

公路桥梁加固改造技术指南

Technical guide for reinforcement of highway bridge

征求意见稿

2017年·北京

公路桥梁加固改造技术指南

Technical guide for reinforcement of highway bridge

征求意见稿

主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：安徽省公路管理局

中交公路规划设计院有限公司

尚德建设集团有限公司

施行日期：201X年XX月XX日

前 言

为加强对公路桥梁加固改造的质量管理，指导公路桥梁加固改造的项目建议书、可行性研究、检测、设计、施工、工程验收和评价全过程的活动，保证加固改造工程质量，制定本指南。

编写组按照“全面、实用”的指导原则，进行了广泛的调查研究，查阅了大量国内外有关公路桥梁加固改造的文献资料，积极吸纳近年来国内公路桥梁加固改造技术最新研究成果；积极吸纳近年来经工程验证的成熟技术和好经验、好做法；掌握国际先进标准的动态，积极采用经验证符合我国国情的国际标准和国外先进标准；广泛征求主管部门、项目业主、设计、施工等的意见，制订的技术内容充分考虑工程实施的可行性和可操作性，经反复讨论、修改，最终经审查定稿，完成了编制任务。

本标准共分 14 个章节，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、方案设计、加固方法与实施要点、钢筋混凝土及预应力混凝土上部结构加固技术、钢桥及钢-混组合结构桥梁上部结构加固技术、斜拉桥上部结构加固技术、悬索桥上部结构加固技术、拱桥上部结构加固技术、桥梁下部结构及地基加固技术、桥梁结构改造技术、桥梁结构维修技术、工程验收与评价等。

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给交通运输部公路科学研究院（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮政编码 100088），以供今后修订时参考。

主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：安徽省公路管理局

中交公路规划设计院有限公司

尚德建设集团有限公司

主要起草人：

目 录

1 总则	1
2 术语	1
3 基本规定	3
3.1 加固改造工程分类	3
3.2 加固改造工程管理要求	3
3.3 加固改造工程技术要求	4
3.4 工作程序	4
4 方案设计	6
4.1 方案制定要求	6
4.2 技术经济分析要求	6
4.3 社会影响分析要求	6
4.4 方案比选及方案确定	7
5 加固方法与实施要点	8
5.1 一般规定	8
5.2 粘贴钢板加固法	8
5.3 粘贴纤维复合材料加固法	10
5.4 增大截面和配筋加固法	13
5.5 体外预应力加固法	16
5.6 改变结构体系加固法	19
5.7 外包钢加固法	31
5.8 桥面补强层加固法	34
5.9 增加构件加固法	37
6 钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁上部结构加固技术	44
6.1 总体	44
6.2 板梁桥加固	44
6.3 肋梁桥加固	51

6.4 箱梁桥加固	65
7 钢桥及钢-混组合结构梁桥上部结构加固技术	82
7.1 总体	82
7.2 钢板梁桥加固	82
7.3 钢箱梁桥加固	88
7.4 钢桁梁桥加固	99
7.5 钢-混组合结构梁桥加固	103
8 斜拉桥上部结构加固技术	105
8.1 总体	105
8.2 主梁结构加固	105
8.3 主塔结构加固	105
8.4 斜拉索加固	108
8.5 支撑体系加固	113
8.6 结构状态恢复与调整	114
9 悬索桥上部结构加固技术	117
9.1 总体	117
9.2 主梁结构加固	117
9.3 主塔结构加固	117
9.4 缆索加固	118
9.5 锚碇加固	127
9.6 结构状态恢复与调整	128
10 拱桥上部结构加固技术	130
10.1 总体	130
10.2 圯工拱桥加固	130
10.3 钢筋混凝土拱桥加固	136
10.4 钢管混凝土拱桥加固	149
10.5 钢拱桥加固	152

11 桥梁下部结构及地基加固技术	155
11.1 盖梁加固.....	155
11.2 墩台身加固.....	156
11.3 墩台基础加固.....	161
11.4 墩台地基加固.....	164
12 桥梁结构改造技术	171
12.1 桥梁加宽改造技术	171
12.2 桥梁主梁置换技术	174
12.3 桥梁结构复位技术	176
12.4 桥梁能力提升技术	181
13 桥梁结构维修技术	183
13.1 混凝土表面修复与防护	183
13.2 预应力管道补压浆	187
13.3 支座与伸缩装置更换	189
14 工程验收与评价	194
14.1 一般规定	194
14.2 工程验收	194
14.3 效果评价	195
本指南用词说明.....	196

1 总则

1.0.1 为加强对公路桥梁加固改造工程的质量管理，指导公路桥梁加固改造的项目可行性研究、检测、设计、施工、工程验收和评价全过程的活动，保证加固改造工程质量，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于各类公路桥梁的维修、加固、改造。本指南可作为公路桥梁管养单位（建设单位）、工程设计单位、工程施工单位、工程监理单位、质量检测机构和质量监督部门对公路桥梁加固改造质量的管理、监控和检验评定的依据。

1.0.3 公路桥梁加固改造技术应按照国家有关基本建设和管理程序，要贯彻统筹规划、先重后轻、防治结合、预防养护为主的基本方针，依据相关标准规范，遵循“安全、耐久、经济、适用、环保”的原则进行，尽可能消除桥梁结构上的安全隐患，杜绝因桥梁技术状况原因引起的桥梁垮塌等安全事故。

1.0.4 指南以常规加固改造为主，对特殊要求的桥梁，需通过专门研究确定；在加固改造过程中，倡导推广使用成熟的并经主管部门鉴定或批准的新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.5 公路桥梁加固改造除应满足本指南有关规定外，尚应符合国家、行业相关标准、规定的规定。

2 术语

2.1.1 桥梁加固 strengthening of existing bridges

对桥梁的主要承重结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其满足现行设计规范要求。

2.1.2 增大截面加固法 structure member strengthening with R.C& P.C

通过增大原构件截面面积并增配钢筋，以提高其承载力和刚度的方法。

2.1.3 粘贴钢板加固法 structure member strengthening with bonded steel plate

采用结构胶粘剂粘贴钢板（型钢）以提高构件承载力的方法。

2.1.4 粘贴纤维复合材料加固法 structure member strengthening with FRP

采用结构胶粘剂粘贴纤维复合材料以提高构件承载力的方法。

2.1.5 体外预应力加固法 structure member strengthening with external prestressing

通过施加体外预应力，使原结构、构件的受力得到改善和调整的方法。

2.1.6 改变结构体系加固法 strengthening by changing structure system

通过改变结构体系，使原结构的受力得到改善或调整的方法。

3 基本规定

3.1 加固改造工程分类

3.1.1 公路桥梁加固改造工作总体上包括《公路养护工程管理办法》中规定涉及桥梁的修复养护和应急养护工程。

3.1.2 桥梁修复养护工程是在桥梁构造物已出现明显病害或部分丧失服务功能的情况下,以恢复技术状况为目标,针对桥梁构造物发生的不同程度损坏而进行的功能性、结构性修复、加固、改造或重建,并配套完善公路沿线设施。

3.1.3 应急养护工程是在突发事件发生后,造成公路桥梁,以最快速度恢复公路通行为目标,针对造成公路中断或者严重影响公路安全通行的损害而实施的应急性抢通、保通、抢修及灾毁修复工程。

3.2 加固改造工程管理要求

3.2.1 总体管理要求

1 公路桥梁加固改造的工程管理要求,基本建设程序、监督管理要求按《公路工程养护管理办法》有关规定执行。

2 对于工程内容接近于新建项目的桥梁改扩建工程可按照相关桥梁建设项目相关管理规定执行。

3.2.2 立项

1 凡纳入省危桥改造数据库的项目视为已立项。

2 对列入桥梁加固改造计划的桥梁,必须开展桥梁的技术状况检测评定和必要的特殊检查工作。加强结构物承载力评定,强化对显性、隐性病害的诊断分析,摸清桥梁病害的程度、发展状态、成因及影响。

3.2.3 设计

1 对于中小跨径桥梁的修复性加固改造工程,且工程投资在 500 万元以下的项目,可采用一阶段施工图设计。

2 对于大桥、特大桥以及技术特别复杂的桥梁加固改造项目，可以采用方案设计和施工图设计两阶段设计。

3 设计文件须经过桥梁主管部门审查，批准后方可实施。

3.2.4 施工

1 桥梁加固改造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。

2 规模较大的桥梁加固改造工程可根据需要开展监理咨询、过程监测等第三方服务。

3.3 加固改造工程技术要求

3.3.1 公路桥梁改造设计优先采用成熟可靠的工艺与方法，对于采用新技术、新材料、新工艺、新设备的，应当在设计文件中对施工工艺和验收标准进行详细说明。采用的新技术、新材料，涉及工程质量和安全，且尚未制定国家、行业标准或者地方标准的，应当经过试验论证审定后方可规模化使用。

3.3.2 桥梁结构由于种种原因不能满足使用的安全性、耐久性要求，经过技术状况评定及承载能力鉴定，其加固改造可行性须经充分论证。加固工作的内容应根据评定结论和使用要求确定。

3.3.3 桥梁加固前，应按照有关要求及相关规范对其技术状况、承载能力进行检测、评定。依据桥梁技术状况、病害成因、加固目标、施工条件等，并综合考虑加固方案的社会、经济、技术指标，确定适当的加固方法。

3.3.4 加固改造后的桥梁应满足现行公路工程技术标准有关要求。

3.4 工作程序

3.4.1 根据公路桥梁维修、加固、改造三类工程特点，整体上可分为项目建议书、可行性研究、检测、设计、施工、工程验收与评定等阶段制定公路桥梁加固改造的工作程序。

3.4.2 对于修复养护类的桥梁加固改造工程，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。

3.4.3 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）的桥梁加固改造项目前期工作应开展工程可行性研究。

3.4.4 对于列入桥梁加固改造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检查。

3.4.5 桥梁加固改造实施环节应按《公路工程养护工程管理办法》、《公路养护工程质量检验评定标准》有关规定执行。

4 方案设计

4.1 方案制定要求

4.1.1 桥梁加固改造工程实施前应根据桥梁的技术状况、桥梁主要病害的严重程度及结构承载性能等方面的检测评定情况，开展桥梁加固改造工程设计。

4.1.2 桥梁加固改造设计应当遵循以下要求：

(1) 坚持优先采用方法工艺相对成熟的、经久耐用的加固措施；

(2) 尽量减少加固改造对原结构的损伤，尽量降低养护工程施工对交通和环境的影响；

(3) 坚持系统性原则，针对不同病害的分布特点进行分段、分类设计的同时，应适当考虑加固措施对整体结构的影响，避免“头痛医头、脚痛医脚”现象；

(4) 坚持加固措施的可实施性，因地制宜合理选取加固改造实施方案；

4.1.3 对于需开展初步设计的桥梁加固改造工程，针对主要加固改造措施应提出不少于 3 种的技术方案，并进行技术经济比较。

4.2 技术经济分析要求

4.2.1 技术经济分析应基于桥梁全寿命周期的理念，综合考虑加固费用、加固效果、加固寿命及社会经济效益等方面因素的影响

4.2.2 当加固改造费用超过新建桥梁费用的 60% 以上时，不宜考虑采用该加固方案。

4.2.3 各项加固改造措施使用寿命不应小于 5 年，加固后桥梁整体剩余使用寿命应满足规范要求。

4.2.4 设计文件应给出表征主要措施加固效果的技术指标。

4.3 社会影响分析要求

4.3.1 加固改造方案应避免造成重大社会影响，须综合考虑交通出行、运输

成本、环境保护等方面的影响。

4.3.2 对于技术难度大、结构复杂的桥梁加固工程应开展安全风险评估，提出应急预案。

4.3.3 加固改造方案应按有关规定提前做好各项公告，减少社会影响。

4.4 方案比选及方案确定

4.4.1 两个及以上加固改造方案比选应综合考虑经济性、技术性以及社会影响等因素。综合比较技术方案中结构计算分析难易程度及准确性、构造措施合理性、施工难度、工艺成熟度、质量和工期等因素；同时需考虑施工作业对交通安全、结构安全的影响程度以及加固改造后结构耐久性等方面的影响。

4.4.2 加固方案由项目管理单位负责审批，对于技术复杂、难度大的项目可通过专家咨询的方式，综合确定或改进桥梁加固改造方案。

4.4.3 一般来说，只有符合下列条件时，加固方案才被认为是可行的。

(1) 桥梁加固后，其结构性能、承载标准以及加固技术的耐久性都能达到使用要求。

(2) 桥梁下部结构要有足够的承载能力，以满足上部结构加固后桥梁自重和通行荷载增加对基础的要求。如基础承载能力不足，则应采取措施首先加固下部结构。

(3) 加固可节省材料、费用和时间，比改建新桥有较大的经济效益。在分析经济效益时，应包含改建或加固中断交通所造成的经济损失，一般情况下，可认为加固比改建节省费用 60% 以上才是有价值的。

5 加固方法与实施要点

5.1 一般规定

5.1.1 公路桥梁加固改造技术原则上应遵循《公路桥梁加固设计规范》、《公路桥梁加固施工技术规范》进行。对两部规范尚未涵盖的加固方法，也可采用通过技术鉴定和经工程实际应用验证的可靠方法。

5.1.2 公路桥梁加固改造宜依据竣工资料或设计资料，并应与桥梁通过检测确定的实际情况进行核对修正，对缺失资料的桥梁，可根据检测结果，参考同年代类似桥梁的设计资料或标准定型图确定。

5.1.3 公路桥梁加固改造针对不同桥型结构，从不同桥型结构的主要承重构件入手，把握关键部位的重点病害，提出针对性的加固措施，并考虑新增措施对桥梁结构整体的影响。

5.2 粘贴钢板加固法

5.2.1 特点及适用条件

粘贴钢板法特点：将粘结剂及锚栓将钢板粘贴锚固在混凝土结构的受拉或薄弱部位，使其与结构形成整体，以钢板代替增设的补强钢筋，提高桥梁承载能力。

粘贴钢板法适用条件：

序号	构件病害情况	构件类型	环境条件
1	主梁承载能力不足	受弯	环境温度：-20℃~60℃
2	纵向主筋出现严重锈蚀	受剪	湿度：相对湿度不大于 70%
3	梁板桥的主梁出现严重横向裂缝	弯、拉	无化学腐蚀

粘贴钢板法附加影响：

- (1) 需要对结合面进行处理，并钻埋螺栓孔，对原结构产生损伤；
- (2) 钢板需作防腐处理，增加了日后养护的费用。

5.2.2 粘贴钢板加固法的材料要求

钢板：加固用钢板一般 Q235 钢为宜，钢板、连接螺栓及焊缝的强度设计值，应按现行钢结构设计规范规定采用。

粘结剂：强度高、耐久性好、具有一定弹性。

混凝土：混凝土的轴心抗拉强度标准值及设计值按现行规范规定采用。混凝土的抗剪强度试验值、标准值及设计值应符合规定。

5.2.3 粘贴钢板加固法的计算要求

梁（板）受拉区粘贴钢板需进行如下两方面的计算：（1）正截面承载能力极限状态计算；（2）钢板锚固粘结长度计算。

梁（板）受剪切区粘贴钢板需进行如下内容计算：（1）斜截面承载能力极限状态计算；

5.2.4 粘贴钢板加固法的施工要求

施工要求：（1）加固构件结合面处理；（2）钢板粘合面处理；（3）不中断交通或中断交通条件；（4）配胶；（5）粘贴要求；（6）固定与加压；（7）固化；（8）检验；（9）防腐处理。

构造要求：（1）混凝土强度等级不应低于 C20；（2）钢板厚度以 2~6mm 为宜，一般取 4mm；（3）粘贴钢板的锚固长度对于受拉区不得小于 200t（t 为钢板厚度），亦不得小于 600mm；对于受压区，不得小于 160t，亦不得小于 480mm；对于大跨度或可能经受反复荷载，锚固区尚宜增设 U 形箍板或螺栓等加固措施；（4）钢板及其邻接的混凝土表面，应进行密封防水处理。

5.2.5 粘贴钢板加固法工程质量检验评定方法

基本要求：（1）粘贴钢板加固所用材料类别、规格及质量应符合相关规范及设计要求；（2）按规定的程序施工，加压及固化时间应符合设计要求；（3）锚固螺栓数量、规格、钢板的搭接长度不得少于设计值；（4）按设计要求进行防腐处理。

实测项目及标准：

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	加固构件结合面处理	满足设计要求	目测	100%

2	钢板粘贴结合面处理	满足设计要求	样板、目测	100%
3	钻孔深度、孔径、螺栓植入深度	满足设计要求	用尺量	20%
4	粘贴	锚固区粘结面积大于等于 90%；非锚固区粘结面积大于等于 85%	超声探测或敲击	20%
5	外观	满足设计要求	目测	100%

5.3 粘贴纤维复合材料加固法

5.3.1 特点及适用条件

粘贴纤维复合材料加固特点：用浸渍树脂将高强度纤维片材粘贴在结构构件表面上，固化后形成具有纤维增强效应的复合体结构，以此提高构件的抗拉能力或约束力，达到加固的目的。施工简便、快速，不增加原结构重量和影响结构外形。

粘贴纤维复合材料加固的适用条件：适用于钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏向受压及受拉构件的加固。不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋一侧配筋率小于 0.2% 的构件加固。

粘贴纤维复合材料加固的附加影响：

无

5.3.2 粘贴纤维复合材料加固法的材料要求

纤维织物的材料要求：

纤维布：表面应干净、无褶皱，纤维丝排列均匀、连续，无断丝、结扣等缺陷。缺纬、脱纬现象，每 100m 不得多于 3 处。

碳纤维板：纤维连续，排列均匀，无褶皱、断丝、结扣；表面平整、色泽一致、树脂分布均匀，无颗粒、气泡、毛团；层间无裂纹，无异物夹杂；无破损、划痕。

胶粘剂的材料要求

配套的底胶、修补胶和浸渍/粘结胶应满足如下要求：（1）底胶和修补胶应

与浸渍/粘结胶相适配，其性能应分别符合相关试验方法标准；（2）浸渍/粘结用胶粘剂应采用改性环氧树脂胶，其安全性检验指标必须符合相关试验方法标准，进场时，应对其钢-钢粘结抗剪强度、纤维层间剪切强度及钢-混凝土正拉粘结强度等三项性能进行复验，其安全性检验指标必须符合相关试验方法标准。

免底漆，浸渍、粘结与修补兼用的单一胶粘剂，需厂商出具免底漆胶粘剂量证书，使用单位留档备查。

纤维复合材料材料要求

纤维复合材料必须采用连续纤维，其安全性及适配性检验指标应符合相关试验方法标准，禁止使用来源不明的纤维布和碳纤维板，以及未做适配性检验的纤维材料和胶粘剂。

5.3.3 粘贴纤维复合材料加固法的设计要求

- 1 混凝土桥梁结构自重大，加固时不能完全卸载，必须考虑二次受力。
- 2 加固设计计算时，必须考虑所有的设计工况和荷载组合，计算过程包括承载能力极限状态和正常使用极限状态的验算。一般情况下，正常使用极限状态将控制加固设计。
- 3 承载能力极限状态的验算中要考虑到可能发生的各种破坏形态。通常将破坏模式分为两大类，即粘贴纤维复合材料后能整体工作的构件与粘贴纤维复合材料后不能整体工作的构件。
- 4 正常使用极限状态的验算包括（1）应力的限制，以避免钢筋的屈服、混凝土的破坏；（2）变形的限制；（3）开裂的限制（包括粘结界面），以保证结构的耐久性与粘结的完整性。
- 5 外贴纤维复合材料加固钢筋混凝土结构构件时，应将纤维复合受力方式设计成仅承受拉应力作用。在进行受弯构件正截面加固计算时，钢筋混凝土结构构件加固后，其正截面受弯承载力的提高幅度，不应超过 40%，并应验算其受剪承载力，避免因受弯承载力提高后而导致构件受剪破坏先于受弯破坏。
- 6 意外的设计情况（特殊的设计）应考虑由于撞击、故意破坏或火灾等引起

的纤维复合材料的脱落。

5.3.4 粘贴纤维复合材料加固法的施工要求

- 1 被加固的混凝土结构构件，其现场实测混凝土强度等级不得低于 C20。
- 2 采用纤维复合材料对钢筋混凝土结构进行加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。
- 3 粘贴在混凝土构件表面上的纤维复合材料，不得直接暴露于阳光或有害杂质，其表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害，且应与胶粘剂有可靠的粘结强度及相互协调的变形能力。
- 4 采用纤维复合材料加固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于 60°C；处于特殊环境（如高温、高湿、介质侵蚀等）的混凝土结构采用本方法加固时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂，并按专门的工艺要求进行粘贴。

5.3.5 粘贴纤维复合材料加固法工程质量检验评定方法

基本要求：（1）粘贴纤维复合材料加固所用材料，应符合质量标准，并具有出厂合格证，其各种性能指标及技术参数均应符合设计和相关规范的要求，适合现场温度、湿度条件；（2）应严格按有关规范进行各种工序隐蔽工程检验与验收，如施工质量不能满足相关条款要求时，应立即采取补救措施或返工。（3）纤维复合材料实际粘贴面积、搭接长度等符合设计要求；（4）必要时可对施工质量进行现场抽样检验；（5）必要时可对纤维复合材料和胶粘剂进行现场取样检验。

实测项目及标准：

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定，特殊实测项目见下表

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	构件表面处理	满足设计要求	目测	100%
2	粘贴位置	偏差小于 10mm	用尺量	100%
3	粘贴质量	有效粘结面积大于等于 95%	指压和敲击	20%

4	现场取样检验	混凝土破坏	取样机	2%~3%

5.4 增大截面和配筋加固法

5.4.1 特点及适用条件

增大截面和配筋加固法特点：在构件表面加大混凝土尺寸，增加受力钢筋，使其与原结构形成整体，从而增大构件有效高度和受力钢筋面积，增加构件的刚度，提高桥梁整体承载能力。采用增大截面法加固，结构可靠性好，构件承载力、刚度提高幅度大，增加了结构稳定性。

增大截面和配筋加固法的适用条件：广泛适用于钢筋混凝土受弯、受剪和受压构件的加固，适用于梁（板）桥及拱桥拱肋的加固。

增大截面和配筋加固法的附加影响：

- 1 加大构件截面时，会使上部结构恒载增加，对原结构及基础承载能力有一定影响。
- 2 构件尺寸的增大可能影响使用功能。
- 3 加固后易引起地震力的增加和薄弱位置的转移，要注意结构自振特性的改变。

5.4.2 增大截面和配筋加固法的材料要求

混凝土：

- 1 优先选用早强砂浆和早强混凝土或膨胀混凝土；
- 2 配制混凝土用的石子宜用坚硬耐久碎石，其最大粒径不宜大于 20mm。

钢筋：当采用钢筋补强时，纵向受力钢筋的直径不宜小于 12mm；封闭式箍筋直径不宜小于 8mm。U 形箍筋直径宜与原有箍筋直径相同。

5.4.3 增大截面和配筋加固法的设计要求

- 1 增大主梁混凝土截面和增加配筋后，使主梁成为二次受力的叠合构件，原

主梁的混凝土和钢筋除了已有的应力外，还需要承受后期恒载和活载产生的应力。因此需按二次受力的叠合梁进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的验算。

2 当被加固构件界面处理及其粘结质量符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）规定时，可按整体截面计算。

3 如果桥面铺装部分得到加固，可适当考虑部分铺装层参与受力。

4 增大截面和配筋法加固的受弯构件计算要求：

计算项目	计算内容	计算要求
承载能力极限状态计算	正截面承载能力计算	采用现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62-2004）中钢筋混凝土或预应力混凝土构件的正截面强度计算公式。当混凝土加固受拉区时，计算中混凝土强度等级采用原混凝土的，如混凝土加固受压区时，混凝土强度等级按受压区的实际情况取用。
	斜截面承载能力计算	二次受力叠合梁的斜截面抗剪强度仍然考虑混凝土、箍筋和斜筋三部分，其中，混凝土和箍筋的抗力取用构件中较低的混凝土强度等级进行计算，如为预应力混凝土构件，则不考虑预应力对抗剪的有利影响。斜筋的抗力仍取斜截面范围内的斜筋计算。
正常使用极限状态计算	纵向钢筋应力计算	钢筋混凝土叠合受弯构件在荷载的短期效应组合下，纵向钢筋的应力应符合相关要求。
	裂缝宽度计算	裂缝宽度按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62-2004）规范中钢筋混凝土构件的裂缝宽度公式计算，并满足限制值要求。在计算钢筋应力时，采用上述钢筋混凝土叠合受弯构件在荷载的短期效应组合下纵向钢筋的应力结果。
	变形计算	可将叠合受弯构件作为整体构件进行计算，但叠合截面的结构刚度在原结构刚度的基础上需进行折减。

5 对于在受拉区采用增大截面和配筋法加固的受弯构件，可按照一般计算原则计算，但应考虑以下不同点：

（1）新加部分承载力应乘以共同工作系数 φ 进行折减，对于正弯矩截面受弯构件 $\varphi=0.9$ ；对于斜截面抗剪构件 $\varphi=0.7\sim 0.9$ 。

(2) 加固结构截面受压区高度与一般受弯构件是不同的。

(3) 当新加钢筋与原钢筋相距较远时,受拉区混凝土可能会出现较大裂缝,应采取适当措施,满足使用要求。

6 偏心受压构件

当用增大混凝土截面法加固钢筋混凝土偏心受压构件时,应按整体截面以现行国家标准中有关公式进行其正截面承载力计算。其中,新增混凝土和纵向钢筋的强度设计值应按下列规定予以折减:

(1) 压区新增混凝土和纵向钢筋的抗压强度设计值乘以 0.9 的系数;

(2) 拉区新增纵向钢筋的抗力强度设计值乘以 0.9 的系数。

5.4.4 增大截面和配筋加固法的施工要求

1 采用增大截面和配筋法加固时,按现场检测结果确定的原构件混凝土强度等级不应低于 C20。

2 采用增大截面加固法对混凝土结构进行加固时,应采取措施卸除或大部分卸除作用在结果上的活荷载。

3 采用增大截面和配筋法加固时,原构件混凝土表面应经处理,设计文件应对所采用的界面处理方法和处理质量提出要求。一般情况下,除混凝土表面应予打毛外,尚应采取涂刷结构界面胶、种植剪切销钉或增设剪力键等措施,以保证新旧混凝土共同工作。

4 当新增截面中的钢筋需要焊接在原构件主筋上时,在施焊前,应根据实际情况,逐根分区分段分层进行焊接,以减少原受力钢筋的热变形,使原结构的承载力不致受到较大影响。

5 新增混凝土层的最小厚度,板不应小于 40mm;梁、柱,采用现浇混凝土、自密实混凝土或灌浆料施工时,不应小于 60mm,采用喷射混凝土施工时,不应小于 50mm。

6 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距不应小于 25mm,并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接。当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋焊接时,短筋的

直径不应小于 25mm，长度不应小于其直径的 5 倍，各短筋的中距不应大于 500mm。当截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形箍筋，U 形箍筋应焊在原有箍筋上，单面焊的焊缝长度应为箍筋直径的 10 倍，双面焊的焊缝长度应为箍筋直径的 5 倍。当用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋。

7 梁的新增纵向受力钢筋，其两端应可靠锚固；柱的新增纵向受力钢筋的下端应伸入基础并应满足锚固要求。

5.4.5 增大截面和配筋法加固法工程质量检验评定方法

基本要求：

(1) 加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；

(2) 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施要求来保证施工质量，结合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F20-2011) 重点检查和控制结合面处理、钢筋焊接、混凝土浇筑及养生，确保新旧混凝土能够共同受力。

(3) 按设计要求对缺陷进行修补。

实测项目及标准：

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定，特殊实测项目见下表。

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	结合面处理	满足设计要求	目测	100%
2	增厚部分	满足设计要求	钻芯法	不少于 10 组

5.5 体外预应力加固法

5.5.1 特点及适用条件

体外预应力加固特点：沿结构构件表面铺设预应力筋，通过施加合适的预应力，以改善原结构的应力、变形状态，以提高结构的承载能力，从而达到加固目的。体外预应力加固法没有应力滞后的缺陷，施工工艺简单，造价较低，对原结构损伤较小，可以做到不影响桥下净空、不增加路面标高。

体外预应力加固的适用条件：适用于正截面受弯承载能力不足或正截面受拉

区钢筋锈蚀的情况；适用于由于刚度太小导致梁的受拉区裂缝宽度超过规范规定的情况；适用于梁斜截面受剪承载能力不足的情况。不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋一侧配筋率小于 0.2% 的构件。

体外预应力加固的附加影响：

1 体外预应力加固法，实际上是改变了梁体原有受力体系，结构加固以后，新的受力体系在荷载作用下的力学行为与原结构的是有差异的。预应力加固完成后，由于预应力的作用，原来的受力结构会出现不同程度的卸载现象，导致原结构发生内力重分布。

2 由于预应力筋转向块和锚固点处存在着巨大的集中力，这一区域的受力比较复杂。

3 由于预应力加固梁桥时预应力筋布置在梁截面外部，易受环境（如温度、酸性气体等）的影响。

5.5.2 体外预应力加固法的材料要求

混凝土：混凝土强度不低于 C30。当混凝土强度过低时，应当考虑结构是否需要其他方面的加固措施进行综合加固。

预应力筋：

1 预应力筋进场时，应根据其品种分别按照相应的现行国家标准的规定抽取试件做力学性能试验，其质量必须符合相关标准的规定。

2 根据加固所要达到的目的和要求不同，预应力筋应当满足可重复张拉、锚固可靠（或有利于锚固）的要求。

3 预应力筋用锚具、夹具和连接器应按设计要求采用，其性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T 14370）的规定和设计要求。

5.5.3 体外预应力加固法的设计要求

1 体外预应力加固桥梁结构应分为施加体外预应力与活载作用两个阶段进行受力分析。

2 施加体外预应力阶段的受力计算：根据体外预应力的布筋线形，可以将施加的预应力转化为等效荷载，即施加预应力阶段的计算可以按等效荷载法进行计算。加固后结构在预应力荷载及恒载作用下的正截面强度检算与斜截面强度检算同《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》规定的计算方法相同。

3 活载作用（使用荷载作用）阶段应进行如下内容的计算：（1）使用阶段的正截面强度和斜截面强度检算；（2）加固体系的裂缝验算；（3）加固体系的挠度计算；（4）应根据预应力的锚固形式，对体外预应力锚固端进行局部承压和抗剪验算。另外在进行配筋设计时，要注意防止加固后的梁发生超筋破坏。

5.5.4 体外预应力加固法的施工要求

1 采用体外预应力加固法对钢筋混凝土结构、构件进行加固时，其原构件的混凝土强度等级不宜低于 C30。

2 采用体外预应力加固混凝土结构时，其新增的体外预应力拉杆、锚具、垫板、撑杆以及各种紧固件均应进行可靠的防锈蚀处理，且其长期使用的环境温度不应高于 60°C。

3 采用体外预应力加固法对钢筋混凝土结构进行加固时，可不采取卸载措施。

4 体外预应力加固施工时需对上锚固点、滑块垫板及跨中预应力筋固定支座的位置进行准确放样定位。由于梁的顶板和腹板中均有钢筋存在，特别是受力钢筋，一般要适当调整锚固点，以避免这些钢筋。位置调整后应对体系重新进行检算。

5 预应力锚固件必须传力可靠，在张拉时不能发生任何移动和变形。在预应力筋张拉完成后，应对每个锚固件进行检查，若不能满足要求，应替换后重新张拉。

6 通过预拉建立张拉量的起点，张拉量应控制在设计规定的范围内。同一根构件的每根预应力筋的张拉量应相同。

7 中间支承点应保证预应力筋定位牢固、过渡圆滑。

8 预应力水平拉杆或预应力下撑式拉杆中部的水平段与被加固梁下缘之间

的净空，一般不应大于 80mm，以 30~50mm 为宜。预应力下撑式拉杆其斜段宜紧贴在被加固梁的两侧。

5.5.5 体外预应力加固法工程质量检验评定方法

基本要求：

(1) 加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；

(2) 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施要求来保证施工质量，结合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F20-2011）重点检查和控制锚固点处理、转向块设置、预应力张拉，确保预应力体系的有效性。

(3) 预应力钢丝束应梳理平直，不得有缠绞、扭麻花现象。单根钢绞线不允许断丝。

(4) 制孔管道应按照牢固，接头密合，弯曲圆顺，锚垫板平面应与孔道轴线垂直。锚固设备经检验合格后方可使用。

(5) 体外预应力系统的防腐施工要根据设计要求，严格控制施工质量，防止预应力钢材和锚具等发生锈蚀。

实测项目及标准：

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定，特殊实测项目见下表

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	锚固及转向位置混凝土表面处理	满足设计要求	样板、目测	100%
2	钻孔深度、孔径、锚栓植入深度	满足设计要求	用尺量	20%
3	锚固及转向装置安全检验	满足设计要求	取样试验	2%~3%

5.6 改变结构体系加固法

5.6.1 特点及适用条件

改变结构体系加固特点：通过增设附加受力构件、连接构造和改变边界条件等手段进行技术改造，使桥梁的受力体系和受力状况发生改变，从而减小承重构件的应力，改善桥梁性能，提高桥梁承载能力。常见改变结构体系加固法的特点及适用条件如下表 5.6.1-1 所列。

表 5.6.1-1 常见改变结构体系加固法的特点及适用条件

常用的方法	特点	适用条件	附加影响
简支梁改变为连续梁体系	将原两跨及两跨以上简支梁的梁端连接起来,使受力体系由原来的简支转换为连续,减小跨中正弯矩,提高结构的承载能力,同时减少了伸缩缝数量,提高了行车舒适性。	适用于多跨简支梁(板)因配筋不足、截面尺寸偏小而使桥跨中截面抗弯承载能力明显不足及下挠过大的情况。	<ol style="list-style-type: none"> 1 由多跨简支改为连续,必须拆除部分伸缩缝,而剩余伸缩缝将因伸缩量不足而需要更换,伸缩量需重新计算。 2 原简支梁一边为固定支座一边为活动支座,改变体系后的多跨连续梁体系的双支座形式会对上下部结构受力及支座本身带来一定影响,加固时应适当考虑。 3 必须充分考虑原桥的地基条件,防止由于基础沉降等对新形成的连续体系上部结构产生不利影响。 4 因为伸缩缝与支座的影响,建议连续跨数不超过 4 跨,最好 2~3 跨为一联,具体要依据伸缩缝与支座计算。 5 本加固方案需要凿除部分梁端桥面铺装,加固后要做好新旧铺装的连接。 6 梁端在变换体系后会有负弯矩,梁端连接不好会直接影响加固效果。
多跨简支梁改造为桥面连续简支梁体系	将桥面连续可以提高行车的舒适性和减少桥面不平整时车辆荷载对桥梁的冲击影响,也可使荷载横向分布趋于合理。	适用于桥面铺装破损较严重,且伸缩缝处不平整的简支梁桥。	<ol style="list-style-type: none"> 1 连续未处理好,或伸缩缝处所预留的伸缩量不足,或养护不及时,伸缩缝被杂物嵌牢,均易使在天热温度升高时连续桥面连接点处发生拱起,引起桥面破坏。 2 桥面连续必须拆除部分伸缩缝,而剩余伸缩缝将因伸缩量不足而需要更换,伸缩量需重新计算。

			3 因为伸缩缝与支座的影响, 建议连续跨数不超过 6 跨, 最好为 3~5 跨一联, 具体要依据伸缩缝与支座计算。
增加辅助墩法	增设支点后改变了结构体系, 减小了梁的跨径及荷载作用下跨中的弯矩, 从而较大幅度地提高承载能力, 并能减小和限制梁板的挠曲变形。	<p>1 适用于梁(板)挠度过大、承载能力明显不足的钢筋混凝土梁桥或要求通行重载而要加固的桥。</p> <p>2 此方案可减轻下部结构及基础受力, 但要求不受桥下净空及排洪影响。若桥下净空较大, 或有常年流水, 则此方法不经济也不可行。</p>	<p>1 新桥墩占用了桥下净空, 影响了排洪或通行。</p> <p>2 新加设墩处预加顶升力不易求得, 应根据实际情况适当加力, 仅以改善原梁非弹性变形及使新墩与梁紧密结合即可, 预加力宁小勿大。</p> <p>3 新加设墩支点处组合弯矩难以保证为正弯矩, 为确保安全, 支点处上缘应适当采用其他方法补强加固。</p> <p>4 新墩柱上需要设新支座, 要求为活动支座。</p> <p>5 若桥下净空过高, 加设墩修筑费用加大。</p>
八字支撑法	在简支梁桥孔增设八字支撑, 为原桥上部结构提供两个弹性支撑, 从而使原来的一跨简支梁变为三跨连续梁。结构体系的这一改变使结构受力状况得到改善, 减小梁的跨径及荷载作用下跨中的弯矩, 从而可以提高承载能力。	<p>1 适用于梁(板)挠度过大, 承载能力明显不足的钢筋混凝土梁桥或要求通行重载而要求加固的桥。</p> <p>2 因增加的斜支撑可直接支撑在原墩台基础上或抗推能力强的墩身或台身上, 是对增加辅助墩法的一种补充, 弥补了对于桥下净空大或有常年流水不</p>	<p>1 八字撑架占用了桥下净空, 对排洪或通行有一定影响。</p> <p>2 撑架支点处组合弯矩难以保证为正弯矩, 为确保安全, 支点处上缘应适当采用其他方法补强加固。</p> <p>3 要求设置四氟板式橡胶支座, 用以提供无水平阻力的弹性支撑。</p> <p>4 钢筋混凝土撑架因收缩徐变, 会与梁体接触不紧密, 应提前预知受压, 使其收缩徐变完全。</p> <p>5 撑架支撑于墩台基础上, 对同一桥墩撑架位置最好对称布置, 用来相互抵消对墩的水平推力, 对于桥台则应适当加固。</p> <p>6 斜撑构造比墩柱轻细, 但每片主梁下均有斜撑, 数量较多。</p>

		<p>易增加辅助墩的缺点。</p> <p>3 此方法不能起到对墩台基础卸载作用，反而对墩台基础要求有足够承载能力及抗推刚度。</p>	
将梁式桥转换为梁拱组合体系	对梁桥进行加固改造。在拱肋（拱圈）上设置立柱盖梁支撑原主梁改变原梁筒支体系，减小梁的跨径及荷载作用下跨中的弯矩，从而提高承载能力。	<p>1 对于梁桥，当原桥承载能力严重不足，需要较大幅度地提高荷载等级，而原桥墩台地基应力及稳定性均满足要求时，可采用对梁式桥体系加入拱式体系而改变为梁拱组合的加固法。</p> <p>2 对桥下净空无要求且净空低的简支梁桥。</p>	<p>1 加入新拱圈立柱占用了桥下净空，对排洪或通行有一定影响。</p> <p>2 盖梁支点处组合弯矩难以保证为正弯矩，为确保安全，支点处上缘应当采用其他方法补强加固。</p> <p>3 盖梁支点处一般要求设置活动支座，以提供无水平阻力支撑。</p> <p>4 钢筋混凝土拱圈因收缩徐变，会与梁体接触不紧密，应提前预制受压，使其收缩徐变完全。</p> <p>5 拱脚支撑于墩台基础上，对同一桥墩拱脚位置最好对称布置用来相互抵消对墩的水平推力，对于桥台则应适当加固。</p>
改桥梁为涵洞加固	改桥为涵	1 适用于跨径较小的桥梁，且不影响通航和排洪能力。	<p>1 降低原有排洪能力；</p> <p>2 施工时要移动主梁（板），会对梁（板）带来损伤。</p>
钢索斜拉加固	依靠原桥墩在桥墩两侧修筑矮塔作为支柱，支柱（支柱用钢筋混凝土钢管或预制混凝土柱）顶面布置刚性	1 适用于梁挠度过大、承载力不足的情况，特别适用于简支跨多、墩低的梁桥，在墩侧重新修筑基础建造矮塔，或利用	<p>1 为给矮塔提供空间，需要凿除部分边梁梁端翼板及其上部的附属构造，拉索穿过翼板的地方要凿孔。</p> <p>2 加固所用索、塔均在桥面系上部，加固迹象明显。</p> <p>3 梁底部支点要成对出现，而塔是对称布索，必然要靠近桥台边跨的一支</p>

	<p>或柔性拉索，拉吊起桥底已布置的钢梁或加强后的梁横隔板，为原桥上部结构提供一个或几个弹性支撑，使原简支梁变为连续梁。结构体系的这一改变使结构受力状况得到改善，从而提高结构承载力。</p>	<p>桥墩伸出的墩帽在墩帽上修筑矮塔。</p> <p>2 由于横向联系的原因，此方法适用于窄桥，T梁不超过5片。</p>	<p>点要由辅助墩来组成。</p> <p>4 对于柱式墩要对墩帽适当加固。</p>
--	---	--	---

5.6.2 改变结构体系加固法的材料要求

1 采用改变结构体系加固法所用的材料,应根据被加固结构所处的环境及使用要求确定。

2 所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。

3 当在高湿度或高温环境中使用钢构件及其连接时,应采取有效的防锈、隔热措施。

5.6.3 改变结构体系加固法的设计要求

改变结构体系加固法的设计计算要求应按表 5.6.3-1 进行。

表5.6.3-1 改变结构体系加固法的设计计算要求

常用的方法	设计计算要求
简支梁改变为连续梁体系	1 根据现有支座以及伸缩缝计算适宜的连续跨数,或先定出连续跨数最后验算伸缩缝以及支座是否满足要求。 2 计算简支梁恒载、栏杆、人行道荷载下内力。 3 计算桥面铺装体系转变后的连续梁上的内力。 4 计算活载在连续梁体系上的内力。 5 根据相关规范进行内力组合,计算沿梁顶增设的纵向受力钢筋数量,进行强度验算。
多跨简支梁改造为桥面连续简支梁体系	1 改造加固后,仅仅是桥面连续的简支梁体系,恒载及活载内计算还是按简支梁的要求来计算。
增加辅助墩法	1 原结构自重产生的内力,仍由原梁结构自行承受; 2 新加设墩上的预加顶升力只是改善原梁非弹性变形,并使墩与梁紧密结合,可不考虑其对主梁恒载的卸载作用,即新墩不承受恒载作用。 3 活载是由新墩与原梁组成的连续梁体系承受,活载内力由于是连续梁体系承受,使跨中弯矩减少,支点处出现活载负弯矩,要求新加设墩支点处的活载负弯矩与恒载正弯矩组合为正弯矩。 4 新支点处抗弯、抗剪强度,若不满足要求,可采用如粘贴钢板等其他加固方法补强加固。
八字支撑法	1 原结构自重产生的内力,仍由原梁结构自行承受,撑架不承受恒载作用。

	<p>3 活载是由撑架与原梁组成的连续梁体系承受,活载内力由于是连续梁体系承受,使跨中弯矩减少,支点处出现活载负弯矩,要求新加设墩支点处的活载负弯矩与恒载正弯矩组合为正弯矩。</p> <p>4 活载内力通过撑架支点传递到八字撑架,故可以通过一般的结构力学方法加以求解,而不需按斜腿刚构结构体系来求解。</p> <p>5 新支点处抗弯、抗剪强度,若不满足要求,可采用如粘贴钢板等其他加固方法补强加固。</p>
<p>将梁式桥转换为梁拱组合体系</p>	<p>1 原结构自重产生的内力,仍由原梁结构自行承担。</p> <p>2 盖梁支点处预加顶升力只是改善原梁非弹性变形,并使承架与梁紧密结合,可不考虑其对主梁恒载的卸载作用,即拱桥不承受恒载作用。</p> <p>3 活载是由拱桥与原梁组成的连续梁体系共同承受,活载内力由组合体系承受,使跨中弯矩减少,支点处出现活载负弯矩,要求新加设立柱支点处的活载负弯矩与恒载正弯矩组合为正弯矩。</p> <p>4 加固主要计算工作为组合体系的活载内力计算,而梁、拱内力组合要分开计算,拱桥按设计新桥方法进行。</p> <p>5 新支点处抗弯、抗剪强度,若不满足要求,可采用如粘贴钢板等其他加固方法补强加固。</p>
<p>改桥梁为涵洞加固</p>	<p>1 管涵按设计新桥方法进行。</p>
<p>钢索斜拉加固</p>	<p>1 原结构自重产生的内力,仍由原梁结构自行承担;</p> <p>2 支点处预加拉力只是改善原梁非弹性变形,并使承受架与梁紧密结合,可不考虑其对主梁恒载的卸载作用,即拉索不承受原梁恒载作用。</p> <p>3 活载由斜拉索与原梁组成的组合体系共同承受,活载内力由组合体系承受,使跨中弯矩减少,支点处出现活载负弯矩,要求支点处的活载负弯矩与恒载正弯矩组合为正弯矩。</p> <p>4 由于是矮塔短索,可假设矮塔与索组合刚度足够大,可简化为连续梁体系计算。</p> <p>5 新支点处抗弯、抗剪强度,若不满足要求,可采用如粘贴钢板等其他加固方法补强加固。</p>

5.6.4 改变结构体系加固法的施工要求

改变结构体系加固法的施工要求应按表 5.6.4-1 进行。

表5.6.4-1 改变结构体系加固法的施工要求

常用的方法	施工要求
简支梁改变为连续梁体系	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 施工包括凿去桥面铺装及桥端混凝土，加强桥端部配筋，伸缩缝桥面铺装的更新等。 3 为保证桥面铺装与原梁体共同参与结构作用，梁顶要凿毛，有条件还要设置抗剪栓钉，桥面铺装采用收缩较少的混凝土。 4 梁端间隙截面也要凿毛，有利于膨胀混凝土的填塞密实。 5 对于焊缝连接钢筋，焊缝满足规范要求。 6 新增负弯矩钢筋可绑扎或焊接在外露的钢筋上，若无箍筋可用栓钉固定。
多跨简支梁改造为桥面连续简支梁体系	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 施工包括凿去桥面铺装和桥端混凝土。 3 梁端两支点范围内的钢筋包扎上柔性垫层，垫层特性要求具有良好的防腐性，并可使钢筋与混凝土隔开，钢筋不承受轮重压力。 4 桥面现浇层中布置的钢筋网在接缝处不断开。
增加辅助墩法	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需采取措施卸除或部分卸除作用在结构上的活荷载。 2 根据地质条件与原桥墩台基础情况修筑新墩基础。新增设墩基础要求不能破坏原桥墩台基础。 3 新墩高度不易超过 5m，新墩形式一般要与原桥墩形式相同，或用构造更简单更符合景观的桥墩形式。 4 在墩台帽上用千斤顶顶升主梁，仅用于消除主梁部分非弹性变形引起的过大挠度，并为放置支座提供空间，支座采用板式橡胶支座。
八字支撑法	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需采取措施卸除或部分卸除作用在结构上的活荷载。 2 改造原桥墩台基础或承台顶面作为支撑基础，基础主要利用原桥好的基础，需砌筑或开凿出放置支撑下支点的沟槽，放置斜支撑后浇筑混凝土封死。 3 采用如粘贴钢板等其他方式对梁支点上缘进行补强加固，同时主梁支点下缘安装活动支座，支座是固定在主梁下缘的即颠倒安置，选用高度低的活动支座如四氯乙烯支座。 4 主梁下安置预制好的斜支撑，斜支撑长度不宜超过 8m，支撑上

	支点与支座紧密接触。
将梁式桥转换为梁拱组合体系	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 利用原桥墩梁好的基础，在主梁下砌筑拱圈或拱肋。 3 按设计要求对支点梁上缘进行补强处理。 4 其他构造选材与一般拱桥相似，需修筑新墩台及墩台帽至梁底面，在墩台帽上用千斤顶顶升主梁，以消除主梁部分非弹性变形引起的过大挠度。设置支座，撤去千斤顶。
改桥梁为涵洞加固	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 施工包括凿除桥面铺装，移去主梁；安置管涵，砌筑上部填充物，并夯实；重新放回主梁，重做桥面铺装。 3 填充物夯实并要与主梁紧密贴合，其他施工控制参照管涵施工要求。
钢索斜拉加固	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 凿除墩顶处梁端翼缘板或墩顶处人行道板，为矮塔留出空间，矮塔高度可设为 2m 左右。 3 原桥墩帽作为矮塔基础，设置栓钉或嵌入钢筋，修筑矮塔。 4 采用如粘贴钢板等其他方式对支点梁上缘进行补强加固。 5 布置斜拉索穿过塔顶，在塔顶处不固定，塔顶部用 U 形承托或滑轮，使拉索在拱顶无水平拉力。拉索两端可做成一端锚固一端可调。 6 施加预应力主要消除梁体非弹性变形，并使钢梁与梁底结合密实。

5.6.5 改变结构体系加固法工程质量检验评定方法

改变结构体系加固法的工程质量检验评定应按表 5.6.5-1 进行。

常用的方法	工程质量检验基本要求					
	基本要求	实测项目				
简支梁改变为连续梁体系	1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求； 2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，凿除桥面铺装、梁顶凿毛、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求； 3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制端头连接构造处理。	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。				
		2 特殊实测项目：				
		项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数
		1	梁顶凿毛程度	满足设计要求	目测	100%
多跨简支梁改造为桥面连续简支梁体系	1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求； 2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，凿除桥面铺装、梁顶凿毛、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求； 3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制桥面连接构造处理。	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。				
		2 特殊实测项目：				
		项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数
		1	梁顶凿毛程度	满足设计要求	目测检验	100%
增加辅助墩法	1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。				

	<p>符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，修筑新基础、千斤顶顶升主梁工艺应符合设计要求；</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制千斤顶顶升主梁和负弯矩区上缘补强处理。</p>	<p>2 特殊实测项目：</p> <table border="1" data-bbox="987 296 2024 603"> <thead> <tr> <th>项次</th> <th>检验项目</th> <th>合格标准</th> <th>检验方法</th> <th>频数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>桥墩支点位置</td> <td>满足设计要求</td> <td>卷尺测量</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>顶升高度</td> <td>使塑性变形在跨中挠度值减小一半</td> <td>水准仪</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>	项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数	1	桥墩支点位置	满足设计要求	卷尺测量	100%	2	顶升高度	使塑性变形在跨中挠度值减小一半	水准仪	100%
项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数													
1	桥墩支点位置	满足设计要求	卷尺测量	100%													
2	顶升高度	使塑性变形在跨中挠度值减小一半	水准仪	100%													
八字支撑法	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，修筑新基础、斜撑、水平撑构造应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制斜撑、水平撑、活动支座和负弯矩区上缘补强处理。</p>	<p>1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。</p> <p>2 特殊实测项目：</p> <table border="1" data-bbox="987 735 2024 874"> <thead> <tr> <th>项次</th> <th>检验项目</th> <th>合格标准</th> <th>检验方法</th> <th>频数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>支点位置</td> <td>满足设计要求</td> <td>卷尺测量</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>	项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数	1	支点位置	满足设计要求	卷尺测量	100%					
项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数													
1	支点位置	满足设计要求	卷尺测量	100%													
将梁式桥转换为梁拱组合体系	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，修筑新基础、千斤顶顶升主梁工艺应符合设计要求。</p>	<p>1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。</p> <p>2 特殊实测项目：</p> <table border="1" data-bbox="987 1225 2024 1286"> <thead> <tr> <th>项次</th> <th>检验项目</th> <th>合格标准</th> <th>检验方法</th> <th>频数</th> </tr> </thead> <tbody> </tbody> </table>	项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数										
项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数													

	3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制千斤顶顶升主梁和负弯矩区上缘补强处理。	1	支柱支点位置	满足设计要求	卷尺测量	100%
		2	顶升高度	使塑性变形在跨中挠度值减小一半	水准仪	100%
改桥梁为涵洞加固	1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求； 2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量。 3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制移梁的施工。	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。				
钢索斜拉加固	1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求； 2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，托梁、索塔、斜拉索构造应符合设计要求。 3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制托梁、斜拉索、索塔的施工。	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。 2 特殊实测项目：				
		项次	检验项目	合格标准	检验方法	频数
		1	支撑点位置	满足设计要求	几何测量	100%
		2	顶升高度	使塑性变形在跨中挠度值减小一半	水准仪	100%

5.7 外包钢加固法

5.7.1 特点及适用条件

外包钢加固特点：采用横向缀板或套箍为连接件，将型钢或钢板包在原构件表面、四角或两侧，以减轻或取代原构件受力。采用外包钢加固，原结构构件截面尺寸增加不多，但承载能力和抗震能力可大幅度提高。加固后原构件混凝土受外包缀板的约束变成三向受力的约束混凝土，从而增加了结构的延性；加固不需要模板，现场施工速度较快。该方法受使用环境限制，费用较高，有时需要特制的夹具；外包需要进行防腐处理，以提高耐久性。

加固方法	加固形式	力学特点
干式外包钢加固法	直接将型钢或钢板外包于被加固构件，有时虽填有水泥砂浆，但并不能确保结合面剪力和拉力的有效传递。	干式外包钢加固法受力简单直观，外包钢架与原混凝土构件不能整体工作，彼此单独受力，外包钢可以按刚度比分担原结构的荷载，加固效果明显。
湿式外包钢加固法	1 采用乳胶水泥浆粘贴或化学灌浆等方法粘结，以期使型钢架与原混凝土构件共同受力； 2 型钢与被加固构件之间留有一定的间距，浇筑混凝土将型钢包裹在其中，这种形式实际是外包钢的增大截面法。	湿式外包钢加固法能提高外包钢架与原混凝土构件整体工作的协调能力，对原有混凝土构件产生套箍增强作用，轴心抗压强度有所提高。

外包钢加固的适用条件：适用于提高受压为主构件（桥墩、拱肋、桁架杆等）的承载能力、刚度及延性。适用于环境温度在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内。

外包钢加固的附加影响：

- 1 须对结合面进行处理，并钻埋螺栓孔，对原结构有一定损失。
- 2 钢材需做防腐处理，增加了日后养护的费用。

5.7.2 外包钢加固法的材料要求

钢材：外包钢采用的型钢、钢板、扁钢和钢管以 Q235 钢为宜，钢材、连接螺栓及焊缝的强度设计值、应按现行钢结构设计规范规定采用。

混凝土：被加固构件混凝土强度不低于 C20，表面应凿除疏松杂质，露出新鲜密实混凝土。

连接材料：

1 湿式外包钢法中，当采用化学浆液灌浆连接时，其浆液组成在工程应用前应进行试配，选择可灌性好、收缩性小、粘结强度高、固化时间可调整、耐久性好，且材料是无毒或低毒的浆液。

2 外包钢材与原混凝土宜采用膨胀螺栓或植钢筋连接，以保证两者协同工作，其质量应符合有关技术标准的规定。

5.7.3 外包钢加固法的设计要求

1 采用干式外包钢加固时，其设计应符合下列规定：

(1) 当原混凝土构件完好，但需提高其设计荷载时，可按原混凝土构件与型钢构架共同承担荷载进行计算。此时，型钢构架与原混凝土构件所承受的外力，可按各自截面刚度比例进行分配。原混凝土构件加固后的总承载力为型钢构架承载力与原混凝土构件承载力之和。

(2) 当原混凝土构件尚能工作，但需降低原设计承载力时，原混凝土承载力降低程度应由可靠性鉴定结果进行确定；其不足部分由型钢构架承担。

(3) 当原混凝土构件不适于继续承载的损伤或严重缺陷时，可不考虑原混凝土构件的作用，其全部荷载由型钢骨架承担。

2 采用湿式外包钢加固时，原混凝土结构构件加固后的承载力可按整截面计算。

5.7.4 外包钢加固法的施工要求

1 采用外包钢加固法对钢筋混凝土结构进行加固时，宜采取措施卸除或大部分卸除作用在原结构上的活荷载。

2 型钢骨架及其套箍的安装尺寸偏差,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205)的规定。型钢骨架焊缝应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》(JTJ81)的规定。

3 外包钢采用环氧树脂化学灌浆,在注胶施工的同时,应选择被加固构件不注胶的部位,以相同的胶粘剂按相同的工艺条件在混凝土表面粘贴钢标准块。待胶粘剂完全固化后,进行钢-混凝土粘结正拉强度检验,其检验结果应满足评定标准的要求。

4 防腐涂料施工质量必须符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。

5.7.5 外包钢加固法工程质量检验评定方法

基本要求:

(1) 外包钢所用型钢及焊接材料类别、规格和质量应符合相关规范及设计要求;

(2) 按规定的程序施工,加压及固化时间应符合设计要求;

(3) 锚固螺栓数量、规格应符合设计值要求;

(4) 按设计要求进行防腐处理。

实测项目及标准:

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定,特殊实测项目见下表。

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	加固构件结合面处理	满足设计要求	目测	100%
2	型钢粘贴结合面处理	满足设计要求	样板、目测	100%
3	钻孔深度、孔径、螺栓植入深度	满足设计要求	用尺量	20%
4	粘贴	锚固区粘结面积大于等于 90%; 非锚固区粘结面积大于等于 85%	超声探测或敲击、目测	20%

5.8 桥面补强层加固法

5.8.1 特点及适用条件

桥面补强层加固法特点:通过在桥面板(主梁顶面)加铺一层钢筋混凝土层,使其与原有结构形成整体,从而达到增大桥面板或主梁有效高度和受压截面,增加桥梁横向联系和桥面整体刚度,提高桥梁承载能力。

桥面补强层加固的适用条件:主要适用于中小跨径装配式梁桥。对于主梁或桥面板承载力不足,刚度不够,或铰接梁、板的铰缝不能有效传力时,可采用桥面补强层加固法进行加固。

桥面补强层加固的附加影响:

1 采用桥面补强进行加固,桥面板或主梁恒载将有所增加,应通过计算判断桥面增厚后是否可以提高桥梁的有效承载力。若恒载的增加影响较大,则应考虑采用其他加固方法或与其他方法综合运用。

2 加铺补强层后,桥面高程将受到影响,连接路面或桥面纵坡应予以调整。

3 为减少补强层增加的恒载,往往必须先将原有的桥面铺装层凿除,并要求对伸缩缝进行改造。

5.8.2 桥面补强层加固法的材料要求

钢筋:

1 加强补强层与原结构的联结而设置的结合钢筋,一端植埋于原结构中,一端伸入补强层中,因锚固长度短,应采用螺纹钢筋以增加握裹力,保证新旧混凝土的有效结合。

2 为增强桥梁整体受力能力,应在补强层中设置的构造钢筋和受力钢筋,布设1~2层钢筋网。为加强混凝土联结,也宜选用螺纹钢筋。

混凝土:

1 补强层混凝土除应具有粘结力强、收缩小、抗裂性能高外,还应具有足够的韧性、抗冲击能力和抗渗性。可以从施工工艺上采取适当的措施,改善混凝土

的性能。

2 使用外加剂应注意合理选择品种,进行必要的试验,施工时必须按产品说明书要求采用正确的掺入法,严格控制掺量,并适当延长搅拌时间和加强养护。

3 纤维混凝土具有抗裂性、韧性、延伸率、抗冲击力和抗渗能力高等特点,适用于桥面补强层加固。采用钢纤维时应注意纤维腐蚀、锈蚀引起的桥面污染,以及纤维暴露时对车辆轮胎的损害作用。

植筋胶:

植筋胶应具备粘结能力强、耐久性好、快硬性和低毒、无害等特性,一般可采用环氧树脂类粘结材料。

界面胶:

由于旧混凝土表面的吸水特性,引起新旧混凝土界面不易粘结,采用界面胶可以增强它们之间的粘结力。界面剂应对混凝土粘结力强,抗化学腐蚀,强度高,可用于潮湿表面,并有适当的操作时间。

5.8.3 桥面补强层加固法的设计要求

1 采用桥面补强层加固时,加固结构属二次受力结构,加固前原结构已经受力,补强层在加固后并不立即受力,而只有在新增荷载下,即第二次加载情况下才开始受力。

2 加固结构存在补强层与原结构整体工作、共同受力问题,混凝土结合面上的强度较整体浇筑的强度要低,且补强层与原有梁(板)的结合面处于复合应力状态。结合面传递压力,一般不存在问题,对于剪力和拉力,由于结合面混凝土所具有的抗剪和抗拉能力弱,易于出现裂缝,必须采取构造措施克服这一弱点。

3 正截面和斜截面承载能力极限状态计算:

桥面补强层加固后,视为组合结构的加固结构承载力计算可以直接采用整体浇筑梁的计算假定和计算方法,具体计算假定和方法可参见相关桥涵设计规范,并注意原结构与补强层混凝土强度不同时,可偏安全取用其中较低者;当补强层上不再设桥面铺装时,应扣除磨耗层厚度进行计算。

5.8.4 桥面补强层加固法的施工要求

1 采用桥面补强层加固时，应尽可能卸除作用在结构上的活荷载。

2 桥面板（主梁）结合面处理：要求施工时不能损坏原结构混凝土强度，不应有局部光滑结合面。对存在缺陷的部位，应进行修补，如空洞，在凿除疏松部分混凝土后，用强度高一级的细石子混凝土填筑密实；出现钢筋锈蚀引起混凝土胀裂时，先剔除松动开裂的混凝土，再进行钢筋表面除锈和防护等。

3 植埋结合钢筋：结合钢筋植埋应严格按照设计和所采用的结构胶粘剂的要求进行。

4 浇筑补强层混凝土：补强层浇筑混凝土应按设计规定的程序进行，在浇筑前，应对结合面进行彻底清理，检查结合钢筋及其他构造钢筋数量及布置是否正确。加入外掺剂或纤维的混凝土制备时，应严格按照有关说明书及设计要求进行操作，掌握掺入量和掺入方法。必要时应作工艺试验，选用最佳方法。

5 补强层宜选用高强度等级混凝土，其强度等级不应低于 C30 及主梁混凝土强度等级，厚度不宜小于 10cm。

5.8.5 桥面补强层加固法工程质量检验评定方法

基本要求：

(1) 桥面补强层加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；

(2) 按规定的程序施工，重点检查缺陷修补、结合面处理、结合钢筋植埋、补强层混凝土浇筑等工序。要求缺陷修补后结构尺寸、强度基本恢复，外观接近原样；处理完的结合面应干净、粗糙，粗糙度符合构造要求；结合钢筋植埋应使孔径、孔位、孔深合适，钢筋与结合面垂直，外露端高度与埋入段长度符合设计要求；在结合面充分润湿，或界面剂涂刷好后，方可浇筑补强层混凝土，严格控制混凝土的质量，振捣合理，并及时养护；

(3) 补强层不得出现露筋和空洞现象；

(4) 按设计要求对缺陷进行修补。

实测项目及标准：实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定，特殊实测项目见下表。

序号	检验项目		规定值或允许偏差	检验方式和频率
1	补强层混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按规定方法检查
2	补强层混凝土厚度 (mm)		± 10	钢尺, 每跨量 3~5 处
3	补强层构造钢筋	长度 (mm)	± 10	钢尺, 每跨纵横各查 3~5 根
		间距 (mm)	± 10	钢尺, 每跨查 3~5 个网眼
		距顶面距离 (mm)	± 3	水准仪, 每跨量 3~5 处
4	结合面处理 (mm)		符合设计要求	目测, 全部
5	结合钢筋	抗拔力 (kN)	符合设计要求	在试件上拉拔, 每 500 根测 1 根
		长度 (mm)	± 10	钢尺, 查 20%
		间距 (mm)	± 50	钢尺, 每跨量 3~5 处
		植埋深度 (mm)	+2d, -d/2	钢尺, 查 20%

5.9 增加构件加固法

5.9.1 特点及适用条件

增加构件加固法特点: 当墩台地基安全性能好, 并具有承载能力, 上部结构也基本完好, 但其承载能力不能满足要求, 或要求加宽桥面时, 通过增设纵梁来提高承载能力或适应拓宽改建要求, 对于要进行拓宽改造的则还需要对墩台进行拓宽。具体的特点及适用条件见表 5.9.1-1。

表5.9.1-1 增加构件加固法特点及适用条件

常用的方法	特点	适用条件	附加影响
增设纵梁加固 (不拓宽桥面)	<ol style="list-style-type: none"> 1 要求原桥墩台及基础在提高承载能力方面尚有潜力。 2 增加主梁后对上部结构的承载能力可以明显提高； 3 增加主梁后改善了原有桥面板的受力情况。 	适用于过去常见的少主梁或双主梁整体现浇式桥梁的加固改造。	<ol style="list-style-type: none"> 1 新梁混凝土收缩徐变会影响新旧主梁的联接，若联接方式不当，将影响加固效果。 2 吊装安置新主梁时，容易对旧梁产生撞击。 3 凿除切割旧梁翼缘可能有过大冲击力而对梁体部分带来一定程度损伤。 4 伸缩缝等附属部分均要拆换，要加入不少新支座。 5 需对原桥附近的管线妥善处理。
增设边梁加固	<ol style="list-style-type: none"> 1 新梁刚度大，横向可分配到较大荷载，从而减少原桥负荷。 2 对于同时拓宽桥梁，使车辆分流，减少原桥负荷。 3 更新的桥面铺装也减少了汽车对桥梁的冲击力，并加强了桥梁的横向联系，有利于桥梁荷载的横向分配。 	1 适用于原桥墩台及基础在提高承载能力方面尚有潜力，但上部结构需要提高荷载等级的情况。	<ol style="list-style-type: none"> 1 需要扩宽墩台、增设新支座，更换伸缩缝； 2 需要在原桥边梁上加做外侧横隔板与新梁相连，在施工过程中比较难。
单边拓宽技术改造	<ol style="list-style-type: none"> 1 提高通行能力，适应线路拓宽改建，把宽度较窄的桥梁加以拓宽改建。 2 单边拓宽也即平行原桥另建 	适用于原公路线路单边拓宽进行改建的情况。	<ol style="list-style-type: none"> 1 需要对墩台部分进行拓宽。 2 吊装安置新主梁时，容易对旧梁造成撞击。 3 需要对原桥附近的管线妥善处理。

	一座新的桥跨结构。		
双边拓宽技术改造	<p>1 采用增设独立边梁或边桥的方案拓宽旧桥。</p> <p>2 新增设的独立边梁或边桥不参与旧桥的荷载横向分布。</p> <p>3 可以取得减小拆除，简化施工工艺，降低改建费用，提高桥梁车辆通过能力。</p>	<p>1 适用于与路线双边对称拓宽相适应的情况。</p>	<p>1 需要对墩台部分进行拓宽。</p> <p>2 吊装安置新主梁时，容易对旧梁造成撞击。</p> <p>3 需要对原桥附近的管线妥善处理。</p>
增加辅助横梁加固	<p>1 采取增加横梁的办法来加强各纵梁之间的横向连接。</p> <p>2 是其他加固方法的辅助方法。</p>	<p>1 适用于因横向整体性较差而降低了承载能力的梁式桥。</p> <p>1 适用于少横隔板或无横隔板的梁式桥。</p>	<p>1 施工中要对旧梁进行开凿，在构造上会对梁体产生损伤。</p> <p>2 一般在桥下施工，需要搭设支架，施工难度大。</p> <p>3 应注意此方法作为其他加固方法的辅助方案时会影响荷载横向分布计算方法的选择。</p>

5.9.2 增加构件加固法的材料要求

- 1 采用增加构件加固法所用的材料,应根据被加固结构所处的环境及使用要求确定。
- 2 所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。
- 3 当在高湿度或高温环境中使用钢构件及其连接时,应采取有效的防锈、隔热措施。

5.9.3 增加构件加固法的设计要求

增加构件加固法的设计计算要求见表 5.9.3-1。

表5.9.3-1 增加构件加固法的设计计算要求

常用的方法	设计计算要求
增设纵梁加固 (不拓宽桥面)	1 增加构件加固方案与新桥的设计相似,主要考虑到新增主梁与凿去部分翼缘板的纵梁在截面、混凝土标号与龄期不同而导致的弹性模量、以及刚度上的不同,按不等刚度并根据加固后的桥梁构造特点选择荷载横向分布计算方法进行横向分布系数计算,并计算各纵梁的受力,根据各受力设计新纵梁的配筋。
增设边梁加固	1 与设计新桥过程相似,重点在于横向分布设计计算方法的选择。
单边拓宽技术改造	1 由于新旧桥横向联接较困难,通常在新旧桥桥梁沿纵向设一通缝,互相独立,各自受力,因此单边拓宽的设计计算如同新建一座桥梁,按新建桥梁计算。
双边拓宽技术改造	1 设置单根边梁时,新边梁与原桥之间的联系措施仅用于维持稳定,相互间不传递剪力,也即增设的单根边梁不参加荷载横向分配,车辆荷载由原桥主梁承担,因此,计算时,新边梁仅承受本身自重、人行道构件的自重、以及人群荷载。这也是与增设边梁加固法根本不同点。 2 增设边桥时,新桥基本上与旧桥完全分离,可不考虑相互之间荷载的横向分布,因此,设计时可完全按照独立桥梁进行。
增加辅助横梁加固	1 主要考虑横向分布的计算方法,被加固桥梁在少横隔板或无横隔板的情况下,可用铰结板(梁)法或杠杆原理法计算; 2 加固后则用偏心受压法或修正偏心受压法,如是宽桥即宽度与跨度之比大于 1/2 的桥用比拟板法(G-M 法)。

5.9.4 增加构件加固法的施工要求

增加构件加固法的施工要求见表 5.9.4-1。

表5.9.3-1 增加构件加固法的施工要求

常用的方法	施工要求
增设纵梁加固（不拓宽桥面）	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 加强横隔梁、强翼缘板连接。
增设边梁加固	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需全过程采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 分拓宽和不拓宽桥墩台两种情况。
单边拓宽技术改造	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，不需采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 拓宽桥梁墩台，拆除靠近新梁的人行道栏杆等附属部分。 3 旧桥沿纵向可设一通缝，互不相联，各自受力。纵向接缝应用钢板来盖过，并在此位置既桥面中心线上设置一预制混凝土分隔带，使上下行车辆在各自车道内行驶，与路线改建相适应。 4 无新旧桥部分相互联结问题，但新旧桥纵向通缝要遮掩适当。
双边拓宽技术改造	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，不需采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 把旧桥的栏杆人行道等拆除，改造桥面系统。 3 拓宽墩台，按照新桥的建设修建独立边桥或独立边梁等上部结构，注意不要破坏旧桥的结构。 4 无新旧桥部分相互联结问题，但新旧桥纵向通缝要遮掩适当。
增加辅助横梁加固	<ol style="list-style-type: none"> 1 采用该加固方法，需与其他方法一起共同来加固桥梁，以此来确定是否采取措施卸除作用在结构上的活荷载。 2 在纵梁上需要新增加的横梁的部位钻孔； 3 设置贯通全桥的横向拉结钢筋，并将钢筋的两端用螺栓将其锚固在中纵梁上； 4 将纵梁与新增横梁结合处的混凝土表面保护凿，在悬挂模板上现浇混凝土横梁，当混凝土强度达到一定强度时，拆除模板。

5.9.5 增加构件加固法工程质量检验评定方法

增加构件加固法的工程质量检验评定方法见下表 5.9.5-1

表5.9.5-1 增加构件加固法的工程质量检验评定

常用的方法	工程质量检验基本要求	
	基本要求	实测项目
增设纵梁加固 (不拓宽桥面)	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，结合面处理、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制施工测量、预制梁体、安装及横向连接构造。</p>	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。
增设边梁加固	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，拼宽部位旧梁的处理、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制基础开挖、桩基施工、新旧梁横向连接构造。</p>	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。
单边拓宽技术改造	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，拼宽部位旧梁的处理、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制基础开挖、桩基施工、新旧梁横向连接构造。</p>	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。
双边拓宽技术改造	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，拼宽部位旧梁的处理、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》</p>	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。

	要求进行，重点控制基础开挖、桩基施工、新旧梁横向连接构造。	
增加辅助横梁加固	<p>1 所用材料种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；</p> <p>2 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量，结合面处理、混凝土浇筑和养生，应符合设计要求。</p> <p>3 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制施工测量、预制梁体、安装及横向连接构造。</p>	1 常规实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。

6 钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁上部结构加固技术

6.1 总体

6.1.1 钢筋混凝土及预应力混凝土板梁桥按上部结构形式可分为板梁桥、肋梁桥、箱梁桥。其中板梁桥主要包括装配式空心板、整体式空心板、实心板；肋梁桥主要包括装配式 T 梁、I 形梁、小箱梁；箱梁桥主要指整体式箱梁，通常为等截面连续箱梁、变截面连续箱梁或连续刚构。

6.1.2 当结构病害影响结构正常使用或导致构件承载能力不足、横向联系破坏导致荷载横向分布出现变异时，应对结构进行加固。

6.1.3 梁桥加固前应对桥梁病害进行全面检查，详细掌握桥梁病害的发展过程，重点关注关键部位或构造变形、裂缝、横向联系状况等，结合病害成因分析，提出针对性加固措施。

6.1.4 加固时应按相关规范进行结构承载能力极限状态计算、结构正常使用极限状态计算、持久状况和短暂状况构件的应力计算。计算参数的选取应考虑施工、加固全过程收缩徐变、结构实际承受的荷载、开裂后结构性能衰减、预应力损失等因素，评估桥梁承载能力和病害状态及影响。

6.1.5 加固方案及施工应尽量减少对原结构的损伤，保证结构的安全性与耐久性。当加固措施对桥梁受力状态改变较大时，如体外预应力加固法、改变加固体系加固法等，应对结构关键部位应力、变形等指标进行监控，实时评估施工安全和加固效果。加固方案的拟定与设计计算要充分考虑新、旧结构的强度、刚度与使用寿命的均衡，以及新、旧结构的共同工作。

6.1.6 本章节仅对目前成熟的加固方法进行推荐，对于目前的新材料、新技术应在进行合理的科学研究和试验后采用。

6.2 板梁桥加固

6.2.1 一般规定

1 钢筋混凝土及预应力混凝土板梁桥按上部结构形式可分为整体现浇板、矩

形板、预制空心板。其中整体板、矩形板梁桥主要为钢筋混凝土简支结构。空心板梁桥主要为钢筋混凝土或预应力混凝土简支结构。

2 钢筋混凝土及预应力混凝土板梁桥加固主要通过加强薄弱构件、增强结构整体性的方法达到提高桥梁整体承载能力的目的。

3 板梁桥在计算桥跨结构纵向受力的同时，还应加强横向受力的分析，如铰缝受力状况、整体现浇板横向受力等。

6.2.2 主要病害特征

板梁桥以预制空心板和现浇实心板为代表，其板体、铰缝和支承部位易产生病害。主要病害及特征如下：

1 板体纵横向开裂

板底横向裂缝多分布在跨中区域附近，部分裂缝贯通整个截面，该类裂缝主要与受力有关。在正弯矩作用下，梁下缘拉应力超过抗拉强度，导致底板、甚至腹板的开裂。典型病害示意图见图 6.2.2-1、6.2.2-2。

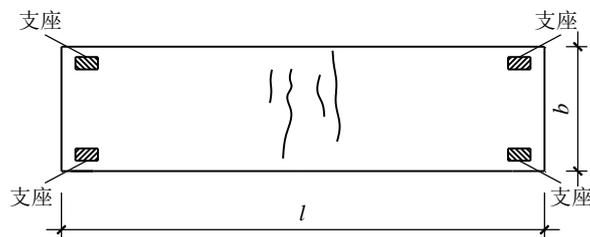


图6.2.2-1 空心板底面横向裂缝示意图



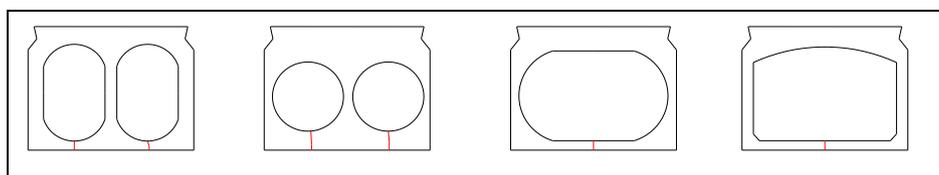
图6.2.2-2 空心板板底横向裂缝

空心板板底常出现纵向裂缝，一般出现 1~2 条沿板跨径方向的纵向裂缝，裂缝较长，呈断续或连续状，开裂位置通常在底板厚度最薄处。裂缝处往往伴随

有渗水痕迹或白化现象。典型裂缝如图 6.2.2-3、6.2.2-4 所示



图6.2.2-3 空心板底面纵向裂缝



a)

b)

图6.2.2-4 空心板底面纵向裂缝示意图

2 铰缝连结损坏或失效

对结构影响较大，特别是重载运输情况下，容易造成桥梁整体性迅速破坏，引起桥梁安全事故发生。

3 桥面铺装沿铰缝纵向开裂

该病害在板梁桥比较普遍，由于桥梁整体性较差，桥面铺装沿铰缝纵向开裂，并逐步发展成纵向坑槽，致使行车条件恶化，加大汽车荷载的冲击力，影响行车和结构安全，如图 6.2.2-5 所示。



图6.2.2-5 铰缝开裂反射到桥面导致桥面铺装纵向开裂

4 支座脱空或设置不当

该病害在板梁桥比较普遍，通常一块预制板安装 4 个支座，由于主梁预制和安装精度不足，导致个别支座局部脱空，长期运营状态下容易导致支座滑落及梁端局部破坏。设置 2 个支座，且位于梁端横向的中部，在重载作用下主梁发生整体扭转，从而破坏铰缝，导致桥垮结构破坏。

6.2.3 板梁桥典型加固方法

板梁桥加固的常用方法有粘贴钢板加固、粘贴纤维复合材料加固、增强横向联系加固、体外预应力加固、桥面连续加固等。在实际使用中根据具体情况可叠加使用。

1 粘贴钢板加固法

粘贴钢板法可适用于受拉区横向裂缝加固和梁端区斜裂缝加固，该方法可有效提高构件抗弯、抗剪承载能力。在使用该方法时当梁（板）正截面强度不足时，可采用在受拉区表面纵向粘贴钢板；当梁的斜截面受剪承载力不足时，可采用局部粘贴并联 L 形箍板（边板）进行加固。加固设计时应根据粘贴钢板位置计算正截面承载能力、斜截面承载力及钢板锚固粘结长度。使用该方法时粘结钢板厚度主要根据结合面混凝土强度、锚固区长度及施工操作要求而定，粘接钢板在加固点外的锚固长度，除满足计算外，还必须满足一定的构造要求。

2 粘贴碳纤维片材法

粘贴碳纤维片材加固法适用受拉区横向裂缝加固和梁端区斜裂缝加固，该方

法可提高构件抗弯、抗剪承载能力。由于该方法在构件表面整体粘贴，不利于病害发展的观测，目前使用减少。

3 增强横向联系加固

空心板、矩形板梁横向联系薄弱，当在铰缝位置有水迹、桥面铺装沿铰缝位置出现纵向裂缝甚至出现桥面铺装碎裂带、横向主梁间出现明显错台时，应加固补强构件间横向联系。增强横向联系通常有加厚桥面板、增焊主筋、重做铰缝构造、铺设桥面补强层几种方法。

铺设桥面补强层在板梁桥加固应用较多。通常与重做铰缝构造、增设桥面钢筋网、增焊主筋等措施同时应用，以达到增强桥梁整体性、提高承载能力的目的。桥面补强加固施工凿除原桥面铺装时，应尽量保留原铰缝钢筋和伸缩缝预埋钢筋，若出现损坏应予以补齐。桥面铺装钢筋网与梁体预留钢筋、植入的锚固钢筋和架立短钢筋按相关规范点焊或绑扎牢固。浇筑新桥面混凝土时，结合面必须凿毛，冲洗干净，混凝土表面要充分湿润。桥面混凝土的平整度必须满足规范要求。如图 6.2.3-1 所示。

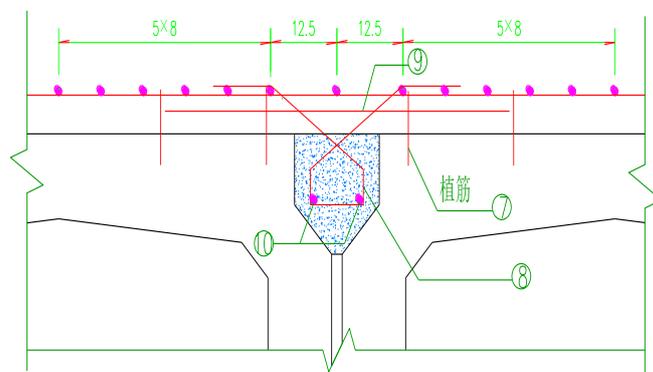


图6.2.3-1 空心板桥桥面补强层加固示意图

4 体外预应力加固法

体外预应力加固法适用于结构承载能力不足引起的梁体开裂、梁体下挠等病害的处理，在梁底部位施加纵向预应力，从而对梁体产生反向弯矩，以抵消部分自重及活载产生的正弯矩，提高梁的承载能力。空心板梁桥通常采用板底增加纵向预应力的加固方法，预应力常有钢丝束或钢绞线组成。体外预应力筋用量等应按照相关规范进行计算。如图 6.2.3-2 所示。



图6.2.3-2 板梁桥体外预应力加固示意图

5 桥面连续加固法

桥面连续加固可增强梁的刚度，提高桥梁的承载能力，并改善行车条件。凿除原桥面铺装时，应尽量保留原铰缝钢筋和伸缩缝预埋钢筋，若出现损坏应予以补齐。桥面混凝土的平整度必须满足规范要求。

6.2.4 加固方法

钢筋混凝土板梁桥主要病害及加固方法见表 6.2.4-1，可结合几种方法同时使用。

表6.2.4-1 钢筋混凝土梁板桥主要病害及加固方法

病害	结构形式	加固目的	加固方法	优点	缺点
跨中受拉区域横向裂缝	整体板、空心板、矩形板	提高结构抗弯承载力,改善结构应力状态	粘贴钢板	提高抗弯、抗剪承载力,改善应力分布,施工方便	被动加固
			粘贴碳纤维片材	增加应力储备,施工方便,轻质高强、操作简单、易于粘贴、不锈蚀	将梁体表面覆盖,不利于结构检查。片材加固一定时间后有脱落现象。
			增加体外预应力	增加应力储备、提高结构承载力。	技术难度高,尤其是对转向和锚固部位要求高,对原结构有一定损伤。
			桥面连续加固法	增强了梁的刚度,提高了桥梁的承载能力,并改善行车条件	对交通影响较大
梁端区域斜截面裂缝	整体板、空心板、矩形板	提高抗剪承载能力,改善结构应力状态	粘贴钢板	提高抗弯、抗剪承载力,改善应力分布,施工方便	增加结构自重和恒载弯矩
			粘贴碳纤维片材	增加应力储备,施工方便,轻质高强、操作简单、易于粘贴、不锈蚀	将梁体表面覆盖,不利于结构检查。片材加固一定时间后有脱落现象。
桥面铺装铰缝位置纵向开裂	空心板、矩形板	加强梁间横向联系,提高上部结构整体性,提高承能力	增强横向联系	提高桥梁结构的抗弯刚度和承载能力,提高整体受力性能	对交通影响较大,加厚桥面板使结构自重和恒载弯矩增加
			铺设桥面补强层	能较改善装配式梁桥接缝部位的开裂现状,提高整体受力性能	对交通影响较大
			重做铰缝	能较改善装配式梁桥接缝部位的开裂现状,提高整体受力性能	对交通影响较大

6.3 肋梁桥加固

6.3.1 一般规定

1 本节规定的肋梁桥按上部结构形式可分为□形梁、I形梁、T形梁、工字梁、小箱梁。肋梁桥在横截面上，一般采用多片主梁布置型式，当采用□形、I形主梁组合成横截面时，基本形式也类同多T形截面。

2 装配式肋梁桥通常病害有肋梁跨中弯曲裂缝、梁端腹板剪切裂缝等结构性裂缝；收缩裂缝、施工缝裂缝和温度裂缝等非结构性裂缝；相邻肋梁间横向联系破坏；行车道板接缝开裂、铰缝开裂等病害。

3 对于预应力钢筋混凝土肋梁桥，主梁若出现结构性裂缝，无论缝宽大小，需立即进行加固处治，对裂缝进行封闭并以改善主梁应力状态和增大主梁刚度为加固目标。

4 对于普通钢筋混凝土肋梁桥，主梁若出现结构性裂缝，按照规范要求，裂缝若未超出规范规定的最大宽度要求，则可以继续定期监测，确定裂缝宽度随时间的变化规律；若裂缝宽度超出规范要求，则需立即进行加固处治，以闭合裂缝并改善主梁应力和增大主梁刚度为目标。

6.3.2 主要病害特征

1 梁端附近腹板斜裂缝

在梁端产生的腹板斜向裂缝，一般由下部开始，沿着与轴线成 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 左右的角度裂开。随着荷载增大，裂缝长度将不断增长并向受压区发展，裂缝缝数不断增多并分岔，裂缝区也逐渐向跨中方向扩大。

对于普通钢筋混凝土桥梁，主要是抗剪钢筋配置不足引起的受力裂缝；对于预应力钢筋混凝土桥梁，主要是梁端部预应力钢筋预应力损失较大导致。当出现腹板两侧贯通裂缝或裂缝间距小于30cm或宽度大于《公路桥涵养护规范》表3.5.2-4限值规定时应引起重视。T梁桥典型受力裂缝如图6.3.2-1所示，T梁桥腹板斜裂缝如图6.3.2-2所示。

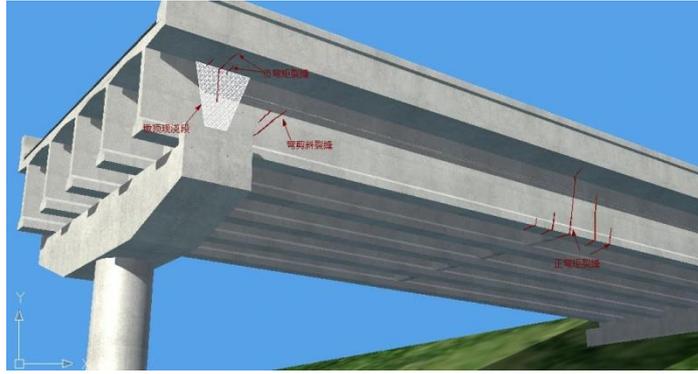


图6.3.2-1 T梁桥典型受力裂缝示意图

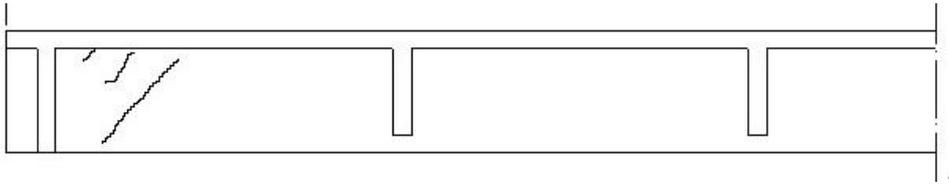


图6.3.2-2 T梁桥腹板斜裂缝示意图

2 跨中附近腹板竖向裂缝

肋梁桥跨中附近出现腹板竖向裂缝，通常是由于底板出现横向受力裂缝，上延至腹板导致，主要与车辆荷载超重、底板纵向预应力筋损失过大、主梁下挠有关。肋梁桥腹板竖向裂缝如图 6.3.2-3、6.3.2-4 所示。



图6.3.2-3 腹板竖向裂缝照片

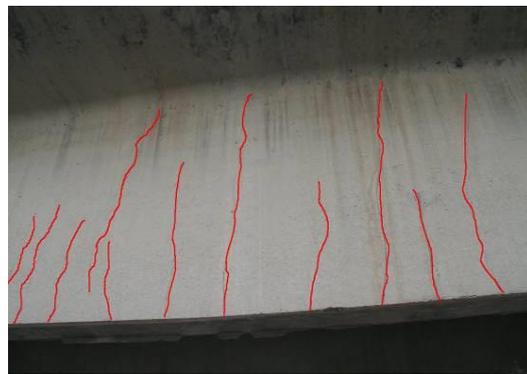


图6.3.2-4 腹板竖向裂缝照片

3 跨中底板横向裂缝

该裂缝一般是发生在跨中附近正弯矩区，由于 T 梁底板抗拉强度不足引起的横向受力裂缝。对于普通钢筋混凝土 T 梁，规范容许带裂缝工作，规定了裂缝宽度限值；对于预应力混凝土 T 梁，按全预应力构件或 A 类设计的，不容许出现此受力裂缝，对于 B 类构件，容许出现裂缝规定了宽度限值。对于预应力构件出现底板横向受力裂缝，一般是由于纵向预应力损失导致的抗拉不足。底板

横向裂缝进一步发展将向腹板延伸，形成 U 型或 L 型裂缝。T 梁桥底板横向裂缝如图 6.3.2-5 所示。



图6.3.2-5 T梁桥底板横向裂缝照片

4 底板纵向裂缝

T 梁底板纵向裂缝通常为较长裂缝，属于非结构性裂缝，其产生的主要原因在于：马蹄部位钢筋密布，混凝土浇筑质量难以保证，混凝土强度达不到设计要求，再加上波纹管定位钢筋不准或脱离，则导致波纹管位置保护层偏薄，在较大的预应力、温度力和收缩等复杂应力因素的影响下，产生沿波纹管的纵向裂缝。

5 横隔板开裂及连接钢板脱焊、断裂

装配式肋梁桥肋梁间通过端横隔板和中横隔板相互联系，活载直接作用的肋梁通过横隔板传力给非直接作用的肋梁，不同肋梁受力状况有差异。在活载长期作用下横隔板的连接钢板容易发生断裂、脱焊，及相应部位混凝土破损。造成横隔板破坏的主要因素有设计原因（横隔板尺寸偏小、数量不足）、超载、施工因素（安装错位、焊接质量）等。横隔板主要病害见图 6.3.2-6~6.3.2-9。



图6.3.2-6 横隔板混凝土破损、钢板外露



图6.3.2-7 横隔板钢板锈蚀



图6.3.2-8 横隔板钢板开焊图



6.3.2-9 横隔板混凝土破损、露筋

6 湿接缝开裂、破损、渗水

由于预制 T 梁铰缝构造相对简单，桥梁整体性较差，在重载车辆容易引起湿接缝开裂渗水，严重则导致单梁受力，影响结构安全。如图 6.3.2-10、11 所示。



图6.3.2-10 湿接缝开裂、渗水、白析



图6.3.2-11 桥面铺装延湿接缝开裂

7 现浇段连续处开裂

跨径较大的简支梁桥往往需在主梁上翼缘间浇筑混凝土，使各主梁连接成整体，构成桥面板；或在预制主梁上现浇整体桥面板；或较为常见的先简支后连续梁桥墩顶现浇湿接缝等，由于拉应力及裂缝的宽度超标，现浇段连续处容易开裂。

图 6.3.2-12 为先简支后连续 T 梁桥现浇段典型病害示意图。

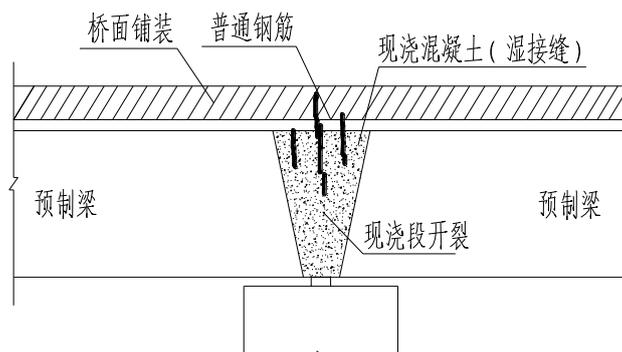


图6.3.2-12 先简支后连续T型梁桥现浇段典型病害示意图

6.3.3 肋梁桥典型加固方法

1 肋梁桥加固的常用方法有增大截面加固、粘贴钢板加固、改变结构体系加固、预应力加固、增强主梁整体性加固、增设主梁加固等，设计者可根据病害成因和加固需求可以选择一种或者多种加固方法。

2 增大构件截面加固法适用于梁体刚度不足、抗弯或抗剪承载力不足的情况，一般有增设马蹄法、增大梁腋法、截面整体增大法等方法。

(1) 增设马蹄法是将肋梁的下翼缘加宽加高，扩大梁的断面，在新增断面中增设主筋，可适用于主梁抗弯强度不足、刚度不足的桥梁加固。如图 6.3.3-1 所示。

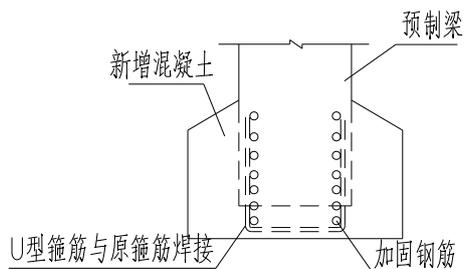


图6.3.3-1 增设马蹄法加固示意图

(2) 增大梁腋法需要通过截面计算确定增大截面部位及范围，需根据肋梁桥截面受力特点，增设不同的梁腋截面，如跨中附近截面底缘受拉，则在梁底部增大断面，而梁端部截面上缘受拉，则在肋梁上部增大断面。如图 6.3.3-2 所示。

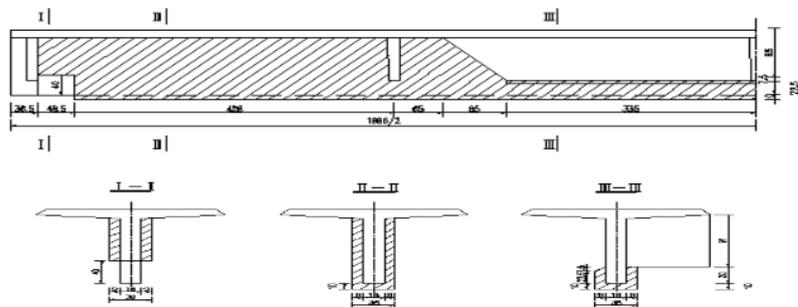


图6.3.3-2 增大梁腋加固示意图

(3) 截面整体增大法通过肋梁顶面、侧面及底面补强钢筋混凝土，以达到增加肋梁整体刚度、提高承载力的目的，此方案缺点是增加自重较多，一般需配合

增设体外预应力或预应力碳纤维板等主动加固方式共同使用,以达到抵消新增自重的影响。

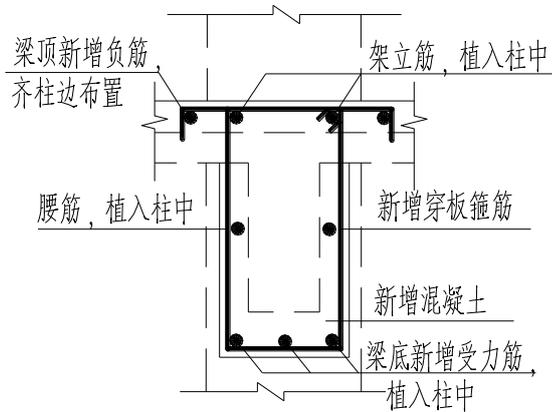


图6.3.3-3 肋梁整体增大断面加固示意图

3 粘贴钢板加固法

(1) 按照裂缝产生的部位,粘贴钢板加固法主要有底板粘贴钢板加固、腹板粘贴钢板加固、横隔板粘贴钢板加固、负弯矩段(墩顶)粘贴钢板加固等,粘贴钢板原则上按照与裂缝垂直的方向进行粘贴。

(2) 在加固设计计算时,可将钢板换算成钢筋,按照原有构件承受恒载与活载、增加的钢板承担活载考虑。粘贴钢板加固肋梁的计算可参照《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22-2008)。

(3) 底板出现横向受力裂缝,一般采用粘贴纵向钢板带,并在端部加以 U 形箍及加强 U 形箍固定;底板出现纵向通长裂缝,一般在整跨范围内按照一定间隔粘贴 U 型钢板,并以压条固定。图 6.3.3-4 为底板粘贴纵向钢板示意图。

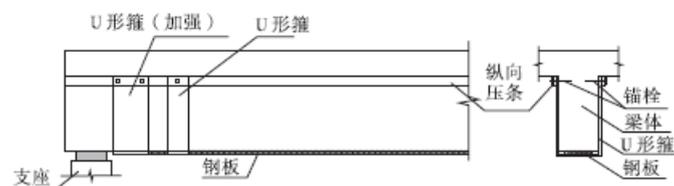


图6.3.3-4 底板粘贴纵向钢板示意图

(4) 腹板出现斜向裂缝,宜粘贴与裂缝垂直的斜向钢板带,粘贴范围为 1/4 跨和 3/4 跨附近;腹板出现竖向裂缝,通常为底板横向裂缝上沿所致,这种情况应先对底板粘贴纵向钢板,然后在整个腹板面内按照一定间隔粘贴纵向钢板带。

需要注意的是腹板粘贴钢板宜腹板两侧对称、沿桥跨方向对称。如图 6.3.3-5 所示。

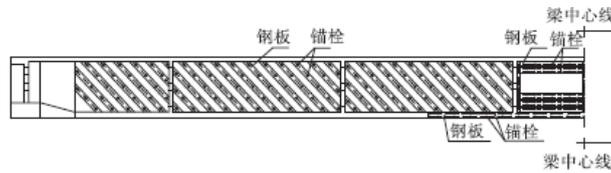


图6.3.3-5 T梁腹板粘贴斜向钢板带示意图

(5) 当负弯矩段出现横向裂缝，一般采用粘贴纵向钢板带，并以钢板压条固定。如图 6.3.3-6 所示。

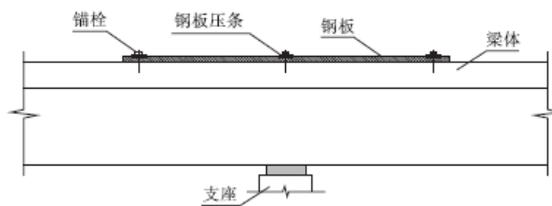


图6.3.3-6 负弯矩段粘贴钢板加固示意图

(6) 由于装配式肋梁桥主梁数量较多，可根据实际病害情况，结合经济指标，有针对性的对病害较严重的几跨进行粘贴钢板加固。

4 改变结构体系加固法

(1) 改变结构体系加固是指通过增设托架、柱等构造措施，使得结构的支撑条件发生变化，改变结构的受力模式，以达到减小截面应力和提高结构整体承载力的加固方法。目前比较常见的做法为增设支架或桥墩、将简支梁梁桥转换为连续梁桥等加固方法。

(2) 变简支梁为连续梁的加固原理在于：通过将相邻两个梁的梁端固结，或在桥跨中间增设支点等措施，使简支梁变成一组连续梁体系。按照连续梁的力学特征，支点处的负弯矩使跨中的正弯矩减小，以及邻跨荷载的相互作用，使桥梁的受力状况得到改善，实现在不增加梁截面的情况下提高承载能力的目的。其做法有下面三种：

1) 梁端固结法

这种方法的原理是通过桥面连续将多跨简支梁联接起来，变为桥面连续梁。

桥面连续与原梁结合成整体共同受力,增强了梁的刚度,提高了桥梁的承载能力,并改善行车条件。具体做法如下:①桥面凿毛;②起梁;③更换支座;④凿除梁端混凝土保护层;⑤铺设负弯矩钢筋;⑥浇筑梁端接头和桥面混凝土。

2) 八字撑架法

通过在桥下设置八字撑提供两个弹性支承,可使单跨简支梁变为一组三跨的连续梁;也可用来改善连续梁的受力状况。如图 6.3.3-7 所示,其要点如下:

①合理选择支承点的位置,使支点处梁截面在活载作用下的负弯矩相当于该处未设支承前的恒载正弯矩。保持各截面的应力均不超过容许值。

②支承处一般用四氟板滑动支座,以保证支座无水平阻力,真正起到弹性支承的作用。

③撑架的上下支点均为活动铰接支承,加固计算时,梁的恒载内力按简支梁计算,活载内力按三跨连续梁计算,两者叠加。八字撑架按铰接框架结构计算。

④如果改为连续梁体系后仍满足不了承载能力的要求时,则可同时采取加厚桥面板或增大梁截面等措施。

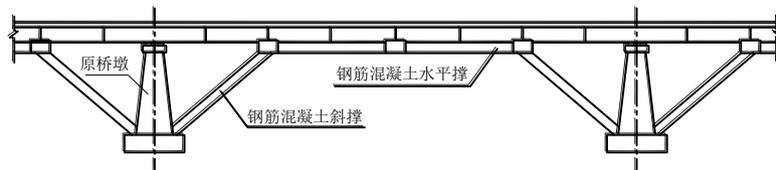


图6.3.3-7八字撑架加固示意图

3) 增设墩柱加固法

此方法适用于桥下净空有利用空间的肋梁桥加固。在桥墩两侧或跨中设置钢筋混凝土墩柱,墩柱顶安装橡胶支座,提供新的支承,使简支梁变为连续梁。这种方法对于在重荷载作用下出现病害的桥梁,减少跨中弯矩和支承处剪力,改善受力状况。

5 增设预应力加固法

(1) 梁底体内预应力法

此方法为在梁底部施加预应力后,外包混凝土与旧梁结为整体,形成马蹄。

其优点是将普通钢筋混凝土梁改造成预应力钢筋混凝土梁，且通过梁底张拉，将裂缝闭合。缺点是外包混凝土施工复杂，实际工程中很难实施。

(2) 体外预应力加固

1) 当肋梁桥刚度、承载力不足，出现底板开裂、梁体下挠等病害时，通常采用体外纵向预应力钢束这种主动的加固方式。一般情况下，纵向预应力束对称布置在每片 T 梁的腹板两侧，两端分别锚固于梁端新增齿板上，通过转向块实现钢束转向。图 6.3.3-8 为体外预应力钢束布置示意图。

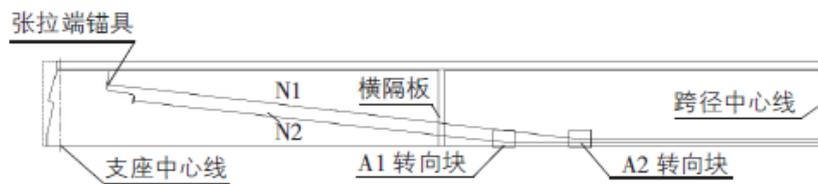


图6.3.3-8 体外预应力钢束布置示意图

2) 需要计算锚块及转向块产生的局部应力，通常情况下，在靠近垫板处极易产生横向压应力，在其他部位产生横向拉应力。钢束定位偏差、车辆通过时振动(施工浇筑混凝土时未封闭交通)及齿板倒角不规范，均有可能对裂缝的形成及发展造成影响。

3) 经过体外预应力加固后的梁受力计算可分为两个阶段，即体外预应力的张拉阶段和受载阶段，其中受载阶段又可以分为卸载阶段、正常使用阶段和极限承载力阶段。

6 增强桥梁整体性加固法

本加固方法适用于主梁性能良好、横向联系薄弱、整体性差的情况，这种情况可采取加强横向联系、桥面铺装的措施，增强桥梁的整体性和承载力，以达到提高承载能力的目的。其措施有：

(1) 加强横隔板

1) 对横隔板的加固，具体方法有加厚横隔板法、粘锚钢板法、粘贴钢板法、预应力加固法、下缘增加钢筋补强法等，最终目的都是以加强横梁与纵梁的整体连接作用。

2) 粘锚钢板法一般采用 V 形钢板粘贴加固, 以连续杆件取代原结构的上、下缘的钢筋连接, 斜杆取代原设计的斜筋, 综合了粘贴钢板法和锚栓钢板法的优点, 施工工艺简单、施工速度快、对交通影响较小。该方案适用于严重破损的横隔板加固, 即横梁下缘连接钢板失效、横梁错位连接或整体性破坏的情况。图 6.3.3-9 为粘锚钢板法加固示意图。

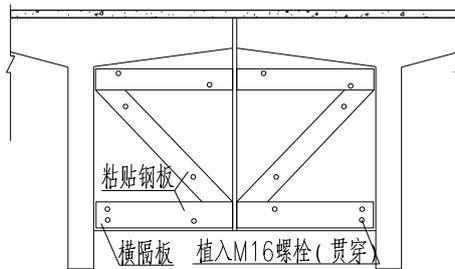


图6.3.3-9 粘锚钢板法加固示意图

3) 横隔板粘贴钢板法工程中应用最多, 一般采用宽型钢板带、横向布置。如图 6.3.3-10 所示。

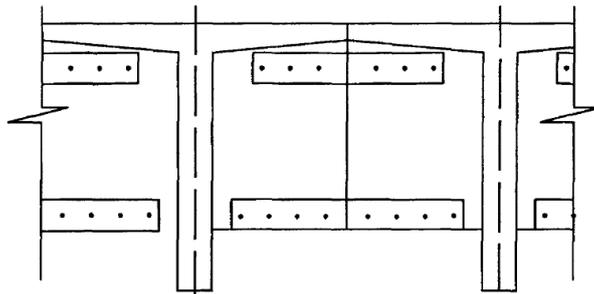


图6.3.3-10 粘贴钢板加固示意图

4) 预应力加固法适用于没有中间横隔板或横隔板破坏特别严重的肋梁桥, 采用此加固方法需要考虑到横隔板截面小, 需要验证截面能承受的抗压强度; 另外, 由于肋梁在张拉过程中有倾覆的可能, 因此需要验证其抗倾覆能力。具体如图 6.3.3-11 所示。

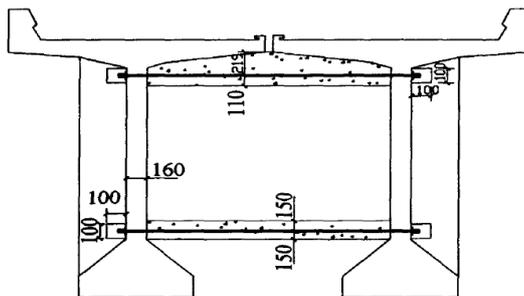


图6.3.3-11 预应力加固法示意图

5) 由于横隔板下缘受到最大的拉力, 在车辆超载严重的情况下, 横隔板配筋不足, 导致下缘病害严重, 此种情况可以采用下缘增加钢筋补强法。在横隔板下缘两侧各增加数根钢筋, 再浇筑混凝土使其外观形成一马蹄形。如图 6.3.3-12 所示。

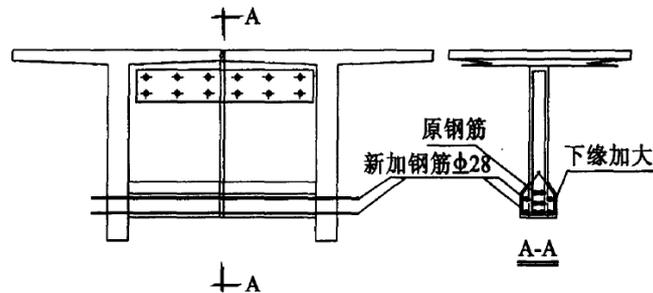


图6.3.3-12 下缘增加钢筋补强法加固示意图

(2) 增设横隔板

对于装配式肋梁桥的横向联系加固, 除了上述对横隔板进行补强外, 还有就是通过增设横隔板, 起到加强结构整体刚度的作用。这种加固方法通常是在跨中附近增设, 一般采用新浇筑钢筋混凝土横梁, 新增横隔梁内钢筋通过植筋与肋梁腹板连接。此方法的缺点是在一定程度上增加了结构自重, 另外由于施工的复杂性 (施工平台及浇筑混凝土), 工程中采用的不多。具体如脱 6.3.3-13 所示。

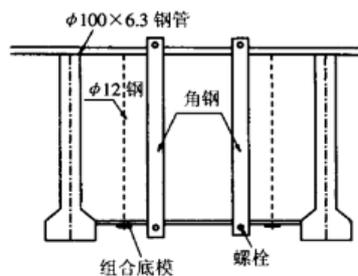


图6.3.3-13 新增横隔板模板支撑示意图

(3) 桥面补强层加固

将原有桥面铺装拆除, 在原桥面上浇筑钢筋混凝土补强层, 以提高桥梁结构的抗弯刚度和承载能力, 通常称为“加厚法”。

施工时, 桥面板表面要凿毛冲洗干净, 以保证新旧混凝土有良好的结合。也可采用在原桥面板上设置齿形剪力槽 (1~1.5cm 深、间距 5~7cm) 或埋置钢筋柱, 以及用环氧树脂作为胶结层等措施, 来保证粘结面上有足够的抗剪强度, 从

而增强新旧结构间的整体性。新浇补强层中应设置钢筋网（一般采用 $\phi 8 \sim 12\text{mm}$ 的钢筋）。

7 增设主梁加固技术

增加主梁加固是利用肋梁间的空间，通过增加新的肋梁，使承受荷载的肋梁数目增多，新增部分与原结构共同承担后期恒载及活载，改善荷载横向分布，从而使原主梁卸载，达到了提高桥梁承载力的目的。同时，为提高结构的整体刚度，拆除原有混凝土桥面铺装，新增整体防水钢筋网混凝土桥面层。新、旧主梁之间仍然铰接，新增主梁按普通钢筋混凝土主梁设计。如图 6.3.3-14 所示。

这种加固方法有两点要注意：

(1) 保证新旧主梁的整体性，新旧主梁间的横隔板和翼板联结要加强，可设置贯穿全桥宽的拉紧钢筋，以增强横向整体性。

(2) 新旧主梁的联结工序，应在新梁拆除模板之后进行，以免新梁荷重增加旧梁的附加应力。

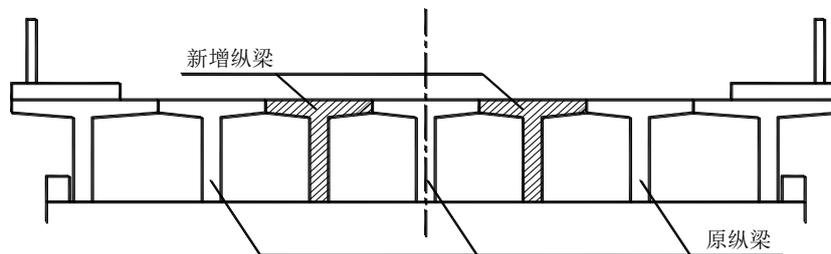


图6.3.3-14 增设主梁加固示意图

6.3.4 加固方法

各种加固方法都有它一定的适用范围和各自的优缺点，可根据所需加固桥梁的病害性质、技术状况、施工条件，选择某一种方法或几种方法同时使用，以达到预期的加固效果。具体见表 6.3.4-1。

表6.3-1肋梁桥主要病害及加固方法

病害	结构形式	加固目的	加固方法	优点	缺点
跨中附近底板横向裂缝、跨中附近腹板竖裂缝、斜裂缝、下挠	普通钢筋混凝土或预应力混凝土[]形梁、I形梁、T形梁、小箱梁	提高结构抗弯承载力、提高跨中底板压应力储备、改善跨中应力状态	改变结构体系加固	主动加固，能较彻底改变结构整体受力特性。	施工复杂、工期较长、费用高
			体内预应力加固	主动加固，增加应力储备、提高结构承载力。	施工复杂、工期较长
			体外预应力加固	主动加固，增加应力储备、提高结构承载力。	技术难度高，尤其是对转向和锚固部位要求高，对原结构有一定损伤。
			张拉预应力碳纤维板加固	主动加固，增加应力储备，施工方便。	费用偏高
			增大梁腋法	改善底板应力状态，提高抗弯承载力。	被动加固，增加自重、施工复杂。
			粘贴钢板加固	提高抗弯、抗剪承载力，改善应力分布，施工方便	被动加固
梁端区域腹板斜裂缝	普通钢筋混凝土或预应力混凝土[]形梁、I形梁、T形梁、小箱梁	提高结构抗剪承载力、增加腹板压应力储备	粘贴钢板加固	改善应力分布，施工方便，造价较低	被动加固
			增大断面加固	改善截面应力状态，提高抗剪承载力。	施工复杂，增加自重，对交通影响较大
			张拉预应力碳纤维板加固	增加应力储备，提高抗剪承载力，施工方便	费用偏高
横向联接破坏或失效	普通钢筋混凝土或预应力混凝土[]形梁、I形梁、T形梁	结构整体刚度不足、承载力下降、改善单板受力状况	增设横隔板加固	彻底提高整体刚度，提高承载力	施工复杂、工期长、增加自重
			加强横隔板（加大断面）	提高整体刚度，提高承载力	施工复杂、工期长、增加自重
			粘贴钢板加固	一定程度上提高承载力和刚度，改善横隔板受力状态	被动加固

			增设主梁加固法	彻底提高整体刚度, 提高承载力	工艺复杂, 工期较长, 较少采用
底板纵向通长裂缝、腹板斜向通长裂缝	预应力混凝土□形梁、I形梁、T形梁、小箱梁	提高混凝土耐久性、恢复截面刚度	粘贴钢板加固	改善应力分布, 提高耐久性, 施工方便, 造价较低	被动加固
			粘贴碳纤维加固	提高耐久性	一般不建议采用, 碳纤维布的高抗拉性能很难发挥
翼缘板横向裂缝	普通钢筋混凝土或预应力混凝土□形梁、I形梁、T形梁、小箱梁	改善翼缘板应力状态、增加应力储备、提高结构耐久性	粘贴钢板加固	提高抗弯、抗剪承载力, 改善应力分布, 施工方便	被动加固
			加大截面加固	改善截面应力状态, 提高抗剪承载力。	增加自重、施工复杂、对交通影响大。
行车道板接缝纵向开裂	普通钢筋混凝土或预应力混凝土□形梁、I形梁、T形梁、小箱梁	提高装配式肋梁桥横向整体性、提高承载力	加厚桥面板加固	能较彻底改善装配式肋梁桥接缝部位的开裂现状, 提高整体受力性能	对交通影响较大, 造价偏高
			增焊主筋加固	提高装配式肋梁桥接缝抗剪承载力, 改善应力状态	对交通影响较大, 施工复杂。

6.4 箱梁桥加固

6.4.1 一般规定

1 整体式箱梁具有抗弯惯矩大、抗扭刚度大的特点，适用于跨径较大的连续梁及连续刚构。变截面箱梁一般采用悬臂浇筑，等截面箱梁采用整体现浇或悬臂浇筑。图 6.4.1-1 为整体式箱梁构造示意图。

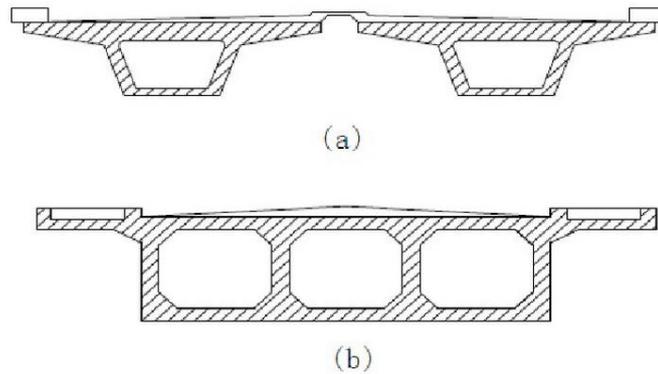


图6.4-1整体式箱梁构造示意图

2 箱形连续梁桥主要分为连续梁、连续刚构和刚构连续梁组合体系三种结构，其施工方法和结构特征比较类似，通常以悬臂浇筑为主。其常见病害：跨中下挠过大、箱梁开裂等。

3 连续箱梁加固目的：弥补原预应力不足或损失；提高结构关键截面的抗弯承载能力；增加应力储备；改善上部结构性能和行车舒适性；避免对原结构造成新的损伤。

4 连续箱梁加固必须满足的基本条件：（1）桥梁经加固后，原结构缺陷得到修复，结构性能、承载能力与耐久性等都能满足使用上的要求；（2）具有明显的经济效益。

5 箱梁桥加固常采用的方法：粘贴碳纤维片材、粘贴钢板加固、体外预应力加固、增大主梁截面、增加构件加固，几种方法可组合使用。其他可采用的处治措施如桥面减重、预应力管道补压浆等。当原结构开裂较严重时，应先采取有效措施修补裂缝，尽量恢复结构刚度，并为其他加固方法提供有利条件。

6 原结构承载力严重不足时宜采取主动加固方法，提高结构承载能力，如增

设预应力束，其他加固方法可酌情同时采用。当原有结构的拉应力储备不足或超限，可考虑桥面系减载，或增大截面法。

7 大跨径箱梁桥一般采用悬臂浇筑法，计算时应考虑施工过程应力和内力的叠加。并考虑开裂结构的性能衰减、预应力实际损失、混凝土收缩徐变、混凝土超方或二期恒载增大的影响。如有新增混凝土构件，应考虑新旧混凝土收缩徐变完成时间不同的影响。

8 有效预应力的模拟，应依据压浆密实度检测、锚固区外观检查等检测情况进行预估，再通过结构模拟分析试算，对比理论计算结果与实际开裂情况和下挠量的吻合度，最终确定有效预应力。在此基础上，完成加固方案计算和加固效果分析。

9 对于大跨径连续刚构桥，建议对箱梁薄弱断面进行横向分析。可采用考虑框架模型或空间实体单元模型计算。荷载包括自重（考虑实际超方荷载）、活载（考虑实际超载）、箱内外温差（可按 5°C 计）等因素对结构的影响。

10 由于加固新增构件一般仅承受活载等二阶段荷载，建议采用组合截面进行分阶段受力验算，第一阶段构件按原构件截面承受自重及加固荷载，第二阶段为组合截面承受自重及可变作用。

11 箱梁桥加固前需重点对腹板、跨中底板、墩顶顶板、节段接缝、合拢段、桥面线形、预应力压浆和锚固状况等进行检测。依据病害成因分析，结合结构计算分析结果，选用合适的加固方法，必要时可进行相关试验。加固应根据病害、裂缝、变形的发展状态，确定合理的加固时机，避免多次加固。

6.4.2 主要病害特征

1 箱梁跨中下挠过大

大跨连续刚构（连续梁）跨中下挠过大是此类结构较为普遍的病害，通常主跨下挠最大。下挠过大常常伴有裂缝产生、开展，结构变形和开裂形成恶性循环，持续恶化。图 6.4.2-1 为连续刚构跨中下挠过大示意图。

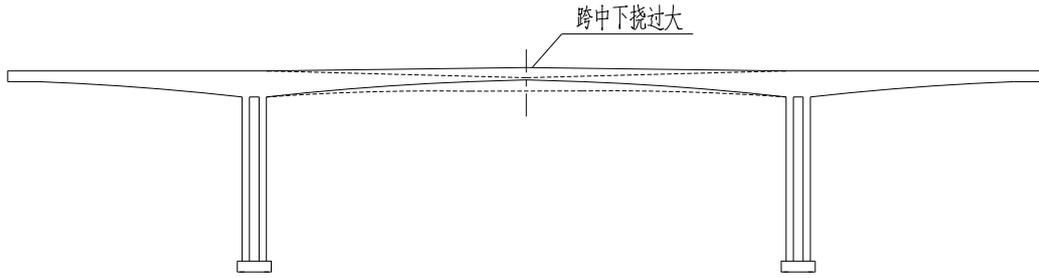


图6.4.2-1 连续刚构跨中下挠过大示意图

大跨连续刚构（连续梁）跨中下挠通常与以下因素有关：1）结构设计存在不足，收缩徐变计算与实际差异较大，预应力损失估计不足；2）施工质量控制不严，导致有效预应力降低及恒载增大。3）交通量发展迅速，超过桥梁设计荷载的车辆频繁过桥，导致桥梁关键部位出现无法恢复的变形。

2 跨中底板、支点顶板横向裂缝

箱梁横向开裂通常发生在正弯矩较大的跨中以及负弯矩较大的支点附近，裂缝沿横向通长，严重时可以与腹板竖向裂缝或者斜裂缝贯通。图 6.4.2-2 为跨中区域底板横向裂缝、支点区域顶板的横向裂缝示意图。

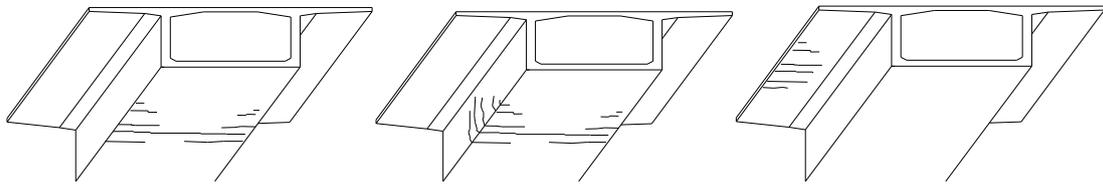


图6.4.2-2 跨中区域底板横向裂缝、支点区域顶板横向裂缝示意图

箱梁在正、负弯矩区横向开裂可判断为结构裂缝，拉应力超限，其原因可能是设计配筋不足，实际荷载效应大于主梁设计承载能力，正截面强度不足、纵向预应力度达不到设计标准。纵向预应力度太小会导致梁体下挠过大，梁体的下挠又反过来促使横向裂缝的产生。

3 顶底板纵向裂缝

箱梁顶、底板纵向裂缝表现为沿纵向筋或预应力管道的纵向开裂。如图 6.4.2-3 所示。

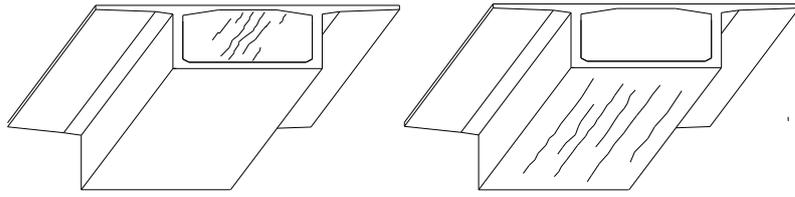


图6.4.2-3 顶底板纵向裂缝

顶板纵向裂缝产生的原因：1) 超载车辆轴重荷载产生的横向弯矩过大，使顶板下缘产生纵向裂缝。2) 顶板偏薄，主梁截面箱宽与翼板宽比例不当。根据箱梁在荷载下的受力分析，横向顶板跨中产生正弯矩，翼板产生负弯矩。3) 横向预应力筋布置的构造要求，通常只布置在顶板上缘，最终导致翼缘板负弯矩区应力过大而产生裂缝。4) 顶板布置了较多的纵向预应力筋及普通钢筋，实际位置不精确，造成应力分布不均匀，当局部应力过大时引起顶板局部纵向开裂。

底板纵向裂缝产生原因：大跨度预应力混凝土箱梁多采用变截面形式，曲线布置预应力钢束使得箱梁底板受到一个径向力的作用，同时较多的预应力筋集中于底板，预应力筋张拉时会产生较大的应力。而往往底板上未横向预应力，因此容易产生纵向裂缝。此外，温差应力和混凝土收缩徐变也是导致底板纵向裂缝产生的另一主要原因。

4 腹板斜裂缝

支点至钢束反弯点之间的箱梁腹板出现斜裂缝，倾斜角度多为 $0 \sim 50$ 度，裂缝往往以对称分布形式出现的。如图 6.4.2-4 所示。

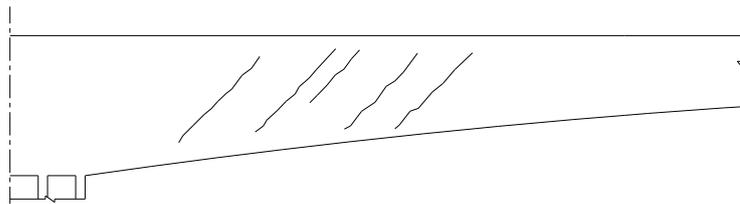


图6.4.2-4 腹板斜裂缝

斜裂缝出现的原因分析：1) 设计承载力不足、运营超载、预应力损失造成腹板的抗剪承载力不足。2) 部分大跨径薄壁箱形桥梁纵向顶板索为直线索未设计下弯索，对主梁下挠的抑制作用效果较差，且在腹板竖向预应力损失过大的情况下，容易造成腹板开裂。3) 在气温变化明显、昼夜温差大的地区，相对厚度较薄的翼缘板随外界气温变化幅度较大，腹板受拉压应力反复作用，容易出现斜

裂缝。

5 跨中梁底崩裂

箱梁底板混凝土崩裂、掉块，甚至可见钢筋网及波纹管。具体如图 6.4.2-5 所示。



图6.4.2-5 箱梁底板崩裂

梁底崩裂原因分析：变截面箱梁底板线形采用抛物线变化，抛物线的指数越小，跨中位置处的预应力束的等效径向力越大，对底板受力越不利。跨中区域加密防崩钢筋的设计不足，施工中张拉混凝土强度未达到设计值、钢束定位误差、合龙段存在高差，以及底板波纹管支架的混凝土振捣不密实等原因可能导致梁底崩裂病害的发生。

6 翼缘板根部及梗腋部位的水平裂缝

翼缘板根部及梗腋部位的水平裂缝，具体如图 6.4.2-6 所示。

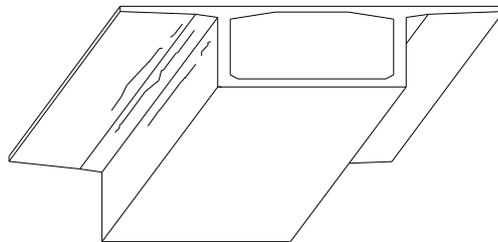


图6.4.2-6 翼板根部及梗腋部位的水平裂缝

病害原因分析：1) 结构性裂缝：未考虑剪滞效应所致。在大多数情况下，特别是对于翼缘较宽的薄壁箱形梁来说，由于翼板中的剪切变形导致纵向正应力沿翼板宽度方向呈不均匀分布，通常情况下，翼缘板根部处的正应力大于翼板中

点处，而一般桥梁设计中主要采用以初等梁理论为基础的杆系单元进行设计，这就造成了翼缘板根部实际应力大于设计应力。2) 非结构性裂缝：此类裂缝的出现存在一定的规律性，与不同施工节段间混凝土不同龄期的收缩差(各节段混凝土的绕注存在一定时间差)以及施工过程中预应力张拉引起的局部应力等因素有关系。

7 锚下裂缝

齿板、锚固块易出现锚下裂缝。齿板锚固面与梁体交接部位开始出现横向受拉裂纹，继而发展成裂缝甚至裂口，最后沿齿板两侧发展成剪切裂缝。具体如图 6.4.2-7 所示。

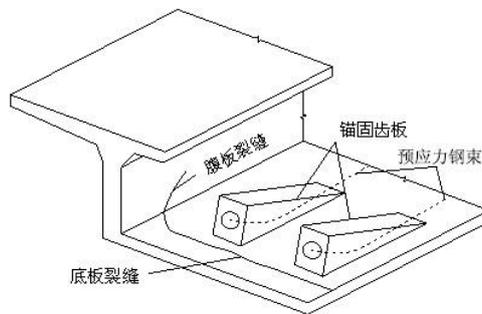


图6.4.2-7 锚下裂缝

病害原因分析：锚下裂缝是应力集中的结果，在齿板和凹槽部位，由于几何构造上的突变、锚具后面张拉力以及预应力钢筋局部弯曲径向力，容易产生裂缝，并向深层扩展，同时产生横向拉力。锚固端混凝土强度不够，锚固间距不符合构造要求等均可能因为过大的压力产生纵向裂缝。预应力束布置和齿板构造欠合理，导致锚下和齿板附近局部裂缝。

6.4.3 箱梁桥典型加固方法

1 体外预应力束加固法

(1) 对于大跨薄壁箱梁正截面承载能力不足造成的主梁跨中挠度过大；跨中底板横向开裂，部分裂缝已延伸至腹板；腹板斜向开裂严重等病害，首先考虑体外预应力加固技术。体外预应力加固法对其病害的控制有着非常明显的改善，可提高承重结构刚度和抗裂性能，改善桥梁的线形和内力。

(2) 体外预应力加固整体计算应包括：结构持久状况承载能力极限状态计

算、持久状况正常使用极限状态计算、持久状况和短暂应力状况的应力计算。体外预应力加固局部计算主要包括包括：转向构造和锚固区的承载力和抗裂性计算。具体参见《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22-2008 第 8 章。

(3) 体外预应力加固按下列三类情况设计：全预应力混凝土加固；A 类体外预应力混凝土加固；B 类体外预应力加固。内力分析时，应采用全截面换算截面几何特性。应力分析时，全预应力构件、A 类构件应采用全截面换算截面几何特性，B 类构件应采用开裂的换算截面几何特性。

(4) 体外预应力束布置形式需根据结构病害特征和加固目标确定。一般来说，承载能力满足要求，可采用局部短束预应力改善构件的应力状态。承载能力不足，下挠量较大，可采用全跨通长布置的预应力束提高结构承载能力，并改善构件应力状态。可适当多跨连续布置，以减小锚固数量，并降低工程造价。

(5) 体外预应力束一般布置在箱的内侧，横桥向对称布置。纵向布置，应综合考虑内力沿梁长方向变化的纵向受力要求和转向力集中分布的影响。

线形尽量与原结构预应力束方向一致，应以计算结果为准。多束预应力束宜分散转向，更好地适应内力沿梁长的变化。体外束在中墩处尽可能靠近顶板，但穿索孔道需避开中墩横梁的体内横向束。体外束锚固遵循分散、避免集中、靠近腹板等原则。

图 6.4.3-1、图 6.4.3-2 为常见通长束布置方案，前者适用于对于跨中下挠过大，控制下挠速率有明显，后者适用于主拉应力超限，腹板严重开裂的情况。

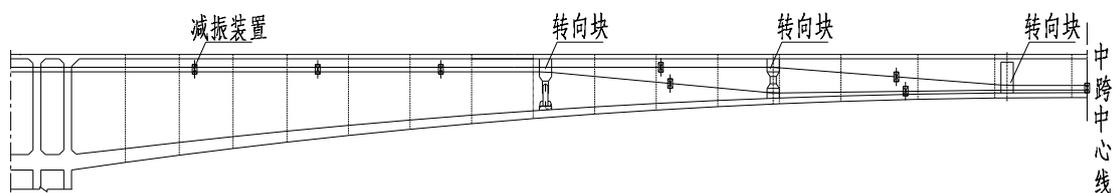


图6.4.3-1 改善下挠过大的预应力束形式

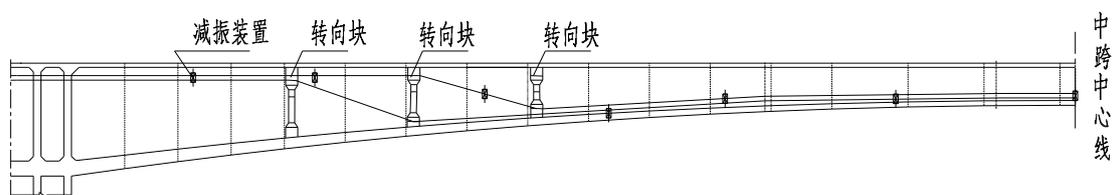


图6.4.3-2 控制腹板斜裂缝的预应力束形式

(6) 预应力转向装置按材料分，有混凝土和钢制，或两种材料组合。

混凝土转向装置分为转向块、转向肋和转向横隔板。具体如图 6.4.3-3 所示。

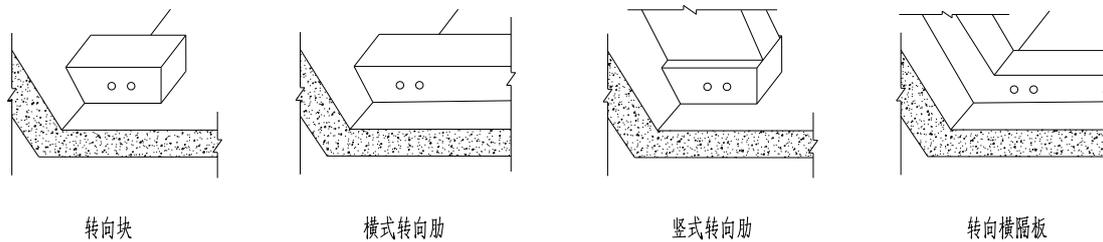


图6.4.3-3 混凝土转向装置示意图

转向块混凝土体积小，附加荷载小，模板构造较简单，但承载能力较横隔板式、肋式小。块式转向块的合理转向块的细节设计应保证在使用荷载条件下受力性能良好，在承载能力极限状态下有足够的延性和安全度。

转向肋可采用底横梁式（水平式）和竖肋式。底横梁式转向肋用于体外预应力束横向转向力较大的情况，或用于两个转向点之间的钢束定位。竖式转向肋用于体外预应力束竖向转向力较大的情况。

转向横隔板适用于体外预应力在竖、横向力均比较大的情况。

转向肋和转向横隔板均属于受压型转向，可利用转向肋（板）与腹板、顶底板的连接强度，承载力较大，但恒载重量较大，模板构造较为复杂。

钢制转向块增加重量小，常见构造形式如下图 6.4.3-4 所示：



图6.4.3-4 常见钢制转向块

(7) 为防止桥面行车引起体外钢束过大的震动，应沿纵向设置防震定位装

置，间隔宜不大于 10m，该装置由钢板、螺杆和减震橡胶等构件组成。

(8) 预应力锚固区一般设置于支座梁端或者刚度较大的端部横隔梁。锚固系统宜采用可更换锚具。锚固体可采用混凝土齿板、钢锚箱或横隔板锚固。增设齿板（或锚块）和转向板，需要用剪力槽配合植筋与原结构混凝土相连，保证受力的整体性。新增混凝土宜采用自密实混凝土浇筑。

(9) 体外预应力加固过程中应进行实时监测，确保施工过程安全，并掌握加固前后应力、挠度变化值，以评估加固效果。体外束加固是施工、监测、识别、调整、预测、施工的循环过程。监测内容包括：1) 变形监测：确保结构在加固施工中的实际位置状态与预期状态之间的误差在允许的范围。2) 应力监测：确保应力状态在设计的容许范围内。

2 增大主梁截面法

(1) 对于结构刚度不足，箱梁腹板厚度本身较薄的结构，可通过增大截面法增加腹板厚度，并增设体内预应力，提高其承载能力和刚度，改善其抗裂性能，抑制过大下挠都有一定作用，对结构的稳定性也有很大的提高。

(2) 采用增大截面加固法时，新增截面部分，可用现浇混凝土、自密实混凝土或喷射混凝土浇筑而成，厚度不应小于 50mm。原构件混凝土表面应予打毛，采取涂刷结构界面胶，种植剪切销钉或增设剪力键等措施，以保证新旧混凝土共同工作。

(3) 箱梁增大截面法通常采用加厚腹板或新增腹板。加厚腹板在箱梁外侧和内侧均可采用，新增腹板在横向跨中位置。新浇筑的混凝土界面内配置受力钢筋和构造钢筋。通常增大截面和张拉预应力同时采用。图 6.4.3-5 为腹板加厚、张拉体内预应力位置示意图，图 6.4.3-6 为抗剪加固：新增腹板、增设预应力示意图。

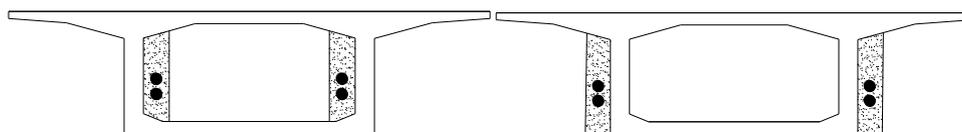


图6.4.3-5 腹板加厚、张拉体内预应力位置示意

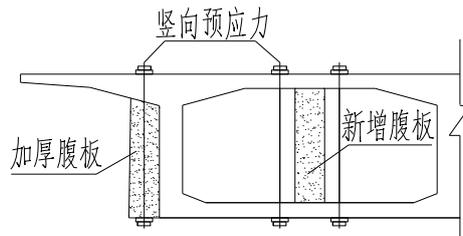


图6.4.3-6 抗剪加固：新增腹板，增设竖向预应力示意图

(4) 设计时应采取必要措施保证新旧结构的整体性。新旧混凝土收缩不同而导致结构内力重分布，从而引起新旧混凝土结合面拉应力较大，应注意采取相应的措施尽量减少混凝土收缩的不利影响。

(5) 加厚腹板具有二次受力的特点：增大截面法加固前，旧有钢筋混凝土已经具有一定初始应力和变形，在加固过后，新增腹板钢筋混凝土的自重使旧有钢筋混凝土的应力和应变进一步增大，所以新旧钢筋混凝土之间总是存在一个变形或应力的差值。就受力情况而言，旧有钢筋混凝土需要承受加固前后的恒载或其他荷载，而新增钢筋混凝土则只需承受加固后的荷载。在计算加固后截面受拉或受拉边的应力或应变时，应当分两阶段计算、叠加。

3 粘贴纤维复合材加固法

(1) 粘贴纤维复合材可提高结构的极限抗弯承载能力，对结构的刚度提高不大，可以提高构件抗裂性，但控制裂缝发展的效果有限。可用于箱梁腹板裂缝、顶底板纵向裂缝、跨中底板横向裂缝的加固，常与体外预应力等主动加固方法配合使用。

(2) 粘贴在混凝土构件表面的纤维复合材，不得直接暴露于阳光或有害介质中，表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维肌胶粘剂无害，且应与胶粘剂有可靠的粘贴强度及相互协调的变形性能。

(3) 纤维复合材宜裁剪成条带状粘贴。粘贴层数不宜超过 4 层。超过 4 层时，宜改用板材，并采取可靠的加强锚固措施。

抗弯加固应粘贴在底板，沿纵轴向粘贴的纤维片材应延伸至支座边缘。纵向裂缝的加固可横桥向粘贴碳纤维条带。

抗剪加固应粘贴成垂直于构件轴线方向的环形箍或其他有效的 U 形箍，不

得采用斜向粘贴方式。梁高大于 600mm 时,应在梁的腰部增设一道纵向腰压带,必要时,也可在腰压带端部增设自锁装置。腹板斜裂缝常见粘贴碳纤维形式如下图 6.4.3-7 所示。

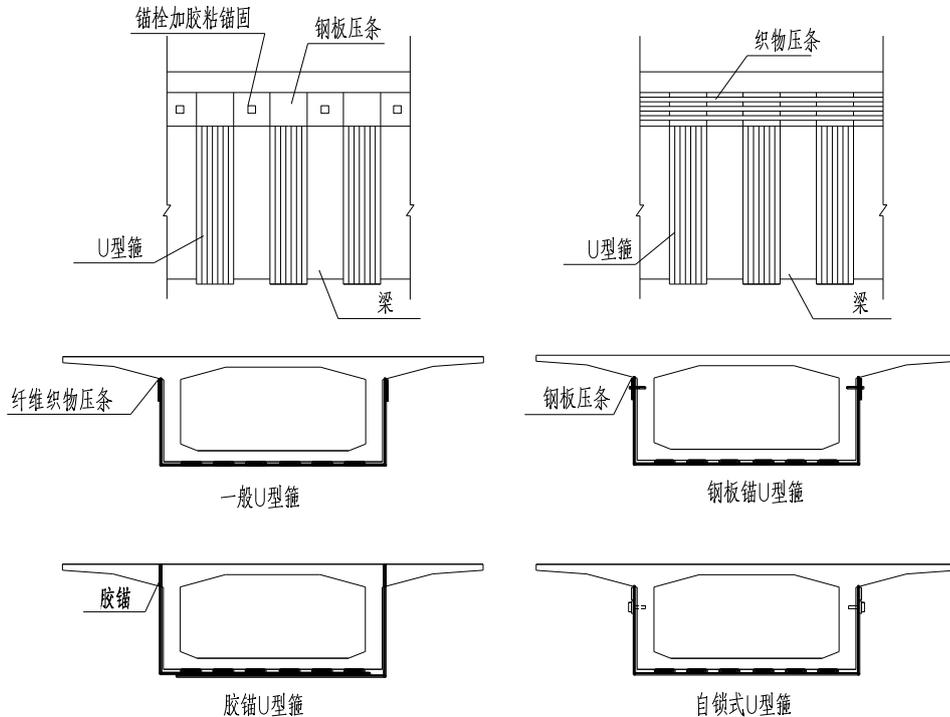


图6.4.3-7 碳纤维布粘贴、锚固示意

(4) 碳纤维片纵向接头, 搭接的地方要与构件应力的最大区段分开, 同时搭接一定的距离, 多层粘贴进行时, 在一个部位不能进行各层的搭接, 且层间要错开一定的距离。

4 粘贴钢板加固法

(1) 粘贴钢板加固方法多应用于混凝土薄壁箱梁腹板开裂加固, 也可用于箱梁顶底板纵向裂缝、跨中底板横向裂缝的加固。适用于以下情况: 主筋或斜筋配筋不足; 原构件受拉钢筋严重腐蚀或受损; 需增加主梁抗裂性和刚度。粘贴钢板对构件承载力和刚度的提升有限, 可与张拉预应力等主动加固方式配合使用。

(2) 如原主梁混凝土强度等级低, 密实度差、混凝土碳化严重的情况, 不宜采用粘贴钢板加固。对处于潮湿和海滨环境桥梁, 不宜采用粘贴钢板加固。如必须采用, 应对钢板进行密封防腐处理。粘贴在外表面的钢板, 其外表面应进行防锈处理。表面防锈蚀材料对钢板及胶粘剂应无害。

(3) 斜截面抗剪强度不足导致的腹板斜裂缝，可采用粘贴钢板法，宜采用条带粘贴，上端和下端应粘贴纵向钢压条，并设置附加锚栓。各斜向钢板沿跨径方向的水平轴线上的投影应有相互重叠部分。具体如图 6.4.3-8、9 所示。

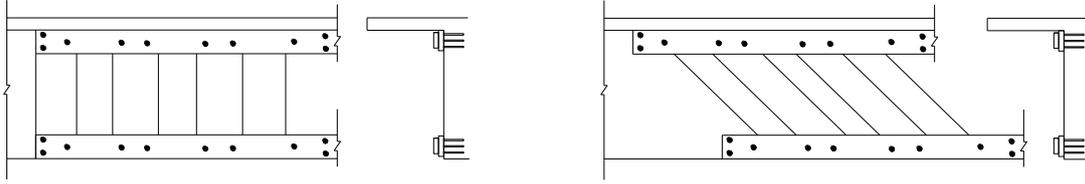


图6.4.3-8 粘贴钢板示意图



图6.4.3-9 粘贴钢板效果图

(4) 抗弯加固可在底板纵向粘贴钢板，可以提高结构的抗弯刚度，对以控制结构变形为主要目的加固是有效的。当底板粘贴有困难时，允许将部分钢板对称地粘贴在梁的侧面。

(5) 对于顶板纵向裂缝，可横桥向粘贴钢板，提高顶板横桥向抗弯刚度，控制裂缝开展，提高结构耐久性。

(6) 结构设计计算，必须进行施工阶段受力分析和整桥结构验算。计算方法参见《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22-2008。

5 劲性骨架加固法

(1) 本加固方法适用于预应力混凝土箱梁桥产生的跨中下挠或腹板、底板裂缝导致下挠加剧等病害情况。

(2) 设置劲性骨架的目的是阻止梁体的进一步下挠变形，增大梁体刚度改善结构受力，控制进一步下挠的趋势。单纯的劲性骨架加固并不能调整已有线形。

(3) 劲性骨架法可采用箱梁内新增波形腹板、桁架腹板等，提高箱梁抗剪和抗弯刚度，且增加自重不多。图 6.4.3-10 为增设钢桁架箱梁加固某箱梁图，图 6.4.3-11 为钢桁架加固箱梁的纵横向布置图。



图6.4.3-10 钢桁架加固某箱梁图

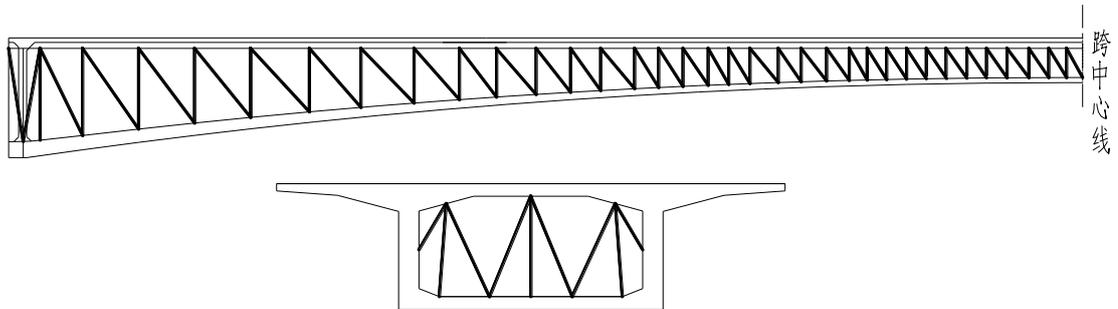


图6.4.3-11 钢桁架加固箱梁的纵横向布置示意

(4) 此类加固必须采取减载方式进行施工，同时对箱梁底板提供外部支撑以抵抗施工时再次增加的恒载和临时施工荷载，以免增加恒荷载使箱梁产生其他附加病害。

6 预应力管道补压浆

(1) 预应力管道补压浆的作用：保护预应力钢筋不外露而锈蚀，保证预应力混凝土结构或构件的安全寿命；使预应力钢材与混凝土良好结合；消除预应力混凝土结构或构件在反复荷载作用下，由于应力变化对锚具造成的疲劳破坏，提高结构的可靠度和耐久性。

(2) 通气良好的管道可采用电动活塞压浆泵完成补压浆，通气不好、通气量较弱的管道可采用低压人工压浆泵实现补压浆。浆液稠度越低越易于补压浆。

(3) 在压浆之前，首先采用真空泵抽吸预应力孔道中的空气，然后在孔道

的另一端再用压浆机将水泥浆压入预应力孔道。由于孔道内只有极少的空气，很难形成气泡；同时，由于孔道与压浆机之间的正负压力差，大大提高了孔道压浆的饱满度。在水泥浆中，减小水灰比，添加专用的添加剂，提高水泥浆的流动度，减小水泥浆的收缩。

7 改变结构体系加固法

(1) 前述加固方法仍不能达到预期加固目标时，可考虑通过改变结构体系来改善原有结构的受力状况，达到改善和提高桥梁承受荷载能力的目的。图 6.4.3-12、13 为连续刚构改造为斜拉体系。

(2) 大跨径连续刚构可采用斜拉体系加固改造方案：增大承台和增加桩基，并在主梁两侧从承台处增设桥塔；利用托梁、托架在 1/4 截面处对主梁增加斜拉索支撑。

(3) 改变结构体系方法优点：大幅提高承载能力；缺点：改造后全桥受力复杂，施工难度较大，施工工期长，费用高。

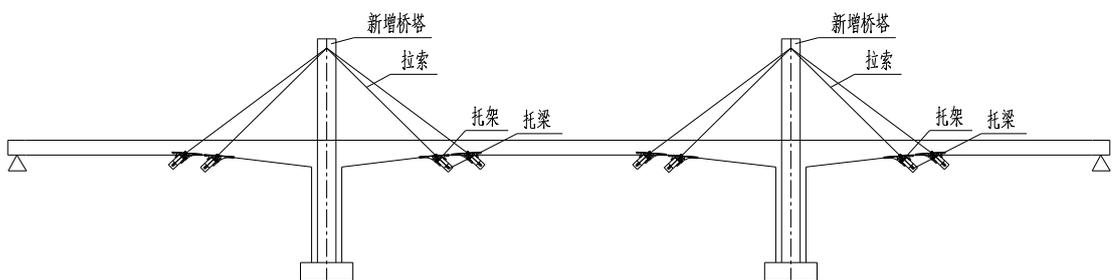


图6.4.3-12 连续刚构改造为斜拉体系示意图



图6.4.3-13 连续刚构改造为斜拉体系效果图

6.4.4 方法优选

以上各种加固方法用于增加构件的刚度，提高原构件的承载能力，改善结构受力状态，提高抗裂性和耐久性。同时可采用减轻二期恒载重量辅助改善结构受力状态。根据需加固桥梁的缺陷性质、技术状况、加固目标以及施工条件，选择一种或几种方法同时使用，以期达到预期的加固效果。表 6.4.4-1 为连续箱梁（刚构）主要病害及加固方法。

表6.4.4-1 连续箱梁（刚构）主要病害及加固方法

病害	结构形式	加固目标	加固方法	优点	缺点
严重下挠	等截面连续箱梁 变截面连续箱梁 (刚构)	提高抗弯承载能力 提高刚度 控制下挠速率	张拉预应力	主动加固，大幅提高承载能力，改善应力状态。	施工复杂，工艺要求高；锚固、转向区局部应力较大。
			增大截面（加厚腹板或新增腹板或劲性骨架）	显著提高刚度，缓解下挠。	增加结构自重；施工工作量大；对原结构有损伤；新增混凝土不能充分发挥作用。
			桥面系减重	减轻恒载，改善主梁受力状态。	
			预应力管道补压浆	不损伤原结构，施工简单。	
跨中正弯矩区、墩顶负弯矩区横向裂缝	等截面连续箱梁 变截面连续箱梁 (刚构)	提高抗弯承载能力 改善结构应力状态	粘贴钢板	施工速度快；粘贴位置灵活；增加结构刚度。	耐腐蚀性、耐火性、耐久性较差；对结构有损伤。
			粘贴纤维复合片材	施工速度快、不损伤原结构、不增加自重，改善结构延性	不提高刚度；易剥离；材料缺乏延性，易脆性破坏。
			张拉预应力	主动加固，大幅提高承载能力，改善应力状态。	施工复杂，工艺要求高；锚固、转向区局部应力较大。
			预应力管道补压浆	不损伤原结构，施工简单	
腹板斜向裂缝	等截面连续箱梁 变截面连续箱梁 (刚构)	提高抗剪承载能力 改善结构应力状态	粘贴钢板	提高抗剪承载能力	耐腐蚀性、耐火性、耐久性较差；对结构有损伤。
			粘贴纤维复合片材	施工速度快、不损伤原结构、不增加自重，改善结构延性	不提高刚度；易剥离；材料缺乏延性，易脆性破坏。
			增大截面（加厚腹板或新增腹板或劲性骨	显著提高刚度、抗剪承载能力	增加结构自重；施工工作量大；对原结构有损伤；新增混凝土不能充分发挥作用。

			架)		
			张拉预应力	主动加固, 提高抗剪承载能力, 改善应力状态	施工复杂, 工艺要求高; 锚固、转向区局部应力较大。
顶板纵向开裂	等截面连续箱梁 变截面连续箱梁 (刚构)	提高桥面板横桥向 抗弯承载能力	横向粘贴钢板	提高横桥向抗弯承载能力	耐腐蚀性、耐火性、耐久性较差; 对结构有损伤。
底板纵向裂缝	等截面连续箱梁 变截面连续箱梁 (刚构)	提高承载能力, 提 高耐久性	粘贴钢板	改善受力状态, 控制裂缝开展	耐腐蚀性、耐火性、耐久性较差; 对结构有损伤。
			粘贴碳纤维片 材	施工速度快、不损伤原结构、 不增加自重, 改善结构延性	不提高刚度; 易剥离; 材料缺乏 延性, 易脆性破坏。

7 钢桥及钢-混组合结构桥梁上部结构加固技术

7.1 总体

7.1.1 钢桥及钢-混组合结构桥梁上部结构加固前,应先进行局部损伤(锈蚀、裂缝等)的修复,之后在进行加固处治。

7.1.2 钢桥及钢-混组合结构桥梁上部结构加固时,应妥善制定好结构构件防腐措施,特别是关键节点、连接处的构造,避免结构因耐久性病害劣化为结构性病害。

7.1.3 钢桥及钢-混组合结构桥梁往往发生钢材疲劳开裂。对疲劳病害进行加固维修时,应当选择合适的疲劳设计方法进行分析,如疲劳应力等级分类法、构造细节设计法等。

7.1.4 钢桥及钢-混组合结构桥梁加固时可采用高强螺栓连接、局部黏结和焊接等方法。应优先采用高强螺栓连接,亦可采用焊接和高强螺栓的混合连接。对于桥梁的非主要构件在保证施工工艺的情况下可采用焊接维修。当原桥连接点的铆钉脱落时宜用高强螺栓更换。

7.1.5 钢桥及钢-混组合结构桥梁加固时应以降低应力集中程度、选择对原钢桥结构影响小的构造形式和加固工艺、采用厚度较薄的轧制板件为原则。

7.1.6 钢桥及钢-混组合结构桥梁加固时,新构件的增设应考虑与原有结构体系刚度的匹配。

7.2 钢板梁桥加固

7.2.1 一般规定

1 通常在钢板梁承载能力(强度、稳定性、疲劳)、变形、几何偏差等不满足使用要求时应进行加固。

2 钢板梁桥在进行承载能力提高的加固分析中应选用合理的有限元模型如考虑横向刚度的梁格法等,必要时进行局部有限元分析;加固计算的主要内容是钢构件的应力及稳定性分析。

3 对于钢板梁的钢构件疲劳开裂病害可采用构造细节疲劳设计法进行。

7.2.2 主要病害特征

钢板梁主要发生的病害主要有两大类，第一类是构件连接处的病害，主要有螺栓（铆钉）松动、损坏和丢失、连接焊缝的开裂等；第二类是构件的病害，主要有构件锈蚀、构件变形、构件开裂、横向刚度偏弱、承载能力不足等病害。钢板梁主要病害及原因见表 7.2.2-1。

表7.2.2-1 钢板梁主要病害及成因

病害部位	常见病害	病害影响及成因
连接部位	螺栓松动、损坏、丢失	连接螺栓的松动、损坏和丢失主要是由于受活荷载作用发生振动而松动、丢失或疲劳破坏，该病害会引起构件连接减弱，甚至造成构件内力重分配，使个别构件受力过大破坏。
	焊缝开裂	焊缝开裂主要是由于焊接缺陷及疲劳荷载作用，使焊缝应力集中造成疲劳开裂，开裂会造成构件脱开不能有效传力，焊缝开裂会随着运营继续扩展直至造成构件破坏。
钢构件	构件锈蚀	当钢板梁构件涂层老化、损坏时，会在高温高湿环境下发生化学腐蚀和电化学腐蚀，造成钢材锈蚀，严重锈蚀会造成构件截面削弱使得结构断裂。
	构件变形	当构件宽厚比设置不当、或者外荷载过大使得构件发生屈曲，导致出现波浪变形，钢结构焊接处理不当或受到撞击也会产生构件变形，变形构件的承载能力会下降导致结构破坏。
	构件开裂	构件开裂主要是由于连接缺陷、局部刚度不协调、外荷载过大造成应力集中，在循环荷载下发生低于材料强度的疲劳破坏，对构件及结构的安全造成影响。
	横向联系偏弱	当横向联系构件设置不合理或外荷载较大时，常常发生因横向刚度不足导致桥梁结构出现异常振动或构件受力过大、变形加剧，严重时造成构件甚至结构破坏。
	承载能力不足	钢板梁因交通荷载过大，或以上病害持续发展造成技术状况变差时，会造成结构整体承载能力不足，引起变形过大、构件屈曲、稳定性下降等后果，威胁结构安全。

7.2.3 钢板梁桥典型加固方法

1 钢板梁桥连接处加固的方法主要有铆钉补强、螺栓补强、改铆为栓、补焊焊缝等。

(1) 当构件连接处主要承受疲劳荷载时，采用铆钉补强是比较有效的方法；

(2) 螺栓补强主要用于连接处螺栓松动、丢失、损坏等病害，采用同规格螺栓进行更换或新增螺栓的方式进行，采用新增螺栓时应根据连接处局部构造设置适当的垫板；

(3) 改铆为栓主要用于年代较久的钢板桥，这些旧桥主要采用铆钉连接，铆钉施工工艺复杂、施工强度高且费工费料，破坏后宜采用高强螺栓替换；

(4) 焊缝开裂时应首先进行无损探伤或钻孔探伤的方式进行检查，如裂缝未扩展至构件，可采用碳弧气刨刨除开裂裂缝，刨除范围应包含表观裂缝端部以外约 5~6 倍板厚的距离，之后采用气体保护焊进行补焊，保证补焊焊缝的强度和韧性。

2 钢板梁构件及结构加固的常用方法有恢复防腐涂装、机械矫正、火焰矫正、钻设止裂孔、栓接钢板加固、切除构件、增强横向联系、增设构件等。

(1) 对于钢板梁构件锈蚀，应根据锈蚀程度进行补涂装。补涂装的涂装体系应根据《大气环境腐蚀性分类》（GB/T 15957）的规定选择涂装的耐久性级别，涂装体系还应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T722-2008）的相关要求。

(2) 构件变形时可采用机械矫正或火焰矫正的方法进行恢复，矫正时尽可能采用机械矫正。当变形构件主要承受静力荷载或材料塑性、延性较高时，可采用机械校正；当变形构件主要承受疲劳荷载，可采用火焰矫正。

机械矫正方法有锤击法、手工矫正、辊矫法、辊压法、拉伸法和压床矫正法，应根据变形构件的部位和病害程度，选用适当的方法进行恢复。机械矫正会使材料产生冷作硬化及引起附加应力，施工时应控制矫正力度，避免构件拉裂。表 7.2.3-1 为火焰矫正加热温度及冷却方式。

表7.2.3-1 火焰矫正加热温度及冷却方式

矫正方式	适用温度	冷却方式
低温矫正	500℃~600℃	水冷却
中温矫正	600℃~700℃	水冷却或空气冷却
高温矫正	700℃~800℃	空气冷却

火焰矫正方法有线状加热法、点状加热法、三角形加热法，应根据变形部位

及范围选择合适的方法恢复。火焰矫正时加热温度不宜过高，过高会引起金属变脆、影响冲击韧性。火焰矫正烤火位置不得在最大应力截面附近、烤火面积在一个界面上不得过大、宜用点状加热方式改善加热区应力状态、加热温度最好不超过 700°C 。

(3) 构件开裂时一般采用钻设止裂孔、栓接钢板加固的方法，不宜采用补焊方式进行修复。对于较短裂纹宜在裂纹尖端以外 $1\sim 3\text{cm}$ 位置钻设止裂孔止裂，止裂孔的大小应根据板厚确定，止裂孔钻设后应采用高强螺栓拴紧；对于长裂缝应按照等刚度、等强度原则进行跨裂缝栓接钢板补强，栓接钢板应控制小间隙的尺寸大于 5 倍板厚。成桥处于受力状态，发生裂缝后，可能使结构或连接产生变位、错位，应借助构件支撑等方法，使之复位，并尽可能使局部修复部位处于无应力或低应力状态。图 7.2.3-1 为栓接钢板加固小间隙控制。

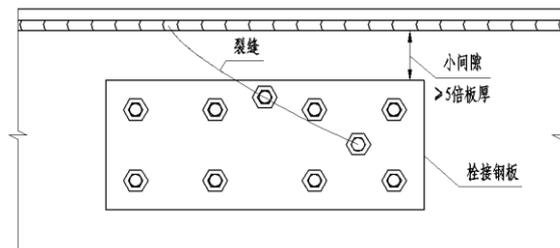


图7.2.3-1 栓接钢板加固小间隙控制

对因加劲肋产生的裂缝，应通过改善加劲肋的构造细节来缓解局部应力集中。图 7.2.3-2 为加劲肋局部优化。



图7.2.3-2 加劲肋局部优化 (t_w 为面板厚度)

(4) 钢板梁构件锈蚀、变形、开裂严重时应进行构件更换，更换时应采用卸载措施，卸除部分永久荷载。

(5) 钢板梁增强横向联系可以通过以下 4 种方式：①加强平联，将三角形平联改为交叉式平联，以减少平联的变位；②在上下翼缘之间各加水平横向钢板，即采用准箱型梁方案；③加强端部横联及中间横联；④在梁端横联与第一根主梁

横肋范围内用混凝土包装的措施。具体见表 7.2.3-2。

表7.2.3-2 增强横向联系方法比较

方法	主要优点	主要缺点
方法一	通过在上、下平联中加强斜支撑与横支撑，形成更多的几何稳定、抗变形的三角形，以此来提高上、下平联的抗剪能力，增强钢板梁横向刚度	上、下平联与主梁形成格构式空间体系，缀材在横向弯曲时剪力引起的变形较大；增加构件较多，施工较复杂
方法二	箱型梁具有较大的抗扭刚度和良好的整体结构性能，准箱型梁方案可以达到较好的加固效果	加固后梁体自重增加较多，不利于提高梁体自振频率减轻横向振动，且整体成本较高
方法三	加固构造较少，施工便利	整体加固效果不足，仅对局部改善较多
方法四	本方法只在梁端加固，工作量少，且采用混凝土包装的方式整体性更好	由于自重增加较多，只适用于梁端使用，对跨中的加固效果不佳

(6) 承载能力不足的情况，可以采用增设构件进行加固，增设构件可选择面内增加承载力，或面外增强稳定性。根据结构计算结果，在构件相应位置焊接补强构件，补强构件可以为板件或型钢；还可以通过增加横向构件，减小目标构件的计算长度，提高构件稳定；也可采用增设加劲杆或体外预应力钢束的方式进行加固。图 7.2.3-3 为钢板梁主梁焊接法增大截面，图 7.2.3-4 为加劲杆或体外预应力加固钢板梁。

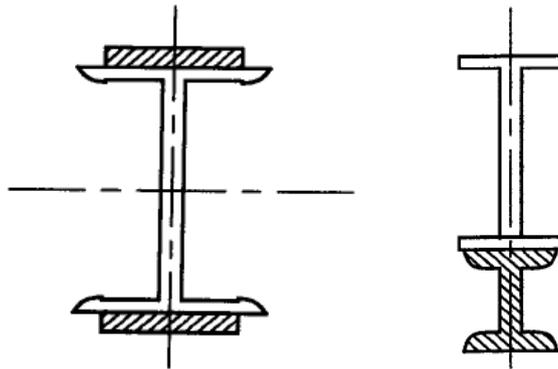


图7.2.3-3 钢板梁主梁焊接法增大截面

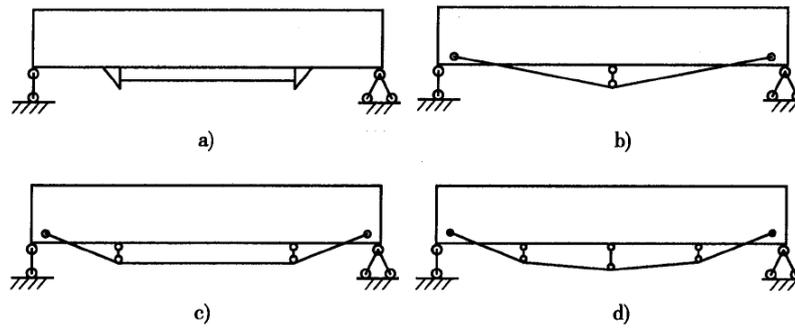


图7.2.3-4 加劲杆或体外预应力加固钢板梁

钢板梁结构整体承载能力不足时，还可通过改变结构体系的方法进行加固，如通过增设足够刚度的混凝土桥面板形成钢-混组合梁、改钢板梁为矮塔斜拉桥等。钢板梁主要病害及加固方法见表 7.2.3-5。

表7.2.3-5 钢板梁主要病害及加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
螺栓、铆钉病害	铆钉补强、螺栓补强、改铆为栓	1 铆钉补强塑性、韧性较好，对于抗疲劳要求较高的连接比较适用； 2 螺栓补强施工简便、便于更换、可靠性高，可代替铆钉进行强度补强。	1 铆钉连接工艺复杂、劳动强度高、制造费工费料； 2 螺栓安装需要在结构上开孔、造成截面一定削弱。
焊缝开裂	补焊焊缝	开裂焊缝补焊后可以恢复连接强	焊缝补焊需要将原开裂焊缝刨除，应采用气体保护焊。
涂装损坏	涂装修补	工艺成熟、操作简单	现场条件及结构位置复杂，一般不能大面积施工，工作周期较长。
构件变形	机械矫正、火焰矫正	1 机械矫正作用力大、操作简单、冷加工，工作效率高； 2 火焰矫正变形幅度大，可以减少内应力。	1 机械矫正容易引起钢材冷作硬化，造成构件开裂； 2 火焰矫正技术要求高，应能准确判断加热减硬区。
构件开裂	钻设止裂孔、栓接钢板、补焊	1 止裂孔适用于短小裂缝、施工便捷效率高； 2 栓接钢板适合较长裂缝，通过钢板补强开裂构	1 止裂孔为临时措施，应根据裂缝扩展情况适当加固； 2 栓接钢板需要钻

病害	加固方法	优点	缺点
		件的强度和刚度； 3 补焊适用于无法栓接钢板加强的部位。	孔、工作量较大； 3 补焊可能引起次生应力，对疲劳不利
横向联系偏弱	增加横联构件或外包混凝土	可采取多种措施提高横向连接、减少振动	增设构件多、恒载增重大，可能需要进行基础加固
承载能力不足	增设钢构件、改变结构体系	1 增设钢构件施工简单、连接构造采用栓接或焊接，工艺成熟； 2 改变结构体系可采取主动措施提高结构承载力。	1 增设钢构件增重较多，增设构件只能承担活载； 2 改变结构体系工艺复杂，改变结构受力，需要精细计算。

7.3 钢箱梁桥加固

7.3.1 一般规定

1 钢箱梁的主要病害为疲劳开裂，病害的处治不得仅采用补焊的方式处理，要以降低应力集中为出发点，通过改善构造细节结合面外补强的综合方式进行加固。

2 通常由于具体疲劳细节的疲劳设计曲线不确定或者因应力集中产生开裂的应力谱难以精确计算，对于钢箱梁的钢构件疲劳开裂病害一般采用构造细节疲劳设计法进行。

3 钢箱梁疲劳损伤修复（修理、加固和改造）除应恢复结构的耐久性外，还需考虑改善桥面板的刚度，以利于提升桥面铺装层的抗裂性。

4 局部分析计算时，可通过焊缝部位热点应力来研究构件疲劳开裂。

5 钢箱梁加固应尽可能不用焊接法，避免焊接收缩变形和焊接收缩力对既有结构的影响；不得已时应制定可靠的工艺措施。

6 成桥处于受力状态，发生裂缝后，可能使结构或连接产生变位、错位，应借助构件支撑等方法，使之复位，并尽可能使局部修复部位处于无应力或低应力

状态。

7 修复应避免附近产生新的疲劳裂缝。

8 钢箱梁疲劳裂缝病害加固时，应根据病害部位及病害原因进行统一编号，以便制定分类措施。

9 钢箱梁的其他病害的加固可参照钢板梁。

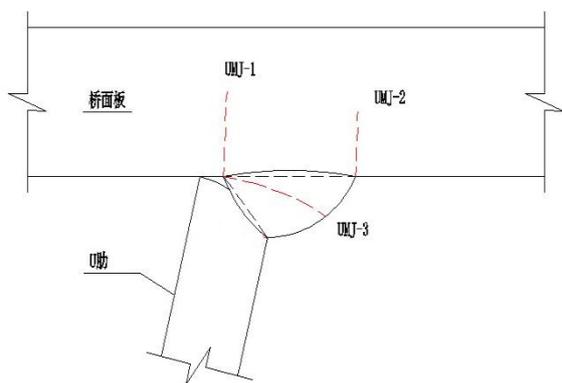
7.3.2 主要病害特征

正交异性钢桥面板疲劳开裂病害是钢箱梁桥主要面临的突出问题，各类疲劳开裂病害的类型划分如下表 7.3.2-1：

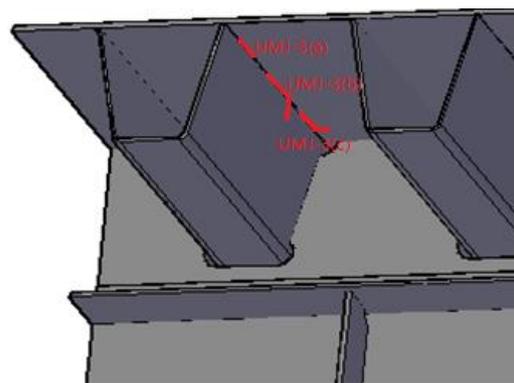
表7.3.2-1 钢箱梁疲劳裂缝的分类

序号	裂缝编号	裂缝描述	分类图片	
1	UMJ	1	桥面板裂缝，萌生自 U 肋与桥面板焊缝焊根	图 7.3.2-1 (a)、(b)
		2	桥面板裂缝，萌生自 U 肋与桥面板焊缝焊趾	
		3a	U 肋与桥面板焊缝裂缝，萌生自焊根并裂至焊缝表面	
		3b	3a 裂缝，沿焊缝扩展后拐向 U 肋母材	
		3c	3a 裂缝，沿焊缝扩展后拐向桥面板	
2	H	1	横隔板裂缝，萌生自横隔板弧形切口处焊缝端部	图 7.3.2-1 (c)
		2	横隔板裂缝，萌生自横隔板弧形切口处	
		3	横隔板裂缝，萌生自横隔板上过焊孔圆弧	
		4	桥面板裂缝，萌生自横隔板上过焊孔面板侧焊缝端部	
3	U	1	U 肋裂缝，萌生自横隔板弧形切口焊缝端部	图 7.3.2-1 (d)
		2	U 肋裂缝，萌生自横隔板上过焊孔 U 肋侧焊缝端部	
4	KU	-	U 肋嵌补段焊缝裂缝	图 7.3.2-1 (e)
5	M	-	桥面板裂缝，萌生自桥面板与临时竖向加劲肋焊缝端部	图 7.3.2-1 (f)
6	TJU	-	U 肋裂缝，萌生自 U 肋底部电缆托架焊缝	图 7.3.2-1 (g)
7	JH	-	横隔板底部裂缝，萌生自横隔板施工加劲肋端部	图 7.3.2-1 (h)
8	焊缝裂缝	-	仅沿焊缝扩展，未伤及母材的裂缝	

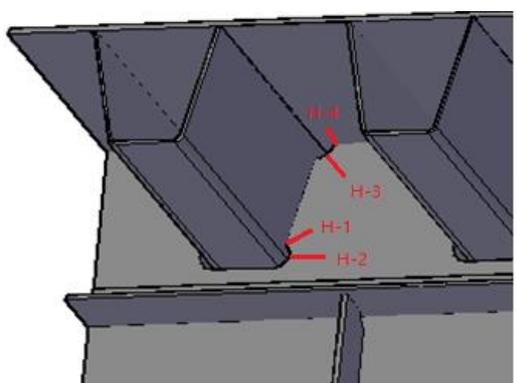
裂缝分类图如下图 7.3.2-1 所示，钢箱梁疲劳裂缝的修复原则见表 7.3.2-2。



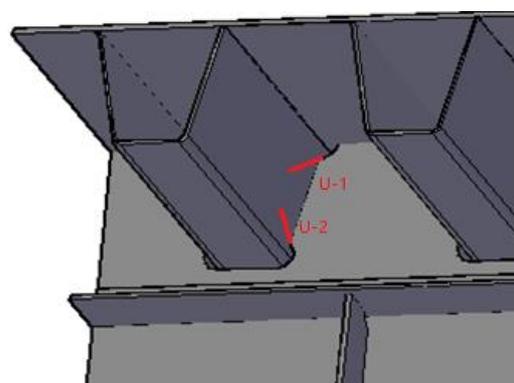
(a) UMJ 型裂缝



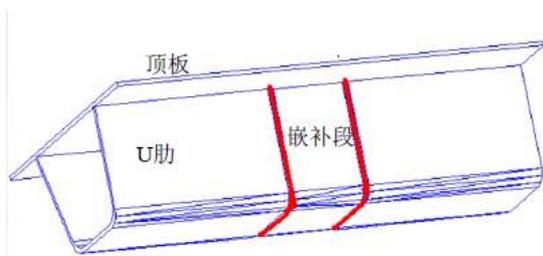
(b) UMJ3 型裂缝



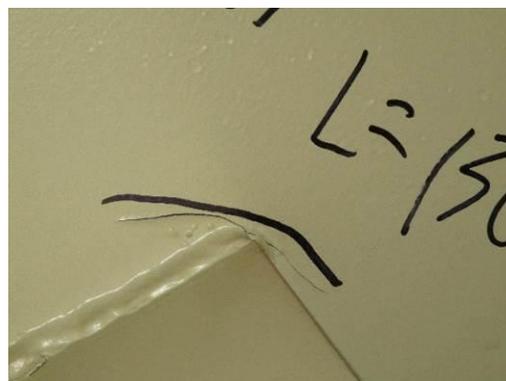
(c) H 型裂缝



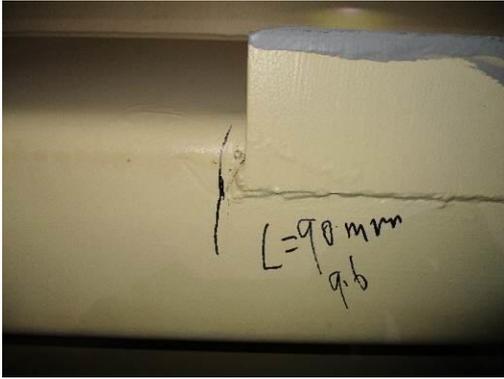
(d) U 型裂缝



(e) KU 型裂缝



(f) M 型裂缝



(g) TJU 型裂缝



(h) JH 型裂缝

图7.3.2-1 钢箱梁疲劳裂缝分类

表7.3.2-2 钢箱梁疲劳裂缝的修复原则

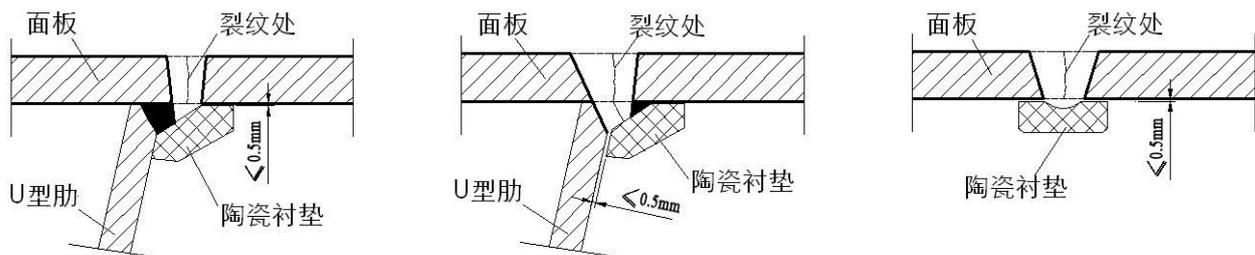
等级		损伤状况	严重程度	可选择修复方法
裂缝	A ⁺	1 位于面板处裂缝, 裂缝向面板厚度方向扩展与裂透。 2 其他部位的严重裂缝, 裂缝长度大于 100~120mm, 或焊缝全长裂缝。	有害结构安全。致铺装层裂缝, 有害车辆走行性。	1 焊接法 2 HTB 法 3 修磨形状 + HTB 法或焊接法
	A	1 非面板处裂缝, 裂缝长度小于 100~120mm。	在活载作用下有过大变形, 影响结构安全。	
潜在裂缝	B	1 与 A 级细节相同, 加载工况相同, 尚未发现宏观裂缝; 2 预计今后即将产生裂缝。	对结构安全性有潜在威慑。	1 修改形状 2 修改形状 + HTB 法。
不良细节	C	1 结构和构造细节设计不良。 2 制造 (加工、焊接) 不良。 1 尤其是位于重载车道和轮载分布带内的不良细节。	暂时结构安全性不够成威胁。	1 修改形状; 2 修磨 + 锤击焊趾。
良好细节	D	1 结构和构造设计合适。 2 制造 (加工、焊接) 质量良好	设计寿命内不产生疲劳累积损伤。	——

7.3.3 钢箱梁桥典型加固方法

1 UMJ 型裂缝维修

(1) UMJ-1 及 UMJ-2 裂缝处治

UMJ-1、UMJ-2 裂缝的处治方式如图 7.3.3-1 所示:



UMJ-2: 焊趾裂缝 UMJ-1: 焊跟裂缝 UMJ-2: 拐向 U 肋外侧的裂缝

图7.3.3-1 UMJ-1及UMJ-2裂缝切口及陶质衬垫组装示意图

对于以上形态的裂缝，修复措施采用将裂缝处焊缝及桥面板刨除后，下垫陶瓷衬垫进行补焊修复。修复前，应根据现场情况搭设临时脚手架，为待修复部位提供临时支撑，使构件在修复时处于无应力或低应力状态，减少变形。

为了完全修复裂缝，需要采用超声波法和探孔法，探明隐性裂缝位置、长度、发展方向和裂缝尖端；在裂缝两端钻制探孔（直径约 6mm，深度为桥面板厚度），对于拐离焊缝的裂缝，裂缝中间增加探孔，以便探明裂缝实际扩展位置。裂缝扩展方向及钻制探孔如图 7.3.3-2 所示。

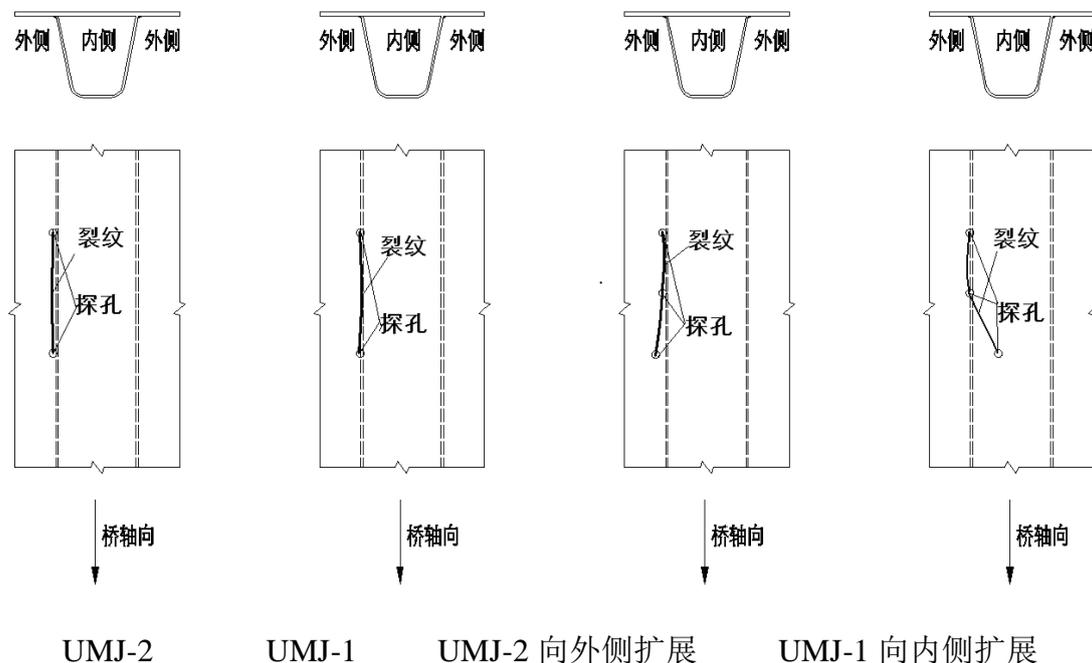


图7.3.3-2 裂缝扩展方向及钻制探孔

裂缝探测前，凿除裂缝周边的沥青混凝土铺装层（裂缝两侧 $\geq 200\text{mm}$ ，裂缝两端 $\geq 300\text{mm}$ ）。探明裂缝尖端后，用碳弧气刨刨去面板裂缝，成 V 型坡口状，

裂缝两端成 1:5 斜坡。刨开的 V 型坡口须用砂轮打磨至光滑匀顺, 注意采用着色渗透检测裂缝是否已完全切除。坡口形式如图 7.3.3-3 所示。

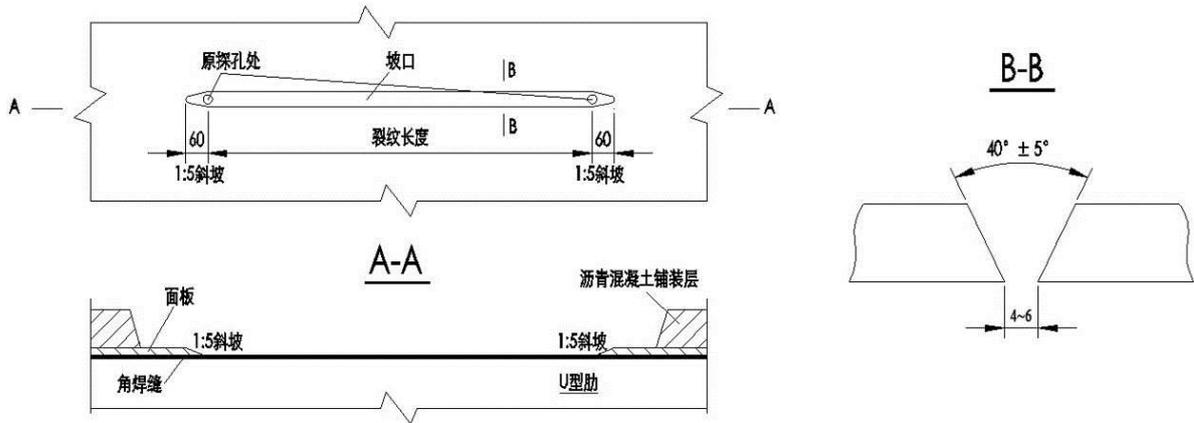


图7.3.3-3 碳弧气刨范围及坡口尺寸

当 U 肋与面板间的角焊缝波纹过大(>1mm)或不规则, 应用砂轮打磨匀顺, 以利于贴陶瓷衬垫时密贴(图 7.3.3-1)。同时清除施焊处的锈蚀、油、油漆、水份等, 清洁范围如图 7.3.3-4 所示。

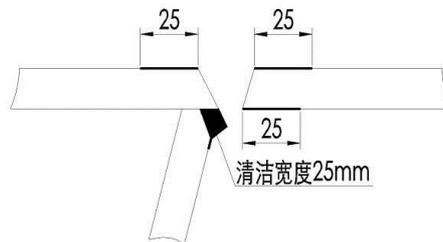


图7.3.3-4 清洁范围

对于 UMJ-1 拐弯 U 肋内侧桥面板的裂缝, 由于切除带裂缝桥面板后无法安设陶瓷衬垫, 因此需要通过在 U 肋底部开手孔的方式为修复施工提供操作空间, U 肋底部手孔宽度为 80mm, 手孔长度根据实际裂缝长度开设。为避免开过长手孔对 U 肋横截面削弱过大, 可通过开交错手孔的方式进行, 两相邻手孔净间距不小于 200mm。

(2) UMJ-3 裂缝处治

UMJ-3a 裂缝的处治, 应先采用超声波探伤或探孔检查后, 根据探测出来的裂缝尖端位置刨除原有开裂焊缝, 之后进行补焊处理。

对于 UMJ-3b 裂缝, 由于裂缝沿焊缝发展后拐弯 U 肋母材, 位于焊缝位置的

裂缝段处治方式与 UMJ-3a 相同，位于 U 肋母材上的裂缝采用栓接钢板的方式对 U 肋进行补强，并用高强螺栓沿裂缝位置进行夹紧，见图 7.3.3-5。

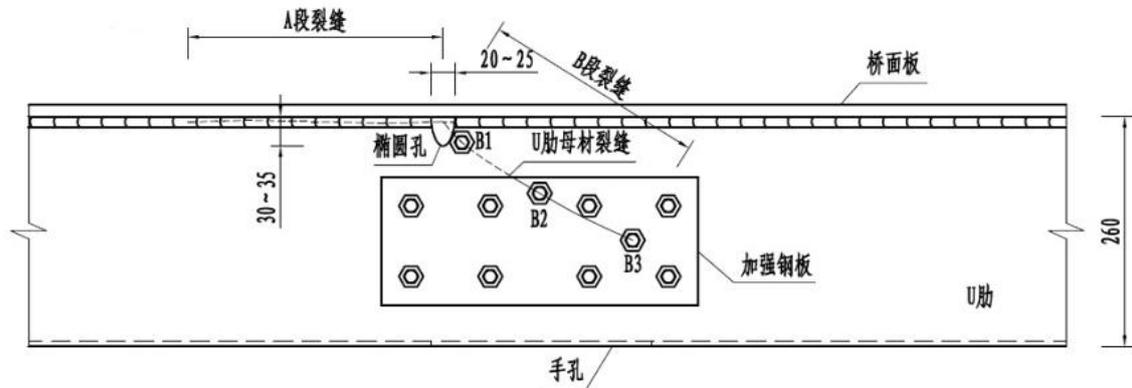


图7.3.3-5 UMJ-3b裂缝处治示意图

UMJ-3c 裂缝的处治措施参见 UMJ-1/UMJ-2 裂缝修复施工图。

2 H 型裂缝维修

(1) H-1 及 H-2 裂缝处治

对于横隔板弧形切口处的裂缝处治，由于焊接修复法引起的焊接收缩变形及面外变形对接板整体受力不利，不建议采取焊接修复。应采用构造细节设计法，先对弧形切口形状进行修磨，之后采用栓接钢板进行横隔板局部截面和刚度的加强。

1) 切口裂缝长度 $L \leq 60\text{mm}$

由于裂缝长度较短，可通过空心钻扩孔将裂缝切除，经过设计的扩孔尺寸有利于改善弧形切口处受力分布。由于扩孔使横肋接板面外刚度降低，因此为补强接板，在接板中央位置栓接加强钢板进行补偿。开孔及补强钢板简图如图 7.3.3-6:

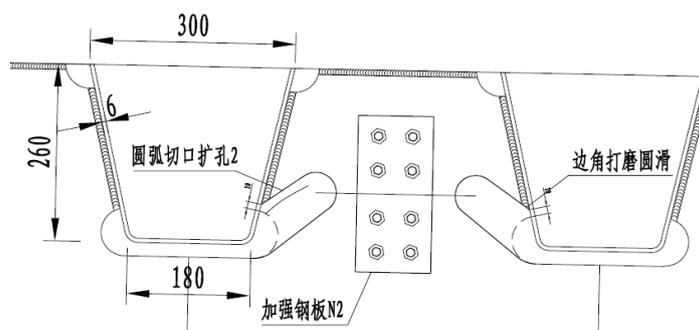
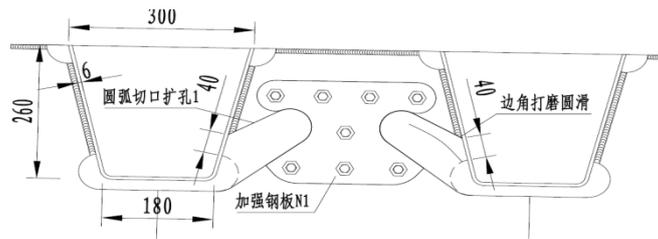


图7.3.3-6 切口裂缝长度 $L \leq 60\text{mm}$ 的修复措施简图2) 切口裂缝长度 $L > 60\text{mm}$

当裂缝长度 $>60\text{mm}$ 时,采用空心钻进行扩孔,扩孔尺寸比第一类大,之后应设计特制栓接钢板,在裂缝尖端钻设螺栓孔并用高强螺栓拧紧,起到限制裂缝发展的作用。对于超长裂缝无法通过扩孔切除的,仍然采用此类方式进行,并通过栓接钢板两侧高强螺栓和裂缝尖端螺栓对裂缝实施夹紧。具体见图 7.3.3-7。

图7.3.3-7 切口裂缝长度 $L > 60\text{mm}$ 的修复措施简图

(2) H-3 裂缝处治

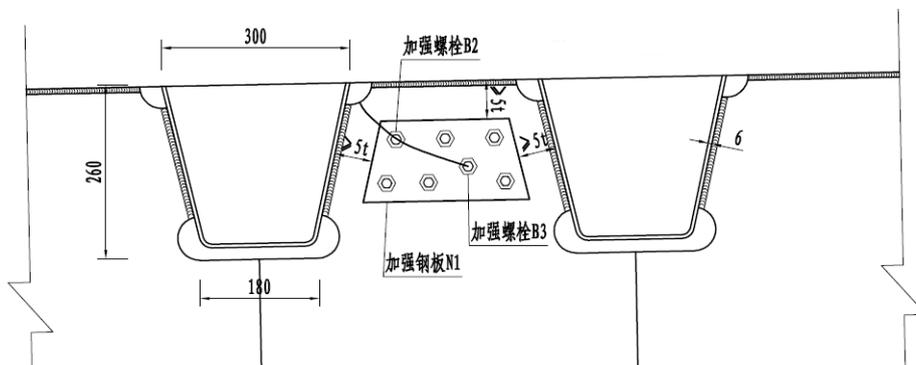
H-3 型裂缝的处治按照长度采用不同的措施进行处理:

1) 过焊孔裂缝长度 $L \leq 60\text{mm}$

对于长度较短裂缝,采用在裂缝尖端钻设螺栓孔,之后用高强螺栓拧紧,限制裂缝继续开裂。

2) 过焊孔裂缝长度 $L > 60\text{mm}$

对于长度较长的裂缝,采用高强螺栓在横隔板双面栓接加强钢板的方式进行横隔板加固,并在裂缝尖端用同规格高强螺栓夹紧,如图 7.3.3-8。

图7.3.3-8 $L > 60\text{mm}$ 的H-3裂缝修复措施简图

(3) H-4 裂缝处治

H-4 型裂缝主要发生自桥面板与横隔板连接焊缝围焊的端部，且主要萌生自面板侧焊趾位置，该裂缝的处治采用气刨掉裂缝位置桥面板，保留围焊处部分焊缝，打磨平整后垫陶瓷衬垫进行补焊修复，见图 7.3.3-9。

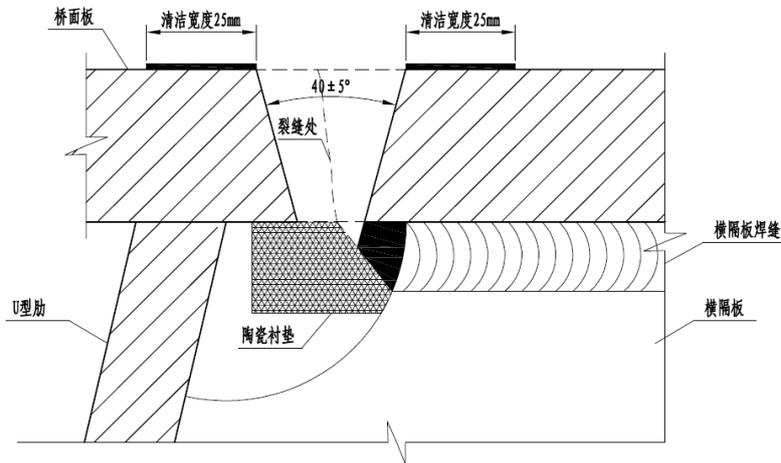


图7.3.3-9 H-4裂缝修复措施简图

3 U 型裂缝维修

该类裂缝位置上有萌生自横隔板弧形切口和上过焊孔两种，处治方式上主要分为两类：

1) 裂缝长度 $L \leq 60\text{mm}$

对于长度较短裂缝，采用在裂缝尖端钻设螺栓孔，之后用高强螺栓拧紧，限制裂缝继续开裂。

2) 裂缝长度 $L > 60\text{mm}$

对于长度较长的裂缝，处治思路同 UMJ-3b，具体措施上不同的是 UMJ-3b 采用在 U 肋内外侧同时垫加强钢板，而 U 型裂缝由于局部构造限制，仅在 U 肋内侧垫加强钢板，且两侧 U 肋的内侧均垫加强钢板，见图 7.3.3-10。

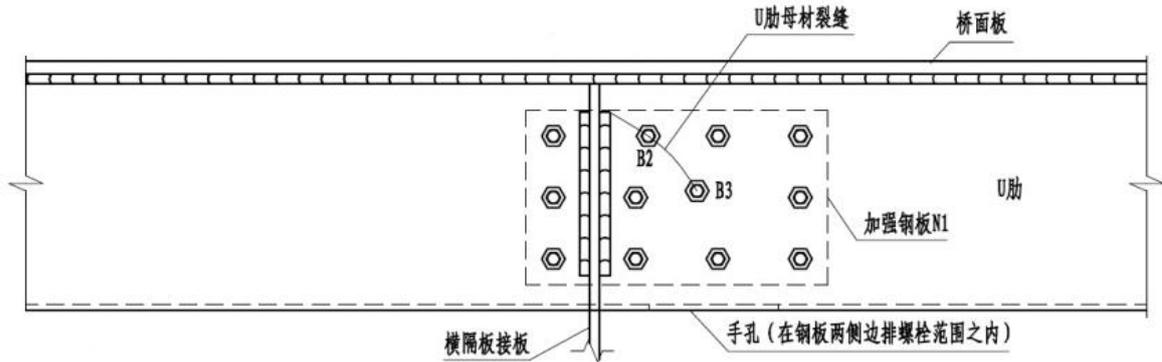


图7.3.3-10 U型裂缝修复措施简图

4 KU 型裂缝维修

在制造过程中 U 肋嵌补段焊缝内侧有钢衬垫，这是比其他位置 U 肋裂缝方便维修的地方，处治措施采取气刨的方式将裂缝部位彻底清理，周围对接缝检查焊缝表面缺陷一并处理，按焊接方式补焊，打磨对接焊缝余高，探伤检查对接缝质量，合格后补涂装，见图 7.3.3-11。

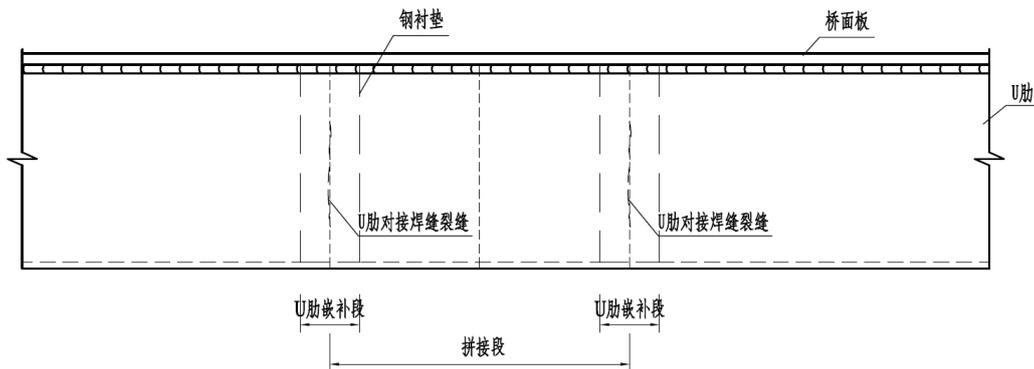


图7.3.3-11 KU型裂缝修复措施简图

5 M 型裂缝维修

该类裂缝发生在桥面板与临时吊点竖向加劲肋围焊缝焊趾处，由于临时吊点加劲肋为施工构造，运营阶段可切除，但全部切除并打磨的工程量较大。由该构造产生的桥面板裂缝可对临时吊点竖向加劲肋进行部分切除，切除后用气刨刨除裂缝范围桥面板，之后在箱梁内下垫陶瓷衬垫后进行裂缝的补焊修复，见图 7.3.3-12。

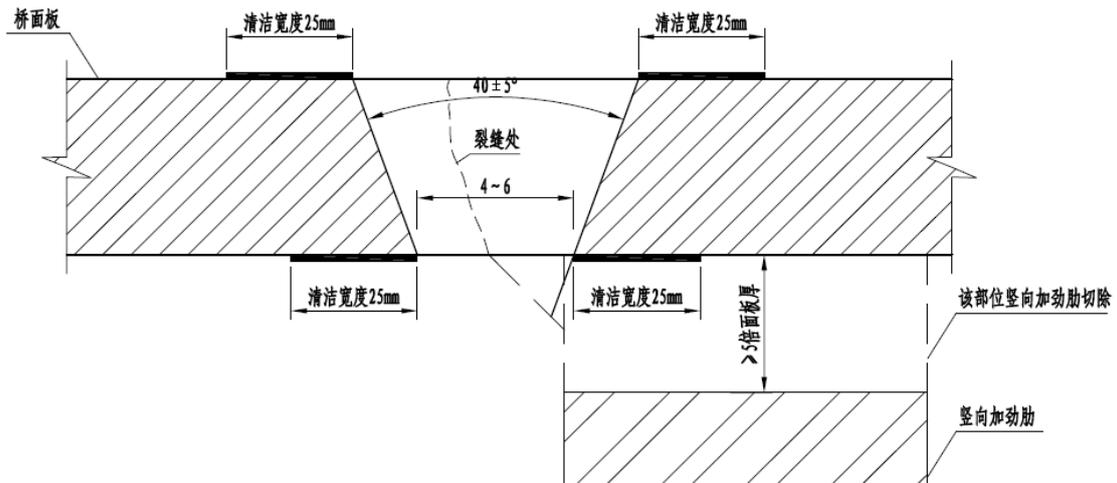


图7.3.3-12 M裂缝修复措施简图

6 TJU 型裂缝维修

电缆托架处的裂缝分为两类，仅在U肋底部发展，且长度小于60mm的裂缝，不进行处理，后续加强观察；裂缝扩展到U肋侧面或长度大于等于60mm的，修复方式同UMJ-3b，采用在U肋底部开手孔的方式，在U肋内外侧栓接加强钢板补强U肋，见图7.3.3-13。

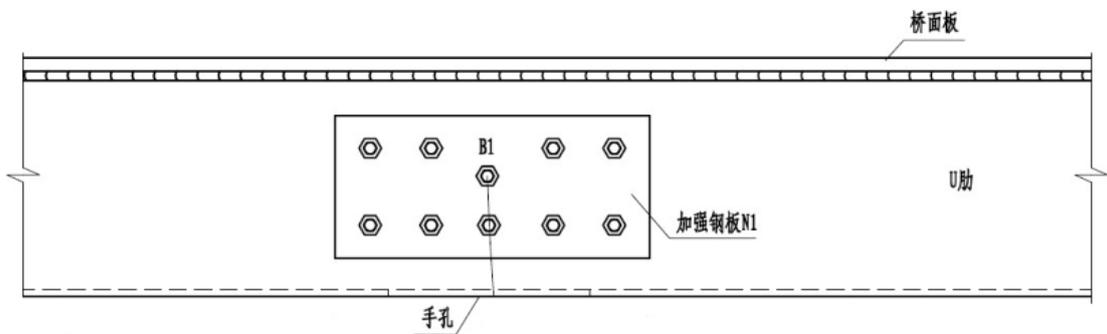


图7.3.3-13 TJU裂缝修复措施简图

7 JH 型裂缝维修

该处裂缝的维修首先考虑对加劲肋进行形状修改，缓解横隔板面外刚度突变，即切除部分加劲肋，之后对裂缝部分进行处理。裂缝长度 $\leq 20\text{mm}$ 的，直接钻孔并用M20高强螺栓夹紧；裂缝长度 $> 20\text{mm}$ 的，采用高强螺栓栓接加强钢板进行加强，见图7.3.3-14。

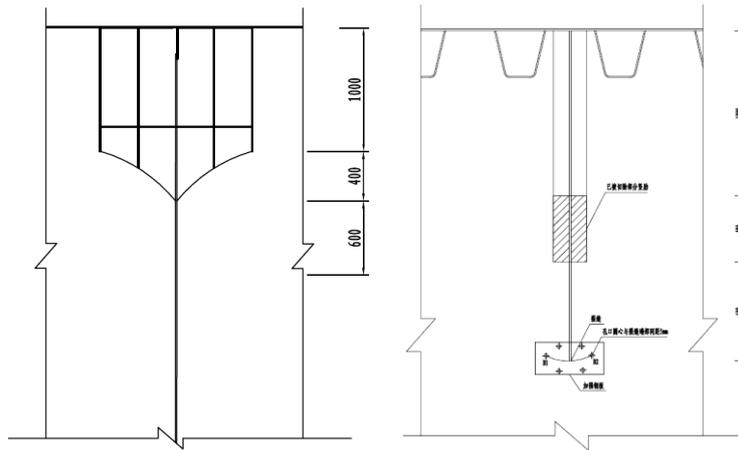


图7.3.3-14 JH裂缝修复措施简图

8 其他焊缝裂缝维修

其他焊缝裂缝的维修,首先进行超声波探伤或探孔检查,探明裂缝发展尖端,通过气刨刨除开裂焊缝,之后进行补焊的方式维修。

9 钢箱梁加固措施选择

钢箱梁疲劳开裂病害的维修加固,通常采用两种方式进行,一种是补焊焊接,一种是高强螺栓栓接加强钢板;补焊焊接一般用于裂缝仅沿焊缝开展,高强螺栓栓接加强钢板加固适用于构件母材裂缝加固。一般情况下,由于焊接修复的方式会因为焊缝冷却后产生初始应力,且焊缝缺陷的存在容易造成构件应力集中,因此钢箱梁疲劳开裂病害的处治宜有限选用高强螺栓栓接钢板进行加固,而不随意进行母材裂缝补焊。

7.4 钢桁梁桥加固

7.4.1 一般规定

- 1 钢桁梁节点板连接出现铆钉、螺栓松动脱落时,应及时修复,避免节点板损坏。
- 2 钢桁梁加固时应注重加强节点板连接的强度和疲劳性能。
- 3 更换桥面结构体系形成组合结构时,计算模型应考虑桥面板横向刚度对荷载横向分配的影响,对组合桥面结构的连接应进行相应验算,保证可靠连接。

7.4.2 主要病害特征

钢桁梁桥的主要病害与钢板梁、钢箱梁类同，其典型病害还有节点板开裂、变形，主梁承载能力不足等。如表 7.4.2-1 所示。

表7.4.2-1 钢桁梁主要病害及成因

病害部位	常见病害	病害影响及成因
节点板	开裂、变形	钢桁梁节点板受到各个连接板件的力，在活荷载作用下容易产生疲劳导致开裂，当节点板宽厚比设置不当时会产生屈服变形。当节点板出现开裂变形时，导致节点承载能力下降，严重时节点破坏，引起结构局部破坏或者整体破坏。
主梁	承载能力不足	主梁承载能力不足主要是因为活载增大或横向联系较弱引起单梁受力，对钢桁梁整体结构构成严重影响。

7.4.3 钢桁梁桥典型加固方法

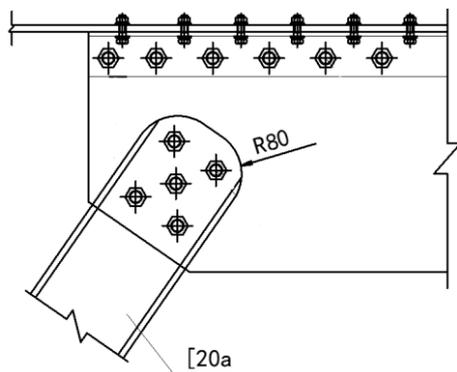
1 钢桁梁的常见加固方法有增设构件、增大截面、加大连接强度、改变结构体系、更换轻型桥面板，具体方法可参见本指南 7.2 节和 7.3 节。

2 钢桁梁节点板开裂、变形时，可根据病害程度及原因来进行对应处理：

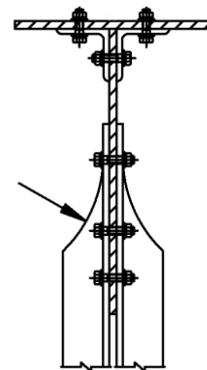
(1) 当节点板为强度不足时，可采用在原节点板的外侧增加钢板来增加截面面积；

(2) 当节点板由于疲劳开裂时，除了增大节点板截面外，宜对节点板的连接杆件进行形状和尺寸优化，采取措施减小节点板应力集中；

(3) 节点板损坏严重时，可对节点板进行更换，更换时应做好卸载措施和辅助受力措施，并进行交通限行及主受力构件监控。



(a) 杆件边角倒圆



(b) 杆件翼缘进行过渡

图7.4.3-1 节点板杆件优化示意图

3 对于钢桁梁主梁承载能力不足的加固，首先应当进行研究分析，判断承载能力不足的根源是联结系较弱还是主桁强度不足，然后进行针对性的加固。

4 对于因联结系刚度较弱使得荷载横向分布不均匀，由此产生的主桁受力过大引起的承载能力问题，可以考虑对联结系进行加强，主要措施可以采用加强上水平纵联、下水平纵联的形式，其加固方式同 7.2 节钢板梁的横向加固。

5 对于主桁强度不足引起的承载能力问题，可以采用多种措施进行加固，主要有：

(1) 桁架构件加固：通过增加原有构件截面积的方式进行结构补强，如对钢桁梁的上、下顶面焊接钢板来增加其截面面积；对上、下弦杆和斜腹杆，采用在上、下顶面用高强螺栓连接钢板来增加截面面积；

(2) 主桁外包混凝土：可以在主桁外包混凝土，在桁架顶面现浇混凝土桥面板和悬臂板，形成 II 形梁，并在 II 形梁的肋内设置纵向预应力钢绞线，形成预应力混凝土结构；

(3) 组合钢桁梁：在钢桁架顶面做成连续的混凝土桥面板，并且通过剪力键或其他构造措施是桥面板和钢桁梁共同受力，使之形成组合桁梁桥，改变原结构的受力状况；

(4) 增加纵梁：可以在横梁和托梁之间增加连续的纵梁，通过焊接与横梁和托梁连接，使整个桁架顶面形成纵 横向的梁格系，在纵梁上安装预制混凝土板，形成桥面系。

(5) 增加斜拉索：可在中间墩的桥墩处设置索塔，通过斜拉索与桁架节点连接，形成斜拉桥，可以通过改变结构受力达到降低部分桁架杆件内力的目的。

钢桁梁主桁承载能力加固方法见表 7.4.3-1。

表7.4.3-1 钢桁梁主桁承载能力加固方法

方法	主要优点	主要缺点
桁架构件	1 不改变原桥受力结构，受力明确；2 针	1.要拆除较多高强螺栓和铆钉，

加固	对性的加固构件可以通过发挥构件潜在承载能力来减少材料和造价；3 不需更换桥面，也就不需要更换桥面板。	在桁架构件现场进行钻孔；2 由于构建断面改变，需对杆件的连接构件进行调整。
主桁外包混凝土	1 大幅提高整桥的承载力和刚度；2 一次性解决了上下弦管、斜腹杆、钢横梁的所有问题；3 施工时可以利用原桁架作为施工单价。	1 原有刚更加杆件均包在混凝土内，对桥梁承载能力贡献不大，造成浪费；2 钢桁架外包混凝土体积较大，增加横在较多，需要桥墩和基础满足受力要求；3 材料用量大；4 混凝土均为现浇，施工工期长。
组合钢桁梁	1 混凝土桥面板和新增型钢(或钢板)与上弦杆共同参与受力，可以明显减小上弦杆的应力，不需要再对其进行加固；2 连续的型钢和混凝土板改变了钢横梁的受力模式，使得钢横梁的应力、变形满足新的荷载等级要求，不需要再对其进行加固；3 由于混凝土桥面板和桁架共同受力，可大大增加桥梁的整体刚度，减小车辆通行时的竖向位移和行车振动，降低了车辆的冲击荷载。	1 最大的缺点在于不能改变下弦杆和斜腹杆的受力状况，仍需要对其进行加固；2 须更换桥面板；3 用钢量较大，且钢板(或型钢)与钢桁架杆件的现场连接施工环境不好，质量不易保证；4 现浇混凝土桥面板厚度小、面积大，在混凝土浇筑过程中由于自重会导致桁架自身变形，所以混凝土在施工中的开裂防治也是较突出的问题；5 施工需要支架和模板较多，临时中断交通的时间长。
增加纵梁	1 新增的纵梁与上弦杆共同受力，降低上弦杆应力，满足加固要求；2 由于纵梁的作用，使车辆荷载传递的均匀一些，可以减小钢横梁的应力，达到不单独加固横梁的目的；3 可采用预制、安装桥面板，工期较方法三较短。	缺点同组合钢桁梁
增加斜拉索	优点在于施工时可以不拆换或少拆换桥面行车道系，可以边通车边施工，对交通影响最小。	1 加固后不能改善钢横梁的受力状况；2 索塔与桥墩的连接，斜拉索与桁架节点的连接在构造上存在一定困难。

7.5 钢-混组合结构梁桥加固

7.5.1 一般规定

1 钢-混组合结构梁计算分析时应采用联合截面，考虑桥面板与钢梁共同作用的影响，加固分析计算时应考虑原桥结构和新增结构两阶段受力的关系。

2 钢-混组合结构梁加固时，应根据桥面板的病害情况评估钢梁与桥面板的剪力连接装置工作状况，桥面板更换或修复时对损坏的剪力连接装置进行更换，如因运营荷载提升应考虑剪力连接装置的重新布置，连接件的承载力、数量及构造要求应符合公路桥梁钢结构设计相关规范条文。

3 钢-混组合结构梁桥的混凝土和钢结构的常见病害及加固可参见本指南第5章、第6章和第7章相关内容。

7.5.2 主要病害特征

钢-混组合结构梁桥的常见病害可参见本指南第5章、第6章及本章前述内容，该类桥型的典型病害有钢混结合处开裂、钢混结合面相对滑移、混凝土翼板纵向开裂、负弯矩区混凝土开裂等。具体见表7.5.2-1。

表7.5.2-1 钢桁梁主要病害及成因

病害部位	常见病害	病害影响及成因
钢混组合梁结合处	结合处开裂破坏	钢混组合梁施工时结合处未处理好，或在外荷载增大等导致结合处出现开裂，会造成纵向构件传力减弱或失效，严重时造成整体破坏。
钢混组合梁结合面	结合面相对滑移	剪力键是连接钢梁与混凝土桥面板的关键构件，承受着巨大的纵向剪力，在实桥运营汽车荷载较大，特别是超载现象比较普遍的情况下，由于剪力连接件承受的纵向剪力过大且反复作用引起疲劳，会导致剪力键弯曲、剪断，使得钢梁与桥面板混凝土的连接失效，两者之间会产生明显的相对错位。
混凝土翼板	翼板纵向开裂	一般发生在翼板宽度较大，而剪力连接件设置不合理时。由于桥面板与钢梁之间巨大剪力通过连接装置传递，剪力连接件布置较少如采用单排栓钉连接时，剪力传递集中在较窄区域内，混凝土桥面板横向配筋不足时就容易发生翼板纵向开裂并持续扩展。纵向裂缝的发展会削弱钢混组合结构的共同受力，引起承载力破坏。

混凝土 负弯矩 区	混凝土开裂	在连续梁结构中,不可避免产生支点负弯矩,此时会出现混凝土桥面板受拉而钢梁受压的不利受力状态,导致混凝土桥面板横向开裂。
-----------------	-------	---

7.5.3 钢-混组合结构梁桥典型加固方法

1 钢混混合梁结合处开裂时,可采用对开裂处进行压浆的方式进行填补加固,压浆材料可采用聚氨酯砂浆、环氧砂浆或专用封缝胶,必要时可采用微膨胀材料;当结合处开裂严重时,应采用设置体外预应力的方法进行主动加固,使结合处恢复传力,预应力系统(锚固块、转向块)宜采用轻质材料,尽可能减少加固措施增加的恒载。

2 钢混组合梁结合面的滑移病害发生时,应先将混凝土组合桥面进行局部凿除,对变形过大或断裂的剪力连接件进行更换;如滑移范围过大时,应当分析评估原有剪力连接件布置是否足够,必要时应当通过改换剪力连接件的构造、尺寸、数量来加强连接。

3 对开裂、性能下降的混凝土翼缘板或桥面板进行整体或局部更换,凿除原混凝土桥面板后应同时检查剪力连接件的使用状况,对损坏剪力连接件进行更换或增加剪力连接件布置,之后重新浇筑混凝土桥面板。

4 混凝土负弯矩区开裂可以参照第5章、第6章相关内容进行加固。

钢-混组合结构梁桥加固方法见表7.5.3-1。

表7.5.3-1 钢-混组合结构梁桥加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
钢混混合梁结合处开裂	压浆填缝、设置体外预应力	压浆填缝施工简单、效率高;设置体外预应力能对严重病害提供主动加固,使结合处恢复足够的传力功能。	压浆填缝只能对轻微病害起到效果;设置体外预应力施工复杂,对原结构钻孔较多。
钢混组合梁结合面滑移	更换、优化剪力连接件	更换剪力连接件能恢复结合面连接状态,无需重新设计;对剪力连接件进行优化可以改善结合面的连接,避免后期再出现滑移。	仅更换连接件无法保证结合面不再出现滑移;对连接件进行优化需要进行专门的计算分析。

8 斜拉桥上部结构加固技术

8.1 总体

8.1.1 斜拉桥是有塔、索、梁三种构件组合而成的空间受力结构体系,在斜拉桥主梁、桥塔或整体刚度不满足使用要求时应进行加固。加固设计时,应综合考虑各构件之间的受力关系,制定合理的加固方案。

8.1.2 斜拉桥主梁一般采用混凝土肋梁、箱梁和钢桁梁、钢箱梁、钢混组合梁的结构形式,主梁常见病害的加固可参见第6章和第7章内容。

8.1.3 斜拉桥检测中应特别注意斜拉索防护体系的使用状况,加固设计时应充分重视对斜拉索防护体系的修复及改造,确保斜拉索有良好的运营环境,保证斜拉索的使用耐久性。

8.1.4 斜拉桥加固设计时,应关注斜拉索的抗振性能,制定减振措施,避免斜拉索发生早期疲劳破坏。

8.1.5 斜拉桥的钢构件较多,如锚头、拉索等关键构件,加固时应注重对钢构件进行防腐涂装的修复和维护,制定的涂装体系应按照桥梁腐蚀环境、构件工作条件、维护条件等进行设计。

8.1.6 斜拉桥加固施工应进行相应构件的施工监控,监控内容可包括主梁线形测量、锚台沉降测量、索塔偏移测量、斜拉索索力测量、锚固桥台预应力损失测量、跨中无轴力接头钢箱滑移测量等。

8.2 主梁结构加固

斜拉桥主梁常见病害加固可参照第6章和第7章的相关内容和要求进行。

8.3 主塔结构加固

8.3.1 一般规定

1 斜拉桥混凝土主塔一般常发生承台、塔柱的涂装剥落、表面裂缝、混凝土剥落掉角等缺陷,该类病害一般是施工养护不当、温度、钢筋锈蚀、外力等引起

的表面耐久性病害，应按照混凝土结构外观病害处治方案及时进行修复，避免主塔结构材料不断劣化引起结构性病害。

2 斜拉桥钢塔日常养护应当重点关注塔的变形、材料腐蚀和疲劳损伤，当发现明显病害时，应及时进行加固维修，确保钢桥塔的结构安全。

3 斜拉桥主塔在日常检查中应主要关注索塔轴线状态、斜拉索锚固区竖向裂缝等整体形态及局部受力状况。

8.3.2 主要病害特征

斜拉桥索塔主要分为混凝土桥塔和钢桥塔，各类桥塔的典型病害如下表 8.3.2-1 所示。

表8.3.2-1 斜拉桥桥塔主要病害及成因

桥塔类型	常见病害	病害影响及成因
混凝土桥塔	锚固区竖向裂缝	斜拉桥通过斜拉索将主梁的恒载及其上作用的活载等巨大的作用传递给索塔，斜拉索的锚固区是局部承压区，受力很大，锚固力作用下会在锚固区外壁产生拉应力，可能造成竖向劈裂裂缝。裂缝的存在会造成锚固区钢构件耐久性降低，影响斜拉索锚固。
	索塔轴线轴线偏离	单塔斜拉桥索塔轴线向主跨（河跨）方向倾斜或双塔柱斜拉桥两索塔倾向河跨或两索塔同向倾斜，是斜拉桥索塔面临的整体病害。该病害产生的原因有：①索塔不均匀沉降，导致塔身倾斜；②双塔大跨径斜拉桥，两岸对称安装、张拉斜拉索及调索工艺不一，索力误差较大，两岸施工进度不同步，塔柱存在较大的初始偏斜而未及时纠正；③两岸施工季节（温度）相差过大，结构的非线性变形差别过大而又未及时修正；④索塔、梁设计为铰支结构或漂浮结构，索塔、梁施工临时固结装置约束条件不一致，解除临时固结装置后，两岸的约束阻力不一。
钢桥塔	钢塔变形	钢桥塔除受轴向荷载，还承受绕顺桥向和横桥向的弯矩作用，同时风作用、温度变化也会引起变形，当钢桥塔两侧斜拉索拉力不等时会产生顺桥向挠度变形。由于钢桥塔的薄壁化、高耸化，导致其整体和局部刚度下降，当钢桥塔的挠度变形达到一定程度，钢桥塔就有可能在重力荷载及挠度变形的共同作用下产生屈曲变形，导致其失稳破坏。
	疲劳损伤	钢桥塔的疲劳损伤主要是由焊接缺陷导致的焊缝开裂引起，

		并由风荷载、车辆超重超载等的作用产生的疲劳应力加剧劣化的。
--	--	-------------------------------

8.3.3 斜拉桥主塔典型加固方法

1 斜拉桥锚固区的竖向裂缝，应进行详细检测包括裂缝深度、长度、形态、钢筋或环向预应力筋状态等，通过检测判断是否为锚固力引起的结构裂缝；并且应按实际结构构造进行局部模型分析，了解锚固区应力分布，查明受力原因；

加固时可采用被动加固和主动加固两种方式，被动加固即在索塔锚固区外壁粘贴垂直于竖向裂缝的钢板，通过钢板承担混凝土开裂后的拉应力，并对现有裂缝进行封闭；主动加固及在索塔锚固区外围施加环向预应力，通过主动施加预应力为塔壁混凝土提供压应力，使部分裂缝闭合，避免裂缝继续开展。两类方法的特点如下表 8.3.3-1 所示。

表8.3.3 斜拉桥索塔锚固区加固方法

方法	主要优点	主要缺点
被动加固	1.施工简单； 2.荷载增加不大。	1.只能被动承担塔壁混凝土开裂后的拉应力增量；无法为混凝土提供压应力；2.提供效果有限。
主动加固	1.主动施加预应力，可使裂缝闭合，并提供压应力抵抗劈裂作用； 2.通过预应力环箍，使塔壁混凝土刚度增加，可调节索力水平分力的分布。	1.施工困难，特别是环向预应力锚固端的构造； 2.需增大塔壁混凝土截面，荷载增加较多。

2 斜拉桥索塔轴线偏移病害应加强观测，准确掌握轴线偏移发展情况。

(1) 对于墩台沉降引起的索塔轴线偏移，应当考虑进行基础加固，避免偏移继续发展；

(2) 对于施工不同步、不协调引起的索塔轴线偏移，可通过调索进行轻微调整，调索时应注意对相应位置的主梁进行分析及监测，避免对主梁产生不利影响，同时还应保证调索不致使桥面线形产生过大变化；

(3) 对约束体系引起的索塔轴线偏移，应对限位装置进行检查和更换，保证全桥主梁的限位和纵向摩阻一致。

8.4 斜拉索加固

8.4.1 一般规定

1 斜拉索作为斜拉桥的主要受力构件，拉索的使用寿命直接制约着斜拉桥的使用寿命。由于斜拉索位于塔、梁外部，直接受到外部环境的影响，运营条件较差，对于斜拉索的加固必须注意对斜拉索防护的维护和改造。

2 斜拉索的加固应重视振动影响，斜拉索的异常振动是引起防护破损、拉索疲劳破坏的重要原因。

8.4.2 主要病害特征

斜拉桥拉索的典型病害如下表 8.4.2-1 所示。

表8.4.2-1 斜拉桥拉索主要病害及成因

病害部位	常见病害	病害影响及成因
索体	索力偏差	斜拉桥运营后会存在索力偏差过大的病害，主要表现在实际索力与设计索力相差10%以上，或顺桥向两侧和横桥向两侧对称的斜拉索索力相差大于10%。 其原因有：①施工控制方法不当，设计计算模式与施工工况有较大差异；②节段施工时，施工荷载与设计值相差过大，且反馈信息及指令修改不及时、不准确，成桥后阶段的高程和索力相差过大；③索的非线性松弛因素影响不一；④张拉索时的千斤顶油压表未进行统一检验，测力表具误差较大；⑤索长误差较大，或索的非线性变形不一，导致索实际长度相差较大。
	索体振动	斜拉索在运营过程中，受各种因素的影响引起振动，大幅的振动容易引起锚固端疲劳，或损坏拉索端部的腐蚀保护系统，降低拉索的使用寿命，严重时甚至要关闭交通。 斜拉索的振动机制主要有自然因素引起的涡流激振、尾流弛振、风雨振、自激振动（参数共振）；受人为因素（如人群的运动、吊装机具、车辆的运动、混凝土输送泵的运动、混凝土振捣器的运动等）引起的抖振等五大主要类型。
斜拉索钢丝	钢丝渗水锈蚀	斜拉索运营中常见有拉索钢丝生锈、流淌锈水，锈皮起鼓脱落。钢丝锈蚀严重的会导致拉索断裂，造成安全事故。 产生的原因有：①套筒式拉索护套筒裂缝、或铝套筒与水泥浆化学反应锈蚀等注浆未充盈、浆液离析不凝固、套困，造成护套存在裂隙或缝隙，致使外界水气入侵；②聚乙烯或橡胶护套在拉索

		架设中损坏未及时修补,致使水气从裂口入侵;③拉索钢丝耐腐蚀能力较差;④由于斜拉索承受很大的拉力,高强度钢丝应力很高,在高应力、反复荷载、风振作用下,钢丝容易出现应力腐蚀
索体防护	破损、老化	斜拉索护套在运营过程中会出现细纹、刮痕、刮伤、严重刮伤、翘皮、孔洞、开裂、严重开裂等病害。 斜拉索护套损伤原因:其一:人为因素。斜拉索施工涉及的工序较为繁杂,具体有运输、存放、卷盘、展开、托索、吊装、牵引、锚固、张拉及调整等,而斜拉索护套保护层是柔性聚合物,在运输、挂索、张拉等施工中,会不可避免的受到不同程度的损伤。其二:活载的影响。由于车辆、行人、风、雨等活载的作用,拉索应力变化大,索梁振动加剧,拉索伸长量也发生往复性的变化使得材料出现疲劳、老化、裂缝,破坏防护系统的整体性。
锚头	渗水锈蚀	斜拉索锚头外锚圈或盖板内螺纹、锚头上的结构固定螺栓及孔洞锈蚀;轻度表面浮锈,严重的锚头流淌锈水,侵入内部锚定板及钢丝锚头,锚圈的严重锈蚀影响锚固螺母的拧动。 锚头构件的锈蚀病害原因主要为锚头构件安装后未及时除锈、涂油或防腐涂料,盖板未及时安装或斜拉索护套破损等造成水气入侵并下渗到锚头位置。

8.4.3 斜拉索典型加固方法

1 对于既有斜拉桥运营阶段发现的所里偏差过大现象,可通过调整索力来进行一定幅度的恢复,索力调整相关内容参见本章 8.6 节。

2 斜拉索的异常振动可通过设置减振措施来进行缓解,主要减振措施:

(1) 加设辅助索,辅助索的作用,使原来相互独立的单根索组成的拉索体系变成相互关联的在一定程度上代表各组成索平均特性的索网体系;

(2) 安装阻尼器减振措施,在拉索两端索道钢管内入口处安装阻尼器,利用阻尼器增加拉索的模态阻尼比,形成阻尼点,吸收拉索的能量。

(3) 斜拉索减振措施还有动力减振锤、索端联结杆、拉索异物防护套等。

斜拉索减振装置的选择应符合以下原则:减振效果好、安装便捷、美观耐用、费用低廉。各种减振措施优缺点比较见表 8.4.3-1。

表8.4.3-1 各种减振措施优缺点比较

序号	减振器名称	减振原理	减振效果	价格	施工难易程度	美观效果
1	磁流变阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果最好、阻尼系数可调	价格最贵、磁流变体靠进口	厂家定制，现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于桥面上，呈三角形支撑，欠美观
2	液压阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果最好、阻尼系数可调	价格贵、机加工难度较大	厂家定制，现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于桥面上，呈三角形支撑，欠美观
3	粘弹性阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果较好，是橡胶减振器效果的4~5倍，阻尼值不便调整	价格一般	厂家定制，现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于钢护筒内，美观、简洁，也可外置
4	橡胶阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果一般、阻尼值不便调整	价格较低	厂家定制，现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于钢护筒内，美观、简洁
5	辅助索	索网体系，由单根变成整体，长索变成短索，网结点起弹性支撑点作用，改变拉索结构特性	对4阶以上涡激振动减振效果差，对其他振型减振效果较好	价格较低	边挂设拉索边安装，临时、永久减振相结合，施工麻烦	形似蜘蛛网，不美观
6	动力减振锤	改变拉索动力特性	减振效果一般	价格低	只用于临时减振，安装方便	索端悬吊附件，不美观
7	索端联结杆	吸收能量、提高索的阻尼	减振效果一般	价格低	只用于临时减振，安装方便	临时措施，不影响运营美观
8	拉索异形防护套	防止生成卡门涡激	对抑制风、雨振效果	价格昂贵	工厂制作，现场安装，施工	介于1、2和3、4之

			好，抑制抖动效果差		方便	间
--	--	--	-----------	--	----	---

3 索体钢丝锈蚀时，应割开索体护套，清除索体内积水并烘干后，进行锈蚀处理和防腐涂装的修复；索体钢丝锈蚀严重时，应进行换索保证结构安全。

4 斜拉索防护的破损可按以下方法进行加固：

(1) 对于套筒压注水泥浆防护的斜拉索，当金属套筒腐蚀钢丝仍完好未锈蚀的，应更换金属护套并做好防腐涂装；

(2) 对于采用热挤高密度聚乙烯作护套的工厂成品索，对护套的破损采用塑焊枪进行熔焊修补，另可在其外进行缠包带补充防护；

(3) 当斜拉索高强钢丝锈蚀严重的，或斜拉索端部应力较集中处发现钢丝有应力腐蚀或氢致腐蚀现象，必须进行换索加固。

5 锚头构件的锈蚀，首先应当对斜拉索内的水气进行清除，然后护套、锚固端部、锚头盖板等缺损或未密封处进行修复，最后对构件除锈及防腐涂。

6 斜拉索损坏严重时，应进行换索。换索应符合以下要求：

(1) 斜拉索是斜拉桥中承受拉力并支承主梁的构件，一般包括索体及其两端的锚具，新换索体可采用钢丝束或钢绞线，新换锚具构造须由旧索既有锚固构造确定；新斜拉索索体与锚具的选用应满足现行国家、行业标准的要求，并考虑采取可靠的防护措施，避免发生与旧拉索相同的病害；

(2) 斜拉索更换的主要工作包括：换前检测与评定、换索设计与施工、换索施工监控、换后结构复检；

(3) 斜拉索更换前，应按现行行业标准进行检测评定；换前检测内容应结合桥梁既有资料及现场实施可行性综合确定，检测项目包括：斜拉桥主要结构几何参数与变位、斜拉索防护材料及钢丝状况、斜拉索锚固系统及减震装置、斜拉索索力、梁塔等构件缺损状况等；换索评定内容包括桥梁技术状况评定、结构检算和换索判定，换索评定旨在为斜拉索更换设计提供依据；

(4) 斜拉索更换设计应符合国家和行业现行规范、标准的规定；

(5) 斜拉索更换设计应考虑的因素包括：原桥检算评定结果、需要维修加固的部位和数量、原桥设计标准、原斜拉索构造、换后结构目标状态、更换施工的可行性、交通影响、费用投入、社会评价等；

(6) 斜拉索更换设计的主要内容包括：被换斜拉索的数量与位置、新斜拉索类型与结构构造、新索索力、更换设计计算、施工方案设计、交通组织设计、工程监控与验收等；

(7) 斜拉索更换设计计算时，应对原桥结构设计、现结构状态进行验算，还应计算确定更换设计的目标状态和合理的更换施工状态，此外还应对受力复杂的部位进行局部分析验算；

(8) 应按照拟定的合理换后目标状态，参考原设计索力、竣工及运营期间的实测索力、换索前实测索力确定新索张拉力；

(9) 除新索索力外，还应根据结构验算结果和工期要求确定合理的换索顺序。

(10) 斜拉索更换前，应根据检测评定结果对主要构件进行缺陷复查，应做好施工组织设计和安全专项方案，还应进行风险评估并制定必要的应急预案；

(11) 斜拉索更换施工的主要步骤包括旧索拆除和新索安装，旧索拆除前应先拆除阻尼器、防水罩、减震器等相关附属装置，新索安装应按设计及监控要求进行并做好新索施工防护工作；

(12) 斜拉索更换施工关键工序应安排在结构相对稳定、对交通影响小的时间段进行；

(13) 斜拉索更换施工时，应委托专业单位负责施工监控工作；斜拉索更换施工监控的主要工作内容包括：监控方案编制、施工过程仿真分析、结构状态测量、监控指令发布、目标状态调整及监控报告提交等；

(14) 换后结构复检的主要项目包括：几何线形测量、斜拉索索力测定、动静载试验等；结构复检后，应提交复检报告，提出有针对性的养护措施或其他技术建议。

斜拉索加固方法见表 8.4.3-2。

表8.4.3-2 斜拉索加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
索力偏差过大	索力调整	兼具控制索力和桥面线形，使桥梁维持良好的受力状态	索力调整设计、施工复杂，对各技术环节要求高
索体振动	安装辅助索、设置阻尼器	辅助索使单根索形成索网体系，可达到较好减振效果；阻尼器减振效果最好，施工简便	辅助索对4阶以上涡激振动减振效果差；阻尼器价格较高，接头容易开裂渗水
索丝渗水锈蚀	除锈、换索	除锈施工简单快速；锈蚀严重的索体换索后使的斜拉索索力得到恢复并保证桥梁整体状态	局部除锈需要割开原有防护，需要高空作业；换索施工很复杂，设计施工要求高
索体防护破损	防护修补、增设缠包带防护	索体防护修复施工简便能快速回复防护功能；增设缠包带可提高索体防护效果	防护修补工作很零散，单位造价较高；增设缠包带需要专用设备，费用高
锚头锈蚀	清除积水后除锈	施工简单，效率高	除锈应当结合相应的密封措施，否则效果不佳
索体严重损坏	换索	更换全新索体，使承载力、索力、耐久性得到恢复	换索整个阶段非常复杂，需要严密的计算、精细地施工，严格地监控，施工风险大。

8.5 支撑体系加固

8.5.1 一般规定

1 斜拉桥的支撑体系主要指竖向支座、纵向限位支座、横向限位支座、纵向阻尼器等，斜拉桥支撑体系为斜拉桥的变位提供支撑、减小横向位移、减轻变位和变位速率。

2 斜拉桥加固时，应注意对支撑体系进行必要的维护或更换，保证桥梁变形顺畅、避免不利错动，使得梁、索、塔结构处于合理的受力状态。

8.5.2 主要病害特征

1 斜拉桥日常运行纵向变位较大，主梁支座在反复变位作用下容易产生构件损坏、橡胶磨损等引起支座失效的状况；纵向、横向限位支座常因为施工未安装、运营时脱落或顶死引起主梁纵横向限位失效；

2 斜拉桥在反复的温度作用及活载作用下，或在地震作用下，纵向位移变化范围大，桥梁上主要采用纵向阻尼器来减轻主梁的纵向位移和改善主要构件的荷载作用（特别是地震力），阻尼装置在不断地伸缩工作中，构件容易产生疲劳损坏导致失效。

8.5.3 斜拉桥支撑体系典型加固方法

1 对于支座系统的病害，当仅为构件涂层劣化、钢材锈蚀而支座功能尚好时，应及时进行除锈补涂装的耐久性修复。

2 对支座功能失效的，应采用梁体顶升或横向顶推的方式，进行竖向支座或纵横向限位装置的更换和补装，具体可参见本指南 13.3 节内容。

2 斜拉桥的纵向阻尼器失效的，应按照原设计参数进行更换，如采用更新型的减振装置，应按照桥梁的动力特性进行分析后确定所需减振装置的参数要求。

8.6 结构状态恢复与调整

8.6.1 一般规定

1 斜拉桥的主梁线形、索力和索塔轴线是反映斜拉桥整体状态的宏观指标，通常可以用实桥检测的参数来大致判断斜拉桥的运行状况。

2 斜拉桥维修加固时，应注意对主桥线形、索力和索塔轴线及其相互关系与原设计进行对比分析，并考虑温差影响，准确把握桥梁的受力状态。

8.6.2 结构状态异常病害

斜拉桥整体结构状态异常的主要表现为：1) 主梁线形不平顺，标高异常、

波浪起伏，表现有桥面系开裂，合龙段下凹不平；2) 索力偏差过大；3) 索塔轴线偏位；

索力偏差过大和索塔轴线偏位上述章节已进行讨论，对于成桥运营后产生的主梁线形不顺现象可能与索力松弛引起的偏差、主梁局部构件损坏有关。

8.6.3 结构状态调整方法

1 斜拉桥结构整体状态的调整可以通过索力调整来实现的，通过索力调整来恢复斜拉桥的结构状态对钢梁斜拉桥效果显著；

2 对于混凝土斜拉桥可调整的范围不大，此时应当对比设计、施工资料，计算分析斜拉桥结构状态异常的原因，制定相应的综合措施；

3 调整前应对原设计施工资料进行调查，对梁、索、塔的受力进行验算，并现场实测，通过准确模拟弄清结构当前受力状况；

4 调索应在索力调整幅度范围内兼顾主梁线形、塔位、主梁混凝土应力等结构参数的改善。

5 调索计算方法主要有影响矩阵法、逼近法、数学规划法等，实际应用中理论调索方案应进一步根据结构反应进行反复调整。

6 调索是一个反复迭代、反复筛选、兼顾因素较多的过程，相对较为繁琐。借助于平面杆系有限元分析程序，经反复试算可以对调索方案进行筛选和优化，其方法实践证明是可行的。调索计算在存在多个解的前提下应在调索目标、调索原则的指导下进行，并选取一个调索幅度相对较小的调索方案，尽量避免使运营多年的老桥结构受力状态发生突变，以保证调索过程中结构的安全。

7 调整施工中应进行相应构件的监控；

8 对索力误差超过 10% 的斜拉索，可从超过设计拉力值最大或最小的拉索开始调整，调整顺序及调整值应通过计算及桥面线形确定；

9 斜拉索调索应尽可能使调索后的附加内力最小；

10 调索时要及时观测内力、高程和索力的变化，根据现场情况修正当前调整值，减少不必要的调索次数；

11 每完成一根索力调整时，均应核算此时结构状态下，后续调索的控制参数。

除了索力调整外，还可根据具体桥梁状况，选择更换轻型桥面板或轻质桥面铺装的措施，降低斜拉桥恒载，恢复桥梁结构状况。

9 悬索桥上部结构加固技术

9.1 总体

9.1.1 悬索桥主要由主缆、锚碇、索塔、加劲梁、吊索等构件组成,在加劲梁、索塔或整体刚度不满足使用要求时应进行加固,吊索(杆)损伤或承载力不足时应进行更换。

9.1.2 悬索桥主缆不宜更换或加强,主缆或锚碇承载能力不足时可降低荷载等级使用。

9.1.3 悬索桥的关键构件如主缆、吊索、加劲梁、索鞍、锚杆等均为钢构件,加固时应注重对钢构件进行防腐涂装的修复和维护,制定的涂装体系应按照桥梁腐蚀环境、构件工作条件、维护条件等进行设计。

9.1.5 悬索桥检测时应特别注意主缆防护体系的使用状况,加固设计时应充分重视对主缆防护体系的修复及改造,确保主缆运营环境良好,保证主缆耐久性。

9.1.6 悬索桥加固施工应进行相应构件的施工监控,监控内容可包括主梁线形测量、索塔偏移测量、主缆线形测量、吊杆力测量、加劲梁应力变位测量等。

9.2 主梁结构加固

悬索桥主梁的加固可参照第 6 章和第 7 章的相关内容和要求进行加固。

9.3 主塔结构加固

9.3.1 悬索桥主塔系统包括塔顶、主鞍室、主塔身、塔墩和基础等部分构成,是悬索桥的重要组成部分,受力以压弯为主。

9.3.2 悬索桥主塔应注重对主塔沉降及倾斜的检测,应 2~3 年进行一次,连同主梁线形一起,制成曲线图与竣工时高温及低温下测试数据相比较,判断其是否在正常工作范围之内。

9.3.3 主索鞍及构件如发现裂纹不得随意补焊,此种修补需十分慎重,应关闭交通甚至考虑进一步卸载。

9.3.4 塔身、承台混凝土劣化、保护层脱落、浅表层破损等缺陷应按照混凝土构件表观病害的维修方法处治；

9.3.5 主塔混凝土结构部分，当发现裂缝时应作详细的记录，对 $\geq 0.2\text{mm}$ 裂缝采用压注环氧胶液， $< 0.2\text{mm}$ 裂缝采用封闭处理。

9.4 缆索加固

9.4.1 一般规定

1 缆索系统包含主缆及吊索（杆），加固内容主要有主缆涂装修复、主缆防护系统维修、索股维修、索夹螺杆力紧固、索力调整、更换吊索等。

2 缆索系统维修加固时，不仅要关注构件的受力状态，也要十分重视构件使用耐久性的状况，因为缆索系统为钢结构构件，构件的腐蚀、锈蚀、疲劳等耐久性病害会直接降低构件的受力性能。

9.4.2 主要病害特征

缆索结构的典型病害有主缆防护体系损坏、主缆钢丝锈蚀断丝、索夹滑移、吊索索力变化、吊索断丝等。具体见表 9.4.2-1。

表9.4.2-1 悬索桥缆索系统典型病害及成因

病害部位	常见病害	病害影响及成因
主缆防护	防护破损	主缆防腐涂装及防护系统劣化、破损的病害原因有：①主缆受力变形与防护变形不一致，导致防护开裂；②涂装因运营环境不良过早老化、劣化；③施工时受到外力擦碰所致。
主缆钢丝	锈蚀断丝	主缆索股钢丝锈蚀、断丝是悬索桥主缆常见病害，锈蚀是钢丝破坏的一种最初表现，断丝则是钢丝破坏失效的一种直观形式。其病害产生的原因主要有：①主缆涂装及防护系统破损，导致钢丝收到环境侵蚀产生锈蚀，在环境腐蚀和应力腐蚀、疲劳作用下会引起断丝；②盘条本身的疏松、夹杂、气泡、成分偏析等缺陷，这种缺陷若在生产过程中暴露，就会给成品钢丝留下断裂隐患点；③为追求出材率和连续生产，对盘条采用焊接方式连接，这些焊接点也是钢丝的断裂隐患

		点；④在制索和架索过程中，由于牵引力作用缺陷，钢丝会断裂，或因扭绞、钩挂等原因造成断丝；⑤后续施工(如悬索桥紧缆、安装索夹、缠丝、吊装 加劲梁、拆卸工作通道等)操作不慎，也可能造成断丝。断丝对一根钢丝而言是 完全破坏和失效，对一根集束缆索而言，也会因其组成情况不同，对缆索机械力 学性能产生影响。根据目前的设计标准，一般以缆索内5%的钢丝断裂作为缆索失效判定条件。
吊索 索夹	索夹滑移	主缆索夹滑移产生的原因主要有：①高强度拉杆的预拉力松弛，使索夹与主缆之间的夹紧程度放松；②在长期使用后主缆的挤紧程度提高，空隙率减小，是的索夹与主缆的夹紧程度减弱；③主缆镀锌层的蠕动使主缆截面变化；④索夹受力变形；⑤索夹和主缆的温差。 索夹滑移会改变吊索状态，由铅垂变成斜吊索，使加劲梁的受力状态改变，吊索的内力改变，对结构产生不利影响；索夹滑移还会破坏主缆的防锈层，或使缠丝破坏（断裂或鼓包），从而导致主缆损伤。
吊索	索力变化	悬索桥吊索索力变化的原因有：①吊索锚板螺杆的螺帽松动，导致吊 索变松，索力减小；②主缆空隙率进一步变小，导致索夹间隙变小，进而使吊索 变松，索力减小；③因腐蚀和疲劳导致吊索已有断丝。另外由于荷载的改变、温 度影响或主缆变细等原因，会导致吊索索力变化。而个别索力变化必然会使临近 吊索内力重分配，同时也会使加劲梁段应力状态改变。
	吊索断丝	吊索断丝的原因有以下几方面：①应力幅较大，吊索直接承受桥面活 载，活载应力幅均在100MPa以上；②吊索由高碳冷拔钢丝组成，含碳量高，塑 性、韧性差，极易腐蚀。
	锚头锈蚀	吊索锚头锈蚀主要是由于吊索防护破损后，外界水气侵入下流，积存于锚头位置使锚头钢结构发生腐蚀；锚头护套在吊索振动作用下会出现密封松动，雨水也会于密封破损处侵入

9.4.3 悬索桥缆索典型加固方法

1 对于主缆防护破损的维修，应按以下原则进行：

(1) 应加强主缆内部检查，主缆应根据所处的区域腐蚀环境定期开展内部检

查，通常主缆内部检查频率为每 5-10 年一次，检查的基本流程如下：选取主缆最低点的两个索夹间作为检查区间；去除涂装和缠丝；清洗主缆表面；在区间正中位置撑开主缆，在断面形成至少 8 个角度的米字形缝隙，确保能够看到主缆中心区域的钢丝；检查并记录主缆钢丝腐蚀情况，绘制断面腐蚀图；恢复主缆，并用紧缆带恢复主缆空隙率；缠绕主缆缠包带，并在中间点安装主缆表面观察窗。

(2) 对于主缆防护损坏的维修，要根据损坏程度和维修目标进行方案制定，一般按照损坏几层修复几层；

(3) 对于损坏较深的，并且经检查发现主缆索股钢丝锈蚀断丝较为显著的，应采用新型的防护体系；

(4) 对于密封腻子的更换，传统的红铅材料密封膏效果较差，更换时可采用新型的弹性富锌密封膏或油脂基密封膏；

(5) 主缆传统防护采用圆形缠丝缠包由于主缆在负载下的伸缩，有可能对在缠丝外的涂料造成破坏，水就会通过缠丝间隙进入主缆，尤其是采用非柔性涂料系统时更加严重。在对主缆圆形缠丝进行更换时，应采用新型的 S 形缠丝缠包。S 形缠丝为互锁结构，缠丝间不留空隙形成一个光滑的表面，有利于提高涂层的耐久性。如图 9.4.3-1 所示。

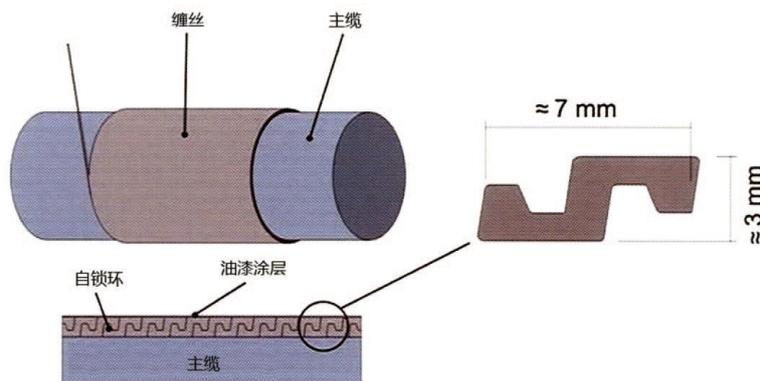


图9.4.3-1 主缆S形缠丝

(6) 主缆缠丝外可采用新型缠包材料进行补充缠包，如氯丁橡胶缠带系统。通过在缠丝或者主缆表面，刷涂一种常温的液体氯丁橡胶材料，然后用 150mm 宽的未固化橡胶，以 50% 叠压的方式，螺旋缠绕在外表面，形成一个“瓦”的效果，并防止水从螺旋接缝进入。如图 9.4.3-2 所示。

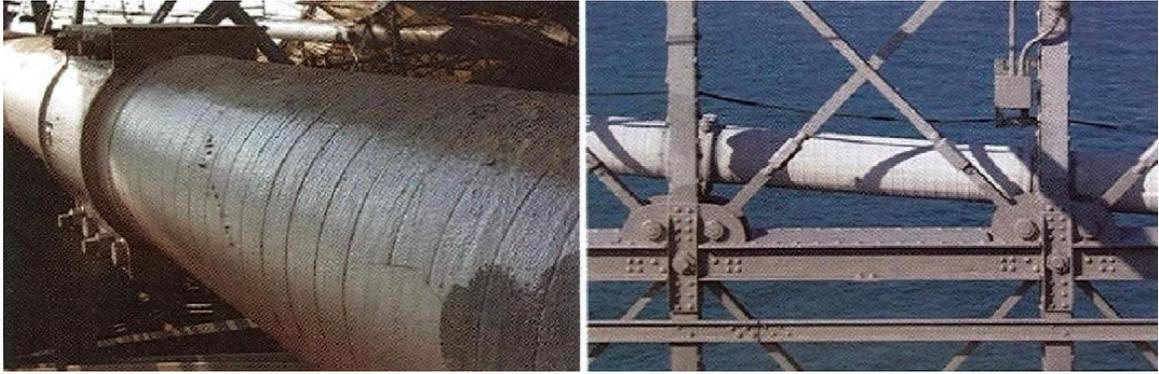


图9.4.3-2 氯丁橡胶缠带系统

(7) 对运营 10 年以上的悬索桥主缆，或处于较重腐蚀环境下的主缆，如沿海地区、西南山区、气候湿润区域、温度日较差较大区域等，应安装主缆除湿系统进行主缆内部腐蚀环境控制，通过除湿系统不断向主缆内部吹入干燥空气，使主缆内部保持在一个相对安全的环境下。

主缆除湿系统一般包括干空气制备、系统监控、主缆密封、运维组件 4 部分，能够实时的、智能的提供主缆内部腐蚀环境信息以及防腐维护建议。如图 9.4.3-3、4 所示。

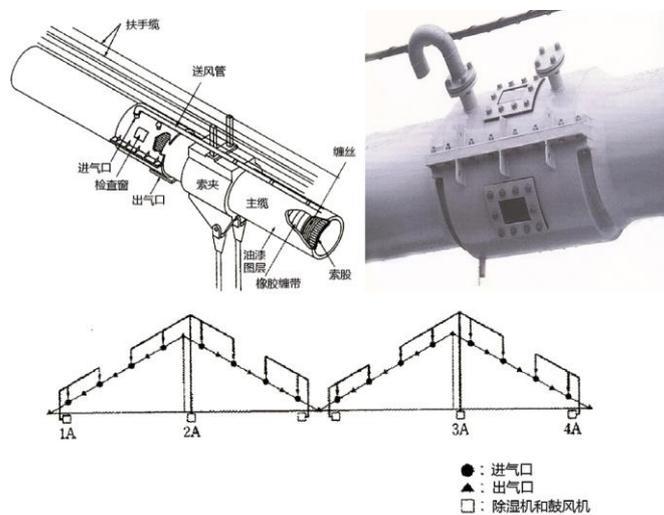


图9.4.3-3 主缆除湿系统示意图

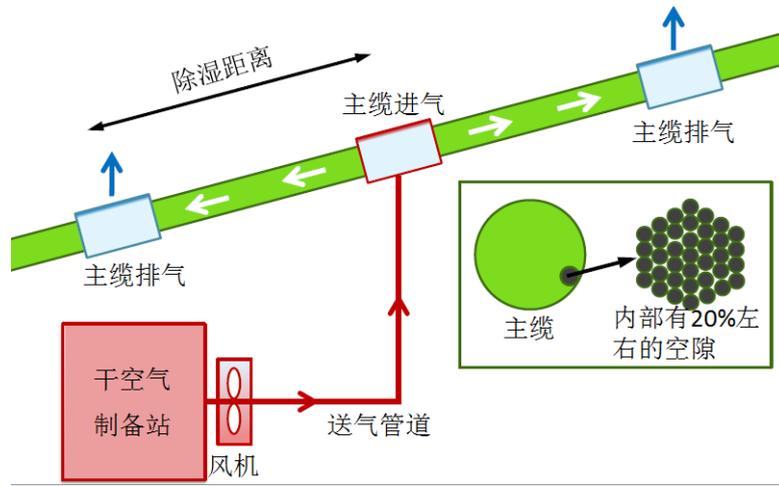


图9.4.3-4 主缆除湿系统送入干燥空气

主缆除湿系统专业性较强，安装前需对目标主缆进行详细调查，仔细分析，充分做好研究设计工作，再进行现场施工。主缆除湿系统安装需要在主缆、扶手绳、索塔、锚室等部位进行作业，施工安全和交通组织极其重要。

安装完主动防腐系统，进行实时的监测，不断根据监测数据反馈调整系统设备运行状态，实现动态控制。通常，主缆会有较多的存水，此系统的工作初期会有比较大的能源消耗，这一过程大概为 200 天以内。

(8) 为了即时掌握主缆内部情况，可在主缆适当位置设置观察窗。主缆最低点是腐蚀最不利位置，对运营中的悬索桥主缆应安装可视化主缆表面观察窗。并定期进行主缆表面状态检查。如图 9.4.3-5、6 所示。

主缆表面观察窗安装时，取主缆最低点约 70cm 区间做标记：

第一步将区域内顶面 10cm 宽的表面涂装清洗掉，检查主缆缠丝的外表面情况并记录；

第二步将暴露的 70cm 缠丝两端进行缠丝间并焊；

第三步用手持无齿锯对暴露的缠丝上表面沿主缆纵向切槽，槽口深度 2.5-3.5mm，切忌不能切断缠丝；



图9.4.3-5 悬索桥主缆观察窗



图9.4.3-6 可视化主缆表面观察窗构造示意图

第四步用手锤和平鏊对缠丝进行逐根切断，取下完整的缠丝和涂装层，对缠丝内表面进行检查并记录；

第五步清洗主缆钢丝表面的腻子层，确保能够清晰观察到主缆钢丝；

第六步在暴露的主缆钢丝两端缠绕刻度尺，对主缆表面进行检查并记录；

第七步安装观察窗；

第八步进行观察窗密封检测并确保密封；

第九步安装监测仪表。

(9) 也可在索夹处可设置排水孔，既可以观察主缆积水情况，也可以及时排出主缆积水。

2 主缆索股断丝发生在跨度中间，断丝较少并且较分散时，可以暂不处理；锚室内断丝可采用接丝器拼接断丝。拼接器可以是一个套筒挤压接头，也可以是一个内径带正反螺纹的连接器。挤压接头需专用液压挤压设备将两断头连一起。

断丝拼接：先将断丝处丝股绑扎松开，拉出断丝两端头，剪除两端头部分受损段，再剪一段新钢丝，长度大于剪掉段；处理接头部分，磨掉锈蚀锌层，去油污，以套筒挤压接头与一端相接；处理另端钢丝接头部位，拉紧钢丝至规定拉力，剪除多余钢丝，以套筒挤压连接接头，复位钢丝并两侧扎紧索股。这种带有内壁螺纹的套筒(国产或进口产品)，挤压连接后承载力均能达到 90% 以上。图 9.4.3-7 为挤压接头结构示意图。

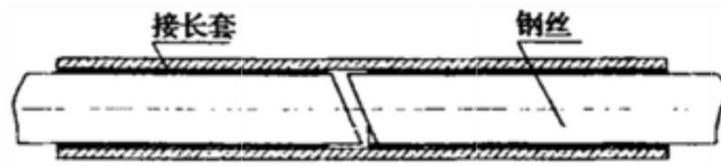


图9.4.3-7 挤压接头结构示意图

3 主缆索夹滑移的维修方法是定期用高强度螺栓的施拧工具补足高强度拉杆的预拉力，使索夹与主缆的夹紧程度保持恒定，并使高强度拉杆的与拉力达到并保持设计值。

索夹螺杆力张拉时，采用千斤顶对索夹螺杆进行张拉。在张拉过程中，采用超声波测量仪对螺杆的长度进行测试。由于螺母的约束作用，在螺杆上端所受拉力不断增大的过程中，螺杆长度(反映为超声波的声时值)会在张拉力为 F 时发生突变。 F 即为索夹螺杆预紧力。测试完螺杆的预紧力后，如果预紧力不足即可进行补张。补张采用千斤顶进行。补张完成后，可再通过超声波测试仪测量补张完成后的索夹螺杆预紧力。图 9.4.3-8 为索夹螺杆力补张。



图9.4.3-8 索夹螺杆力补张

4 吊索索力应进行定期测量,若发现吊索索力与成桥索力数据(或前次数据)相差较大,则应仔细探明原因,然后制定相应措施。

对于吊索索力调整,应持谨慎态度。因使用不同的测量方法检测吊索索力,可能有5%的差别,再加上施工安装吊索时的索力误差,所以不同时间用不同方法测试结果差别在10%以内当属正常。即使个别吊索索力差值较大(如30%),若主缆及加劲梁线形良好,仍可不调整吊索索力。

5 对吊索断丝较多,或吊索锚固构件疲劳断裂等病害,应及时进行吊索及构件的更换,更换前应对换吊索的施工过程进行受力分析,必要时应考虑设置临时吊索;施工过程中应当对相邻梁段、吊索进行应力监控,对主梁进行线形测量,且吊索更换卸载和张拉时应分级进行并同步监控,以便换索过程风险可控。

6 吊索锚头锈蚀,应对保护罩进行拆除,排出锚头内积水后对锚头除锈,之后进行防腐涂装或补充油脂,安装保护罩时应设置好密封。

7 吊索损坏严重时,需更换吊索,更换吊索工作内容应包括换前检测与评定、换索设计与施工、换索施工监控、换后结构复检,各环节应符合以下要求:

(1)吊索是连接悬索桥主缆与加劲梁的构件,一般包括索体及其两端的锚具,新换索体可采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线或钢拉杆,新换锚具构造须由旧索既有锚固构造确定;新吊索索体与锚具的选用应满足现行国家、行业标准的要求,新吊索应考虑采取可靠的防护措施,避免发生与旧吊索相同的病害;

(2)吊索更换前,应按现行行业标准进行检测评定;换前检测内容应结合桥梁既有资料及现场实施可行性综合确定,检测项目包括:悬索桥主要结构几何参数与变位、结构材质调查、主要构件缺陷损伤、结构荷载调查、吊索专项检测等,测试时机宜选择结构相对稳定的状态并对外界环境参数进行测试;换索评定内容包括桥梁技术状况评定、结构检算和换索判定,换索评定旨在为吊索更换设计提供依据;

(3)吊索更换设计应考虑的因素包括:旧索检测评定结果、原桥设计标准、原吊索构造、换后结构目标状态、更换施工的可行性、交通影响、费用投入、社

会评价等；

(4) 吊索更换设计的主要内容包括：被换吊索的数量与位置、新吊索结构构造、新索索力、更换设计计算、施工方案设计、交通组织设计、工程监控与验收等；

(5) 吊索更换设计计算时，应对原桥结构设计、现结构状态进行验算，还应计算确定更换设计的目标状态和合理的更换施工状态，此外还应对受力复杂的部位进行局部分析验算；

(6) 吊索更换前，应根据检测评定结果对主要构件进行缺陷复查，并按设计文件要求进行维修加固；吊索更换施工的主要步骤包括旧索拆除和新索安装，旧索拆除前应先拆除阻尼器、防水罩、减震器等相关附属装置，新索安装应按设计及监控要求进行并做好新索施工防护工作；

(7) 吊索更换施工关键工序应安排在结构相对稳定、对交通影响小的时间段进行；

(8) 吊索更换施工时，应委托专业单位负责施工监控工作；吊索更换施工监控的主要工作内容包括：监控方案编制、施工过程仿真分析、结构状态测量、监控指令发布、目标状态调整及监控报告提交等；吊索更换施工监控技术指标应满足现行国家、行业相关标准、规范的规定，并得到设计单位的认可；

(9) 换后结构复检的主要项目包括：几何线形测量、吊索索力测定、动静载试验等；结构复检后，应提交复检报告，提出有针对性的养护措施或其他技术建议。

悬索桥缆索系统加固方法见表 9.4.3-1。

表9.4.3-1 悬索桥缆索系统加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
防护破损	更换新型防护系统	新型防护系统包括新型密封腻子、S缠丝、补充缠包带、主缆除湿系统等，通过综合措施达到	防护系统的更换需要采用专用设备，施工复杂

病害	加固方法	优点	缺点
		对主缆的良好防护	
锈蚀断丝	连接器拼接	通过挤压连接后承载力均能达到90%以上，可恢复主缆受力功能	无法对内部断丝进行拼接，对主缆防护有破损
索夹滑移	索夹螺杆力张拉	施工方便，可定期补张	高空作业，施工较为复杂
吊杆索力变化	调整吊杆索力	通过对吊杆索力进行调整可使索力达到设计索力	需要详细的分析计算，应结合桥面线形确定调整值
吊索断丝	进行吊索更换	通过更换新吊索恢复缆索结构体系	计算分析复杂，需要设置临时吊索，需要封闭交通
锚头锈蚀	排水除锈	施工简便	应对锚头渗水进行定期检查
吊索损坏严重	更换吊索	更换新吊索，使吊索功能得到恢复，耐久性好	更换工艺十分复杂，需要严密的计算、精细地施工，严格地监控，更换风险较大

9.5 锚碇加固

9.5.1 一般规定

悬索桥锚碇结构一般无法进行整体加固，该结构的主要维修内容集中在耐久性修复上。锚碇结构的耐久性问题包含两个方面，一个是锚碇结构本身，及锚碇体混凝土的裂缝、渗水、腐蚀、破损等问题；另一个是锚碇内部环境如湿度对散索鞍、索股、锚杆等的侵蚀。

9.5.2 主要病害特征

根据对国内外多座悬索桥的调查，悬索桥锚碇结构的典型病害为锚碇渗水。锚碇渗水病害的主要原因有：①锚碇体未采用抗渗混凝土，或未进行有效的防水、防渗保护层和涂装；②锚碇体周边未进行注浆阻水；③锚碇体周围地下水丰富蓄

积，使得渗水的外部水源不断。

9.5.3 锚碇典型加固方法

悬索桥锚碇渗水的处治，要根据具体锚碇的具体构造、材料特征、地质条件、水文状况、围岩渗透情况等，制定综合的处治方案。总体思路，渗水处治包含“防排堵截”，其中“防”即为通过设置防水层或涂抹渗透型水泥基结晶防水涂料提高混凝土结构自身的抗渗性能；“排”指的是通过设置排水、降水管路主动对锚碇周围水源或锚室内渗水进行排除；“堵”可以采用防渗帷幕等措施将锚碇体周围水源与锚碇相互隔绝；“截”表示通过设置或回复地表排水沟等设施来减少地表水下渗到锚碇区域。

9.6 结构状态恢复与调整

9.6.1 一般规定

悬索桥的加劲梁线形、缆索线形、主塔偏位反映悬索桥的整体状态，通过对这些参数的检测可以大致判断悬索桥的运行状况，悬索桥维修加固时，应注意将这些指标原设计进行对比分析，并考虑温差影响，准确把握桥梁的受力状态。

9.6.2 结构状态异常病害

悬索桥结构状态变化的原因有：①主缆长期运营后出现松弛；②吊索索力变化引起加劲梁线形改变；③荷载的变化（桥面重量增加、附属设施增加）等导致主缆、加劲梁线形变化；④主鞍座偏移导致主塔非中心受压，引起主塔产生向主跨的附加弯曲导致整体线形及受力状态改变。

9.6.3 结构状态调整方法

对于悬索桥结构状态的变化，首先应当慎重判别，因为悬索桥主缆、加劲梁线形变化是多方面因素影响的。在季节变换和日温度变化影响下，悬索桥主缆线形会发生可恢复的变化，加劲梁线形亦有相应改变。这种线形变化反映到加劲梁高程的改变，一般在 20cm 以内是正常的，这种情况下就不能判定悬索桥结构状态变化过大且不可恢复。

在经过仔细检查和反复核算后，确定结构状态变化不可恢复，可通过如下措

施进行状态调整:

(1) 首先做内力分析, 根据验算情况, 利用调整吊索大螺帽来改变加劲梁的高程, 这种调整有时会增大加劲梁局部应力, 要特别注意施工监控及过程控制。

(2) 主缆线形的调整可通过顶推主索鞍座和散索鞍座的方式来进行, 调整施工时先封闭交通, 之后解除主鞍的锁定, 中跨减载(如更换轻质铺装), 边跨加载, 使主鞍移向边跨, 恢复至要求位置后进行锁定。由于索鞍调整对悬索桥整体结构影响较大, 应咨询大桥原设计单位并经过审慎分析或试验后实施。

(3) 悬索桥线性变化过大, 即挠度变化太大时, 常常是结构隐藏着较大问题的征兆, 应请设计单位并经专家分析研究, 找出问题根源, 确保维修加固措施可靠有效。

10 拱桥上部结构加固技术

10.1 总体

10.1.1 进行拱桥加固设计时，对刚度较大，连接可靠的拱上建筑，可采用适当的计算模型考虑与主拱圈的联合作用。

10.1.2 设计计算应考虑各施工阶段构件的承载力、刚度和稳定性。大型拱桥加固宜进行施工阶段风险评估，拱桥加固中涉及拱上建筑拆除时应编制专项施工组织方案与安全事故预防预案。

10.1.3 更换拱上填料时不可采用遇水膨胀材料，根据需要采用轻质高强或高密度高强材料，并严格保证填料密实度使得拱桥结构协同受力。

10.1.4 拱上建筑拆除，应遵循对称、均衡的原则进行拆除方案设计，给出逐级拆除的顺序和拆除荷载量，其拆除的顺序与修建时的顺序一般应相反，避免不平衡推力造成拱圈截面的破坏或使拱圈、墩台失稳，必要的时候宜采取支撑等临时措施以保证拆除过程安全。大型拱桥拆除施工时还应实行施工监控，拱圈变形监测点一般不应少于 5 点。拆除多孔拱桥的拱上建筑时，还应加强相邻孔拱圈、桥墩纵向变位的观测，视原结构情况一般需观测 3-5 孔。一旦出现异常，应立即停工，明确原因，调整拆除方案或措施。

10.1.5 对于拱桥墩台基础位移引起的拱桥病害，应先加固墩台基础，消除病因后再进行上部结构的加固。

10.2 圯工拱桥加固

10.2.1 一般规定

1 圯工拱桥加固的常用方法主要有增大截面法（包括拱圈与腹拱圈套拱、套箍、侧墙加大截面、粘贴钢板）、调整拱上建筑恒载法（包括填料更换、填料挖除、改拱式腹孔为梁板腹孔）及增强整体性法（包括横向体外预应力、拱圈横向钢板箍、砌缝压浆、双银锭腰铁）。

2 对具有历史文物价值的圯工拱桥，按国家有关文物保护的要求实施维修加

固，修旧如旧。

3 圮工砌体上植筋时应避开砌缝。

4 在实施其他加固措施前，破损的砌块应逐个或小批量分次进行更换，修补用砌块宜采用与原桥相同的圮工材料，料石和混凝土砌块不宜混合使用，砌体强度指标不应低于原拱圈砌块强度。

5 对拱上建筑进行改造或对主拱圈增大截面时，在卸载和加载过程中应注意单孔和多孔间的均衡对称性，保证拱圈及墩台的稳定。

10.2.2 主要病害特征

圮工拱桥常见的病害为拱圈开裂、拱顶下挠、砂浆脱落、砌石掉块、侧墙外鼓、开裂及渗水等。

1 拱圈开裂

拱圈开裂主要包括横向及纵向裂缝。横向开裂主要有 2 种：①主拱圈的拱顶下缘及侧面、拱脚上缘及侧面的横向裂缝，具体见图 10.2.2-1；②主拱圈的拱顶上缘及侧面、拱脚下缘及侧面的横向裂缝。主要是墩台基础发生了转动或水平方向滑动，如墩台位移导致桥跨变长产生第 1 种横向裂缝，反之为第 2 种。其次拱圈截面偏小，材料风化，超载交通等造成截面抗弯能力不足也会形成横向开裂。

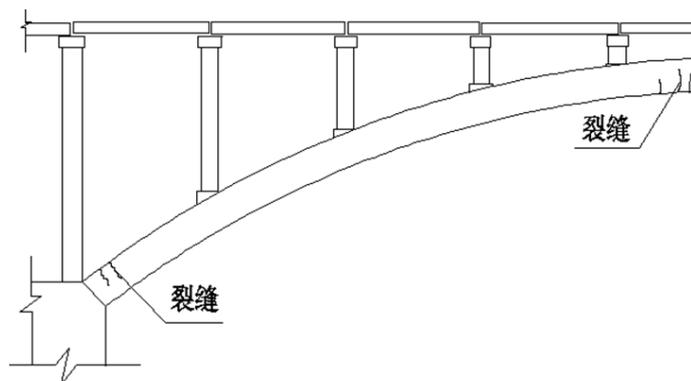
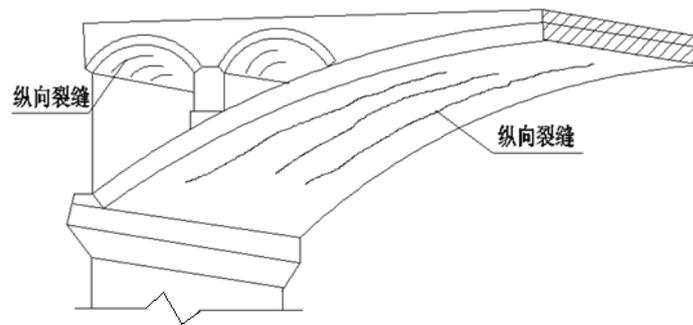


图10.2.2-1拱圈横向开裂

另外，墩台不均匀沉降、施工不良造成拱轴线不合理、砌筑工艺不规范，砂浆不饱满也是常见因素，其中墩台不均匀沉降还是主拱圈或腹拱圈出现纵向裂缝的主要因素，具体见图 10.2.2-2 (a)，如果裂缝大致居中，同时伴有墩、台帽或

帽梁纵向裂缝，可能是墩、台基础的上、下游不均匀沉降引起，如果只是拱边接缝处开裂，一般是接缝的连接不好，拱圈横向整体性差，偏载作用下边部受力变形较大或侧墙受到过大侧压力倾斜变形引起，具体见图 10.2.2-2 (b)。另外拱圈分环砌筑时，未注意环与环交错搭接，易在拱腹发生纵向开裂。长期存在局部日照的拱桥，横向两侧存在较大温差，主拱圈或在日照区域边缘也常见纵向裂缝。



(a) 主拱圈或腹拱圈纵向开裂



(b) 拱圈边缘的纵向开裂



(c) 基础沉降导致的拱圈纵向开裂

图10.2.2-2 拱圈纵向开裂

2 拱圈变形（拱轴线劣化）

拱圈变形可分为施工期变形和运营期变形。施工期间的拱圈变形由于施工时拱架放样与设计图有出入，造成主拱圈发生永久性变形；主拱圈支架刚度不足或未经过充分预压，导致拱圈变形等。运营期的变形主要包括荷载作用下，随着拱圈开裂及裂缝的扩展、砂浆的脱落而发生不可恢复的永久性变形，墩台基础不均匀沉降导致的拱顶开裂错台，基础水平移动导致的拱顶下沉或上拱等。

3 拱上侧墙外鼓、开裂或脱离主拱圈

圯工拱桥的横向整体性较弱，当桥面出现纵向裂缝时，随着交通量和大吨位车辆不断增加，拱上填料会增大对桥梁侧墙的横向推力，附加土压力过大引起纵向裂缝增大及侧墙变形。填料不密实、填料遇水膨胀、拱圈与侧墙之间粘结强度不足等也是导致病害的原因。

4 拱圈渗水

主要是拱上建筑填料不密实，灰缝不饱满，桥梁排水防水系统设置不合理或损坏等原因造成。

5 砂浆脱落、砌石掉块

主要是施工砌筑质量不良，砂浆强度低，砌缝砂浆不饱满，超载、重载交通冲击、各种原因导致的拱圈开裂变形、局部材料强度不足或应力偏大等因素造成。

10.2.3 圯工拱桥典型加固方法

1 圯工拱桥主要病害对策

(1) 拱圈开裂

对于拱顶、拱脚的横向开裂或局部压碎病害的处理，可从2个方向入手，一方面通过增强主拱圈的本身承载力的方式，主要可采用从拱腹面或拱背面增大截面的方法加固，即所谓套拱法或复合拱法，具体见图10.2.3-1。这种方法通过在原主拱圈的拱腹、或拱背及其两侧面浇筑增设一层钢筋混凝土拱板（肋）板加固层，或者仅对原拱圈拱腹或拱背增设钢筋混凝土板（肋）拱形成复合主拱圈。通过复合主拱圈的协调变形、共同作用来承担后期荷载，达到增大主拱圈刚度、强度，增强整体性，恢复或提高桥梁承载力的目的。在条件允许时，还可采用钢筋混凝土环向套箍封闭的增大截面法加固主拱圈。另外对于大跨径拱桥增设的套拱或套箍在桥纵向还可考虑变截面的形式，以提高结构加固效率。其次可采用纵向粘贴钢板或纤维复合材料的方法，但应注意锚固，避免拱腹粘贴材料过长受弯后产生径向撕裂作用的问题，具体见图10.2.3-2。另一方面通过给主拱圈减载的方式来控制病害进一步发生或发展，主要可采用填料更换为轻质填料、填料挖除改拱式腹孔为梁板腹孔等方法。

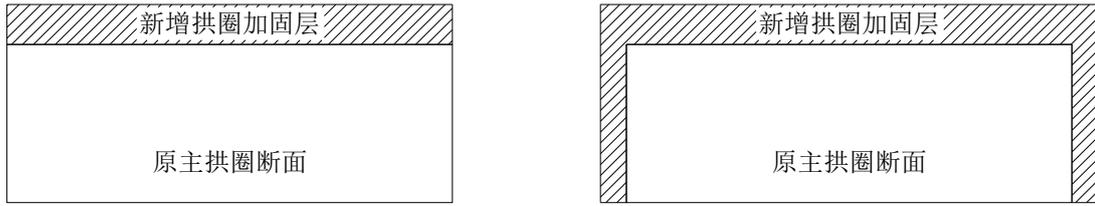


图10.2.3-1 钢筋混凝土复合拱法加固



图10.2.3-2 纵向钢板条加固腹拱圈

对主拱圈或腹拱圈出现的纵向裂缝，主要采取提升拱桥横向整体性的加固方法。具体应视缝宽大小，可采用灌浆封闭、增大截面、横向粘贴钢板或纤维复合材料、增设多道封闭钢板箍或钢拉杆以及施加横向预应力等方法，具体见图10.2.3-3。

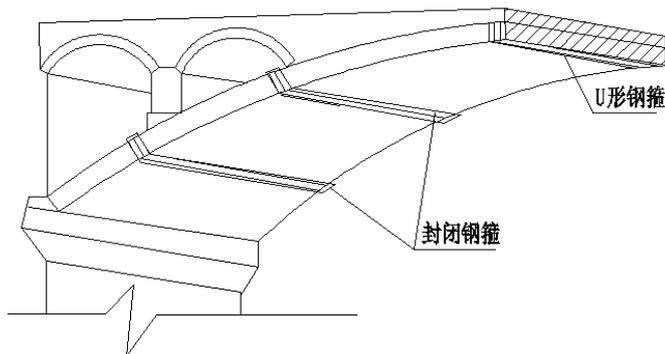


图10.2.3-3 横向钢箍加固拱圈

(2) 拱圈变形

对于拱圈轻微的变形，可在相应部位灌浆填充变形导致的圬工砌石空隙，并

在其附近的拱背或拱腹喷射一定长度和厚度的混凝土。对于更严重的拱圈变形，特别是出现拱轴线的非对称变形，宜采用套箍增大截面的方法配合拱上建筑调整的综合方法。当拱轴线与压力线严重偏离，上述措施难于奏效时，可采用拱脚顶推复原调整拱轴线的方法来主动改善拱圈变形与受力，但此法技术复杂，风险大，成本高，实施时要做充分论证，宜慎重考虑。

(3) 侧墙外鼓开裂变形

对于轻度开裂与外倾，可采用灌浆勾缝，侧墙钻孔张拉横向预应力的方式，必要时可配合混凝土框格梁。对于侧墙的严重外鼓开裂，应采用更换轻质填料或半刚性材料、重砌并加厚侧墙断面的方式进行处理，侧墙高度较高时可考虑设置横向拉杆。

(4) 拱圈渗水

采用灌浆勾缝，疏通或重新设拱上排水系统的方法。

(5) 砂浆脱落、砌石掉块

在消除拱圈因为受力导致的砂浆脱落，掉块因素后，采用灌浆勾缝和回砌的方式处理。新砌块就位后应用楔子固定，并用干硬性砂浆砌筑，砂浆强度等级应高于原砂浆一级。必要时应采取临时支撑措施。

(6) 砌石风化

清除砌石的表面软化、剥蚀层，灌浆勾缝后喷涂水泥浆或其他防护材料。

2 圯工拱桥加固方法

圯工拱桥加固方法见表 10.2.3-1。

表10.2.3-1 圯工拱桥加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
主拱圈套拱	拱腹套拱或空腹拱桥的拱背套拱加固不中断交通，有效提升拱圈的整体性和承载力、改善拱轴线	原基础要能满足新增拱圈后产生的附加应力和推力，拱腹套拱对桥下泄洪断面和通航净空有一定压缩

主拱圈套箍	极大提升拱圈的整体性和承载力，改善拱轴线，整体可靠性和材料利用较套拱高，空腹拱桥应用时不中断交通	原基础要能满足新增拱圈后产生的附加应力和推力，实腹拱应用时需要中断交通；对桥下泄洪断面和通航净空有一定压缩
体外预应力	自重增加少，可有效提高承载力或整体性；可调可换，便于维护更换	施工工艺要求高，防护要求高，需要在砌石上钻孔锚固
钢板箍或拉杆	自重增加少，有效提升拱圈横向整体性	防护要求高，需要在砌石上钻孔锚固
粘贴钢板	自重增加少，可有效提高承载力或整体性	施工工艺要求高，防护要求高，需要在砌石上钻孔锚固
粘贴纤维材料	轻质高强，基本不增加恒载，加固施工周期短，耐腐蚀性能高	施工工艺要求高，耐火性差，耐老化性能差，单价较高

10.3 钢筋混凝土拱桥加固

10.3.1 一般规定

1 本节内容不涉及混凝土结构均存在的非结构性开裂、蜂窝、麻面、夹渣等一般性病害的处治。

2 双曲拱桥加固的常用方法包括增大截面法（包括主拱肋加大截面、主拱肋与拱波加大截面、拱背加大截面、主拱圈增设底板、主拱肋粘贴钢板、加大横系梁或板截面、拱式腹孔或微弯板腹孔加大截面、腹孔墩加大截面）、拱上建筑改造法（包括填料更换、挖除、改拱上建筑为梁板式、刚架或桁架式结构、改墙式腹孔墩为立柱式腹孔墩）及增强整体性法（包括增设横系梁或板、加大横系梁或板截面、增设整体式桥面板、改主拱圈为箱型截面）。

3 对拱波、拱板及主拱肋等无明显脱开的双曲拱桥主拱圈可按整体截面考虑，并根据各构件的材料指标、按截面面积、高度相等、形心不变的原则换算成主拱肋混凝土等效截面。

4 需要换填全部拱上填料的双曲拱桥，应在原主拱圈顶面设置防水层。换填全部或部分拱上填料的双曲拱桥，均应采用具有多层钢筋网的混凝土桥面铺装层或桥面板。

5 桁架（刚架）拱桥加固的常用方法包括增大截面法（包括节点粘贴钢板，弦杆加大截面，或横向联系板、梁加大截面，增加拱片）和增强整体性法（增设整体式桥面板或强化的多层配筋桥面铺装）。

6 箱（板）拱桥加固的常用方法主要为增大截面法（包括拱圈加大截面、增加箱室数量、拱圈粘贴钢板）、拱上建筑改造法（改拱式腹孔为梁板式、填料换填）和增强整体性法（拱圈横向封闭钢箍、横向粘贴钢板、横向预应力）。

7 肋拱桥加固的常用方法主要为增大截面法（包括箱形截面转换法、粘贴钢板）和增强整体性法（增设或增强横系梁、桥面系整体化改造）。

10.2.2 主要病害特征

钢筋混凝土拱桥的病害与成因与结构形式有密切关系，钢筋混凝土拱桥结构形式多样，主要包括双曲拱桥、桁架（刚架）拱桥、箱（板）拱桥、肋拱桥等形式。其主要病害及成因为：

1 双曲拱桥

双曲拱桥的主要问题在于自重轻、刚度小、整体性差，结构振动大，其常见病害为拱波顶纵向裂缝，拱肋与拱波连接处纵向裂缝（也称拱肋与拱波连接处环向裂缝），拱肋横向（径向）开裂、横系梁板开裂、脱落，腹拱开裂，侧墙外鼓（外倾）、竖向开裂及渗水等。具体见图 10.3.2-1。

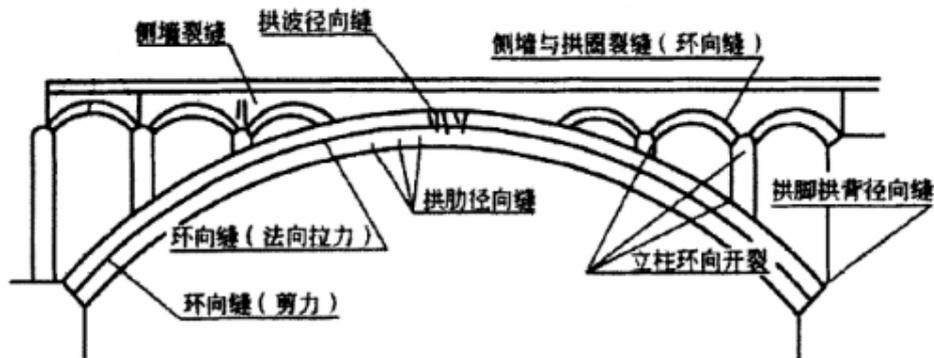


图10.3.2-1 双曲拱桥主要裂缝示意图

(1) 主拱圈开裂

双曲拱桥的主拱圈是由拱肋、拱波与拱板组成的复合截面。其最为典型的病

害为拱波顶部的纵向裂缝和拱肋与拱波连接处的环向裂缝。具体见图 10.3.2-2。

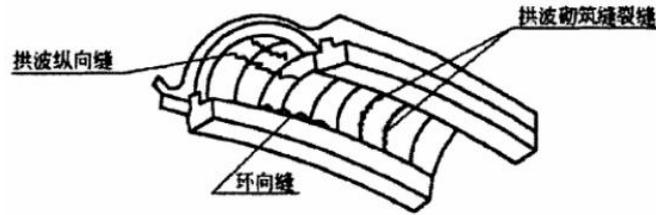


图10.3.2-2 拱波裂缝示意图

拱波顶部的纵向裂缝多出现在拱顶附近，其出现主要与各肋间横向联系较弱有关，另外对于采用填平式拱板时由于混凝土厚薄不均匀也易造成拱波顶受拉开裂。拱肋与拱波结合处平行于拱轴线的环向裂缝，出现在拱顶附近正弯矩较大区域的主要为结合面的法向的拉力引起，而拱脚部位的主要为结合面的剪力造成。墩台水平位移、横向不均匀沉降也是重要因素，但根本原因还是主拱圈的整体性较差。拱肋的横向裂缝多分布于拱顶下缘和拱脚上缘，主拱肋强度不足（结构尺寸及配筋率偏小）、超载以及桥台发生过大水平位移是主要原因。

(2) 横系梁板开裂、脱落

其主要原因在于设计的横系梁、横系板连接设计强度不足，结构刚度偏小。

(3) 腹拱开裂

主要包括腹拱圈的横向和环向（纵向）裂缝、立柱、立柱横梁或横墙的裂缝。腹拱圈横向裂缝主要与主拱圈刚度较弱有关，环向裂缝则主要与各拱肋变形不均匀有关，因此腹拱裂缝多出现于靠近拱顶区域的腹拱。立柱或横墙顶底部的裂缝也主要和主拱圈变形过大有关。横墙及立柱横梁则主要考虑拱圈横向变形不均匀。

(4) 侧墙外鼓（外倾）、竖向开裂及渗水

同圯工拱桥。

2 桁架（刚架）拱桥

桁架拱桥或刚架拱桥属于轻型拱桥，其荷载标准普遍较低，特别近 10 年来交通量的大幅增加且超载普遍，其刚度小、整体性差的结构性缺陷突显，其常见病害为实腹段下缘出现正弯矩裂缝，桁架拱桥下弦杆拱脚处横向裂缝或刚架拱桥拱

腿和斜腿背部出现倒 U 型裂缝，刚架拱桥大小节点截面出现斜向裂缝，横向联系开裂、脱离，桥面系开裂、破损。

(1) 拱脚处横向开裂

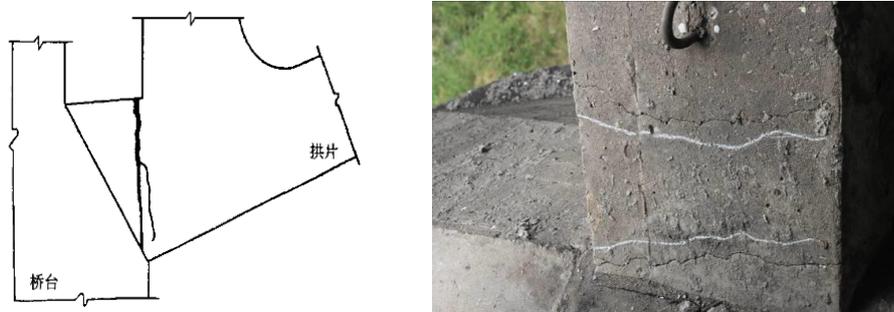


图10.3.2-3 拱脚开裂示意图

拱桥开裂如图 10.3.2-3 所示，主要原因是桥台、墩基础出现不均匀沉降、超载等，使拱脚处出现超限的竖向剪切应力，导致拱脚下弦杆或拱腿顶面出现横向裂缝。

(2) 节点与上弦杆开裂

节点及弦杆开裂如图 10.3.2-4 所示，主要原因是桥台、墩基础出现不均匀沉降、超载等，使得节点出现超限的竖向、斜向剪切应力，导致节点出现裂缝。

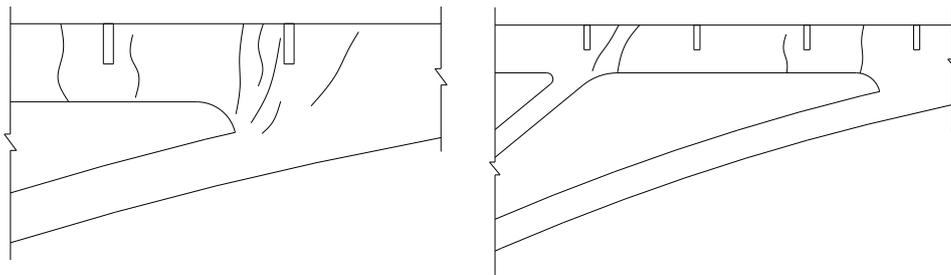


图10.3.2-4 节点及弦杆开裂示意图

(3) 横向联系结构开裂、脱落

横向联系开裂、脱落如图 10.3.2-5 所示，主要原因是由于原桁架拱桥设计标准较低，横向联系较薄弱，而近 10 年来交通量大而且超载车辆比例大，造成桁架竖向变形量大，使横向联系的梁、杆、板出现竖向裂缝，混凝土断裂或钢筋接头脱开，甚至断裂。



图10.3.2-5 横向联系开裂、脱落

(4) 桥面板裂缝、破碎

主要原因是桥面板设计标准低，微弯板或拱波厚度不足，混凝土强度低，桥面铺装层薄弱，造成桥面刚度不足，随着交通量的大幅增加，特别是超载车辆的破坏作用，致使桥面铺装层和微弯板开裂，维修不及时，导致桥面板破碎。

3 箱（板）拱桥

钢筋混凝土箱（板）拱桥的主要病害为箱、板拱主拱圈拱顶下缘及侧面横向裂缝及拱脚上缘及侧面的横向裂缝，主拱圈或腹拱圈出现纵向裂缝。钢筋混凝土箱拱拱顶横向裂缝，具体见图 10.3.2-6。



图10.3.2-6 拱顶横向裂缝

(1) 主拱圈横向裂缝

原因分析参见圬工拱桥。比较特殊是拱圈预制节段处横向裂缝，多由预制误差，安装误差等引局部应力引起，严重的要考虑接缝连接的失效。

(2) 主拱圈或腹拱圈纵向裂缝

常伴有墩、台帽或帽梁纵向裂缝，如果裂缝大致居中，可能是墩、台基础的上、下游不均匀沉降引起，如果只是边拱箱接缝处开裂，一般是接缝的连接不好，整体性差，偏载作用下边拱箱受力变形较大引起。

4 肋拱桥

肋拱桥属于轻型拱桥，其主要病害为拱肋拱脚、拱肋跨中纵、横向开裂、拱肋不均匀变形、横向联系开裂、盖梁开裂、拱上立柱与盖梁连接处开裂，拱座开裂等。

(1) 拱肋开裂

拱肋横向裂缝多布于拱脚顶部、拱肋跨中底部、节段拼接缝处。纵向裂缝多出现在拱肋下缘和肋间。拱肋刚度较弱，各拱肋间横向联系较弱，拱肋在偏载作用下不均匀变形明显，拱肋设计尺寸偏小、刚度不足，或施工质量欠佳，墩台不均匀沉降，运营荷载超载都可导致拱肋开裂。拱肋节段施工时，连接处浇筑混凝土不密实，有孔隙或新旧混凝土接合不好，接缝处局部应力过大产生裂缝。

(2) 横系梁开裂

肋间横向连接系设计偏弱，或横系梁浇筑质量不好，肋间纵向接缝、拱肋与横系梁接头等处混凝土不密实，导致拱肋横向连接作用较弱，无法有效地横向分配荷载，在偏、重载作用下各拱肋产生较大不均匀变形，导致横系梁剪切破坏。

(3) 拱上立柱两端开裂

柱底与肋、柱顶与盖梁连接处横、竖向、环向裂缝，多与拱肋变形或墩台沉降有关。

(4) 拱座开裂

各拱肋不均匀变形或拱座地基承载力不均匀引起的拱座开裂、混凝土压碎、渗水。具体见图 10.3.2-7。



图10.3.2-7 肋拱桥拱座竖向开裂

10.2.3 钢筋混凝土拱桥典型加固方法

1 双曲拱桥

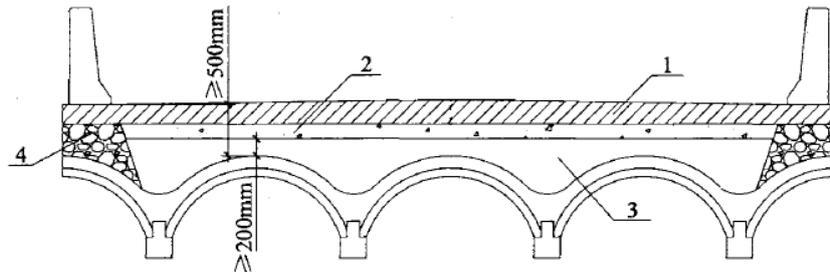
(1) 双曲拱桥主要病害对策

双曲拱桥各种病害主要和桥梁整体性不足与拱圈强度、刚度偏弱有关。其加固方法也应从改善上述原因出发。

①整体性不足

克服双曲拱桥整体性不足的加固方案其目标均应减小主拱肋间相对变形、加强主拱圈整体性，使各片主拱肋能够协同共同工作。

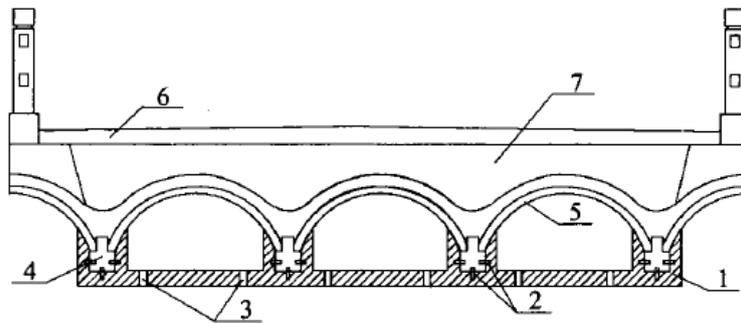
对拱上填料欠佳、横向整体性不足的双曲拱桥，其主跨桥面及台后路面可采用凿除并重建整体式桥面板加固。即拆除原人行道系及行车道桥面铺装，并在原有侧墙及拱上填料之上设置整体式桥面板。其示意图见图 10.3.3-1。整体式桥面板支撑于拱上填料及侧墙上，并与侧墙间设置植筋连接，对提高双曲拱桥横向整体性有一定作用，同时可减小填料传递给侧墙的横向水平推力，优化拱上侧墙的受力状态，有效防止桥面积水下渗至拱腔填料。



1—整体式桥面板；2—素混凝土垫层；3—拱上填料；4—侧墙

图10.3.3-1 整体式桥面加固构造示意图

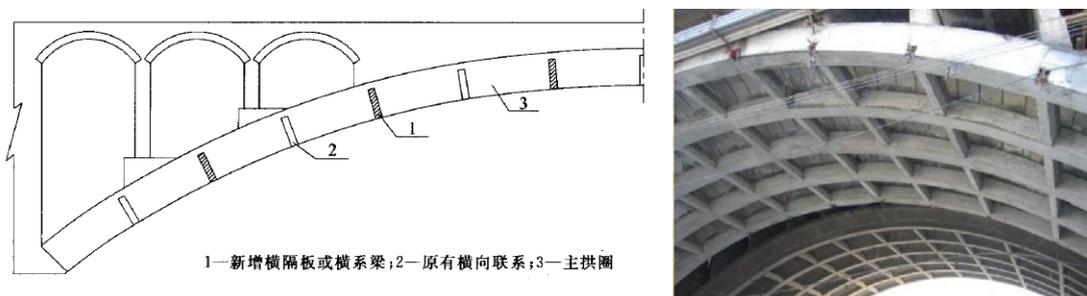
在原主拱肋下缘增设钢筋混凝土底板并配合增大主拱肋的加固方式增大了主拱圈的截面面积，提高主拱圈抵抗弯、压的能力，同时使加固后主拱圈形成一个牢固的整体。具体见图 10.3.3-2。



1—钢筋混凝土底板；2—植筋；3—通气孔；
4—原主拱肋；5—拱波；6—桥面铺装；7—拱上填料

图10.3.3-2 主拱肋加大截面及增设底板加固构造示意图

除了上述 2 种方案，增大原横向联系截面及增设横隔板或横系梁仍然是有效的增强横向联系方法，视原桥横向联系的设置情况选择采用。具体见图 10.2.3-3。



1—新增横隔板或横系梁；2—原有横向联系；3—主拱圈

图10.3.3-3 增加横向联系示意图

双曲拱桥拱上建筑采用砌体圬工结构或混凝土圬工结构砌筑的或需要减重

时，宜考虑改造上部建筑，可采用改造为刚架、桁架或连续板梁结构。具体见图 10.3.3-4。

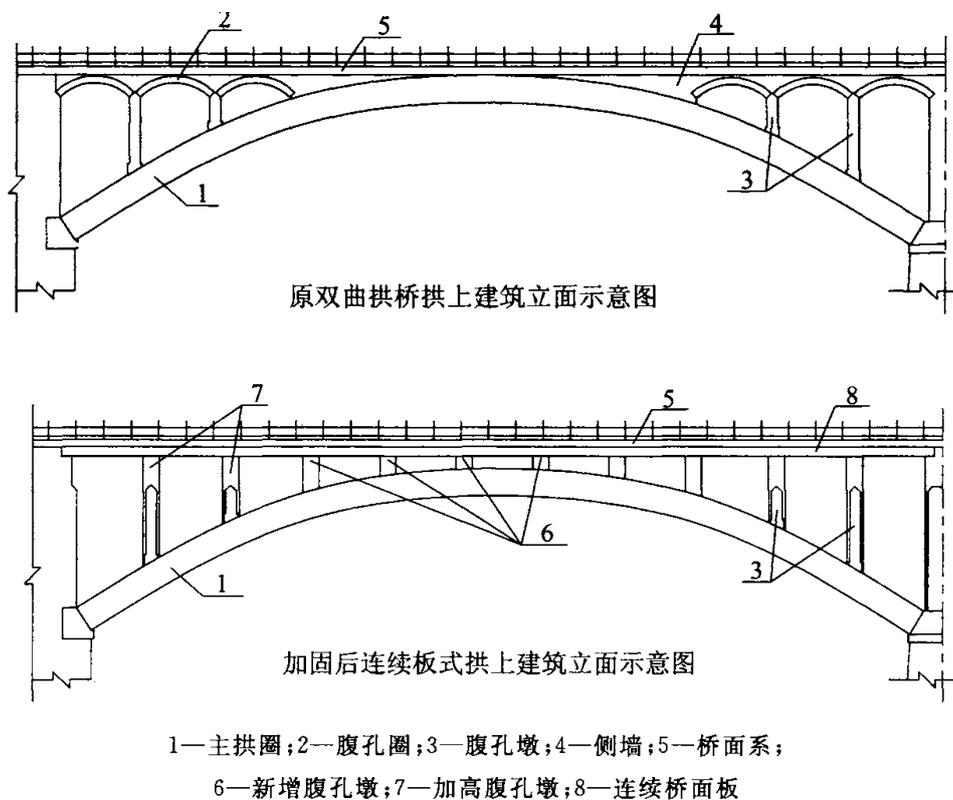
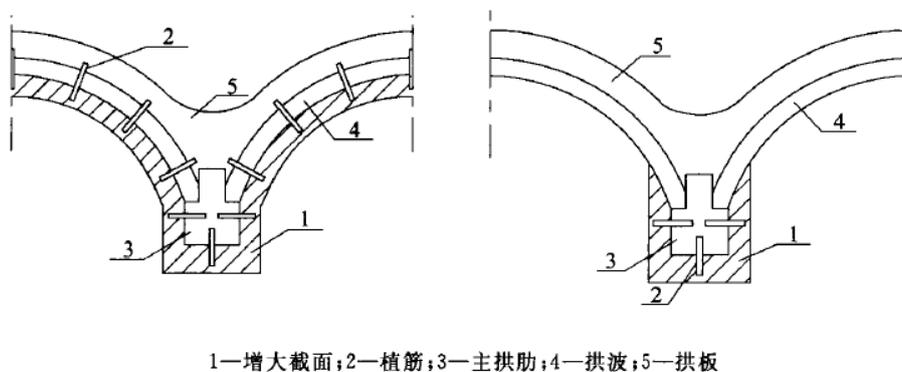
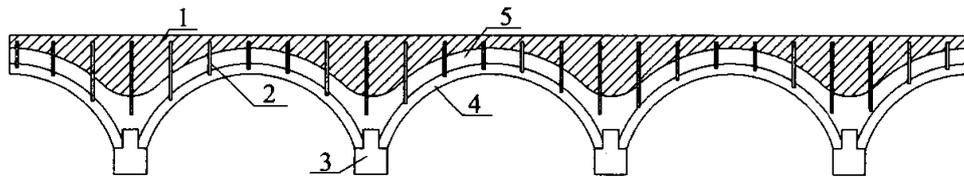


图10.3.3-4 改造拱上建筑示意图

②拱肋强度不足

对于拱肋强度不足，尺寸偏小的问题，采用增大截面法具有比较多的形式，如采用外包拱肋或外部拱肋及拱波下缘的方式，或拱背现浇钢筋混凝土层或弧形拱肋等，具体见图 10.3.3-5。





1—增大截面；2—植筋；3—主拱肋；4—拱波；5—拱板

图10.3.3-5 增加截面法加固拱肋示意图

(2) 双曲拱桥加固方法

双曲拱桥加固方法见表 10.3.3-1。

表10.3.3-1 双曲拱桥加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
整体式桥面	具有一定的增加整体性的作用，施工简单，易于实施	需中断交通
拱肋加大截面	提升拱肋承载力和刚度，施工简单，易于实施	自重有所增加、整体性改善较小
拱肋粘贴钢板	提升拱肋承载力，施工简单，易于实施，自重增加少	对刚度、整体性改善较小
拱背加大截面	提升拱肋承载力和拱圈整体性，施工简单，易于实施	自重有所增加
主拱圈增设底板	调整中性轴位置，大幅提升拱圈的强度和整体性	自重有所增加，施工工艺要求高，施工较复杂
拱上建筑改造	改善拱轴线，有效提高全桥的整体性	需中断交通；对原桥主拱圈要求较高；施工复杂，有一定风险

2 桁架（刚架）拱桥

(1) 桁架（刚架）拱桥主要病害对策

① 拱脚处横向开裂

可采取裂缝修补后拱脚弦杆或拱腿加大截面，两面或三面粘贴钢板的方法。



图10.3.3-6 拱脚加大截面

② 节点开裂

裂缝修补后两面或三面粘贴钢板。如图 10.3.3-7 所示。



图10.3.3-7 节点粘贴钢板

③ 横向联系开裂、脱落

粘贴钢板加强横向联系与拱片连接，加大横向联系结构截面，提升其刚度和强度，必要时还可考虑增设拱片。增强全桥的整体性和刚度。

④ 桥面板开裂破损

因微弯板混凝土强度不足而产生的桥面铺装层裂缝、破碎，应撤换微弯板和铺装层，并宜采用整体式桥面。因桥面铺装层混凝土强度低而微弯板尚未损坏的，改做多层配筋铺装层。

(2) 桁架（刚架）拱桥主要加固方法

桁架（刚架）加固方法见表 10.3.3-2。

表10.3.3-2 桁架（刚架）拱桥主要加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
整体式桥面	具有一定的增加整体性的作用， 施工简单，易于实施	需中断交通
弦杆及节点加大 截面	提升弦杆、节点刚度和承载力， 施工简单，易于实施	自重有所增加、整体性改善较小
弦杆及节点粘贴 钢板	提升弦杆、节点承载力，施工简 单，易于实施，自重增加少	对刚度、整体性改善较小
横向联系加大截面	有效增强横向联系，增强整体刚 度	自重有所增加
增设拱片	对整体刚度、整体性改善较大	需中断交通；设计施工较为复杂

3 箱（板）拱桥

（1）箱（板）拱桥主要病害对策

箱（板）拱桥病害常伴随墩、台帽纵向裂缝及墩、台身竖向裂缝，多与桥台或基础位移有关，如裂缝不稳定，则须先加固基础及其它下部结构再进行上部拱圈的处理。

①主拱圈横向裂缝

可采用拱圈加大截面、增加箱室数量、拱圈粘贴钢板的方式。

②主拱圈或腹拱圈纵向裂缝

拱圈裂缝视缝宽大小，采用裂缝封闭，增大截面，横向粘贴钢板或纤维复合材料。或增设多道钢箍，并尽量做成封闭箍，或通过钢拉杆，施加横向预应力等方法加固。

（2）箱（板）拱桥加固方法

箱（板）拱桥加固方法见表 10.3.3-3。

表10.3.3-3 箱（板）拱桥主要加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
加大箱、板拱圈截面	有效提高主拱圈承载能力，施工简单，易于实施	增加自重较多
主拱圈粘贴钢板	提升主拱圈的承载力，易于实施，自重增加少	施工工艺要求较高
钢板箍增强横向联系	增强开裂主拱圈整体刚度，结构简单，便于实施，自重增加少	对整体性的增强较小
增设横向预应力	对开裂主拱圈整体刚度、整体性改善较大	构造与施工相对复杂

4 肋拱桥

(1) 肋拱桥主要病害对策

①拱肋开裂

针对拱肋承载力不足导致的开裂可采取箱形截面转换法、粘贴钢板处理，同时应结合整体性改造。对于箱形截面转化法在应用的时候应考虑部位和数量，不宜增加过大恒重。对于基础不均匀沉降导致的拱肋开裂应先处理基础。

②横系梁开裂

对横系梁开裂可采取加大截面法和增设横系梁进行加固。合理的横系梁的加强层厚度取值可以很好的均化拱肋的承载力，从而提高桥梁的总体承载力，一般不宜超过 30cm。增强横向联系后应考虑对横向分配系数的影响。

③拱上立柱两端开裂

应结合整体化加固措施，控制拱肋的不均匀变形，并对于短立柱宜改铰接。

(2) 肋拱桥加固方法

肋拱桥加固方法见表 10.3.3-4。

表10.3.3-4 肋拱桥主要加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
拱肋与横系梁加大截面法（含拱肋箱形改造）	有效提高主拱圈承载能力，施工简单，易于实施	增加自重较多
主拱圈粘贴钢板	提升主拱圈的承载力，易于实施，自重增加少	施工工艺要求较高

10.4 钢管混凝土拱桥加固

10.4.1 一般规定

1 钢管混凝土拱桥主要的加固方法为脱空补压浆、拱肋增大截面、更换吊杆及系杆等。

2 钢管混凝土拱桥一般性的横梁开裂、混凝土表面损伤等不在本节范围。

10.4.2 主要病害特征

钢管混凝土拱桥加固主要病害为：拱肋钢管表面褶皱、钢管与管内混凝土脱空、拱肋钢管及节点开裂、防护破损、吊杆及系杆的锈蚀、断裂等。

1 拱肋钢管表面褶皱

钢管表面可能会出现收缩状褶皱，或管内有空洞、离析，常为钢管厚度不足，套箍作用部分散失，以及钢管格构布置不合理，管壁加劲肋不足等引起。

2 钢管与管内混凝土脱空

主要与混凝土收缩、徐变，轴压比大型，钢管与混凝土吸热、散热速度相差较大导致的温度效应，施工灌注不密实等因素有关。大直径钢管的混凝土脱空一般较小直径的严重。

3 拱肋钢管及节点开裂

拱肋钢管及节点开裂主要与超载、焊接质量不良有关，往往易导致焊缝的疲劳强度不足而开裂。具体见图 10.4.2-1。



图10.4.2-1 拱肋钢管及节点开裂

4 防护损坏

主要是吊杆 PE 老化，开裂、钢管拱肋油漆剥落，锚罩焊缝开裂，锚罩内积水、黄油变质等。具体见图 10.4.2-2。



(a) 钢管拱肋油漆剥落

(b) 锚罩内积水、黄油变质



(c) 吊杆 PE 老化开裂

图10.4.2-2 钢管拱防护破坏

5 吊杆及系杆的锈蚀、断裂

主要是吊杆防护破损，锚固段进水长期潮湿等因素导致吊杆及系杆钢丝（钢

铰线)、锚具等锈蚀,严重时发生断裂。具体见图 10.4.2-3。

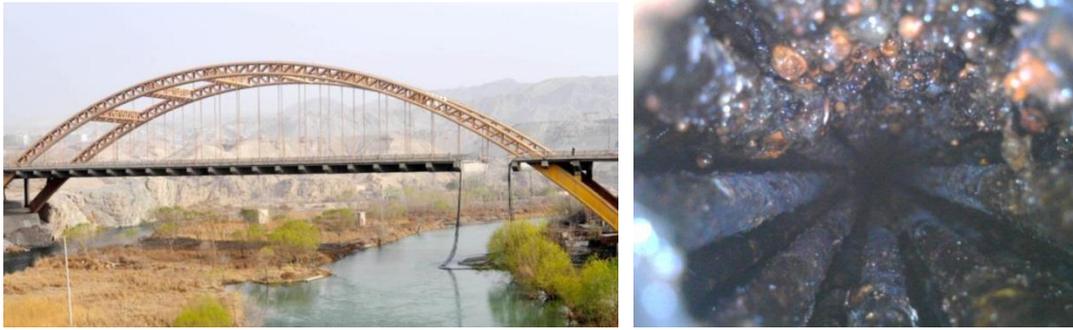


图10.4.2-3 钢管拱桥吊杆断裂

10.4.3 钢管混凝土拱桥加固方法

1 钢管混凝土拱桥主要病害对策

①拱肋钢管表面褶皱

可以在钢管外层外包一层钢筋混凝土予以加强或加密格构间的缀板。

②钢管与管内混凝土脱空

确定脱空区后进行钻孔灌浆。对于小的空隙,注入环氧胶,对于较大的脱空灌注水泥砂浆后再封闭钻孔。

③吊杆及系杆的锈蚀、断裂



图 10.4.2-4 不锈钢吊杆及锚头



图 10.4.2-5 钢管拱桥更换吊杆

对吊杆防护破损应及时进行修复如热融法修复破损 PE, 采用 PVF 缠带进行缠裹等。对于严重锈蚀的吊杆与系杆应进行更换。更换时建议采用高耐久性材料, 如高强不锈钢吊索及锚具, 同时注意锚固段、锚头的防排水。具体见图 10.4.2-4、5。

2 钢管混凝土拱桥加固方法

钢管混凝土拱桥主要加固方法见表 10.4.3-1。

表10.4.3-1 钢管混凝土拱桥主要加固方法

加固方法	主要优点	主要缺点
拱肋钢管混凝土脱空补压浆	保障拱肋钢管承载能力, 施工简单, 易于实施	不能完全杜绝脱空
拱肋钢管外包混凝土加大截面	有效提升拱肋钢管的承载能力和稳定性	增加部分自重
吊杆、系杆更换	耐久性和可靠性高	一次性更换费用较高, 施工工艺较为复杂
吊杆破损 PVF 修复	耐久性和可靠性高, 费效比合理, 施工简便	一次性投入费用较高

10.5 钢拱桥加固

10.5.1 一般规定

- 1 钢拱桥按照拱肋形式主要分为钢箱拱和钢桁拱桥。
- 2 钢拱桥主要除拱肋外的构件病害及处治, 可参照本章前述内容。

10.5.2 主要病害特征

钢拱桥病害与钢桥和钢管拱类同, 主要有: 涂装脱落钢材锈蚀、拱肋变形、钢材或节点开裂、横向联系不足、吊杆防护损坏、吊杆锈蚀断裂等。具体见表 10.5.2-1。

表10.5.2-1 钢拱桥主要病害及成因

常见病害	病害影响及成因
涂装脱落钢材	钢构件涂层会由于涂装质量、环境光照影响出现老化、剥落, 此时在高

锈蚀	温高湿环境下钢材发生化学腐蚀和电化学腐蚀，造成钢材锈蚀，严重锈蚀会造成构件截面削弱使得结构断裂。
钢箱拱拱肋板件变形	当构件宽厚比设置不当、或者外荷载过大使得构件发生屈曲，导致板间出现波浪变形，变形构件的承载能力会下降导致结构破坏。
钢桁拱节点板开裂	构件开裂主要是由于连接缺陷、局部刚度不协调、外荷载过大造成应力集中，在循环荷载下发生低于材料强度的疲劳破坏，对构件及结构的安全造成影响。
横向联系不足	当横向联系构件设置不合理或外荷载较大时，常常发生因横向刚度不足导致桥梁结构出现异常振动或构件受力过大、变形加剧，严重时造成构件甚至结构破坏。
吊杆防护损坏	主要是吊杆护套老化开裂或碰撞致损，防护损坏会使水气侵入使吊杆锈蚀，水气会向下积存使吊杆锚头产生锈蚀。
吊杆锈蚀断裂	吊杆进水后，在长期湿热环境下会发生锈蚀，严重时会使吊杆有效截面减小甚至断裂。

10.5.3 钢拱桥典型加固方法

钢桥和钢管拱的加固方法可适用于钢拱桥，主要措施有：

1 对于钢材涂层脱落及锈蚀，根据锈蚀程度进行补涂装。补涂装的涂装体系应根据《大气环境腐蚀性分类》（GB/T 15957）的规定选择涂装的耐久性级别，涂装体系还应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T722-2008）的相关要求。

2 钢箱拱拱肋板件变形可参照本指南 7.2 节内容，对变形构件进行机械矫正或火焰矫正，之后根据承载能力分析结果，可对构件进行焊接钢板增大截面的方式进行加固补强。

3 钢桁拱节点板开裂的加固，开裂较短时可采用止裂孔止裂，并栓接钢板加强；当裂缝过长应进行节点板更换，并增加连接锚栓数量或焊缝长度；更换的节点板可根据受力计算适当增加板厚，更换施工时应进行相关杆件的卸载。

4 横向联系不足导致拱肋受力不均时，可通过增设横向联系的方式进行加强，具体可参照本指南 7.2 节。

5 吊杆防护及吊杆病害的加固，可参照本指南 10.4 节。

钢拱桥主要加固方法见表 10.5.3-1。

表10.5.3-1 钢拱桥主要加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
涂装损坏、构件锈蚀	除锈后涂装修补	工艺成熟、操作简单	现场条件及结构位置复杂，一般不能大面积施工，工作周期较长
拱肋构件变形	机械矫正、火焰矫正	机械矫正作用力大、操作简单、冷加工，工作效率高； 火焰矫正变形幅度大，可以减少内应力	机械矫正容易引起钢材冷作硬化，造成构件开裂 火焰矫正技术要求高，应能准确判断加热减硬区
节点板开裂	更换节点板	更换节点板可使节点连接得到完好恢复，连接更可靠	施工时需要对相关杆件和区域进行卸载措施
横向联系偏弱	增加横联构件或外包混凝土	可采取多种措施提高横向连接、减少振动	增设构件多、恒载增重大，可能需要进行基础加固
拱肋变形过大或承载能力不足	增设钢构件	增设钢构件施工简单、连接构造采用栓接或焊接，工艺成熟；	增设钢构件增重较多，增设构件只能承担活载

11 桥梁下部结构及地基加固技术

11.1 盖梁加固

11.1.1 一般规定

1 由于盖梁抗弯、抗剪承载能力不足，以及基础不均匀沉降等导致盖梁出现结构性裂缝，影响结构安全耐久，需进行加固。

2 由于裂缝、渗水等原因导致结构出现锈胀、破损等病害需进行维修。

3 盖梁常用的加固方法有：粘贴钢板加固、粘贴纤维复合材料加固、增大截面和配筋法加固、体外预应力加固、改变结构体系加固、外包钢加固。

11.1.2 主要病害特征

1 桥梁墩柱处由于负弯矩过大，盖梁底面钢筋配置不够而造成了抗弯能力不够而产生的竖向裂缝。

2 盖梁斜截面由于钢筋的不足容易产生斜向裂缝。

3 基础沉降不均匀的地基容易使得盖梁受力不均匀而产生裂缝。

4 在桥台处由于基础不均匀沉降产生桥头跳车而使得汽车冲击力过大容易使得该处盖梁形成竖向裂缝。

5 位于伸缩缝处的盖梁由于伸缩缝的破损造成了桥梁上部结构的雨水渗入盖梁中，使得原裂缝处的钢筋锈蚀膨胀。

盖梁的主要病害特征及成因见表 11.1.2-1。

表11.1.2-1 盖梁主要病害及成因

序号	主要病害	病害成因
1	抗弯能力不足造成的竖向裂缝	桥梁墩柱处由于负弯矩过大，盖梁底面钢筋配置不够而造成了抗弯能力不够而产生的裂缝。
2	抗剪能力不足造成的斜向裂缝	斜截面由于钢筋的不足容易导致产生斜向裂缝。
	基础不均匀沉降造	对于基础沉降不均匀的地基容易使得盖梁的受力不均匀

3	成的裂缝	而产生裂缝。 在桥台处由于基础不均匀沉降产生的桥头跳车而使得汽车冲击力过大容易形成竖向裂缝。
4	钢筋锈蚀膨胀	位于伸缩缝处的盖梁由于伸缩缝的破损造成了桥梁上部结构的雨水渗入盖梁中，使得原裂缝处的钢筋锈蚀膨胀

11.1.3 盖梁典型加固方法

盖梁常用的加固方法有：粘贴钢板加固、粘贴纤维复合材料加固、增大截面和配筋法加固、体外预应力加固、改变结构体系加固、外包钢加固。具体可参照第5章的相关内容和要求进行加固。表11.1.3-1为盖梁主要加固方法。

表11.1.3-1 盖梁主要加固方法

病害	加固方法	优点	缺点
1 抗弯不足导致的竖向裂缝	增大截面加固	新增受力钢筋在混凝土保护作用下，耐久性好。	混凝土施工和养护不当容易出现表面干缩裂缝。要改善混凝土性能和加强养生。
2 抗剪能力不足造成的斜向裂缝、	粘贴钢板加固	施工工艺简单，造价低。	新增角钢受粘结胶的耐久性影响大角钢养护不及时容易出现锈蚀，影响使用效果。
3 基础不均匀沉降造成的裂缝	粘贴碳纤维加固	施工方便，造价较低。	抗老化能力弱。

11.2 墩台身加固

11.2.1 一般规定

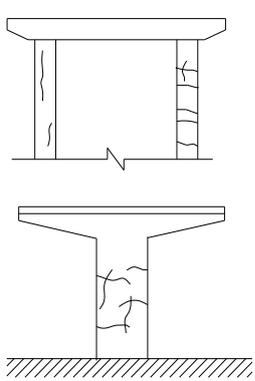
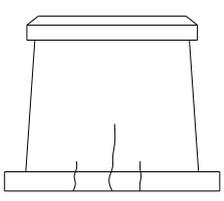
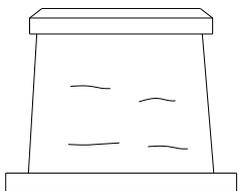
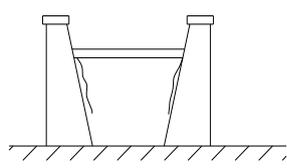
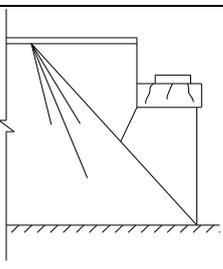
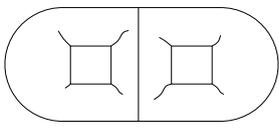
1 桥梁墩台身不能满足承载能力要求或出现危害桥梁结构安全的病害时，需对桥墩台身进行加固处理。

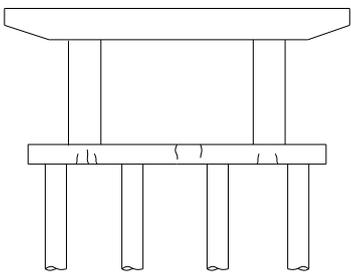
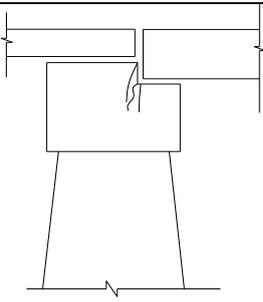
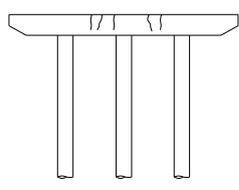
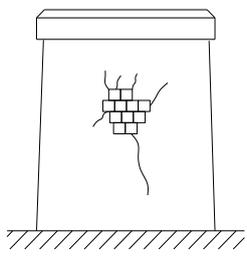
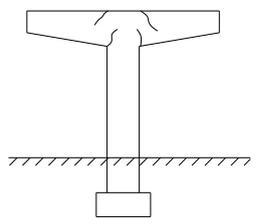
2 桥梁墩台身的加固需根据桥梁墩台身状况采取不同的加固措施。

11.2.2 主要病害特征

1 桥梁墩台身常见裂缝包括结构性裂缝和非结构性裂缝。具体详见表11.2.2-1。

表11.2.2-1 桥梁墩台常见裂缝

序号	裂缝部位及名称	示意图	特征及原因
1	墩(台)网状裂缝		<p>1 此裂缝多发生在常水位以上墩身的向阳面上, 裂缝宽 0.1~1mm, 深 1~1.5cm, 长度不等</p> <p>2 主要原因是混凝土内部水化热和外部气温的温差, 或日气温变化影响和日照影响而产生的温度拉应力</p> <p>3 混凝土干燥收缩而引起</p>
2	从基础向上发展至墩(台)上部的裂缝		<p>1 裂缝上窄下宽</p> <p>2 原因是基础松软或沉降不均匀所引起</p>
3	墩(台)身的水平裂缝		<p>1 是水平层状</p> <p>2 多为混凝土浇筑接缝不良所引起</p>
4	翼墙和前墙断裂的裂缝		<p>1 往往是由于墙间填土不良、冻胀或基底承载力不足, 引起下沉或外倾而开裂</p>
5	由支座垫石从上向下发展的裂缝		<p>1 主要是由于墩(台)帽在支承垫石下未布置钢筋所致</p> <p>2 也可能由于受到过大的冲击所致</p>
6	桥墩墩帽顺桥轴向横墩帽的水平裂缝		<p>1 不论空心墩或实心墩均有发生</p> <p>2 主要由于局部应力所致。因梁和活载作用集中地通过支座(或</p>

			立柱)传至桥墩,使周围墩顶其他部位产生拉应力
7	双柱式桥墩下承台的竖向裂缝		1 由于桩基不均匀下沉或局部应力所致。
8	支座相邻不等高的墩盖梁、雉墙上的垂直裂缝		1 裂缝多位于雉墙棱角部分及中线附近。 2 严重时部分混凝土剥落露筋。 3 由于局部应力所致。
9	墩(台)盖梁上自上至下的垂直裂缝		1 桩基下沉不均而引起盖梁上的不均匀受力。
10	镶面石突出的裂缝		1 多为不规则的裂缝 2 由于镶面石与墩台连接不良
11	悬臂桥墩角处的裂缝		1 由于局部应力引起。

11.2.3 墩台身典型加固方法

1 当墩台出现鼓肚时，应查明原因并继续修补。具体见表 11.2.3-1。

表11.2.3-1 墩台鼓肚加固方法

病害	可能原因	加固处治方法
墩台鼓肚	桥台台背填土遇水膨胀而鼓肚	挖除膨胀土，检修排水设施，填以砂砾土，修好损坏面。
	冻胀	应挖去冻土，填以矿渣砂砾等，并封闭表面不使漏水，修好损坏面。
	砌筑质量不良	应凿去或拆除鼓肚部分，重新砌筑或浇注。

2 当混凝土墩台由于温度收缩，局部应力集中、浇筑质量不良等原因而产生裂缝时，应视裂缝大小分别处理。具体见表 11.2.3-2。

表11.2.3-2 非结构性裂缝处治方法

序号	裂缝限值		处治方法
1	裂缝小于墩台恒载裂缝最大限值		设法封闭裂缝
2	裂缝大于墩台恒载裂缝最大限值	裂缝稳定无发展	可扩缝灌以水泥砂浆或环氧树脂
		裂缝未稳定	继续观察，找出原因加以处理。处理后裂缝不再发展时再按稳定裂缝加以处理

3 当由于支座失灵、基础不均匀沉降造成的结构性裂缝，应采取如下处理措施，具体见表 11.2.3-3。

表11.2.3-3 结构性裂缝处治方法

序号	病害特征	处治方法
1	活动支座失灵造成墩台拉裂	修复或更换支座，并处理裂缝
2	基础不均匀沉降而产生的自上而下的裂缝	先加固基础，再视裂缝大小程度，确定灌缝或加固墩台
3	裂缝已贯通墩台	可用钢筋混凝土围带或钢箍加固墩台

4 墩台产生水平位移和倾斜时，应究其原因，根据不同情况采取不同加固方案。具体见表 11.2.3-4。

表11.2.3-4 墩台水平位移和倾斜的加固方法

序号	病害特征及原因	加固处治方法
1	梁式桥台背土压力大，造成桥台向桥孔方向的位移	1 可挖去台背填土，加厚桥台胸墙； 2 更换填土，减小土压力。
2	拱桥桥台产生的位移和转动	1 谨慎选择加固方案； 2 在桥台两侧加厚翼墙，翼墙与原墙牢固结合为一整体，增加桥台横断面尺寸和自重，借以抵抗水平推力； 3 从台背打入斜向排桩，以增强台背填土的密实度和摩擦力。

5 柱式墩台如有折断，当基础承载力许可时，可于柱侧浇注混凝土，以加大断面两尺寸，或以围带法加固。

6 桥台锥坡及八字翼墙在洪水冲刷或填土沉落的作用下容易发生变形和铺砌层脱落。修复时夯实填土，常水位以下应砌筑水泥砂浆砌块、片石，并勾缝。

7 汛期河流漂流物较多时，为避免漂浮物撞击墩台，可在墩台前一定的距离处设置护墩体，其形式可根据水流的缓急、水位的高低、漂浮物的多少、流量大小等情况而定。一般形式有单桩、束桩、单排、双排、三角形等，材料有钢、木、石砌、水泥混凝土或钢筋混凝土。

8 冰凌和冻胀的预防。特别是我国寒冷地区的桥梁更不可忽视。气温突变时河流解冻的流冰，对桥梁墩台、柱、破冰体和导流堤坝等会产生程度不同的冲击，应采取相应的防护措施。为使流冰从桥下顺利通过，除单跨桥梁和下游比上游解冻较早的桥梁外，必须采取下列办法进行防护。

(1) 对桥梁上游河道中的冰层进行调查探测。在流速降低的河湾、沙滩处，流冰可能互上挤碰，重新聚结形成巨型冰块，甚至冰坝，造成水位抬高，威胁桥梁安全，对此须特别戒备。

当形成巨型冰块或冰坝时，应根据所掌握的资料，工具及安全、照明等设备，并于流冰期专人负责观测、抢护。同时还应提前在桥边设置悬梯和在桥梁墩台与破冰体之间搭搁跳板。

(2) 当冰临近时,对封冻的冰面,在桥位下游处开挖成流冰路(冰池),其长度可为河面宽的1~2倍;宽度可为河面宽的1/3~1/4;并不小于河道的最大桥跨。

(3) 流冰临近时,要清除上游冰层,冰层厚度在30cm以下者,可用人工撬开,大于30cm的宜用炸药炸碎。

9 桥台抗水平冻胀力不足引起病害时,可采用减弱冻胀力的措施:

(1) 采取换填措施:在台背后用不冻胀或弱冻胀的砂砾等粗颗粒土换填。

(2) 放置排水措施:无论回填砂类土,填后排水可显著减少水平冻胀力。

(3) 保温措施:在墙背和填土表面两个方向铺保温材料,可采用保温材料措施和换填措施结合的方式。

11.3 墩台基础加固

11.3.1 扩大基础加固法

1 特点及适用条件

扩大基础加固法特点:当桥梁基础具有较大的不均匀沉降,并且地基土质比较坚实时,可采用扩大桥梁基础底面积的方法加固,即扩大基础加固法,当扩大部分基础底部地基承载力不足时,可采取在扩大部分基础下打入一定数量的桩以提高地基承载力。扩大基础加固法,施工比较简单;缺点是它必须使新老基础连成一体共同承受上部荷载,故其加固费用较高,而且加固效果不宜控制。

扩大基础加固法的适用条件:适用于基础承载力不足或埋置太浅,而墩台又是砖石或混凝土刚性实体基础的情况。

扩大基层加固法的附加影响:

需要对基础所在位置进行开挖,开挖需要采取有效措施,确保墩台基础的稳定。

2 扩大基础加固法的材料要求

(1) 采用扩大基础加固法所用的材料,应根据被加固结构所处的环境及使用

要求确定。

(2) 所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。

3 扩大基础加固法的设计要求

(1) 扩大基础底面积应由地基强度验算确定。

(2) 当扩大基础面积后,应能使墩台基底的单位压力减小到地基所能承受的允许应力范围之内。

(3) 当地基强度满足要求而缺陷仅仅表现为不均匀沉降变形过大时,采用扩大基础底面积的加固,主要由地基变形计算来加以选定。

4 扩大基础加固法的施工要求

(1) 扩大墩台基础加固主要注意新老基础应结合牢固,以防止发生裂缝,并且能使加固后的扩大基础与原结构共同受力。有条件可制作一个强劲的钢筋混凝土箍把新旧两部分统一箍紧,在其新旧结合处附近局部加设加强钢筋,以保证该处不会发生裂缝。

(2) 若原墩台身为浆砌片石砌体,则可将原墩台身对应于新加部分的一面拆除表层的一部分石块,然后砌筑新砌体,使新旧砌体犬牙交错,互相咬码。

(3) 对于拱桥,可在桥台两侧加设钢筋混凝土实体耳墙,并将耳墙与原桥台用钢销联接起来,从而达到增大桥台基础面积,提高桥台承载力的目的。当拱桥拱脚有一定的填土时,可在台前加建新的扩大基础,并将改建为变截面的拱肋支撑在新基础上。新老基础之间用销钉进行联接,有条件时在台前新基础下设法增加短桩,以提高承载力。

5 扩大基础加固法工程质量检验评定方法

基本要求:

(1) 加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求;

(2) 按设计要求的程序施工,严格按照施工工序及构造措施要求来保证施工质量,结合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F20-2011)重点检查和控制旧基础混凝土凿毛和新旧混凝土结合施工。

实测项目及标准:

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。

11.3.2 增补桩基加固法

1 特点及适用条件

增补桩基加固法特点：在桩式基础的周围补加钻孔桩或打入钢筋混凝土预制桩并扩大原承台，并将承台与桩顶连接在一起，以提高基础承载力，增加基础稳定性。这种加固方法不需要抽水筑坝等水下施工作业，且加固效果显著，其缺点是需搭设打桩架和开凿桥面，对桥头原有架空线路及路上水上交通均有一定影响。

增补桩基加固法适用条件：

序号	适用条件
1	当桥梁采用桩基，改造拓宽项目时，通过增加桩的数量，扩大承台面积，提高基础承载力；
2	桥梁墩台基底下有软弱层，墩台发生沉陷，而桩的深度不足；
3	由于风蚀、水蚀或冲刷等原因使桩基外露或发生倾斜时。

增补桩基加固法附加影响：

- (1) 增加的桩基会引起河床过水断面面积的减少，加剧原有桩基的冲刷；
- (2) 通航净跨由于增加桩基而减小；
- (3) 在桩间加桩时，较小的桩间中距，对桩基的承载力有一定影响；
- (4) 基础的整体性由于新旧桩基及承台的连接将有所降低。

2 增补桩基加固法的材料要求

(1) 采用增补桩基加固法所用的材料，应根据被加固结构所处的环境及使用要求确定。

(2) 所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。

3 增补桩基加固法的设计计算要求

增补桩基加固需进行如下内容的计算：（1）单桩容许承载力的确定；（2）桩的沉降计算；（3）群桩的承载力；（4）加桩沉降控制。

4 增补桩基加固法的施工要求

采用增补桩基加固法，需采取措施卸除或部分卸除作用在结构上的活荷载。具体施工要求如下表。

项目	施工要求
混凝土承台的新旧连接	1 加桩时，可以扩大原来承台尺寸或在原有承台上再加一层承台，把上部传来的荷载通过新承台传递到新桩。

5 增补桩基加固法工程质量检验评定方法

基本要求：

- (1) 所用材料种类、型号、规格和数量应符合有关规范及设计要求；
- (2) 按设计要求的程序进行施工，严格按照施工工序及构造措施来保证施工质量；
- (3) 加固施工的质量控制按《公路桥涵施工技术规范》要求进行，重点控制桩基础和承台的施工。

实测项目：参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定。

11.4 墩台地基加固

11.4.1 旋喷法

1 特点及适用条件

旋喷法加固特点：先利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻入土层的预定位置，旋转并以一定的速度提升，同时将浆液或水以高压流的形式从喷嘴里射出，冲击破坏土体，高压流切割并搅碎土层，使其成颗粒状分散，一部分被浆液和水带出钻孔，另一部分则与浆液搅拌混合，随着浆液的凝固，组成具有一定强度和抗渗能力的固结体，从而对地基进行加固。

旋喷法加固的适用条件：

- (1) 适用于处理淤泥、淤泥质粘土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基，但对于土中砾石直径过大、砾石含量过多及有大量纤维质的腐殖土，则应根据现场试验结果确定其适用程度；
- (2) 主要用于增加地基强度、挡土围堰及地下工程建设、增大土的摩擦力及

固着力、减小振动防止砂土液化、降低土的含水量、防止洪水冲刷和防渗帷幕等七类工程。

旋喷法加固的附加影响:

旋喷注浆过程中对土体产生扰动,对既有基础的沉降有一定影响。

2 旋喷法的材料要求

旋喷法所用浆液应满足如下要求: 1) 真溶液而不是悬浊液,浆液粘度低,流动性好能进入细小裂缝; 2) 具有一定的力学强度; 3) 凝胶时间可以在一定范围内随意调节; 4) 浆液的稳定性好,对环境无污染。

3 旋喷法的设计要求

旋喷法的设计要求见表 11.4.1-1。

表11.4.1-1 旋喷法设计要求

加固类别	设计要求
加固危及正常使用的墩台基础	<ol style="list-style-type: none"> 1 加固前墩台基础承载能力的估算。加固前除收集有关工程设计所必须的各项资料外,还应对工程的病害历史和现状进行调查分析。根据病害发生、发展程度、推算出现有地基承载能力。 2 用地质钻探的方法确定基岩或硬层的深度,决定旋喷固结体的性质。若基岩较浅,设计为支承桩;基岩较深,则可设计成摩擦桩。 3 现场选取各层土样,按加固需要和现场可能达到的水泥、水、土三者之比进行配方试验,决定固结体的材料强度。 4 计算加固所必需的固结体的总面积。 5 加固总面积确定以后,可用试桩或经验公式法确定旋喷固结体的有效直径。 6 进行孔位布置。
加固未发生病害而为提高荷载等级的墩台基础	<ol style="list-style-type: none"> 1 对原有墩台基础的承载力估算。 2 假定加固后结构新增加的荷载由全部固结体所承受,进行设计。 3 确定加强所需桩柱的总面积,然后决定固结体的有效直径,从而确定桩数。 4 进行桩位布置。

4 旋喷法的施工要求

(1) 旋喷前要检查高压设备和管路系统，其压力和流量必须满足设计要求。注浆管及喷嘴内不得有任何杂物。注浆管接头的密封必须良好。

(2) 垂直施工时，钻孔的倾斜度一般不得大于 1.5%。在插管和喷射过程中，要注意防止喷嘴被堵，在拆卸或安装注浆管时动作要快。水、气、浆的压力和流量必须符合设计值，否则要拔管再重新进行插管和旋喷。使用双喷嘴时，若一个喷嘴被堵，则可采取复喷方法继续施工。

(3) 喷射时，要做好压力、流量和冒浆量的量测工作，并按要求逐项记录。钻杆的旋转和提升必须连续不中断。拆卸钻杆继续旋喷时，要注意保持钻杆有 0.1m 的搭接长度，不得使喷射固结体脱节。

(4) 深层喷射时，应先喷浆后旋转与提升，以防止注浆管扭断。

(5) 搅拌水泥时，水灰比要按设计规定，不得随意更改，在旋喷过程中应防止水泥浆沉淀，使浓度降低。禁止使用受潮或过期的水泥。

(6) 施工完毕，立即拔出注浆管，彻底清洗注浆管和注浆泵，管内不得有残存水泥浆。

5 旋喷法工程质量检验评定方法

基本要求：

(1) 加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合有关规范及设计要求；

(2) 按设计要求的程序施工，严格按照施工工序及构造措施要求来保证施工质量，结合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F20-2011) 重点检查和控制固结体的整体性和均匀性、固结体的有效直径、固结体的垂直度、固结体的强度特性（包括桩的轴向压力、水平推力、抗酸碱性、抗冻性和抗渗性等）、固结体的溶蚀和耐久性能等。

实测项目及标准：

实测项目参照《公路工程质量检验评定标准》相关规定进行检验评定，特殊实测项目如下：

序号	检验项目	合格标准	检验方法	频次
1	固结体的形状、整体性和	满足设计要求	开挖检查	/

	强度			
2	喷射固结的质量(固结体直径的大小、整体性和强度)	满足设计要求	钻孔检查	/

11.4.2 注浆法

1 特点及适用条件

注浆法加固特点：利用液压、气压或电化学原理，通过注浆管把浆液均匀地注入地层中，浆液以填充、渗透和挤密等方式，赶走土颗粒或岩石裂隙中的水分和空气后占据其位置，经人工控制一定时间后，浆液将原来松散的土粒或裂隙胶结成一个整体，形成一个结构新、强度大、防水性能高和化学稳定性良好的“结石体”

注浆法加固的适用条件：

加固方法	适用条件
水泥灌浆法	1 适用于砂土和碎石土中的渗透灌浆； 2 适用于粘性土、填土和黄土中的压密灌浆与劈裂灌浆；
硅化法	1 对地基土的渗透系数为 0.1~80m/d 的粗颗粒土，可采用双液硅化法（水玻璃、氯化钙）； 2 对地基土的渗透系数为 0.1~2m/d 的湿陷性黄土，可采用单液硅化法（水玻璃）； 3 对自重湿陷性黄土，宜采用无压力单液硅化法。
碱液法	1 适用于处理既有构筑物的非自重湿陷性黄土地基。

注浆法加固的附加影响：

注浆过程中对土体产生扰动，对既有基础的沉降有一定影响。

2 注浆法的材料要求

注浆法的材料要求如下：

加固方法	材料要求
水泥灌浆法	1 水泥应选用普通硅酸盐水泥或矿渣水泥，其等级不低于 32.5 级，水泥浆的水灰比可取为 1: 1。 2 为防止水泥浆被地下水冲失，可在水泥浆中掺入相当于水泥重量 1%~2%

	的速凝剂，常用的速凝剂有水玻璃和氯化钙。
硅化法	所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。
碱液法	所用材料的种类、型号、规格、数量应符合有关规范及设计要求。

3 注浆法的设计要求

(1) 注浆设计前，应查明加固土层的分布范围、含水量、土的颗粒级配、地下水和裂隙率等土体的物理力学性质指标。

(2) 对重要工程，注浆设计前必须进行室内浆液配比试验。此外，尚宜进行现场注浆试验，以求的合适的设计参数，并检验施工方法和设备。

(3) 注浆设计时，应包括下述内容：注浆有效范围、注浆材料的选择、初凝时间、注浆量和压力、注浆孔布置和注浆顺序等。

(4) 注浆工艺和有效范围应根据不同工程要求必须充分满足防渗堵洞，提高土体强度和模量、充填空隙及托换等目的加以确定。注浆点的覆盖土应大于 2m。

(5) 选定浆液及其配比的设计，必须考虑注浆的目的、地质情况、地基土的孔隙大小、地下水的状态等，在满足所需目的范围内选定最佳配比。

(6) 初凝时间必须根据地基土质条件和注浆目的决定。在砂土地基注浆中，一般使用的浆液初凝时间为 5~20min；在粘性土中劈裂注浆时，一般浆液初凝时间为 1~2 小时。

(7) 注浆量取决于地基土性质和浆液的渗透性等因素。在进行大规模注浆施工时，宜在施工现场进行试验性注浆以决定注浆量。一般粘性土地基中的浆液注入率为 15%~20%。

(8) 在砂性土中注浆，若以防渗为主要目的，则应考虑第二注浆。第二次注浆的时间宜在第一次注入的水泥浆初凝后进行。注浆材料应采用水玻璃等低粘度的化学注浆材料。

(9) 对劈裂注浆，在注浆的范围内应尽量减少注浆压力。注浆压力的选用根据土层的性质及其埋深确定。在砂性土的经验数值是 0.2~0.5MPa；在粘性土中的经验数值是 0.2~0.3MPa。

(10) 对压密注浆，注浆压力主要取决于浆液材料的稠度。如采用水泥的砂浆液，坍落度可在 25~75 mm 左右，注浆压力可选在 1~7MPa 范围内，而且坍落度较小时，注浆压力可取上限值。如采用水泥—水玻璃双液快凝浆液，则注浆压力应小于 1MPa。

(11) 注浆孔的布置原则，应能使被加固土体在平面和深度范围内连成一个整体。

(12) 注浆顺序必须采用适合于地基土质条件、现场环境及注浆目的进行，一般不宜采用自注浆地带某一端单向推进压注方式，应按跳孔间隔注浆方式进行，以防止串浆，提高注浆孔内浆液的强度与时俱增的约束性。对有地下动水流的特殊情况，应考虑浆液在动水流下的迁移效应，应自水头高的一端开始注浆。

(13) 注浆时应采用先外围，后内部的注浆施工方式。注浆范围以外有边界约束条件时，也可采用自内侧开始顺次往外侧注浆方法。

4 注浆法的施工要求

注浆法的施工要求如下表 11.4.2-1 所示。

表11.4.2-1 注浆法施工要求

加固方法	施工要求
水泥注浆法（以水泥浆作物 注浆材料）	1 注浆施工必须根据设计要求并考虑周围环境条件进行。 2 注浆法施工的场地事先应予平整，除干钻法外，应沿钻孔位置开挖沟槽与集水坑，以保持场地的整洁和干燥。 3 注浆施工情况必须如实和准确地记录，应有压力和流量记录，宜采用自动流量和压力记录仪，并对资料及时进行整理记录，以便指导注浆工程的顺利进行，并为验收工作作好准备。
化学浆液注浆法（以灌注水 玻璃或水玻璃加氯化钙为 主）	1 施工前应通过现场试验编制施工组织设计，内容应包括：注液管及电极管的布置图和打（或钻）入深度、化学浆液浓度和用量、注液方法、灌注速度、灌注压力以及加固效果的要求等。 2 采用电动硅化加固时，应提出合理的电压梯度，通电时间和方法。

5 注浆法工程质量检验评定方法

注浆法的质量检验评定如下表 11.4.2-2 所示。

表11.4.2-2 注浆法质量检验评定方法

加固方法	施工质量检验
水泥注浆法（以水泥浆作注浆材料）	<p>1 对注浆效果的检查，应根据设计提出的要求进行，检验时间在注浆结束 28d 后。可选用标准贯入和静力触探对加固地层进行检测。</p> <p>2 注浆效果检测点一般为注浆孔数的 2%~5%，如检验点不合格率等于或大于 20%，或虽小于 20%但检验点的平均值达不到设计要求时，在确认设计原则正确后应对不合格的注浆孔实施重复注浆。检测点位置应视检测方法和现场条件由施工单位和设计单位协商决定。</p>
化学浆液注浆法（以灌注水玻璃或水玻璃加氯化钙为主）	<p>1 硅化地基的验收：砂土和黄土应在施工完毕 15d 以后进行，粘性土应在 60d 以后进行。</p> <p>2 砂土硅化后的强度，应取试块作无侧限压试验，其值不得低于设计强度的 90%。粘性土硅化后，应按加固前后沉降观测的变化，或使用触探测加固前后土中阻力的变化以确定质量。黄土硅化后的质量可视具体情况，采用上述两种方法之一进行检验。地基硅化后的整体性和外形，均可采用触探检验。</p> <p>3 用硅化法形成的防渗帷幕，应在帷幕本身上作压水试验检查不透水性，单位收水率不得大于设计要求的 25%。</p> <p>4 硅化地基验收时，应提交出下列资料：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 施工记录； 2) 材料的试验记录； 3) 试块试验记录； 4) 防渗帷幕的渗透观测和水位变化记录； 5) 触探法测定阻力变化记录； 6) 竣工剖面图和钻孔位置平面图。

12 桥梁结构改造技术

12.1 桥梁加宽改造技术

12.1.1 一般规定

1 新建拼宽部分桥梁施工时由于距离较近，应注意对旧桥的保护，特别涉及下部结构与基础施工时，应对旧桥及其地基进行严格监控。

2 跨径 50m 以上的混凝土桥梁，特殊复杂的桥梁，如大跨度斜拉桥、悬索桥等宜采用分离式加宽方式。常见的预制 T 梁、预制空心板、预制小箱梁等宜采用拼接组合式。小规模扩宽，可采用整体式桥面板悬挑的方式。

3 桥梁拼宽除满足相关标准规范的安全耐久性要求外，应特别注意基础沉降对桥梁加宽拼接的影响控制，一般可采取加长摩擦桩桩长，桩底压浆、堆载预压等技术措施。采用混凝土结构时还应注意混凝土收缩徐变对桥梁加宽拼接的影响控制，一般可采取加强连接构造设计（如加强接缝配筋等）、连接施工措施（如延迟接缝浇筑时间等）。

12.1.2 特点及适用条件

桥梁拼接加宽主要有上部连接、下部分离；上部分离、下部分离；上部连接、下部连接等 3 种形式。桥梁拼接形式技术比较参见表 12.1.2-1。

表12.1.2-1 桥梁拼接主要形式的比较

拼接形式	优点	缺点	适用情况
上部连接、下部分离	无下部结构拼接困难，降低收缩徐变及沉降的影响，上部结构整体受力，桥面平整，行车舒适	连接构造受力较大，构造复杂	1. 扩建期原桥仍需通行的情况； 2. 桥梁跨径较小，挠度差较小的情况； 3. 新旧部分结构形式不一致的情况。
上部分离、下部分离	各自独立，互不影响，施工简便，施工对交通影响小	基础沉降及活载下拼缝处易出现变形不协调的错缝（挠度差）于行车安全和养护不利	1. 扩建期原桥仍需通行的情况； 2. 50m 以上的混凝土桥梁； 3. 结构特殊复杂的桥梁。

上部连接、下部连接	新旧结构形成一个整体、共同受力，减少各种荷载作用下的不均匀变形	新建结构沉降变形及收缩徐变对原结构的影响较大，下部结构连接较为困难	1. 扩建期间原桥无通行要求的情况； 2. 地基情况良好的情况。
-----------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

12.1.3 桥梁加宽改造的设计要求

1 拼宽桥新、旧部分的设计技术标准应按《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）6.0.10 条的要求执行。

2 设计上一般应采用同种类型的结构进行同刚度拼宽，避免桥横向出现较大形变差，有利于新旧桥整体受力与变形协调。

3 当受条件限制，横向各组合部分采用不同的结构形式或跨径（错孔）时，由于横向刚度差的存在，为避免应力集中，桥梁新旧部分间宜采用铰接等弱连接形式，弱化横向联系，同时加强纵向刚度，以确保结构的受力安全。

4 结构连接的具体形式有不连接、有缝连接、铰接、半刚接、刚接等多种方式，半刚接和刚接为强连接，其他为弱连接。如桥梁拼接宽度较大，新拼接部分基本为单独受力模式，原则上宜采用上部构造弱连接，下部不连接方式，拼接宽度较小，拼接部分难以单独受力或单独受力性能不佳，需要与原结构共同受力，原则上宜采用上部构造强连接，下部构造弱连接方式，介于二者之间的情况则根据具体情况采用合适的拼接方式。

5 接缝结构尺寸及配筋的设计要考虑新旧拼接后体系改变导致的受力变化，并能满足一定程度的附加内力的影响。接缝宽度宜大于 15cm。

6 下部结构不连接时，同一板梁不宜跨墩台分隔布置。

7 拼宽桥新、旧部分的耐久性，宜采取措施使其与新桥基本相当。

8 在承载力满足要求的前提下，新建部分同一墩台处的摩擦桩桩长不宜小于原桥桩长。

9 拼接桥的伸缩缝宜整体更换，采用拼接方式时，橡胶条应整体更换，接缝型钢应连接，并加强锚固钢筋配置。接缝位置应避开轮迹带。

10 桥头搭板应连接，旧板损坏严重时，宜拆除重建。

12.1.4 桥梁加宽改造的施工要求

1 拼宽桥基础施工，宜采用人工挖孔、旋转钻孔，静压钢管等振动小的施工方式以减小对旧桥的扰动，防止开挖过程中的涌水，涌砂，控制基础沉降。

2 拼宽桥新旧部分的混凝土接缝宜尽可能延迟接缝浇筑时间，在拼宽施工的最后阶段浇筑（新建部分整体完工后和新横隔板连接后），使新建部分桥梁的沉降充分发展，以减小连接部位的附加内力，避免开裂。

3 接缝混凝土宜添加微膨胀剂，其浇筑宜采用分段浇筑方式进行，以减少收缩裂缝的出现。

4 对于混凝土桥拼宽施工期间，旧桥部分仍需要保障通行的，在接缝混凝土浇筑到终凝的时间段内，应控制行车导致的旧桥振动，旧桥接缝处的振幅不宜超过 2mm，并将接缝混凝土等级宜提高一级。振动临时控制措施可采取增设接缝支撑、低速行车，重车禁行，单车道通行，铺设隔振垫等方式。

12.1.5 桥梁加宽改造工程质量检验评定方法

1 桥梁加宽改造应符合下列基本要求：

(1) 接缝所用混凝土或钢材的品种、规格和质量应符合有关技术规范的规定并满足设计要求，混凝土按试验确定的配合比拌制。

(2) 接缝施工时的两侧高差应满足设计要求。

(3) 按设计规定的连接顺序施工。

(4) 新旧桥梁基础沉降控制满足设计要求。

(5) 分离式拼接按完全新建结构进行质量的检验评定。

2 桥梁加宽改造实测项目应符合表 12.1.5-1 的规定：

表12.1.5-1 桥梁加宽改造实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按《公路工程质量检验评定标准》的规定执行
2	接缝钢筋间距 (mm)	± 10	尺量, 每 20m 测 2 处, 并不少于 5 处
3	接缝平整度 (mm)	≤ 5	3m 尺量, 每 50m 跨缝测 1 处 \times 3 尺, 并不少于 5 处
4	横坡 (%)	± 0.15	水准仪: 每 40m 测 1 个断面, 每跨不少于 3 个断面
5	焊缝尺寸	满足设计要求	量规: 检查全部
6	焊缝探伤		超声法: 检查全部 射线法: 按设计要求; 设计未要求时按 10% 抽查, 且不少于 3 条
7	高强螺栓扭矩	$\pm 10\%$	扭矩扳手: 检查 5%, 且不少于 2 个

注: 对于混凝土接缝不测第 5~7 项, 钢结构接缝不测第 1~2 项。

3 桥梁加宽改造外观质量应符合下列规定:

拼接桥内外轮廓线顺滑, 无突变、无明显折变或反复现象。接缝表面平整密实, 采用混凝土结构接缝的, 应无《公路工程质量检验评定标准》规定的限制性缺陷。采用钢结构接缝的, 钢结构表面防护完整, 无破损。

12.2 桥梁主梁置换技术

12.2.1 一般规定

1 本节桥梁主梁整体置换指整跨或整桥主梁的置换, 单片梁的置换指多肋梁桥中的 1 片 (肋) 梁体的更换。

2 桥梁主梁整体置换工程实施前, 应对被置换梁进行检测评定, 了解各梁片 (肋) 的技术状态。

3 应根据桥梁规模、结构技术状态、置换时间要求, 周边交通情况, 作业场地情况、可征集到的运梁、吊梁、切割、顶升等施工机具情况, 进行桥梁主梁置换的设计、施工、安全与交通保障工作。

4 新置换的梁体应能满足现行公路工程技术标准的要求。

12.2.2 特点及适用条件

1 桥梁主梁整体置换适用于交通繁忙、应急保通等对桥梁维修需求时间尽可能短的情况。

2 桥梁主梁整体置换适用于上部结构技术标准或技术条件已不适应当前交通运行需求且进行加固改造的可行性较差的情况。

3 单片梁（肋）的置换适用于上部结构整体完好，只是其中单片或多片梁体出现损伤或其他病害导致其不能满足协同承载要求的情况。

12.2.3 桥梁主梁置换的设计要求

1 置换的新梁体设计可采用混凝土结构、钢结构及钢混组合结构，推荐采用钢结构与钢混凝土组合结构，以降低安装机具的负荷要求，下部结构的承载要求，节约场地及提高效率。单梁更换时应考虑其刚度与其他梁片（肋）的匹配，保持横向分配系数不变。采用混凝土单梁时还要注意不同龄期差造成的影响。

2 连续结构置换时要考虑与其他跨的连接设计与整体刚度匹配，特别在采用钢结构与混凝土结构连接时。

3 置换梁体设计时应根据检测考虑旧的下部基础的技术状态，评估其承载能力是否可满足置换后桥的使用要求，对不满足要求的应采取加固措施。

4 应根据梁体（含各梁片）的结构形式、技术状态通过验算选择合适的吊装方案与吊装点，以保证吊运过程中，梁体的结构安全。不满足安全要求的梁体应采取临时加固措施。

12.2.4 桥梁主梁整体置换的施工要求

1 整体或单梁置换前应根据机具、场地等条件，制定详细的施工方案，包括新梁与旧梁的放置场地规划，施工流水，施工吊运机具、切割机具的配置等，主要施工工艺如梁体约束解除、整体或分段拆运，新梁装运，新梁安装就位，附属设施安装等。

2 宜采用旧桥整体吊运、新桥整体安装的方式进行施工，推荐自行式模块化液压平板车（Self-Propelled Modular Transporters, SPMT）换梁工法，以尽可能

缩短施工时间，受驮运、吊装设备能力限制无法整体实施时，可采取现场切割，分段、分块的方式。采用此方式时应注意拆分的顺序，一般应先解除负弯区约束，再横向对称解除各梁片间的联系，横向对称吊运各梁片。

3 应设置同步顶升设备作为桥梁置换期间的调整性移梁兼安全保障机具。

4 应对梁体置换施工顺序进行验算，确保每个施工过程中结构的稳定、强度、变形在安全的范围以内。

5 施工过程中，可对桥墩及桥台处的沉降、支撑体系、伸缩缝间距、梁体损伤处等进行监控。

12.2.5 桥梁主梁整体置换工程质量检验评定方法

按现行《公路工程质量检验评定标准》相关梁板预制、安装等分项工程执行。

12.3 桥梁结构复位技术

12.3.1 一般规定

1 进行桥梁结构物纠偏复位前应明确导致桥梁位移出现的原因，在复位施工前或复位施工时消除此因素，并做好相应防范措施，避免纠偏复位后再次发生。

2 因航道改造、通行车辆等需提升桥梁净空的情况，危险性较大，应慎重使用。应充分考虑桥梁技术条件、现场施工环境条件，合理选择墩柱截断位置，并根据不同桥型采取结构措施，保证施工期间安全和净空提升后桥梁的运营安全。

3 桥梁上部结构复位纠偏一般宜采用液压同步顶升的方法，各项升点的位移同步精度应小于 0.5mm。

4 桥梁下部结构桥台、墩柱倾斜等的复位，可采取外力纠偏法，基底掏土纠偏法及堆载或卸载纠偏法，其中外力纠偏法需在倾斜结构附件的适当位置，设置锚桩、锚碇等抗拔结构，支承千斤顶或卷扬机对结构施力使其复位。基底掏土纠偏法适合均质黏土或砂土浅埋基础的纠偏。可采用人工挖掏或水力冲掏方式。堆载或卸载纠偏法适于软弱地基纠偏量不大的浅埋基础纠偏。视情况，纠偏前或纠偏过程中应采取措施，消除致偏原因。对于严重位移，构件损坏，没有利用价值的墩、台，宜拆除重建。

12.3.2 特点及适用条件

1 桥梁复位技术适用于桥梁上下部结构出现超出设计允许范围的纵、横向位移、扭转或倾斜需要恢复其正常位置的情况。

2 桥梁复位技术适用桥下净空不足（通航或行车）需要提升的情况。

12.3.3 桥梁结构复位的设计要求

1 桥梁提升高度小于 0.5m 时，应采用接高盖梁或支座垫石的方式。

2 墩柱截断位置选择宜综合考虑以下要求：

- (1) 避开柱端箍筋加密区；
- (2) 设于受力较小的位置；
- (3) 满足切割、顶升施工的空间要求；
- (4) 便于墩（柱）加固。

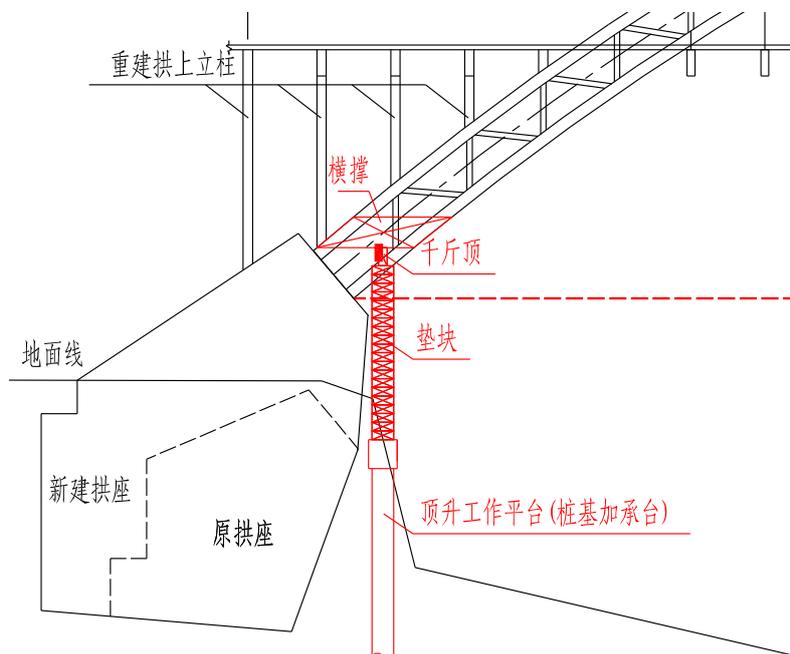


图12.3.3-1 某中承式系杆拱桥截断提升方案

3 墩（柱）截断接高后桥梁应受力合理，满足相关技术标准的要求。墩（柱）截断部位宜采用方形或圆形榫口。接高部分微膨胀混凝土等级宜较原墩柱高一个等级，并宜结合外包钢管形成复合受力的构造。墩（柱）接高部分主筋规格和数

量不低于原墩（柱）。墩（柱）接高部分增加高度部分的自重效应不可忽略时，应对下部结构承台强度、抗裂性、桩基承载力进行复核。

4 应对结构复位中的反力体系、限位结构、临时支撑体系进行复核算，满足强度、刚度、稳定性及局部承压要求。

5 临时支撑体系宜采用便于安装与拆除的钢管支撑墩。

6 限位结构应包括桥梁横向限位与纵向限位，设计时其荷载作用值宜通过计算确定，一般情况下可按原桥上部结构重量的 20% 确定。限位结构可按下列形式与要求选择：

(1) 梁式桥和桁架桥，宜选用格构支架。

(2) 无水平推力的拱桥（桁架拱桥、系杆拱桥及梁拱组合桥），宜选用悬臂桁架。

(3) 多跨多幅梁式桥，宜选用斜撑支架作为限位结构。

(4) 当桥梁纵坡大于 1% 时，应在桥梁纵向两端的桥台、墩、伸缩缝处混凝土上安装挡块类辅助限位结构。

7 反力体系根据桥梁的具体情况选择，常见的工况如下：

(1) 对上部结构纠偏或顶升高度 1m 以内的，可利用承台进行，如图 12.3.3-2 所示。

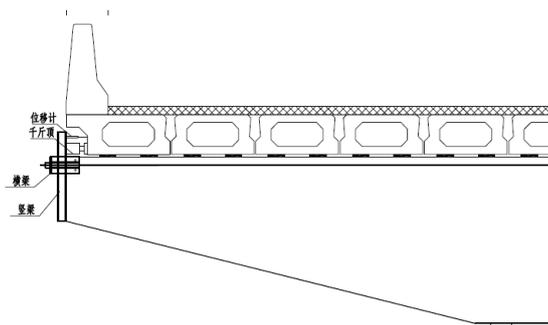


图12.3.3-2 某空心板桥上部结构的横向纠偏

(2) 对截断墩柱顶升，当盖梁空间不足且千斤顶不宜支撑上部结构时，可根据墩柱结构的不同，采用抱柱梁、钢抱箍或钢牛腿的形式。墩（柱）无承台或

为深埋式承台、深水承台时宜为抱柱梁。抱柱梁与墩柱的连接、自身强度、刚度、局部承压应满足顶升的需求。图 12.3.3-3 为顶升反力系统示例。

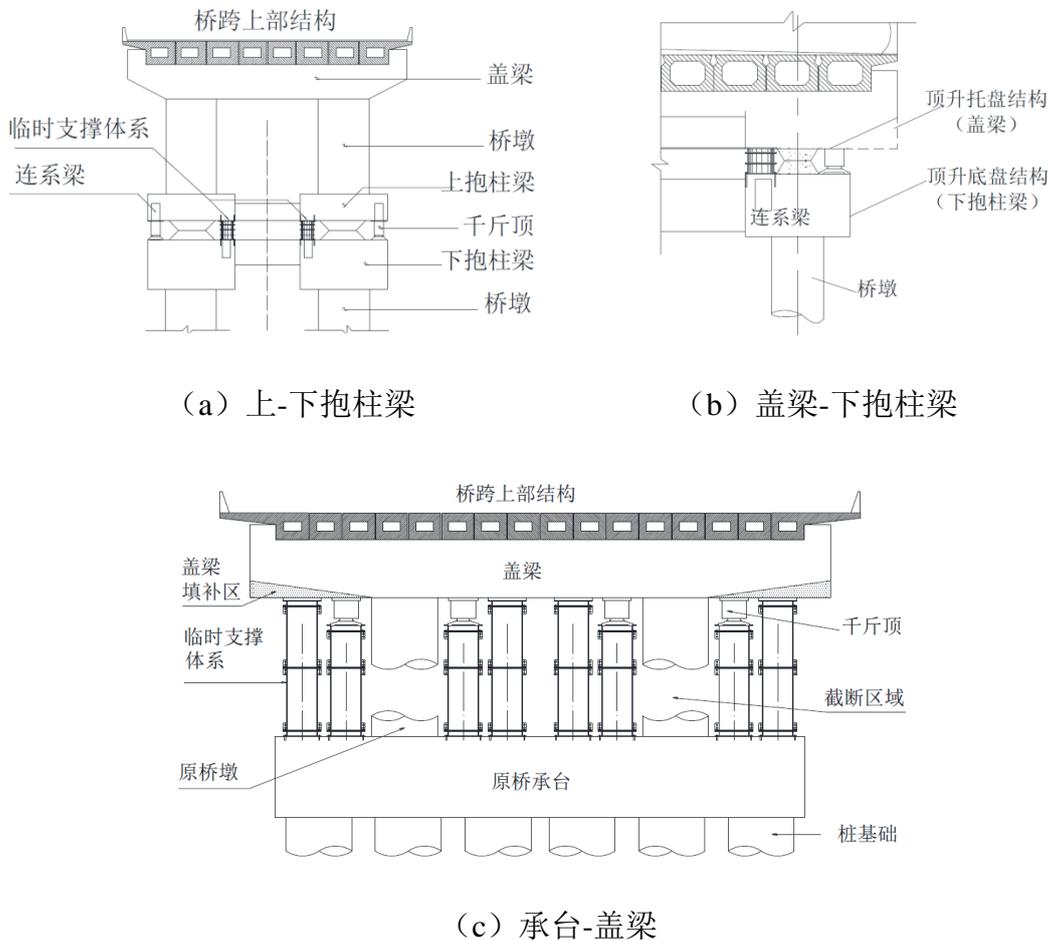


图12.3.3-3 顶升反力系统示例

12.3.4 桥梁结构复位的施工要求

1 纠偏复位桥梁施工过程应对结构关键断面、损伤部位的应力、变形进行监控，涉及基础的还应监控土压力及结构构件的倾斜度。墩柱截断提升施工应密切监控桥墩、临时支撑体系的受力及变形。监控设备安装完毕，可正常工作后方可进行桥梁复位施工。

2 顶升纠偏应降低支座摩阻力，顶推纠偏前，应在支座顶面安装钢板和聚四氟乙烯板，其间涂抹硅脂润滑剂。顶升纠偏前，应进行润滑试验，涂抹硅脂润滑剂后钢板和聚四氟乙烯板间摩擦系数应小于 0.06。纠偏到位后应再次顶升拆除临时的钢板和聚四氟乙烯板。具体见图 12.3.4-1。

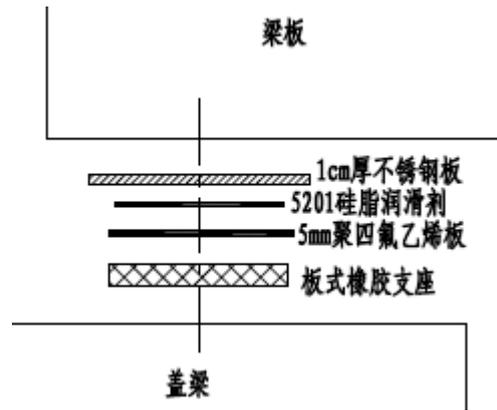


图12.3.4-1 纠偏时支座摩阻力调整示意图

3 顶推、移动梁板过程中应保证梁体稳定，竖向和水平移动宜交替分级进行。每级移动量宜控制在 2mm 以内。

4 多跨连续桥梁纠偏复位应各跨同步进行。

5 墩柱截断顺序应按设计施工方案进行，墩身截断后，应保证墩身截面上的主筋预留长度，便于接高时连接。截断面混凝土宜平整，表面高差小于 10mm。截断时，千斤顶油压应持荷维持在 40%~50% 设计荷载，锁紧临时支撑，以保证结构安全。在分级顶升施工中暂停时，应及时在临时支撑上塞填垫块，千斤顶处于预备顶升状态。顶升速率宜控制为 1mm/3min。

6 墩（柱）钢筋连接宜采用焊接或钢筋挤压套筒机械连接，接头连接等级为 I 级。接高前应首先凿除上下截断面各 30cm 左右的混凝土，并将保留墩（柱）表面凿毛或涂抹新、老混凝土界面处理剂。

7 桥梁复位施工时应中断交通实施。梁体复位后应观察不少于 24h，检查支座和垫石没有异常情况，确认压紧密贴、位置正确，并经监理工程师验收合格后，方可拆除顶升设备。

12.3.5 桥梁结构复位工程质量检验评定方法

1 桥梁结构复位应符合下列基本要求：

(1) 复位所用混凝土或钢材的品种、规格和质量应符合有关技术规范的规定并满足设计要求，混凝土按试验确定的配合比拌制。

(2) 按设计规定的顺序施工。

2 桥梁结构复位实测项目应符合表 12.1.5-1 的规定：

表12.1.5-1 桥梁结构复位实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按《公路工程质量检验评定标准》的规定执行
2	接高墩柱	榫口高度	±10	用尺量：每墩（柱）测量 2 点
3	榫口尺寸	榫口平面尺寸		
4	墩（柱）顶高程		±10	用水准仪测量：每墩（柱）测量 1 点
5	接高后墩（柱）垂直度		0.3%×H，且不大于 20	用垂线或经纬仪测量：每墩（柱）纵、横向各测量 1 点

注：H 为墩高，以 mm 计。

3 桥梁结构复位外观质量应符合下列规定：

接高段表面平整密实，新老混凝土结合面应紧密贴合。应无《公路工程质量检验评定标准》规定的限制性缺陷。无施工临时预埋件或其他临时构件。

12.4 桥梁能力提升技术

12.4.1 一般规定

1 桥梁功能提升包括在役桥梁提高荷载标准、提高耐久性、提高抗倾覆能力、提升抗震能力、提升防碰撞能力、提升抗冲刷能力等。

2 应根据桥梁技术状态、环境条件、安全与耐久需求选择功能提升的类别，对于需要采用多种类别的，应综合考虑加固措施的功能设定。

3 提升桥梁荷载标准的方法包括粘贴钢板、增大截面，粘贴纤维材料、张拉体外预应力等。应采取措施提高新增材料的利用效率。

4 提升抗震加固的主要方法包括提高构件承载力和延性、防落梁、防地基液化、流动、更换减隔振支座、增设耗能构件等。

5 提升耐久性的主要方法包括混凝土桥梁与钢结构桥梁涂刷防腐涂装、混凝土表面裂缝封闭、涂刷抗碳化层、硅烷浸渍疏水、混凝土电化学脱氯、混凝土再碱化、钢筋再钝化、钢筋阻锈、缆索包裹 PVF 抗老化层等。

6 提升抗倾覆能力的主要方法为增加支座间距、增设支座等。

7 提升防碰撞能力的主要方法分为提高结构自身抗撞能力(包括采用外包钢筋混凝土或钢-混凝土组合抗撞结构(水中结构为迎水面)加大墩、台截面,增强基础,增设防落梁设施等)和采用附加防撞设施(桥墩附着安装防撞橡胶或木质护舷、桥墩周围增设浮式钢套筒、组合式耗能防撞系统、与桥墩分离的独立防撞墩或桩系统及整体式防撞人工岛等)两类。

8 提升桥墩抗冲刷能力的主要方法为桥墩外包钢筋混凝土或钢-混凝土组合结构层、外包玻纤套筒等。

12.4.2 桥梁功能提升工程质量检验评定方法

相关分项工程较多,可按《公路工程质量检验评定标准》及《公路养护工程质量检验评定标准》执行。

13 桥梁结构维修技术

13.1 混凝土外观修复与防护

13.1.1 一般规定

1 针对桥梁构件出现的裂缝，对于裂宽小于 0.15mm 裂缝，运用裂缝压注胶封闭法对混凝土裂缝进行修补；对于缝宽大于等于 0.15mm 而小于等于 0.5mm 的裂缝，运用裂缝注浆料法对混凝土裂缝进行修补；对于缝宽大于 0.5mm 的裂缝采用填充法处理。

2 对于混凝土表面缺陷修补按照病害情况分两种情况进行处理，对疏松层较浅、病害范围较小的区域采用丙乳砂浆修补，对孔洞及深度超过 6mm 的深层疏松层采用丙乳细石混凝土修补。

3 当前防腐技术众多，需要针对桥梁的环境特点、结构部位、耐久性状态等有针对性的选择混凝土表面防护措施。另外，海潮影响区既有混凝土桥梁的耐久性问题非常突出，其中抗氯离子侵蚀诱发的钢筋腐蚀是主要问题，并具有一定的随机性，合理的构造设计和施工过程中混凝土质量严格控制是保证结构耐久性的关键。

13.1.2 特点及适用条件

1 混凝土外观修复

根据修补裂缝的宽度不同分为裂缝压注胶和裂缝注浆料，具体分类见表 13.1.2-1。

表13.1.2-1 裂缝压注胶和裂缝注浆料分类表

分 类			裂缝宽度 ω (mm)	
压注胶	按其修补裂缝的方法	封闭用压注胶	$\omega < 0.1$	
		修复用压注胶	$0.1 \leq \omega < 0.15$	
注浆料	按其所用黏结材料	改性环氧基注浆料	室温固化	$0.15 \leq \omega < 0.3$
			低温固化	

	不同	改性水泥基注浆料	室温环境用	0.3≤ω<0.5
			高温环境用	

对有混凝土缺陷及露筋部位应凿除其剥落、疏松、腐蚀等劣化混凝土，对外露钢筋进行除锈处理，对于锈蚀面积达到钢筋面积 5% 以上的主筋，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，然后用环氧砂浆将结构修补平整。

2 混凝土表面防护

适用于不同区域混凝土桥梁混凝土桥梁表面防护技术与适用部位见表 13.1.2-2。

表13.1.2-2 混凝土桥梁表面防护技术与适用部位

对象、条件		耐久性恢复技术		表面涂层	渗透型防水涂层	渗透型阻锈剂	高性能混凝土	掺阻锈剂混凝土	掺化学纤维混凝土	聚合物混凝土	环氧树脂+纤维布
		轻度	重度								
海洋环境	大气区	轻度	○	○	○	○	○	○	○※	○	○
		重度	○	○	○	○	○	○	○※	○	○
	浪溅区		○	○	○	○	○	○	○※	○	○
	潮汐区		□	×	○	○	○	○	×	○	○
	海水中		×	×	○	○	○	○	○	○	○
结构	钢筋混凝土		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	预应力混凝土		○	○	○	□	□	○	○	○	○

○：适用

○※：可以用，但要结合其他有效防腐措施

□：是否适用，需经过论证

×：不适用

13.1.3 具体方法及要求

1 压注胶法封闭裂缝

(1) 采用环氧树脂胶泥封闭裂缝时，先在裂缝两侧（宽 20~30mm）涂一层环氧树脂基液，后抹一层厚 1mm 左右、宽 50~60mm 的环氧树脂胶泥。

(2) 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，在胶泥上涂刷两层环氧树脂胶液。

(3) 裂缝封闭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 注浆料法封闭裂缝

(1) 注浆过程中应始终保持一定压力, 保证将注浆材料注入到裂缝末端, 同时均匀缓慢的压力可以将裂缝中积存的空气压入混凝土的毛细孔中, 避免产生气阻, 从而确保修补质量。

(2) 清缝处理时用角磨机打磨所有要处理的裂缝表面; 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; 沿裂缝范围内用丙酮进行洗刷, 擦清表面。

(3) 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应为 25~40cm。

(4) 封缝时无论缝宽大小, 原则上都应同时封闭, 以防裂缝相互贯通而跑气跑胶。等封缝材料固化后, 检查缝的密封效果。对漏气部位进行补封处理。

(5) 当注入裂缝的修补胶达到 7d 固化期时, 应采用取芯法对注浆效果进行检验, 芯样检验应采用劈裂抗拉强度测定方法。

(6) 灌缝完毕后, 养护一昼夜, 等待树脂固化。若温度过低, 则相应延长养护时间。

(7) 裂缝注浆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。

3 混凝土表面的缺陷修补

混凝土表面清理干净, 将松动沙石清理掉, 清理过后的表面不得有灰土、浮尘, 松动断层。另外, 缺陷修补按照病害情况分混凝土表层缺陷修补和混凝土深层缺陷修补两种情况进行处理。

(1) 表层修补: 混凝土表面出现蜂窝、麻面等未露钢筋部位

① 混凝土表面缺陷处应凿毛, 并露出密实部分;

② 配制修补材料时，应称量准确，搅拌均匀；

③ 仔细涂布压抹修补材料；

④ 进行表面修整。

(2) 深层修补：混凝土表层破损深度超过 6mm

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 裸露钢筋应除锈，并涂一薄层环氧浆液，在尚未固化前再压抹修补材料；

④ 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；

⑤ 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。

(3) 钢筋除锈

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混凝土，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，则需沿该钢筋的走势，凿致该钢筋完整处，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。

(4) 混凝土表面防护

① 粉煤灰、硅灰与外加剂是配制高抗氯离子侵蚀性能混凝土的重要组成部分，可改善混凝土内部孔结构，增加密实性。掺合料的最大掺量是受水泥用量限制的，粉煤灰掺量在 20%左右、硅灰掺量在 5%左右，效果较好。

② 混凝土水灰比是配制高抗氯离子侵蚀性能的关键指标，在掺加外加剂充

分满足混凝土工作性能的条件下，将混凝土水灰比控制的越小，混凝土越密实，其吸水率、渗水高度、电通量及内部钢筋锈蚀后的失重率越小，抗氯离子侵蚀性能越高。

③ 掺 PP 纤维的混凝土的吸水率相对较大，在干湿循环过程中，由于吸水率大而聚集在混凝土内部的盐分多，对混凝土中钢筋的腐蚀不利。而掺加纤维可以明显改善混凝土早期抗开裂性能，若要采用，需在表面辅以有效的防护措施。

④ 使用合适的复合混凝土外加剂，可使坍落度控制在 210mm 左右，扩展度在 500mm 左右，而且具有良好的缓凝效果。在含钡硫铝酸盐水泥混凝土中掺入不同比例的粉煤灰和超细矿粉，可进一步改善含钡硫铝酸盐水泥混凝土的微观结构，提高耐久性，降低水泥成本。

⑤ 在老混凝土表面刷界面剂的粘结强度要高于没有界面剂的混凝土强度；含钡硫铝酸盐水泥界面剂效果要好于硅酸盐水泥界面剂；细水泥界面剂要好于粗水泥界面剂。

⑥ 掺入拌和型阻锈剂对防止混凝土中钢筋锈蚀的作用很明显。无论是在普通混凝土还是在高性能混凝土中，掺入阻锈剂后，钢筋的锈蚀情况大大减轻。水灰比越大，阻锈剂的阻锈效果越明显。

13.2 预应力管道补压浆

13.2.1 一般规定

预应力孔道压浆材料应采用满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG-T-F50-2011)相关标准要求，采用专用压浆料或专用压浆剂配制的浆液进行压浆。所用原材料应符合下列规定：

(1) 水泥：采用硅酸盐水泥或普通水泥；水泥的标号不宜低于 425 号。

(2) 强度：符合设计要求，一般应不低于 35Mpa。

(3) 泌水率：0~3%，拌和后 3h 泌水率宜控制在 2% 以内，24h 后泌水应全部被浆吸收。

(4) 流动性：在流动性测定仪上进行试验，水泥浆自仪器内流出时间不超

过 6s。

(5) 膨胀率：水泥浆中(通过试验)可渗入适当膨胀剂，水泥浆掺入膨胀剂后的自由膨胀应小于 10%。

(6) 收缩率：不大于 2%。水泥浆的拌和先下水再下水泥，拌和时间不少于 1min，灰浆过筛后存放于储浆桶内。此时桶内灰浆仍要低速搅拌，并经常保持足够的数量以保证每根管道的压浆能一次连续完成。水泥浆自调制到压入管道的间隔时间不得超过 40min。

(7) 外加剂应与水泥具有良好的相容性，且不得含有氯盐、亚硝酸盐或其他对预应力筋有腐蚀作用的成分。水不应含有对预应力筋或水泥有害的成分，每升水中不得含有 350mg 以上的氯化物离子或任何一种其他有机物，宜采用符合国家卫生标准的清洁饮用水。压浆材料中的氯离子总量不应超过胶凝材料总量的 0.06%，三氧化硫含量不应超过 6%。

(8) 配合比应根据孔道形式，压浆方法，材料性能及压浆设备等因素通过试验决定。孔道压浆应采用专门的灌浆料或者水泥+压浆剂。水泥浆中严禁掺加氯盐，压浆料应对预应力筋无腐蚀作用。

13.2.2 特点及适用条件

根据管道压浆情况确定不同处治方案。具体见表 13.2.2-1。

表13.2.2-1 管道压浆分类情况

分类	预应力	压浆
A	管道内无钢丝（钢绞线、钢筋）	无压浆
B	管道内有钢丝（钢绞线、钢筋）	无压浆
C	管道内有钢丝（钢绞线、钢筋）	压浆沿全长不饱满
D	管道内有钢丝（钢绞线、钢筋）	压浆呈断续状
E	管道内有钢丝（钢绞线、钢筋）	压浆无较大缺陷（缺陷沿截面尺寸<2cm）或完好

13.2.3 具体方法及要求

1 放样后，在梁的两端距边箱梁内腹板边缘 20cm 左右，用电钻进行试钻，并在电钻设置限位器，防止电钻钻孔过深损伤预应力筋。余下深度用人工钢钎轻

轻凿除，并在波纹管上凿出 $\Phi 20\text{mm}$ 孔洞。

2 用空压机对预应力管道进行压气检查时，如在另一孔中能顺畅地排气，则说明该孔道应进行孔道补浆，如不能顺畅通气则应进行进一步检查。根据记录情况，确定需要压浆的位置、孔段、数量，待一孔梁全部检查完毕后，安排进行压浆。

3 对于管道缺浆较短（长度小于 1.5m）的，采用手摇式压浆泵（活塞式），对于长度较长的采用电动式压浆机。

4 孔道压浆顺序是先下后上，要将集中在一处的孔一次压完。若中间因故停歇时，应立即将孔道内的水泥浆冲洗干净，以便重新压浆时，孔道畅通无阻。对曲线孔道和竖向孔道应由最低点的压浆孔压入，由最高点的排气和泌水。

5 压浆管路长度不宜超过 25m，每个压浆孔道两端的进、出浆口均应安装一节带阀门的短管，以备压注完毕时封闭，保持孔道中的水泥浆在有压状态下凝结。

6 整个压注系统及胶管各阀门处内径不得小于 10mm，以防堵塞。

7 每个孔道压浆至最大压力后，应有一定的稳压时间。压浆应达到孔道另一端饱满和出浆，并应达到排气孔排出与规定稠度相同的水泥浆为止。

8 现场注浆过程中注浆孔注入浆液，出浆孔出浆，出浆孔无气泡。管道补浆完成后，采用无损检测的方式复查管道补浆状况。

13.3 支座与伸缩装置更换

13.3.1 支座的更换

1 一般规定

支座更换时，对梁体宜采用整联跨同步顶升，横桥向多个排列构件的顶升位移须严格同步；应验算顶升要求的位移量和相邻墩台处顶升可能产生的位移差对桥体结构的不利影响，优化顶升高度。

桥梁采用局部顶升法更换支座时，应考虑顶升高度对梁体的不利影响，对不同结构形式、不同跨径的桥梁应通过计算确定各项升点的局部顶升高度允许值。

墩顶顶升空间和支承面不满足顶升要求时，应另设顶升支架，并按相关规范对支架结构进行承载力和稳定性验算。

2 特点及适用条件

(1) 支座的固定锚销剪断，滚动面不平整，轴承有裂纹或切口，辊轴大小不合适，混凝土摆柱出现严重开裂、歪斜，必须更换。

(2) 支座座板翘起、变形、断裂时应予更换，焊缝开裂应予整修。

(3) 板式橡胶支座出现脱空或不均匀压缩变形应进行调整。

(4) 板式橡胶支座发生过大剪切变形、中间钢板外露、橡胶开裂、老化时应及时更换。

(5) 油毡垫层支座失去功能时，应及时更换。

3 具体方法及要求

(1) 调整、更换板式橡胶支座、钢板支座、油毛毡垫层支座时应采用如下方法：在支座旁边的梁底或端横隔板处设置千斤顶，将梁（板）适当顶起，使支座脱空不受力，然后进行调整或更换。调整完毕或新支座就位正确后，落梁（板）到使用位置。

(2) 为了确保在桥梁顶升过程中桥梁主梁中不产生过大的拉压应力，应采用同时同步的顶升作业方式并对顶升过程中主梁进行监测。

(3) 顶升更换支座施工前，详细检查各支座情况，对脱空支座选择厚度合适的钢板，对倾斜支座选择楔形钢板，保证支座更换后，梁体与支座密贴。

(4) 千斤顶附近位置盖梁顶面应处理平整，横隔板底面处理平整，千斤顶放置要求尽量靠近原支座，特别是中墩，由于中墩墩顶横隔板为挖空结构，为确保顶升安全，须将千斤顶布置在远离挖空结构部位。

(5) 顶升总行程以让所有支座松动来控制，并控制在计算允许范围内，分多次完成，每次顶升约 2mm。每级顶升到位后，稳定 10 分钟，在稳定期间测量各百分表处梁体的位移，如果各测点位移差不超过 1mm，再进行下一级的顶升。

(6) 顶升时将同一桥台上的千斤顶并联起来，通过一台油泵进行加压，以保证每台千斤顶出力一致；顶升中严格控制油压和千斤顶行程，确保整体顶升。

(7) 更换支座时卸除旧支座，清理盖梁顶面，将原支座外露的不锈钢板用丙酮清洗干净，用环氧胶将已经脱开的不锈钢板与支座上钢板粘贴。对于脱空的支座，事先在垫石上垫钢板，并用环氧砂浆找平至相应高度，确保落梁时支座都能均匀受力。

13.3.2 伸缩缝的更换

1 一般规定

对于出现破损的伸缩缝，要安装新伸缩缝装置，为了不中断交通，确保施工过程中车辆顺利通行，施工中应该采用分段施工模式，并加强交通管制，在施工前应对交通进行限制，对施工现场进行调查。明确破损伸缩缝的位置和严重程度，结合现场具体情况，合理确定伸缩缝断开位置，并预留好焊接接头，为施工顺利进行奠定基础。

公路桥梁伸缩缝更换的过程中，大部分是在通车状态下进行的，需要安全布置周围的交通，先安排一边施工，另外一边通车，待一边施工完成后，再交换位置。控制交通的过程中，需在最明显的位置，放置警告牌，统一施工人员的着装，安排专业的操作人员进行技术操作，当伸缩缝施工完成后，在养生阶段，同样需要控制接通，尽量缩短伸缩缝更换的施工工期，既要保障伸缩缝的正常施工，又要确保交通安全。

车行道伸缩缝槽口新浇混凝土强度等级应比原结构混凝土提高一级，采用C55钢纤维混凝土，宜采用早强混凝土。

2 特点及适用条件

伸缩缝出现以下问题应及时更换：

- (1) U形锌铁皮伸缩装置的锌铁皮老化、开裂、断裂。
- (2) 钢板伸缩装置或锯齿钢板伸缩装置的钢板变形，螺栓脱落，伸缩不能正常进行。

(3) 橡胶条伸缩装置的橡胶条老化、脱落，固定角钢变形、松动。

(4) 板式橡胶伸缩装置的橡胶板老化开裂，预埋螺栓松脱，伸缩失效。

3 具体方法及要求

(1) 凿除前应先放样划线标识混凝土凿除部分，混凝土凿除时尽量不损伤原结构预埋钢筋，并确保基底混凝土坚实。如有基底松散情况，必须清除薄弱基底混凝土。

(2) 原伸缩缝拆除时，如果有缺失、压坏、桥梁抬升后原预埋筋高度不够、以及新安装伸缩缝和旧伸缩缝的锚环位置不一致而预埋钢筋不对应时，则采取植筋进行伸缩缝的固定，植筋按照伸缩缝锚固筋方向进行，确保植筋与伸缩缝锚固筋具有很好的受力和焊接。

(3) 植筋位置根据到场的伸缩缝锚环位置放样确定，植筋下料长度现场确定，注意要有足够的深度和严密性，上面应和槽底相平，不能有松动和较大的缝隙，以防止漏浆。

(4) 伸缩缝在装卸及运输过程中，不得造成扭曲变形、碰撞弯曲、划磨等损伤。伸缩装置运至工地存放时，应垫离地面至少 30mm，不得露天存放，并盖好薄膜，防雨防水。

(5) 伸缩装置安装前应对其进行平整度的检查，型钢的平整度控制在 3mm 以内。现场测定实际梁体温度，根据设计给定的施工温度留设的缝宽值，调整伸缩装置安装定位缝宽值。要检查各梁之间间隙是否清理干净，伸缩宽度是否符合要求，伸缩装置是否与缝好一致、完好。

(6) 焊接时间要根据设定的伸缩间隙宽度，在一天中与设计要求温度合适的时段内进行。点焊完成后全面检验一下伸缩装置的平整度、顺直度、高程等项目，合格后再进行焊接。

(7) 伸缩缝安装检查合格后，绑扎保护带钢筋，注意新设钢筋和原钢筋的连接，通长钢筋穿在锚环内和植筋或原预埋筋绑扎，在锚环上方添加防裂钢筋网，采用聚苯乙烯泡沫板将伸缩装置的间隙封堵严密，以保证浇筑混凝土时无漏浆现象。

(8) 养护期间，混凝土的养生不得少于 14 天，养生后安装止水橡胶条伸缩体，并在养生 28 天后再放行通车，伸缩装置安装完成后及混凝土施工完成强度达到设计要求之间，禁止一切车辆碾压及人员踩踏。

14 工程验收与评价

14.1 一般规定

14.1.1 桥梁加固改造工程验收标准可根据项目特点,按《公路养护工程质量检验评定标准》、《公路工程质量检验评定标准》相关内容执行。

14.1.2 省级交通运输主管部门应当结合不同类别的养护工程特点,制定养护工程验收办法及相关标准。对于技术复杂程度高或投资规模较大的桥梁加固改造工程,可以按交工验收和竣工验收两个阶段执行。其余按一阶段竣工验收执行。

14.1.3 工程具备验收条件后应当及时组织验收工作。对于适用于一阶段验收的养护工程项目,应当在工程完工交付使用后6个月之内完成验收;对于适用于两阶段验收的工程项目,应当在工程完工后及时组织交工验收,并在养护工程质量缺陷责任期满后6个月之内完成竣工验收。

14.1.4 工程完工后未经验收的,由施工单位承担养护责任;经验收不合格的,由施工单位负责返修。

14.1.5 质量缺陷责任期一般不少于12个月,大桥特大桥为24个月。在质量缺陷责任期内,发生施工质量问题的,施工单位应当履行保修义务,并对造成的损失承担赔偿责任。

14.1.6 经加固改造的桥梁,其技术状况应不低于二类。

14.2 工程验收

14.2.1 工程验收的质量检查内容和要求总体按《公路养护工程质量检验评定标准》执行,对于部分缺少检评标准的项目可由设计单位提出验收标准。

14.2.2 公路桥梁加固改造满足工程验收与评价的基本要求,包括项目管理、档案资料、施工控制、质量管理以及加固后桥梁检测等方面的内容。

14.2.3 工程验收依据主要包括:

- (一) 批准的桥梁加固改造工程计划文件;
- (二) 签订的工程合同;

- (三) 批准的设计文件，预算及批复；
- (四) 批准的变更设计文件及图纸；
- (五) 工程有关标准、规范及有关规定。

14.2.3 工程验收应当具备下列条件：

- (一) 完成设计文件和合同约定的各项内容；
- (二) 完整的技术档案和施工管理资料；
- (三) 工程使用的主要材料和设备的进场试验报告；
- (四) 设计、施工等单位分别签署的质量合格文件；
- (五) 施工单位签署的质量保证书；
- (六) 公路工程质量监督机构出具的项目质量鉴定证书；
- (七) 工程质量缺陷问题已整改完毕。

14.3 效果评价

14.3.1 加固改造效果评价应根据设计文件的要求，对其耐久性、安全性和适用性进行检验，验证加固改造后桥梁有关性能是否满足设计预期。

14.3.2 对于技术难度大、大桥特大桥的加固改造工程可考虑采用荷载试验的方式对加固效果进行检验。

14.3.3 对于缺少评价标准的新技术，由设计单位提出相应的评价指标和检验评定标准。

本指南用词说明

执行本指南条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2、表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4、表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。