挠度不应超过其跨度的 $1/400$ ；在水平荷载标准值作用下，最大挠度不应超过其跨度的 $1/250$ 。

10.4 连接设计

10.4.1 采用金属件连接的玻璃肋，连接接头应能承受截面的弯矩设计值和剪力设计值。接头应进行螺栓受剪和玻璃孔壁承压计算，玻璃验算应取端面强度设计值。

10.4.2 吊挂玻璃肋支承玻璃幕墙的玻璃肋采用玻璃孔内螺栓传递荷载时，应计算螺栓受剪和玻璃孔壁承压，同时应验算孔内填充材料的抗挤压强度。连接节点采用螺栓群组时应有明确的计算模型。

10.4.3 玻璃孔壁承压应按式 (10.4.3) 验算。

$$N \leq \eta_1 \eta_2 D t f_{gd} \quad (10.4.3)$$

式中： N —— 吊挂节点或连接节点各孔中受力最大孔的径向作用力 (N)，应考虑拉压弯剪的共同作用；

D —— 孔径 (mm)，宜取螺栓直径的 1.40 倍；

- t —— 玻璃厚度 (mm)，多片玻璃粘合时取各单片厚度之和；
- f_{gd} —— 强度设计值 (N/mm²)，验算玻璃承压时，取玻璃端面强度 50N/mm² 为设计值；
- η_1 —— 玻璃孔螺栓传力折减系数，取 0.7；
- η_2 —— 孔加工及合片精度折减系数，双片玻璃取 0.85，多片玻璃取 0.80。

10.4.4 玻璃孔内填充材料应按公式 (10.4.3) 验算抗挤压强度， f_{gd} 取填充材料抗挤压强度设计值， D 取螺栓直径， η_1 取 1.0。

10.4.5 采用螺栓承力吊挂时，螺栓抗剪强度应按公式 (10.4.5) 验算。

$$N \leq 0.5 F_n f_v \quad (10.4.5)$$

式中： N —— 吊挂节点或连接节点各孔中受力最大孔的径向作用力 (N)，应考虑拉压弯剪的共同作用；

F_n —— 单个螺栓的净截面积 (mm²)；

f_v —— 螺栓抗剪强度设计值 (N/mm²)。

10.4.6 采用螺栓承力的吊挂式全玻璃幕墙，应按公式 (10.4.3) 验算仅在面板和肋自重作用下玻璃孔壁的承压， N 值计算时荷载系数取 1.35， f_{gd} 取长期荷载端面强度为设计值。

10.4.7 螺栓承力吊挂式全玻璃幕墙玻璃肋，玻璃孔采用填充胶时，应符合下列要求：

- 1 玻璃孔壁不平整度不宜大于 1.0mm；
- 2 孔隙注胶饱满，填充胶固化后强度应满足设计要求，符合本标准规定；
- 3 符合本条第 1 款和第 2 款时，玻璃肋吊挂和连接接头可直接按本标准相关条款计算设计；
- 4 玻璃孔壁不平整度大于 1.0mm，但相应孔群各孔的孔壁不平整度不大于设计计算孔间隙的 1/3 时，相应部位的连接除螺栓承力外，应有附加安全措施。

10.4.8 吊挂式全玻璃幕墙的转角处宜设置辅助支承构件。

11 点支承玻璃幕墙

11.1 一般规定

11.1.1 点式驳接头应能适应玻璃面板在支承点处的转动变形。矩形玻璃面板宜采用四点支承，玻璃面板支承孔边缘与板边的距离不应小于70mm。

11.1.2 采用单片玻璃时，厚度不应小于8mm；采用夹层玻璃和中空玻璃时，其单片厚度不应小于8mm。玻璃板缝宽度不应小于12mm。

11.1.3 支承结构可选用刚性杆件系统、玻璃肋、钢管桁架、索杆桁架或索网。驳接系统可选用钻孔式或夹板式。主体结构应能承受索杆桁架或索网体系的预拉力和荷载作用。幕墙高度大于15m时不宜采用玻璃肋。

11.1.4 支承结构为玻璃肋时可按本标准第10.2节和第10.3节的规定设计。钢管桁架支承结构体系可采用线性方法计算分析。索结构支承体系应采用几何非线性方法计算分析，对初始预拉力及荷载作用下进行计算，设计时，需标明环境温度条件下，不同索杆所对应预紧力值。

11.1.5 点支承玻璃支承孔周边应可靠密封。点支承玻璃为中空玻璃时，其支承周边应采取多道密封措施。

11.1.6 点支承玻璃幕墙不宜设置开启窗。确需设置时，应有可靠的防水密封措施，开启扇宜设置披水条。

11.2 构造设计

11.2.1 支承装置可采用钻孔式或夹板式,应符合现行行业标准《建筑玻璃点支承装置》JG/T 138 的规定。

11.2.2 驳接头的钢材与玻璃之间宜设置弹性材料的衬垫或衬套，衬垫和衬套的厚度不宜小于 1mm。

11.2.3 除承受玻璃面板所传递的荷载或作用外，支承装置不应兼做其他用途。

11.2.4 玻璃面板应能单独更换。玻璃面板损坏或更换所引起的负荷变化，不应导致支承结构受损。

11.2.5 采用夹板点支承方式连接时，应符合下列规定：

1 金属夹板与玻璃面板之间的间隙应满足风荷载作用下面板转动变形要求，并考虑施工偏差带来的不利影响；

2 玻璃与夹板槽口的间隙应满足本标准第 6.2.14 条和第 6.2.15 条的规定；

3 夹板与玻璃之间宜设置弹性材料的衬垫。

11.2.6 索杆桁架和单层索结构与主体结构的连接应能适应主体结构的位移，宜采取防松和防过载措施，主体结构应能承受索结构的支座反力。

11.3 结构设计

11.3.1 点支承玻璃幕墙的支承结构应单独进行计算，玻璃面板不应兼做支承结构，复杂的支承结构宜采用有限元方法进行分析。

11.3.2 在垂直于幕墙平面的风荷载和地震作用下，四点支承玻璃面板的应力和挠度按本标准第 6.2.12 条的规定计算，玻璃肋支承结构可按本标准第 10.3.3 条的规定计算。

11.3.3 支承钢结构的设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的相关规定。

11.3.4 型钢或钢管作为支承结构时，应符合下列规定：

- 1 端部与主体结构的连接构造应能适应主体结构的位移，宜采用铰接构造；
- 2 竖向构件宜按偏心受压构件或偏心受拉构件设计；水平构件宜按双向受弯构件设计，有扭矩作用时，应考虑扭矩的不利影响；
- 3 受压杆件的长细比 λ 不宜大于 150；
- 4 在风荷载标准值作用下，挠度不宜大于其跨度的 1/250。计算时，悬臂结构的跨度应取其悬挑长度的 2 倍。

11.3.5 桁架或空腹桁架设计应符合下列规定：

- 1 可采用型钢或钢管作为杆件。采用钢管时宜在节点处直接焊接，主管不宜开孔，支管不应穿入主管内；
- 2 钢管外直径不宜大于壁厚的 50 倍，支管外直径不宜小于主管外直径的 0.3 倍。钢管壁厚不宜小于 4mm，主管壁厚不应小于支管壁厚；
- 3 桁架杆件不宜偏心连接。弦杆与腹件、腹杆与腹杆之间的夹角不宜小于 30°；
- 4 焊接钢管桁架宜按刚接体系计算，焊接钢管空腹桁架应按刚接体系计算；
- 5 轴心受压或偏心受压的桁架杆件，长细比不应大于 150；轴心受拉或偏

心受拉的桁架杆件，长细比不应大于 350；

6 当桁架或空腹桁架平面外的不动支承点相距较远时，应设置平面外正交方向的稳定支撑结构；

7 桁架或空腹桁架在风荷载标准值作用下的挠度不宜大于其跨度的 $1/250$ 。计算时，悬臂桁架的跨度可取为其悬挑长度的 2 倍。

11.3.6 张拉索杆体系设计应符合下列规定：

1 应在正、反两个方向上形成承受风荷载或地震作用的稳定结构体系。在平面外方向应保证结构体系的稳定性；

2 连接件、受压杆和拉杆宜采用不锈钢材料，拉杆直径不宜小于 10mm；自平衡体系的受压杆件可采用碳素结构钢。拉索宜采用不锈钢绞线、锌-5%铝-混合稀土合金镀层高强钢绞线，也可采用铝包钢绞线或其他具有防腐性能的钢绞线。不锈钢绞线的钢丝直径不宜小于 1.2mm，钢绞线直径不宜小于 8mm；

3 拉杆应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 和现行行业标准《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389 的规定，拉杆、拉索与接头及与外部连接均不得焊接；

4 自平衡体系、索杆体系的受压杆件的长细比不应大于 150；

5 拉索幕墙的不锈钢绞线和拉索头应符合现行国家标准《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026 和现行行业标准《不锈钢拉索》YB/T 4294、《建筑幕墙用钢索压管接头》JG/T 201 的相关规定；

6 钢绞线拉索折线处可设置锚具或连续穿孔，连续穿孔处应采用弧形过渡。

11.3.7 张拉索杆体系结构分析应符合下列规定：

1 结构力学分析时宜考虑几何非线性的影响；

2 分析模型及边界支承的计算假定应与实际构造相符合，并应计入索端支承结构变形的影响；

3 张拉索杆体系的荷载状态分析应在初始预拉力状态的基础上进行；

4 张拉索杆体系中的拉杆或拉索在荷载设计值作用下，应保持一定的预拉力储备；

5 张拉索杆体系挠度控制应以初始预拉力状态作为挠度计算的初始状态，采用永久荷载、风荷载、温度荷载作用的标准组合。

11.3.8 索桁架设计应符合下列规定：

1 索桁架的形式应根据建筑造型、抗风能力、支承部位等因素确定；

- 2 索桁架满足索中预拉力储备时, 索初始张拉应力不宜过大;
- 3 索桁架矢高宜取跨度的 $1/10 \sim 1/20$;
- 4 索桁架的挠度不应大于其跨度的 $1/200$ 。

11.3.9 自平衡索桁架设计应符合下列规定:

- 1 自平衡索桁架矢高宜取跨度的 $1/10 \sim 1/20$;
- 2 中心压杆应按压弯构件进行设计;
- 3 自平衡索桁架一端应设置可沿纵向滑动的铰支座;
- 4 索桁架满足索中预拉力储备时, 索初始张拉应力不宜过大;
- 5 自平衡索桁架挠度不应大于其跨度的 $1/200$ 。

11.3.10 单层曲面索网设计应符合下列规定:

- 1 曲面形状及初始预拉力状态应综合建筑造型、边界支承条件、抗风能力及施工可行性等要求, 通过解析方法或有限元分析方法确定;
- 2 应进行张拉及加载过程的施工过程模拟分析工作;
- 3 索网纵横两个方向的索中应力分布宜分别相对均匀;
- 4 应考虑纵横索相交节点处索体不平衡力对索夹设计的影响;
- 5 单层平面索网挠度不应大于其短向跨度的 $1/45$, 单层曲面索网的挠度不宜大于其短向跨度的 $1/200$ 。

11.3.11 单向竖索设计应符合下列规定:

- 1 玻璃面板宜采用夹层玻璃;
- 2 边端索支承的边跨玻璃面板与主体结构之间的连接构造应能适应风荷载作用下索及玻璃的变形要求;
- 3 单向竖索的挠度不应大于其跨度的 $1/45$ 。

11.4 连接设计

11.4.1 幕墙与主体结构的连接部位应能适应主体结构的变形。主体结构应能承受拉杆体系或拉索体系的拉力和荷载作用, 主体结构的荷载不应传递至幕墙支承结构。

11.4.2 采用驳接头连节时, 驳接头与玻璃面板的间隙应能满足在风荷载作用下支承点处的转动变形要求, 并考虑施工偏差造成的不利因素。

11.4.3 拉索或拉杆端部可设计成单耳板或双耳板连接。调节和张紧用的连接器,

数量和位置按体系构造状况设定。

12 采光顶、雨篷与金属屋面

12.1 一般规定

12.1.1 采光顶与金属屋面工程的面板、隔热及保温材料，应采用不燃性或难燃性材料；防火密封构造应采用防火密封材料。采光顶、雨篷与金属屋面工程的面板应选用耐候性好的材料。

12.1.2 金属屋面防水应根据建筑物的类别、重要程度、使用功能及建筑设计要求确定防水等级，防水等级相应的防水要求应符合现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345的规定。

12.1.3 采光顶与金属屋面的抗风压、水密、气密、热工、空气声隔声和采光等性能分级应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086的规定。采光顶性能试验应符合现行国家标准《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227的规定，金属屋面的性能检测应符合现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255中附录A的规定。

12.1.4 采光顶、雨篷与金属屋面应根据建筑设计要求，综合考虑建筑类别、类型，功能、所处环境的气候条件等要求进行设计，并考虑维护和清洗的要求。

12.1.5 采光顶与金属屋面工程除符合本标准外，尚应符合现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345、《压型金属板工程应用技术规范》GB 50896和现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255、《建筑玻璃采光顶技术要求》JG/T 231的相关规定。

12.1.6 采光顶、雨篷及金属屋面的预埋件构造设计、结构计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定。

12.2 构造设计

12.2.1 采光顶、雨篷与金属屋面的支承结构与主体结构之间的连接应能承受并可靠传递其受到的荷载和作用，并应适应主体结构变形。

12.2.2 采光顶与主体结构之间的连接支座可根据其受力状况选用刚性支座、铰接支座，可滑移、可转动或可沿指定方向产生线位移的滚轴铰支座等。可滑移或可转动的支座应有限位措施。

12.2.3 采光顶、金属屋面支承框架与主体结构可采用螺栓连接或焊接。当采用

螺栓连接时，每个受力部位的螺栓不少于2个，螺栓的直径不小于12mm，并应采取可靠的防松动、防滑移、防脱离措施。连接件与所接触材料应采取有效措施防止可能产生的双金属接触腐蚀及因结构变形、风力、温度变化所产生噪声。当采用焊接时，焊缝位置、尺寸、等级应满足设计要求，并及时做好防腐处理。

12.2.4 采光顶、金属屋面的主次龙骨连接应符合设计要求，可采用螺栓、螺钉连接或焊接。当采用螺栓连接时，每个受力部位的螺栓不少于2个，螺栓的直径不小于6mm；当采用螺钉连接时，每个受力部位的螺钉不少于3个，螺钉的公称直径不小于6mm。连接角码厚度不应小于4mm。当采用焊接时，焊缝位置、尺寸、等级应满足设计要求，并及时做好防腐处理。

12.2.5 金属平板屋面面板的构造除符合本标准6.3的规定外，应符合下列规定：

- 1 金属板折边高度不应小于25mm；
- 2 铝蜂窝复合板和铝塑复合板的芯材不应直接暴露于室外；
- 3 开放式金属平板屋面系统的支承构件和金属连接件应采取有效的防腐措施，保温、防水、排水等功能构造宜设置在下部屋面层。

12.2.6 压型金属板和T形支座的受压和受拉连接强度应进行验算，必要时可按试验确定。T形支座的长度不小于60mm，厚度不小于3mm，其布置间距应经计算确定，并不宜超过1500mm。

12.2.7 采光顶及雨篷用面板应符合下列规定：

1 采光顶及雨篷玻璃面板应采用超白玻璃。雨篷及采光顶朝地面侧玻璃面板应采用夹层玻璃，夹层玻璃的胶片厚度不应小于1.14mm，单片厚度不应小于6mm，当采用点支承结构时，单片厚度不应小于8mm。有热工要求时应采用夹层中空玻璃；

2 采光顶、雨篷玻璃面板应进行三边细磨或三边抛光，其倒棱宽度不应小于1mm。单块面板面积不宜大于 2.5m^2 ，长边边长不宜大于2m；

3 采光顶用玻璃面板宜采用框支承体系。隐框框支承玻璃板块与水平面夹角大于30度时，玻璃应有防滑移构造措施。玻璃悬挑尺寸不应超过200mm；

4 点支承玻璃可采用点支承装置或夹板支承装置，采用点支承时，孔边至板边的距离不宜小于70mm。矩形玻璃面板宜采用四点支承，三角形玻璃面板宜采用三点支承，相邻支承点间的板边距离，不宜大于1.5m；

5 玻璃采光顶和玻璃雨篷应设置防坠落构造措施；

6 雨篷及采光顶玻璃面板不宜采用倒挂钢爪式点支承形式，大型采光顶及人流密集场所的采光顶不宜采用钢爪式点支承玻璃面板；

7 采光顶用聚碳酸酯板中空板应符合现行行业标准《聚碳酸酯（PC）中空板》JG/T 116的要求，实心板应符合现行行业标准《聚碳酸酯（PC）实心板》JG/T 347的要求。宜采用直立锁边U型板、梯形飞翼板、波浪板。

12.2.8 压型金属板屋面板材应符合建筑设计要求，可选用镀层钢板、涂层钢板、铝合金板、不锈钢板和钛锌板等金属板材。压型铝合金板基板厚度不应小于0.9mm；压型钢板基板厚度不应小于0.6mm；压型钛锌板基板厚度不应小于0.8mm。其材料的品种、规格和性能等应符合相应的材料标准规定。

12.2.9 采光顶、金属屋面宜设置排水沟和落水管。排水沟宜采用不锈钢板制作，厚度不应小于2.0mm，沟底板的排水坡度宜大于1%。当采光顶与金属屋面采取无组织排水时，应在檐口设置滴水构造。

12.2.10 采光顶、雨篷、金属平板屋面和压型金属屋面应根据工程实际情况确定排水方向及坡度，并应符合下列规定：

- 1** 采光顶、雨篷的排水坡度不应小于3%；
- 2** 金属平板屋面、压型金属板屋面排水坡度不宜小于5%；
- 3** 压型金属板采用紧固件连接时，排水坡度不宜小于10%。

12.2.11 采光顶或金属屋面与外墙交界处、屋顶开口部位四周的保温层，应采用宽度不小于500mm 的燃烧性能为A 级保温材料设置水平防火隔离带。采光顶或金属屋面与防火分隔构件间的缝隙，应进行防火封堵。

12.2.12 当金属屋面和采光顶设置排烟窗时，其排烟有效面积应满足建筑设计要求。

12.2.13 采光顶面板宜高出屋面，与屋面连接部位应进行可靠密封。开启窗应进行外排水设计，其顶面应高出采光顶或金属屋面，且宜设置排水构造。

12.2.14 采光顶、雨篷、金属平板屋面的面板，板缝宽度不宜小于10mm。注胶板缝的密封胶应能适应接缝处的变形。

12.2.15 有热工要求的采光顶、金属屋面的热工性能和通风性能，应满足建筑节能设计要求，并应符合现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189及现行浙江省工程建设标准《公共建筑节能设计标准》DB33/ 1038的相关规定。

12.2.16 采光顶传热系数、遮阳系数和可见光透射比可按现行行业标准《建筑门

窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151的规定进行计算，金属屋面应按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176的规定进行热工计算。采光顶宜设置遮阳装置。

12.2.17 采光顶与金属屋面防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057和现行行业标准《民用建筑电气设计规范》JGJ 16的有关规定。

12.2.18 防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定和相关法规的规定。

12.3 结构设计

12.3.1 采光顶、雨篷与金属屋面应按围护结构进行设计，并应具有相应的承载力、刚度、稳定性和变形协调能力，应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

12.3.2 采光顶、金属屋面的面板和直接连接面板的支承结构的结构设计使用年限不宜小于 25 年。间接支承面板的主要支承结构的设计使用年限宜与主体结构的设计使用年限相同。

12.3.3 采光顶、雨篷与金属屋面风荷载应符合下列规定：

1 面板、直接连接面板的屋面支承构件的风荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的有关规定计算确定；

2 跨度大、形状或风荷载环境复杂的采光顶、金属屋面，宜通过风洞试验确定风荷载；

3 风荷载负压标准值不应小于 1.0kN/m^2 ，正压标准值不应小于 0.5kN/m^2 。

12.3.4 采光顶、雨篷和金属屋面的雪荷载、施工检修荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用。

12.3.5 采光顶玻璃板块与金属屋面的活荷载设计应符合下列规定：

1 上人采光顶板块应按现行行业标准《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113规定的地板玻璃进行设计；

2 不上人采光顶、雨篷玻璃板块应按下列情形计算：

1) 与水平面夹角小于 30° 时，在玻璃板最不利点直径 150mm 的区域内，应能承受垂直于玻璃面为 1.1kN 的活荷载标准值；

2) 与水平面夹角大于等于 30° 时，在玻璃板最不利点直径 150mm 的区域

内，应能承受垂直玻璃面为0.5kN的活荷载标准值。

3 玻璃面板最大应力不得超过长期荷载作用下的强度设计值。点支承式连接时，还应校核长期荷载作用下玻璃的边缘强度；

4 金属屋面及应金属屋面上加设的装饰层金属面板能在300mm×300mm的区域内承受1.0kN活荷载，不出现缝隙或永久屈曲变形。

12.3.6 采光顶与金属屋面除应进行重力荷载、风荷载计算分析外，还应考虑地震作用（水平及竖向地震作用）和温度效应的影响，并采取相应的构造措施。计算竖向地震作用时，地震影响系数最大值按水平地震作用的65%采用。

12.3.7 进行构件的承载力设计时，作用分项系数应按下列规定取值：

1 一般情况下，永久重力荷载、可变重力荷载、风荷载和地震作用的分项系数 γ_G 、 γ_Q 、 γ_w 、 γ_E 应分别取1.3、1.5、1.5和1.3；

2 当永久重力荷载的效应对构件有利时，其分项系数 γ_G 应取1.0。

12.3.8 可变作用的组合值系数应按下列规定采用：

1 无地震作用组合时，当风荷载为第一可变作用时，其组合值系数 ϕ_w 应取1.0，此时可变重力荷载组合值系数 ϕ_Q 应取0.7；当可变重力荷载为第一可变作用时，其组合值系数 ϕ_Q 应取1.0，此时风荷载组合值系数 ϕ_w 应取0.6；

2 有地震作用组合时，一般情况下风荷载组合值系数 ϕ_w 可取0；当风荷载起控制作用时，风荷载组合值系数 ϕ_w 应取为0.2。

12.3.9 采光顶支承结构可采用梁式结构、桁架结构、索梁结构、索杆结构、单层网格结构等形式，设计应符合现行其结构设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018、《铝合金结构设计规范》GB 50429和现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7、《网壳结构技术规程》JGJ 61、《索结构技术规程》JGJ 257的相关规定。

12.3.10 采光顶、金属屋面挠度应满足以下要求：

1 在自重作用下，面板支承构件的挠度宜小于其跨距的1/500，玻璃面板挠度不超过长边的1/120；

2 支承构件及面板的最大挠度应符合表12.3.10的规定。

表12.3.10 采光顶与金属屋面支承结构、面板相对挠度要求

支承构件或面板		最大相对挠度 (L为跨距, 悬臂结构L为2倍跨距)
采光顶 金属屋面 雨篷	铝合金型材单梁	L/180
	钢型材单梁	L/250
	平面金属网架和网格	L/250
	空间单层网格	L/200
	张拉杆件系统	L/200
	平面单层索网	L/200
	檩条	L/180
玻璃面板	简支矩形	短边/60
	简支三角形	取高或底边的较大值/60
	简支圆形	直径/60
	点支承矩形	长边支承点跨距/60
	点支承三角形	取高或底边的较大值/60
金属面板	金属压型板	L/180
	金属平板	短边/60
	金属平板中肋	L/120

12.3.11 受热带风暴和台风袭击的地区, 金属屋面系统应进行抗风掀试验验证。抗风掀试验方法参照现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255中附录B的规定。

12.3.12 雨篷构造应符合下列规定:

1 雨篷应采用预埋件与主体结构连接, 当没有条件采用预埋件连接时, 应采用其他可靠的连接措施, 并应通过试验验证其可靠性;

1) 当采用预埋件时, 悬挑长度大于4.0m的雨篷宜设置拉压杆, 拉压杆宜与主体结构采用铰接连接, 拉压杆与雨篷的水平夹角不宜小于30度;

2) 当采用后置埋件时, 悬挑长度大于2.5m的雨篷宜设置拉压杆;

3) 当悬挑雨篷固定在幕墙钢结构框架时, 悬挑长度不宜大于2.0m; 固定在铝合金框架时, 悬挑长度不宜大于1.2m。幕墙框架计算时, 应考虑雨篷结构所产生的附加荷载。

2 悬挑钢梁应校核在正负风压作用下的强度、刚度及稳定性。

13 光 伏 幕 墙

13.1 一 般 规 定

13.1.1 光伏幕墙的规划设计应综合考虑建筑场地条件、建筑功能、所在地区的气候及太阳能资源条件等因素，确定建筑的布局、朝向、间距、群体组合和空间环境，满足光伏系统设计和安装技术要求。

13.1.2 光伏幕墙的结构设计、物理性能指标均应符合本标准及相关规范的规定。

13.1.3 光伏组件或方阵的选型和设计应与建筑结合，在综合考虑发电效率、发电量、电气和结构安全、适用美观的前提下，合理选用光伏组件型式，并与建筑模数相协调，不得影响安装部位的建筑功能。

13.1.4 光伏幕墙宜朝向南面或西南面，避免设置在建筑阴影部位。

13.1.5 立面设计时应充分考虑电池组件的规格模数，并应符合现行行业标准《太阳能光伏玻璃幕墙电气设计规范》JGJ/T 365的规定。

13.1.6 施工安装应符合现行行业标准《民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范》JGJ 203 的规定。

13.2 构 造 设 计

13.2.1 用于光伏幕墙组件的外片玻璃应为超白玻璃，厚度不应小于3.2mm，边部应进行三边研磨。

13.2.2 透明组件夹层胶片宜采用PVB（聚乙烯醇缩丁醛），胶片厚度不应小于0.76mm，宜采取封边处理或有与外界隔离水汽的措施。不得采用EVA胶片。

13.2.3 透明型组件的中空玻璃气体层厚度不应小于12mm，宜填充惰性气体。

13.2.4 光伏组件宜采用隐框构造设计。带有外装饰线条的组件，其外形尺寸在有效日照时间内不应遮挡电池片。

13.2.5 用于实体墙或层间梁部位的光伏组件，玻璃内侧与实体墙或保温层的距离不得小于50mm。

13.2.6 光伏幕墙组件不宜着地安装，底部距离地面完成面高度不应小于300mm。

13.2.7 斜幕墙、采光顶宜根据当地的气象资料确定光伏组件安装的最佳倾角，也可在南面或西南面与水平面成21°~23°倾角设计。

13.2.8 立柱横梁设计时应留有供电气系统管线布置的可方便拆卸的空腔，且光伏玻璃组件的接线盒宜隐藏。

13.2.9 用于光伏幕墙的光伏组件可采用单晶硅、多晶硅及薄膜电池。透明幕墙宜采用薄膜电池组件或电池片间隔布置的晶硅组件合成的中空组件，非透明幕墙宜采用单层的薄膜电池组件或电池片满布的晶硅组件。

13.2.10 竣工后应提供光伏幕墙阵列位置图，便于维护保养。

14 幕墙信息模型

14.1 一般规定

14.1.1 幕墙信息模型作为建筑信息模型的一个子项，应与建筑信息模型的管理要求相一致，并应符合现行浙江省工程建设标准《建筑信息模型（BIM）应用统一标准》DB33/T 1154 的规定。

14.1.2 幕墙信息模型可根据具体工程项目的需求单独创建。对于空间关系复杂的曲面异形幕墙，宜创建并应用幕墙信息模型。

14.1.3 幕墙信息模型可根据幕墙工程设计建造实施阶段与实施目的的不同，由承担幕墙设计单位或幕墙承建方创建。

14.2 模型创建

14.2.1 幕墙信息模型的建模范围应与项目幕墙设计建造合同中定义的工作范围相一致。

14.2.2 幕墙信息模型的创建及维护应与幕墙设计建造的各阶段相对应，在幕墙的方案设计、深化设计、施工建造、竣工交付阶段创建并维护，正确反映幕墙设计建造的真实信息。

14.2.3 幕墙信息模型的创建应根据本标准第 14.5 节中定义的精度等级顺序由低到高完成。

14.2.4 不同精度等级的模型创建时宜考虑对更高精度等级模型的延续性，即更高精度等级的模型可在低精度等级模型的基础上深化完成。

14.2.5 建模软件的选择，可根据具体工程项目的建筑信息模型管理要求、幕墙造型的复杂程度、模型应用规划等，在不同阶段分别确定。

14.2.6 幕墙设计建造各阶段对模型成果的深度等级代号应符合表 14.2.6 的规定：

表 14.2.6 幕墙设计建造各阶段模型细度

幕墙实施阶段	模型细度等级代号	各阶段模型名称
方案设计阶段	LOD100	方案设计模型
初步设计阶段	LOD200	初步设计模型
施工图设计阶段	LOD300	施工图设计模型
施工图深化设计阶段	LOD350	深化设计模型

施工建造阶段	LOD400	施工过程模型
竣工交付阶段	LOD500	竣工模型

14.2.7 幕墙信息模型的单位及坐标、拆分、命名、颜色、文件及文件夹命名的规划标准要求应符合主体建筑工程制定的建筑信息模型建模规划标准的要求。

14.2.8 幕墙专业模型元素至少包括：几何信息（如厚度、覆盖面域），材料（如材料层、密度、导热系数），工程量（如体积、重量、表面积），关联构件。各阶段深度要求应符合表 14.2.8 的规定：

表 14.2.8 幕墙专业 BIM 模型深度要求

子项编号	子项名称	LOD100	LOD200	LOD300	LOD350	LOD400	LOD500
		方案设计模型	扩初设计模型	施工图设计模型	施工深化模型	施工模型	竣工模型
001	外立面分格	无模型	基本定位信息	定位信息			
002	预埋件	无模型	无模型	基本定位信息	位置、数量、尺寸、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
003	连接件	无模型	无模型	准确形状、位置	位置、数量、尺寸、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
004	主材	仅表现轮廓	基本形状、大概尺寸	准确尺寸、材质信息、定位	位置、数量、加工尺寸、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
005	门窗	无模型	仅表现轮廓	基本形状、尺寸、位置、材质	位置、数量、加工尺寸、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
006	百页	无模型	仅表现轮廓	基本形状、尺寸、位置、材质	位置、数量、加工尺寸、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
007	擦窗机	无模型	无模型	形状、位置	擦窗机轨迹、定位、数量	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数
008	其他（防雷/LED布局）	无模型	无模型	形状、位置	位置、数量、尺寸、布局走向、性能参数	实际形状、位置、尺寸、性能参数	厂家、型号、精确尺寸、编号、位置、用途、性能参数

注：方案阶段无模型，成本或其他性能可按单位楼面面积的某个数值计入。

14.2.9 幕墙信息模型的校核应选择具有幕墙专业设计能力的人员完成。

14.2.10 模型校核应包括以下内容：

- 1 模型与建模标准的匹配度校核；
- 2 模型精度校核。应对模型的几何精度和信息精度进行分别校核；
- 3 模型与图纸的匹配度校核。

14.3 模型应用

14.3.1 幕墙信息模型的应用应满足幕墙设计建造合同中规定的模型应用要求。

14.3.2 幕墙信息模型的应用包括模型可视化、碰撞检查、算量统计、施工进度模拟、施工工艺模拟等。

14.3.3 幕墙信息模型可视化应贯穿外立面效果确认、幕墙构造空间关系检查、关联专业或设计施工交底等幕墙设计建造的各个阶段。

14.3.4 幕墙信息模型碰撞检查宜在相关专业承建商创建的信息模型的基础上进行，并应满足下列要求：

- 1 方案设计阶段可应用于主体结构与幕墙面之间的空间尺寸初步确认；
- 2 深化设计阶段，可通过幕墙设计模型与主体结构设计模型的碰撞检查，具体判定主体结构提供的空间构造条件是否能满足幕墙布置与安装需求。通过幕墙信息模型与关联专业的碰撞分析，确定幕墙设计为关联专业预留的空间是否满足需求；
- 3 施工建造阶段，可通过幕墙设计模型与主体结构现场模型的碰撞检查，具体判定幕墙设计对主体结构偏差的适应性是否满足要求，并确定幕墙安装的空间是否满足施工需要。

14.3.5 幕墙信息模型算量统计应满足下列要求：

- 1 幕墙方案设计阶段，可基于模型进行初步工程量的统计分析，并根据预植入的幕墙平米单价信息进行幕墙造价估算；
- 2 幕墙深化设计阶段，可基于模型进行精准工程量的统计分析，并对幕墙材料进行标准平米含量测算，并根据预植入的幕墙材料单价进行幕墙概算统计；
- 3 幕墙构件加工组装阶段，可基于模型中预植入的加工批次顺序，结合模型施工进度计划，对加工计划进行合理排布；
- 4 幕墙施工建造阶段，可基于模型中安装区域及批次的划分，并结合幕墙施工进度计划、材料单价进行资金流量分配分析。

14.3.6 幕墙信息模型施工进度模拟应满足下列要求：

- 1 在深化设计阶段可辅助对幕墙与其他专业交接接口设计的合理化；
- 2 在幕墙施工建造阶段可辅助优化施工工艺及工期、合理化施工顺序、协调施工机具及设备设施的综合利用。

14.3.7 幕墙信息模型施工工艺模拟应满足下列要求：

在幕墙施工建造阶段可根据现场情况以及施工方案，通过对模型进行处理以各类形式进行工艺模拟，从而来辅助合理化施工方法设计、提高设备利用率、保障施工质量、优化重难点部位的施工工艺等。

14.4 模型交付

14.4.1 幕墙信息模型的交付应满足项目幕墙设计建造合同中规定的交付标准。

14.4.2 不同阶段所交付的成果模型应满足本标准第 14.2.6 和第 14.2.8 条的规定，并应符合本标准第 14.5 节定义的精度要求。

14.4.3 依据本标准第 14.5 节定义的各级精度的幕墙信息模型应分别作为模型成果单独交付。

14.5 模型精度

14.5.1 幕墙信息模型的精度可按项目具体情况确定并应符合项目主体工程制定的建筑信息模型建模精度标准的要求。

14.5.2 幕墙信息模型精度包括模型几何精度和模型信息精度。

14.5.3 各等级模型几何精度应符合表 14.5.3 模型几何精度等级对应表。

表 14.5.3 模型精度等级对应表

精度等级 构件分类	LOD100	LOD200	LOD300	LOD400	LOD500
外立面分格	G1	G1	无	无	无
主材	G2	G3	G4	G5	G5
连接件	无	无	G4	G5	G5
预埋件	无	无	G3	G5	G5
格栅百叶	无	G2	G3	G5	G5
门窗	无	G2	G3	G5	G5
辅材	无	无	G3	G5	G5

零件	无	无	G3	G4	G4
胶条	无	无	无	G3	G3

注：1 表中模型构件分类如下：

主材：面材、龙骨等主要系统构成材料；

辅材：阴影盒衬板、封修板等次要系统构成材料；

零件：螺钉、加强筋、垫片等非主要系统构成材料；

2 表中 G_x 为模型几何精度描述，定义详见表 14.5.4。

14.5.4 各等级模型几何精度应符合表 14.5.4 模型几何精度等级定义表。

表 14.5.4 模型几何精度等级定义表

模型几何精度	具体描述
G1	二维表达，以线元素描述幕墙分格的空间边界关系
G2	近似体表达，以近似的体量元素描述构件，不要求准确尺寸，无细节
G3	基本形状表达，构件模型有外轮廓边界，以定义不同构件之间的空间关系，对构件内部无要求
G4	准确形状表达，要求构件模型有准确的轮廓边界和内构造
G5	实际形状表达，符合生产实际的准确尺寸形状

14.5.5 各等级模型信息精度应符合表 14.5.5 模型信息精度等级对应表。

表 14.5.5 模型信息精度等级对应表

模型精度	LOD100	LOD200	LOD300	LOD400	LOD500
信息精度	N1	N2	N2	N3	N4

注：表中 N_x 为信息详细程度描述，定义详见表 14.5.6

14.5.6 各等级模型信息精度应符合表 14.5.6 模型信息精度等级定义表。

表 14.5.6 模型信息精度等级定义表

模型信息精度	具体描述
N1	包含所绘构件尺寸与位置信息
N2	包含所绘构件尺寸信息、位置信息与材质信息
N3	包含所绘制构件的几何信息、位置信息、材质信息、与构件的制造信息及现场建造信息
N4	包含所绘制构件的几何信息、位置信息、材质信息、构件的制造信息、现场建造信息、及维保信息

注：1 表中制造信息包括：加工商信息、产品生产日期、产品技术参数等产品信息；

2 表中现场建造信息包括：进场日期，施工日期，施工人员等施工过程信息；

3 表中维保信息包括：维保单位、维保人员、维保日期及问题记录等运维信息。

14.5.7 建筑幕墙专业 BIM 模型细度要求应符合表 14.5.7 的规定：

表 14.5.7 模型细度表

阶段	LOD100	LOD200	LOD300	LOD350	LOD400	LOD500
	方案设计模型	扩初设计模型	施工图设计模型	施工深化模型	施工模型	竣工模型
内容	建筑中不表示	建筑中不表示	几何信息 (具体的竖挺截面, 有连接构件	几何信息: 尺寸及定位信息; 幕墙系统应按照最大轮廓建模为单一幕墙, 不应在标高、房间分隔等处断开; 幕墙立柱和横梁断面; 根据项目需求, 包括面板、支承结构的螺栓、嵌板、立柱等幕墙件; 非几何信息: 幕墙各构造层信息, 包括编号、规格、材料以及防水、防火、保温、隔音等性能等内嵌的门窗的非几何信息	几何信息: 同深化设计模型 (LOD350) 非几何信息: 包含深化设计模型 (LOD350) 的信息幕墙施工工序、施工时间、人员等施工息; 根据项目需求, 包括面板、支承结构的螺栓、嵌板、立柱等幕墙构件的施工细节、方式及信息	维 保 信 息 (使用年限、保修限、维保频率、维保单位等)

15 加工制作

15.1 一般规定

15.1.1 幕墙构件在加工制作前，应根据幕墙施工图对土建主体结构进行复测，并按实测结果对幕墙施工图作必要的调整，同时完成幕墙构件加工图，并满足施工图和相关标准规范的要求。

15.1.2 幕墙构件应在工厂加工，其环境条件应满足杆件、组件的制作要求。

15.1.3 加工幕墙构件所采用的设备、机具应满足幕墙构件加工精度要求。计量器具应定期进行计量认证，并应在认证有效期内使用。

15.1.4 采用硅酮结构密封胶粘结的玻璃板块组件时，应在洁净、通风的厂房内制作完成，且环境温度、湿度条件应符合结构胶产品的规定，胶缝的宽度、厚度应符合设计要求。

15.1.5 构件加工前应进行表面保护处理，加工完成后应作相应编号标识，贴于方便查看位置，并做好成品保护。

15.2 铝型材构件

15.2.1 铝合金构件的加工应符合下列要求：

1 铝合金型材加工前应对外观、表面处理和几何尺寸等参数进行检查，并应符合设计图纸要求；

2 型材加工过程中，应及时去除飞边毛刺；

3 型材加工后，应进行检验，并做好成品保护和标识。

15.2.2 型材切割应符合下列要求：

1 横梁长度允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，立柱长度允许偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$ ，端头斜度的允许偏差为 $-15'$ （图 15.2.2-1、15.2.2-2）；

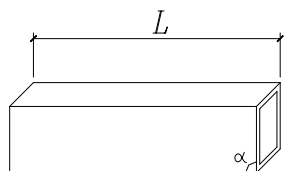


图 15.2.2-1 直角截料

L——长度； α ——角度；

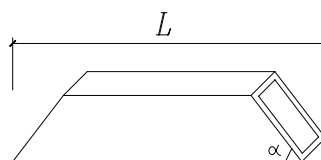


图 15.2.2-2 斜角截料

L——长度； α ——角度

2 截料端头不应有加工变形，并应去除毛刺；

15.2.3 型材钻孔加工要求：

1 孔位允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，孔距允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，累计偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$ ；

2 铆钉的通孔尺寸偏差应符合现行国家标准《紧固件 铆钉用通孔》GB 152.1 的规定；

3 沉头螺钉的沉孔尺寸偏差应符合现行国家标准《紧固件 沉头用沉孔》GB 152.2 的规定；

4 圆柱头螺栓的沉孔尺寸偏差应符合现行国家标准《紧固件 圆柱头用沉孔》GB 152.3 的规定；

5 螺纹孔的加工应符合现行国家标准《普通螺纹基本尺寸》GB/T 196、《普通螺纹公差》GB/T 197 的规定。

15.2.4 型材构件中槽、豁、榫的加工应符合下列要求：

1 铝合金构件槽口尺寸（图 15.2.4-1）允许偏差应符合表 15.2.2-1 的要求；

表 15.2.4-1 槽口尺寸允许偏差（mm）

项目	a	b	c
允许偏差	+0.5 0.0	+0.5 0.0	± 0.5

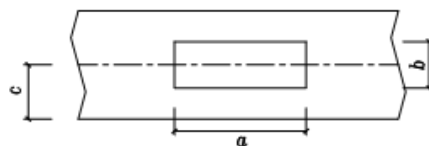


图 15.2.4-1 槽口示意图

2 铝合金构件豁口尺寸（图 15.2.4-2）允许偏差应符合表 15.2.2-2 的要求；

表 15.2.4-2 豁口尺寸允许偏差（mm）

项目	a	b	c
允许偏差	+0.5 0.0	+0.5 0.0	± 0.5

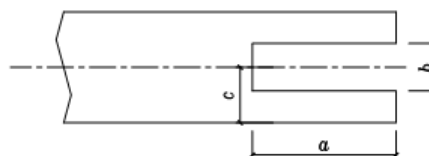


图 15.2.4-2 豁口示意图

3 铝合金构件榫头尺寸（图 15.2.4-3）允许偏差应符合表 15.2.4-3 的要求。

表 15.2.4-3 榫头尺寸允许偏差（mm）

项目	a	b	c
允许偏差	0.0 -0.5	0.0 -0.5	± 0.5

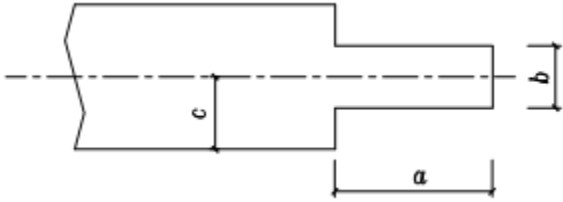


图 15.2.4-3 榫头示意图

15.2.5 铝合金构件弯加工宜采用拉弯设备进行弯加工，弯加工后构件表面应光滑，不得有皱折、裂纹等缺陷。

15.3 钢 构 件

15.3.1 幕墙用钢构件加工应符合下列要求：

- 1 构件加工前，应对材质、规格尺寸、外观质量、表面保护等进行检查，并应符合设计要求；
- 2 有防腐处理要求的构件，宜先进行加工，后进行防腐处理；
- 3 构件加工过程中，应及时去除飞边毛刺；
- 4 构件焊接后，应进行外观变形检查和校正处理；
- 5 构件加工后，应进行检验，并做好成品保护和标识。

15.3.2 平板型预埋件加工精度应符合下列要求：

- 1 锚板边长允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，锚筋长度不允许负偏差；
- 2 锚筋中心线允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，锚筋和锚板面垂直度允许偏差为 $L_s/30$ （ L_s 为锚筋长度）；
- 3 锚筋与锚板的焊接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 或本标准附录 A 的规定；
- 4 当锚筋直径 $\leq 20\text{mm}$ 时，锚筋与锚板可用压力埋弧焊；当锚筋直径 $> 20\text{mm}$ 时，锚筋与锚板应采用穿孔塞焊。焊缝应符合现行国家规范和设计要求，

焊接后应除焊渣，不允许出现裂缝、夹渣、气孔、焊瘤等缺陷；

15.3.3 槽式埋件的加工精度应符合下列要求：

- 1 长度允许偏差为-2mm~+5mm，宽度、高度允许偏差为±1mm，锚筋长度不允许负偏差；
- 2 锚筋中心线允许偏差±1.5mm，槽口宽度允许偏差 0~+1.5mm；
- 3 锚筋与槽体垂直度允许偏差为 $L_s/30$ （ L_s 为锚筋长度）；
- 4 除不锈钢外，槽式埋件表面及槽内应进行防腐处理。

15.3.4 连接件、支承件的加工精度应符合下列要求：

- 1 连接件、支承件外观应平整，不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷；
- 2 连接件、支承件加工尺寸（图 15.3.4）允许偏差应符合表 15.3.4 的要求。

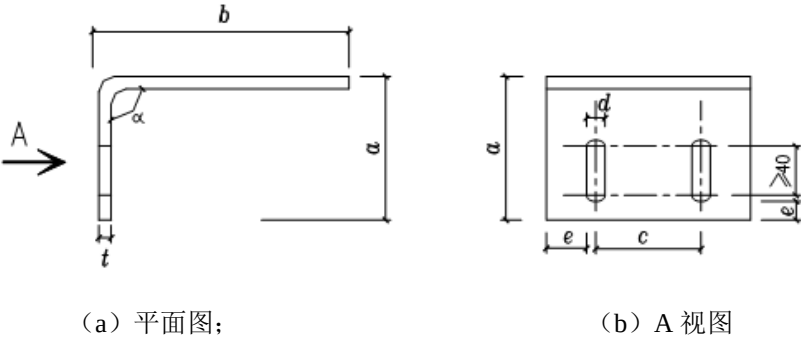


图 15.3.4 连接件、支撑件尺寸示意图

表 15.3.4 连接件、支撑件尺寸允许偏差（mm）

项目	允许偏差
连接件高 a	+5, -2
连接件长 b	+5, -2
孔距 c	±1.0
孔宽 d	+1.0, 0
边距 e	+1.0, 0
壁厚 t	+0.5, -0.2
弯曲角度 α	±2°

15.3.5 钢型材立柱及横梁的加工应符合下列要求：

- 1 型材切割前应对弯曲度、扭拧度进行检查和校直。直线度允许偏差不应大于 1/500；

- 2 横梁长度允许偏差 $-1\text{mm}\sim+0.5\text{mm}$ ；立柱长度允许偏差 $-2\text{mm}\sim+1\text{mm}$ ；
- 3 端头斜度允许偏差为 $-15'$ 。

15.3.6 当幕墙支承结构采用钢结构时，加工应符合下列要求：

- 1 应合理划分拼装单元；
- 2 管桁架宜按计算的相贯线采用数控设备切割加工；
- 3 钢构件拼装单元的节点位置允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ；
- 4 构件长度、拼装单元长度的允许正、负偏差均可取长度的 $1/2000$ ；
- 5 管件连接焊缝应沿全长连续、均匀、饱满、平滑、无气泡和夹渣；支管壁厚小于 6mm 时可不切坡口；角焊缝的焊脚高度不宜大于支管壁厚的 2 倍；
- 6 钢结构的表面处理应符合本标准第 3.3 节的有关规定；
- 7 单元组装的钢结构，宜进行预拼装。

15.3.7 钢拉杆、拉索加工除应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 和现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257、《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389 的相关规定外，尚应符合下列要求：

- 1 钢拉杆、拉索不应采用焊接连接；
- 2 自平衡索桁架应在工作台座上进行拼装，并应防止表面损伤。

15.3.8 钢构件焊接、螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定。

15.3.9 钢构件表面处理应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定。

15.4 玻 璃

15.4.1 玻璃幕墙、采光顶及雨篷用玻璃品种、规格应符合设计要求，边缘应经过处理。

15.4.2 钢化玻璃应进行三边细磨或三边抛光。采用机械进行磨边处理，磨轮目数不应小于 180 目，倒角宽度不小于 1mm 。点支承幕墙玻璃的孔口、全玻璃幕墙以及外露的玻璃板块，边缘应精磨，孔边缘不应有崩边等缺陷。

15.4.3 玻璃幕墙的单片玻璃、夹层玻璃、中空玻璃的加工精度应符合下列要求：

- 1 单片玻璃尺寸允许偏差应符合标 15.4.3-1 的要求：

表 15.4.3-1 单片玻璃尺寸允许偏差 (mm)

项目	玻璃厚度 (mm)	玻璃边长 $L \leq 2000$	玻璃边长 $L > 2000$
边长	6, 8, 10, 12	± 1.5	± 2.0
	15, 19	± 2.0	± 3.0
对角线差	6, 8, 10, 12	≤ 2.0	≤ 3.0
	15, 19	≤ 3.0	≤ 3.5

2 中空玻璃的开孔可采用大、小孔相对的方式。中空玻璃的尺寸允许偏差应符合表 15.4.3-2 的要求:

表 15.4.3-2 中空玻璃尺寸允许偏差 (mm)

项目	允许偏差	
边长	$L < 1000$	± 2.0
	$1000 \leq L < 2000$	$+2.0 \quad -3.0$
	$L \geq 2000$	± 3.0
对角线差	$L \leq 2000$	≤ 2.5
	$L > 2000$	≤ 3.5
厚度	$t < 17$	± 1.0
	$17 \leq t < 22$	± 1.5
	$T \geq 22$	± 2.0
叠差	$L < 1000$	± 2.0
	$1000 \leq L < 2000$	± 3.0
	$2000 \leq L < 4000$	± 4.0
	$L \geq 4000$	± 6.0

3 夹层玻璃的开孔可采用大、小孔相对的方式。夹层玻璃尺寸允许偏差应符合表 15.4.3-3 的要求:

表 15.4.3-3 夹层玻璃尺寸允许偏差 (mm)

项目	允许偏差	
边长	$L \leq 2000$	± 2.0
	$L > 2000$	± 2.5
对角线差	$L \leq 2000$	≤ 2.5
	$L > 2000$	≤ 3.5
叠差	$L < 1000$	± 2.0
	$1000 \leq L < 2000$	± 3.0

	$2000 \leq L < 4000$	± 4.0
	$L \geq 4000$	± 6.0

4 玻璃面板弯加工应符合下列要求：

- 1) 曲边顺滑一致，每米弦长内拱高允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ；
- 2) 直边的弯曲度，拱形时不应超过 0.5%，波形时不应超过 0.3%。

5 玻璃面板切角、孔加工应符合下列要求：

- 1) 玻璃切角、孔加工尺寸允许偏差应满足表 15.4.3-4 的要求；

表 15.4.3-4 玻璃切角、孔加工尺寸允许偏差

项 目	角边长尺寸	孔径尺寸	钻孔位置	孔 距	孔轴与玻璃平面垂直度
允许偏差	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 0.8\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 12'$

- 2) 孔洞边缘均应倒棱磨边，倒棱宽度不宜小于 1mm，磨边宜细磨；
- 3) 中空玻璃开孔后，开孔处应采取多道密封措施。

15.4.4 中空玻璃加工应符合下列要求：

- 1 所有材料应进行清洁处理并应满足注胶要求；
- 2 当采用双组份硅酮结构密封胶时，应进行混匀性试验和拉断试验，注胶前应进行相容性、剥离强度检测，注胶后必须静置养护，养护时间根据结构胶的固化程度确定。未完全固化的，不应随意搬动。注胶宽度和厚度应符合设计要求，不得有负偏差；

- 3 注胶必须饱满，不得出现气泡，表面应平整光滑，余胶不得重复使用。

15.4.5 夹层玻璃不得出现气泡等缺陷。胶片不应暴露在室外空气中。胶片不宜接触硅酮密封胶。

15.5 石 材 面 板

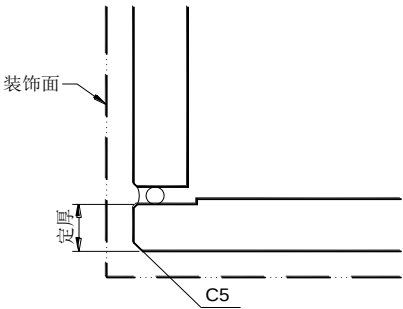
15.5.1 石材的品种、外形尺寸、色泽、纹理应符合设计要求。

15.5.2 天然石材的加工应符合下列要求：

- 1 尺寸偏差应符合现行国家标准《天然花岗石建筑板材》GB/T 18601、《天然大理石建筑板材》GB/T 19766、《天然砂岩建筑板材》GB/T 23452、《天然石灰石建筑板材》GB/T 23453 和现行行业标准《干挂饰面石材及其金属挂件》第

一部分：干挂饰面石材》JC 830.1 等标准中有关一等品或优等品的规定；

- 2 石板应无暗裂缺陷、连接部位无崩裂。外侧不得有崩边、缺角现象；内侧非连接部位崩边不大于 5mm×20mm，缺角不大于 20mm；
- 3 火烧板应按样板检查火烧后的均匀程度，火烧石不得有暗纹、崩裂情况；
- 4 石板加工应排版观察，同一立面的石板色差应均匀，相邻石材不得有明显色差；
- 5 幕墙用石材面板宜在工厂加工，宜采用先磨后切工艺进行加工；
- 6 石材的端面可视时，宜进行定厚处理；



7 石板外形尺寸允许偏差应符合表 15.5.2 的要求。

表 15.5.2 石材面板外形尺寸允许偏差（mm）

项目	长度、宽度	对角线差	平面度	厚度
亚光面、镜面板	±1.0	±1.5	1	+2.0 -1.0
粗面板	±1.0	±1.5	2	+3.0 -1.0

15.5.3 通槽式、短槽式安装的石板加工应符合下列规定：

- 1 石材开槽后不得有损坏或崩裂现象，槽口应打磨成 45° 倒角，倒角宽度不宜小于 2mm，槽内应光滑、洁净；
- 2 开槽加工允许偏差应符合表 15.5.3 的要求：

表 15.5.3 石板开槽加工允许偏差（mm）

序号	项目	通槽（短平槽、弧形短槽）		短槽	
		最小尺寸	允许偏差	最小尺寸	允许偏差
1	槽口宽度	7.0	±0.5	7.0	±0.5
2	槽口有效长度（短平槽槽底处）	—	±2.0	100	—
3	槽深（槽角度）	—	槽深/20	—	矢高/20
4	两（短平槽）槽中心线距离	—	±2.0	—	±2.0

5	槽外边到板端边距离	—	±2.0	不小于板材厚度和 85, 不大于 180	±2.0
6	内边到板端边距离	—	±3.0	—	±3.0
7	槽任一端侧边到板外表面距离	8.0	±0.5	8.0	±0.5
8	槽任一端侧边到板内表面距离(含板厚偏差)	—	±1.5	—	±1.5
9	槽深度(有效长度内)	16	±1.5	16	±1.5

15.5.4 背栓式安装的石板加工应符合下列规定：

- 1 背栓孔应采用专用钻孔机械成孔及专用测孔器检查，背栓孔应光滑、洁净；
- 2 背栓孔的加工尺寸允许偏差应符合表 15.5.4 的要求：

表 15.5.4 石材面板背栓孔加工尺寸允许偏差 (mm)

背栓规格	直孔直径	底扩孔直径	钻孔深度
M6/M8	-0.2~ +0.4	±0.3	-0.1~+0.4

- 3 背栓植入深度除设计注明外，应符合本标准 6.4.24 的规定。

15.5.5 加工好的石材面板应立放于通风良好的仓库内，其与水平面夹角不应小于 85°。

15.6 金属面板

15.6.1 金属面板的品种、规格、表面处理及色泽应符合设计及合同约定的要求。采用辊涂工艺时，辊涂方向与加工图保持一致。

15.6.2 金属板材加工允许偏差应符合表 15.6.2 的要求。

表 15.6.2 金属板材加工尺寸允许偏差 (mm)

项目		允许偏差
边长	$L \leq 2000$	±2.0
	$L > 2000$	±2.5
对边尺寸	$L \leq 2000$	≤2.5
	$L > 2000$	≤3.0
对角线长度	$L \leq 2000$	≤2.5
	$L > 2000$	≤3.0
折弯高度		≤1.0

平面度	$\leq 2/1000$
孔中心距	± 1.5

15.6.3 单层金属板的加工应符合下列要求：

1 单层金属板折弯加工时，折弯外圆弧半径不应小于板厚的 1.5 倍。采用开槽折弯时，应控制刻槽深度，保留的铝材厚度不应小于 1.0mm，并在开槽部位采取加强措施；

2 单层金属板加强肋的固定应牢固，采用电栓钉时，单层金属板外表面不应变形、变色。加强肋与单层金属板折边或加强边框应可靠连接；

3 单层金属板的固定耳子应符合设计要求。固定耳子可采用焊接、铆接或在金属板上直接冲压而成，左右位置应错开，固定牢固；

4 金属板幕墙组件的板折边角度允许偏差不大于 2° ，折边高度不小于 25mm。折边组角处宜相互连接，组角处缝隙不大于 1mm。

15.6.4 金属复合板的加工应符合下列要求：

1 在切割复合板内层金属板和芯材时，应保留不小于 0.3mm 厚的芯材，不得划伤外层金属面板；

2 复合面板芯层不应外露，宜采用金属镶嵌边框、面层材料折边或采用硅酮密封胶等方式封闭；

3 复合板折边高度不小于 25mm，并采取加强措施；

4 在加工过程中复合板不应与水接触，加工后不得堆放在潮湿环境中。

15.6.5 金属蜂窝板的加工应满足下列要求：

1 在切除芯材时不得划伤外层面板的内表面，各部位外层面板上，应保留 0.3mm~0.5mm 的芯材；

2 金属蜂窝板应采取可靠封边措施，避免蜂窝芯材外露；

3 折角部位应加强，角缝应采用中性密封胶密封；

4 瓦楞芯板应封边处理。折边后，周边应有加强措施。

15.6.6 金属板加工完成后及时粘贴保护膜，金属板之间应有隔离层，以防相互划伤。

15.7 人造板材

15.7.1 应根据人造板材的特性选用合适的加工机具，刀具的切削性能应与面板材料向适应并保持锋利。

15.7.2 瓷板、陶板、微晶玻璃板的切割加工应符合下列规定：

1 加工过程中所使用的润滑剂、冷却剂和清洁剂，应采用对面板材料无污染的水性溶剂进行冷却和润滑，不得采用有机溶剂型清洁剂。成品板应放置通风处自然干燥；

2 成品板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许尺寸偏差应符合表 15.7.2 的规定。

表 15.7.2 瓷板、陶板、微晶玻璃板加工允许偏差 (mm)

项目	允许偏差
长度	± 1.0
对角线	≤ 2.0

15.7.3 瓷板、微晶玻璃板的槽口加工应符合下列规定：

- 1 槽口加工宜采用专用设备，不宜采用手持机械；
- 2 槽口的宽度、长度、位置应符合设计要求；
- 3 槽口侧面不得有损坏或崩裂现象，槽口内壁应光滑、洁净，不得有目视可见的阶梯；
- 4 槽口连接部位应无爆边、裂纹等缺陷；
- 5 槽口加工允许偏差应符合表 15.7.3 的规定。

表 15.7.3 瓷板、微晶玻璃板槽口加工允许偏差 (mm)

项目	宽度	长度	深度	槽端到板端边距离	槽边到板面距离
允许偏差	0.5 0	短槽：+10.0 0	1.0 0	短槽：+10.0 0	+0.5 0

注：允许将瓷板、微晶玻璃板短挂件连接用槽口加工成通槽。

15.7.4 石材蜂窝板的切割加工应符合下列规定：

1 加工过程中所使用的润滑剂、冷却剂和清洁剂，应采用对面板材料无污染的水性溶剂进行冷却和润滑，不得采用有机溶剂型清洁剂。成品板应放置通风处自然干燥；

2 成品面板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许偏差应符合表 15.7.4

的规定。

表 15.7.4 石材蜂窝板加工允许偏差 (mm)

项目		要求	
		亚光面、镜面板	粗面板
边长		0.0 -1.0	
对边长度差	≤1000	≤2.0	
	>1000	≤3.0	
厚 度		±1.0	+2.0 -1.0
对角线差		≤2.0	
边直度	每米长度	≤1.0	
平整度	每米长度	≤1.0	≤2.0

15.7.6 其它人造板材的加工制作尚应符合现行行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336 的规定。

15.8 构件组装

15.8.1 半隐框、隐框玻璃板块组装应符合下列要求：

1 硅酮结构密封胶注胶前，必须取得合格的相容性试验、剥离粘接性试验报告，必要时应加涂底胶；双组份硅酮结构密封胶应检查混合均匀性（蝴蝶试验）和混合后的固化速度（拉断试验）；

2 隐框板块的副框应组角连接，双面胶带定位准确，结构胶厚度、宽度尺寸应满足设计要求，不得有负偏差；

3 注胶前对被粘接部位材料表面进行清洁，应分别使用带溶剂的擦布和干擦布清除干净，在清洁后半小时内进行注胶，否则应重新清洁；

4 镀膜玻璃采用离线工艺制作的，应将注胶部位的膜层去除干净；

5 注胶时，玻璃板块宜在型材上方，并考虑玻璃自重对双面胶带产生压缩而产生厚度负偏差；

6 注胶必须饱满，不得出现气泡，表面应平整光滑，余胶不得重复使用；

7 玻璃面板注胶作业应在洁净通风的室内操作，注胶后养护条件应符合硅酮结构密封胶产品的规定，养护期间玻璃面板不得承受任何荷载。养护时间根据

结构胶的固化程度确定，固化未达到足够承载力之前，板块不应搬动；

8 隐框玻璃幕墙组件尺寸允许偏差应满足表 15.8.1 的要求。

表 15.8.1 隐框幕墙组件尺寸允许偏差（mm）

项目		允许偏差
框长度尺寸		±1.0
组件长度尺寸		±2.5
框接缝高度差		≤0.5
框内侧对角线差及组件 对角线差	L≤2000	≤2.5
	L>2000	≤3.5
框组装间隙		≤0.5
胶缝宽度		0~+2.0
胶缝厚度		0~+0.5
组件周边玻璃与铝框位置差		±1.0
结构组件平面度		≤3.0

15.8.2 开启窗的组装应符合下列要求。

1 开启窗应在工厂加工完成，开启窗边框和扇框可采用机械挤角、专用组角件或焊接方式组装。机械挤角、专用组角件方式组装前应注组角胶；焊接方式组装焊缝应打磨平整。拼装前应涂端面胶；

2 开启扇玻璃底部托条应与扇框可靠连接，托条上应设置衬垫；

3 五金件安装应采用螺钉连接，并应有防松脱措施；

4 开启窗四周的密封胶条应镶嵌完整、牢固，胶条在边框槽口内连续，镶嵌密封胶条时长度应比边框内槽口长 1.5%~2%。在转角处宜采用专用转角胶条，胶条转角和接头部位应采用粘接剂粘接牢固。

5 隐框开启扇应采用硅酮结构密封胶，注胶尺寸应符合设计要求，硅酮结构密封胶不得外露。

6 开启扇组装尺寸允许偏差应满足表 15.8.1 的要求。

15.8.3 石材背栓组装要求：

1 背栓植入后与挂件连接应可靠，不得产生松动、扭曲等现象；

2 面板上部背栓挂件应可调节，调节后应有防止滑移的固定装置；

3 石材转角组件为背栓连接时，宜采用铝合金专用连接件，其壁厚不应小于 4.5mm；

4 背栓开孔失效，孔洞应采用环氧胶填充。

15.8.4 明框幕墙组件加工尺寸允许偏差应符合下列要求：

1 组件装配尺寸允许偏差应符合表 15.8.4-1 的要求；

表 15.8.4-1 组件装配尺寸允许偏差（mm）

项目	构件长度	允许偏差
型材槽口尺寸	≤2000	±2.0
	>2000	±2.5
组件对边尺寸差	≤2000	≤2.0
	>2000	≤3.0
组件对角线尺寸差	≤2000	≤3.0
	>2000	≤3.5

2 相邻构件装配间隙及同一平面度的允许偏差应符合表 15.8.4-2 的要求；

表 15.8.4-2 相邻构件装配间隙及同一平面度的允许偏差（mm）

项目	允许偏差	项目	允许偏差
装配间隙	≤0.5	同一平面度差	≤0.5

3 玻璃与槽口的配合尺寸应符合本标准第 6.2.14 和第 6.2.15 条的规定；

4 明框幕墙组件应拼装严密。设计要求密封时，应采用硅酮建筑密封胶进行密封；

5 明框幕墙组装时，应采取措施控制玻璃与铝合金框料之间的间隙。玻璃的下边缘应采用垫块进行支承。玻璃定位垫块位置、数量应满足承载要求，玻璃面板与槽口之间应进行可靠密封。

15.8.5 单元板组装要求：

1 单元板应按加工图和工艺要求组装。单元板块应编号，并注明安装方向和安装顺序；

2 单元板构件连接应牢固，在组装和安装过程中不得变形及松动。构件连接处的缝隙应采用硅酮密封胶密封；

3 单元板框架的构件连接和螺纹连接处，应采取有效的防水和防松措施；工艺孔应采取防水措施。通气孔及排水孔应畅通；

4 玻璃板块的固定应符合本标准第 6.2.16 和第 6.2.17 条的规定，硅酮结构密封胶不应外露；

5 对接型单元部件四周的密封胶条应周圈形成闭合，且在四个角部应连接

成一体；插接型单元部件的密封胶条在两端头应留有防止胶条回缩的适当余量；

6 单元板块在搬动、运输、吊装过程中，应采取措施防止面板滑动或变形；

表 15.8.5-1 螺钉孔内径和扭矩要求

螺钉公称直径（mm）	孔径（mm）		扭矩（Nm）
	最小	最大	
5.5	4.735	4.785	10.0
6.3	5.475	5.525	13.6

7 单元板组装允许偏差应符合表 15.8.5-2 的规定。

表 15.8.5-2 单元板组装允许偏差（mm）

序号	项目		允许偏差
1	组件长度、宽度	$L \leq 2000$	± 1.5
		$L > 2000$	± 2.0
2	组件对角线长度差	$L \leq 2000$	≤ 2.5
		$L > 2000$	≤ 3.5
3	接缝高低差		≤ 0.5
4	接缝间隙		≤ 0.5
5	框面划伤		≤ 3 处且总长 ≤ 100
6	框面擦伤		≤ 3 处且总面积 $\leq 200 \text{ mm}^2$
7	胶缝宽度		+1.0 0
8	胶缝厚度		+0.5 0
16	各搭接量（与设计值比）		+1.0 0
10	组件平面度		≤ 1.5
11	组件内镶板间接缝宽度（与设计值比）		± 1.0
12	连接构件竖向中轴线距组件外表面（与设计值比）		± 1.0
13	连接构件水平轴线距组件水平对插中心线		± 1.0 (可上下调节时 ± 2.0)
15	连接构件竖向轴线距组件竖向对插中心线		± 1.0
15	两连接构件中心线水平距离		± 1.0
16	两连接件上、下端水平距离差		± 0.5
17	两连接件上、下端对角线差		± 1.0

15.8.6 双层单元幕墙及双层幕墙单元组件在加工前应对各板块编号，并应注明加工、运输、安装方向和顺序。

15.8.7 单元式双层幕墙的内、外两层幕墙单元组件应在按各自标准检验合格后，再进行合体组装。组装允许偏差应符合表 15.8.7 的规定。

表 15.8.7 单元式双层幕墙组装允许偏差 (mm)

序号	项目	允许偏差	检查方法
1	内、外层单元组件四周垒差	≤ 1	角尺、塞规
2	双层单元总厚度	± 1	钢尺
3	内、外层单元组件对角垒差	≤ 1.5	角尺、塞规
4	内外层单元组件内腔净空(杆件处)	± 1	钢尺
5	内外单元组件连接位置差	≤ 1	钢尺

15.8.8 双层幕墙内层为门窗构造时，门窗的加工、组装尚应满足现行行业标准《铝合金门窗工程技术规范》JGJ 214 的要求。

15.9 构件检验

15.9.1 构件加工、组件制作过程中必须建立自检、互检、专职检验三级检验制度，每道工序必须首件检验合格后方可批量加工，并保留检验记录。

15.9.2 构件、组件应按 5%进行随机抽样检查，且每种构件不得少于 5 件。当有一个构件不符合要求时，应加倍抽查，复检合格后方可出厂。

15.9.3 单元式幕墙板块应在工厂内进行浸水试验。

15.9.3 产品出厂时，应附有检验合格证书，各组件可张贴二维码保存信息。

16 安 装 施 工

16.1 一 般 规 定

16.1.1 幕墙安装应在主体结构施工完成或具备幕墙施工条件并验收合格后方可进行。与主体结构同步施工或分段施工的，应采取可靠的安全隔离措施。

16.1.2 进场安装的幕墙构件及附件的材料品种、规格、色泽和性能，应符合设计要求。幕墙构件安装前应进行进场验收，不合格的构件不得安装使用。

16.1.3 幕墙施工前应编制专项施工方案，并应符合现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB 50502 的规定。

16.1.4 幕墙安装前应对槽式预埋件及后置埋件锚栓的承载力进行检测，并应符合设计要求。

16.1.5 幕墙安装应在物理性能检测合格后进行。有抗爆设计或其他特殊功能要求的建筑幕墙，尚应进行抗爆或特殊功能的检测，符合要求后方可施工。

16.1.6 隐框、半隐框玻璃幕墙组件严禁在施工现场打注硅酮结构密封胶。

16.1.7 幕墙安装过程中，应及时对半成品、成品进行保护；在构件存放、搬动、吊装时不得碰撞、损坏和污染构件。

16.2 构件式幕墙

16.2.1 幕墙测量放线要求：

1 测量放线前，应先确定主体结构的标高控制线、轴线控制线及底层的基准控制点；

2 测量放线时，应结合主体结构的偏差及时调整幕墙分格，不得积累偏差；

3 分格线确定后，应在其垂直方向和水平方向设置控制线；垂直方向不大于 20m 设置一条控制线；

4 测量应在风力不大于 4 级时进行；

5 高层建筑应定期对幕墙的安装定位基准进行校核。

16.2.2 预埋件的安装要求：

1 安装前应检查规格型号，埋件位置符合设计要求；

2 应采取措施防止浇筑混凝土时埋件发生位移，保持埋件位置准确；

3 预埋件的位置偏差应满足设计要求，当设计无要求时，预埋件的位置偏差不应大于 $\pm 20\text{mm}$ ；

4 有防雷接地要求的预埋件，锚筋必须与主体结构的接地钢筋捆扎或焊接。

16.2.3 预埋件偏位及后置埋件应按下列要求处理：

1 预埋件偏位过大不满足安装要求或漏埋时，应采取纠偏或后补措施，且应符合设计要求；

2 后置埋件钻孔时应避开主体结构钢筋，钻孔尺寸应符合产品要求；

3 采用扩底型机械锚栓固定锚板时，应使用厂家提供配套的专用扩孔钻头、扩孔检测工具和敲击工具。对于扩孔程度无法检测及检测出未充分扩孔的，严禁在该不合格孔位安装锚栓。自扩底型机械锚栓螺母的旋紧应采用扭力扳手，扭力数据按生产厂家提供的规定；

4 采用特殊倒锥型化学锚栓固定锚板时，锚固胶采用乙烯基酯类树脂，常温固化时间小于 60 分钟。当在锚板上进行焊接作业时，应提供耐高温后抗拉承载力检验报告；

5 锚栓孔至锚板边缘的距离不应小于 2 倍锚栓孔直径和 20mm，锚栓最小间距应大于 6 倍锚栓直径，锚栓距离结构边缘不应小于 6 倍锚栓直径和 70mm；

6 锚栓应安装在主体结构部位，钻孔后应进行检查和清理，锚栓的有效锚固深度应符合下表的规定。有效锚固深度不应包括装饰层或抹灰层；

表 16.2.3—1 扩底型机械锚栓的有效锚固深度

锚栓螺杆直径（mm）	10	12	16	20	24
有效锚固深度（mm）	≥ 80	≥ 80	≥ 100	≥ 150	≥ 180

表 16.2.3—2 特殊倒锥形化学锚栓的有效锚固深度

锚栓螺杆直径（mm）	10	12	16	20	24
有效锚固深度（mm）	≥ 80	≥ 100	≥ 125	≥ 170	≥ 200

7 锚栓与锚板之间应设置厚度不小于 3mm 的钢垫片，位置调整后钢垫片与锚板及螺母之间采取点焊方式固定，以防止锚栓松动或滑动脱落；

8 为避免现场焊接，后置埋件可采用免焊接装配式锚板及锚栓系统；

9 废弃的锚栓孔应进行封堵处理，采用高强度无收缩砂浆填充密实；

10 锚栓安装完成后，应进行锚固承载力现场检测，抗拉力应大于设计值的

2 倍以上。

16.2.4 幕墙立柱安装要求：

1 转接件与埋件应连接可靠。转接件的规格、数量、与埋件的焊缝尺寸应符合设计要求，焊接后应去除焊渣并及时进行防腐处理。当采用螺栓连接时应采取防松措施；

2 立柱与转接件的连接应符合设计要求，连接螺栓不少于 2 组；

3 芯柱规格尺寸及长度应符合设计要求，并与立柱可靠连接；

4 立柱安装轴线偏差：不应大于 $\pm 2\text{mm}$ ，相邻两根立柱安装标高偏差不应大于 3mm ，同层立柱的最大标高偏差不应大于 5mm ，相邻两根立柱固定点的距离偏差不应大于 2mm ；

5 立柱安装就位、调整后应及时紧固，并采取防止位移措施。

16.2.5 幕墙横梁安装应符合下列要求：

1 横梁与立柱连接应符合设计要求。横梁与立柱采用螺栓或螺钉连接时，至少有一端与立柱留出伸缩间隙，间隙宽度应符合设计要求，连接处应采用柔性垫片或密封胶封堵。当采用焊接时，焊缝位置、尺寸应满足设计要求，焊接后应去除焊渣并及时进行防腐处理；

2 铝合金横梁与立柱连接点的螺钉或螺栓应不少于 2 个，当横梁为开口型材时应不少于 3 个。不应采用沉头、半沉头螺钉；

3 同一根横梁两端或相邻两根横梁的水平标高偏差不应大于 1mm 。同层标高偏差：当一幅幕墙宽度 $\leq 35\text{m}$ 时，不应大于 5mm ；当一幅幕墙宽度大于 35m 时，不应大于 7mm ；

4 每个楼层横梁安装完成后，应及时进行检查、校正和固定。

16.2.6 幕墙主要附件安装要求：

1 防火层构造应符合设计要求。承托板应与主体结构和幕墙框架固定，不得留有空隙。承托板与主体结构及幕墙框架的交接处应采用防火密封胶封堵。防火棉铺设应密实、平整、连续；

2 幕墙与主体结构的封口处理应符合设计要求；

3 避雷连接构造应符合设计要求。采用现场焊接的构件，应在焊接后及时进行防腐处理；

4 开放式幕墙的防水层构造应符合设计要求；

- 5 幕墙安装用的临时衬垫、固定材料，应在构件紧固后及时拆除；
- 6 安装在幕墙系统中的保温材料铺设应平整、密实、牢固，拼装处不应留有缝隙。

16.2.7 玻璃面板安装要求：

- 1 安装前玻璃表面应清洁。镀膜玻璃镀膜面的朝向应符合设计要求；
- 2 玻璃底部托条或垫块设置应符合设计要求，托条与幕墙框架应牢固连接；
- 3 明框玻璃幕墙压板及后置隔热条应通长设置，固定螺钉规格和间距应符合设计要求；
- 4 玻璃槽口采用胶条密封时，材质、型号应符合设计要求，橡胶条转角和接头部位应采用粘结剂粘结牢固，镶嵌应平整；
- 5 铝合金装饰构件的连接方式应符合设计要求。安装后表面平整、无色差，接缝均匀并密实。

16.2.8 金属面板安装要求：

- 1 金属板安装前应检查平整度、表面质量、加强筋连接等要求；
- 2 对幕墙支承结构的连接及平整度进行检查，保证连接可靠；
- 3 板块安装调整后应进行固定，板缝尺寸应符合设计要求，并进行密封处理。接缝平直，接缝大小一致；
- 4 采用挂钩式安装时，应及时安装防脱落装置。

16.2.9 石板面板安装要求：

- 1 石材挂件支座与框架连接应符合设计要求，安装允许偏差符合下表规定；

表 16.2.9 石材幕墙挂件支座安装允许偏差和检验方法

项目	允许偏差（mm）	检查方法
挂件水平位置	1.0	水平仪
挂件标高	±1.0	水平仪、水平尺
挂件前后水平标高差	1.0	水平尺
挂件挂钩中心线与石板槽口中心线差	2.0	金属直尺
挂件入槽深度（与设计值比）	±2.0	金属直尺
背栓挂件钩尖至背栓中心线距离	±1.0	金属直尺
背栓挂件与支座搭接（与设计值比）	±1.0	金属直尺

- 2 确定石材面板的安装顺序，安装调整后进行固定；
- 3 板缝尺寸应符合设计要求，并进行密封处理。接缝平直，接缝大小一致。

应采用石材专用密封胶密封；

4 倒挂、外倾斜的面板防坠落构造应符合设计要求。

16.2.10 人造板面板安装要求：

1 根据连接方式确定幕墙面板的安装顺序，预安装并调整后，需在孔、槽内注胶粘剂的面板，胶粘剂的品种和性能应符合产品标准的规定；

2 板缝构造及尺寸应符合设计要求；

3 板缝用胶密封时，应与接触材料相容，并不得产生污染性；

4 倒挂、外倾斜的面板防坠落构造应符合设计要求。

16.2.11 建筑密封胶施工要求：

1 建筑密封胶不宜在夜晚、雨天打胶，打胶环境条件应符合产品要求，打胶前应确保打胶面清洁、干燥；

2 板缝尺寸、密封胶规格应符合设计要求。建筑密封胶的施工厚度不应小于 3.5mm；较深的密封槽口底部应采用聚乙烯发泡材料填塞；

3 硅酮建筑密封胶在接缝内应对面粘结，不应三面粘结；

4 胶缝应饱满、光滑顺直，不得有气泡、气孔、间断等缺陷。

16.2.12 幕墙安装过程中，应在注胶完成后进行淋水试验自查。

16.2.13 构件式玻璃幕墙安装允许偏差应符合表 16.2.13-1 和 16.2.13-2 的规定。

表 16.2.13-1 明框玻璃幕墙安装允许偏差和检验方法

项次	项目		允许偏差(mm)	检验方法
1	墙面垂直度 (幕墙高度 H)	H≤30m	10.0	用经纬仪检查
		30m<H≤60m	15.0	
		60m<H≤90m	20.0	
		H>90m	25.0	
2	幕墙水平度	幕墙幅宽≤35m	5.0	用水平仪检查
		幕墙幅宽>35m	7.0	
3	构件直线度		2.0	用 2m 靠尺和塞尺检查
4	构件水平度	构件长度≤2m	2.0	用水平仪检查
		构件长度>2m	3.0	
5	相邻构件错位		1.0	用金属直尺检查
6	分格框对角线长度差	对角线长度≤2m	3.0	用金属直尺检查
		对角线长度>2m	4.0	

表 16.2.13-2 隐框、半隐框玻璃幕墙安装的允许偏差和检验方法

项次	项目		允许偏差(mm)	检验方法
1	墙面垂直度 (幕墙高度 H)	$H \leq 30\text{m}$	10.0	用经纬仪检查
		$30\text{m} < H \leq 60\text{m}$	15.0	
		$60\text{m} < H \leq 90\text{m}$	20.0	
		$90\text{m} < H \leq 150\text{m}$	25.0	
2	幕墙水平度	层高 $\leq 3\text{m}$	3.0	用水平仪检查
		层高 $> 3\text{m}$	5.0	
3	幕墙表面平整度		2.0	用 2m 靠尺和塞尺检查
4	板材立面垂直度		2.0	用 2m 靠尺和塞尺检查
5	板材上沿水平度		2.0	用 2m 靠尺和塞尺检查
6	相邻板材板角错位		1.0	观察
7	阳角方正		2.0	金属直尺检查
8	接缝直线度		3.0	用 2m 靠尺和塞尺检查
9	接缝高低差		1.0	金属直尺检查
10	接缝宽度		1.0	金属直尺检查

16.2.14 金属、石材幕墙安装应符合下表规定：

表 16.2.14 金属、石材幕墙安装质量

序号	项目		允许偏差 (mm)	检查方法
1	幕墙面垂直度	$H \leq 30\text{m}$	10.0	激光经纬仪或 经纬仪
		$30\text{m} < H \leq 60\text{m}$	15.0	
		$60\text{m} < H \leq 90\text{m}$	20.0	
		$H > 90\text{m}$	25.0	
2	立柱、竖缝直线度		3.0	2m 靠尺、塞尺
3	横向板材水平度	$\leq 2000\text{mm}$	2.0	水平仪
		$> 2000\text{mm}$	3.0	
4	同高度两相邻横向构件高度差		1.0	金属直尺、塞尺
5	幕墙横向水平度	层高 $\leq 3\text{m}$	3.0	水平仪
		层高 $> 3\text{m}$	5.0	

6	分格框对角线差	$L \leq 2000\text{mm}$	3.0	对角线尺或 3m 钢卷尺
		$L > 2000\text{mm}$	3.5	
7	竖缝及墙面垂直缝垂直度	层高 $\leq 3\text{m}$	2.0	激光经纬仪或经纬仪
		层高 $> 3\text{m}$	3.0	
8	幕墙水平度（层高）		2.5	2m 靠尺、金属直尺
9	竖缝直线度（层高）		2.5	2m 靠尺、金属直尺
10	横缝直线度（层高）		2.5	2m 靠尺、金属直尺
11	缝宽度（与设计值比）		± 2.0	卡 尺
注：H 为幕墙总高度，L 为分格框的长边长度。				

16.3 单元式幕墙

16.3.1 单元式幕墙的测量放线、预埋件安装及偏位处理方法应符合 16.2.1、16.2.2、16.2.3 的规定。

16.3.2 单元式幕墙应编制专项吊装施工方案，并由相关单位审核通过。

16.3.3 单元式幕墙的吊装机具准备应符合下列要求：

1 安装单元板块的吊装机具应根据单元板块的荷载进行专门设计，吊装机具的承载能力应大于板块吊装施工中各种荷载和作用组合的设计值；

2 应对吊装机具安装位置的主体结构承载能力进行校核。吊装机具应与主体结构可靠连接，并有防止脱轨或限位、防倾覆设施；

3 应采取有效措施，使板块在垂直运输和吊装过程中减小摆动；

4 吊装机具运行速度应可控制，并应设置防止板块坠落的保护设施、行程开关等安全保护措施；

5 吊装前应对吊装机具进行全面的质量、安全检验，并进行空载试运转之后才能进行吊装；

6 定期对吊挂用钢丝绳进行检查，发现断股应及时更换；

7 定期对吊装机具进行检查、保养，发现问题立即停工修理，严禁吊装机具带病作业；

9 吊装机具操作人员应经专业培训并考核合格。吊装机具的应有防雨、防潮和防尘措施；

10 单元板块的吊挂件、支撑件应具备可调整范围，并应采用不锈钢螺栓将吊挂件与立柱固定牢固，固定螺栓不得少于 2 个。

16.3.4 单元组件的运输要求：

- 1** 做好成品保护，板块的摆放方向应符合板块规定的运输方向；摆放平稳，固定牢靠，减小板块或型材变形；
- 2** 装卸及运输过程中，应采用有足够承载力和刚度的周转架、衬垫或弹性垫，使单元板块之间相互隔开并相对固定，防止划伤、相互挤压和串动；
- 3** 异形板块和超过运输允许尺寸的单元板块，应采取特殊措施；
- 4** 运输过程中，应采取措施减小颠簸并做好防止天气变化的准备措施，
- 5** 楼层上设置的接料平台应进行专门设计，接料平台的承载能力应大于板块、周转架的最大自重以及搬运人员体重和其他施工荷载的组合设计值。同时，能承受承料台所承受水平荷载的分力。接料平台的周边应设置防护栏杆。

16.3.5 在场内堆放单元板块时的要求：

- 1** 宜设置专用堆放场地，并应有安全保护措施。短期露天存放时应采取防雨、防潮和防尘等措施；
- 2** 应依照安装顺序先出后进的原则按编号排列放置；
- 3** 宜存放在周转架上，不应直接叠层堆放。

16.3.6 板块起吊和就位要求：

- 1** 板块上的吊挂点位置、数量应根据板块的形状和重心设计，吊点不应少于 2 个。必要时可增设吊点加固措施并试吊；
- 2** 应进行试吊装。起吊单元板块时，应使各吊点均匀受力，起吊过程应保持单元板块平稳；
- 4** 吊装升降和平移应使单元板块不摆动、不撞击其他物体；
- 5** 吊装过程应采取措施保证装饰面不受磨损和挤压；
- 6** 单元板块就位时，应先将其挂到主体结构的挂点上，板块未固定前，吊具不得拆除；
- 7** 板块吊装过程中应有专人指挥，防止与主体结构或其他物品碰撞；

16.3.7 严禁超重吊装。在雨、雪、雾和 5 级以上风力等不良天气时，不得进行吊装作业。

16.3.8 安装在主体结构上的连接件（挂座）在安装调整完毕后应及时进行防腐处理安装，连接件安装允许偏差应符合表 16.3.8 的规定。

表 16.3.8 连接件安装允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查方法
1	标高	± 1.0 (可上下调节时 ± 2.0)	水准仪
2	连接件两端点平行度	≤ 1.0	钢卷尺
3	距安装轴线水平距离	≤ 1.0	钢卷尺
4	垂直偏差(上、下两端点与垂线偏差)	± 1.0	垂线、钢卷尺
5	两连接件连接点中心水平距离	± 1.0	钢卷尺
6	两连接件上、下端对角线差	± 1.0	钢卷尺
7	相邻三连接件(上下、左右)偏差	± 1.0	钢卷尺

16.3.9 板块安装应按下列规定进行：

1 板块安装前，应对下一层板块的上横框型材进行清理，并检查板块接口之间的防水装置、密封措施是否符合设计要求；

2 安装施工中，严禁用铁锤等敲击板块；

3 每一板块安装后应进行测量，使幕墙的水平度和垂直度偏差不大于板块相应边长的 1/1000。

16.3.10 板块校正及固定应按下列规定进行：

1 单元板块就位后，应及时调整、校正；

2 单元板块调整、校正后，应及时安装防松脱、防双向滑移和防倾覆装置。采用焊接施工时，应及时对焊接部位进行防腐处理；

3 单元板块固定完成后，应及时清洁单元板块上部型材槽口，并按设计要求完成板块接口之间的防水密封处理；

4 按设计要求安装防雷装置、保温层、防火层。防火材料应采用锚钉固定牢固，防火层应平整，拼接处不留缝隙，完成后应进行隐蔽工程验收。幕墙工程安装完毕后，应及时清洁幕墙；清洁时应选用合适的清洁剂，避免腐蚀和污染已安装完毕的幕墙；

5 单元式幕墙安装固定后的偏差应符合表 16.3.10 的要求。

表 16.3.10 单元式幕墙安装允许偏差和检验方法

序号	项目		允许偏差 (mm)	检查方法
1	竖缝及墙面垂直度	幕墙高度 H (m)	≤ 10	激光经纬仪或经纬仪
		$H \leq 30$		
		$30 < H \leq 60$	≤ 15	
		$60 < H \leq 90$	≤ 20	
		$90 < H$	≤ 25	
2	幕墙平面度		≤ 2.5	2m 靠尺、金属直尺
3	竖缝直线度		≤ 2.5	2m 靠尺、金属直尺
4	横缝直线度		≤ 2.5	2m 靠尺、金属直尺
5	缝宽度 (与设计值比)		± 2	卡尺
6	耐候胶缝直线度	$L \leq 20m$	1	金属直尺
		$20m < L \leq 60m$	3	
		$60m < L \leq 100m$	6	
		$L > 100m$	10	
7	两相邻面板之间接缝高低差		≤ 1.0	深度尺
8	同层单元组件标高	宽度不大于 35m	≤ 3.0	激光经纬仪或经纬仪
		宽度大于 35m	≤ 5.0	
9	相邻两组件面板表面高低差		≤ 1.0	深度尺
10	两组件对插件接缝搭接长度 (与设计值比)		± 1.0	卡尺
11	两组件对插件距槽底距离 (与设计值比)		± 1.0	卡尺

16.3.11 同层排水的单元式幕墙,单元板块安装固定后,应按规定进行盛水试验,及时处理渗漏现象。

16.3.12 施工中如果暂停安装,应对板块对插槽口等部位进行保护,对安装完毕的单元板块应进行成品保护。

16.3.13 单元式幕墙进行收口时,应将收口单元体的双母框与两侧的单元体框槽对齐,将收口单元体从上向下插入到安装位置,然后对这三个单元体进行调整,确保三个板块的位置都准确无误。

16.4 全玻璃幕墙

16.4.1 全玻璃幕墙安装前,应清洁镶嵌槽;中途暂停施工时,应对槽口采取保护措施。

16.4.2 全玻璃幕墙安装过程中，应及时检测和调整面板、玻璃肋的水平度和垂直度。

16.4.3 每块玻璃的吊夹应固定在同一结构体上，并保持玻璃受力均匀。玻璃夹具与夹板配合紧密不松动，金属夹具不得与玻璃直接接触。

16.4.4 硅酮结构胶注胶前，应对注胶部位进行清洁。胶缝表面应平整、光滑。

16.4.5 玻璃宜采用机械吸盘安装，并应采取必要的安全措施。

16.4.6 吊挂玻璃周边构造尺寸应符合本标准第 10.2.1 条的规定。

16.4.7 全玻璃幕墙施工质量应符合表 16.4.7 的要求。

表 16.4.7 全玻璃幕墙施工质量要求

序号	项目		允许偏差	测量方法
1	墙面垂直度 (幕墙高度 H)	$H \leq 30$	10mm	激光仪或经纬仪
		$30 < H \leq 60$	15mm	
2	幕墙的平面度		2.5mm	2m 靠尺，金属直尺
3	竖缝的直线度		2.5mm	2m 靠尺，金属直尺
4	横缝的直线度		2.5mm	2m 靠尺，金属直尺
5	线缝宽度（与设计值比较）		$\pm 2.0\text{mm}$	卡尺
6	两相邻面板之间的高低差		1.0mm	深度尺
7	玻璃面板与肋板夹角与设计值偏差		$\leq 1^\circ$	量角器

16.5 点支承玻璃幕墙

16.5.1 支承结构安装应符合下列要求：

1 支承结构安装过程中，组装、焊接、表面喷涂等工序均应符合设计和相关标准的规定；

2 大型支承结构构件吊装应编制专项施工方案；

3 支承结构安装调整后，及时紧固定位，并进行隐蔽工程验收。

16.5.2 索结构、拉杆桁架支承体系中拉杆和拉索预拉力的施加应符合下列要求：

1 钢拉杆和钢拉索安装时，应按设计要求施加预拉力，并宜设置预拉力调节装置。钢拉索和钢拉杆采用液压千斤顶张拉时，预拉力宜采用油压表控制；分级张拉结束时，宜采用测力计进行拉力复核；

2 钢拉杆采用扭力扳手施加预拉力时，应事先进行标定；

3 张拉前应评估索体张拉对相邻索位形及其中张拉力的影响；影响程度大时，应通过预应力施工全过程模拟计算确定预应力张拉方案；

4 施加预应力应以张拉力为控制量；对结构重要部位宜进行索力和位移双控；

5 拉索张拉应遵循分阶段、分级、对称、缓慢匀速、同步加载的原则；在张拉过程中，应对拉杆、拉索的预拉力依据现场实际状况作必要调整；

6 张拉前必须对构件、锚具等进行全面检查，并应签发张拉通知单。张拉通知单应包括张拉日期、张拉分批次数、每次张拉控制力、张拉用机具、测力仪器及使用安全措施和注意事项；

7 对每个点建立张拉记录；

8 拉杆、拉索实际施加的预拉力值应考虑施工温度的影响；

9 可结合张拉索杆支承结构的受力特性，从千斤顶直接张拉、拉索调节器调节、索端支座强迫就位、索体横向牵拉或顶推等方法中选择合适的张拉方法。

16.5.3 幕墙张拉索杆支承结构施工完成后，在面板安装前可根据重力荷载分布情况悬挂配重荷载，索体位形调整正确后，再替换配重安装面板。配重重量可取面板自重的 1.05~1.15 倍。

16.5.4 支承结构安装允许偏差应符合表 16.5.4 的规定。

表 16.5.4 支承结构安装允许偏差

名称	允许偏差 (mm)
相邻两竖向构件间距	±2.5
竖向构件垂直度	$l/1000$ 或 ≤5, l 为跨度
相邻三竖向构件外表面平面度	5
相邻两爪座水平间距和竖向距离	±1.5
相邻两爪座水平高低差	1.5
爪座水平度	2
同层高度内爪座高低差：间距不大于 35m	5
间距大于 35m	7
相邻两爪座垂直间距	±2.0
单个分格爪座对角线差	4
爪座端面平面度	6.0

16.5.5 点支承玻璃幕墙面板安装应符合表 16.5.5 的规定：

表 16.5.5 点支承玻璃幕墙安装的允许偏差和检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
竖缝及墙面垂直度	高度不大于 30m	10.0	激光仪或经纬仪
	高度大于 30m 但不大于 50m	15.0	
平面度		2.5	2m 靠尺、金属直尺
接缝直线度		2.5	2m 靠尺、金属直尺
接缝宽度		2.0	卡尺
接缝高低差		1.0	塞尺

16.6 光 伏 幕 墙

16.6.1 光伏组件在存放、搬运、安装过程中,应采取保护措施,防止发生碰撞、雨淋、线路接触不良等现象。

16.6.2 光伏组件安装前,应仔细核对组件的编码图和电性能参数是否符合设计要求。施工安装人员应穿绝缘鞋,带低压绝缘手套,使用绝缘工具。

16.6.3 施工场所应有醒目、清晰、易懂的电气安全标识。不得在雨雪或 5 级及以上大风天气施工。

16.6.4 组件安装时,其临近的电线应有隔离措施。组件安装工程中,应在受光面铺设遮光材料,遮住太阳光。光伏系统安装过程中,应同时进行防雷装置的安装。

16.6.5 组件的线路接头连接应可靠,并应采取防雨水浸泡的措施。系统线路宜采用隐藏布线方式。

16.6.6 光伏系统发生组件损坏,应及时处理。接通电路前应对幕墙表面进行清洁,拆除遮光材料。

16.6.7 光伏组件上应标注带电警告标识。

16.6.8 光伏系统安装后,应依次按照方阵和整个系统进行电性能测试。

16.7 采光顶与金属屋面

16.7.1 采光顶与金属屋面安装应在主体结构验收合格后进行,安装前应对主体结构进行测量。

16.7.2 采光顶与金属屋面的安装施工应单独编制施工组织设计，并应符合现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255 的规定。

16.7.3 采光顶与金属屋面与主体结构应采用预埋件连接，应在主体结构施工时按设计要求埋设。当预埋件的位置偏差过大或未设预埋件时，应制订补救措施或可靠连接方案，经相关各方确认后方可实施。

16.7.4 采光顶、金属屋面支承结构的施工应符合有关结构施工质量验收规范的规定。大型钢结构构件应进行吊装设计，并应试吊。钢结构安装过程中，制孔、组装、焊接和涂装等工序应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

16.7.5 框支承采光顶的安装施工应按下列要求进行：

- 1 确定基准线，以基准线为定位点确定采光顶各分格点的空间定位；
- 2 进行面板支承结构的安装，支座安装应定位准确，构件连接符合设计要求；
- 3 采光顶框架构件、点支承装置安装调整就位后应及时紧固；
- 4 装饰压板应顺水流方向设置，表面应平整，接缝符合设计要求；
- 5 采光顶的周边封堵收口、屋脊处压边收口、支座处封口处理应铺设平整且可靠固定，并应符合设计要求；
- 6 采光顶天沟、排水槽、防雷体系及隐蔽节点施工应符合设计要求；
- 7 采用现场焊接或高强螺栓紧固的构件，在安装就位后应及时进行防锈处理。安装用的临时紧固件应在构件紧固后及时拆除；
- 8 玻璃采光顶安装前应对玻璃表面进行清洁，夹层玻璃朝向地面侧，并应符合设计要求；
- 9 框支承采光顶构件安装允许偏差应符合表 16.7.5 的规定：

表 16.7.5 框支承采光顶构件安装允许偏差

序号	项目	尺寸范围	允许偏差（mm）
1	水平通长构件吻合度	构件总长度≤30m	10.0
		30m<构件总长度≤60m	15.0
		60m<构件总长度≤90m	20.0
		构件总长度>90m	25.0
2	采光顶坡度	坡起长度≤30m	+10.0

		30m<坡起长度≤60m	+15.0
		60m<坡起长度≤90m	+20.0
		坡起长度>90m	+25.0
3	单一纵向、横向构件 直线度	构件长度≤2000mm	2.0
		构件长度>2000mm	3.0
4	纵向、横向构件 直线度	长度或宽度≤35m	5.0
		长度或宽度>35m	7.0
5	分格框对角线差	对角线长度≤2000mm	3.0
		对角线长度>2000mm	3.5
6	檐口位置差	相邻两组件	2.0
		长度≤10m	3.0
		长度>10m	6.0
		全长方向	10.0
7	组件上缘接缝的位置差	相邻两组件	2.0
		长度≤15m	3.0
		长度>30m	6.0
		全长方向	10.0
8	屋脊位置差	相邻两组件	3.0
		长度≤10m	4.0
		长度>10m	8.0
		全长方向	12.0
9	同一缝隙宽度差	与设计值比	±2.0

16.7.6 点支承采光顶的安装施工应按下列要求进行：

- 1 点支承装置应符合设计要求；
- 2 转接件与支承框架应连接牢固。采用焊接时，焊缝位置、高度应符合设计要求，焊接后对焊接部位及时做防腐处理；
- 3 点支承采光顶安装应符合表 16.7.6 的规定：

表 16.7.6 点支承采光顶安装允许偏差

序号	项目	尺寸范围	允许偏差（mm）
1	脊（顶）水平高差	—	±3.0
2	脊（顶）水平错位	—	±2.0

3	檐口水平高差	—	±3.0
4	檐口水平错位	—	±2.0
5	跨度（对角线或角到对边垂高）差	≤3000mm	3.0
		≤4000mm	4.0
		≤5000mm	6.0
		>5000mm	9.0
6	胶缝宽度	与设计值相比	0, +2.0
7	胶缝厚度		0, +0.5
8	采光顶接缝及 大面玻璃水平度	采光顶长度≤30m	±10.0
		30m<采光顶长度≤30m	±15.0
9	采光顶接缝直线度	长度或宽度≤35m	±5.0
		长度或宽度>35m	±7.0
10	相邻面板平面高低差	—	2.5

16.7.7 金属屋面的安装施工应按下列要求进行：

1 支承结构应先安装主檩条（主龙骨），再安装次檩条（次龙骨），最后安装固定支座，支座安装应定位准确，构件连接符合设计要求；

2 金属板材应根据板型和设计的配板图铺设；铺设时，应先在檩条上安装固定支架，板材和支架的连接，应按所采用板材的要求确定；

3 隔气层、保温层、吸音层等辅助构造应符合设计要求，材料拼缝处应密实，严禁在雨雪天进行安装；

4 泛水板、包角板、屋脊盖板等，加工前应复测现场尺寸，安装前应先放线，铺设应整齐、连接应牢固可靠，密封材料敷设应完成；

5 固定支座安装质量应符合表 16.7.7 的规定；

表 16.7.7 固定支座安装质量（mm）

项目	要求及允许偏差	检查方法	检查数量
固定支座固定	固定支座紧固、无松动，紧贴檩条或支承结构。	观察或用小锤敲击检查	按固定支座数抽查 5%，且不得少于 20 处。
沿板长方向，相邻固定支座横向偏差	±2.0	用拉线和钢尺检查	
沿板宽方向，相邻固定支座纵向偏差	±5.0		
沿板宽方向相邻固定支座横向间距偏差	+3.0 -2.0		
相邻固定支座高度偏差	±4.0		

固定支座纵倾角	$\pm 1.0^{\circ}$	钢尺、角尺检查	
固定支座横倾角	$\pm 1.0^{\circ}$		

6 不同类型的面板安装应符合现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255 的规定。

16.7.8 采光顶及金属屋面上设置开启窗时，窗框周边应完整密封，开启角度符合设计要求。

16.7.9 金属屋面排水用金属板材制作时，应伸入屋面金属板材下不小于 150 mm；当有檐沟时，屋面金属板材应伸入檐沟内，其长度不应小于 50 mm；檐口应采用金属板材封堵；山墙应用异型金属板材的包角板和固定支架封严。

16.7.10 玻璃采光顶应在玻璃下部设置防坠落构造，安装应牢固，材料规格、构造符合设计要求。

16.8 安全规定

16.8.1 幕墙安装施工应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 和现行浙江省工程建设标准《建筑施工安全管理规范》DB33/1116 的规定。

16.8.2 幕墙施工作业人员应经过安全技术培训并考试合格，上岗前应进行安全技术交底并有书面记录。特种作业人员应取得安全作业证书后持证上岗。

16.8.3 安装施工机具在使用前应严格检查。电动工具应进行绝缘电压试验；手持玻璃吸盘及玻璃吸盘机应进行吸附重量和吸附持续时间试验。

16.8.4 当高层建筑的玻璃幕墙安装与主体结构施工交叉作业时，在主体结构的施工层下方应设置防护设施；在距离地面约 3m 高度处，应设置挑出宽度不小于 6m 的水平防护设施。

16.8.5 采用吊篮施工时，应符合下列要求：

- 1** 施工吊篮应进行设计，使用前应进行严格的安全检查，符合要求方可使用；
- 2** 安装吊篮的场地应平整，并能承受吊篮自重和各种施工荷载的组合设计值；
- 3** 吊篮用配重与吊篮应可靠连接；

4 每次使用前应进行空载运转并检查安全锁是否有效。进行安全锁试验时，吊篮离地面高度不得超过 2.0m，并只能进行单侧试验；

5 施工人员应经过培训，熟练操作施工吊篮；

6 施工吊篮不应作为竖向运输工具，并不得超载；

7 不应在空中进行施工吊篮检修和进出吊篮；

8 施工吊篮上的施工工人必须戴安全帽、配系安全带，安全带必须系在保险绳上并与主体结构有效连接；

9 吊篮上不得放置电焊机，也不得将吊篮和钢丝绳作为焊接地线，收工后，吊篮应降至地面，并切断吊篮电源；

10 收工后，吊篮及吊篮钢丝绳应固定牢靠，并做好电器防雨、防潮和防尘措施。长期停用，应对钢丝绳采取有效的防锈措施。

16.8.6 现场焊接作业时，应有动火证并采取防火措施。

16.8.7 施工过程中，每完成一道施工工序后，应及时清理施工现场遗留的杂物。施工过程中，不得在窗台、栏杆上放置施工工具。在脚手架和吊篮上施工时，不得随意抛掷物品。

17 检验与检测

17.1 一般规定

17.1.1 各种材料和构件的质量证明文件与相关技术资料应齐全，并应符合设计要求和现行国家有关标准的规定。

17.1.2 建筑幕墙的物理性能检测应满足设计要求。

17.1.3 抽样检测项目的样本容量及检测结果判定按现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 和《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433 的规定执行。

17.1.4 单体建筑幕墙面积小于 300m^2 且高度小于 24m，可采用 2 年内同一企业同类幕墙的试验报告代替物理性能检测，其性能指标不得低于拟建幕墙的性能指标。

17.2 材料检验

17.2.1 同一厂家生产的同一品种、同一类型的进场材料应至少抽取一组样品复检，合同另有约定时按合同执行。

17.2.2 下列材料进场后应对其性能进行复验，复验应为见证取样检验：

- 1 铝合金型材主要受力杆件的抗拉强度、膜层厚度、硬度，隔热铝合金型材的抗拉、抗剪强度；
- 2 钢材主要受力杆件的抗拉强度、壁厚、防腐蚀处理；
- 3 中空玻璃的传热系数、遮阳系数、可见光透射比、露点；
- 4 石材的弯曲强度、密度、吸水率；
- 5 陶板和瓷板的断裂模数、吸水率；
- 6 微晶玻璃的弯曲强度和耐急冷急热性能；
- 7 金属板材的表面涂层厚度；
- 8 金属复合板的涂层厚度、剥离强度；
- 9 石材蜂窝复合板的安装连接件承载能力、剥离强度、弯曲强度；
- 10 硅酮结构密封胶相容性、剥离粘结性、邵氏硬度、标准状态拉伸粘结性能；
- 11 石材用建筑密封胶的污染性；

- 12 保温材料的密度、导热系数、燃烧性能;
- 13 幕墙框架与主体结构连接用螺栓的抗拉强度、抗剪强度;
- 14 槽式埋件应对锚筋与 C 型槽的连接以及 T 型螺栓与 C 型槽的连接进行抗拉、抗剪性能复验。

17.3 性能检测

17.3.1 建筑幕墙的物理性能检验项目包括气密性能、水密性能、抗风压性能、平面内变形性能。热工性能、隔声性能、耐撞击性能及其他性能根据设计及合同规定进行。

17.3.2 同一工程、不同面板材料、不同类型、不同系列的幕墙,选取典型单元进行物理性能试验。

17.3.3 检测试件应符合现行国家标准《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227、《建筑幕墙层间变形性能分级及检测方法》GB/T 18250及下列要求:

- 1 试件规格、型号和材料等应与设计图纸一致,试件安装应符合工程实际;
- 2 试件应包括典型的垂直接缝、水平接缝和可开启部分,并且试件上可开启部分占试件总面积的比例与实际工程接近;
- 3 构件式幕墙的试件高度至少应包括一个层高,三个水平分格并含有开启窗;在竖直方向上与主体结构至少有两处连接;
- 4 单元式幕墙应至少包括与实际工程相符的一个典型十字缝,其中一个单元的四边接缝构造与实际工况相同;
- 5 点支承幕墙试件,当支承结构跨度大于8m 时,可以做玻璃及其支承装置的性能测试和支承系统的结构静力试验,模拟幕墙体系的抗风压性能检测。玻璃及其支承装置的性能测试至少应检测四块与实际工程相符的玻璃板块及一个典型十字接缝;
- 6 全玻璃幕墙试件应有一个完整跨距高度,宽度应至少有两个完整的玻璃宽度和一个玻璃肋;
- 7 组合幕墙的试件应包含所使用的不同类型面板,以及不同类型面板交界部分的典型节点;
- 8 双层幕墙应根据内、外幕墙的不同结构形式确定其检测方案,并应符合

双层幕墙的实际工作状态要求。

17.3.4 双层幕墙的抗风压性能检测应根据双层幕墙的通风形式进行：

1 外通风双层幕墙的内外两层分别具有各自的支撑系统时，应分别按内外层各自承受的风荷载标准值进行检测；

2 外通风双层幕墙的内外两层共用一套支撑系统时，支撑系统应按照外层幕墙承受的风荷载标准值进行检测，面板应按照内外层幕墙各自承受的风荷载标准值进行检测；

3 内通风双层幕墙的外层幕墙应按外层幕墙承受的风荷载标准值进行检测；

4 内外通风双层幕墙的抗风压性能应按外通风双层幕墙的方法进行检测。

17.3.5 双层幕墙的气密性能检测应根据双层幕墙的通风形式进行：

1 外通风双层幕墙的内外两层分别具有各自的支撑系统时，应对内层幕墙进行检测；

2 内通风双层幕墙的内外两层分别具有各自的支撑系统时，应对外层幕墙进行检测；

3 外通风双层幕墙或内通风双层幕墙，内外两层幕墙采用同一支撑系统时，应对内外层幕墙整体进行检测；

4 内外通风双层幕墙的气密性应分别按外通风和内通风两种使用状态进行检测。

17.3.6 双层幕墙的水密性能检测应根据双层幕墙的通风形式进行：

1 外通风双层幕墙的水密性能宜对内外层幕墙整体进行检测，也可采用内层幕墙的水密性能替代双层幕墙的整体水密性。以室内侧未发生严重渗漏时的最高压力差作为外通风双层幕墙的整体分级值；

2 内通风双层幕墙的水密性能宜对内外层幕墙整体进行检测，也可采用外层幕墙的水密性能替代双层幕墙的整体水密性。以空气间层及室内侧未发生严重渗漏时的最高压力差作为内通风双层幕墙的整体分级值；

3 内外通风双层幕墙的水密性能应分别按外通风和内通风两种使用状态进行检测；

4 台风地区的双层幕墙采用静态水密性能检测时，应采用波动加压法进行检测。

17.3.7 抗震设计时应检测双层幕墙平面内变形性能和必要的其它方向的变形性能。双层幕墙的平面内变形性能检测应采取内外层整体检测的形式。

17.4 现场检测与试验

17.4.1 槽式预埋件应按照实际应用构造和受力情况进行现场承载力检验，包括水平和竖向荷载同时作用的工况，抽样比例应符合现行国家标准《建筑幕墙用槽式预埋组件》GB/T38525 的规定。

17.4.2 后置埋件锚固应按照实际应用构造和受力情况进行现场抗拔（抗剪）承载力检验，抽样比例应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

17.4.3 石材及人造板材面板采用背栓或挂件连接时，应进行组合单元的挂装强度试验，试验方法依据现行国家标准《天然石材试验方法 第 7 部分：石材挂件组合单元挂装强度试验》GB/T 9966.7 的规定。

17.4.4 单元式幕墙板块完成后应在工厂进行浸水试验，观察面板与框架接缝处密封性能。

17.4.5 幕墙完工后应选取幕墙典型部位实施现场淋水试验，试验方法应按现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 附录 D 的规定。

17.4.6 建筑幕墙热工性能要求高或设计、合同有规定时，可在现场进行热工性能检测，检测方法按现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 附录 E 的规定。

17.4.7 光伏系统按现行国家标准进行电气性能检测。

18 工程验收

18.1 一般规定

18.1.1 幕墙工程完成后应进行幕墙子分部工程专项验收。除符合本标准规定外，尚应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 和《建筑节能工程施工质量验收标准》GB 50411 的相关规定。

18.1.2 幕墙工程验收应进行技术资料复核、现场观感检查和实物抽样检验。验收前应将其表面清洗干净，保持幕墙立面完好及清洁。

18.1.3 幕墙工程验收时，应根据工程实际情况检查下列文件和记录的部分或全部：

- 1 幕墙工程的竣工图或施工图、结构计算书、热工性能计算书、设计变更文件及其他设计文件；
- 2 幕墙工程所用材料、构件及组件、紧固件及其它附件的产品合格证书、性能检测报告、进场验收记录，进口材料应有商检证明；
- 3 按本标准第 17.2.2 条规定的材料复验报告；
- 4 均质钢化玻璃除应提供产品合格证外，尚应提供均质加工过程记录；
- 5 玻璃幕墙工程所用硅酮结构胶的认定证书和抽查合格证明，国家认可的检测机构出具的硅酮结构胶相容性和剥离粘结性试验报告；
- 6 后置埋件的现场抗拔（抗剪）检测报告、槽式埋件的现场承载力检测报告；
- 7 幕墙抗风压性能、气密性能、水密性能、平面内变形性能检测报告及有其它规定的性能检测报告；
- 8 注胶及养护环境的温度、湿度记录；双组份硅酮结构胶的混匀性试验记录及拉断试验记录；
- 9 幕墙与主体结构防雷接地点之间的电阻检测记录；
- 10 隐蔽工程验收文件；
- 11 幕墙构件、组件和面板的加工制作检验记录；
- 12 幕墙安装施工质量检查记录；
- 13 张拉索杆体系预拉力张拉记录；

- 14 现场淋水试验记录;
- 15 幕墙使用维护说明书;
- 16 其他质量保证资料。

18.1.4 幕墙工程应在安装施工过程中对下列隐蔽工程项目进行验收, 应有详细的文字记录和图文或影像资料, 隐蔽工程验收记录按本标准附录 F 的规定。

- 1 预埋件或后置埋件及锚栓;
- 2 构件与主体结构的连接节点;
- 3 幕墙四周、幕墙内表面与主体结构之间的封堵;
- 4 幕墙伸缩缝、变形缝、沉降缝及墙面转角处的构造节点;
- 5 幕墙面板与支撑结构的连接节点;
- 6 幕墙防雷连接节点;
- 7 幕墙防火、隔烟节点;
- 8 单元式玻璃幕墙的封口节点。

18.1.5 幕墙工程质量检验应进行观感检验和抽样检验, 并按下列规定划分检验批, 每幅幕墙均应检验:

1 相同设计、材料、工艺和施工条件的幕墙工程每 1000m^2 应划分为一个检验批, 不足 1000m^2 也应划分为一个检验批。每个检验批每 100m^2 应至少抽查一处, 每处不得小于 10m^2 ;

2 同一单位工程的不连续的幕墙工程应单独划分检验批;

3 对于异型或特殊要求的幕墙, 检验批的划分应根据幕墙的结构、工艺特点及幕墙工程规模, 可由监理单位、建设单位和施工单位协商确定。

18.1.6 金属屋面与采光顶工程验收应符合现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345、《屋面工程质量验收规范》GB 50207 和现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255 的相关规定。

18.2 主控项目

18.2.1 玻璃幕墙工程主控项目应包括下列项目:

1 幕墙工程所使用的各种材料、构件和组件的质量, 应符合现行国家标准及设计要求;

检验方法: 检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录、性能检

验报告和材料的复验报告。

2 玻璃幕墙的形式和立面分格应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查。

3 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及槽式预埋件、后置埋件的拉拔力应符合设计要求；

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录；槽式预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

4 幕墙框架与主体结构预埋件或后置埋件的连接、幕墙构件之间的连接、面板与幕墙构架的连接、安装应可靠并应符合设计要求；

检验方法：手扳检查；检查隐蔽工程验收记录。

5 隐框或半隐框玻璃幕墙的每块玻璃下端应设置两个铝合金或不锈钢托条，其长度不应少于 100mm，厚度不应少于 2mm；

检验方法：观察；检查施工记录。

6 明框玻璃幕墙压板应通长，固定螺钉规格、间距应符合设计要求；

检验方法：观察；检查施工记录。

7 下端支承的全玻璃幕墙的最大使用高度，应符合规范要求；当采用悬挂安装方式时，应吊挂在主体结构上，吊夹具及玻璃连接构造应符合设计要求；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

8 玻璃幕墙四周、玻璃幕墙内表面与主体结构之间的连接节点、各种变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

9 幕墙防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

10 有水密性要求的幕墙应无渗漏。板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、无气泡，宽度和厚度应符合设计要求。密封胶的施工厚度不应小于 3.5mm；

检验方法：观察；尺量检查；检查施工记录，在易渗漏部位进行淋水试验。

11 金属框架、连接件及焊缝的防腐处理应符合设计要求，不同金属材料之间应避免双金属腐蚀；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

12 幕墙开启窗的配件应齐全，安装应牢固，安装位置和开启方向、角度及开启距离应正确；开启应灵活，关闭应严密；

检验方法：观察；手扳检查；开启和关闭检查。

13 幕墙的防雷装置必须与主体结构的防雷装置可靠连接，防雷装置的设置应符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

18.2.2 金属幕墙工程主控项目应包括下列项目：

1 幕墙工程所使用的各种材料、构件和组件的质量，应符合现行国家标准及设计要求；

检验方法：检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录、性能检测报告和材料的复验报告。

2 金属幕墙的造型、立面分格及金属面板的品种、规格、颜色、光泽应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查；检查进场验收记录。

3 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及槽式预埋件、后置埋件的拉拔力应符合设计要求；

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录；槽型预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

4 幕墙框架与主体结构预埋件或后置埋件的连接、幕墙构件之间的连接、面板与幕墙构架的连接、安装应可靠并应符合设计要求；

检验方法：手扳检查；检查隐蔽工程验收记录。

5 幕墙防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

6 幕墙的防雷装置必须与主体结构的防雷装置可靠连接，防雷装置的设置应符合设计要求；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

7 各种变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求；

检验方法：检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

8 有水密性要求的幕墙应无渗漏。板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、

无气泡，宽度和厚度应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查；检查施工记录，在易渗漏部位进行淋水试验。

9 幕墙框架、连接件及焊缝的防腐处理应符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

18.2.3 石材幕墙工程主控项目应包括下列项目：

1 幕墙工程所使用的各种材料、构件和组件的质量，应符合现行国家标准及设计要求；

检验方法：检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录、性能检测报告和材料的复验报告。

2 石材幕墙的造型、立面分格、颜色、光泽、花纹和图案应符合设计要求；

检验方法：观察。

3 石材开孔、开槽的加工质量应符合本标准第 15.5 的规定；

检验方法：检查隐蔽工程验收记录和加工记录。

4 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及槽式预埋件、后置埋件的拉拔力应符合设计要求；

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录；槽式预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

5 幕墙框架与主体结构预埋件或后置埋件的连接、幕墙构件之间的连接、石材与幕墙构架的连接、安装应牢固并应符合设计要求；

检验方法：手扳检查；检查隐蔽工程验收记录。

6 幕墙防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

7 幕墙的防雷装置必须与主体结构的防雷装置可靠连接，防雷装置的设置应符合设计要求；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

8 各种变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求；

检验方法：检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

9 有水密性要求的幕墙应无渗漏。板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、无气泡，宽度和厚度应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查；检查施工记录，在易渗漏部位进行淋水试验。

10 石材幕墙框架、连接件及焊缝的防腐应符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

18.2.4 人造板材幕墙工程主控项目应包括下列项目：

1 幕墙工程所使用的各种材料、构件和组件的质量，应符合现行国家标准及设计要求；

检验方法：检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录、性能检测报告和材料的复验报告。

2 人造板材幕墙工程的造型、立面分格、颜色、光泽、花纹和图案应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查。

3 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及槽式预埋件、后置埋件的拉拔力应符合设计要求；

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录；槽型预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

4 幕墙框架与主体结构预埋件或后置埋件的连接、幕墙构件之间的连接、面板与幕墙构架的连接、安装应牢固并应符合设计要求；

检验方法：手扳检查；检查隐蔽工程验收记录。

5 幕墙防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

6 幕墙的防雷装置必须与主体结构的防雷装置可靠连接，防雷装置的设置应符合设计要求；

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

7 各种变形缝、墙角的连接节点应符合设计要求；

检验方法：检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

8 有水密性要求的幕墙应无渗漏。板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、无气泡，宽度和厚度应符合设计要求；

检验方法：观察；尺量检查；检查施工记录，在易渗漏部位进行淋水试验。

9 幕墙框架、连接件及焊缝的防腐处理应符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录和施工记录。

18.3 一般项目

18.3.1 玻璃幕墙工程一般项目应包括下列项目：

1 玻璃幕墙表面应平整、洁净；整幅玻璃的色泽均匀；不得有污染和镀膜损坏；

检验方法：观察。

2 玻璃、铝合金型材的表面质量和检验方法应符合表 18.3.1-1 和表 18.3.1-2 的规定：

表 18.3.1-1 每平方米玻璃的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检验方法
1	明显划伤和长度>100mm 的轻微划伤	不允许	观察
2	长度≤100mm 的轻微划伤	≤8 条	用金属直尺检查
3	擦伤总面积	≤500mm ²	用金属直尺检查

表 18.3.1-2 一个分格铝合金型材的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检验方法
1	明显划伤和长度>100mm 的轻微划伤	不允许	观察
2	长度≤100mm 的轻微划伤	≤2 条	用金属直尺检查
3	擦伤总面积	≤500mm ²	用金属直尺检查

3 玻璃幕墙的外露框料或装饰条应光滑顺直，颜色、规格应符合设计要求，安装应牢固；

检验方法：观察；手扳检查。

4 幕墙的密封胶缝应饱满、光滑顺直、宽窄均匀，不得有气泡、气孔；开放式板缝宽度均匀，符合设计规定；

检验方法：观察；手摸检查。

5 幕墙隐蔽节点的遮封装修牢固、整齐、美观；

检验方法：观察；手扳检查。

6 玻璃安装允许偏差应符合本标准第 16.2.13、16.3.10、16.4.7、16.5.5 的规定。

18.3.2 金属幕墙工程一般项目应包括下列项目：

1 金属幕墙表面应平整、洁净；色泽均匀；不得有污染、严重划伤；

检验方法：观察。

2 每平方米金属板的表面质量和检验方法应符合表 18.3.2 的规定；

表 18.3.2 金属板的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检验方法
1	宽度 0.1mm~0.3mm 的划伤	总长度小于 100mm 且不多于 8 条	观察、钢板尺
2	擦伤	不大于 500mm ²	钢尺

3 幕墙的密封胶缝应饱满、光滑顺直、宽窄均匀，不得有气泡、气孔；开放式板缝宽度均匀，符合设计规定；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

4 幕墙的排水方向、排水坡度及滴水构造应符合设计要求；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

5 安装允许偏差应符合本标准第 16.2.14 的规定。

18.3.3 石材幕墙工程一般项目应包括下列项目：

1 幕墙表面应平整、洁净；色泽均匀；不得有污染、严重缺棱、缺角；

检验方法：观察。

2 每平方米石材的表面质量和检验方法应符合表 18.3.3 的规定；

表 18.3.3 石材的表面质量和检验方法

项次	项目	质量要求	检验方法
1	宽度 0.1mm~0.3mm 的划伤	每条长度小于 100mm 且不多于 2 条	观察、钢板尺
2	缺棱、缺角	缺损深度小于 5mm 且不多于 2 处	钢板尺

3 石材面板的接缝、转角角度应符合设计要求，线条接缝应光滑顺直；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

4 幕墙的密封胶缝应饱满、光滑顺直、宽窄均匀，不得有气泡、气孔；开放式板缝宽度均匀，符合设计规定；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

5 幕墙的排水方向、排水坡度及滴水构造应符合设计要求；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

6 安装允许偏差应符合本标准第 16.2.14 的规定。

18.3.4 人造板材幕墙工程一般项目应包括下列项目：

1 幕墙表面应平整、洁净，无污染，颜色基本一致，不得有缺角、裂纹、裂缝、斑痕，瓷板、陶板的施釉表面不得有裂纹和龟裂；

检验方法：观察；尺量检查。

2 板缝应平直、均匀。注胶封闭式板缝注胶应饱满、密实、连续、无气泡，缝宽均匀、光滑顺直，胶缝宽度、厚度应符合设计要求；胶条封闭式板缝的胶条应连续、均匀，安装牢固、无脱落，板缝宽度应符合设计要求；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

3 幕墙的框架和面板接缝应横平竖直，缝宽基本均匀；

检验方法：观察。

4 转角部位面板边缘整齐、接缝应光滑顺直，构造应符合设计要求；

检验方法：观察。

5 幕墙的排水方向、排水坡度及滴水构造应符合设计要求；

检验方法：观察；手摸检查；尺量检查。

6 面板的表面质量和检验方法应符合表 18.3.4-1 和表 18.3.4-2 的规定：

表 18.3.4-1 瓷板、陶板、微晶玻璃幕墙面板的表面质量

序号	项目	质量要求			检查方法
		瓷板	陶板	微晶玻璃	
1	缺棱：长×宽度不大于 10 mm×1 mm(长度小于 5 mm 不计) 周边允许（处）	1	1	1	金属直尺
2	缺角：边长不大于 5 mm×2 mm (边长小于 2 mm×2 mm 不计)(处)	1	2	1	金属直尺
3	裂纹（包括隐裂、釉面龟裂）	不允许	不允许	不允许	目测观察
4	窝坑（毛面除外）	不明显	不明显	不明显	目测观察
5	明显擦伤、划伤	不允许	不允许	不允许	目测观察
6	轻微划伤	不明显			目测观察

注：目测观察室指距板面 3mm 处眼观察。

表 18.3.4-2 石材铝蜂窝板幕墙面板的表面质量

序号	项目	质量要求	检查方法
1	缺棱：最大长度≤8mm，最大宽度≤1mm，周边每米长允许（处） （长度＜5mm，宽度＜1.0mm 不计）	1	金属直尺
2	缺角：最大长度≤4mm，最大宽度≤2mm，每块板允许（处） （长度、宽度＜2mm，不计）	1	金属直尺
3	裂纹	不允许	目测
4	划伤	不明显	目测观察

5	擦伤	不明显	目测观察

注：目测观察室指距板面 3mm 处眼观察。

7 安装允许偏差应符合表 18.3.4-3 的规定：

表 18.3.4-3 人造面板幕墙安装允许偏差和检验方法

序号	项目	尺寸范围	允许偏差 (mm)	检查方法
1	相邻立柱间距尺寸（固定端）	—	±2.0	金属直尺
2	相邻两横梁间距尺寸	≤2000	±1.5	金属直尺
		>2000	±2.0	金属直尺
3	单个分格对角线长度差	长边边长≤2000	3.0	金属直尺或伸缩尺
		长边边长>2000	3.5	金属直尺或伸缩尺
4	立柱、竖缝及墙面的垂直度	幕墙总高度 ≤30m	10.0	激光仪或经纬仪
		幕墙总高度 ≤60m	15.0	
		幕墙总高度 ≤90m	20.0	
		幕墙总高度 ≤150m	25.0	
		幕墙总高度 >150m	30.0	
5	立柱、竖缝直线度	—	2.0	2.0m 靠尺、塞尺
6	立柱、墙面的平面度	相邻两墙面	2.0	激光仪或经纬仪
		一幅幕墙总宽度≤20m	5.0	
		一幅幕墙总宽度≤40m	7.0	
		一幅幕墙总宽度≤60m	9.0	
		一幅幕墙总宽度>80m	10.0	
7	横梁水平度	横梁长度≤2000	1.0	水平仪或水平尺
		横梁长度>2000	2.0	
8	同一标高横梁、横缝的高度差	相邻两横梁、面板	1.0	金属直尺、塞尺或水平仪
		一幅幕墙幅宽≤35m	5.0	
		一幅幕墙幅宽>35m	7.0	
9	缝宽度（与设计值比较）	—	±2.0	游标卡尺
注：一幅幕墙是指立面位置或平面位置不在一条直线或连续弧线上的幕墙。				

19 维 护 保 养

19.1 一 般 规 定

19.1.1 幕墙工程竣工验收时，承包商应向建设单位提供《幕墙使用维护说明书》，说明书主要包括下列内容：

- 1 幕墙的设计依据、主要性能参数及设计使用年限；
- 2 使用注意事项；
- 3 环境条件变化对幕墙的影响；
- 4 日常与定期的维护、保养要求；
- 5 幕墙的主要结构特点及易损零部件更换方法；
- 6 备品、备件清单及主要易损件的名称、规格；
- 7 承包商的保修责任。

19.1.2 承包商在幕墙交付使用前应为业主日常使用、保养和维护作培训。

19.1.3 幕墙交付使用后，业主应根据《幕墙使用维护说明书》的相关要求制定幕墙的维护、保养计划与制度。

19.1.4 雨天或 4 级以上风力的天气情况下不宜使用开启窗；5 级及以上风力时，应全部关闭并锁紧开启窗扇。

19.1.5 幕墙外表面的检查、清洗、保养与维护工作不应在 4 级以上风力和雨雪天进行。

19.1.6 幕墙外表面的检查、清洗、保养与维护使用的作业机具设备应安全可靠、保养良好、功能正常、操作方便。每次使用前都应进行安全装置的检查，确保设备和人员安全。

19.1.7 幕墙外表面的检查、清洗、保养与维护应符合现行行业标准《建筑外墙清洗维护技术规程》JGJ 168 的相关规定；高空作业应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 的相关规定。

19.1.8 幕墙质量保修期为 2 年，其中防渗漏保修期为 5 年。

19.1.9 幕墙在使用时应保障幕墙结构的完整性，不得随意改变或附加构造。确需改变或附加构造的，应事先征得原幕墙设计单位或具备相应设计资质单位的同意。

19.2 检查与维护

19.2.1 在幕墙工程竣工验收后，幕墙的业主应按下列规定委托有相应工程设计和检测资质的机构进行定期安全隐患检查。

19.2.2 定期检查和维修规定：

1 在幕墙工程竣工验收后一年时，应对幕墙进行一次全面的检查，此后每五年检查一次。检查项目应包括：

- 1) 幕墙整体是否变形、错位、松动；
- 2) 主要承力构件、连接件和连接螺栓等连接是否可靠、有无锈蚀；
- 3) 面板、外露构件有无松动和损坏；
- 4) 硅酮胶有无脱胶、开裂、起泡，胶条有无脱落、老化等损坏现象；
- 5) 开启窗是否启闭灵活，五金件是否有功能障碍或损坏，螺栓和螺钉是否松动和失效；
- 6) 幕墙有无渗漏，排水系统是否通畅。

上述检查不符合要求的应进行维修或更换，维修与更换应符合原设计要求。

2 拉杆或拉索幕墙在工程竣工验收后六个月时，必须对该幕墙进行一次全面的拉力检查和调整，此后应每三年应检查一次；

3 幕墙工程使用 10 年后应对工程不同部位的结构硅酮密封胶进行粘结性能的抽样检查，此后每三年检查一次。

19.2.3 在台风预警发布后应对幕墙进行防台风检查。连续高温、连续低温天气情况下，应对幕墙加强巡查，采取防护措施。

19.2.4 遭受冰雹、台风、雷击、地震等自然灾害或发生火灾、爆炸等突发事件后，安全维护责任人或其委托的具有相应资质的技术单位，要及时对可能受损建筑的幕墙进行全面检查。

19.3 保养和清洗

19.3.1 幕墙日常保养规定：

- 1 保持幕墙表面整洁，避免锐器及腐蚀性气体和液体与幕墙表面接触；
- 2 保持幕墙排水系统的通畅，如有堵塞应及时疏导；
- 3 开启部位启闭障碍或附件损坏应及时修理或更换；
- 4 密封胶或密封胶条脱落或损坏应及时进行修补更换；

- 5 螺栓、螺钉松动或锈蚀时，应及时拧紧或更换；
- 6 构件锈蚀时应及时除锈补漆或采取其他防锈措施；
- 7 面板破损时应及时采取隔离和防护措施，并尽快组织维修；
- 8 幕墙渗漏时应及时维修。

19.3.2 对超过设计使用年限仍继续使用的幕墙，应进行安全评估。

19.3.3 业主应根据幕墙表面的积灰污染程度，确定其清洗次数，但每年不应少于一次。

19.3.4 清洗幕墙应按《幕墙使用维护说明书》要求选用清洗液，严禁使用有腐蚀性的清洗液。

19.3.5 清洗过程中应做好安全防护，不得撞击和损伤幕墙。

附录 A 平板式预埋件设计与构造

A.0.1 由锚板 and 对称配置的直锚筋所组成的受力预埋件（图 A.0.1），其锚筋的总截面面积 A_s 应符合下列规定：

1 当有剪力、法向拉力和弯矩共同作用时，应按分别按公式（A.0.1-1）和（A.0.1-2）计算，并取二者的较大值：

$$A_s \geq \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4\alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{A.0.1-2})$$

2 当有剪力、法向压力和弯矩共同作用时，应分别按公式（A.0.1-3）和（A.0.1-4）计算，并取二者的较大值：

$$A_s \geq \frac{V - 0.3N}{\alpha_r \alpha_v f_y} + \frac{M - 0.4Nz}{1.3\alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$A_s \geq \frac{M - 0.4Nz}{0.4\alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{A.0.1-4})$$

$$\alpha_v = (4.0 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \quad (\text{A.0.1-5})$$

$$\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} \quad (\text{A.0.1-6})$$

式中： V ——剪力设计值（N）； $\frac{V}{\alpha_r \alpha_v f_y} + \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3\alpha_r \alpha_b f_y z}$

N ——法向拉力或法向压力设计值（N）。法向压力设计值不应大于

$0.5f_c A$ ，此处 A 为锚板的面积（ mm^2 ）；

M ——弯矩设计值（N·mm）。当 M 小于 $0.4Nz$ 时，取 M 等于 $0.4Nz$ ；

α_r ——钢筋层数影响系数。当锚筋等间距配置时，二层取 1.0，三层取 0.9，四层取 0.85；

α_v ——锚筋抗剪承载力系数。当 α_v 大于 0.7 时，取 α_v 等于 0.7；

d ——锚筋直径（mm）；

t ——锚板厚度（mm）；

α_b ——锚板弯曲变形折减系数。当采取防止锚板弯曲变形的措施时，可

取 α_b 等于 1.0;

z ——沿剪力作用方向最外层锚筋中心线之间的距离 (mm);

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

f_y ——钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用, 但不应大于 300 N/mm^2 。

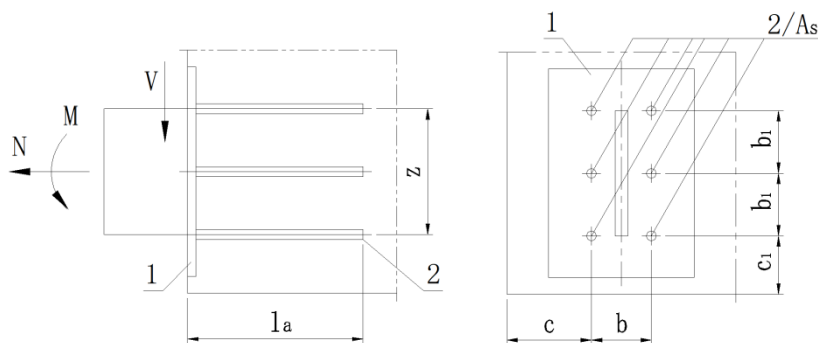


图 A.0.1 锚板和直锚筋组成的预埋件

1-锚板; 2-直锚筋

A.0.2 由锚板 and 对称配置的弯折锚筋及直锚筋共同承受剪力的预埋件 (图 A.0.2), 其弯折锚筋的总截面面积 A_{sb} 应符合下列规定:

$$A_{sb} \geq 1.4 \frac{V}{f_y} - 1.25 \alpha_v A_s \quad (\text{A.0.2})$$

式中: α_v ——按附录 A.0.1 条采用;

A_s ——按附录 A.0.1 条计算, 当直锚筋按构造要求设置时, A_s 应取为 0。

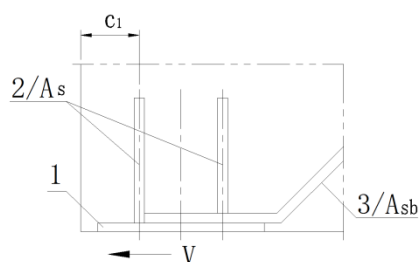


图 A.0.2 锚板和折弯锚筋及直锚筋组成的预埋件

1-锚板; 2-直锚筋; 3-弯折锚筋

A.0.3 当有双向剪力、拉 (压) 力和双向弯矩共同作用时, 可将另一方向剪力和弯矩需要的锚筋面积叠加到公式 A.0.1-1~A.0.1-4 中; 但是对于 A.0.1-3 和 A.0.1-4, 应将 N 用 $0.5N$ 代替。 α_r 和 z 对于两个方向取不同值。

A.0.4 当有比较大的扭矩作用时，应按照锚筋的布置计算锚筋的最大剪力，由此得出剪力最大的锚筋的附加面积，乘以锚筋的总颗数叠加到 A_s 中。

A.0.5 当受拉直锚筋和弯折锚筋的计算中充分利用锚筋的抗拉强度时，受拉锚筋的锚固应符合下列要求：

1 基本锚固长度应按下列公式计算：

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \quad (\text{A.0.5-1})$$

式中： l_{ab} ——受拉钢筋的基本锚固长度（mm）；

f_y ——钢筋抗拉强度设计值（ N/mm^2 ），应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；当混凝土强度等级高于 C60 时，按 C60 取值；

d ——锚筋公称直径（mm）；

α ——锚筋的外形系数，光圆钢筋取 0.16，带肋钢筋取 0.14。

2 受拉钢筋的锚固长度应根据锚固条件按下列公式计算，且不应小于 200mm：

$$l_a = \xi_a l_{ab} \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中： l_a ——受拉钢筋的锚固长度（mm）；

ξ_a ——锚固长度修正系数，普通钢筋按附录 A.0.6 条的规定采用，当多于一项时可按连乘计算，但不应小于 0.6。

A.0.6 纵向受拉普通钢筋的锚固长度修正系数 ξ_a 应按下列规定采用：

1 当带肋钢筋的公称直径大于 25mm 时取 1.10；

2 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25；

3 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10；

4 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此修正；

5 锚固钢筋的保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80，保护层厚度不小于

5d 时修正系数可取 0.70，中间按内插取值，d 为锚固钢筋的直径。

A.0.7 当纵向受拉普通锚固钢筋末端采用弯钩或机械锚固措施时，包括弯钩或锚固头在内的锚固长度（投影长度） l_a 可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 60%。此时，不应考虑附录 A.0.6 条的修正。弯钩和机械锚固的形式（图 A.0.7）和技术要求应符合表 A.0.7 的规定。

表 A.0.7 钢筋弯钩和机械锚固的形式和技术要求

锚固形式	技术要求
90° 弯钩	末端 90° 弯钩，弯钩内径 4d，弯后直段长度 12d
135° 弯钩	末端 135° 弯钩，弯钩内径 4d，弯后直段长度 5d
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 5d 铜直径钢筋
两侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 3d 铜直径钢筋
焊端锚板	末端与厚度 d 的锚板穿孔塞焊
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头

- 注：1 焊缝和螺纹长度应满足承载力要求；
 2 螺栓锚头和焊接锚板的承压净截面积不应小于锚固钢筋截面积的 4 倍；
 3 螺栓锚头的规格应符合相关标准的要求；
 4 螺栓锚头和焊接锚板的钢筋净间距不宜小于 4d，否则应考虑群锚效应的不利影响；
 5 截面角部的弯钩和一侧贴焊锚筋的布筋方向宜向截面内侧偏置。

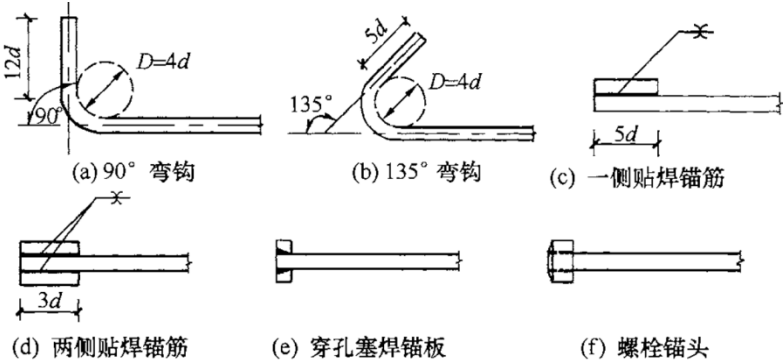


图 A.0.7 弯钩和机械锚固的形式和技术要求

A.0.8 当纵向受拉普通锚固钢筋末端按附录 A.0.7 条采用弯钩或机械锚固措施，且锚筋的计算总截面面积 A_s 与实际配筋总截面面积 A 的比值（ $\xi_a=A_s/A$ ）小于或等于表 A.0.8 中数值时，包括弯钩或锚固头在内的锚固长度（投影长度） l_a 可取 $15d$ ，且不应小于 180mm，d 为锚筋直径。此时，不应考虑附录 A.0.6 条的修正。

表 A.0.8 $l_a=15d$ 时的 $\xi_a=A_s/A$

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
带肋钢筋	0.33	0.38	0.43	0.47	0.51	0.54	0.56	0.58	0.61
光圆钢筋	0.38	0.44	0.50	0.55	0.59	0.63	0.66	0.68	0.71

A.0.9 受拉直锚筋和弯折锚筋采用 HPB300 级钢筋时末端应有弯钩，弯钩的形

式应符合 A.0.7 的规定。

A.0.10 受拉直锚筋和弯折锚筋无法满足锚固长度时，应采取其它有效的锚固措施。当采用两侧都有埋板的对穿埋件时，应保证设计内力不超过混凝土的冲切承载力。

A.0.11 纵向受压的锚固钢筋，当计算中充分利用其抗压强度时，锚固长度不应小于相应受拉锚固长度的 70%。受压锚固钢筋不应采用末端弯钩和一侧贴焊锚筋的锚固措施。

A.0.12 受剪和受压直锚筋的锚固长度不应小于 $15d$ ， d 为锚筋直径，且不应小于附录 A.0.11 条的计算长度。

A.0.13 承受动力荷载的锚固钢筋，应将纵向受力普通钢筋末端焊在钢板或角钢上，钢板或角钢应可靠的地锚固在混凝土中。钢板或角钢的尺寸应按计算确定，其厚度不小于 10mm。

A.0.14 预埋件的锚板宜采用 Q235、Q355 级钢，锚板厚度应根据其受力情况按计算确定，不宜小于锚筋直径的 0.6 倍。

锚筋应采用 HRB400 或 HPB300 级钢筋，严禁采用冷加工钢筋。

A.0.15 直锚筋与锚板应采用 T 型焊。当锚筋直径不大于 20mm 时，宜采用压力埋弧焊；当锚筋直径大于 20mm 时，宜采用穿孔塞焊。当采用手工焊时，焊缝高度不宜小于 6mm，且对 300MPa 级钢筋不宜小于 $0.5d$ ，对其他钢筋不宜小于 $0.6d$ ， d 为锚筋直径。

A.0.16 锚筋与锚板的焊接时，锚筋为 HPB300 级钢筋宜采用 E43 型焊条，锚筋为 HRB400 级钢筋宜采用 E55 型焊条；压力埋弧焊宜采用 HJ431 型焊剂或其他性能相近的焊剂。

A.0.17 预埋件的受力直锚筋不宜少于 4 根，且不宜多于 4 排；其直径不宜小于 8mm，且不宜大于 25mm。受剪预埋件的直锚筋可采用 2 根。预埋件的锚筋应放置在构件的外排主筋的内侧。

A.0.18 锚筋中心至锚板边缘的距离不应小于 $2d$ 和 20mm 的较大值（图 A.0.1）。

1 对受拉和受弯预埋件，其钢筋的间距 b 、 b_1 和锚筋至构件边缘的距离 c 、 c_1 均不应小于 $3d$ 和 45mm 的较大值（图 A.0.1）；

2 对受剪预埋件，其锚筋的间距 b 、 b_1 均不应大于 300mm，且 b_1 不应小于

6d 和 70mm 的较大值;锚筋至构件边缘的距离 c_1 不应小于 6d 及 70mm 的较大值,锚筋的间距 b 、锚筋至构件边缘的距离 c 均不应小于 3d 和 45mm 的较大值(图 A.0.1)。

A.0.19 为避免现场焊接,可采用免焊接板槽式平板预埋件,其受力计算按本附录的规定。

附录 B 槽式预埋件设计与构造

B.1 一般规定

B.1.1 槽式预埋件设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用承载力分项系数的设计表达式进行设计。

B.1.2 槽式预埋件设计承载力应按下列设计表达式验算所有可能的失效模式：

$$S \leq R_d \text{ (无地震作用组合)} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$S \leq k \cdot R_d \text{ (有地震作用组合)} \quad (\text{B.0.2-2})$$

$$R_d = R_k / \gamma_R \quad (\text{B.0.2-3})$$

式中：S——承载能力极限状态下，槽式预埋件上作用组合的效应设计值，在本节各条文中，S用内力设计值(N_{Ed} , V_{Ed})表示；

R_d ——槽式预埋件承载力设计值；

R_k ——槽式预埋件承载力标准值；

γ_R ——槽式预埋件承载力分项系数，按附录 B.3.1 条取值；

K——地震作用下承载力降低系数。当地震作用效应不大于荷载效应组合值S的 20%时，k值可取 1.0。当地震作用效应大于荷载效应组合值S的 20%时，宜根据试验或认证报告确定；无试验或认证报告时 k 值可取 0.7。

B.1.3 本附录中提到的承载力标准值由产品型式检验报告或认证报告提供，测试方法可按照现行的国家与行业相关标准执行。

B.1.4 槽式预埋件的设计使用年限应与幕墙建筑的主体结构相一致，不宜低于 50 年。

B.1.5 槽式预埋件应按照实际应用构造和受力情况进行现场承载力检验，抽样比例应符合现行国家标准《建筑幕墙用槽式预埋组件》GB/T 38525 的规定，承载力分项系数 γ_R 不应低于 1.8。

B.1.6 槽式预埋件的各部件示意图，可参见图 B.1.6。

当槽式预埋件 $h_{ch}/h_{ef} \leq 0.4$ 且 $b_{ch}/h_{ef} \leq 0.7$ 时, 槽式预埋件的有效埋置深度可按图 B.1.6-(a)取 h_{ef} ; 如果不满足上述条件, 槽式预埋件的有效埋置深度可按图 B.1.6-(b)取 h_{ef}^* 。

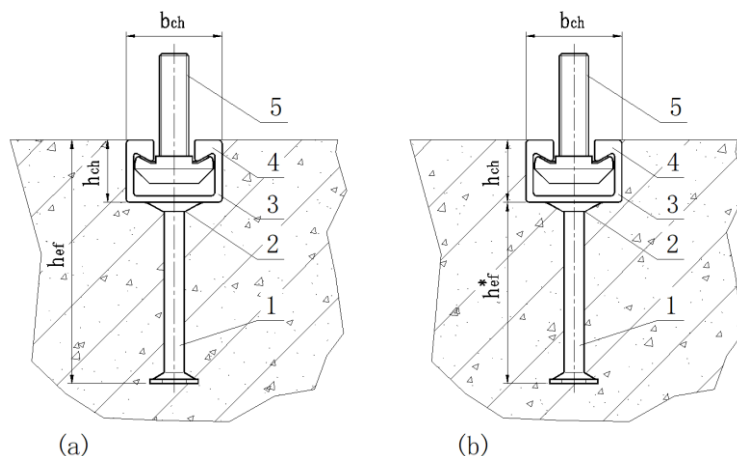


图 B.1.6 槽式预埋件各部件示意图

1-锚筋（锚腿）；2-锚筋与槽体连接处；3-槽体（钢槽）；4-槽体卷边；5-T 型螺栓

b_{ch} -槽体宽度； h_{ch} -槽体高度； h_{ef}^* -锚筋长度

B.1.7 槽式预埋件除本标准另有规定外, 还应符合现行国家标准《建筑幕墙用槽式预埋组件》GB/T 38525 的规定。

B.2 内力计算

B.2.1 槽式预埋件的内力可采用静力学理论或有限元方法, 根据 T 型螺栓的拉力 N_{Ed}^{cb} 和剪力 $V_{Ed,y}^{cb}$ 分布情况, 按照简支梁或者多跨连续梁进行计算, 包括:

- 1 槽体的弯矩 $M_{Ed,y}^{ch}$ 、 $M_{Ed,z}^{ch}$ 和剪力 $V_{Ed,z}^{ch}$ 、 $V_{Ed,y}^{ch}$ ； $V_{Ed,z}$
- 2 锚筋的拉力 $N_{Ed,i}^a$ 和剪力 $V_{Ed,i}^a$ ；
- 3 槽体的扭矩 $M_{Ed,x}^{ch}$ 和锚筋与槽体连接处的弯矩；
- 4 槽式预埋件的坐标见图 B.2.1。

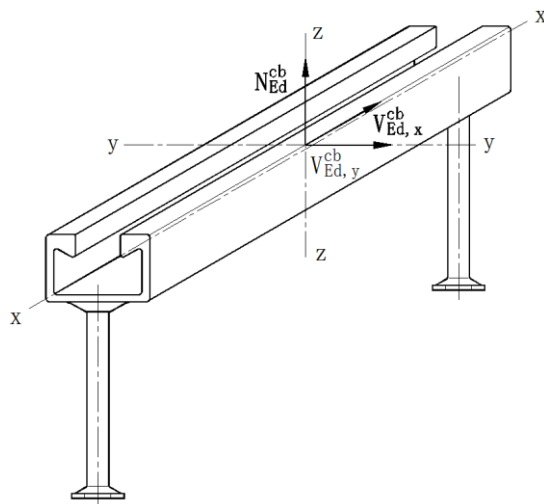


图 B.2.1 槽式预埋件坐标示意图

上标 cb-channel bolt T 型螺栓；上标 a-anchor 锚筋；上标 ch-channel 钢槽；下标 Ed 荷载设计值；

下标 Rd 承载力设计值；下标 Rk 承载力标准值；下标 s-steel 钢材；下标 l-lip 槽口卷边；

下标 p-pull out 拔出破坏

B.2.2 槽式预埋件锚筋受拉内力也可按以下方法计算（见图 B.2.2）：

1 位于槽式预埋件任意位置的 T 型螺栓受拉时，槽式预埋件各锚筋的受力可沿着集中力影响范围按线性分配，每根锚筋所受拉力可按式 B.2.2-1 计算。当槽式预埋件受多处集中力时，锚筋所受拉力等于各集中力的线性分布力的叠加值。若钢槽上集中受力的位置未知或可调，应根据不同破坏模式假定受力位置为最不利时对其进行验算：

$$N_{Ed,i}^a = k \cdot A'_i \cdot N_{Ed}^{cb} \quad (\text{B.2.2-1})$$

式中： $N_{Ed,i}^a$ ——锚筋 i 受到的拉力设计值；

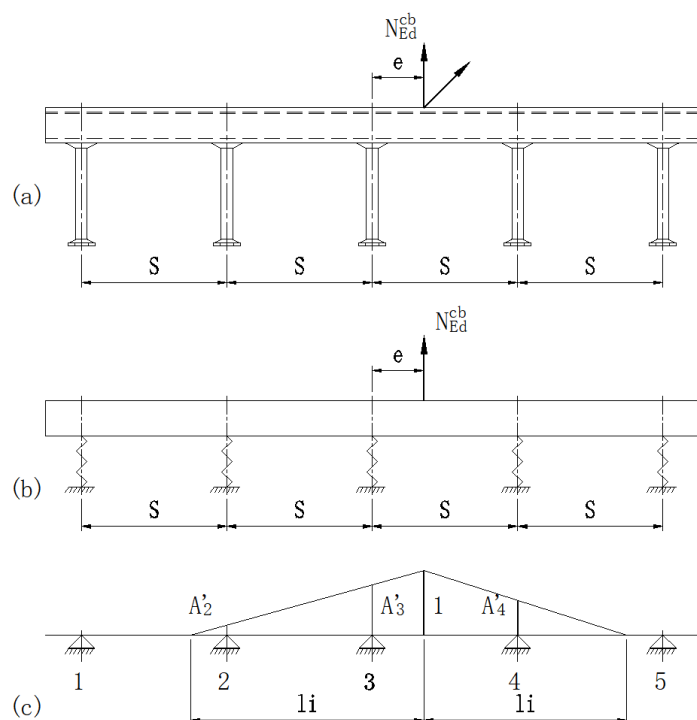
N_{Ed}^{cb} ——槽式预埋件受到的拉力设计值；

A'_i ——以荷载 N_{Ed}^{cb} 为高度单位 1.0，与其影响长度 $2l_i$ 形成一个三角形，
锚筋 i 在该三角形内的高度或纵坐标值（mm）；

k ——该三角形内各 A'_i 总和的倒数，按公式 B.2.2-2 进行计算；

l_i ——拉力作用对槽式预埋件的影响长度，可按公式 B.2.2-3 进行计算；

n ——拉力 N_{Ed}^{cb} 影响长度内的锚筋数量。



$$A'_2 = \frac{l_i - e - s}{l_i} \quad A'_3 = \frac{l_i - e}{l_i} \quad A'_4 = \frac{l_i - s + e}{l_i}$$

$$N_{Ed,2}^a = A'_2 \cdot k \cdot N_{Ed}^{cb} \quad N_{Ed,3}^a = A'_3 \cdot k \cdot N_{Ed}^{cb} \quad N_{Ed,4}^a = A'_4 \cdot k \cdot N_{Ed}^{cb} \quad N_{Ed,1}^a = N_{Ed,5}^a = 0$$

图 B.2.2 槽式预埋件锚筋受力计算示意图

(a) 一个槽式预埋件示意图； (b) 弹性支撑示意图； (c) 荷载三角形分配计算方法

2 槽式预埋件受拉内力计算时的三角形内各 A'_i 总和的倒数 k ，可按下式计算：

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A'_i} \quad (\text{B.2.2-2})$$

式中： n ——拉力 N_{Ed}^{cb} 影响长度内的锚筋数量。

3 槽式预埋件受拉内力计算时拉力作用对槽式预埋件的影响长度 l_i ，可按下式计算：

$$l_i = 13 \cdot I_y^{0.05} \cdot s^{0.5} \geq s \quad (\text{B.2.2-3})$$

式中： I_y ——钢槽截面惯性矩 (mm^4)，由相关产品型式检验报告或认证报告提供，也可按产品截面形式计算；

s ——锚筋间距 (mm)。

4 槽式预埋件锚筋受剪力时的内力计算：

1) 槽式预埋件受垂直于钢槽长度方向的剪力 $V_{Ed,y}^{cb}$ 时，锚筋受剪内力计算方法可按照受拉内力计算方法进行计算；

2) 槽式预埋件受平行于钢槽长度方向的剪力 $V_{Ed,x}^{cb}$ 时,分二种情况进行计算:当验算混凝土剪撬破坏、锚筋受剪破坏、锚筋与钢槽连接处破坏时,可将剪力 $V_{Ed,x}^{cb}$ 平均分配到各锚筋上;当验算混凝土边缘破坏时,如果槽式预埋件与混凝土构件边缘垂直,则剪力 $V_{Ed,x}^{cb}$ 仅由受力方向尾部的一根锚筋承担(见 B.4.8-1),如果槽式预埋件与混凝土构件边缘平行(见图 B.4.8-2),则将剪力 $V_{Ed,x}^{cb}$ 平均分配到各锚筋上;

5 按本条计算的槽式预埋件锚筋内力与附录 B.2.1 条计算的结果不一致时,取大值。

B.2.3 槽式预埋件与被固定物的连接应同时满足下列 2 个条件,以保证作用于钢槽的剪力可认定为没有杠杆臂的纯剪状态。

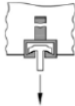
- 1 被连接件材质为钢或铝合金,在其厚度范围内与 T 型螺栓全接触;
- 2 被连接件与混凝土基材直接接触。

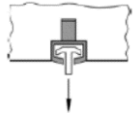
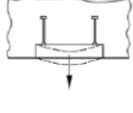
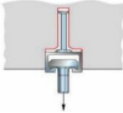
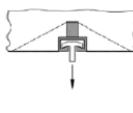
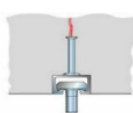
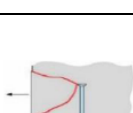
B.3 抗拉承载力极限状态计算

B.3.1 槽式预埋组件设计,应分别对拉力和剪力引起的槽式预埋件及混凝土结构强度进行校核,并验算拉剪复合作用。

- 1 槽式预埋件应按表 B.3.1-1 计算受拉承载力。

表 B.3.1-1 拉力作用下槽式预埋件的验算项目

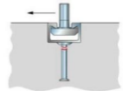
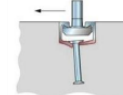
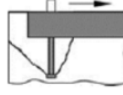
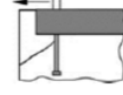
序号	失效模式		钢槽	最不利的锚筋或螺栓	示意图
1	钢材	锚筋受拉 (详见附录 B.3.2 条)		N_{Ed}^a $\leq N_{Rd,s,a}$ $= N_{Rk,s,a}$ $/ \gamma_{Ms}$	
2	破坏	锚筋与钢槽连接处受拉(详见附录 B.3.2 条)		N_{Ed}^a $\leq N_{Rd,s,c}$ $= N_{Rk,s,c}$ $/ \gamma_{Ms,ca}$	

3	钢槽卷边受拉破坏(验算 T 型螺栓受力最大者) (详见附录 B.3.2 条)	$N_{Ed}^{cb} \leq N_{Rd,s,l}$ $= N_{Rk,s,l} / \gamma_{Ms,l}$		
4	螺栓受拉 (详见附录 B.3.2 条)		$N_{Ed}^{cb} \leq N_{Rd,s}$ $= N_{Rk,s}$ $/ \gamma_{Ms}$	
5	钢槽整体受拉弯曲破坏(详见附录 B.3.2 条)	$M_{Ed,y}^{ch} \leq M_{Rd,s,flex}$ $= M_{Rk,s,flex}$ $/ \gamma_{Ms,flex}$		
6	锚筋受拉拔出破坏 (详见附录 B.3.3 条)		$N_{Ed}^a \leq N_{Rd,p}$ $= N_{Rk,p}$ $/ \gamma_{Mp}$	
7	混凝土锥体破坏 (详见附录 B.3.4-9 条) 注: 不满足要求时, 可考虑设置抗拉附加钢筋。		$N_{Ed}^a \leq N_{Rd,c}$ $= N_{Rk,c}$ $/ \gamma_{Mc}$	
8	混凝土劈裂破坏 (详见附录 B.3.10 条)		$N_{Ed}^a \leq N_{Rk,sp}$ $= N_{Rk,sp}$ $/ \gamma_{Msp}$	
9	混凝土受拉边缘剥落破坏 (详见附录 B.3.11 条)		$N_{Ed}^a \leq N_{Rd,cb}$ $= N_{Rk,cb}$ $/ \gamma_{Mc}$	

2 槽式预埋件应按表 B.3.1-2 计算受剪承载力。

表 B.3.1-2 剪力作用下槽式预埋件的验算项目

序号	失效模式		钢槽	最不利的锚筋或螺栓	示意图
1	钢材破坏 (无杠杆臂)	螺栓受剪 (详见附录 B.4.1 条)		$V_{Ed}^{cb} \leq V_{Rd,s}$ $= V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	

2		锚筋受剪 (详见附录 B.4.1 条)		$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,s,a}$ $= V_{Rk,s,a}/\gamma_{Ms}$	
3		锚筋与钢槽连接 处受剪 (详见附录 B.4.1 条)		$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,s,c}$ $= V_{Rk,s,c}/\gamma_{Ms,ca}$	
4		钢槽卷边受剪破坏 (详见附录 B.4.1 条)	$V_{Ed}^{cb} \leq V_{Rd,s,l}$ $= V_{Rk,s,l}/\gamma_{Ms,l}$		
5	混凝土剪撬破坏 (详见附录 B.4.2 条)			$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,cp}$ $= V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$	
6	混凝土边缘破坏 (详见附录 B.4.3-8 条)			$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,c}$ $= V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$	

注：不满足要求时，可考虑设置抗剪附加钢筋。

3 槽式预埋件与混凝土结构锚固连接的承载力分项系数，应按照表 B.3.1-3 采用。

表 B.3.1-3 槽式预埋件设计的承载力分项系数

破坏模式	分项系数代号	分项系数
槽式预埋件钢材破坏		
1 锚筋受拉、螺栓受拉	γ_{Ms}	1.5
2 锚筋受剪，螺栓受剪（有杠杆臂、无杠杆臂）	γ_{Ms}	1.25
3 锚筋与钢槽连接处受拉、受剪	$\gamma_{Ms,ca}$	1.8
4 钢槽卷边受拉、受剪	$\gamma_{Ms,l}$	1.8
5 钢槽整体受拉弯曲	$\gamma_{Ms,flex}$	1.15
混凝土破坏		
6 混凝土受拉锥体破坏、混凝土受拉边缘破坏、	γ_{Mc}	1.5

混凝土受剪边缘破坏、混凝土受剪剪撬破坏		
7 混凝土劈裂破坏	γ_{Msp}	1.5
锚筋受拉拔出破坏		
8 锚筋受拉拔出破坏	γ_{Mp}	1.5

B.3.2 槽式预埋件受拉钢材破坏：

1 锚筋的钢材破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,s,a}$ ，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定； $N_{Rk,s,a}$ 应不大于 $A_S \cdot f_{yk}$ ，其中 A_S 为锚筋受拉应力截面面积， f_{yk} 为锚筋的屈服强度标准值；

2 锚筋与钢槽连接处受拉钢材破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,s,c}$ ，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定；

3 钢槽卷边钢材破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,s,l}$ ，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定。设计时应保证相邻 T 型螺栓的轴心间距 $S_{chb} \geq 2 \cdot b_{ch}$ ，（其中 b_{ch} 为槽式预埋件宽度； S_{chb} 为相邻 T 型螺栓的轴心间距），否则该承载力标准值应乘以折减系数： $0.5 \cdot (1 + \frac{S_{chb}}{2 \cdot b_{ch}}) \leq 1.0$ ；

4 T 型螺栓的钢材破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,s}$ ，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定； $N_{Rk,s}$ 不得大于 $A_S \cdot f_{yk}$ ，其中 A_S 为 T 型螺栓受拉应力截面面积； f_{yk} 为 T 型螺栓的屈服强度标准值；

5 钢槽受拉弯曲钢材破坏的抗弯承载力标准值 $M_{RK,s,flex}$ ，应由产品认证报告提供；若无认证报告，可按照下式计算：

$$M_{RK,s,flex} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} \quad (B.3.2)$$

式中： $W_{pl,y}$ —— 为槽式预埋件 y 轴向的塑性截面抵抗矩，由材料供应商提供；

f_{yk} —— 为钢槽材料的屈服强度标准值。

B.3.3 锚筋受拉拔出破坏承载力标准值可按下式计算：

$$N_{Rk,p} = k_2 \cdot f_{cu,k} \cdot A_h \quad (B.3.3)$$

式中： k_2 —— 取 6.0（对于开裂混凝土），或 8.4（对于非开裂混凝土）；

A_h —— 锚筋端部的受力面积 (mm^2)。当锚筋端部为圆头时，

$$A_h = \frac{\pi}{4} \cdot (d_h^2 - d_a^2), \quad d_a \text{ 为锚筋平直段直径, } d_h \text{ 为锚筋端部}$$

圆头直径，其中 d_h 应不大于 $(6t_h + d_a)$ ， t_h 为锚筋端部圆头的厚度（参考图 B.1.6）；

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)。

B.3.4 混凝土锥体破坏受拉承载力标准值计算：

单根锚筋发生混凝土锥体破坏受拉承载力标准值可按下式计算：

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{ch,s,N} \cdot \psi_{ch,e,N} \cdot \psi_{ch,c,N} \cdot \psi_{re,N} \quad (\text{B.3.4})$$

式中： $N_{Rk,c}^0$ —— 单根锚筋受拉时，混凝土理想锥体破坏的受拉承载力标准值 (N)，可按附录 B.3.5 条进行计算；

ψ —— 相邻锚筋间距影响系数，可按附录 B.3.6 条进行计算；

$ch.s.N$

ψ —— 混凝土基材边缘距离影响系数，可按附录 B.3.7 条进行计算；

$ch.e.N$

ψ —— 混凝土基材边角影响系数，可按附录 B.3.8 条进行计算；

$ch.c.N$

$\psi_{Re,N}$ —— 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数，可按附录 B.3.9 条进行计算。

B.3.5 槽式预埋件单根锚筋受拉时，混凝土理想锥体破坏的受拉承载力标准值 (N)，可按下式计算：

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{cu,k}} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (\text{B.3.5})$$

式中： k_1 —— 按如下规定取值：开裂混凝土取 $7.9 \cdot \alpha_{ch,N}$ ，非开裂混凝土

取

$11 \cdot \alpha_{ch,N}$, 其中 $\alpha_{ch,N} = \left(\frac{h_{ef}}{180}\right)^{0.15}$, 且不大于 1.0;

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm²);

h_{ef} —— 槽式预埋件的有效埋置深度。

B.3.6 相邻锚筋间距影响系数 $\psi_{ch,s,N}$ 可按下式计算:

$$\psi_{ch,s,N} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left[\left(1 - \frac{s_i}{s_{cr,N}}\right)^{1.5} \cdot \frac{N_i}{N_0} \right]} \leq 1.0 \quad (\text{B.3.6})$$

式中: s_i —— 为相邻锚筋间的距离 (mm), 见图 B.2.2, 其值应不大于锚筋的临界间距 $s_{cr,N}$ (mm);

$s_{cr,N}$ —— 可取 $s_{cr,N} = 2 \cdot \left(2.8 - 1.3 \cdot \frac{h_{ef}}{180}\right) \cdot h_{ef} \geq 3h_{ef}$;

N_0 —— 0 号锚筋 (进行验算的锚筋) 所承受的拉力荷载 (N);

N_i —— 对 0 号锚筋有影响的单个锚筋所承受的拉力荷载 (N);

n —— 指定锚筋两侧临界距离内 ($s_{cr,N}$) 的锚筋数量。

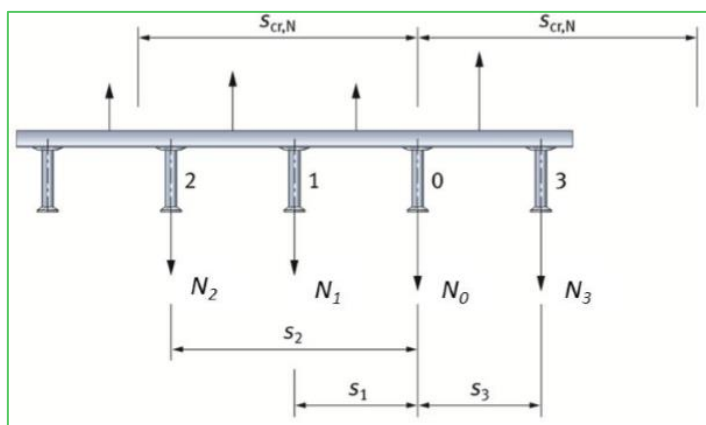


图 B.3.6 槽式预埋件受拉示意

B.3.7 混凝土基材边缘距离影响系数 $\psi_{ch,e,N}$ 可按下式计算:

$$\psi_{ch,e,N} = \left(\frac{c_1}{c_{cr,N}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (\text{B.3.7})$$

式中： c_1 —— 为槽式预埋件的边距，见图 B.3.7，当基材构件为狭窄构件时，应取 $c_{1,1}, c_{1,2}$ 中的较小值；

$c_{cr,N}$ —— 临界边距 $c_{cr,N} = 0.5s_{cr,N}$ ，其中 $s_{cr,N}$ 参照附录 B.3.6 条。

N

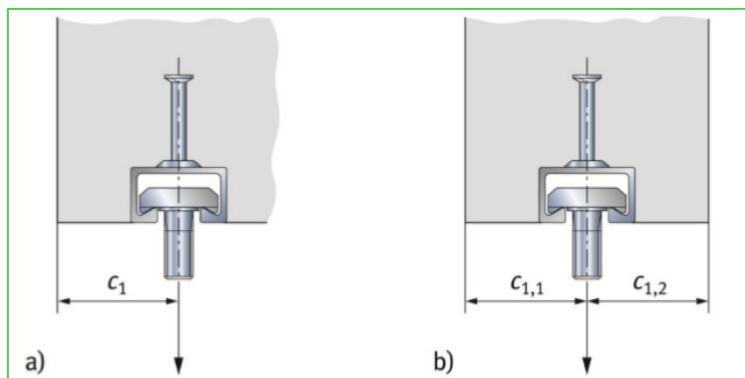


图 B.3.7 槽式预埋件边距示意

a) 一侧为边缘；b) 在一个狭窄构件中，两侧均为边缘

B.3.8 混凝土基材边角影响系数 $\psi_{ch,c,N}$ 可按下式计算：

$$\psi_{ch,c,N} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,N}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (\text{B.3.8})$$

式中： c_2 —— 为所验算锚筋的边角距离，见图 B.3.8；

$c_{cr,N}$ —— 临界边距 $c_{cr,N} = 0.5s_{cr,N}$ ，其中 $s_{cr,N}$ 见附录 B.3.6 条。

N

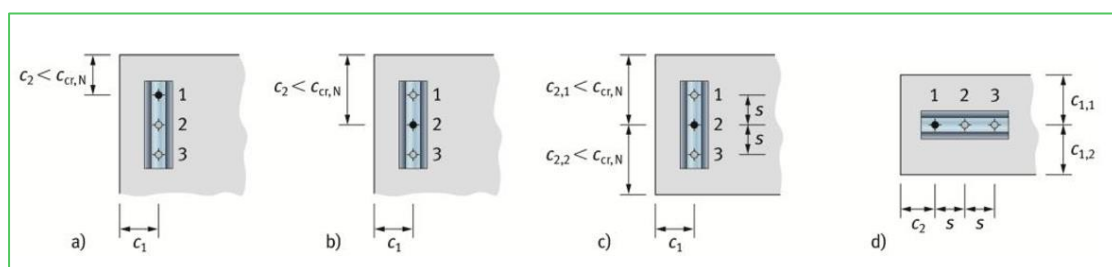


图 B.3.8 槽式预埋件边角距离 c_2 取值示意

a) 针对锚筋 1 的计算；b) 针对锚筋 2 的计算；c) 针对锚筋 2 的计算；d) 针对锚筋 1 的计算

B.3.9 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数，可分两种情况考虑：

1 当槽式预埋件的有效埋深 $h_{ef} \leq 100\text{mm}$ 时，可按式 B.3.9 计算；

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1.0 \quad (\text{B.3.9})$$

在下列情况下 $\psi_{Re,N}$ 可直接取 1.0：

- 1) 当混凝土内箍筋间距大于 150mm；
 - 2) 箍筋的直径不大于 10mm 且间距大于 100mm 时。
- 2 当槽式预埋件的有效埋深 $h_{ef} > 100\text{mm}$ 时，取 $\psi_{Re,N} = 1.0$ 。

B.3.10 混凝土受拉劈裂破坏验算：

1 应满足最小边距 c_{min} 、最小间距 s_{min} 、混凝土基材最小厚度 h_{min} 和最小配筋等要求，避免安装过程中的混凝土劈裂破坏；

2 为了避免荷载条件下的劈裂破坏，设计应满足下列条件之一：

- 1) 任何方向的边距 $c \geq 1.2C_{cr,sp}$ (劈裂破坏临界边距)，且基材厚度 $h \geq h_{min}$ 。
 $C_{cr,sp}$ 为劈裂破坏临界边距，可按产品认证报告或测试报告取值，无报告时可取 3 倍有效埋深 ($C_{cr,sp} = 3h_{ef}$)；
- 2) 计算混凝土受拉锥体破坏时，是按照开裂混凝土计算承载力的，且考虑劈裂力时基材裂缝宽度 $w_k \leq 0.3\text{mm}$ 。并且设置有附加钢筋抵抗劈裂力，该附加钢筋应在靠近每一个锚筋的地方对称设置，附加钢筋的数量可按下式计算：

$$A_{s,re} = 0.5 \cdot (N_{Ed}^a / f_{yk}) \cdot \gamma_{Ms,re} \quad (\text{B.3.10-1})$$

式中： $A_{s,re}$ —— 为一个锚筋边上抗劈裂附加钢筋的截面积，该槽式预埋件的每一个锚筋附近均应设置同样数量的附加钢筋；

N_{Ed}^a —— 为槽式预埋件中受到拉力最大的锚筋所承受的拉力；

f_{yk} —— 为附加钢筋的屈服强度标准值；

$\gamma_{Ms, re}$ —— 分项系数，可取 1.15。

3 当不满足上述条件时，混凝土劈裂破坏承载力标准值应按下列式计算：

$$N_{Rk, sp} = N_{Rk}^0 \cdot \psi_{ch, s, N} \cdot \psi_{ch, c, N} \cdot \psi_{ch, e, N} \cdot \psi_{re, N} \cdot \psi_{h, sp} \quad (\text{B.3.10-2})$$

$$N_{Rk}^0 = \min \{ N_{Rk, p}; N_{Rk, c}^0 \} \quad (\text{B.3.10-3})$$

$$\psi_{h, sp} = (h / h_{\min})^{2/3} \quad (\text{B.3.10-4})$$

式中： $N_{Rk, p}$ —— 拔出破坏承载力标准值，按 B.3.3 计算；

$N_{Rk, c}^0$ —— 混凝土受拉锥体破坏标准值，按 B.3.5 计算；

$\psi_{h, sp}$ —— 基材厚度影响系数，可按公式 B.3.10-4 计算， $\psi_{h, sp}$

应不大于 $\max \left\{ 1; \left(\frac{h_{ef} + c_{cr, N}}{h_{\min}} \right)^{2/3} \right\}$ ，且不大于 2.0；

h —— 混凝土基材厚度；

$h_{\min}$ —— 混凝土基材最小厚度，本条验算取 $h_{\min} = h_{ef} + 30\text{mm}$ 或相关认证、测试报告中的 $h_{\min}$ 值；

$C_{cr, N}$ —— 临界边距 $C_{cr, N} = 0.5S_{cr, N}$ ，其中 $S_{cr, N}$ 见附录 B.3.6 条。

另外 $\psi_{ch, s, N}$ 、 $\psi_{ch, c, N}$ 、 $\psi_{ch, e, N}$ 、 $\psi_{re, N}$ 均按照 B.3.4 的相关公式计算，但其中涉及到临界边距 $C_{cr, N}$ 和临界间距 $S_{cr, N}$ 时，应分别用 $C_{cr, sp}$ 和 $S_{cr, sp}$ 替代，其中劈裂破坏临界边距 $S_{cr, sp} = 2C_{cr, sp}$ 。

B.3.11 混凝土受拉边缘剥落破坏验算：

1 当槽式预埋件的任一锚筋的任一边距不小于 $0.5h_{ef}$ ；该破坏模式无需验算；

2 当不满足上款要求时，应进行混凝土受拉边缘剥落破坏验算。混凝土受拉边缘剥落破坏承载力标准值 $N_{Rk,cb}$ 可按下式计算（当槽体垂直于混凝土基材边缘时，只需要验算最靠近边缘的单个锚筋）：

$$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \cdot \psi_{ch,s,Nb} \cdot \psi_{ch,c,Nb} \cdot \psi_{ch,h,Nb} \quad (\text{B.3.11-1})$$

$$N_{Rk,cb}^0 = k_5 \cdot c_1 \cdot \sqrt{f_{cu,k}} \cdot \sqrt{A_h} \quad (\text{B.3.11-2})$$

$$\psi_{ch,c,Nb} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,Nb}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (\text{B.3.11-3})$$

$$\psi_{ch,h,Nb} = \frac{h_{ef} + f}{4c_1} \leq \frac{2c_1 + f}{4c_1} \leq 1 \quad (\text{B.3.11-4})$$

- 式中： $N_{Rk,cb}^0$ —— 单一锚筋的理想混凝土受拉边缘剥落破坏承载力标准值，按式 B.3.11-2 计算；
- $\psi_{ch,s,Nb}$ —— 相邻锚筋间距影响系数，参照 B.3.6 的公式计算，但 B.3.6 公式中的 $s_{cr,N}$ 用 $s_{cr,Nb} = 4c_1$ 替换；
- $\psi_{ch,c,Nb}$ —— 混凝土基材边角影响系数，按公式 B.3.11-3 计算；如果一个锚筋同时受到基材两个边角的影响，见图 B.3.8 的 c，应同时采用 $c_{2.1}$ 、 $c_{2.2}$ 来计算边角影响系数 $\psi_{ch,c,Nb}$ ，并代入到公式 B.3.11 中，最后取较小值；
- $\psi_{ch,h,Nb}$ —— 基材厚度影响系数，当锚筋顶端基材厚度 $f \leq 2c_1$ 时（见图 B.3.11），应考虑基材厚度影响系数，按公式 B.3.11-4 计算；
- c_1 —— 边距（见图 B.3.7）；
- $f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm²）；
- A_h —— 锚筋端部的受力面积（见 B.3.3），也可按认证报告取值；

- k_5 —— 对于开裂混凝土, $k_5=7.8$; 对于非开裂混凝土, $k_5=11.0$;
- c_2 —— 所验算锚筋的边角距离, 见图 B.3.8;
- $c_{cr, Nb}$ —— 临界边距 $c_{cr, Nb}=2c_1$;
- h_{ef} —— 有效埋深, 按图 B.3.5 取值;
- f —— 锚筋顶端基材厚度, 见图 B.3.11。

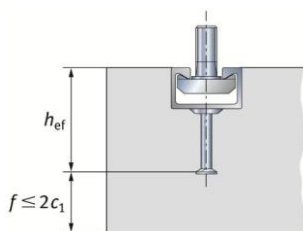


图 B.3.11 槽式埋件在较薄的混凝土基材中

B.4 抗剪承载能力极限状态计算

B.4.1 槽式预埋件受剪钢材破坏（垂直于槽体剪力 $V_{Rk,y}$ 和平行于槽体剪力 $V_{Rk,x}$ ）：

1 垂直于钢槽长度方向剪力作用下，锚筋的钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,a,y}$ ，应按产品认证报告取值；若无认证报告，应经检测确定。平行于钢槽长度方向剪力作用下，锚筋的钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,a,x}$ ，应按产品认证报告或测试报告取值。以上 2 项，若无相关报告，可根据行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013 取 $0.6 \cdot A_S f_{yk}$ ，其中 A_S 为锚筋受拉应力截面面积， f_{yk} 为锚筋的屈服强度标准值；

2 垂直于钢槽剪力作用下，锚筋与钢槽连接处钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,c,y}$ ，应取认证报告或相关标准中的垂直于槽式预埋件的剪切测试给出的承载力标准值。平行于钢槽剪力作用下，锚筋与钢槽连接处的钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,c,x}$ ，应按产品认证报告取值。若无相关报告，可按下式计算：

$$V_{Rk,s,c,x} = V_{Rk,s,a,x} \cdot \frac{N_{Rk,s,c}}{N_{Rk,s,a}} \leq V_{Rk,s,a,x} \quad (\text{B.4.1})$$

式中： $V_{Rk,s,a}$ —— 按本条第 1 款取值；

x

$N_{Rk,s,c}$ —— 按附录 B.3.2 条取值；

$N_{Rk,s,a}$ —— 按附录 B.3.2 条取值。

3 垂直于钢槽剪力作用下，钢槽卷边钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,l,y}$ ，应取认证报告或相关标准中的垂直于钢槽的剪切测试给出的承载力标准值，设计时应保证相邻 T 型螺栓的轴心间距 $S_{chb} \geq 2 \cdot b_{ch}$ ，(其中 b_{ch} 为槽式预埋件宽度)，否则该承载力标准值应乘以折减系数 $0.5 \cdot (1 + \frac{S_{chb}}{2 \cdot b_{ch}}) \leq 1.0$ 。平行于钢槽剪力作用下，钢槽卷边钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,l,x}$ ，应取相关认证报告或相关标准中的平行于钢槽的剪切测试给出的承载力标准值。分项系数按表 B.3.1-3，或按相关认证/测试报告；

4 对于无杠杆臂的纯剪切状态，垂直或平行于钢槽剪力作用下，T 型螺栓的钢材破坏受剪承载力标准值 $V_{Rk,s,y}$ 、 $V_{Rk,s,x}$ ，应按认证报告取值。若无认证报告，可取相关标准中的受剪承载力标准值，或根据行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013 的规定取 $0.6 \cdot A_S \cdot f_{yk}$ ，其中 A_S 为螺栓受拉应力截面面积， f_{yk} 为螺栓的屈服强度标准值。

B.4.2 混凝土的剪撬破坏承载力标准值，应选取槽式预埋件中的最不利锚筋按下式进行计算：

$$V_{Rk,cD,y} = k_8 \cdot N_{Rk,c} \quad (\text{剪力垂直于钢槽时}) \quad (\text{B.4.2-1})$$

$$V_{Rk,cP,x} = k_8 \cdot N_{Rk,c} \quad (\text{剪力平行于钢槽时}) \quad (\text{B.4.2-2})$$

式中： k_8 —— 影响系数，应由相关认证报告提供。没有认证报告，可参照行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013 的规定取 $k_8=2.0$ ；

N_{Rk} —— 混凝土锥体破坏受拉承载力标准值，按照 B.3.4 进行计算。

c

B.4.3 垂直于钢槽长度方向剪力作用下，混凝土边缘破坏受剪承载力标准值，按下式进行计算：

$$V_{Rk,c,V} = V_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{ch,s,V} \cdot \psi_{ch,c,V} \cdot \psi_{ch,h,V} \cdot \psi_{ch,90^\circ,V} \cdot \psi_{re,V} \quad (\text{B.4.3})$$

式中： $V_{Rk,c}^0$ —— 为单根锚筋承受垂直与钢槽剪力时，混凝土理想边缘破坏承载力标准值（N），按附录 B.4.4 条计算；

$\psi_{ch,s,V}$ —— 为相邻锚筋间的影响系数，可按附录 B.4.5 条计算；

$\psi_{ch,c,V}$ —— 为混凝土基材边角影响系数，可按附录 B.4.6 计算；

$\psi_{ch,h,V}$ —— 为混凝土基材厚度影响系数，可按 B.4.7 计算；

$\psi_{90^\circ,V}$ —— 为考虑剪力与边缘平行时对受剪承载力的影响系数，当如图 B.4.3 时，取 $\alpha_{90^\circ,V} = 2.5$ ，其它条件下（不平行时）一律取 $\alpha_{90^\circ,V} = 1.0$ ；

$\psi_{re,V}$ —— 为混凝土边缘有无配筋或所处位置对承载力的影响系数：

a) 构件为开裂混凝土，且边缘无纵向钢筋或箍筋时， $\psi_{re,V} = 1.0$ ；

b) 构件为开裂混凝土时，在槽式预埋件和构件边缘之间有纵向钢筋，且直径不小于 12mm， $\psi_{re,V} = 1.2$ ；

c) 构件为开裂混凝土，边缘有纵向钢筋和箍筋，且纵筋直径不小于 12mm，箍筋间距不大于 100mm 时， $\psi_{re,V} = 1.4$ ；

d) 构件为非开裂混凝土时 $\psi_{re,V} = 1.0$ （说明：此时 k12 与开裂混凝土不同）。

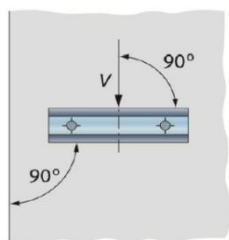


图 B.4.3 剪力方向与混凝土基材边缘平行示意图

B.4.4 单根锚筋承受垂直于钢槽剪力时混凝土理想边缘破坏承载力标准值(N), 按下式计算:

$$V_{Rk,c}^0 = k_{12} \cdot \sqrt{f_{cu,k}} \cdot C_1^{4/3} \quad (\text{B.4.4})$$

式中: k_{12} —— 系数, 应按相关认证报告中开裂或非开裂混凝土的取值; 如无认证报告, 开裂混凝土可取 $k_{12}=4.1$, 非开裂混凝土可取 $k_{12}=5.7$;

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2);

C_1 —— 沿剪力方向的边距。

B.4.5 相邻锚筋间的影响系数, 可按下式计算:

$$\psi_{ch, s, V} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left[\left(1 - \frac{S_i}{S_{cr, V}} \right)^{1.5} \cdot \frac{V_i}{V_0} \right]} \leq 1.0 \quad (\text{B.4.5})$$

式中: s_i —— 为相邻锚筋与 0 号锚筋的间距 (mm), 见图 B.0.26, 应 $s_i \leq S_{cr, V}$;

$S_{cr, V}$ —— 锚筋的临界间距(mm), 当 $h_{ch}/h_{ef} \leq 0.4$, 且 $b_{ch}/h^{ef} \leq 0.7$ 时 (见图 B.1.6), 取 $S_{cr, V} = 4C_1 + 2b_{ch}$; 当上述条件不满足时, $S_{cr, V}$ 应由相关认证报告或测试报告提供, 且不小于 $(4C_1 + 2b_{ch})$;

V_i —— 临界距离 $S_{cr, N}$ 内某个相邻锚筋所承受的剪力 (N);

V_0 —— 指定锚筋所承受的剪力荷载（ N ）；

n —— 指定锚筋两侧临界距离内（ $s_{cr,V}$ ）的锚筋数量。

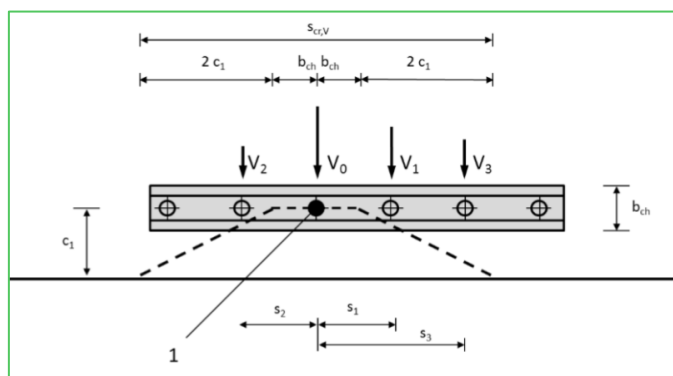


图 B.4.5 垂直钢槽剪力作用下混凝土边缘破坏示意图（1 为进行验算的 0 号锚筋）

B.4.6 混凝土基材边角影响系数，可按下式计算：

$$\psi_{ch,c,V} = \left(\frac{c_2}{c_{cr,V}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (\text{B.4.6})$$

式中： $c_{cr,V}$ —— $c_{cr,V} = 0.5s_{cr,V}$ ，其中 $s_{cr,V}$ 见附录 B.4.5 条符号说明；

c_2 —— 为垂直剪力方向的边距，如果一个锚筋同时受到基材两个边角的影响，见图 B.4.6 的 b)，应同时采用 $c_{2,1}$, $c_{2,2}$ 来计算边角影响系数 $\psi_{ch,c,V}$ ，并代入到公式 B.4.3 中，最后取较小值。

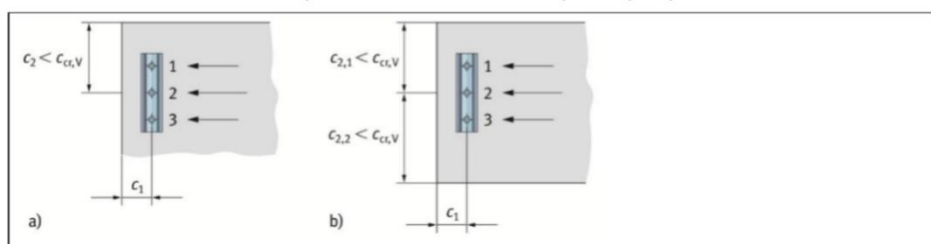


图 B.4.6 槽式预埋件锚筋受边角影响示意图

a) 受一个角影响； b) 受 2 个角影响

B.4.7 混凝土基材厚度影响系数的计算：

1 当构件厚度 $h \geq h_{cr,V}$ 时， $\psi_{ch,h,V}$ 可直接取为 1.0；

2 当 $h < h_{cr,V}$ 时, 应按下式进行计算:

$$\psi_{ch,h,V} = \left(\frac{h}{h_{cr,V}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (\text{B.4.7})$$

式中: $h_{cr,V}$ —— 基材临界厚度 (mm); 当槽式预埋件 $h_{ch}/h_{ef} \leq 0.4$, 且 $b_{ch}/h^{ef} \leq 0.7$ 时 (见图 B.1.6), 可取 $h_{cr,V} = 2c_1 + 2h_{ch}$, 其中 h_{ch} 为槽式预埋件的高度 (mm), 见图 B.4.7; 上述条件不满足时, $h_{cr,V}$ 应由相关认证报告或测试报告提供, 且不小于 $2c_1 + 2h_{ch}$;

h —— 混凝土构件厚度。

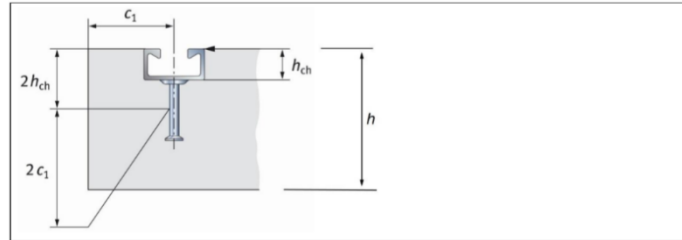


图 B.4.7 槽式预埋件锚筋受构件厚度影响示意图

B.4.8 在平行于钢槽长度方向的剪力作用下, 混凝土边缘破坏受剪承载力标准值, 分别按 B.4.8-1 (图 B.4.8-1) 和 B.4.8-2 (图 B.4.8-2) 进行计算:

$$V_{Rk,c,x} = V_{Rk,c,x}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{re,V} \quad (\text{B.4.8-1})$$

$$V_{Rk,c,x} = 2 \cdot V_{Rk,c,x}^0 \cdot (A_{c,V} / A_{c,V}^0) \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{re,V} / n_a \quad (\text{B.4.8-2})$$

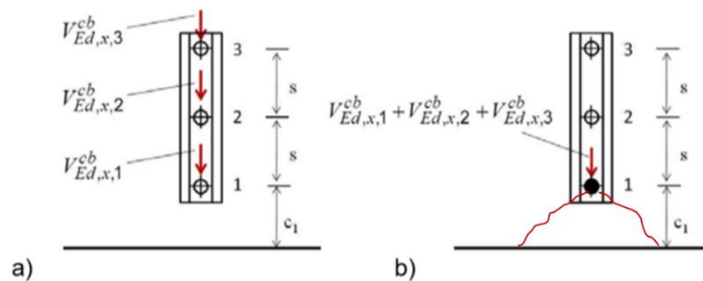


图 B.4.8-1 端部混凝土的边缘破坏示意图

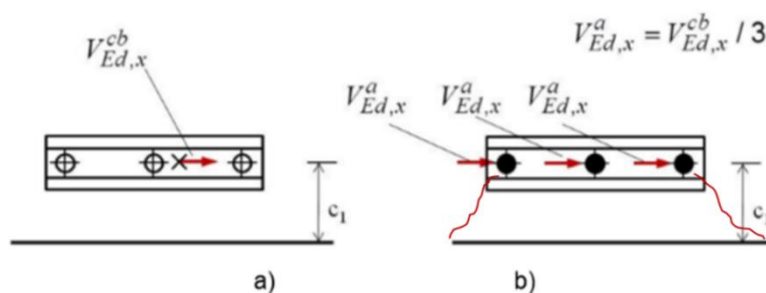


图 B.4.8-2 侧面混凝土的边缘破坏示意图

式中: n_a —— 预埋槽的锚腿数量;

其它参数 —— 均按照行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013 的第 6.1.15 条计算。

B.5 拉剪复合承载能力极限状态计算

B.5.1 槽式预埋件在承受拉力和剪力的复合力时, 应分成四种情况来验算, 即

1) T 型螺栓钢材破坏、2) 卷边破坏和钢槽受弯破坏、3) 锚筋破坏和锚筋与钢槽连接破坏、4) 混凝土破坏等, 并应满足本条的相关要求。

1 槽式预埋件在承受拉剪复合力时, 其 T 型螺栓的钢材破坏模式验算, 应满足下列公式的要求。当螺栓承受的剪力存在有杠杆力臂的情况时, 则不需要进行本验算;

$$\left(\frac{N_{Ed}^{cb}}{N_{Rd,s}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}^{cb}}{V_{Rd,s}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (\text{B.5.1-1})$$

式中: N_{Ed}^{cb} —— 分配到槽式预埋件 T 型螺栓的拉力 (N);

$N_{Rd,s}$ —— 槽式预埋件 T 型螺栓受拉破坏承载力设计值 (N);

V_{Ed}^{cb} —— 槽式预埋件 T 型螺栓上所分配到的剪切力 (N), 即 T 型螺栓上所受的垂直于钢槽轴向和平行于钢槽轴向的剪力设计值的合力;

$V_{Rd,s}$ —— 槽式预埋件 T 型螺栓受剪破坏承载力设计值 (N)。

2 槽式预埋件承受拉剪复合力时, 其卷边破坏、钢槽受弯破坏模式的验算, 应满足下列公式的要求:

$$\left(\frac{N_{Ed}^{cb}}{N_{Rd,s,l}} \right)^{k_{13}} + \left(\frac{V_{Ed,y}^{cb}}{V_{Rd,s,l,y}} \right)^{k_{13}} \leq \left[1 - \left(\frac{V_{Ed,x}^{cb}}{V_{Rd,s,l,x}} \right) \right]^{k_{13}} \quad (\text{卷边验算}) \quad (\text{B.5.1-2})$$

$$\left(\frac{M_{Ed}^{ch}}{M_{Rd,s,flex}} \right)^{k_{13}} + \left(\frac{V_{Ed,y}^{cb}}{V_{Rd,s,l,y}} \right)^{k_{13}} \leq \left[1 - \left(\frac{V_{Ed,x}^{cb}}{V_{Rd,s,l,x}} \right) \right]^{k_{13}} \quad (\text{受弯验算}) \quad (\text{B.5.1-3})$$

式中: k_{13} —— 当 $V_{Rd,s,l,y} \leq N_{Rd,s,l}$ 时, 取 $k_{13} = 2.0$; 当

$V_{Rd,s,l,y} > N_{Rd,s,l}$ 时, 应按相关认证报告取值, 如果无认证报告, 可取 $k_{13} = 1.0$; 当考虑了抗震的相关计算时, 可取 $k_{13} = 1.0$;

N_{Ed}^{cb} —— 分配到槽式预埋件螺栓的拉力 (N);

$N_{Rd,s,l}$ —— 槽式预埋件钢槽卷边受拉破坏承载力设计值 (N);

$V_{Ed,y}^{cb}$ —— 分配到槽式预埋件螺栓上垂直于槽式预埋件轴向的剪力 (N);

$V_{Ed,x}^{cb}$ —— 分配到槽式预埋件螺栓上平行于槽式预埋件轴向的剪力 (N);

$V_{Rd,s,l}$ —— 槽式预埋件的钢槽卷边受剪破坏承载力设计值 (N);

M_{Ed}^{ch} —— 拉力作用下钢槽整体受弯的弯矩设计值 (Nm), 见附录 B.2.1 条;

$M_{Rd,s,flex}$ —— 钢槽整体受拉弯曲的承载力设计值 (Nm)。

3 槽式预埋件承受拉剪复合力时, 其锚筋破坏、锚筋与钢槽连接破坏模式的验算, 应满足下列公式的要求:

$$\max\left(\frac{N_{Ed}^a}{N_{Rd,s,a}}; \frac{N_{Ed}^a}{N_{Rd,s,c}}\right)^{k_{14}} + \max\left(\frac{V_{Ed,y}^a}{V_{Rd,s,a,y}}; \frac{V_{Ed,y}^a}{V_{Rd,s,c,y}}\right)^{k_{14}} \leq \left[1 - \max\left(\frac{V_{Ed,x}^a}{V_{Rd,s,a,x}}; \frac{V_{Ed,x}^a}{V_{Rd,s,c,x}}\right)\right]^{k_{14}} \dots\dots (B.5.1-4)$$

式中： k_{14} —— 当 $\max(V_{Rd,s,a,y}; V_{Rd,s,c,y}) \leq \min(N_{Rd,s,a}; N_{Rd,s,c})$ 时，取 $k_{14}=2.0$ ；当 $\max(V_{Rd,s,a,y}; V_{Rd,s,c,y}) > \min(N_{Rd,s,a}; N_{Rd,s,c})$ 时，应参照相关认证报告，或取 $k_{14}=1.0$ ；当考虑了抗震的相关计算时，可取 $k_{14}=1.0$ ；

N_{Ed}^a —— 分配到槽式预埋件锚筋的拉力（N）；

$N_{Rd,s,a}$ —— 槽式预埋件锚筋的抗拉承载力设计值（N）；

$N_{Rd,s,c}$ —— 钢槽与锚筋连接处的抗拉承载力设计值（N）；

V_{Ed}^a —— 分配到锚筋上的剪力（N）；

$V_{Ed,y}^a$ —— 分配到锚筋上垂直于槽式预埋件轴向的剪力（N）；

$V_{Ed,x}^a$ —— 分配到锚筋上平行于槽式预埋件轴向的剪力（N）；

$V_{Rd,s,a}$ —— 锚筋的抗剪承载力设计值（N）；

$V_{Rd,s,c}$ —— 钢槽与锚筋连接处的抗剪承载力设计值（N）。

4 槽式预埋件承受拉剪复合力时，其混凝土破坏模式的验算，应满足下列公式的要求。

$$\left(\frac{N_{Ed}^a}{N_{Rd,i}}\right)^\alpha + \left(\frac{V_{Ed,y}^a}{V_{Rd,i,y}}\right)^\alpha + \left(\frac{V_{Ed,x}^a}{V_{Rd,i,x}}\right)^\alpha \leq 1.0 \quad (B.5.1-5)$$

式中： α —— 当考虑了抗震的相关计算时，可取 1.0；当布置了附加钢筋承担拉力和剪力时，可取 1.0；当没有附加辅助钢筋承担拉力和剪力时，可取 1.5；

$N_{Rd,i}$ —— 锥体破坏受拉承载力设计值 $N_{Rd,c}$ ，锚筋受拉拔出破坏承载力设计值 $N_{Rd,p}$ ，劈裂破坏 $N_{Rd,sp}$ 或受拉边缘剥落破坏 $N_{Rd,cb}$

等 4 个模式，取比值的较大值；

$V_{Rd,i,y}$ —— 应分别验算垂直于钢槽受剪情况下，混凝土边缘破坏、剪撬破坏等 2 个模式，采用其中 $\left(\frac{V_{Ed}^a}{V_{Rd,i,y}}\right)$ 的较大值；

$V_{Rd,i,x}$ —— 应分别验算平行于钢槽受剪情况下，混凝土边缘破坏、剪撬破坏等 2 个模式，采用其中 $\left(\frac{V_{Ed}^a}{V_{Rd,i,x}}\right)$ 的较大值。

B.6 构造措施

B.6.1 槽式预埋件的钢槽、锚筋和 T 型螺栓的原材料应采用热轧钢材或铸钢，焊接式槽式预埋件不应采用冷加工钢槽和锚筋。钢槽壁厚不应小于 3mm。槽体与锚筋应采用焊接式、铸造式或机械咬合式连接。

B.6.2 除不锈钢制品外，槽式预埋件的表面应进行热浸镀锌处理，镀锌厚度应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定。

B.6.3 槽式预埋件的密封条应填充密实，宜采用聚乙烯材料，浇注混凝土时不得漏浆，易于拆除。

B.6.4 混凝土基材应坚实能承受被连接件的锚固和全部附加荷载。基材混凝土强度等级不应低于 C20，且不得高于 C60。

B.6.5 槽式预埋件的有效锚固深度 h_{ef} 不小于 90mm，锚筋数量不应少于 3 个，锚筋间距 s 不应小于 100mm，不应大于 250mm 矩形横截面的锚筋厚度不应小于 4mm，圆形横截面的锚筋直径不应小于 10mm。混凝土基材厚度不应小于 200mm，锚筋与混凝土构件边缘的最小边距 c 和 c_1 均不应小于 50mm。

B.6.6 混凝土表面不能提供均匀有效的抗压承载面或者槽式预埋件承受较大的拉力或剪力时,可通过增加单侧或双侧平直翼缘板或弯折翼缘板强化槽式预埋件承载能力(图 B.6.6),必要时翼缘板应设置锚筋。

翼缘板锚筋直径 d 不应小于槽式埋件的锚筋直径,锚板厚度 t 不宜小于 $0.6d$ 和 5mm 的较大值,锚筋中心至锚板边缘的距离不应小于 $2d$ 和 20mm 的较大值。

锚筋的锚固长度 l_a 不应小于槽式预埋件的锚固深度 h_{ef} ,锚筋的间距 b_1 不应小于 $6d$ 和 70mm 的较大值,锚筋与混凝土构件边缘的最小边距 c 和 c_1 均不应小于 50mm ,弯折翼缘板平直方向的最小边距应满足 $c_1 \geq h_{ef} + 50\text{mm}$,弯折向的最小边距应满足 $c_1 \geq h_{ch} + 50\text{mm}$ 。

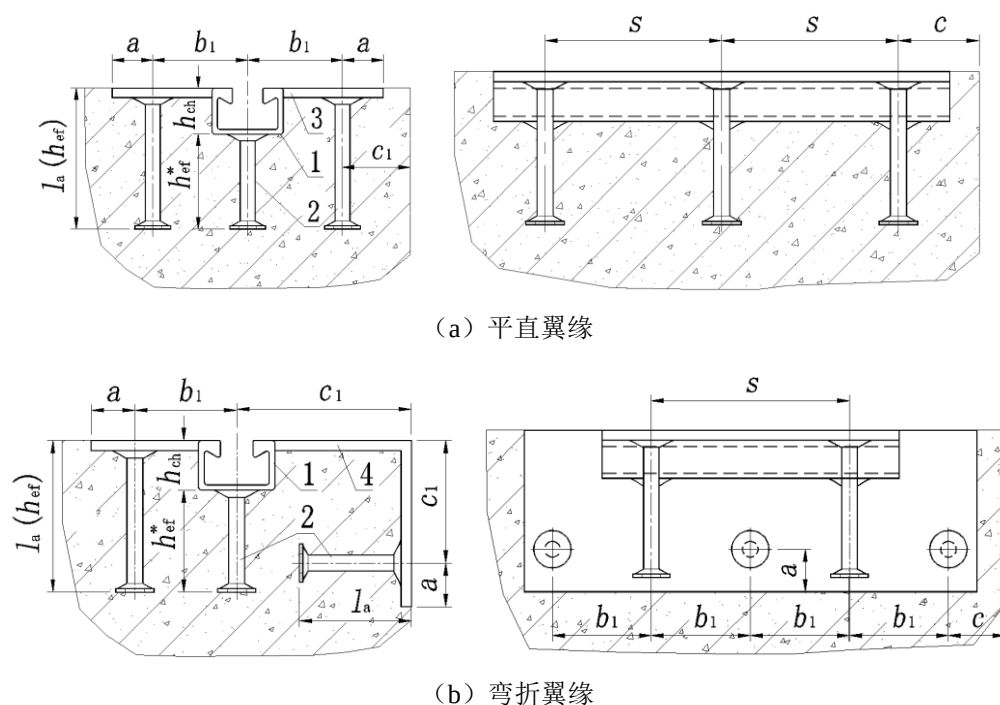


图 B.6.6 翼缘强化

1-槽体; 2-锚筋; 3-平直强化翼缘; 4-弯折强化翼缘

B.6.7 幕墙立柱的连接件在槽式预埋件上每侧用一个螺栓时,该螺栓实际的净截面积按规定的计算面积至少应增加 50% ,并使用双螺帽固定。

B.6.8 槽式预埋件承受沿着槽体长度方向的抗剪承载力时,其抗剪承载力设计值应大于剪力设计值,且抗剪承载力不应由 T 型螺栓和槽体卷边间的摩擦力提供:

1 通过 T 型螺栓副的齿与槽体卷边咬合提供抗剪承载力时,应提供产品承载力测试或认证报告,并明确 T 型螺栓的预紧力标准值;

2 通过 T 型螺栓副的齿与槽体卷边的齿咬合提供抗剪承载力时，应提供产品承载力测试或认证报告，或通过计算确定。

B.6.9 槽式预埋件的动载性能和遇火时的承载力设计，应通过相关的认证测试。

附录 C 弹性板的弯矩系数和挠度系数

C.1 四边简支板和四边简支加肋板

C.1.1 不同加肋方式的面板类型如图 C.1.1 所示。图中，（a）为四边简支板，（C）、（c）、（d）、（e）为不同加肋方式的四边简支板，字母 A、C、C、D、E、F 代表不同边界条件的区格。

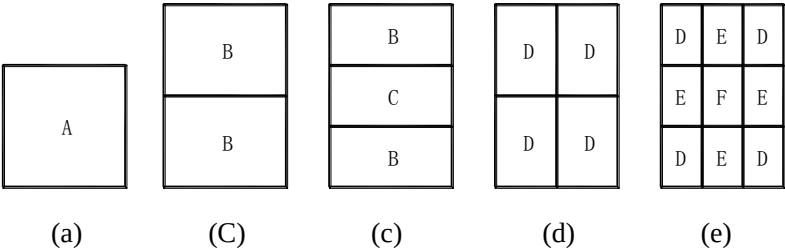


图 C.1.1 板块类型

C.1.2 不同区格均承受垂直于板面的均布荷载作用，其量值为 q 。不同区格的边界条件应按表 C.1.2 采用。计算边长 l 取 l_x 与 l_y 中的较小边长。

表 C.1.2 不同区格的边界条件

区格类型	A	C	C
边界条件			
区格类型	D	E	F
边界条件			

C.1.3 不同区格的跨中弯矩系数 m 和固端弯矩系数 m_x^0 或 m_y^0 可依据其类型和泊松比 ν ，分别按照表 C.1.3-1~C.1.3-6 采用。

表 C.1.3-1 区格 A

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333
l_x/l_y	μ	m				
0.50	0.01013	0.09868	0.09998	0.10085	0.10172	0.10224
0.55	0.00940	0.09183	0.09340	0.09445	0.09550	0.09613
0.60	0.00867	0.08503	0.08684	0.08805	0.08926	0.08999
0.65	0.00796	0.07839	0.08042	0.08178	0.08313	0.08394
0.70	0.00727	0.07200	0.07422	0.07570	0.07718	0.07807
0.75	0.00663	0.06596	0.06834	0.06993	0.07151	0.07246
0.80	0.00603	0.06028	0.06278	0.06445	0.06612	0.06712
0.85	0.00547	0.05495	0.05756	0.05930	0.06104	0.06208
0.90	0.00496	0.05008	0.05276	0.05455	0.05634	0.05741
0.95	0.00449	0.04555	0.04828	0.05010	0.05192	0.05301
1.00	0.00406	0.04140	0.04416	0.04600	0.04784	0.04894

表 C.1.3-2 区格 C

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333	——
l_x/l_y	μ	m					m_x^0
0.50	0.00504	0.08203	0.08292	0.08351	0.08411	0.08446	-0.1212
0.55	0.00492	0.07736	0.07847	0.07921	0.07996	0.08040	-0.1187
0.60	0.00472	0.07266	0.07398	0.07486	0.07575	0.07627	-0.1158
0.65	0.00448	0.06798	0.06949	0.07050	0.07151	0.07212	-0.1124
0.70	0.00422	0.06341	0.06510	0.06623	0.06735	0.06803	-0.1087
0.75	0.00399	0.05887	0.06071	0.06194	0.06317	0.06390	-0.1048
0.80	0.00376	0.05449	0.05647	0.05779	0.05911	0.05990	-0.1007
0.85	0.00352	0.05034	0.05244	0.05384	0.05524	0.05607	-0.0965
0.90	0.00329	0.04645	0.04864	0.05010	0.05156	0.05244	-0.0922
0.95	0.00306	0.04272	0.04498	0.04649	0.04800	0.04890	-0.0880
1.00	0.00285	0.03926	0.04157	0.04311	0.04466	0.04558	-0.0839
l_x/l_y	μ	m					m_x^0
1.00	0.00285	0.03926	0.04157	0.04311	0.04466	0.04558	-0.0839
0.95	0.00324	0.04182	0.04426	0.04589	0.04752	0.04849	-0.0882
0.90	0.00368	0.04445	0.04703	0.04875	0.05047	0.05150	-0.0926
0.85	0.00417	0.04719	0.04991	0.05173	0.05354	0.05643	-0.0970
0.80	0.00473	0.04999	0.05287	0.05479	0.05671	0.05786	-0.1014
0.75	0.00536	0.05282	0.05586	0.05789	0.05992	0.06113	-0.1056
0.70	0.00605	0.05566	0.05888	0.06103	0.06317	0.06446	-0.1096

0.65	0.00680	0.05848	0.06188	0.06415	0.06642	0.06778	-0.1133
0.60	0.00762	0.06144	0.06504	0.06744	0.06984	0.07172	-0.1166
0.55	0.00848	0.06447	0.06826	0.07079	0.07332	0.07483	-0.1193
0.50	0.00935	0.06734	0.07132	0.07398	0.07663	0.07822	-0.1215

表 C.1.3-3 区格 C

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333	——
l_x/l_y	μ	m					m_x^0
0.50	0.00261	0.07024	0.07096	0.07144	0.07192	0.07220	-0.0843
0.55	0.00259	0.06659	0.06748	0.06808	0.06867	0.06903	-0.0840
0.60	0.00255	0.06288	0.06394	0.06465	0.06536	0.06579	0.0834
0.65	0.00250	0.05915	0.06083	0.06120	0.06202	0.06251	-0.0826
0.70	0.00243	0.05540	0.05678	0.05770	0.05862	0.05917	-0.0814
0.75	0.00236	0.05183	0.05335	0.05436	0.05538	0.05598	-0.0799
0.80	0.00228	0.04833	0.04997	0.05106	0.05216	0.05281	-0.0782
0.85	0.00220	0.04496	0.04671	0.04788	0.04904	0.04974	-0.0763
0.90	0.00211	0.04182	0.04366	0.04489	0.04612	0.04685	-0.0743
0.95	0.00201	0.03879	0.04070	0.04198	0.04325	0.04402	-0.0721
1.00	0.00192	0.03594	0.03791	0.03923	0.04054	0.04133	-0.0698
l_x/l_y	μ	m					m_x^0
1.00	0.00912	0.03594	0.03791	0.03923	0.04054	0.04133	-0.0698
0.95	0.00223	0.03876	0.04083	0.04221	0.04360	0.04442	-0.0746
0.90	0.00260	0.04174	0.04392	0.04538	0.04683	0.04770	-0.0797
0.85	0.00303	0.04484	0.04714	0.04868	0.05021	0.05113	-0.0850
0.80	0.00354	0.04806	0.05050	0.05213	0.05375	0.05473	-0.0904
0.75	0.00413	0.05137	0.05396	0.05569	0.05742	0.05845	-0.0959
0.70	0.00482	0.05466	0.05742	0.05926	0.06111	0.06221	-0.1013
0.65	0.00560	0.05783	0.06079	0.06276	0.06474	0.06592	-0.1066
0.60	0.00647	0.06089	0.06406	0.06618	0.06829	0.06956	-0.1114
0.55	0.00743	0.06363	0.06703	0.06930	0.07157	0.07293	-0.1156
0.50	0.00844	0.06603	0.06967	0.07210	0.07453	0.07599	-0.1191

表 C.1.3-4 区格 D

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333	——	
l_x/l_y	μ	m					m_x^0	m_y^0
0.50	0.00471	0.07828	0.07944	0.08021	0.08099	0.08145	-0.1179	-0.0786
0.55	0.00454	0.07337	0.07473	0.07564	0.07655	0.07709	-0.1140	-0.0785
0.60	0.00429	0.06847	0.07001	0.07104	0.07027	0.07268	-0.1095	-0.0782

0.65	0.00399	0.06359	0.06529	0.06643	0.06756	0.06824	-0.1045	-0.0777
0.70	0.00368	0.05882	0.06066	0.06189	0.06312	0.06385	-0.0992	-0.0770
0.75	0.00340	0.05407	0.05603	0.05734	0.05865	0.05943	-0.0938	-0.0760
0.80	0.00313	0.04955	0.05162	0.05300	0.05438	0.05521	-0.0883	-0.0748
0.85	0.00286	0.04531	0.04747	0.04891	0.05036	0.05122	-0.0829	-0.0733
0.90	0.00261	0.04138	0.04361	0.04510	0.04659	0.04748	-0.0776	-0.0716
0.95	0.00237	0.03765	0.03993	0.04145	0.04297	0.04388	-0.0726	-0.0698
1.00	0.00215	0.03426	0.03657	0.03811	0.03966	0.04058	-0.0677	-0.0677

表 C.1.3-5 区格 E

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333	—	
l_x/l_y	μ	m					m_x^0	m_y^0
0.50	0.0258	0.07034	0.07133	0.07199	0.07265	0.07304	-0.0836	-0.0569
0.55	0.0255	0.06644	0.06758	0.06834	0.06910	0.06955	-0.0827	-0.0570
0.60	0.0249	0.06247	0.06377	0.06464	0.06551	0.06603	-0.0814	-0.0571
0.65	0.0240	0.05847	0.05992	0.06089	0.06186	0.06244	-0.0796	-0.0572
0.70	0.0229	0.05449	0.05608	0.05714	0.05820	0.05883	-0.0774	-0.0572
0.75	0.0219	0.05059	0.05229	0.05343	0.05456	0.05524	-0.0750	-0.0572
0.80	0.0208	0.04676	0.04856	0.04976	0.05097	0.05169	-0.0722	-0.0570
0.85	0.0196	0.04309	0.04498	0.04624	0.04750	0.04825	-0.0693	-0.0567
0.90	0.0184	0.03971	0.04166	0.04296	0.04427	0.04505	-0.0663	-0.0563
0.95	0.0172	0.03645	0.03846	0.03980	0.04114	0.04194	-0.0631	-0.0558
1.00	0.0160	0.03338	0.03543	0.03680	0.03817	0.03899	-0.0600	-0.0550
l_x/l_y	μ	m					m_x^0	m_y^0
1.00	0.00160	0.03338	0.03543	0.03680	0.03817	0.03899	-0.0600	-0.0550
0.95	0.00182	0.03577	0.03791	0.03934	0.04077	0.04162	-0.0629	-0.0599
0.90	0.00206	0.03823	0.04046	0.04195	0.04344	0.04433	-0.0656	-0.0653
0.85	0.00233	0.04073	0.04306	0.04461	0.04617	0.04710	-0.0683	-0.0711
0.80	0.00262	0.04328	0.04570	0.04731	0.04893	0.04989	-0.0707	-0.0772
0.75	0.00294	0.04589	0.04841	0.05009	0.05177	0.05277	-0.0729	-0.0837
0.70	0.00327	0.04850	0.05111	0.05285	0.05459	0.05563	-0.0748	-0.0903
0.65	0.00365	0.05108	0.05377	0.05556	0.05736	0.05843	-0.0762	-0.0970
0.60	0.00403	0.05359	0.05635	0.05819	0.06003	0.06113	-0.0773	-0.1033
0.55	0.00437	0.05594	0.05876	0.06064	0.06252	0.06364	-0.0780	-0.1093
0.50	0.00463	0.05816	0.06102	0.06293	0.06483	0.06597	-0.0784	-0.1146

表 C.1.3-6 区格 F

ν		0.125	0.200	0.250	0.300	0.333	—	
l_x/l_y	μ	m					m_x^0	m_y^0
0.50	0.00253	0.06958	0.07037	0.07090	0.07143	0.07175	-0.0829	-0.0570
0.55	0.00246	0.06551	0.06651	0.06718	0.06784	0.06824	-0.0814	-0.0571
0.60	0.00236	0.06134	0.06253	0.06333	0.06412	0.06460	-0.0793	-0.0571
0.65	0.00224	0.05704	0.05841	0.05933	0.06024	0.06079	-0.0766	-0.0571
0.70	0.00211	0.05276	0.05429	0.05531	0.05634	0.05695	-0.0735	-0.0569
0.75	0.00197	0.04859	0.05027	0.05139	0.05251	0.05318	-0.0701	-0.0565
0.80	0.00182	0.04459	0.04638	0.04758	0.04877	0.04949	-0.0664	-0.0559
0.85	0.00168	0.04075	0.04264	0.04390	0.04516	0.04592	-0.0626	-0.0551
0.90	0.00153	0.03712	0.03908	0.04039	0.04170	0.04248	-0.0588	-0.0541
0.95	0.00140	0.03375	0.03576	0.03710	0.03844	0.03924	-0.0550	-0.0528
1.00	0.00127	0.03060	0.03264	0.03400	0.03536	0.03618	-0.0513	-0.0513

C.2 四角支承板

C.2.1 四角支承板的计算简图可按图 C.2.1 采用，其计算跨度应取长边边长。

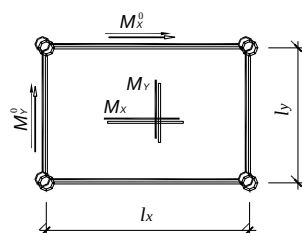


图 C.2.1 四角支承板的计算简图

C.2.2 四角支承板的跨中弯矩系数 m_x 、 m_y 以及自由边中点弯矩系数 m_x^0 、 m_y^0 ，可依据其泊松比 ν ，按照表 C.2.2 采用。

表 C.2.2 四角支承板的弯矩系数

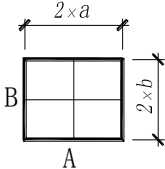
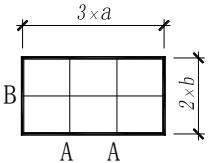
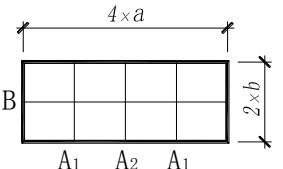
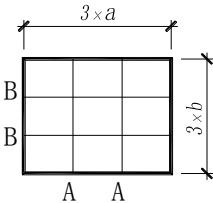
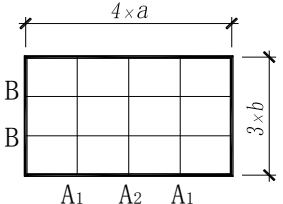
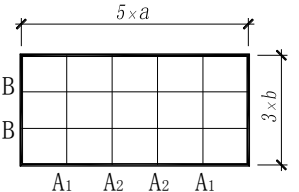
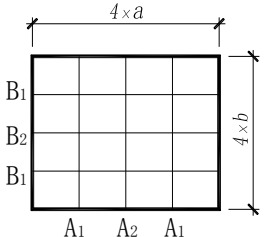
$\frac{l_x}{l_y}$	m_x					m_y				
		$\nu = 1/8$		$\nu = 1/5$	$\nu = 0.3$		$\nu = 1/8$		$\nu = 1/5$	$\nu = 0.3$
0.50	0.0153	0.0180	0.0189	0.0196	0.0214	0.1221	0.1221	0.1221	0.1221	0.1223
0.55	0.0209	0.0236	0.0245	0.0252	0.0271	0.1210	0.1211	0.1212	0.1213	0.1216
0.60	0.0272	0.0301	0.0310	0.0317	0.0337	0.1198	0.1202	0.1203	0.1204	0.1208
0.65	0.0344	0.0373	0.0382	0.0389	0.0410	0.1184	0.1189	0.1191	0.1193	0.1199
0.70	0.0424	0.0453	0.0462	0.0469	0.0490	0.1169	0.1176	0.1179	0.1181	0.1189
0.75	0.0512	0.0540	0.0549	0.0556	0.0577	0.1153	0.1163	0.1166	0.1169	0.1178

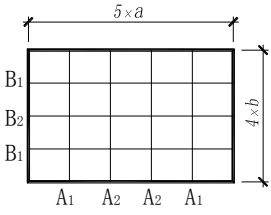
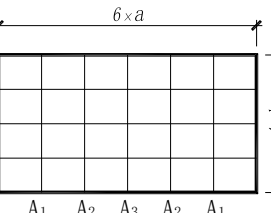
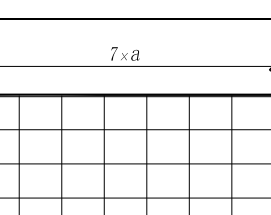
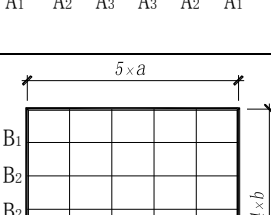
0.80	0.0607	0.0634	0.0643	0.0650	0.0671	0.1136	0.1149	0.1153	0.1156	0.1167
0.85	0.0709	0.0736	0.0745	0.0752	0.0772	0.1118	0.1133	0.1138	0.1142	0.1155
0.90	0.0818	0.0845	0.0880	0.0861	0.0881	0.1099	0.1117	0.1123	0.1128	0.1143
0.95	0.0935	0.0961	0.0969	0.0976	0.0996	0.1079	0.1100	0.1107	0.1113	0.1130
1.00	0.1058	0.1083	0.1091	0.1098	0.1117	0.1058	0.1083	0.1091	0.1098	0.1117
$\frac{l_x}{l_y}$	m_x^0					m_y^0				
	$\nu = 0$	$\nu = 1/8$	$\nu = 1/6$	$\nu = 1/5$	$\nu = 0.3$	$\nu = 0$	$\nu = 1/8$	$\nu = 1/6$	$\nu = 1/5$	$\nu = 0.3$
0.50	0.0654	0.0607	0.0592	0.0580	0.0544	0.1302	0.1304	0.1304	0.1304	0.1301
0.55	0.0728	0.0681	0.0666	0.0654	0.0618	0.1321	0.1320	0.1319	0.1318	0.1314
0.60	0.0805	0.0759	0.0744	0.0732	0.0695	0.1342	0.1339	0.1337	0.1336	0.1330
0.65	0.0887	0.0841	0.0826	0.0814	0.0778	0.1366	0.1361	0.1358	0.1356	0.1347
0.70	0.0973	0.0928	0.0913	0.0901	0.0865	0.1393	0.1384	0.1380	0.1377	0.1365
0.75	0.1063	0.1021	0.1006	0.0994	0.0958	0.1421	0.1408	0.1403	0.1399	0.1385
0.80	0.1159	0.1117	0.1103	0.1091	0.1056	0.1452	0.1435	0.1429	0.1424	0.1407
0.85	0.1260	0.1220	0.1206	0.1195	0.1160	0.1485	0.1464	0.1456	0.1450	0.1429
0.90	0.1366	0.1327	0.1314	0.1303	0.1269	0.1520	0.1494	0.1485	0.1477	0.1453
0.95	0.1478	0.1440	0.1427	0.1416	0.1384	0.1557	0.1526	0.1515	0.1506	0.1479
1.00	0.1595	0.1559	0.1547	0.1537	0.1505	0.1595	0.1559	0.1547	0.1537	0.1505

附录 D 交叉肋的弯矩系数和剪力系数

D.0.1 金属板加劲肋的弯矩、剪力和挠度可按下表计算。

表 D.0.1 交叉肋的计算系数表

简图	b/a 梁号	0.8		1.0		1.2	
		M	V	M	V	M	V
	A	0.33	0.58	0.25	0.50	0.19	0.44
	B	0.17	0.42	0.25	0.50	0.32	0.57
	μ	0.057		0.084		0.107	
	A	0.46	0.71	0.42	0.67	0.37	0.62
	B	0.09	0.34	0.16	0.41	0.26	0.51
	μ	0.08		0.15		0.23	
	A ₁	0.44	0.69	0.42	0.67	0.40	0.65
	A ₂	0.56	0.81	0.55	0.80	0.53	0.78
	B	0.08	0.33	0.12	0.37	0.18	0.43
	μ	0.10		0.19		0.31	
	A	0.66	0.91	0.50	0.75	0.37	0.62
	B	0.34	0.59	0.50	0.75	0.63	0.88
	μ	0.31		0.44		0.55	
	A ₁	0.75	1.00	0.66	0.91	0.55	0.80
	A ₂	1.02	1.27	0.91	1.16	0.78	1.03
	B	0.24	0.49	0.43	0.64	0.67	0.81
	μ	0.44		0.76		1.12	
	A ₁	0.72	0.97	0.66	0.91	0.60	0.85
	A ₂	1.07	1.32	1.02	1.27	0.95	1.20
	B	0.21	0.46	0.32	0.57	0.50	0.70
	μ	0.48		0.87		1.38	
	A ₁	1.11	1.12	0.83	0.92	0.59	0.75
	A ₂	1.58	1.46	1.17	1.17	0.84	0.94
	B ₁	0.54	0.71	0.83	0.92	1.06	1.08
	B ₂	0.77	0.89	1.17	1.17	1.51	1.41
	μ	1.29		1.90		2.41	

	A ₁	1.21	1.19	1.02	1.05	0.83	0.91
	A ₂	1.91	1.69	1.64	1.50	1.34	1.29
	B ₁	0.40	0.62	0.71	0.81	1.03	1.02
	B ₂	0.57	0.76	1.00	1.03	1.46	1.31
	μ	1.57		2.63		3.75	
	A ₁	1.18	1.17	1.06	1.08	0.93	0.98
	A ₂	1.95	1.72	1.79	1.60	1.59	1.46
	A ₃	2.20	1.89	2.04	1.78	1.83	1.63
	B ₁	0.26	0.57	0.54	0.73	0.89	0.91
	B ₂	0.36	0.70	0.76	0.91	1.26	1.16
	μ	1.76		3.23		5.02	
	A ₁	1.14	1.14	1.03	1.06	0.94	0.99
	A ₂	1.90	1.68	1.79	1.60	1.66	1.51
	A ₃	2.22	1.91	2.15	1.86	2.03	1.77
	B ₁	0.16	0.56	0.38	0.68	0.69	0.83
	B ₂	0.23	0.68	0.54	0.84	0.98	1.05
	μ	1.82		3.43		5.57	
	A ₁	1.42	1.26	1.06	1.03	0.76	0.84
	A ₂	2.29	1.82	1.72	1.47	1.25	1.18
	B ₁	0.70	0.80	1.06	1.03	1.36	1.22
	B ₂	1.15	1.12	1.72	1.47	2.19	1.76
	μ	3.02		4.41		5.58	

注：1 跨中最大弯矩用表中 M 栏的系数，弯矩分别按下式采用：

$$M_A、M_{A1}、M_{A2}、M_{A3} = (\text{表中系数}) \times qab^2$$

$$M_B、M_{B1}、M_{B2} = (\text{表中系数}) \times qa^2b$$

其中， a 为 A 肋的中心间距， b 为 B 肋的中心间距， q 为板单位面积上的风荷载或地震作用标准值，在计算中近似假定集中在肋交点处 ($F = qab$)；

- 2 肋端剪力用表中 V 栏的系数，乘数为 qab ，即 V_A 或 $V_B = (\text{表中系数}) \times qab$ ；
- 3 肋的最大挠度 $u_{\max}$ 用表中 μ 栏的系数，乘数为 qa^4b/EI ，即 $u_{\max} = (\text{表中系数}) \times qa^4b/EI$ ；
- 4 交叉肋四周假定为简支。

附录 E 双层幕墙热工计算

E.1 一般规定

E.1.1 双层幕墙的热工性能按本标准附录 E 的规定进行计算，也可采用专业的热工计算软件计算。

E.1.2 双层幕墙的热工性能指标应符合现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176、《公共建筑节能设计标准》GB 50189 和现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的相关规定。

E.1.3 按本标准计算时过程计算结果四舍五入保留小数点后两位，最终结果四舍五入保留小数点后三位。

E.2 传热系数计算

E.2.1 单幅幕墙的传热系数 K_{cw} 应按下列公式计算：

$$K_{cw} = \frac{\sum K_g A_g + \sum K_p A_p + \sum K_f A_f + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_f} \quad (\text{E.2.1})$$

式中： K_{cw} ——单幅幕墙的传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；

K_g ——玻璃或透明面板的传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ，应按现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定计算；

A_g ——玻璃或透明面板的面积 (m^2) ；

ψ_g ——玻璃或透明面板边缘的线传热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ，应按现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定计算；

l_g ——玻璃或透明面板边缘长度 (m) ；

K_p ——非透明面板传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；

A_p ——非透明面板的投影面积 (m^2) ；

ψ_p ——非透明面板边缘的线传热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ，应按现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定计算；

l_p ——非透明面板边缘长度 (m) ；

K_f ——框的传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ，应按现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定计算；

A_f ——框的投影面积 (m^2) 。

E.2.2 双层幕墙的传热系数应根据空气间层的通风情况按非通风状态、微通风状态或强通风状态进行计算。通风状态的标准值 A_v 按下式计算（图 E.0.3）：

$$\text{对于竖向空气层:} \quad A_v = \frac{A_o}{L} \quad (\text{E.2.2-1})$$

$$\text{对于水平空气层:} \quad A_v = \frac{A_o}{LW} \quad (\text{E.2.2-2})$$

式中： A_o ——进出风口面积（ mm^2 ）；

L ——空气层的水平长度（ m ）；

W ——水平空气层的宽度（ m ）。

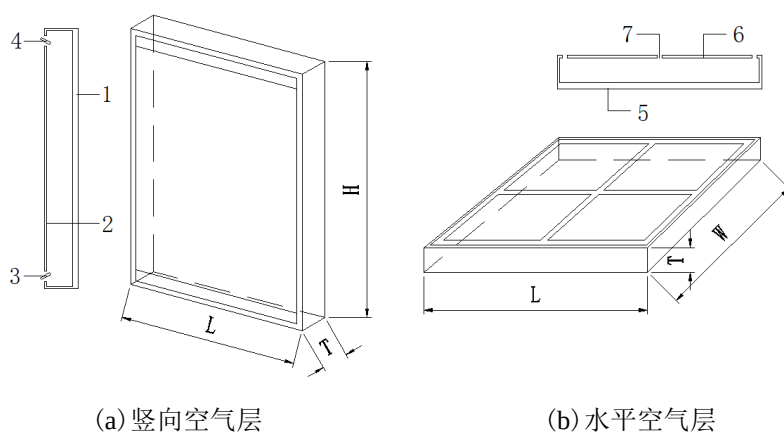


图 E.0.3 空气层示意图

1-主立面幕墙；2-次立面幕墙；3-进风口；4-出风口；5-主平面采光顶；

6-次平面采光顶；7-进出风口

E.2.3 非通风状态：

1 非通风状态是指空气间层内空气处于静止状态或空气间层与外部环境间连通敞开面积不足以使外部环境的空气在空气间层内流通，其连通敞开面积应满足：

1) 对于竖向空气间层， $A_v \leq 500 \text{mm}^2/\text{m}$ ；

2) 对于水平空气间层， $A_v \leq 500 \text{mm}^2/\text{m}^2$ 。

2 非通风双层幕墙传热系数 $K_{cw,u}$ 应按下式计算：

$$K_{cw,u} = \frac{1}{R_{cw,u}} \quad (\text{E.2.3-1})$$

$$R_{cw,u} = \frac{1}{K_{cw1}} - R_{si} + R_{air} - R_{se} + \frac{1}{K_{cw2}} \quad (\text{E.2.3-2})$$

式中： $R_{cw,u}$ ——非通风双层幕墙热阻（ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）；

$K_{cw,1}$ ——计算单元主立面幕墙或主平面采光顶传热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ，应按附录 E.2.1 条计算；

R_{si} ——幕墙内表面热阻 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ ，可按表 E.2.3-1 采用，也可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 或现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T151 的规定采用；

R_{air} ——空气间层热阻 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ ，可按表 E.2.3-2 采用，也可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的规定采用；

R_{se} ——幕墙外表面热阻 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ ，可按表 E.2.3-1 采用，也可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 或现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 的规定采用；

$K_{cw,2}$ ——计算单元次立面幕墙或次平面采光顶传热系数 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ ，应按附录 E.2.1 条计算。

表 E.2.3-1 表面热阻 R_s ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

表面热阻 R_s ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	热流方向		
	向上	水平	向下
R_{si}	0.1	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

注：1 表面热阻适用于与空气接触的表面；

2 内表面热阻是在表面发射率 $\varepsilon=0.9$ 和温度为 20°C 的表面辐射换热系数 h_r 计算得出。外表面热阻是在表面发射率 $\varepsilon=0.9$ 和温度为 10°C 的表面辐射换热系数 h_r ，并且气流速度 $v=4\text{m/s}$ 计算得出。

表 E.2.3-2 空气间层热阻 R_{air} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

空气层厚度 T (mm)	热流方向		
	向上	水平	向下
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.16	0.17	0.17

25	0.16	0.18	0.19
50	0.16	0.18	0.21
100	0.16	0.18	0.22
300	0.16	0.18	0.23
500	0.16	0.18	0.23
1000	0.16	0.18	0.23

注：1 “水平”下的数值适用于从水平面 $\pm 30^\circ$ 间的热流方向；

2 中间数值可采用线性插值的方法计算得出；

3 本表引自 BS EN13947:2006 和 ISO 6946:2017 (E)，空气层被两个平行且与热流方向垂直的界面约束，约束界面的表面发射率不低于 0.8，空气层的厚度（热流方向）小于另外两个方向特征尺寸的 0.1 倍，空气层内的空气与外部环境间没有气流交换。

E.2.4 微通风状态：

1 微通风状态是指空气间层与外部环境间连通敞开面积应满足：

1) 对于竖向空气间层， $500\text{mm}^2/\text{m} < A_v \leq 1500\text{mm}^2/\text{m}$ ；

2) 对于水平空气层， $500\text{mm}^2/\text{m}^2 < A_v \leq 1500\text{mm}^2/\text{m}^2$ 。

2 微通风双层幕墙传热系数 $K_{cw, s}$ 应按下列式计算：

$$K_{cw, s} = \frac{1}{R_{cw, s}} \quad (\text{E.2.4-1})$$

$$R_{cw, s} = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{cw, u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{cw, v} \quad (\text{E.2.4-2})$$

式中： $R_{cw, s}$ ——微通风双层幕墙热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)；

$R_{cw, u}$ ——非通风双层幕墙热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)，应按公式 E.2.3-2 计算；

$R_{cw, v}$ ——强通风双层幕墙热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)，外通风双层幕墙应按公

式 E.2.5-2 计算，内通风双层幕墙应按公式 E.2.5-3 计算。

E.2.5 强通风状态：

1 强通风状态是指空气间层与外部环境间连通敞开面积应满足：

1) 对于竖向空气层， $1500\text{mm}^2/\text{m} < A_v$ ；

2) 对于水平空气层， $1500\text{mm}^2/\text{m}^2 < A_v$ 。

2 强通风双层幕墙传热系数 $K_{cw, v}$ 应按下列式计算：

$$K_{cw, v} = \frac{1}{R_{cw, v}} \quad (\text{E.2.5-1})$$

外通风双层幕墙：
$$R_{cw, v} = \frac{1}{K_{cw1}} + R_{si} - R_{se} \quad (\text{E.2.5-2})$$

内通风双层幕墙：
$$R_{cw, v} = \frac{1}{K_{cw1}} \quad (\text{E.2.5-3})$$

式中： $R_{cw, v}$ ——强通风双层幕墙热阻（ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）。

E.3 得热系数计算

E.3.1 单幅幕墙的太阳的热系数 $SHGC_{cw}$ 应按下式计算：

$$SHGC_{cw} = \frac{\sum g_g A_g + \sum g_p A_p + \sum g_f A_f}{A} \quad (\text{E.3.1-1})$$

$$g_p = \alpha_p \frac{K_p}{\frac{A_{ps, e}}{A_p} h_e} \quad (\text{E.3.1-2})$$

$$g_f = \alpha_f \frac{K_f}{\frac{A_{fs, e}}{A_f} h_e} \quad (\text{E.3.1-3})$$

式中： $SHGC$ ——单幅幕墙的太阳的热系数；

g_g ——玻璃或透明面板的太阳光总透射比；

A_g ——玻璃或透明面板的面积（ m^2 ）；

g_p ——非透明面板的太阳光总透射比；

A_p ——非透明面板的投影面积（ m^2 ）；

g_f ——框的太阳光总透射比；

A_f ——框投影面积（ m^2 ）；

A ——幕墙计算单元面积（ m^2 ）；

K_p ——非透明面板的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

K_f ——框的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

h_e ——室外表面换热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]，可取 $23 [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；

α_p ——非透明面板的太阳辐射吸收系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

α_f ——框表面的太阳辐射吸收系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

$A_{ps, e}$ ——非透明面板的外表面面积（ m^2 ）；

$A_{fs, e}$ ——框的外表面面积（ m^2 ）。

E.3.2 双层幕墙的太阳得热系数 $SHGC_{cw, d}$ 应按按下式计算:

$$SHGC_{cw, d} = SHGC_{cw, i} \cdot SHGC_{cw, e} \quad (E.3.2-1)$$

1 外循环双层幕墙内层幕墙的太阳得热系数 $SHGC_{cw, i}$ 应按公式 E. 3. 1-1 计算, 外层幕墙的太阳得热系数 $SHGC_{cw, e}$ 应按下式计算:

$$SHGC_{cw, e} = \frac{\sum g_g A_g + \sum g_p A_p + \sum g_f A_f + \sum I_o A_{o, e}}{A} \quad (E.3.2-2)$$

式中: I_o ——幕墙立面朝向的太阳总辐射 (W/m^2), 按照现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151 取 $500 W/m^2$ 。

$A_{o, e}$ ——外层幕墙太阳辐射直射通过的开口部位的面积 (m^2)。

2 内循环双层幕墙外层幕墙的太阳得热系数 $SHGC_{cw, e}$ 应按公式 E. 3. 1-1 计算, 内层幕墙的太阳得热系数 $SHGC_{cw, i}$ 应按下式计算:

$$SHGC_{cw, i} = \frac{\sum g_g A_g + \sum g_p A_p + \sum g_f A_f + \sum SHGC_{cw, e} A_{o, i}}{A} \quad (E.3.2-3)$$

式中: $A_{o, i}$ ——内层幕墙太阳辐射直射通过的开口部位的面 (m^2)。

E.3.3 设置固定外遮阳构件时, 幕墙的太阳得热系数应为幕墙本身的太阳得热系数与固定外遮阳构件的遮阳系数乘积, 固定外遮阳构件的遮阳系数应按公式 E. 4. 3 计算。

E.4 遮阳系数计算

E.4.1 单幅幕墙的遮阳系数 SC_{cw} 应按下式计算:

$$SC_{cw} = \frac{SHGC_{cw}}{0.87} \quad (E.4.1-1)$$

式中: $SHGC_{cw}$ ——单层玻璃幕墙的得热系数。

E.4.2 双层幕墙的遮阳系数 $SC_{cw, d}$ 应按下式计算:

$$SC_{cw, d} = \frac{SHGC_{cw, d}}{0.87} \quad (E.4.2-2)$$

E.4.3 设置外遮阳构件或中间遮阳百叶时, 可以将遮阳构件或中间遮阳百叶的遮阳系数 SC_s 与幕墙本身的遮阳系数相乘。

$$SC_s = \frac{E_r}{I_0} \quad (E.4.3)$$

式中: E_r ——通过百叶系统的太阳辐射 (W/m^2), 应按《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的规定计算;

I_0 ——幕墙朝向的太阳总辐射 (W/m^2)。

E.4.4 活动遮阳全部收起时的遮阳系数可取 1.0，全部放下时应按不同遮阳形式进行计算。

附录 F 建筑幕墙隐蔽工程验收记录表

编号：03—09—X—隐 XX

工程名称		施工单位	
装饰工程名称	幕墙子分部	项目经理	
分项工程名称	_____幕墙	专业工长	
施工标准名称及代号	国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210-2018、 浙江省《建筑幕墙工程技术标准》DB 33/T XXXX	施工图名称及图号	
隐蔽项目		隐蔽部位	
检查内容			
施工单位 自查记录	质量要求	检查记录	监理单位验收意见
	附构造图及影像资料：		
施工单位自查结论	专业工长：_____（单位盖章） 年 月 日		质量检查员：_____年 月 日
监理单位 （建设单位）验收结论	☐ 同意隐蔽 ☐ 不同意，整改后复查 专业监理工程师或建设单位专业工程师：_____（单位盖章） 年 月 日		

注：1、隐蔽项目应根据本标准第 18.1.4 的规定，逐条填写；

2、编号应根据浙江省《建筑工程施工质量验收检查用表统一标准》DB 33/T 1192-2020 的第 4.0.9 条规定统一编写。

建筑幕墙隐蔽工程图像资料粘贴表

编号：03—09—X—隐 XX

粘贴处 图名_____	
粘贴处 图名_____	
施工单位 项目专业质量检查员： 年 月 日	专业监理工程师或建设单位专业工程师： 年 月 日

注：所附图片应清晰反应所对应的隐蔽部位及材料。

附录 G 隔 热 型 材

G.1 幕墙隔热构造设计

G.1.1 幕墙用隔热铝合金型材中的隔热材料宜放置在靠近幕墙玻璃厚度中心线区域（见图 G.1.1）。

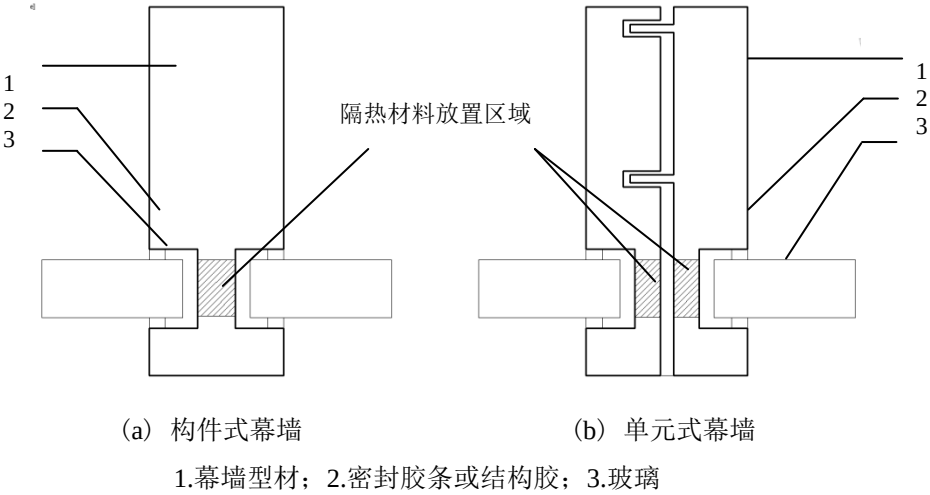


图 G.1.1 典型幕墙隔热区域

G.1.2 明框构件式幕墙可采用隔热铝合金型材或卡接式隔热材料（见图 G.1.2）的隔热构造方式，隔热材料应为连续通长。采用卡接式隔热条时，有效截面隔热高度不小于 8mm。

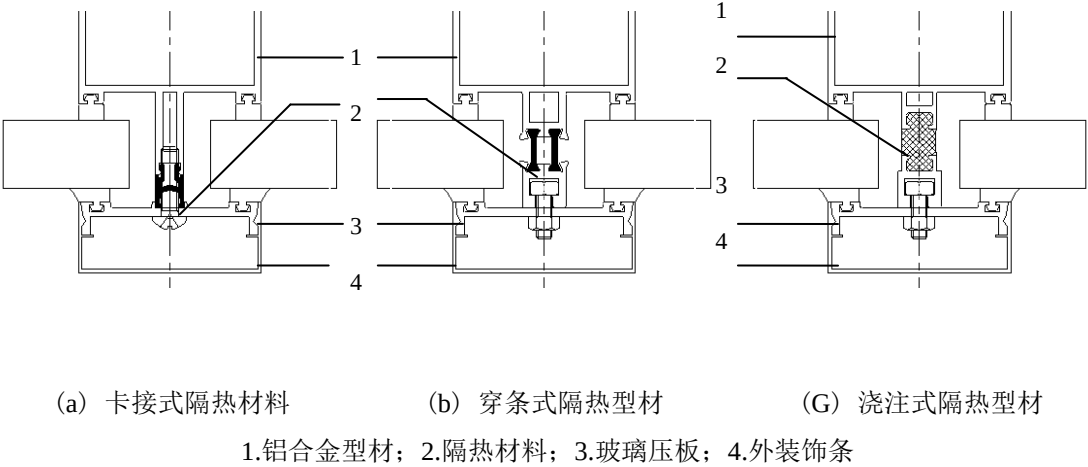
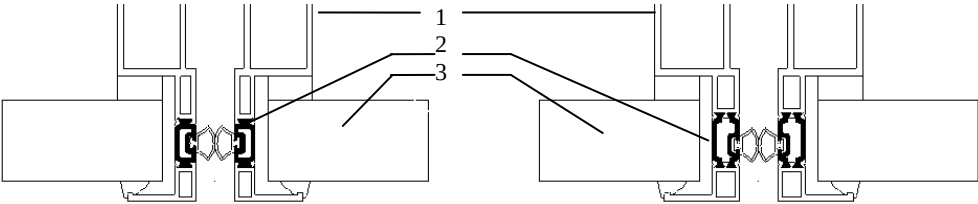


图 G.1.2 明框构件式幕墙隔热方式

G.1.3 明框单元式幕墙宜采用隔热铝合金型材的隔热构造方式，当采用穿条式隔热铝合金型材时，可根据系统要求选用单支空腔隔热条或两支隔热条的隔热构造（见图 G.1.3）。



(a) 单支空腔隔热条 (b) 双支隔热条

1. 铝合金型材; 2. 隔热条; 3. 玻璃

图 G.1.3 明框单元式幕墙隔热方式

G.1.4 隐框单元式幕墙玻璃侧面的护边宜采用隔热构造, 可采用聚酰胺隔热护边 (见图 G.1.4) 或隔热铝合金型材等隔热构造。

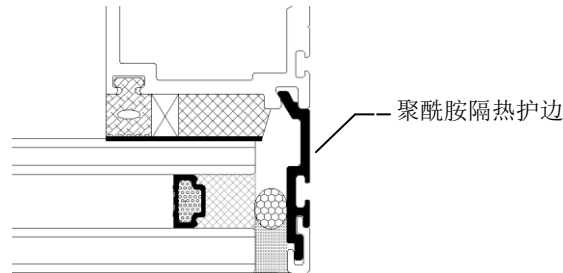


图 G.1.4 聚酰胺隔热护边

G.1.5 明框幕墙开启窗及开启窗与幕墙框架之间的过渡型材宜根据热工需要采用隔热铝合金型材或做隔热构造处理。

G.1.6 隐框幕墙开启窗在玻璃侧面使用护边时, 宜根据热工需要采用隔热构造, 可采用聚酰胺隔热护边或隔热铝合金型材等隔热构造。

G.1.7 幕墙框架两侧玻璃不在同一个平面时, 型材隔热构造设计宜可实现与两侧玻璃形成连续隔热。

G.1.8 幕墙玻璃下端采用隔热型材时, 应单独设置避免隔热条承力或传力的金属托条 (图 G.1.8), 托条应和幕墙框架可靠连接, 并能承受玻璃自重, 托条与玻璃间应设置柔性垫。

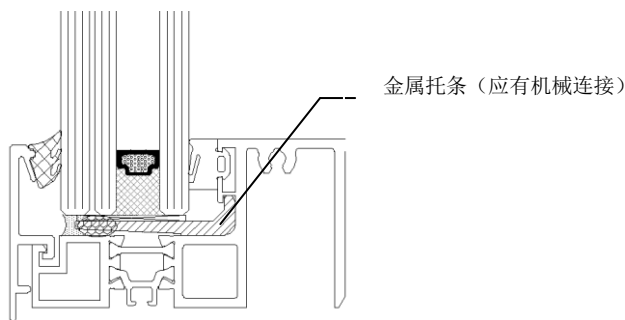


图 G.1.8 金属托条

G.1.9 大尺寸外装饰条应通过可靠的机械连接固定在隔热型材内侧的幕墙框架上。

G.1.10 单元式幕墙采用隔热铝合金型材时, 玻璃面板宜使用硅酮结构密封胶与幕墙框架粘结。

G.2 隔热铝合金型材的强度

G.2.1 隔热铝合金型材应根据荷载组合及与特征值有关的环境温度，对铝合金型材与隔热材料组合界面进行承载力验算，在荷载组合中应考虑冬季及夏季环境温度差，取最不利条件作为验算依据。

条件 1：冬季，取全部风荷载和温差 $\Delta T = 25^{\circ}\text{C}$ ；

条件 2：夏季，取 60%风荷载和温差 $\Delta T = 35^{\circ}\text{C}$ 。

G.2.2 隔热铝合金型材的横向抗拉抗剪强度测试检验值应满足本标准第 3.2.3 条的要求。

幕墙用隔热铝合金型材的横向抗拉强度应满足下列公式要求：

$$S_q \leq Q_c / K_c \quad (\text{G.2.2})$$

式中： S_q ——拉伸荷载效应（重力荷载、风荷载、地震作用和温度作用）组合的设计值(N/mm)；

Q_c ——隔热型材横向抗拉性能(N/mm)；

K_c ——材料强度安全系数，取 2.0。

G.2.3 铝合金型材的抗弯强度，针对金属型材实际应用中的受力情况，确定金属型材的任何部分在受到可能的最不利荷载组合时，应满足本标准第 5、7、8 章的要求。

G.2.4 隔热铝合金型材隔热条在承受风荷载及温度变化引起的剪切力时应满足下列要求：

$$S_q \leq T_c / K_c \quad (\text{G.2.4})$$

式中： S_q ——最不利组合时的剪切力设计值(N/mm)；

T_c ——隔热型材纵向抗剪强度性能(N/mm)；

K_c ——材料强度安全系数，取 2.0。

G.3 隔热铝合金型材的挠度

G.3.1 应根据外部荷载和隔热铝合金型材的截面特性验算隔热铝合金型材的挠度。

G.3.2 穿条式隔热铝合金型材的铝合金与隔热条复合后的组合弹性值 c ，应依据铝合金型材与隔热条的断面组合，通过实际检测获得。

G.3.3 隔热型材的抗弯截面模量 W 、隔热型材的等效惯性矩 I_{ef} 等截面参数可

参照现行行业标准《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》YS/T 437 的计算方法计算得出。

G.3.4 隔热铝合金型材挠度按本标准相关章节规定，应满足下列要求：

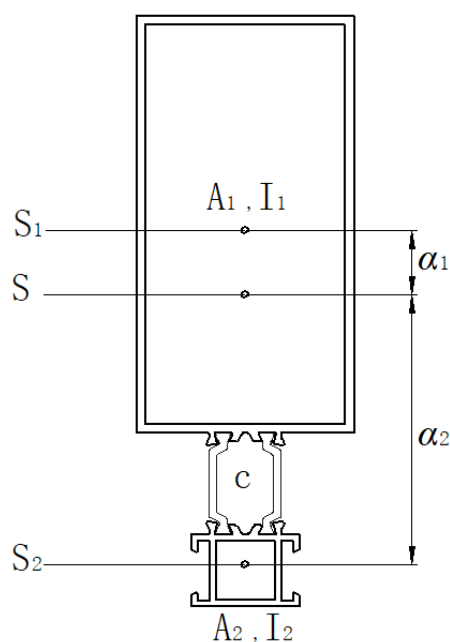
$$d_f \leq d_{t, lin} \quad (\text{G.3.4})$$

式中： d_f ——隔热铝合金型材在各种荷载标准值作用下产生的挠度值 (mm)；

$d_{t, lin}$ ——构件挠度限值 (mm)。

G.4 穿条式隔热铝合金型材截面几何参数及强度计算方法

G.4.1 根据铝合金型材（如图 G.4.1 所示的穿条式隔热铝合金型材 1 区、2 区）与隔热材料的组合形式计算穿条式隔热铝合金型材的截面几何参数，并参照现行行业标准《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》YS/T 437 的计算方法计算其他组合截面的几何参数。



A_1 —铝型材 1 区的截面积（主截面）； A_2 —铝型材 2 区的截面积（次截面）； S_1 —铝型材 1 区的形心；

S_2 —铝型材 2 区的形心； S —隔热铝合金型材的形心； I_1 —1 区型材惯性矩； I_2 —2 区型材惯性矩；

α_1 —1 区形心到隔热铝合金型材形心的距离； α_2 —2 区形心到隔热铝合金型材形心的距离

图 G.4.1 穿条式隔热铝合金型材截面

G.4.2 穿条式隔热铝合金型材的等效惯性矩 I_{ef} 按下列公式计算：

$$I_{ef} = \frac{I_s(1-\nu)}{1-\nu\beta} \quad (\text{G.4.2-1})$$

$$I_s = I_1 + I_2 + A_1\alpha_1^2 + A_2\alpha_2^2 \quad (\text{G.4.2-2})$$

$$\nu = \frac{(A_1 a_1^2 + A_2 a_2^2)}{I_s} \quad (\text{G.4.2-3})$$

$$\beta = \frac{\lambda^2}{\pi^2 + \lambda^2} \quad (\text{G.4.2-4})$$

$$\lambda^2 = \frac{c a^2 L^2}{(EI_s) \nu (1 - \nu)} \quad (\text{G.4.2-5})$$

式中： I_s ——刚性惯性矩；

ν ——作用参数；

β ——组合参数；

λ ——几何形状参数；

L ——隔热型材的承载间距（横梁或立柱的计算跨度，单位 mm）；

α ——1 区形心与 2 区形心间距（mm）；

E ——铝合金的弹性模量，取 $E=70000\text{N/mm}^2$ ；

c ——组合弹性值。

G.4.4 隔热铝合金型材的抗弯截面模量 W 是等效惯性矩 I_{ef} 与隔热铝合金型材的形心到两侧距离中较大值的比值。

G.4.5 穿条式隔热铝合金型材等效惯性矩 I_{ef} 的简易计算方法见公式 G.4.5。

$$I_{ef} = \mu \cdot I_s \quad (\text{G.4.5})$$

式中： μ ——等效惯性矩相对于刚性惯性矩的折减系数；

I_s ——刚性惯性矩。

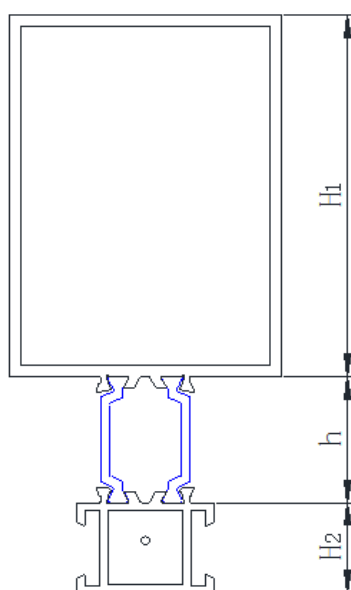


图 G.4.5 穿条式隔热型材截面参数

折减系数 μ 根据隔热铝合金型材的截面形状、承载间距 L 、组合弹性值 G 、隔热铝合金型材 G 、 G_1 和 G_2 等参数（见图 G.4.5），查表 G.4.5-1 和表 G.4.5-2 取值。当选取的组合弹性值 G 与表 G.4.5-1 和表 G.4.5-2 取值不一致时，可使用插补法进行修正。

表 G.4.5-1 惯性矩折减系数 μ 取值表（组合弹性值 $G = 50\text{N/mm}^2$ ）

隔热材料截面 高度 G	隔热型材 承载间距 L	大铝材与小铝材截面高度比值 $G_1: G_2$						
		1: 1	2: 1	3: 1	4: 1	5: 1	6: 1	7: 1
$G=G_2$	1.5m	0.62	0.67	0.72	0.75	0.77	0.79	0.80
	2m	0.74	0.77	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86
	2.5m	0.81	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.89
	3m	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92
	3.5m	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94
	4m	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95
	4.5m	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96
$G=1.5G_2$	1.5m	0.60	0.64	0.69	0.72	0.74	0.77	0.78
	2m	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84
	2.5m	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88
	3m	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91
	3.5m	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93
	4m	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95
	4.5m	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96
$G=2G_2$	1.5m	0.58	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.76
	2m	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82
	2.5m	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
	3m	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90

	3.5m	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92
	4m	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94
	4.5m	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95

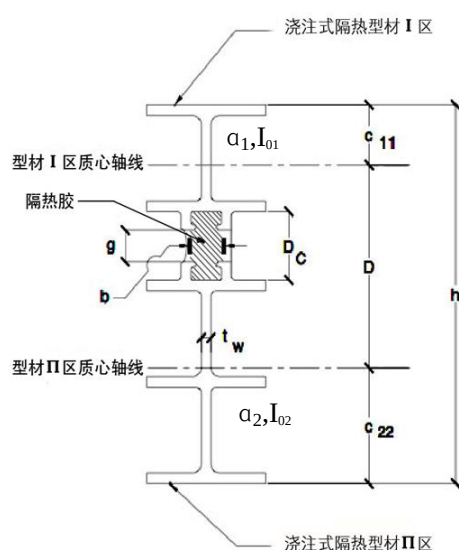
表 G.4.5-2 惯性矩折减系数 μ 取值表 (组合弹性值 $G = 80\text{N/mm}^2$)

隔热材料截面 高度 G	隔热型材 承载间距 L	大铝材与小铝材截面高度比值 $G_1: G_2$						
		1: 1	2: 1	3: 1	4: 1	5: 1	6: 1	7: 1
G= G ₂	1.5m	0.72	0.75	0.78	0.81	0.82	0.84	0.85
	2m	0.81	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90
	2.5m	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93
	3m	0.90	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95
	3.5m	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96
	4m	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97
	4.5m	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97
G=1.5G ₂	1.5m	0.70	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.83
	2m	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89
	2.5m	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92
	3m	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94
	3.5m	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95
	4m	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96
	4.5m	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97
G=2G ₂	1.5m	0.68	0.71	0.73	0.76	0.78	0.80	0.81
	2m	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87
	2.5m	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91
	3m	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93
	3.5m	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95

	4m	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96
	4.5m	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97

G.5 浇注式隔热铝合金型材截面几何参数及强度计算方法

G.5.1 根据如图G.5.1所示的浇注式隔热铝合金型材I区、II区与隔热胶的组合形式，计算浇注式隔热铝合金型材的截面几何参数，并参照现行行业标准《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》YS/T 437的计算方法计算其他组合截面的几何参数。



C_{11} —铝型材 I 区的质心轴线与表面的距离； g —隔热槽两个凸点的间距；
 b —隔热胶的平均厚度； D_G —隔热胶的最大高度； t_w —铝型材加强轴边的厚度；
 D —两区质心轴线之间的距离； G —铝型材截面的宽度； a_1 —铝型材 I 区的截面积；
 a_2 —铝型材 II 区的截面积； I_{01} —铝型材 I 区的惯性矩； I_{02} —铝型材 II 区的惯性矩；
 C_{22} —铝型材 II 区的质心轴线与表面的距离

图 G.5.1 浇注式隔热铝合金型材截面

G.5.2 浇注式隔热铝合金型材的等效惯性矩 I_e' 按下列公式计算：

$$\text{等效惯性矩结合值 } I_c \text{ (mm}^4\text{): } I_c = \frac{a_1 a_2 D^2}{a_1 + a_2} \quad (\text{G.5.2-1})$$

$$\text{等效惯性矩下限值 } I_0 \text{ (mm}^4\text{): } I_0 = I_{01} + I_{02} \quad (\text{G.5.2-2})$$

$$\text{等效惯性矩上限值 } I \text{ (mm}^4\text{): } I = I_c + I_0 \quad (\text{G.5.2-3})$$

$$\text{复合结构几何参数 } G_p \text{ (N): } G_p = \frac{IbD^2G_c}{I_cD_c} \quad (\text{G.5.2-4})$$

式中: G_c ——隔热胶的剪切模量, 单位为 N/mm^2 , (值为 552N/mm^2)。

$$\text{参分值 } c_2 \text{ (mm}^{-2}\text{): } c_2 = \frac{G_p}{EI_0} \quad (\text{G.5.2-5})$$

式中: E ——铝合金的弹性模量, 单位为 N/mm^2 , (值为 70000N/mm^2)。

$$\text{指数参分值 } r: r = L \sqrt{c_2} / 2 \quad (\text{G.5.2-6})$$

集中荷载下的预期惯性矩 $I_e \text{ (mm}^4\text{):}$

$$I_e = \left(\frac{L^3}{48E} \right) \div \left(\frac{L^3}{96EI} - \frac{LI_c}{4G_pI} - \frac{L^3}{32EI} + \frac{I_c e^r}{2G_pI\sqrt{c_2}(e^r + e^{-r})} - \frac{I_c}{2G_pI\sqrt{c_2}(e^r + e^{-r})e^r} \right) \quad (\text{G.5.2-7})$$

式中: L ——隔热型材的承载间距 (横梁或立柱的计算跨度, 单位 mm);

e ——自然常数, (其值约为 2.71828)。

$$\text{集中荷载下的等效惯性矩 } I_e' \text{ (mm}^4\text{): } I_e' = \frac{Ie}{1 + \left[32(Ie) / L^2 t_w (h - g) \right]} \quad (\text{G.5.2-8})$$

均布荷载下的预期惯性矩:

$$I_e = \left(\frac{L^4}{76.8E} \right) \div \left(-\frac{5L^3}{384EI} - \frac{L^2 I_c}{8G_p I} + \frac{EI_0 I_c}{(G_p)^2 I} - \frac{2I_c}{c_2 G_p I (e^r + e^{-r})} \right) \quad (\text{G.5.2-9})$$

$$\text{均布荷载下的等效惯性矩: } I_e' = \frac{Ie}{1 + \left[25.6(Ie) / L^2 t_w (h - g) \right]} \quad (\text{G.5.2-10})$$

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018
- 《建筑物防雷设计规范》GB 50057
- 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068
- 《民用建筑隔声设计规范》GB 50118
- 《民用建筑热工设计规范》GB 50176
- 《公共建筑节能设计标准》GB 50189
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210
- 《屋面工程技术规范》GB 50345
- 《民用建筑设计统一标准》GB 50352
- 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 《建筑节能工程施工质量验收规范》GB 50411
- 《铝合金结构设计规范》GB 50429
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《不锈钢和耐热钢冷轧钢带》GB 4239
- 《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624
- 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB 14683
- 《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776
- 《中空玻璃用硅酮结构密封胶》GB 24266
- 《1型六角螺母 C级》GB/T 41

《开槽圆柱头螺钉》 GB/T 65

《平垫圈 C级》 GB/T 95

《平垫圈 A级》 GB/T 97.1

《十字槽盘头螺钉》 GB/T 818

《十字槽沉头螺钉第1部分：4.8级》 GB/T 819.1

《轻型弹簧垫圈》 GB 859

《六角头螺栓C级》 GB/T 5780

《六角头螺栓全螺纹C级》 GB/T 5781

《1型六角螺母》 GB/T 6170

《六角薄螺母》 GB/T 6172.1

《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.1

《紧固件机械性能 螺母》 GB/T 3098.2

《紧固件机械性能螺母细牙螺纹》 GB/T 3098.4

《紧固件机械性能自攻螺钉》 GB/T 3098.5

《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.6

《紧固件机械性能自钻自攻螺钉》 GB/T 3098.11

《紧固件机械性能不锈钢螺母》 GB/T 3098.15

《紧固件机械性能不锈钢紧定螺钉》 GB/T 3098.16

《铝合金建筑型材》 GB/T 5237.1~GB/T 5237.6

《变形铝及铝合金化学成分》 GB/T 3190

《一般工业用铝及铝合金板、带材》 GB/T 3880.1~GB/T 3880.3

《变形铝及铝合金牌号表示方法》 GB/T 16474

《变形铝及铝合金状态代号》 GB/T 16475

《优质碳素结构钢》 GB/T 699

《碳素结构钢》 GB/T 700

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带》 GB/T 912

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带》 GB/T 3274

《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117

《低合金钢焊条》 GB/T 5118

《不锈钢焊条》 GB/T 983

《不锈钢棒》 GB/T 1220

《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591

《通用耐蚀钢铸件》 GB/T 2100

《合金结构钢》 GB/T 3077

《不锈钢冷轧钢板》 GB/T 3280

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带》 GB/T 3524

《耐候结构钢》 GB/T 4171

《不锈钢冷加工棒》 GB/T 4226

《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237

《一般工程用铸造碳铸件》 GB/T 11352

《彩色涂层钢板及钢带》 GB/T 12754

《彩色涂层钢板和钢带试验方法》 GB/T 13448

《结构用无缝钢管》 GB/T 8162

《结构用不锈钢无缝钢管》 GB/T 14975

《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》 GB/T 13912

《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》 GB/T 20878

《铝合金门窗》 GB/T 8478

《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》 GB/T 15227

《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》 GB/T 7106

《天然饰面石材试验方法》 GB/T 9966.1~GB/T 9966.8

《建筑密封胶材料试验方法》 GB/T 13477

《建筑幕墙用铝塑复合板》 GB/T 17748

《中空玻璃》 GB/T 11944

《平板玻璃》 GB 11614

《半钢化玻璃》 GB/T 17841

《建筑用安全玻璃 第1部分：防火玻璃》 GB 15763.1

《建筑用安全玻璃 第2部分：钢化玻璃》 GB 15763.2

《建筑用安全玻璃 第3部分：夹层玻璃》 GB 15763.3

《建筑用安全玻璃 第4部分：均质钢化玻璃》 GB 15763.4

《镀膜玻璃》 GB/T 18915

《建筑幕墙》 GB/T 21086

《建筑幕墙术语》 GB/T 34327

《建筑幕墙、门窗通用技术条件》 GB/T 31433

《玻璃幕墙光热性能》 GB/T 18091

《建筑幕墙层间变形性能及检测方法》 GB/T 18250

《建筑幕墙抗震性能振动台试验方法》 GB/T 18575

《天然花岗石建筑板材》 GB/T 18601

《天然大理石建筑板材》 GB/T 19766

《天然砂岩建筑板材》 GB/T 23452

《天然石灰石建筑板材》 GB/T 23453

《石材用建筑密封胶》 GB/T 23261

《建筑装饰用铝单板》 GB/T 23443

《钛及钛合金板材》 GB/T 3621

《铜及铜合金板材》 GB/T 2040

《建筑门窗、幕墙用密封胶条》 GB/T 24498

《中空玻璃用弹性密封胶》 GB/T 29755

《干挂石材用金属挂件》 GB/T 32839

《建筑结构用高强度钢绞线》 GB/T 33026

《建筑幕墙用不锈钢通用技术条件》 GB/T 34472

《空间网格结构技术规程》 JGJ 7

《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33

《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46

《网壳结构技术规程》 JGJ 61

《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80

《玻璃幕墙工程技术规范》 JGJ 102

《金属与石材幕墙工程技术规范》 JGJ 133

《人造板材幕墙工程技术规范》 JGJ 336

《采光顶与金属屋面技术规程》 JGJ 255

《建筑玻璃应用技术规程》 JGJ 113

《铝合金门窗工程技术规范》 JGJ 214

《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》 JGJ 134

《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145

《建筑用隔热铝合金型材》 JG 175

《民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范》 JGJ 203

《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》 JG/T 151

《索结构技术规程》 JGJ 257

《玻璃幕墙工程质量检验标准》 JGJ/T 139

《太阳能光伏玻璃幕墙电气设计规范》 JGJ/T 365

《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》 JGJ/T 423

《建筑防护栏杆技术标准》 JGJ/T 470

《建筑玻璃采光顶技术要求》 JG/T 231

《建筑门窗五金件传动机构用执手》 JG/T 124

《建筑门窗五金件 合页（铰链）》 JG/T 125

《建筑门窗五金件传动锁闭器》 JG/T 126

《建筑门窗五金件滑撑》 JG/T 127

《建筑门窗五金件撑挡》 JG/T 128

《建筑门窗五金件 单点锁闭器》 JG/T 130

《建筑玻璃点支承装置》 JG/T 138

《吊挂式玻璃幕墙用吊夹》 JG/T 139

《建筑结构用冷弯矩形钢管》 JG/T 178

《建筑门窗五金件 旋压执手》 JG/T 213

《建筑门窗五金件 插销》 JG/T 214

《建筑门窗五金件 多点锁闭器》 JG/T 215

《建筑幕墙用瓷板》 JG/T 217

《建筑幕墙用陶板》 JG/T 324

《建筑装饰用搪瓷钢板》 JG/T 234

《建筑装饰用石材蜂窝复合板》 JG/T 328

《建筑幕墙用氟碳铝单板制品》 JG/T 331

《建筑用钛锌合金饰面复合板》 JG/T 339

《建筑外墙用铝蜂窝复合板》 JG/T 334

《建筑玻璃用隔热涂料》 JG/T 338

《建筑门窗及幕墙用玻璃术语》 JG/T 354

《建筑结构用冷弯薄壁型钢》 JG/T 380

《建筑门窗复合密封条》 JG/T 386

《建筑用钢质拉杆构件》 JG/T 389

《外墙用非承重纤维增强水泥板》 JG/T 396

《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》 JG/T 455

《建筑幕墙用硅酮结构密封胶》 JG/T 475

《建筑用槽式预埋组件》 JG/T 560

《干挂饰面石材及其金属挂件》 JC 830.1～JC 830.2

《干挂石材幕墙用环氧胶粘剂》 JC 887

《天然大理石荒料》 JC/T 202

《天然花岗石荒料》 JC/T 204

《建筑窗用弹性密封胶》 JC/T 485

《建筑装饰用微晶玻璃》 JC/T 872

《幕墙玻璃接缝用密封胶》JC/T 882

《中空玻璃用丁基热熔密封胶》JC/T 914

《玻璃纤维增强水泥（GRC）装饰制品》JC/T 940

《建筑装饰用天然石材防护剂》JC/T 973

《釉面钢化及釉面半钢化玻璃》JC/T 1006

《超薄天然石材型复合板》JC/T 1049

《玻璃纤维增强水泥外墙板》JC/T 1057

《真空玻璃》JC/T 1079

《纤维增强水泥外墙装饰挂板》JC/T 2085

《超白浮法玻璃》JC/T 2128

《铝波纹芯复合铝板》JC/T 2187

《铝幕墙板板基》YS/T 429.1

《铝幕墙板氟碳喷漆铝单板》YS/T 429.2

《不锈钢拉索》YB/T 4294

《不锈钢热轧钢带》YB/T 5090

《居住建筑节能设计标准》DB 33/1015

《公共建筑节能设计标准》DB 33/1038

《建筑门窗应用技术规程》DB 33/1064

《建筑施工安全管理规范》DB 33/1116

《建筑工程施工质量验收检查用表统一标准》DB 33/T 1192

浙江省工程建设标准

建筑幕墙工程技术标准

DB 33/T XXXX-202X

条 文 说 明

目 次

1 总 则	254
2 术语、符号	255
2.1 术语	255
3 材 料	257
3.1 一般规定	257
3.2 铝合金材料	258
3.3 钢材	258
3.5 石材	259
3.6 金属板材	259
3.7 人造板材	259
3.8 连接件与紧固件	259
3.9 结构胶和密封材料	260
3.10 其它材料	260
4 建筑设计	262
4.1 一般规定	262
4.2 性能设计	263
4.3 构造设计	265
4.4 开启窗设计	266
4.5 热工设计	267
4.6 防火设计	267
4.7 防雷设计	270
5 结构设计	272
5.1 一般规定	272
5.2 荷载与地震作用	273
5.3 作用效应组合与计算	274
5.4 连接设计	276
5.5 硅酮结构密封胶设计	277
6 面板设计	281
6.1 一般规定	281
6.2 玻璃面板	281

6.3	金属面板.....	285
6.4	石材面板.....	288
6.5	人造面板.....	289
7	构件式幕墙	293
7.1	一般规定.....	293
7.2	构造设计.....	293
7.3	横梁结构设计	294
7.4	立柱结构设计	295
7.5	连接设计.....	298
8	单元式幕墙	301
8.2	构造设计	301
8.3	结构设计.....	302
8.4	连接设计.....	302
9	双层幕墙	304
9.1	一般规定.....	304
9.2	构造设计	304
9.3	结构设计.....	305
10	全玻璃幕墙	309
10.3	结构设计.....	309
10.4	连接设计.....	315
11	点支承玻璃幕墙	316
11.1	一般规定.....	316
11.2	构造设计.....	316
11.3	结构设计.....	316
11.4	连接设计.....	321
12	采光顶、雨篷与金属屋面	322
12.2	构造设计.....	322
15	加工制作	323
15.1	一般规定.....	323
15.3	钢构件	323
15.4	玻璃.....	323
15.5	石材面板.....	323
15.6	金属面板.....	324

15.8	构件组装.....	324
16	安装施工	326
16.1	一般规定.....	326
16.2	构件式幕墙	326
16.3	单元式幕墙	329
16.4	全玻璃幕墙	329
16.5	点支承玻璃幕墙.....	329
16.6	光伏幕墙.....	330
16.7	采光顶与金属屋面	330
16.8	安全规定.....	330
17	检验与检测	331
17.1	一般规定.....	331
17.2	材料检验.....	331
17.3	性能检测.....	331
17.4	现场检测与试验.....	333
18	工程验收	334
18.1	一般规定.....	334
19	维护保养	335
19.1	一般规定.....	335
19.2	检查与维护.....	335
附录 A	平板式预埋件设计与构造.....	337
附录 B	槽式预埋件设计与构造.....	345
附录 E	双层幕墙热工计算	346
附录 G	隔热型材.....	348

1 总 则

1.0.1 近年来,浙江省建筑幕墙行业得到了飞速发展,建筑幕墙建造量已位居国内前列,但尚未制订适合本省特点的建筑幕墙工程技术标准,执行现有国家及行业规范。但现有的行业规范已近二十年未修编,部分条款严重滞后,同时随着各种新材料的研制与生产,如瓷板、陶板、微晶玻璃板、石材蜂窝板、纤维水泥板等人造板材,由于其轻质和独特的装饰效果,也得到了广泛应用,颁布实施了部分产品标准,但缺乏相应的工程技术规范。

在现行有关建筑幕墙国家标准和行业标准的基础上,结合浙江省幕墙行业科研成果和工程经验,进行了一定的试验和理论分析,参考了国际上现有先进标准和规范的基础上,编制了本标准,在我省是首次编写。

1.0.2 本条规定了本标准所适用的建筑幕墙的使用高度。超出规定高度使用时,应进行专项论证。

本标准不适用于有防腐蚀、防高温、防辐射、防爆炸等特殊要求的建筑所使用的幕墙。既有建筑幕墙改造可按本标准相应的条款执行。

1.0.3 建筑幕墙属于建筑外围护结构,幕墙构造系统是可以拆卸替换的,根据现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的规定,属于易于替换的结构构件,其设计使用年限为 25 年,但在幕墙结构计算时应按设计基准期为 50 年的规定取值。

1.0.5 单元式幕墙具备工厂化生产程度高、生产速度快、产品质量可控等优点,可极大减少工地现场的劳动力,值得推广应用。高度超过 200m 的建筑采用幕墙时,构件式幕墙已无法满足工程进度、施工工序和安全管理的要求,只有采用在工厂内生产加工成单元板块到现场吊装才满足超高层建筑的幕墙施工要求。

随着建筑工业化的推进,装配式建筑日益增多,预制外挂墙板系统构造及性能与单元式幕墙相类似,是与装配式建筑配套的最佳切入点。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.3 根据幕墙自身平面和水平面的夹角大小可分为垂直玻璃幕墙、斜玻璃幕墙和玻璃采光顶等。这种划分并无严格标准,根据与现行行业标准《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113 的协调意见,本标准的应用范围主要是垂直玻璃幕墙以及与水平面夹角大于等于 75° 且小于 90° 之间的斜玻璃幕墙,与水平面夹角在 0° 和 75° 之间的各种玻璃幕墙(包括一般意义上的采光顶)属于行业标准《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113 的管理范围。

2.1.11 双层幕墙的构造形式有多种,外层必须采用幕墙系统,内层可采用幕墙或采用门窗系统。具体分类可按 GB/T 34327《建筑幕墙术语》的规定。

2.1.15 玻璃幕墙是最为常用的建筑幕墙,通常分为明框、隐框、半隐框三种形式。有些建筑为了立面效果采用玻璃幕墙,而根据文件规定,部分建筑不得采用玻璃幕墙,为取得玻璃幕墙的类似效果,就选用带形窗(横向或竖向通长的窗),尤其是横向带形窗与层间幕墙相似。在 GB/T 34327《建筑幕墙术语》规定了层间幕墙、窗式幕墙的定义。为便于设计选用,规定层间玻璃幕墙与带形窗的区别在于:层间玻璃幕墙是自身构造具有横向连续性的框支承玻璃幕墙,立柱采用悬挂或自承重方式与主体连接。带形窗是自身构造不具有横向连续性的单体窗,通过拼樘构件连接而成的横向或竖向组合窗,窗框与洞口有密集约束,拼樘构件与主体固定,通常玻璃是嵌在槽口里,用压线固定玻璃。

隐框、半隐框幕墙的玻璃面板采用硅酮结构密封胶与附框或框架连接而成,硅酮结构密封胶应按本标准第 5.5 节的规定进行计算。如采用对边简支的形式,也可不加附框直接在板缝处密封。在隐框幕墙玻璃面板外侧附加的构件不足以承受荷载时,仅作为装饰构件,系统构造还是属于隐框体系。

2.1.27~2.1.30 毛截面是指不考虑截面中局部孔洞的削弱影响,不扣除孔洞的截面面积,也叫总体截面。构件的变形和稳定系数与构件的总体截面、长度和边界条件有关,局部截面削弱对其影响不大,为了简化计算,在构件的变形和稳定系数计算时使用。

净截面是指总体截面(毛截面)扣除截面中局部孔洞的截面,表示构件的实际最小受力截面,构件受拉时全截面受力,没有局部屈曲问题,所以在受拉承载力计算时使用。

宽厚比或高厚比较大的薄壁构件受压时会发生局部屈曲,不能全截面有效受力,认为其中的一部分截面(有效截面)可像普通构件那样来完全受力,而其他的部分不承受荷载。有效截面是构件屈曲后承受荷载,但不扣除局部孔洞的截面,在构件稳定性计算时使用。

有效净截面指有效截面扣除有效截面范围内的局部孔洞的截面,在构件受压承载力计算时使用。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 幕墙所用材料应符合相关现行国家和行业标准。为了保证幕墙安全和性能，幕墙材料出厂时，必须有产品出厂合格证、质量保证书及相关性能检测报告等。选用的材料尺寸，除特别注明外，均为公称尺寸，尺寸允许偏差应符合产品标准规定的允许偏差范围，当设计有特殊要求时，还应符合设计规定。采用国外同类产品标准或生产厂商的企业标准作为产品质量控制依据时，不应低于相应现行国家标准并符合设计规定。尚无相应标准的材料应符合设计要求，并有出厂合格证、质量保证书及检测报告等，应按规定组织专家论证，完善相关产品标准和施工技术规程。

3.1.2 幕墙材料应选用耐气候性材料。除不锈钢外，钢材的外露表面应进行表面热浸镀锌处理、无机富锌涂料处理或采取其他有效的防腐措施；铝合金材料应进行表面阳极氧化、电泳涂漆、喷粉或喷漆处理。人造板材的物理和化学性能应符合幕墙所在地的气候、环境以及幕墙设计使用年限等要求。

3.1.3 幕墙工程的加工制作、安装施工过程中存在火灾隐患，在使用过程中，幕墙应具有防止或阻止火灾扩大的能力，因此，幕墙系统的主要材料如面板、支承结构、连接件和保温材料应采用不燃材料。幕墙设计选材时，材料的燃烧性能应符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定。尽管如此，幕墙系统中有少量辅助材料还是不防火的，如双面胶带、填充棒等，因此，安装施工时应引起注意，并采取防火措施。

根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 第 6.7.12 的规定：建筑外墙的装饰层应采用燃烧性能为 A 级的材料，但建筑高度不大于 50m 时，可采用 B1 级材料。

3.1.4 由于硅酮结构密封胶是隐框和半隐框幕墙的主要受力材料，如使用过期产品，会因结构胶性能下降导致粘结强度降低，产生很大的安全隐患。硅酮建筑密封胶是幕墙系统密封性能的有效保证，过期产品的耐候性能和伸缩性能下降，表面易产生裂纹，影响密封性能。因此，硅酮结构密封胶和硅酮建筑密封胶必须在有效期内使用。

结构密封胶和建筑（耐候）密封胶是按不同的标准进行生产的两种产品，结构密封胶偏重于力学性能要求，建筑（耐候）密封胶偏重于耐候性能和变位承载能力要求，用途和性能差异较大，因此，结构密封胶和建筑（耐候）密封胶不能互相替换。

3.2 铝合金材料

3.2.4 为提高幕墙的热工性能，采用隔热条与铝合金型材组合而成的隔热组合型材，在幕墙工程中，尤其是明框幕墙工程中得到了广泛应用。后置式隔热条可采用聚酰胺、氯丁橡胶、硅橡胶、三元乙丙橡胶等制品，不得采用 PVC 制品。如果后置式隔热条所用材料的线膨胀系数与铝合金差异太大，在产生温度变化时，因隔热条的伸缩量与铝合金不一致，固定在内

侧铝合金型材上的螺钉会承受来自隔热条的反复侧向抗扭力，时间一长螺钉将会松动或折断，隔热条的有效截面厚度太小对型材的热工改善有限，规定不小于 8mm。内外型材之间应采用螺栓或螺钉连接，不得采用自攻螺钉。明框玻璃幕墙后置式隔热条和外侧用压板应当连续设置，不得采用分段固定方式。考虑到单块玻璃的更换，压板应按单块玻璃的尺寸连续通长固定。

3.3 钢 材

3.3.3 建筑幕墙用不锈钢材料通常采用奥氏体不锈钢，目前双相不锈钢在国内外工程中已有大量应用，抗腐蚀能力要比奥氏体不锈钢好。相关资料表明，决定不锈钢耐腐性能的元素是铬钼，镍在不锈钢中的作用是为了获得常温下的奥氏体化组织，所以提出镍铬总含量的要求，不再以镍含量为单一指标要求。暴露于室外或处于高腐蚀环境的不锈钢承重构件(包括背栓)的镍铬总含量不小于 26%，镍含量为 10%~14%，非外露的不锈钢构件的镍铬总含量不小于 25%，镍含量为 8%~11%。原浙建(2013)2 号文件第 4.5 的规定按该条款执行。

3.3.5 耐候钢具有较好的耐腐蚀性能，对耐腐蚀有特殊要求或腐蚀性环境中幕墙结构用应优先采用耐候钢或高耐候钢，如开放式幕墙、屋顶外露幕墙、近海边地区及腐蚀性环境使用的幕墙所采用的钢材。因自身有良好的耐候性能，表面不需要做任何处理，可减少热浸镀锌所造成对环境的影响。

3.3.6 根据现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 附录 D 的规定：严禁对包含有封闭内腔的制件进行热浸镀锌，除非在封闭内腔上适当开孔，以防止封闭内腔内的空气受热后压力增加产生爆炸。根据该规定闭口型材内侧宜采用热浸镀锌，镀层厚度可不作要求。当采用其他防腐处理时，闭口型材内侧也宜进行防腐处理或采用端部封闭。

3.5 石 材

3.5.2 本条规定了石材面板的最小厚度及吸水率的要求。因石材加工厚度负偏差较多，应满足产品标准所规定的允许偏差。在强度计算时，应考虑负偏差对结果的影响。石材板火烧后在板材的表面出现了细小的不均匀麻坑，因而影响了厚度，也影响强度，粗面石材板至少应比光面石材板厚 3mm，在计算粗面石材板时厚度应减 3mm 进行计算。有特殊加工要求的面板应按最薄部位厚度计算。

花岗岩的自重不小于 25.6KN/m^3 ，根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，在结构计算时应取 28.0KN/m^3 。

目前大理石、砂岩等石材在幕墙工程应用也较多，因其强度较弱，需提高板的厚度，同时应在板背做增强处理。

3.6 金属板材

3.6.5~3.6.6 铝塑复合板及铝蜂窝复合板的等效截面模量和等效弯曲刚度可按照现行行业标准《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ 255 第 5.2.5 和第 5.2.6 条的规定。面板的折算厚度，铝塑复合板可取板厚的 0.8 倍，铝蜂窝复合板可取板厚的 0.6 倍。

3.7 人造板材

3.7.6 陶板、微晶玻璃的抗弯、抗剪强度设计值计算公式中的材料性能分项系数是根据 JGJ 336 第 5.2.5 条文说明引用的，从 JGJ 336 表 5.2.5 可看出，抗弯强度设计值与抗剪强度设计值是 5 倍的对应关系。

3.8 连接件与紧固件

3.8.2 幕墙与建筑主体结构之间的连接件，传统上采用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢或不锈钢制作。铝合金支承构件之间的连接件，一般采用铝合金型材制作。由于铝合金型材尺寸精度高，近年来，采用铝合金型材作为幕墙与建筑主体结构之间的连接件，在单元式幕墙中也得到了广泛使用。

在进行幕墙与建筑主体结构或支承结构之间的连接件设计时，要综合考虑连接件的最小承载能力、截面局部稳定、耐久性（耐腐蚀性能）要求，选用适宜的材质和表面处理方法。

采用其他材质连接件（如铸钢件）时，材质和表面处理则应符合相关现行标准的规定。

3.8.6 背栓在石材幕墙和人造板材幕墙工程中得到了广泛应用，至今为止，尚无背栓产品的国家标准或行业标准。现行国家标准《干挂石材用金属挂件》GB/T 32839 第 6.1.4 条规定：“背栓的直径应经计算确定，背栓用于室外装饰时最小直径不小于 8.0mm……”与现行行业标准《干挂饰面石材及其金属挂件 第 2 部分：金属挂件》JC 830.2 第 6.1.4 条规定：“背栓用于室外装饰时最小直径不小于 4.0mm……”相矛盾，编制组经过调研并参考我省大量背栓式干挂石材幕墙工程实践经验，为了节约资源，特规定：背栓的直径应经计算确定，且其最小直径不应小于 6.0mm。

3.9 结构胶和密封材料

3.9.4 酸性硅酮密封胶固化时放出醋酸，对金属材料、镀膜玻璃和夹层玻璃有一定的腐蚀性，并可能与中性的硅酮结构密封胶中的碳酸钙起反应，使其性能下降，使用时必须注意。

3.9.10 幕墙用胶条，应当具有耐紫外线、耐老化、耐污染、弹性好、永久变形小等特性。如果不对胶条的材质进行控制，会出现老化开裂甚至脱落等严重问题，影响幕墙的气密性能和水密性能。应对胶条的材质进行控制，并符合现行国家标准《建筑门窗、幕墙用密封胶条》

GB/T 24498 的规定。

开启窗框扇之间应采用三元乙丙橡胶或硅橡胶密封条制品密封，邵氏硬度宜不大于 50，还要采取适当措施，保证胶条的连续性，以免接头位置脱开，降低幕墙的气密性能和水密性能。

3.10 其它材料

3.10.7 幕墙防火封堵材料应确保在明火高温状态下不发生开裂、变形，不产生有毒有害物质。保温用岩棉、玻璃纤维棉不得作为防火封堵填充材料，虽然是一种不燃烧材料，但它在明火高温状态下会收缩变形为玻璃团，不能作防火封堵材料。

防火棉与普通岩棉原料配方、生产工艺、耐火极限均不同，在选用是不得混用。据资料显示，防火棉一般颜色较深，具有极高的热稳定性和显著的高温收缩能力，其熔点大于 1150° C，耐火极限最高可达到 4 小时，可以确保遇火高温状态下的纤维结构稳定性。

4 建筑设计

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.2 强调在建筑设计方案阶段对幕墙类型、面板材料、使用位置等均应统一考虑，防止发生幕墙玻璃、石材或其他材料坠落伤害事故。由于建筑出入口人流较多，为避免幕墙面板破裂坠落而导致发生意外事故，规定在出入口上方应设置有效的水平遮挡措施。部分出入口仅限于特定人员进出，人流量少，可根据建筑设计要求或不设置。当出入口部位低于二层时，如果不设置水平遮挡，可采取有效的技术措施确保出入口上方的幕墙面板材料不会破碎或破碎后不立即坠落，如采用夹层玻璃、金属板材、花岗岩加背网等。

参考国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016-2014 的第 5.5.7 条的规定，水平遮挡的防护挑檐挑出宽度应不小于 1.0m。

4.1.5 有些项目因建筑构造要求需设置变形缝，为确保立面效果幕墙面板不会在该位置断开，为满足变形要求，应在变形缝两侧设置独立不连续或可吸收变形的幕墙支承结构，变形缝对应位置的幕墙面板材料或构造应满足变形量的要求，也可根据建筑效果的需要错开设置，交接处应做好防水构造措施。

4.1.6 根据我省的气候条件，结合《建筑遮阳工程技术规范》JGJ 227、浙江省《民用建筑绿色设计标准》第 6.5.2 规定：宜对夏季遮阳和冬季阳光利用进行综合分析；主要使用空间的东、西向外窗可设置活动外遮阳，南向外窗可设置水平外遮阳，天窗应设置活动遮阳设施。西向和南向宜选用遮阳性能较好的玻璃。

遮阳技术对改善玻璃幕墙建筑的热工性能有重要意义。从各种型式的遮阳方式中选择与玻璃幕墙相匹配的装置，使建筑立面显得生动与变幻，增进室内舒适感，不同程度上减少反射光影响，改善环境效果，但在设计阶段应重视遮阳装置的安全可靠性。

4.1.7 本条是强调幕墙用玻璃对可见光反射的要求。有节能要求的玻璃幕墙其外片玻璃均使用镀膜玻璃，会产生可见光反射。通过控制玻璃可见光的反射比可降低对周围建筑及道路产生有害反射光的影响，常规玻璃幕墙应选用可见光反射比不大于 0.30 的玻璃面板，在城市快速路、主干道、立交桥、高架桥两侧的建筑物 20m 以下、一般道路 10m 以下及在 T 形路口正对直线路段处设置玻璃幕墙时，应采用可见光反射比不大于 0.16 的玻璃。

除玻璃外，金属板材表面不同处理方式也会产生可见光反射，在设计选材时应考虑其影响。

并非所有玻璃幕墙都会产生有害反射光的影响，如外片玻璃采用透明超白玻璃、磨砂玻璃、彩釉玻璃等，可根据产品可见光反射比的检测结果选用。

4.2 性能设计

4.2.1 幕墙的抗风压性能指标值应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规

定,根据幕墙所在位置(墙面或墙角边)计算确定,抗风压性能等级应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。

有关试验证明,与封闭式建筑幕墙比较,开放式幕墙承受的风荷载较低。但是,由于受到立面形状、板缝构造形式(对接、搭接)、开缝宽度尺寸、单位面积上缝长、以及试验数据较少等各种因素的影响,目前尚无法给定统一的折减系数。在进行幕墙设计时,可根据工程实际情况,通过风洞模型试验确定折减系数。近年来,国内外开展了数值风洞模拟计算研究并在工程设计中得到了应用,也可用于确定开放式幕墙的风荷载折减系数。当无法确定风荷载折减系数时,开放式幕墙的抗风压性能指标值应按照本条第 1 款的规定确定。

建筑高度较高、体型不规则或风环境复杂的幕墙结构,按本标准 4.2.1 条第 1 款难以确定风荷载标准值时,应采用风洞试验或数值风洞方法确定。幕墙高度大于 200m 时应进行风洞试验,对用风洞试验或数值风洞方法所得结果应分析、比较和判断,并取最大值进行幕墙计算。

4.2.2 封闭式幕墙应进行水密性能设计,幕墙的水密性能与建筑物的重要性、使用功能、建筑物所在地的气候条件以及幕墙的使用寿命和功能直接有关。

公式中的系数 1000 为 kN/m^2 和 Pa 的换算系数。由于雨水渗漏与幕墙所受的正风压有关,所以局部风压体型系数取值为 1.2 (外表面+1.0,内表面-0.2),墙角边的负风压不予考虑。

在沿海受热带风暴和台风袭击的地区,即现行国家标准《建筑气候区划标准》GB 50178 中的 IIIA 区和 IVA 区,浙江省部分地区属 IIIA 区,易有大风暴雨天气,并且风雨同时作用,幕墙的水密性能指标值,应按照本条的公式计算确定。其他地区可按照本条公式计算值的 75% 进行设计。

根据多年来幕墙物理性能检测报告统计,常规幕墙水密性能检测均达到 3 级以上,所以提出应不低于现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 中规定的 3 级的要求。

4.2.3 建筑幕墙的气密性与建筑节能相关,依据现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 第 3.3.6 条及省标 DB33/1036 第 4.1.9 条规定而提出,应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 中第 5.1.3 条规定且不应低于 3 级。

4.2.4 浙江省行政区域现已全部设防,幕墙应按抗震要求设计。在地震作用下,主体结构会产生一定的变形,支承在主体结构之上的幕墙,也会随之变形,因此,要求幕墙必须具有适应主体结构变形的能力。

建筑幕墙属于非结构构件(非建筑主体结构构件)。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定,幕墙水平地震作用标准值可按等效侧力法计算,计算方法见本标准第 5.2.4 条。

层间位移角值应由主体设计提供,无特殊要求时可按结构设计规范取用。

根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 表 5.5.1 的规定和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 2 的规定,抗震设计幕墙的平面内变形性能,可按表 1 规

定的主体结构楼层最大弹性层间位移角的 3 倍作为控制指标值。

表 1 幕墙的平面内变形性能

结构类型		建筑高度 H/m		
		$H \leq 150$	$150 < H \leq 250$	$H > 250$
钢筋混凝土结构	框架	1/550	—	—
	板柱-剪力墙	1/800	—	—
	框架-剪力墙、框架-核心筒	1/800	线性插值	—
	筒中筒	1/1 000	线性插值	1/500
	剪力墙	1/1 000	线性插值	—
	框支层	1/1 000	—	—
多、高层钢结构		1/250		

注 1 表中弹性层间位移角 $= \Delta / h$ ， Δ 为最大弹性层间位移量， h 为层高；

2 钢管混凝土、钢骨混凝土、型钢混凝土等其他结构应按照相关的结构设计规范取值。

钢管混凝土、钢骨混凝土、型钢混凝土等其他结构的最大弹性层间位移量，可按照现行行业标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159、《钢骨混凝土结构技术规程》YB 9082、《组合结构设计规范》JGJ 138 等相关的结构设计规范取值，并经主体结构设计认可。

层间变形性能分级及检测方法按现行国家标准《建筑幕墙层间变形性能分级及检测方法》GB/T 18250 的规定，对幕墙层间变形提出了三个方向的要求，而现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 规定的平面内变形性能仅对平面内 X 方向的变形提出要求，两者不相矛盾，对异性幕墙应考虑层间变形性能。

4.2.5 本条是根据现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 及省标 DB 33/1038 对于围护结构的传热系数的强制性条文要求，性能分级指标应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定，性能指标应与建筑节能设计要求一致。

在现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 第 4.2.2 条强制性条文的条文说明中指出：“对于非透明幕墙，如金属幕墙、石材幕墙等幕墙，没有透明玻璃幕墙所要求的自然采光、视觉通透等功能要求，从节能的角度考虑，因该作为实墙对待。此类幕墙采取保温措施也较容易实现”。由此可见，GB 50189 第 4.2.2 条中是对“包括非透明幕墙的外墙”的传热系数要求，而并非是对非透明幕墙的单独要求。如瓷板、微晶玻璃板、纤维水泥板、石材铝蜂窝板等封闭式幕墙本身不可能达到实体墙的建筑热工性能。开放式幕墙的面板主要是起到建筑的夏季遮阳隔热作用，对墙体的冬季保温隔热作用不大，考虑墙体的总传热系数时可忽略不计。

根据现行国家标准《建筑幕墙术语》GB/T 34327 的规定，幕墙可分为透光和非透光两类，透光幕墙包括透明和非透明幕墙，为了与现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的术语对应，本标准还是采用非透明幕墙和透明幕墙表述。

4.2.6 幕墙的空气声隔声性能应根据建筑的使用功能和环境条件进行设计。不同功能的建筑

所允许的噪声等级可根据现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的规定确定，而建筑设计一般不会提出该设计指标，所以在幕墙设计时应与建筑设计商定取得一致意见。

4.3 构造设计

4.3.6 开放式幕墙没有水密性能要求，其中开缝式幕墙板缝不做防水密封，允许雨水流入面板背部空间；遮挡式幕墙板缝，潮湿气流和少量被风带入或渗入的雨水，都会形成幕墙面板后部的潮湿空间。为了保证幕墙的耐久性，防止雨水侵蚀幕墙构件、主体结构和保温层，应设置防水层构造及可靠的导排水系统，并加强面板后部空间的通风除湿能力。

防水层构造可设置在幕墙系统中，也可设置在建筑主体墙面上。防水层可采用铝板、热镀锌钢板或其他耐候防水材料进行防水隔离，但无论那种方式，其内部支承金属结构均需要有防腐措施，保证其耐久性。幕墙框架最好选用铝合金型材或耐候钢，当选用普通钢材时应加强防腐措施，尤其是焊缝部位的防腐。

4.3.10 为防止双金属腐蚀，幕墙中不同种类金属材料的直接接触处应加绝缘垫片隔离，可采用耐热的环氧树脂玻璃纤维布、尼龙 12、橡胶垫片等。

4.4 开启窗设计

4.4.1~4.4.2 幕墙开启扇的数量、大小，应满足建筑使用功能、通风、排烟等要求，开启扇经常处于开启状态，更容易污染、积尘，影响整体装饰效果。如果幕墙立面上可开启的面积过大，一定程度上会增加空调能耗和雨水渗入的可能性，而单扇尺度过大，阻碍启闭，更易引发安全问题。开启扇的开启角度或开启距离过大，将会导致启闭不方便，增加使用中的不安全因数。

开启窗常用的有上悬、平推、平开、下悬等方式，上悬窗是常用的开启方式，考虑到推拉窗物理性能指标较差、平推窗启闭困难、下悬外开易坠落的因素，不推荐使用。当采用挂钩式上悬窗时，应考虑横梁增加开窗自重的变形、横梁安装的误差、挂钩搭接量等因素，应有防止脱钩的限位构造。

除上悬窗外，其它形式的开启窗应增设当铰链和锁具失效时防止开启扇坠落的其它附加构造措施。隐框开启扇底部必须加托板，托板与窗扇应牢固连接，不得采用铆钉固定。当上悬窗面积大于 1.5m^2 或高度大于 100m 时，隐框开启窗扇玻璃不应采用全隐框形式，应在底部设置通长的明框托条，并增加防坠落构造措施。

4.4.3~4.4.4 开启窗窗框与幕墙框架的结合采用搭接构造形式，可有效防止雨水渗漏。玻璃槽口部位型材应与窗框一体，开启窗框前端转折嵌入幕墙框架前端是一种较好的防渗漏连接方式，该部位可作为辅助用型材，壁厚可适当减薄。

玻璃幕墙中开启窗是日常使用最频繁的部位，而且开启窗的尺寸偏大，增大窗的承载力和荷载，为确保开启窗的承载能力，所以规定型材壁厚应不小于 2mm。但是与窗框、窗扇

连为一体、不在主受力部位的辅助构造型材的壁厚可适当减薄。

玻璃幕墙的水密性直接关系到幕墙的使用功能和耐久性,开启扇是整个玻璃幕墙水密性最薄弱的部位。缝隙内外气压差是雨水渗漏的主要动力,因此要求窗框下槛内外高差不小于 50mm,并设置泄水孔。

4.5 热工设计

4.5.2 随着建筑节能要求的提供,玻璃幕墙采用中空 Low-E 玻璃是最常用的。Low-E 玻璃又称低辐射玻璃 (LowEmissivityGlass),是在玻璃表面镀上多层金属或其他化合物组成的膜系产品。Low-E 膜的主要功能层是银层,银是自然界中辐射率最低的物质之一,在玻璃表面上镀纳米级别的银层,可以使玻璃的辐射率从 0.84 降低至 0.02~0.12,从而将太阳光过滤成冷光源。其镀膜层具有对可见光高透过及对中远红外线高反射的特性,从而将太阳光过滤成冷光源,既满足自然采光要求,又能保证舒适的室温。为满足玻璃热工性能的要求,目前已生产双银和三银 Low-E 玻璃,一般的 Low-E 玻璃只含有一层纯银层(功能层),即所谓的单银 Low-E 玻璃。双银玻璃的膜层总数达到 9 层以上,其中含有两层纯银层;三银 Low-E 玻璃一共含有 13 层以上的膜层,其中包含三层纯银层。与单银 Low-E 玻璃相比,虽然双银、三银 Low-E 玻璃的加工工艺要求更高,但是其节能性大大优于单银 Low-E 玻璃,在相同可见光透过率条件下对比,双银和单银 Low-E 的 K 值相差约 0.1 ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$),同时还可以有效改善玻璃的遮阳系数,在相同可见光透过率条件下对比,双银和单银的遮阳系数 Sc 值相差 0.11~0.27 不等,适合于窗墙比大,遮阳系数要求小的部位。

4.5.4 为满足热工性能,明框玻璃幕墙用铝合金型材应有断热构造,常用是隔热型材或后置隔热条。隔热型材又分为穿条和注胶两种。

4.6 防火设计

4.6.1 现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 对建筑幕墙的防火有强制性条文规定,幕墙设计必须严格执行。

4.6.2 幕墙防火封堵的承托板或支承构架应与主体结构牢固连接。当发生火灾时,玻璃几分钟就碎裂,铝合金型材融化。为了延缓火灾蔓延,幕墙的防火封堵构造应与主体结构牢固连接。

常规幕墙的横梁距离结构梁外侧小于 200mm,梁底防火层承托钢板一端固定在结构梁上,另一端放置在幕墙横梁上,不宜与幕墙横梁固定。当幕墙横梁与结构梁距离大于 300mm 时,应采用与主体结构固定的独立钢架来支承防火构件。

幕墙防火封堵材料须在明火高温状态下不发生开裂、变形,不产生有毒有害物质。玻璃纤维棉是一种不燃烧材料,但在明火高温状态下会收缩变形为玻璃团,不能作防火封堵材料。一般采用防火岩棉封堵,密度不应小于 $100\text{Kg}/\text{m}^3$,并填充密实。

4.6.3 本条是根据 GB 50016-2014 第 6.2.5、6.2.6 条强制性条文的要求规定了各类幕墙的防火构造要求。建筑幕墙采用玻璃、金属板材、人造板材等面板材料制作，本身不具备防火能力。当幕墙受到火烧或受热时，易产生破碎或变形，因此，必须采取措施，防止幕墙大面积破碎、脱落，造成火势在水平和竖直方向蔓延而酿成火灾。

防火封堵是目前幕墙设计中应用比较广泛而又行之有效的防火、隔烟方法。该方法通过在幕墙与周边防火分隔构件间的缝隙、与楼板或隔墙外沿间的缝隙、与实体墙面洞口边缘间的缝隙间填塞防火封堵材料，防止火焰和高温烟气、有毒气体在建筑内部扩散。防火、防烟封堵设置部位和构造，应能有效地分离出相对独立的局部空间。幕墙与室内空间无实体墙分隔时，应分层封堵，每层要设置两道；幕墙与室内空间有实体墙分隔时，除了封堵门窗洞口以及实体墙周边之外，为了防止烟火竖向蔓延，一般应分层封堵，设置一道水平封堵，并且与实体墙周边的封堵紧密连接，形成相对独立的局部空间；对于幕墙上可能造成烟火竖向蔓延通道的大截面空心装饰线条，宜分层封堵，防止产生“烟囱效应”，串烟串火。

由于岩棉或矿棉比较松散，因此，采用岩棉或矿棉进行防火、防烟封堵时，应加以承托或封修。承托板或封修板应采用耐火极限符合要求的板材，并应具有一定的强度和刚度，防止在火焰或高温作用下变形、脱落。一般情况下，工程中可采用经防腐处理、厚度不小于 1.5mm 的热浸镀锌钢板制作，不得采用单层铝板、铝复合板等作为承托板。

为确保层间防火构造在火焰或高温作用下不脱落，当梁底处防火封堵构造系统悬挑长度小于 300mm 时，下层防火封堵构造应与主体结构可靠固定后放置在幕墙横梁上，不宜与横梁固定；当梁底处防火封堵构造系统悬挑长度大于 300mm 时，应采用与主体结构固定的独立钢架来支承防火构件。

近年来，采用防火玻璃和不燃无机复合板作为防火封堵材料在工程中得到广泛应用。防火玻璃应符合现行国家标准《建筑用安全玻璃第 1 部分：防火玻璃》GB 15762.1 的规定，截面厚度不宜小于 6mm，玻璃的耐火性能（A 类或 C 类）和耐火极限应符合设计要求，可用于通透玻璃幕墙如全玻璃幕墙、点支承玻璃幕墙的层间封堵。

不燃无机复合板应采用符合现行行业标准《不燃无机复合板》GA 160 中规定的玻镁板、纤维增强水泥板或硅钙板。考虑到防火封堵层的使用环境，板材的名义密度应符合外墙板的要求，防火隔断层的截面总厚度最小尺寸限值，可根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 附录的规定选用。

除层间设置防火层外，平面内防火隔离也是重点部位。为了避免两个防火分区因玻璃破碎而相通，造成火势迅速蔓延，规定同一玻璃板块不应跨越两个防火分区。根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 第 6.1.3 的规定，紧靠防火墙两侧的门、窗洞口之间最近边缘的水平距离不应小于 2m；但装有固定窗扇或火灾时可自动关闭的乙级防火窗时，该距离可不限。普通玻璃幕墙达不到乙级防火窗的要求，所以当防火墙两侧没有 2m 墙体时，防火墙左右 2m 范围内的玻璃应使用防火玻璃，防火玻璃及框架系统应能达到乙级防火窗的要

求,即耐火极限不低于 1.0h。此外,位于建筑内转角处且不为同一防火分区的两侧建筑幕墙,在距转角处水平距离 4.0m 范围内的建筑幕墙的耐火极限不应低于相应耐火等级建筑外墙的要求。

4.6.6 当消防救援口设置在幕墙面板上时,根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 第 7.2.5 条的规定,救援窗口的玻璃应易于破碎,为避免玻璃厚度大不易破碎,所以规定救援窗口的玻璃厚度不得大于 8mm。当救援口设置在石材、金属板幕墙上时,宜采用玻璃面板易于破碎,为了考虑立面效果,救援口面板与石材、金属板幕墙的面板一致,面板无法破碎,应设置方便外开启的救援口。在救援口位置必须设置可在室外易于识别的明显标志。

4.6.7 整体式双层幕墙没有横向和竖向的防火分隔,火灾产生时火势及烟气极易在通道内迅速横纵蔓延,由于烟囱效应,纵向蔓延的趋势尤为明显。为此,本标准对整体式双层幕墙内外层的间距、防火挑檐的设置和高度做出了规定。

整体式双层幕墙的顶部和两侧开口部位设计成具有自然排烟功能有利于烟气排除。

外层幕墙采用开放式设计,且无纵向层间水平防火约束隔板、横向分格间纵向防火约束隔板的双层幕墙按整体式双层幕墙进行防火设计。

双层幕墙的构造特点使得热通道内的烟气不易排至室外,烟囱效应还会加剧火焰、烟气的向上蔓延,为使火灾危害控制在一定范围,高层建筑的双层幕墙应在每层设置耐火极限不低于 1.00h 的不燃烧体水平约束隔板进行防火分隔。

除整体式双层幕墙外,纵向多层横向贯通的走廊式双层幕墙、纵向多层横向多分格的盒式双层幕墙、竖井式双层幕墙等均为宽腔双层幕墙,热通道内具有设置防火挑檐的条件。为了提高双层幕墙热通道内的热循环效率,适当放宽多层建筑的双层幕墙的热循环高度,通过设置防火挑檐来阻碍火势、烟气蔓延。

防火挑檐宽度不小于 0.50m 为最低限值,当双层幕墙内侧室内有易燃易爆的材料或设备时,防火挑檐的宽度应满足相应的规范要求。

除内外层幕墙之间间距大于 2.00m、两侧和顶部均敞开的整体式双层幕墙建筑可采用自然排烟外,其它双层幕墙的排烟面积很难满足自然排烟面积的要求,因此要求采用机械防排烟系统。

火灾发生时,双层幕墙的通道内积蓄了大量烟气甚至有火焰蔓延,机械排烟系统的出风口位于双层幕墙的通道内会加剧火灾蔓延,机械排烟系统的进风口位于双层幕墙的通道内会将通道内的烟气吸入室内。这样不仅没有起到消防排烟的功能,还会加剧火灾的危害。

4.6.8 公安部消防局 2018 年 4 月 10 日关于印发《建筑高度大于 250 米民用建筑防火设计加强性技术要求(试行)》的通知规定,高度大于 250m 的幕墙建筑,实体墙高度不应小于 1.5m,且楼板以上不小于 0.6m,实体墙不能以防火玻璃墙替代。建筑高度大于 250mm 的建筑,当在避难区对应位置的外墙设置玻璃幕墙时,其内部要设置耐火极限不低于 1.00h 的实体墙。

4.7 防雷设计

4.7.1 建筑幕墙是采用金属构架组成的外围护结构,金属幕墙的面板是导体,有的幕墙在面板外侧设置金属线条,容易遭受雷电袭击和产生雷电感应,造成建筑物损坏和人身伤亡。现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 和现行行业标准《民用建筑电气设计规范》JGJ/T 16 中,规定了“建筑物外墙上的栏杆、金属门窗等较大的金属物直接或通过预埋件与防雷装置相连”的防侧击措施。幕墙防雷设计应与电气专业协调并符合电气专业要求,在幕墙技术复核表也有此规定。

4.7.2 建筑幕墙是附属主体建筑的围护结构,幕墙的金属框架一般不单独作防雷接地,而是利用主体结构的防雷体系,与建筑本身的防雷设计相结合。因此要求应与主体结构的防雷体系可靠连接,并保持导电通畅。本条规定建筑幕墙不论高低都应按现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 中规定第二类防雷要求设防,即幕墙表面按不大于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 或 $12\text{m} \times 8\text{m}$ 网格要求作为幕墙避雷接闪器与主体结构的防雷系统相连接。在施工和验收时应进行接地电阻检测,幕墙建筑防雷接地电阻及过渡电阻应符合下表的规定:

表 2 防雷接地电阻 (Ω)

接地方式	电阻值
金属之间过渡连接电阻	≤ 0.2
共用接地	≤ 1.0
独立接地时每根引下线的冲击电阻	≤ 4.0

4.7.3 有些幕墙面外侧会带有装饰构件及照明灯具等,易受到直击雷的攻击。目前防直击雷一般设置接闪杆或接闪带。装饰构件应与内侧金属型材连接成电气通路,构件相互间连接的接触面积应不小于 50mm^2 。

4.7.4 屋面及女儿墙等部位接收了大部分的雷击,所以是防雷的重点部位,接闪器应设置在外部。女儿墙采用铝合金板压顶时,可作为接闪器,厚度不宜小于 3mm ,截面积不小于 70mm^2 。当单独设置接闪器时,与主体防雷引下线的连接,连接材料、数量和间距由电气专业工程师计算确定,不属于幕墙专业范围。

4.7.6 断热型材采用非金属材料隔热,导致内外金属材料断路,应采取措施将内外型材连通。单元式幕墙插口处均用橡胶条密封,易形成断路。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 建筑幕墙是由面板和支承结构组成的非承重的建筑物外围护结构体系,主要承受自重以及直接作用于其上的风荷载、地震作用、温度作用等,不承担主体结构承受的荷载和作用。新修订的国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 第 3.3.1 强制性条文规定,工程结构设计时,应规定结构的设计使用年限。现行国家标准《建筑结构可靠度统一设计标准》GB 50068 规定,易于替换的结构构件(此处是指承重结构构件)的设计使用年限为 25 年。建筑幕墙是非承重且易于替换的非结构构件,因此规定其设计使用年限为 25 年。

现行国家标准《建筑结构可靠度统一设计标准》GB 50068第1.0.4条和《建筑结构荷载规范》GB 50009强制性条文第1.0.5条规定,建筑结构的设计基准期为50年。设计基准期是为确定可变作用及与时间有关材料性能等取值而选用的时间参数,它不等同于建筑结构的设计使用年限。因此,规定建筑幕墙结构计算的设计基准期为50年,与主体结构设计一致。

大幅玻璃、幕墙单元面板等应考虑运输、吊装过程中从卧式状态向设计状态转化时的强度、稳定及变形。大跨度钢结构应明确结构拼接位置,起拱要求等,安装采用临时支撑时,需考虑临时支撑对结构内力改变的影响。对预应力索桁架、索网幕墙的支承索体系设计时应作零荷载状态下的结构变形分析,确定施工张拉阶段索中预应力的分布和初始状态几何形状。

5.1.2 建筑幕墙作为建筑物的外围护结构,面板、支承结构、连接件和锚固件是幕墙的主要受力构件,直接影响幕墙的安全性,应进行结构计算分析。幕墙系统比较复杂时,计算可按简化模型进行计算,但简化模型应与实际受力状态相吻合。玻璃、石材等幕墙面板为非塑性结构,与支承结构之间须有足够的相对位移能力,以适应主体结构的变形和位移。幕墙结构的变形能力,除自身的刚度、承载力和稳定性要求外,可以通过多种构造措施来保证,比如胶缝宽度、释放温度应力、构件之间的间隙等。当主体结构在荷载作用下产生变形时,不应使幕墙构件产生过大内力和不能承受的变形。

5.1.3 幕墙结构非抗震设计时,主要承受重力荷载、风荷载和温度作用;抗震设计时,应考虑地震作用。幕墙构件类型较多,各种构件产生的内力(应力)和变形不同,情况比较复杂,但均应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

幕墙结构的可靠度、荷载的取值和材料强度设计值的取值有关。因此,幕墙结构的作用、作用效应、承载力(抗力)应采用统一的标准体系进行计算,以免产生设计安全度过低或过高的情况。

承载能力极限状态应考虑作用效应的基本组合;正常使用极限状态应考虑作用效应的标准组合或频遇组合。本条给出的承载力设计表达式具有通用意义,作用效应设计值 S 或 S_E 可

以是内力或应力，抗力设计值 R_d 可以是构件的承载力设计值或材料强度设计值。当采用标准组合时，作用的分项系数均取 1.0。

现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 对结构或结构构件的重要性系数 γ_0 作出了统一规定的，主要考虑结构或结构构件破坏后果的严重程度，应按结构构件的安全等级、设计使用年限和不同结构的工程经验确定。幕墙属于建筑的外围护结构，其重要程度和破坏后果的严重程度通常低于主体结构，幕墙构件的安全等级一般不高于二级。但是，幕墙大多用于大型公共建筑，正常使用中不允许发生破坏，而且石材、玻璃面板破坏后坠落的后果比较严重，因此规定幕墙结构的重要性系数 γ_0 取不小于 1.0 是比较妥当的。对于次要的幕墙结构（如临时性幕墙结构）其重要性系数 γ_0 可取小于 1.0，但不应小于 0.9。

抗震设计的幕墙结构，其地震作用效应相对风荷载效应是比较小，即便对于重量较大的石材幕墙通常也不会超过 30%。如果采用小于 1.0 的系数 γ_{RE} 对抗力予以放大，对幕墙结构设计是偏于不安全的。因此本标准规定幕墙构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 取 1.0。

5.1.7 屋顶设置幕墙的建筑较多，而且悬挑高度大，幕墙框架体系与主体结构连接是关键，悬臂支撑的幕墙立柱在风振作用下对主体结构影响较大，应按照主体结构的风振系数来复核幕墙结构实际受力情况。当幕墙高度超出屋顶主体结构 5m 时，应设置主体结构用于幕墙结构的支承。

5.2 荷载与地震作用

5.2.4 常遇地震(大约50年一遇)作用下，幕墙的地震作用采用简化的等效静力方法计算，地震影响系数最大值按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定采用。

地震中面板振动频率高，容易受到放大的地震作用。为使设防烈度下面板不产生破损，减低其脱落后伤人事故，弹性小震地震作用计算时考虑动力放大系数 β_E 。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关非结构构件的地震作用计算规定，玻璃幕墙结构的地震作用动力放大系数可表示为：

$$\beta_E = \gamma \eta \xi_1 \xi_2 \quad (5.1)$$

式中： γ ——非结构构件功能系数，可取 1.4；

η ——非结构构件类别系数，可取 0.5；

ξ_1 ——体系或构件的状态系数，可取 2.0；

ξ_2 ——位置系数，可取 2.0。

按照上式计算，幕墙结构地震作用动力放大系数 β_E 约为 5.0。该系数适用于幕墙面板和直接连结面板的支承结构构件的地震作用计算。

对于直接支承幕墙面板或幕墙结构的主体结构，应该按照结构动力学或现行国家标准《建筑抗震设计规范》的有关规定进行结构的抗震计算。

5.3 作用效应组合与计算

5.3.3 对于预应力索桁架、索网幕墙中的支承索体系，由于结构体系刚度小，变形大，结构内力和变形应采用考虑几何非线性的有限元软件进行分析。具体计算时，应首先进行荷载(作用)的组合，然后再进行结构计算分析，内容包括：①零荷载状态下的结构变形分析，用以确定施工张拉阶段索中预应力的分布，并检查结构的初始状态几何形状、位置等是否符合设计要求；②工作状态下的承载力分析，确保结构在各种不利荷载组合作用下索的内力满足设计要求；③结构变形分析，确保结构在恒载、风载、预应力标准值作用下的变形满足规范的要求。

对于不考虑非线性影响的结构体系，如幕墙结构的立柱、横梁可采用线弹性方法进行计算分析。具体计算时，可以先进行荷载(作用)的组合，然后再进行荷载(作用)效应计算分析；也可以先进行荷载(作用)效应计算，然后再进行荷载(作用)效应的组合，这两者是一致的。

5.3.6 作用在幕墙上的风荷载、地震作用都是可变作用，同时达到最大值的可能性很小。例如最大风压按 50 年一遇最大值考虑；地震作用按约 50 年一遇的众值烈度考虑。因此，在进行效应组合时，第一个可变作用的效应按 100%考虑(组合值系数取 1.0)，第二个可变作用的效应可进行适当折减(乘以小于 1.0 的组合值系数)。

在重力荷载、风荷载、地震作用下，幕墙构件产生的内力(应力)应按基本组合进行承载力极限状态设计，求得内力(应力)的设计值，以最不利的组合作为设计的依据。作用效应组合时的分项系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50011 和《建筑抗震设计规范》GB 50005 的规定采用。

50 年一遇地震作用和 50 年一遇风荷载在建筑使用年限内同时发生的几率非常小，地震设计状况时，地震作用应为第一可变作用 100%考虑，风荷载可作为第二可变荷载考虑。风荷载起控制作用的结构（幕墙结构风荷载起控制作用）组合值系数取为 0.2。由于一般幕墙自重较小，地震设计状况对幕墙结构安全不会起控制作用，而是持久设计状况和短暂设计状况起控制作用，可仅复核地震作用状况的影响。

结构的自重是永久作用，所有的基本组合工况中都必须包括这一项。当重力荷载的效应起控制作用时，其分项系数 γ_G 应取 1.35，但参与组合的可变作用仅限于竖向荷载，且应考虑相应的组合值系数。对一般幕墙构件，当重力荷载的效应起控制作用时(γ_G 取 1.35)，可不考虑风荷载和地震作用；对水平倒挂面板及其框架，风荷载是主要竖向可变荷载，此时，风荷载的组合值系数取 0.6，与现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50005 的规定一致。当重力荷载作用对结构设计有利时，其分项系数 γ_G 应取不大于 1.0。

按照以上说明，幕墙结构构件承载力设计中，理论上可考虑下列典型组合工况：

无地震作用组合时：

(1) $1.3G+1.0\times 1.5W+0.6\times 1.5T$ （永久荷载不利、风荷载主控）

(2) $1.0G+1.0\times 1.5W+0.6\times 1.5T$ （永久荷载有利、风荷载主控）

(3) $1.3G+0.6\times 1.5W+1.0\times 1.5T$ (永久荷载不利、温度作用主控)

(4) $1.0G+0.6\times 1.5W+1.0\times 1.5T$ (永久荷载有利、温度作用主控)

有地震作用组合时:

(1) $1.3G+1.0\times 1.3E+0.2\times 1.5W$ (永久荷载不利)

(2) $1.0G+1.0\times 1.3E+0.2\times 1.5W$ (永久荷载有利)

以上组合工况中, G、W、E、T分别代表永久荷载、风荷载、地震作用、温度作用标准值产生的应力或内力。风荷载、地震、温度作用均可正可负, 作用效应组合时, 应考虑使得荷载效应向不利方向发展来确定荷载作用的正负号值。

对张拉索杆体系, 效应组合的设计值尚应包含预加应力产生的效应, 预应力属于永久荷载的一种, 预应力作用的分项系数取值应参照现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068的规定取值1.3。

5.4 连接设计

5.4.1 安装幕墙的主体结构或结构构件必须具备承受幕墙传递的各种作用的能力, 主体结构设计时应充分考虑, 并预留一定的安全储备, 防止偶然因素产生突然破坏。主体结构为混凝土结构时, 混凝土强度等级不应低于C25, 厚度应满足预埋件锚固要求。高层、超高层建筑施工过程中压缩变形较大, 幕墙结构应采取构造措施适应主体结构在永久荷载作用下产生的变形, 不应使幕墙构件产生内力和变形, 构件式幕墙一般在立柱下端设置成长圆孔或者通过插芯与下端立柱滑动连接; 单元式幕墙要预留足够的插接空间。当主体结构在风荷载、地震作用下产生变形时, 不应使幕墙构件产生过大的内力和变形。

连接件与主体结构的锚固承载力应大于连接件本身的承载力, 任何情况下都不允许锚固破坏。

5.4.3 为满足节能要求, 明框幕墙构件需采用隔热构造措施, 内外型材之间通过非金属材料连接为一体。根据内外型材的荷载布置和荷载工况, 对型材之间的连接强度进行设计计算。由于隔热衬垫组合而成的断热型材内外型材之间的连接构造种类较多, 因此, 进行幕墙设计时, 应根据工程实际情况进行连接强度验算, 保证安全。

隔热条不得长期受剪, 采用隔热断桥的铝合金横梁应设置托板将玻璃面板的自重直接传递到横梁截面的主要受力部分, 并对托条进行结构计算。

5.4.4 框支承幕墙立柱截面一般较小, 宜将其设计成轴心受拉或偏心受拉构件, 否则要计算构件的整体稳定。幕墙横梁与立柱的连接, 立柱与设置在主体结构上锚固件的连接, 通常通过螺栓或焊缝实现。现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 对上述连接均作了规定。同时受拉、受剪的螺栓应进行螺栓的拉、剪组合设计; 螺纹连接的公差配合及构造, 应符合国家规范的规定。为了防止偶然因素的影响而使连接破坏, 框架结构每个连接部位的螺钉、螺栓、铆钉不应不少于2个。

有关钢结构和铝合金结构焊接设计、计算，应符合现行国家标准《铝合金设计规范》GB 50429、《钢结构设计标准》GB 50017 或《冷弯薄壁型钢设计规范》GB 50018 的有关规定。

5.4.9 轻质隔墙、砌体结构平面外承载能力低，难以直接进行连接，宜增设混凝土结构或钢结构连接构件。

增加混凝土构造梁、柱，应考虑幕墙荷载，一般仅按照构造要求配筋，如要作为幕墙的支承结构，则要按照受力结构来设计。

5.4.10 主体钢结构安装完成后已承受自重等永久荷载，现场施焊区域高温会引起局部承载力下降，导致主体钢结构产生永久性变形和残余应力，因此幕墙单位在主体钢结构加工时应提出连接设计的要求，在现场安装前完成连接构造，避免现场焊接。

5.5 硅酮结构密封胶设计

5.5.2 硅酮结构密封胶缝应进行受拉和受剪承载能力极限状态验算，习惯上采用应力表达式。计算应力设计值时，应根据受力状态，考虑作用效应的基本组合。具体的计算方法应符合本标准有关条文的规定。现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776 中，规定了硅酮结构密封胶的拉伸强度值不低于 0.6N/mm^2 。在风荷载或地震作用下，硅酮结构密封胶的总安全系数取不小于4，套用概率极限状态设计方法，风荷载分项系数取1.4，地震作用分项系数取1.3，则其强度设计值 f_1 约为 $0.21\text{N/mm}^2 \sim 0.195\text{N/mm}^2$ ，本标准取为 0.2N/mm^2 ，此时材料分项系数约为3.0。在永久荷载（重力荷载）作用下，硅酮结构密封胶的强度设计值 f_2 取风荷载作用下强度设计值的1/20，即 0.01N/mm^2 。隐框幕墙节点构造设计时，严禁由硅酮结构密封胶承受玻璃自重产生的长期剪切作用，玻璃自重应由托条单独承受并传递到幕墙框架。

5.5.3 幕墙玻璃在风荷载作用下的受力状态相当于承受均布荷载的双向板，在支承边缘的最大线均布拉力为 $aw/2$ ，由结构胶的粘结力承受，即：

$$f_1 c_s = \frac{aw}{2} \quad (5.2)$$

$$c_s = \frac{aw}{2 f_1} \quad (5.3)$$

式中： f_1 ——硅酮结构密封胶在风荷载或地震作用下的强度设计值，取

0.2N/mm^2 ；

w ——作用在计算单元上的风荷载设计值（ N/m^2 ）。当采用 kN/m^2 为单位时，须除以1000予以换算。

抗震设计时，上述公式中的 w 应替换为 $(w + 0.5q_E)$ ， q_E 为作用在计算单元上的地震作用设计值（ kN/m^2 ）。

在重力荷载设计值作用下，竖向玻璃幕墙的硅酮结构胶缝承受长期剪应力，平均剪应力

τ 可表示为:

$$\tau = \frac{q_G ab}{2(a+b)c_s} \quad (5.4)$$

剪应力 τ 不应超过结构胶在永久荷载作用下的强度设计值 f_2 。

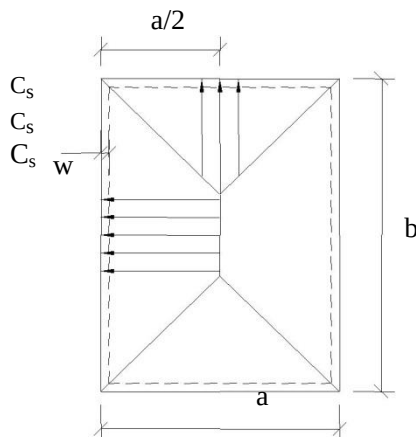


图1 玻璃上的荷载传递示意图

5.5.4 倒挂玻璃的风吸力和自重均使胶缝处于受拉工作状态,但是风荷载为可变荷载,自重为永久荷载。因此,结构胶粘结宽度应采用其在风荷载和永久荷载作用下的强度设计值分别计算,并叠加。倾斜、水平倒挂的隐框玻璃结构胶一直处于受力状态,安全隐患较大,禁止使用。

5.5.5 该计算公式与 JGJ 102 第 5.6.5 条不同,其修改的理由是:在低应力水平下,硅酮结构胶的拉伸弹性模量 E_{ss} 与其剪切模量 G_{ss} 之间近似存在着 $G_{ss} = E_{ss} / [2(1 + \mu_{ss})]$ 的关系, μ_{ss} 为结构胶胶体的泊松比,可按不可压缩的橡胶类材料的参数 0.5 进行取值。即 $G_{ss} = E_{ss} / 3$ 。因此,在相同的低应力水平状态下,胶体的剪切应变值等于 3 倍的胶体拉伸应变。

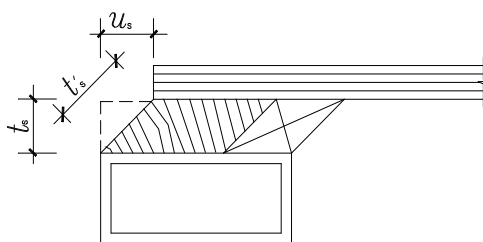


图 2

假定 0.14MP 拉伸应力下,胶体轴向拉伸下对应的拉伸应变值为 δ ;则 0.14MPa 剪切应力下,胶体的剪切应变值 $\gamma = 3\delta$ 。

由上图可知,当胶体在主体结构侧移作用下,沿厚度 t_s 方向产生剪切变形 u_s 时,胶体的剪切应变 $\gamma = u_s / t_s$ 。为保证安全,胶体剪切应变不应超过剪应力允许值下的剪切应变值为: $u_s / t_s \leq 3\delta$, 则可得到胶体厚度值计算公式:

$$t_s \geq \frac{u_s}{3\delta}$$

在风荷载或地震作用下，隐框幕墙随主体结构侧向位移时，面板与副框间的结构胶发生剪切位移，此项位移是结构胶厚度计算的基础。根据中国建筑科学院对硅酮结构胶的专题研究，将玻璃面板直接采用结构胶粘接到金属框架上进行平面内位移试验，位移折减系数介于0.08~0.43之间，并与有限元模拟结果吻合较好。对于带有副框的隐框幕墙，层间位移基本都会被副框和压板间的间隙吸收，不会对结构胶厚度计算有实质影响。列入计算是为确保隐框幕墙的安全，所以在5.5.1条规定厚度不宜大于12mm。

当胶体两侧基材承受不同的温度作用时，也会造成硅酮结构胶沿厚度方向产生剪切变形。但经过工程试算，对于常规的玻璃面板板块，温度作用引起的结构胶剪切变形值比地震或风荷载下主体结构侧移引起的硅酮结构胶剪切变形值要小，通常不起控制作用。因此，本标准中对硅酮结构胶在温度作用下的剪切变形不作验算要求。

面板位移不仅仅发生在结构胶的位移，支承幕墙面板的框架与主体结构间、框架自身、副框与横梁立柱间以及压板与副框间预留的间隙，均能吸收主体结构的位移，所以在设计阶段，首先应注重构造协调措施而不是过多的计算分析。

当硅酮结构胶计算厚度 $t_s > 12\text{mm}$ 时，可考虑隐框面板安装间隙的影响，按式（5.5.5-3）计算其吸收主体结构层间位移的能力，按式（5.5.5-4）计算 u_s ，再按式（5.5.5-1）重新计算硅酮结构胶的厚度，满足 $t_s \leq 12\text{mm}$ 时，取 $t_s = 12\text{mm}$ 。

u_s 按式（5.5.5-4）取值后，硅酮结构胶计算厚度仍大于12mm时，可调整 c_1 和 c_2 ，使其满足硅酮结构胶计算厚度 $t_s \leq 12\text{mm}$ ，并取 $t_s = 12\text{mm}$ 。

$$\theta = \frac{2c_1(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1})}{l_1} \quad (5.5.5-3)$$

$$u_s = \eta_1 ([\theta] - \theta) h_g \quad (5.5.5-4)$$

式中: t_s ——硅酮结构密封胶的粘接厚度（mm）；

$[\theta]$ ——风荷载或多遇烈度地震标准值作用下主体结构的楼层弹性层间位移角限值（rad）；

u_s ——主体结构侧移时，硅酮结构密封胶沿厚度方向的剪切位移（mm）；

δ ——硅酮结构密封胶拉伸粘接性能试验中受拉应力为 0.14N/mm^2 时的伸长率；

θ ——主体结构侧移时，面板的转动角；

η ——位移折减系数，取值0.60；

η_1 ——位移折减系数，取值 0.80；

h_g ——玻璃板块高度（mm）；

l_1 ——矩形玻璃板块竖向边长（mm）；

l_2 ——矩形玻璃板块横向边长（mm）；

c_1 ——玻璃副框与左右边框（压板）的最小平均间隙（mm），应计入施工偏差值 1.5mm；

c_2 ——玻璃副框与上下边框的平均间隙（mm），应计入施工偏差值 1.5mm。

5.5.6 隐框、半隐框幕墙中空玻璃合片第二道必须采用硅酮结构密封胶，外侧面板传递的荷载作用主要包括重力、风荷载、地震作用。其中，重力仅指中空玻璃外侧面板的重量；风荷载标准值宜按直接承受风荷载作用的单片玻璃的计算公式确定；地震作用应仅考虑外侧面板重量。为防止结构胶承受永久荷载，安装时应在玻璃底部增设托条。

6 面板设计

6.1 一般规定

6.1.4 从幕墙在建筑物中的作用来说,它既是建筑的外装饰,同时又是建筑物的外围护结构。虽然幕墙不分担主体建筑物的荷载和作用,但它要承受自身受到的风荷载、地震作用和温度变化等,因此,幕墙面板设计应确保面板及其连接结构满足设计计算要求,幕墙的性能等级和指标应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 2686 的规定。必须满足风荷载、地震作用和温度变化对它的影响,使幕墙具有足够的安全性。

各种幕墙面板相对挠度及其绝对挠度是基于正常使用极限状态设计时,超过极限极限状态的变形会降低幕墙的气密性能、水密性及其他功能。正常使用状态下,对面板的变形或者挠度验算时,一般不考虑不同效应的组合,因地震作用效应相对风荷载效应较小,不必单独进行地震作用下结构的变形验算,在风荷载或重力荷载作用下,计算挠度时,作用分项系数应取 1.0。在风荷载作用下,幕墙与主体结构之间的连接件发生拔出、拉断等严重破坏的情况比较少见,主要问题是保证其足够的活动能力,使幕墙构件避免受主体结构过大位移的影响。

6.2 玻璃面板

6.2.1 玻璃为脆性材料,存在易破裂的风险。玻璃面板必须采用安全玻璃。首先是安全玻璃具有足够的强度,使其处于工作状态时保证不破坏;其次是夹层玻璃具有防碰碎散落性,使其处于破碎状态时保证不会坠落飞散;三是钢化玻璃破裂后呈钝角,圆滑小颗粒状,具有不易伤人的破坏形态。

均质钢化玻璃是指经过特定工艺条件处理过的钠钙硅钢化玻璃。对钢化玻璃进行回炉,经过升温、保温、冷却三个阶段,目的是减小钢化玻璃自爆,由于加工周期长(每批次约 4-5)、生产效率低、目测难以判别等,不宜选用。

对商业中心、交通枢纽、公共文化体育设施等人流密集建筑,二层及以上采用玻璃幕墙时,外片应选用夹层玻璃,可防止玻璃破裂后不立即坠落,避免产生较大的公共危害,给修理更换留有时间。具有防坠落性能的玻璃原意是玻璃贴膜,由于玻璃贴膜使用寿命短,施工工艺不完善,单片玻璃贴膜不当反而造成整片坠落,危害性更大,新建工程不得采用。对小面积的既有玻璃幕墙改造可建议考虑该措施。

本条规定的临街建筑是指位于城市道路两侧的建筑。考虑到城市道路人流、车流量大,钢化玻璃破碎后坠落所造成的危害更大,要求此类建筑的临街面使用玻璃幕墙时外片玻璃应选用夹层玻璃。考虑到有些项目建筑高度低,所使用玻璃幕墙的高度小于退道路红线的最小距离,而且与城市道路之间设有绿化带、水系等缓冲区,人流不通过玻璃幕墙所对应的区域,该部位玻璃幕墙外片可不采用夹层玻璃,但必须采用超白钢化玻璃制品。玻璃幕墙高度大于

退道路红线的最小距离的以上部分外片应选用夹层玻璃。

外倾斜玻璃幕墙朝室外地面侧应采用夹层玻璃。考虑到商业中心、交通枢纽、公共文化体育设施等人流密集建筑，室内侧人流多，当采用内倾斜玻璃幕墙时，距离楼地面高度大于5m以上的部位，朝室内地面侧应采用夹层玻璃，室外侧按规定选用。

6.2.2 这是现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 规定的强条。除采用夹层玻璃外，还应设置防撞措施。室内侧可用栏杆构造，室外侧可采取设置绿化带、花池、栏杆等措施。

6.2.3 本条是引用现行行业标准《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T 455 的规定，由于单块玻璃面积大，应增加玻璃厚度，钢化玻璃自爆的概率也加大，原则是不倡导使用大板块玻璃，单块玻璃面积不宜大于 4m^2 ，否则增加成本，安装也不便利。

6.2.5 隐框玻璃幕墙是采用硅酮结构密封胶粘结玻璃面板的，承受永久荷载的能力很低，而且硅酮结构密封胶老化引起粘结强度衰退，所以超高层不推荐使用隐框玻璃幕墙，确需使用时应增加防面板脱落构造措施，如采用增加玻璃护边框、明框压条或局部压板等防玻璃脱落安全防护构造措施，防护构造经计算满足承载力要求。此外，隐框玻璃幕墙的使用尚应符合相关文件的规定。

6.2.6 为满足构造需求，在转角处玻璃需要悬挑，悬挑距离是指玻璃自由边缘超出该面板最近竖向支承的尺寸，该尺寸过大易导致面板间密封胶缝变形过大、中空玻璃二道密封胶和夹胶玻璃胶片受力均会产生影响。

6.2.7 大挠度玻璃板的计算是比较复杂的非线性弹性力学问题，难以用简单公式表达，一般采用专门的计算软件，针对具体问题进行具体计算分析。显然这对于常规幕墙设计是不方便的。从试验结果来看，玻璃破损是由强度控制的，钢化玻璃破坏时，其挠度甚至可达到跨度的 $1/30 \sim 1/40$ 。因此，在满足基本构造要求的前提下，玻璃挠度控制条件不宜过严，以免限制了其承载力的发挥。对于四边支承的玻璃板，采用其短边边长(挠度)的 $1/60$ 作为控制条件是合适的。由于在计算挠度时，采用风荷载标准值，同时又考虑大挠度影响对计算值加以折减，所以只要合理选用玻璃种类和厚度，应当是可以满足挠度限值要求的。

6.2.9 夹层玻璃由两片玻璃夹胶合片而成，在垂直于板面的风荷载和地震作用下，两片玻璃的挠度是相等的，即：

因此，两片玻璃分配的荷载按其厚度立方的比例分配。

由于夹层玻璃的等效刚度可近似表示为两片玻璃弯曲刚度之和： $D=D_1+D_2$

所以计算夹层玻璃的挠度时，其等效厚度 t_c 可按两片玻璃厚度的立方和的立方根取用。当然，也可分别按单片玻璃分配的荷载及相应的单片玻璃弯曲刚度计算挠度，所得结果是相同的。

由于离子性胶片在国内尚处于应用初期阶段，设计时应按供货厂提供的参数进行计算。

6.2.10 中空玻璃的两片玻璃之间有气体层，直接承受荷载的正面玻璃的挠度一般略大于间

接承受荷载的背面玻璃的挠度，分配的荷载相应也略大一些。为保证安全和简化设计，将正面玻璃分配的荷载加大 6%，这与本标准编制组关于中空玻璃的试验结果相近，也与美国 ASTM E1300 标准的计算原则相接近。

考虑到直接承受荷载的玻璃挠度大于按两片玻璃等挠度原则计算的挠度值，所以中空玻璃的等效厚度 t_c 。考虑折减系数 0.95。

为保证玻璃与框之间弹性接触，涉及型材槽口与胶条之间的配合，依靠胶条自身的弹性在槽内起密封作用，要求胶条具有耐紫外线、耐老化、永久变形小、耐污染等特性。

6.2.14~6.2.15 本条文主要参考日本建筑学会制订的《建筑工程标准幕墙工程》(JASS-14)。

利用公式(4.3.12)进行验算举例：

假定明框幕墙层高为3000mm，每块玻璃高600mm、宽1200mm；玻璃和铝框的配合间隙 c_1 和 c_2 均为5mm，考虑到施工偏差，验算时 c_1 和 c_2 均取为3.5mm；考虑抗震设计。则公式(4.3.12)的左端为：

$$2c_1(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1}) = 2 \times 3.5(1 + \frac{1000}{1200} \times \frac{3.5}{3.5}) = 12.6\text{mm}$$

计算表明，满足本条公式要求，幕墙玻璃不会被挤坏，可认为 c_1 、 c_2 取5mm 是合适的。玻璃边缘至边框、槽底的间隙，应符合表6.2.14 和表6.2.15中的配合尺寸规定。

6.2.16~6.2.17 该条均提出设置托条的要求。明框玻璃面板底部设置托条是为了防止隔热条承受玻璃自重荷载，如果玻璃自重直接由横梁承受可不设置托条仅设置胶垫（图3），如果玻璃自重落在隔热条位置，应设置托条（图4），托条应与横梁连接。

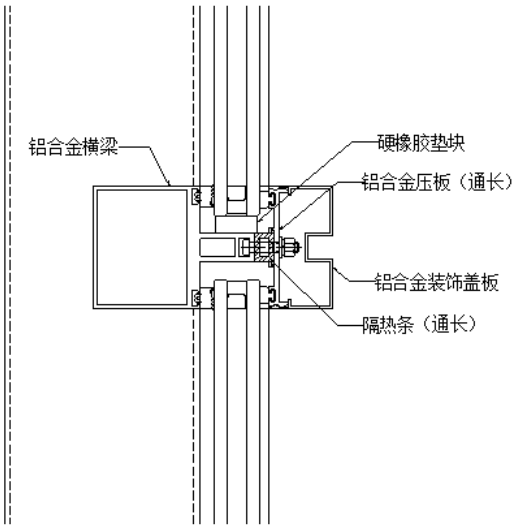


图3

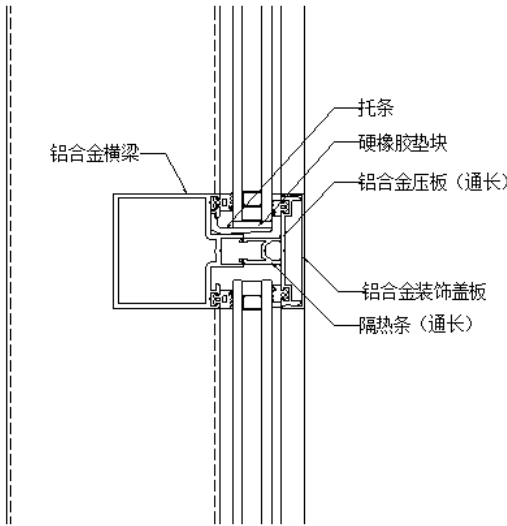


图4

隐框玻璃幕墙玻璃下端设置托条是承受玻璃自重，硅酮结构密封胶承受永久荷载的能力很低，强度设计值很低，不得使结构胶承受玻璃自重产生的永久荷载。根据规范第5.5.3-3 计算公式可看出，玻璃自重对结构胶的宽度计算影响较大。对于超大玻璃板块，按照玻璃自

重完全依靠结构胶粘结，结构胶粘结宽度计算结果会很大，可通过设置托条承受玻璃自重。托条应经过计算，确保强度和刚度，托条不能固定在副框上，必须与横梁或立柱连接固定（如图5、图6）。

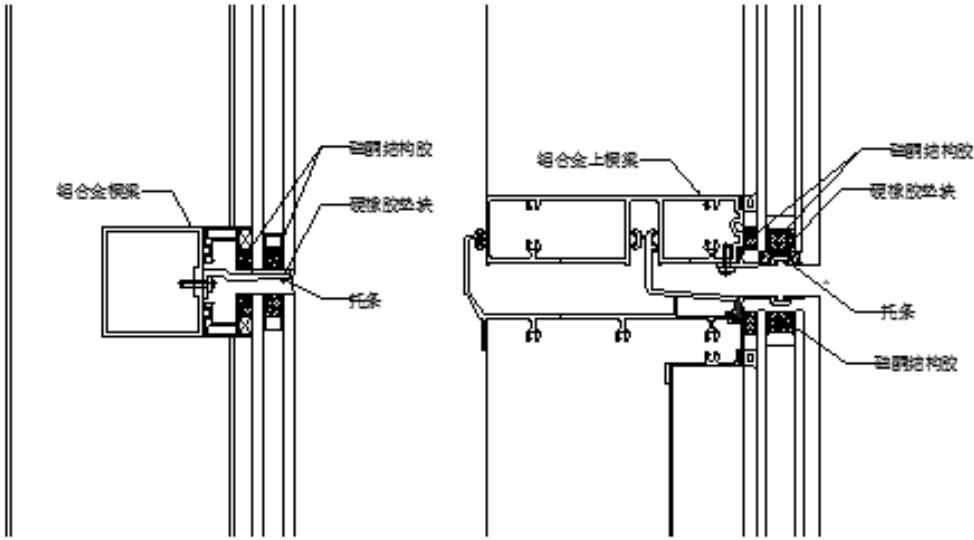


图5

图6

6.2.18 隐框、半隐框幕墙的玻璃面板通常采用硅酮结构密封胶与附框粘结，而单元式幕墙也可直接粘结在框架上。如采用对边简支的形式，也可不加附框直接在板缝处密封。

6.2.19 幕墙用中空玻璃应采用双道密封。用丁基热熔胶做第一道密封，隐框、半隐框及点支承玻璃幕墙用中空玻璃的二道密封必须采用硅酮结构密封胶。明框玻璃幕墙用中空玻璃的二道密封宜采用聚硫类玻璃密封胶，也可采用硅酮建筑密封胶。

根据图 6.2.19 看，隐框玻璃板块有两道结构胶，标准的隐框玻璃板块这两道结构胶的位置是对应的，不得有错位。但有些特殊部位会产生不重合，应当至少确保在一对边位置的硅酮结构密封胶重合。

硅酮结构密封胶的尺寸应经过计算确定，并在设计图中标注，计算公式按本标准第 5.5.3、5.5.4 条的规定。

6.3 金属面板

6.3.2 面板的厚度计算方法，根据情况采用公式法和有限元法，一般情况下规则的面板采用公式计算，复杂的面板公式计算偏差大，需要采用几何非线性的有限元方法计算。

铝板的总安全系数 K 取为 2.0。考虑到风荷载分项系数取为 1.4，所以材料强度系数 $K_2=2.0/1.4=1.428$ 。强度设计值是按我国现行国家标准《铝及铝合金轧制板材》GB/T 3880 中的强度标准值除以 1.428 后给出。

考虑到铝板在幕墙中受力较大，对变形和强度有较高要求，最小板厚取为 2.5mm，幕墙常用单层铝板厚度为 3.0mm。同理，单层不锈钢板最小板厚取为 1.5mm；彩色钢板和合金板最小板厚取为 1.2mm。

6.3.3 金属面板厚度薄，不宜作为支承构件的支承固定板。有些工程为满足造型要求，直接在铝板面板上固定装饰构件，考虑到铝板不便于加工，装饰构件可采用尺寸小的铝合金型材与铝板连接固定。当装饰构件突出铝板面小于 50mm 时可采用螺钉固定在铝板面层上，并做好螺钉孔防渗漏水措施，当装饰构件突出铝板面大于 50mm 时，不宜直接固定在铝板面层上。尺寸大的构件可与铝板背面的加强肋连接或与幕墙框架连接。

6.3.4 加强肋是在单层面板达不到强度设计要求或有集中荷载处，为保证构件局部稳定并传递集中力所设置的条状加强件，加强肋的主要作用是分担一部分幕墙板块的外部荷载。板块中部的荷载通过加强肋传递给幕墙龙骨上，减少板块的内部应力，促使板块不会因为外部荷载超过极限而变形、破坏。其布置间距直接影响面板的设计计算，其截面尺寸形状直接影响到板块抵抗外部荷载的能力。

为使面板荷载传递到框架，加强肋必须与折边可靠连接。加强肋常用的有方管(矩形管)、C 槽型、U 槽型或 L 型型材，常用的材质为铝合金、镀锌或喷涂钢材等。

6.3.6 目前采用的薄板计算公式是在小挠度情况下推导出来的，它假定板只受到弯曲，只有弯曲应力而面内薄膜应力则忽略不计。因此它的适用范围是： $u \leq t$ ， t 为板厚。

当板的挠度 u 大于板厚以后，这个公式计算就产生显著的误差，即计算得到的应力 σ 和挠度 u 比实际大，而且随着挠度与板厚之比加大，计算出来的应力和挠度偏大到不可接受，失去了计算的意义。由于计算出来的应力 σ 和挠度 u 比实际大得多，计算结果不代表实际数值。

按此计算结果设计板材，不仅会使材料用量大大增多，而且应力控制和挠度控制条件也失去了意义。

通常玻璃板和铝板的挠度都允许到边长的 1/60，对于边长为 600mm 的玻璃板，挠度允许值可达 6mm，已为厚度 6mm 的 1.6 倍；对于边长为 500mm 的铝板，挠度允许值 5mm 也达到板厚的 1.6 倍，此时应力、挠度的计算值会比实际值大 30%~50%。用计算挠度 u 小于边长的 1/60 与预期的控制值偏严太多，强度条件也偏严太多。

为此，对玻璃板和铝板计算，应对现行小挠度应力和挠度计算公式，考虑一个系数 η 予以修正。

大挠度板的计算是非常复杂的非线性弹性力学问题，难以用简单公式计算，而要用到专门的计算方法和专门的软件，对具体问题进行具体计算，显然这对于幕墙设计是不适用的。

英国 B.Aalami 和 D.G.Williams 对不同边界的矩形板进行了系统计算,发表于《Thin Plate Design For Transverse Loading》一书中,根据其大量计算结果,适当简化、归并以利于实际应用,选择了与挠度直接相关的参量 θ 为主要参数,编制了表6.3.5。参数 θ 的量纲就是挠度与厚度之比。

按原计算结果, η 数值随 θ 下降很快,即按小挠度公式计算的应力和挠度可以折减很多,为安全稳妥,在编制表6.3.5时,取了较厚计算结果偏大的数值,留有充分的余地。按表6.3.5的 η 取值对小挠度公式应力计算结果进行折减,不仅是合理地减小了板材厚度,也节省了材料,而且还有较大的安全余地。同样在计算板的挠度 u 时,也宜考虑此折减系数 η 。

由于板的应力与挠度计算中,泊松比 ν 的影响很有限,这一系数 η 原则上也适用于玻璃板的应力与挠度计算。

6.3.8 为确保薄板的平整,金属板通常应设置加强肋,并应有足够的刚度。本条对加强肋的挠度提出控制指标。有些幕墙为造型需求,采用穿孔铝板做造型,穿孔的图案多样化,纯属装饰要求,考虑到铝板开孔后不便于设置加强肋,而且铝板属于弹性材料,对此类面板在满足强度的前提下,对挠度的控制可放宽或不作要求。

当金属板采用对边支承时,仅有立柱支承的面板,水平边肋挠度应按本标准第7.3.6条规定计算;仅有横梁支承的面板,垂直边肋挠度应按本标准第7.4.8条规定计算。

6.3.13 金属面板与门窗洞口交接收口时不宜直接固定在门窗框或副框上,否则交接边无法吸收变形,应设置构件与幕墙框架连接一体,确因构造尺寸小无法设置时,可在洞口固定单独杆件或支座用于固定金属面板,该杆件应满足承载力要求,连接方式可吸收主体结构的变形。此外,幕墙与门窗不是同一个工种,也不应该发生关联,该交接部位的防水处理应事先明确。

当金属面板用于女儿墙压顶、梁底倒挂、空洞收口等部位时,也不应直接固定在主体结构上。因主体结构误差导致面板安装后不平整,考虑到这些部位空间尺寸较小,可采用可调节固定支座,确保面板安装后的平整度。

6.4 石材面板

6.4.3 因石材面板采用水平或外倾斜倒挂式构造时易发生坠落,不提倡使用或减小用量。根据已应用的工程案例,这些特殊部位可采用仿石喷涂铝板或石材蜂窝复合板等材料替代,效果较好。考虑到某些部位又需要该材料收口,所以提出该尺寸要求。总宽度不大于 900mm,是指在同一个标高的尺寸。外倾斜的尺寸是指同一个角度斜边的长度不得超过 900mm。

6.4.6 石材实线条因自重重大,必须与框架牢固连接,每块线条锚固数量不应少于 2 个。当小线条附加于石材面板表面时,可采用金属连接件穿透面板与线条锚固连结。

6.4.7 石材面板在收口或造型等部位有小尺寸的板块，通常支承边尺寸小于 300mm，对此类面板可采用对边或两点背栓连接。如通槽连接、短槽加长连接，当采用两点背栓连接时，可增加第三个背栓形成三角形平面，目的是防止石材面板扭转。

当支承边宽度小于 150mm 时，可与大面板可靠连接。常用的有转角件加背栓固定，如图 7 示意。转角件采用铝合金型材时厚度不小于 4mm，采用钢材时厚度不小于 3mm。当小板的尺寸过小，无法固定背栓时可采用不锈钢插件加环氧树脂型石材专用结构胶进行连接。

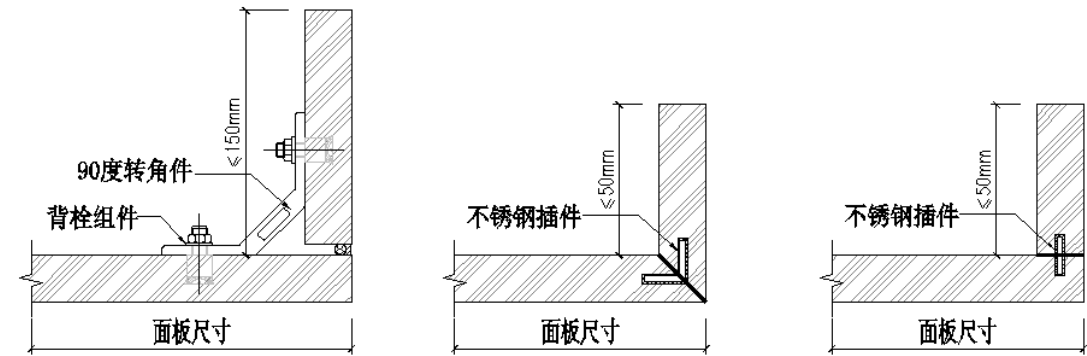
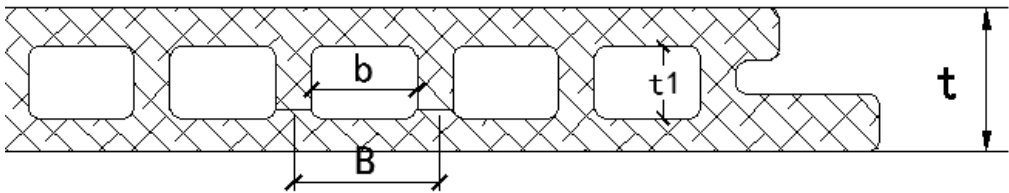


图 7

6.5 人 造 面 板

6.5.7 空芯陶板的有效厚度 t_e 计算目前尚无明确的计算公式，根据静力学原理，可由净截面模量计算得出。举例如下：

1、30mm 厚的陶土板



t ：陶土板厚度（mm），取30mm；

t_1 ：陶土板空腔厚度（mm），取15mm；

t_e ：陶土板等效厚度（mm）；

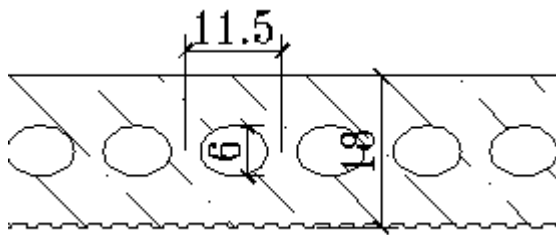
根据截面测量， $B=29\text{mm}$ ； $b=22\text{mm}$ ，

$$I_x := \frac{Bt^3 - b \cdot t_1^3}{12} = 29 \times 30^3 - 22 \times 15^3 / 12 = 59062.5$$

$$W_X := \frac{I_X}{\frac{t}{2}} = 59062.5/15 = 3937.5$$

$$t_e := \sqrt{\frac{6 \cdot W_X}{B}} = 28.54 \text{ mm.}$$

2、18mm 厚的陶土板



t: 陶土板厚度 (mm), 取18mm;

t1 : 陶土板空腔厚度 (mm), 取6mm;

t_e : 陶土板等效厚度 (mm);

根据截面测量, B=11.5mm; b=22mm,

$$I_X := \frac{B \cdot t^3}{12} - \frac{\pi \cdot t1^4}{64} = 5525.217$$

$$W_X := \frac{I_X}{\frac{t}{2}} = 613.913$$

$$t_e := \sqrt{\frac{6 \cdot W_X}{B}} = 17.897 \text{ mm}$$

6.5.8 本标准第 6.5.2 条规定了常用人造面板的最大许用高度,考虑到多数人造面板如瓷板、陶板、微晶玻璃及纤维水泥板脆性较大,所以规定超过 24m 或面板为水平吊挂、外倾斜时,各相应连接部位应予以加强,板背面应设计防碎裂坠落措施。对复合板材如石材蜂窝板、铝蜂窝板、铝塑复合及铝芯复合板,因板材不易发生断裂,可不作要求。

6.5.14 陶板在幕墙工程中应用较多,通常采用短挂件连接,目前常用的安装方式可分为挂钩挂装(图 6.5a、图 6.5b)、上插接下挂钩挂装(图 6.5c)和侧边挂装(图 6.5d)等三种基本方法。陶板挂钩为 L 形的挂钩挂装,其固定挂装点在陶板的上部挂钩处,使陶板安装固定后处于悬挂的工作状态。在板块意外断裂时,上部板块不会产生下坠的危险。上插接下挂钩挂装的

陶板，由于上部陶板在上下方向并没有限位的装置，当陶板意外断裂时，容易产生陶板下坠的危险，所以在设计时，要控制面板的宽度，同时要采用防断裂下坠的措施。

图 8 陶板挂装示意图

在频遇风荷载、地震、温度变化以及主体结构变形等作用的影响下，面板会产生前后颤动、左右滑移和上下跳动，不仅影响外观，还存在噪声或损坏不安全因素。采用密封胶、胶粘剂和弹性垫片对挂件与面板之间的空隙进行充填，不仅防止挂件与面板刚性接触，同时避免挂件与面板在频遇风荷载作用下产生碰撞导致陶板破裂的危险。还可有效地限制板块的移位，特别是当板块发生意外断裂时，可将板块固定在原有的安装位置。

挂件的入槽深度和搭接宽度，以及挂件相位于陶板的挂装位置，关系到面板的承载能力。本条在总结以往的工程经验的基础上，提出了相关的要求。

非侧边挂装时应设置定位片，防止陶板侧向移动。

在陶板幕墙工程中，还有一部分镶嵌式挂件(将挂件镶嵌在支承构件预制的卡槽内或将支承构件镶嵌在挂件的预制卡槽内)，对于这种镶嵌式挂件，要采取专门措施，防止挂件在地震作用下产生跳动、脱落。

陶板幕墙工程中，经常采用横梁不通长的支承构件，挂件支承连接在悬臂构件上，应采取有效措施，防止挂件滑移、脱落，面板破损。

6.5.16 进行面板抗弯强度设计时，应优先采用有限元方法分析计算，保证材料合理利用，避免浪费。采用短挂件两对边对称连接的矩形瓷板、实心陶板、微晶玻璃，其受力状态类似四点支承板。

实际使用中，幕墙面板的挠度远小于板厚，也可直接采用四角支承板的弹性力学计算公式和系数表计算幕墙面板所承受的弯曲应力。面板所承受的弯曲应力标准值，应按照本标准第 9.4.1 条的规定进行组合，所得的最大弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值。

空心陶板的截面形状相当复杂，如果采用式(6.5.16-1)和式(6.5.16-2)进行计算，计算得到的最大弯曲应力远远大于面板实际的弯曲应力。所以，空心陶板在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板的最大弯曲应力标准值，宜采用有限元方法分析计算。也可参照现行国家标准《天然饰面石材试验方法 第 8 部分：用均匀静态压差检测石材挂装系统结构强度试验方法》GB / T 9966.8 的规定进行面板弯曲试验，确定陶板的受弯承载能力。

6.5.31 石材蜂窝板在工程施工的安装连接时，通常采用在蜂窝板粘结预置的连接螺母进行固定。也可采用其他的类似铝蜂窝板的连接方式进行安装连接。预置连接螺母在整板加工的过程中完成，出厂时已经过产品出厂检验。按照现行行业标准《建筑装饰用石材蜂窝复合板》JG/T 328 的要求，单个连接(异形)螺母的受拉承载能力不应小于 3.2kN。石材蜂窝板上的安

装连接件,是保证面板连接承载能力的基本构件,对加工制作工艺和加工质量有严格的控制,不得在现场临时埋设。

6.5.33 石材蜂窝板在荷载作用下产生的弯曲变形和许可范围的判定应与石材蜂窝板弯曲破坏的极限承载值的判定原理一致,即应以石材面板开始产生细小裂缝时确定为石材蜂窝板受弯破坏的极限状态。但由于石材蜂窝板是由脆性材料和弹性材料经胶粘剂粘结复合而成,具有一定的柔软性,当板块面积较大时,在荷载作用下,板面变形可在达到较大的挠度时而石材面板并不产生裂纹,但此时石材板面的大挠度变形已影响到建筑外观的视觉效果。同时,由于不同材料间的热膨胀系数互有差异,在环境温度变化较大的情况下,特别是极端寒冷气候环境条件下,板块可能由于各种材料的不同变形量而导致石材面板产生整板凹凸的变形现象,影响到建筑的美观,同时也会在石材面板与蜂窝板的粘结层间形成附加的剪切应力,影响石材蜂窝板的正常使用。所以弯曲变形的许可判定值不但要考虑石材面板可能产生的裂纹,同时要考虑石材面板变形的最大许可范围。在考虑其弯曲允许变形范围时,既不可按照石材的要求,也不可按照蜂窝板的要求,而应根据石材蜂窝板的具体情况进行制定。因而本标准在对石材面板弯曲应力进行验算的前提下,对板的挠度控制也提出较为严格的限定。特别是针对玻纤蜂窝板脆性相对较大,挠度的控制要求更高。

石材蜂窝板的泊松比目前尚无法通过有效的检测方法确定。考虑到组成石材蜂窝板的三种蜂窝复合板(铝蜂窝板、钢蜂窝板、玻纤蜂窝板)的主要材料的泊松比的数值基本一致(铝合金及板材泊松比为 0.33,钢材及玻璃纤维板材的泊松比为 0.3),同时通过对《建筑结构静力计算手册(第二版)》表 4-26 中的挠度系数的分析,当泊松比为 0 时,其挠度系数与当泊松比为 0.3 时的挠度系数的最大差距仅为 0.27%,可见对挠度的计算结果影响极小。为方便设计计算,确定将石材蜂窝板的泊松比定为 0.3。

在进行挠度值的验算时,应采用弯曲刚度实测值。

7 构件式幕墙

7.1 一般规定

7.1.3 跨度较大的立柱或横梁通常采用钢铝组合截面的构造,利用铝合金和钢的各自特点作组合截面,发挥钢铝各自优点。钢铝组合截面形成的横梁、立柱,当两者两者挠度变形近乎相同时,可以按两者的抗弯刚度比例进行分配后,分别计算和设计。两种材料在组合时,应有防腐蚀的构造隔离措施。

由于钢型材、铝合金型材的线膨胀系数相差几乎近一倍,因此必须考虑温度膨胀影响的构造处理,幕墙构件不宜采用铝合金型材腔内衬套钢型材作为共同参与受力的钢铝组合构件,不建议铝型材参与受力计算,而仅作为钢材外装饰使用。

7.2 构造设计

7.2.1 明框幕墙的压板是通过螺钉与立柱、横梁固定,为承受水平荷载,螺钉必须承受拉力,必须经过计算确定螺钉的规格和间距。

压板通长可避免雨水渗漏,同时也可确保玻璃面板均有受压,不会造成玻璃反射产生的畸变。考虑到施工的便利,应确保每块玻璃分格的压板应连续通长,不得分段。

自攻螺钉的底孔直径在国内相关标准中没有明确规定,实验证明其对承载能力影响很大。自攻螺钉承载力不足情况,大都为设计或者加工过程中使用了错误的(往往是偏大的)自攻螺钉底孔直径造成的影响。当构件较厚时,采用过小的底孔容易造成自攻螺钉断钉和头部打滑。自攻螺钉是很容易被忽略的材料,个别项目使用劣质自攻螺钉,如外形尺寸、强度等方面不符合标准,也会影响承载力,所以不得使用。

7.2.2 明框幕墙玻璃与框的间隙尺寸很重要,预留尺寸小玻璃位移小,变形无法吸收,导致玻璃开裂。

假定明框幕墙层高为 3000mm,每块玻璃高 1000mm、宽 1200mm;玻璃和铝框的配合间隙 c_1 和 c_2 均为 5mm,考虑到施工偏差,验算时 c_1 和 c_2 均取为 3.5mm;考虑抗震设计。则公式(4.3.12)的左端为:

$$2c_1(1+\frac{l_1}{l_2}\times\frac{c_2}{c_1})=2\times3.5(1+\frac{1000}{1200}\times\frac{3.5}{3.5})=12.6\text{mm}$$

如果该幕墙安装在钢结构上,主体结构层间位移限值为:

$$3000\text{mm}\times3/300=30\text{mm}$$

由层间位移引起的分格框变形限值 u_{lim} 近似取为:

$$u_{\text{lim}}=30\text{mm}/3=10\text{mm}$$

计算表明,满足本条公式要求,幕墙玻璃不会被挤坏,可认为 c_1 、 c_2 取 5mm 是合适的。

7.3 横梁结构设计

7.3.1 薄壁构件在受弯时，截面中弯压部份，有发生局部屈曲的问题，控制薄壁构件的宽厚比，是达到局部屈曲不会发生在构件截面整体强度丧失之前，保证截面整体强度是可靠的，同时亦可按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 相应条款计算检验。

冷成型薄型钢截面有效受力部位的厚度不应小于 2.0mm。符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定。由于生产工艺的原因，热轧型钢的尺寸精度和防腐蚀能力均低于冷弯薄壁型钢，因此，规定热轧型钢截面有效受力部位的厚度不应小于 2.5mm，增加了热轧型钢截面有效受力部位的厚度。同样，对于一些位于特殊环境气候条件下使用和特殊构造的幕墙（如开缝式幕墙），可以增加 1mm 预留腐蚀厚度或增强防腐蚀措施的要求。

受弯薄壁金属梁的截面存在局部稳定问题，为防止产生压应力区的局部屈曲，通常可用下列方法之一加以控制：

- 1) 规定最小壁厚 $t_{\min}$ 和规定最大宽厚比；
- 2) 对抗压强度设计值或允许应力予以降低。

型材杆件相邻两纵边之间的平板部分称为板件。一纵边与其他板件相连接，另一纵边为自由的板件，称为截面的自由挑出部位；两纵边均与其他板件相连接的板件，称为截面的双侧加劲部位。板件的宽厚比不应大于一定限值，以保证截面受压时保持局部稳定性。截面中不符合宽厚比限值的部分，在计算截面特性时不予考虑。

弹性薄板在均匀受压下的稳定临界应力可由下式计算：

$$\sigma_{cr} = \beta \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b_0^2} \quad (7.3.1-1)$$

式中：E——弹性模量；

t——截面厚度；

ν ——泊松比；

b_0 ——截面宽度；

β ——弹性屈曲系数，对开口部分(三边简支、一边自由)取 0.425，

对闭口部分(四边简支)取 4.0。

由上式可得到型材截面的宽厚比要求，即：

$$\frac{b_0}{t} \leq \pi \sqrt{\frac{\beta E}{12(1-\nu^2)f}} \quad (7.3.1-2)$$

式中：f——型材强度设计值。

本条表 7.3.1 就是由公式 (7.3.1-2) 计算得出的。

7.3.3 横梁为双向受弯构件，承受到竖向方向和水平方向的弯矩。竖向弯矩由支承在横梁上的面板、连接件和横梁自重产生，水平弯矩由风荷载和地震作用产生。一般情况下，横梁跨

度小、刚度大，不必进行整体稳定验算。

现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 中，根据铝合金构件的截面形状、弱硬化和强硬化状态规定铝合金的截面塑性发展系数 γ 值为 1.00 和 1.05 两类，本标准统一规定为 1.05，保持幕墙传统设计，不影响幕墙的安全性。

铝合金型材和钢型材组合梁，应根据组合梁在工作中的实际变形情况，按照组合梁或钢型材起控制作用（仅对钢型材进行计算）计算。按照组合梁进行计算时，计算所得内力应分别符合本标准的规定。

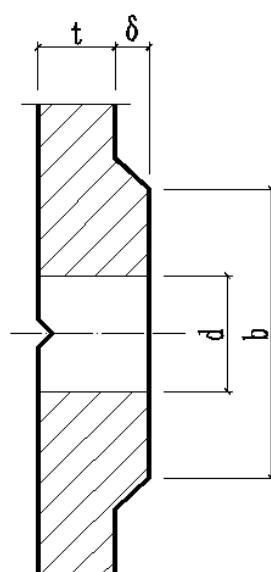
7.4 立柱结构设计

7.4.1 受弯薄壁金属梁的截面存在局部稳定问题，为防止产生压应力区的局部屈曲，需要对立柱的最小壁厚加以控制。一般情况下，工程中用作立柱的铝合金型材和钢型材，基本上都是闭口箱型截面，具有较好的抵抗局部失稳的能力，可以采用较小的壁厚。因此，铝合金型材立柱允许采用的壁厚取 2.5mm，大于横梁的限值。

钢型材的耐腐蚀性能低于铝合金，采用冷弯成形工艺和热轧成形两种不同工艺生产的钢型材，型材的尺寸精度和耐腐蚀性能都有一定的差异。根据现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定和工程经验，规定了立柱冷弯薄壁型钢的推荐厚度、限制厚度以及热轧型钢立柱的最小厚度。

设计立柱时，应对受力连接的螺纹和紧固件进行验算。螺钉与立柱包括横梁直接连接时，需在母材壁上制出孔螺纹。局部加厚可参照图 13.2。以下校核螺纹受力的计算供参考，不作为本标准依据。

例：截面厚度 $t = 4 \text{ mm}$ ，材料：铝 6063-T5， $f = 90 \text{ N/mm}^2$ ， $f_v = 55 \text{ N/mm}^2$ ， $f_c^b = 185 \text{ N/mm}^2$ 。



$$t + \delta \geq 0.8d, b \geq 2.5d$$

图9 局部加厚简图

假设螺钉直径 d_5 , 螺钉有效截面面积 $A_s = 14.2 \text{ mm}^2$, 螺距 $p = 0.8 \text{ mm}$

材料: A1-50 级不锈钢

$$\sigma_b = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$[\sigma] = 230 \text{ N/mm}^2$$

$$[\tau] = 175 \text{ N/mm}^2$$

验算螺钉与型材孔壁的连接强度:

1 螺钉抗拉力 N

$$N = A_s \times f = 14.2 \times 230 = 3266 (\text{N})$$

2 螺钉剪切强度 V

$$V = A_s \times [\tau] = 14.2 \times 175 = 2485 (\text{N})$$

3 截面孔壁的挤压强度 F_1

$$F_1 = d \times t \times f_c^b = 5 \times 4 \times 185 = 3700 (\text{N})$$

4 螺钉螺纹和孔螺纹表面的挤压强度 F_2

$$\begin{aligned} F_2 &= \pi \times D_2 \times \frac{p \cdot 5/8}{2 \times 0.866} \times \frac{t}{p} \times f_c^b \\ &= 3.14 \times (5 - 0.6495 \times 0.8) \times \frac{p \cdot 5/8}{2 \times 0.866} \times \frac{4}{0.8} \times 185 \\ &= 3757 (\text{N}) \end{aligned}$$

$$\text{螺纹中径 } D_2 = D - 0.6495 \times p = 4.48 \text{ mm}$$

式中 D 为螺纹大径;

$$\frac{5}{8} p = \frac{5}{8} \times 0.8 = 0.5 \text{ mm 为螺纹牙高;}$$

$$\frac{t}{p} = \frac{4}{0.8} = 5 \text{ 为螺纹啮合牙数。}$$

5 孔螺纹牙根切出强度 Q

$$\begin{aligned} Q &= \pi \times D \times \left(p - \frac{p}{8} \right) \times \frac{t}{p} \times f_v \\ &= 3.14 \times 5 \times \left(0.8 - \frac{0.8}{8} \right) \times \frac{4}{0.8} \times 55 \\ &= 3022 \text{ N} \end{aligned}$$

螺钉受拉时, 孔螺纹的牙根受剪, 其切出抵抗力 Q 稍低于螺钉抗拉力 N , $Q/N = 3022/3266 = 92.5\%$, 相关的螺纹挤压抵抗力与螺钉抗剪力的比值为 $F_1/V = 3700/2485 = 149\%$ 。

此例显示, 在截面厚度不小于 $0.8 d$, 截面铝合金型材强度不低于 6063-T5 时, 校核螺纹受力满足强度要求。

本条重申了铝合金型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受力连接时,即连接螺纹受拉、受压时,铝合金型材的局部厚度,目的在于保证幕墙的安全。

按照现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 进行设计时,要注意规范采用的统一性,不能几个标准、规范混同使用,避免存在安全度不足或安全度偏高的情况。铝合金立柱的壁厚应符合本条的有关规定,否则,工程难以验收。

无论是偏心受拉还是偏心受压的立柱,在立柱截面上,均存在受压板件,因此,板件的宽厚比 b_0/t 也应符合表 7.2.1 的要求。

7.4.2 幕墙构件一般来说均较柔细,不利于受压工作,故采用上悬方式较有利,截面选择可省材。如采取下端支承,应计算其稳定性。立柱若有条件采用长短跨支承设计时,可减少立柱挠度。根据幕墙连接构造的特点,长短跨比不宜大于 10,如果超过 10,由于施工安装工艺原因,立柱在设计荷载作用下,其检测挠度值会超过计算值。

7.4.3 上、下端均与主体结构铰接,除了可以改善主体结构的受力状态之外,也可提高幕墙适应主体结构的能力。立柱下端与主体结构的连接设计,应考虑立柱温度变化而产生的变形,留有伸缩余地。

截面形状完全相同的偏心受压件与偏心受拉件,偏心受压件的承载能力较低。同样,截面形状完全相同的多跨梁和单跨梁,单跨梁的承载能力较低。因此,设计立柱时,应尽量将立柱设计为偏心受拉构件;主体结构允许时,应将立柱设计为偏心受拉的多跨梁,以便降低材料损耗,节约材料。

立柱设计为双跨梁时,应考虑立柱温度变化而产生的变形,除了上支点采用圆孔用于定位之外,其余的支点均应采用长圆孔,有利于立柱伸缩变形,消除温度效应产生的附加作用。立柱过长,不利于幕墙变形,材料生产难度也非常大,不宜使用。

7.4.9 钢铝组合式截面的立柱构造,通常利用铝合金可以制造多种形式,美观外形截面,还能做出适于各相邻元件连接的截面构造,但达不到构件强度或经济的要求。利用铝合金和钢各自的特点,作组合截面,发挥钢铝的各自优点,因两种材料的金属电位不同,所以组合中应隔离,又两种材料的线胀系数各为 2.35×10^{-5} 和 1.20×10^{-5} ($1/^\circ\text{C}$) 几乎差一倍,因此既要考虑隔离,又要考虑温度胀缩的影响构造处理。所以不推荐使用。

钢铝之间隔离可以采用包复、支托,若采取穿插装配方式组合,须防止组合装配时隔离材料破损,移位致隔离失效。

铝合金型材和钢型材组合柱,应根据组合柱在工作中的实际变形情况,按照组合梁或钢型材起控制作用(仅对钢型材进行计算)计算。按照组合柱进行计算时,计算所得内力应分别符合本标准的规定。

7.4.10 钢铝组合截面中铝材处于外壳,荷载先从外传至内芯钢材,铝材处于受力不利位置。另外,由于铝材的力学特性,强度、延伸率均不如钢材,调整系数 $\gamma_F = 1.05$,提高铝材的计算荷载,加大铝材的计算截面。

钢铝共同受力的立柱设计，应考虑两者的剪力传递，经计算确定抗剪螺栓的设置。实际工程中通常只计钢型材受力。

7.5 连接设计

7.5.1 立柱和横梁采用钢结构时焊接连接较方便，刚度亦较大，均有相应的规程可执行。铝合金型材的焊接应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定；钢型材的焊接应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定。原现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133 是 2001 年实施的，二十年未修订，第 5.6.6 条规定已不适应幕墙工艺，无数工程案例也证明，采用焊接方式是科学的。

考虑温度对横梁与立柱连接和截面应力的影响，横向一定长度设一轴向滑移连接，有利变形释放，避免横梁受胀缩约束，滑移连接点宜设于同一个结构剖面内，规定横向连续的长度不宜超过 9m。

7.5.2~7.5.4 幕墙设计时应应对横梁与立柱的连接强度进行验算。铝合金横梁一般通过连接件、螺栓、螺钉或销钉与立柱连接。单元式幕墙通常采用铝合金框架，通过螺钉直接连接。

连接件宜采用不锈钢或铝合金，采用碳钢连接件时，要采取有效的防腐蚀措施。螺栓、螺钉或销钉应采用 A 类（奥氏体）不锈钢，材质和机械性能应符合现行相关标准的规定。角码和横梁采用不同金属材料时，应采取有效措施防止双金属腐蚀。

近年来，采用销钉和弹簧销钉连接横梁与立柱的方式也得到了广泛运用，采用钢销连接必须有滑移到位后的限位构造。弹簧销钉无相应的产品标准，连接两端均可滑移，对幕墙系统的整体刚度不利，所以规定不得全部采用弹簧销钉连接。

钢横梁和钢立柱的焊缝部位存在残余应力，更加容易被腐蚀，焊接完成之后，应立即对焊缝进行清理并涂刷防锈涂料。钢横梁和钢立柱焊缝连接时，一般情况下，均是角焊缝，焊缝位置及长度应满足设计要求。

7.5.7 为满足立面效果需求，通常在幕墙的立柱或横梁上安装突出玻璃面尺寸较大的装饰型材。当装饰型材突出玻璃面板尺寸 $D \leq 80\text{mm}$ 时，可参考图 7.5.7 中 a 的连接方式，连接要求：铝压板厚度不小于 3mm，扣盖受力部位壁厚不小于 1.5mm，深不大于 30mm，扣盖宽度不大于 80mm。当装饰型材突出玻璃面板尺寸 $D > 80\text{mm}$ 时，可参考图 7.5.7 中 b 的连接方式，连接要求：铝压板厚度不小于 4mm，装饰型材与压板直径采用螺栓连接，螺栓的规格、数量应经计算确定。

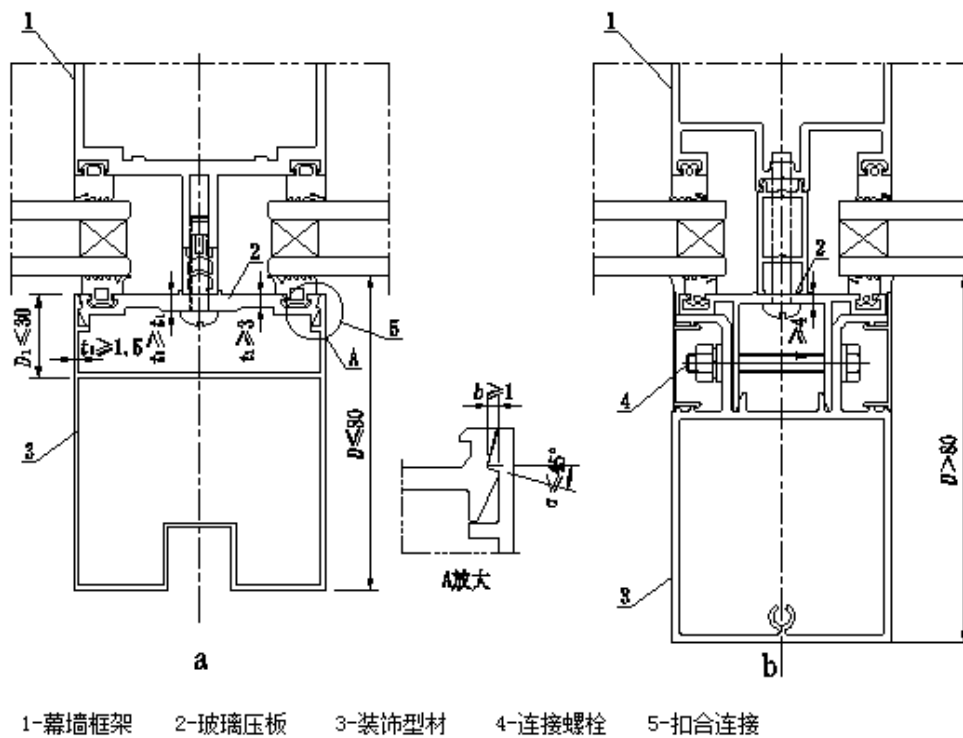


图10 扣盖压板示意图

7.5.8 有些幕墙在面板外侧设置遮阳或装饰型材等尺寸较大的构件，当构件突出面板大于300mm时，不应直接固定在压板上，应通过连接件与幕墙框架连接，计算时应考虑该荷载对框架的影响。开口截面横梁由于抗扭特性差，其幕墙面板外侧不宜设置外挑构件。

8 单元式幕墙

8.2 构造设计

8.2.9 虽然单元式幕墙在使用过程中相对施工时的正负极限温度变形不会都出现,甚至单方向的极端温度变形也不一定会出现,但考虑到单元式幕墙的生产和施工时的温度和偏差不可预见,为了安全适用,用 L_{cmin} 标定设计使用缝宽、用 L_{cmin} 与 L'_{cmin} 之和标定最大缝宽。

关于 L_{cmin} 应大于 L'_{cmin} ,一方面有效搭接量 L'_{ci} 为密封条中心至导插构造端点的距离,实际搭接量远大于有效搭接量;另一方面就横梁而言,工程应用中存在多种使 L'_{ci} 变大的因素。

当立柱长度为 6000mm,最大平均年温差为 50⁰C,不考虑主体结构相对位移时,按照公式 8.2.9-2 计算 $L'_{cmin}=11.05\text{mm}$;当主梁长度为 9000mm,最大平均年温差为 50⁰C,不考虑主体结构相对位移时,按照公式 8.2.9-2 计算 $L'_{cmin}=14.575\text{mm}$ 。因此,在主体结构没有相对位移时,本条规定的有效搭接量涵盖了多数单向刚性插接缝的有效搭接量。

高层、超高层建筑在竖向永久荷载和可变荷载作用下,底部楼层主体结构会有明显的压缩;主体结构采用钢结构,有时梁或板还可能悬挑,在竖向永久荷载和可变荷载作用下,主体的梁或板会有明显的纵向变形;单元式幕墙内局部嵌有预应力索网幕墙时,主体的梁或板会有明显的纵向变形。这些变形会对单元式幕墙的纵向插接缝有着显著的影响,应当在设计阶段予以考虑。当这些变形不能完全通过单元式幕墙的插接缝吸收时,可通过现场预加永久荷载和预应力实测确定单元式幕墙上的挂点位置,但活荷载和温度变化导致的预应力波动仍需插在插接缝的吸收范围。

按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 最大平均年温差为 42⁰C,围护结构深暗色温度增加值为 7⁰C,即浙江省维护结构最大的平均年温差近 50⁰C,硅酮密封胶允许的变位承受能力为 0.25,过桥长度为 300mm,过桥与单元板块的上横梁间间隙 C_b 为 3mm 时,按①款计算单元板块的宽度可以做到 2500mm,按②款计算单元板块的宽度可以做到 5000mm。

8.3 结构设计

8.3.2 在幕墙面外荷载作用下,单向刚性插接缝接缝处的横梁和立柱有协调变形功能,双向柔性挤压缝接缝处的横梁和立柱没有协调变形功能,组合插接缝接缝处的横梁和立柱可以做到具有协调变形功能。

接缝处的横梁和立柱应能承担各自单元内的作用在幕墙面外的荷载和作用。在有协调变形功能时,由于接缝处相邻的横梁(立柱)的刚度不同,按刚度分配后刚度大的横梁(立柱)的承载能力可能不够,因此要求有协调变形功能的横梁和立柱还应进行按刚度分配后的承载力计算。

8.4 连接设计

8.4.2 按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的 8.3.2 条, 施工楼层标高允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$; 按照现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 的 10.2.3 条, 埋件的位置偏差为 20mm 。埋件埋设时以楼层施工的前道工序为基准, 偏差累计为 $\pm 30\text{mm}$ 。在水平方向, 埋件偏差为 $\pm 20\text{mm}$ 。在进出位方向, 按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的 8.3.2 条, 现浇混凝土结构的墙、柱、梁的轴线位置允许偏差为 8mm , 整个建筑物的全高垂直度允许偏差为 30mm , 二者累计为 $\pm 46\text{mm}$ 。现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205-2001 的第 11.3.5 条多层及高层钢结构主体结构的整体垂直度允许偏差为 50mm , 整体平面弯曲的允许偏差为 25mm , 二者累计为 $\pm 75\text{mm}$ 。

由于连接组件提供的单元式幕墙的支反力, 各方向偏差调节量均满足极限偏差会导致材料成本上升和技术困难, 按工程经验三个方向的偏差调节量满足 $\pm 25\text{mm}$ 时已经满足了大部分工程需要。当 $\pm 25\text{mm}$ 的偏差调节量不能满足时, 可经过测量后加垫板、调整立柱上的连接孔位和局部修改设计等措施满足主体结构的偏差要求, 但这些措施应满足承载力要求。

8.4.4 单元式幕墙横梁沿杆轴方向相对立柱不能滑移, 导致单元板块相对主体结构的温度变形靠单元式幕墙与主体结构间的连接组件吸收, 要求单元板块与主体结构的两组连接组件中一组设计成幕墙面内可水平滑移的构造形式, 另一组承担单元板块面内的地震作用和表面凸起构件的侧向风荷载。

单元板块在地震作用或其它因素作用下可能向上滑移, 采用钩挂式组件与主体结构连接时, 应有可靠的防止脱落的构造措施。

9 双层幕墙

9.1 一般规定

9.1.2~9.1.3 双层幕墙不仅具备单层幕墙固有的物理性能，还应在采光、通风、节能、降噪和视觉效果上优于单层幕墙。

通过围护结构进行室内外热交换有导热和辐射两种途径，其中辐射热包括太阳能的穿透热和维护结构吸热后的辐射热两部分。将太阳的辐射热限制在双层幕墙的空气间层内，通过对流换热将热传给热空气间层的空气，空气受热后产生浮升力流通，在循环空间内将热量通过出风口带到室外或室内，达到节能（外循环）和促进空气流通（内循环）。因此，将太阳辐射热限制在空气间层内并使空气间层内空气受热无死角的流畅循环，是双层幕墙设计的重点。

9.1.5 双层幕墙的玻璃选用是出于节能和清洗检修的目的考虑，双层幕墙的玻璃选用还应符合本标准的其它相关要求。

外通风双层幕墙的外层幕墙采用单层玻璃的目的是让热能、尤其是太阳的辐射热进入空气间层，内层幕墙采用 LOW-E 中空玻璃的目的是将室外的热能隔离在空气间层内，两者的共同效应是加热空气间层内的空气。

内通风双层幕墙的外层幕墙起到密封、保温隔热功能，因此要求外层幕墙采用中空玻璃，通过太阳能的得热和室内热损失综合评定是否采用 LOW-E 中空玻璃。内层幕墙玻璃更多起到对空气间层内空气的约束作用，采用单层玻璃即可。

宽腔双层幕墙的空气间层内清洗、检修时人员要进入，并且可能作为景观的布置的空间，出于对进入人员的安全考虑，要求宽腔双层幕墙的外层幕墙采用夹层玻璃或夹层玻璃的合成制品。窄腔双层幕墙的空气间层内人员不可进入，但清洗、检修时室内人员有外倾的趋势，并且可能会登高作业，因此建议窄腔双层幕墙的外层幕墙采用夹层玻璃或夹层玻璃的合成制品。

9.2 构造设计

9.2.7 空气间层净宽是指内外层幕墙间去除立柱和横梁或遮阳设施后的宽度，便于人员通过的最小宽度。当每个幕墙分格内内层幕墙均有可开启的门满足检修维护要求时，可不受此条的净宽限制，但有人人员踩踏的通道仍然应满足承载力要求。内外均可开启的检修门是指开启的执手锁具，而非门的开启方向。

9.2.8 窄腔双层幕墙多采用单元式设计，空气间层两侧面层间的净宽小于 240mm 时不便于遮阳系统的安装，大于 400mm 时型材生产有难度，并且人员室内检修维护时有向外的倾斜趋势，不安全。腔体过宽检修维护人员踩踏楼面处的横梁，增大横梁负荷。

9.2.9 建筑物采用自然排烟时,可开关的进风口等同单层幕墙的排烟窗,应方便手动开启,或消防联动。

9.2.10 窄腔外通风双层幕墙的进风口多位于室内可见部分,室内人员的活动和幕墙的通透性,鸟类不会进入,飘入的杂物易于清理。宽腔外通风双层幕墙的进风口多位于楼面梁的位置,口内隐蔽,不易清理,因此应设置防止鸟类栖息或杂物飘入的隔离措施,如金属网。

9.2.12 宽腔双层幕墙的进风口多位于楼面梁的位置并且与内层幕墙在同一界面上。该处构造复杂,一方面要防止雨水侵蚀和雨水沉积,导致保温层潮湿;另一方面也要防止室内侧的清洁、冷凝等水汽的影响。

9.3 结构设计

9.3.1 对于建筑物整体而言,幕墙体型复杂、群集的高层建筑、风荷载环境复杂或高度大于200m时,宜进行风洞试验;对于重要且体型复杂的建筑,应进行风洞实验。此外,作为双层幕墙的内外层风荷载分配而言,通过风洞实验确定内外层幕墙风荷载标准值对于双层幕墙的选材更为合理。

以走廊式双层幕墙为例,根据浙江大学张敏、楼文娟老师的论文《双层玻璃幕墙风荷载特性的试验研究》中的相关试验结果表明:

由于热通道内风压的平衡作用,在平均正压作用下一字型外通风双层幕墙的外层幕墙承受的风压系数是内层幕墙的1/3;在平均负压作用下一字型外通风双层幕墙的外层幕墙在墙面区域承受的风压系数比平均正压时更小,但在墙角区会显著增大。同样由于热通道内风压的平衡作用和外层幕墙的屏蔽作用,无论在平均正压作用下还是平均负压作用下一字型外通风双层幕墙的内层幕墙承受的风压系数比较均匀,没有明显的墙面区和墙角区的区别。

由于热通道连通和进出通道气流量的差异,在平均正压作用下L字型外通风双层幕墙的短边外层幕墙承受的风压系数大于内层幕墙,与一字型相反,是内层幕墙的4倍;在平均负压作用下L字型外通风双层幕墙的短边外层幕墙承受的风压系数大于内层幕墙,也与一字型相反,但与内层幕墙接近。由于热通道内风压的平衡作用和外层幕墙的屏蔽作用,无论在平均正压作用下还是平均负压作用下L字型外通风双层幕墙的内层幕墙承受的风压系数比较均匀,没有明显的墙面区和墙角区的区别。

上述试验结果表明:

1 作为外通风双层幕墙的外层幕墙,虽然是风荷载作用的直接载体,并不是我们习惯认为的承受完全的风荷载;作为外通风双层幕墙的内层幕墙,也没有我们常规意义上的墙面区和墙角区的区分。而本标准收录的四种外通风双层幕墙均有与本试验相似的条件,有着一一定的借鉴意义;

2 目前可见到的规范和资料多为资料引用或偏安全的规定。作为资料引用,缺乏实验数据的支持;作为偏安全的规定造成保守设计的同时,也无法覆盖特殊情况下特殊部位的安

全设计。

因此,在试验条件具备的情况下,由风洞试验确定双层幕墙的内外层幕墙承受的风荷载标准值会使设计选材更为合理;为了确保安全,对于重要且风环境恶劣的建筑,由风洞试验确定外通风双层幕墙的内外层幕墙承受的风荷载标准值尤为重要。

9.3.3 外层幕墙直接承受风荷载作用,按其结构类型计算风荷载标准值。内层幕墙为主要受力结构时,无论外层幕墙是何种结构类型,内层幕墙都有产生风振效应的可能;内层幕墙为维护结构时,无论外层幕墙是何种结构类型,内层幕墙仍以风荷载的脉动作用为主。因此,内外层幕墙按自身的结构类型计算风荷载标准值。

内通风双层幕墙的内层幕墙风荷载的分配可从以下几个方面考虑:

其一,采用现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中封闭式建筑物内部压力的局部体型系数-0.2 或 0.2,按 GB 50009 中浙江省 15 个不同基本风压的城市和地区中风荷载标准值能够达到 0.8kN/m^2 的只有 5 个,而这 5 个城市或地区的基本风压分别为 1.2kN/m^2 、 1.3kN/m^2 、 1.45kN/m^2 、 1.65kN/m^2 和 1.8kN/m^2 。采用这种方法控制的标准显然过低;

其二,按照现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 中规定的 6 级风应全部关闭外层幕墙上的开启扇,5 级风时最大风速为 9.6m/s ,根据公式 $w_0=v_0/1600$ (kN/m^2) 计算出 5 级风时 $w_0=0.072$ (kN/m^2)。以杭州为例,按 5 级风算出的风荷载标准值与局部体型系数-0.2 或 0.2 时算出的风荷载标准值接近,依然很小;

其三,内通风双层幕墙的内层幕墙承受的风荷载标准值统一采用某一固定值,一方面没有资料依据,另一方面应该考虑内层幕墙的风口的通风量很小或可关闭时,在外层幕墙承受风荷载时热通道内的空气形成正压或负压效应导致内层幕墙与外层幕墙同时承受风荷载的可能,因此将内层幕墙承受的风荷载标准值与外层幕墙承受的风荷载标准值进行关联考虑是合理的。当内层幕墙与外层幕墙进行等模数、等跨度和等刚度设计时,内层幕墙承受风荷载标准值的 50%,因此本标准采用了 50%进行折减。实际上,由于外层幕墙按承受 100%的风荷载标准值进行设计,当内层幕墙与外层幕墙进行等模数、等跨度和等刚度设计时,也只能 1/3 的风荷载标准值。

关于折减后的风荷载标准值不应小于 0.8kN/m^2 的考虑因素如下:

其一,在考虑一定的风险控制目的的基础上简化设计结构计算的过程,经分析杭州市按照地面粗糙度的不同 A 类可做到 70m、B 类可做到 100m、C 类可做到 200m、D 类可做到 250m,宁波市 A 类可做到 40m、B 类可做到 70m、C 类可做到 150m、D 类可做到 200m,温州市 A 类可做到 15m、B 类可做到 30m、C 类可做到 70m、D 类可做到 150m。当基础风压 $w_0 \geq 0.85\text{kN/m}^2$,则通过折减计算得出风荷载标准值;

其二,具有一定的室内的冲击荷载的承受能力。以分格宽度 b (m)、单跨简支立柱跨度为 l (mm) 的内层幕墙为例,按照风荷载标准值 w_k (kN/m^2) 时,立柱的弯矩和挠度分别为:

$$M_w = \frac{1}{8} \times 1.4 w_k b l^2 \quad (9.1)$$

$$d_{fw} = \frac{5 w_k b l^4}{384 E I} \quad (9.2)$$

按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的栏杆顶部承受的水平荷载 $p_k=1.0\text{kN/m}$ ，为了简化计算使 p_k 作用在内层幕墙立柱的跨中，立柱的弯矩和挠度分别为：

$$M_p = \frac{1}{4} \times 1.4 \times 10^3 p_k b l \quad (9.3)$$

$$d_{fp} = \frac{1000 p_k b l^3}{48 E I} \quad (9.4)$$

令 M_w 和 M_p 相等，得出：

$$w_k = \frac{2000 p_k}{l} \quad (9.5)$$

令 d_{fw} 和 d_{fp} 相等，得出：

$$w_k = \frac{1600 p_k}{l} \quad (9.6)$$

公式 9.5 和 9.6 说明：

1 风荷载标准值 w_k 与室内冲击荷载在内层幕墙立柱上的等效作用与立柱的跨度有关，立柱的跨度越大作用在立柱上的等效风荷载标准值越小；

2 经测算在公式 9.5 中，当 $w_k=0.8\text{kN/m}^2$ 时， $l=2500\text{mm}$ ；经测算在公式 9.6 中，当 $w_k=0.8\text{kN/m}^2$ 时， $l=2000\text{mm}$ ；

3 内层幕墙的立柱跨度一般不低于 2500mm，内层幕墙折减后的风荷载标准值不应小于 0.8kN/m^2 保证了内层幕墙具有一定的耐冲击能力。

9.3.4 外通风双层幕墙的风荷载标准值可通过风洞试验确定，风洞试验数据取值应符合现行行业标准《建筑工程风洞试验方法标准》JGJ/T 338 的规定。考虑到外层幕墙的屏蔽作用，外通风双层幕墙的内层幕墙为围护结构时，内层幕墙承受的风荷载标准值可按 80% 进行折减是针对阵风系数的折减。

10 全玻璃幕墙

10.3 结构设计

10.3.7 目前国内工程中,单片玻璃肋的跨度已达10m,钢板连接玻璃肋的跨度甚至达到26m。由于玻璃肋在平面外的刚度较小,有发生横向屈曲的可能性。当正向风压作用使玻璃肋产生弯曲时,玻璃肋的受压部位有面板作为平面外的支撑;当反向风压作用时,受压部位在玻璃肋的自由边,就可能产生平面外屈曲。所以,跨度大的玻璃肋在设计时应考虑其侧向稳定性要求,必要时应进行稳定性验算,并采取横向支撑或拉结等措施。

由于玻璃肋平面外刚度远小于平面内刚度,对于超高玻璃肋,当荷载达到一定临界值时,玻璃肋就有可能发生平面外弯曲并扭转,也称侧向屈曲或平面外失稳。

鉴于目前国内尚无与玻璃相关的稳定计算,可参照澳大利亚规范进行验算。

根据玻璃肋的不同支承边界条件,按照公式 10.3.7.1~10.3.7.3 计算玻璃肋弹性临界屈曲弯矩MCR,其值须大于玻璃肋承受弯矩荷载设计值的 1.14 倍。不满足时需修改玻璃肋设计。

澳大利亚规范 AS1288-2006(A2)附录 C 中玻璃肋的稳定性验算方法如下:

A. 有连续侧向约束的玻璃肋稳定性计算

与面板玻璃通过结构胶连接的玻璃肋,可视为连续侧向约束的形式,其弹性屈曲稳定性计算如下:

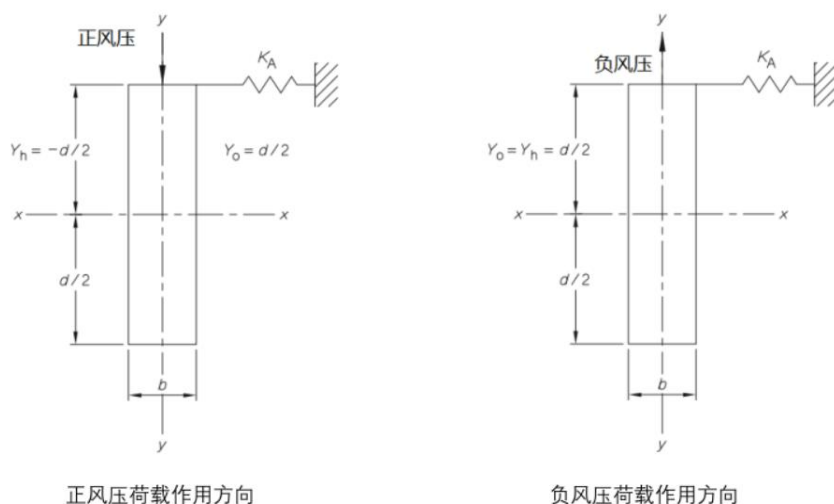


图11 不同荷载作用方向玻璃肋稳定计算

在侧向约束的作用下,玻璃肋的屈曲临界弯矩 M_{CR} 为:

$$M_{CR} = \frac{\left(\frac{\pi}{L_{ay}}\right)^2 \cdot (EI)_y \cdot \left(\frac{d^2}{12} + y_0^2\right) + (GJ)}{2y_0 + y_h} \quad (10.3.7.1)$$

式中： M_{CR} —— 屈曲临界弯矩(N mm)；

L_{ay} —— 有效的防失稳刚性扭转约束的间距，可取玻璃的计算跨度；

y_0 —— 侧向约束到中性轴距离(mm)， 见图11；

E —— 玻璃弹性模量(N/mm²),取72000N/mm²；

I_y —— 玻璃肋弱轴惯性矩(mm⁴)；

G —— 玻璃的剪切模量，取30000 N/mm²；

J —— 玻璃肋抗扭惯性矩(mm⁴)， $J=db^3(1-0.63b/d)/3$ ；

b —— 玻璃肋截面的等效厚度(mm)， $b=t_e$ ；

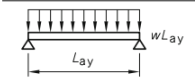
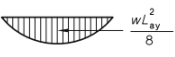
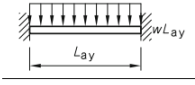
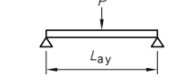
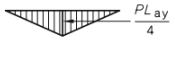
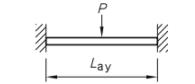
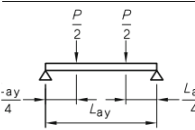
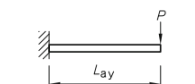
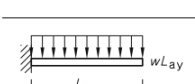
d —— 玻璃肋截面高度(mm)， $d=h_r$ ；

y_h —— 荷载作用点与玻璃肋中性轴距离(mm)， 根据不同的荷载作用方向 y_h 取值须考虑正负号， 荷载指向中心轴取“-”， 荷载背离中心轴取“+”。

详见图11；

B. 无侧向约束的玻璃肋稳定性计算

表3 无侧向约束时玻璃肋屈曲系数

荷载	弯矩 (M)	端部y-y轴方向抗扭约束的状态	屈曲系数	
			g_2	g_3
		自由 固定	3.6 6.1	1.4 1.8
		自由 固定	4.1 5.4	4.9 5.2
		自由 固定	4.2 6.7	1.7 2.6
		自由 固定	5.3 6.5	4.5 5.3
		自由 固定	3.3 —	1.3 —
		固定	4.0	2.0
		固定	6.4	2.0

注：1 表中 g_2 和 g_3 的取值假定玻璃肋仅在顶底有侧向约束；

2 “自由”约束和“固定”约束情况是指在约束点位置绕 y-y 轴旋转的可能性，当玻璃肋的两端的约束有效抗扭刚度大于20GJ/Lay时，其约束条件视为固定状态，其它条件视为自由状态，其中GJ是玻璃肋截面的扭转刚度， Lay是玻璃肋的长度。

在荷载作用下，玻璃面板对玻璃肋的稳定不起作用时，玻璃肋视为无侧向约束，其弹性屈曲稳定性计算如下：

$$M_{CR} = \left(\frac{g_2}{L_{ay}} \right) \cdot \sqrt{(EI)_y (GJ)} \cdot \left[1 - g_3 \left(\frac{y_h}{L_{ay}} \right) \sqrt{\frac{(EI)_y}{(GJ)}} \right] \quad (10.3.7.2)$$

式中: M_{CR} ——屈曲临界弯矩(N mm);

L_{ay} ——有效的防失稳刚性扭转约束的间距, 可取玻璃的计算跨度;

E ——玻璃弹性模量(N/mm²), 取72000N/mm²;

I_y ——玻璃肋弱轴惯性矩(mm⁴);

Y_h ——荷载作用点与玻璃肋中性轴距离(mm), 见图11;

G ——玻璃的剪切模量, 取30000 N/mm²;

J ——玻璃肋抗扭惯性矩(mm⁴), $J=db^3(1-0.63b/d)/3$;

b ——玻璃肋截面的等效厚度(mm), $b=t_e$;

d ——玻璃肋截面高度(mm), $d=h_r$;

g_2 、 g_3 ——屈曲系数, 取值见表11。

C. 中部有间隔侧向约束玻璃肋的稳定性计算

玻璃肋通过拉杆或其它有效的连接方式, 对玻璃肋提供间隔的侧向约束时, 可视为中部有间隔侧向约束玻璃肋, 其屈曲临界弯矩 M_{CR} 计算如下:

$$M_{CR} = \left(\frac{g_1}{L_{ay}} \right) \cdot \sqrt{(EI)_y (GJ)} \quad (10.3.7.3)$$

式中: M_{CR} ——屈曲临界弯矩(N mm);

g_1 ——长细比系数, 按表4取值;

L_{ay} ——有效的防失稳刚性扭转约束的间距, 可取玻璃的计算跨度;

y_0 ——侧向约束到中性轴距离(mm), 见图11;

E ——玻璃弹性模量(N/mm²), 取72000N/mm²;

I_y ——玻璃肋弱轴惯性矩(mm⁴);

G ——玻璃的剪切模量, 取30000 N/mm²;

J ——玻璃肋抗扭惯性矩(mm⁴), $J=db^3(1-0.63b/d)/3$;

b ——玻璃肋截面的等效厚度(mm), $b=t_e$;

d ——玻璃肋截面高度(mm), $d=h_r$;

y_h ——荷载作用点与玻璃肋中性轴距离(mm), 根据不同的荷载作用方向 y_h

取值须考虑正负号, 荷载指向中心轴取“-”, 荷载背离中心轴取“+”。

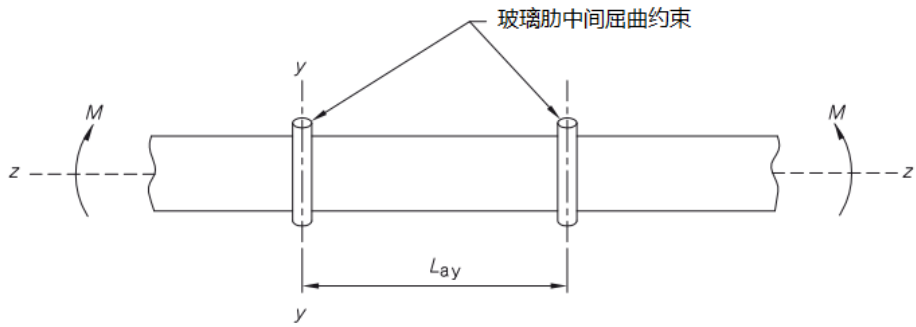
详见图11;

表4 带有间隔侧向约束的玻璃肋的长细比系数

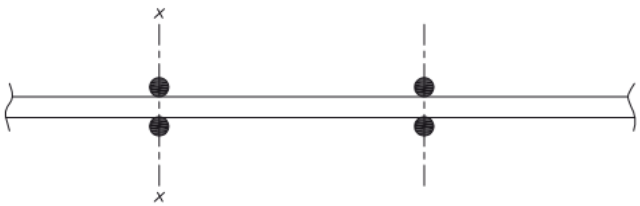
弯矩系数(β)*	长细比系数 (g_1)	
	自由约束情况**	固定约束情况
1.0	3.1	6.3
0.5	4.1	8.2
0.0	5.5	11.1
-0.5	7.3	14.0
-1.0	8.0	14.0

注： * β 见图10.3.7.2 (c);

**防失稳的约束必须防止玻璃肋绕 z -轴旋转。“自由”约束和“固定”约束情况是指在约束点位置绕 y - y 轴旋转的可能性。



(a) 玻璃肋侧视图



(b) 玻璃肋正视图



(c) 相邻两个有效侧向屈曲约束之间的弯矩图

图12 间隔的玻璃肋侧向约束

D. 防失稳约束力的计算

玻璃肋有一系列防止侧向失稳约束时，侧向约束所受力的设计值 P_R 可按以下公式计算：

$$P_R = \frac{0.1Ma}{d(n+1)} g_4 \tag{10.3.7.4}$$

式中： Ma ——作用在玻璃肋上的弯矩；

g_4 ——取 $(m+1)/2$ 和 5 之间的较小值， m 为由该防侧向失稳约束连接的玻璃肋数量；

d ——玻璃肋截面高度；

n ——玻璃肋上侧向约束的数量。

10.3.12 由于玻璃肋是在玻璃平面内受弯、受剪和抵抗螺栓的压力，最大应力发生在玻璃的端面，应按端面强度设计值进行校核。

对于长度超长的玻璃肋，由于厂家生产设备的限制，玻璃肋有时需要几段玻璃肋拼接而成，注意这个搭接的位置应设置在弯矩较小的位置。

通常有两种连接方式：粘接连接和机械连接。

粘接连接：就是在玻璃肋拼接的位置处，两侧各盖一张钢板，在钢板与玻璃之间涂上高强度胶粘剂（一般是环氧树脂胶），然后穿上螺栓，主要通过胶粘剂传递内力。这个胶粘剂需要通过试验确定胶抗剪强度，通过测定一组数据（一般10个），然后取这组数据的5%分位值作为这个胶抗剪强度标准值，然后除以一个材料安全系数得到强度设计值。根据BS8108和EN1993 - 1中规定，粘接连接的材料安全系数最要为3。

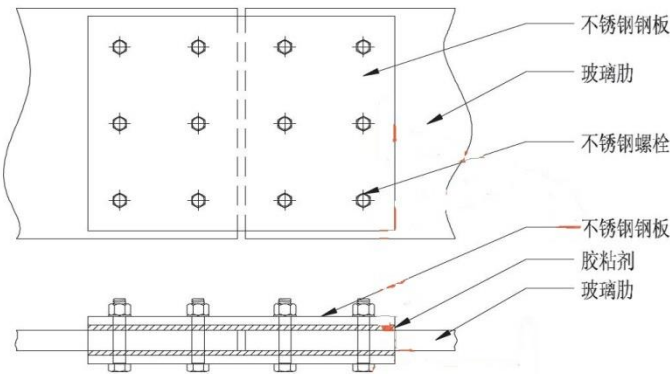


图13

机械连接：就是在玻璃肋拼接的位置处，两侧各盖一张钢板，在钢板与玻璃之间垫上一层薄的EPDM胶皮，在螺栓上套上柔性垫套（通长是纯铝或者尼龙），主要通过螺栓与玻璃孔挤压传递内力。这种连接中玻璃孔的承压强度取玻璃端部强度。其中玻璃孔一般情况下，需要倒1mm 左右角，所以计算玻璃孔承压厚度时需要扣除孔两边倒角值。

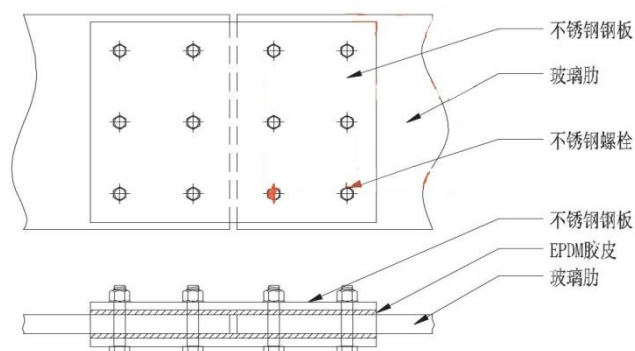


图 14

10.4 连接设计

10.4.7 吊挂玻璃开孔后采用螺栓连接时，建议螺栓和玻璃孔的间隙为5mm~7mm。直径为d的螺栓，玻璃孔间隙取6mm时，孔径为 $D=d+12$ （mm），或可取 $D=1.4d$ ，取较大值。夹层玻璃合片误差较大，严重影响玻璃孔的承载能力，要求对用于螺栓吊挂的夹层玻璃，要求合片后孔壁不平整度小于1.0mm。玻璃孔壁不平整度不满足时，除按本条作强度验算外，还需附加安全措施。

玻璃孔与螺栓之间采用胶填充时，螺栓位置要准确，孔隙注胶饱满，养护得当，填充胶固化后强度符合本标准规定，满足设计要求。

玻璃孔壁的不平整度大于1.0mm，但相应孔群各孔的孔壁的不平整度不大于设计计算孔间隙的1/3时，如按本标准设计，相应部位的连接除螺栓承力外，应有附加安全措施。可在连接钢板与玻璃间采用粘结剂，但应试验合格后使用。粘结剂应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367和《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728的规定。

不满足本条第2款时，该玻璃肋不能在工程中使用。

11 点支承玻璃幕墙

11.1 一般规定

11.1.1 为减少支承点处玻璃的应力集中，支撑装置须能适应玻璃面板在支承点处的转动变形。钻孔式点支承玻璃面板的点连接处，宜采用活动球铰连接来适应玻璃面板的转动变形。夹板式、短挂件点支承则应在驳接头与玻璃面板之间设置柔性垫片或球铰结构。

点支承幕墙面板采用开孔支承装置时，玻璃板在孔边会产生较高的应力集中。为防止破坏，保证安全，孔洞距板边不宜太近。支承点的数量应根据计算确定，经过受力分析，当挠度过大时，可在中部增加支承点，承载力没有显著提高，但跨中挠度可大大减小，六点支承易造成中间点玻璃应力增加，对于六点支撑的中间支撑点宜设计成弹性支撑或厚度不小于6mm的弹性垫圈。

11.1.3 点支承幕墙的支承结构可有玻璃肋和各种钢结构。面板承受的荷载与作用，通过支承装置传递给支承结构。幕墙设计时，支承结构应单独进行结构分析。玻璃面板的胶缝变形影响其平面内受力的结构性能，本标准规定玻璃面板不应兼做支承结构的一部分。常规钢化玻璃、夹层玻璃加工的最大尺寸约15m，超过15m时需采用钢板夹持连接，考虑到玻璃属脆性材料，开孔部位人为因素较多，易产生断裂，当幕墙高度大于15m时，不宜采用玻璃肋做支承结构。为满足通透的效果，可采用T型钢或焊接钢梁做支承结构。

11.1.5 为便于装配和安装时调整位置，玻璃板开孔的直径稍大于穿孔的金属轴，除轴上加封尼龙套管外，还应采用密封胶将空隙密封。

中空玻璃的干燥气体层要求更严格的密封条件，防止漏气后中空内壁结露，为此常采用多道密封措施。应尽量避免在中空玻璃上开孔，可采用金属夹板夹持中空玻璃的方法。

11.2 构造设计

11.2.3 点支承幕墙的支承装置只用来支承幕墙玻璃和玻璃承受的风荷载或地震作用，不应在支承装置上附加其他设备和重物。

11.3 结构设计

11.3.4 单根型钢或钢管作为竖向支承结构时，是偏心受拉或偏心受压杆件，上、下端宜较支承于主体结构上。当屋盖或楼盖有较大位移时，支承构造应能与之相适应，如采用长圆孔、设置双铰摆臂连接机构等。

构件的长细比 λ 可按式计算：

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad (11.1)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (11.2)$$

式中： l ——支承点之间的距离（mm）；

i ——截面回转半径（mm）；

I ——截面惯性矩（mm⁴）；

A ——截面面积（mm²）。

11.3.5 钢管桁架可采用圆管或方管，目前以圆管为多。本条有关钢管桁架节点的构造规定是参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和国内的工程经验制定的，以保证节点连接质量和承载力。在节点处主管应连续，支管端部应按相贯线加工成形后直接焊接在主管的外壁上，不得将支管穿入主管壁内。

美国 API 规范规定 d/t 大于 60 时，应进行局部稳定计算。结合目前国内实际采用的钢管规格，本标准要求 d/t 不宜大于 50。此处， d 为钢管外径， t 为钢管壁厚。

主管和支管或两支管轴线的夹角不宜小于 30°，以保证施焊条件和焊接质量。

钢管的连接应尽量对中，避免偏心。当管径较大时，连接处刚度也较大，如果偏心距不大于主管管径的 1/4，可不考虑偏心的影响。

钢管桁架由于采用直接焊接接头，实际上杆端都是刚性连接的。在采用计算机软件进行内力分析时，均可直接采用刚接杆件单元。铰接普通桁架是静定结构，可以采用手算方法计算。因此，对于管接普通桁架，也允许按铰接桁架采用近似的手算方法分析。

桁架杆件长细比 λ 的限值，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用。

钢管桁架在平面内有较大刚度，但在平面外刚度较差。当跨度较大时，杆件在平面外自由长度过大则有失稳的可能。因此，跨度较大的桁架应按长细比 λ 的要求设置平面外正交方向的稳定支撑或稳定桁架。作为估算，平面外支撑最大距离可取为 50D，D 为钢管直径。

11.3.6 张拉索杆体系的拉杆和拉索只承受拉力，不承受压力，而风荷载和地震作用是正反两个不同方向的。所以，张拉索杆系统应在两个正交方向都形成稳定的结构体系，除主要受力方向外，其正交方向亦应布置平衡或稳定拉索或拉杆，或者采用双向受力体系。

钢绞线是由若干根直径较大的光圆钢丝绞捻而成的螺旋钢丝束，通常由 7 根、19 根或 37 根直径大于 1mm 的钢丝绞成。钢绞线比采用细钢丝、多束再盘卷的钢丝绳拉伸变形量小，弹性模量高，钢丝受力均匀，不易断丝，更适合于拉索结构。

拉索常常采用不锈钢绞线，不必另行防腐处理，也比较美观。当拉索受力较大时，往往需要采用强度更高的高强钢绞线，高强钢丝不具备自身防腐能力，必须采取防腐措施，常采用聚氨酯漆喷涂等方法。热镀锌防腐层在施工过程中容易损坏，不推荐使用。铝包钢绞线是在高强钢丝外层被覆 0.2mm 厚的铝层，兼有高强和防腐双重功能，工程应用效果良好。

张拉索杆体系所用的拉索和拉杆截面较小、内力较大，这类结构的位移较大，在采用计算机软件进行内力位移分析时，宜考虑其几何非线性的影响。

张拉索杆体系只有施加预应力后,才能形成形状不变的受力体系。因此,一般张拉索杆体系都会使主体结构承受附加的作用力,在主体结构设计时必须加以考虑。索杆体系与主体结构的屋盖和楼盖连接时,既要保证索杆体系承受的荷载能可靠地传递到主体结构上,也要考虑主体结构变形时不会使幕墙产生破损。因而幕墙支承结构的上部支承点要视主体结构的位移方向和变形量,设置单向(通常为竖向)或多向(竖向和一个或两个水平方向)的可动铰支座。

拉索和拉杆都通过端部螺纹连接件与节点相连,螺纹连接件也用于施加预拉力。螺纹连接件通常在拉杆端部直接制作,或通过冷挤压锚具与钢绞线拉索连接。焊接会破坏拉杆和拉索的受力性能,而且焊接质量也难以保证,故不宜采用。

在钢绞线拉索折线处,为保证钢绞线平滑过渡、避免应力集中,连续穿孔处应采用弧形过渡。

11.3.7 用于幕墙的索杆体系常常对称布置,施加预拉力主要是为了形成稳定不变的结构体系。为避免索体松弛导致的结构失效和玻璃面板破损,要求在设计值作用下杆索还存在一定的拉力。

张拉索杆体系在施加预拉力过程中和在使用阶段,预拉力会因为产生可能的损失而下降。但是,索杆体系不同于预应力混凝土,它的杆件全部外露,便于调整,而且无混凝土等外部材料的约束。所以,锚具滑动损失可通过在张拉过程中控制张拉力得到补偿;由支承结构的弹性位移造成的预拉力损失可以通过分批、多次张拉而抵消;由于预拉力水平较低,钢材的松弛影响可以不考虑。因此,只要在施工过程中做到分批、多次、对称张拉,并随时检查、调整预拉力数值,预拉力的损失是可以补偿的,最终达到控制拉力的数值。因此,幕墙结构中一般不专门计算预拉力的损失。

由于通透性高、可以跨越较大角度的特点,张拉杆索支承的玻璃幕墙在近年来得到了广泛的应用,但是张拉杆索支承结构分析有其自身的特殊性,如需考虑初始预应力状态、拉索索力作用下主体支承结构的变形等因素。因此,本次修订时对张拉杆索体系结构分析内容做了适当加强。除原有的两条规定外(考虑几何非线性影响、保持预拉力储备),还增加了计算模型计算假定与构造要求的符合性、支承结构变形的影响、挠度计算的初始状态等规定。

索结构张拉力容易引起支承结构产生变形,因此,分析模型中应计入索端支承结构变形的影响。可采用对张拉杆索结构的支座增设线弹簧的方法进行考虑,也可采用对支座施加强制约束位移的方法在有限元分析模型中加以考虑。必要时,应建立玻璃幕墙张拉杆索支承结构与相连主体结构的整体模型进行协同分析。

11.3.8 对索桁架的设计提出了具体规定。索桁架有弧线型、多折线型、三折线型等形式(见图 14)。不同索桁架的抗风能力是不同的,应结合建筑要求、抗风能力要求、支承结构刚度等因素综合确定。建筑造型不受限时,宜优先选用弧线型索桁架中的第 1 种形式,其抗风能力和材料用量相对最优;设置直线弦索的多折线型索桁架抗风能力比不含弦索的多折线型

索桁架的抗风能力要强很多，因此要求多折线型索桁架宜增设直线弦索；三折线索桁架的抗风能力比弧线型、多折线型要弱，宜在分段数较少时采用。

经理论推导和有限元分析，常见矢高的弧线型索桁架具有几何非线性特征不显著、初始张拉应力增加对抗风能力提高影响较小、索桁架跨矢比与挠度近似呈线性关系、索桁架索截面与跨中变形乘积值相对恒定等特点。在抗风能力不足的情况下，不宜通过增大初始应力来实现，而应增大索截面、增大索桁架矢高来实现。

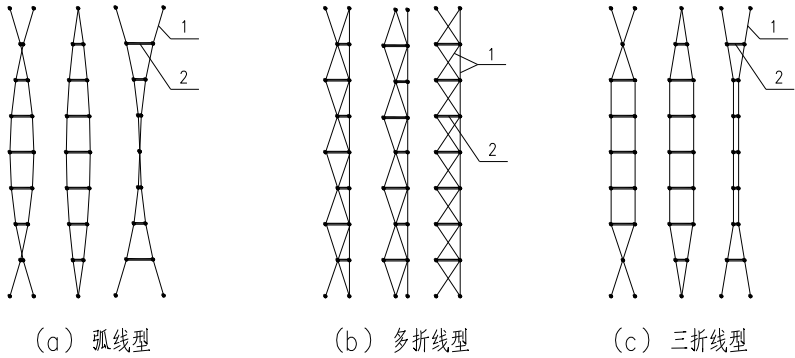


图 14 索桁架示意

1——拉索或拉杆；2——撑杆

11.3.10 对单层曲面索网的设计提出了具体规定。单层曲面索网国内应用相对较少，由于其曲面特性，会造成索网张拉时出现不同索之间索力相互干扰、同一根索不同索段之间存在索力偏差等情况，因此对于单层曲面必须进行找形、施工张拉模拟分析。同时，应尽量通过合理找形方法提高索力分布的均匀性，减小同一节点相连纵横索的索力偏差值，降低对索夹设计要求过高、以及索夹预紧力过大对索损伤的不利影响。单层曲面索网刚度要由于单层平面索网，但单层曲面索网玻璃幕墙的周边支承结构通常采用钢结构支承，刚度无法保证很大，因此，本确定单层曲面索网变形限值时，宜介于单层平面索网变形限值和索桁架变形限值之间。规范规定采用短向跨度的 $1/100$ 作为单层曲面索网的挠度限值。

单层平面索网为目前国内常见的一种支承结构形式，平面索网设计时索网挠度控制是关键点，目前国内通常习惯做法是按短跨长度的 $1/40 \sim 1/50$ 进行控制。对众多工程项目调查后，发现单层平面索网幕墙使用性能良好，因此，变形控制限值取短跨挠度的 $1/45$ 。为避免主体结构变形引起索中内力大幅变化，有多项工程在索端串联安装了弹簧，弹簧的存在大大降低了索力因主体结构变形的波动幅度。经分析，弹簧刚度过大则索力缓冲效果不明显、弹簧刚度过小则索力无法保证，因此本条对弹簧刚度建议取索线刚度 ($E_p A_p / l_p$) 的 $1/4 \sim 1/8$ ，式中 E_p 、 A_p 、 l_p 分别为索的弹性模量、索截面、索长。

11.3.11 单向竖索支承结构是单层平面索网支承结构的一种简化形式，在国内也有一些工程在加以应用，玻璃表面的风荷载和重力荷载均通过索夹以点荷载的形式作用在竖索上。单向竖向的变形限值和索端设置弹簧缓冲装置的设计要求均和单层平面索网相同。但由于单索无侧向约束，其体系相对单层平面索网而言要弱，因此，对其玻璃面板和最大适用高度提出了

限制。

单索幕墙中竖索挠度限值按跨度的 $1/45$ 控制，而竖向支承框的挠度限值通常按跨度的 $1/250\sim 1/200$ 进行控制。风荷载作用下，单向竖索幕墙（图中 A1、A6 及上方横粗线为主体支承结构，A2~A5 为单向竖索示意）中边跨索（A2 和 A5 索）与刚性良好的竖向支承框之间存在较大的变形差。为保证玻璃面板的安全性以及避免面板与支承框交界部位的雨水渗漏情况，本条对其连接构造提出了要求。

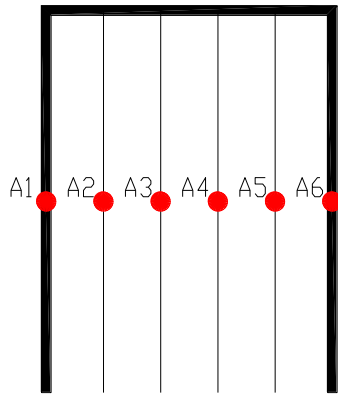


图 15 单索幕墙与周边支承结构立面示意图

11.4 连接设计

11.4.1 点支承玻璃幕墙通常跨度较大，其支座反力也大。与主体结构的连接，既要保证支承体系所受的荷载能可靠的传递到主体结构，也要考虑主体结构变形时不会使幕墙受损，连接部位须能适应主体结构的位移。尤其是拉杆和拉索系统施加预应力后才能形成受力体系，施加预应力会使主体结构承受附加的作用力，在主体结构设计时必须加以考虑。

11.4.2 点支承面板受弯后，板的角部产生转动，如果转动被约束，则会在支承处产生较大的弯矩。因此支承装置应能适应板角部的转动变形。当面板尺寸较小、荷载较小、角部转动较小时，可以采用夹板式和固定式支承装置；当面板尺寸大、荷载大、面板转动变形较大时，则宜采用带转动球铰的活动式支承装置。

12 采光顶、雨篷与金属屋面

12.2 构造设计

12.2.1~12.2.2 采光顶和金属屋面通常都是跨度较大的支撑体系固定在主体结构上，都是建筑围护结构，与主体结构之间的连接是关键。而建筑幕墙是外围护结构，当采光顶及金属屋面跨度较大（大于12m）时，应由主体设计单位提供支承结构，建筑幕墙专业做采光顶和金属屋面系统二次结构的深化。

12.2.5 单层铝板一般通过四周折边增大板的刚度。一般情况下，采用螺钉或不锈钢抽芯铆钉连接，在折边中心线开孔，折边高度过小及钉孔偏位，易造成板边被拉断，所以规定最小折边高度为25mm。

铝蜂窝复合板可以采用折边、将面板弯折后包封板边、采用密封胶封边的做法。采用开缝构造设计时尤其注意采取措施防止板芯直接外露。

12.2.7 框支承体系(四边或对边简支)是较好的玻璃受力体系。当采用点支式时，四点支承板为比较常见的连接形式，优势比较明显，工程应用经验比较丰富。而对六点支承板，支承点的增加使承载力没有显著提高，但跨中挠度可大大减小。所以，一般情况下宜采用单块四点支承玻璃；当挠度过大时，可采用六点支承板。点支承面板采用开孔支承装置时，玻璃板在孔边会产生较高的应力集中。为防止破坏，孔洞距板边不宜太近。此距离应视面板尺寸、板厚和荷载大小而定，国外有些专家认为，随着孔心边距的不断增大，

外围玻璃板受力的反翘作用使得玻璃板中心和玻璃板边缘处的应力减少，位移得到控制；并且由于支承点的内移，所承受的连接处的弯矩作用减低，对缓解玻璃孔边缘的应力集中现象也有所帮助。通过有限元计算方法得出一个较为保守的结果：最优的孔心支承位置应该位于板边长度的0.13倍处。但从生产、加工的角度讲，随着玻璃孔边距的不断增大，用于将玻璃与支承结构连接成一个整体的金属连接件和紧固件的自重和成本会显著增大。日、美一些专家认为，玻璃孔边缘至玻璃最外边最短距离应等于4倍玻璃厚度。

15 加工制作

15.1 一般规定

15.1.4 硅酮结构密封胶的使用对场所要求较严格，除要求清洁、无尘外，对室内温度湿度都有一定要求，单元式的单元组件及隐框幕墙板块应在工厂制作完成胶缝的宽度、厚度必须严格按照设计要求进行加工，确保使用安全。幕墙组件、构件不应在现场加工，应提供加工记录或生产日志。

15.3 钢 构 件

15.3.2~15.3.3 预埋件是建筑幕墙重要的构件之一，其加工精度直接影响预埋件的加工质量，应严格要求。预埋件加工应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010。平板式预埋件的锚板及槽式预埋件的槽口与空气接触，其表面及槽内应进行防腐处理，预埋件的锚筋植入混凝土后不与空气接触，锚筋可不作防腐处理。

15.4 玻 璃

15.4.2 玻璃钻孔后，钻孔部位应力集中明显，必须进行倒角处理并精磨边，不得出现崩边。外露的玻璃板块主要指全玻璃幕墙玻璃肋，边缘外露的玻璃栏板等可视、人可直接接触断面的玻璃，为了避免外力碰撞产生的应力集中而导致玻璃损坏，同时为了美观需求，边缘应精磨边处理。此要求与现行行业标准《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T 455相一致。

15.4.5 夹层玻璃的胶片长期暴露在空气中，容易引起胶片氧化而失效，造成安全隐患。胶片厚度应根据玻璃板块大小、单片玻璃厚度、是否钢化等情况选用，胶片过薄容易出现气泡等缺陷。

15.5 石 材 面 板

15.5.4 石材幕墙用背栓最先是从国外引进，目前尚无产品标准。常用的有敲击式、旋入式、抽拉式，其共同点是都带有扩张元件，钻孔后底部需要扩孔，与石材是通过锥形构造配合连接的，对孔的形状及尺寸精度要求非常严格，需采用专用设备加工及检查，如果扩孔尺寸不满足产品要求，就无法满足承载力要求。因各生产厂家的产品形式不同，加工尺寸允许偏差也可按生产厂家提供的技术要求执行。

15.6 金 属 面 板

15.6.3 折弯加工要求是为了保证折弯处铝板的强度不受影响，保持铝板外表色泽一致。单层铝板通常不采用刻槽弯折方式。如果采用刻槽弯折时，必须采用机械刻槽，并严格控制刻槽深度；刻槽后宜采用必要的加强措施，如附加边肋等。

金属板幕墙组件通常是把板折边成形，从工程案例看，折边高度20mm时，连接固定耳板的螺钉离板边缘仅有3mm-5mm，荷载较大时，该部位极易被拉断，导致铝板坠落，规定折边高度不小于25mm。角部接缝部位，宜进行焊接处理;凡是没有进行焊接的，应采用硅酮密封胶密封。

固定耳板是将面板荷载传递到幕墙结构的关键部位，铆接时可使用不锈钢铆钉或实芯铝铆钉。抽芯铝铆钉难以满足幕墙的设计使用年限。

15.8 构件组装

15.8.1 半隐框、隐框幕墙玻璃板块的制作最关键的是对玻璃和副框（支撑框）的清洁工作，粘结基层是否干净决定硅酮结构胶的粘结质量，如清洗不干净，将对构件的质量与安全留下隐患。必须用有机溶剂采用二块布清洗的方法：把有机溶剂倒在干净的第一块布上，清洗玻璃及副框的涂胶部位，再用第二块干净的布将表面擦干。清洗工作最好二人一组进行，一个用有机溶剂清洗玻璃及副框，另一人用干净的布在溶剂未完全干燥前，将表面的溶剂、松散物、尘埃、油渍和其他污物清除干净。使用时应把有机溶剂倒在干净的布上，不允许将布浸入溶剂中；一块布只用一次，不许重复使用。

玻璃面板注胶时对环境要求较高，注胶场所要求清洁、无尘，室内温度不宜低于15℃、不高于27℃，相对湿度不宜低于50%。

注胶时玻璃板块在型材上方是方便观察注胶过程质量，如发现有气泡、不饱满等，应及时补充注胶。

硅酮结构密封胶有一定的固化时间，固化期间如受到荷载震动，对粘结性和固化质量有很大影响。由硅酮结构密封胶粘结固定的玻璃面板必须经静置养护。未达到承载力要求前不可搬动，以免影响结构胶的粘结力。

15.8.3 与背栓连接的挂件有多种形式，挂件与幕墙框架连接后应设置防滑移的措施，包括横向和竖向。

根据本标准第6.4.7条的规定，石板转角一侧为小于150mm的狭长石板时，应在工厂完成转角组件，并符合下列要求：

- 1 当狭长石板小于50mm时可用插件连接，不锈钢连接件壁厚不应小于 3mm，铝合金连接件壁厚不应小于 4mm，间距不宜大于300mm，数量不应少于3个；
- 2 当狭长石板大于50mm时可用石材专用背栓连接件连接，数量不应少于2个；
- 3 接缝处用石材专用胶粘剂粘结，静置固化。

16 安 装 施 工

16.1 一 般 规 定

16.1.4 预埋件的可靠性直接影响幕墙的安全。预埋件可分为平板式和槽式两类，平板式埋件锚筋长，锚板面积大，应用成熟，可不作要求。槽式预埋件依靠槽口传递荷载，尺寸小，锚筋也较短，抗弯剪能力较差，应按照实际应用构造和受力情况进行现场承载力检验，包括水平和竖向荷载同时作用的工况，通过验算计算和承载力试验才能判定。

槽式埋件 C 型槽与锚筋、T 型螺栓的连接部位的力学性能是整个埋件的薄弱点，目前槽式埋件尚无国家或行业产品标准，因此复验结果应以单个螺栓或单根锚筋的抗拉、抗剪强度值大于受拉、受剪设计值的 2 倍作为判断，在复杂工况下也可以根据设计要求同时进行拉剪试验。

后置埋件的安全可靠性，取决于现场锚栓孔的施工及锚栓安装质量，只能通过现场试验才能验证。特殊倒锥形化学锚栓的胶粘剂容易受到焊接高温的作用，对锚固力会产生一定的影响，应尽量避免使用。

对槽式预埋件和后置埋件进行现场拉拔力测试与现行国家标准《建筑装饰装修工程验收标准》GB 50210 标 15.0.6 的规定是一致的。

16.1.6 硅酮结构密封胶应在洁净、通风的室内进行注胶，以保证注胶质量。全玻璃幕墙的大玻璃板块，由于必须在现场装配，因此当玻璃与玻璃之间采用硅酮结构胶粘结固定时，允许在现场注胶，但现场应保持通风无尘，且注胶前要特别注意清洁注胶面，并避免二次污染；现场还应有防风措施，避免在结构胶固化过程中受到玻璃板块变形的影响。

硅酮结构密封胶应在洁净、通风的室内进行注胶，以保证注胶质量；现场注胶质量难以控制，往往容易影响其粘接性能和密封性能。由于隐框、半隐框玻璃幕墙的特点，结构密封胶作用至关重要，应禁止在现场打注硅酮结构密封胶。

16.2 构件式幕墙

16.2.1 测量放线是构件和单元幕墙连接件安装质量符合要求的基础。本条内容强调了进行测量放线时，应注意下列事项：

1 幕墙分格轴线、控制线的测量应与主体结构测量相配合，并应及时将发现的主体结构施工误差反映给幕墙设计人员，对幕墙的分格进行调整；

2 单元式幕墙施工，一般是在主体结构尚未完全完成时开始。幕墙施工单位应对单元幕墙施工开始后进行的主体结构的垂直度和结构楼层的外轮廓位置进行监控，发现误差超过幕墙安装允许的范围时，应及时反映给总承包单位，便于主体结构施工单位进行修改、调整；

3 为确保幕墙的安装质量，应定期对幕墙的安装定位基准进行校核；

4 风力超过 4 级时，主体结构的位移会影响测量放线的精确度，也容易发生安全问题，

不宜进行测量放线。

16.2.4~16.2.5 立柱一般根据建筑要求、受力情况、施工及运输条件确定其长度，通常一层楼高为一整根，接头应有一定空隙，空隙不小于 15mm，上、下立柱之间可以采用芯柱或其他一端可动连接方式，以适应和消除建筑受力变形及温差变形的影响。

一般情况下横梁分段与立柱连接，横梁之间应留有足够的间隙，间隙密封可以注胶，也可以采用压缩变形能力一般不低于 20%~35%的弹性橡胶垫，以适应结构可能的变形或横梁因温度变化而产生的伸缩变形。通常，铝横梁两端与立柱宜采用螺栓连接，至少有一端采用可以适应横梁伸缩变形的连接方式；钢横梁与钢柱之间可采用螺栓连接或焊接连接。

16.2.6 幕墙防火层不仅是防火，更重要的是防止串烟。常规幕墙立柱与横梁尺寸不等，承托钢板分段安装时与主体表面会有空隙，应补加钢板封闭，搭接处不应留空隙。防火材料除了铺设平整并可靠固定外，拼装处不应留空隙。幕墙保温需要隔热，阻断空气对流，拼装处也不应留空隙。如果冷凝水排出管及附件与水平构件预留孔连接不严密，与内衬板出水孔连接处不密封，冷凝水会进入幕墙内部，造成内部浸水，腐蚀材料，影响幕墙性能和使用寿命。

16.2.11 建筑密封胶是确保幕墙面板不渗漏水的关键措施。夜晚光照不足，不适合细部作业，打胶质量得不到保证，雨天板缝内表面潮湿，硅酮密封胶与注胶面不能有效粘结，均不宜打胶。打胶时环境温度应符合设计要求和产品要求并应在产品指定的温度范围内，打胶前应使打胶面干燥、清洁，在打胶面的两侧粘贴美纹纸，保护面板不受污染。由于石材自身的特点，石材幕墙的密封应采用专用密封胶。

框支承幕墙板材间的硅酮建筑密封胶的施工厚度，一般应控制在 3.5~4.5mm，太薄对保证密封质量和防止雨水渗漏不利，同时对承受铝合金框热胀冷缩产生的变形也不利。当承受拉应力时，胶缝太厚也容易被拉断或破坏，失去密封和防渗漏作用。硅酮建筑密封胶的施工宽度不宜小于厚度的两倍或根据实际计算宽度决定。较深的密封槽口底部应采用聚乙烯发泡材料填塞，以保证硅酮建筑密封胶的设计施工位置。有些建筑要求板缝小或无缝，无法满足温差变形的要求，不应使用。对满足变形要求的窄缝石材幕墙，密封胶的施工厚度和施工宽度应符合设计要求。

硅酮建筑密封胶在接缝内应两对面粘结，不应三面粘结，否则，胶在反复拉压时，容易被撕裂，失去密封和防渗漏作用。为防止形成三面粘结，可在硅酮建筑密封胶施工前，用无粘胶胶带置于胶缝的底部（槽口底部），将缝底与胶分开。

16.2.13 本条规定了明框玻璃幕墙工程的幕墙框料安装质量抽样检验要求，规定了各项目的允许偏差。

1 幕墙垂直度：本标准按幕墙高度分为 4 档，分别规定了垂直度允许偏差。在现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中，分别规定了测量放线的竖向偏差和结构施工的竖向偏差允许值。在决定幕墙的竖向偏差允许值时，考虑到作为建筑的外装饰，其竖向偏差允许值应比混凝土结构施工更严格，但同时又比测量放线的竖向偏差允许值稍宽松，

既保证幕墙工程质量，又便于操作执行；

2 幕墙和构件水平度：根据工程经验，当幕墙幅宽不大于 35mm 时，允许偏差 5mm；当幅宽大于 35mm，允许偏差 7mm。根据工程经验，单根横向构建两端的水平度偏差一般不宜大于其跨度的 0.1%。因此规定，单根横向构建长度不大于 2000mm 时，允许偏差 2mm，大于 2000mm 时，允许偏差 3mm。对同一高度相邻两根横向构件端部的安装允许高差为 1mm；

3 分格框对角线差：竖向构件的垂直度和直线度，横向构件水平度及其相邻两构件端部高度差等规定已基本上保证了分格框的方正。本标准将上述各允许偏差折算成分格框对角线允许偏差，并参照现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 的规定。

关于明框幕墙的平面度，由于其玻璃嵌在槽口内，与框架料不在同一平面，因此不设此项要求。

隐框、半隐框玻璃幕墙的安装质量要求基本上与明框幕墙相同，其区别是隐框幕墙架不外露，而是以缝代替框架。因此，除下列两项与表 16.2.13-1 有区别外，其他各项的允许偏差及其依据基本与表 16.2.13-1 相同：

一是幕墙表面平整度。由于隐框幕墙玻璃外露，为防止墙面各玻璃拼在一起时不在一个平面而使墙面上的影像畸变，因此要求检查时抽检竖缝相邻两侧玻璃表面的平整度，并从严要求，用 2m 靠尺检查，允许偏差 2.0mm；

二是接缝宽度。隐框幕墙玻璃拼缝整齐与否与幕墙的外观质量关系很大，除了检查其垂直度、水平度之外，为防止各缝宽窄不一的疵病，增加接缝宽度与设计值比较的偏差检查，以保证整幅隐框幕墙的整齐美观。

16.3 单元式幕墙

16.3.6 起吊和就位时，检查吊具、吊点和主体结构上的挂点，是安全需要。对吊点数量、位置进行复核，保证单元吊装的准确性、可靠性。如果吊点处没有足够强度和刚度，单元板块容易损坏，产生危险，因此，必要时可对吊装点进行必要加固和试吊。采用吊具起吊单元板块时，应使各吊装点的受力均匀，起吊过程应保持单元板块平稳，以减小动能和冲量。吊装就位时，应先把单元板块挂到主体结构的挂点上；板块未固定前，吊具不得拆除，防止意外坠落。

16.3.9 单元幕墙的雨水渗漏性能主要取决于板块的安装质量，因此要求每一板块安装前，应仔细清洗已安装的下一楼层板块上的横型材，并安装好两板块上横型材之间的防水装置，防水装置处应严格密封；同时安装板块时严禁用铁榔头等物敲击板块，防止板块变形。

16.4 全玻璃幕墙

16.4.3 混凝土结构由于变形缝沉降、伸缩位移不同，不同的结构由于构造不同会导致受载

后变形也不同。如果吊挂式全玻璃幕墙吊挂装置吊在不同的结构体上，或者座地式全玻璃幕墙玻璃面板横跨主体结构变形缝，会因受力不均导致玻璃破裂，所以一块玻璃上的吊挂装置应位于同一结构体上，不应跨越主体结构变形缝。

16.5 点支承玻璃幕墙

16.5.2 该体系幕墙施工过程中对拉杆、拉索需施加预应力，否则起不到幕墙框架的支承功能。预拉力的大小、施加拉力的顺序和控制对于支承结构的安全性及外形的准确性至关重要，因此在安装过程中必须严格控制。同时，要密切关注施加拉力过程中与主体结构连接部位的变化。

16.6 光伏幕墙

16.6.7 光伏组件安装过程中铺设遮光材料，是使组件保持在停止工作状态，以防触电。

16.7 采光顶与金属屋面

16.7.3 因采光顶与金属屋面跨度大，支座反力大，多为空间异形结构，采用预埋件可保证连接强度。当有偏埋、漏埋时，后补埋件的方案应经过业主、监理、主体设计单位共同认可。

16.8 安全规定

16.8.7 幕墙安装施工过程中，采用分段施工、与主体结构同步或交叉施工以及与其他施工单位发生上下交叉施工时，容易发生物品坠落伤人事故，特制定本条管理规定。

17 检验与检测

17.1 一般规定

17.1.2 建筑幕墙是外围护结构，必须具备相应的物理性能。其中抗风压性能、水密性能、气密性能、平面内变形性能是必检项目，就是通常所说的“四性检测”，检测指标应满足设计要求。性能检测是对设计成果的考验，如检测结果未达到设计指标，改进后重新制作样板检测。

实验室检测要求在幕墙施工前进行，主要目的是验证幕墙自身设计即材料选择是否合理，不涉及幕墙与其他结构间的接缝部位。

17.1.4 有些工程项目由多个单体组成，每个单体都有同类型幕墙的应用。随着幕墙工艺和质量提高，小面积的幕墙可以用同类产品的检测报告，节约社会资源。所以本条规定，当单体建筑使用的幕墙面积小于 300 m²，且高度小于 24m，可采用 2 年内同一企业同类幕墙产品的试验报告代替物理性能检测，试验样品必须能代表该幕墙，其性能指标不得低于该幕墙的性能指标。

幕墙面积是指单一种类的幕墙，如玻璃、石材、铝板等，而不是各类幕墙面积的总数。

17.2 材料检验

17.2.2 幕墙的材料种类繁多，如要求所有进场材料进行复检，不太现实，实际也没必要。故除所有材料须按本标准要求提供出厂合格证、性能检测报告外，这里列出了涉及幕墙安全性能及重要物理性能的材料要进行复检，如中空玻璃热工性能、主要受力杆件的抗拉强度、防火保温材料的燃烧性能等进行复检。

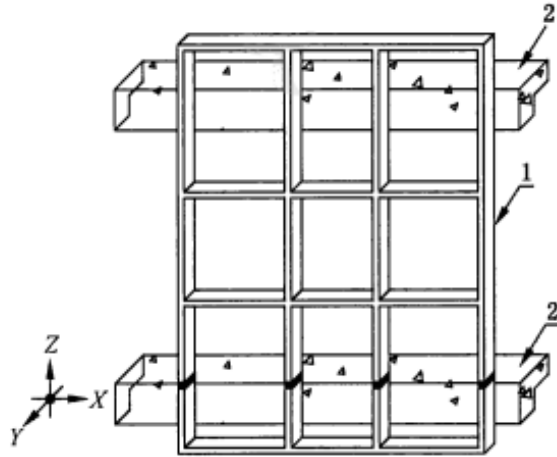
17.3 性能检测

17.3.1 封闭式幕墙必须具备抗风压性能、气密性能、水密性能、平面内变形性能这四个基本性能，幕墙在竣工验收时应提供此四性试验报告。开放式幕墙不需进行气密性能、水密性能检验。除此之外，幕墙还有其它应有的性能，当幕墙有保温隔热性能要求时，可进行幕墙整体热工性能检验；位于快速路和主干路道路两侧 50m 范围内临街一侧的玻璃幕墙，可进行隔声性能检验；对于人员流动密度大或青少年、幼儿活动的公共建筑或设计有防撞性能要求的建筑，可进行耐撞击性能检验，这些性能检测是可选项目，应根据工程项目的特性或设计要求，在合同中予以明确。

特殊构造幕墙，设计对平面外变形性能、垂直方向变形性能有要求时，可依据现行国家标准《建筑幕墙层间变形性能分级及检测方法》GB/T 18250 规定检测。

17.3.2 检测样品的选取应遵循最不利原则：即选取风荷载较大部位、楼层较高位置和幕墙面板较大的部位，也可以把最不利的要素组合在一起。

玻璃幕墙有开启窗时，检测试件应带开启窗，尺寸、构造应符合设计图。



1—幕墙试件；2—楼层

图 16 幕墙检测试件示意图

17.3.4~17.3.7 双层幕墙的构造形式有多种，对性能检测应根据构造分别进行。

1 抗风压性能检测。外通风双层幕墙的外层幕墙进行抗风压性能检测时，应将外层幕墙的进出风口和开启扇关闭，将内层幕墙的开启扇或门打开。外通风双层幕墙的内层幕墙进行抗风压性能检测时，应将外层幕墙的进出风口和开启扇打开，将内层幕墙的开启扇或门关闭。

内通风的双层幕墙进行抗风压性能检测时，应将外层幕墙的开启扇关闭，将内层幕墙的进出封口或可开启门窗打开。

内通风双层幕墙压力作用在外层幕墙，内层幕墙在通风口打开状态下可能不承受压力，为了验证 9.3.3 条的指标值，需将通风口关闭并密封；

2 气密性能检测。双层幕墙的进出风口是通风双层幕墙的必备构造，可通过关闭进出风口来满足双层幕墙的气密性要求。无进出风口的双层幕墙可采用内外层幕墙整体进行检测；

3 水密性能检测。外通风双层幕墙的外层幕墙对内层幕墙起到很好的雨水屏蔽作用，双层幕墙在水密性能上应该利用这一有利作用。受到检测条件限制且内外层幕墙可以独立分开检测时，也可对内层或幕墙的水密性进行测试来替代双层幕墙的整体水密性；

4 平面内变形性能检测。双层幕墙的平面内变形性能检测应采取内外层整体检测的形式。

17.4 现场检测与试验

17.4.4 单元式幕墙板块完成后应在工厂进行浸水试验，可直接观察面板与框架接缝处是否渗漏水。把试件玻璃面板朝下浸入水池，水位应超过面板与框架接缝，浸泡时间不少于 10 分钟。

18 工程验收

18.1 一般规定

18.1.5 隐蔽工程验收是幕墙施工的重要环节，这些部位或节点的施工质量直接影响幕墙的施工质量和安全。在工程验收时这些部位已被面板或装饰材料封闭，无法观察和检测，必须在安装施工过程中完成隐蔽验收。在验收时，应有详细的文字记录和必要的图像资料，两者缺一不可。

根据现行国家标准《建筑装饰装修工程验收标准》GB 50210 和浙江省《建筑工程施工质量验收检查用表统一标准》DB 33/T 1192 对隐蔽工程验收记录表的规定，结合幕墙子分部对隐蔽工程验收内容的要求，制定了幕墙工程隐蔽验收记录，详附录 F，要求按本条规定的内容逐条进行填写验收。

18.1.6 幕墙是外围护结构，同时还具有装饰功能，对外观质量有较高的要求。因此，幕墙外观质量检查应分为观感和抽样两部分。一是检查幕墙的总体效果是否满足建筑设计和幕墙设计的要求，二是每个检验批至少抽查一处，对施工质量进行具体评价。

当一幢建筑有多幅的幕墙时，考虑到幕墙质量的重要性，要求以一幅幕墙作为独立检查单元。对异形或有特殊要求的幕墙，检验批的划分可由监理单位、建设单位和施工单位协商确定。

19 维护保养

19.1 一般规定

19.1.1 为了使幕墙在使用过程中达到和保持设计要求的功能，确保不发生安全事故，本标准规定承包商应提供给业主《幕墙使用维护说明书》，作为工程竣工交付内容的组成部分，指导幕墙的使用和维护。

19.1.2 随着我国幕墙行业的发展，幕墙新产品越来越多，幕墙的结构形式也越来越复杂，技术含量越来越高，对维修、维护人员的要求也越来越高。本条要求幕墙工程承包商在幕墙交付使用前应为业主培训合格的幕墙维修、维护人员。

19.1.4 幕墙可开启部分的抗风压变形、雨水渗透、空气渗透等性能参数均为关闭状态的设计参数。在幕墙工程的实际维修工作中，开启部分维修频率最高，而非正常开启所造成的损坏是主要原由之一，因此本条的要求是必要的。

19.2 检查与维护

19.2.2 根据实际工程经验，在幕墙工程竣工验收后一年内，幕墙工程的加工和施工工艺及材料、附件的一些缺陷均有不同程度的暴露。所以在幕墙工程竣工验收后一年时，应对幕墙工程进行一次全面的检查，此后每五年检查一次。

由于存在不可避免的建筑物沉降、金属材料蠕变等现象，施加预拉力的拉杆或拉索结构的幕墙工程随时间推移会产生预拉力损失。为了保证这类幕墙的性能稳定和使用安全，本标准规定对预拉力幕墙结构全面检查和调整的时间从工程竣工验收后半年检查一次，此后每三年检查、调整一次。

对于使用硅酮结构密封胶的半隐框、隐框幕墙工程，本标准规定使用十年后进行首次粘结性能的检查，此后每五年检查一次。从世界各国以及我国的幕墙工程的实际情况来看，还未出现因硅酮结构密封胶粘结性能变化而造成的质量问题。考虑到对实际幕墙工程进行粘结性能的检查属破坏性检查，抽样比例小，则不能反映真实情况，抽样比例大，则费用高、时间长，而且有时可能对抽样附近幕墙的性能有影响。所以规定使用十年后进行首次粘结性能的检查是合适的。

关于抽样比例及抽样部位，本标准未做出具体规定。主要是考虑到不同的幕墙工程其环境条件不同，规定统一的抽样比例并不能反映不同的幕墙工程硅酮结构密封胶粘结性能的真实情况。实际幕墙工程的检查应由检查部门制定检查方案，由相应设计资质部门审核后实施。

“每五年检查一次”是建立在检查结果良好的基础上，如果粘结性能有下降趋势的话，应根据检查结果制定检查间隔时间、增加检查频次。

附录 A 平板式预埋件设计与构造

A.0.8 本条是参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010(2015 年版)的相关规定而制定。

根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010(2015 年版)计算的纵向受压、受剪和受压直锚筋的计算锚固长度 l_a 基本都在混凝土结构尺寸范围内, 只有混凝土强度等级低的时候纵向受压锚筋的锚固长度 l_a 略大于 $15d$, 如带肋钢筋在 C20 和 C25 时、光圆钢筋在 C20 时。但这两个强度等级的混凝土在实际幕墙工程中应用不多, 如有超出可和结构专业商讨解决。

受拉直锚筋和弯折锚筋按照现行 GB 50010 的计算锚固长度 l_a 经常会超出混凝土结构的尺寸。现行 GB 50010 也给出了下述四款方法予以折减:

1 增加实际配筋总截面面积, 修正系数 ξ_a 为锚筋计算总截面面积 A_s 与实际配筋总截面面积 A 的比值, 即 $\xi_a = A_s / A$, 但是这样的修正对有抗震设防要求和直接承受动力荷载的结构构件不可采用。GB 50010-2010(2015 年版)中修正系数 ξ_a 不应小于 0.6, 修正后的锚固长度 l_a 不应小于 200mm; GB 50010-2002 中修正系数 ξ_a 不应小于 0.7, 修正后的锚固长度 l_a 不应小于 250mm。JGJ133-2001 中当 $A/A_s \geq 1.4$ 时, $l \geq 180\text{mm}$ 应该源自面积修正时的 $\xi_a \geq 0.7$, l 为实际锚固长度; JGJ102-2003 中 $l \geq 15d$ 也应该源自面积修正, d 为锚筋直径。

2 增加保护层厚度, GB 50010-2002 中保护层厚度为 $3d$ 时修正系数 ξ_a 可取 0.80, 修正后的锚固长度 l_a 不应小于 250mm; GB 50010-2010 中增加了保护层厚度不小于 $5d$ 时修正系数 ξ_a 可取 0.70, 修正后的锚固长度 l_a 不应小于 200mm。

3 钢筋末端采用弯钩或机械锚固措施, GB 50010-2002 中包括弯钩或锚固头在内的锚固长度(投影长度) l_a 可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 0.7 倍; GB 50010-2010 中包括弯钩或锚固头在内的锚固长度(投影长度) l_a 可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 60%, 并且不应考虑上述两款的修正。

4 GB 50010-2002 中 10.9.7 条文说明给出当采用较小锚固长度时, 可将剪力、法向拉力和弯矩共同作用时的不等式右端 N 、 M 项分母中的 f_y 改用 $\alpha_a \times f_y$ 代替, α_a 为锚固折减系数(取实际锚固长度 l 与本标准 9.3.1 条规定的受拉钢筋锚固长度 l_a 的比值), 其值不应小于 0.5, 且锚固长度不得小于本条规定的受剪和受压锚筋的锚固长度 $15d$ 。但此方法不得用于承受动力作用或地震作用的预埋件。

综上所述可以看出, 增加实际配筋总截面面积是减少锚筋计算锚固长度 l_a 的有效方法, 虽然浙江均已抗震设防, 但幕墙不属于结构构件, 因此, 这一方法可以采用。按照 GB 50010

中的修正后的锚固长度 l_a 不应小于 200mm 推算 HRB400 钢筋和 HPB300 钢筋的 $\xi_a=A_s/A$ 见表 1 和表 2，与表 A.0.8 的比较见图 1 和图 2。从图中可以看出直径 d 为 8、10、12 的钢筋修正到 $l_a \geq 200\text{mm}$ 时比 $l_a \geq 15d$ 需要的实际配筋总截面余量小以外，其它规格都比 $l_a \geq 15d$ 需要的实际配筋总截面余量大，即符合表 A.0.8 的 $\xi_a=A_s/A$ 是可以实现的。表 3 为未考虑 $l_a \geq 15d$ 的实际案例， $d=12$ 的 HRB400 和 HPB300 钢筋在 C30 中的 A_s/A 与表 A.0.8 中 $l_a = 15d$ 时的 A_s/A 基本一致。综合成本和安全考虑，增加实际配筋总截面面积减少锚筋计算锚固长度 $l_a \geq 15d$ 时，要求采用 A.0.7 条的构造要求。需要注意的是增加实际配筋总截面面积时宜增加锚筋直径，而不是增加锚筋数量，否则锚板面积加大，锚板抗弯曲变形能力降低。

表 1 带肋钢筋 (HRB400) $l_a=200\text{mm}$ 时的 $\xi_a=A_s/A$

钢筋直径 d (mm)	混凝土强度等级								
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
8	0.55	0.63	0.71	0.78	0.85	0.89	0.94	0.97	
10	0.44	0.50	0.57	0.62	0.68	0.71	0.75	0.78	0.81
12	0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67
14	0.31	0.36	0.41	0.45	0.48	0.51	0.54	0.56	0.58
16	0.27	0.31	0.35	0.39	0.42	0.45	0.47	0.49	0.51
18	0.24	0.28	0.32	0.35	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45
20	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40
22	0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.32	0.34	0.35	0.37
25	0.17	0.20	0.23	0.25	0.27	0.29	0.30	0.31	0.32

表 2 光圆钢筋 (HPB300) $l_a=200\text{mm}$ 时的 $\xi_a=A_s/A$

钢筋直径 d (mm)	混凝土强度等级								
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
8	0.64	0.73	0.83	0.91	0.99				
10	0.51	0.59	0.66	0.73	0.79	0.83	0.88	0.91	0.94
12	0.42	0.49	0.55	0.61	0.66	0.69	0.73	0.76	0.79
14	0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67
16	0.32	0.37	0.41	0.45	0.49	0.52	0.55	0.57	0.59
18	0.28	0.33	0.37	0.40	0.44	0.46	0.49	0.50	0.52
20	0.25	0.29	0.33	0.36	0.40	0.42	0.44	0.45	0.47
22	0.23	0.26	0.30	0.33	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43
25	0.20	0.24	0.26	0.29	0.32	0.33	0.35	0.36	0.37

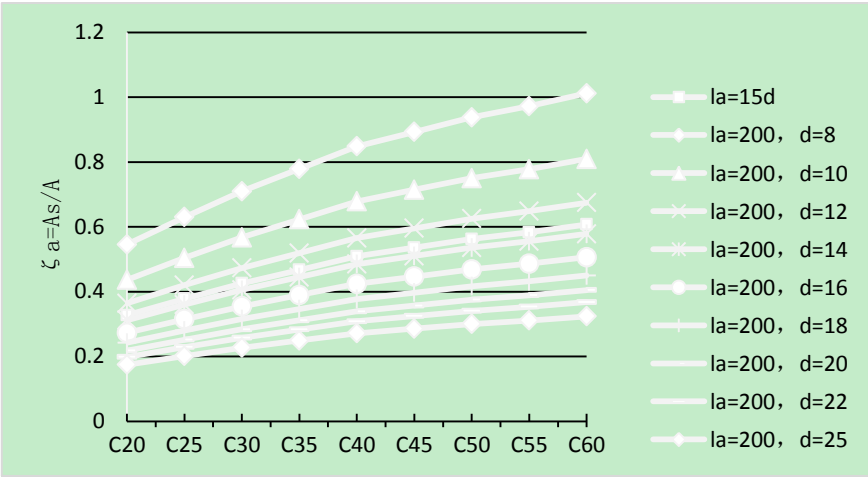


图 1 带肋钢筋(HRB400) $l_a=15d$ 和 $l_a=200mm$ 时的 $\zeta_a=As/A$ 曲线图

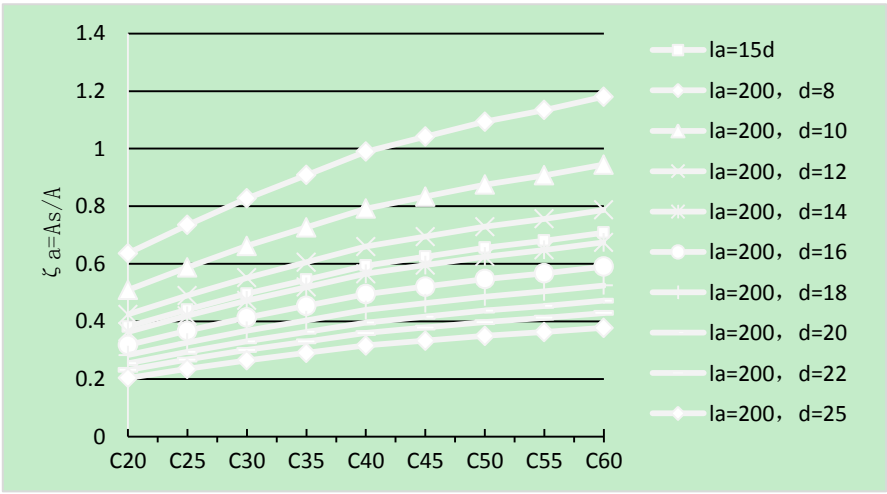


图 2 光圆钢筋(HPB300) $l_a=15d$ 和 $l_a=200mm$ 时的 $\zeta_a=As/A$ 曲线图

表 3 工程实际应用中 HRB400 和 HPB300 在 C30 中的 As/A 与 A/As

锚筋配置	锚筋面积 $A(mm^2)$	拉力或压力 $N(N)$	剪力 $V(N)$	弯矩 $M(N\cdot mm)$	HRB400			HPB300		
					$As(mm^2)$	As/A	A/As	$As(mm^2)$	As/A	A/As
4-10	314.15	9000	4000	720000	121.88	0.39	2.58	135.42	0.43	2.32
		11000	4000	720000	132.29	0.42	2.37	146.99	0.47	2.14
		13000	4000	720000	142.71	0.45	2.20	158.57	0.50	1.98
		15000	4000	720000	153.13	0.49	2.05	170.14	0.54	1.85
		17000	4000	720000	163.54	0.52	1.92	181.71	0.58	1.73
		18000	4000	720000	168.75	0.54	1.86	187.50	0.60	1.68
		9000	6000	720000	121.88	0.39	2.58	135.42	0.43	2.32
		9000	8000	720000	121.88	0.39	2.58	135.42	0.43	2.32
		9000	10000	720000	121.88	0.39	2.58	135.42	0.43	2.32
		9000	12000	720000	127.21	0.40	2.47	141.22	0.45	2.22
		9000	14000	720000	136.75	0.44	2.30	151.80	0.48	2.07
		9000	4000	880000	138.54	0.44	2.27	153.94	0.49	2.04
		9000	4000	1040000	155.21	0.49	2.02	172.45	0.55	1.82
		9000	4000	1200000	171.88	0.55	1.83	190.97	0.64	1.65
		9000	4000	1360000	188.54	0.60	1.67	209.50	0.67	1.50
		9000	4000	1440000	196.88	0.63	1.60	218.75	0.70	1.44
4-12	452.38	9000	4000	720000	127.17	0.28	3.56	141.30	0.31	3.20
		11000	4000	720000	138.04	0.31	3.28	153.38	0.34	2.95

		13000	4000	720000	148.91	0.33	3.04	165.46	0.37	2.73
		15000	4000	720000	159.78	0.35	2.83	177.54	0.39	2.55
		17000	4000	720000	170.65	0.38	2.65	189.61	0.42	2.39
		18000	4000	720000	176.09	0.39	2.57	195.65	0.43	2.31
		9000	6000	720000	127.17	0.28	3.56	141.30	0.31	3.20
		9000	8000	720000	127.17	0.28	3.56	141.30	0.31	3.20
		9000	10000	720000	127.17	0.28	3.56	141.30	0.31	3.20
		9000	12000	720000	133.26	0.29	3.39	144.63	0.32	3.13
		9000	14000	720000	143.31	0.32	3.16	155.22	0.34	2.91
		9000	4000	880000	127.17	0.32	3.13	160.63	0.36	2.82
		9000	4000	1040000	161.96	0.36	2.79	179.95	0.40	2.51
		9000	4000	1200000	179.35	0.40	2.52	199.28	0.44	2.27
		9000	4000	1360000	196.74	0.43	2.30	218.60	0.48	2.07
		9000	4000	1440000	205.44	0.45	2.20	228.26	0.50	1.98
		17000	6000	1145000	216.85	0.48	2.09	240.94	0.53	1.88
9-14	1385.40	0	8700	10500000	596.98	0.43	2.32	663.31	0.48	2.09
		0	9500	12300000	699.32	0.50	1.98	777.02	0.56	1.78
		0	10200	14200000	807.34	0.58	1.72	897.05	0.65	1.54
		0	10500	15200000	864.20	0.62	1.60	960.22	0.69	1.44
		0	11000	16300000	926.74	0.67	1.49	1029.71	0.74	1.35
		0	11100	16900000	960.85	0.69	1.44	1067.61	0.77	1.30
9-16	1809.50	0	11500	17500000	762.53	0.42	2.37	847.25	0.47	2.14
		0	12000	20000000	871.46	0.48	2.08	968.29	0.54	1.87
		0	13000	23000000	1002.18	0.55	1.81	1113.53	0.62	1.63
		0	13500	25000000	1089.33	0.60	1.66	1210.36	0.67	1.50
		0	14200	27600000	1202.61	0.66	1.50	1336.24	0.74	1.35
		0	14900	30500000	1328.98	0.73	1.36	1476.64	0.82	1.23

注：表格中粗线范围内为 A_s/A 不大于 $l_a=15d$ 时 $\xi_a=A_s/A$ 的值和 $A/A_s \leq 1.4$ 的值。

按本附录计算公式，结合上述的折减方法，常规的锚筋长度计算结果见表 4 和表 5。

表 4 带肋钢筋（HRB400）锚固长度 l_a （mm）

锚筋直径 d (mm)	混凝土强度等级	受拉直锚筋和弯折锚筋					纵向受压锚筋	受剪和受压直锚筋
		A.0.5	A.0.6			A.0.7	A.0.11	A.0.12
		第 1 款	第 3 款	第 5 款				
		l_{ab}	$\xi_a=1.1$	$\xi_a=0.8$	$\xi_a=0.7$			
8	C20	367	403	293	257	220	154	120
	C25	317	349	254	222	190	133	120
	C30	282	310	226	197	169	118	120
	C35	257	282	205	179	154	108	120
	C40	236	259	189	165	141	99	120
	C45	224	246	179	157	134	94	120
	C50	213	235	171	149	128	90	120
	C55	206	226	165	144	123	86	120
	C60	198	217	158	138	119	83	120
10	C20	458	504	367	321	275	192	150
	C25	397	437	317	278	238	167	150
	C30	352	388	282	247	211	148	150
	C35	321	353	257	225	193	135	150
	C40	295	324	236	206	177	124	150
	C45	280	308	224	196	168	118	150
	C50	267	293	213	187	160	112	150
	C55	257	282	206	180	154	108	150
	C60	247	272	198	173	148	104	150

12	C20	550	605	440	385	330	231	180
	C25	476	524	381	333	286	200	180
	C30	423	465	338	296	254	178	180
	C35	385	424	308	270	231	162	180
	C40	353	389	283	248	212	149	180
	C45	336	370	269	235	202	141	180
	C50	320	352	256	224	192	134	180
	C55	308	339	247	216	185	130	180
	C60	296	326	237	208	178	125	180
14	C20	641	706	513	449	385	269	210
	C25	556	611	444	389	333	233	210
	C30	493	543	395	345	296	207	210
	C35	449	494	360	315	270	189	210
	C40	413	454	330	289	248	173	210
	C45	392	431	314	274	235	165	210
	C50	373	411	299	261	224	157	210
	C55	360	396	288	252	216	151	210
	C60	346	380	277	242	207	145	210
16	C20	733	806	586	513	440	308	240
	C25	635	698	508	444	381	267	240
	C30	564	620	451	395	338	237	240
	C35	514	565	411	360	308	216	240
	C40	472	519	377	330	283	198	240
	C45	448	493	358	314	269	188	240
	C50	427	469	341	299	256	179	240
	C55	411	453	329	288	247	172	240
	C60	395	435	316	277	237	166	240
18	C20	825	907	660	577	495	346	270
	C25	714	786	571	500	429	300	270
	C30	634	698	508	444	381	266	270
	C35	578	636	462	404	347	243	270
	C40	531	584	424	371	318	223	270
	C45	504	554	403	353	302	212	270
	C50	480	528	384	336	288	202	270
	C55	462	509	370	324	278	194	270
	C60	445	489	356	311	267	187	270
20	C20	916	1008	733	641	550	385	300
	C25	794	873	635	556	476	333	300
	C30	705	775	564	493	423	296	300
	C35	642	706	514	449	385	270	300
	C40	589	648	572	413	354	248	300
	C45	560	616	448	392	336	235	300
	C50	533	587	427	373	320	224	300
	C55	514	566	411	360	309	216	300
	C60	494	544	395	346	296	208	300
22	C20	1008	1109	806	706	605	423	330
	C25	873	960	698	611	524	367	330
	C30	775	853	620	543	465	326	330
	C35	706	777	565	494	424	297	330
	C40	648	713	519	454	389	272	330
	C45	616	678	493	431	370	259	330
	C50	587	645	469	411	352	246	330
	C55	666	622	453	396	339	238	330
	C60	544	598	435	380	326	228	330
25	C20	1145	1260	916	802	687	481	375
	C25	992	1091	794	694	595	417	375

	C30	881	969	705	617	529	370	375
	C35	803	883	642	562	482	337	375
	C40	737	811	589	516	442	309	375
	C45	700	770	560	490	420	294	375
	C50	667	733	533	467	400	280	375
	C55	643	707	514	450	386	270	375
	C60	618	679	494	432	370	259	375

表 5 光圆钢筋(HPB300)锚固长度 l_a (mm)

锚筋直径 d (mm)	混凝土强度等级	受拉直锚筋和弯折锚筋					纵向受压锚筋	受剪和受压直锚筋
		A.0.5	A.0.6			A.0.7	A.0.11	A.0.12
		第 1 款	第 3 款	第 5 款				
		l_{ab}	$\xi_a=1.1$	$\xi_a=0.8$	$\xi_a=0.7$			
						$0.6l_{ab}$	$0.7\times 0.6\ l_{ab}$	15d
8	C20	314	346	251	220	189	132	120
	C25	272	299	218	190	163	114	120
	C30	242	266	193	169	145	102	120
	C35	220	242	176	154	132	92	120
	C40	202	222	162	141	121	85	120
	C45	192	211	154	134	115	81	120
	C50	183	201	146	128	110	77	120
	C55	176	193	141	123	106	74	120
	C60	169	186	136	119	102	71	120
10	C20	393	432	314	275	236	165	150
	C25	340	374	272	238	204	143	150
	C30	302	332	242	211	181	127	150
	C35	275	303	220	192	165	116	150
	C40	253	278	202	177	152	106	150
	C45	240	264	192	168	144	101	150
	C50	229	251	183	160	137	96	150
	C55	220	242	176	154	132	93	150
	C60	212	233	169	148	127	89	150
12	C20	471	518	377	330	283	198	180
	C25	408	449	327	286	245	171	180
	C30	363	399	290	254	218	152	180
	C35	330	363	264	231	198	139	180
	C40	303	333	243	212	182	127	180
	C45	288	317	230	202	173	121	180
	C50	274	302	219	192	165	115	180
	C55	264	291	212	185	159	111	180
	C60	254	280	203	178	152	107	180
14	C20	550	605	440	385	330	231	210
	C25	476	524	381	333	286	200	210
	C30	423	465	338	296	254	178	210
	C35	385	424	308	270	231	162	210
	C40	354	389	283	248	212	149	210
	C45	336	370	269	235	202	141	210
	C50	320	352	256	224	192	134	210
	C55	309	339	247	216	185	130	210
	C60	296	326	237	208	178	125	210
16	C20	628	691	503	440	377	264	240
	C25	544	599	435	381	327	229	240
	C30	483	532	387	338	290	203	240
	C35	440	484	352	308	264	185	240

	C40	404	445	323	283	243	170	240
	C45	384	422	307	269	230	161	240
	C50	366	402	293	256	219	154	240
	C55	353	388	282	247	212	148	240
	C60	339	373	271	237	203	142	240
18	C20	707	778	566	495	424	297	270
	C25	612	674	490	429	367	257	270
	C30	544	598	435	381	326	228	270
	C35	495	545	396	347	297	208	270
	C40	455	500	364	318	283	191	270
	C45	432	475	346	302	259	181	270
	C50	411	453	329	288	247	173	270
	C55	397	436	317	278	238	167	270
20	C60	381	419	305	267	229	160	270
	C20	785	864	628	550	471	330	300
	C25	680	748	544	476	408	285	300
	C30	604	665	483	423	363	254	300
	C35	550	605	440	385	330	231	300
	C40	505	556	404	354	303	212	300
	C45	480	528	384	336	288	202	300
	C50	457	503	366	320	274	192	300
22	C55	441	485	353	309	264	185	300
	C60	424	466	339	296	254	178	300
	C20	864	950	691	605	518	363	330
	C25	748	823	599	524	449	314	330
	C30	665	731	532	465	399	279	330
	C35	605	666	484	424	363	254	330
	C40	556	611	445	389	333	233	330
	C45	528	581	422	370	317	222	330
25	C50	503	553	402	352	302	211	330
	C55	485	533	388	339	291	204	330
	C60	466	512	373	326	280	196	330
	C20	982	1080	785	687	589	412	375
	C25	850	935	680	595	510	357	375
	C30	755	831	604	529	453	317	375
	C35	688	757	550	482	413	289	375
	C40	632	695	505	442	379	265	375
	C45	600	660	480	420	360	252	375
	C50	571	629	457	400	343	240	375
	C55	551	606	441	386	331	231	375
	C60	529	582	423	371	317	222	375

注：1 表 4 和表 5 供快速查找使用，不应替代设计计算和作为设计计算结果使用；设计时应根据不同工况和构造要求按本附录相应条款计算，锚筋长度应符合相应条款的规定。

2 表格中粗线范围内为同一锚筋直径 d 时锚筋长度为 15d 的长度。

A.0.14 在 GB 50010 中要求受拉和受弯预埋件的板厚宜大于 $b/8$ ，b 为锚筋的间距，目的在于提高锚板的弯曲变形折减系数，按照 $\alpha_b = 0.6 + 0.25 t/d$ ， $\alpha_b = 1$ 时， $t/d = 1.6$ ，如果锚筋的直径是 12mm 时，锚板的厚度则为 19.2mm，这样的板厚在幕墙工程中非常少见，而且是浪费材料。常规幕墙工程的锚板厚度可取 8mm~12mm，当拉力和弯矩非常大的时候适当增加板厚是对的，由幕墙专业和结构专业共同确定。

附录 B 槽式预埋件设计与构造

B.1.5 实际应该用构造中，作用在连接件悬臂上的剪力会对槽式预埋件产生撬力，这个撬力和连接件的拉力叠加给槽式预埋件，因此强调按照实际应用构造做承载力检验。幕墙支撑构件的支反力始终是二维甚至是三位作用在槽式预埋件上的，只做任何一个方向或者按方向分开做的承载力测试都是不全面的，也不能真实反应槽式预埋件在各方向的力共同作用下的承载能力，因此要求按照实际受力情况进行承载力测试。

现行行业标准《混凝土后锚固技术规程》JGJ 145 中锚栓的锚固承载力现场检验批组划分为 ≤ 100 、500、1000、2500 和 ≥ 5000 ，对于非生命线工程的非结构构件，抽样比例为每一检验批的 0.1%且不少于 5 件（锚栓锚固）和 3 件（植筋锚固）。现行国家标准《建筑幕墙用槽式预埋组件》GB/T 38525 中的承载力实验 3000 套为一批，不足 3000 套按一批计算，抽样比例为每一检验批中的 5 套，与 JGJ 145 基本一致。

分项系数在现行行业标准《混凝土后锚固技术规程》JGJ 145 中非结构构件的混凝土破坏分项系数为 1.5 和 1.8，但混合破坏从严取 1.8；在《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102 中后置锚栓的分项系数为 2.0；现行国家标准《建筑幕墙用槽式预埋组件》GB/T 38525 中 T 型螺栓的安装扭矩产生的预紧力相对组件受拉承载力标准值的分项系数也是 1.8。虽然在现行行业标准《混凝土后锚固技术规程》JGJ 145 中非结构构件的锚栓钢材破坏的分项系数取 1.2，本标准从严取 1.8。

附录 E 双层幕墙热工计算

E.2.1~E.2.5 双层幕墙传热系数的计算参照了 BS EN13947:2006、ISO 12631:2012(E)、DIN EN ISO 6946:2008、ISO 6946:2017、现行行业标准《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T 151-2008 和现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176-2016。其中：

单幅幕墙的传热系数的计算主要参照了 JGJ/T151-2008，单幅幕墙的传热系数计算公式是在没有太阳辐射的情况下包含了材料的导热、幕墙内外表面的对流换热和内表面的辐射传热。

双层幕墙的传热系数的计算主要参照了 JGJ/T151-2008、BS EN13947:2006、ISO 12631:2012(E)、DIN EN ISO 6946:2008 和 ISO 6946:2017。

1 非通风状态、微通风状态和强通风状态在 BS EN13947:2006、ISO 12631:2012(E)、DIN EN ISO 6946:2008 和 ISO 6946:2017 中均有规定，并且边界条件相同；

2 非通风状态双层幕墙的传热系数计算方法上述五本标准基本一致，强通风状态双层幕墙的传热系数计算方法在 BS EN13947:2006、ISO 12631:2012(E)、DIN EN ISO 6946:2008 和 ISO 6946:2017 中也一致；

3 微通风状态双层幕墙的传热系数计算方法在 ISO 12631:2012(E)、DIN EN ISO 6946:2008 和 ISO 6946:2017 中一致，按照边界条件在非通风状态和强通风状态间线性插值，与 A_v 在 $500 \text{ mm}^2/\text{m} \sim 1500 \text{ mm}^2/\text{m}$ 或 $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2 \sim 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ 之间线性关联，并且能体现内通风双层幕墙和外通风双层幕墙在微通风状态下传热系数的差异性，本标准采纳这种计算方法。微通风状态双层幕墙的传热系数在 BS EN13947:2006 仍采用非通风状态的传热系数计算方法，只是将空气间层的热阻进行了 50% 的折减，与 A_v 在 $500 \text{ mm}^2/\text{m} \sim 1500 \text{ mm}^2/\text{m}$ 或 $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2 \sim 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ 之间变化无关，并且不能体现内通风双层幕墙和外通风双层幕墙在微通风状态下传热系数的差异性，本标准没有采纳。

BS EN13947:2006、ISO 12631:2012(E)、和 ISO 6946:2017 和现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176-2016 中幕墙内表面换热阻 $R_i=0.13 (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ ，幕墙外表面换热阻 $R_e=0.04 (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$ 。

E.3.2 虽然外通风双层幕墙的空气间层内空气流动会带走外层幕墙的太阳得热量，但由于受双层幕墙得构造形式和热效应等影响，并且考虑到空气流动带走的热量对双层幕墙太阳得热系数限值的有利影响，在计算双层幕墙的太阳得热系数时不予考虑。

E.3.3 双层幕墙的中间遮阳百叶不是双层幕墙固有的单一状态的组成部分，一是其遮阳效果

不稳定，二是其对建筑节能处于有利状态，第三是计算复杂，因此，可不考虑其对双层幕墙的太阳得热系数的贡献。

E.4.3 中间遮阳百叶的遮阳系数应该等于透过遮阳百叶的外层幕墙的太阳的热量除以外层幕墙的太阳的热量，由于计算繁琐，中间遮阳百叶的遮阳系数可以直接采用外置遮阳构件的计算方法。

附录 G 隔 热 型 材

G2.2~G2.4 在风压和室内外温差的情况下，幕墙中的隔热铝合金型材内部均会产生横向拉力和纵向剪切力作用。风压作用下隔热铝合金型材的产生的横向拉力和纵向剪切力如图 G.2-1 所示，室内外温差作用下隔热铝合金型材的产生的横向拉力和纵向剪切力如图 G.2-1 所示。

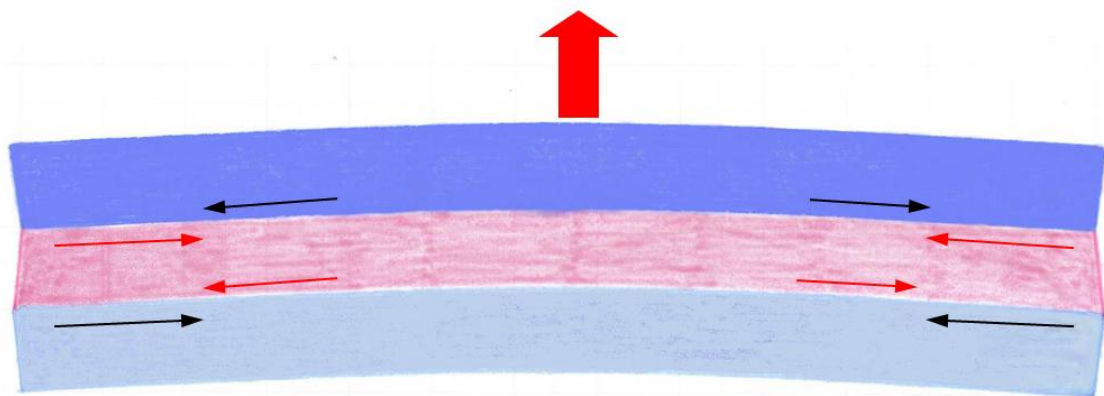


图 G.2-1 风压下隔热型材的受力

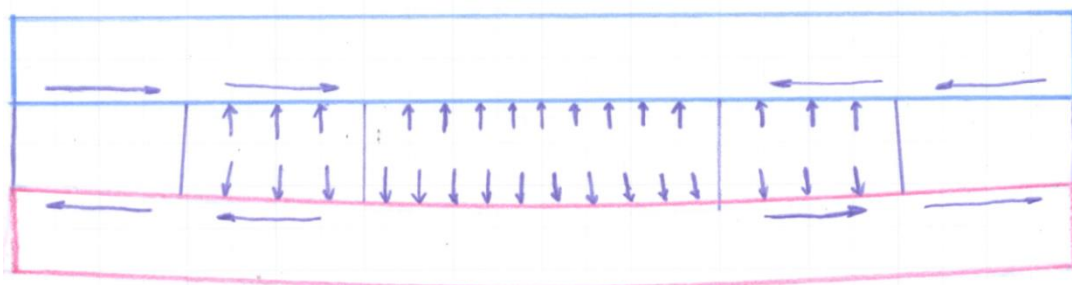


图 G.2-2 温差下隔热型材的受力

G.4.3 组合弹性值 c ，是在常温 20℃ 环境条件下，纵向抗剪试验中负荷~位移曲线的弹性变形范围内的纵向剪切力增量 ΔF 与相对应的两侧铝合金型材出现的相对位移增量 $\Delta \delta$ （见图 G.4.3）和试样长度 l 乘积的比值，按公式 G.4.3 计算：

$$c = \frac{\Delta F}{\Delta \delta \cdot l} \quad (\text{G.4.3})$$

式中： ΔF —— 负荷~位移曲线上弹性变形范围内的纵向剪切力增量，单位为牛顿（N）；

$\Delta \delta$ —— 负荷~位移曲线上弹性变形范围内的纵向剪切力增量相对应的两侧铝合金型材的位移增量（mm）；

l —— 试样长度 (mm)。

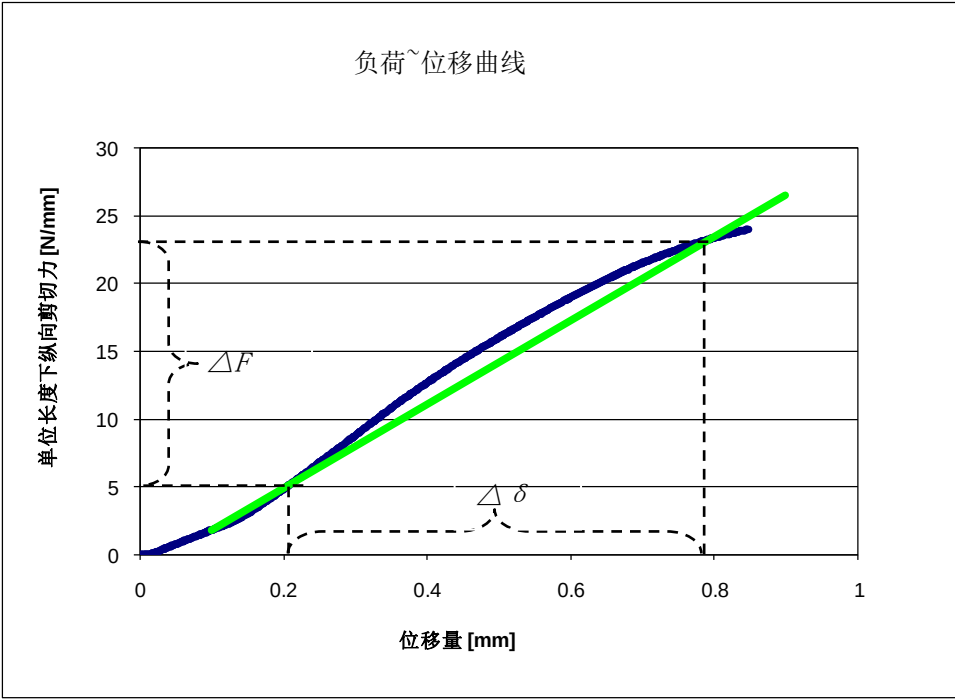


图 G.4.3 负荷~位移曲线

G.5.2 铝型材加强轴边的厚度 $t_w(\text{mm})$ 在幕墙立柱隔热铝合金型材中的计算图例说明:
 $A_w (\text{mm}^2)$ 为图示铝型材截面中各加强轴边 (图示各红色阴影部分) 面积总和;
 $t_w = A_w / (G-g)$ 。

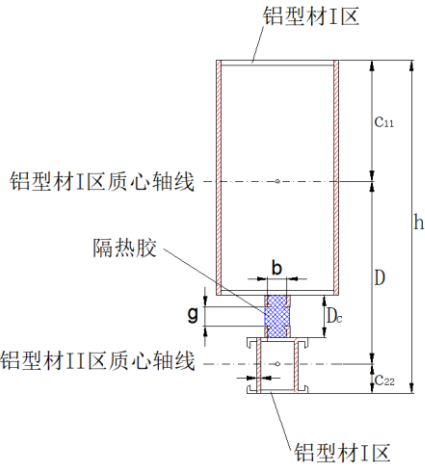


图 G.5.2 浇注式幕墙立柱隔热铝合金型材截面