

解放大桥维修工程

可行性研究报告

(修编稿)

第一册 (正文) 共二册

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

二〇二四年五月



100E68-7C1FF9-1



解放大桥维修工程

可行性研究报告


(修编稿)

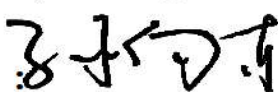
第一册 (正文) 共二册


咨询单位: 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司


备案编号: 91440000455857836N-18


资信证书: 甲级 (证书编号: 甲232021011037)

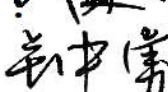
总 经 理:  正高级工程师


总 工 程 师:  教授级高工


设计院院长:  正高级工程师




审查负责人:  正高级工程师

审核负责人:  高级工程师

 咨询工程师 (投资)

 咨询工程师 (投资)

项目负责人:  工程师

主要参与人员:   





100E68-7C1FF9-3

解放大桥维修工程可行性研究报告
主要参加人员名单

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

姓名	职务或职称	主要工作
黄湛军	总经理、正高级工程师	文件批准
孙向东	总工程师、教授级高工	技术审定
张长利	副总经理、高级工程师	项目组织协调
林少忠	养护设计院院长、正高级工程师	项目组织协调
王景奇	桥梁专业总工程师、正高级工程师	审查负责人
武建中	养护设计院桥梁专业总工程师、高级工程师	审核负责人
钟勇	第五设计院桥梁副总工程师、咨询工程师（投资）	审核负责人
周文辉	市政设计院道路总工程师、咨询工程师（投资）	审核负责人
李胜才	养护设计院桥梁专业副总工程师、高级工程师	专业负责人
廖鸿钧	养护设计院桥梁所所长、高级工程师	项目协调
胡志涛	养护设计院道路专业总工程师、高级工程师	项目协调
焦胜	中级工程师	项目负责人
李乾坤	养护设计院桥梁所副所长、中级工程师	复核负责人
陈曦	助理工程师	设计
谢乔菲	中级工程师	设计
张颖	助理工程师	设计
吴树凯	助理工程师	设计
柳燕	助理工程师、一级造价工程师	估算编制



目 录

1 概述.....	1
1.1 项目概况.....	1
1.1.1 项目名称.....	1
1.1.2 项目性质.....	1
1.1.3 建设地点.....	1
1.1.4 建设规模.....	1
1.1.5 建设工期.....	2
1.1.6 投资规模和资金来源.....	2
1.1.7 主要技术经济指标.....	2
1.2 项目单位概况.....	2
1.3 编制依据.....	2
1.4 相关意见及采纳情况.....	4
1.4.1 工可评审意见及执行情况.....	4
1.5 主要结论和建议.....	4
1.5.1 主要研究结论.....	4
1.5.2 问题与建议.....	5
2 项目建设背景和必要性.....	6
2.1 项目建设背景.....	6
2.1.1 桥梁概况.....	6
2.1.2 原桥设计规范.....	6
2.1.3 原桥技术标准.....	6
2.1.4 原桥结构形式.....	7
2.1.5 桥梁历年养护、加固改造情况.....	13
2.1.6 桥梁历年运营情况.....	14
2.1.7 桥梁历年检测、安全评估情况.....	15
2.1.8 桥梁最新定期检测结果.....	17
2.1.9 桥梁历年结构性能检测情况.....	29
2.1.10 检测结论与建议.....	34



2.2 规划政策符合性	35
2.3 项目建设必要性	35
2.3.1 解放大桥现状分析及养护对策	35
2.3.2 国内外系杆拱桥坍塌案例	35
2.3.3 国内系杆拱桥索杆更换统计	37
2.3.4 结论	44
3 项目需求分析与产出方案	45
3.1 需求分析	45
3.2 建设内容和规模	45
3.3 项目产出方案	45
4 项目选址与要素保障	46
4.1 项目选址或选线	46
4.2 项目建设条件	46
4.3 要素保障分析	47
4.3.1 “三规”符合性分析	47
4.3.2 建筑材料来源及运输条件	47
5 项目建设方案	48
5.1 桥梁病害原因分析	48
5.2 原桥结构承载能力评定结论	52
5.2.1 计算参数及模型	52
5.2.2 原桥承载能力评定结论（原设计规范）	55
5.2.3 原桥结构验算结论（现行规范）	57
5.3 技术方案	58
5.3.1 维修加固原则	58
5.3.2 合理成桥状态确定	58
5.3.3 系杆更换	60
5.3.4 吊杆更换	68
5.3.5 中拱肋新增横撑	74
5.3.6 加劲纵梁加固	76



5.3.7	拱肋脱空处治	77
5.3.8	涂装更换	77
5.3.9	常规病害处治	78
5.4	其他维修内容	78
5.4.1	照明恢复	78
5.4.2	电车轨道恢复	79
5.5	工程方案	79
5.5.1	维修施工流程方案	79
5.5.2	维修施工工期	80
5.5.3	系杆更换施工要点	81
5.5.4	吊杆更换施工要点	83
5.5.5	拱肋脱空处治施工要点	85
5.5.6	外包 UHPC 加固施工要点	87
5.5.7	植筋工艺	89
5.5.8	粘贴钢板要求	91
5.5.9	拱肋横撑增设	94
5.5.10	防腐涂装施工工艺	94
5.5.11	施工期间交通疏导方案	99
5.6	施工期间通航安全保障方案	105
5.7	其他安全保障措施	106
5.8	用地用海征收补偿（安置）方案	107
5.9	数字化方案	107
5.10	建设管理方案	107
5.10.1	工程实施组织要求	107
5.10.2	建设阶段的组织机构	107
5.10.3	劳动定员与培训	108
6	项目运营方案	110
6.1	运营模式选择	110
6.2	运营组织方案	110



6.2.1	建设工期安排与实施计划	110
6.2.2	工程招标	110
6.3	安全保障方案	111
6.3.1	通用部分	111
6.3.2	工程分类安全部分	112
6.4	绩效管理方案	112
6.4.1	构建全方位预算绩效管理格局	113
6.4.2	建立全过程预算绩效管理链条	113
7	项目投融资与财务方案	115
7.1	投资估算	115
7.1.1	编制内容说明	115
7.1.2	编制依据	115
7.1.3	人工、材料、机械单价和费率标准采用情况	115
7.1.4	工程建设其他费用取费标准	116
7.1.5	估算金额	116
7.1.6	资金筹措	116
7.1.7	投资估算总表	116
7.2	盈利能力分析	137
7.3	融资方案	137
7.4	债务清偿能力分析	137
7.5	财务可持续性分析	137
8	项目影响效果分析	138
8.1	经济影响分析	138
8.2	社会影响分析	138
8.2.1	编制依据	138
8.2.2	社会风险分析	138
8.2.3	互式性分析	140
8.2.4	社会风险分析结论	141
8.3	生态环境影响分析	142



8.3.1	环境影响	142
8.3.2	环境污染防止措施分析及对策	144
8.4	资源和能源利用效果分析	146
8.4.1	节能评价	146
8.4.2	能源状况分析	146
8.4.3	节能措施	147
8.5	碳达峰碳中和分析	148
8.5.1	利用绿色施工技术	148
8.5.2	开展建筑垃圾资源化处理和综合利用	149
9	项目风险管控方案	150
9.1	风险识别与评价	150
9.1.1	工程风险	150
9.1.2	投资估算及资金风险	150
9.1.3	市场风险	150
9.1.4	项目合法性、合理性遭质疑的风险	151
9.1.5	风险评价	151
9.2	风险管控方案	151
9.2.1	危险因素和危害程度分析	151
9.2.2	安全措施方案	151
9.2.3	消防设施	155
9.3	风险应急预案	155
9.3.1	各主要施工安排、施工措施及应急预案	155
9.3.2	应急措施	156
10	研究结论及建议	158
10.1	主要研究结论	158
10.2	问题与建议	158
11	附表、附图和附件	159





100E68-7C1E40-6

1 概述

1.1 项目概况

1.1.1 项目名称

项目名称：解放大桥维修工程。

1.1.2 项目性质

维修加固项目。

1.1.3 建设地点

解放大桥位于广州市老城区中心地带，是南北向主要通道解放路上一座跨越珠江的大桥，桥址与海珠桥相距约 300.00m，桥位处河面宽约 180.00m。通航净高 8.70m，净宽 60.00m。北起越秀区解放南路，南接海珠区同福路、同庆路。

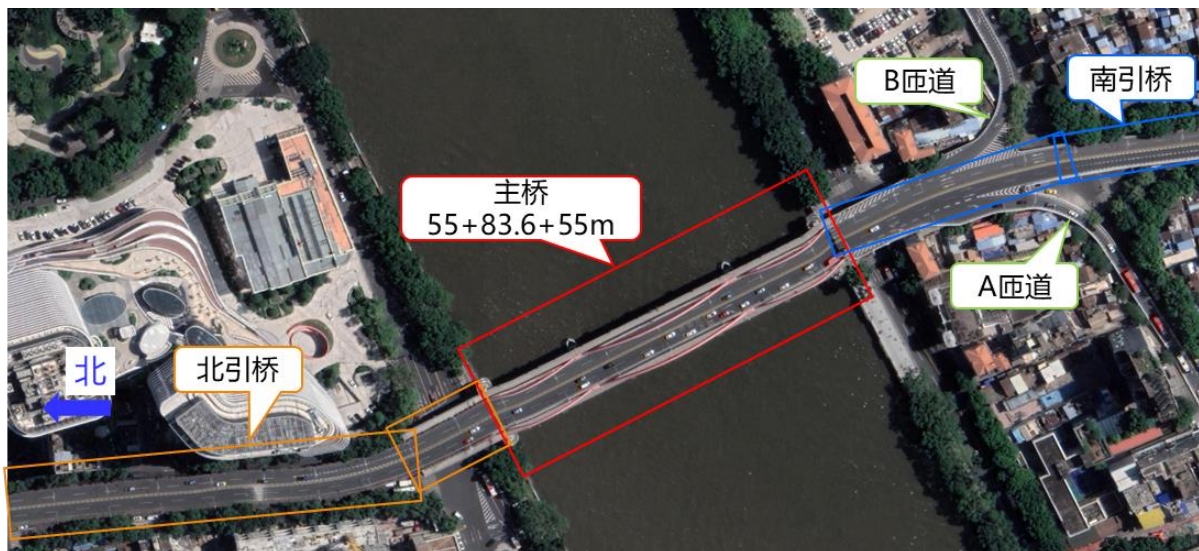


图 1.1 解放大桥地理位置图

1.1.4 建设规模

本项目为解放大桥维修工程，工程范围为解放大桥全线，解放大桥主线全长 923.90m，引道总长 199.4m；A 匝道总长 193.44m，引道长 77.44m；B 匝道总长 217.5m，引道长 81.5m。

主桥全长 193.6m，采用(55+83.6+55)m 三跨连续下承式无风撑钢管砼系杆拱结构，桥宽 25m。

北引桥总长 455.7m，引道长 114.25m，桥梁跨径组合为：(15×19.0+18.55)m（预应力砼空心板梁）+37.9m（预应力砼 T 梁）；南引桥总长 274.6m，引道长 85.15m，桥



梁跨径组合为：37.90m（预应力 T 梁）+18.55m+7×19.0m（预应力砼空心板梁）；引桥桥面标准宽均为 16.0m。

A 匝道总 193.44m，引道长 77.44m，桥梁跨径组合为：(18+4×20+18)m 现浇钢筋砼箱梁；B 匝道总长 217.5m，引道长 81.5m，桥梁跨径组合为(18+5×20+18)m 现浇钢筋砼箱梁；匝道桥标准宽为 6.5m。

1.1.5 建设工期

解放大桥维修工程施工工期预计 6 个月。

1.1.6 投资规模和资金来源

（一）投资估算

投资规模见下表。

表 1.1 投资规模（万元）

方案	费用
第一部分 工程费用	6553.61
第二部分 工程建设其他费用	1789.71
第三部分 基本预备费	834.34
总投资	9177.73

（二）资金筹措及使用计划：

本项目资金来源：由市财政资金拨款。

1.1.7 主要技术经济指标

本项目为维修工程，对于加固桥梁，维修加固后桥梁功能不变，设计荷载按原设计汽车-超 20 级，挂车-120 验算，人群荷载 3.5kN/m²。

1.2 项目单位概况

项目业主：广州市城投新三桥管理有限公司。

1.3 编制依据

设计规范：

- （1）《公路桥涵设计通用规范》（JTJ 021-89）
- （2）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁设计规范》（JTJ 023-85）
- （3）《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ 024-85）
- （4）《钢管混凝土结构设计与施工规程》（CECS28:90）
- （5）《城市桥梁养护技术规范》（CJJ 99-2017）
- （6）《公路钢管混凝土拱桥设计规范》（JTG/T D65-06-2015）



- (7) 《公路桥梁加固设计规范》(JTG/TJ22-2008)
- (8) 《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)
- (9) 《超高性能混凝土(UHPC)技术要求》(T/CECS10107-2020)
- (10) 《公路桥梁超高性能混凝土加固技术指南》(T/CHTS10066-2022)
- (11) 《混凝土结构后锚固技术规程》(JGJ145-2013)

参考规范:

- (1) 《城市桥梁设计规范 2019 版》(CJJ 11-2011)
- (2) 《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)
- (3) 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)
- (4) 《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)
- (5) 《公路桥梁抗震设计细则》(JTGT B02-01-2008)
- (6) 其它相关的规范、规程。

相关资料:

- (1) 解放大桥施工图、竣工图资料
- (2) 广州公路工程集团有限公司、广州交投工程检测有限公司于 2022 年 11 月 28 日出具的《新三桥(解放桥、江湾桥、鹤洞大桥)综合管养桥梁检测项目 检测报告—解放大桥》
- (3) 广州公路工程集团有限公司、广州交投工程检测有限公司于 2023 年 10 月 15 日出具的《新三桥(解放桥、江湾桥、鹤洞大桥)综合管养桥梁检测项目 解放大桥 2023 年常规定期检测报告》
- (4) 广州诚安路桥检测有限公司于 2023 年 1 月 13 日出具的《新三桥桥梁结构定期检测项目解放大桥主桥荷载试验检测报告》
- (5) 广州诚安路桥检测有限公司于 2023 年 1 月 13 日出具的《新三桥桥梁结构定期检测项目 解放大桥结构专项检测报告》
- (6) 中交公路规划设计院有限公司、广州市交通设计研究院有限公司于 2023 年 8 月出具的《解放大桥吊杆、系杆安全风险评估》
- (7) 广州广检建设工程检测中心有限公司于 2023 年 12 月 19 日出具的《广州市解放大桥吊杆、系杆开窗检测》



(8) 广州市交通设计研究院有限公司于 2023 年 6 月出具的《2023 年新三桥维修专项施工图设计》

(9) 广州市交通设计研究院有限公司于 2022 年 7 月出具的《2022 年新三桥维修专项施工图设计》

(10) 广州市城市规划勘测设计研究院于 2017 年 3 月出具的《珠江前航道跨江桥梁维修整饰工程—江湾大桥、解放大桥项目勘察设计》

(11) 苏交科集团股份有限公司于 2021 年 11 月出具的《广东省船舶碰撞桥梁隐患治理专项行动解放大桥通航安全风险及抗撞性能综合评估报告》。

(12) 历年定检、专检、荷载试验等技术资料。

1.4 相关意见及采纳情况

1.4.1 工可评审意见及执行情况

2024 年 05 月 23 日，广州市城投新三桥管理有限公司在广州市海珠区智通大厦 B 座 6 楼组织召开了《解放大桥维修工程可行性研究报告》（以下简称《可研报告》）的专家评审会。专家组听取了编制单位广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司的汇报，经质询讨论，形成评审意见如下：

一、总体评价

《可研报告》文件编制依据较充分，内容完整，编制深度满足工程可行性研究编制相关要求，专家组同意通过评审，修改完善后可作为下阶段相关工作依据。

二、意见与建议

1、细化完善必要性论述；

执行情况：按评审意见执行，细化第 2.3 节内容。

2、充分考虑吊杆、系杆耐久性措施；

执行情况：按评审意见执行，吊杆、系杆新增缠包带，锚头位置采取 OTC 防腐体系，吊杆导管内部填充油性蜡、聚氨酯防水胶等防水材料。

3、核实工程数量及相关指标，补充完善工程建设其他费依据。

执行情况：按评审意见执行。

1.5 主要结论和建议

1.5.1 主要研究结论

根据历年的运营、检测结果，解放大桥主桥的最重要受力构件吊杆、系杆技术状



况为 D 级；由于下层系杆的断丝率和张拉情况未知，复杂的构造导致无法采取检测手段获取其张拉力，原桥的成桥状态无法获取；索体结构病害逐年严重，结构安全存在不确定性；根据主桥原桥检算结果，结构存在整体稳定性不足、断索工况落梁的结构性缺陷。因此，解放大桥主桥存在很大安全隐患，严重影响行车的安全性，对周边民众出行带来了很大安全问题，因此需尽快对该桥进行维修。

解放大桥维修内容包括：

1、主桥：系杆更换、吊杆更换、中拱肋新增横撑、加劲纵梁加固、拱肋脱空处治、钢构件及混凝土构件的涂装更换等；

2、主桥、引桥、匝道桥常规病害处治：裂缝修补；混凝土破损、锈胀处治；沥青铺装病害修补；伸缩缝止水带更换、空心板铰缝修补、引桥支座顶升更换；部分混凝土构件破损涂装修复。

1.5.2 问题与建议

- 1、为尽快消除解放大桥主桥的安全隐患，建议尽快启动主桥的维修。
- 2、主桥系杆、吊杆索更换期间，从施工控制和安全角度考虑需全桥封闭，对交通影响和社会舆论较大。
- 3、吊杆、系杆施工期间应进行全过程的桥梁施工监控。
- 4、根据最新索力检测报告，结合计算，吊杆力理论计算值与实测值相差较大，建议在吊杆更换中，采用张拉法获取实际索力，及时向设计单位反馈。
- 5、应在施工前委托检测单位对桥梁进行必要的专项检测。
- 6、应委托相关单位对桥梁进行必要的交通影响和评价。
- 7、结合 2025 年第十五届全国运动会的开展情况，为保证路网通行能力，选择恰当的施工窗口期。



2 项目建设背景和必要性

2.1 项目建设背景

2.1.1 桥梁概况

解放大桥由广州市市政工程设计研究院设计，广州市市政一公司承建，于1994年12月28日正式动工，1998年建成通车。大桥主线全长923.90m。



图 2.1 主桥立面照



图 2.2 主桥正面照



图 2.3 主桥桥底状况照图



图 2.4 引桥桥底状况照

2.1.2 原桥设计规范

- 1、公路桥涵设计规范（JTJ021-89、JTJ025-85、JTJ0-023-85、JTJ024-85、JTJ023-86）
- 2、城市道路设计规范（GJJ37-90）
- 3、钢管混凝土结构设计与施工规程（JCJ01-89.CECS28:90）
- 4、铁路钢桥制定规则（LBL212-86）。

2.1.3 原桥技术标准

- 1、设计荷载：汽车-超 20 级，挂车-120 验算，人群荷载 3.5kN/m²
- 2、设计速度：40km/h（主、引桥），20km/h（匝道）



3、设计洪水频率：1/100

4、通航标准：通航净高 8.70m，净宽 60.00m，最高通航水位为城区系统 106.80m

5、桥面宽度：主桥 25.00m，引桥 16.00m，匝道 6.50m

6、桥梁线形：

桥梁坡度：纵坡主桥 \geq 1.0%、引桥 \geq 6%、匝道 \geq 7%，横坡 1.5%

竖曲线：主、引桥 $R_{凸} \leq 1600m$ 、 $R_{凹} \leq 1500m$ ，匝道 $R_{凸} \leq 1000m$ 、 $R_{凹} \leq 10000m$

7、地震烈度：按七度设防。

2.1.4 原桥结构形式

2.1.4.1 主桥结构形式

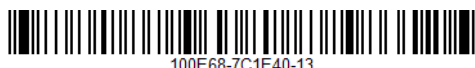
主桥采用 55.00m+83.60m+55.00m 三跨连续下承式无风撑钢管砼系杆拱结构，边跨矢跨比为 1:4.5，中跨矢跨比为 1:5，拱轴线均为抛物线，两拱肋中心距为 18.00m，两肋间为双向四车道，两肋外侧各悬挑 3.00m 作人行道，桥面宽 25.00m。

主桥两边墩位置分设四座螺旋楼梯供行人上、落桥，同时在北岸引桥位置设一下穿人行天桥并上接过渡孔。

主桥桥面系由 9+15+9=33 对吊杆、33 片部分预应力混凝土横梁、普通钢筋混凝土加劲纵梁、钢筋混凝土槽型板、后浇混凝土结构层和钢纤维混凝土铺装层等组成；

吊杆钢索采用平行钢丝拉索，每根吊杆钢索由 85 ϕ 7 镀锌高强度低松弛预应力钢丝组成，钢索标准强度为 1670MPa；吊杆钢索双护层均为高密度聚乙烯护层；吊杆上端锚具采用冷铸墩头锚，下端采用墩头锚。

系杆亦采用带 PE 护套的成品索，并置于系杆箱盒中，以利防护。



拱肋

中孔钢管拱肋跨径为 81.60m，矢跨比为 1/5，边孔钢管拱肋跨径为 53.73m，矢跨比为 1/4.5，拱轴线均取用抛物线，且分别按 1/1000 和 1/800 余弦函数设置预拱。每片拱肋均由 2 根钢管焊接成“哑铃”型，中孔由 2φ950×14mm 组成，截面高度为 2.40m。边孔由 2φ700×14mm 组成，截面高度为 1.80m。中孔上、下钢管两侧分别加焊[32c 热轧普通槽钢作耳肋，边孔上、下钢管两侧分别加焊热轧普通槽钢[20c 作耳肋。

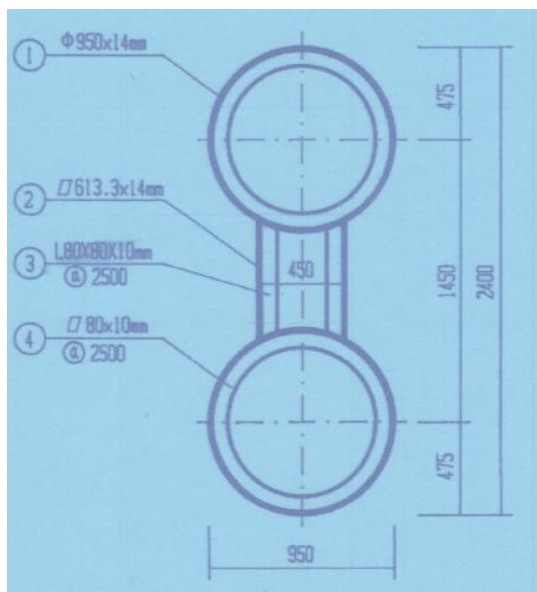


图 2.7 中孔拱肋横断面布置图(单位: mm)

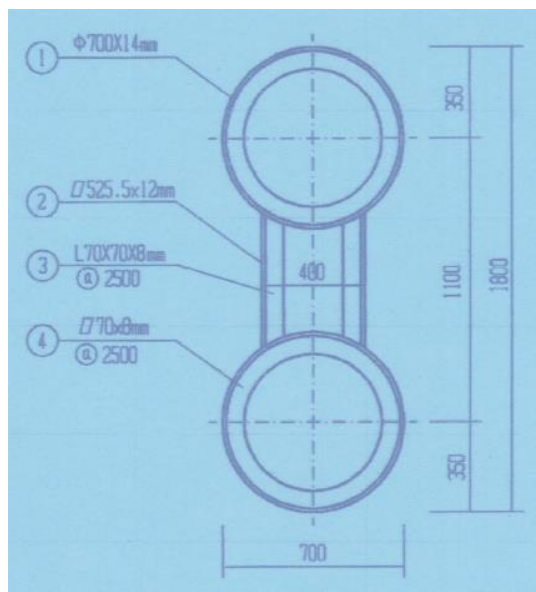


图 2.8 边孔拱肋横断面布置图(单位: mm)

吊杆

主桥共设 33 对吊杆(中孔 15 对，边孔 9 对)，间距 5m，每根吊杆均采用 LJLZM7-85 高强度低松弛镀锌钢丝挤包双护层扭绞型成品索，每根吊杆钢索由 85φ7 镀锌高强度低松弛预应力钢丝组成，钢丝标准强度为，吊杆钢索双护层均为高密度聚乙烯护层 (PE+彩色 PE)。

吊杆锚具设计是在参照柳州市建筑机械总厂的 LZM 和 DM 型锚具基础上修改设计的，锚具材质螺纹形状及螺距均不变。吊杆上端采用冷铸镦头锚锚于拱肋上管内锚板上，吊杆下端采用镦头锚锚于横梁内，拱肋安装偏差在拱肋锚垫板之上提前增设垫圈来调整。吊杆处拱背开孔 φ220mm,安装好吊杆后再用原钢板封回并焊平顺。吊杆在拱肋下管出口位置及桥面相交位置均在上、下导管与吊杆间加设减震器以防吊杆索疲劳破坏。



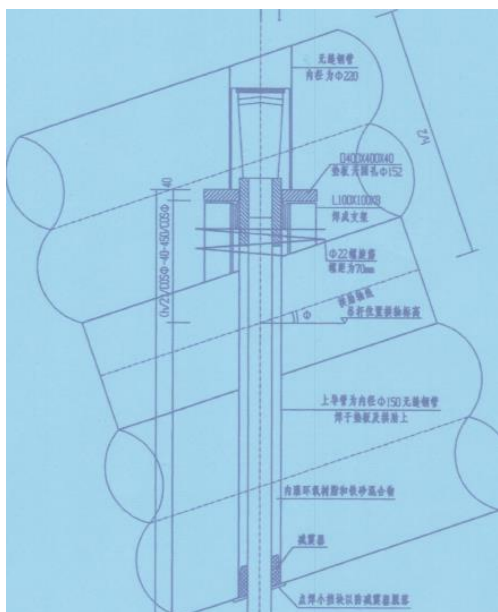


图 2.9 吊杆上锚头

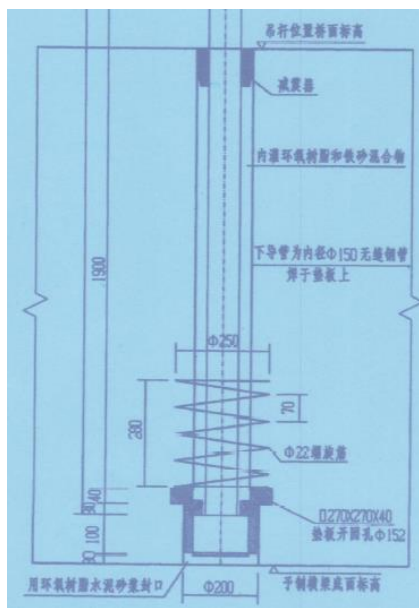


图 2.10 吊杆下锚头

系杆

原桥系杆分上下两层系杆。下层系杆为原施工图设计，上层系杆为通车前新增系杆。

(1) 下层系杆

下层系杆共 32 根，中孔每片拱肋设置 8 根系杆，边孔每片拱肋设置 4 根系杆，采用高强度聚乙烯单护层成品束，系杆张拉控制力为 1500kN。系杆钢丝为高强度低松弛 12φs15.2 平行钢丝，钢丝标准强度为 1670MPa。平行钢丝采用 OVMS15-12 夹片锚具锚固于墩顶横梁处。

根据竣工图及相关会议资料，施工过程中下层系杆张拉时发生断丝，随即停止张拉，灌浆锚固。下层系杆的断丝率和张拉情况未知。

(2) 上层系杆

上层系杆共 12 根，每片拱肋根部锚箱处设置两根系杆。系杆采用带 PE 护套的高强度低松弛镀锌钢丝挤包单护层大节距扭绞型拉索，中孔系杆张拉控制力为 1750kN，破断荷载为 7005kN，边孔系杆张拉控制力为 880kN，破断荷载为 3535kN。中孔每根系杆钢索由 109φ7 钢丝组成，边孔每根系杆钢索由 55φ7 钢丝组成，钢丝均为镀锌高强度低松弛预应力钢丝，钢丝标准强度为 1670MPa。系杆锚具均采用冷铸镦头锚，中孔为 LZM109L-7，边孔为 LZM55L-7。锚箱安装偏差可在锚箱锚垫板之上提前增设垫圈来调整。锚箱钢板均采用 16Mn，钢材要求满足 GB714-65 规定的化学成分及机械性能。



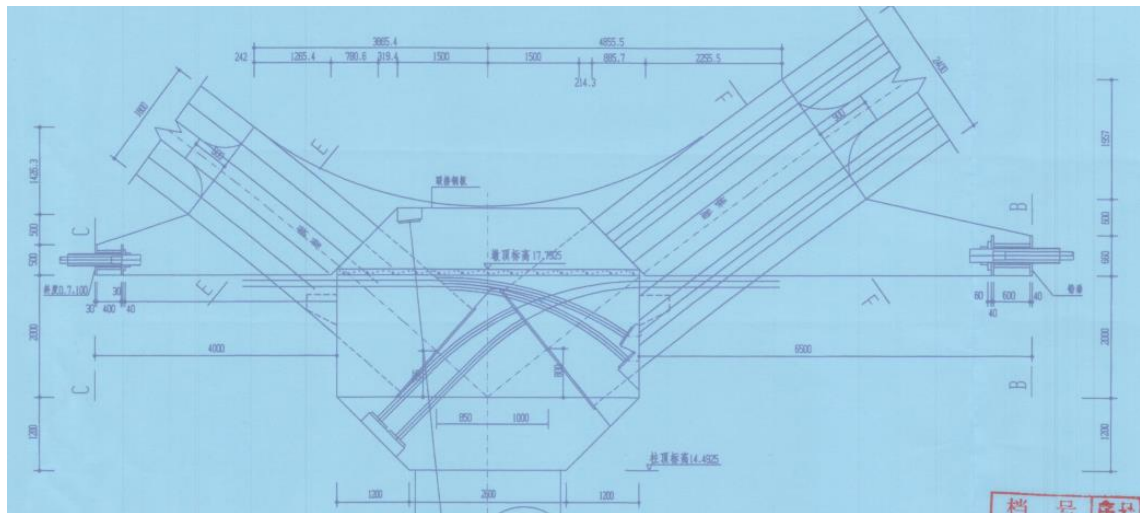


图 2.11 中墩系杆锚固构造

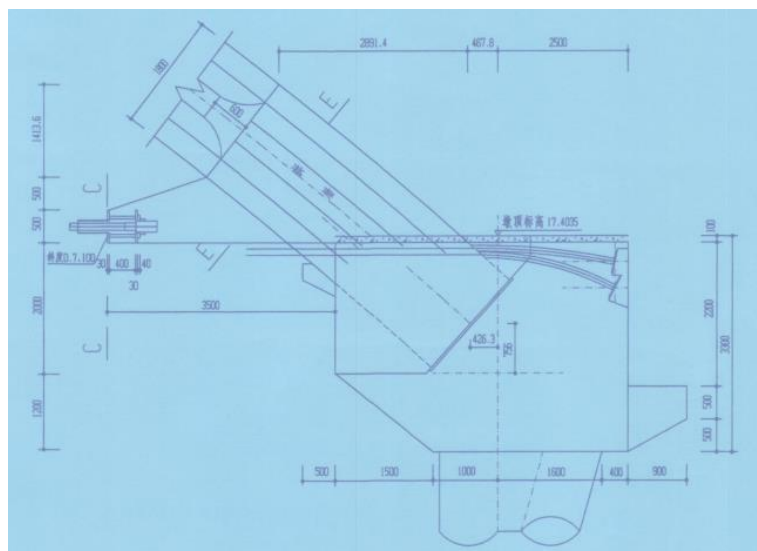


图 2.12 边墩系杆锚固构造

横梁

主桥桥面由部分预应力砼横梁、普通钢筋砼加劲纵梁、钢筋砼槽型板及其后浇结构层、铺装层等组成的“悬飘”体系。上、下游对应吊杆吊一根横梁，槽形板间砼与部分预应力横梁后浇砼同时浇筑以形成枢络网结构，桥面铺装则采用钢纤维砼。

主桥横梁为预应力钢筋混凝土结构，横梁底部为水平，顶部坡度为 1.5%，横梁两吊索之间截面按照汽车-超 20 设计，两吊索外悬挑部分按照人群荷载设计。

预应力砼横梁共 33 片，每片长 25.00m，预制部分重约 30t。每片横梁设置 6 束 3φ15.24mm 高强度低松弛预应力钢绞线。其中 4 束在预制横梁时于预制场内先完成张拉。另外两束则在横梁吊装就位，两肋间槽形板铺设好后在空中张拉。横梁腹板厚 18.0cm，预制部分高 1.70m，后浇部分高 29.0cm。



下游腹腔—上游下管—下游下管—上游上管—下游上管。单管则按由拱脚至拱顶对称顶升进行。施工中严格控制砼泵的泵送速度和泵管内的压力及拱肋变位情况。拱顶上冒不得大于 10 毫米，否则进行压顶。此间，系杆束及中墩竖向无粘结钢束的张拉根据设计要求按加载阶段实施，同时监测拱肋的变位情况，对拱顶 1/4 跨及 1/8 跨 5 个点进行挠度和横向偏移观测。拱肋内浇灌砼时，除该拱肋外，其相邻孔拱肋的变位情况也进行监测。

(4) 安装吊杆索、横梁、加劲纵梁、槽形板、完成桥面铺装

拱肋内砼浇注完成，并且完成此阶段的竖向无粘结预应力钢束，水平系杆束的张拉复测各吊杆孔垫板高程，满足设计要求后即可吊装吊杆索。横梁与加劲纵梁的吊装采用全桥均衡加载方式进行，槽形板的吊装则按分条带由跨中至拱脚对称进行。当两片主拱间 17 片槽形板全部铺设好后，就开始张拉横梁二次束。桥面系的桁格网结构混凝土也按条带来浇筑，顺序仍为由跨中对称至拱脚，最后由跨中至拱脚按条带铺装桥面铺装钢纤维砼。整个桥面系的架设、铺装加载均严格控制拱肋及主墩墩顶变位，同步完成各阶段水平系杆束和竖向无粘结预应力钢束的张拉。

2.1.4.2 引桥结构形式

引桥总长 782.90m，主桥与两侧引桥间各设一跨 36.20m 预应力砼 T 梁，南、北引桥均采用 18.00m 先张法预应力砼空心板配以隐式盖梁以形成 19.00m 跨径，空心板 4~5 孔为一连续截面、下部采用 Y 形变截面钢筋砼薄壁墩，墩底截面为 240.0×80.0cm，每墩下设两根 Φ 1.20m、相距 3.20m 钢筋砼钻孔灌注桩，通过小型承台与墩身相连，桩尖嵌入微风化泥岩。北引桥 16 孔，南引桥 8 孔，引桥宽 16.00m。

过渡孔采用 36.20m 预应力 T 梁以形成 37.90m 跨径跨过沿江路和滨江路，桥宽 25m，过渡孔与引桥连接处桥墩分别为三柱式和双柱式，柱身直径分别为 1.20m 和 1.50m。

2.1.4.3 匝道结构形式

南岸设 A、B 两条匝道，总长 252.00m，匝道宽 6.50m。匝道采用现浇钢筋砼板梁。

2.1.5 桥梁历年养护、加固改造情况

近年来，管养单位及各有关部门对解放大桥在运营过程中出现的各类病害进行了



检修，对桥梁的景观进行了升级改造，具体情况如下表所示。

表 2.1 历史养护、加固改造情况

序号	管养单位	实施时间	工作内容
1	广州市城投 新三桥管理 有限公司	2004年-至今	日常巡查，线路保障，路面坑槽，伸缩缝更换，护栏涂层等附属设施小修保养工作，未进行过中大修等工程
2		2017年	对全桥混凝土构件裂缝进行封闭、钢筋除锈、混凝土破损进行修补、空心板铰缝不密实处理、混凝土及钢构件涂装、泄水孔疏通及更换、破损伸缩缝更换
3		2017年	刨洗原铺装层 0.5cm，摊铺沥青铺装层 1.5cm
4		2017年	重新设计了桥梁的景观照明
5		2022年	主桥吊杆下锚头底部混凝土胀裂修复

2.1.6 桥梁历年运营情况

2018年4月，管养单位委托相关单位进行吊杆专项检测，检测发现吊杆钢丝较多锈蚀，并选取8根吊杆进行开窗验证发现吊杆均存在锈蚀现象。

2018~2021年，本桥一年一定检，检测结果均为合格。

2022年定期检测，主桥评定为合格，吊杆、系杆评定为D级。上游6"#、下游6"#和下游16"#吊杆下锚头严重锈蚀起皮，吊杆顶部钢构件局部锈蚀。

2023年1月，完成了主桥静动载试验及无损检测工作。

2023年2月，管养单位组织召开“解放大桥吊杆、系杆安全风险评估”专家评审会。专家组认为：根据解放大桥吊杆、系杆病害情况，且使用年限已达25年，应尽快开展维修加固工作。

2023年4月，管养单位组织召开“解放大桥吊杆系杆更换必要性专题论证”专家评审会。专家组意见为：鉴于解放大桥吊杆、系杆使用年限已达25年，且技术状况评定为D级，结合《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/T65-06-2015)对吊杆、系杆使用年限的规定，建议及时对吊杆、系杆进行更换。

2023年9月，管养单位组织召开“解放大桥养护对策专题论证”专家评审会。专家组认为：1、根据解放大桥检测报告及安全评估报告，该桥吊杆、系杆等关键构件存在较大的安全隐患，一旦损坏将可能造成灾难性后果，应及时更换全桥吊杆和系杆，并对全桥进行综合治理，使桥梁恢复到原有技术水平和标准；2、按《城市桥梁养护技术标准》CJJ-2017第2.1.4条并参照相关规范的规定，应按**大修工程**养护对策对解放大桥进行处置。

2023年12月19日，完成主桥系杆、吊杆补充检测工作。

2023年12月25日，广州市中心区交通项目管理中心组织召开解放大桥维护及安

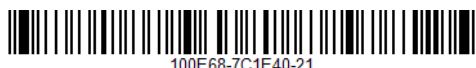


全风险研讨会。专家组意见为：解放大桥通车后使用年限已达 25 年，鉴于吊杆、系杆为系杆拱桥的重要受力构件，根据现有检测报告及安全风险评估报告，下层系杆施工期出现断丝且受力状态不明、防护体系病害严重，吊杆病害较严重且逐年恶化，结构体系具有脆性破坏风险，吊杆、系杆更换具有相互关联性，因此建议尽快启动**大修工程**，更换吊杆、系杆。

2.1.7 桥梁历年检测、安全评估情况

表 2.2 桥梁历史检测、安全评估结果及建议

序号	类型	负责单位	时间	结果/结论	建议
1		/	1998 年	满足设计荷载等级要求	
2	桥梁荷载试验	广州诚安路桥检测有限公司	2022 年	静载：满足《城市桥梁检测与评定技术规范》的要求。 动载：2019 年反对称竖弯基频 2.551Hz，2022 年实测值基频 2.055Hz，与 2019 年相比，频率实测值有所降低，主跨竖弯刚度有所退化。	
3	变形监测	广州港湾工程质量检测有限公司	2017 年	各变形监测点基本稳定正常，未出现突变状况	
4		广州市市维建设工程检测服务中心	2020 年	各变形监测点基本稳定正常，未出现突变状况	
5		广州交投工程检测有限公司	2021~2022 年	桥面、墩柱基础及拱肋结构处于正常工作状态	
6	定期检测	广州市市维建设工程检测服务中心	2018 年	主桥评定为合格； 北引桥 C 级（评分：81.0）；（原因：主梁局部混凝土剥落、露筋，全桥铰缝不饱满） 南引桥 B 级（评分：77.0）	桥梁技术状况评定为合格级，处于合格状态。
7		广州市市维建设工程检测服务中心	2019 年	主桥评定为合格； 北引桥 C 级（评分：79.7）； 南引桥 B 级（评分：84.6）； A 匝道 C 级（评分：79.4）； B 匝道 B 级（评分：84.9）	建议对全桥吊杆进行更换处理。
8		广州市市	2020 年	主桥评定为合格；	建议尽快进行设计咨询



序号	类型	负责单位	时间	结果/结论	建议
9		维建设工程检测服务中心	2021年	北引桥 C 级（评分：79.2）； 南引桥 B 级（评分：87.0）； A 匝道 C 级（评分：87.0）； B 匝道 B 级（评分：87.6）	作吊杆结构安全可靠评估，对吊杆系统进行维修或更换。
		广州交投工程检测有限公司		主桥评定为合格（评分：82.2）； 北引桥 B 级（评分：83.5）； 南引桥 B 级（评分：87.7）； A 匝道 A 级（评分：90.9）； B 匝道 A 级（评分：91.8）	
		广州交投工程检测有限公司		2022年	
11	吊杆索力检测	广州诚安路桥检测有限公司	2019年	吊杆索力测试结果为上游侧南边跨（SN）各吊杆合力为 7948kN，上游侧主跨（SZ）各吊杆合力为 13732kN，上游侧北边跨（SB）各吊杆合力为 8035kN；下游侧南边跨（XN）各吊杆合力为 7921kN，下游侧主跨（XZ）各吊杆合力为 13814kN，下游侧北边跨（XB）各吊杆合力为 8085kN	
12	专项检测	广东盛翔交通工程	2018年	解放大桥吊杆专项检测，发现吊杆钢丝较多锈蚀，	



序号	类型	负责单位	时间	结果/结论	建议
		检测有限公司		并选取 8 根吊杆进行开窗验证发现吊杆均存在锈蚀现象。	
13		广州诚安路桥检测有限公司	2018 年 12 月	1) 水中桩基状况良好; 2) 混凝土强度状况良好; 混凝土电阻率对钢筋锈蚀影响均表现“很慢”; 混凝土碳化深度对钢筋锈蚀无影响	
14		广州诚安路桥检测有限公司	2023 年 1 月	1) 吊杆、系杆被评定为“D”级。一旦失效将造成落梁的严重后果; 2) 吊杆、系杆的锚头技术状况不能全部查明 3) 根据荷载试验和承载能力评定结果, 该桥整体暂无即时性风险	建议及时对主桥吊杆、系杆进行更换, 保证桥梁运营安全。
15		广州广检建设工程检测中心有限公司	2023 年 12 月	1) E-6#吊杆、W-8#吊杆评定标度为 4“严重”其余吊杆评定标度为 3“中等”和 2“轻微”; X-B-3#系杆评定标度为 3“中等”其余系杆评定标度为 2“轻微” 2) E-6#吊杆、E-8#吊杆、W-8#吊杆锈蚀等级为 IV, 其余吊杆锈蚀等级为 I;X-B-3#系杆锈蚀等级为 III, 其余系杆锈蚀等级为 II	针对评定标度为 4“严重”、钢丝劣化等级在 IV(含)以上的吊杆、系杆, 建议委托有资质的加固设计单位进行分析评估, 确定是否进行修复、更换或其他处理措施。
16	安全评估	中交公路规划设计院、广州市交通设计研究院有限公司	2023 年 8 月	索杆无法全面检测和定量分析病害, 断裂风险大; 断索工况下加劲纵梁承载力不足, 结构有脆性破坏风险; 原系杆锚固体系不成熟	建议及时更换吊杆、系杆
17			2023 年 12 月	吊杆锈蚀病害在不断发展中, 风险较大, 且在不断恶化	

2.1.8 桥梁最新定期检测结果

根据广州公路工程集团有限公司、广州交投工程检测有限公司于 2023 年 10 月 15 日出具的《新三桥（解放桥、江湾桥、鹤洞大桥）综合管养桥梁检测项目 解放大桥 2023 年常规定期检测报告》，全桥结构主要存在以下病害或缺陷：

2.1.8.1 主桥

桥面系

1) 桥面铺装



桥面铺装整体状况良好，存在 1 处坑槽，面积 0.01m²。



图 2.15 桥面铺装破损修补状况良好

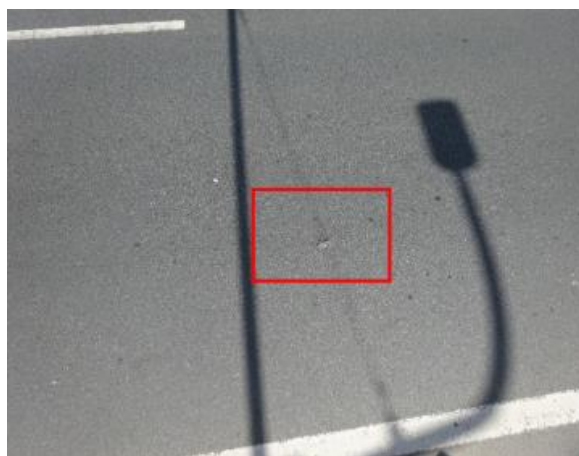


图 2.16 桥面铺装坑槽

2) 桥面铺装

检查发现 6 道伸缩缝泥沙堵塞。



图 2.17 1#伸缩缝泥沙堵塞



图 2.18 2#伸缩缝泥沙堵塞



图 2.19 3#伸缩缝泥沙堵塞



图 2.20 6#伸缩缝泥沙堵塞

上部结构

(1) 吊杆

抽检的主跨上游 6"#、下游 6"#和下游 16"#吊杆下导管严重锈蚀起皮，推测全桥



吊杆均存在此类病害；吊杆顶部钢构件局部锈蚀筋，吊杆下锚头密封圈老化。



图 2.21 18#跨上游 8#吊杆下锚头密封圈脱落



图 2.22 19#跨下游 6"#吊杆下导管严重锈蚀



图 2.23 19#跨下游 7"#吊杆下锚头密封圈老化



图 2.24 20#跨下游 16"#吊杆下导管严重锈蚀

(2) 拱肋

拱脚耳肋处照明装饰钢板存在轻微渗水变色；以上往年病害未见明显发展。新发现部分拱肋面漆老化脱落。



图 2.25 18#跨上游南侧拱肋面漆脱落



图 2.26 20#跨下游南侧拱肋涂层脱落

(3) 加劲纵梁

加劲纵梁存在锈胀露筋、混凝土剥落，横裂、竖裂、水平裂缝、L型以及U型裂



缝 49 条，长 0.20~1.70mm，缝宽 0.10~0.40mm，裂缝主要位于靠近横梁后浇段位置，部分裂缝超限；网裂 1 处，面积 0.12m²，缝宽 0.12mm。



图 2.27 18#跨 2#主纵梁砼剥落



图 2.28 19#跨 1#主纵梁锈胀露筋

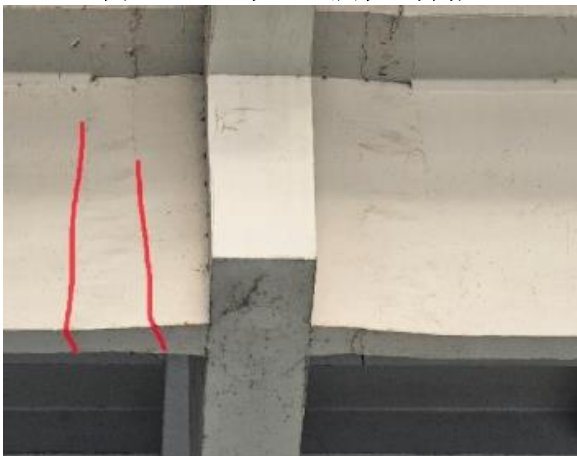


图 2.29 20-2-2#大纵梁 U 型裂缝



图 2.30 20-1-3#大纵梁底面横裂



图 2.31 20-1-6#、7#大纵梁 U 型裂缝



图 2.32 21-1-8#大纵梁网裂

(4) 支座偏位

19#、21#墩顶采用圆形板式橡胶支座。经检查发现 5 个支座存在偏位现象。





图 2.33 21-21-1#支座偏位



图 2.34 21-21-24#支座偏位

下部结构

(1) 盖梁

盖梁存在 3 处渗水，新增 2 处涂层剥落、开裂。



图 2.35 19#墩盖梁底部锈胀露筋



图 2.36 21-20#墩盖梁涂层剥落、开裂

(2) 墩柱

检查发现 18#~20#墩柱存在 6 条竖向裂缝，缝宽介于 0.10~10.00mm 之间，总长 20.20m。2 处混凝土剥落、锈胀露筋，总面积 0.27m²。



图 2.37 19-1#柱竖向裂缝





图 2.38 19-2#墩锈胀露筋



图 2.39 18#防护墩锈胀露筋



图 2.40 19#防护墩锈胀露筋



图 2.41 19#墩底部不锈钢薄板脱落

(3) 基础

因条件限制，该桥的墩台基础未作检查。从该桥的墩台身未发现有明显的滑移、沉降差异等现象，未发生明显不均匀沉降等病害。

2.1.8.2 南引桥

桥面系

检查发现全桥伸缩缝普遍存在泥沙堵塞现象。



图 2.42 L1#伸缩缝泥沙堵塞



图 2.43 L9#伸缩缝泥沙堵塞



上部结构

(1) 主要承重构件

南引桥上部结构采用预应力砼空心板梁+预应力 T 梁+现浇钢筋砼板梁。

本次检查发现梁体存在 2 处砼剥落、露筋等混凝土外观缺损，15 处涂层剥落、起皮。



图 2.44 3#跨 26#板梁涂层剥落

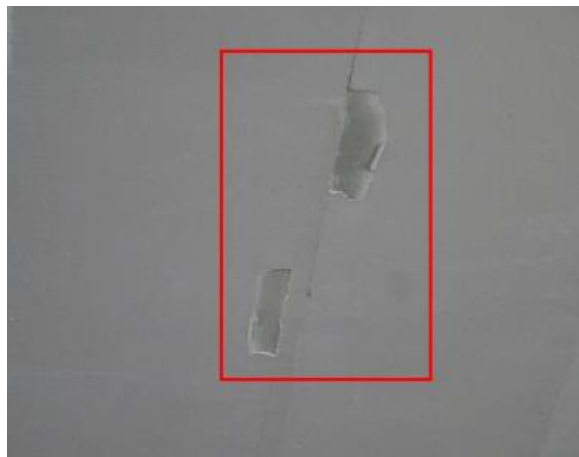


图 2.45 4#跨 7#板梁涂层剥落



图 2.46 4#跨 18#板梁涂层剥落



图 2.47 4#跨 4#板梁变色起皮

(2) 一般承重构件

本次检查发现铰缝存在 3 处渗水痕迹、1 处勾缝不饱满、1 处剥落露筋。

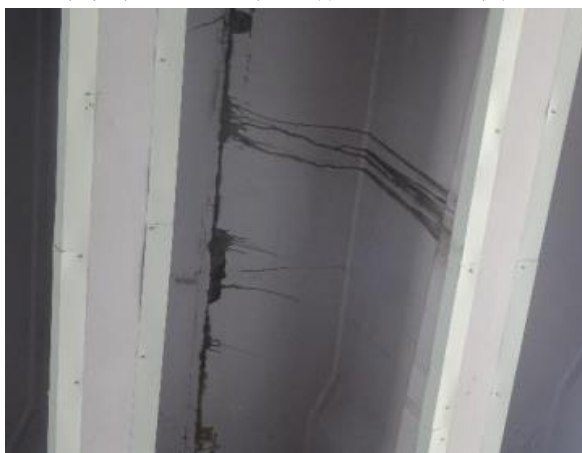


图 2.48 1#跨 1-8-6#铰缝渗水痕迹

图 2.49 9#跨板梁铰缝填充料脱落

(3) 支座

该桥采用板式橡胶支座，检查发现 2 个支座杂物包裹；1 个支座轻微老化开裂；1 个支座垫石破损；1 个支座存在滑移。



图 2.50 6-5-1#支座垫石破损



图 2.51 6-5-24#支座轻微老化开裂

下部结构

1) 墩台

检查发现墩台存在 6 处渗水痕迹、3 处剥落总面积 0.31m²。



图 2.52 1#盖梁砼剥落



图 2.53 2#盖梁渗水痕迹

2) 基础

因条件限制，该桥的墩台基础未作检查。从该桥的墩台身未发现有明显的滑移、沉降差异等现象，未发生明显不均匀沉降等病害。

2.1.8.3 北引桥

桥面系

检查发现存在 8 道伸缩缝泥沙堵塞，1 道伸缩缝止水带破损、脱落，1 道伸缩缝锚固区咬边。





图 2.54 1#、2#伸缩缝锚固区咬边



图 2.55 9#伸缩缝止水脱落

检查发现排水设施 10 处泄水孔泥沙堵塞已清理；存在 2 处泄水孔盖板脱落、堵塞。



图 2.56 L8#跨泄水孔盖板脱落、堵塞上部结构



图 2.57 L15#跨泄水孔盖板脱落、堵塞

(1) 主要承重构件

本次检查发现存在 1 处砼剥落，面积 0.04m^2 。

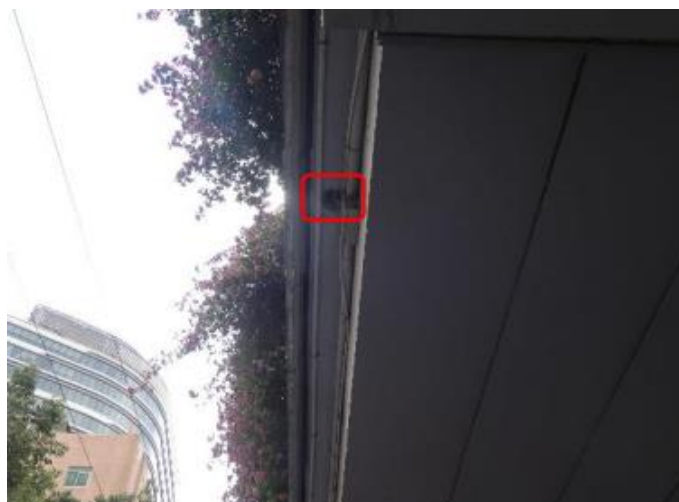


图 2.58 4#跨梁翼板砼剥落



(2) 一般承重构件

检查发现北引桥 17#跨铰缝存在 2 处渗水痕迹，1#、3#~16#跨预应力砼空心板梁均存在铰缝勾缝不饱满现象。



图 2.59 铰缝勾缝不饱满

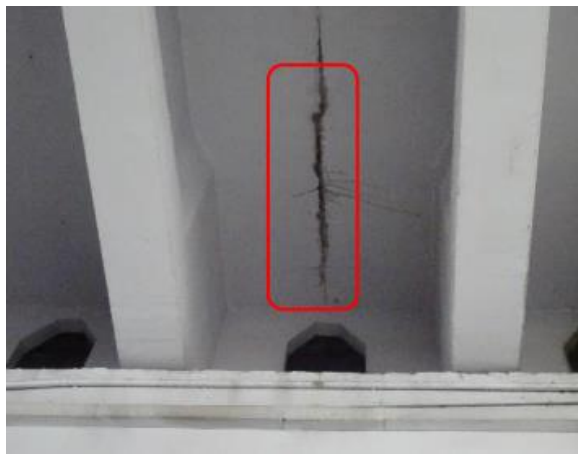


图 2.60 17-3#铰缝渗水痕迹

(3) 支座

该桥采用板式橡胶支座，检查发现支座状况良好，未见明显病害。

下部结构

1) 墩台

检查发现盖梁存在 4 处露筋锈蚀总面积 0.18m^2 ；4 处砼剥落，总面积 0.26m^2 ；7 处渗水痕迹；1 处刮蹭，总面积 3.00m^2 。

墩柱 1 处锈胀露筋，总面积 0.24m^2 ；墩柱存在 26 条环向裂缝，总长 40.20m ，缝宽 $0.04\sim 0.12\text{mm}$ ；桥台引道挡墙存在 5 条竖向裂缝，总长 4.5m 。



图 2.61 3#盖梁混凝土破损

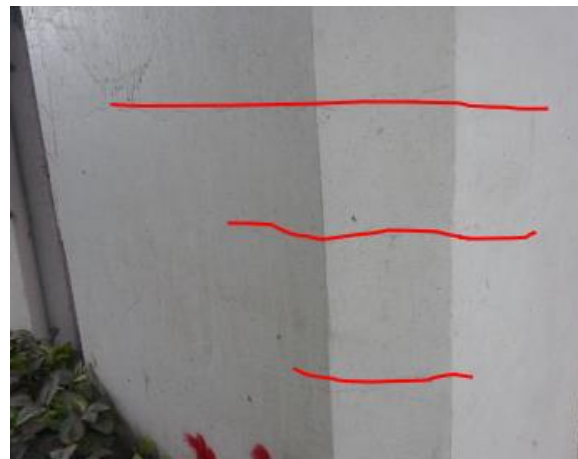


图 2.62 6#墩横向裂缝





图 2.63 7#墩环向裂缝

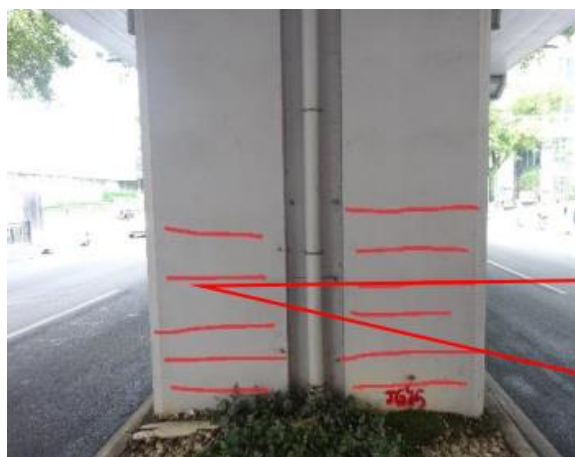


图 2.64 8#墩小桩号侧底部环向裂缝

2) 基础

因条件限制，该桥的墩台基础未作检查。从该桥的墩台身未发现有明显的滑移、沉降差异等现象，未发生明显不均匀沉降等病害。

2.1.8.4 A 匝道

桥面系

检查发现 2 道伸缩缝普遍存在泥沙堵塞现象。



图 2.65 1#伸缩缝泥沙堵塞



图 2.66 2#伸缩缝泥沙堵塞

上部结构

(1) 主要承重构件

本次检查发现梁体存在 9 条横向裂缝，缝宽 0.04~0.10mm，总长 14.60m。





图 2.67 2#跨右翼板横向裂缝伴析白



图 2.68 4#跨梁底板横向裂缝

(2) 支座

该桥采用板式橡胶支座（桥台）和盆式橡胶支座（桥墩），本次检查发现支座状况良好，未见明显病害。

下部结构

1) 墩台

本次检查发现桥台挡墙竖向裂缝已修补，修补状况良好。

2) 基础

因条件限制，该桥的墩台基础未作检查。从该桥的墩台身未发现有明显的滑移、沉降差异等现象，未发生明显不均匀沉降等病害。

2.1.8.5 B 匝道

桥面系

检查发现全桥 1 道伸缩缝普遍存在泥沙堵塞现象。



图 2.69 0#墩顶伸缩缝泥沙堵塞

上部结构

(1) 主要承重构件

B 匝道上部结构采用现浇钢筋砼箱梁。本次检查发现上部结构状况良好，未见明显病害。



(2) 支座

经检查发现 1 个支座纵向剪切、1 个支座中度老化开裂。



图 2.70 4-1#支座中度老化



图 2.71 5-2#支座纵向剪切

下部结构

1) 墩台

检查发现桥台挡墙竖向裂缝已修补，新发现桥墩存在 1 处开裂破损，面积 0.24m^2 ；1 处锈胀露筋，面积 0.24m^2 ；1 处涂层剥落，面积 4.00m^2 ；1 条环向裂缝，长度 0.90m ，宽度 0.06mm 。



图 2.72 0#墩底部开裂破损



图 2.73 2#墩锈胀露筋、环裂

2) 基础

因条件限制，该桥的墩台基础未作检查。从该桥的墩台身未发现有明显的滑移、沉降差异等现象，未发生明显不均匀沉降等病害。

2.1.9 桥梁历年结构性能检测情况

2.1.9.1 荷载试验

根据 2023 年 1 月由广州诚安路桥检测有限公司出具的《新三桥桥梁结构定期检



测项目解放大桥主桥荷载试验检测报告》，结构性能评估如下。

荷载工况：

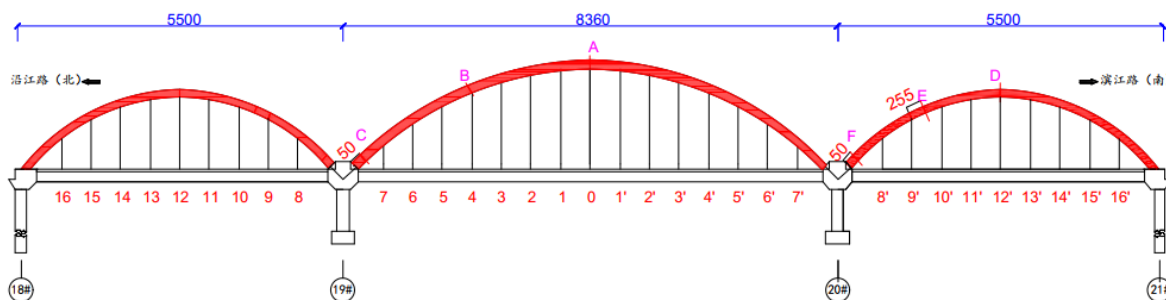


图 2.74 解放大桥荷载试验各工况控制截面布置示意图 (cm)

表 2.3 试验工况

工况	试验目的	加载载位	测试内容
一	中载,使主拱拱顶A截面达到最大正弯矩加载效率	载位 1: ①+②号加载车; 载位 2: ①+②+③+④号加载车; 载位 3: ①+②+③+④+⑤号加载车; 载位 4: ①+②+③+④+⑤+⑥号加载车; 卸载。	①主拱拱顶 A 截面应力; ②主拱挠度和主梁挠度; ③部分吊杆拉力;
二	偏载,使主拱拱脚C截面达到最大负弯矩加载效率;同时使主拱1/4L处B截面达到最大正弯矩加载效率	载位 1: ①+②号加载车; 载位 2: ①+②+③+④号加载车; 载位 3: ①+②+③+④+⑤号加载车; 载位 4: ①+②+③+④+⑤+⑥号加载车; 卸载。	①主拱 B 截面和 C 截面应力; ②主拱挠度和主梁挠度; ③部分吊杆拉力;
三	偏载时,使边拱拱顶D截面达到最大正弯矩加载效率	载位 1: ①+②号加载车; 载位 2: ①+②+③号加载车; 载位 3: ①+②+③+④号加载车; 卸载。	①边拱拱顶 D 截面应力; ②边拱挠度和主梁挠度; ③部分吊杆拉力;
四	偏载时,使边拱拱脚F截面达到最大负弯矩加载效率;同时使边拱3/4L处E截面达到最大正弯矩加载效率	载位 1: ①+②号加载车; 载位 2: ①+②+③号加载车; 载位 3: ①+②+③+④号加载车; 卸载。	①边拱 E 截面和 F 截面应力; ②边拱挠度和主梁挠度; ③部分吊杆拉力;

荷载试验结论：

解放大桥主桥在试验荷载作用下，工况一主拱拱顶 A-A 控制截面挠度校验系数在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数常值范围内，应变（应力）校验系数在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数常值范围内。

工况二主拱拱脚 C-C 截面平均应变交验系数小于在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数下限值，主拱 L/4 处 B-B 截面平均应变校验系数在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数常值范围内。

工况三边拱拱顶 D-D 截面平均应变校验系数和挠度校验系数均在《城市桥梁检



测与评定技术规范》中相应的校验系数常值范围内。

工况四边拱拱脚 F-F 截面平均应变小于在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数下限值，3L/4 处 E-E 截面平均应变交验系数均在《城市桥梁检测与评定技术规范》中相应的校验系数常值范围内。

各工况的实测挠度、位移与应变的残余变形系数均小于 20%，满足《城市桥梁检测与评定技术规范》的要求。

静载试验过程中所监测原有裂缝未见明显发展，也未见新的裂缝产生。

(2) 桥梁动载试验结果

跳车激振试验中，主跨面内二阶对称竖弯实测自振频率小于理论计算值，其余实测频率值均大于理论值。与 2019 年相比，频率实测值有所降低，表明主跨竖弯刚度有所退化。

2.1.9.2 吊杆索力检测

根据 2023 年 1 月由广州诚安路桥检测有限公司出具的《新三桥桥梁结构定期检测项目解放大桥结构专项检测报告》，吊杆索力检测结果如下。

上游侧边拱吊杆索力介于 754kN~1297kN 之间，中拱吊杆索力介于 853kN~1184kN 之间，中拱（S-7'#和 S-7#）吊杆索力较中拱其他吊杆索力较低。边拱（S-16'#、S16#和 S-8'#、S-8#）吊杆索力较边拱其他吊杆索力较低。上游侧南边跨（SN）各吊杆合力为 7633kN，上游侧主跨（SZ）各吊杆合力为 11566kN，上游侧北边跨（SB）各吊杆合力为 8075kN。

下游侧边拱吊杆索力介于 822kN~1420kN 之间，中拱吊杆索力介于 813kN~1197kN 之间，中拱（S-7'#和 S-7#）吊杆索力较中拱其他吊杆索力较低。边拱（X-16'#、X16#和 X-8'#、X-8#）吊杆索力较边拱其他吊杆索力较低。下游侧南边跨（XN）各吊杆合力为 7892kN，下游侧主跨（XZ）各吊杆合力为 11858kN，下游侧北边跨（XB）各吊杆合力为 7983kN。上下游侧吊杆索力存在差异可能由于两次测量的时的温度差异引起。上下游对称吊杆索力差值在 10kN~227 kN 之间，南北侧对称吊杆索力差值在 13kN~221kN 之间，对称吊杆索力差值较大主要集中在短吊杆位置。



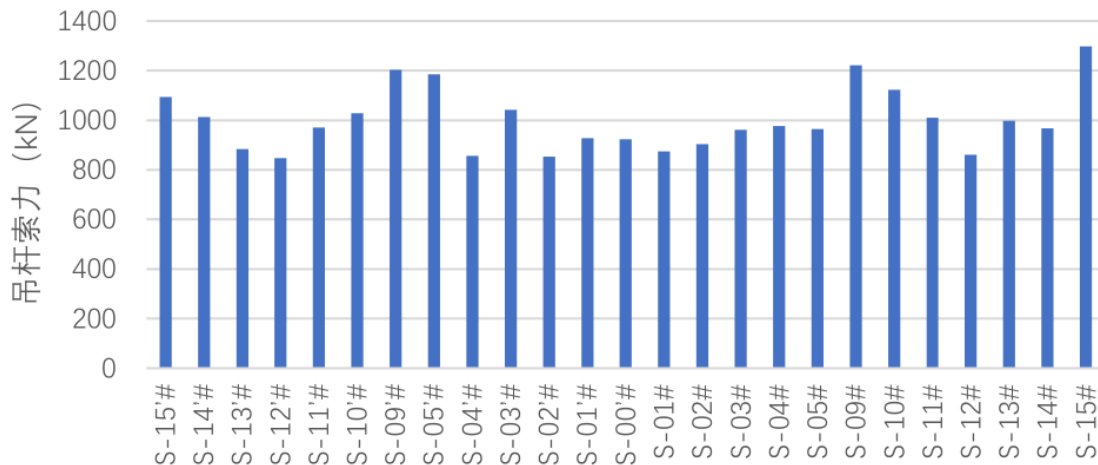


图 2.75 2022 年解放大桥上游侧吊杆实测索力 (kN)

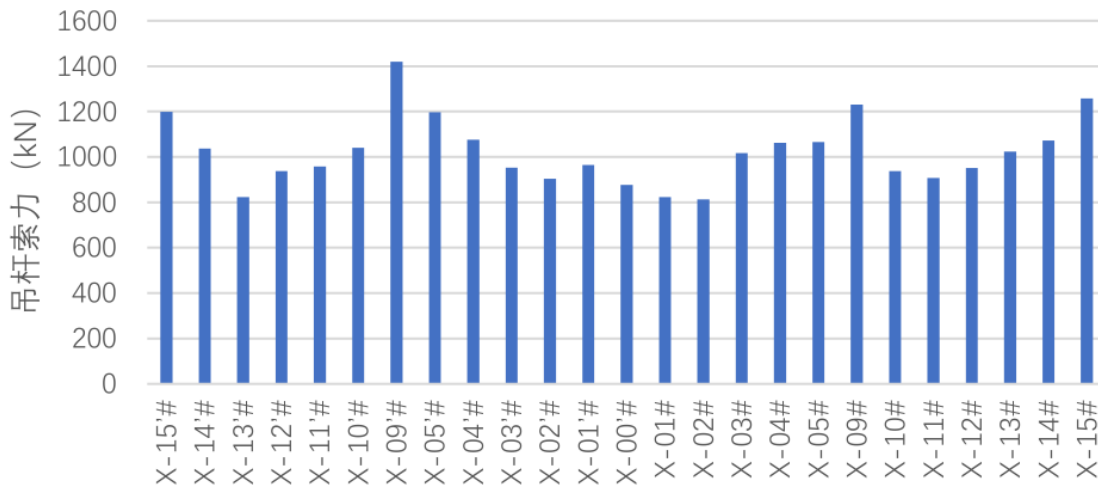


图 2.76 2022 年解放大桥下游侧吊杆实测索力 (kN)

结合部分吊杆分别在 1998 年解放大桥荷载试验时、2022 年通车状态下及 2022 年荷载试验（人行道盖板封闭）时所实测的索力进行比对，近年荷载试验索力测试均按照现行规范进行，且索力结果均已进行抗弯刚度修正，但考虑到 1998 年至今，人行道在此期间经过多次翻修，2022 年通车状态下监测索力时人行道盖板处于拆除状态，而 2022 年进行荷载试验时人行盖板已全部重新浇筑完毕（影响吊杆长度范围约 0.70m），三次监测时吊杆边界条件存在差异，但差异值和索力值均在正常范围内。

表 2.4 部分吊杆索力对比表



序号	吊杆编号	1998年荷载试验 实测索力 (kN)	2022年通车下实测 索力 (kN)	2022年荷载试验空载 下实测索 (kN)
1	S-2#	619	904	977
2	S-1#	600	875	906
3	S-0#	631	923	950
4	S-1'#	615	928	988
5	X-2#	620	813	874
6	X-1#	599	823	928
7	X-0#	634	877	969
8	X-1'#	616	964	978
9	S-10'#	579	1028	1057
10	S-11'#	642	970	1042
11	S-12'#	627	848	987
12	S-13'#	600	883	936
13	X-10'#	579	1040	1077
14	X-11'#	641	958	1103
15	X-12'#	626	937	960
16	X-13'#	598	823	971

结论：本次索力检测结果不能准确反映实际索力，但可为后续运营提供对比和参考。

2.1.9.3 承载能力评定

根据 2023 年 1 月由广州诚安路桥检测有限公司出具的《新三桥桥梁结构定期检测项目解放大桥结构专项检测报告》：

- 1、混凝土结构无损检测：
 - 1) 混凝土保护层厚度：共检测 20 个构件，其中 9 个实测保护层对钢筋耐久性有轻度影响，2 个构件实测保护层厚度对钢筋耐久性有影响；
 - 2) 钢筋锈蚀点位评定：共检测 20 个构件，其中 3 个构件钢筋锈蚀情况不确定，可能存在坑蚀；
 - 3) 混凝土抗压强度、碳化深度、电阻率检测结果较好，未见异常。
- 2、吊杆检测：
 - 1) 外观：30 根吊杆 PE 护套存在 30 处不同程度的刮伤；
 - 2) 开窗检测：X-07#吊杆与 2018 年相比，钢丝锈蚀面积增加约 30%，锈蚀状况出现明显发展，评定为“严重”；X-12#和 S-4#评定为“中等”；S-11#评定为“轻微”；
 - 3) 下锚头开窗检测“下游侧 X-16#墩头 36 根钢丝墩头重度锈蚀，严重锈蚀率约



41%；X-16'墩头 14 根钢丝墩头重度锈蚀，严重锈蚀率约 16%，S-16#、S-6'#、X-16#、X-16'#锚板表面潮湿且均存在大面积锈蚀情况。

不排除其他吊杆锚头存在大面积锈蚀现象。

3、系杆检测：

1) 外观：32 根系杆 PE 存在 288 处不同程度的划痕、PE 环裂。其中上游南边跨 4#系杆环裂多达 57 处；

2) 开窗检测：上游南边跨 4#系杆索内钢丝表面锈斑占表面积 40%，下游南边跨 3#系杆内钢丝表面锈斑占表面积 60%，缺损标度均评为“严重”。

3) S-B-4#、S-B-6#系杆存在异常晃动现象。

4、拱肋检测

1) 钢管拱与内部混凝土结合部位普遍存在脱空现象，脱空位置集中于上拱肋；

2) 拱轴线型未见明显异常。

5、承载能力检算

1) 横梁承载能力满足规范要求；

2) 吊杆、系杆承载能力评定满足规范要求；

3) 吊杆失效后不落梁能力不满足规范要求；

4) 主拱承载能力：轴心受压承载力满足要求；

6、结论：

综合解放大桥主桥结构检测、荷载试验和常规定期检测结果，该桥吊杆、系杆被评定为“D 级”，一旦失效将造成落梁的严重后果。同时，由于该桥吊杆、系杆的特殊构造，无法对系杆和吊杆所有锚头进行接触式检测，系杆和吊杆锚头技术状况不能全面查明，不能满足《公路桥涵设计通用规范》（JTGD60-2015）第 3.1.8 条“可到达、可检查、可维修和可更换”的要求。根据荷载试验和承载能力评定结果，该桥整体暂无即时性风险。

2.1.10 检测结论与建议

(1) 2023 年 10 月 15 日出具的《解放大桥 2023 年常规定期检测报告》

解放大桥主桥技术状况评定等级为 C 级，南引桥技术状况评定等级为 B 级，北引桥技术状况评定等级为 B 级，A 匝道桥技术状况评定等级为 B 级，B 匝道桥技术状况评定等级为 A 级。整体技术状况评定为 C 级。

建议：

1、建议及时启动大修工作，对主桥吊杆和系杆等“D 级”构件进行更换或维修，



保证桥梁运营安全；

2、按照现行《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99-2017）中有关规定进行养护管理，加强日常巡查和监测工作，保证桥梁结构的安全性和耐久性，为运营和维修工作提供参考和依据，及时处治桥梁既有病害。

（2）2022年11月28日出具的《解放大桥常规定期检测报告》

根据《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99-2017），解放大桥主桥技术状况评定等级为C级，南引桥技术状况评定等级为B级，北引桥技术状况评定等级为B级，A匝道桥技术状况评定等级为B级，B匝道桥技术状况评定等级为A级。整体技术状况评定为C级。

建议：

1、建议及时启动维修加固工作，对主桥吊杆和系杆等“D级”构件进行更换或维修，对桥梁结构稳定性进行专项评估，保证桥梁运营安全；

2、按照现行《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99-2017）中有关规定进行养护管理，加强日常巡查和监测工作，保证桥梁结构的安全性和耐久性，为运营和维修工作提供参考和依据。

2.2 规划政策符合性

本项目为既有桥梁维修加固工程，未新增用地，不改变原项目性质，符合规划要求。

2.3 项目建设必要性

2.3.1 国内外系杆拱桥坍塌案例

2.3.1.1 国内外系杆拱桥坍塌案例统计

表 2.5 部分国内外桥梁索杆破损事故统计表

桥名	建成时间	事故时间	事故主要原因
江苏常州运河大桥	1997年	2007-05-14	吊杆锈蚀
南平市玉屏山大桥	1996年	2010-01-11	吊杆锈蚀、超载
新疆孔雀河大桥	1998年	2011-04-12	吊杆锈蚀、超载
四川宜宾小南门桥	1990年	2011-11-07	吊杆锈蚀、超载
意大利莫兰迪大桥	1968年	2018-08-14	吊杆锈蚀
台湾南方澳大桥	1998年	2019-10-01	吊杆锈蚀



2.3.1.2 国内外系杆拱桥坍塌案例

台湾观音坑溪桥垮塌事故

2023年4月21日，中国台湾省新北市五股区河提边正在施工修缮的观音坑溪桥，在进行第二根吊索更换时突然发生桥梁断裂，导致桥上施工车辆掉落侧翻3名工人当场摔伤。

据了解，观音坑溪桥是一座自行车道桥。该桥连接五股区湿地与狮子头景观公园，是自行车通往八里、淡水的重要桥梁。新北市政府高滩地工程管理处长张修铭表示，桥梁启用已有17年，长久日晒雨淋导致桥梁吊索、桥板支承垫已出现严重生锈情况。为提升五股观音坑溪桥自行车道安全，新北市政府高滩地工程管理处实施五股观音坑溪桥改善工程，规划桥梁结构系统性更新、更换栏杆等，事发时工人们正在对桥梁进行吊索抽换作业。



图 2.77 新北市观音坑溪桥断裂

台湾南方澳大桥意外垮塌事故

2019年10月1日，台湾某大桥发生意外垮塌事故，一辆油罐车随桥掉落水中，事故已造成十余人伤亡。发生垮塌事故的大桥为亚洲第一座双叉式单拱桥。桥长140米，桥宽15米，桥下至海面高度18.5米，桥面至拱顶25.27米。桥梁已经服役达20年，桥梁为系杆拱结构。





图 2.78 台湾南方澳大桥意外垮塌事故

宜宾小南门桥事故

宜宾小南门桥主桥系中承式钢筋混凝土肋拱桥，矢跨比 1/5，是建桥当时国内跨径最大的钢筋混凝土拱桥，中部 180m 范围为钢筋混凝土连续桥面。2001 年 11 月 7 日凌晨 4 点，从四川南部宜宾进入云南的咽喉要道宜宾南门大桥发生悬索及桥面断裂事故，桥两端同时塌陷，造成交通及市外通讯中断。事故是连接拱体和桥面预制板的 4 对 8 根钢缆吊杆断裂，北端长约 10 米、南端长 20 余米的桥面。预制板发生坍塌。两边的断裂处都是在主桥与引桥的结合点，恰恰也是吊桥动态与静态的结合点。因受力不均，一边垮塌后，使桥面的支撑力发生波浪形摆动，造成另一边也垮塌。



图 2.79 宜宾小南门桥事故

2.3.1.3 坍塌案例分析

根据调查统计，系杆拱桥索杆使用年限一般不超过 25 年。

系杆拱桥坍塌事故多数由吊杆断裂引起，吊杆断裂呈突发、无征兆状态，引起的拱桥坍塌为脆性破坏。

2.3.2 国内系杆拱桥索杆更换统计

2.3.2.1 国内系杆拱桥索杆更换统计



表 2.6 部分国内桥梁索杆更换一览表

桥名	更换原因	更换年份	使用年限
合肥寿春路桥	吊杆钢丝全面腐蚀	2002	14
武汉彩虹桥	系杆断裂，承载力不足	2003	3
四川沙湾大渡河桥	吊杆 PE 老化，钢绞线严重锈蚀	2004	5
成渝高速内江新龙坳桥	吊杆 PE 破损，钢丝锈蚀	2006	12
柳州文慧桥	吊杆钢丝锈蚀，下锚头逐水并锈蚀	2008	14
福州解放大桥	吊杆锚头部分钢丝断裂，腐蚀严重	2009	13
武义温泉大桥	吊杆锈蚀，主拱肋细小裂纹	2011	12
余姚舜水大桥	锚箱、封锚板等锈蚀	2012	10
浙江建德新安江彩虹桥	吊杆护套老化，锚头钢丝锈蚀	2013	19
重庆李家沱长江大桥	锚头渗水、PE 保护套损伤等	2018	21
武汉晴川大桥	系杆断裂，承载力不足	2002	2
绵阳飞来石大桥	系杆锈蚀严重	2014	15
绵阳涪江三桥	系杆钢绞线锈蚀，局部漏油	2017	13
佛陈大桥	系杆锈蚀严重	2001	6
三山西大桥	系杆锈蚀严重	2008	13

2.3.2.2 国内钢管砼系杆拱桥索杆更换案例

1) 绵阳市涪江三桥建成于 1997 年 10 月，是 20 世纪 90 年代国内系杆拱桥的代表，主桥跨径为 46m+202m+46m，为当时亚洲跨径最大的中承式（飞燕式）系杆拱桥。该桥系杆永久锚固于边跨端横梁处，锚固长度达 16.8m。

原桥系杆为了避免与主拱肋弦杆、边拱肋相交，造成节点受力和构造复杂化，采用飘浮式的柔性结构物-高强钢丝束，配合大吨位锚具，将钢丝束锚于两边跨的端横梁上。系杆数量为 32 束，分上、下游设置，每束为强度 1860MPa 的高强低松弛预应力钢绞线，利用 OVM15-19 锚具将钢丝束永久锚于两边跨端横梁上，锚固长度为 16.8m。除锚固段外，其余系杆部分均为裸露钢绞线，连同其保护钢箱置于桥道板上，其外再包以混凝土，成为永久保护（箱内填以黄油麻絮）。

“5.12”大地震后，该桥因震害和主要受力构件病害，于 2010 年对全桥进行了大修，并对吊杆进行更换。由于系杆设计为永久系杆，建桥时系杆在锚固后进行了孔道压浆，锚固长度达到 16.8m，无法将系杆从原孔位拔出进行更换，系杆病害一直未能得到有效处治。



2015年9月对涪江三桥进行适应性评定检测，检测单位相关结果显示，在长期的运营下桥梁各构件已出现不同程度的病害，特别是水平系杆病害较为严重，已严重威胁桥梁的整体安全；另一方面，该桥系杆已接近现行规范规定的20年使用年限，所以必须对该桥进行系杆更换。

涪江三桥于2017年采用了原位更换的方案对全桥系杆进行更换。

2) 武汉晴川桥南接汉阳区南岸嘴，北连硚口区汉正街，于2001年建成通车。该桥主桥为跨度280m的下承式钢管混凝土系杆拱桥，主桥桥面设双向4车道，净宽15m，两侧设人行道，净宽 $2\times 2.0\text{m}$ ；设计车速40km/h，设计荷载汽车-20级，挂车-100，人群荷载 3.5kN/m^2 ，桥下通航按内河三级航道考虑。

为平衡拱脚水平推力，2个钢管拱的拱座承台间布置40根系杆，上、下游各20根对称布置，其中36根系杆采用19股 $7\phi 5$ 高强钢绞线，4根系杆采用13股 $7\phi 5$ 高强钢绞线。钢绞线标准极限强度1860MPa，外缠有PVF带和热挤PE，PVE带内包防锈油脂，以防钢绞线锈蚀。

该桥建成2年后，下游23#系杆、上游11#系杆相继断裂，相关单位立即对23#、11#系杆进行了更换。

为保证桥梁结构安全，在两岸拱座承台处浇筑混凝土台座，安装12根应急系杆，应急系杆采用12— $7\phi 5$ 钢绞线，标准极限强度为1760MPa。并将应急系杆张拉至10%的极限张拉力。12根应急系杆在上、下游拱座处对称布置，每座拱座两侧各对称布置3根。应急系杆主要有2个功能：①利用张拉应急系杆代替断裂系杆，防止其它系杆再次断裂；②在更换系杆时，张拉部分应急系杆(张拉力相等原则)作为临时索替代更换系杆以确保结构安全。

系杆意外断裂后，业主多次组织桥梁、结构、金属、腐蚀方面专家分析桥梁结构工作状况，研究桥梁修复方案，研究认为剩余38根系杆的工作环境与23#、11#系杆的工作环境相同，为确保桥梁安全，对剩余系杆予以更换。

晴川桥于2002年对全桥系杆进行更换。

2.3.2.3 广东地区钢管砼系杆拱桥索杆更换案例

1) 高明大桥旧桥于1991年11月建成通车，随着使用年限的增加，结构技术状况不断下降，桥梁构件出现了较多的病害，如钢筋锈蚀、混凝土开裂等耐久性病害较



为普遍。主跨为(2×110)m中承式钢管混凝土拱桥,全桥共设18对吊杆,原吊杆采用5-109高强碳素钢丝束,采用现场镦头锚。原吊杆检查及更换难度较大。根据其2011年常规检测报告显示,第6孔下游侧的5#吊杆索力与上一次检测相比变化了63.2kN,变化幅度约为11%。同时鉴于吊杆基本达到了20年使用年限,为满足日益增加的交通荷载需求,2016年对全部吊杆进行了更换。



图 2.80 高明大桥旧桥

2)佛陈大桥于1994建成通车,主桥为112.8m下承式钢管混凝土系杆拱桥,共设21对吊杆,原吊杆采用SNS/S-85-7镀锌钢丝挤包双护层扭绞型成品拉索,上端采用LZM85IJ-7型冷铸镦头锚锚于拱肋上管内锚板,下端采用自行设计的镦头锚锚于横梁内。

1999年3月经检测发现原水平系杆部分索已腐蚀,2000年6月进而发现水平系杆断丝严重时,及时封桥,进行全面的加固维修。在拱脚桥面处原水平系杆之上增设水平系杆以替换原水平系杆,新增水平系杆通过与钢管混凝土拱肋相连接的钢锚箱张拉水平力。

2009年11月,对佛陈大桥的技术状况进行检测,发现吊杆保护层部分出现老化现象,部分锚头部分锈蚀严重。于2010年,对右20#吊杆进行更换处理。2012年通过对吊杆安全评估,在恒载作用下,对比计算索力与实测索力,实测索力右高左低,其中4对吊杆受力差异极大。由于原吊杆不具备可检可修可换条件,虽然吊杆受力安全系数满足规范要求,但吊杆基本达到20年使用年限。为确保桥梁安全运营,2017年对主桥吊杆全部进行了更换。





图 2.81 佛陈大桥

2.3.2.4 系杆拱索杆更换案例分析

综合系杆拱桥换索案例，吊杆病害有钢丝锈蚀、PE 护套开裂破损、锚具锈蚀等；系杆有钢丝锈蚀、PE 护套开裂破损等。从更换时间的统计数据来看，桥梁索杆的使用年限为 3~24 年，很少超过 25 年。

从广东地区两座更换吊杆桥梁案例来看，通过检测评定计算确定吊杆受力安全系数虽然满足规范要求，但综合考虑了以下潜在问题：（1）钢丝表观锈蚀的定性检测缺乏锈蚀程度及锈蚀速率相关数据；（2）吊杆/系杆锈蚀面积、未锈蚀区域的实际强度等缺乏准确资料；（3）早年设计理念不足，导致索杆检修难度大，难以定期全面检修；（4）交通荷载需求日益增加，这些都成桥梁的风险源。为避免桥梁结构发生灾难性的突发破坏事故，造成极为惨重的经济损失和恶劣的社会影响，最终做出更换吊杆决策。

吊杆和系杆的断裂呈脆性破坏，一旦吊杆、系杆断裂，将会引起桥面局部坍塌或桥梁整体垮塌，造成人民生命财产损失，后果难以挽回。针对达到设计使用年限索杆体系桥梁，结合检测病害严重程度，业界从预防事故发生的角度出发，对病害处置采取更换索杆措施，这为解放大桥的索杆病害治理提供了参考意义。

2.3.3 解放大桥现状分析及养护对策

2.3.3.1 系杆拱结构受力特点分析

解放大桥为下承式刚架系杆拱桥，拱肋与桥墩固结。桥面系为弱纵梁体系。



解放大桥传力路径为：恒载活载等桥面系竖向荷载→横梁→吊杆→拱肋→系杆和桥墩。拱肋产生推力，推力竖向分力传递给桥墩，推力水平推力大部分由系杆拉力平衡，少部分由桥墩承担。

吊杆受力特点：承担桥面系竖向荷载，无替代传力路径，一旦失效，荷载分散到旁索，旁索拉力增大到不可承受之时，且纵梁强度不足，结构有连续落梁风险。

系杆受力特点：平衡拱肋水平推力，无替代传力路径，一旦截面削弱或失效，桥墩承担比例增大，桥墩为单排桩，抗推性能差，结构有全面倒塌的风险。

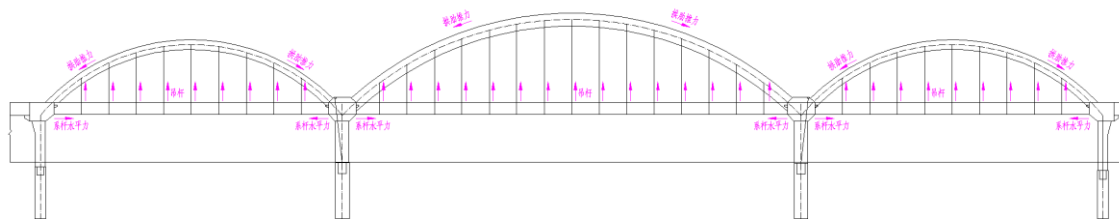


图 2.82 系杆拱桥传力路径示意

综上，吊杆、系杆是系杆拱桥最重要的受力构件。

2.3.3.2 解放大桥现状

1) 吊杆

吊杆病害主要包括两个方面，一是运营多年后构件耐久性下降，防护套管破损，导致内部钢丝锈蚀；二是部分吊杆的上下锚头未经封锚处理或封锚质量不佳或运营阶段封锚密封性能退化，而出现锈蚀情况。当吊杆病害发展到一定程度后，吊杆在反复荷载下就可能会突然断裂，导致结构垮塌。如 2001 年 11 月四川宜宾小南门桥连接拱体和桥面预制板的 4 对 8 根吊杆断裂，造成桥面预制板坍塌；2011 年 4 月孔雀河大桥主跨第 2 根吊杆断裂，致使长约 10m，宽约 12m 的桥面发生垮塌；2012 年 12 月仅果金沙江大桥桥梁中部 1 根吊杆突然脱落，导致桥面出现“V”字形塌陷；2011 年 4 月武夷山公馆大桥连接上端钢架和桥面的 24 根吊杆断裂了 14 根，造成桥面大幅垮塌。

2) 系杆

解放大桥作为刚架系杆拱，系杆为只受拉不受弯的预应力拉索。

在现行规范中，系杆设计时必须预留系杆孔道，以便后期系杆更换时穿索，同时还要预留更换系杆时的张拉空间。但是限于当时的设计理念、技术的发展以及规范的滞后性，在 2000 年前建成的系杆拱桥，系杆锚固方式几乎都采用了永久锚固，施工时在预埋孔道内压注砂浆，将系杆同锚固段黏结成整体，未预留更换所需的孔道与操作空间。当部分系杆需要被更换时，也因其采取的永久锚固方式，而面临更换困难的



情况。

另外，解放大桥比较特殊的地方是，由于原设计的下层系杆在施工过程中发生断丝后停止张拉，其断丝情况和张拉情况均未知，结构的成桥状态始终是未知的，结构的安全富裕度也无从获知。一旦结构尤其是上层系杆性能发生退化后，结构面临的安全问题尤为突出且难以量化评估。

3) 拱肋脱空

系杆拱的拱肋通常为钢管混凝土结构，根据国内外的检测统计，存在诸多质量缺陷：浇筑过程中排气不良或浇筑间断而造成的混凝土空腔；水灰比过大、水泥用量过多、微膨胀量不足而造成的收缩缝；管壁锈蚀而造成的混凝土与管壁黏结不良；由于配料不好、骨料堆积或抛投灌注造成的混凝土离析以及由于泵压不足、灌注速度过快造成的混凝土疏松不密实等。

2023年1月专检表明，解放大桥拱肋存在大面积脱空，其质量问题较为严重。

4) 结构性缺陷

(1) 连续倒塌设计理念不足：限于设计理念，解放大桥并未考虑断索工况下的结构安全，根据2023年专检的承载能力评定，解放大桥在断索工况下加劲纵梁承载能力无法满足规范，结构有连续倒塌的风险。

(2) 整体稳定性不足：作为系杆拱，解放大桥未设置拱肋横撑，实际中桥面系为悬漂体系，拱肋一旦发生整体失稳，结构有全面倒塌的可能性。

2.3.3.3 解放大桥养护对策

根据专家评审意见，建议及时更换全桥吊杆、系杆，对全桥综合治理，使桥梁恢复到原有技术水平和标准。

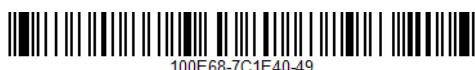




图 2.83 解放大桥养护对策专家评审意见

2.3.4 结论

综上所述，根据主桥受力特点（索杆为系杆拱桥最重要受力构件），基于结构现状（索杆使用超 25 年，D 级，吊杆 PE、钢丝、锚头病害严重且逐年恶化，下层系杆断丝、受力不明且防护体系病害严重），结合国内外系杆拱桥坍塌案例（吊杆断裂引起的落梁或脆性破坏），参考其他项目索杆更换年限统计（不超过 25 年），根据历次专家组评审意见（及时更换吊杆、系杆，恢复原有技术水平和标准），为尽早解决安全隐患，保证居民出行安全，解放大桥的系杆、吊杆更换等维修是必要和迫切的。



3 项目需求分析与产出方案

3.1 需求分析

解放大桥作为广州市老城区中心地带的一条南北向的重要通道，其系杆、吊杆已运营 25 年，病害严重，技术评定为“D”级，一旦断裂对结构安全影响极大，对其进行维修加固是必须且迫切的。工程可行性报告通过各维修加固方案的对比，可为管理单位提供技术支撑，是后续工作开展的前提，是非常必要的。

3.2 建设内容和规模

本项目为解放大桥维修工程，工程范围为解放大桥全线，大桥主线全长 923.90m，引道总长 199.4m；A 匝道总长 193.44m，引道长 77.44m；B 匝道总长 217.5m，引道长 81.5m。

建设内容包括：

表 3.1 建设内容

序号	桥梁构件	建设内容
1	吊杆	全部更换
2	系杆	全部更换
3	拱肋横撑	中拱肋新增拱肋横撑
4	加劲纵梁	加固
5	拱肋	拱肋内注浆、钢构件涂装更换
6	横梁、纵梁	混凝土构件涂装
7	主桥、引桥、匝道 各构件	常规病害处治：沥青铺装病害修补；空心板铰缝修补、引桥支座顶升更换

3.3 项目产出方案

预期达到的目标：对桥梁进行维修加固，彻底消除安全隐患，最终实现提高结构性能，延长桥梁寿命的目的。



4 项目选址与要素保障

4.1 项目选址或选线

本项目为维修加固工程，不存在选址或选线。

4.2 项目建设条件

(1) 自然概况

拟建工程位于广州市越秀区和海珠区交界，地貌为珠江三角洲冲积平原，珠江支流一级阶地，地势低平，地面标高一般为 7.20~14.50m，两侧多为商业区、公园、居民区，人流量大；周边建筑密集，交通繁忙便利。

勘察区地势开阔低平，河网密布，解放大桥位于珠江前航道，桥位处江面宽约 180m，常水位水深一般 4.5~6.5m，河床标高-3.10~1.89m。河道断面呈“U”字形，属老年期河流；河流的侵蚀作用已停止，以沉积作用为主。

区内潮洪混杂，水流变化十分复杂，汛期既受流溪河、西江、北江洪水影响，又受来自伶仃洋的潮汐作用。河道洪水呈随机性变化，潮汐一般呈周期性变化。广州河道的潮型属不规则半日混合潮，每天基本上有两涨两落的潮流期。据实测珠江水深，平水期一般 5.50~12.90m，潮期水深可增加 0.91~1.62m。

场区属亚热带季风气候，全年降水丰沛，雨季明显，日照充足，夏季炎热，冬季一般较温暖。在季风环流控制下，冬半年受大陆冷高压影响，吹偏北风，天气相对干燥，降水量少；夏半年受海洋性气流的影响，吹偏南风，天气炎热，降水量大。勘察区年平均气温 21.9℃，极端最高气温 38.7℃，极端最低气温 0.0℃；年平均降水量 1696.5mm，历年最大降水量 2864.7mm，最大月平均降水量 288.7mm，最大日降水量 284.9mm，年平均风速 1.9m/s。2005 年-2019 年平均年降雨量 1730.0 mm，年降雨量最大达 2477mm（2016 年），月最大降雨量 753.8mm（2015 年 5 月），日最大降雨量 542.7mm（2017 年 5 月 7 日黄埔区九龙镇），1 小时最大降雨量 184.4mm（2017 年 5 月 7 日 5 时—6 时增城永宁街）；降雨量季节分布不均匀，一般春末夏初雨量集中，时有大雨和暴雨，是地质灾害的多发期。

(2) 地质概况

解放大桥地处越秀区与海珠区交界处，其中主桥连接越秀区和海珠区，北引桥位



于越秀区内，南引桥及 A、B 匝道桥位于海珠区。

桥位(墩)北距海珠断裂(走向 290-295°,倾角 45°,为正断层)较远，场地未发现有明显的断裂迹象。微风化岩岩石裂隙不发育，岩层走向为 NWW-SEE，倾角 15°-18°。所以桥位处属地质构造稳定地段。据广东省地震烈度区划图，桥位处地震烈度为七度。

桥墩位第四系人工填土及淤泥质粘土和细砂(局部中砂)，土质松散，属高压缩性土或为可液化土层，河中砂层在涌流作用下易于搬运，厚度不稳定。残积土层分布不均匀，厚度薄，弱风化岩层天然抗压强度 $R_a=1.3-2.9\text{MPa}$ ，最小平均值 $R_a=1.8\text{MPa}$ ，强度不高，且弱风化岩层厚度不大。微风化岩层天然抗压强度 $R_a=7.7-16.5\text{MPa}$ ，平均值 $R_a=11.3\text{MPa}$ ，最小平均值 $R_a=9.5\text{MPa}$ ，作为桩基础的桩端持力层。

4.3 要素保障分析

4.3.1 “三规”符合性分析

本项目为既有结构维修加固工程，不新增用地，不涉及规划。

4.3.2 建筑材料来源及运输条件

钢构件、索体需要厂家提前预制，施工时运至施工现场。运输通道便利，可通过道路运至桥头处或通过航道运至桥下。

1、钢构件、索体

本项目所用钢结构、索体可通过工厂预制。

2、配套防腐及相关材料等

本项目所需的材料等可与当地签订协议购买或通过代理商招标外购。

3、工程用水、用电

本项目工程用水优先采用自来水。

沿线地方电力供应充足，工程用地与当地供电部门协商后就近接驳。

4、运输条件

本项目材料运输条件较便利，工程所需要的各种材料均可利用现有道路或航道至工地，外购材料可通过公路运输。



5 项目建设方案

5.1 桥梁病害原因分析

1、吊杆

(1) 吊杆 PE 护套外观病害

2022 年对解放大桥 66 根吊杆 HDPE 护套管外观进行了检测。经检查统计，发现其中 36 根吊杆外观完好，30 根吊杆外观存在 30 处不同程度的病害，病害主要是 PE 存在刮伤，累计面积共计 84.5cm²，依据《城市桥梁检测与评定技术规范》（CJJ/T233-2015）第 4.6.6 条，27 根吊杆缺损程度被评定为“中等”，4 根被评定为“严重”。



图 5.1 解放大桥吊杆护套刮伤现状

原因分析：

吊杆长期高应力持荷，常期处于高温高湿的环境中，在恒载、活载拉应力和温度共同作用下，材料快速老化引起 PE 护套开裂。

(2) 吊杆内部钢丝病害

近 5 年合计开窗检查 11 根吊杆，开窗结果表明，28%吊杆钢丝锈蚀标度为 4（严重）；33%吊杆钢丝锈蚀标度为 3（中等），二者占比达到 61%。



图 5.2 解放大桥吊杆锈蚀现状



原因分析:

(1) 上下导管采用环氧树脂喝铁砂混合物密封，密封性和排水性较差，水分侵入钢丝后无法排干，钢丝长期处于湿润状态，钢丝锈蚀较快。

(2) PE 护套开裂、破损会加速钢丝束的锈蚀。

(3) 吊杆下锚头病害

1) 吊杆锚头锚固区域检测

2022 年检查解放大桥上游侧 S-16`#、S-16#，下游侧 X-16`#、X-16#吊杆下锚头共计 4 个。经检测：S-16`#、S-16#、X-16`#、X-16#锚具均存在锈蚀现象，其中 S-16`#、S-16#锚盖锈蚀严重，无法开盖检测，对 X-16`#、X-16#锚头进行了开盖检查，内部钢丝墩头均存在锈蚀现象，其中下游侧 X-16#锚头内 35 根钢丝墩头重度锈蚀，X-16`#锚头内 14 根钢丝墩头重度锈蚀，其余钢丝均出现轻微锈蚀。



图 5.3 部分吊杆下锚锚头现状

采用内窥镜进行进一步检查发现，S-16`#、S-16#、X-16#和 X-16`#锚板表面均存在大面积锈蚀现象。由于受作业条件的限制，其余吊杆的下锚头无法开展接触式检测作业，根据已抽检的 4 个吊杆下锚头的检测情况来看，不排除其它吊杆锚头存在大面积锈蚀现象。

2) 吊杆下导管潮湿

解放大桥吊杆下导管内为环氧树脂和铁砂混合物填充，为检测填充物的状况及减震器密封情况，本次检测选取上游侧 S11`#吊杆、上游侧 S15`#吊杆、上游侧 S16`#吊杆下导管采取对减震器钻孔的方式进行检测。

检测结果：上游侧 S11`#吊杆减震器钻孔深约 14cm，带出来碎渣呈潮湿状态；上游侧 S15`#吊杆减震器钻孔深约 18cm，带出来碎渣呈潮湿状态；上游侧 S16`#吊杆减震器钻孔深约 19cm，带出来铁砂呈潮湿状态，同时，对上述 3 根吊杆采用内窥镜观



测减震器与环氧树脂和铁砂混合物填充之间的接触面，均未见明显空洞间隙，灌入黄油均未见明显渗漏。

原因分析：

下导管采用环氧树脂喝铁砂混合物密封，下锚头埋于横梁节点混凝土中，水分长期存在于锚头中，导致锚头大面积锈蚀。

2、系杆

(1) 系杆施工期缺陷、异常振动

施工期下层系杆发生断丝，随即不张拉灌浆锚固。断丝分布、张拉情况不明；中跨下层系杆相互挤压于吊杆上，无法检测到系杆力。

平行钢丝+夹片锚极少见于工程应用，可靠性及安全性未知。

S-B-4#、S-B-6#系杆存在异常振动，推测大概率不持力。

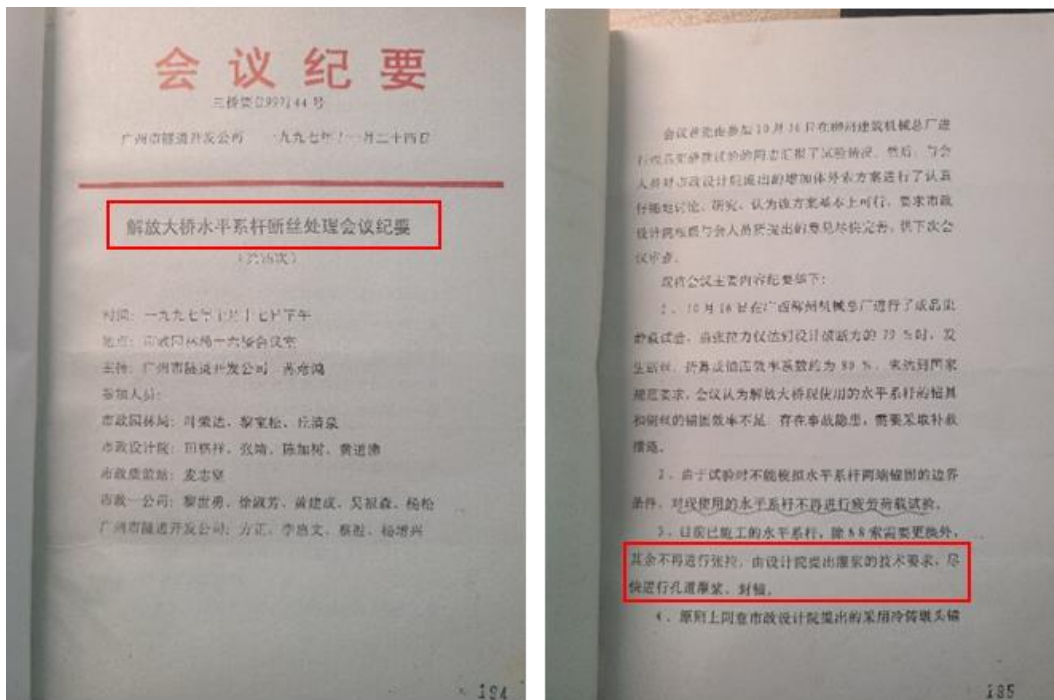


图 5.4 系杆施工期会议纪要

(2) 系杆 PE 护套外观病害

本次检查解放大桥 44 根系杆，其中 12 根上层系杆外观完好，32 根下层系杆外观存在 288 处不同程度的病害，面积共计 2511.08cm²。病害主要是 PE 存在划痕、PE 环裂。其中上游南边跨 4#系杆 PE 环裂多达 57 处、下游南边跨 6#系杆 PE 环裂多达 68 处。在本次检测中发现 S-B-4#、S-B-6#系杆存在振动。



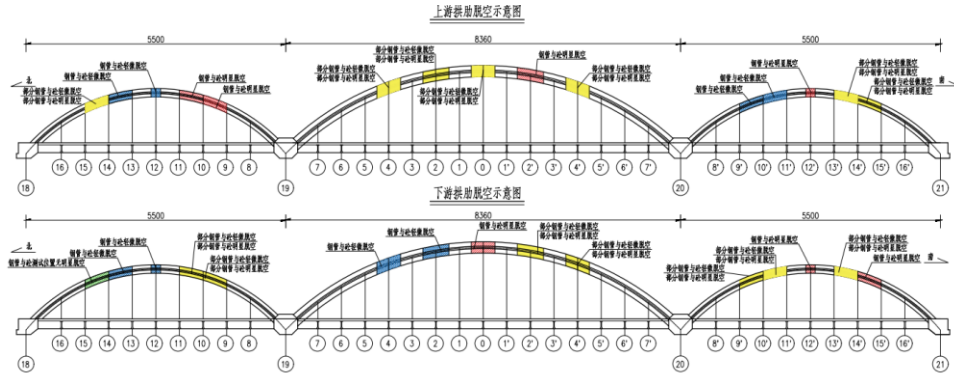


图 5.7 拱肋脱空示意

原因分析：施工期间浇筑过程的微裂缝；运营期间混凝土收缩徐变等。

5.2 原桥结构承载能力评定结论

5.2.1 计算参数及模型

5.2.1.1 计算参数

- 1、计算跨径：55+83.6+55=193.6m。
- 2、设计荷载：原设计汽-超 20 设计，挂-120 验算，满载 4 车道。人群 3.5kN/m²。

5.2.1.2 结构材料

拱肋采用 A3 钢，内灌 30#混凝土。加劲纵梁 35#混凝土。中横梁 50#混凝土。边墩及中墩盖梁及墩身 35#混凝土，桩基及桩系梁 30#混凝土。

表 5.1 材料参数表

材料	50#混凝土	35#混凝土	30#混凝土	A3 钢
弹性模量 E(MPa)	34500	31500	30000	206000
泊桑比 γ	0.2	0.2	0.2	0.3
轴心抗压标准强度 Rab(MPa)	35.0	24.5	17.5	/
轴心抗拉标准强度 Rib(MPa)	3.00	2.35	1.75	
轴心抗压设计强度 Ra(MPa)	28.5	20.25	21.0	
轴心抗拉设计强度 Ri(MPa)	2.45	1.95	2.10	
热膨胀系数(/°C)	0.000010	0.000010	0.000010	0.000012

根据《钢管混凝土结构设计施工规程》(CECS28:90)，钢材的强度设计值见下表。

表 5.2 钢材设计允许值

材料	钢材厚度 mm	抗拉、抗压设计值 (MPa)
A3 钢	<20	215
	21~40	200
	41~50	190
16Mn 钢	<6	315
	17~25	300
	26~36	290



5.2.1.3 荷载取值

- 1、结构重要性系数：1.0。
- 2、自重：混凝土容重 26kN/m³，钢材容重 78.5kN/m³。
- 3、二期：（经现场测量，对铺装、护栏、人行道板厚度进行了重新测量）

表 5.3 二期计算表

分项		数量	单个重量 kN/m	小计 kN/m
桥面系	槽型板 A	17	1.91	32.44
	槽型板 B	6	2.42	14.49
	防撞护栏	2	6.99	13.98
	7cm 现浇层	2	21.38	42.76
	13cm 铺装层	2	26.73	53.45
	中央护栏	1	4.67	4.67
人行道	人行道栏杆底座	2	3.49	6.98
	C 型枕梁	4	1.48	5.93
	8cm 预制盖板	2	8.11	16.22
	10cm 铺装层	2	10.14	20.28
	7cm 现浇层	2	7.57	15.15
	人行道栏杆	2	1.46	2.93
合计				206.46

4、活载：

原设计汽-超 20 设计，挂-120 验算，满载 4 车道。人群 3.5kN/m²。

5、整体温度：升温 25°C，降温-25°C。

6、基础沉降：无数据，按边墩 1cm，中墩 1.5cm 包络控制。

7、制动力：四车道的制动力为（一行汽车车队总重力的 10%，但不得小于一辆重车的 30%）的 2 倍。

7、风荷载：89 规范中仅考虑百年一遇风荷载，此处按 18 最新规范进行风荷载取值。

与活载组合的桥面处风速为 25m/s。

重现期 100 年基本风速 32.2m/s。根据计算，D 类型区的桥面风速 18.4m/s，小于活载横风，因此本次计算可不考虑百年横风。

8、引桥恒载反力：按 36.2m 预制预应力混凝土 T 梁恒载反力加载。



5.2.1.4 荷载组合

表 5.4 荷载组合

组合	基本 I	基本 II	基本 III	标准 I	标准 II	标准 III
恒载	1.2	1.2	1.1	1	1	1
预应力				1	1	1
汽超 20	1.4		1.3	1		1
挂车		1.1			1	
人群	1.4		1.3	1		1
收缩徐变			1.3			1
沉降			1.3			1
整体温度			1.3			1
制动力			1.3			1
活载横风			1.3			1

5.2.1.5 计算模型

根据施工图图纸及约束条件，建立计算模型。

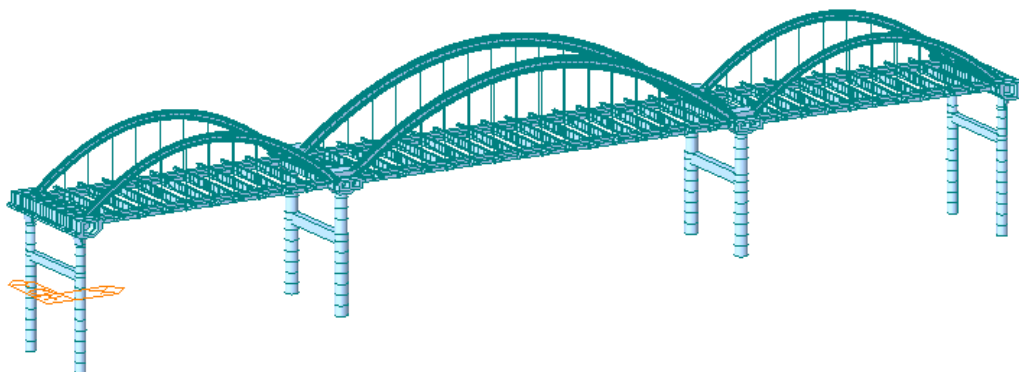


图 5.8 计算模型

总体计算模型中，考虑拱肋、系杆、吊杆、加劲纵梁、横梁，并均按照设计尺寸建模。桥面结构中的预制槽形板、后浇结构层、钢纤维铺装均不考虑。钢管拱按照联合截面考虑。

边界条件：1) 桩底固结，桩身与土体之间采用土弹簧约束，土弹簧刚度按照“m”法计算。2) 桩基、墩顶横梁、拱肋之间刚接；3) 加劲纵梁在施工阶段简支于横梁之上，不参与总体受力，起到连接横梁的作用；预制槽形板安装完毕后再与横梁刚接；4) 系杆与拱脚之间刚接，吊杆与拱肋、横梁之间采用共节点约束；

施工阶段：按照设计图纸，分施工阶段建模。拱肋考虑施工阶段截面分步激活对受力的影响。按竣工图，下层系杆的张拉力控制位 150t。



系杆力修正：根据 2023 年 1 月的专检报告，S-B-4#、S-B-6#系杆存在异常晃动现象。异常晃动考虑系杆不持力，因此南边跨不考虑下层系杆 50%不参与受力的情况。系杆力见下：

表 5.5 系杆力修正

位置	北边跨	中跨	南边跨
上层系杆 (kN)	880*2=1760	1750*2=3500	880*2=1760
下层系杆 (kN)	1500*4=6000	1500*8=12000	1500*4*0.5=3000
合计 (kN)	7760	15500	4760

5.2.2原桥承载能力评定结论（原设计规范）

按原设计规范，取原设计标准，结构检算结论如下：

1) 拱肋：南边跨拱肋最小安全系数 1.02，满足规范要求。

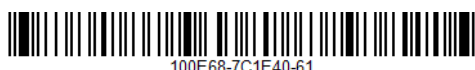
表 5.6 拱肋验算表格（竖向弯矩）

位置		N(kN)	M(kN.m)	ϕ_l'	ϕ_e'	Nu(kN)	考虑检算系数后 Nu(kN)	安全系数
南边跨	拱底	-8725	-9099	0.757	0.345	9245	9245	1.06
	拱 1/4	-6907	4749	0.757	0.444	11899	11304	1.64
	拱顶	-6640	3497	0.757	0.511	13677	12309	1.85
中拱	拱底	-16234	-9503	0.716	0.553	22408	22408	1.38
	拱 1/4	-13517	7622	0.716	0.562	22781	21642	1.60
	拱顶	-12720	4337	0.716	0.680	27547	24792	1.95
北边跨	拱底	-8828	-7295	0.757	0.400	10697	10697	1.21
	拱 1/4	-7076	4229	0.757	0.479	12829	12187	1.72
	拱顶	-6832	2812	0.757	0.572	15311	13780	2.02

2) 根据竣工图资料，下层系杆的成桥张拉力为 150t，85 体系规范对系杆安全系数未提出明确要求，参照《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/T D65-06-2015) 第 5.8.1 条，下层系杆安全系数小于 2.0。

表 5.7 系杆验算表格

拉索编号	面积(mm ²)	索力验算						
		标准组合最大索力(kN)	应力(MPa)	设计值(MPa)	检算系数	修正后设计值(Mpa)	安全系数	
南边跨	1	2117	1020	482	835	1	835	1.73
	2	2117	1020	482	835	1	835	1.73
	3	1669	1589	952	835	0.91	759.85	0.80
	4	1669						
	5	1669	1589	952	835	0.91	759.85	0.80
	6	1669						
中跨	1	4195	1899	453	835	1	835	1.84
	2	4195	1899	453	835	1	835	1.84
	3	1669	1559	934	835	0.91	759.85	0.81
	4	1669	1552	930	835	0.91	759.85	0.82
	5	1669	1551	930	835	0.91	759.85	0.82



	6	1669	1559	934	835	0.91	759.85	0.81	
	7	1669	1552	930	835	0.91	759.85	0.82	
	8	1669	1563	937	835	0.91	759.85	0.81	
	9	1669	1563	936	835	0.91	759.85	0.81	
	10	1669	1563	937	835	0.91	759.85	0.81	
	北边跨	1	2117	951	449	835	1	835	1.86
		2	2117	950	449	835	1	835	1.86
		3	1669	1531	917	835	0.91	759.85	0.83
		4	1669	1553	931	835	0.91	759.85	0.82
		5	1669	1547	927	835	0.91	759.85	0.82
6		1669	1581	947	835	0.91	759.85	0.80	

3) 中横梁抗弯、抗剪承载能力、正常使用极限状态满足规范要求。

表 5.8 中横梁抗弯承载力验算

位置	基本组合	弯矩设计值 (kN.m)	承载力 (kN.m)	修正后承载力 (kN.m)	安全系数
横梁跨中	组合 I	4476.5	5400	5799	1.30
	组合 II	4492.9	5400	5799	1.29
	组合 III	4138.6	5400	5799	1.40

表 5.9 中横梁抗剪承载力验算

位置	基本组合	剪力设计值 (kN)	承载力 (kN)	修正后承载力 (kN)	安全系数
横梁支点	组合 I	1166.9	2401	2579	2.21
	组合 II	1177.3	2401	2579	2.19
	组合 III	1077.2	2401	2579	2.39

表 5.10 中横梁正截面应力验算

组合	法向拉应力(MPa)			法向压应力(MPa)		
	上缘	下缘	规范限值	上缘	下缘	规范限值
使用组合 I	-0.51	-0.34	0.8R _{lb} =2.4	14.16	13.68	0.5R _{ab} =17.5
使用组合 II	-1.53	2.45	0.9R _{lb} =2.7	17.2	12.74	0.6R _{ab} =21.0
使用组合 III	2.13	0.84	0.9R _{lb} =2.7	15.45	15.33	0.6R _{ab} =21.0

表 5.11 中横梁斜截面应力验算

组合	主拉应力(MPa)	规范限值	主压应力(MPa)	规范限值
使用组合 I	0.91	0.8R _{lb} =2.4	14.14	0.6R _{ab} =21.0
使用组合 II	2.45	0.9R _{lb} =2.7	17.2	0.65R _{ab} =22.75
使用组合 III	2.05	0.9R _{lb} =2.7	15.44	0.65R _{ab} =22.75

4) 加劲纵梁抗弯、抗剪承载能力、裂缝宽度满足规范要求。

表 5.12 抗弯承载力验算

位置	基本组合	弯矩设计值 (kN.m)	承载力 (kN.m)	修正后承载力 (kN.m)	安全系数
加劲纵梁跨中	组合 I	1523.4	2060	2212	1.45
	组合 II	1412.8	2060	2212	1.57
	组合 III	1752.6	2060	2212	1.26



加劲纵梁 支点	组合 I	-543.8	-2410	-2588	4.76
	组合 II	-282.3	-2410	-2588	9.17
	组合 III	-686.0	-2410	-2588	3.77

表 5.13 抗剪承载力验算

位置	基本组合	剪力设计值 (kN)	承载力 (kN)	修正后承载力 (kN)	安全系 数
加劲纵梁 支点	组合 I	360.7	896	962	2.67
	组合 II	291.2	896	962	3.31
	组合 III	356.4	896	962	2.70

表 5.14 裂缝宽度验算

使用组合	弯矩设计值 (kN.m)	钢筋应力 (MPa)	裂缝宽度	规范限值	是否满足规范
组合 I	1142.12	162.58	0.185	0.2	满足
组合 II	1250.85	178.06	0.202	0.25	满足
组合 III	1281.21	182.38	0.207	0.25	满足

5) 根据《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/T D65-06-2015) 第 5.9.1 条, 中拱拱肋的整体稳定性为 **2.533**, 无法满足规范不小于 **4.0** 的要求, 应采取相应的加固措施。

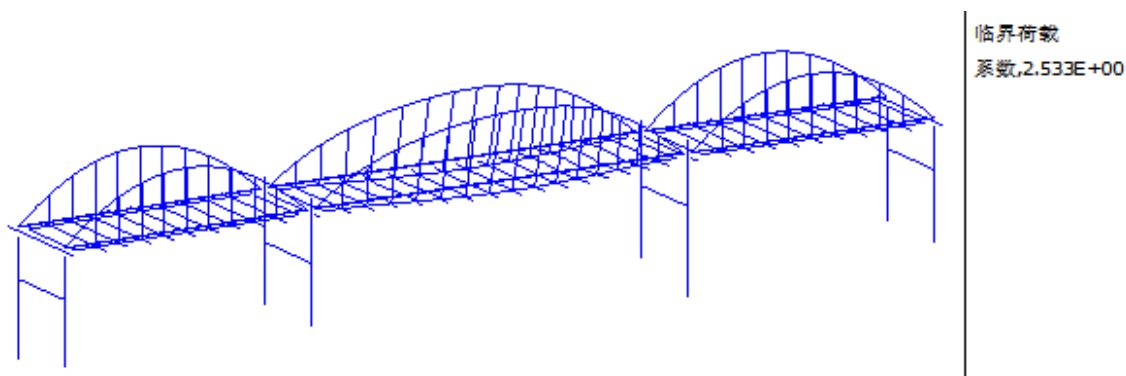


图 5.9 第一阶失稳模态 (失稳系数 2.533)

6) 根据《钢管混凝土拱桥技术规范》(GB 50923-2013) 第 7.5.1 条, 断索工况下, 加劲纵梁承载能力无法满足要求; 吊杆考虑损伤后, 安全系数小于 **2.5**。结构存在连续倒塌的风险, 应及时更换吊索, 并对加劲纵梁采取相应的加固措施。

5.2.3 原桥结构验算结论 (现行规范)

按现行规范计算, 主桥多个构件无法满足规范要求。

- 1) 边拱拱肋偏压承载力无法满足规范要求;
- 2) 中横梁抗弯承载力无法满足规范要求;
- 3) 加劲纵梁抗弯承载力、裂缝宽度验算无法满足规范要求。



5.3 技术方案

5.3.1 维修加固原则

根据检测报告，结合结构计算，对现有结构进行针对性的加固设计，使结构病害发展得到抑制，受力状态得到改善；使现有结构在补强后能满足原设计规范和正常运营的要求。解放大桥维修总体上需遵循受力安全、经济合理的原则。主要设计如下：

1、持原设计荷载不变，即设计荷载沿用汽车-20级，挂车-100，人群荷载3.5kN/m²。

2、保证结构病害和结构缺陷得到妥善处理。

3、保证维修后不增加拱肋受力负担，维修加固施工过程中，必须考虑对原桥梁结构的损伤尽可能降到最低，桥梁主体结构不变、整体受力体系不变，维修后的吊杆及新增系杆具备可检、可修、可更换。

4、综合考虑技术可靠性、结构耐久性、后期养护方便和养护费用低廉等因素。

5.3.2 合理成桥状态确定

由原施工会议纪要可知，解放大桥主桥施工期间，下层系杆发生断丝，断丝率和张拉情况未知，进而补张上层系杆。同时根据专检报告，结合现场勘察，下层系杆相互挤压，无法通过检测手段获知目前的系杆力。系杆力决定了系杆拱桥的成桥状态，拱肋、桥墩及基础受力均与此相关。因此，本次维修为保证结构总体安全，应首先确定维修的合理成桥状态，即系杆力允许范围。

1、理想成桥状态对应的系杆水平力

系杆力可按结构力学计算公式 $H = K \frac{ql^2}{8} / f$ 计算，根据图纸计算结构每延米重量，计算结果如下：

表 5.15 系杆力计算结果

项	单位	边拱	中拱	备注
L	m	53.3	83.6	
矢跨比		4.5	5.0	
f	m	11.8	16.7	
K		1.0	1.0	
桥面荷载	kN/m	206.5	206.5	全部
纵横梁荷载	kN/m	80.5	80.5	全部
拱肋荷载	kN/m	30.4	51.0	一侧
活载	kN/m	55.1	55.1	4车道+2人群
q	kN/m	402.9	444.1	全部
整拱需要水平力	kN	12032	23122	



项	单位	边拱	中拱	备注
一侧拱需要水平力	kN	6016	11561	
	t	613.9	1179.7	
原施工图水平力	t	150*4=600	150*8=1200	

计算表明，边拱所需水平力 614t，中拱所需水平力 1180t，与原施工图所设水平力基本相同。

2、结构安全包络验算

表 5.16 结构安全包络验算

系杆水平力	边拱 450t, 中拱 1200t	边拱 600t, 中拱 1200t	边拱 720t, 中拱 1200t
拱肋	边拱安全系数 1.05 中拱安全系数 1.20	边拱安全系数 1.10 中拱安全系数 1.21	边拱安全系数 1.14 中拱安全系数 1.22
边墩墩身	Mymax=5812kN.m, 偏压 1.88	Mymax=6628kN.m, 偏压 1.75	Mymax=7280kN.m, 偏压 1.66
边墩桩基	Mymax=8778kN.m, 偏压 1.33	Mymax=9666kN.m, 偏压 1.18	Mymax=10375kN.m, 偏压 1.08
中墩墩身	Mymax=11695kN.m, 偏压 1.79	Mymax=12607kN.m, 偏压 1.70	Mymax=13338kN.m, 偏压 1.64
中墩桩基	Mymax=9098kN.m, 偏压 2.13	Mymax=8744kN.m, 偏压 2.18	Mymax=8471kN.m, 偏压 2.21
整体稳定性	中拱横向失稳系数 2.702 边拱横向失稳系数 4.785	中拱横向失稳系数 2.704 边拱横向失稳系数 4.620	中拱横向失稳系数 2.706 边拱横向失稳系数 4.479
系杆水平力	边拱 720t, 中拱 900t	边拱 720t, 中拱 1440t	边拱 450t, 中拱 900t
拱肋	边拱安全系数 1.14 中拱安全系数 1.08	边拱安全系数 1.14 中拱安全系数 1.35	边拱安全系数 1.03 中拱安全系数 1.07
边墩墩身	Mymax=7144kN.m, 偏压 1.68	Mymax=7390kN.m, 偏压 1.64	Mymax=5676kN.m, 偏压 1.90
边墩桩基	Mymax=9563kN.m, 偏压 1.20	Mymax=11036kN.m, 偏压 0.99	Mymax=7953kN.m, 偏压 1.47
中墩墩身	Mymax=17098kN.m, 偏压 1.33	Mymax=10330kN.m, 偏压 1.91	Mymax=15455kN.m, 偏压 1.46
中墩桩基	Mymax=-10210kN.m, 偏压 1.89	Mymax=11091kN.m, 偏压 1.89	Mymax=-9375kN.m, 偏压 1.97
整体稳定性	中拱横向失稳系数 2.843 边拱横向失稳系数 4.482	中拱横向失稳系数 2.590 边拱横向失稳系数 4.478	中拱横向失稳系数 2.840 边拱横向失稳系数 4.791

计算表明：

- 1) 拱肋的安全系数主要由本跨系杆力控制。为保证结构安全，边拱最小系杆力 450t，中拱最小系杆力 900t。
- 2) 边墩墩身和桩基由边拱、中拱系杆力合力控制。边拱系杆力为 720t，中拱系杆力为 1440t 时，边墩桩基安全系数不满足规范要求，为控制系杆力。
- 3) 中墩墩身和桩基由边拱、中拱系杆力和墩身竖向预应力差值控制。边拱系杆



力为 720t，中拱系杆力为 900t 时，中墩桩基中跨侧受拉；边拱系杆力为 720t，中拱系杆力为 1440t 时，中墩桩基边跨侧受拉。

3、结论

结合理想成桥状态计算和结构安全包络验算，边拱系杆力为 450~720t，中拱系杆力为 900~1440t 对应的结构安全安全。维修方案应结合结构安全范围、理论系杆力综合确定系杆力。

5.3.3 系杆更换

(1) 下层系杆

本桥全桥共 44 根系杆，既有系杆有上下两层。下层系杆为原施工图系杆，采用 5-85 高强度聚乙烯单护层成品束，采用 OVMS15-12 夹片锚具锚固于墩顶横梁处，钢丝标准强度为 1670MPa，边跨一侧 4 根，中跨一侧 8 根，全桥共 32 根，**施工期间发生断丝，断丝率和分布情况未知**。上层系杆为施工期间新增系杆，拱脚处外包钢锚箱，每片拱肋根部锚箱处设置两根系杆，中孔系杆张拉控制力为 1750kN，边孔系杆张拉控制力为 880kN。中孔每根系杆钢索由 109φ7 钢丝组成，边孔每根系杆钢索由 55φ7 钢丝组成，钢丝均为镀锌高强度低松弛预应力钢丝，钢丝标准强度为 1670MPa。系杆锚具均采用冷铸镦头锚，全桥共 12 根。

表 5.17 原系杆型号

位置		型号
边拱	原上层系杆	7-55*2 (平行钢丝)
	原下层系杆	5-85*4 (平行钢丝)
中拱	原上层系杆	7-109*2 (平行钢丝)
	原下层系杆	5-85*8 (平行钢丝)

鉴于下层系杆为永久性构造，两端锚固在桥墩实体混凝土内，不能更换，也不可二次张拉，系杆更换方案可在拱肋两侧及桥面以下新增系杆替换既有下层系杆，且**新增的系杆体系应满足具备二次张拉或可更换构造要求**。上层系杆等截面替换为新系杆。

5.3.3.1 方案一

方案一系杆更换方案如下：

- 1) 边拱、中拱上层系杆等截面替换。
- 2) 边拱、中拱下层系杆拆除，粘结锚固区域不清理，孔道口封堵。



3) 边拱在边墩和中墩盖梁桥面新增钢锚箱，张拉新系杆。

4) 中拱桥面以下在中墩盖梁打孔，张拉新系杆。

1、系杆选型及设计

上层系杆等截面替换，钢丝标准强度由原 1670MPa 提升到 1960MPa。

下层系杆新增系杆替换现有系杆，应具备足够的安全储备。同时应满足可更换、便于维护的要求。系杆更换后型号及张拉力见下表。

表 5.18 系杆更换张拉力（推荐方案）

位置		型号	张拉力 t	合力 t
边拱	原上层系杆	7-55*2（平行钢丝）	110*2=220	700
	新增系杆	7-109*2（平行钢丝）	240*2=480	
中拱	原上层系杆	7-109*2（平行钢丝）	220*2=440	1200
	新增系杆	15-55*2（钢绞线）	380*2=740	

边拱新增系杆置于盖梁以上，桥面以下，盖梁上打孔植筋，安装钢锚箱用于张拉新系杆，钢锚箱顶边与人行道板高度齐平，同时对人行道及人行道栏杆进行改造，系杆上方设置顶板保证人行道横向连续。为保证后续可更换，边拱系杆力要保证新增系杆断一根后结构仍处于安全状态。

中拱新增系杆置于桥面以下，盖梁侧面打孔新增锚固块用于张拉新系杆。为保证后续可更换，中拱新增备用孔。考虑到后续桥面以下系杆更换施工措施较复杂、锚垫板使用寿命更长等因素，中拱新增系杆采用钢绞线形式，要求单根钢绞线可调可换形式。

新系杆构造见下图。

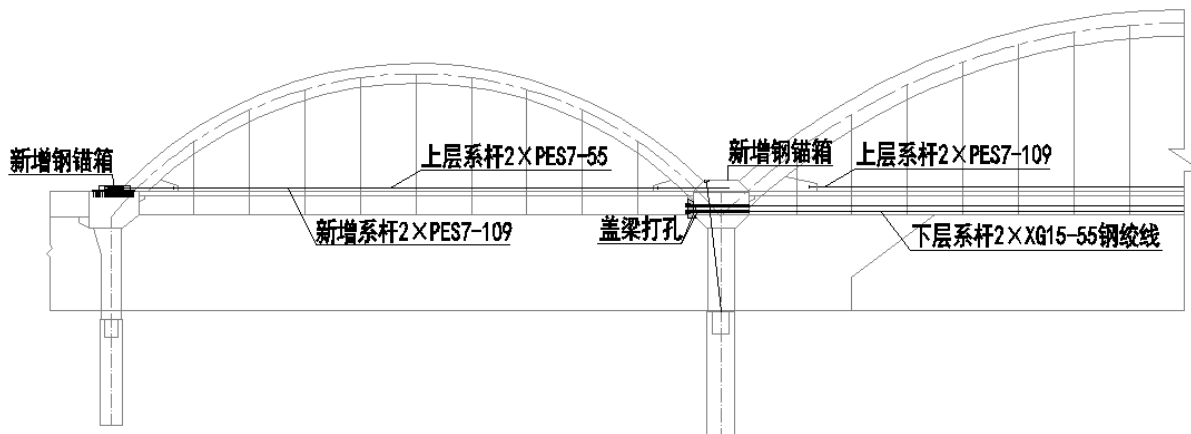


图 5.10 系杆更换总体布置图



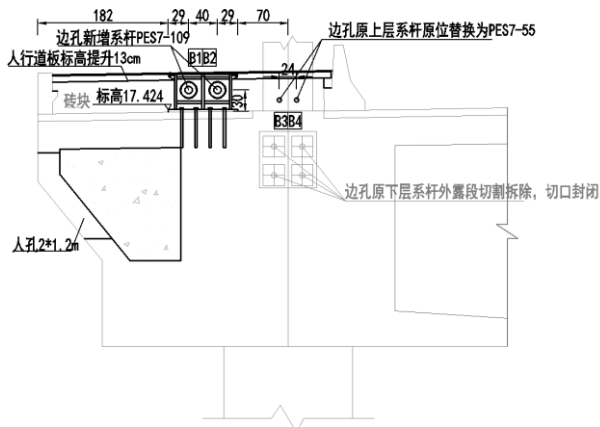


图 5.11 边拱桥墩系杆断面

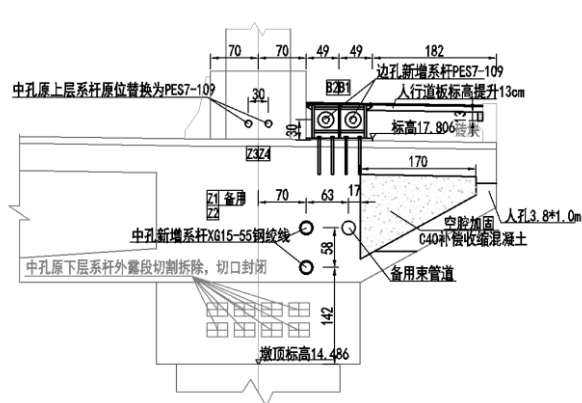


图 5.12 中拱桥墩系杆断面

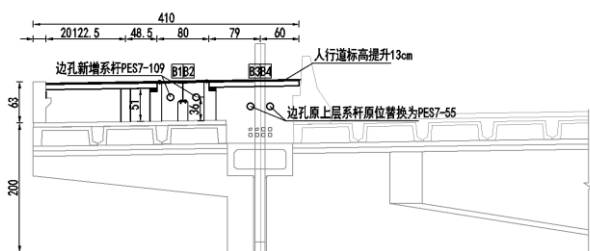


图 5.13 边拱跨中系杆断面

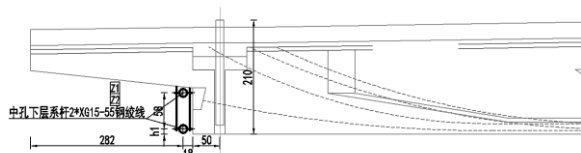


图 5.14 中拱跨中系杆断面

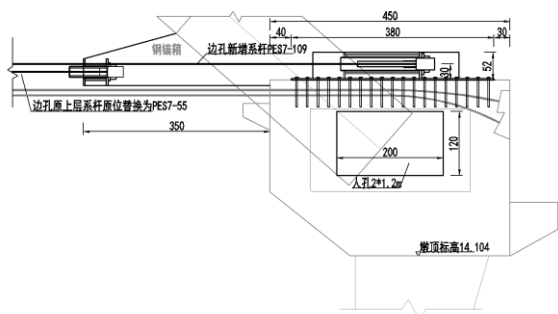


图 5.15 边拱桥墩系杆立面

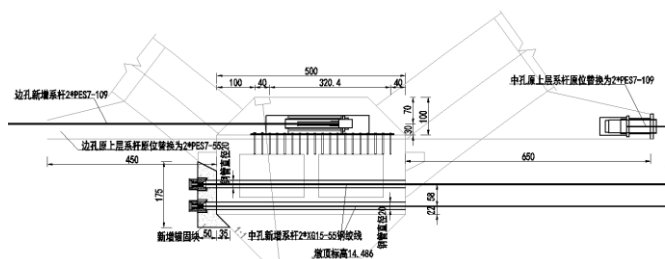


图 5.16 中拱桥墩系杆立面

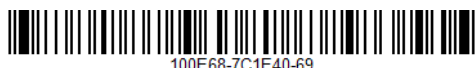
2、系杆更换全桥结构验算

表 5.19 静力验算表格

部件	构件	验算项目	验算规范	总体验算结果	边拱断一根索后验算结构 (满载4车道)
系杆力				边拱水平力 7000kN, 中拱水平力 12000kN	边拱水平力 4600kN, 中拱水平力 12000kN
拱肋	边拱	承载力	《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS28:90)	边拱安全系数 1.28	边拱安全系数 1.13
	中拱	承载力		中拱安全系数 1.10	中拱安全系数 1.12
吊杆		承载力	《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/TD65-06-2015)	静力安全系数 1.55, 断索安全系数 1.41	静力安全系数 1.55
系杆		承载力		静力安全系数 1.19/	
中横梁		承载能力	《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85)	抗弯 1.29, 抗剪 2.19	
加劲纵梁		承载能力		静力下抗弯 3.0, 抗剪 2.88; 断索下抗弯 1.03, 抗剪 1.04	



部件	构件	验算项目	验算规范	总体验算结果	边拱断一根索后验算结构 (满载4车道)	
系杆力				边拱水平力 7000kN, 中拱水平力 12000kN	边拱水平力 4600kN, 中拱水平力 12000kN	
		裂缝	J22-2008)	静力下裂缝宽度 0.167mm, 小于 0.25mm		
边墩盖梁	承载能力		《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 (JTJ023-85)	纯弯构件, 跨中安全系数 2.14		
	裂缝			裂缝宽度 0.120mm, 小于 0.25mm		
边墩及基础	南边墩墩身	承载能力		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 6225kN.m, 安全系数 1.83	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 5357kN.m, 安全系数 1.98	
		裂缝		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 4939kN.m, 裂缝宽度 0.03mm	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 4136kN.m, 裂缝宽度 0mm	
	南边墩基础	承载能力		压弯构件, 最大顺桥向弯矩 8605kN.m, 安全系数 1.35	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 7900kN.m, 安全系数 1.48	
		裂缝		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 7223kN.m, 裂缝宽度 0.102mm	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 6570kN.m, 裂缝宽度 0.077mm	
	北边墩墩身	承载能力		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 6079kN.m, 安全系数 2.17	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 5008kN.m, 安全系数 2.44	
		裂缝		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 4794kN.m, 裂缝宽度 0mm	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 4012kN.m, 裂缝宽度 0mm	
北边墩基础	承载能力	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 8668kN.m, 安全系数 1.34		压弯构件, 最大顺桥向弯矩 8054kN.m, 安全系数 1.45		
	裂缝	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 7293kN.m, 裂缝宽度 0.104mm		压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 6724kN.m, 裂缝宽度 0.082mm		
中墩盖梁		承载能力		纯弯构件, 跨中安全系数 1.59		
		裂缝		裂缝宽度 0.164mm, 小于 0.25mm		
中墩及基础	南中墩墩身	承载能力		压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 12844kN.m, 安全系数 1.75	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 11617kN.m, 安全系数 1.79	
		裂缝		压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 11386kN.m, 裂缝宽度 0.058mm	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 10432kN.m, 裂缝宽度 0.027mm	
	南中墩基础	承载能力	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 8797.35kN.m, 安全系数 2.12	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 8401kN.m, 安全系数 2.17		
		裂缝	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 7349.84kN.m, 裂缝宽度 0mm	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 6984kN.m, 裂缝宽度 0mm		
	北中墩墩身	承载能力	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 11094kN.m, 安全系数 1.82	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 10665kN.m, 安全系数 2.00		
		裂缝	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 10754kN.m, 裂缝宽度 0.03mm	压弯构件, 墩顶最大顺桥向弯矩 9803kN.m, 裂缝宽度 0mm		
	北中墩基础	承载能力	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 10828.39kN.m, 安全系数 1.91	压弯构件, 最大顺桥向弯矩 10438kN.m, 安全系数 1.95		
		裂缝	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 8893.13kN.m, 裂缝宽度 0mm	压弯构件, 墩底最大顺桥向弯矩 8535kN.m, 裂缝宽度 0mm		
	稳定性		《公路钢管混凝土拱桥设计规范》 (JTG/TD65-06-2015)		边拱 4.212, 中拱 5.501	



计算表明，总体计算各构件均满足规范要求。

5.3.3.2 方案二

方案二系杆更换方案如下：

- 1) 边拱、中拱上层系杆等截面替换。
- 2) 边拱、中拱下层系杆拆除，中拱下层系杆一半孔道拟清理作为备用孔道，其余孔道封堵。边拱粘结锚固区域不清理，孔道口封堵。
- 3) 边拱桥面以下在边墩和中墩盖梁打孔，张拉新系杆。
- 4) 中拱桥面以下在中墩盖梁打孔，张拉新系杆。

1、系杆选型及设计

上层系杆等截面替换，强度由原 1670MPa 提升到 1960MPa。

下层系杆拆除后，新增系杆应具备足够的安全储备。同时应满足可更换、便于维护的要求。系杆更换后型号及张拉力见下表。

表 5.20 系杆更换张拉力（推荐方案）

位置		型号	张拉力 t	合力 t
边拱	原上层系杆	7-55*2（平行钢丝）	110*2=220	700
	新增系杆	15-31*2（钢绞线）	240*2=480	
中拱	原上层系杆	7-109*2（平行钢丝）	220*2=440	1200
	新增系杆	15-55*2（钢绞线）	380*2=760	

边拱新增系杆置于桥面以下，盖梁侧面打孔新增锚固块用于张拉新系杆。新增系杆在中墩盖梁处与原下层系杆孔道冲突，导致若采用下层系杆作为备用束后，备用束无法进行张拉，为保证后续可更换，边拱系杆力要保证新增系杆断一根后结构仍处于安全状态。

中拱新增系杆置于桥面以下，盖梁侧面打孔新增锚固块用于张拉新系杆。为保证后续可更换，中拱原下层系杆清理一半孔道作为备用孔道。考虑到后续桥面以下系杆更换施工措施较复杂、锚垫板使用寿命更长等因素，中拱新增系杆采用钢绞线形式，要求单根钢绞线可调可换形式。

新系杆构造见下图。



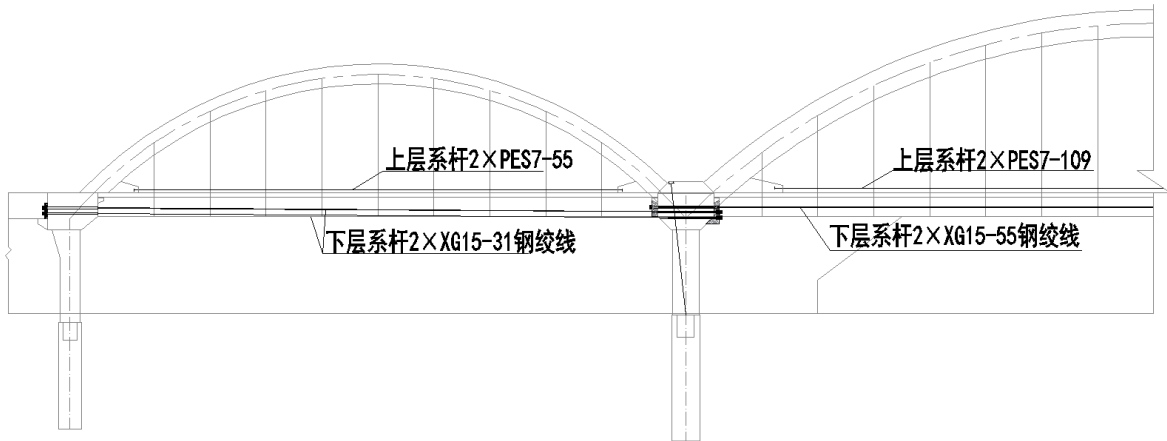


图 5.17 系杆更换总体布置图

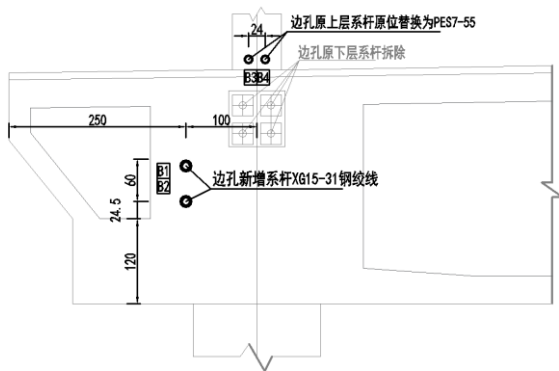


图 5.18 边拱桥墩系杆断面

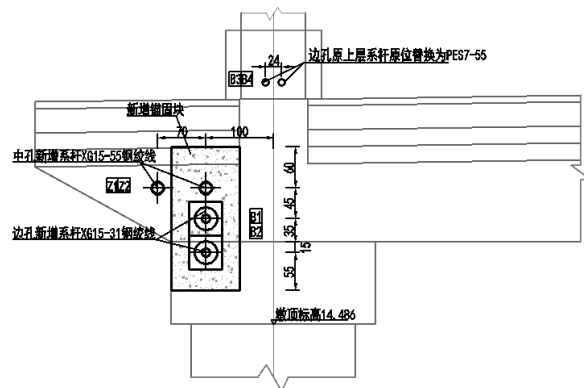


图 5.19 中拱桥墩系杆断面

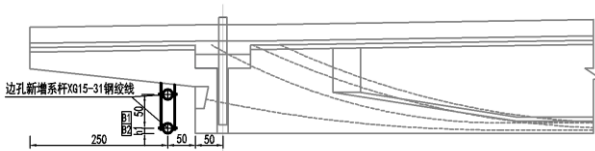


图 5.20 边拱桥墩系杆断面（过渡孔侧）

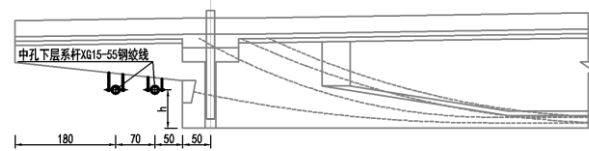


图 5.21 中拱跨中系杆断面

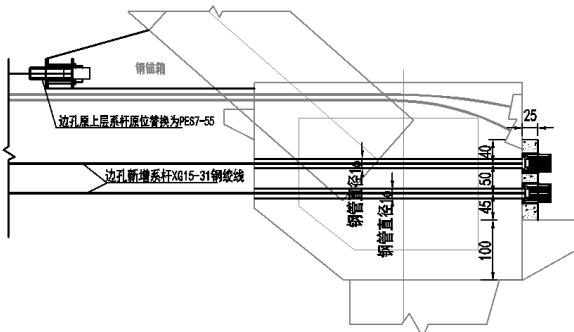


图 5.22 边拱桥墩系杆立面

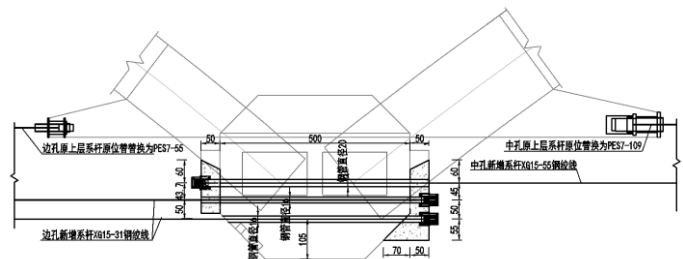


图 5.23 中拱桥墩系杆立面

5.3.3.3 方案三

方案三系杆更换方案如下：

- 1) 边拱、中拱上层系杆等截面替换。



2) 边拱、中拱下层系杆拆除，粘结锚固区域一半孔道拟清理作为备用孔道，其余孔道封堵。

3) 边拱桥面以下在边墩和中墩盖梁打孔，张拉新系杆。

4) 中拱桥面以下在中墩盖梁打孔，张拉新系杆。

1、系杆选型及设计

上层系杆等截面替换，强度由原 1670MPa 提升到 1960MPa。

下层系杆拆除后，新增系杆应具备足够的安全储备。同时应满足可更换、便于维护的要求。系杆更换后型号及张拉力见下表。

表 5.21 系杆更换张拉力（推荐方案）

位置		型号	张拉力 t	合力 t
边拱	原上层系杆	7-55*2（平行钢丝）	100*2=200	620
	新增系杆	15-27*2（钢绞线）	210*2=420	
中拱	原上层系杆	7-109*2（平行钢丝）	220*2=440	1200
	新增系杆	15-55*2（钢绞线）	380*2=760	

边拱新增系杆置于桥面以下，盖梁侧面打孔新增锚固块用于张拉新系杆。为保证后续可更换，边拱原下层系杆清理一半孔道作为备用孔道，过渡墩引桥 T 梁端横隔板改造为钢横隔板。

中拱新增系杆置于桥面以下，盖梁侧面打孔新增锚固块用于张拉新系杆。为保证后续可更换，中拱原下层系杆清理一半孔道作为备用孔道。考虑到后续桥面以下系杆更换施工措施较复杂、锚垫板使用寿命更长等因素，中拱新增系杆采用钢绞线形式，要求单根钢绞线可调可换形式。

新系杆构造见下图。

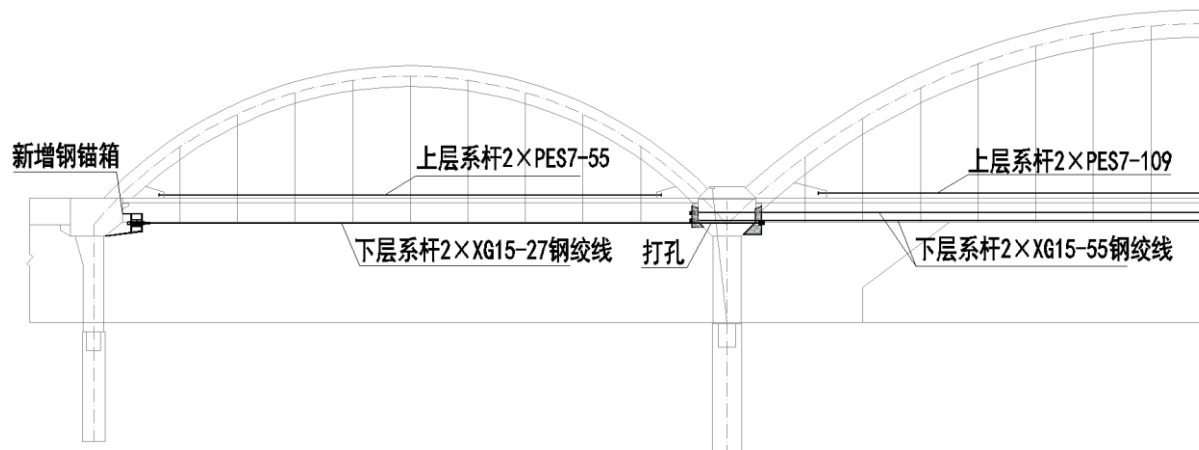


图 5.24 系杆更换总体布置图



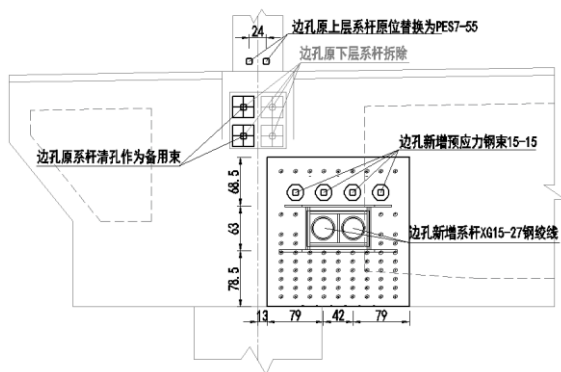


图 5.25 边拱桥墩系杆断面

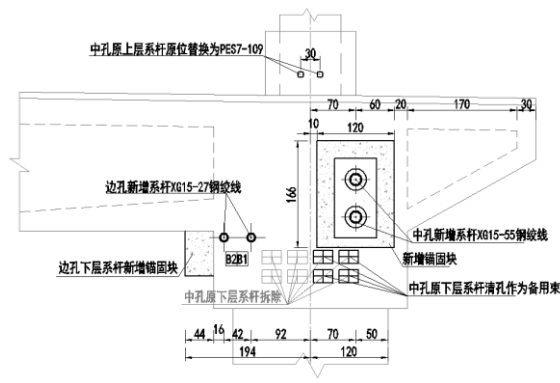


图 5.26 中拱桥墩系杆断面

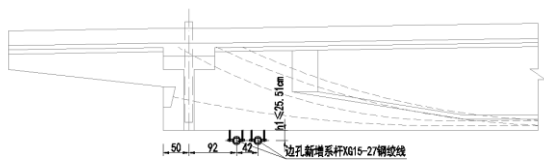


图 5.27 边拱跨中系杆断面

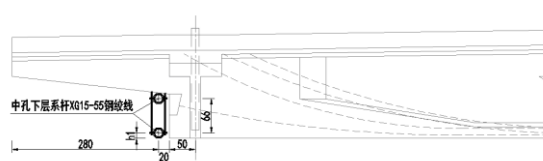


图 5.28 中拱跨中系杆断面

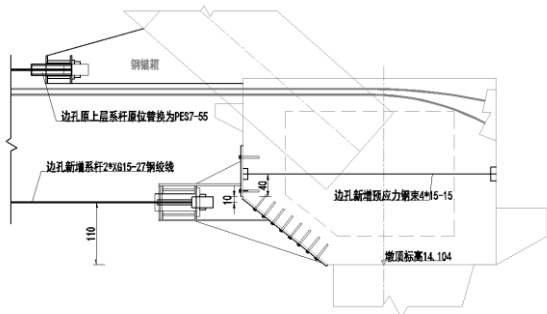


图 5.29 边拱桥墩系杆立面

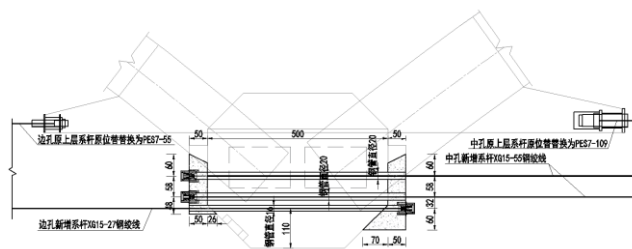


图 5.30 中拱桥墩系杆立面

5.3.3.4 系杆监测

系杆作为系杆拱最重要的受力构件，其索力是决定结构安全的最重要参数。因此，运营期应采取相应设备实时监测索力数据。

目前索力监测手段多样，应用最成熟的为压力环索力监测和智慧拉索，为多角度进行索力监测和对比，可在边中跨、上下游、上层系杆及新增系杆中各取一根系杆作为智慧系杆，共 16 根，剩余 16 根安装压力环进行索力监测，运营期可通过两种手段同时获取杆力，便于对比验证。

5.3.3.5 方案对比

系杆更换是本项目的重难点，综合考虑结构受力、经济型、施工难以等因素进行方案比选如下：

表 5.22 系杆方案对比



项	方案一	方案二	方案三
结构受力	原下层系杆拆除，原上层系杆等截面替换，边拱桥面新增系杆，中拱桥面以下新增系杆	原下层系杆拆除，原上层系杆等截面替换，边拱桥面以下新增系杆，中拱桥面以下新增系杆	原下层系杆拆除，原上层系杆等截面替换，边拱桥面以下新增系杆，中拱桥面以下新增系杆
施工工艺	①新增系杆需桥面新增钢锚箱、打孔植筋、盖梁打孔等构造； ②系杆更换需对人行道板进行改造； ③施工工序较多，施工较复杂	①新增系杆需打孔植筋、盖梁打孔等构造； ②系杆更换需对过渡孔端横隔板进行改造； ③施工工序较多，施工较复杂	①新增系杆需打孔植筋、桥侧新增钢锚箱、盖梁打孔等构造； ②系杆更换需对过渡孔端横隔板进行改造； ③系杆更换需进行原下层系杆孔道清理作为备用孔，施工难度无法确定； ④施工工序较多，施工较复杂
通航影响	满足	边跨（非通航孔）突破桥下净空约 15cm，需与航道部门沟通确认	边跨（非通航孔）突破桥下净空约 30cm，需与航道部门沟通确认
对人行道的影 响	人行道板改造，枕梁加高 13cm，改造后新增系杆位于人行道板以下，不影响人行道通行	无影响	无影响
可更 换性	满足	满足	满足
经济 性	造价低	造价高	造价高
结论	推荐	比选	比选

通过上述的方案比选，本项目选取方案一作为推荐方案。

5.3.4吊杆更换

本桥全桥共 66 根吊杆，既有吊杆由 85φ7 镀锌高强度低松弛预应力钢丝组成，钢丝标准强度为 1670MPa，冷铸墩头锚。梁端锚固端位于中横梁节点内，拱肋端张拉端位于拱肋上钢管混凝土中。

吊杆更换有如下制约因素：

1、根据竣工图资料，吊杆现梁端预埋管尺寸为内径 φ155×7mm，目前 85φ7 平行钢丝锚头直径为 170mm，不扩孔无法实现等截面吊杆、冷铸墩头锚、不突破净空替换。采用热铸锚形式时，需索体穿过预埋管，梁端锚固，梁端突破净空形式。

2、根据竣工图资料，吊杆现梁端预埋管位于中横梁预应力中间，预埋管扩孔会破坏中横梁预应力，影响中横梁安全。因此，吊杆梁端预埋管无法扩孔。

3、根据施工图资料，目前中跨为通航孔，通航孔高度 8.7m，紧贴加劲纵梁底边，与海事部门沟通后，加固措施不能突破净空。



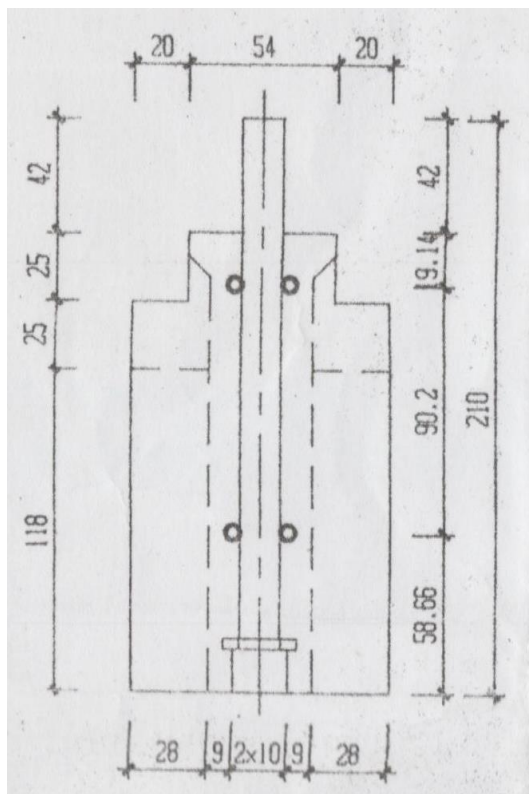


图 5.31 原桥吊杆下导管构造图 (mm)

因此，吊杆更换方案，应结合计算，考虑现成品索尺寸、梁端预埋管无法扩孔，中跨不突破净空等因素，综合考虑选择设计方案。

5.3.4.1 方案一

1、构造

本方案中拱边索采用 15-19 钢绞线整束挤压吊杆；其余索采用 PES7-85 高强镀锌钢丝平行索接刚性拉杆吊杆，钢丝标准强度采用 1860MPa，刚性吊杆直径为 135mm，可穿过现状梁端预埋管（内径 155mm），无需扩孔，桥上通过锚具连接索体。为方便日后检修和吊杆更换，新吊杆下锚头设置不锈钢保护盖板，上锚头通过导管外伸至拱肋外部增设不锈钢保护罩。

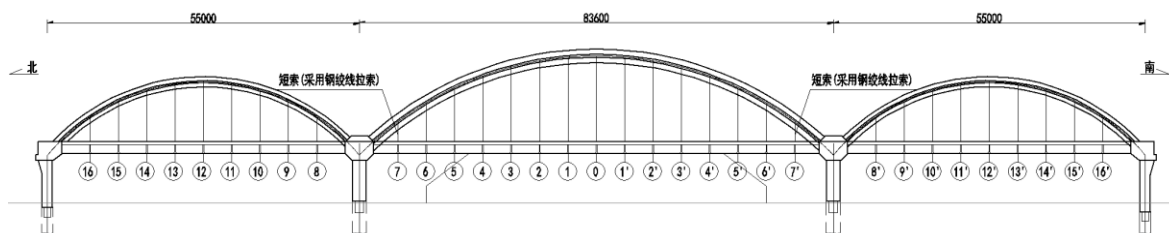


图 5.32 吊杆更换总体布置图 (mm)

中拱边索由于过短，桥面无法放置柔性索锚固端，因此采用削弱截面的 15-19 钢



绞线截面形式，吊杆构造见下图。

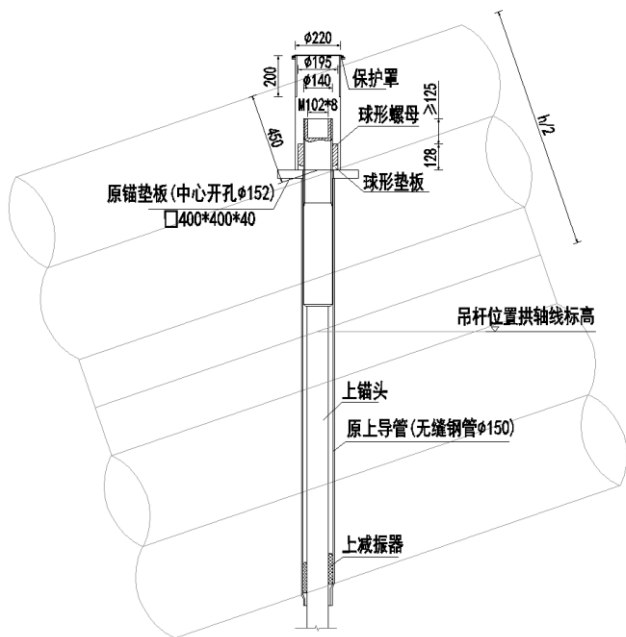


图 5.33 吊杆拱肋端构造

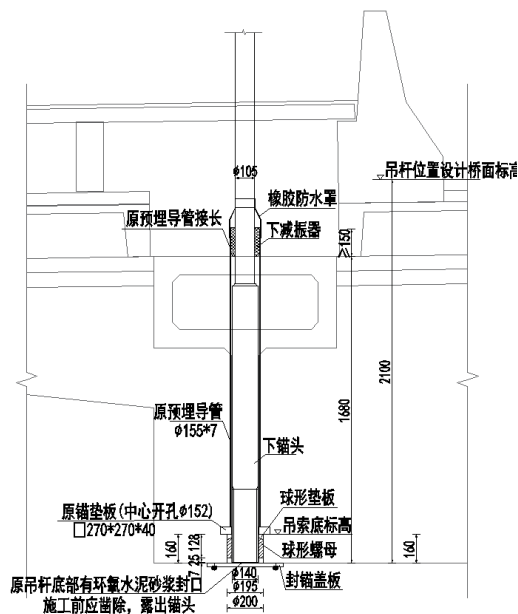


图 5.34 吊杆梁端构造

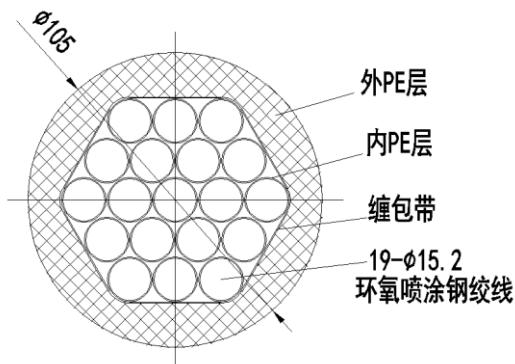


图 5.35 15-19 钢绞线整束挤压吊杆

其余索（除中拱边索）吊杆构造见下图。吊杆上锚头较原吊杆大，需对拱肋上端进行扩孔。梁端先穿索体，现场安装热铸锚。



工况	拉索	面积 (mm ²)	索力验算							加劲纵梁验算
			断裂前最大索力 (kN)	断裂后最大索力 (kN)	增大值 (kN)	考虑冲击系数后最大索力 (kN)	应力 (MPa)	设计值 (MPa)	安全系数	
(6#)	5	3270	1073	1484	411	1896	580	1240	2.14	抗弯 1.10, 抗剪 1.22
断中孔中索 (0#)	2	3270	1043	1162	119	1281	392	1240	3.17	
	1	3270	1043	1404	360	1764	540	1240	2.30	
	0	3270	1043	断裂						

计算表明，在考虑突然断索后的冲击放大系数 2.0 后，旁索安全系数 1.00，加劲纵梁抗弯安全系数 1.03，抗剪安全系数 1.04，满足规范不落梁要求。

5.3.4.2 方案二

1、构造

本方案所有吊杆均采用 15-19 钢绞线整束挤压吊杆。

2、断索计算

断索工况下，吊杆及加固后的加劲纵梁验算见下表。

表 5.24 吊杆断索验算表格 (JTG/T D65-06-2015-fpk/1.5)

工况	拉索	面积 (mm ²)	索力验算							加劲纵梁验算	
			断裂前最大索力 (kN)	断裂后最大索力 (kN)	增大值 (kN)	考虑冲击系数后最大索力 (kN)	应力 (MPa)	设计值 (MPa)	安全系数		
断边孔边索 (8#)	10	2660	1051	1141	90	1231	463	1240	2.68	抗弯 1.01, 抗剪 1.00	
	9	2660	1092	1485	393	1877	706	1240	1.76		
	8	2660	1117	断裂							
断中孔边索 (7#)	7	2660	1108	断裂							抗弯 1.19, 抗剪 1.01
	6	2660	1118	1461	343	1804	678	1240	1.83		
	5	2660	1066	1151	85	1235	464	1240	2.67		
断中孔次边索 (6#)	7	2660	1108	1683	576	2259	849	1240	1.46	抗弯 1.17, 抗剪 1.20	
	6	2660	1118	断裂							
	5	2660	1066	1460	394	1855	697	1240	1.78		
断中孔中索 (0#)	2	2660	1034	1161	127	1288	484	1240	2.56	抗弯 1.06, 抗剪 1.21	
	1	2660	1034	1378	343	1721	647	1240	1.92		
	0	2660	1034	断裂							

计算表明，在考虑突然断索后的冲击放大系数 2.0 后，旁索安全系数 1.04，加劲纵梁抗弯安全系数 1.01，抗剪安全系数 1.00，表明吊杆刚度变小后，断索工况下，竖向力更多的由纵梁承受，抗弯性能满足规范要求。



5.3.4.3 理论计算索力对比

2022 年对索力进行了检测，上游侧索力测试时温度为 21.2~22.9℃，下游侧索力测试时温度为 27.4~29.1℃。结构合拢温度为 15℃，上游侧索力测试整体升温 7℃，下游侧索力测试整体升温 13℃。总体计算模型不考虑活载影响，仅考虑恒载及整体升温。恒载索力对比见下表。

表 5.25 部分实测吊杆力与计算值对比

吊杆编号	98 年成桥荷载试验	2022 年实测索力(上游侧)	2022 年实测索力(下游侧)	成桥计算索力
16'	/	/	/	787
15'	/	1093	1198	768
14'	/	1013	1036	744
13'	600	883	822	734
12'	627	847	937	732
11'	642	970	957	735
10'	579	1028	1039	743
9'	/	1202	1419	760
8'	/	/	/	765
7'	/	/	/	705
6'	/	/	/	754
5'	/	1184	1196	749
4'	/	856	1076	743
3'	/	1042	953	741
2'	/	853	903	741
1'	615	928	964	741
0	631	922	877	741
1	600	874	823	741
2	619	903	813	741
3	/	961	1017	741
4	/	977	1062	743
5	/	963	1065	749
6	/	/	/	751
7	/	/	/	699
8	/	/	/	793
9	/	1221	1231	767
10	/	1122	938	740
11	/	1009	907	730
12	/	860	950	728
13	/	997	1023	730
14	/	967	1072	741
15	/	1297	1257	770
16	/	/	/	804

由上图表可知，考虑恒载变化（沥青加铺）后，成桥索力分布较均匀，约为 75t。



根据检测报告，解放大桥吊杆普遍较短，荷载试验前后人行道板拆除、重新铺装导致吊杆边界条件的差异、以及测试期间的温度差异等因素对频率法索力测试的影响均较大，因此本次索力检测结果不能准确反映实际索力，但可为后续运营提供对比和参考。

建议在吊杆更换时，采用张拉法实测索力，及时向设计单位进行反馈。

5.3.4.4 方案对比

结合考虑结构类型、经济性、景观性、施工难易等因素进行方案比选如下：

表 5.26 吊杆方案对比

项	方案一	方案二
结构类型	中拱边索采用 15-19 钢绞线整束挤压吊杆，其余索采用 PES7-85 高强镀锌钢丝平行索接刚性拉杆吊杆。 张拉端、锚固端外露，方便检修维护。	全部吊杆采用 15-19 钢绞线整束挤压吊杆。 张拉端、锚固端外露，方便检修维护。
结构受力	断索工况下满足规范要求。	断索工况下，吊杆刚度不足，加劲纵梁分配力较大，抗弯安全系数小于方案一，但满足规范要求（安全系数为 1.01）
	全桥长吊杆采用柔性索接刚性拉杆体系，刚性拉杆受力性能比柔性索稍差，设计加强了刚性拉杆与平行钢丝索的连接保护，并限制了刚性拉杆与横梁的相对位移，将运营期间的结构变位转移至与之连接的柔性索。	全桥吊杆体系均为柔性索体系，受力性能较好，能更好地适应桥梁运营期间的结构变位。
施工工艺	桥面现场安装刚性张拉杆，施工工艺较复杂	下螺母需特制。整体起吊安装，施工工艺较简单
景观性	上锚头布置于拱肋以外，桥面上有连接锚头，改变原桥景观效果	上锚头布置于拱肋以外，改变原桥景观效果
通航需求	满足	满足
可调可换性能	满足	满足
经济性	造价高	造价低
结论	推荐	比选

通过上述的方案比选，本项目选取方案一作为推荐方案。

5.3.5 中拱肋新增横撑

根据原结构验算结果，中拱第一阶面外稳定系数 2.533，边拱第一阶面外稳定系数 4.407，中拱稳定系数不能满足规范要求（规范要求不小于 4.0），**应按规范在中拱肋设置横撑。**

拱肋横撑形式有一字式、K 式、X 式、米字式等。横撑形式选择应考虑如下因素：



1、拱肋间距达到 18m，跨径较大，一字式横撑截面刚度小，难以大幅度提高稳定性。

2、拱肋形式为哑铃型，腹板高度 600mm，横撑构造应与拱肋截面相适应。

综合考虑，中拱拱肋横撑形式采用 K 式，截面形式采用单管圆形截面，外径 500mm，壁厚 12mm。横撑位置位于 1/3 拱肋处，与拱肋外包钢板连接。拱肋原耳肋在横梁连接处割除，拱肋外包钢板在原耳肋位置采用 M24 高强度摩擦型螺栓抱箍在拱肋上，伸出 300mm 的接头与横撑焊接。横撑材料采用 Q355D。边拱不设置横撑。

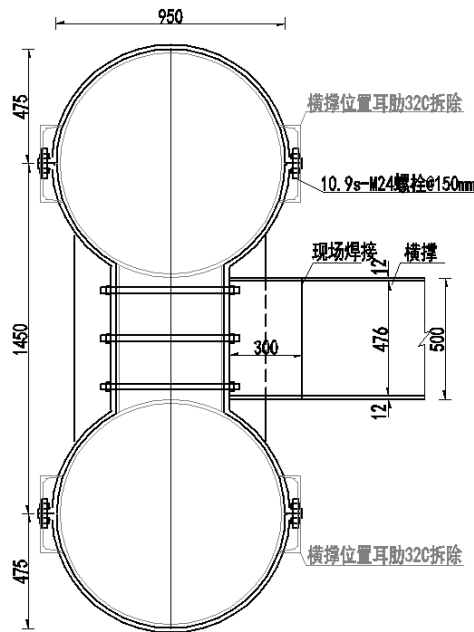


图 5.39 横撑截面 (mm)

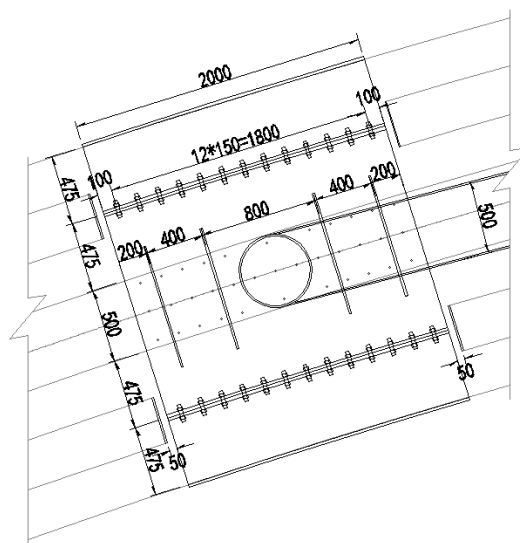


图 5.40 横撑与拱肋连接大样 (mm)

整体稳定验算结果：



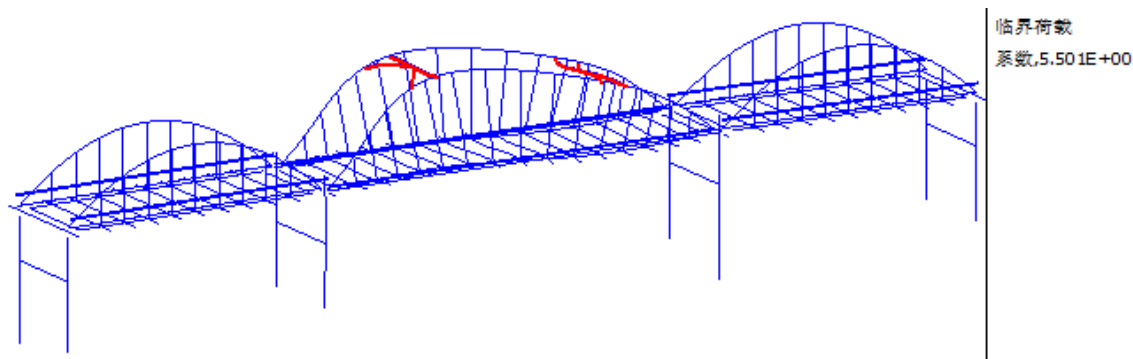


图 5.41 中拱肋失稳模态（失稳系数 5.501）

中拱面外失稳的稳定系数为 5.501，满足规范要求。

5.3.6 加劲纵梁加固

本桥建设于 90 年代，当年规范未对断索工况有所规定，本桥加劲纵梁刚度较小，结构防连续倒塌设计理念不足，结构并无可靠的替代传力路径。根据原桥断索工况计算可知，断索工况下加劲纵梁在断索工况下不满足原设计规范要求，故需要对加劲纵梁进行加固。

结合结构计算，采取 UHPC 包大腹板、底板粘贴 10mm 钢板的方式进行加固，提高加劲纵梁的承载能力，以满足原设计的规范要求。本次选用 UC120 高性能纤维混凝土，钢板采用 Q355D。

加固纵梁标准断面见下图。纵横梁连接处，横梁凿毛植筋，保证节点刚接共同受力。底板钢板与腹板连接采用钻孔、化学螺栓连接形式，在新增 UHPC 中预埋，旧腹板打孔安装螺栓。

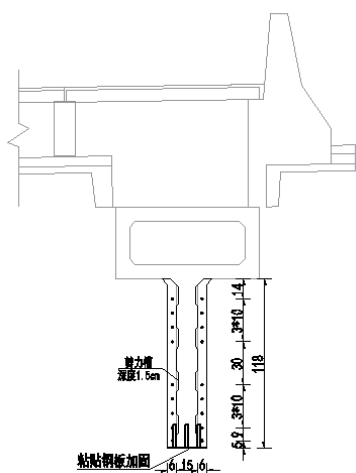


图 5.42 加劲纵梁标准断面 (cm)

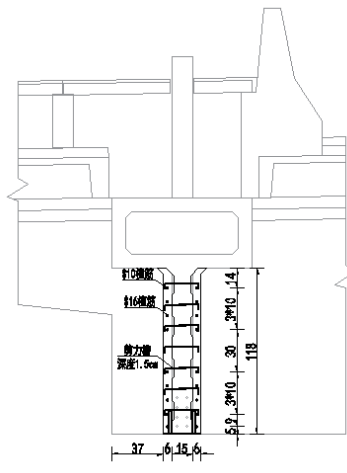


图 5.43 横梁处加劲纵梁断面 (cm)

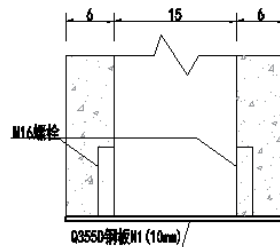


图 5.44 粘贴钢板大样 (cm)

原纵梁梁端利用钢牛腿兜吊搭接，钢牛腿焊接在拱肋钢管上。本次包大截面时，在梁端区域无法包大，为保证断索工况下，纵梁端部抗剪不足破坏不落梁，在桥墩盖



梁上新增钢牛腿。

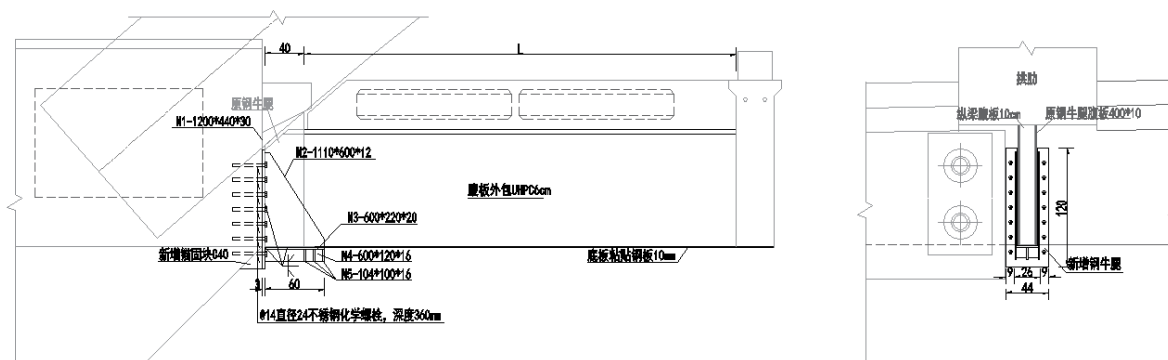


图 5.45 桥墩新增钢牛腿 (cm)

5.3.7 拱肋脱空处治

(1) 病害检测情况

解放大桥钢管拱抽检区域内，钢管拱与内部混凝土结合面存在“钢管拱与混凝土明显脱空”，又存在“钢管拱与混凝土轻微脱空”的普遍现象。（可能为混凝土收缩和温度差异所引起、钢管拱施工阶段注浆不密实等原因造成）

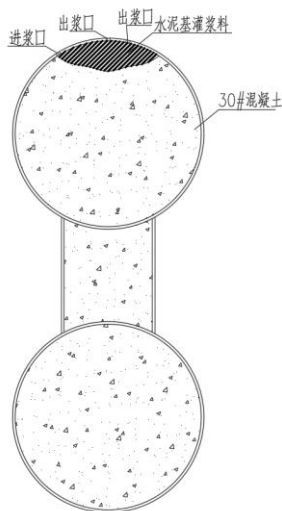


图 5.46 拱肋脱空处治图

(2) 处治方案

施工单位根据检测报告确认拱肋脱空具体位置，脱空区域用水泥基灌浆料，微裂缝采用改性环氧树脂注浆液。施工采用负压辅助注浆进行脱空区域进行处理。注浆分两次注浆，首先采用水泥基灌浆料进行大范围大颗粒的脱空区域封闭，水泥基灌浆料施工完毕后，再采用改性环氧树脂注浆液进行微裂缝封闭。

5.3.8 涂装更换

1) 钢结构涂装



涂装范围：主桥拱肋重新涂装、新增拱肋横撑和钢锚箱涂装。

2) 混凝土结构涂装

涂装范围：主桥横梁、加劲纵梁、桥墩及盖梁涂装更新，引桥及匝道涂装更新。

3) “一桥一景”的品质化提升要求

解放大桥于 2017 年进行了“一桥一景”的景观品质化提升。本次维修工程在涂装更换时，应保证景观与维修前一致，涂装颜色可通过调整面漆颜色实现，具体部位颜色可参考《珠江前航道跨江桥梁维修整饰工程——江湾大桥、解放大桥项目勘察设计》（2017 年 3 月）。如有需要，建设单位可根据解放桥最新的实际情况，结合周边环境的变化，在施工阶段确定色号。

(1) 拱肋圆管表面、钢横撑、桥面以上钢锚箱涂刷颜色为（标准命名：GB 6.9R4/11；色卡代码：1085）；

(2) 主桥及引桥桥身颜色为（标准命名：GB N8.25；色卡代码：1366）；

(3) 主桥及引桥桥底、桥面以下新增钢锚箱颜色为（标准命名：GB N8.25；色卡代码：1264）。

5.3.9 常规病害处治

结合最新检测报告和广州市交通设计研究院有限公司于 2023 年 6 月出具的《2023 年新三桥维修专项施工图设计》，本项目处治未涵盖的病害。处治如下：

1、桥面铺装修补

对主桥、南北引桥、匝道沥青铺装裂缝、坑槽进行修补。

2、空心板铰缝处治

对北引桥 1#、3~17#跨，南引桥 9#跨空心板铰缝进行灌缝处理，灌缝材料采用环氧砂浆。

3、支座更换

对南引桥 26-27#墩台支座进行更换，更换为 GBZY200*42（CR）。

5.4 其他维修内容

5.4.1 照明恢复

功能性照明主要包括两侧路灯，景观照明包括拱肋线灯、吊杆射灯、桥墩射灯、桥侧聚光灯，由于本次的维修内容会侵占照明的位置，因此应照明中心要求，维修期间拆除，维修完成后进行恢复。



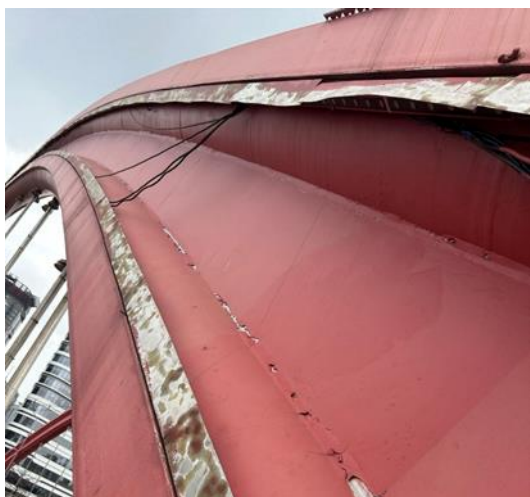


图 5.47 拱肋线灯



图 5.48 吊杆射灯



图 5.49 桥墩射灯



图 5.50 桥墩聚光灯

5.4.2 电车轨道恢复

电车轨道会影响本次维修的拱肋横撑架设、吊杆更换，维修期间拆除，维修完成后恢复。



图 5.51 电车轨道

5.5 工程方案

5.5.1 维修施工流程方案

本桥主桥维修施工按以下工序进行：



1、封闭交通，桥面清理，拆除人行道板，拆除景观照明，拆除路灯，安装梁底检查车，安装墩柱检修平台，架设拱肋满堂支架。

2、中拱肋架设横撑，中孔桥面架设支架，拱肋安装法兰盘，横撑起吊安装。

3、对拱肋全线进行检测，明确脱空区域和脱空程度，对脱空区域进行注浆处理。

4、加劲纵梁加固，腹板采用 UHPC 包大，底板采用粘贴钢板加固，墩梁处新增钢牛腿。

5、全桥更换系杆，基于原下层系杆得不可更换构造，在必要检测、模拟计算、分析评估的基础上，新增系杆，对既有系杆进行逐根更换，确保维持桥梁总体安全性、可靠性、稳定性。

6、全桥更换吊杆，吊杆上端拱肋切割，混凝土清理，下端锚头清理，利用临时兜吊系统逐根更换。

7、桥面系维修改造，在结构性维修的基础上，对桥面系进行维修改造，改造人行道，吊杆系杆区域设置隔离栏。

8、结构涂装防护，在结构性维修基础上，对钢结构进行全面彻底的重新涂装；同时混凝土结构缺陷处理后，进行全面涂装防护，提高结构耐久性及安全性。

9、桥梁亮化恢复，对施工期间拆除的景观照明和路灯进行恢复。

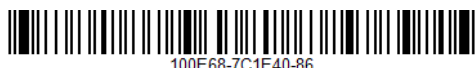
10、结构监测监控，增设大桥结构监测系统，以实时掌握桥梁运营状况，确保结构安全。

5.5.2 维修施工工期

根据现场实际情况，施工工期排序预计 180 天，具体时间见下表。

表 5.27 维修工期排序

序号	工序名称	工序工期(天)	开始时间	结束时间	备注
1	封闭交通，施工临时措施搭建	31	第 1 天	第 31 天	
2	中拱肋 1/3 处新增横撑	20	第 15 天	第 34 天	
3	拱肋脱空注浆	20	第 33 天	第 52 天	20 天(边跨 2×6+中跨 8=20)
4	加劲纵梁加固	35	第 33 天	第 67 天	
5	更换系杆	50	第 64 天	第 113 天	全桥共 44 根系杆
6	更换全桥吊杆	66	第 90 天	第 155 天	全桥共 66 根吊杆
7	拱肋涂装、中横梁、墩柱涂	20	第 156 天	第 175 天	



序号	工序名称	工序工期（天）	开始时间	结束时间	备注
	装等常规病害 修复				
	主桥整体工程	175	第 1 天	第 175 天	
	交工验收	5	第 176 天	第 180 天	

5.5.3系杆更换施工要点

更换流程：

- 1、拆除人行道盖板；
- 2、边墩、中墩盖梁顶面清理，打孔植筋，安装钢锚箱，安装边拱新增系杆；
- 3、中墩盖梁打孔，安装锚固块，安装中拱新增系杆；
- 4、边拱利用新增系杆逐根更换原上层系杆；
- 5、边拱利用新增系杆拆除原下层系杆；
- 6、中拱利用新增系杆逐根更换原上层系杆；
- 7、中拱利用新增系杆拆除原下层系杆。

具体要求如下：

1、更换过程中由专业监控单位在更换全桥系杆之前、更换完成之后以及索力调整完成之后三个时间点，用高精度专业仪器对桥面系标高、墩柱偏位进行监测，实现对施工过程的实时监控。以原结构（尤其是拱肋、墩柱基准点）线型控制为主，索力控制为辅。

2、先更换边拱系杆，再更换中拱系杆，按从上到下的顺序逐根更换拆除。

3、系杆体系转换以每 10%的索力为一个步长，即新系杆每张拉 10%索力，旧系杆放张 10%，重复张拉、放张关系直至完成单根系杆张拉。

4、每阶段旧索拆除新索安装工作全部完成后方可开始下一阶段索的安装，禁止交叉进行。

5、待安装索体上桥前应将桥上所有拆除的旧索运出现场，禁止将非工序必要索体放置于桥上。

6、第一次全桥线形测量应待交通完全封闭后进行，系杆更换过程保持交通封闭。

7、整个系杆更换过程中应全程观测并记录监测系统的数据，如出现异常应立刻停止施工。

下层系杆张拉防护：下层系杆粘结锚固无法二次张拉，其拆除过程要布置必要的



防崩设置，采用逐根切割逐根放张方式，对切割位置各一侧设置受拉葫芦配吊带或索夹刚性连接约束，防止自由索体侧向甩动安全风险，并对相邻旧系杆包裹石棉布做好防火保护措施。

为防止卸载原系杆过程中，钢丝弹出发生安全事故，切割前在待切割部位两侧各100mm位置，各安装一个钢索夹，且钢索夹通过钢连接件与相邻索杆可靠连接。

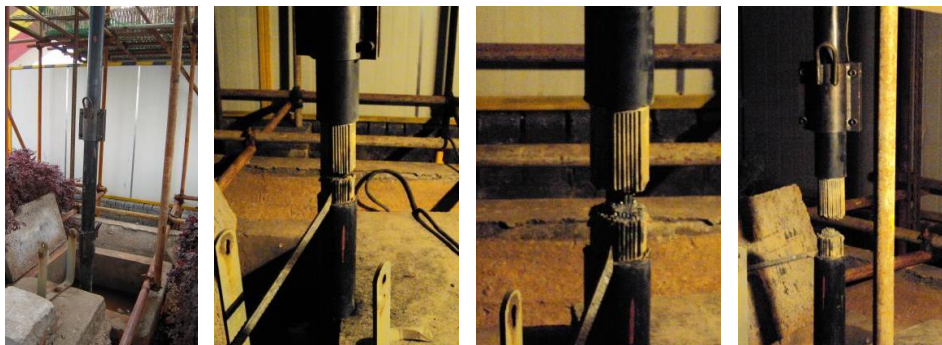


图 5.52 切除原系杆示意图

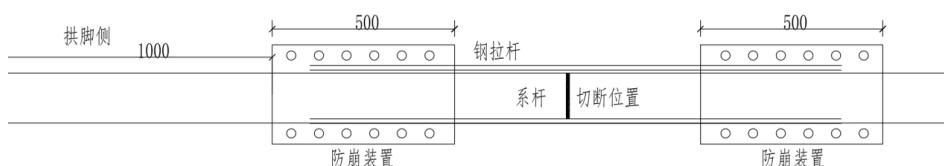


图 5.53 切割系杆防崩装置

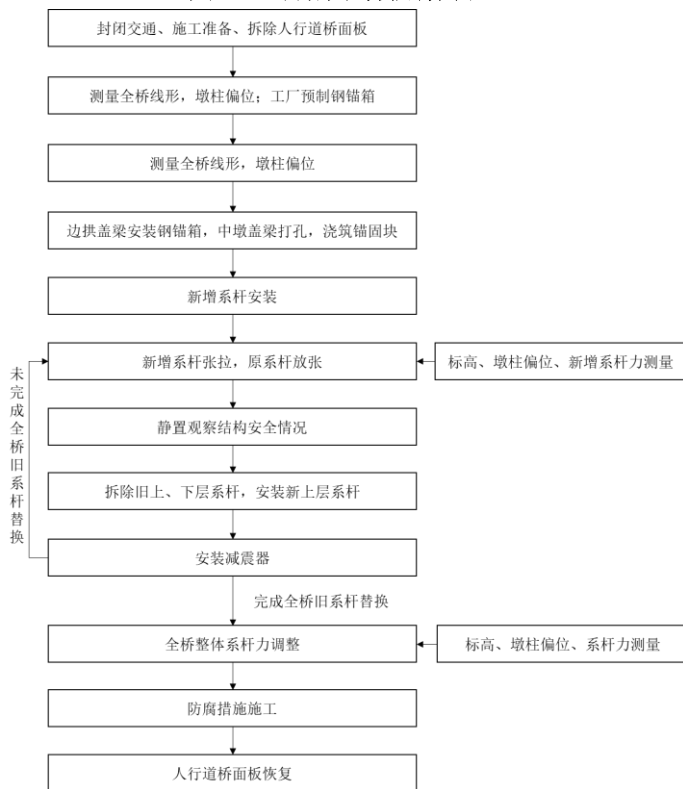


图 5.54 系杆更换施工流程图



5.5.4 吊杆更换施工要点

吊杆更换采用临时兜吊法对吊杆进行更换。施工流程包括施工准备—兜吊系统安装—旧吊杆拆除—新吊杆安装—新吊杆张拉—新吊杆防护。更换施工从跨中往两端的顺序进行。其流程图如下图所示。

1、施工工艺流程

吊杆更换施工的关键之一就是吊杆力的控制，为了确保吊杆更换达到预期目标，更换过程中由专业监控单位在更换全桥吊杆之前、更换完成之后以及调索完成之后三个时间点，用高精度专业仪器对桥面系标高及全桥吊杆索力进行监测，实现对施工过程的实时监控。以高程控制为主，应力控制为辅。

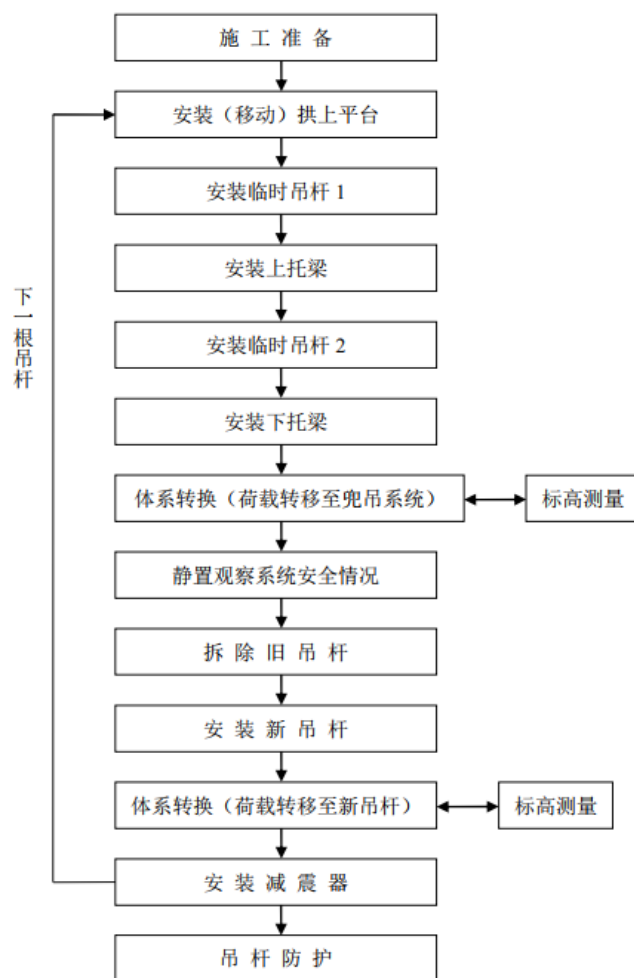


图 5.55 吊杆更换施工工艺流程图

2、测量

在封闭交通的情况下，测定恒载状态下所有吊杆安装位置的桥面初始标高，作为吊杆更换及桥梁加固的基准，并以之作为今后加固施工完成之后加固效果的一个评定参考。利用压力传感器测量全桥吊杆索力，作为吊杆更换施工中的索力控制参数。在更换吊杆过程中，遵循以高程控制为主，应力控制为辅的原则。



1) 原点设置

桥面测量原点考虑设在振动相对较小的主桥端横梁处。

2) 测点布置

在每根需要更换的吊杆位置及所对应的横梁中心线位置作为该吊杆更换时桥面标高的观测点。

3) 测量方式

用全站仪或水准仪测量原点和观测点之间的相对高差，吊杆更换过程中实时监控桥面标高变化不超过 $\pm 5\text{mm}$ ；

4) 吊杆索力测量

利用张拉法对吊杆力进行检测，实时监控吊杆力在误差的范围内。

3、兜吊系统的安装

1) 在安装兜吊系统之前，需要在拱肋和梁底搭设必要的施工平台。

2) 拱上平台由工厂精确下料制作、组合拼装。整体运到现场，用汽吊整体吊装在拱肋上部，设置抗滑索，并精确调整到吊杆正上方。

3) 每根吊杆更换完成后，可以利用爬行千斤顶将拱上张拉平台下放到下一根吊杆位置。平台移动时在角度可调基座与拱肋之间垫入四氟滑板和薄钢板，保护拱顶油漆。

4) 按设计好的图纸将临时吊杆、上托梁、下托梁组装好。

4、兜吊系统的预紧

1) 兜吊系统组装完成后，调整托梁位置，安装好限位装置，使结构保持可靠连接。

2) 在张拉预紧调平临时吊杆时，要求对四根临时吊杆同时同步进行受力。

3) 对临时吊杆进行预紧张拉的同时，监测桥面标高。桥面标高上下位移不能超过设计要求误差范围。

5、第一次体系转换

1) 吊杆从拱顶张拉，可以进行分级张拉控制，每一级的张拉过程中控制桥面标高变化值在 $\pm 5\text{mm}$ 之内。

2) 吊杆力转换过程中，监视吊杆千斤顶、临时吊杆千斤顶的油压值，及时换算成输出力，将所有千斤顶输出力的合力与吊杆初始力相比较，当偏差超过 5%时，应及时调整。

6、静置观察



待吊杆力转换完成以后，静置观察 5（前 4 根吊杆需要 12 小时）小时，待兜吊系统完全稳定没有发生不良情况，方可开始旧吊杆的拆除。

7、旧吊杆拆除

可以采用起重卷扬机提升旧吊杆直至下锚头从预埋管上端脱离，再横向牵引下锚头至桥面的方式，完成吊杆拆除。

8、新吊杆安装及张拉

1) 新吊杆的安装

(1) 吊杆拉索由工厂制作卷盘成捆，然后汽运至施工现场，按施工进度要求组织吊杆的进场顺序，检查吊杆拉索在制作及运输过程有否损伤，做好吊杆的进场验收和资料归档工作。

(2) 安装之前查明所需吊杆的编号，再将吊杆的放索展开，注意释放卷盘时产生应力的过程有一定危险。

(3) 用卷扬机上提吊杆，应防止吊杆突然串动。

(4) 按设计位置完成新吊杆安装。

2) 新吊杆体系转换

新吊杆张拉过程即是旧吊杆下放的逆过程。

(1) 新吊杆安装时，要进行拱上平台的位置调整

(2) 可以采用分级张拉，在张拉过程中，对桥面标高和吊杆力进行实时监测，控制桥面标高上下位移不能超过 $\pm 5\text{mm}$ ，吊杆力不超过 $\pm 5\%$ 。

(3) 吊杆张拉时对吊杆力及标高进行双控。

(4) 依据吊杆力和桥面系标高情况，如有需要，用吊杆张拉体系可对吊杆索力再进行调整。

9、施工应急预案

为确保施工安全，应针对遭遇强台风、雷雨天气、突然断电等等突发情况制定相应的应急预案。

5.5.5 拱肋脱空处治施工要点

5.5.5.1 施工准备

本次采用负压辅助注浆对拱肋脱空区域进行加固处理，即先将混凝土空洞部位空气抽走，使内部空间处于负压状态，再进行胶液灌注。在整片拱肋上由拱脚到拱顶的顺序注浆，拱肋断面上由侧面向顶面的顺序注浆。

注浆分两次注浆，首先采用水泥基灌浆料进行大范围大颗粒的脱空区域封闭，水



泥基灌浆料施工完毕后，再采用改性环氧树脂注浆液进行微裂缝封闭。

5.5.5.2 施工工艺

(1) 施工准备

①注浆施工前，结合前期检测的结果，重新采用锤击法和超声波法测定缝隙的位置及大小，根据不密实范围，根据钻孔布置原则，确定钻孔位置、数量。

②检查所有使用的材料、机具，做好施工准备。

(2) 预埋压浆管道

①选定处理脱粘区域，并在被加固构件上画出网格，网格间距可根据现场情况确定，一般为 80cm。

②根据网格位置并避开拱肋加劲区域进行钻孔，钻孔孔径 10mm（在满足深度要求下选用小直径，以减少对原结构的破坏）。孔与孔的距离根据脱空范围而定。在不密实范围距底部边缘 5cm，距不密实范围顶部 5cm 位置，钻孔孔径 10mm，两孔中间每隔 2m 钻一个孔，相邻两个孔为一组，靠拱角向为注浆孔，靠拱顶向为排气孔，每组孔间隔 10cm。施工时，可根据脱空单位、压浆试验调整孔距，确定合理孔距。

③在钻孔位置安装注浆（或出浆）嘴。

(3) 连通性与密封性检查

注浆（出浆）嘴安装完毕 1 天后即可进行连通性与密封性检查。

①将空压机与一根注浆嘴连接，在其周围注浆嘴口涂抹肥皂水，启动空压机后观察周围管道口是否有气泡，并进行详细记录。

②一个注浆嘴与真空泵相连，同时关闭其他注浆嘴，开启真空泵，待达到 0.09MPa 时，

关闭阀门并观察真空压力表 1 分钟，若压力变化小于 0.01MPa 即可认为密封良好，如未能满足此要求则表示注浆构件未能完全密封，需进行检查及修补。

③用高压气吹洗裂隙空洞，将其中可能存在的小粉尘杂物从另一端出浆孔冲出，使空洞裂隙通畅、干净。

(4) 负压辅助注浆

①在压浆口及出浆口处接上密封阀门，将真空泵连接在出浆端上，压浆泵连接在压浆端上，以串联的方式将负压容器、三相阀门和锚具盖连接起来，其中锚具盖帽和阀门之间用透明喉管连接。

②在压浆前启动真空泵 10min，以产生真空负压力，压力指标应达到负压力 0.1MPa~0.3MPa，如果没有满足此数据则表示装置未能完全密封，需在继续压浆前



检查及更正。

③在保持真空泵运转的同时，开始往压浆端的压浆口压浆，对储浆桶内的浆材要低速搅拌，以保持灰浆均匀，浆材调制至压入管道相隔时间不得大于 10min，压浆泵压力宜保持 0.8Mpa~1.2MPa，并适当稳压一段时间（一般 30s），以保证浆材能充分充填空洞区域与细小裂隙。

④压浆时压浆泵内不能出现空缺现象，在压浆泵工作暂停时，输浆嘴不能与压浆口脱开，以免空气进入孔内影响压浆质量。出浆孔流出浓浆后关闭阀门，压浆泵持压 30s 后，再关闭进浆口阀门。

⑤操作阀门以隔离真空泵及灌浆浆材，将浆材导向废浆桶的方向，继续压浆直至所溢出的浆材形成流畅及一致性，没有不规则的摆动。

⑥关闭真空泵，关闭设在压浆泵出浆处的阀门，关闭压浆泵。

⑦设备清洗。在每一次灌浆结束后，应及时清洗搅拌机、灌浆泵、浆桶等。

⑧待浆液完全固化后，切除注浆（出浆）管，对钻孔补焊封固。对拱肋表面进行清理。

5.5.5.3 质量检验

(1) 首先查看结构注浆修补部位是否有漏浆，观察胶液色泽、硬化程度。

(2) 重新检测，通过锤击法和超声波法对每个测点进行检测，并与原检测数据进行对比，以验证加固效果。

5.5.6 外包 UHPC 加固施工要点

(1) 总体要求

1) UHPC 的施工应选择具有相关工程经验的技术人员和专业施工设备的单位完成。

2) 施工前应制定 UHPC 专项施工技术方案。

3) 模板及支架强度及刚度应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020) 的要求，以确保外包的 UHPC 厚度满足设计要求。

(2) 混凝土表面清理

1) 对加固区域混凝土破损部位采用人工凿除法、气动工具凿除法或高速射水法将该处松散、破损、污损的混凝土清除干净，直至露出坚硬密实的基面，且表面应凿成凹凸差不小于 6mm 的粗糙面，同时应注意保证该部位无油污、油脂、蜡状物、灰



尘以及附着物等物质。

2) 对于缺陷深度 $\geq 10\text{cm}$ ，面积 $\geq (10\text{cm}\times 10\text{cm})$ 时，表面要凿成方波型和锯齿状，且凿至坚实层，判断的标准是以能够看见混凝土粗骨料为宜。

3) 用钢刷清除外露钢筋表面的浮锈，使之露出光洁部分。

4) 用丙酮将加固区域结构表面擦拭干净。

5) 清理混凝土病害部位时注意不要损伤梁体原有钢筋（尤其是主筋或预应力钢筋束）。

6) 严格按照桥梁维修养护相关规定及要求实施。

7) 表面清理完成后，须对外露锈蚀钢筋进行除锈、防锈、对梁体既有混凝土破损进行修补、对超限裂缝进行灌缝处理。

(3) 植筋

1) 植筋施工前需采取现场试植筋方法对结构胶粘结强度开展试验工作，在确保其粘结强度达到施工设计和规范的要求后，才可以正式对植筋进行施工。在对植筋施工时一定要避免阴雨及低温天气，而最低限制一定要达到粘结剂的使用标准。

2) 钻孔施工前，需要先测定出原结构的钢筋位置，以免钻孔过程中会给原结构钢筋造成伤害。

3) 植筋锚固的关键在于清孔，植筋孔必须清理干净。

4) 植筋施工前或完工后，应在现场或原结构相同标号混凝土结构上植筋做拉拔试验，以检测植筋工艺的合理性和结构胶的粘结性能，试验位置应由现场或甲方现场指定。达到养护期后应由专业检测资质的试验单位做拉拔试验。

拉拔试验合格标准：当拉拔试验结果符合下列情况之一即为合格：

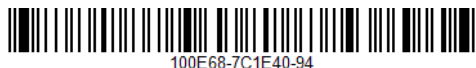
1) 拉拔力已达到钢筋屈服值，而钢筋未被拔出；

2) 钢筋被拔出，但破坏形式为混凝土被破坏而非结构胶破坏，反之则不合格。

(4) UHPC 浇筑

UHPC 的拌和及运输应满足相关规范要求，不得影响 UHPC 的质量及性能指标，当浇筑长度大于 20m 时，宜采用分段浇筑。UHPC 的浇筑除满足相关规范要求外，还应满足如下要求：

1) 混凝土浇筑时应加强施工组织和调度，混凝土的供应必须确保在规定的施工



区段内连续浇注的需求量；2) 混凝土的自由倾落高度不宜超过 2m；在不出现分层离析的情况下，最大落料高度应控制在 4m 以内；3) 泵送混凝土应根据现场情况合理布管。在夏季高温时应采用湿草帘或湿麻袋覆盖降温，冬季施工时应采用保温材料覆盖；4) 混凝土搅拌后 120min 内应泵送完毕，如因运送时间不能满足要求或气候炎热，应采取经试验验证的技术措施，防止因坍落度损失影响泵送。

冬期浇注混凝土时应遵照现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》(JTJ T104-2011) 和现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GB50119) 的有关规定，制定冬期施工措施。在施工环境的最低气温高于-5℃时，可采取混凝土正温入模，加盖塑料薄膜和保温材料，做好保湿蓄热养护。

浇注高性能混凝土应振捣密实，宜采用高频振捣器垂直点振。当混凝土较粘稠时，应加密振点分布。应特别注意二次振捣和二次振捣的时机，确保有效地消除塑性阶段产生的沉缩和表面收缩裂缝。

(5) UHPC 养护

高性能混凝土必须加强保湿养护，在浇注后，应立即用塑料薄膜严密覆盖。二次振捣和压抹表面时，可卷起覆盖物操作，然后及时覆盖，混凝土终凝后可用水养护。采用水养护时，水的温度应与混凝土的温度相适应，避免因温差过大而混凝土出现裂缝。保湿养护期不应少于 14d。

当高性能混凝土中胶凝材料用量较大时，应采取覆盖保温，养护措施。保温养护期间应控制混凝土内部温度不超过 75℃；应采取措​​施确保混凝土内外温差不超过 25℃。可通过控制入模温度控制混凝土结构内部最高温度，可通过保湿蓄热养护控制结构内外温差；还应防止混凝土表面温度因环境影响(如暴晒、气温骤降等)而发生剧烈变化。此外，保湿养护工作应符合下列规定：

- 1) 养生薄膜应搭接铺设，搭接位置宜采用方木或砂粒覆盖，搭接宽度应大于 20cm；
- 2) 覆盖养生薄膜时，不宜损坏超高性能混凝土，宜搭设架子覆盖养生薄膜；
- 3) 保湿养护过程中，应加强巡查力度，发现有缺水部位时，应及时补水养护。

5.5.7 植筋工艺

(1) 施工工艺流程



清理原结构及备料→标定位置→钻孔→清孔→注胶→标定植筋→静置固化→质量检验。

(2) 施工操作要点

1) 标定位置

检查被植筋的混凝土面是否完好，用钢筋探测仪测出植筋处混凝土内的钢筋位置，核对、标记植筋部位，以便钻孔时避让钢筋，如设计植筋位置有钢筋，可以对植筋位置做适当调整。

2) 钻孔

按上述标记钻孔位置，利用电锤钻孔（严禁使用气锤钻孔，防止出现混凝土局部疏散、开裂）。钻孔直径可按照《公路桥梁加固设计规范》（JTGT J22-2008）附录 A 中表 A.3.5 执行。单根植筋锚固受拉承载力设计值和钻孔直径如下表所示：

表 5.28 单根植筋锚固受拉承载力设计值和钻孔直径一览表

钢筋公称直径 (mm)	钻孔直径 (mm)	HRB400 钢筋抗拉强度设计值 $f_{sd}=330\text{MPa}$
		抗拔力设计值 P (kN)
12	15	37.32
14	18	50.80
16	20	66.35
18	22	83.97
20	25	103.67
22	28	125.44
25	31	161.99
28	35	203.20
32	40	265.40

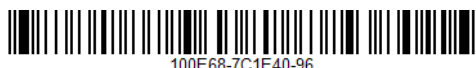
3) 清孔

钻孔成批量后，逐个清除孔内灰尘。清孔方法：先将喷嘴伸入成孔底部并吹入洁净无油的压缩空气，向外拉出喷嘴，反复 3 次；将硬毛刷插入孔中，往返旋转清刷 3 次；再将喷嘴伸入钻孔底部吹气，向外拉出喷嘴，反复 3 次。植筋前应用丙酮或工业用酒精擦拭孔壁和孔底。

4) 钢筋处理

检查钢筋是否顺直，用钢丝刷除去锈渍，用乙醇或丙醇清洗干净，晾干使用。无锈蚀钢筋则可不进行除锈工序。

5) 植筋



植筋用胶黏剂应采用专用灌注器或注射器进行灌注，灌注量一般为孔深的 2/3，并应保证在植入钢筋后有少许胶黏剂溢出。注入胶黏剂后应立即单向旋转插入钢筋，直至达到设计的深度，并保证植入钢筋与孔壁间的间隙基本均匀，校正钢筋的位置和垂直度。

6) 静置固化

胶黏剂完全固化前，不得触动或振动已植钢筋，以免影响其黏结性能。

(3) 施工注意事项

1) 在正式施工前，应模拟植筋，对所用胶黏剂进行黏结抗拔试验，并验证初凝时间和固化时间。

2) 严禁采用将胶黏剂直接涂抹在钢筋上植入孔中的植筋方式。

3) 对植筋进行焊接施工时，植筋的焊点离胶面距离不小于 15d，且应采用冰水浸渍的湿毛巾包裹植筋外露部分的根部。

4) 植筋时应分批植筋，待前一批植筋胶达到强度后方可开孔下一批，以减少对同一截面的削弱。

(4) 施工质量检验

钻孔质量检验可参照《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 附录 A.2 进行。

5.5.8 粘贴钢板要求

1、粘贴钢板的施工工艺及顺序

(1) 施工顺序

用优质高分子树脂灌注裂缝→清洗并平整粘贴部位表面，植入固定钢板的螺栓→钢板粘合面处理→安装并固定钢板(调好压胶间隙)→用胶泥封边→压入粘钢胶→凝固→钢板防锈处理→外表面钢板缝隙用修补胶填平→涂装。

(2) 钢板固定好后应收紧螺栓。

(3) 植螺栓钻孔时，应先探明主筋的位置，量距钻孔，以免钻伤(断)原受力钢筋。

(4) 粘贴钢板，需严格控制外形尺寸，确保整齐美观。

(5) 防锈采用寿命 25 年以上的油漆，以减少养护工作量。



2、植入锚固螺栓的施工工艺及顺序

(1) 在指定的位置植入锚固螺栓，植栓孔应清理干净。植入螺栓的粘合剂符合规范要求，施工工艺必须符合植栓技术要求。

(2) 植入螺栓用的粘合剂须符合下列要求：

①等粘合剂固化后，抗拉力达到设计值；

②要求粘合剂有耐高温性；

③要求粘合剂的耐久性达 30 年以上。

按粘合剂生产供应商规定的固化时间养护至固化后，进行检验验收。

3、粘贴钢板加固施工要点

(1) 待粘结部位的混凝土表面应清凿平顺、坚硬干净；

(2) 钢板除锈要彻底，且表面应有一定的粗糙度；

(3) 慎重选择胶粘料，配胶要精确。

(4) 粘贴前在混凝土上钻孔并安装锚固螺栓（兼作固定和压紧件），要求埋设牢固，具有可靠的抗拔力，以保持粘贴钢板时有效地加压，有利于粘贴的耐久作用。

4、粘钢区域混凝土表面处理

首先仔细检查每一片梁的底板，用环氧胶泥对冲击钻探孔时留下的废孔进行填孔补平；清除被加固构件表面疏松部分，至露出混凝土结构层，若有裂缝应先行修补，若表面坚实，应除去被粘接面的松散砂粒、已被腐蚀的混凝土组织、浮浆层和油污等杂质，并打磨平整，直至露出集料表面。表面打磨后，应用高压风枪和用甲淳（或丙酮）将表面粉尘彻底清除，使之干燥、干净。对于裂缝修复采用“压力法”进行修复；对于有崩缺的孔洞，则用修补胶进行填补，并使填补后的表面与梁底板接合平顺。对平整度太差（截面有突变或每米板长的纵坡大于 1%处）的梁，也必须用修补胶垫平补顺。”

5、安装钢板具体要求

首先将加工好的钢板，通过人工配合卷扬机运至该粘贴钢板的位置，在整个运输过程中，应注意保持钢板不出现过大的变形。然后将钢板固定，安装钢板，并根据梁板的平整情况，在对应的植入钢筋上垫以 3mm 的垫片，使得上紧螺帽后钢板与底板间能保持设计的灌浆厚度和平整度。”



6、灌浆具体要求

待胶泥固化后，即可进行压浆施工。压入的灌钢胶，按厂家提供的配合比进行配制。压浆时，随着每个排气孔和压浆嘴冒浆，直至冒出的浆无明显气泡时，逐个关闭排气孔阀门和压浆嘴阀门，同时移到下一个压浆嘴进行压浆，按这样的顺序逐个进行。

压浆过程中要严格控制浆液进孔压力，一般保持在 0.2MPa 以内，最大不超过 0.5MPa，以免封边过薄处发生崩裂。终压时压力表要保持在 0.2MPa 的读数上，并持续 3~5 分钟，关闭压浆嘴阀门直至固化后拆除压浆嘴和排气，保持表面美观。

压浆的密实度采用锤击法进行检查，即在压浆过程中和压浆完成后，用小铁锤以不大于 10cm 的间隔前后左右敲击钢板表面，通过辨别敲击的声音的异同，来判断钢板内所压的浆液是否密实。待浆液凝固后，检查是否还有不密实之处，对于不密实的地方，用电钻钻孔后，安置注入座重新进行补充压浆，直至压浆完全密实。”

7、钢板表面防腐处理

引桥连续梁及盖梁粘贴钢板的防腐涂层体系：钢板采用双面热镀锌钢板，镀锌层厚度 100um；锚杆及螺帽采用热镀锌，镀锌层厚度 100um。

其它钢结构采用防腐涂装，应符合设计要求及《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》 JT/T 722-2008。

8、粘贴钢板加固施工注意事项

粘贴钢板条必须制定切实可行的施工工艺，并严格按照要求施工。

- (1) 必须合理安排各道工序施工时间，作好施工组织方案，保证工程有序进行。
- (2) 螺栓孔位置放样必须准确，应避免损伤梁体预应力筋及普通钢筋。
- (3) 钢板与混凝土连接表面应平整并保证结构胶密实。
- (4) 注意搅拌时应避免雨水进入，按同一方向搅拌，容器内不得有油。
- (5) 未尽事宜，请按照《公路桥梁加固设计规范》(JTG/TJ22-2008)中相关规定执行。

9、检验与验收

(1) 施工开始前，应由监理及业主确认钢板的粘结剂、修补胶、油漆等产品合格证、质量检验报告，各项性能均满足上表要求

(2) 材料性能抽样检验，当工程的粘结剂用量小于 1t 时，应作一组试样进行抗



拉、抗剪及正拉粘结强度检验；用量大于 1t 时，应每增加 1t 增加一组试验。受检的粘结剂应由独立试验人员在不小于两个包装单位中随机取样。

(3) 施工质量检验及验收

等粘结胶固化后，应由小锤轻轻敲击粘结钢板，从音响效果或用超声波法探测粘结密实度，要求密实度达 95% 以上。

5.5.9 拱肋横撑增设

(1) 横撑法兰盘安装：中拱肋搭设临时施工支架，打磨去除中拱肋 1/3 处腹板区域的涂装，腹板在法兰盘螺栓处打孔，法兰盘吊装对准，拧紧法兰盘螺栓。

(2) 横撑起吊焊接：横向桥面中心处搭设脚手架，横撑起吊对准法兰盘位置，现场熔透焊。

5.5.10 防腐涂装施工工艺

既有涂装除锈方法主要有：机械法、碱液清除法、脱漆剂法等，主要目的是去除钢结构既有涂层、表面氧化皮、腐蚀物等，为重新涂装提供良好的基底、保证涂层质量。本维修项目建议采用喷砂除锈法。

5.5.10.1 表面处理

(1) 结构预处理

构件在喷砂除锈前应进行必要的结构预处理，包括：

- a) 粗糙焊缝打磨光滑，焊接飞溅物用刮刀或砂轮机除去。焊缝深为 0.8mm 以上或宽度小于深度的咬边应补焊处理，并打磨光滑；
- b) 锐边用砂轮打磨成曲率半径为 2mm 的圆角；
- c) 切割边的峰谷差超过 1mm 时，打磨到 1mm 以下；
- d) 表面层叠、裂缝、夹杂物，须打磨处理，必要时补焊。

(2) 除油

表面油污应采用专用清洁剂进行低压喷洗或软刷刷洗，并用淡水枪冲洗掉所有残余物；或采用碱液、火焰等处理，并用淡水冲洗至中性。小面积油污可采用溶剂擦洗。

(3) 除盐分

喷砂钢材表面可溶性氯化物含量应不大于 $7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 超标时应采用高压淡水冲洗。当钢材确定不接触氯离子环境时，可不进行表面可溶性盐分检测；当不能完全确定时，应进行首次检测。



(4) 喷砂除锈

1) 磨料要求

a) 喷射清理用金属磨料应符合 GB/T 18838.1 的要求;

b) 根据表面粗糙度要求, 选用合适粒度的磨料。

2) 除锈等级: 整体重新涂装: 表面处理至 Sa2l/2 级, 不便于喷射除锈的部位, 可采用手工和动力工具除锈至 St3 级。

表 5.29 喷砂除锈技术要求

除锈等级	技术要求
Sa 2.5	钢材表面应无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物, 任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。
St 3.0	钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。底材显露部分的表面应具有金属光泽。

3) 表面粗糙度: 喷涂防护涂层, 钢材表面粗糙度为 Rz60 μ m~80 μ m。

4) 除尘: 喷砂完工后, 除去喷砂残渣, 使用真空吸尘器或无油、无水的压缩空气, 清理表面灰尘。清洁后的喷砂表面灰尘清洁度要求不大于 GB/T 18570.3 规定的 3 级。

5) 表面处理后涂装的时间限定

一般情况下, 涂料或锌、铝涂层好在表面处理完成后 4h 内施工于准备涂装的表面上; 当所处环境的相对湿度不大于 60%时, 可以适当延时, 但最长不应超过 12h; 不管停留多长时间, 只要表面出现返锈现象, 应重新除锈。

5.5.10.2 喷砂要求

(1) 喷砂工艺控制

喷砂用的压缩空气必须经冷却装置及油水分离器处理, 以保证干燥、无油, 油水分离器必须定期清理。喷嘴到基体钢材表面距离以 100~300mm 为宜, 喷砂前对非喷砂部位应遮蔽保护。喷射方向与基体钢材表面法线夹角以 15°~30°为宜。

喷砂除锈后进行下一道工序前, 如遇下雨或其他造成整体钢材表面潮湿的情况时, 要待环境达到施工条件后, 用干燥的压缩空气吹干表面水分后施工、如须重新喷砂、不可降低磨料要求, 以免降低粗糙度。

喷砂时喷嘴不要长时同停留在某处, 喷砂作业应避免零星作业, 但也不能一次喷



射面积过大，要考虑涂装工序与表面预处理工序间的时间间隔要求。

(2) 喷砂质量控制

喷砂完成后首先应对喷砂除锈部位进行全面检查，其次要对基体钢材表面进行清洁度和粗糙度检查。重点应检查不易喷射的部位，手工或动力工具除锈部位可适当降低要求，对基体钢材表面进行清洁度和粗糙度检查时，一是严禁用手触摸；二是应在良好的散射日光下或照度相当的人工照明条件下进行，以免漏检。

喷砂除锈后，金属结构表面清洁度应达到 Sa2.5，应对照《涂装前钢对表面锈蚀等级和除锈等级》中提供的照片进行比较，比较时至少每 2m² 有一个比较点。

喷砂除锈后，金属结构表面粗糙度应达到 Rz60μm~80μm.用表面粗糙度仪直接测定，每 2m² 表面至少要有一个评定点。

5.5.10.3 涂装要求

(1) 涂装环境要求

施工环境温度 5℃~38℃，空气相对湿度不大于 85%，并且钢材表面温度大于露点 3℃；在有雨、雾、雪、大风和较大灰尘的条件下，禁止户外施工。施工环境温度-5℃~5℃，应采用低温固化产品或采用其它措施。

(2) 涂料配制和使用时间

涂料应充分搅拌均匀后方可施工，推荐采用电动或气动搅拌装置。对于双组分或多组分涂料应先将各组分分别搅拌均匀，再按比例配制并搅拌均匀。混合好的涂料按照产品说明书的规定熟化。涂料的使用时间按产品说明书规定的适用期执行。

(3) 配套体系实验

为了确保涂装的品质，涂料在大面积使用前，应于现场小面积先进行配套体系实验，以确认涂层膜厚及附着力、颜色等是否能达到设计要求,否则应进行调整。面漆颜色需业主最终确认后方可进行大面积使用，如业主对涂装颜色需做调整，应无条件进行调整，以达到满意效果。涂层的性能指标参照《城镇桥梁钢结构防腐蚀涂装工程技术规程》(CJJ/T 235-2015) 及《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722-2008) 进行试验。

(4) 涂覆工艺



1) 涂覆方法

- a) 出于安全和环保考虑，涂覆施工以滚涂为主，辅助少量刷涂；
- b) 细长、小面积以及复杂形状构件可采用刷涂施工；
- c) 不易滚涂到的部位应采用刷涂法进行预涂装或第一道底漆后补涂。

2) 涂覆间隔

按照设计要求和材料工艺进行底涂、中涂和面涂施工。每道涂层的间隔时间应符合材料供应商的有关技术要求。超过重涂间隔时间时，进行拉毛处理后涂装。

3) 二次表面处理

外表面在涂装底漆前应采用喷射方法进行二次表面处理。

4) 现场末道面漆涂装前

a) 应采用淡水、清洗剂等对待涂表面进行必要的清洁处理，除掉表面灰尘和油污等污染物；

b) 应试验涂层相容性和附着力，整个涂装过程要随时注意涂装有无异常。

(5) 成品保护

在涂料施工后，必须注意成品保护，涂料的成品保护有两个阶段。

a) 涂料干燥前的成品保护

在涂料干燥之前，成品保护尤为重要，稍大一点的雨就会使饰面造成冲刷的缺陷。含灰尘较大的风也可能造成涂料成膜不充分的缺陷等等。所以在涂料施工之前要充分注意到天气的变化，选择适宜涂料成膜的天气进行施工。

b) 涂料干燥后的成品保护

涂料成膜干燥之后，虽然天气变化不会影响饰面质量，但人为的因素对饰面损坏威胁仍然很大，灰尘、雨污水的污染可以刷洗，但人为碰撞，可能造成涂层的破坏划痕，影响饰面外观，尤其是建筑底部靠近人为活动的区域，宜以围篱隔开，以做好成品保护。

5.5.10.4 涂层质量要求

(1) 外观

金属涂层表面均匀一致，不允许有漏涂、起皮、鼓泡、大熔滴、松散粒子、裂纹和掉块等，允许轻微结疤和起皱。



(2) 厚度

施工中随时检查湿膜厚度以保证干膜厚度满足设计要求。干膜厚度采用“85—15”规则判定，即允许有 15%的读数可低于规定值，但每一单独读数不得低于规定值的 85%。对于结构主体外表面可采用“90—10”规则判定。涂层厚度达不到设计要求时，应增加涂装道数，直至合格为止。漆膜厚度测定点的测定值不能超过设计厚度的 3 倍。

(3) 涂料涂层附着

当检测的涂层厚度不大于 250 μm 时，各道涂层和涂层体系的附着力按划格法进行，不大于 1 级；当检测的涂层厚度大于 250 μm 时，附着力试验按拉开法进行，涂层体系附着力不小于 3MPa。用于钢桥面的富锌底漆涂层附着力不小于 5MPa。

5.5.10.5 防腐涂装施工注意事项

(1) 施工前应将机具设备、砂料、支架、涂装工具准备完毕，并科学防护。

(2) 涂装建议分阶段进行，逐段推进，在施工过程中，每一施工阶段须用细目防尘网进行全面围蔽包裹，防止喷砂过程中砂粒粉尘飞撒。每一阶段完成喷砂除锈、防腐涂装后方可进入下一阶段，阶段接缝位置应重点标记，保证清洁彻底、涂层完备。施工单位应结合施工季节、施工设备及材料、人员熟练程度等依据现场实际情况划分阶段长度。

(3) 施工应注重事前控制与事中控制，严格把控质量。施工人员在涂装前，应认真阅读涂装施工技术要求，了解涂料配套体系，学习涂料产品说明书及施工指导书。

(4) 质量不合格的涂料不能投入使用，所有涂料须报验合格后方可使用。禁止将不同品种、不同牌号、不同厂家的涂料混掺使用。

(5) 确认施工现场环境、温度、相对湿度符合涂料产品说明书所规定的范围，并做好涂装环境条件记录。

(6) 检查每层涂料的准备和使用，包括型号、批号，色号、数量等，正确使用稀释剂，注意随施工环境温度、湿度的变化及时调整涂料的施工粘度，防止干喷和挂流。

(7) 上下层涂装工序的间隔时间，应严控遵守涂料产品说明书所规定的间隔时间。

(8) 要注意涂料的存放、开启和使用前的混合、搅拌等具体要求。



(9) 加强施工现场检测，特别在涂装过程中要不断检测调节涂层的湿膜厚度，以控制干膜厚度，控制涂层体系的总干膜厚度。此外，随时目测每度涂料在成膜过程中外观变化，注意有无漏喷、流挂、针孔、气泡、色泽不均、厚度不匀等异常情况，并在相关技术人员指导下，随时调节、及时修补，并做好记录。

(10) 涂装施工观场应严格进行现场管理，主要包括人员培训、工艺控制，质量控制、材料运输、工具与装备、涂装环境控制等。此外，应严格做好施工现场文明生产、消防，环保、安全等管理工作。

(11) 施工采用的材料进场前要提供有试验报告，到场的材料按一定比例抽检，对不符合要求的，一概不准用于该桥施工。

(12) 施工组织设计在确保工程进度、质量和安全的前提下，所提出的临时支架等应适合恶劣气候下高空大面积作业的要求。

5.5.11 施工期间交通疏导方案

5.5.11.1 施工期间外围交通疏导

(1) 本工程的外围交通疏导设计，首先在施工区域外围路网的每一条主要的地面道路等合适位置设置前置式施工引导标志，从外围引导过境车辆绕行其他道路行驶，从交通流量方面减轻施工路段的压力，并在施工路段设置限速标志及慢行标志提醒司机。引导车辆有序通过交通压力较大的施工节点，从而使工程施工及车辆通行有序进行。

(2) 在施工期间，从外围 23 个交通转换点进行引导车辆通过绕行珠江隧道、洲头咀隧道、人民桥、海珠桥和江湾大桥等行驶以保证南北车流正常通往珠江两岸。

(3) 23 个交通转换点由北到南为分别为西场立交节点、东风西路-康王北路节点、东风西路-人民高架路节点、东风西路-解放北路节点、东风西路-小北路节点、东风西路-东濠涌高架路节点、中山八路立交节点、中山路-康王北路节点、中山路-人民高架路节点、中山路-解放北路节点、中山路-仓边路节点、文明路-越秀南路节点、广九大马路-东濠涌高架路节点、沿江中路-内环路节点、内环路-珠江隧道节点、芳村大道-花地大道节点、芳村大道-洲头咀隧道节点、洪德路-同福西路节点、同福路-宝岗大道节点、同福路-江南大道节点、内环路-宝岗大道节点、内环路-宝岗大道节点、内环路-江南大道节点。



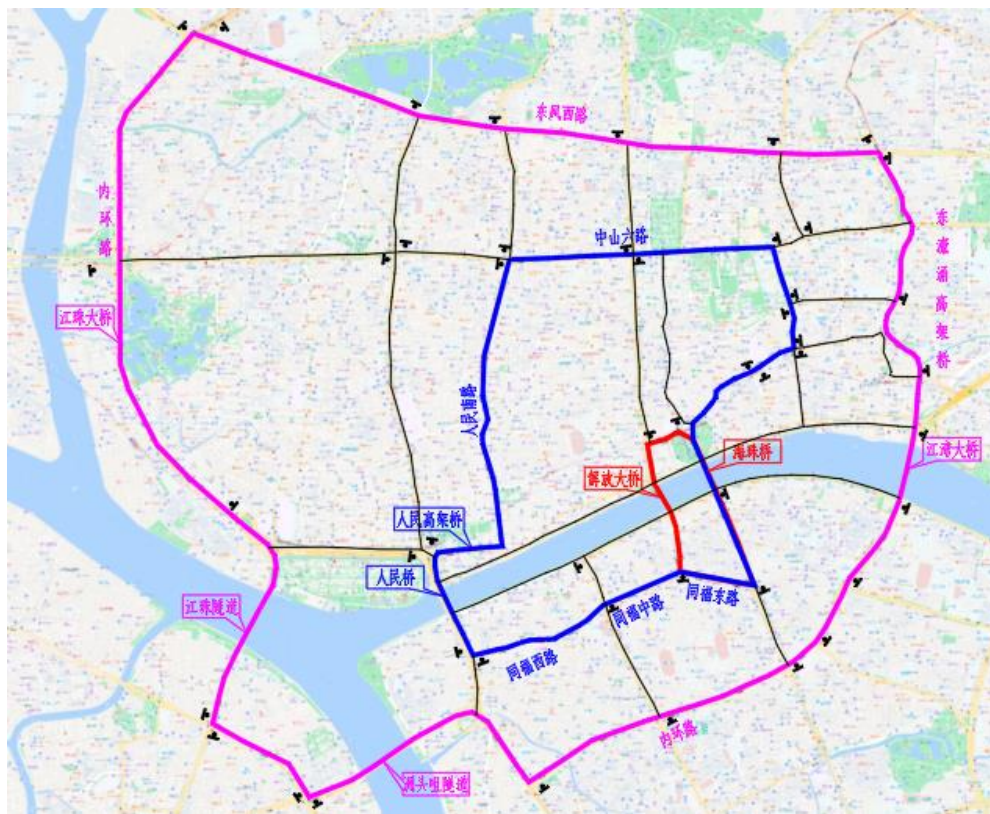


图 5.56 外围交通疏导图

5.5.11.2 施工区域交通疏导

本次维修加固总体施工流程如下：

施工前准备，检测核查病害，搭设梁底施工平台→拱肋脱空及注浆→加劲纵梁外包混凝土、粘贴钢板→新增横撑→更换系杆→更换吊杆→主桥、引桥及匝道常规病害修复。

本次交通疏导方案为全封闭六个月施工。

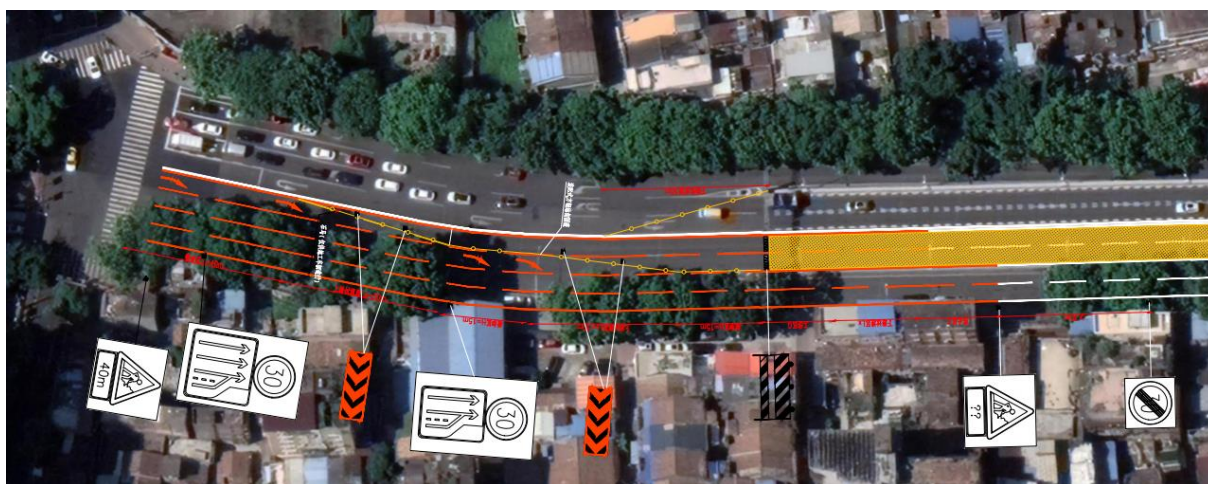




图 5.57 解放大桥交通疏散示意图（全封闭）

新闻媒体的广泛宣传

将外围疏导的地图，通过电视、广播、报纸、网络等传播媒体的广泛宣传，提前告知市民交通管制措施的原因，尽量让市民得到理解。并详细介绍交通分流方案，使广大市民在出行前就做好充分准备，知道如何绕行。



图 5.58 交通疏散宣传册

道路交通地图的积极提供

(1) 指路标志通过图形符号、文字向驾驶员传递必要的交通信息，具有合理引导交通流的作用，但由于指路标志的牌面大小、设置数量规模有限，指路标志系统提供的交通信息也是很有限的，因此，为了更好地发挥指路标志系统的引导作用，需要



道路交通地图的配合使用，比如，可以发放道路交通地图，以便驾驶员或随从人员，能够迅速地了解当地城市道路网络与城市建筑之间的关系及相关信息，保证交通使用者方便快捷地到达目的地。

(2) 与此同时，积极做好越秀、海珠、荔湾区的沟通工作，提前做好疏解准备。具体的宣传方案及宣传地图，由业主在疏解方案批准后，委托专门的广告公司进行制作。

交通引导标志的定期补充与动态更新

交通流处于动态平衡状态，一旦新的交通管理措施实施，势必打乱这种平衡，交通流有个动态适应过程。在这个动态适应过程中，各个管理部门应动态跟踪、实时调整，把交通管理措施的实施对交通的影响降到最低，这个过程需调整和增设一些交通引导标志，加以引导车流，即动态完善的过程，在现有道路的液晶情报板提示广州大道封闭的信息，给予司机提前知道路况。

做好关键节点的交通疏导工作

(1) 对于本次交通疏导的重要绕行路线，建议提前做好各个关键节点的交通疏导工作，避免形成新的拥堵。

(2) 封闭期间需要专人对封闭设施进行全天候维护，发现损坏应及时恢复，确保封闭设施完好。

施工期间实施的管理措施以及注意事项

(1) 由市政府提前向传媒通告交通疏导方案，让广大市民和驾驶员提前了解周边区域的交通组织。

(2) 施工围蔽措施必须严格按照"广州市委宣传部 广州市住房和城乡建设委员会关于进一步完善广州市建设工程施工围蔽管理要求的通知"、"广州市建设委员会《广州市建设工程现场文明施工管理办法》"执行。

(3) 本工程施工范围内的各个交通要点、人行横道线，包括易拥堵路段和交叉口，施工单位需派出交通协管员（每天 6.00-23.00）、协助辖区交警维持秩序。

(4) 实施后可能会出现交通组织设计方案中未能预测的路段断面车流变化，需要根据现场实际流量与交警部门一起及时调整交通组织和信号控制方案，保证周边道路车流的连续。

(5) 施工单位必须针对现状路况成立应急抢修小组对施工范围内出现的问题及



时进行解决，例如若施工范围内的车行道、人行道出现破损，影响通行能力，施工单位必须立即对其进行抢修。

(6) 施工区域导向车流采用铁马、水马、路锥相结合的方式，同时在迎车方向摆放警示牌、减速牌、导向牌、警示灯；施工作业人员必须穿反光衣、戴安全帽。作业现场周围及渐变段设置锥形交通路标每 2 米一个施工围蔽板上四个角都必须悬挂夜间警示红灯，施工围蔽路段每 20 米挂夜间警示红灯，施工围蔽起点、终点处及施工开口处必须设置黄闪警示灯具。

(7) 施工警告灯，用以在夜间警告车辆驾驶人前方道路作业，减速慢行。设置于夜间作业路段附近。安装于路栏或独立活动支架上，也可安装于渠化设施或其他设施上。距路面高度宜为 100cm~120cm。施工警告灯分闪关灯及定光灯两种：闪光灯(黄色)，镜面数单面或双面，闪烁频率/(次/min)为 55~75，占空比 ≥ 1 ，发光强度/cd 为 20~40，适用地点为作业区段或危险地点的起点以前；定光灯(红色)，闪烁频率为定光，发光强度/cd 为 5~10，适用地点为作业区边界，导向车辆行驶。

(8) 本交通组织设计的各类临时交通设施必须在辖区交警部门指导下安装，并且安装的位置不能影响现状道路各种设施的使用。施工单位施工前必须报交警部门审核及认可后和必须在辖区交警指导下才进行施工。

(9) 施工单位施工上下部结构时采用的任何施工方法都应以不影响交通通行能力为前提，并注意施工高度的限制，在施工期间施工单位应该有计划、有步骤地分阶段进行施工，并应该根据施工进度情况相应减少围蔽的范围，尽早还路于民。

(10) 施工单位必须严格按照图纸的要求进行围蔽施工，在施工之前，按照图纸对现场踏勘，检验现状与图纸所示是否相符，若现场与图纸不吻合的地方，应立即通知建设单位和设计单位进行调整。

(11) 施工单位施工前必须对现状的交通设施及设备进行保护，并保证施工完毕后正常使用。

施工围蔽要求

为实现环保节约和绿色施工的要求，必须采用装配式、定型化、标准化的施工围蔽（如钢板、高强度塑钢板等），满足规范要求，颜色一致，各单元四边须加固压边。围蔽高度不得低于 2.5 米，应通过模数化制定标准间距（如模数取 1.5 米，柱间距为其整数倍），围挡柱顶应设置造型，确保收口效果美观大方。每根立柱须在柱顶安装



圆型节能灯具，灯具的大小应符合现场实际和美观的要求（直径不小于 20cm），电压应低于 36V，并采取措施保证用电安全。



图 5.59 施工标志示例



安全警示效果图

说明：
对于临近机动车道的围蔽，应设置成品铸铁或钢制防撞杆，并按交通相关管理规定及相关标准设置夜间反光警示标志。



图 5.60 临近机动车道施工围蔽安全警示示意图

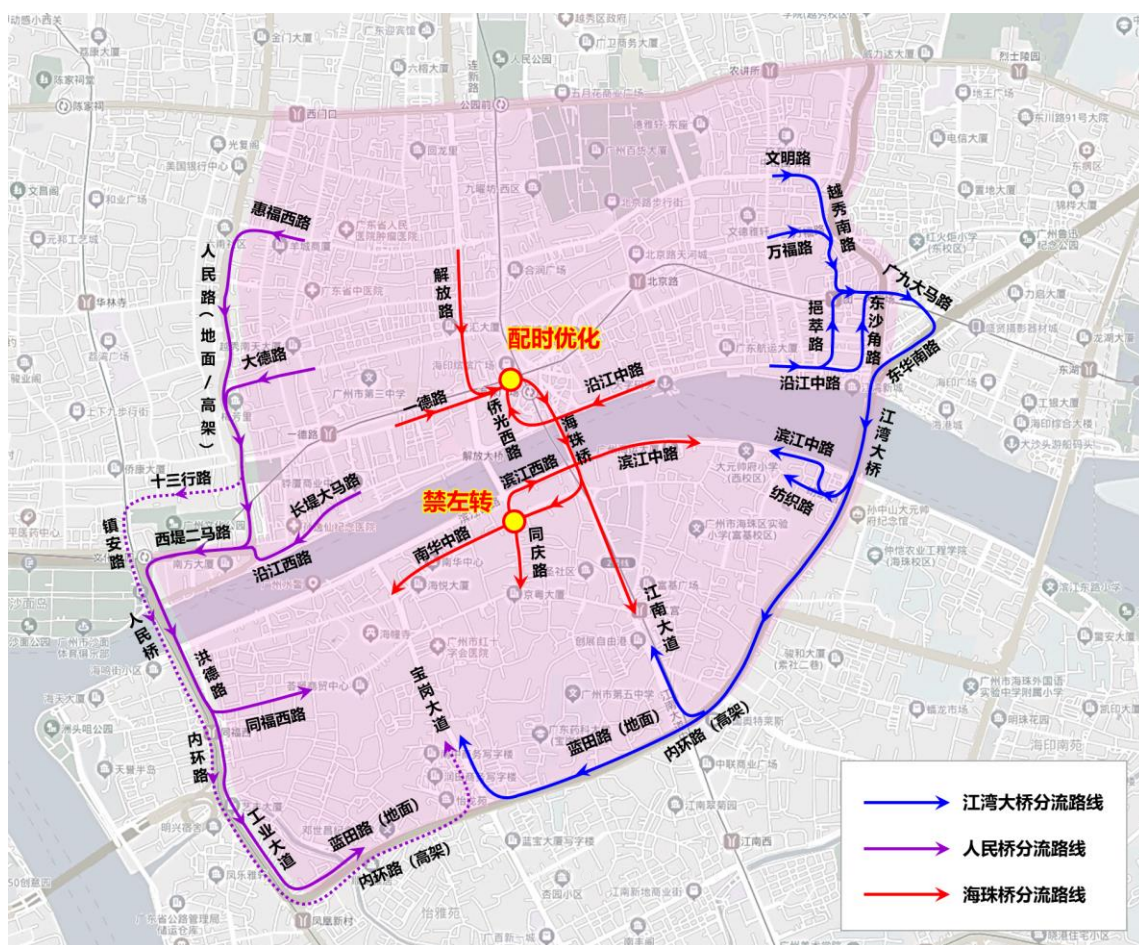


图 5.61 交通组织管理示例

(4) 建议统筹考虑区域施工工序，避免解放大桥与分流通道同时封闭施工。考虑研究区域内有多个项目同步施工，为了缓解研究区域路网拥堵，建议道路管理部门统筹考虑区域内多个项目的施工安排，在解放大桥全施工期间，避免海珠桥、人民桥或江湾桥等过江通道同步施工。

5.6 施工期间通航安全保障方案

此次施工作业，部分工点位于航道水域内，所以加强水上安全管理，确保施工船舶的安全极为重要，结合本工程特点和国家有关要求，拟采取以下主要安全防护措施

(1) 项目开工前，桥梁管养单位或业主，应将加固设计施工图、施工组织设计包括施工内容、施工进度和计划安排等及时上报有关海事管理部门，申请办理施工作业许可证，根据施工需要按时发布航行通告，告示船舶通过桥区航道的安全注意事项，可拟定“施工期间水上运输安全管理暂行规定”，由航道、海事部门批准并颁布实施。

(2) 考虑到通航孔范围内桥墩施工期船舶的安全通行和施工安全等因素，建议在施工期特设置一对黄色专用标，分别位于桥墩上下游各 100m，用于引导上下行船



舶安全行驶于桥区，并可有效地保护施工安全。

(3) 临时配布的助航标志和水上安全监督管理及日常维护的设备、人员经费、船只的燃油消耗以及维护保养等费用，应按有关标准由桥梁业主与航道、海事主管部门协商议定，并纳入施工期通航安全保障费、海事及航道维护费。

(4) 确定施工水域与范围，提前与航道管理部门联系，加强施工安全管理，临时施工平台如对航行安全有影响，应事先通过海事部门发布禁航通告，根据施工需要及时调整和维护导航标志。

(5) 施工过程中，业主应协同海事管理单位加强现场管理，施工作业船、工程船应按规定悬挂信号灯，并为上下水船舶留有足够的安全航道，确保施工、通航安全。

(6) 施工时在桥墩上、下游设置明显的施工导航标志，并与航道管理部门协商，发布航运通告，限制船只通航，做好防护措施。现场作业时，在桥墩的上、下游方向各安排一艘交通艇进行值班巡逻，或根据海事部门要求采取相应措施，对过往船舶进行交通疏导及告诫，确保作业区域的安全。

(7) 施工时，不能随意向航道内抛泥和杂物。施工完毕后，按照通航要求清除遗留在河中的施工杂物。

(8) 在桥梁施工期应邀请海事管理部门驻守现场，若发现通航安全存在问题，应及时向施工单位提出要求，确保船舶安全通航。

(9) 施工所需各种灯、号、旗、通讯设备完好适用，所有水上作业人员必须正确佩戴救生衣。

(10) 为减少现场作业对航道通行影响，施工区域应搭设临时围护，同时设置防落水救助设施。施工期间应及时掌握每日天气信息，尽量选用晴天、风力较小的天气进行安装施工，遇到雨季及特殊情况则停止作业，不得冒险作业。

5.7 其他安全保障措施

(1) 按规定向相关部门办理工程建设报批手续，向有关部门申请划定施工水域。

(2) 在施工准备期，对投入的船机进行安全状况检查，确保所投入的船机在适航状态。

(3) 工程存在临水高空作业，施工前需向施工人员进行施工安全和施工技术交底，施工人员施工时需系好安全带和穿好救生衣，确保施工安全。



(4) 若夜间作业保证充足的照明，但需注意照明灯光产生的背景亮光会影响过往船舶操纵者的正常瞭望，应进行适当的遮挡。

(5) 注意施工过程中产生的粉尘、废气、噪音以及夜间施工的照明灯光对附近居民生活的影响，施工时需加强措施，如使用防尘网，勤洒水、使用噪音较小的设备、及时维修更换故障设备等。

5.8 用地用海征收补偿（安置）方案

本项目无新增用地。

5.9 数字化方案

本桥为既有桥梁维修工程，系杆更换涉及多个部件的空间关系，且维修工序复杂，为更好的服务于后续维修，方便业主、设计、施工、监控等各方参与各阶段工作，本项目可建立主桥的数字化方案，方案见下：

1) 建立主桥的三维数字化模型（BIM），进行结构解析，保证数字模型与物理实体一一对应。

2) 施工期间，在三维模型上进行施工工序模拟和优化，为施工组织优化提供平台。

3) 运营期间，三维模型与监测、检测、评估结合，实现结构在线仿真，保证不同业主一个计算模型、评估模型和可视化模型，为业主养护提供业务接口。

5.10 建设管理方案

5.10.1 工程实施组织要求

整体而言，工程涉及面广，工程用地、相关外部机构包括航道、海事、水利、交警、珠江夜游公司等部门的协调等工作，对建设单位的组织协调能力要求较高。

工程实施阶段，参建单位包括设计、监理、施工、监控等企业均应具有相应资质和类似工程实践经验，建立稳定的项目组织并提出具体进度计划、质量目标和质量保证措施。

5.10.2 建设阶段的组织机构

本项目的建设管理工作。建设期组织机构如下图所示：



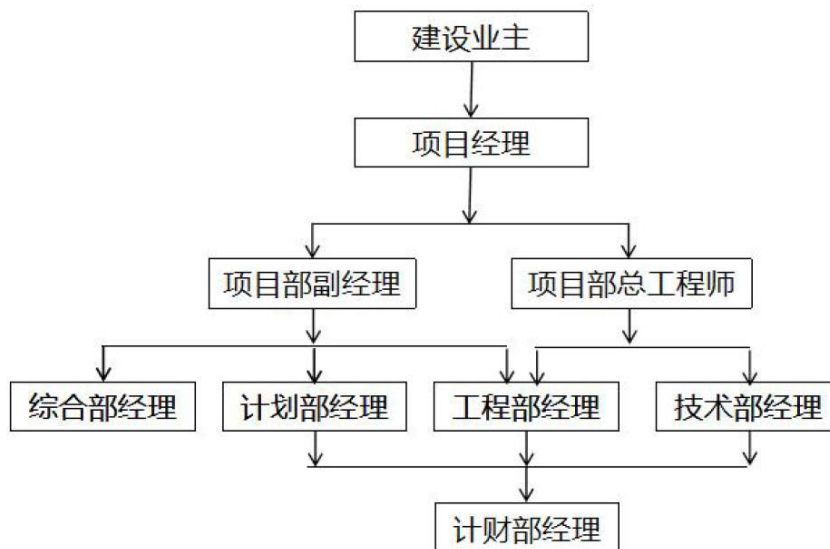


图 5.62 项目建设期组织机构框图

5.10.3 劳动定员与培训

(一) 用人原则

- (1) 知人：了解人、理解人、尊重人、不但知人之表，更要知人的潜力；
- (2) 容人：创造宽容环境，是人心情舒畅，不求全责备，允许改进自律；
- (3) 用人：为每个员工提供施展才华的舞台，创造学习、发展、升迁的机会；
- (4) 做人：以诚相待，与人为善，宽容人、体谅人，不搞内耗，敬业乐业、忠于职守，以公司为家，与公司共荣辱；

(二) 劳动定员

企业所需人员按其工作岗位和劳动分工不同，可分为四类人员：

(1) 工人：是指在基本车间和辅助车间（或附属辅助生产单位）中直接从事工业性生产的工人及场外运输与厂房建构筑物大修理的工人。

(2) 工程技术人员：是指担负工程技术工作并具有工程技术能力的人员；

(3) 管理与经营人员：是指在企业各职能机构及在各基本车间与辅助车间（或附属辅助生产单位）从事行政、生产管理、产品销售的人员；

(4) 服务人员：是指服务于职工生活或间接服务于生产的人员；具体人员数目根据企业实际情况而定。

(三) 人员培训计划

(1) 根据项目投产规模，需培训的专业技术人员 10 人，其中仪器设备操作维修



5人，相关项目管理人员5人。

(2) 通过实习培训生产、维修和管理人员。若引进国外新工艺、新技术、新设备，必要时派往国外生产现场和设备供应厂学习。

(3) 举办各种类型的培训班，按照生产和业务工作的具体内容，分专业、分工种进行培训。



6 项目运营方案

6.1 运营模式选择

本项目采用自主运营管理的项目运营模式。

6.2 运营组织方案

本工程分为四个阶段：

- 1、前期工作阶段
- 2、设计阶段
- 3、施工阶段
- 4、交竣工验收及全部投入使用阶段。

6.2.1 建设工期安排与实施计划

本工程进度力求安排紧凑，相互衔接，相互交叉，以利于缩短建设周期。各有关部门一定要统筹协调，抓紧时间，以保证按时、按质完成项目建设。

本项目实施阶段包括工可编制、项目立项、设计监理等服务单位选取、两阶段设计及预算编制、施工招标、工程施工前期准备、工程施工、竣工验收等阶段。工程施工工期为6个月。

6.2.2 工程招标

（一）招标内容及范围

根据有关规定，本项目招标内容为设计、工程施工、工程监理。

（二）项目招标组织形式及方式

本项目工程招标的组织形式为委托招标，设计、工程施工、工程监理的招标方式均为公开招标。

按照《中华人民共和国招标投标法》，招标人和投标人均需遵循招标投标法律和法规的规定进行招标投标活动：

（1）项目的法人单位应按照国家法律、法规的规定和要求，自行或依托国内具备相应资质的单位在项目实施的各个环节实行国内公开招标或邀请招标及省市有关中介服务超市的实施规定，择优选择设计、施工、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料供应商等项目履行单位。

（2）自觉遵守和认真履行国家《中华人民共和国招标投标法》、《工程建设项目



招标范围和规模标准规定》、《评标委员会和评标暂行规定》、《工程建设项目自行招标试行办法》、《中华人民共和国民法典》、《中华人民共和国招标投标法实施条例》及《广东省实施〈中华人民共和国招标投标法〉办法》、《广东省房屋建筑工程和市政基础设施工程施工招标评标定标办法》、《广东省建设厅关于房屋建筑和市政基础设施工程施工招标投标设立最高报价值办法》等有关工程招标、投标的法律、法规。

(3) 根据《广东省发展改革委关于贯彻落实必须招标的工程项目规定_有关事宜的通知》,必须招标的范围如下:

- (一) 施工单项合同估算价在 400 万元人民币以上;
- (二) 重要设备、材料等货物的采购, 单项合同估算价在 200 万元人民币以上;
- (三) 勘察、设计、监理等服务的采购, 单项合同估算价在 100 万元人民币以上。

同一项目中可以合并进行的勘察、设计、施工、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料等的采购, 合同估算价合计达到前款规定标准的, 必须招标。

表 6.1 招标基本情况表

项目	招标范围		招标组织形式		招标方式	不采用招标方式	备注
	全部招标	部分招标	自行招标	委托招标	公开招标		
勘察	√			√	√		
设计	√			√	√		
建设工程	√			√	√		
安装工程	√			√	√		
监理	√			√	√		
设备							
重要材料							
其他	含前期咨询费、专项检测费、检测检验费、造价咨询费、图纸审查费、招标代理服务费、施工监控费、城市基础设施配套费、交竣工检测评估费等						

6.3 安全保障方案

6.3.1 通用部分

(1) 本工程既有桥梁维修加固; 施工单位进场后, 应逐一查明工程场区周边状况, 重视施工过程中对周边环境可能造成的人员、物体破坏的安全影响, 对跨越重要设施、线路(航道、河道)等施工方案需报主管部门审批后方可实施。

(2) 施工单位应根据《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90-2015)、《建筑施工安全规范》(2008 年版), 结合工程场地的情况、施工作业内容、设计文件要求等, 提出本工程的安全风险源, 制定有针对性的施工安全专项方案及作业指导书, 在组织架构、施工方案、工艺流程、监管机制、应急预案等方面, 提出相应措施及管理细则,



交监理及有关安监部门审批备案，经批准后方可施工，并在实施中切实遵照执行。

(3) 本工程有地下电缆、光纤缆线、供水管、雨污水管（涵）、燃气管等，施工前，应与有关管线单位，协调好施工安全事宜。

(4) 凡对地下土层进行开槽、钻孔、地基处理等工序前，需对地面以下 3 米深度范围进行人工探挖，确认无地下管线后方可施工。

(5) 高压线下桩机（含钻孔、冲孔、旋挖、搅拌、旋喷、静压、锤击、振冲等各种工艺）及架桥机施工，应复核桩机（或架桥机）设备与高压线的安全距离，并做好防电、防雷措施。

(6) 环境及职业健康执行国家及地方法律法规：《中华人民共和国劳动保护法》、《中华人民共和国环境保护法(2015 修订)》、《中华人民共和国职业病防治法》、《职业健康安全管理体系规范》GB/T28001-2011 及其他相关规定。

(7) 编制施工场所信息表，其内容包括常规和非常规的、所有进入施工场所的人员（施工、业主、监理、设计、来访及其他人员）的活动，基本设施、设备、材料的危险源及其相关信息。

(8) 识别与本项目建设实施中每项工作活动（包括材料运输、物品存放、施工工序等）有关的、可能导致事故的危险源，并确定其特性。

(9) 评估具体危险源在某种具体控制措施状态条件下导致的风险的程度，界定风险的可接受性准则。

(10) 采取的风险评价的方法，确定适当的控制措施，保持相对的安全状态，将风险降低到可接受程度。

(11) 除本说明提及的施工安全要求外，施工单位还应根据场地环境、施工工艺特点及安全风险分析，制定相应安全措施，以策安全。

6.3.2 工程分类安全部分

(1) 水上施工前应向有关水域管理部门送审施工方案，获批后方可实施。

(2) 所有水上施工的人员、设备均应配备安全防护装置。

(3) 水域中的临时施工机械设备，应做好应对水中漂浮物的冲撞以及安全度汛的相关措施。

6.4 绩效管理方案

绩效是效率概念的延伸，即投资方获得的有效公共服务与公共支出之比。绩效具



有三个特征：一是绩效指向结果，即引导提供有效公共服务；二是绩效应为财政预算拨款提供依据；三是绩效是评价出来的，具有一定主观性。

6.4.1构建全方位预算绩效管理格局

（一）推进单位预算绩效管理。将单位预算收支全面纳入绩效管理，赋予资金使用单位更多的管理自主权，明确职责边界，体现权责对等。围绕单位职责、行业发展规划，以预算资金管理为主线，统筹考虑资产和业务活动，对运行成本、管理效率、履职效能、社会效应、可持续发展能力和服务对象满意度等进行全面衡量，切实提高部门和单位整体及核心业务实施效果。

（二）完善项目预算绩效管理。将项目全面纳入绩效管理，既关注资金的直接产出和效果，又关注宏观政策目标的实现程度。强化结果导向，综合衡量政策和项目预算资金使用效果。对跨年度实施的重大项目实行全周期跟踪问效，建立动态评价调整机制，及时清理退出绩效低下的政策和项目。

6.4.2建立全过程预算绩效管理链条

（一）建立事前绩效评估机制。资金使用单位要将绩效关口前移，结合预算评审、项目审批等开展事前绩效评估，重点论证立项必要性、投入经济性、绩效目标合理性、实施方案可行性、筹资合规性等，投资主管部门要加强基建投资绩效评估，评估结果作为申请预算的必备要件，从源头上提高预算编制的科学性和准确性。各级财政部门要严格项目库管理，加强新增重大政策和项目预算审核，必要时可以组织专家和第三方机构独立开展事前绩效评估，审核和评估结果作为预算安排的重要参考依据。

（二）强化绩效目标同步管理。资金使用单位编制预算时要贯彻落实市委、市政府部署要求，结合实际全面设置部门和单位整体绩效目标、政策及项目绩效目标。加快实现本级政策和项目、对下共同事权分类分档转移支付、专项转移支付绩效目标全覆盖，使绩效目标成为预算绩效管理的重要依据。投资主管部门要将绩效目标作为预算安排的前置条件，与资金使用单位预算进行同步审核、同步批复，未按要求设定绩效目标或审核未通过的，不得安排预算。

（三）做好绩效运行监控管理。资金使用单位要健全绩效监控机制，充分借助信息化管理手段，对绩效目标实现程度和预算执行进度实行“双监控”，动态掌握项目进展、资金使用、绩效目标完成情况，发现问题及时纠正，确保绩效目标如期保质保量实现。财政部门会同发展改革、审计部门组建专门委员会，严控政府投资项目超概算，



建立项目全过程监控机制，实施重要节点概算控制检查，对项目建设存在擅自增加内容、扩大规模、提高标准、延长工期等问题的责令改正，根据具体情况暂缓或停止预算拨款，对于确需调整概算的严格按照规定程序办理。

（四）全面开展绩效评价。资金使用单位要按照规定的程序、内容、形式和时限，对预算执行情况以及政策、项目实施效果开展绩效自评，将自评结果报送本级财政部门，并对真实性负责。各级财政部门要建立绩效自评结果抽查机制，完善重大政策、项目预算绩效评价常态机制，逐步推进部门和单位整体绩效评价，对下级政府财政运行情况实施综合绩效评价，必要时可以引入专家和第三方机构参与绩效评价，创新评价方法，完善评价流程，提升评价质量。

（五）加强绩效评价结果应用。健全绩效评价结果反馈制度和绩效问题整改责任制，形成反馈、整改、提升绩效的良性循环。对绩效好的政策和项目原则上优先保障，对绩效一般的政策和项目督促改进，对交叉重复、碎片化的政策和项目予以调整，对低效无效资金一律削减或取消，对长期沉淀的资金一律收回并按照有关规定统筹用于亟需支持的领域。



7 项目投融资与财务方案

7.1 投资估算

7.1.1 编制内容说明

为节约财政开支，同时考虑到方案的可行性，本次估算文件按概算深度进行编制。具体内容说明如下：

1、本项目为解放大桥维修加固工程。本工程包含专业：桥梁工程、交通疏解工程等。

2、本估算费用是由第一部分工程费用、第二部分工程建设其他费用组成。

3、本“总投资估算表”中的“单位价值”已包括了人工费、材料费、机械费、管理费、利润、规费、增值税销项税额等费用。

7.1.2 编制依据

1、解放大桥维修工程图纸。

2、建设部建标[2011]1号关于印发《市政工程设计概算编制办法》的通知。

3、GB50500-2013 国家标准《建设工程工程量清单计价规范》。

4、粤建市[2019]6号《广东省建设工程计价依据（2018）》（本计价依据包括《广东省房屋建筑与装饰工程综合定额（2018）》、《广东省市政工程综合定额（2018）》、《广东省通用安装工程综合定额（2018）》、《广东省园林绿化工程综合定额（2018）》、《广东省建设工程施工机具台班费用编制规则（2018）》等）。

5、粤建市[2016]1113号《广东省住房和城乡建设厅关于营业税改征增值税后调整广东省建设工程计价依据的通知》。

6、粤建标函[2019]819号《广东省住房和城乡建设厅关于调整广东省建设工程计价依据增值税税率的通知》。

7.1.3 人工、材料、机械单价和费率标准采用情况

1、人工费单价：按“粤建市[2019]6号”有关规定计算。

2、材料单价：按2024年3月份广州市材料税前综合价格计算；不足部分参考市场调查价格（税前）。

3、机械台班价格：按2024年3月份广州市建设工程机械台班指导价格。

4、利润、暂列金额、预算包干费、概算幅度差：按“粤建市[2019]6号”有关规定



计算。

7.1.4 工程建设其他费用取费标准

(1) 项目建设管理费：按《关于印发<基本建设项目建设成本管理规定>的通知》(财建〔2016〕504号)计取。

(2) 建设工程监理费：按发改价格[2007]670号文《建设工程监理与相关服务收费管理规定》规定计算。

(4) 建设项目前期工作咨询费：按计价格[1999]1283号文《关于印发建设项目前期工作咨询收费暂行规定的通知》有关规定计算。

(5) 勘察设计费：工程勘察费及工程设计费按国家计委《工程勘察设计收费管理规定》(计价格[2002]10号)的规定计算。

(6) 工程保险费：按第一部分工程费的0.6%计算。

(7) 工程造价咨询费（施工全过程造价控制）：按粤价函[2011]742号文计算。

(8) 工程设计咨询费（含施工图审查费）：按穗交运函[2020]97号文计算。

(9) 竣工图编制费：按工程设计费的8%计算。

(10) 工程检验监测费：按第一部分工程费用的2%计算。

(11) 招标代理服务费：按发改办价格[2003]857号文《关于招标代理服务收费有关问题的通知》规定计算。

7.1.5 估算金额

投资规模见下表。

表 7.1 投资规模（万元）

方案	费用
第一部分 工程费用	6553.61
第二部分 工程建设其他费用	1789.71
第三部分 基本预备费	834.34
总投资	9177.73

7.1.6 资金筹措

本项目资金来源：由市财政资金拨款。

7.1.7 投资估算总表



表 7.2 投资估算总表

序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
	第一部分 工程费用	6553.61		6553.61	m ²	4840.0	13540.53	
一	桥梁工程	4399.02		4399.02	m ²	4840.0	9088.89	
1	吊杆更换	645.25		645.25	根	66.0	97764.80	
1.1	新吊杆安装	366.97		366.97	根	66.0	55602.26	
1.1.1	新吊杆 (19-15 环氧喷涂无粘结钢绞线挤压索, 强度 1860MPa)	2.18		2.18	t	0.64	34000.00	4 根
1.1.2	新吊杆锚具 (19-15 环氧喷涂无粘结钢绞线挤压索, 强度 1860MPa)	7.20		7.20	套	8.0	9000.00	上、下锚具
1.1.3	新吊杆附件 (19-15 环氧喷涂无粘结钢绞线挤压索, 强度 1860MPa)	1.57		1.57	项	1.0	15700.00	含减震器、防水罩、封锚盖板、拱肋端保护罩、不锈钢护套管
1.1.4	新吊杆 (7-85 高强镀锌平行钢丝, 强度 1860MPa)	58.55		58.55	t	17.22	34000.00	62 根
1.1.5	新吊杆锚具 (7-85 高强镀锌平行钢丝, 强度 1860MPa)	111.60		111.60	套	124.0	9000.00	上、下锚具
1.1.6	新吊杆附件 (7-85 高强镀锌平行钢丝, 强度 1860MPa)	22.56		22.56	项	1.0	225600.00	含减震器、防水罩、封锚盖板、拱肋端保护罩、不锈钢护套管
1.1.6	新吊杆拱肋端扩孔、钢管 310x7 预埋	9.30		9.30	项	62.0	1500.00	
1.1.7	新吊杆刚性张拉杆 (40CrNimoA 高强合金结构钢)	48.59		48.59	t	22.1	22000.00	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
1.1.8	新吊杆刚性张拉杆附件	22.50		22.50	项	1.0	225000.00	含锚具、封锚盖板、下导管接长
1.1.9	沥青麻絮防水	0.12		0.12	m	34.9	35.00	
1.1.10	压力环	52.80		52.80	套	66.0	8000.00	标准量程：20T~1000T； 分辨率：≤0.1%F.S.； 精度：1%F.S.； 温度范围-30~80℃ 温度漂移：≤5KN/℃ 线性度范围：120%满量程
1.1.11	光纤光栅解调仪（强光栅）	30.00		30.00	套	3.0	100000.00	通道数：24； 波长范围：1527~1568； 坡长分辨率：1pm； 精度：2pm； 动态范围：>50dB； 扫描频率（高频）：100HZ 工作温度：-20~55℃ 光学接口类型：FC/APC
1.2	新吊杆防腐	31.52		31.52	根	66.0	4775.92	
1.2.1	防蚀膏防腐(锚头)	7.17		7.17	m ²	89.6	800.00	
1.2.2	OTC防腐(锚头)	12.11		12.11	m ²	67.3	1800.00	
1.2.3	PVF缠包带（索体）	12.24		12.24	m ²	489.5	250.00	带宽 0.1m
1.3	新吊杆导管防腐	38.68		38.68	根	66.0	5860.95	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
1.3.1	阻蚀密封蜡	16.94		16.94	kg	3387.5	50.00	
1.3.2	聚硫防腐密封胶	12.33		12.33	kg	1027.9	120.00	
1.3.3	高弹性聚氨酯防水胶	9.41		9.41	m ³	3.8	25000.00	
1.4	旧吊杆拆除	106.07		106.07	根	66.0	16071.12	
1.4.1	拱肋钢管环向切割	7.92		7.92	处	66.0	1200.00	
1.4.2	高压射水清理锚头混凝土	3.00		3.00	m ³	3.44	8700.00	
1.4.3	上下导管清理	47.90		47.90	m	319.3	1500.00	环氧树脂及铁砂混合物清理
1.4.4	下锚头拆除	42.90		42.90	处	66.0	6500.00	
1.4.5	吊杆清运	4.36		4.36	根	66.0	660.00	
1.5	临时兜吊系统	102.00		102.00	套	6.0	170000.00	一次性材料费、安装、倒运、拆除
2	系杆更换	1016.10		1016.10	根	24.0	423373.90	
2.1	系杆（平行钢丝和钢绞线）	282.14		282.14	根	24.00	117559.98	
2.1.1	平行钢丝系杆（7mm 高强镀锌平行钢丝，强度 1960MPa）	115.86		115.86	t	35.1	33000.00	桥面安装
2.1.2	平行钢丝系杆锚具（7mm 高强镀锌平行钢丝，强度 1960MPa）	36.00		36.00	套	40.0	9000.00	
2.1.3	索体支架	29.40		29.40	套	30.0	9800.00	
2.1.4	钢绞线系杆（15.24-55 环氧喷涂钢绞线，强度 1960MPa）	35.48		35.48	t	9.9	36000.00	桥下安装



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
2.1.5	钢绞线系杆锚具 (15.24-55 环氧喷涂钢绞线, 强度 1960MPa)	7.20		7.20	套	8.0	9000.00	
2.1.6	盖梁钻孔 (D210mm 钻孔, 深度 5m)	58.20		58.20	m	60.0	9700.00	中墩中系杆孔
2.2	新系杆防腐	29.00		29.00	根	66.0	4394.60	
2.2.1	防蚀膏防腐 (锚头)	2.53		2.53	m ²	31.6	800.00	
2.2.2	OTC 防腐 (锚头)	3.81		3.81	m ²	21.2	1800.00	
2.2.3	PVF 缠包带 (索体)	22.67		22.67	m ²	906.7	250.00	带宽 0.1m
2.3	盖梁新增锚固块	3.26		3.26	m³	5.6	5804.03	
2.3.1	C40 补偿收缩混凝土	0.67		0.67	m ³	5.6	1200.00	
2.3.2	钢筋 HRB400	1.14		1.14	t	2.0	5800.00	
2.3.3	刻槽	0.01		0.01	m ³	0.12	730.00	
2.3.4	植筋 (直径 16mm, 深度 160mm)	1.44		1.44	根	368.0	39.00	
2.4	盖梁空腔加固	34.00		34.00	m³	69.4	4898.38	
2.4.1	盖梁凿出人孔	1.68		1.68	m ³	22.4	750.00	
2.4.2	C40 补偿收缩混凝土	8.33		8.33	m ³	69.4	1200.00	
2.4.3	钢筋 HRB400	10.06		10.06	t	17.4	5800.00	
2.4.4	植筋 (直径 16mm, 深度 160mm)	13.92		13.92	根	3570.0	39.00	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
2.5	人行道盖板拆除及恢复	339.86		339.86	m	387.2	8777.39	
2.5.1	原盖板及枕梁混凝土拆除	8.07		8.07	m ³	310.5	260.00	
2.5.2	新增枕梁 C35 混凝土	23.24		23.24	m ³	232.4	1000.00	
2.5.3	新增枕梁 HRB400 钢筋	33.69		33.69	t	58.1	5800.00	
2.5.4	新增枕梁植筋（直径 10mm，深度 100mm）	5.70		5.70	根	3168.0	18.00	
2.5.5	新增人行道板 C35 混凝土	33.29		33.29	m ³	277.4	1200.00	
2.5.6	新增人行道板 HRB400 钢筋	40.23		40.23	t	69.4	5800.00	
2.5.7	新增人行道板改造钢板 Q345	56.54		56.54	t	47.1	12000.00	
2.5.8	新增人行道板改造钢板工字钢 30a	15.03		15.03	t	15.0	10000.00	
2.5.9	新增人行道板改造钢板涂装	7.97		7.97	m ²	612.9	130.00	
2.5.10	新增人行道板植筋（直径 10mm，深度 100mm）	3.80		3.80	根	2112.0	18.00	
2.5.11	拆除原人行道栏杆	0.28		0.28	m	387.2	7.26	
2.5.12	新增人行道栏杆（304 不锈钢）	83.64		83.64	kg	20095.7	41.62	
2.5.13	新增人行道栏杆基础（M16 化学锚栓）	28.38		28.38	个	6195.0	45.82	
2.6	桥面钢锚箱	177.89		177.89	t	22.4	3.00	
2.6.1	钢锚箱 Q355D	87.04		87.04	t	32.2	27000.00	



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
2.6.2	M24 不锈钢化学螺栓, 深度 500mm (含钻孔)	52.90		52.90	根	608.0	870.00	
2.6.3	钢锚箱涂装	4.11		4.11	m2	315.9	130.00	
2.6.4	M10 化学螺栓	0.90		0.90	根	448.0	20.00	
2.6.5	粘钢胶	16.59		16.59	kg	1382.4	120.00	
2.6.6	密封胶	16.36		16.36	kg	1363.3	120.00	
2.7	系杆力监测	113.60		113.60	根	24.0	181.70	
2.7.1	智慧芯 (钢丝)	50.00		50.00	根	10.0	50000.00	力学性能: 参考《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》(GB/T18365); 温度测量范围: -20°C~+80°C; 温度测量精度: $\leq \pm 1.0^\circ\text{C}$; 应变测量范围: $0 \mu\epsilon \sim 5000 \mu\epsilon$; 应变测量精度: $\leq \pm 5\% \text{F.S.}$



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
2.7.2	智慧芯 (钢绞线)	10.00		10.00	根	2.0	50000.00	力学性能: 参考《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》(GB/T18365); 温度测量范围: -20°C~+80°C; 温度测量精度: $\leq \pm 1.0^\circ\text{C}$; 应变测量范围: $0 \mu\epsilon \sim 5000 \mu\epsilon$; 应变测量精度: $\leq \pm 5\% \text{F.S.}$
2.7.3	应变光纤解调仪 (弱光栅)	30.00		30.00	套	1.0	300000.00	型号: FL-S-3000-H 通道数: 12 单通道传感光缆长度: 5km 空间分辨率: 1m 测量范围: $\pm 8000 \mu\epsilon$ 测量精度: 1%FS 测量频率: 50Hz
2.7.4	温度光纤解调仪 (弱光栅)	6.00		6.00	套	1.0	60000.00	型号: RS-DTSO1 模块化设备 通道数: 12 单通道传感光缆长度: 10km 空间分辨率: 1m 测量范围: -20°C~ 80°C 测量精度: 1°C



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
2.7.5	压力环	9.60		9.60	套	12.0	8000.00	标准量程：20T~1000T； 分辨率：≤0.1%F.S.； 精度：1%F.S.； 温度范围-30~80℃ 温度漂移：≤5KN/℃ 线性度范围：120%满量程
2.7.6	光栅阵列应变解调仪（强光栅）	8.00		8.00	套	1.0	80000.00	通道数：16； 波长范围：1527~1568； 坡长分辨率：1pm； 精度：2pm； 动态范围：>50dB； 扫描频率（高频）：100HZ 工作温度：-20~55℃ 光学接口类型：FC/APC
2.8	系杆隔离栏（装配式）	13.55		13.55	m	387.2	350.00	
2.9	旧系杆拆除	22.79		22.79	根	24.0	181.70	
2.9.1	砂袋	5.15		5.15	m3	147.2	350.00	
2.9.2	防崩装置（吊车吊带）	8.00		8.00	m	50.0	1600.00	
2.9.3	钢索夹（Q355D）	0.91		0.91	t	1.3	7000.00	
2.9.4	M24 螺栓	0.04		0.04	套	16.0	25.00	



序号	工程或费用名称	估算金额(万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价(元)	
2.9.5	环氧树脂砂浆(原下层系杆孔封堵)	4.37		4.37	m3	1.6	28000.00	
2.9.6	系杆清运	4.32		4.32	根	44.0	982.06	
3	中拱肋新增横撑	299.67		299.67	t	40.2	74637.29	
3.1	钢横撑(Q355D)	112.42		112.42	t	40.2	28000.00	高空安装
3.2	钢横撑涂装	9.64		9.64	m ²	741.8	130.00	
3.3	10.9s-M24*450 螺栓, 深度 450mm (含钻孔)	174.72		174.72	根	1456.0	1200.00	
3.4	粘钢胶	2.88		2.88	m ²	240.4	120.00	
4	加劲纵梁加固	449.31		449.31	m	387.2	11604.17	
4.1	腹板 UHPC 外包	332.60		332.60	m³	55.8	59614.36	
4.1.1	UHPC	89.27		89.27	m ³	55.8	16000.00	
4.1.2	HRB400 钢筋	8.65		8.65	t	12.9	6700.00	
4.1.3	凿毛	0.67		0.67	m ²	961.3	7.00	
4.1.4	剪力槽	1.29		1.29	m ²	431.6	30.00	
4.1.5	植筋(直径 20mm, 深度 380mm)	104.54		104.54	根	4356.0	240.00	含钢筋
4.1.6	植筋(直径 14mm, 深度 140mm)	128.17		128.17	根	45774.0	28.00	含钢筋
4.2	底板粘贴钢板	80.83		80.83	m²	192.9	4190.47	



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
4.2.1	钢板 (Q355D 钢板, 10mm 厚)	71.37		71.37	m ²	192.9	3700.00	
4.2.2	粘钢胶	2.31		2.31	m ²	192.9	120.00	
4.2.3	预埋螺栓 M16	7.15		7.15	个	3573.0	20.00	
4.3	钢牛腿	35.88		35.88	t	6.1	58493.03	
4.3.1	钢牛腿 Q355D	16.56		16.56	t	6.13	27000.00	
4.3.2	M22 不锈钢化学螺栓, 深度 300mm (含钻孔)	18.43		18.43	根	384	480.00	
4.3.3	钢横撑涂装	0.89		0.89	m ²	68.3	130.00	
5	拱肋处治	197.87		197.87	m ²	2313.1	855.45	
5.1	拱肋脱空处治	153.75		153.75	m ³	38.2	40200.81	
5.1.1	水泥基灌浆料	23.82		23.82	m ³	23.8	10000.00	
5.1.2	环氧树脂灌浆液	124.10		124.10	m ³	14.4	86000.00	
5.1.3	拱肋钻孔及恢复(直径 10mm)	5.84		5.84	处	1668	35.00	
5.2	拱肋焊缝补焊	0.17		0.17	m	17.4	100.00	
5.3	拱肋除锈	13.88		13.88	m ²	2313.1	60.00	
5.4	拱肋钢涂装更换	30.07		30.07	m ²	2313.1	130.00	
6	混凝土构件涂装	572.58		572.58	m ²	46892.1	122.11	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
6.1	表面打磨	56.27		56.27	m ²	46892.1	12.00	
6.2	混凝土涂装（大气区）	510.31		510.31	m ²	46392.1	110.00	主桥、引桥、人行梯道；涂装体系：环氧封闭漆（50μm）环氧树脂漆（100μm）丙烯酸聚氨酯面漆（80μm）
6.3	混凝土涂装（浪溅区）	6.00		6.00	m ²	500.0	120.00	防撞岛；涂装体系：环氧封闭漆（50μm）环氧树脂漆（160μm）丙烯酸聚氨酯面漆（90μm）
7	主桥、引桥、匝道桥常规处治	101.05		101.05	m	929.3	1087.34	
7.1	沥青铺装修复	1.39		1.39	m ²	147.8	100.00	
7.2	空心板铰缝修补（I级环氧类聚合物改性细石子混凝土）	87.66		87.66	m ³	29.2	30000.00	
7.3	支座更换	12.00		12.00	个	30.0	4000.00	
8	施工措施	678.50		678.50				
8.1	横撑施工支架	66.39		66.39	t	201.2	3300.0	
8.2	墩柱施工平台	57.56		57.56	t	65.4	8800.00	
8.3	拱肋满堂支架	36.1		36.15	m ²	8784.6	41.15	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
8.3.1	高度<12.5m	14.99		14.99	m ²	4283.4	35.00	
8.3.2	高度<20.5m	21.16		21.16	m ²	4501.2	47.00	
8.4	梁底检查车(3台)	300.00		300.00	套	3.0	1000000.00	做永久结构
8.5	桥检车	192.00		192.00	台班	240.0	8000.00	
8.6	吊杆横梁底 C 型挂架	26.40		26.40	t	30.0	8800.00	全桥 6 套考虑
9	钢材回收	-11.15		-11.15	t	92.9	1200.00	
9.1	原吊杆钢丝回收	-2.58		-2.58	t	21.5	1200.00	
9.2	原系杆钢丝回收	-5.71		-5.71	t	47.6	1200.00	
9.3	人行道板钢筋回收	-0.45		-0.45	t	3.7	1200.00	
9.4	不锈钢人行道栏杆回收	-2.41		-2.41	t	20.1	1200.00	
10	主桥健康监测系统	406.64		406.64				
10.1	系统设备设施购置费	255.39		255.39				
10.2	系统硬件安装工程费	89.95		89.95				
10.3	系统软件开发费	38.10		38.10				
10.4	方案设计与结构分析技术服务费	23.20		23.20				



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
11	主桥数字化系统	43.20		43.20				包含 BIM 模型、施工工序模拟及优化、运营期在线仿真
二	施工期通航安全保障费	501.23		501.23				
1	施工通航安全保障方案	30.00		30.00				
2	施工期通航安全保障费	471.23		471.23				
三	交通疏解工程	1195.07		1195.07	m	923.9	12935.03	
1	标志牌	25.74		25.74				
1.1	△900+900×400	1.37		1.37	块	18.0	760.00	
1.2	△900	0.06		0.06	块	1.0	550.00	
1.3	D800	0.12		0.12	块	2.0	620.00	
1.4	φ800+φ800	0.74		0.74	块	8.0	930.00	
1.5	800×800	0.37		0.37	块	6.0	620.00	
1.6	2000×1000	19.88		19.88	块	142.0	1400.00	
1.7	2400×2000	2.76		2.76	块	6.0	4600.00	



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
1.8	800×600	0.44		0.44	块	7.0	630.00	
2	标杆	77.55		77.55				
2.1	立柱式杆件 φ89×4×5150mm	71.04		71.04	套	148.0	4800.00	
2.2	立柱式杆件 φ76×3.75×3500mm	6.51		6.51	套	42.0	1550.00	
3	装配式施工围挡 A1 型	238.50		238.50	m	2650.0	900.00	
4	机非分隔带的拆除和恢复	5.38		5.38	m	1035.0	52.00	
5	夜间警示灯	14.95		14.95	套	636.0	235.00	
6	附警示灯路栏	0.57		0.57	m	20.0	285.00	
7	太阳能爆闪灯	0.98		0.98	套	8.0	1230.00	
8	反光型热熔标线	0.58		0.58	m ²	137.4	42.00	
9	清除标线	0.51		0.51	m ²	131.8	39.00	
10	交通协管人员	518.40		518.40	工日	21600.0	240.00	
11	交通拯救车	243.00		243.00	台班	1620.0	1500.00	
12	石马 600×500×500	68.90		68.90	m	530.0	1300.00	
四	桥梁附属设施迁改工程	458.29		458.29	m	923.9	4960.37	
1	照明工程迁改	195.02		195.02				



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
1.1	景观照明迁改	194.08		194.08				不利旧
1.1.1	吊杆射灯	46.20		46.20	套	132.0	3500.00	
1.1.2	拱肋灯带	87.82		87.82	m	836.4	1050.00	
1.1.3	拱肋灯带不间断电源	11.04		11.04	套	48.0	2300.00	
1.1.4	桥侧聚光灯	11.64		11.64	套	24.0	4850.00	
1.1.5	墩柱射灯	25.28		25.28	套	64.0	3950.00	
1.1.6	总控制器	4.75		4.75	套	1.0	47500.00	
1.1.7	网络扩展	1.40		1.40	台	2.0	7000.00	
1.1.8	分控制器	5.00		5.00	台	4.0	12500.00	
1.2	路灯迁改	0.94		0.94	套	14.0	675.00	利旧
2	桥面设施迁改	5.50		5.50				
2.1	助航标志	0.36		0.36	套	14.0	260.00	利旧
2.2	智能机柜	0.96		0.96	台	2.0	4800.00	利旧
2.3	桥面大型射灯	0.03		0.03	套	1.0	300.00	利旧
2.4	太阳能板	0.62		0.62	组	4.0	1550.00	利旧
2.5	桥面摄像头及支架	1.80		1.80	个	12.0	1500.00	利旧



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
2.6	桥下船舶摄像头	1.68		1.68	台	14.0	1200.00	利旧
2.7	桥下中墩侧灯	0.05		0.05	套	4.0	120.00	利旧
3	桥墩桥墩迁改	8.31		8.31				
3.1	北边墩装饰板	8.18		8.18	m	14.6	5600.00	不利旧
3.2	信号灯	0.13		0.13	根	2.0	650.00	利旧
4	电车电缆迁改	249.45		249.45	m	1847.8	1350.00	不利旧
	第二部分 工程建设其他费用		1789.77	1789.77				
一	建设管理费		157.55	157.55				《广东省建设工程概算编制办法》(2014)； 《关于印发<基本建设项目建设成本管理规定>的通知》(财建〔2016〕504号)；计费基数为工程总概算。
二	建设工程监理费		120.20	120.20				发改价格[2007]670号；
三	建设项目前期工作咨询费		16.78	16.78				
1	可行性研究报告编制		16.78	16.78				依据计价格〔1999〕1283号国家计委关于印发建设项目前期工作咨询收费暂行规定的通知-附件一



序号	工程或费用名称	估算金额 (万元)			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价 (元)	
四	勘察费		16.50	16.50				基准点布设, 吊杆锚点、桥面线形测量
五	设计费		350.52	350.52				《工程勘察设计收管理规定的通知》(计价格[2002]10号), 专业调整系数暂定 1.1; 工程复杂调整系数暂定 1.15; 附加系数暂定 1.4。
六	竣工图编制费		28.04	28.04				工程设计费*8%
七	设计咨询费		45.85	45.85				《广东省建设工程概算编制办法》(2014)上册第 5.3.26 条, 费用为估算 × (0.4% ~ 0.7%), 取值 0.5%
八	工程保险费		39.32	39.32				《广东省建设工程概算编制办法》(2014)上册第 5.3.18 条 (并参见办法附件 11) 工程保险费 = 建筑工程费 × (0.3% ~ 0.6%)
九	工程造价咨询费 (施工全过程造价控制)		60.58	60.58				粤价函[2011]742 号文



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
十	施工监控		120.00	120.00				
十一	维修加固专项检测费		200.00	200.00				
十二	工程检验监测费		131.07	131.07				按第一部分工程费用的 2%计算
十三	场地准备及临时设施费		98.30	98.30				按第一部分工程费用的 1.5%计算
十四	交工检测及成桥试验检测费		64.86	64.86				广东省房屋建筑和市政工程质量安全检测收费指导价（粤建检协（2015）8号）
十五	交通影响评价及预测		100.00	100.00				
十六	工程招标代理服务费		32.73	32.73				参考发改办价格[2003]857 号文计算
1	工程招标		23.66	23.66				
2	监理招标		1.14	1.14				
3	勘察设计招标		2.87	2.87				
4	施工监控招标		1.14	1.14				



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
5	维修加固专项检测招标		1.70	1.70				
6	工程检验监测招标		1.22	1.22				
7	交通影响评价及预测招标		1.00	1.00				
十七	其他招标代理服务费		2.19	2.19				超过 50w 的项目采购，均在阳光采购平台进行采购
1	设计咨询招标		0.46	0.46				
2	工程造价咨询招标		0.61	0.61				
3	工程造价咨询招标		0.65	0.65				
4	吊杆、系杆安全风险评估招标		0.48	0.48				
十八	专项评估费		68.00	68.00				
1	吊杆、系杆安全风险评估		48.00	48.00				
2	施工期防洪评价		20.00	20.00				
十九	项目科研费用		170	170.00				
1	解放大桥原系杆束断索率未知情况下结构安全性评估验算与换索工况研究		40	40.00				



序号	工程或费用名称	估算金额（万元）			技术指标			备注
		建筑安装工程费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）	
2	既有多跨不对称系杆拱桥系杆束合理布设体系研究		50	50.00				
3	解放大桥两端粘结锚固的体外束系杆更换方案关键施工工艺研究		50	50.00				
4	多参数自感知智慧系杆的应用研究		30	30.00				
	第三部分 预备费			834.34				
1	基本预备费			834.34				建标〔2007〕164号，按照第一部分、第二部分费用的10%计列
	第四部分 建设项目总投资	6553.61	1789.77	9177.73	m ²	4840.0	18962.24	



7.2 盈利能力分析

由于本项目为城市道路，属于市政基础设施建设项目的范畴，不存在收费以求取收益的可能，故本项目不进行盈利能力分析。

7.3 融资方案

本项目资金为财政资金，无需融资。

7.4 债务清偿能力分析

本项目无债务资金。

7.5 财务可持续性分析

本项目自筹资金占项目总投资的 100%，工期不超一年，故不做财务可持续分析。



8 项目影响效果分析

8.1 经济影响分析

根据国家计委和建设部发布的《建设项目经济评价方法与参数》(第二版)中规定,项目经济评价分为财务评价和国民经济评价。公路项目的财务评价是以收费公路为条件进行的。

由于本项目为城市道路,属于市政基础设施建设项目的范畴,不存在收费以求取收益的可能,故本项目不进行财务评价。同时,由于本项目的建设符合广州市国民经济和社会发展“十四五”规划的要求,所产生的社会效益更为巨大,故其国民经济效益必然很好,在此亦不再进行国民经济效益的定量计算和评价。

8.2 社会影响分析

解放大桥维修加固工程完成后,社会效益经济较为显著,有利于减少桥梁的安全隐患,改善人民的生活环境,有利于改善当地交通、人文环境,提高文化教育水平和当地人民卫生健康水平,使附近广大人民和各级地方政府直接或间接收益。

建设带来的负面影响,主要是施工对环境带来一定污染,但只要采取积极有效的措施是可以得到妥善解决的。本项目所在地的社会环境、人文条件适应项目的建设可持续发展,社会风险很小。

8.2.1 编制依据

1.中共中央办公厅、国务院办公厅中办发[2009]46号《中共中央办公厅、国务院办公厅转发〈中央政法委员会、中央维护稳定工作领导小组关于深入推进社会矛盾化解、社会管理创新、公正廉洁执法的意见〉的通知》;

2.国家发展和改革委员会发改投资[2013]428号《国家发展改革委办公厅关于印发国家发展改革委重大固定资产投资项目社会稳定风险分析章节和评估报告编制大纲(试行)的通知》;

3.《广东省发展改革委重大固定资产投资项目社会稳定风险评估暂行办法》(粤发改重点〔2012〕1095号)》;

8.2.2 社会风险分析

8.2.2.1 社会稳定风险分析

本工程项目可能导致不利社会稳定的问题为:项目必要性、合理性遭质疑的风险、



项目征地补偿标准及补偿不公平、可能造成环境破坏、施工期间造成交通各种不便和工程内部引发社会稳定的风险，对上诉问题引发的社会稳定风险的可能性大小分别进行定性评价。

1、项目征地补偿标准及补偿不公平的风险

风险内容：该项目征地补偿标准是否合理；该项目征地补偿是否公平。

风险评价：本项目为旧桥加固，不涉及征地拆迁，仅需考虑施工期间的临时用地问题，征地补偿标准及补偿不公平的风险较小。

本项目为桥梁维修加固工程，工程完工后不存在增加用地的情况。仅在施工期间存在临时占用部分道路或其他用地的情况，施工完成后拆除施工设施即可恢复原有用地。

2、项目可能造成环境破坏的风险

风险内容：项目与建设期间可能对环境产生的影响包括施工噪声、粉尘、生态破坏的影响等，项目在运营期间可能会对环境及海洋的影响。

风险评价：项目造成环境破坏的风险很小。

施工期间粉尘会对周边环境产生一定的影响。项目在施工期间严格按照设计方案进行施工，严格依照环境环保及水土保持投资预算投入保护措施建设，做好各项防治，在白天进行施工作业，基本上对周边环境影响不大，不会产生环境污染的现象。

3、施工期间造成交通各种不便引发的风险。

风险内容：施工期间施工机械的调运、使用，施工车辆的通行造成区域范围交通不便，施工期间围蔽影响交通通行能力，可能对周边住宅、商业区等的影响。

风险评价：施工期间由于各种交通不畅引发的风险较大，但通过合理的交通组织及分流措施，对交通影响基本可控，污染也属于可控制性，污染的可能性风险也较小。

因此，施工期间造成交通各种不便引发的风险很小。

4、工程施工内部引发社会稳定的风险

风险内容：工程施工内部如劳动用工、安全保障、工资发放、工程款支付等方便不利因素影响社会稳定性。

风险评估：工程施工内部引发社会稳定风险很小。



本项目的建设对于施工单位的选择，严格按照相关程序进行。所选的施工单位管理严格，信用良好。因此，工程施工内部引发社会稳定风险很小。

8.2.2.2 社会稳定风险防范措施

本项目的维修工程将改善区域交通条件，符合群众的根本利益，根据以往的市政道路项目维修经验，只要严格遵守相关法律法规，做好宣传、思想工作，采取合理到位的措施，虽不能排除个体的不满，但绝大部分群众都能积极支持市政道路桥梁项目维修。

根据前文项目风险的分析，项目引发不利社会稳定的风险程度低，但不意味着项目的推进会一帆风顺，应采取措施随时监控项目实施中可能出现的风险。具体表现为：

- 1.加强项目管理，严格招投标制度，优中选优，精心组织承包方施工；
- 2.建设期间严格要求和监督施工单位文明施工，减少扰民，施工建设过程中所产生的垃圾，废弃土石方，粉尘等由可能污染周围环境的，采取相对应措施及时处理，不随意倾倒；
- 3.加强监理工作，健全工程监督机制与责任机制，杜绝因责任心不强或谋私动机引起的管理不善；
- 4.施工单位加强工程车辆的管理，施工车辆安全行驶；严禁超载，超限车辆上路，对大吨位的车辆进出，要积极采取防范和完善措施，在工程车辆经过的道路应设置符合交通技术规范的标志牌；
- 5.合理组织巩固期、规范劳动用工管理、及时足额发放工程款及工人工资，加强工人业余活动安排与管理；做好工程维护、安全保障、施工标志、规范作业。
- 6.与当地群众充分协调和沟通，避免社会风险。

8.2.3 互适性分析

从项目所在地区各主体对项目的态度、不同利益群体对项目的态度及参与程度、各级组织对项目的态度及支持度三个层面系统分析项目所在地互适性。

8.2.3.1 当地政府对项目的态度

项目所在地经过多年的发展，各类基础设施如供水、供电、通讯、交通等非常完善。项目所在地各级政府都能充分认识到本项目将提升解放大桥的结构性能，因而对项目的建设非常重视，表现出极大的热情，在前期工作中给予了大力支持，并为项目



实施创造良好的外部环境。

8.2.3.2 不同利益群体对项目的态度与程度

项目完成可有效地改善区域间交通运输条件，给当地经济和不同的利益群体带来切身利益。项目直接相关的利益群体主要包括区域内企业等直接使用者他们对项目维修加固都持支持态度，把本项目作为提升交通能力的重要措施。

8.2.3.3 各部门或组织对项目的态度及支持程度

项目所在的交通、自然资源、环保、航道等部门均对本项目的实施给予充分支持和密切配合，提出切实可行的优惠政策，为本项目的顺利开展提供政策上的保障。

8.2.4 社会风险分析结论

工程建设项目符合法律法规、党和国家的方针政策、相关规划的要求；其建设符合科学发展观要求，符合大多数群众的根本利益，并得到大多数群众的理解和支持；项目经过科学的论证，充分考虑各种相关制约因素，配套措施完善，建设时机成熟，实施后引发不利于社会稳定的综合风险程度低：即项目实施过程中出现一般性群体事件的可能不大，但不排除会发生个体矛盾冲突的可能。为便于度量该整体风险的大小，有必要对各类风险的可能性大小进行量化，然后得到项目的综合风险大小。

首先，根据专家经验和民意调查结果确定每类风险因素的权重，取值范围 $[0,1]$ ，取值越大表示某类风险在所有风险中的重要性越大。

其次，确定风险可能性大小的等级值，根据风险大小程度，将风险划分为 7 个等级：很小、小、较小、中等、较大、大、很大，等级值按风险可能性从小到大，依次 0.05、0.2、0.35、0.5、0.65、0.8、0.95。然后将每类风险的权重比例与等级值相乘，求出该类风险因素的得分，再把各类风险得分加总求和得到综合风险的分值，即综合风险值。

综合风险的分值越高，说明项目的风险越大。一般而言，综合风险值为 0.2~0.4 时，表示该项目风险很低，有引发个体矛盾冲突的可能。分值为 0.41~0.7 时，表示该项目风险中等，有引发一般群体性事件的可能；分值为 0.71~1.0 时，表示该项目风险较高，有引发大规模群体性事件的可能。本项目综合风险值求取见下表。



表 8.1 项目综合风险指数分析表

序号	风险类别	风险权重	风险可能性大小等级	风险等级值	权重得分
1	群众抵制征地拆迁的风险	0.2	很小	0.05	0.01
2	群众对生活环境的不适的风险	0.1	小	0.2	0.02
3	群众对生活保障担忧的风险	0.1	小	0.2	0.02
4	群众对桥梁外观改变持反对意见的风险	0.1	小	0.2	0.02
5	项目引发社会矛盾的风险	0.2	小	0.2	0.04
6	重要设施迁移的风险	0.1	小	0.2	0.02
7	造成环境破坏的风险	0.2	小	0.2	0.04
综合评价风险值：0.17					

从上表可看出，本项目可能引发的不利社会稳定综合风险值为 0.17，风险程度为低风险，意味着项目实施过程中群体事件发生的可能性不大，但不排除会发生个体矛盾冲突的可能。

8.3 生态环境影响分析

8.3.1 环境影响

（一）施工期声环境影响

施工期声环境影响预测评价表明，若不对施工噪声采取一系列有效措施进行防治，则将会对施工场地周围声环境质量产生较为明显的影响。其它同类型项目经验表明，只要加强管理并采取一系列有效措施对拟建项目施工噪声进行有效防治，则拟建项目产生的施工噪声是可以得到有效控制的，而且不会对施工场地周边区域声环境质量产生明显不良影响。

（二）施工期振动环境影响

施工期振动环境影响预测评价表明，若不对拟建项目施工产生的振动采取有效措施进行控制，则将会对施工场地周围 50m 范围内的振动环境质量产生较为明显的影响。但是，其它同类型项目经验表明，只要加强管理并采取有效措施对拟建项目施工振动进行有效防治，则拟建项目产生的施工振动是可以得到有效控制的，而且不会对施工场地周边区域振动环境质量产生明显不良影响。

（三）施工期生态影响

水土流失量计算表明，因开挖裸露地表带来的水土流失量和弃渣量均较大，若不采取有针对性的水土保持措施，将会有较为严重的水土流失，这些流失的水土将可能造成城市下水管网及河道的淤积、阻塞，破坏生态环境。



（四）施工期环境空气影响

1、施工场尘环境空气影响分析

在拟建项目施工期，可能给所在地环境空气质量产生影响的大气污染源将主要是施工扬尘。由于填土方砂土颗粒物粒径较粗，扬尘产生源高度较低，施工扬尘的影响范围仅局限在施工场地附近近距离范围内的区域，在施工场地下风向 100m 以内的区域 TSP 浓度增值明显，100m 以远区域的 TSP 浓度值明显下降，也就是说，施工扬尘的影响范围不会超过施工场地下风向 100m。

2、其它污染因子环境空气影响分析

在拟建项目施工期间，除了施工填土方扬尘可能对环境空气质量产生影响外，混凝土的制备、汽车运输扬尘、施工人员食堂火烟及油烟污染物、施工机械及运输车辆排放尾气等也可能对施工场地所在地的环境空气质量产生一定影响。但这些污染物的排放源强较小，排放高度较低，因此拟建项目施工期间排放的这些大气污染物对环境空气产生的影响范围较小，影响程度较轻，应该不会对拟建项目拟建址所在的环境空气质量产生明显的不良影响。

（五）施工期环境空气影响

施工期废水主要是来自暴雨的地表径流、地下水、施工废水及施工人员的生活污水。一般情况下，道路施工废水包括开挖和钻孔产生的泥浆水、机械设备运转的冷却水和洗涤水、施工机械运转中产生的油污水、施工机械维修过程中产生的含油污水。这些施工废水虽然水量不大，但是如果直接排放，则会对受纳水体水环境质量产生一定影响，使水体中泥沙含量及有机物质有所增加，施工单位应予以高度重视。另外，广州地处亚热带，降雨量充沛，特别是夏季暴雨较易对施工场地造成冲刷，污染周围环境，甚至堵塞城市排水管网系统。

（六）施工期固体废物环境影响

施工期间建筑工地会产生大量余泥、渣土（包括拆除旧建筑物的渣土）、地表开挖的余泥、施工剩余废物料等。如不妥善处理这些建筑固体废弃物，则会阻碍交通，污染环境。在运输过程中，车辆如不注意清洁运输，沿途撒漏泥土，污染街道和公路，影响市容和交通。

另外，如果不采取有效措施对施工场地临时渣土堆施场采取一定的水土流失防治



措施，如遇暴雨冲刷，则会造成水土流失。广州市年降雨充沛，暴雨频率高，强度大，极易引起水土流失。在靠近河涌地段，泥浆水直接排入河涌，增加河水的含砂量，造成河床沉积。同时泥浆水还夹带施工场地上的水泥、油污等污染物进入水体，造成水体污染。另外，施工期间施工人员也会产生一定的生活垃圾，如不采取措施收集、堆放，将对施工区环境产生一定的不良影响。

8.3.2 环境污染防止措施分析及对策

(一) 施工环境大气污染防治措施及对策

(1) 平整场地、开挖基础作业时，应经常洒水使作业面土壤保持较高的湿度；对施工场地内裸露的地面，也应经常洒水防止扬尘。

(2) 施工场地产生的多余土方应尽量用于填方，并注意填方后要随时压实、洒水防止扬尘。

(3) 平整场地、开挖基础作业时，土方应随挖随装车运走，不要堆存在施工场地，以免风吹扬尘。

(4) 运土及运粉状建筑材料的运输车辆应采用加盖专用车辆或者配置防洒落装置，车辆装载不宜过满，保证运输过程中不散落；

(5) 在施工场地边界建设临时围墙，整个施工场地只设一个供人员和车辆出入的大门。在大门入口设临时洗车场，车辆出施工场地前必须将车辆冲洗干净，然后再驶出大门。

(6) 对运输过程中散落在路面上的泥土要及时清扫，以减少运输过程中的扬尘。

(7) 各建、构筑物四周在施工过程要设置防护网，防护网材料和质地要密实。

(8) 施工过程中，应严禁将废弃的建筑材料焚烧。工地食堂应使用液化石油气或电灶具，不能使用燃油灶具。

(9) 粉状建材应设临时工棚或仓库储存，不得露天堆放。

(10) 建议采用水泥搅拌车进行混凝土搅拌，不采用袋装水泥，防止水泥粉尘产生。

(11) 施工时要制定符合防治船舶污染水域环境要求的保障措施、应急预案和责任制度。

(二) 施工期间噪声污染防治措施



建设单位和工程施工单位必须按照环境噪声污染防治相关规定。建议建设单位从以下几方面着手，采取适当的实施措施来减轻其噪声的影响。

(1) 在施工开始前，建设单位要制定包括噪声污染控制在内的“施工期环境保护方案”，并上报有关环境保护行政主管部门备案。

(2) 在距施工场界较近的企事业单位和学校、居民点张贴“安民告示”，解释某些原因并予以致歉，争取取得谅解。

(3) 尽量选用低噪声系列工程机械设备。

(4) 合理布置高噪声的施工设备，大于 80dB (A) 的施工设备最好将其布置在远离声环境敏感点的一侧。

(5) 在有市电供给的情况下禁止使用柴油发电机组。

(6) 在施工场地边界建设临时围墙，围墙必须为大于 24cm 的砖质墙。

(7) 对较高噪声值的固定设备，应建设隔声间或声屏障。

(8) 严禁在早 7 点以前，中午 12-14 点，晚 22 点以后启动强噪声施工设备。采取上述措施后，可有效地降低施工噪声，保证施工场界噪声达标以及避免对声环境敏感点的扰民现象发生。

(三) 施工期污水防治措施

施工期间，施工单位必须严格执行《建设工程施工场地文明施工及环境管理暂行规定》，对污水、废水的排放进行方案设计，严禁乱排、乱流，污染道路、环境。

(1) 道路建设过程的施工污水中含有大量的泥沙与油类，如未加处理直接排入水体将影响水质，因此施工废水不得直接排入水道或排入市政管网，应作简单处理后，再排入市政管网。

(2) 对施工期生活污水应进行收集，处理后排放（工地粪便污水需经三级厌氧化粪池处理；工地食堂污水需经隔油隔渣处理后）；建设单位可采用一套气浮法污水处理系统对生活污水进行处理，该系统应与营运期污水处理系统相衔接，避免重复投资。

(3) 对于施工期间的残油、废油，一般按残油、废油所混有杂质情况，分别用不同盛油容器收集存放，对于油质好，杂质少的存放在一起，可以出售给综合利用单位。对于杂质较多的残油、废油，可作为焚烧垃圾的助燃燃料，油抹布按油混合物回



收处理，做好回收暂存。

(4) 对于生活垃圾、施工垃圾、维修垃圾，由于进入水体会造成污染，所以均要求有组织回收、分类、贮藏和处理，其中可利用的物料，应重点利用或提交收购，如多数的纸质、木质、金属性和玻璃质的垃圾可供收购站再利用，对不能利用的，应交由环卫部门妥善进行无害化处理、焚烧、填埋、堆存等。

(5) 建设蓄水池。在施工场地建设临时蓄水池，将开挖基础产生的地下排水收集储存，并回用于施工场地裸地和土方的洒水抑尘。

(6) 设置循环水池。在施工场地设置循环水池，将设备冷却水降温后循环使用，以节约用水。

(7) 车辆、设备冲洗水循环使用。设置沉淀池，将设备、车辆洗涤水简单处理后循环使用，禁止此类废水直接外排。

8.4 资源和能源利用效果分析

8.4.1 节能评价

交通运输节能是指在完成相同运输生产任务的前提下，通过采取一定的措施，使能源的消耗量减少，其实质是提高能源利用效率。主要包括以下两个方面：

(1) 维修期间的节能

桥梁维修期间的能源消耗是一次性投入，主要是人力、物力的投入，虽然存在着着手考虑，尽量减少不必要的中间环节或反复进出场，减少无谓的能源消耗。

(2) 营运期间的节能

公路及城市道路营运期间的能源消耗是一种长期的连续投入，主要体现在运输过程中各种公路及城市道路运输工具的能耗。随着交通的日益发展，汽车的燃油消耗愈来愈大，因此在建设过程中进行运输燃油节约对国民经济具有一定意义。

8.4.2 能源状况分析

1、项目所在地能源供应状况

本项目所在地区目前市政工程用能主要以电力为主。电力供应基本上满足项目建设要求，但在冬季和夏季用能高峰期，电力负荷较大，本地区和全国同样存在冬季和夏季用能高峰期的能源短缺问题。

项目周边区域包括供水、供电、雨水排水、通讯、光纤、道路等基础设施基本完备，能满足建设需要。



2、项目能源消耗种类的合理性

据《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2008)对综合能耗计算的能源种类和计算范围规定,综合能耗计算的能源种类和计算范围规定,综合能耗计算的能源指用能单位实际消耗的各种能源,包括一次能源,主要包括原煤、原油、天然气、水力、风力、太阳能、生物质能等;二次能源,主要包括焦炭、焦炉煤气、汽油、煤油、柴油、液化石油、热力、电力等。

本建设项目直接耗能主要是电力消耗,间接耗能主要是通过车辆的汽油消耗。

8.4.3节能措施

(1) 设计中采用的节能技术

- ①注重维修方案中排水系统安装的精确度。
- ②选择能耗低、耐久性、强度高的建筑材料,在施工中采用先进的节能机械设备,以节约能耗。

(2) 施工期间节能管理

①建立健全能源消耗原始记录和设备能耗台账,按照规定向上级报送能源消耗报表,同时应报送统计分析报告。

②建立设备用能技术档案,节能技术措施、设备运行能源消耗指标等有关节能方面的技术、资料要与其它技术文件同等归档。

③加强能源计量管理,配备必要的能源计量器具。

④施工单位的技术、机务等管理部门,应实行节能管理责任制,并接受上级部门的监督检查。

⑤加强机械施工组织及设备管理,提高能源效率。

⑥大力推广应用节能“新技术、新工艺、新产品、新材料”。

⑦开展节能培训和节能宣传活动。

(3) 重点耗能设备用能管理

①实施重点耗能设备用能管理制度。重点耗能设备是指装机容量在 120KW (含) 以上的施工机械、设备为重点耗能设备。

②业主应参与对购置或新造的重点耗能设备进行节能技术审查工作,对施工单位购置或新造、设计的机型提出节能要求,同时对机械设备的技术先进性、能耗水平



和经济效益等进行评估、审查。凡超过规定能源限制指标的机械设备，要限制购进、制造，杜绝使用高耗能设备。

③施工单位购置或新造重点耗能设备时，应本着选用能耗低、效益高，技术先进的原则，要取得购置单位节能管理部门对机型的有关技术规格、能源消耗等技术指标的认同意见。

④施工单位要加强重点耗能设备的用能管理，建立设备能耗档案；配备能源计量器具。对设备用能实行定额考核和经济核算，同时要合理组织施工，减少设备的非生产运转，按施工生产任务和耗能定额分配指标用能。

⑤施工单位要贯彻执行设备的技术管理制度，对在用的重点耗能设备要实行经常性的维护、保养，定期检查、修理，保持良好的技术状况。

⑥对技术状况差、耗能高的重点耗能设备，要有停止使用、限期技术改造和更新的具体条件和措施。

⑦重点耗能设备的节能技术改造必须通过有关节能技术部门的节能技术检测、鉴定，并提出报告，能耗指标达到规定要求的，方可用于施工。

（4）运营期间节能管理

加强道路的养护维修管理，使道路经常保持良好状态（平整度，路面完好无损，路基坚固无病害等），为行人和非机动车通行提供良好的交通条件。

8.5 碳达峰碳中和分析

对于高耗能、高排放项目，在项目能源资源利用分析的基础上，预测并核算项目年度碳排放总量、主要产品碳排放强度，提出项目碳排放控制方案，明确拟采取减少碳排放的路径与方式，分析项目对所在地区碳达峰碳中和目标实现的影响。

双碳目标路径不是简单的、一个目标下的降碳路径和方案，还需要囊括国家政策、科技攻关等，带动交通各要素技术迭代升级，重点从节约能源和改变能源结构等方面采取有效措施，着力完善各领域碳排放基础数据的统计，建立交通基础设施建设生命周期碳排放管理体系、核算与评价指标体系，其中生命周期碳排放核算评价是节能减排管理的核心，要从源头和过程分析碳排放来源，分析各分项工程、分部工程、单位工程的碳排放量，确定重点控制环节和技术措施。

8.5.1 利用绿色施工技术

施工单位应变革传统粗放式高能耗施工方式，在应用材料方面，采用温拌沥青、



泡沫沥青等低能耗材料，以及自密实免振捣混凝土、超高性能混凝土 UHPC 等先进材料，减少施工设备使用数量，降低现场作业能耗，降低沥青混凝土混合料加热、摊铺温度，减少生产、施工能耗的二氧化碳排放

8.5.2开展建筑垃圾资源化处理和综合利用

在市政桥梁建设方面，研究旧桥拆除后的混凝土构件定向再用技术，如护栏混凝土拆除后可应用在非承重部位的河道防护、边坡防护等地方。



9 项目风险管控方案

9.1 风险识别与评价

9.1.1 工程风险

风险内容：工程风险主要包括，由于路线方案、工程地质条件、水文地质条件与预测、维修条件发生重大变化，导致工程量增加、投资增加、工期拖长给拟建项目带来的风险。

风险评价：本项目为桥梁加固工程，由于原下层系杆构造复杂，风险点在于系杆更换工艺，尤其是原孔道的清孔。考虑到国内外与本桥类似的粘结锚固的系杆更换案例可以借鉴，本项目的工程风险是存在的，但其发生的可能性不是很大。

9.1.2 投资估算及资金风险

风险内容：投资估算风险主要来自工程方案变动的工程量增加、工期延长，人工、材料、机械台班、各种费率、利率的提高，征地拆迁工作的进展等。近期以来，我国物价水平明显上升，并有进一步上涨的趋势，物价的上涨会带动人工、筑路材料、机械台班、征地拆迁补偿标准、各种费率、利率的提高，从而增大投资，形成一定的投资风险。2008年国际金融危机的爆发对我国的经济发展造成了明显的影响，为应对国际金融危机，我国出台了包括加大投资、降息等一系列的经济刺激措施，使得经济发展形势有了明显的改善，率先复苏。目前，我国经济虽然复苏态势明显，但是基础仍不牢靠，存在一定的不确定性；而且国际经济发展形势复杂，前景还不明朗，存在再次探底的可能性；但是同时，我国国内经济出现了一定程度的通货膨胀、资产泡沫。这些情况就使得近期利率变化的不确定性增加。未来一段时间如果加息，将会加大本项目的建设成本，引起一定风险。

风险评价：该项目资金由市财政筹措以及上级补助，投资及资金风险较小。

9.1.3 市场风险

风险内容：拟建项目市场风险来自两个方面：一是区域未来社会经济发展的不确定性直接影响道路的交通需求，最终导致拟建项目建成之后实际交通量与预测值发生偏离；二是项目区内未来路网结构的规划调整影响拟建项目的实际交通量。

风险评价：该项目为桥梁加固项目，对未来交通量运输需求影响较小。



9.1.4项目合法性、合理性遭质疑的风险

风险内容：该项目的决策是否符合法律法规、是否符合党和国家的方针政策，是否有充分的政策、法律依据；该项目是否坚持严格的审查审批和报批程序；是否符合科学发展观要求，是否符合大多数群众的根本利益，并得到大多数群众的理解和支持；是否经过严谨科学的可行性研究论证，是否充分考虑到时间、空间、人力、物力、财力等制约因素；建设方案是否具体、详实，配套措施是否完善。

风险评价：项目合法性、合理性风险很小。

9.1.5风险评价

本项目为旧桥加固项目，项目的实施，对消除桥梁安全隐患，保障交通运营条件，保障区域社会经济发展均起到重要的作用。因此，项目的建设符合区域相关规划，符合科学发展观要求。

因此本项目合法，合理，手续完备，程序完备，可以继续依法开展。

9.2 风险管控方案

9.2.1危险因素和危害程度分析

（一）危害因素

本项目建设和运营过程中可能的危害因素主要包括：

- 1、因工程设计或施工监理等造成的责任事故；
- 2、工程建设过程中因防护不周或操作不当造成的伤亡事故；
- 3、因建材质量或施工设备等造成的质量事故；
- 4、项目运营过程中因消防问题、人为损坏等造成建构筑物及绿化等设施设备毁损；

（二）危害程度

上述危害因素一旦出现，均可导致人员伤亡、财产毁损等重大事故损失，必须严加防范。

9.2.2安全措施方案

（一）严格遵循相关规定

《劳动法》和《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》（国家劳动部第3号令）规定，凡新建、改建、扩建工程项目，其劳动安全卫生设施必须符合下列规定：

- 1、生产性建设工程项目（包括新建、扩建和技术改造项目，以下简称为工程项



目)必须符合国家 and 省有关安全生产方面的法规、标准,工程项目中的劳动安全措施和设施,应与本工程同时设计、同时施工、同时投产使用(以下简称:“三同时”)。

2、设计单位在编制工程项目初步设计文件时,应同时编制《劳动安全卫生专编》,并严格执行现有的安全生产法规和技术标准,同时设计劳动安全防护措施。

3、建设单位应对承担工程项目设计、施工的单位提出具体安全生产要求,提供必须的资料和条件,并对设计、施工过程中落实“三同时”情况进行检查督促。

4、《建设项目(工程)劳动安全卫生预评价管理办法》(原劳动部 1998 第 10 号令)第二条规定的建设工程项目必须实行安全预评价,由建设单位自主选择并委托经国家、省安全生产综合管理部门审查认可,具备劳动安全卫生预评价资格的单位承担。

5、初步设计会审前 15 天(因特殊原因不组织初步设计会审的企业,须在设备安装前),建设单位必须将拟建工程项目的安全生产评价报告书和初步设计文件,包括《劳动安全卫生专编》、《工程项目劳动安全卫生初步设计审批表》及有关图纸、资料,报送安全生产综合管理机构审查,安全生产综合管理机构在 12 个工作日内完成审查,未经审查同意的工程项目不得进行施工(安装)。

6、建设单位在项目竣工验收前,应通知有相应资质的检测检验机构进行检验与评价。

7、建设单位在对生产设备进行调试时,必须同时对劳动安全防护措施和设施进行调试,对其效果作出评价,并制定完整的安全生产方面的管理规章制度。

8、建设单位在项目竣工验收前 20 天,须将试生产中劳动安全防护设施的运行情况、措施的效果、检测数据、存在问题及今后采取的措施写出专题报告,连同《工程项目劳动安全卫生验收审批表》报安全生产综合管理机构审查,并认真落实审查意见。经验收合格后,方可正式投入生产或使用。

9、各级安全生产综合管理机构对建设项目的“三同时”实施行使监察职能。按分级管理的原则,各级企业的工程项目由同级(区以下企业由区级)安全生产综合管理机构负责监察。各级安全生产综合管理机构应严格按国家有关安全生产法规和标准对劳动安全防护措施和设施进行设计审查和验收,对建设单位报送审查的工程项目劳动安全评价报告及验收专题报告,应进行认真审查并作明确答复。

10、根据国家劳动安全卫生标准和行业劳动卫生设计规定,审查批复建设项目可



行性研究报告文件中的劳动安全卫生认证内容，审查（或组织审查）并批复建设项目劳动安全卫生预评价报告和建设项目设计的劳动安全生产专篇。根据建设单位报送的建设项目劳动安全卫生验收专题报告，对建设项目竣工进行劳动安全卫生验收。对进行劳动安全卫生预评价的项目，在正式验收前进行劳动安全卫生预验收或专项审查验收。

对违反“三同时”规定的建设单位及承担可行性研究、劳动安全卫生预评价、设计、施工等任务的单位，及时下达整改通知，并监督检查其整改情况。

（二）采取切实可行的安全措施

1、土建安全

工程严格按照规定进行设计、施工。

2、电气安全

本工程全部采用等电位联结。对比较潮湿地方的用电设备采用三相五线制，并加装漏电保护。

3、防雷措施

根据有关规定，设防直击雷、感应雷和防雷电被侵入的措施。

4、监控措施

沿线设置 CCTV 监控系统，对交通事故和突发事件进行 24 小时全方位监视。

5、个人防护措施

（1）应严格遵守卫生制度。定期进行健康检查，取得卫生监督机构颁发的体检合格证者，方能从事工作。发现有开放性或活动性肺结核、传染性肝炎、流行性感冒、肠道传染病或带菌者、化脓性或渗出性皮肤病、疥疮及其他传染性疾病者，均不得直接参加工作。

（2）厨房工作人员必须穿戴白色工作服和工作帽，不得穿工作服和工作鞋上街或离开工作场所。

（3）严禁在工作时间吸烟和吃食品。

（4）注意个人卫生，做到勤洗澡、勤换衣服、勤剪指甲、理发。培养良好的卫生习惯。

（5）定期进行健康检查，进行保健知识教育。



6、坚持“三抓一突出”和安全生产“四不放过原则”

“三抓一突出”：抓基础、抓源头、抓落实、突出重点。

“四不放过原则”：事故原因未查清不放过，当事人和群众没有受到教育不放过，事故责任人未受到处理不放过，没有制订切实可行的预防措施不放过。

（三）实行严格的卫生措施

1、场址卫生要求

（1）通风日照良好，空气清晰，周边无大型工厂等。

（2）场区内外土壤清洁并适于绿化。

（3）能源供应充足，并有清洁的水源。

（4）交通方便，但必须与马路、街道有一定的间距。

（5）场区远离有害场所，建筑结构完善，并能满足办公人员卫生要求。

（6）给排水系统应能适应生活需要，设施合理有效。污水排放应符合国家规定的标准。

2、平面布置卫生要求

场内布局首先必须注意污染及被污染的问题，目的是防止外环境对生活区的污染。

（1）生活场地应有单独的院落。

（2）场区周围和场内的道路以水泥、柏油等不漏水易清扫的材料铺装，并保持一定坡度，以利于雨雪水的排放。

（3）建筑物密度不可过大，以利通风。

（4）必须配备生活卫生用室：食堂、厕所、休息室、活动室。

（5）根据卫生要求，人、物严格分流，防止交叉污染。

（四）注意保护绿化植被的安全

本项目绿化带应特别注重森林防火和林木病虫害防治。

1、森林防火方面，应参照《森林防火条例》（1988年1月16日国务院发布，2008年11月19日国务院第36次常务会议修订通过）制定并严格执行具体的防火措施。

2、林木病虫害防治方面，应按照《森林病虫害防治条例》（1989年12月18日国务院颁布）等有关规定，采取积极防治措施。



9.2.3 消防设施

(一) 概述

本项目消防设计严格贯彻执行国家颁布的现行各种消防规范，以防止和减少火灾危害。建筑防火技术，应贯彻“预防为主，消防结合”的方针，积极采用先进的防火技术，做到安全生产，方便使用，经济合理。本项目建筑物的耐火等级不低于二级。

(二) 电气消防

1、全场供电线路采用多级自动开关保护，在用电设备或线路出现过负荷及短路时，可及时可靠切断电源，线路均采用穿钢管保护敷设方式，防止火灾，安全可靠。

2、配电箱（柜）外壳，各建筑物内所有正常带电设备外壳均可靠接地。

3、各建筑物根据其防雷等级，按照防雷设计规范采取相应的防雷措施。

4、火灾事故照明和疏散指示标志可采用蓄电池作备用电源，连续供电时间不应少于 20min。

5、消防用电设备应采用单独的供电回路，当发生火灾切断生产、生活用电时，应仍能保证消防用电，其配电设备应有明显标志。

6、建筑物内设疏散应急照明灯，其最低照度不应低于 0.5LX。

7、局部有爆炸危险的场所，电气设备尽量安装在爆炸危险场所之外，需要现场操作的用电设备，其电气装置根据爆炸危险等级及可能引起爆炸的介质情况选择适当的、能保证安全的防爆设备。

9.3 风险应急预案

对于本项目可能发生的风险，研究制定重大风险应急预案，明确应急处置及应急演练要求等。

9.3.1 各主要施工安排、施工措施及应急预案

(一) 汛期施工安排及施工措施

根据项目工程的实际进展情况，结合汛期特点，制定汛期的主要施工措施应包括：

1)、沟槽开挖时做好排水工作。

2)、搞好弃土场边坡防护。

3)、各施工点安排专人值班，在汛期保证与领导小组的通讯畅通做到及时通知、及时处理。

4)、派专人收集天气和水文信息资料，并及时向防洪抢险应急指挥领导小组汇报。



（二）触电事故应急处理

1)、触电事故发生后，事故现场有关人员或其他知情人如具备急救常识的，应当立即进行现场抢救，并马上报告事故单位负责人。事故单位负责人接到事故报告后，应马上组织触电应急处理，参加事故抢险和调查处理等，并立即报告公司应急指挥中心领导及公司主管部门。

2)、事故发生单位必须严格保护事故现场，并迅速采取必要措施抢救人员。因抢救伤员、防止事故扩大，必须及时拍照、标志、详细绘制事故现场图，并妥善保存现场重要痕迹物证等。

3)、如有必要，事故发生单位应尽快通知地方卫生部门，立即组织急救，抢救伤员。

（三）机械及车辆伤害事故应急预案

1)、机械及车辆伤害事故发生后，事故现场有关人员或其他知情人应当立即直接或逐级报告事故单位负责人,事故单位负责人接到事故报告后，应马上组织机械及车辆伤害事故应急处理领导小组成员参加事故抢险和调查处理，并立即报告公司应急指挥中心领导及主管部门。

2)、事故发生单位必须严格保护事故现场，并迅速采取必要措施抢救人员和财产。因抢救伤员、防止事故扩大及疏导交通等原因需移动现场物件时，必须及时拍照、标志、详细绘制事故现场图，并妥善保存现场重要痕迹物证等。

3)、如有必要，事故发生单位应尽快通知地方卫生部门，立即组织急救队伍,及时提供救护所需药品和各种医疗设备抢救伤员。

9.3.2 应急措施

安全生产事故有人员伤亡时一般需要进行紧急救护,为了挽救受伤者的生命，在事故现场须毫不迟疑地采取以下急救措施:

1、组织疏散围观人员、立即抢救被困受伤人员，搀扶受伤人员离开现场救治，对重伤人员立即拨打 120 急救中心。

2、立即进行现场封锁，禁止无关人员进入现场，并检查事故发生后周边的状态，对有可能发生的状况进行处理,防止事态的进一步扩大。

3、对于现场的一些被污染的火工材料、油料等应进行临时隔离保护措施，防止



引起爆炸和火灾。

- 4、发生交通事故立即拨打 122，并注意维护现场，维持交通。
- 5、发生火灾事故立即拨打 119，并进行抢救。
- 6、发生管道、管线破坏事故紧急通知相关所属单位派人到现场处。
- 7、发生意外中毒事故，立即拨打 120，遇有毒物质扩散立即报告当地政府和消防部门，并组织疏散人员，对现场进行警戒。
- 8、发生盗抢及社会治安事件,立即拨打 110 疏散围观群众，控制事态扩大。
- 9、综合办公室派专人及时对事故现场进行照相、录像，对现场进行认真、全面地勘验，发现和收集确定事故原因的各种痕迹、物证等。



10 研究结论及建议

10.1 主要研究结论

根据历年的运营、检测结果，解放大桥主桥的最重要受力构件吊杆、系杆技术状况为D级；由于下层系杆的断丝率和张拉情况未知，复杂的构造导致无法采取检测手段获取其张拉力，原桥的成桥状态无法获取；根据主桥原桥检算结果，结构存在整体稳定性不足、断索工况落梁的结构性缺陷。因此，解放大桥主桥存在较大安全隐患，严重影响行车的安全性，对周边民众出行带来了很大安全问题，因此需尽快对该桥进行维修。

解放大桥维修内容包括：

1、主桥：系杆更换、吊杆更换、中拱肋新增横撑、加劲纵梁加固、拱肋脱空处治、钢构件及混凝土构件的重新涂装等；

2、主桥、引桥、匝道桥常规病害处治：裂缝修补；混凝土破损、锈胀处治；沥青铺装病害修补；伸缩缝止水带更换、空心板铰缝修补、引桥支座顶升更换；部分混凝土构件破损涂装修复。

10.2 问题与建议

- 1、为尽快消除解放大桥主桥的安全隐患，建议尽快启动主桥的维修。
- 2、主桥系杆、吊杆索更换期间，从施工控制和安全角度考虑需全桥封闭，对交通影响和社会舆论较大。
- 3、吊杆、系杆施工期间应进行全过程的桥梁施工监控。
- 4、根据最新索力检测报告，结合计算，吊杆力理论计算值与实测值相差较大，建议在吊杆更换中，采用张拉法获取实际索力，及时向设计单位反馈。
- 5、应在施工前委托检测单位对桥梁进行必要的专项检测。
- 6、应委托相关单位对桥梁进行必要的交通影响和评价。
- 7、结合2025年第十五届全国运动会的开展情况，为保证路网通行能力，选择恰当的施工窗口期。

