

公路桥梁典型病害维修加固手册

通用分册

第一册 共五册

浙江省公路与运输管理中心

二〇二二年五月

前 言

本手册是《公路典型病害维修加固技术手册》的分册之一——《公路桥梁典型病害维修加固手册》。手册以浙江省普通国省道典型桥梁病害维修加固设计施工的实际应用为主，重点介绍公路桥梁的典型病害特征、病害成因、处治方法、设计要点、施工工艺等内容；手册采用图文并茂的形式，提供了大量的图片，力求内容深入浅出，易于理解；并在附录中提供桥梁维修加固设计施工的典型病例。

本手册旨在进一步规范与提高公路桥梁维修加固设计与施工水平，供桥梁检测、设计、施工与管理人员参考使用。手册根据不同桥梁结构及病害类型，编制了通用（第一册）、梁桥（第二册）、拱桥（第三册）、斜拉桥及悬索桥（第四册）、钢桥及钢-混组合桥（第五册），共五册。

本手册的管理由浙江省公路与运输管理中心负责，具体解释工作由浙江数智交院科技股份有限公司负责。各地在执行过程中如有意见或建议，请与叶兔联系（地址：杭州市西湖区余杭塘路 928 号，邮编：310000，电子邮箱：18368886639@163.com，联系电话：18368886639）。

主 编 单 位：浙江省公路与运输管理中心

参 编 单 位：浙江数智交院科技股份有限公司

浙江交工路桥建设有限公司

浙江科技学院

浙江丽中恒工程检测有限公司

浙江公路技师学院

浙江交工高等级公路养护有限公司

主要编制人员：娄亮 赵明朝 叶兔 袁家幸 翟青 金辉 陈亮 崔军 张晓锋
蒋昌平 吴中鑫 于鹏 吕国忠 潘竺兰 娄畅丰 李渊 商雪枫
陈振华 王利彬 柳国军 李栋 张鹏 谢远泽 孙婧

参与审查人员：汪银华、颜东锋、潘学政、朱奕勤、李伟平

目 录

1	总 则	- 1 -
1.1	基本规定	- 1 -
1.2	常规流程	- 1 -
1.3	规范性引用文件	- 3 -
2	常规处治	- 4 -
2.1	混凝土裂缝	- 4 -
2.2	混凝土表面缺损	- 14 -
2.3	锈胀露筋	- 18 -
3	下部结构	- 22 -
3.1	盖梁、台帽裂缝	- 22 -
3.2	过渡墩盖梁裂缝	- 33 -
3.3	立柱环向裂缝	- 36 -
3.4	立柱竖向、网状裂缝	- 42 -
3.5	重力式墩台身、侧墙裂缝	- 46 -
3.6	桩柱连接处缺陷	- 51 -
3.7	基础冲刷	- 57 -
4	支 座	- 62 -
4.1	板式橡胶支座	- 62 -
4.2	盆式橡胶支座	- 65 -
5	桥面系及附属结构	- 68 -
5.1	桥面铺装纵向裂缝	- 68 -
5.2	桥面铺装墩顶横向裂缝	- 72 -
5.3	伸缩缝病害	- 75 -
6	结构偏位	- 80 -
6.1	上部结构偏位	- 81 -
6.2	下部结构偏位	- 86 -
6.3	上下部结构联动偏位	- 88 -
	附录 A 典型案例（结构纠偏）	- 91 -
	A.1 工程概况	- 91 -
	A.2 桥梁加固	- 99 -
	A.3 质量评定	- 109 -

1 总 则

1.1 基本规定

1.1.1 桥梁维修加固前应对桥梁技术状况、承载能力进行必要的检测和评定，作为桥梁维修加固设计和施工的依据。

1.1.2 桥梁维修加固方案应进行安全、技术、经济、社会效益综合比选。

1.1.3 桥梁典型病害维修加固设计原则上采用一阶段施工图设计，必要时可根据需要在施工图设计中增加相应的技术方案比选内容。

1.1.4 桥梁维修加固施工作业应尽量减少对当地交通、环境的影响，施工单位应按有关规定制定预案，项目管理单位负责审查，并检查督促预案落实情况。

1.1.5 规模较大或技术复杂的桥梁维修加固工程可根据需要开展技术咨询、过程监测等第三方服务。

1.1.6 本手册适用于浙江省各等级公路桥梁典型病害维修加固工程的设计与施工，对桥梁其它病害的处治亦可作为参考。

1.1.7 公路桥梁典型病害维修加固除应符合本手册的规定外，尚应符合国家、行业现行相关标准、规范的规定。

1.2 常规流程

1.2.1 根据公路桥梁常规病害维修加固工程特点，原则上可分为检测、项目建议书、可行性研究、设计、施工、工程验收与评定等阶段制定公路桥梁维修加固的工作程序。

1.2.2 对于修复养护类的桥梁维修加固工程，由桥梁管养单位根据桥梁检查情况，提出项目建议，由上级主管部门审批后，列入工程计划。

1.2.3 对于技术复杂、对当地交通和环境影响较大或投资规模较大（5000 万元以上）的桥梁维修加固项目前期工作应开展工程可行性研究。

1.2.4 对于列入桥梁维修加固计划的桥梁在开展设计工作前，应在桥梁定期检查的基础上，对桥梁病害进行全面核查。

1.2.5 桥梁典型病害维修加固工作对交通有影响的，应进行交通组织设计，以保障工程实施期间的交通通行和施工作业区安全。

1.2.6 应建立桥梁典型病害维修加固电子档案及相关信息化内容。

1.2.7 桥梁典型病害维修加固主要工作流程如下所示：

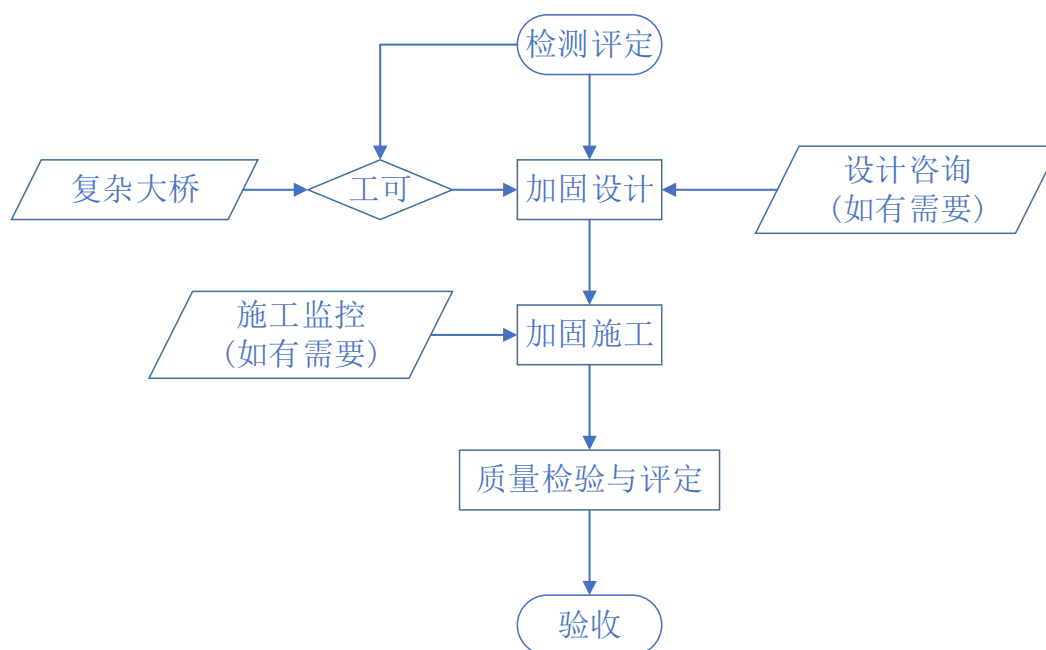


图 1.2-1 加固主要工作流程图

1.3 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅标注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50367-2013 混凝土结构加固设计规范

JTG B01-2014 公路工程技术标准

JTG/T J21-2011 公路桥梁承载能力检测评定规程

JTG/T J22-2008 公路桥梁加固设计规范

JTG/TJ23-2008 公路桥梁加固施工技术规范

JTG D60-2015 公路桥涵设计通用规范

JTG F80/1-2017 公路工程质量检验评定标准

JGJ 92-2004 无粘结预应力混凝土结构技术规程

JTG 3362-2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG 5120-2021 公路桥涵养护规范

JTG 5220-2020 公路养护工程质量检验评定标准

2 常规处治

本章节主要介绍混凝土结构出现裂缝、锈胀露筋、表观缺损等病害的常规处治，涉及结构受力的补强及加固措施详见其他相关章节。

2.1 混凝土裂缝

混凝土裂缝可分为结构性裂缝和非结构性裂缝。结构性裂缝是由外荷载引起的裂缝，其裂缝的分布及宽度与外荷载有关，这种裂缝的出现，预示着桥梁结构承载力可能不足或者存在其他严重问题；非结构性裂缝是由变形引起的裂缝，如温度变化、混凝土收缩等因素引起的裂缝，对桥梁的承载能力影响较小；两种裂缝对结构耐久性都有影响，因此均需要进行处理。混凝土构件裂缝应分析其成因，根据裂缝的类型确定修补的方法、选择修补材料与时机，对于结构性裂缝还应经过计算分析确定结构加固方案。

2.1.1 病害特征及成因分析

结构性裂缝的形成机理与结构受力相关，后续章节将结合不同结构形式进行针对性分析。本节主要对非结构性裂缝进行分析，典型的有梁板纵横向裂缝、斜裂缝、混凝土收缩裂缝、网状裂缝等。

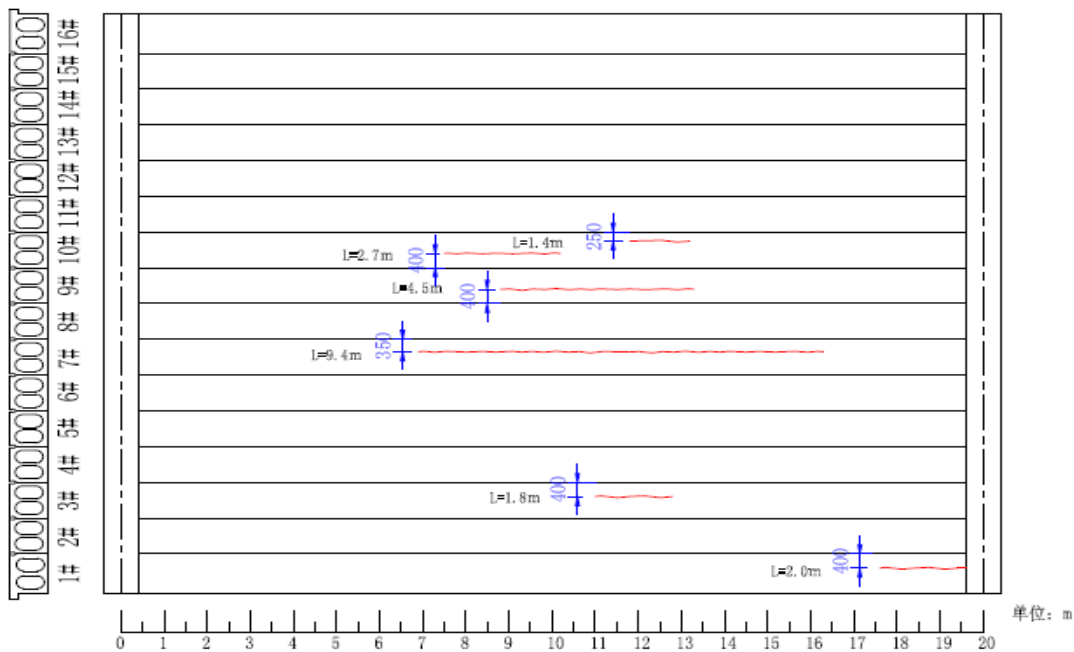
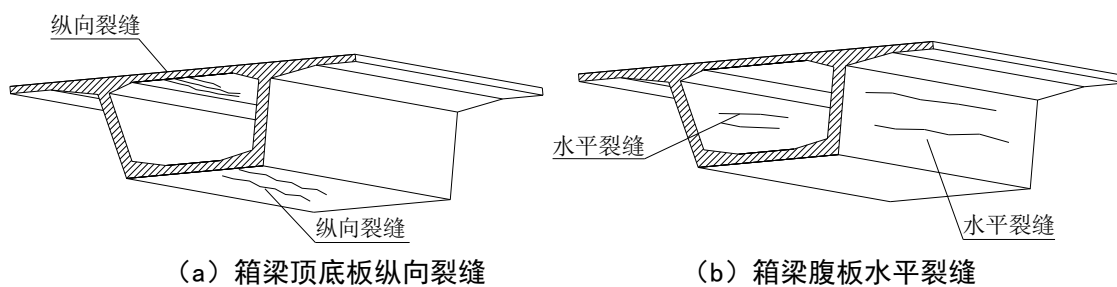
1 病害特征

1) 顶底板、腹板水平纵向裂缝

此类纵向裂缝通常表现为长度不一，断断续续的不连续，裂缝宽度也没明显从大到小的规律。



图 2.1.1-1 主梁纵向裂缝病害典型照片

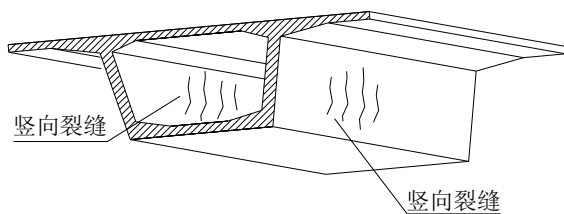


(c) 空心板底板纵向裂缝示意图

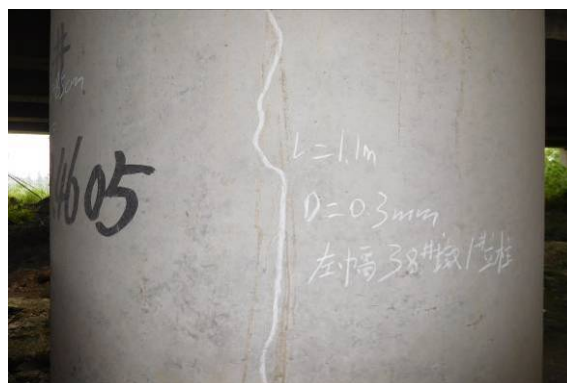
图 2.1.1-2 主梁纵向裂缝示意图

2) 收缩裂缝

如非剪力区的“枣核型”裂缝，裂缝宽度呈现两头小中间大的特征。



(a) 腹板枣核型裂缝



(b) 立柱枣核型裂缝

图 2.1.1.-3 枣核型收缩裂缝

3) 网状裂缝

主要分布在大体积混凝土表面，分布呈现片状交错杂乱，也称龟裂。



(a) 箱梁内顶板网状裂缝

(b) 立柱网裂

图 2.1.1-4 网状裂缝

2 成因分析

1) 顶底板、腹板水平纵向裂缝

(1) 悬臂现浇箱梁新老混凝土收缩徐变不一致，特别是合拢段现浇后。

(2) 顶、底板横向弯矩过大，无横向预应力、箱梁横向弯曲空间效应、板厚偏小，横向配筋不足，箱梁内外温差过大产生温度应力等原因。

(3) 此外，也可能由箱梁横向弯曲空间效应与内外温差应力使腹板内侧或外侧产生较大的竖向应力、箱梁横向刚度不足，畸变应力影响，竖向预应力不足等原因引起。

(4) 此类纵向裂缝，部分是沿预应力钢束或钢筋的裂缝，可能是混凝土保护层过薄导致。

2) 收缩裂缝

大多是脱模、养护等原因所致；如保护层过厚，混凝土收缩和温差也会导致；此外如果箱梁分层浇筑的构件也容易导致。

3) 网状裂缝

主要原因可能是在施工期间，浇筑桥墩砼后拆除模板过早或未能及时采取养护措施，由于混凝土的水化热温度和外部气温的温差过大而产生的表面裂缝。另外可能是桥墩混凝土养护期不足或养护措施不到位而由混凝土干燥收缩而引起的裂缝。

4) 整体箱梁横隔板的发散裂缝

主要是大体积现浇混凝土和人洞导致局部应力集中所致。

2.1.2 处治方法及设计要点

1 填充

填充法又称填充密封法、凿槽法，是沿裂缝将砼开凿成V型沟槽，然后嵌填修补材料，以达到恢复结构耐久性、整体性及防水性的目的。填充材料采用聚合物砂浆，材料性能指标详见混凝土表面缺陷处理中聚合物砂浆材料要求。

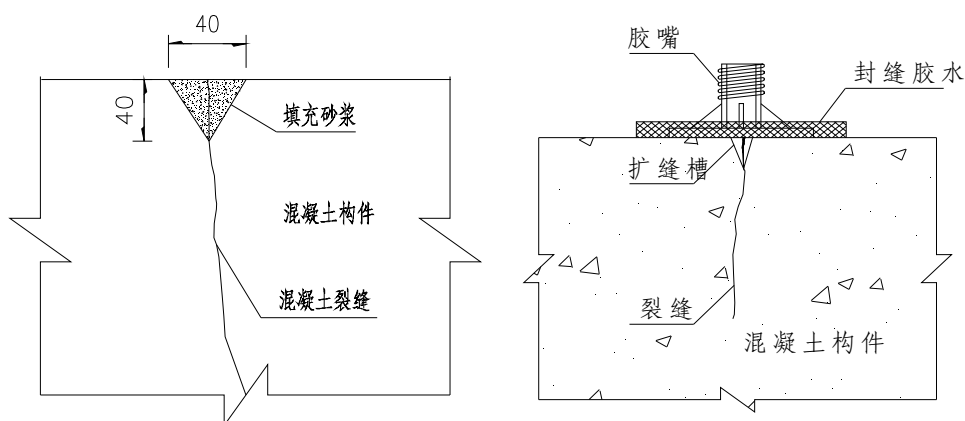


图 2.1.2-1 裂缝填充处理示意图

2 注浆

裂缝注浆法可分为低压渗注和压力灌注，低压渗注法是借助于较小的压力装置，利用注浆材料良好的渗透性能进行修补的方法；压力灌注法是以一定的压力将裂缝修补胶液或水泥浆注入裂缝腔内，达到充填密实的效果。根据《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008），对裂缝数量较多、宽度在 0.1mm~1.5mm 间时宜采用自动低压渗注法，对裂缝较深、宽度 $\geq 0.15\text{mm}$ 时宜采用压力灌注法进行处理。

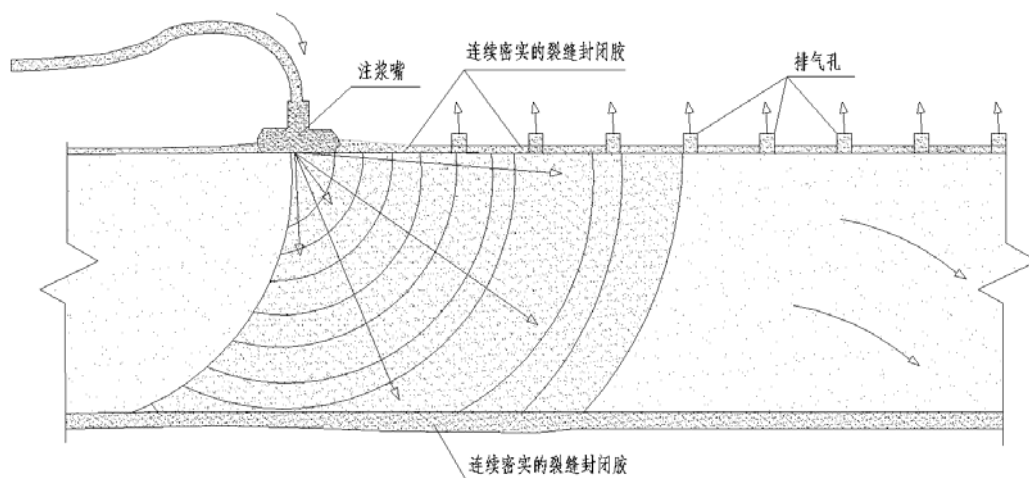


图 2.1.2-2 裂缝灌浆处理示意图

3 封闭

表面封闭法是采用沿构件表面涂刷水泥砂浆、胶粘剂等材料来修补构件表面细小的混凝土裂缝。根据《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008），对宽度 $< 0.15\text{mm}$ 的裂缝进行可进行表面封闭处理。

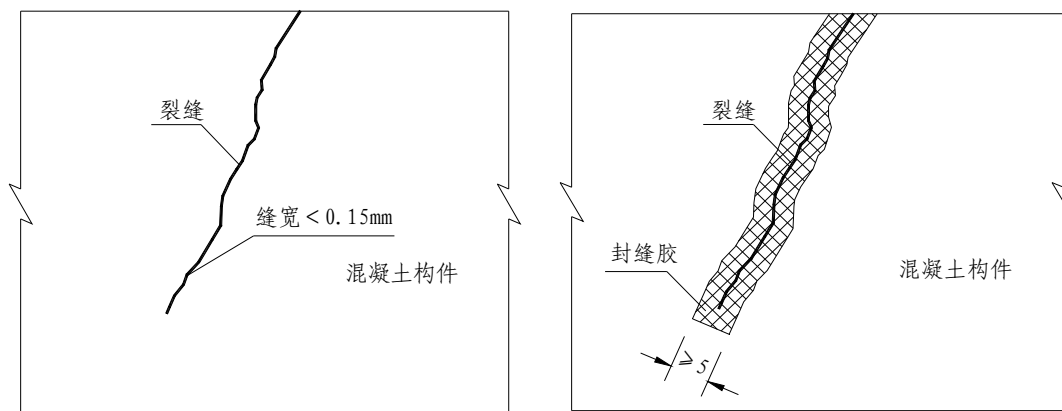


图 2.1.2-3 混凝土构件裂缝封闭处理示意图

4 涂装

对于龟裂等数量较多、宽度较小的不规则网状裂缝，为避免空气中的水汽、氯离子等进入混凝土结构内部，可采取混凝土防护涂装进行保护，提高结构耐久性。

2.1.3 施工要点及质量要求

1 裂缝填充

1) 施工要点

填充法根据裂缝位置进行定位，沿着裂缝方向凿槽宽度值 $\geq 10\text{mm}$ ，槽深应 $\geq 15\text{mm}$ ，活动性裂缝应适当加大。施工时可沿缝人工或用风镐开凿，并清除槽内松动的混凝土碎屑及粉尘，然后再填充封缝材料。深度较深的可预埋注浆嘴和出气孔，再次进行裂缝灌浆。

2) 质量要求

裂缝填充的质量检验与验收应严格按照《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）5.3 条进行。

2 注浆灌缝

1) 施工要点

(1) 清缝处理

对所有要处理的裂缝表面用角磨机打磨，剔除缝口表面的松散杂物，用气压

0.2MPa 以上的压缩空气清除裂缝打磨范围，沿缝长范围内用丙酮进行洗刷，擦清表面。

(2) 标注灌胶底座的位置

根据裂缝的宽度，确定灌胶底座的间距和位置，在裂缝端部、裂缝交叉处和裂缝较宽处设置灌胶嘴，并做好标志，灌胶底座的粘贴间距为 20~40cm。

(3) 埋设灌浆嘴

调和灌胶底座粘结胶，将灌胶底座按标注位置顺缝粘贴在裂缝表面，并适当用力下压底座使底部粘结胶部分溢出，并包住注胶底座边缘。

(4) 封缝

对压浆区域的裂缝，无论缝宽大小，原则上都应同时封闭，以防裂缝相互贯通而跑气跑胶。沿缝长先涂一层基液，等基液初凝后，再抹上一层胶泥，并除气泡抹平，等胶泥初凝后，表面用基液涂刷二遍。

(5) 密封检查（气检）

等封缝材料固化后，沿缝涂刷一层肥皂水，并从灌浆嘴中通入气压为 0.2MPa 的压缩空气，检查缝的密封效果。对漏气部位进行补封处理。

(6) 配浆

浆液配制：根据现场施工的实际情况，进行化学灌浆的配置，其安全性能指标应符合《混凝土结构加固设计规范》的规定。

表 2.1.3-1 裂缝修补胶（注射剂）安全性能指标

检验项目		性能指标	试验方法标准
钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)		≥10	GB/T 7124
胶体性能	抗拉强度 (MPa)	≥20	GB/T 2568
	受拉弹性模量 (MPa)	≥1500	GB/T 2568
	抗压强度 (MPa)	≥50	GB/T 2569
	抗弯强度 (MPa)	≥30，且不得呈脆性破坏	GB/T 2570
不挥发物含量（固体含量）		≥99%	GB/T 14683
可灌注性		在产品说明书规定的压力下，能注入宽度为 0.1mm	

(7) 灌浆

往专用低压灌注容器中注入事先计算好的灌浆量，逐一将低压灌注容器安装至

灌浆嘴进行注浆；观察胶水注入量，加压后前 2 小时每 20 分钟观察一次并作记录，若注射器中的胶水注完立即补充胶水并判断是否与预先计算灌浆量是否有出入；加压 24 小时后拆除注射器，记录最终注胶量；

2) 质量要求

(1) 混凝土裂缝修补应符合下列基本要求：

①裂缝修补所用材料的品种、性能、规格等应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

②应按设计要求对混凝土表面进行处理，含水率应与修补材料的使用要求相适应。表面封闭时基面应清洁、密实、坚固；灌胶时裂缝两侧基面应清理出密实新鲜混凝土，表面应清洁、干燥。

③在裂缝交叉点、端部及宽度较大处应设灌胶嘴，且在封缝胶固化后应检查其气密性，应无漏气。

④修补工艺、顺序应符合设计要求。

(2) 混凝土裂缝修补实测项目应符合表 2.1.3-2 的规定：

表 2.1.3-2 裂缝灌浆实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	灌胶嘴间距 (mm)	符合设计要求	尺量：抽查 10%
2	灌胶压力 (MPa)	符合设计要求	压力表读数：全部
3	停胶后持压时间 (min)	符合设计要求	计时器：全部
4△	灌缝饱满程度	饱满	观察芯样、压力机：按设计规定，设计未规定时，每检验批取 3~4 个芯样。
5△	劈裂抗拉强度 (MPa)	符合设计要求	

(3) 混凝土裂缝修补外观质量应符合下列规定：

①应无漏封闭或漏灌胶的裂缝。

②裂缝封闭的表面应平整，无裂缝、脱落，粘贴物表面应无气泡、空鼓。

③灌浆嘴应清除，封缝胶应无大块堆积和流挂。

3 裂缝封闭

1) 施工要点

(1) 裂缝调查及标注

对裂缝进行全面的调查，现场核实裂缝数量、长度、宽度等，并对裂缝编号，

做好记录，绘制裂缝分布图。

(2) 表面处理

对混凝土构件的裂缝，可用砂轮机、钢丝刷等工具，清除表面灰尘、白灰、浮渣及松散的污物，露出混凝土新面，用毛刷蘸松香水、酒精等有机溶剂，沿缝两侧 50mm 宽度擦拭干净并保持干燥。

(3) 封缝

裂缝封闭采用环氧树脂材料，其材料性能应符合《公路桥梁加固设计规范》的相关规定，按照产品说明书要求配兑环氧树脂封缝胶，抹一层厚 1mm 左右，宽 50mm 的环氧树脂胶泥，抹胶泥时应防止产生小气孔和气泡，要刮平整，保证封闭可靠。

2) 验收要求

(1) 混凝土裂缝修补应符合下列基本要求：

①裂缝修补所用材料的品种、性能、规格等应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

②应按设计要求对混凝土表面进行处理，含水率应与修补材料的使用要求相适应。表面封闭时基面应清洁、密实、坚固。

③修补工艺、顺序应符合设计要求。

(2) 混凝土裂缝修补实测项目应符合表 2.1.3-3 的规定。

表 2.1.3-3 裂缝表面封闭实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	表面封闭涂刷厚度(μm)	平均厚度 \geq 设计厚度，80%点的厚度 $>$ 设计厚度，最小厚度 \geq 80%设计厚度	测厚仪：每 100m ² 测 10 点，且不少于 10 点，7d 后检查
2	黏结强度(MPa)	在合格标准内	附录 N (JTG5220-2020)

注：项次 1 封闭面积不满 100 m² 者，按 100 m² 处理。

(3) 混凝土裂缝修补外观质量应符合下列规定：

①应无漏封闭或漏灌胶的裂缝。

②裂缝封闭的表面应平整，无裂缝、脱落，粘贴物表面应无气泡、空鼓。

4 保护涂装

1) 施工要点

温度为 5℃~38℃，空气相对湿度为 85% 以下，混凝土表面应干燥清洁。在有雨、雾、雪、大风和较大灰尘的条件下，禁止施工。

(1) 混凝土表面处理

①将混凝土表层的浮灰、水泥渣、脱模剂等污染物用高压水枪冲洗干净。局部受油污污染的表面用相应的溶剂（如二甲苯）擦洗，以保证涂层附着力。

②疏松混凝土及其表面附着物应彻底凿除，预埋件周围的混凝土表面应清理干净，用环氧封闭漆处理，再用环氧腻子修补。

③混凝土表面裂缝的处理。如发现较大的裂缝，先报监理工程师检查后再做处理，小的裂纹首先清理裂缝周边疏松的水泥后，将裂缝凿成 V 型，深度 10mm，刮涂环氧腻子。然后打磨至平整。

④涂装前控制混凝土表面含水率在 6% 以下；将修补完整的缺陷打磨平整，除去浮尘。

(2) 涂装施工一般规定

①涂装施工的验收分工序验收和单位工程（施工段）验收，每道工序及每个施工段完成后，自检和由监理、甲方检查。基本涂刷和分层涂刷均进行检验，合格后方可进行下道工序施工。涂抹厚度检测应符合每次涂膜厚度和涂膜总厚度两项检测。单位工程验收应具备相关资料，即该单位工程工序质量检验资料，涂装完毕后目测检查，以及漆膜厚度、涂层附着力等。

②涂装施工凡涂层的人工破损或漏液必须在涂刷完工四小时后修补，现场修补的各项条件宜同施工工艺，并应遵从涂料施工技术要求，现场监理的指导。涂装施工结束后按 1.5~2m 距离进行目测检查工程。其内容为：无起皮、掉粉、色差、刷痕（纹）、透底、漏刷、流坠。

③不得随意变更涂料品种，当特殊情况需要变更时，应由经业主同意后选定相应的涂料品种，并报各方确认，且不得降低设计使用年限要求；涂料必须有产品出厂检验合格证书，且应在有效期内使用；对各种进场涂料应取样检验及保存样品，并送具有检测资质的单位进行检验。

④涂装应在无雨的天气进行，油性涂料施工前按比例调配，搅拌均匀，涂装过

程中应做好施工记录；施工措施采用登高车、吊篮、安全绳等设备，使用前应严格检查设备的安全性能。

⑤施工时应遵循先上后下，先点后面的原则，滚涂方向和行程长短均匀一致，按井字形纵横交错滚涂，相互重叠，使涂膜厚度均匀，要求厚度合适，注意不要流挂、漏涂、发花等。施工过程中注意作业面的清洁，防止灰尘等污物落在尚未表干的涂层上。

2) 质量要求

(1) 混凝土涂装施工质量控制与检查

①施工过程中，应对每一道工序包括混凝土表面处理、各道涂层施工等进行认真检查并通过验收。

②应按设计要求的涂装道数和涂膜厚度进行施工，以控制涂层的最终厚度及其均匀性。

③涂装过程中应随时注意涂层湿膜的表面状况，当发现漏涂、流挂、变色、针孔、裂纹等情况时，应及时进行修复处理。每道涂装施工前应对上道涂层进行检查，上道涂层检查合格后才能进行下一道涂层施工。

④涂装后应进行涂层外观目视检查。涂层表面应厚度和色泽均匀、无气泡、无针孔、裂缝等缺陷。

⑤混凝土涂层应在混凝土表面清洁、干燥的条件下施工。

⑥涂装现场温度、环境和相对湿度必须满足涂料适应的范围才能进行施工，并做好涂装环境条件的记录。

(2) 涂层验收

①涂层施工完成后，由监理工程师组织进行验收。验收宜在涂装完成后 14d 内进行，可按涂层分项、分部工程进行验收。

②涂层分项工程分为：材料（涂料、稀释剂、修补腻子）、表面处理、涂装、涂层厚度、涂层粘结强度等。

③涂层验收时涂装施工单位至少应提交各种涂料出厂合格证或质量检验文件、进场涂料质量检验文件、各分项工程验收文件及其它涉及涂层质量的相关记录。

④外观检查

对抽样检测区域进行目视检查，涂层应连续、均匀、平整，无露涂、流挂、变色、色差、针孔、裂纹、气泡等缺陷。

⑤厚度检测

涂层完全固化后（常温下，7d）进行厚度检测。涂层平均干膜厚度应不小于设计干膜厚度，最小干膜厚度应不小于设计干膜厚度的 80%。

⑥粘结强度检测

采用拉脱式涂层粘结强度测定仪测定涂层粘结强度。

2.2 混凝土表面缺损

混凝土表面缺损主要指剥落、掉角、蜂窝、麻面、露筋，适用于混凝土浇筑时施工、养护、零时外力等原因所致的混凝土表观破损，与结构整体受力无关。

2.2.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

1) 蜂窝、麻面

梁体混凝土表面局部酥松、形成蜂窝，严重的蜂窝往往还伴随着钢筋外露。而当水泥浆过多或水灰比过大时，混凝土表面会出现很多小空洞的麻面现象。梁体砼出现蜂窝麻面这种表观缺陷，主要是桥梁施工中水灰比控制不严、振捣随意等原因造成的。



(a) 蜂窝

(b) 麻面

图 2.2.1-1 混凝土表面蜂窝麻面

2) 表面缺损

混凝土表面缺损主要变现为局部破损、缺角（见图 2.2.1-2）。



图 2.2.1-2 梁板边角混凝土车辆刷蹭破损、露筋

2 成因分析

1) 蜂窝、麻面

水灰比控制不严、振捣不到位是造成蜂窝、麻面的主要原因。当水泥浆少、骨料之间存在空隙，未有效地填满水泥浆，容易形成蜂窝；当水泥浆过多或水灰比过大时，混凝土表面会出现很多小空洞的麻面现象。

2) 混凝土表面缺损

造成混凝土表面缺损的原因可分为内因和外因。外因主要指外力磕碰所致，施工过程中磕碰或车辆、船舶撞击都有可能；内因主要是碱骨料反应，导致混凝土结构产生膨胀、开裂甚至破坏的现象，严重的会使混凝土结构崩溃。

2.2.2 处治方法及设计要点

1 浅层缺陷聚合物砂浆修补

为保证修复材料与原混凝土结合可靠，凿除松散混凝土，并用水冲洗湿润，在表面保持湿润的情况下修补。

2 深层空洞混凝土修补

对混凝土表层破损深度已露钢筋的区域，凿除混凝土露出坚硬部分，对表面的松散层、附着物、油污、污垢、灰尘等应清除干净，对外露钢筋除锈、阻锈后，补焊钢筋或植筋立模后用高强混凝土或环氧树脂混凝土修补（见图 2.2.2-1），标号较原混凝土提高一个等级。

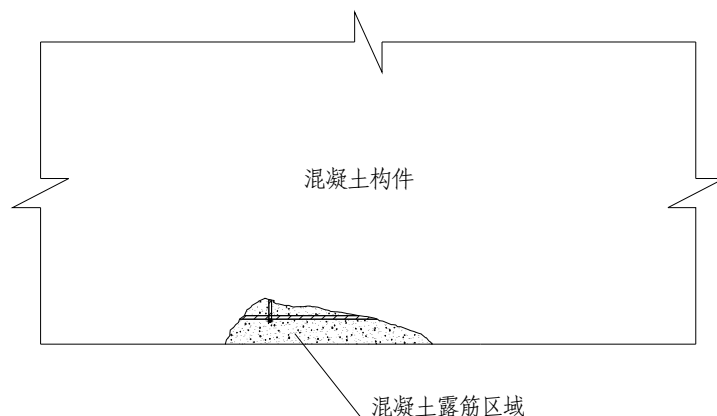


图 2.2.2-1 混凝土构件破损、露筋示意图

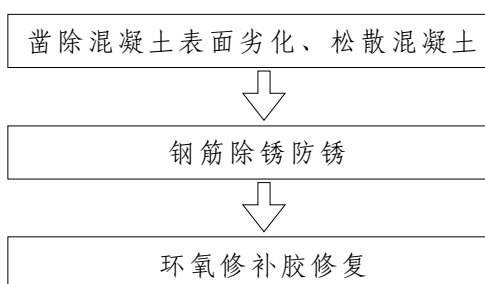


图 2.2.2-2 混凝土构件破损、露筋修复流程图

2.2.3 施工要点及质量要求

1 浅层缺陷聚合物砂浆修补

1) 施工要点

- (1) 混凝土表面应凿毛，并露出混凝土坚硬部分，表面的松散层、附着物、油污、污垢、灰尘等应清除干净；
- (2) 配制修补材料时，应称量准确，搅拌均匀；
- (3) 修补材料应具有一定的可使用时间，满足被粘混凝土构件的定位、调整等操作时间；
- (4) 修补材料根据破损深度可一次或分次嵌入缺陷，并抹平修整。

表 2.2.3-1 聚合物砂浆基本性能指标

砂浆等级	劈裂抗拉强度 (Mpa)	正拉粘结强度 (Mpa)	抗折强度 (Mpa)	抗压强度 (Mpa)	钢套筒粘结抗剪强度标准值 (Mpa)
I 级	≥ 7.0	≥ 2.5 ，且为砼内聚破坏	≥ 12	≥ 55	≥ 12
II 级	≥ 5.5		≥ 10	≥ 45	≥ 9
试验方法标准	规范附录 G	规范附录 F	规范附录 H	JGJ 70	规范附录 J

注：本工程要求采用 I 级聚合物砂浆。

2) 质量要求

混凝土表面缺陷处理的质量检验与验收应严格按照《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 4.7 条进行。

2 深层混凝土空洞修补

1) 施工要点

(1) 表面处理

混凝土表面的处理,应做到密实、平整、洁净。对混凝土构件粘合面,先用硬毛刷沾高效洗涤剂,刷除表面油垢至无污物,用水冲洗干净后,用无油压缩空气吹除粉粒;混凝土表面不是很脏很旧,用压缩空气除去粉尘清洗干净。

(2) 注浆、排气管的安装

模板安装调整到位后在模板下面安装长度 20cm 左右的塑料软管作为注浆及排气管。如果孔洞深度过深,在注浆前埋入一根 pvc 管,待注浆拆模后使用环氧灌缝胶进行二次注浆。封闭后检查模板与混凝土粘贴面的间隙是否均匀并符合设计要求,注浆、排气管是否牢固等,并及时进行处理。注浆时应选择从每片模板上的低点往高处开始注浆,直至浆液从排气管流出,以便于使灌浆料充满整个腔体。

(3) 压力注浆过程控制

在确认封边不漏气后开始灌注灌浆料。当排气管开始有浆液流出后,在注浆管持续灌注 2~5 分钟后,方可将当前注浆管封闭。注浆压力须控制在 0.2~0.4Mpa,须防止压力过大导致封边胶损坏漏浆的情况发生;注浆的同时用橡皮锤持续敲击模板,提高浆液流动性,并判断浆液是否已注满;在通过检查排气管口周围已满浆并确定连续出浆无气泡后方可封堵,封堵后维持较低压力稳压注入 3~10 分钟后封堵注浆管,以防浆层脱空;灌浆过程中须注意检查注浆管和排气管是否漏浆或渗浆,若出现漏浆或渗浆必须立即封堵。

2) 质量检验与验收

(1) 混凝土表面缺损修补应符合下列基本要求:

①混凝土或砂浆所用胶黏剂、水泥、砂、石、水和外加剂的品种、规格和质量应符合相关技术规范的规定并满足设计要求,按试验确定的配合比拌制。

②混凝土黏合剂(界面剂)的品种、级别、技术性能指标应符合相关技术规范的规定并满足设计要求,具有完整的出厂质量合格证明书。

③缺陷区域的混凝土应清除至坚实的基层混凝土，凿除深度不得小于缺陷深度及设计要求的深度，边缘处不得为斜坡面。基层混凝土表面应干净、粗糙，不得有疏松碎块。

④露筋修补应除锈，并按设计要求涂刷阻锈剂。

⑤修补结合面不得出现开裂。

(2) 混凝土表面缺损修补实测项目应符合表 2.2.3-2 的规定。

表 2.2.3-2 混凝土表面缺损修补实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土或砂浆强度 (MPa)	在合格标准内，且不低于基层强度	按附录 D 或附录 F 检查
2	保护层厚度 (mm)	+8, -5	钢筋检测仪：抽查 30%，每处测 3~5 点
3	大面积平整度 (mm)	≤5	2m 直尺：每处测 2 尺

注：项次 3 仅当修补面积大于 5m² 时进行检查。

(3) 混凝土表面缺损修补外观质量应符合下列规定：

①修补处应平整、密实。

②修补混凝土表面应无空鼓、剥落、裂缝。

2.3 锈胀露筋

本条适用于由混凝土材料本身或外界环境因素引起的锈胀露筋病害。

2.3.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

钢筋严重锈蚀最早可看见的征兆就是钢筋所在位置的混凝土表面出现与钢筋平行的裂缝（下图），通常裂缝宽度较宽，但又与力学规律不符，以及混凝土保护层剥离，使钢筋完全裸露（下图）。

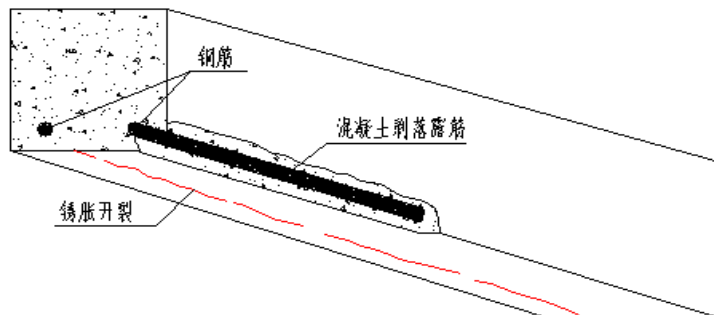


图 2.3.1-1 钢筋锈蚀导致混凝土开裂、剥落



图 2.3.1-2 板底钢筋锈胀、混凝土剥落 图 2.3.1-3 钢筋锈胀、混凝土剥落

2 成因分析

锈胀露筋主要出现在海洋环境或干湿交替区，以及保护层偏薄或表面裂缝较多区域。桥梁内的钢铁变成铁锈后体积膨大数倍，而包裹钢铁的混凝土延性较差，两者变形无法协调导致混凝土开裂、破损，常见情形有以下几种。

- 1) 采用海砂（含氯离子）或海洋环境中未采用海工混凝土，导致钢筋锈胀开裂；
- 2) 沿海地区富含氯离子环境，或采用氯盐除雪，水流或空气中的氯离子渗入到混凝土内部导致钢筋锈蚀；
- 3) 混凝土保护层厚度不足、裂缝较多或碳化深度较大，造成钢筋发生电化学反应，引起钢筋锈蚀膨胀，保护层鼓胀而开裂。

2.3.2 处治方法及设计要点

1 除锈阻锈

主筋锈胀裂缝危害大，钢筋锈蚀会引发钢筋与混凝土粘结力不足，大大降低梁板的承载能力，大面积锈胀是结构使用寿命到达极限的一种信号。

- 1) 当主筋锈蚀严重，混凝土大面积剥落，应对锈蚀严重的钢筋进行人工除锈，补焊钢筋。混凝土剥落面积大的主梁，进行承载力检算，若不满足应及时给予更换。
- 2) 当钢筋锈蚀不严重，应及时进行修复。建议先凿除周边疏松混凝土，将外露锈蚀的钢筋进行除锈，防锈处理，再采用环氧砂浆或者聚合物砂浆等材料恢复保护层。钢筋除锈主要处治图如下：

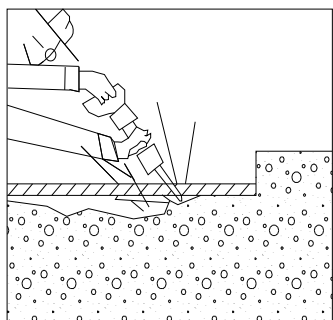


图 2.3.2-1 人工凿除锈蚀钢筋周围的混凝土

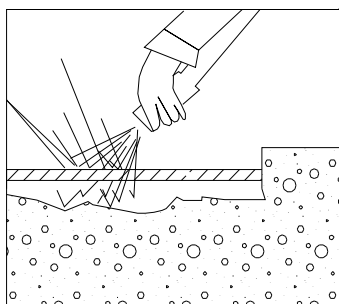


图 2.3.2-3 高压水清除混凝土表面，进行钢筋除锈、阻锈处理

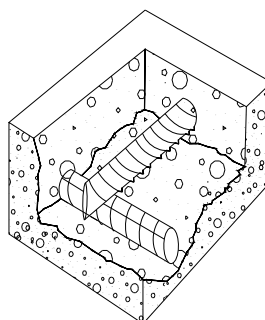


图 2.3.2-2 将松散不密实的混凝土凿除，直至露出新鲜的混凝土为止

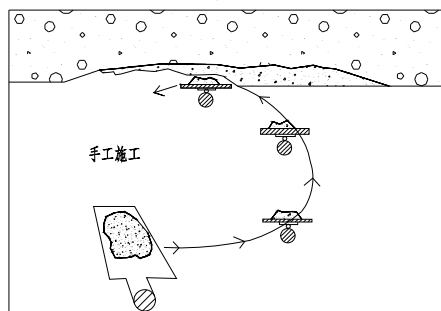


图 2.3.2-4 用环氧修补胶或者聚合物砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补

2.3.3 施工要点及质量要求

1 钢筋除锈阻锈

1) 施工要点

(1) 工艺流程:

锈蚀钢筋部位定位→凿除松散砼→锈迹清除→涂刷阻锈剂→环氧修补胶或聚合物砂浆恢复保护层厚度

(2) 施工工序:

①观察并标出结构物钢筋锈蚀部位;

②沿锈蚀钢筋方向清理砼，若钢筋已沿圆周方向全部锈蚀，则需将钢筋全截面凿出，如果结构物的钢筋锈蚀导致钢筋截面少于原直径的 $2/3$ ，则需沿该钢筋走势，凿至该钢筋完整处，根据规范要求，搭焊同直径钢筋。

③用钢刷清除钢筋表面的浮锈，使之露出光洁部分，若钢筋发生全截面锈蚀，则一定要进行全截面除锈，否则不能保证施工质量。

④采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂对钢筋进行防锈、阻锈处理，阻锈剂的质量和性能指标应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）表 4.7.2 和表 4.7.3 的规定；阻锈剂剂量和适用方法可按相应产品说明推荐使用，但应经试配

和适应性试验。

⑤采用环氧修补胶或者聚合物砂浆修复恢复保护层厚度。

2) 质量要求

(1) 钢筋清理后,如果钢筋截面积的最大损失超过 5%,则必须将其完全凿出。进行除锈处理后,在侧面焊接相同直径的接长钢筋,并在钢筋表面涂刷喷涂型阻锈剂。

(2) 阻锈剂应连续喷涂,使被涂表面饱和溢流。喷涂的遍数及时间间隔按产品说明书和设计要求确定。每一遍喷涂后,均应采取措施防止日晒雨淋。最后一遍喷涂后,应静置 24h 以上,然后用压力水将表面残留物清除干净。

(3) 清除表面缺损部位及周边的空鼓、松动、剥落、腐蚀等劣化混凝土,以获得维修材料与构件混凝土牢固结合的基层表面,同时清除已有的钢筋锈蚀。可采用人工凿除法、气动工具凿除法和高压水清理法。

3 下部结构

桥梁下部结构是支撑上部结构所有构件并将上部结构传来的荷载及本身所受作用传递至基础，一般分为桥台、桥墩及基础等。当桥梁下部结构、基础及地基的承载力、变形或稳定性、耐久性不满足要求时，应进行加固或处治。

3.1 盖梁、台帽裂缝

3.1.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

一般标准跨径的公路桥梁下部结构盖梁、台帽，以普通钢筋混凝土结构为主，少量会采用预应力结构。在使用过程中往往会在盖梁、台帽下缘受拉区出现竖向裂缝，如图 3.1.1-1 所示。竖向裂缝是普通钢筋混凝土盖梁、台帽的主要受力裂缝，裂缝主要位于跨中区域截面下缘，分布规律，严重时下缘竖向裂缝会扩展延伸至顶面，形成 U 形裂缝，如图 3.1.1-1 所示。盖梁、台帽上缘桩柱顶受拉区出现竖向、斜向裂缝，如图 3.1.1-2 所示。

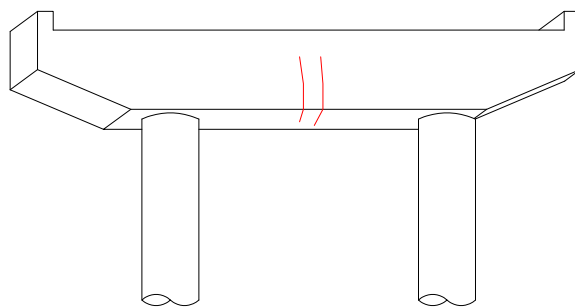
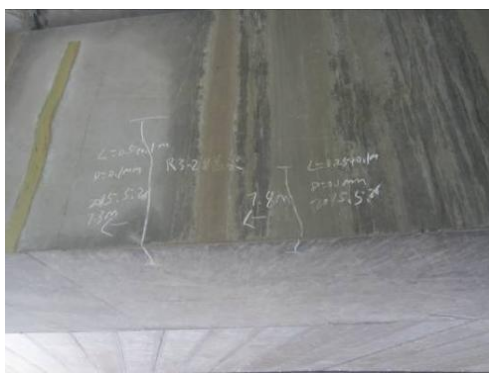


图 3.1.1-1 盖梁、台帽跨中竖向裂缝

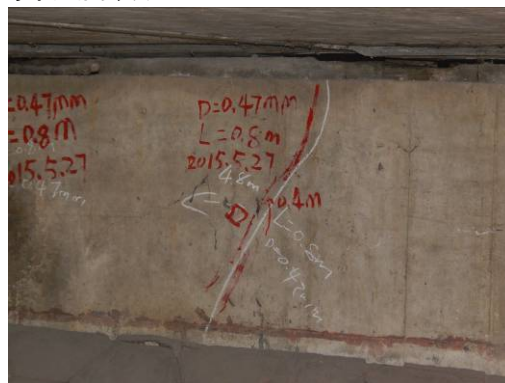


图 3.1.1-2 盖梁、台帽桩柱顶竖向、斜向裂缝

2 成因分析

在盖梁、台帽跨中区域，常常由于抗弯承载能力不足或抗裂性不足，在跨中区域出现竖向弯曲裂缝。竖向裂缝的产生主要是由于桥梁在汽车荷载及其冲击作用下，板底产生较大的支反力，作用到盖梁、台帽上引起跨中受力加大，由于混凝土的抗拉强度低，当梁底的弯曲拉应力超过混凝土的极限抗拉强度时，就在盖梁、台帽跨中区域底面产生竖向弯曲裂缝。弯曲裂缝发展方向基本垂直于轴线方向，分布于跨中附近，长度可向上贯通全梁。在盖梁、台帽桩柱顶区域，常常由于抗剪承载能力不足或抗裂性不足，在桩柱顶区域出现斜向弯剪裂缝，弯剪裂缝发展方向基本与轴线成 45 度夹角，分布于桩柱顶附近，长度可向下延伸至梁底。当桥面系破损时，积水易下渗至梁体，导致梁体内部钢筋锈蚀，从而使得结构的强度和耐久性降低。

3.1.2 处治方法及设计要点

在对盖梁、台帽裂缝进行常规病害处治后，跨中梁底可采用底面或侧面下部横向粘贴镀锌钢板，桩柱顶侧面横向或斜向粘贴镀锌钢板；如裂缝宽度较大、深度已达钢筋表面，可采用侧面加厚并设置预应力束加固。具体应根据桥梁实际病害程度制定加固方案。

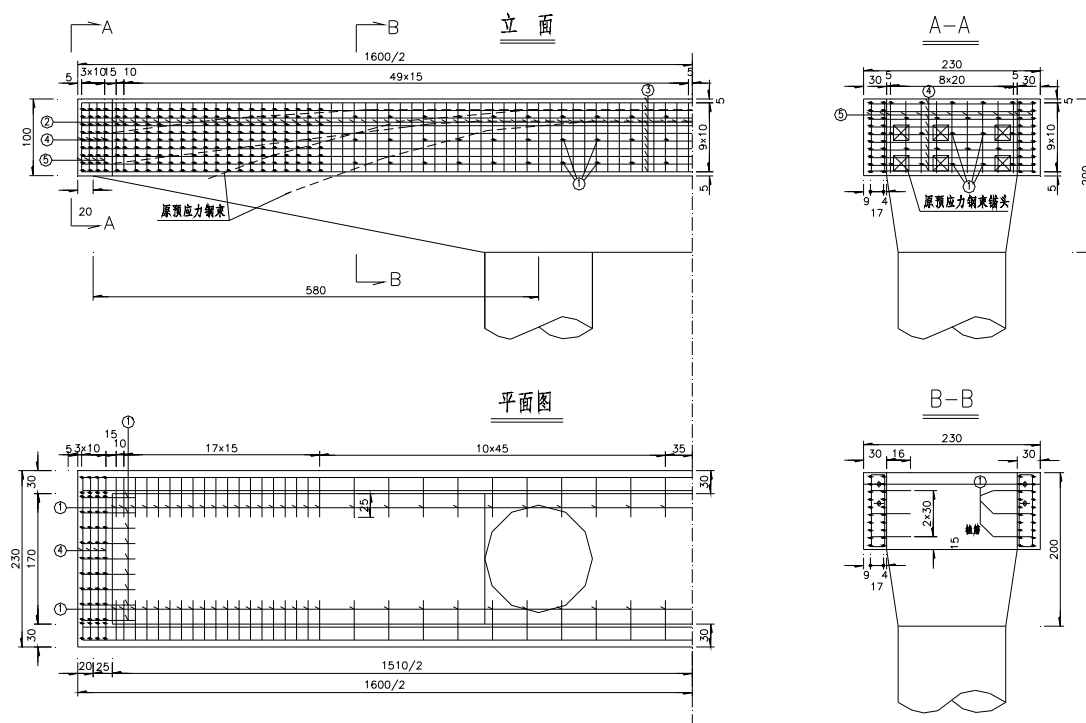


图 3.1.2-1 盖梁、台帽增大截面加固

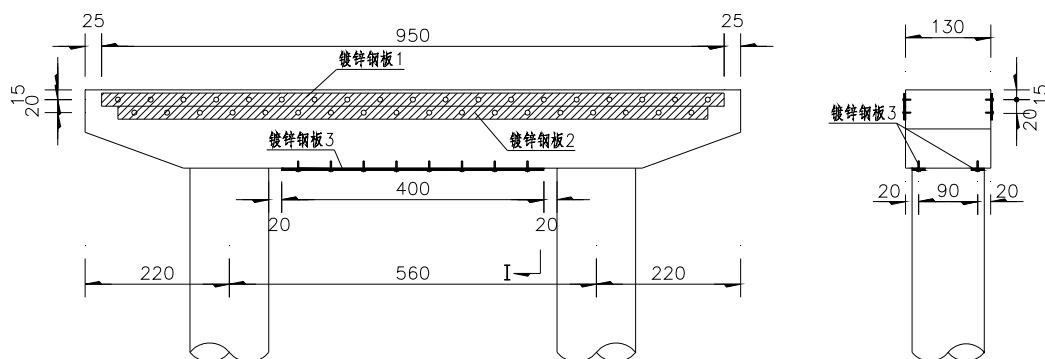


图 3.1.2-2 盖梁、台帽粘贴钢板加固

1 粘贴钢板技术

通过粘贴钢板技术可有效提高梁体承载力。一般采用热镀锌钢材并通过螺栓与梁体进行锚固，钻孔锚固时注意避开梁体钢筋和预应力管道。

2 增大截面增设预应力束技术

通过在梁体侧面植筋、布设钢筋网加大截面并增设预应力束，可有效提高梁体承载力及抗裂性。一般植筋采用直径 16mm 钢筋，增大截面砼强度比原结构高一级，预应力束大小根据设计要求取用，植筋钻孔时注意避开梁体钢筋和预应力管道。

3.1.3 施工要点及质量要求

1 粘贴钢板

粘贴钢板常用压力注胶法粘贴钢板。

1) 压力注胶粘贴钢板施工要点

(1) 工艺流程：粘贴面的处理→植入高强螺栓→钢板安装→注胶管、排气管的安装→周边封闭→压力注胶→防腐处理。

(1) 粘贴面的处理

① 混凝土粘贴面处理

混凝土粘贴面的处理，做到密实、平整、洁净，并有一定的粗糙度。

对于混凝土构件粘贴面，根据构件表面的实际情况，分以下四种情况处理：

a 对于很旧很脏的混凝土构件粘合面，先用硬毛刷沾高效洗涤剂，刷除表面油污至无污物，用水冲洗干净后，再对粘合面进行打磨，除去表面 2-3mm 厚表层，直至完全露出新面，并用无油压缩空气吹除粉粒。处理后，若表面严重凹凸不平，可用环氧砂浆进行修补。粘贴前用丙酮粘贴前将粘台面擦拭干净。

b 如果混凝土表面不是很脏根旧，则可直接对粘贴面进行打磨，去掉 1-2mm 厚表层，用压缩空气除去粉尘或用高压水枪清洗干净，待完全干燥后用丙酮擦拭干净。

c 对于新混凝土粘贴面，先用钢丝刷将表面松散浮渣刷去，打磨去除浮浆、粉尘后，用丙酮擦拭干净即可。

d 对于湿度较大的混凝土构件，因树脂类胶在潮湿的基层上粘贴强度会大幅度降低，故除满足上述要求外，另外进行人工干燥处理。

打磨完成后，为保证钢板的最大粘结效应，对打磨面进行凿毛处理，形成平整的粗糙面，表面不平处应用尖凿整平，再用钢丝刷刷毛。最后用无油压缩空气吹除表面粉尘或清水冲洗干净，待完全干燥后用脱脂棉沾丙酮擦拭表面。



图 3.1.3-1 粘贴面表面处理

②钢板粘贴面处理

下料后，对钢板表面进行除锈、打磨处理。对于钢板粘贴面，根据钢板锈蚀程度，可按以下两种方法处理：如果钢板未生锈或轻微生锈，可用喷砂、砂布或平砂轮打磨，直至出现金属光泽。打磨纹路应与钢板受力方向垂直，其后用丙酮擦拭干净；如钢板锈蚀严重，先用适度盐酸浸泡一定时间，再用石灰水冲洗，最后用平砂轮打磨出纹路。打磨完成后用棉纱沾丙酮擦拭干净，并在表面用一层环氧树脂薄浆保护起来。



图 3.1.3-2 钢板表面钻孔

(2) 植入高强螺栓

① 钻孔

采用钢筋探测仪先确定好原钢绞线及钢筋位置。现场采用白铁皮(或透明塑料板)做成模板,根据图纸钻出孔洞,再用模板在梁底放孔位。根据标出的孔洞位置,用电锤进行钻孔,孔道保证垂直于梁底板平面。钻孔时如碰到预应力钢绞线或结构钢筋,可根据实际情况进行适当偏移。

② 清孔

先用硬毛刷刷走孔内粉尘,再用高压风进行吹孔,最后用干净棉布沾丙酮或酒精彻底清洗孔道内部。植螺杆时必须保持孔内无尘,干燥。

③ 植入高强螺栓

将调好的结构胶装入注胶器内,然后用注胶器将结构胶注入植螺杆孔洞,孔洞内注胶容量大于 $2/3$,在螺杆外露端部加套塑料管以封堵胶液,防止胶液流出形成孔内空隙。转动螺杆缓缓植入孔洞内,使其达至设计深度要求。为防止螺杆发生下滑,在外露端部填塞牙签将其完全固定。

(3) 钢板安装

将钢板抬起与已植螺杆进行对接安装。此过程中,为避免长钢板弯曲并减轻工人的劳动强度,使用螺旋顶升支架对钢板进行同步支撑。安装过程中,若开孔与个别已植螺杆有偏差,则先将存在偏差的孔口标记后将钢板卸下,通过磁力钻或氧割对存在偏差的孔进行扩孔后重新安装。钢板安装到位后,为了保证注入的结构胶的厚度均匀,在钢板与混凝土之间对应螺杆的位置放进与结构胶厚度相等的垫片或直径相等的短铁丝,将螺母拧紧。



图 3.1.3-3 安装钢板

(4) 注胶管、排气管的安装

钢板安装后调整到位前在钢板周边、钢板与混凝土粘贴面之间按 30~40cm 的间距安装塑料软管作为排气管，塑料软管插入长度不宜太长，满足通过钢板的夹压产生的摩擦力使注胶管在压力注胶时不被拔出的要求即可。将注入嘴粘贴在钢板的注入孔上，按 50~60cm。



图 3.1.3-4 安装排气管

(5) 周边封闭

封闭前检查钢板与混凝土粘贴面的间隙是否均匀并符合设计要求，注胶、排气管是否牢固等，并及时进行处理。

用抹刀将配好的封边胶均匀抹于钢板侧面与混凝土面的夹角处，使封边胶与混凝土面及钢板侧面粘结紧密。同时封边胶与混凝土粘贴面形成 45°的倒角，封边胶涂抹完成后及时对封边胶表面及边缘进行修整。

螺杆处封闭：用封缝胶与盖碗将外露的螺杆、螺母、垫片整个包裹，密封。



图 3.1.3-5 封边

(6) 压力注胶

在确认封边不漏气后开始灌注结构胶。注胶时选择从每片钢板的最低点开始注胶，以利于注胶空腔内空气的排出。当相邻注胶管开始有胶液流出后，在当前注胶管持续灌注 2~5 分钟，同时用小锤持续仔细敲击检查当前注胶管与下一注胶管之间的钢板段的注胶密实度，并观察相邻注胶管(排气管)是否还有气泡排出，在确认该段钢板内胶液已密实且相邻注胶管(排气管)无气泡排出后，方可将当前注胶管封闭，移至下一注胶管继续注胶。

最后一个排气管口周围已满胶并确定连续出胶无气泡后方可封堵，封堵后维持较低压力稳压注入 10 分钟后封堵注胶管；灌胶过程中须注意检查各注胶管和排气管是否流胶或渗胶，若出现流胶或渗胶应立即封堵。



图 3.1.3-6 注胶施工

(7) 防腐处理

钢板粘贴完成后对其拼接部位表面进行防腐处理。涂刷前对钢板进行清理干净并除锈

2) 质量要求

(1) 粘贴钢板应符合下列基本要求:

①所用的钢板、锚固螺栓、胶黏剂等材料的品种、规格和质量应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

②对原结构、构件的孔洞、蜂窝、裂缝、露筋等缺陷应按设计要求修补，黏合范围内应打毛、清理干净，含水率应满足胶黏剂的使用要求。

③钢板粘贴面应按设计要求进行糙化处理，表面平整，不得有折角，粘贴前应清理、擦拭干净。

④粘贴施工的环境条件应符合施工技术规范的规定并满足所用胶黏剂的要求，且应在粘贴界面处理完后设计要求的时间内完成粘贴作业。

⑤锚固螺栓数量不得少于设计数量，锚固螺栓的螺母承压面应与钢板密贴。

⑥胶黏剂厚度、压力注胶时的注胶压力及稳压时间应满足设计要求。

⑦钢板、锚固螺栓应按设计要求进行涂装防护处理。

(2) 粘贴钢板实测项目应符合表 2.1.3-1 的要求。

表 2.1.3-1 粘贴钢板加固质量检验实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	钢-混凝土黏结正拉强度 (MPa)		在合格标准内	按公路养护工程质量检验评定标准 (JTG 5220-2020) 附录 N 检查
2	粘贴密实度 (%)		≥95	超声或敲击法: 100%
3	钢板偏位(mm)	横向	≤10	尺量: 抽查 10%且不少于 5 块, 测钢板中心线处
		纵向	≤20	

(3) 粘贴钢板外观质量应符合下列规定:

①钢板各边缘胶体应饱满，无空洞。

②钢板应平直、顺贴，无凹陷、划痕、焊疤，边缘应无毛刺。

③钢板、锚固螺栓的防护应无破损。

2 增大截面加设预应力束

1) 施工顺序

施工支架搭设→砼表面高压射水凿毛→钻孔植筋→钢筋与预应力管道制安→模板制安→混凝土浇注→养生→预应力张拉→压浆→封锚以及横隔板混凝土。

2) 施工要点

(1) 混凝土面凿毛

为保证结构安全，新旧砼接触面凿毛和开剪力槽采用高压射流技术。为保证新浇砼与原结构砼结合良好并共同受力，凿除面需露出混凝土粗骨料，凿毛深度不小于 5mm，剪力槽深度不小于 1cm。使用高压水枪凿毛时，凿毛人员必须穿戴厚雨衣、头盔等护具，在凿毛机具处于工作状态时 10 米半径内严禁非凿毛人员进入，确保施工安全。

(2) 钻孔植筋

①按设计要求放线后，准确标出需要植筋的孔位，使用振动较小的电锤进行钻孔，因原有腹板钢筋较密，用钢筋探测仪测出植筋处混凝土内的钢筋位置，核对、标记植筋部位，以便钻孔时避让钢筋，为防止钻孔碰到预应力钢筋或普通钢筋，钻孔时边钻边查看，如碰到钢筋，将该钻孔及随后钻孔位置适当偏移避开，以利施工和避免结构损伤。偏移量以与设计钻孔位置距离不大于 2cm 控制。

②按要求清孔后及进行植筋。孔内注入植筋胶后，立即把已清理干净的钢筋缓缓旋转插入盲孔，按顺时针方向边转边插，直至达到规定的深度。种植锚筋时应严格按照设计要求的钢筋线形进行安装，钢筋安装也不得超出尺寸线，妨碍模板的安装。植筋胶固化之前，不得扰动种植的钢筋。在植筋胶完全固化后，对种植的钢筋进行拉拔试验，试验结果必须满足设计及规范要求。

(3) 钢筋与预应力管道的安装

植筋拉拔检验合格后，即进行钢筋和预应力管道的安装。在安装钢筋前，先放出预应力管道线，在钢筋、植筋位置和管道位置发生冲突时，适当移动钢筋或植筋孔位，确保预应力管道位置、线形与设计一致，且预应力管道端部的锚垫板在安装时必须保持出浆孔位置在端部最高处。

(4) 混凝土的浇筑

①模板的制作与安装：由于腹板面是几段平面组成，注意在拐点的位置控制模板的线形。模板采用定型钢模板，侧模间使用 $\phi 14$ 连接螺杆连接，螺杆间距为 15cm。为保证外观线形，底模与侧模下部为 L 形整体，再通过连接螺杆与上部平面侧模连接。侧模通过锚固在翼缘的植筋固定，每米一处；底模通过吊挂在梁底的槽钢托住并固定，每米一处。模板采用 $5 \times 50\text{mm}$ 扁钢做背楞， $5 \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 角钢做边框，面板为 4mm 厚钢板，模板顶部设置斜向上倒角，倒角顶部高于设计浇筑高度，倒角顶部与翼缘接触处留适当间隙，便于顶层混凝土浮浆外溢，确保混

凝土骨料将梗部填满，保证新增腹板与原翼缘板紧密结合且强度满足设计要求。模板和箱梁底面粘双面胶或者在接缝外侧安装海绵压缩保证模板的密封性。

②混凝土布料从最低点开始，每片梁两侧同时浇筑。为了防止混凝土浇筑不均匀及产生气泡，在模板外侧辅助敲击，浇筑速度不要太快，确保混凝土密实。在桥下检查确认混凝土密实后（到模板顶部斜口部分往外冒浆为止），再换到另外一片梁浇筑。

③考虑到注入孔新混凝土的收缩，注入腹板加厚混凝土时，稍微往注入孔中多注入混凝土，使注入孔表面混凝土略高于周围桥面混凝土，待混凝土达到一定强度后，将注入孔混凝土表面磨平，避免桥面水通过注入孔渗入铺装层和空心板内。

④混凝土强度达到设计强度的 70% 后，拆除底模，并将固定模板的拉杆头切除，切除的拉杆头与原混凝土面齐平。拆模时注意不得损伤混凝土，及时采用优质保水养护剂养护，养护时间不少于 14 天，防止混凝土表面出现裂缝。

（5）预应力张拉

①材料的检测与存放

a 预应力钢绞线采用 $\Phi 15.24\text{mm}$ （ASTM, A416-90a 标准）高强度低松弛钢绞线。钢绞线检测：主要检测破坏负荷、屈服负荷、伸长率和弹性模量及 72h 松弛试验。

b 锚具规格符合设计要求，加工的精度、硬度在规定范围内。运抵到现场的锚具，使用前应对工作锚、夹片、锚垫板逐个进行检验。并按规定取样，对锚环、锚塞的硬度，锚环内部缺陷电磁损伤，做抽检试验，并具有相应的试验委托单和试验报告，检验合格后方准投入使用。

②张拉前准备工作

a 张拉用的油泵性能必须良好，供油足，压力稳定，无渗漏现象，张拉缸，回程缸运行平稳。张拉前需将千斤顶送往有资质的检测部门标定，油顶与压力表配套校验，确定张拉力与油表读数之间的关系曲线。

b 钢绞线的下料：钢绞线经试验合格后，按设计图纸进行下料，下料采用高速磨割进行切割，不允许使用高温焰割。

③张拉

a 张拉时砼强度不得小于设计强度的 90%且养护时间不得少于 7 天，以同体养

护试块试压判断。

b 千斤顶工作程序：安装工作锚→穿绞线至工具锚→千斤顶对中就位→张拉施加预应力→锚固→拆除千斤顶。

c 安装工作锚：尽可能使钢绞线平行通过锚孔，避免乱穿和交叉等情况，注意锚板与锚垫板中心对中。

d 安装工作夹片：安装夹片前检查锚孔是否干净，以免粘附杂物。

安装限位板：注意各孔与工作锚孔一一对应，并检查锚环外圈无损伤，是否影响限位板的配合。

e 安装千斤顶：梁端操作间距小，本次张拉采用专门制作的内卡式薄千斤顶，单端对称张拉。装顶时注意防止钢绞线在千斤顶内扭绞、交叉，并保证工具锚安装正确。

f 安装工具夹片：工具夹片安装前在锥面均匀涂一层工业石蜡，保证卸锚灵活，工具夹片要均匀打紧，以防松紧不一。

g 张拉时采用双控，以张拉力作为依据，引伸量校核，钢绞线引伸量参照设计值控制。预应力钢绞线张拉时填写详细的施工记录，实际伸长量以理论伸长量±6%控制。如伸长量异常，应停止张拉，采取相应措施处理。

（6）孔道压浆

①压浆采用螺杆式真空压浆泵，水泥浆内掺入配置好的预应力压浆料。水泥浆的拌合应首先将水加于拌合机内，再放入水泥，充分拌合以后，再加入掺加料，掺加料内的水分应计入水灰比内。拌和至少两分钟，直到达到均匀的稠度为止。任何一次配料满足一小时内使用即可。稠度应在 30-50S 之间。拌制到压入孔道内延续时间，视气温情况而定，宜在 30~45min。

②张拉后，孔道应尽早压浆，压浆在张拉完毕 24 小时之内，观察预应力钢材和锚具稳定状况良好即可进行。压浆前，须将孔道冲洗干净、湿润，如有积水应用吹风机排除。

③压浆水灰比宜采用 0.3-0.4，水泥浆中掺入预应力管道专用压浆料，压浆配合比应在使用前上报试验监理工程师审批，通过后使用。

④压浆前应用压力水冲洗孔道，压浆顺序，先下后上，压力水从一端压入，从另一端排出。

⑤当锚垫板出浆口排出稠度相同的浓浆时，用木塞塞住，为保证孔道内水泥浆饱满，关闭出浆口后，稳压 2min 后再从压浆孔拔出喷嘴，立即用木塞塞住。

⑥压浆过程中及压浆后 48 小时内，结构砼温度不低于 5℃，否则应采取保温措施。当气温高于 35℃时，压浆宜在夜间进行。

⑦压浆应按规定做 $7.07 \times 7.07 \times 7.07\text{cm}$ 立方体试件三组，并做好施工记录。

(7) 封锚

在梁板上将需要凿毛的区域凿毛→钻孔并植筋→绑扎钢筋→浇筑混凝土。

3) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG 5220—2020)等相关规范实施。

3.2 过渡墩盖梁裂缝

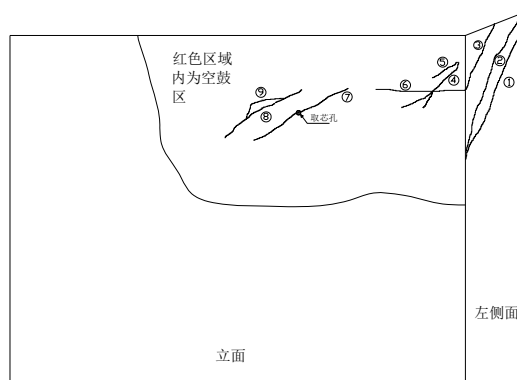
3.2.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

当桥墩左右跨梁高不等时常使用高低盖梁。在运营过程中往往会在高低盖梁折角处出现竖向或斜向裂缝，如图 3.2.1-1、3.2.1-2 所示。此种裂缝严重时可沿横桥向贯穿、形成砼劈裂破坏。



(a) 盖梁侧面斜向劈裂裂缝

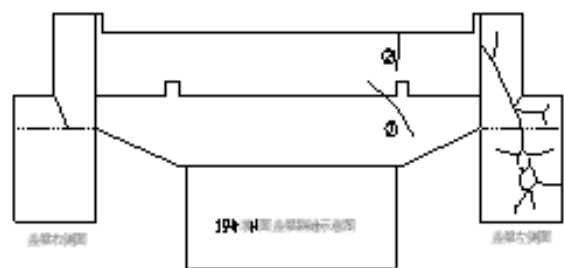


(b) 病害示意

图 3.2.1-1 盖梁侧面斜向劈裂裂缝



(a) 高低盖梁折角处竖向裂缝



(b) 病害示意

图 3.2.1-2 高低盖梁折角处竖向裂缝

2 成因分析

盖梁混凝土开裂主要是由于主梁与过渡墩盖梁之间间隙被泥土沙石等杂物填充塞满，进而限制主梁的纵向位移，造成主梁由于热胀冷缩所致的变形量无法释放，直接挤压在过渡墩盖梁背墙上，导致盖梁混凝土开裂。

3.2.2 处治方法及设计要点

在对盖梁裂缝进行常规病害处治后，可采用对穿细牙螺纹高强螺杆或增大盖梁截面加固。具体应根据桥梁实际病害程度制定加固方案。

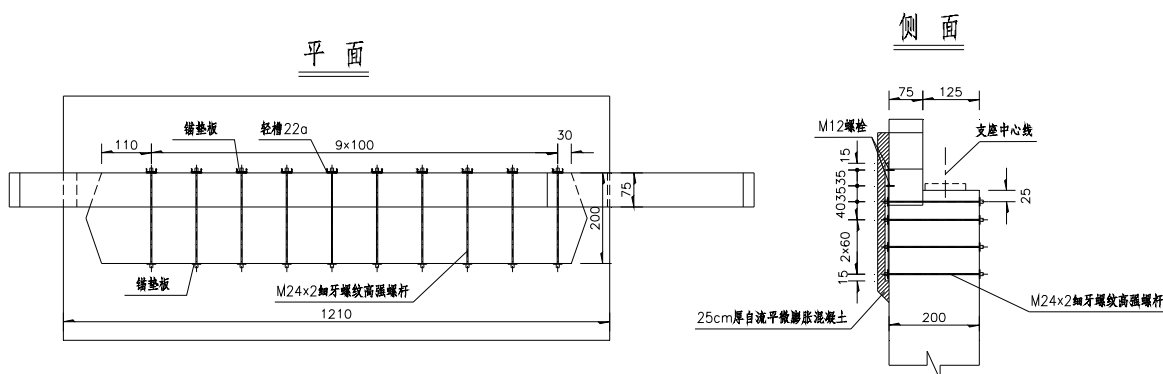


图 3.2.2-1 盖梁对穿细牙螺纹高强螺杆

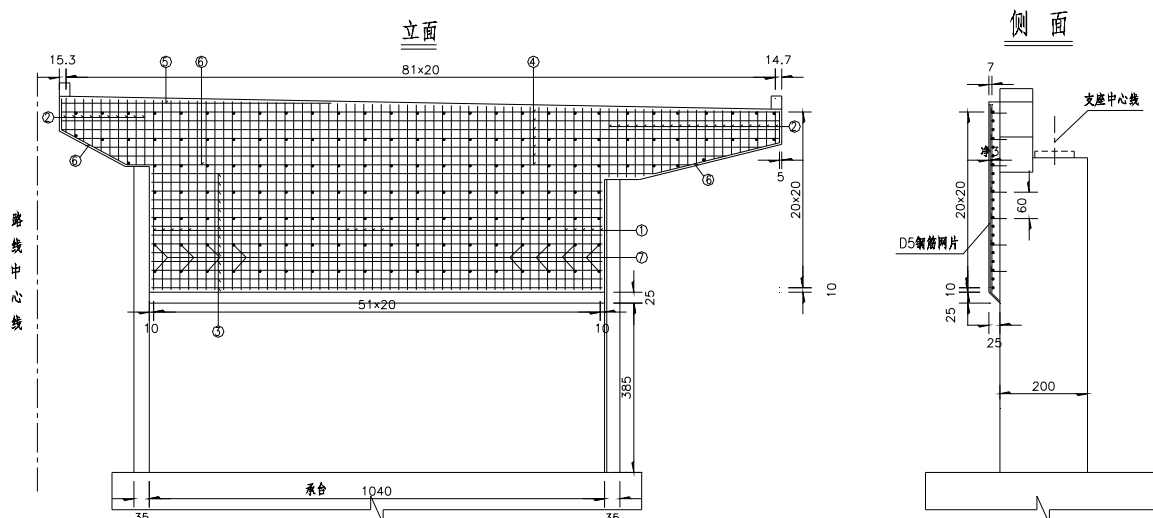


图 3.2.2-2 桥墩盖梁增大截面加固

1) 对穿细牙螺纹高强螺杆技术

通过在盖梁或墩身进行打孔，对穿 $M24 \times 2$ 细牙螺纹高强螺杆（8.8 级钢），并进行初拧紧；待按设计要求进行完打孔及螺杆初拧紧相关施工后，根据设计张拉顺序进行张拉，最后对所有螺杆张拉力进行调整，确保所有螺杆张拉力基本相同，并采用预应力管道专用灌浆料进行灌浆。

2) 增大截面加固技术

通过在梁体侧面植筋、布设钢筋网加大截面并结合对穿高强螺杆，可有效提高盖梁承载力及抗裂性。一般植筋采用直径 16mm 钢筋，增大截面砼强度应比原结构高一级，植筋钻孔时注意避开梁体钢筋和预应力管道。

3.2.3 施工要点及质量要求

1 增大截面施工要点和质量控制要求详见第 3.1.3 章节。

2 对穿细牙螺纹高强螺杆

1) 施工要点

(1) 将原结构表面的松散混凝土及浮渣、污物等予以清除，仔细排查裂缝并做好标记。

(2) 对拉螺杆

① 工艺流程：

表面清理 → 定位 → 打孔 → 张拉 → 灌浆

② 施工工序：

打孔：按设计要求打设对拉锚孔，钻孔前应对盖梁钢筋进行探测，以避免盖梁

原有钢筋。钻孔直径以能放入 M24×2 细牙螺纹高强螺杆为宜，孔道确保与盖梁垂直，打孔机械应采用旋转钻进，不得采用带冲击的钻孔机械；

张拉：待螺杆安装完毕后进行张拉，张拉控制应力为 100kN，张拉时应采用分批张拉，并在全部螺杆张拉完毕后对螺母进行再次紧固；

灌浆：用预应力管道专用灌浆料进行灌浆。

(3) 盖梁加厚及增设体外预应力钢束

①盖梁加厚前对其及墩身交接位置进行打孔注浆，确保盖梁密实。

②按图纸要求的位置及尺寸进行放样，标明具体位置，并按要求刻剪力槽。

④盖梁植筋，焊接/绑扎钢筋，形成骨架网；布设预应力管道。骨架钢筋外侧布置冷轧带肋钢筋网，提高混凝土的抗裂性。

⑤立模、浇筑混凝土时，骨架形成后，架设模版，然后浇筑混凝土。并加强振捣使混凝土密实，避免空洞及蜂窝麻面的发生。

⑥混凝土浇筑前应进行配合比试验，以确保混凝土的各项指标满足设计要求。

⑦混凝土应加强养生，其立方体强度达到 90%以上，方可进行张拉工作。

(3) 按设计要求及《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)要求张拉预应力钢束，并封锚。

2) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG 5220—2020)等相关规范实施。

3.3 立柱环向裂缝

3.3.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

桥墩立柱一般为钢筋混凝土结构，在基础产生不均匀沉降时会在柱顶产生环向裂缝，如图 3.3.1-1 (a) 所示，在承受较大弯矩或桥墩产生较大偏位时会在立柱下部产生半环向或环向裂缝，如图 3.3.1-1 (b) 所示。

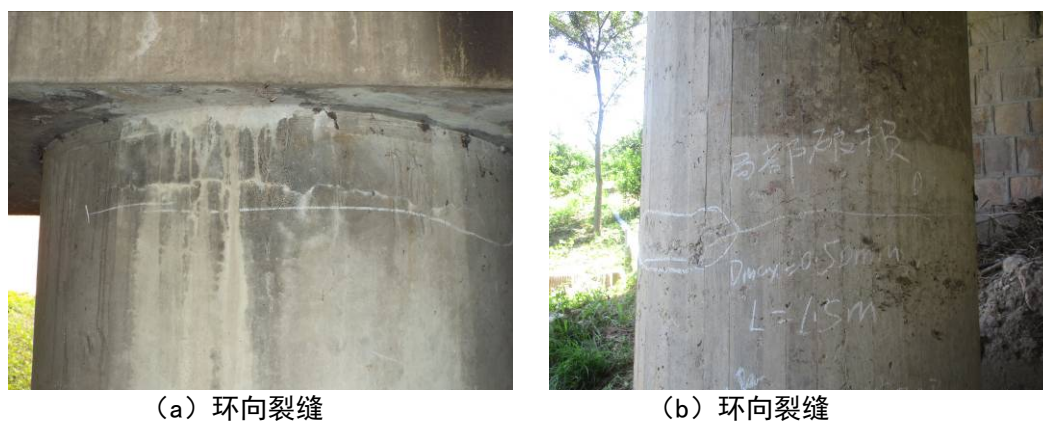


图 3.3.1-1 立柱环向裂缝

2 成因分析

立柱顶环向裂缝常常由于分层浇筑时养护不到位，混凝土收缩引起的，另外基础不均匀沉降也有可能导导致立柱顶与盖梁连接处产生环向裂缝。当桥墩立柱承受较大的偏心受压作用或因为不平衡土压力、水平推力等作用下在立柱下部产生较大弯矩，超过立柱抗弯承载能力或抗裂能力导致产生半环向或环向裂缝。

3.3.2 处治方法及设计要点

在对立柱裂缝进行常规病害处治及清除不平衡外力因素后，可采用环向包裹碳纤维布加固；如裂缝宽度较大、深度已达钢筋表面，可采用钢套箍加固。具体应根据桥梁实际病害程度制定加固方案。

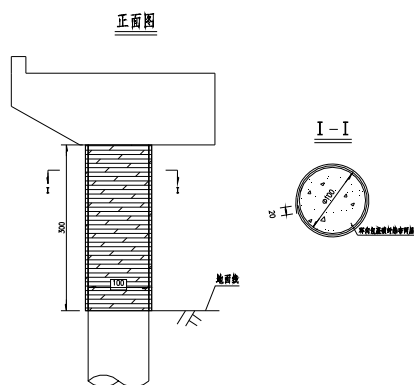


图 3.3.2-1 立柱环向包裹碳纤维布加固

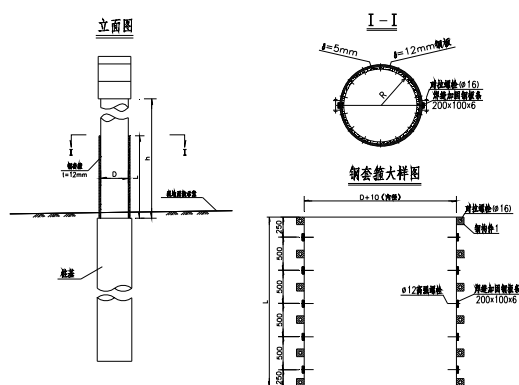


图 3.3.2-2 立柱增设钢抱箍加固

1) 环向粘贴纤维复合材料

通过环向粘贴碳纤维布技术可有效提高立柱承载力。一般采用碳纤维布全长无间隔环向连续粘贴碳纤维布加固。环向围束的层数，对圆形截面不应少于 2 层，对矩形截面不应少于 3 层。

2) 钢套箍加固技术

通过外套钢套箍技术可有效提高立柱承载力。一般将加工好的钢套箍卷管成型

后，分割成两半，安装后用剖口焊进行焊接，同时用 M16 高强对拉螺栓拧紧，并在焊缝上焊接钢板条，增加刚度。钢套箍上下间隔 50cm 左右设灌浆孔，梅花形布置，安装固定后在钢套箍内灌注高强无收缩灌浆料，确保钢套箍与立柱密贴。

3.3.3 施工要点及质量要求

1 粘贴纤维复合材料

1) 施工要点

(1) 基层处理

用砂轮机或磨光机将混凝土劣化层除去，研磨至混凝土基面为止，表面的凸出部分要用角向砂轮磨平，构件转角处应打磨半径大于 2cm 的光滑圆弧。打磨结束后，用吹风机或毛刷将表面粉尘除去，直至表面干净。

(2) 涂刷底层涂料

按比例将称量好的底层涂料的主剂和固化剂放入容器内均匀搅拌。一次调和量在可使用时间内用完，超过可使用时间不能再用。严禁在涂料中添加溶剂，含有溶剂的毛刷或用溶剂弄湿了的滚筒不得使用。

用滚筒刷均匀地涂抹底层涂料，养护 3 小时到 1 天时间，以指触干燥为准。底层涂料固化后，在表面上有凸起部分时，要用砂纸磨光。磨光后若露出混凝土表面，应再补涂底层涂料。当气温在 5° C 以下、相对湿度 $RH > 85\%$ ，混凝土表面含水率在 8% 以上，不能施工，要了解施工部位的温度、湿度，根据其变化选择适当的涂料。底胶固化后应尽快进行下一道工序，若涂刷时间超过 7d，应清除原底胶，用砂轮机磨除，重新涂抹。

(3) 表面修补

配置环氧腻子时，按规定的主剂与固化剂的比例进行配料，且一次调和量在可使用时间内用完，表面凹陷部位（混凝土接头、模板段差、小孔）要用环氧腻子补平，刮贴环氧腻子要密实，表面顺滑无隆起或凹陷、无划痕，腻子涂刮后，表面仍存在的凹凸糙纹，再用砂纸打磨平整。

(4) 粘贴碳纤维布

①用刀片按规定的尺寸裁切碳纤维布，确认施工面的底层涂料、环氧腻子指触干燥。粘结树脂的主剂和固化剂经称量按规定的比例装入容器，搅拌均匀，用滚筒刷均匀地涂抹粘结树脂（下涂层），修正不良的地方要多涂一些。按照设计要求将

纤维片贴好，尽量使纤维片和树脂之间不要有空气。为了使空气从纤维片下逸出，可用专用工具—罗拉沿纤维方向多滚压几次。

②纤维布施工 30 分钟（根据干燥程度）后，用滚筒刷涂抹粘结树脂（上涂层）。上涂时滚筒刷沿纤维方向移动不得将已贴好的纤维片卷起。上涂后 3 小时至 4 天，进行固化后的空鼓检查处理。对于直径在 10mm 以上 30mm 以下的空鼓，每平方米少于 10 个可以认为合格；若每平方米在 10 个以上，则认为不合格，需进行补修；对于直径在 30mm 以上的空鼓，只要出现，即认为不合格，需要进行补修。

③纤维布搭界长度不宜小于 100mm，搭接位置宜避开主要受力区。粘贴立面纤维布时，应按照由上到下的顺序进行。

5) 养护

粘贴碳纤维布后，需自然养护 24 小时达到初期固化，应保证固化期间不受干扰。当树脂固化期间存在气温降低到 5℃ 以下的可能时，采取有效的升温措施，保证环境温度不低于 5℃。贴片达到设计强度所需自然养护的时间：当平均气温在 10℃ 以下时，需要 14 天；当平均气温在 10℃ 以上 20℃ 以下时，需要 7~14 天；当平均气温高于 20℃ 时，需要 7 天。在此期间应防止贴片受到硬性冲击。结构施工完毕后，碳纤维表面涂刷改性乳胶漆进行表面防护，颜色应与砼相近。

表 3.3.3 -1 碳纤维布安全性能指标

项 目	性能要求
抗拉强度标准值 (MPa)	≥3400
受拉弹性模量 (MPa)	≥2.4×10 ⁵
伸长率	≥1.7%
弯曲强度 (MPa)	≥700
层间剪切强度 (MPa)	≥45
仰贴条件下碳纤维布与混凝土正拉粘结强度 (MPa)	≥2.5, 且为混凝土内聚破坏
单位面积质量 (g/m ²)	≤300
纤维体积含量 (%)	≥60

表 3.3.3 -2 纤维布浸渍/粘结胶粘剂安全性能指标

性能项目		性能要求	试验方法标准
胶体性能	抗拉强度 (MPa)	≥40	GB/T 2568
	受拉弹性模量 (MPa)	≥2500	
	伸长率 (%)	≥1.5	
	抗弯强度 (MPa)	≥50, 且不得呈脆性破坏	GB/T 2570
	抗压强度 (MPa)	≥70	GB/T 2569
粘结能力	钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)	≥14	GB/T 7124
	钢-钢不均匀扯离强度 (kN/m)	≥20	GJB 94
	与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)	≥2.5, 且为混凝土内聚破坏	本规范附录 F
不挥发物含量 (固体含量)		≥99%	GB/T 2793

表 3.3.3-3 底胶的安全性能指标

性能项目	性能要求	试验方法标准
钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)	≥ 14	GB/T 7124
混合后初黏度 (23℃时) (MPa·s)	≤ 6000	GB/T 12007.4
与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)	≥ 2.5 , 且为混凝土内聚破坏	本规范附录 F
不挥发物含量 (固体含量)	$\geq 99\%$	GB/T 2793

2) 质量要求:

(1) 粘贴纤维复合材料加固应符合下列基本要求:

① 所用胶黏剂、纤维复合材料的品种、规格、性能应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

② 原结构、构件的孔洞、蜂窝、裂缝等表面缺陷应按设计要求修补, 粘贴范围内应无劣化混凝土、浮浆等, 表面应平整、干净, 折角处应呈平滑曲面, 含水率应满足胶黏剂的使用要求。

③ 粘贴施工的环境条件应符合相关施工技术规范的规定, 且满足所用胶黏剂的要求。

④ 纤维板材粘贴面应按设计要求进行擦拭, 表面应无灰尘、碳粒。

⑤ 纤维片材应无褶皱及折痕, 搭接长度、宽度及多层搭接时的接头间距应满足设计要求。

⑥ 粘贴面积及层数不得少于设计数量。

⑦ 胶黏剂厚度、最外层纤维表面浸渍胶黏剂涂刷应满足设计要求。

(2) 粘贴纤维复合材料实测项目应符合表 3.3.3-4 的要求。

表 3.3.3-4 粘贴纤维复合材料加固质量检验实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	正拉黏结强度(MPa)		在合格标准内	按公路养护工程质量检验评定标准 (JTG 5220-2020) 附录 N 检查
2	空鼓率 (%)		≤ 5 , 且单个面积 $\leq 1000\text{mm}^2$	敲击: 抽查 50%
3	粘贴偏位 (mm)	横向	10	丈量: 抽查 10%且不少于 5 块, 测中心线处
		纵向	20	

(3) 粘贴纤维复合材料外观质量应符合下列规定:

① 板材各边缘胶体应饱满无空洞。

② 片材应无起泡, 表面浸渍胶应无漏涂、流挂、起皮。

2 钢套箍加固

1) 立柱钢筒套箍注浆处理

(1) 工艺流程:

立柱表面清洗→裂缝处理→安装钢套箍→灌注聚合物灌浆料→钢筒套箍防锈处理。

(2) 施工工序:

①对待加固立柱表面进行清洗，并按要求对裂缝进行灌浆处理。

②对待加工的钢套箍内侧必须打磨，用丙酮清洗。

③将加工好的钢套箍卷管成型后，分割成两半，安装后用剖口焊进行焊接，同时用 M16 高强对拉螺栓拧紧，并在焊缝上焊接钢板条，增加刚度。

④钢套箍上下间隔 50cm 左右设灌浆孔，梅花形布置。

⑤在钢套箍内灌注聚合物灌浆料，确保钢套箍与立柱密贴。

(3) 质量评定方法

桩基加固的质量检验与验收应严格按照《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 10.9 条进行。

2) 钢套箍防腐

(1) 防腐方案

钢套箍外表面采用重防腐工艺进行防腐处理，具体详见下表:

表 3.3.3-5 防腐方案

部位	设计要求	设计值	说明
钢套箍表面	表面净化处理	无油、干燥	GB11373-89
	表面粗糙度	RZ40~80 μm	GB11373-89
	喷砂、打磨除锈	钢套箍表面等级 Sa2.5 级	
	环氧富锌底漆 2 道	2×60 μm	
	环氧云铁中间漆 2 道	2×60 μm	
	丙烯酸聚氨酯面漆 2 道	2×40 μm	

(2) 施工工序

①表面处理

采用打磨除锈:钢套箍表面处理时，对钢套箍周边进行保护，打磨机械调试正常后，进行打磨，打磨机打磨双手把持平稳，打磨施工完毕检验合格后进行下道工序的施工。

②环氧富锌底漆施工

用压缩空气吹净已打磨报验合格的工件表面的灰尘。对工件的粗糙表面、手工

不平整焊缝表面、板边、弯角、流水孔以及喷涂死角等处进行手工预涂，然后使用高压无气喷涂机进行喷涂。

涂装原则：从上到下,先边角后大面.喷涂操作时手握喷枪与被喷物面保持垂直，以均匀的速度移动，保持直线行走；上一喷枪喷在被涂表面的衔接处，要以涂料沉积被涂表面的有效宽度为准；总宽度的无效部分为下一喷枪喷涂时的重叠（压枪）部分，一般为 15-20 mm。

涂装完毕后检验涂层质量，合格后方进行下道工序施工。

③中间漆喷涂施工

底漆涂层表面进行清理，清除表面污物和灰尘。对工件的粗糙表面、手工不平整焊缝表面、板边、弯角、流水孔以及喷涂死角等处进行手工预涂，然后使用高压无气喷涂机喷涂中间漆，涂装完毕后检验涂层质量。

④面漆喷涂施工

中间层涂装表面进行清理，清除表面污物和灰层，对边角、孔隙等部位先用滚刷进行预涂，较小表面的面漆采用滚涂或刷涂方法进行涂装，大表面的面漆采用高压无气喷涂方法进行涂装，以保证漆膜外观及整体颜色的一致性。

3.4 立柱竖向、网状裂缝

3.4.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

柱式墩出现一条或数条竖向裂缝，裂缝长度较长，基本顺着主筋位置延展。表面混凝土出现腐蚀等现象。



(a) 桥墩立柱竖向裂缝



(b) 敲开后钢筋锈蚀

图 3.4.1-1 立柱竖向裂缝、钢筋腐蚀

2 成因分析

立柱竖向裂缝形成主要有以下原因：

1) 施工养护不到位，脱模形成的干缩裂缝，裂缝较浅。

2) 竖向钢筋锈蚀导致立柱产生竖向裂缝，也就是耐久性问题。这和桥梁所处环境有关，当位于海边或有腐蚀性环境下的桥梁，在氯离子作用下，主筋钢筋锈胀引起混凝土开裂。

3) 立柱出现竖向裂缝往往被检查人员忽视，实际上在富含氯离子环境（如沿海地区）中，出现竖向裂缝往往预示着立柱耐久性出现严重问题，很多情况下钢筋严重锈胀，混凝土酥松，此时立柱抗推能力和抗压能力大幅下降，存在较大安全隐患，尤其在重车通过时，急刹时产生较大水平制动力将给桥梁带来严重安全隐患。

3.4.2 处治方法及设计要点

桥墩立柱水平环向裂缝出现后，应根据病害情况及发展情况选择加固处治方法。主要处治方法如下：

1 如果是干缩裂缝采用裂缝封闭即可。

2 针对耐久性问题，即由于钢筋锈蚀、混凝土腐蚀情况，应先凿除疏松的混凝土，对锈胀的钢筋进行除锈防锈，再进行恢复保护层，最后外包粘贴碳纤维布加固。

3 当立柱混凝土腐蚀，钢筋锈蚀损失严重时，亦可采用增大截面进行加固。

4 当加固费用很高时，条件允许下建议拆除重建。

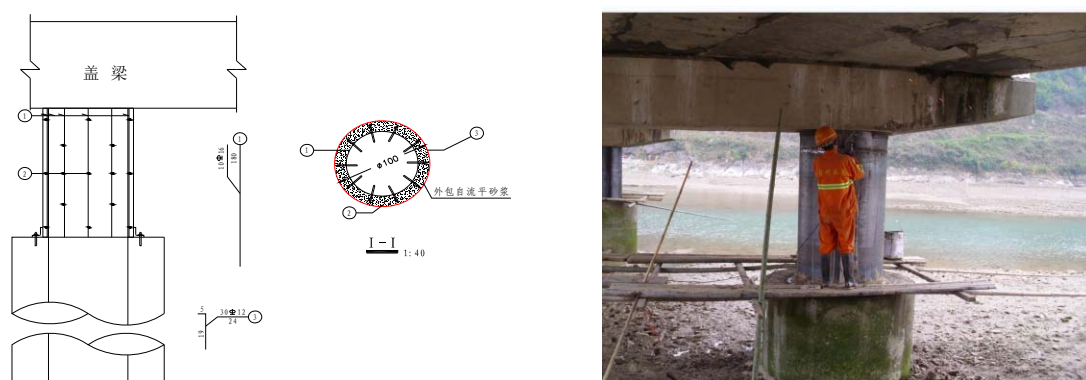


图 3.4.2-1 增大截面加固



照 3.4.2-2 立柱粘贴碳纤维布加固

3.4.3 施工要点及质量要求

1 立柱增大截面加固

1) 立柱增大截面加固工艺流程

围堰、搭设施工平台→立柱混凝土表面处理→钢筋除锈防锈处理→植筋、绑扎钢筋→立钢套筒、灌注自流平砂浆→养生→拆除围堰。

2) 主要施工工序及要点

(1) 搭设施工平台、围堰：围堰高度高于可能出现的最高水位不小于 50cm。

(2) 混凝土表面处理：围堰完成之后，抽干围堰内部的水，凿除松散处混凝土，立柱表面凿毛处理并清洗干净。

(3) 钢筋除锈处理：对锈蚀钢筋进行除锈处理，如钢筋截面锈蚀面积超过 5%，需做补筋处理，并与原钢筋焊接。

(4) 植筋、绑扎钢筋：按规范植筋，钻孔时如遇钢筋，可适当调整植筋孔位置，避开桩基钢筋。

(5) 立钢套筒、灌注自流平砂浆：按规范立钢套筒，钢套筒采用两个半圆形拼接成，节段及半圆之间采用法兰式连接，并设置密封圈等防水装置进行密封防水处理；灌注自密实砂浆，保证砂浆质量；钢套筒不拆除，表面做好防腐处理。

(6) 拆除围堰：按照安装围堰的逆向施工进行拆除。

3) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220-2020）等相关规范实施。具体要求如下：

(1) 基本要求

①外包钢所采用的钢材和焊接材料的品种、规格、力学性能应符合相关技术规范的规定并满足设计要求，具有完整的出厂质量合格证明。

②自流平砂浆所用原材料的品种、规格和质量应符合相关技术规范的规定并满足设计要求，按试验确定的配合比拌制；自流平砂浆收缩变形应在设计允许范围内。

③锚固螺栓数量不应少于设计数量，锚固螺栓的螺母承压面应与钢板密贴。

④立柱空洞、蜂窝、裂缝等缺陷应按设计要求修补。

⑤应自下而上进行压浆或灌注混凝土，浆体或混凝土应密实。

⑥钢构件涂装防护应满足设计要求。

(2) 立柱外包钢套筒增大截面实测项目要求

立柱外包钢套筒增大截面实测项目应符合表 3.4.3-1 的规定。

表 3.4.3-1 立柱外包钢实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	砂浆强度(MPa)	在合格标准内	按附录 D 或附录 F 检查
2	外包钢套筒偏位(mm)	≤ 20	尺量：检查 3 个断面，每个断面测相互 2 个垂直方向
3	外包钢套筒与墩柱表面的间隙(mm)	± 5	尺量：每侧查 3~5 点
4	压浆压力(MPa)及稳压时间(s)	满足设计要求	油压表及计时器：检查全部
5	脱空率(%)	满足设计要求；设计未要求时 1.2	敲击法或超声法：检查全部
6	焊缝尺寸(mm)	满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 2 处
7	焊缝探伤		超声法：检查全部，每条焊缝全长探伤

(3) 立柱外包钢套筒增大截面外观质量应符合下列规定：

①焊缝应无裂纹、焊瘤、夹渣、电弧擦伤、未焊透、未填满弧坑，构件表面应无焊渣和飞溅物。

②钢套筒端头应抹平整，且不得出现积水现象。

③防护涂装应无破损。

3.5 重力式墩台身、侧墙裂缝

3.5.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

重力式桥台靠自身的重量来平衡外力而保持其稳定，墩、台身比较厚实，可以不配钢筋，用天然石材或片石混凝土砌筑。该类桥台由于其自身结构特性，往往在台身以前前墙和侧墙交接位置侧墙产生竖向裂缝，裂缝基本呈现上大下小，部分高填土桥台侧墙开裂后会出现外倾现象。



(a) 侧墙开裂



(b) 侧墙开裂

图 3.5.1-1 重力式桥台侧墙开裂



(a) 台身开裂



(b) 台身开裂

图 3.5.1-2 重力式桥台台身开裂

2 成因分析

1) U 型桥台为封闭式桥台，台后填土易积水，不利于桥台排水，从而在台后产生过大的土侧压力，造成桥台开裂，严重的造成外倾错台。

2) 部分桥台高度较高，使台后填土高度过高，并在超荷载的作用下，造成桥台的抵抗力不足，使桥台产生裂缝

3) 台后填土压实度不足，产生填土下沉，造成土体侧向变形，使得桥台侧墙开裂外倾。

台后土压力的能力，对基础的承载力也有一定程度的提高。本方法加固桥台时需先进行对拉锚索的孔道钻孔施工，确保孔道平直，然后进行混凝土框梁施工，再进行对拉锚索预应力张拉，张拉一般采用单端张拉。

3.5.3 施工要点及质量要求

1 预应力锚杆、钢化管或中空锚杆注浆加固

1) 锚索孔成孔施工

(1) 锚索孔测量放线

根据实际坡面，先按设计布置要求，将锚孔位置准确测放在坡面上，并用红油漆在现场施工部位标明锚索开孔位置。锚孔位置偏差不得超过 $\pm 20\text{mm}$ 。如遇既有坡面不平顺或特殊困难场地时，须经设计、监理单位认可，在确保坡体稳定和结构安全的前提下，适当放宽定位精度或调整锚孔定位，但调整后的测放精度，尽量不大于 100mm 。对测放并验收合格的锚孔位置进行编号，并用油漆标示在现场坡面上，该编号作为锚索制作编号的依据。

(2) 搭设脚手架平台

用钢管按锚孔横排位置，沿坡面坡度搭设双排脚手架工作平台，采用钢管支撑平台架体，支撑钢管纵横间距 3m 。小横杆间距 0.5m ，大横杆间距 3.0m ，纵向立杆间距 1.5m ，横向立杆间距 3.0m 。工作平台低于横排锚孔 0.6m ，平台上铺设厚度 $25\text{mm}\times 3000\text{mm}$ 松木板。平台外边搭设 1.1m 高防护栏杆并设置挡脚板。挡脚板采用 $25\text{mm}\times 3000\text{mm}$ 松木板牢固固定在防护栏板上。

(3) 钻孔设备

钻机采用 $40\text{m}^3/\text{min}$ 内燃压缩空气为动力的潜孔冲击钻机。

(4) 钻机就位

锚孔钻进施工，必须准确安装固定钻机，并严格认真进行机位调整，确保孔位及倾角和预埋锚孔导向管定位一致。孔位允许偏差 $\pm 10\text{cm}$ ，锚孔偏斜度不大于 2% ，钻孔方向与水平面和竖直面的夹角不得与设计角度偏差 $\pm 1^\circ \sim 2^\circ$ 。

(5) 钻进方式

钻孔要求干钻钻进，禁止采用水钻。钻孔速度根据使用钻机性能和锚固地层严格控制，防止钻孔扭曲和变径，造成下锚困难或其它意外事故。

钻孔顺序采用间隔钻孔，防止邻孔干扰。

（6）钻进过程

钻孔过程中认真记录，为控制好钻孔角度，设置钻杆定位支架，以减少钻孔角度误差。

遇有塌孔时，立即停止施钻，拔出钻具，进行水灰比纯水泥固壁注浆，注浆压力为 0.4Mpa。待注浆强度达到 70%后，重新钻孔。如二次钻进施工时仍然出现塌孔，需采用跟管钻进技术进行施工。

（7）锚孔清理

钻进达到设计深度后，不能立即停钻，要求稳钻 1~2 分钟，防止孔底达不到设计的锚固直径。

（8）锚孔检验

锚孔钻造结束后，经现场监理检验合格后，方可进行下道工序。孔径、孔深检查一般采用设计孔径、钻头和标准钻杆在现场监理旁站的条件下验孔，要求验孔过程中钻头平顺推进，不产生冲击或抖动，钻具验送长度满足设计锚孔深度，退钻要求顺畅，用高压风吹验不存明显飞溅尘碴及水体现象。同时要求复查锚孔孔位、倾角和方位，全部锚孔施工分项工作合格后，即可认为锚孔钻造检验合格。

2) 锚索制作及安装

制作锚索时，要在厂棚内进行。钢绞线的下料长度必须满足锚索束结构设计长度及张拉的需要。

安放锚索：核对锚索长度和钻孔深度后，首先采用高压风对钻孔进行清孔处理；人工安放锚索。

待锚索长度，顺直度，支撑环，注浆管绑扎检验合格后，在监理工程师旁站下进行锚索入孔，锚索入孔时确保锚索编号与孔号相对应，并且严格按锚孔倾角推进，在锚索推进时要平顺，严禁抖动、扭动、窜动，以防锚索扭曲卡阻等现象发生，若在推进过程中无法达到设计深度，则将锚索平稳拔出后，重新扫孔，直至安装到位。

3) 注浆

在注浆之前对锚孔用高压气清孔。按水泥砂浆配合比配料，采用机械拌合，集中供浆。注浆浆液搅拌均匀，随搅随用，浆液在初凝前用完，严防石块、杂物混入浆液。

4) 钢筋混凝土格构梁施工

立模后，再进行格构梁钢筋制作安装，钢筋接头需错开，同一截面钢筋接头数不得超过钢筋总根数的 50%，且接头错开间距不小于 1m。如锚索与竖梁箍筋相干扰，可局部调整箍筋的间距。砼浇注，尤其在锚孔周围，钢筋较密集，必须仔细振捣，保证质量。

(1) 根据施工图纸确定格构梁的断面尺寸及横梁分段长度及竖梁长度，横梁间设置伸缩缝。

(2) 格子梁允许偏差和检验方法如下表所示

表 3.5.3-1 格子梁控制指标和检测方法

序号	检查项目	允许偏差	检查方法
1	孔距偏差	±50mm	每 20 米全站仪检查 3 点
2	孔口高程	±100mm	每 20 米水准仪检查 3 点
3	锚索轴线误差	±3°	查施工记录，每 20 米查 2 根
4	地梁混凝土强度	满足设计	每个工点取 3 组试样试验
5	地梁断面尺寸	满足设计	每 5 根抽查 1 根

(3) 格梁浇筑施作完成后，必须加强洒水养护工作，确保格构梁质量。

5) 锚索张拉与锁定

张拉前要对千斤顶进行标定，经过试验，绘出千斤顶张拉力与油泵压力表指示的压强曲线，作为锚索张拉时的依据。

当浆体及格构梁达到设计强度的 80%后进行张拉。正式张拉前取 10%~20%的设计张拉荷载，对锚索张拉 1~2 次，使其各部位接触紧密，使钢绞线完全平直，以使钢绞线受力均匀。

锚索张拉分 5 次施加，依次取设计值的 0.2、0.5、0.75、1.00、1.1 倍进行逐级预张拉，前四级荷载稳定时间为 5 分钟，最后一级荷载为 15 分钟。张拉荷载严禁一次加至锁定荷载。锚索稳定后 48 小时内，若发生明显的应力松弛，必须进行补偿张拉，补偿张拉在锁定值基础上一次张拉至取 1.2 倍设计值的超张拉荷载，稳定 5 分钟。

5) 张拉时应注意的事项：

(1) 将锚具安装好，并和锚索轴线方向垂直，安装千斤顶时注意千斤顶轴线

应与锚索轴线在一条直线上，而且不能压弯轴头部分。

(2) 安装前应对千斤顶和电动油泵进行标定，按标定数据进行张拉，在张拉时，事前检查油泵各阀门的工作情况、油泵的畅通情况，以免在张拉时油泵工作不正常造成张拉失败。

(3) 锚索张拉按一定程序进行，锚索张拉顺序要考虑临近锚索的相互影响。

(4) 锚索张拉荷载要分段逐步施加，并做好加荷和变形观测记录，严禁一次加至锁定荷载。

7) 封锚

锚索张拉检测达到 100%合格后，缓慢卸荷取出千斤顶；然后采用砂轮切割机将锚具外露部分钢绞线预留 50mm 后切除；其次对锚头进行防腐处理；最后再支模人工浇筑混凝土封锚。

3.6 桩柱连接处缺陷

3.6.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

作为桩柱连接部位，且又是隐蔽工程，施工质量往往难以保证，经常出现桩柱错位，连接位置浇筑质量差等现象。当河床下降，桩基础易受冲刷导致钢筋外露，个别出现桩基偏心受压，影响承载能力。



(a) 桩柱接头偏位



(b) 桩柱接头偏位

图 3.6.1-1 桩柱接头偏位



(a) 桩柱接头露筋



(b) 桩柱接头露筋

图 3. 6. 1-2 桩柱接头露筋

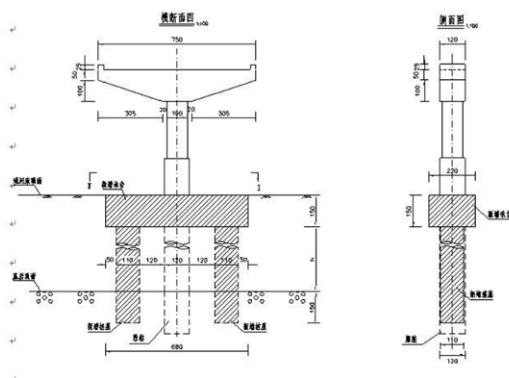
2 成因分析

河床下降，桩基础受冲刷外露，由于混凝土质量问题（施工时桩顶混凝土破除不够充分，混凝土含泥量过大）和施工定位偏差过大问题（施工规范不超过 5cm），导致出现偏心受压以及桩基础混凝土松散钢筋外露锈蚀等现象。

3. 6. 2 处治方法及设计要点

1 处治方法

针对桩柱接头偏位、露筋等现象，可采用桩基增大截面法、增设玻纤套筒法、增设系梁或扁担梁法等措施进行加固，具体应根据桩基结构形式及实际病害类型和程度制定相应加固方案。



(a) 增设扁担梁加固



(b) 增设扁担梁加固

图 3. 6. 2-1 增设扁担梁加固



(a) 桩基扩大截面加固



(b) 增设玻纤套筒加固

图 3.6.2-2 桩基扩大截面、增设玻纤套筒加固

2 设计要点

1) 桩基扩大截面法加固

桩柱接头往往在河床降低，长期受冲刷后导致相关病害，因此加固往往在水中进行，一般采用钢围堰进行施工，钢围堰封底混凝土一般采用 C25 水下商品砼，需等到混凝土强度达到设计要求后进行抽水，确保施工质量和安全。施工前需对桩基表面进行清理，植筋应避开原有桩基钢筋。

2) 增设扁担梁法加固

该方法通过增设扁担梁与原桩基有效连接进而共同受力的一种增加基础承载力的加固技术。增设桩基设计应明确施工满足净空要求，新增桩基与原桩基间距应满足 2.5 倍的直径。

3.6.3 施工要点及质量要求

1 立柱增大截面施工要点和质量控制要求详见第 3.4.1 章节。

2 增设玻纤套筒桩基施工要点和质量控制要求

1) 增设玻纤套筒维修加固施工工艺总体流程如下：

现场踏勘→定制材料→作业平台的搭设→结构表面处理→玻纤套筒安装→底部密封条安装、封底灌浆料灌注→灌浆料浇筑→顶部封顶→进入下一根桩施工

2) 现场踏勘

在桩基础“夹克法”维修加固前，需要踏勘工程现场实际情况，掌握第一手现场资料，了解现场施工环境，查勘要夹克法桩的具体位置，观察航道船的密度及大小，有整体直观概念；

3) 现场探摸、丈量、定制材料

(1) 在定制材料前，应进行现场上下探摸，掌握桩基信息，包括所要维修加固区域的桩基直径是否与设计一致，特别是钢模板下缘至河床线的这一段，查明病害情况；

(2) 上下探摸、每间隔 40cm 丈量桩基周长，结合施工图纸确定玻纤套筒的定制长度及周长，玻纤套筒高度，上下留有 40-60cm 余量，周长宜较设计值或实际桩周长放大些，以便现场能够试安装和裁剪；

(3) 根据探摸、丈量情况，估算灌浆料的用量，灌浆料的进量要在设计值的基础上考虑富余量。

(4) 如缺陷的位置和范围与图纸严重不符，要及时上报业主和监理。

4) 作业平台的搭设

本作业平台，仅为了夹克法施工时，作为拌料灌注人员操作平台，依附于原系梁，从两岸下水，在通航孔外侧布设、固定，可用临时船舶、亦可用浮筒拼搭简易平台。

5) 结构表面处理

在安装玻纤套筒前，需进行结构表面处理，对上部钢模板部分，先由潜水员用高压水枪冲洗基桩表面青苔、水下生物等附着物，再用水下角磨机对上部钢模板表面进行打磨除锈；对于钢模板以下的混凝土表面，高压水枪冲洗表面、水下角磨机打磨裸露在外的钢筋表层，用手持式气动凿毛机凿除松散、破损的混凝土表面。特别是钢模板下缘与混凝土交界处，应重点凿除、清理，不得遗漏。

结构表面处理后，静置一段时间后、由潜水员采用水下摄像机对凿毛效果进行摄像拍照，以确认处理效果。

6) 玻纤套筒安装

在对结构表面处理效果完成监理或者业主验收后，进行玻纤套筒的安装工作。

(1) 玻纤套筒现场确定尺寸后均由厂家预制生产，运到现场后检查尺寸，验收合格后方可使用，加固时先在套筒的锁扣槽内注入水下环氧封口胶。



图 3.6.3-1 玻纤套筒施工

(2) 将紧固带绑扎在所需维修区域上方的墩柱上，用缆绳将玻纤套筒定位住，然后将玻纤套筒展开，并围绕包裹桥墩，玻纤套筒与桩基的距离由嵌入在玻纤套筒上的限位器控制，潜水员将玻纤套筒安装在合适的位置（套筒的长度是在损坏区域上下各延长 40-60cm），使用紧固带临时固定套筒。

(3) 每隔 15cm，使用不锈钢自攻螺丝紧固套筒锁扣处。



图 3.6.3-2 玻纤套筒吊装就位

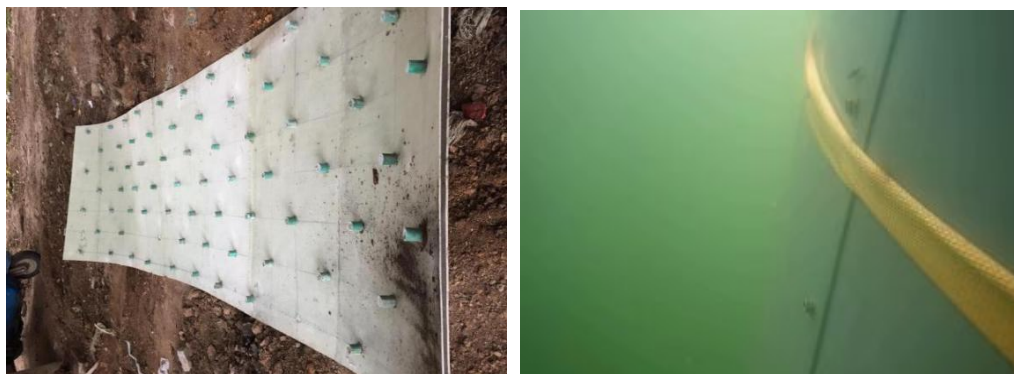


图 3.6.3-3 玻纤套筒吊装定位

7) 底部密封条安装、封底灌浆料灌注

(1) 在底部可压缩密封条封底，使桩基与玻纤套筒底部之间不允许有空隙，不得漏浆，然后使用封底胶对玻纤套筒底部和与系梁结合部位进行密封。

(2) 第一次灌注水下环氧灌浆料，采用高位漏斗重力灌浆法，灌注 15cm 高

后暂停，待灌浆料固化（即常温 21℃时约 45 分钟）后，再进行二次灌注。

8) 灌浆料浇筑

等封底灌浆料固化后，可进行第二次水下氢脂环氧灌浆料的灌注，为了不使玻纤套筒炸开，每次灌注高度控制在 2.5-3m，待硬化后再进行灌注，直至筒内全部填满（顶 5cm 预留不灌注）。



图 3.6.3-4 灌浆料浇筑

9) 顶部封顶

待套筒内灌浆料灌至距套筒口 5cm 位置时，停止灌注，顶部 5cm 采用封口胶进行密封。待灌浆料全部固化后，拆除紧固带，进入下根桩施工。

表 3.6.3-1 现场实测项目

水下玻纤套筒加固法实测项目					
项次	检查项目		合格标准	检查方法	频率
1	基面处理情况		裸露钢筋除锈，松散混凝土清除，磨毛、干净	目测或采用水下摄像头	全部
2	玻纤套筒尺寸误差		尺寸偏差 $\leq 30\text{mm}$	钢尺测量	全部
3	玻纤套筒厚度误差		厚度偏差 $\leq 0.5\text{mm}$	钢尺测量	全部
4	灌浆料厚度误差		$15\text{mm} \pm 3.0\text{mm}$	钢尺测量	每构件 3 处
5	灌浆料灌注质量	空鼓面积之和与总粘贴面积之比	小于 1%	小锤敲击法	全部或抽样
		灌浆料用量	大于 1.2 倍的理论用量	台秤或量筒测量	全部
		套筒、灌浆料与混凝土的粘结强度	大于 1.2MPa	钻芯取样，现场检测	抽样

10) 质量要求

基桩加固，除严格按照施工图设计、规范施工，遵照施工组织设计质量保障措施施工外，具体还应做到如下几点：

- (1) 基面打磨、清理要彻底，确保粘结力；
- (2) 封底要牢固、严密，不得漏浆；
- (3) 灌浆要徐徐渐进，特别是在病害探摸检查有上翻空洞（钢护筒与砼间）时，要小心灌注，确保空洞填满密实，必要时经监理确认可在钢护筒空洞上方开洞；
- (4) 玻纤套筒接头要严密，在接头部位灌浆要分层，硬化后再灌注，避免撑破漏浆。

3.7 基础冲刷

3.7.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

一般常见公路桥梁下部结构采用桩基础、扩大基础和沉井基础。基础冲刷典型病害特征为基础周围或底部出现掏空，对地基稳定性产生影响，甚至对桥梁承载力产生影响。如图 3.7.1-1、3.7.1-2 所示。



(a) 扩基掏空



(b) 扩基掏空

图 3.7.1-1 扩大基础底部掏空



(a) 桩基础冲刷



(b) 桩基础冲刷

图 3.7.1-2 桩基础受冲刷

2 成因分析

1) 桩基冲刷病害往往发生在山区等易受冲刷的区域，是冲击性河流中不可避免的一个问题，其在常年累月的水流作用下，易导致桥墩基础受冲刷，基础附近局部冲刷淘空。

2) 桥墩局部冲刷深度是基于水的自然作用力计算的，未考虑人工挖沙导致的河床急剧下降，促使桥墩基础裸露悬空。另外在河流上游建库蓄水，水位加高，放水势能强，加剧了对桥墩基础的冲刷淘空。

3) 扩大基础是建立在天然地基上的浅基础，其埋置深度浅，易受冲刷而导致基础周围或底部掏空。

3.7.2 处治方法及设计要点

1 处治方法

传统的基础冲刷防护主要分为两类，一类为实体抗冲刷防护，指在桥墩基础周围的床面上放置一些实体材料，以提高其抗冲刷能力；另一类是减速不冲防护，指在桥墩周围设计一些装置或改变桥墩自身结构，来削弱或抑制水流的冲刷力。目前常用的方法为实体抗冲刷防护，主要包括抛石（石笼）防护、砌石防护、扩大桥墩基础防护、填充混凝土膜袋防护等。实施前需对受损基础进行处理，具体防护措施应根据桥梁下部结构基础形式及病害情况制定相应防护方案。

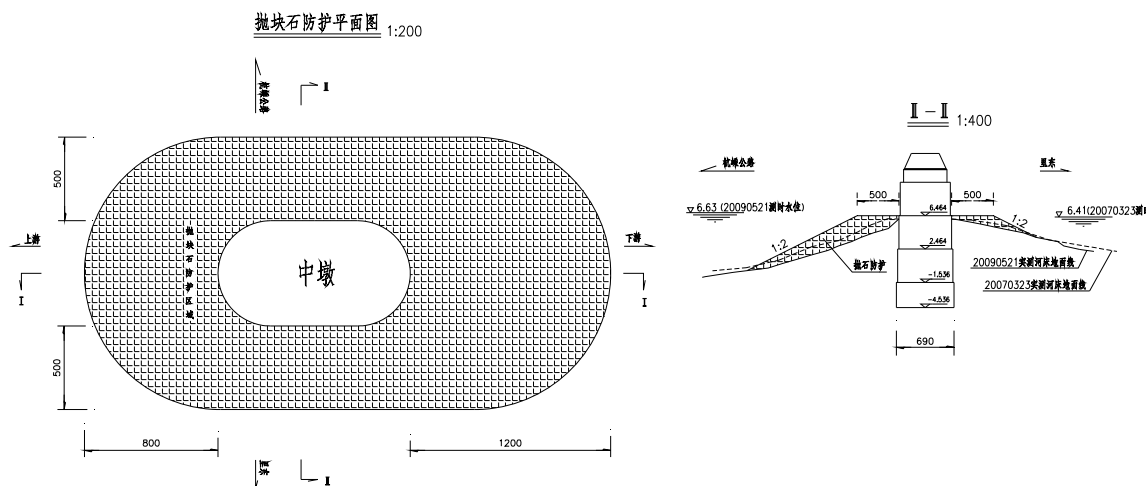


图 3.7.2-1 基础抛石防护

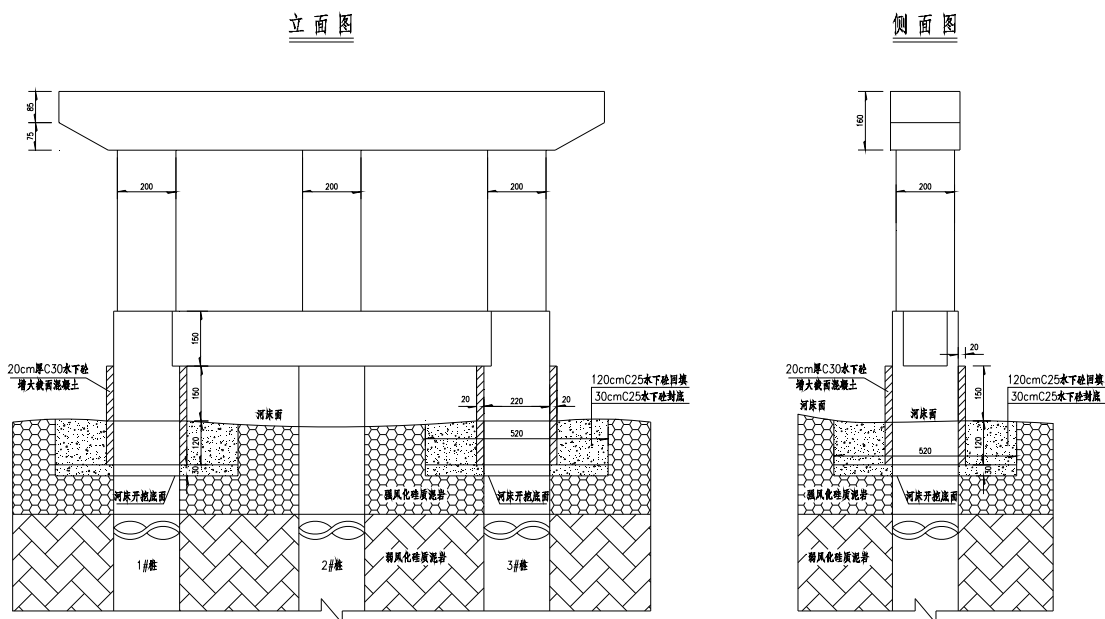


图 3.7.2-2 基础铺砌防护

2 设计要点

- 1) 浆砌片石铺砌范围：桥墩上游 6~8 米，下游 8-12 米。
- 2) 扩大基础（或承台）底掏空宜采用抛石、铅丝笼等措施防护，其加固高度要达到基础底面以上 1 米，坡度不大于 1:1。
- 3) 抛石防护时建议防护范围至少应为 2 倍的桥墩宽度，且不小于基础周围冲刷坑范围，选择级配较好的抛石。

3.7.3 施工要点及质量要求

1 基础冲刷加固

1) 工艺流程

材料准备→抛石定位→抛填施工。

2) 主要施工工序

(1) 材料准备：铅丝笼石采用 8#、10#、12#铅丝，块石采用一般块石和部分小块石，铅丝笼体积控制在 1~2m³，其网孔尺寸不超过 250cm²。铅丝笼装封时先将编好的网片铺平、下面预放撬棍和甬板，然后按网片规格装排块石，先装四边，后装中间，大石排紧，小石填严，大石在外，小石在内，装填后的石笼达到填石饱满，外形方正，孔口结实，在推抛时不开口，不漏石。

(2) 抛石定位：由于铅丝笼抛投到水中后顺水流方向（纵向）漂移一定距离后，才落到河床上，铅丝笼在水中的漂移距离受流速、铅丝笼自身重量及水深等诸

多因素的影响。因此在抛石时需要进行定位，铅丝笼的抛投定位采取定位船定位，在抛石前适时进行水深和流速测量，调整抛投提前量，确定水面抛投点。然后利用定位船进行定位。

(3) 抛填施工：直接将船停靠在桥墩侧边，用电动葫芦将铅丝笼吊至抛投定位点进行抛投，边抛边测水深进行抛填标高的控制。坡面顶段的成型难度较大，铅丝笼抛填会沿坡面向下滚落，以致坡面顶段标高增长较慢，在坡面底段处只需抛填少量石料即可达到设计标高。欠抛区的补平铅丝笼抛完后进行探摸，将铅丝笼不到位或笼与笼接头压茬不严处再用大块石或铅丝笼补填，直至达到设计要求。



图 5.7.3-1 铅丝笼装袋



图 5.7.3-2 抛填铅丝笼

3) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG 5220—2020)等相关规范实施。具体要求如下：

(1) 检查项目

实测项目如表所示。

表 3.7.3-1 铅丝笼石精抛检测项目表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率	权值
1	抛填范围 (m ²)	达到设计规定 100%	测深仪及 GPS 测量或多波速法，施工前及施工后全数检查	2
2	抛填厚度 (mm)	±300	测深仪及 GPS 测量或多波速法，施工前及施工后全数检查	3

(2) 有关要求

- ①铅丝笼、石料等原材料质量符合设计要求，铅丝笼尺寸符合设计要求。
- ②各工序施工应按施工技术标准的规定进行质量控制，每道工序完成后应进行

检查。

③工序之间应进行交接检验，并形成记录。专业工序之间的交接应经监理工程师认可。未经检验或经检验不合格的不得进行下道工序施工。

④抛投总量应不小于设计总量。

4 支 座

支座是桥梁上、下部结构的连接点，其作用是将上部结构的荷载顺适、安全地传递到桥梁墩台上去，同时保证上部结构在荷载、温度变化、混凝土收缩徐变等因素作用下的自由变形，以便使结构的实际受力情况符合设计理论，并保护梁端、墩台帽梁不受损伤。

4.1 板式橡胶支座

4.1.1 病害特征及成因分析

板式橡胶支座存在的主要病害有：支座橡胶老化开裂、支座偏压脱空、支座剪切变形超限、支座外鼓、支座钢垫板锈蚀、支座偏位、支座缺失、垫石损坏等。橡胶支座脱空主要是由于施工不规范造成，施工时期安装不当导致支座脱空、偏位或者支座质量缺陷，使得局部应力或剪切力过大从而导致剪切变形、外鼓。



图 4.1.1-1 支座偏位



图 4.1.1-2 支座老化



图 4.1.1-3 支座开裂

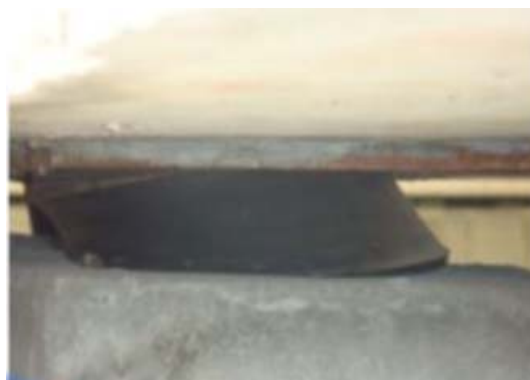


图 4.1.1-4 支座剪切



图 4.1.1-5 支座脱空



图 4.1.1-6 支座失效

4.1.2 处治方法及设计要点

针对支座处治时先要核查支座型号、安装方式、参数指标等是否与设计相符。检查垫石的标高是否符合设计要求，有的标高不对，更换安装时，通过凿除或修补垫石，修正标高。

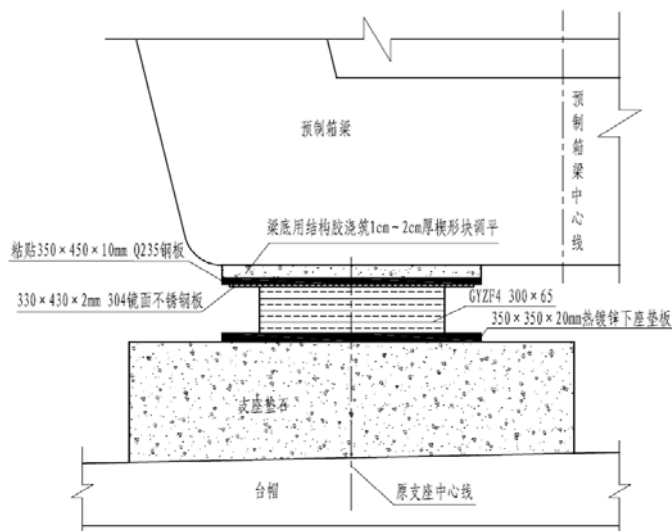


图 4.1.2-1 板式橡胶支座安装示意

1 处治方法

根据病害严重程度及病害发展情况，采取针对性措施进行加固：

- 1) 对脱空的支座采用钢板进行塞密垫平。
- 2) 对发生橡胶外鼓、剪切变形严重的支座，采取整体顶升措施对该支座所在墩台一排所有支座进行更换。
- 3) 对支座出现剪切过大或者出现滑移的，复查上下部结构，若出现了桥梁偏位的情况，立即上报，并采取专项的动态纠偏设计工作。

2 设计要点

- 1) 更换支座时，千斤顶采用液压扁形千斤顶连动整体顶升，千斤顶要求放置

在盖梁或柱式墩的顶端，通过高压电动油泵向千斤顶供油，采用平衡分流阀和自动监测系统来控制梁体的起顶高度，当梁体达到支座调整操作高度后，千斤顶持荷，保证梁体高度。

2) 橡胶支座在梁体顶升后，一般考虑同一个墩上全部进行统一更换。

3) 安装完毕后，支座上平面始终处于水平状态；

4) 预埋钢板的平整度应 $\leq 0.2\text{mm}$ ，垫石四周误差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，特别是预埋钢板四周气割的铁渣要磨平整，钢板是否翘曲，断面的尺寸符合设计要求。

5) 桥台、伸缩缝墩支座上钢板宜配置 2mm 厚镜面不锈钢板并焊接。

4.1.3 施工要点及质量要求

1 顶升更换支座

1) 施工要点

(1) 工艺流程

顶升位置基面处理→安装千斤顶连接 PLC 液压同步顶升系统→梁体试顶升→梁体整体顶升→更换支座并调平→卸载落梁。

(2) 施工工序

(1) 采用 PLC 液压同步顶升设备，该设备由传感系统、操控平台、液压动力系统三部分组成，由操控平台进行顶升量的控制。顶升前对顶升所用的千斤顶、油泵、油管、位移传感器、钢垫块等设备和构件进行仔细检查、核对，保证实施时所有设备及钢构件可立即投入使用。投入足够的设备及钢构件数量,以保证施工所用以及备用。

(2) 在墩顶安放千斤顶。千斤顶按实际所需顶升力的 2 倍设置。千斤顶上下采用钢板支垫，确保钢板与梁体、台帽及墩顶密切接触，千斤顶的安放要求与原梁底面平行紧贴。所有千斤顶安装完毕后，进行检查，看千斤顶是否水平。同时将 PLC 液压同步顶升设备架设到位，联结到每个千斤顶上，安装好位移传感器。并检查油路是否畅通，位移反馈是否灵敏有效，设备是否运转正常。

(3) 解除所有约束。检查清理墩梁间杂物，解除约束，减少对梁体顶升的阻碍。

(4) 各准备工作完成后进行试顶。试顶升高度为 5mm ，顶升后观测墩柱、梁体的受力变化及受力均衡状态，以及查看千斤顶、油泵是否工作正常，油路是否通

畅，液压系统各连接部位是否存在渗漏油现象。观测 20 分钟后，待无问题出现即可进入正式顶升。

(5) 顶升时由现场施工负责人统一指挥，所有操作员均服从指挥员命令，确保顶升过程顺利有序进行。

(6) 顶升时，进行分级顶升，每分级顶升量为 2mm。先顶升 2mm，观测台帽、墩柱和梁体的受力变化及受力均衡状态，无异常，再将梁体顶升 2mm，再次观测台帽、墩柱和梁体的受力变化及受力均衡状态，无异常，再顶升 2mm，再次观测台帽、支撑架和梁体的受力变化及受力均衡状态，这样经过反复直至整体顶升至目标高度。

(7) 停止顶升，观测墩柱和梁体的受力变化及受力均衡状态，锁紧千斤顶自锁螺母或安装临时支撑。

(8) 更换并调平支座。

(9) 落梁，观察各支座受力情况，如有偏压、脱空等现象应重复上述流程，进行二次调整。

2) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG 5220—2020)等相关规范实施。

4.2 盆式橡胶支座

4.2.1 病害特征及成因分析

盆式支座存在的主要病害有：钢构件锈蚀、限位未拆除、支座滑移等病害。在桥台、伸缩缝墩盆式支座安装时，单向滑动支座方向装反，造成桥梁完全不能正常滑移，致使挡块破裂，螺杆剪断；伸缩缝的下渗水导致橡胶支座处于潮湿与干燥的循环环境中，从而出现橡胶老化而外鼓。支座脱空、外鼓、剪切变形等病害会改变结构边界条件，对结构受力及整体性不利，且易带来次生病害。



图 4.2.1-1 支座锈蚀



图 4.2.1-2 支座限位未拆除



图 4.2.1-3 支座锈蚀



图 4.2.1-4 支座限位未拆除

4.2.2 处治方法及设计要点

针对支座处治时先要核查支座型号、安装方式、参数指标等是否与设计相符。检查垫石的标高是否符合设计要求，有的标高不对，更换安装时，通过凿除或修补垫石，修正标高。

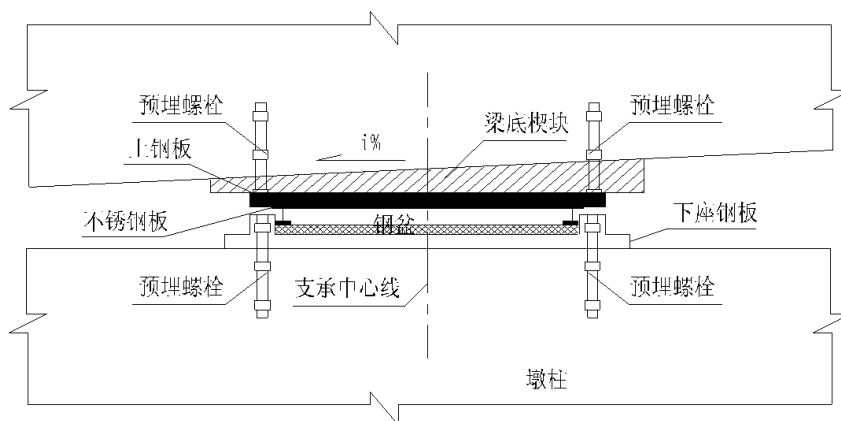


图 4.2.2-1 盆式橡胶支座安装示意

1 处治方法

根据病害严重程度及病害发展情况，采取针对性措施进行加固：

- 1) 对钢组件损坏的盆式支座进行整体顶升后重新更换原设计支座。

2) 对发生橡胶外鼓、剪切变形严重的支座, 采取整体顶升措施对该支座所在墩台一排所有支座进行更换。

3) 对盆式支座出现钢盆锈蚀的进行除锈阻锈。

4) 对限位未拆除的盆式支座进行拆除解锁。

5) 对支座出现剪切过大或者出现滑移的, 复查上下部结构, 若出现了桥梁偏位的情况, 立即上报, 并采取专项的动态纠偏设计工作。

2 设计要点

1) 更换支座时, 千斤顶采用液压扁形千斤顶连动整体顶升, 千斤顶要求放置在盖梁或柱式墩的顶端, 通过高压电动油泵向千斤顶供油, 采用平衡分流阀和自动监测系统来控制梁体的起顶高度, 当梁体达到支座调整操作高度后, 千斤顶持荷, 保证梁体高度。

2) 支座在梁体顶升后, 一般考虑同一个墩上全部进行统一更换。

3) 安装完毕后, 支座上平面始终处于水平状态。

4) 预埋钢板的平整度应 $\leq 0.2\text{mm}$, 垫石四周误差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内, 特别是预埋钢板四周气割的铁渣要磨平整, 钢板是否翘曲, 断面的尺寸符合设计要求。

5) 桥台、伸缩缝墩支座上钢板一定要配置 2mm 厚镜面不锈钢板并焊接。

4.2.3 施工要点及质量要求

支座顶升更换施工要点和质量控制要求详见第4.1.3章节。

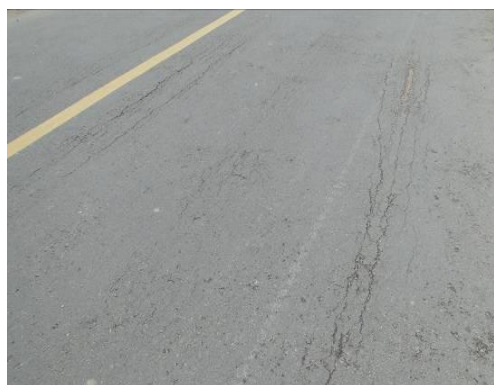
5 桥面系及附属结构

5.1 桥面铺装纵向裂缝

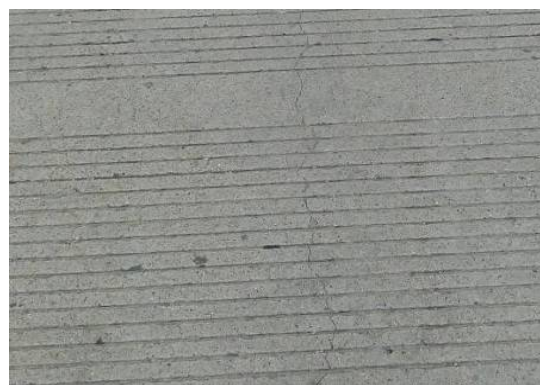
5.1.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

桥面出现纵向裂缝，首先需要判断其是否对应于铰缝位置。



(a) 沥青铺装桥面纵向裂缝



(b) 混凝土桥面纵向裂缝

图 5.1.1-1 桥面纵向裂缝

2 成因分析

桥面铺装出现纵向裂缝，是桥面铺装荷载的作用下出现横向拉应力并超限，与上部结构横向连接刚度密切相关。主要产生原因有以下几个方面：

(1) 桥面铺装设计问题

桥面铺装直接承受车轮荷载，受力复杂，但通常设计配筋往往采用单层钢筋网片，厚度采用 10cm 左右，通过研究桥面铺装上下缘都可能出现拉应力，所以一旦出现支座脱空、铰缝损伤极可能造成桥面铺装开裂。

(2) 装配式空心板桥桥面铺装纵向开裂的原因

① 装配式空心板桥都采用铰接连接，尤其采用小铰缝构造的空心板桥，铰缝深度较浅，在重车作用下，极易损坏失效，导致桥面铺装出现横向拉应力，根据研究，铰缝失效情况下，桥面铺装底部横向拉应力将达到 5MPa 以上，在重车反复作用下，形成桥面铺装纵向开裂。

② 支座脱空，每块预制板通常设 4 个支座，根据三点一个平面，由于施工精度不高的影响，造成支座脱空，导致桥面铺装和铰缝受力增大，在车辆荷载的反复作

用下，极易引起桥面铺装开裂，支座脱空造成的铺装损伤开裂机理见图 5.1.1-2。

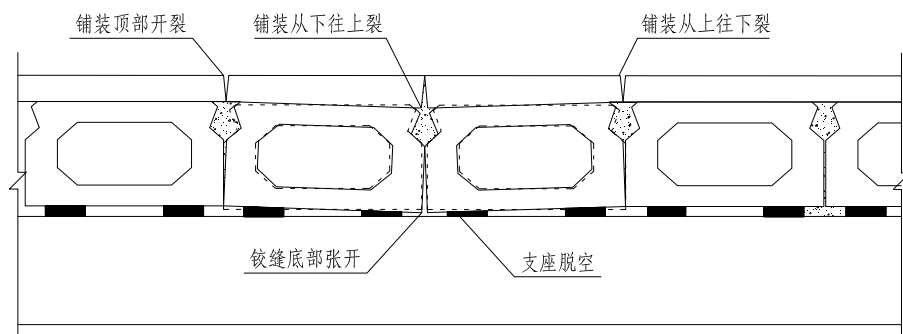


图 5.1.1-2 支座脱空造成的铺装损伤开裂机理

(3) 拱桥桥面铺装出现纵向开裂的原因

①对于桁架拱或刚架拱等装配式拱桥由于横向联系较为松散，在重车作用下，横梁承受横向拉力，当横梁出现断裂或刚度不足时，进而导致微弯板开裂或，桥面板横向弯曲拉应力，导致开裂。

②对于圬工拱桥，当拱圈边侧砌块开裂松散外倾，可以导致纵向开裂。

5.1.2 处治方法及设计要点

1 当空心板桥面铺装出现纵向裂缝，应加强观测，对于细小裂缝，应采用裂缝封闭处理见图 5.1.1-3，如果存在交通流量较大，重载车较多，并且病害发展比较快的情况，建议采用不中断交通的梁底横向加固技术（在铰缝位置锚贴型钢混凝土纵梁或板底横向粘贴槽钢）。

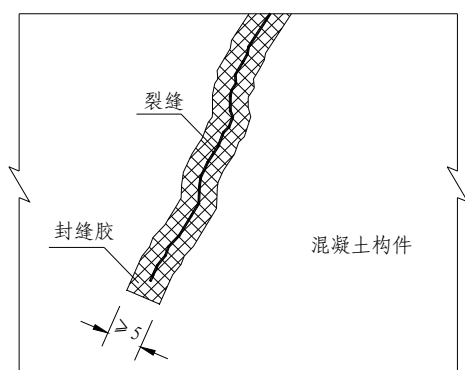


图 5.1.1-3 混凝土桥面裂缝封闭

2 当裂缝扩展较大，并出现伴随铺装破碎，明显处于单板受力状态的，应及时更换桥面铺装，并对已破坏、松散的铰缝结构进行凿除并重做，铰缝重做时建议采用自流平小石子混凝土，桥面铺装建议采用厚度为 12cm~15cm，并设置双层钢筋网片。



图 5.1.1-4 双层钢筋网片

3 仔细检查支座，发现有脱空的支座，应及时采用填塞钢板调平。

4 对于拱桥，当横向连接构造破坏造成的铺装开裂的，可以采用增设横隔板加固。

5.1.3 施工要点和质量要求

1 桥面铺装维修方法

1) 对裂缝短且分散且缝宽小于 3mm 的桥面铺装裂缝采取扩缝灌浆处理。

2) 对贯穿桥跨、且缝宽大于 3mm、小于 15mm 的裂缝采取条带罩面进行处理。

3) 对缝宽大于 15mm 或裂缝较多及多次修复仍然开裂的裂缝，凿除所处桥跨桥面铺装后，重新浇筑。

2 扩缝灌浆施工

1) 顺着裂缝扩宽成 1.5~2.0cm 的沟槽，槽深根据裂缝深度确定，但其最大深度不得超过 2/3 混凝土铺装厚度。

2) 清除混凝土碎屑，吹尽灰尘后，填入粒径 0.3~0.6mm 的清洁石屑。

3) 根据选用的灌缝材料，混合均匀后，灌入扩缝内。

4) 灌缝材料固化后，达到通车强度，即可开放交通。

3 条带罩面施工

1) 利用混凝土切割机平行于裂缝两侧进行切缝，同时控制好切缝位置，距裂缝距离不小于 15cm。

2) 凿除横缝内混凝土，其深度控制在 7cm 左右。

3) 每间隔 50cm 打一对钎钉孔，钎钉孔的大小略大于钎钉直径 2~4mm。并在二钎钉孔之间打一对钎钉孔直径相一致的钎钉槽。

4) 钎钉采用直径 $\Phi 16$ 的螺纹钢筋，在使用前予以除锈。钎钉长度大于 20cm，弯钩长度为 7cm。

5) 在钎钉孔填满砂浆后，将钎钉插入孔内安装。

6) 切割的缝内壁凿毛，并清除松动的混凝土碎块及表面尘土、裸石。

7) 浇筑修复时及时振捣密实、抹平。

4 桥面铺装凿除后重新浇筑

1) 凿除铺装层前对桥面高程进行测量，保证加固维修前后桥面高程保持一致。

2) 采用风镐结合人工的方法拆除桥面钢筋砼铺装层。在凿除后的梁顶表面形成粗糙凹凸差大于 6mm。

3) 若空心板顶板出现裂缝，按裂缝处理原则进行处理。

4) 为保证桥面新铺砼与箱梁顶板混凝土的粘结强度，在新桥面混凝土铺装层施工前对空心板混凝土表面进行清理，清理在前期施工中遗落的建筑材料和其它杂物，并用高压水枪清洗空心板表面的浮灰，浇筑混凝土前应保证清洁并保持湿润。

5) 新浇桥面混凝土振捣密实，待桥面混凝土铺装层混凝土浇筑完毕后，要及时进行覆盖养护，防止（尤其是高温季节）混凝土表面开裂等病害的发生。

5 质量检验和评定

裂缝处治的施工质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220—2020）等相关规范实施。具体要求如下：

1) 混凝土裂缝修补应符合下列基本要求：

(1) 裂缝修补所用材料的品种、性能、规格等应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

(2) 应按设计要求对混凝土表面进行处理，含水率应与修补材料的使用要求相适应。表面封闭时基面应清洁、密实、坚固；灌胶时裂缝两侧基面应清理出密实新鲜混凝土，表面应清洁、干燥。

(3) 在裂缝交叉点、端部及宽度较大处应设灌胶嘴，且在封缝胶固化后应检查其气密性，应无漏气。

(4) 修补工艺、顺序应符合设计要求。

2) 混凝土裂缝修补实测项目应符合表 5.1.3-1、表 5.1.3-2 的规定。

表 5.1.3-1 裂缝表面封闭实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	表面封闭涂敷厚度(μm)	平均厚度 \geq 设计厚度, 80%点的厚度 $>$ 设计厚度, 最小厚度 \geq 80%设计厚度	测厚仪: 每 100m ² 测 10 点, 且不少于 10 点, 7d 后检查
2 Δ	黏结强度(MPa)	在合格标准内	按附录 N 检查

注: 项次 1 封闭面积不满 100m²者, 按 100m²处理。

表 5.1.3-2 裂缝灌浆实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	灌胶嘴间距(mm)	符合设计要求	尺量: 抽查 10%
2	灌胶压力(MPa)	符合设计要求	压力表读数: 全部
3	停胶后持压时间 (min)	符合设计要求	计时器: 全部
4 Δ	灌缝饱满程度	饱满	观察芯样、压力机: 按设计规定, 设计未规定时每检验批取 3~5 个芯样
5 Δ	劈裂抗拉强度(MPa)	符合设计要求	

注: 采用相同材料和方法的灌浆裂缝为 1 个检验批。

3) 混凝土裂缝修补外观质量应符合下列规定:

- (1) 应无漏封闭或漏灌胶的裂缝。
- (2) 裂缝封闭的表面应平整, 无裂缝、脱落, 粘贴物表面应无气泡、空鼓。
- (3) 灌浆嘴应清除, 封缝胶应无大块堆积和流挂。

5.2 桥面铺装墩顶横向裂缝

5.2.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

一般标准跨径 20m 以下的空心板结构梁桥常常采用结构简支桥面连续结构。在使用过程中往往会在桥面墩顶负弯矩区对应位置出现横向裂缝, 如图 5.2.1-1 所示。空心板采用的桥面连续结构为原来普遍采用的双缝拉杆式桥面连续, 这种桥面连续结构在使用过程中非常容易开裂。桥面连续结构出现裂缝后, 当使用时间一久, 早期损坏部分的桥面会逐渐发展成碎裂、坑洞等病害, 严重威胁行车安全, 并给上部结构梁板和墩台盖梁带来次生病害。



图 5.2.1-1 桥面铺装横向裂缝

2 成因分析

简支桥桥面连续位于主梁变形最大的部位，要承受梁体的转动和梁体的伸缩引起的变形，加上由于相邻桥孔出现的橡胶支座弹性压缩不同步而引起的错动变形，致使桥面连续处的受力复杂，容易在投入使用后不久便出现开裂、破损等病害。

5.2.2 处治方法及设计要点

在凿除开裂、破损桥面连续后，采用植入式桥面连续或在桥面连续处采用高韧性混凝土替代普通混凝土。

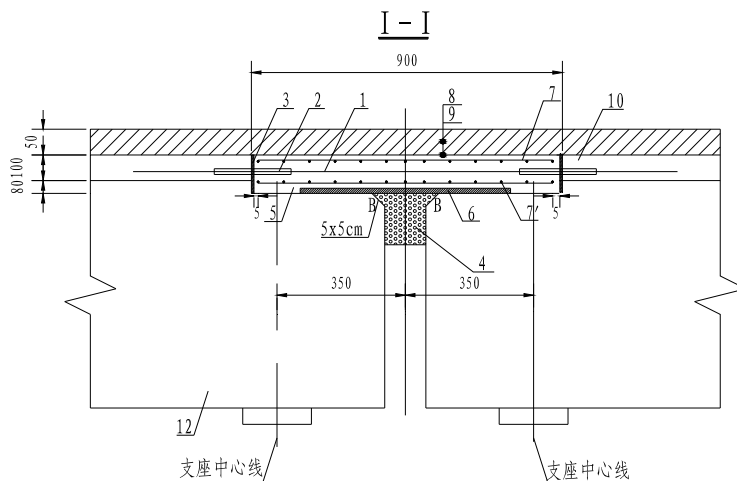


图 5.2.2-1 采用高韧性混凝土改进后的桥面连续

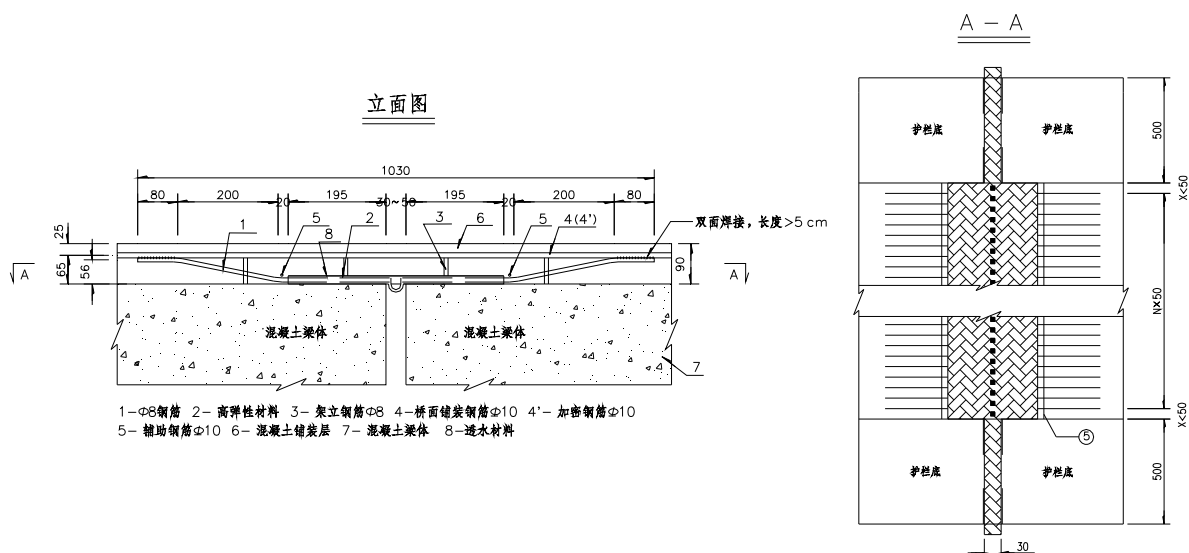


图 5.2.2-2 植入式桥面连续

5.2.3 施工要点及质量要求

1 改进型桥面连续

1) 凿除原有桥面连续, 在 2.0m 范围内将原有桥面铺装钢筋凿出, 并对原桥面铺装进行除锈;

2) 在连续缝处护栏底凿出宽 4cm×2cm 的槽口, 以便安放排水管, 后期浇筑桥面连续混凝土时填塞缝隙;

3) 浇筑桥面铺装混凝土时顺序应从梁板跨中向两端浇筑, 桥面连续处位置最后浇筑;

4) 拼宽湿接缝在一联桥中通长浇筑, 湿接缝纵向钢筋也采用通长筋, 并在墩中心线两侧各 450mm 范围内采用环氧树脂涂层钢筋;

5) 桥面连续的混凝土板支承中心与主梁支座中心一致或重合, 不会随着主梁梁端转动而发生较大变形;

6) 上部结构桥面连续处应凿出槽口, 现浇板采用 C50 高韧性混凝土;

7) 桥面连续位置 2 米宽度范围内上层沥青混凝土低温弯曲破坏应变指标须满足《公路沥青混凝土设计规范》7.1.8 条要求, 建议采用网状聚丙烯纤维沥青混凝土。

2 植入式桥面连续

1) 凿除原有桥面连续, 在 2.03m 范围内将原有桥面铺装钢筋凿出, 并对原桥面铺装进行除锈;

- 2) 在连续缝处护栏底凿出宽 9cm、高 2.5cm 的槽口,以便安放排水口;
- 3) 在桥面连续铺设高弹性材料的 0.45m 范围内用聚合物砂浆找平, 确保后期安装质量;
- 4) 在找平后梁板顶面涂刷特种胶水, 并安装高弹性材料板, 安装时应确保高弹性材料底部和找平后梁板顶面完全贴合;
- 5) 在上层铺设纵向剪刀叉钢筋、横向钢筋和架立筋, 并在架立筋底部设置厚度约 2cm 混凝土垫块;
- 6) 将植入式桥面连续弯起钢筋和纵向剪刀叉钢筋进行分别焊接, 焊接采用双面焊, 焊接长度需大于 5cm, 并在焊接时应控制焊接温度, 确保高弹性材料层不过热产生老化现象;
- 7) 浇注桥面连续处混凝土, 待混凝土达到设计强度后在桥面连续中央进行切缝施工, 并清理切缝中杂物;
- 8) 在桥面连续混凝土铺装顶面改造范围内涂刷桥面防水层, 并在切缝中满灌封缝胶, 再铺筑沥青砼铺装层。

3 质量要求

施工质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG 5220—2020)等相关规范实施。

5.3 伸缩缝病害

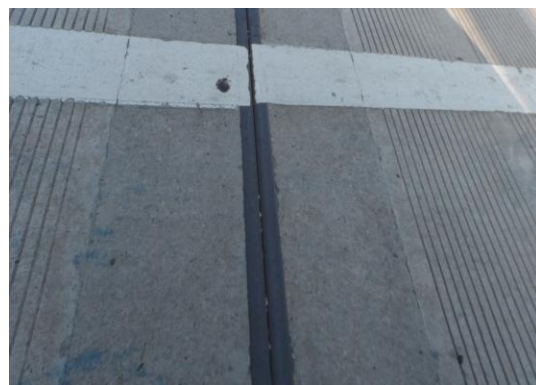
5.3.1 病害特征及成因分析

1 病害特征

伸缩缝的常见病害有填充物失效、宽度异常、锚固区混凝土破损开裂等, 其中宽度异常分展开过大或顶死, 填充物失效如橡胶带撕裂、堵塞、型钢变形等。



(a) 伸缩缝展开过大



(b) 伸缩缝顶死

图 5.3.1.-1 伸缩缝张开宽度异常



(a) 橡胶板破损



(b) 橡胶条皮损、型钢变形

图 5.3.1-2 填充物失效



(a) 锚固栓破损开裂



(b) 锚固区破损

图 5.3.1.-1 锚固区混凝土破损开裂

2 成因分析

1) 宽度异常及填充物失效

- (1) 伸缩缝选型不当，选择的伸缩缝型号过小，导致伸缩缝张开异常。
- (2) 伸缩缝安装不当，没有考虑安装温度随意安装，导致伸缩缝张开异常。
- (3) 梁体结构偏位，导致伸缩缝横向错位，或者纵向一端宽一端窄。
- (4) 伸缩缝宽度异常或橡胶老化，容易引起橡胶条破损或开裂。

2) 锚固区混凝土破损

(1) 伸缩缝装置锚固件设置不合理，直接将伸缩缝设置在桥面铺装，没有将伸缩缝锚固在主梁上，在车辆冲击作用下造成伸缩缝容易破损。

(2) 伸缩缝锚固区混凝土浇筑不密实，达不到设计要求，出现蜂窝、空洞等，难以承受车辆荷载的冲击。

(3) 伸缩缝与桥面铺装高差，造成车辆通行时，产生极大的冲击力，导致后浇带混凝土破损。

5.3.2 处治方法及设计要点

1 单独橡胶条老化开裂或破损时，对橡胶条进行跟换即可。

2 单独锚固区混凝土开裂破损时，对混凝土进行裂缝灌浆或破损修复。

3 伸缩缝型钢松动、破损较大、钢构件变形严重等，应考虑更换伸缩缝。

4 桥梁结构发生偏位引起的伸缩缝病害，结合结构纠偏后进行更换或修复。

5.3.3 施工要点及质量要求

1 施工要点

1) 更换伸缩缝

(1) 工艺流程：

凿除→切割→清理→安装→浇筑

(2) 施工工序：

①凿除：凿除已失效伸缩装置；

②切割：对桥台靠梁板侧的背墙进行切割，切割后应保证梁板与背墙间拥有4cm的间距；

③清理：对即将安装伸缩装置的施工面予以清理，确保梁板和背墙间、梁板和台帽间无杂物；

④安装：在所需位置植入伸缩装置预埋钢筋，焊接安装伸缩装置其余部分；

⑤浇注：浇注伸缩装置处混凝土。

2) 更换伸缩缝橡胶条

(1) 旧橡胶条割除

①现场踏勘橡胶条破损情况并拍照记录，确定割除范围，为减少橡胶条接口，应尽量减少更换段落，并用记号笔标定割除断面；

②清理表面，先用壁纸刀沿割除断面隔断橡胶条，再沿伸缩缝方向将橡胶条切割为二，分段抽出，难以抽出的继续切断，直至清理完槽口内全部残留物。

(2) 清理缝内杂物

- ①用钢钎将缝内杂物插捣成碎块，再用夹具将碎块夹出；
- ②难以夹出的杂物如能在下部找到出口，可将杂物推至底部，从桥梁下取出；
- ③利用高压空气或高压水流彻底清理缝内垃圾，并及时清运出现场。

(3) 安装橡胶条

- ①均匀涂抹润滑油于钢梁两侧凹槽；
- ②将准备好橡胶条平放于安装位置；
- ③用专用工具将橡胶条两侧嵌进钢梁凹槽。

2 质量检验和评定

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220-2020）等相关规范实施。具体要求如下：

1) 伸缩装置安装应符合下列基本要求：

(1) 伸缩装置种类、规格就技术性能应满足设计要去并符合有关规范的规定，具有产品合格证，并经验收合格后方可安装；

(2) 伸缩装置两侧混凝土的类型和强度应满足设计要求，预埋锚固钢筋定位准确、无缺失；

(3) 伸缩装置处不得有积水；

2) 伸缩装置安装实测项目应符合下表 5.3.3-1 的规定。

表 5.3.3 -1 伸缩装置安装实测项目表

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度 (mm)		满足设计要求	尺量：测每道
2	缝宽 (mm)		满足设计要求	尺量：每道每 2m 测 1 处
3	与桥面高差 (mm)		≤ 2	尺量：伸缩装置两侧各测 5 处
4	纵坡 (%)	一般	± 0.5	水准仪：每道测 5 处
		大型	± 0.2	
5	横向平整度 (mm)		≤ 3	3m 直尺：每道顺长度方向检查伸缩装置及锚固混凝土各 2 尺
6	焊缝尺寸		满足设计要求；设计未要求时，按焊缝质量二级	量规：检查全部，每条焊缝检查 2 处
7	焊缝探伤			超声法：检查全部

3) 伸缩装置安装外观质量应符合下列规定:

- (1) 伸缩装置无渗漏、变形、开裂;
- (2) 伸缩装置及伸缩装置中无阻塞活动的杂物;
- (3) 焊缝无裂纹、焊瘤、夹渣、未焊透、电弧擦伤;
- (4) 锚固混凝土表面不应存在开裂、蜂窝、麻面、坑洞等。

6 结构偏位

结构偏位现象是一种典型的桥梁病害。结构偏位的影响因素复杂且难以规避和纠正，原因主要在于影响结构偏位的因素较多，且围绕桥梁全寿命周期可能反复出现。综合考虑可将其归结为三大类，即：施工前引发原因、施工中引发原因和施工后引发原因。施工前的原因是指设计阶段中出现的一些问题，即线形，支座、纵坡、桥梁选型等设计不合理；施工中的原因主要由施工误差或施工方法的错误造成，如基础不平衡堆载、支座垫石及垫板安装不当等；施工后造成结构偏位的主要原因，主要包括环境（温差等）、交通量（超载及大车流量等）以及偶然事件（不平衡堆载、船舶撞击或地震等）带来的不利因素。针对桥梁结构不同偏位情况，根据上下部结构区分，主要分为三类：上部结构偏位、下部结构偏位、上下部结构联动偏位。



图 6-1 上部结构偏位

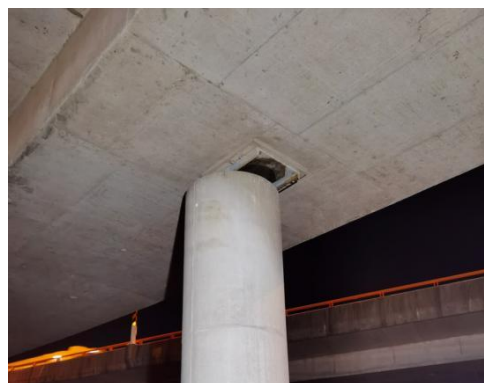


图 6-2 下部结构偏位



图 6-3 上下部结构联动偏位

6.1 上部结构偏位

6.1.1 病害特征及成因分析

上部结构偏位是指桥梁上部梁体与桥梁墩台出现纵、横向相对位移，而桥梁墩柱均没有发生偏位的情形，其主要特征和成因如下：

1 支座设置

支座是支撑上部梁体，传递作用力的主要中介体，也是桥梁整体结构中较为薄弱的环节，而梁体的偏位也往往和支座的选择以及安装有一定的关系，如果在这一环节出现问题，往往会发生支座剪切变形、脱空等现象，梁体在这样的病害的影响下往往会发生偏位。在施工过程中，带约束的支座如果安装错误也会造成梁体的偏位。一般情况下为了防止梁体偏位的发生，往往设计上会安排纵向自由、横向约束的支座，但是实际工程中常常发现由于施工单位的失误将支座安装反了的情况，这样既阻碍了梁体纵向正常的伸缩，而且还容易造成梁体的横向偏位。综上所述，支座的不合理设置是上部梁体发生偏位的众多主要因素之一。



图 6.1.1-1 支座剪切变形



图 6.1.1-2 支座脱空

与支座发生的剪切变形或脱空现象相关的偏位相关问题，也有可能是偏位结果，也有可能是引起偏位的原因，因为有可能是结构设计时的水平力设计过程中，对支座选择不当，或施工时支座布置不当等原因产生。

由于支座环境温度大，钢盆防锈措施不当或质量不当，导致钢盆锈蚀，其结果可能导致支座受力与设计不符，从而导致结构偏位。



图 6.1.1-3 盆式支座损坏

2 交通及车辆作用

由于我国近年来经济迅猛发展，部分老桥承载能力不能满足日益发展的交通增长，超载现象随处可见，再加上管理上的一些疏漏，重型车辆违规行驶的现象屡见不鲜。桥梁在长期超负荷工作及偏载作用下，梁体会逐渐发生偏位。对于桥型结构非对称的弯桥，这种现象更为严重。

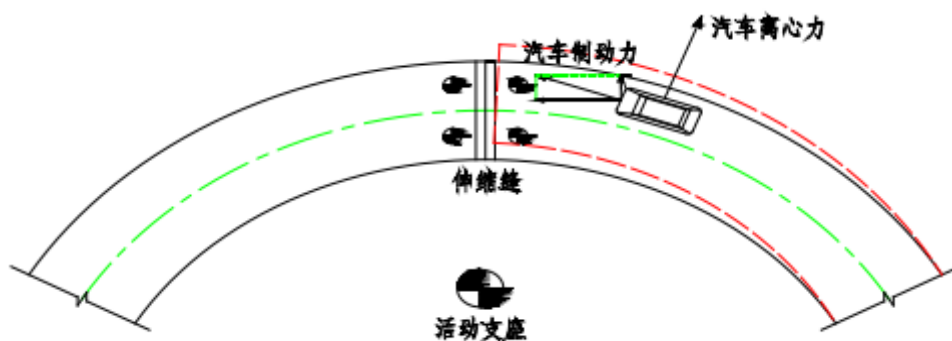


图 6.1.1-4 车轴离心力和制动力对梁体偏位影响

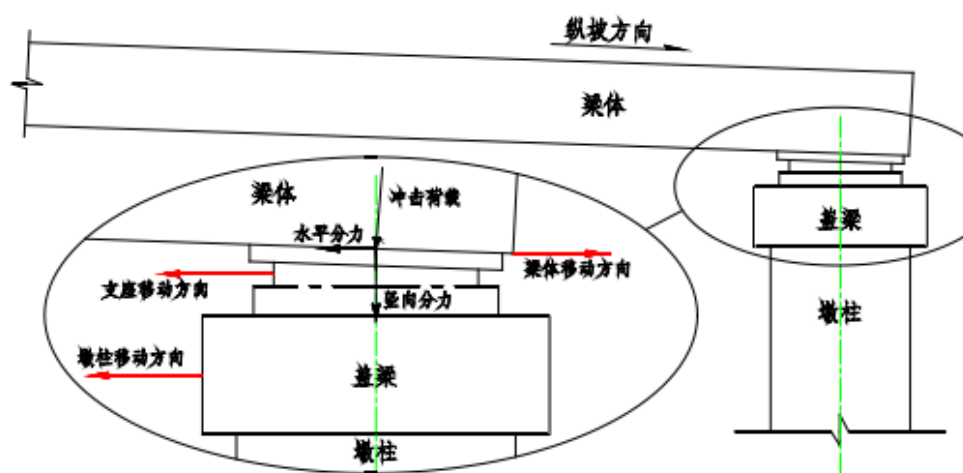


图 6.1.1-5 冲击荷载造成有纵坡桥梁墩柱偏位示意

3 温度作用及收缩徐变的影响

混凝土在施工及后期使用过程中会逐渐发生收缩徐变。对于梁体规则和对称的桥梁来说，收缩徐变对偏位的影响一般较小，但对于弯桥而言，这种影响较大。由于结构形状不均匀，收缩徐变也呈现不均匀变化，这样不仅会在结构内部产生次应力，还容易破坏结构的整体性，比如造成支座异常变形或脱空，从而在其他作用下进一步引发梁体偏位现象。季节性温差产生的温度变形和不均匀日照产生的温度梯度引起的梁体偏位，究其原因与收缩徐变类似，也是先引起不均匀的变形或支座脱空，再由次应力和变形，影响结构连贯性，从而引发梁体偏位。

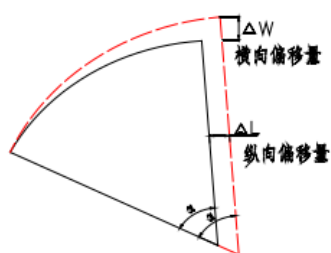


图 6.1.1-6 温差引起梁体偏位

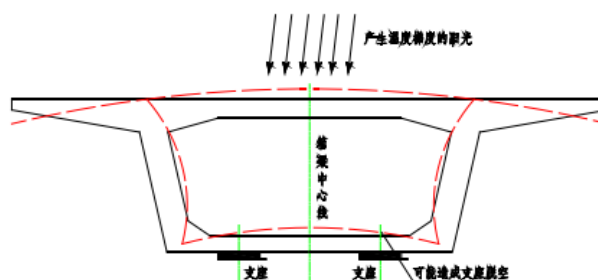


图 6.1.1-7 温度梯度引起支座脱空

4 曲线梁桥自身因素

在梁体偏位的问题上，曲线梁桥一直都是这个病害领域的重灾区，曲线梁桥大量出现偏位现象主要源自它特殊的受力情况，在各种作用的综合效应下（如恒载、车辆作用等）会产生极大地弯扭耦合现象，如图所示扭矩产生示意，这也造成曲线梁桥受影响面要大于其他类型的桥梁，而且在温度及收缩徐变等因素的综合作用下还会产生使变形加倍的效应。经研究发现，曲线梁桥的曲率半径对弯扭耦合作用会有很大影响，曲率半径越小，弯扭耦合作用越严重，梁体在温度等影响因素下越容易发生偏位或其他病害。此外，曲线梁桥不仅存在径向位移影响因素，还存在切向位移影响因素，这就使得它在发生位移时会产生双向位移，双向位移之间又存在相互影响，对产生位移的因素的效果进行放大。我国在曲线梁设计方面也往往存在对平面扭转和约束考虑不足的情况，因此，综合上述各种因素的影响，曲线梁桥不仅极易发生严重的偏位现象，而且在突发因素下（如交通事故或地震等灾害情况下）极易发生梁体倾覆等危险事故。

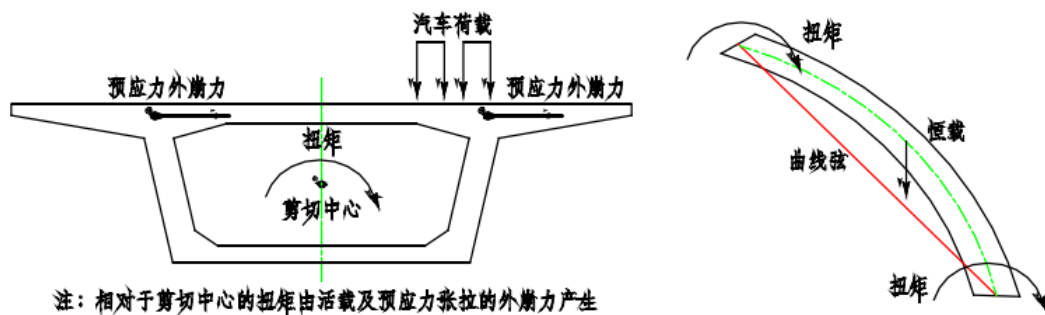


图 6.1.1-8 曲线梁桥扭矩示意



图 6.1.1-9 弯梁桥偏位病害引起的破坏

6.1.2 处治方法及设计要点

对于结构偏位的处治，最关键的地方就在于能够准确的找出问题所在，并依据问题引发原因制定出正确的纠偏方案，进行合理的纠偏控制，以确保纠偏的施工安全和运营安全，避免病害的复发。不同结构形式的桥梁，发生偏位的情况各不相同，设计时结合桥梁现有检查报告、安评报告及现场踏勘情况，根据引起偏位的不同成因有针对性地制定技术成熟、效果可靠、经济合理、施工方便的纠偏设计方案，并配合施工动态设计，使之切合工程实际。

上部结构纠偏由于离地较高，主要采用自身反力顶推方式；主要分为两大类，一类为梁体顶升后利用梁体和墩柱的反力对梁体进行顶推纠偏复位，一类是采用相邻箱体作为反力进行自体顶推纠偏复位。

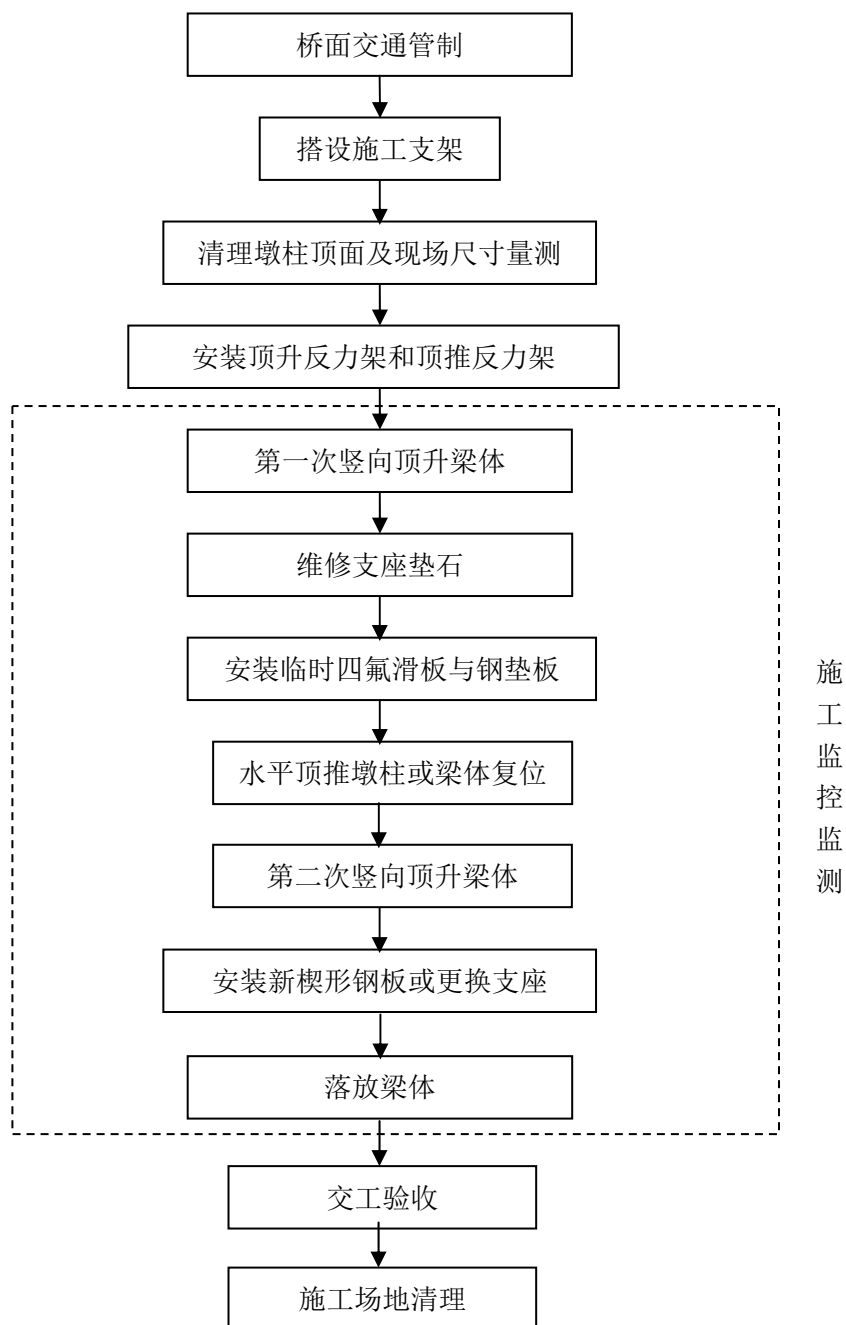
6.1.3 施工要点和质量要求

1 梁体和墩柱自体顶推纠偏

1) 施工要点

利用梁体和墩柱的反力对梁体或墩柱顶升后的自体顶推纠偏的过程包括竖向和平面方向的移动，方向通常包括竖向、纵向和横向三个方向，竖向的移动为通常说

的顶升（包括升和降），纵向和横向为通常说的顶推或拉，共同的特点是需要借助相应的反力结构来实施，相应的施工工艺流程如下：



2) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220-2020）等相关规范实施。

6.2 下部结构偏位

6.2.1 病害特征及成因分析

下部结构偏位是指桥梁墩台出现倾斜或墩顶与上部结构存在纵、横向相对位移，而桥梁梁体均没有发生偏移的情形，其主要特征和成因如下：

1 不平衡堆载引起的墩柱偏位

某些桥墩需要进行回填，但在填筑土石方时未严格按照对称分层施工，施工中只对路床内侧的土方进行碾压，施工机具及土方产生的巨大土压力直接作用在桥墩的内侧，以及建筑垃圾的倾倒，导致桥墩受力不均衡，向另一个方向发生倾斜，严重时桥墩纵向倾斜可达数十厘米。

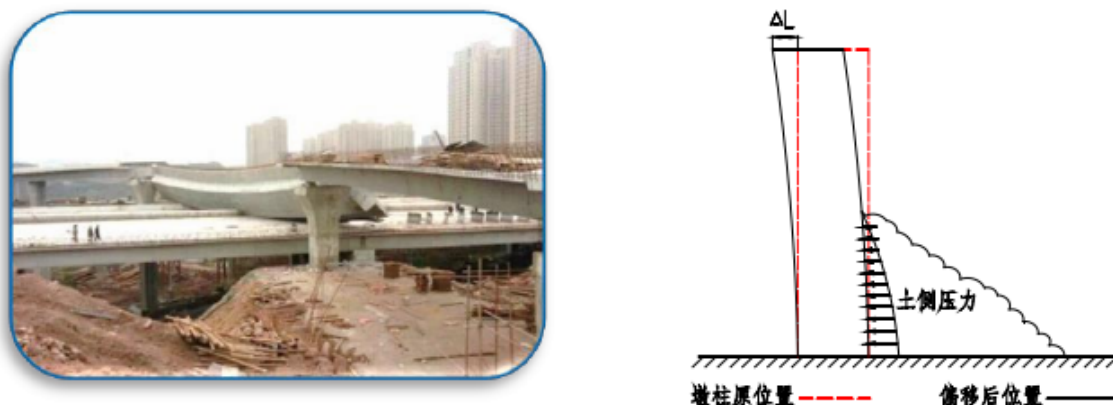


图 6.2.1-1 不均均堆载引起墩桩偏位示意

6.2.2 处治方法及设计要点

对于结构偏位的处治，最关键的地方就在于能够准确的找出问题所在，并依据问题引发原因制定出正确的纠偏方案，进行合理的纠偏控制，以确保纠偏的施工安全和运营安全，避免病害的复发。不同结构形式的桥梁，发生偏位的情况各不相同，设计时结合桥梁现有检查报告、安评报告及现场踏勘情况，根据引起偏位的不同成因有针对性地制定技术成熟、效果可靠、经济合理、施工方便的纠偏设计方案，并配合施工动态设计，使之切合工程实际。

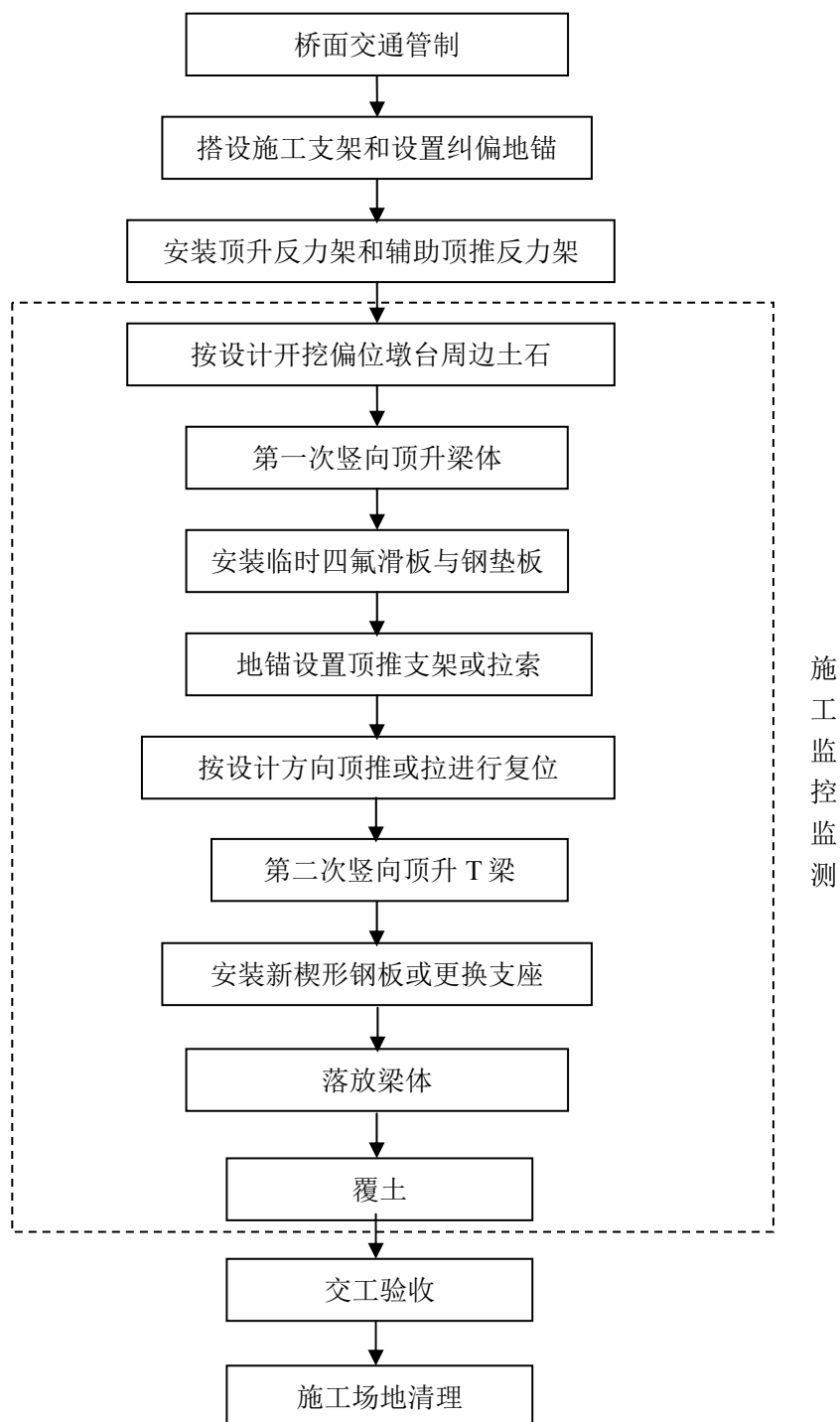
下部桥梁结构纠偏主要考虑沉降趋势、避免不均匀土压力，促使桥墩两侧达到平衡状态。目前国内桥梁纠偏复位施工根据桥梁偏位类型，主要分为两大类，一类为梁体顶升后利用梁体和墩柱的反力对墩柱进行自体顶推纠偏复位，一类是采用外力锚顶推或拉的措施对墩台及梁体同步纠偏复位。

6.2.3 施工要点和质量要求

1 墩台外力锚纠偏

1) 施工要点

利用外力锚顶推或拉的措施对墩台及梁体同步纠偏复位，过程包括竖向和平面方向的移动，其中平面方向移动根据偏位情况相应设置地锚进行顶推或拉，共同的特点是借助相应的反力结构来实施，相应的施工工艺流程如下：



2) 质量要求

质量检验评定按《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220—2020）等相关规范实施。

6.3 上下部结构联动偏位

6.3.1 病害特征及成因分析

桥梁结构发生偏位时，起初可能是单独上部结构偏位或者下部结构偏位，随时偏位的发展，上下部结构相互受力，极有可能出现上部联动偏位下部结构偏位。或是上部结构偏位带动下部结构偏位，或者下部结构偏位引起上部结构偏位，其主要特征和成因如下：

1 高桥墩、大纵坡引起的桥墩、梁体偏位

高桥墩配上大纵坡，在支座安装等施工不精的情况下，在温度效应、汽车制动力等反复、综合荷载作用下，极易出现多联梁体移动、多个墩柱偏位和墩柱环向裂缝、部分伸缩缝拉开、相当一部分支座变形破坏等现象。



图 6.3.1-1 高桥墩、大纵坡引起的墩柱、梁体偏位

2 桥台变位引起的上部梁体偏位

桥台受到下部基础、台后土体影响，通常会产生不均匀沉降，严重导致盖梁开裂，或者连同盖梁整体偏位，直观体现在上部梁体的偏位，同时导致伸缩缝失效。若发生在曲线梁桥或斜梁桥中，会导致梁体与桥台作用引起结构性损伤。



图 6.3.1-2 桥台变位引起的上梁体偏位

6.3.2 处治方法及设计要点

1 处治方法

对于结构偏位的处治，最关键的地方就在于能够准确的找出问题所在，并依据问题引发原因制定出正确的纠偏方案，进行合理的纠偏控制，以确保纠偏的施工安全和运营安全，避免病害的复发。不同结构形式的桥梁，发生偏位的情况各不相同，设计时结合桥梁现有检查报告、安评报告及现场踏勘情况，根据引起偏位的不同成因有针对性地制定技术成熟、效果可靠、经济合理、施工方便的纠偏设计方案，并配合施工动态设计，使之切合工程实际。

桥梁纠偏涉及上部结构纠偏和下部桥墩结构纠偏，上部结构纠偏由于离地较高，主要采用自身反力顶推方式；下部桥梁结构纠偏主要考虑沉降趋势、避免不均匀土压力，促使桥墩两侧达到平衡状态。目前国内桥梁纠偏复位施工根据桥梁偏位类型，主要分为两大类，一类为梁体顶升后利用梁体和墩柱的反力对梁体或墩柱进行自体顶推纠偏复位，一类是采用外力锚顶推或拉的措施对墩台及梁体同步纠偏复位。

2 设计要点

1) 仿真分析

随着试验技术的不断发展，桩土相互作用在理论分析和数值模拟的基础上再结合试验研究的验证，是目前研究桩-土相互作用非常重要的手段。

(1) 桩基偏位 M 法简化计算分析

桩-土相互作用在各国规范中都有涉及，目前比较传统的方法有 m 法和 p-y 曲线法，其中我国《公路桥涵地基与基础设计规范》中规定使用 m 法。m 法基于线弹性假设，满足 Winkler 假定，且不考虑桩与土之间的非线性接触行为，采用土弹

簧进行模拟桩与土之间的相互作用。由于不考虑桩-土之间的非线性状态，所以在使用 m 法时需要慎重。

(2) 有限元计算程序建模分析

采用有限元计算程序建立模型，模拟分析路基堆载（偏载）对桩基的变形、受力产生影响。有限元模型中，桩-土界面的接触通过设置特殊单元来模拟，桩-土界面力的传递机理是模拟的关键问题。目前，桩-土界面的模拟方式主要是接触单元法和在大型商业软件中普遍采用的主从接触面法。接触问题是一种典型的非线性问题，是一种特殊的不连续约束条件。此处采用主从接触面法，主从接触面应遵循以下两个原则：一是主接触面是网格划分较粗糙的面；二是单元尺寸接近，主接触面应为刚度较大的面。基于此，在桩-土动力分析中，桩-土界面的桩基表面作为主接触面，土体表面作为从接触面，而且主接触面上的结点可以侵入从接触面。对于力学分析，常用的接触对是面与面的接触，桩土之间的接触过程通过建立的接触约束来模拟，使接触面在接触和分离之间来回转换。

2) 纠偏控制

桥梁纠偏施工中对监控数据的及时分析非常重要，目前桥梁监控主要还是依靠监控人员采用传统的数据处理方法进行监控数据分析，往往导致数据分析进度慢，难以与现场结构现状相匹配，且容易因人为因素导致出现错误，可能引起纠偏过程中对结构的二次损伤。为方便业主及有关单位进行相应的质量和安全管理，确保纠偏施工效果，纠偏过程应利用物联网、云计算、大数据等新一代信息技术创新应用实现实时监测系统，做好动态控制，对施工监控中的各种数据进行系统分类，建立面向数据共享的施工过程数据标准化存储，确保桥梁有效控制、可视预警、精细施工。

6.3.3 施工要点和质量要求

1 梁体和墩柱自体顶推纠偏的施工要点及质量要求详见第 6.1.3 章节。

2 墩台外力锚纠偏的施工要点及质量要求详见第 6.2.3 章节。

附录 A 典型案例（结构纠偏）

A. 1 工程概况

A. 1.1 桥梁概况

案例工程为高速公路某互通（图 A.1.1-1），A 匝道为其中一条上行匝道，设计荷载等级为公路-I 级，2012 年建成通车。

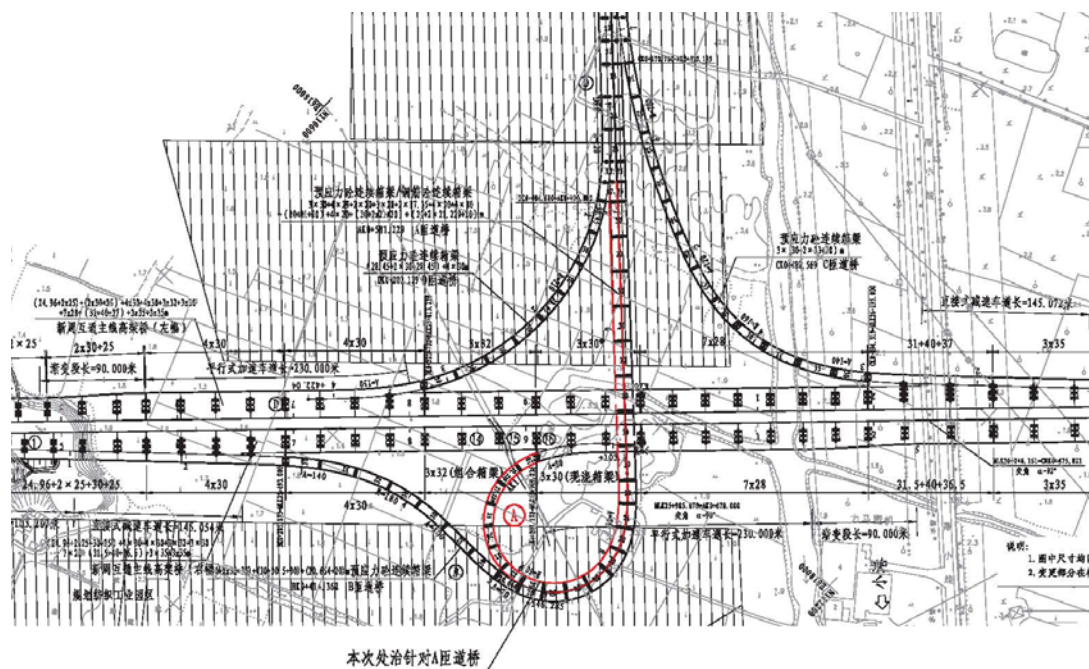


图 A. 1. 1-1 依托工程总体平面图

该互通 A 匝道桥总长 910.308m；上部结构形式：第一联（30+30+30）m、第二联（29+29+29+29）m、第四联（28+28+28）m、第六联（30+30+30+30）m、第七联（30+30+30+30）m 为预应力混凝土连续箱梁；第三联（20+20）m、第五联（17.35+17.35）m、第八联（20+21+20）m、第九联（20+20+20+20）m、第十联（20+21+21+20）m、第十一联（20+21.229+21.229+20）m 为钢筋混凝土连续箱梁。0#桥台采用桩接盖梁式桥台，桩基为 $2\phi 120$ 钻孔灌注桩；桥墩均采用花瓶式墩，其中 14#~22#、26#~32#墩采用 $2\phi 120$ 钻孔灌注桩，37#墩采用 $4\phi 120$ 钻孔灌注桩，其余墩采用 $2\phi 150$ 钻孔灌注桩。A 匝道在 3#墩、7#墩、9#墩、12#墩、14#墩、18#墩、22#墩、25#墩、29#墩、33#墩、37#墩处设置 160 型伸缩缝，0#台处设置 80 型伸缩缝。全桥支座除固结墩外均采用球型抗震支座。

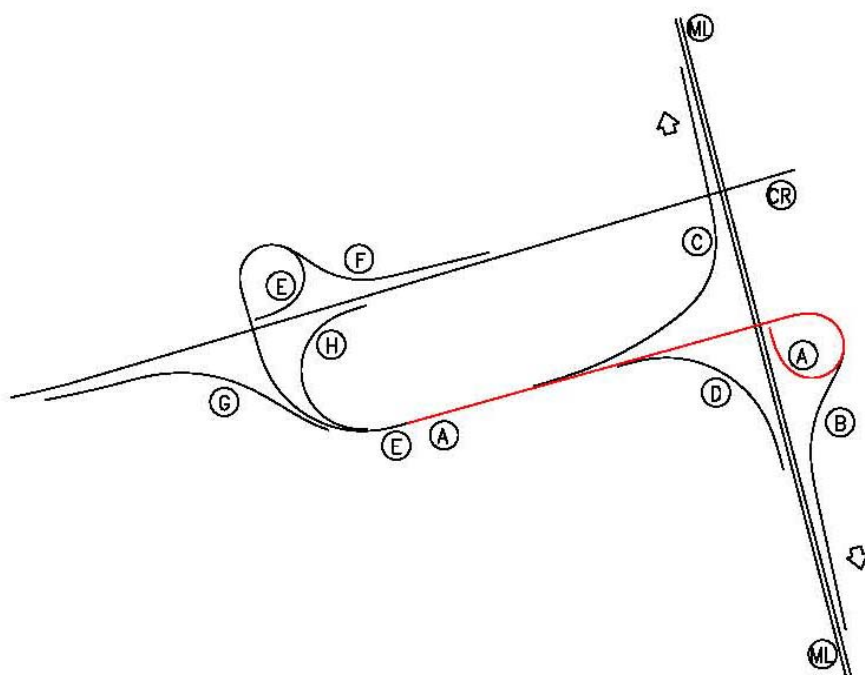


图 A. 1. 1-2 工程线路图

A. 1. 2 病害简述

业主巡查人员发现互通区 A 匝道桥梁护栏及伸缩缝存在异常。经其组织相关技术人员检查，发现该处互通区内被倾倒入大量渣土，平均高度约 3 米，最高达到 6 米，堆土面积约 17000m²。由于现场堆土情况较为严重，立即对 A 匝道实施交通封闭，同时对主线第四车道、应急车道实施了交通管制。



图 A. 1. 2-1 堆土示意图

1 病害特征及成因分析

1) 病害特征

(1) 伸缩缝

由于互通主线桥 Y16#墩上方支座均发生了不同程度的纵向滑移现象，且桥下 Y16#墩附近堆土量较大，检测单位对互通主线桥 Y16#墩上方伸缩缝进行了变形监测，监测时间为 2017 年 5 月 21 日至 6 月 20 日。监测结果显示，互通主线桥 Y16#墩上方伸缩缝主要病害为横向齿板错位部分抵死，考虑温度对伸缩缝变形的影响，从 Y16#墩上方伸缩缝的整体变形趋势看，堆土卸载过程对互通主线桥 Y16#墩上方伸缩缝变形影响不明显，说明堆土卸载后，Y16#墩上方伸缩缝无法恢复原状。

由于互通 A 匝道桥 22#墩、37#墩附近堆土量较大，且上方支座纵向滑移量也较大，并且在其上方设有伸缩缝装置。因此对互通 A 匝道桥所有伸缩缝进行检测，同时对 37#墩、22#墩上方伸缩缝分别进行了变形监测，监测时间为 2017 年 5 月 22 日至 6 月 21 日。检测显示，除 22#、37#外其它 10 条伸缩缝状况正常（29#墩上方伸缩缝 102mm 稍大）；37#墩、22#墩上方伸缩缝主要病害为齿板横向错位、纵向拉开；不考虑温度对伸缩缝变形的影响，监测结果显示从 37#墩、22#墩上方伸缩缝的变形趋势看，堆土卸载过程对互通 A 匝道桥 37#墩、22#墩上方伸缩缝影响比较明显，随着堆土逐渐卸除，37#墩、22#墩上方伸缩缝纵向位移逐渐减小，22#墩上方伸缩缝监测期内减小量 14mm，37#墩上方伸缩缝监测期内减小量 73mm。



图 A. 1. 2-1 横向齿板错位抵死



图 A. 1. 2-2 横向齿板错位抵死

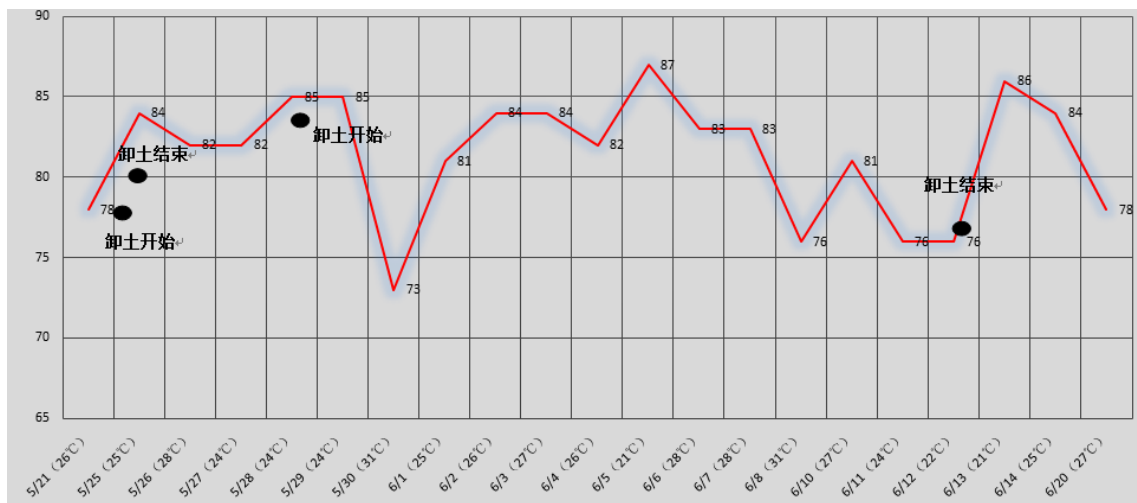


图 A. 1. 2-3 互通主线桥 Y16#墩上方伸缩缝变形监测 (单位: mm)



图 A. 1. 2-4 横向错位纵向拉开

图 A. 1. 2-5 横向错位纵向拉开

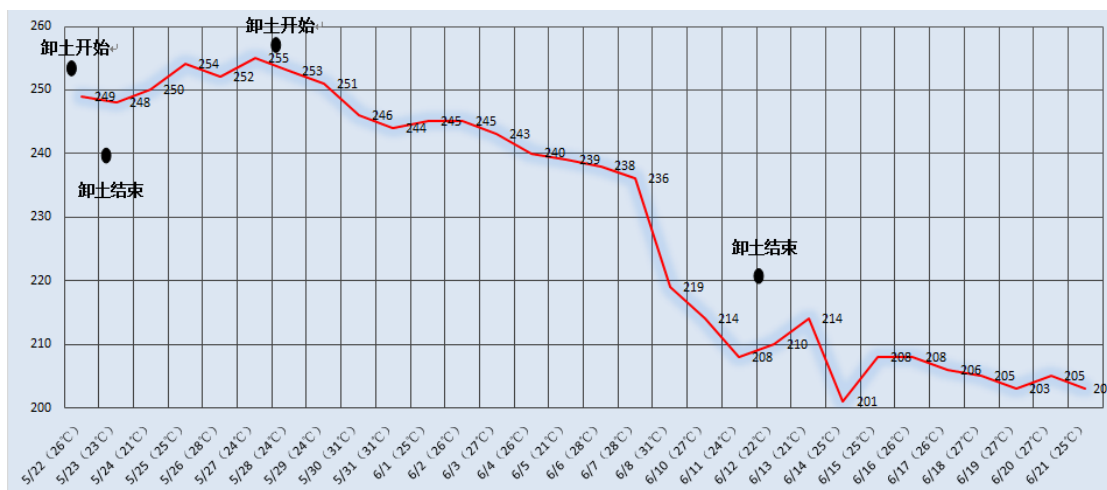


图 A. 1. 2-6 互通A匝道桥 37#墩上方伸缩缝变形监测 (单位: mm)



图 A. 1. 2-7 横向错位纵向拉开



图 A. 1. 2-8 横向错位纵向拉开

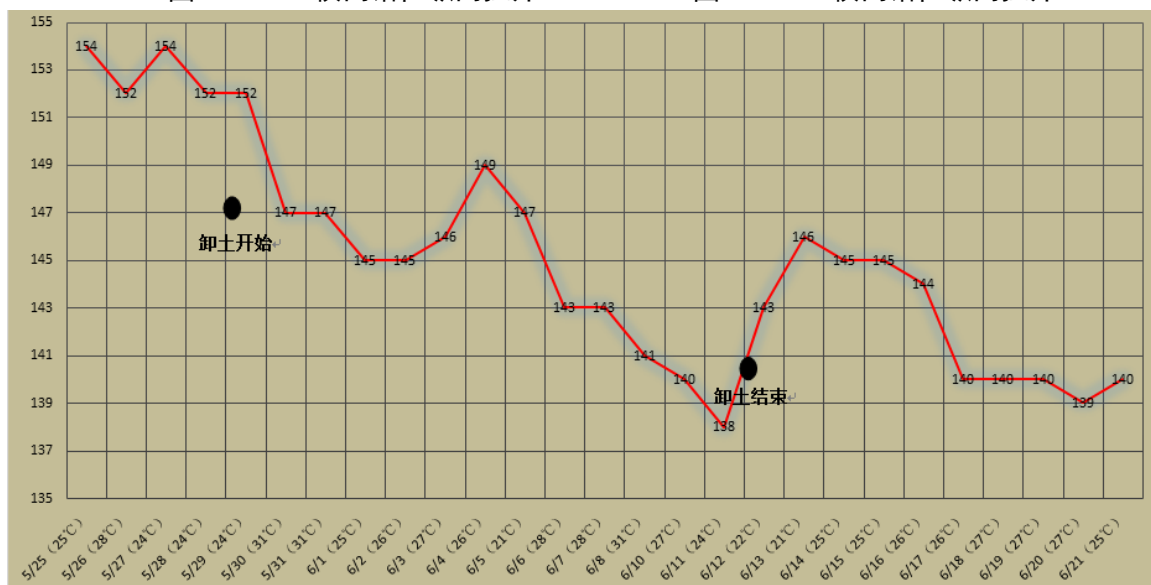


图 A. 1. 2-9 互通 A 匝道桥 22#墩上方伸缩缝变形监测 (单位: mm)

(2) 支座检测结果

对互通 A 匝道桥 (18#~37#墩) 桥墩上方支座进行了全面检测, 检测结果显示, 互通 A 匝道桥支座主要形式为球形支座和盆式支座, 支座存在的病害主要表现为纵向滑移。其中, 附近堆土量较大的 Y22#墩上方支座最大纵向滑移量为向大里程方向 19.7cm; 互通 A 匝道桥附近堆土量较大的 37#墩上方支座最大纵向滑移 (相对于梁板) 量为向大桩号方向 11.7cm, 并且 37#墩上方支座滑移量的变化受堆卸土的影响极为明显, 随着堆土逐渐卸载, 37#墩上方支座纵向滑移量逐渐减小。

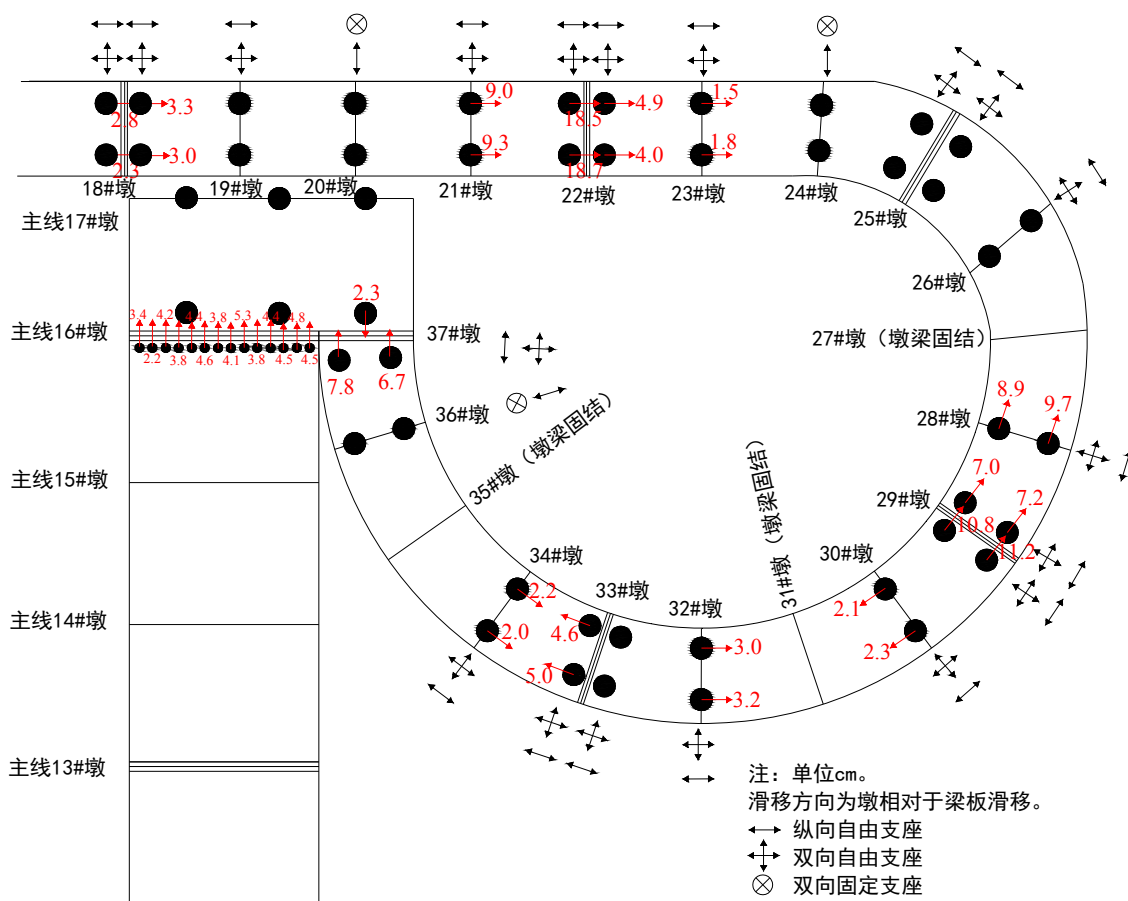


图 A.1.2-10 支座偏位示意



图 A.1.2-11 A 匝道 22#墩支座滑移 19.3cm



图 A.1.2-12 A 匝道 33#墩支座滑移 5.0cm

(3) 桥墩垂直度

本次墩身垂直度测量主要针对互通 A 匝道桥 18#~37#墩柱，同时选取桥墩附近堆土较多、桥墩上方支座滑移较大及伸缩缝开口间距变化较大的桥墩进行墩身垂直度监测，墩身垂直度重点监测桥墩有互通 A 匝道桥 Y22 墩、35#墩、37#墩。监测数据表明，互通 A 匝道桥 Y22#墩、37#墩垂直度受堆卸土影响极为明显；从检测数据可以看出，在堆土范围内，由于堆土的直接影响，互通 A 匝道桥第 7

(18#~22#墩)、8 (22#~25#墩)、9 (25#~29#墩)、10 (29#~33#墩)、11 (33#~37#墩) 联, 互通主线桥左幅第 3 联 (9#~13#墩)、4 (13#~16#墩)、5 (16#~19#墩) 联, 右幅 4 (13#~16#墩)、5 (16#~19#墩) 联部分桥墩垂直度超过 $3‰H$, 超出了质量评定规定的允许值。

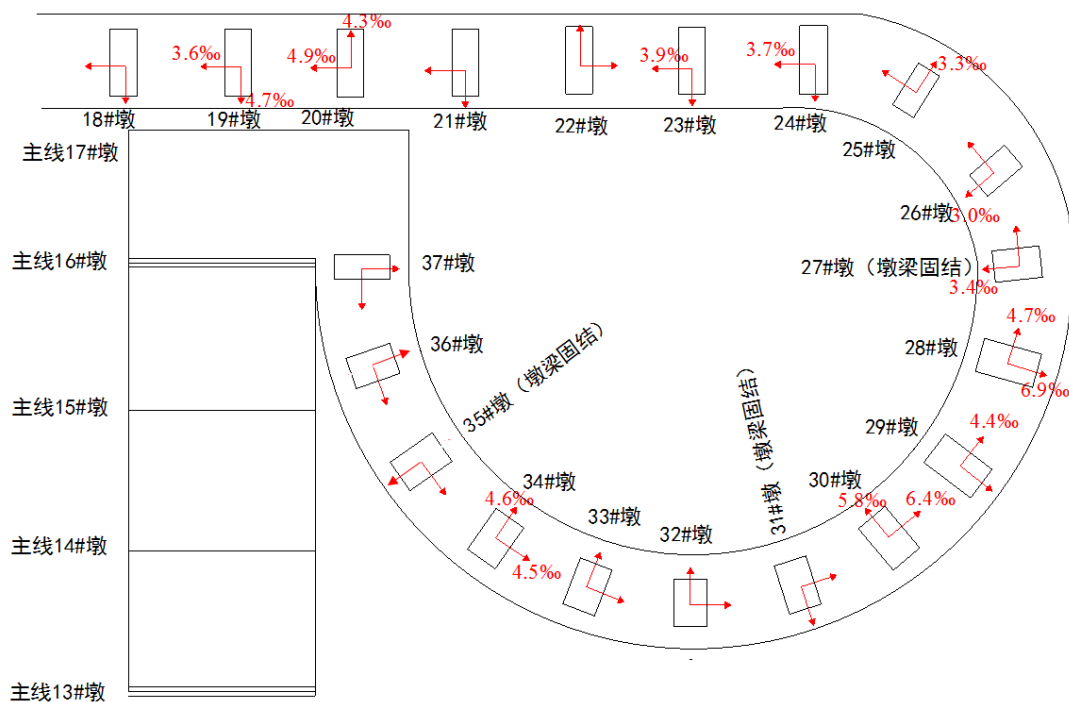


图 A.1.2-13 互通匝道桥墩垂直度检测总体示意图

2) 成因分析

结合现场推土情况, 并考虑到桥梁所处场地表层为淤泥, 厚度在 25m 左右, 且桩基长达 73~82m, 初步判断是由于不平衡堆土造成深层土体产生侧向滑移, 对桩基进行挤压而引起桥梁偏位。我进一步论证, 案例采用有限软软件分析堆土对桩基受力的影响。

(1) 堆土分析

选取堆土区域内桥梁 (第七~第十一联), 根据竣工资料中的结构资料及地质资料, 对实际土层进行简化, 按照地面以下 0~29m 为淤泥、29m~50m 为亚黏土、50m~60m 为中砂、60m~100m 为亚黏土考虑, 土层平面范围为 500m×500m, 将堆土按照实际堆土范围简化为矩形, 堆土高度为 6m, 按照包含①原地面②桩基、桥墩施工③主梁施工④堆土⑤卸土的施工阶段, 建立包含主梁、桥墩、承台、桩基以及土层的 GTS NX 堆土模型。如图所示:

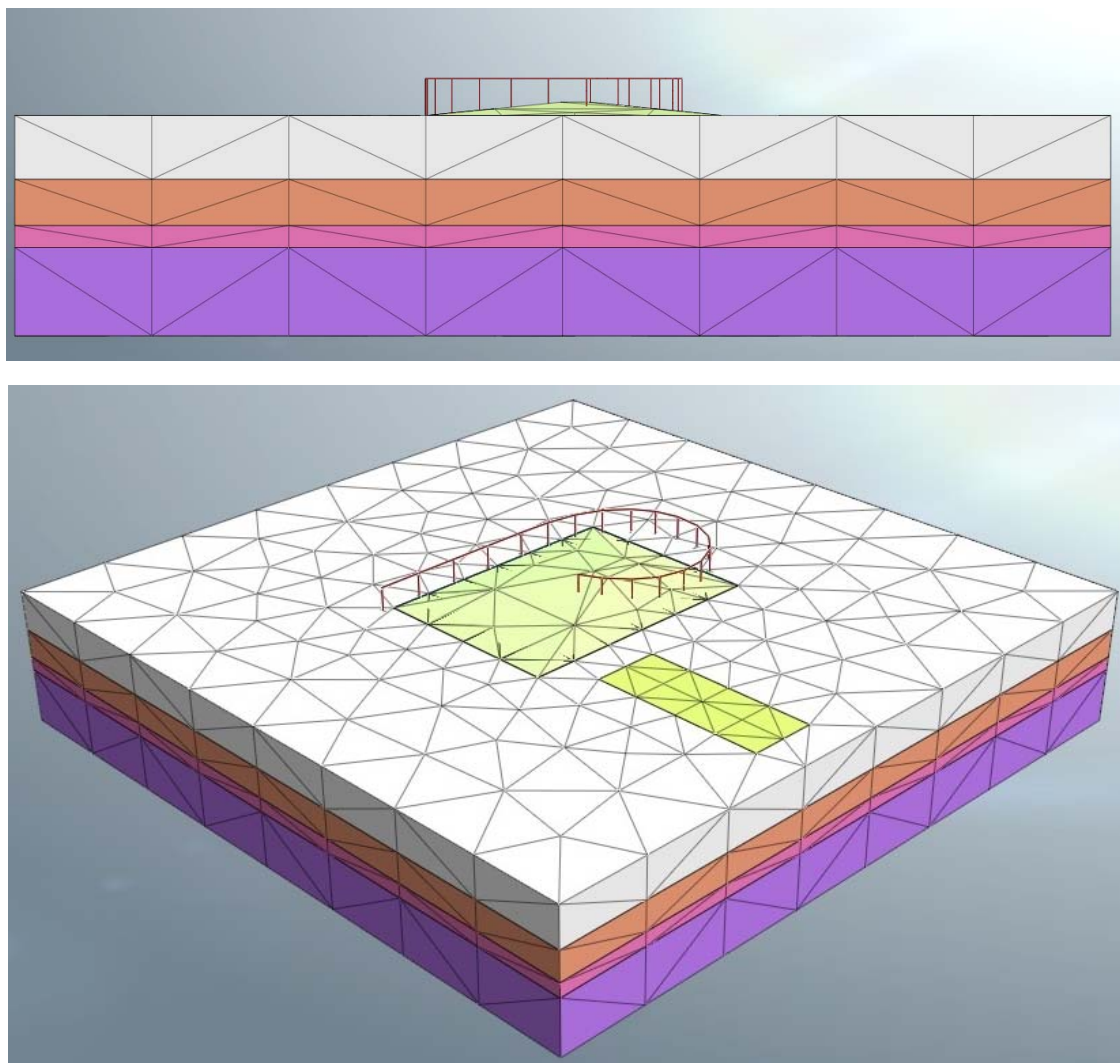


图 A. 1. 2-14 堆土 GTS NX 模型

(2) 墩身倾斜方向对比

根据 GTS NX 计算结果，得到堆土区域内（第 7~11 联）在卸土后的各墩柱的位移（倾斜）情况，与检测结果对比，如下图所示：

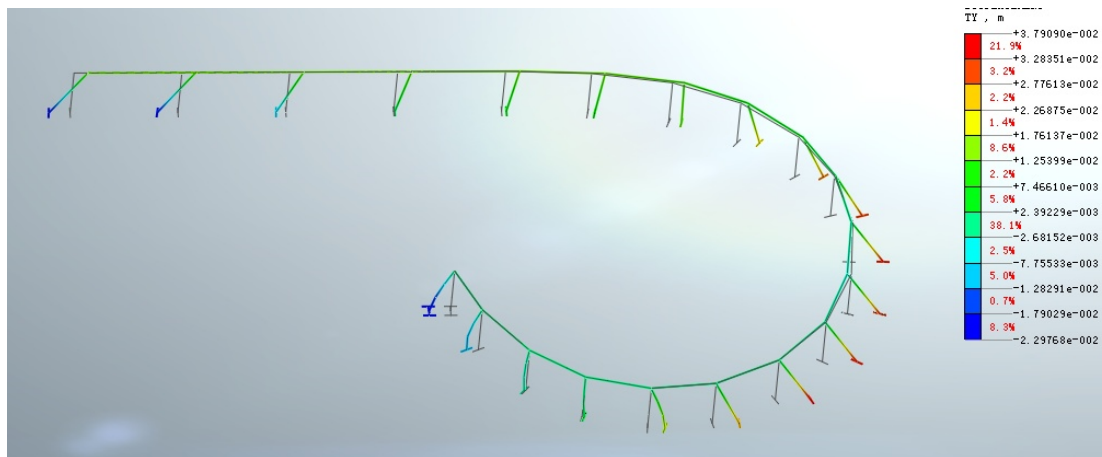


图 A. 1. 2-15 桥墩 y 方向位移情况（放大 500 倍后）

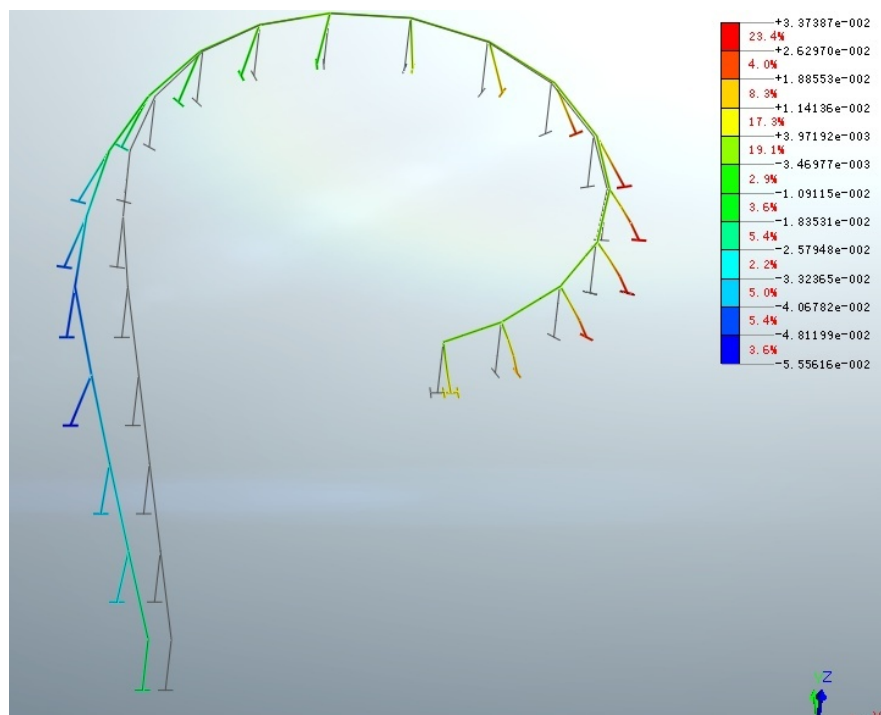


图 A.1.2-16 桥墩 x 方向位移情况（放大 500 倍后）

从对比结果可以看出，大部分墩柱实际倾斜方向和计算结果基本吻合（向堆土区域方向倾斜），因此基本上实证了引起桥梁偏位的原因就是堆土造成的不平衡土压力。

A.2 桥梁加固

A.2.1 加固设计

1 处治范围及目标

根据检测单位提供的检测数据：A 匝道桥梁体、桥墩、支座等偏位数据，部分桥墩基础、箱梁均存在偏位现象，通过对桥梁结构安全评估显示：除 35#桩基抗裂超限外（桩顶以下 2m 左右裂缝计算宽度 0.27mm）其余承载能力及抗裂验算均满足规范要求。经多方讨论后，明确以安评报告为重要依据，根据其结论及建议，对 A 匝道第十一联上部结构和 34#、35#、36#墩，以及右幅第七联上部结构和 20#、22#、28#、29#墩（图中红色标识）进行纠偏处治，纠偏复位后数值应满足安评单位的验算控制值：

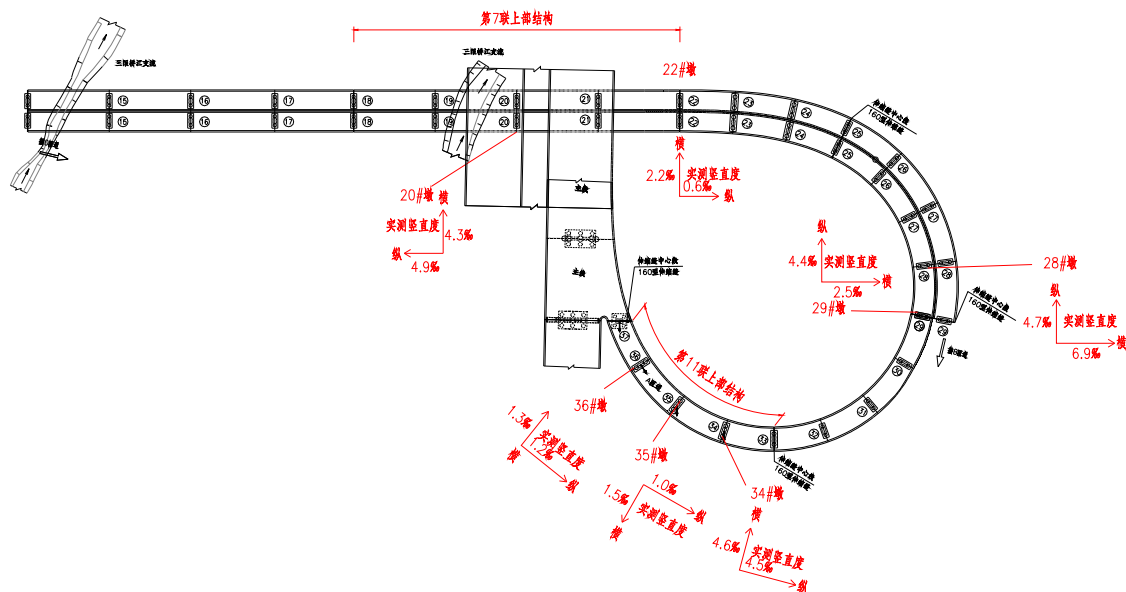


图 A.2.1-1 处治范围示意图

2 纠偏处治:

纠偏总体思路为先纠上部结构，再纠下部结构（桥墩纵向纠偏分为两个阶段，主要顺序：A 匝道固结墩（35#）、固定支座墩（20#）与对应箱梁纠偏→上部结构锁死→A 匝道下部结构（除固结墩外）纠偏→上部结构核查及二次调整→更换支座、伸缩缝等，拟采用方案具体如下：

1) 施工准备

施工前，对互通范围主线及 A 匝道桥全桥各结构部位偏位数据进行复测，并对全桥结构外立面进行复查，清理箱梁施工时浇筑的底面硬化平台，清理完成后，对系梁与桩基、墩柱等交接位置是否开裂进行检查。

2) A 匝道第 11 联上部结构及固结墩纠偏（35#）

（1）清理墩周所堆放的渣土（已完成）。开挖填土至承台位置，必要时要做临时防护措施，并通过钢筋混凝土护壁开挖至桩顶以下一定深度（视检测情况确定），验证安评计算反应的裂缝情况（计算深度为桩顶以下 2m 附近），若存在裂缝，则需对桩基加固后再进行下步工序。

（2）按图纸要求设置纠偏钢管桩及地锚，钢管桩应打穿淤泥质土层，并进入下一层三倍的桩径；

（3）在墩顶设置千斤顶，竖向顶升该位置处箱梁 1cm，整联支座处设置临时滑移面，并在该联伸缩缝处梁底与墩顶之间增设纵向顶推千斤顶装置；

(4) 按设计图纸打设施工应力消散孔，并在桩基偏位反方向一侧钻孔掏土，使桩侧形成一定的空间，消除或减少土的侧压力对桩基的水平推力作用。

(5) 通过梁底与桥墩的顶推装置控制纠偏时的梁体扭动及偏位情况，并新设的辅助钢管桩进行方向控制，确保其基本恢复到原设计位置。

(6) 设置辅助纠偏装置（钢丝绳，拉索杆，连接器，拉索装置等），纠偏拉力作用于承台位置，桥墩支座与梁体虽然设置了临时滑移面，但仍有一定摩擦助力，通过伸缩缝处梁底与桥墩之间增设的顶推千斤顶，在纠偏作业时辅助顶推，同时控制梁体线形。

(7) 桥墩纠偏到位后，持荷直至桥墩稳定，防止复偏。

(8) 待稳定后，对桩基进行完整性检测，并复核桥墩数据是否满足安评要求；若不满足，则需重新调整，若满足要求，则及时恢复桥墩四周填土。

3) A 匝道第 7 联上部结构及 20#墩纠偏（固定支座）

(1) 在墩顶设置千斤顶，竖向顶升该位置处箱梁 1cm，先对存在顺桥向偏位的墩顶支座处设置临时滑移面，并在伸缩缝位置及桥墩位置（除安装固定支座的墩外）设置反力架；

(2) 固定 0#台至 18#号墩伸缩缝宽度，通过水平千斤顶施力，借助临时滑移面，将桥跨结构向所需方向顶推。

(3) 顶推应该持荷缓慢地分阶段进行，并时刻关注桥墩的变化情况，梁体就位后设置临时限位装置。

4) A 匝道其余桥墩纠偏

(1) 清理墩周所堆放的渣土（已完成）。开挖填土至承台位置，必要时要做临时防护措施。

(2) 在墩顶设置千斤顶，顶升该位置处箱梁 1cm，先对存在顺桥向偏位的墩顶支座处设置临时滑移面，并在该处梁底与墩顶之间增设顶推千斤顶装置；

(3) 固定伸缩缝宽度、安装梁间横向限位装置，按设计图纸打设施工应力消散孔，并在桩基偏位反方向一侧钻孔掏土，使桩侧形成一定的空间。

(4) 通过梁底与墩顶之间增设顶推千斤顶，对存在顺桥向偏位的桥墩墩顶推纠偏施工。

(5) 对第一阶段无法纠偏到位的桥墩考虑设置纠偏钢管桩及地锚，钢管桩应

打穿淤泥质土层，并进入下一层三倍的桩径，作为反力基础进行同步纠偏（动态设计内容，必要时增设）。

（6）此类桥墩纠偏完成，并观测稳定后（以监控确认为准），及时恢复桥墩四周填土（注意要缓慢均衡回填），并解除伸缩缝固定。

（7）更换相应支座及伸缩缝。

3 处治要求

进行桥墩纠偏施工，为保证纠偏过程结构的安全，防止意外事件的发生，采用渐进式的方式进行分级加载，同时以实施位移及应变进行双控，以保证结构物安全为目标，以水平顶推力为控制手段。

纠偏复位实施过程中做好变形监测工作，根据测量的数据分析纠偏效果，随时调整顶推立大小，确保纠偏有效；在观测桩柱的变位情况下，对桩柱的竖直度、支座滑移情况、箱梁移动的情况也做详细记录，纠偏完成后，持力进行 48 小时观测。

A. 2. 2 加固施工

根据设计要求对互通 A 匝道桥第十一联上部结构和 34#、35#、36#墩，以及右幅第七联上部结构和 20#、22#、28#、29#进行纠偏处治，并更换相应桥墩支座和伸缩缝。

1 施工要点

施工主要流程为：施工准备→基坑开挖（包括 35#墩钢板桩围堰）→应力消散孔打设→基础硬化处理→支架搭设→梁体顶升临时滑移轨道安装→钢板反力装置安装→梁体顶推纠偏复位→墩柱纠偏→支座更换→伸缩缝更换。下面就部分施工详解如下：

1) 应力消散孔施工

根据设计要求在纠偏墩身前方要钻出应力消散孔，以释放在纠偏过程中产生的土体对桩基产生的横向应力。应力消散孔直径为 50cm，拟采用 100 型回旋钻机成孔。为保证应力消散孔成孔以后孔壁稳定，拟采用竹笼护壁的方法。应力消散孔深度根据地质情况钻通淤泥层。



图 A. 2. 2-1 应力消散孔施工



图 A. 2. 2-2 竹笼安放

2) 支架搭设

本工程脚手架均采用扣件式双排落地钢管脚手架，钢管为 $\Phi 48 \times 3.5$ ，材料为 Q235，竹脚手片跳板，阻燃密目安全网作业层封闭围护，搭设高度 4~12m。对进场的材料进行严格的把关。钢管、扣件在使用前均进行除锈，涂防锈漆。钢管在使用前内外壁都进行处理，提高脚手架安全系数。

根据作业部位分析，工作面均位于各墩身，支架采用单侧宽为 2.5 米的墩身四周环抱式构架，支架基础设置 C20 混凝土垫层。支架荷载按 $200\text{kg}/\text{m}^2$ 进行搭配设置。设置四周安全围护和施工人员安全梯（下部安装合成木板）。



图 A. 2. 2-3 基础硬化施工



图 A. 2. 2-4 支架搭设

3) 临时滑移轨道安装

(1) 梁体垂直顶升：利用现有墩身顶平面位置安装顶升千斤顶。设计图纸给出每墩顶升力为 8 台 $200\text{t}/\text{台}=1600\text{t}$ ，按此要求配备千斤顶。千斤顶采用液压扁平千斤顶联动整体顶升，通过高压电动油泵向千斤顶供油。采用平衡分流阀和监测系统控制梁体的起顶高度。顶升梁体时，为防止梁体侧移，在梁体的横向限位装置。安装临时滑道梁体在纠偏墩位置顶起高度为 1cm。

(2) 临时滑道安装：设置临时滑道目的，是在纠偏水平顶推的作用下，桥跨结构或墩身能在设定的临时滑移面上以较小的摩阻力按所要求的方向滑移。临时滑道由聚四氟乙烯板和不锈钢组成，不锈钢板厚 3mm，四氟板厚 2mm，滑道长度根据纠偏数据和现场放样确定，滑道前后端各有一段斜面，斜面接口采用圆弧过渡，与梁底交角 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，不可用折线衔接。安装方法，不锈钢板置于原支座顶面，四氟板胶水粘贴固定于梁底。滑板安装位置，施工中应考虑墩身的滑移量，在倾斜侧以原支座为基准边出露控制 5cm，多余部份留给推进方向。详见下图：



图 A. 2. 2-5 梁体顶升



图 A. 2. 2-6 滑移面安装

4) 反力装置安装

限位器由反力架，限位架两部份组成。反力架安装于箱梁底，限位架安装于墩身。准确量出梁底上的限位板与盖梁挡块之间距离，然后将直径 180mm 的无缝钢管用切割机割出相应的长度焊接在盖梁挡板上。限位板与无缝钢管之间垫上 2cm 厚橡胶板作缓冲。限位器委托生产厂家制造，工地自行安装，安装中应做好；锚固螺孔成孔前应探清墩身与梁体钢筋的位置，钢筋较密可适量移位，限位器与混凝土接触面应彻底清除污渍，并打磨成毛面，安装中涂沫一层 $2\sim 3\text{mm}$ 厚的粘钢胶，然后精固螺栓。安装后应重新喷涂一层防护，防腐要求符合设计图纸的要求。



图 A. 2. 2-5 反力架涂装



图 A. 2. 2-6 反力架安装

5) 梁体顶推复位

(1) 梁体顶推前应设好顶推梁的安全横向限位移装置，限位装置安装于 18# (33#)、19# (34#)、21# (36#) 墩被顶推箱梁对应墩身反力架的两侧，具体如下图示，以防止梁体在顶推过程中的横向移位。限位装置锚固于箱梁底板面，下面贴墩身反力架钢构件，中间加设临时滑板以减少磨阻。

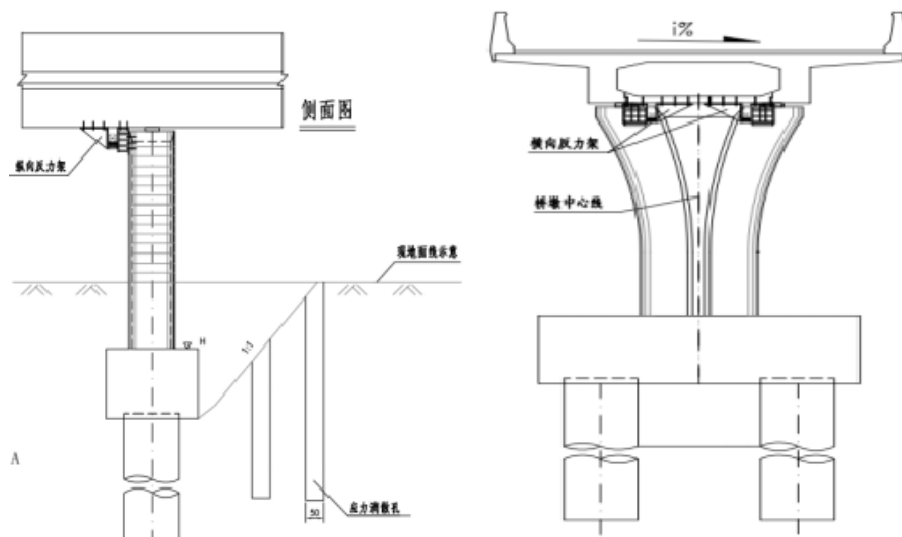


图 A.2.2-9 限位结构示意图

(2) 顶推装置安装，顶推装置设两组，分别为 a 组和 b 组，a 组安装于 18# (33#) 墩伸缩缝处梁底，b 组安装于 19# (34#) 墩、21# (36#) 墩，安装位置大桩号侧墩身中间，并在 20#墩小桩号侧墩身安装反力架，使 20#墩与梁体一起往大桩号向顶推。梁体在顶推纠偏顺桥向移动时，虽然在各支座处安装了临时滑道，但随着梁体往前移动，因临时滑道夹角发生变化等原因，会增加该处摩擦力，为了抵消摩擦力，所以在 19# (34#墩)、20#墩和 21# (36#) 墩增加顶推装置和千斤顶 b 组。顶推装置构造由反力架，推力座组成，反力架锚固于梁底，推力座置于对应墩身位置，由两台千斤顶同步实施推进，下图示：

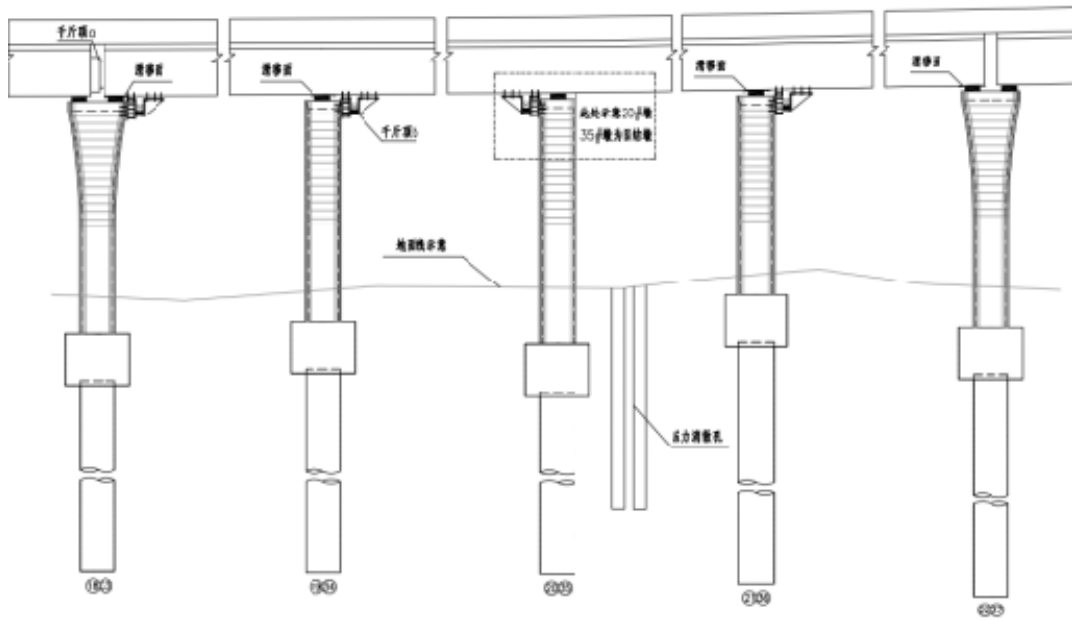
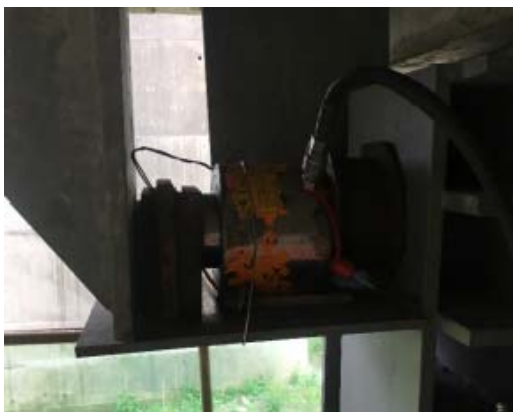


图 A. 2. 2-10 顶推装置示意图



(b) 辅助千斤顶



(a) 主推千斤顶



(c) 顶推力值调整

图 A. 2. 2-11 千斤顶施力过程

6) 墩柱纠偏复位

墩身纠偏顶推为分级进行，具体步骤如下：

第一级，顶推目标设 2cm，初始力值取 80kN，观测桩柱变化情况，若桩柱不产生蠕变，再逐步加大顶推力，顶推力为 80kN 一级，每级之间间隔 20 分钟，以便监控监测位移、应力、应变情况，分析后得出结果，再视实际情况继续加载顶推。当墩顶纠偏值达到 2cm 时，则停止顶推，量测墩身底部纠偏值，做好施工记录，并保持力值持荷，待第二天继续纠偏，同时使固定架螺母在拧紧状态。若执行第二阶段纠偏，则地锚上拉索与墩顶顶推同时进行，施加力分级进行加载，每 25kN 作为一个分级。每一级加载完成后持荷半小时，当加载达到 300kN 后，每一级持荷一小时。加载使桩柱发生位移后，维持此荷载，控制最大纠偏速率在 2cm/h 以内。纠偏过程中通过全站仪对桥墩进行持续观测，频率为每半小时一次，若在此荷载下 2h 内不再发生位移，则进行下一级加载，直至桥墩复位。

第二级，同第一天原理，目标值为墩顶位移 2cm，待纠偏值达到 2cm 时，停止顶推，量测墩身底部的纠偏值，保持力值，使固定架螺母在拧紧状态，待第三天继续纠偏。以此类推，每天根据纠偏的情况，测量墩柱的垂直度，直至垂直度满足规范的要求为止。

7) 桥梁顶升支座更换

本次维修工程更换 18#墩大桩号侧 2 个支座、19#墩 2 个支座、21#墩 2 个支座、22#墩 2 个支座、28#墩 2 个支座、29#墩 2 个支座、33#墩 2 个支座、34#墩 2 个支座、36#墩 2 个支座、37#墩匝道侧 2 个支座，共计 20 个支座。

(1) 用原桥墩作为顶升反力基础。墩柱顶面用干砂浆找平并垫上 25 cm×25 cm 的钢板作为整体顶升千斤顶的下支撑点，箱梁底部一般比较平整不需要做过多处理。

(2) 千斤顶布置

① 16#、17#、19#、20#墩千斤顶布置与纠偏时千斤顶数量、位置相同，如下图所示：

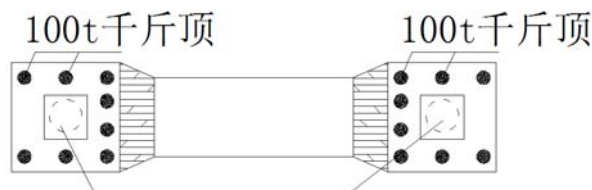


图 A. 2. 2-12 中央墩千斤顶布置图

② 18#为伸缩缝墩，顺桥向的两联箱梁在该处相接，大桩号、小桩号侧应同时顶升。千斤顶数量与 16#相同，结构形式同样为花瓶墩，每个墩顶的千斤顶布置如下所示：

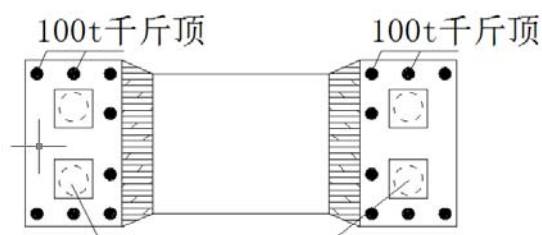


图 A. 2. 2-13 伸缩缝墩千斤顶布置



图 A. 2. 2-14 梁板顶升



图 A. 2. 2-15 支座更换

8) 伸缩缝施工

(1) 施工工艺流程：

凿除老伸缩缝混凝土，清理杂物、垃圾→整理原预埋钢筋，有缺失的植筋补充→安装多向变位铰→安装止水结构→在预留槽内浇注 C50 钢纤维混凝土→调平并安装跨缝板和固定梳形钢板→混凝土养护→验收。

(2) 施工方法：

① 用风镐人工凿除原伸缩缝混凝土，凿除时注意保护箱梁预埋钢筋。若发现原预埋钢筋与设计图纸比较有缺少的，则植筋补齐。

② 按设计图纸要求的几何尺寸安装多向变位铰、止水结构，预埋螺栓的位置、平面尺寸必须准确无误，且安装时固定牢固，防止在后续混凝土浇筑施工时变

形。

③ 梳齿板伸缩缝安装工作在日气温最高时进行，梳齿板横向间隙应不小于5mm，齿板的间隙应不小于15mm。安装时用3m长标准直尺纵向控制梳齿板与混凝土面的标高及平整度保持一致。

④ 伸缩缝橡胶条需伸出护栏外50cm，安装梁端间隙根据施工时的有效温度进行调整，具体如下：安装温度10℃，预留间隙 $150\pm 5\text{mm}$ ；温度20℃，预留间隙 $90\pm 5\text{mm}$ ；温度30℃，预留间隙 $60\pm 5\text{mm}$ 。

⑤ 预留槽混凝土浇筑，梁端空隙用泡沫板塞密实。混凝土浇筑前先将混凝土结合面用水充分湿润后排除积水。混凝土振捣时严防振捣棒触碰预埋件，振捣密实后，表面用3m直尺刮平，使其平整度与老桥面一致。收面分二次进行，第二次收面控制在初凝后终凝前进行。

⑥ 伸缩缝梳齿板安装后检查与混凝土接触是否密实，若有空隙，须采取措施处理。

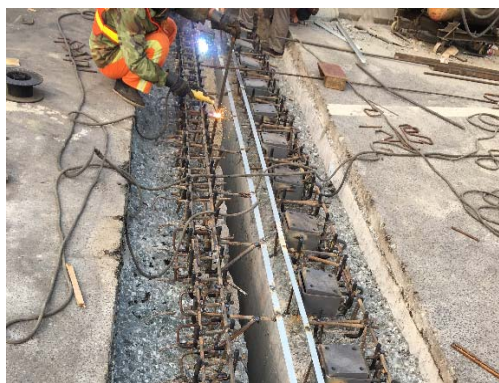


图 A. 2. 2-16 伸缩缝安装



图 A. 2. 2-17 伸缩缝浇筑

A. 3 质量评定

纠偏加固后桥梁整体状况较好，滑移支座已更换，支座整体安装状况较好，未出现明显脱空、剪切、异常变形等病害。桥墩与箱梁间粘结的限位钢板锚固螺栓连接牢固，钢板稳定，钢板表面涂层均匀。伸缩缝表面平整洁净，无机械损伤，无毛刺，无锈蚀；橡胶表面光滑平整，无缺陷；焊缝均匀，无气孔、夹渣等缺陷；涂装表面平整，无脱落、流痕、褶皱等现象。

从现场观测数据来看，墩柱纠偏量已满足纠偏目标值要求，且桥梁结构趋于稳定。另外，交工检测结果表明纠偏加固后Y20#、Y22#、Y28#、Y29#、34#、35#、

36#桥墩顺桥向垂直度均未超出《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1-2017)允许垂直度,各指标均已满足设计及安评要求。