

浙江省工程建设标准

建筑幕墙工程技术规范

DB 33/T XXXX-2020

条文说明

目 次

1 总 则.....	233
2 术语、符号.....	234
2.1 术语.....	234
3 材 料.....	235
3.1 一般规定.....	235
3.2 铝合金材料.....	235
3.3 钢材.....	236
3.5 石材.....	236
3.8 连接件与紧固件.....	236
3.9 结构胶和密封材料.....	237
4 建筑设计.....	238
4.1 一般规定.....	238
4.2 性能设计.....	238
4.3 构造设计.....	240
4.4 开启窗设计.....	241
4.5 热工设计.....	241
4.6 防火设计.....	243
4.7 防雷设计.....	246
5 结构设计.....	248
5.1 一般规定.....	248
5.2 荷载与地震作用.....	249
5.3 作用效应组合与计算.....	249
5.4 连接设计.....	250
5.5 硅酮结构密封胶设计.....	251
6 面板设计.....	254
6.1 一般规定.....	254
6.2 玻璃面板.....	254
6.3 金属面板.....	257
7 构件式幕墙.....	259
7.2 构造设计.....	259

7.3	横梁结构设计.....	259
7.4	立柱结构设计.....	260
7.5	连接设计.....	261
8	单元式幕墙.....	263
8.2	构造设计.....	263
8.3	结构设计.....	264
8.4	连接设计.....	264
9	双层幕墙.....	266
9.1	一般规定.....	266
9.3	结构设计.....	267
10	全玻璃幕墙.....	270
10.3	结构设计.....	270
11	点支承玻璃幕墙.....	272
11.1	一般规定.....	272
11.2	构造设计.....	272
11.3	结构设计.....	272
12	采光顶与金属屋面.....	278
12.2	构造设计.....	278
15	加工制作.....	279
15.1	一般规定.....	279
15.4	玻璃.....	279
15.6	金属板材.....	279
15.10	石材蜂窝板.....	279
16	安装施工.....	281
16.1	一般规定.....	281
16.2	构件式幕墙.....	281
16.3	单元式幕墙.....	282
16.6	光伏幕墙.....	283
16.7	安全规定.....	283
17	工程检测与验收.....	284
17.1	一般规定.....	284
17.3	材料复检.....	284
17.4	性能及现场检测.....	284

18 保养和维修.....	285
18.1 一般规定.....	285
18.2 检查与维护.....	285
附录 B 槽式预埋件设计与构造.....	287
附录 E 双层幕墙热工计算.....	288

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规范,均参照国家和行业的标准及规范。现有的行业标准已十多年未修编,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、微晶玻璃板、陶板、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。

在参考了现行建筑幕墙国家标准和行业标准的有关规定以及国际现有先进标准和规范的基础上,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,编制了本规范,这在我省是首次的。

1.0.4 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,推进了本省建筑工业化进程,是建筑工业化进程的最佳切入点。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 构成建筑幕墙的要素是面板与支承结构，有些建筑采用较大的窗，与玻璃幕墙很相似，幕墙与窗(包括带形窗和条形窗)的区别有：

1 与主体结构荷载传递的方式不同：幕墙通过锚固支座以点传递的方式将自重及荷载与作用传递给主体结构；窗是通过四周的框架与洞口连接以线传递的方式将自重及荷载与作用传递给主体结构；

2 与主体结构支承的方式不同：幕墙通常是悬挂在主体结构上，其竖向主要受力构造是拉弯构件；窗是座装在主体结构窗洞口底面上，其竖向主要受力构造是压弯构件；

3 立面及构件用型材截面尺寸大小不同：幕墙是采用大截面的型材构件，通过接缝设计而形成的大面积、连续性的墙面围护结构；窗是采用小截面的型材构件或通过构件拼接形成的墙面开口部位小面积、局部性围护构件。

2.1.2 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。根据现行行业标准《建筑玻璃应用技术规程》JGJ113的协调意见，本规范的应用范围主要是垂直玻璃幕墙以及与水平面夹角在 75° 和 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》JGJ113的管理范围。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 幕墙所用材料是保证幕墙可靠性的物质基础，不同厂家、同一厂家不同产地的产品，都存在质量差别。为了保证幕墙安全和性能，幕墙材料应符合相关现行国家标准和行业标准的有关规定，当设计有特殊要求时，还应符合设计规定；采用国外先进国家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，不应低于相应国家现行标准并符合设计规定，出厂时，必须有产品出厂合格证。尚无相应标准的材料应符合设计要求，并应有出厂合格证，同时应经过专项技术论证。（如化学锚栓、背栓、高强性能硅酮结构胶等无产品标准，在使用前应进行专项技术论证）

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，幕墙的防火设计极其重要，进行幕墙设计时，应选用符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 规定的不燃或难燃材料。尽管如此，在幕墙用材料中，国内外都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，并要采取防火措施。

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断热组合型材，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。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。隔热条的有效截面高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纹连接，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 不锈钢材的防锈能力与其铬和镍含量有关。奥氏体不锈钢为铬—镍系列合金。常用的奥氏体不锈钢有 S304XX 系列和 S316XX 系列。根据 GB/T20878 的规定，S304XX 系列不锈钢中的镍含量约 8%~10%，含镍铬总量为 27%~29%，S316XX 系列不锈钢中的镍含量约 10%~14%，含镍铬总量 29%~31%。因此，S316XX 系列不锈钢的防腐蚀性能优于 S304XX 系列，尤其是防氯离子腐蚀性能优于 S304XX 系列，在进行幕墙工程设计时，应根据工程所在地的环境条件、腐蚀介质和浸蚀性作用适当选用。

3.5 石 材

3.5.5 本条规定了石材面板的最小厚度及吸水率的要求。本表所规定的厚度是指实测值，不允许有负偏差。粗面石材板应比光面石材板厚 3mm。

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。

3.9 结构胶和密封材料

3.9.4 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。

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。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,规定在出入口应设置有效的遮挡措施或确保出入口上方的幕墙面板材料不会破裂坠落。

4.1.7 水平或倾斜倒挂式隐框玻璃幕墙完全依靠硅酮结构密封胶承受荷载,在使用过程中,建筑硅酮结构密封胶受光、热、气等老化因素影响,其性能逐渐衰退,不得由建筑硅酮结构密封胶承受永久荷载。为了防止因建筑硅酮结构密封胶老化失效而导致玻璃高空坠落,超高层使用隐框玻璃幕墙时尚应采取其它具有防坠落功能的机械夹持措施,如包边、点支式固定。

4.1.8 根据我省的气候条件,结合《建筑遮阳工程技术规范》JGJ227、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。

4.1.9 本条是根据《玻璃幕墙光热性能》GB/T18091 的要求,为减少玻璃反射光对周围建筑的影响,要求进行光环境评价。

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》GB50009 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。

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》GB50178 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，幕墙的水密性能指标值，应按照本条的公式计算确定。其他地区刮大风时很少下雨，或下雨时很少刮风，因此，本规范提出其他地区可按照本条公式计算值的 75% 进行设计。水密性能等级见《建筑幕墙》GB/T 21086 表 12，该表中某一水密性能等级下规定了幕墙固定部分和可开启部分的水密性能等级。

4.2.4 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 DB33/1038 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《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。

4.2.5 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。

建筑物在地震作用下，各层间的相对位移，引起幕墙产生平面变形。由于进

行主体结构变形计算时，所考虑的风荷载、地震作用计算方法不同，因此，幕墙平面内变形性能设计也应当分为抗震设计和非抗震设计两类。抗震设计的幕墙，本规范规定可近似取主体结构在多遇地震作用下弹性层间位移限值的3倍作为控制指标。使幕墙本身的变形能力大于主体结构弹性层间位移角，确保幕墙适应主体结构的变形。

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 4.1 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。

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》GBJ 118 的规定确定，空气声隔声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。

4.3 构造设计

4.3.2 幕墙的水密性能直接关系到幕墙的使用功能和耐久性。采用雨幕原理进行构造，使幕墙接缝位置的空腔内的气压与室外气压相等或接近，防止室外空气压力大于空腔内空气压力，将雨水压入腔内，提高幕墙的水密性能，是经过工程实践考验，行之有效的措施。除采用双道或多道密封胶条形成等压腔外，也可以采用改变型材形状并配合密封胶条密封形成等压腔或多次减压的措施，提高幕墙的水密性能。对可能渗入雨水或形成冷凝水的部位，应设计导排水的装置或构造措施，防止雨水渗进室内，对室内造成污染，破坏室内环境。

幕墙上的可开启部位，最容易产生渗漏，尤其是近年来采用的内开窗，更加明显。因此，对幕墙可开启部位，必须进行专门设计，防止雨水渗漏。

单元式幕墙单元板块之间的“十”字接头，处理不当，会出现室内外直通，造成雨水直接进入室内，必须应进行专门设计，采取防渗漏封口构造措施。常用的措施是将对插构件设计成多腔并对拼接接缝采用橡胶密封条进行封堵，以及设置必要的导排水措施。近年来，在国内外部分工程中，采用全柔性封堵（大截面多台阶橡胶密封条错位封堵）的措施，也取得了良好的效果。

4.3.5 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，都会造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，应设置可靠的导排水系统，并加强面板后部空间的通风除湿能力。面板后面的保温层，可采用铝板、镀锌钢板或其他耐候防水材料进行隔离，防止雨水侵蚀，降低保温性能；内部支承金属结构，应加强防腐措施，保证其耐久性。

4.3.12 因石材面板采用水平或倾斜倒挂式构造时易发生坠落，不提倡使用或减小用量。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。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替代，效果较好。

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，降低幕墙性能，而且还会增加使用中的不安全因数。开启窗有上悬、平推、平开、下悬等方式，上悬窗是常用的开启，考虑到推拉窗物理性能指标较差，不允许使用。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，由于挂钩的限位构造较难，不建议使用挂钩式上悬窗。其它形式的开启窗可增设当铰链和锁具失效时防止开启扇坠落的其它附加设施。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。

4.5 热工设计

4.5.3 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。

采用后置式隔热条时，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

截面高度太小对型材的热工改善有限，需规定 8mm 的下限。

4.5.4 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、《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T151-2008 和《民用建筑热工设计规范》GB50176-93。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。

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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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四本规范基本一致，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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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，本规范采纳这种计算方法。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，本规范没有采纳。

BS EN13947: 2006、ISO 12631: 2012(E)和《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 中幕墙内表面对流换热阻 $R_i=0.13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ ，幕墙外表面对流换热阻 $R_e=0.04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ ，《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T151-2008 中幕墙内表面对流换热阻 $R_i=0.28 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ ，幕墙外表面对流换热阻 $R_e=0.06 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ 。经分析论证，本规范仍按 $R_i=0.13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ 和 $R_e=0.04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ 采用。

4.6 防火设计

4.6.2 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《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。

4.6.3 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，造成火势在水平和垂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，一般应分层封堵，每层至少要设置一道；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，在一定的高度范围内（一般不宜超过 2 个层高）应设置一道水平封堵，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 的钢板制作，不得采用单层铝板、铝复合板等作为承托板或封修板。

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。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，根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016—2006 中规定的截面最小尺寸 50mm~100mm 确定（耐火极限为 2.00h）。

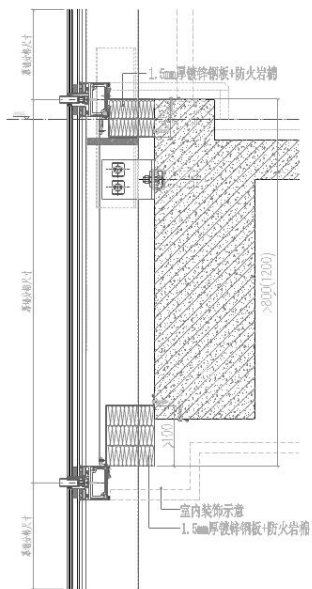


图4.6.3-1 玻璃幕墙层间防火封堵

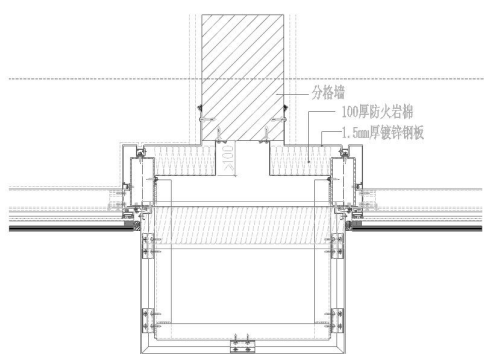


图4.6.3-2 玻璃幕墙与隔墙防火封堵

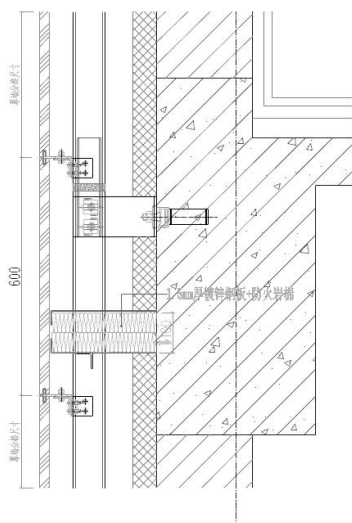


图4.6.3-3 石材（铝板）幕墙层间防火封堵

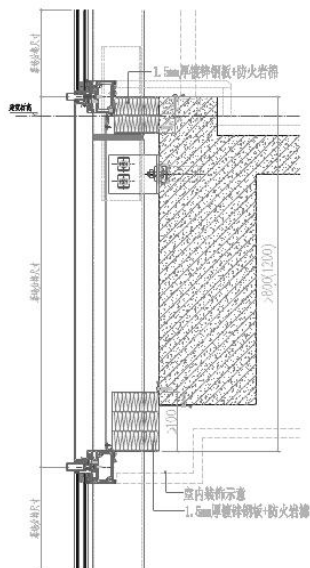


图4.6.3-4 组合幕墙层间防火封堵

承托板、封修板或防火玻璃、不燃无机复合板与防火分隔构件、楼板或隔墙外沿间的缝隙应进行密封，防止串烟、串火。防火密封胶应符合现行国家标准《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的规定。为防止防火密封胶与空气中的有害物质接触产生化学反应甚至失效，在防火密封胶的外表面应（宜）采用中性耐候密封胶进行二次密封。

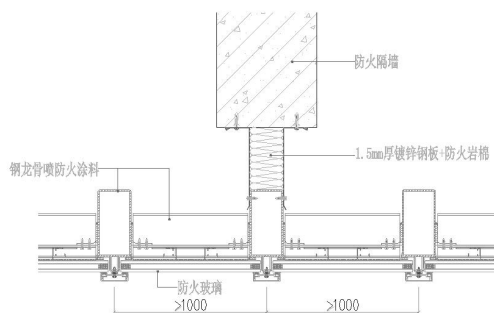


图4.6.3-5 防火墙未突出玻璃幕墙防火封堵

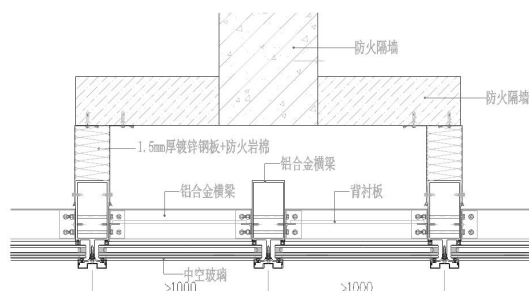


图4.6.3-6 防火分区玻璃幕墙防火封堵

4.6.4 建筑中外立面采用落地窗及幕墙系统较普遍，规定了上、下层间的墙体高度可有效防止火势通过外窗蔓延。上下层开口之间实体墙的高度可从梁底开始计算。

当上、下层开口之间设置实体墙确有困难时，允许采用防火玻璃墙，但防火玻璃墙和外窗的耐火完整性应达到规定的耐火完整性要求，应按现行 GB/T12513 《镶玻璃构件耐火试验方法》中对非隔热性镶玻璃构件的试验方法和判定标准进行测定。

《建筑用安全玻璃第1部分：防火玻璃》GB15763.1-2009 将防火玻璃分为 A、C 两类，其中 A 类防火玻璃能同时满足耐火完整性和隔热性的要求，C 类仅满足耐火完整性的要求。采用 C 类防火玻璃可基本防止火势通过窗口蔓延。

4.6.5 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，本规范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。

4.7 防雷设计

4.7.1 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。幕墙防雷设计应符合这一要求。

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，要求幕墙的金属框架中作为防雷网的构件应与主体结构的防雷体系可靠连接，并保持导电通畅。通常，在不大于 10m 范围内，宜有一根幕墙的金属立柱采用柔性导线上、下连通，并通过预埋件或固定件与主体结构防雷装置可靠连接。

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，厚度不应小于 3mm，截面积不小于 70mm²。当设置接闪器时，与主体防雷引下线的连接以及连接点数量和间距由电气工程师计算确定。

4.7.5 有些幕墙面外侧会带有装饰构件及照明灯具，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。比如设备的工作接地、保护接地、电子接地、防雷接地共用一组接地体的接地方式。应采取措施与幕墙框架体系连接。

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（或）地震作用。新修订的《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，但考虑其是重要的外围护构件，因此规定其设计使用年限应不少于 25 年。

《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的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，建筑幕墙的设计使用年限为 25 年。对大跨度钢结构支承体系和预埋件宜按主体结构使用年限确定。

5.1.7 幕墙工程中，上、下立柱之间通常采用芯柱或滑动接头连接，芯柱或滑动接头的惯性矩小于立柱的惯性矩，且插入深度上、下立柱的深度也不足 2 倍立柱截面高度。因此，芯柱或滑动接头与立柱紧密接触，只能传递剪力，不能传递弯矩。常用的立柱计算模型如下：

1 每层 1 个支点，立柱上端悬挑一小段，按单跨铰支梁（简支梁）模型进行计算；

2 每层 2 个支点，立柱上端悬挑一小段，按照双跨铰支梁模型进行计算；

3 每层 1 个支点，立柱上端悬挑一大段，按单支点多跨铰接梁模型进行计算；

4 每层 2 个支点，立柱上端悬挑一大段，按双支点多跨铰接梁模型进行计算。

当芯柱的惯性矩不小于立柱的惯性矩，且插入上、下立柱的深度不小于 2 倍立柱截面高度时，才能采用连续梁的模型进行计算。

目前，已有专门的计算软件，可按照自下而上各层的层高、支撑状况和水平

荷载的不同数值，计算立柱各截面的弯矩、内力和挠度。各项参数的选取符合工程实际情况，计算结果比较准确，可以节约材料，降低工程成本，应当作为立柱设计的首选工具。

5.2 荷载与地震作用

5.2.3 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。对屋顶悬臂支撑的立柱，应按照主体结构来考虑受风实际情况。当悬挑高度超过5米时应设置主体结构。

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》GB50011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，减低其脱落后的伤人事故，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》GB50011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《建筑抗震设计规范》的有关规定进行结构的抗震计算。

幕墙的支承结构，如横梁、立柱、索桁架、索网、钢桁架等，其自身重力荷载产生的地震作用标准值，可按本条的原则进行计算。

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和大小，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》GB50011 和《建筑抗震设计规范》GB50005 的规定采用。

在现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中规定，当地震作用与风荷载同时考虑时，风的组合值系数取为 0.2。

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《建筑结构荷载规范》GB50005 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。

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。

5.4.2 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、焊缝或铆钉实现。现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和《铝合金结构设计规范》GB50429 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。

5.4.4 幕墙横梁与立柱的连接通常通过螺栓、焊缝或螺钉实现。同时受拉、受剪的螺栓应进行螺栓的抗拉、抗剪设计；螺纹连接的公差配合及构造，应符合有关标准的规定。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》GB50429、《钢结构设计标准》GB50017 或《冷弯薄壁型钢设计规范》GB50018 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。

5.5 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规范有关条文的规定。现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776 中，规定了硅酮结构密封胶的拉伸强度值不低于 $0.6\text{N}/\text{mm}^2$ 。

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 $0.21 \text{ N/mm}^2 \sim 0.195 \text{ N/mm}^2$ ，本规范取为 0.2 N/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 0.01 N/mm^2 。隐框幕墙设计中，节点构造上严禁硅酮结构胶单独剪切作用，玻璃自重应由托条单独承受。

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：

$$f_1 c_s = \frac{aw}{2} \quad (5.2)$$

$$c_s = \frac{aw}{2f_1} \quad (5.3)$$

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 0.2 N/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 。

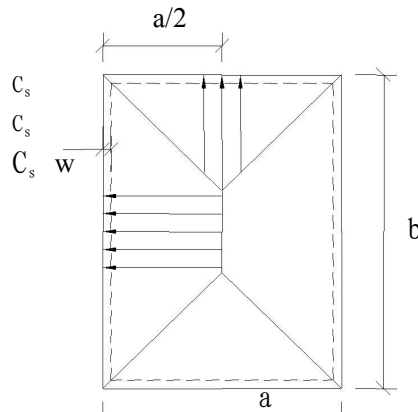


图4 玻璃上的荷载传递示意图

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。

5.5.6 隐框幕墙板块是由玻璃与副框通过结构胶粘合而成.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结用硅酮结构密封胶的位置不重合时,与副框粘结片破损时,没有与副框粘结片就失去了约束条件,可能整片坠落,禁止采用无副框的构造。

5.5.7 硅酮结构密封胶承受永久荷载的能力很低,强度设计值 f_2 仅为 $0.01\text{N}/\text{mm}^2$,而且有明显的变形。长期受力部位应设金属件支承。本规范要求竖向幕墙玻璃应在玻璃底端设支托,隐框幕墙的承托件应确保强度和刚度,必须提供相应的计算书。

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。虽然幕墙不负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，幕墙的面板设计应使得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；其次是安全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。

对人流密集等建筑采用玻璃幕墙时，外片选用夹层玻璃，可阻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(室外一般是五年)，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，要求玻璃幕墙的外片玻璃选用夹层玻璃。但有些建筑玻璃幕墙高度低，小于退道路红线的距离，可不采用夹层玻璃，但必须采用超白钢化玻璃制品。

6.2.2 这是《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102 规定的强条。除采用夹层玻璃外，还得有防撞措施。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 根据《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T455 的规定，当采用超白平板玻璃的钢化玻璃，其面积可适当加大，但不得大于上表规定的 10%。

6.2.5 单道密封中空玻璃仅使用硅酮胶或聚硫胶时，气密性差，水气容易进入中空层，影响使用效果，不适用单独在幕墙上使用，但硅酮胶和聚硫胶的粘结强度高，以聚异丁烯为主要成分的丁基热熔胶的密封性优先于硅酮胶和聚硫胶，但粘结强度较低，也不能单独使用。因此，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，可弥补硅酮胶和聚硫胶的不足，用硅酮胶或聚硫胶做二道密封，可保证中空玻璃的粘结强度。

由于聚硫密封胶耐紫外线性能较差，并且与硅酮结构胶不相容，故隐框、半隐框及点立承玻璃幕墙等密封胶承受荷载作用的中空玻璃，其二道密封必须采用硅酮结构密封胶。

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，计算公式按本规范第 5.5.8 条的规定。

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 $1/30$ - $1/40$ 。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，设计中需要进行计算按供订货厂提供的参数调整。

6.2.9 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%，这与本规范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、水久变形小、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：

$$2c_1 \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1}\right) = 2 \times 3.5 \left(1 + \frac{1000}{1200} \times \frac{3.5}{3.5}\right) = 12.6 \text{mm}$$

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。

6.3 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。

6.3.3 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。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 1.0mm。

6.3.4 加强肋是在单层面板达不到强度涉及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幕墙板块的设计计算, 其截面尺寸形状直接影响到板块抵抗外部荷载的能力。加强肋常用的有方管(矩形管)、C 槽型、U 槽型或角型型材。加强肋常用的材质为铝合金、镀锌或喷涂钢等。

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(图5.1)。

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, 己为厚度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5.4.3时，取了较厚计算结果偏大的数值，留有充分的余地。按表5.4.3 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 (表5.5)。

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。

7 构件式幕墙

7.2 构造设计

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：

$$2c_1(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1}) = 2 \times 3.5(1 + \frac{1000}{1200} \times \frac{3.5}{3.5}) = 12.6\text{mm}$$

如果该幕墙安装在钢结构上，主体结构层间位移限值为：

$$3000\text{mm} \times 3/300 = 30\text{mm}$$

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《铝合金结构设计规范》GB50429 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 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》GB50018 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，规定热轧钢型材截面有效受力部位的厚度不应小于 2.5mm，增加了热轧钢型材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），本规范在相关的条文中也提出了必要时可以预留腐蚀厚度或增强防腐蚀措施的要求。

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,本规范统一规定为 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规范的规定。

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》GB50018 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。

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 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。所以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。

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规范的规定。

7.5 连接设计

7.5.2 幕墙设计，应对横梁与立柱的连接强度进行验算。横梁一般通过连接件、螺栓、螺钉或销钉与立柱连接。单元式幕墙一般通过自攻螺钉直接连接。近年来，采用连接件和弹簧销钉连接横梁与立柱的方式也得到了广泛运用。进行横梁与立柱的构造设计时，应采取有效措施，防止横梁扭转。

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。

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，均是直角角焊缝，本条规定的焊缝计算长度，引自现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017中的规定。

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不会出现，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 50 °C，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 50 °C，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《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 最大平均年温差为 42°C，围护结构深暗色温度增加值为 7°C，即浙江省维护结构最大的最大平均年温差近 50 °C，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

8.4.6 在高度方向,按照《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的8.3.2条,施工楼层标高允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$;按照《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102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《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204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 $\pm 46\text{mm}$ 。按照《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205-2001的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。

8.4.9 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连接组件吸收,因此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。不可面内可水平滑移的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

9.1.3 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。而本规范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。

9.1.5 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规范的其它相关要求。

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热通道,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热通道内,两者的共同效应是加热热通道内的空气。

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热通道内空气的约束作用,采用单层玻璃即可。

宽腔双层幕墙的热通道内清洗、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钢化夹层玻璃或钢化夹层玻璃的合成制品。窄腔双层幕墙的热通道内人员不可进入,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钢化夹层玻璃或钢化夹层玻璃的合成制品。

9.3 结构设计

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》GB50009 中封闭式建筑物内部压力的局部体型系数-0.2 或 0.2,按 GB50009 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》JGJ102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/m²）计算出5级风时 $w_0=0.072$ （kN/m²）。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%，因此本规范采用了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/m²的考虑。

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 $w_0 \geq 0.85$ kN/m²，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）、单跨筒支立柱跨度为 l （mm）的内层幕墙为例，按照风荷载标准值 w_k （kN/m²）时，立柱的弯矩和挠度分别为：

$$M_w = \frac{1}{8} \times 1.4 w_k b l^2 \quad (9.1)$$

$$d_{fw} = \frac{5 w_k b l^4}{384 EI} \quad (9.2)$$

按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009中规定的栏杆顶部承受的水平荷载 $p_k=1.0$ 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：

$$M_p = \frac{1}{4} \times 1.4 \times 10^3 p_k b l \quad (9.3)$$

$$d_{fp} = \frac{1000 p_k b l^3}{48EI} \quad (9.4)$$

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。

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8m，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。

常规的玻璃肋可以按下式进行验算：

$$M_{cr} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 (EI_y) (d^2/4 + y_0^2) + GJ / (2y_0 + y_k) \quad G = E / (2(1 + \gamma))$$

式中 L——玻璃肋高度h，mm；

E——玻璃弹性模量，72000N/mm²；

I_y——玻璃肋弱轴惯性矩，mm⁴；

d——玻璃肋宽度，d=hr，mm；

G——玻璃剪切模量，30000N/mm²；

J——玻璃肋扭转惯性矩， $J = dt^3(1 - 0.63(t/d))/3$ ，mm⁴；

Y₀——侧向约束到中性轴距离，mm；

Y_k——荷载作用点到中性轴距离，mm，荷载指向中心轴取“-”，

荷载背离中心轴取“+”。

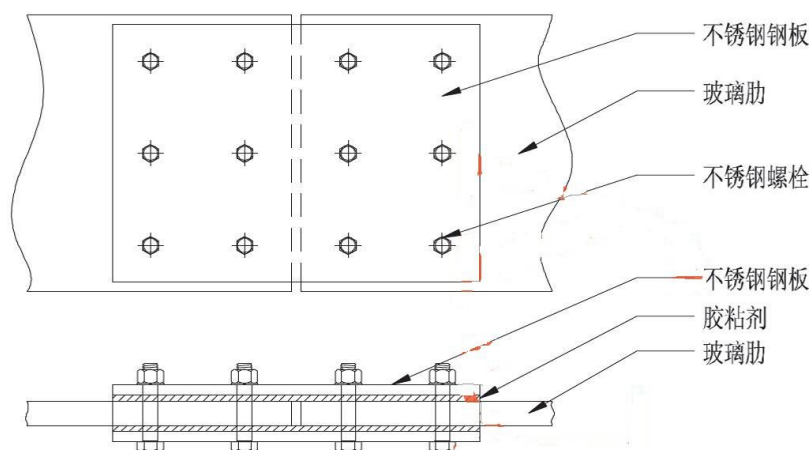
10.3.13 由于玻璃肋是在玻璃平面内受弯、受剪和抵抗螺栓的压力，最大应力发生在玻璃的端面，应按端面强度设计值进行校核。

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。

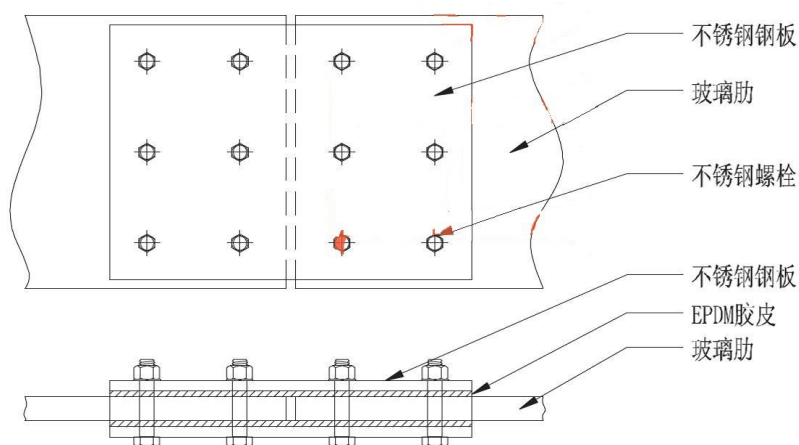
通常有两种连接方式：粘接连接和机械连接。

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接剂（一般是环氧树脂胶），然后穿上螺栓，主要通过胶粘接剂传递内力。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。



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。



11 点支承玻璃幕墙

11.1 一般规定

11.1.1 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，对较大面积的玻璃不宜采用六点支承，确需采用时，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，本规范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，不建议使用金属板连接的做法。

11.2 构造设计

11.2.4 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。

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、下端宜铰支承于主体结构上。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 可按下列式计算：

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad (11.1)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (11.2)$$

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 (mm^4);

A ——截面面积 (mm^2)。

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《钢结构设计标准》GB50017 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，本规范要求 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》GB50017 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，常采用聚氨脂漆喷涂等方法。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 11.3.8）。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。

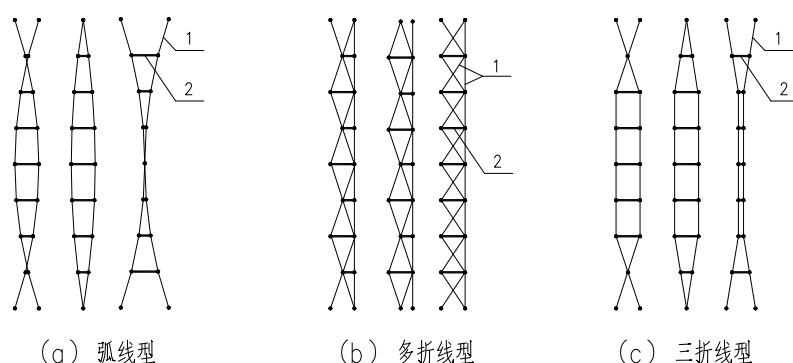


图 11.3.8 索桁架示意

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小于单层平面索网，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。

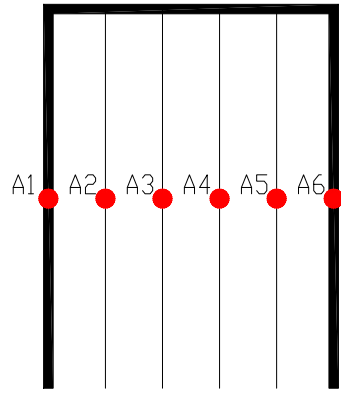


图 11.3.11 单索幕墙与周边支承结构立面示意图

12 采光顶与金属屋面

12.2 构造设计

12.2.2 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。

12.2.6 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20mm能够满足《玻璃幕墙工程质量检验标准》JGJ/T 139—2001中“连接件孔边距不应小于开孔宽度的1.5倍”和本规范的规定。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。

15 加工制作

15.1 一般规定

15.1.2 对于硅酮结构密封胶的施工场所要求较严格，除要求清洁、无尘外，室内温度湿度有一定要求，故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。

15.4 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《建筑门窗幕墙用钢化玻璃》JG/T455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。

15.6 金属板材

15.6.3 单层金属板加强肋与折边或加强边框可靠连接可提高单层金属板整体刚度，风荷载通过加强肋直接传到龙骨上；当加强肋仅与单层金属板面连接时，仅提高了单层金属板面局部刚度，不能起到加强作用。采用不锈钢板时，焊钉连接。

15.10 石材蜂窝板

15.10.1 石材铝蜂窝复合板生产工艺较为复杂，幕墙用板块的加工是根据设计要求在专业生产单位逐块预制，一般施工企业不具备加工和生产的能力。通常情况下，石材铝蜂窝板采用胶粘剂进行板块间的粘结或预置螺母的灌注固定时，应在工作温度为 15℃~30℃、相对湿度 50%以上、且洁净、通风的室内进行。各板块的被粘结面在涂刷粘胶剂前须经打磨处理，表面应保证干燥，无油脂，无灰尘或其他污物。

预置螺母是板与幕墙支承构件间的重要连接件，其安装质量的好坏直接影响到幕墙的安全性能。预置螺母通常采用材质为 Q235 的冷镦工艺成型的异形螺母，形状如图 15.10.1。其表面镀锌纯化处理应满足 GB 5267.1 的规定，机械性能等级应达到 GB 3098.2 中规定的 5 级，加工尺寸偏差应符合 GB/T 120.1。

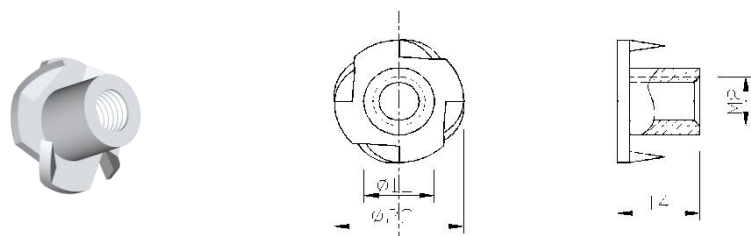


图 15.10.1 预置螺母示意

石材铝蜂窝复合板预埋螺母用孔的加工深度不应小于铝蜂窝芯的厚度，且不应伤及与石材相粘结的板面。孔内残屑应清理干净，孔底部需保证平整并无毛刺。注胶时，注胶完成面应与背板表面持平或略呈凹弧状，预埋螺栓的表面不得低于注胶完成面和背板的表面。

石材铝蜂窝复合板出厂前应按照产品标准的各项要求进行严格的出厂检验合格后方可使用。

16 安装施工

16.1 一般规定

16.1.5 预埋件的可靠性直接影响幕墙的安全。预埋件安装后不能观测到锚筋制作是否符合设计要求，只能通过验算计算和承载力试验才能判定。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。

16.1.9 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。

16.2.7 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：本规范按幕墙高度分为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保证了分格框的方正。本规范将上述各允许偏差折算成分格框对角线允许偏差，并参照《建筑装饰装修工程质量验收规范》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。

16.2.9 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11.3.8有区别外，其他各项的允许偏差及其依据基本与表11.3.8相同。

1 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；

2 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

16.3.7 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。

16.6 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 安全规定

16.7.6 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 工程检测与验收

17.1 一般规定

17.1.2 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规范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。具体内容详见本章规定。

17.3 材料复验

17.3.15 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。

17.4 性能及现场检测

17.4.1 封闭式幕墙气密性能、水密性能、抗风压性能、平面内变形性能是幕墙的基本性能，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。当幕墙有保温隔热性能要求时，应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，应进行隔声性能检验；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，应进行耐撞击性能检验。

17.4.2 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。玻璃幕墙应带开启窗。

17.4.7 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。气密性能、水密性能、抗风压性能按《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227 的规定检测，平面内变形性能按《建筑幕墙平面内变形性能检测方法》GB/T 18250 的规定检测。

18 保养和维修

18.1 一般规定

18.1.1 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，本规范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。

根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068的有关规定，玻璃幕墙的结构构件一般属于易于替换的结构构件，其设计使用年限一般可取为不低于25年。

18.1.2 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。

18.1.4 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。

18.2 检查与维护

18.2.2 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，本规范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，本规范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，本规范未做出具体规定。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 B 槽式预埋件设计与构造

B.0.1 本条规定的“槽式预埋件”，是指采用铸造工艺生产的单体槽型，背面带有单排栓钉的预埋件（如：哈芬槽）。这种“槽式预埋件”应按照现行标准《钢结构设计标准》GB50017、《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS159: 2004、《型钢混凝土结构设计规程》YB 9082-2006、《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138-2001 等相关的结构设计规范的有关规定进行锚固力设计。

槽式预埋件的锚固承载力应通过现场试验确认。进行槽式预埋件现场承载力实验时，对于可变荷载作用，材料分项系数不应小于 2.15，对于永久作用，材料分项系数不应小于 2.50。槽式预埋件的埋设位置，以平埋（梁面或梁底）为宜。

附录 E 双层幕墙热工计算

E.0.1~E.0.6 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、《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T151-2008 和《民用建筑热工设计规范》GB50176-93。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。

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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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四本规范基本一致, 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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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)和 DIN EN ISO 6946: 2008 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, 本规范采纳这种计算方法。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, 本规范没有采纳。

BS EN13947: 2006、ISO 12631: 2012(E)和《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 中幕墙内表面换热阻 $R_{i1}=0.13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$, 幕墙外表面换热阻 $R_{e1}=0.04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ 。