G42沪蓉高速公路奉节至梁平段安全韧性提升项目

两阶段施工图设计

（K1342+450～K1574+950）

全长：232.5公里

第四篇　桥梁、涵洞

第四册　第三分册 共三分册

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

北京公科固桥技术有限公司

二〇二五年十二月

G42沪蓉高速公路奉节至梁平段安全韧性提升项目

两阶段施工图设计

（K1342+450～K1574+950）

全长：232.5公里

牵头单位：北京交科公路勘察设计研究院有限公司

成员单位：北京公科固桥技术有限公司

资质证书：公路行业甲级　　**A111009147**

工程勘察综合类甲级　　**B111009147**

公路工程桥梁隧道工程专项　　交检桥隧京第006-2025号

发证机关：中华人民共和国住房和城乡建设部

项目负责人：

技术负责人：

部门负责人：

总工程师：

分管副总经理：

总经理：

G42沪蓉高速公路奉节至梁平段安全韧性提升项目两阶段施工图设计文件构成表

册号	分册情况	分　　册　　内　　容	
第一册	全一册	第一篇 总体设计	项目地理位置图、总说明、路线平面图（工点落图）、主要技术经济指标表（工点一览表）、附件、制度体系（S1）
第二册	全一册	第二篇 路线（交安）	设计说明、安全设施工程数量表、安全设施横断面布置图、安全设施布设图表、通用图等（S2）
第三册	第一分册	第三篇 路基、路面	设计说明、路基路面韧性提升一览表、路基标准横断面图、路堤边坡防护工程设计图、路堤边坡工点设计图表（S3-1）
	第二分册		路堑边坡防护工程设计图、路堑边坡工点设计图表（S3-2）
	第三分册		路面工程数量表、路面结构设计图、路基、路面排水工程设计图表（S3-3）
第四册	第一分册	第四篇 桥梁、涵洞	设计说明（S4-1-1）、桥梁韧性提升一览表（S4-1-2）、34座桥梁承载能力韧性提升设计图表（S4-1-3～41）、11座桥梁抗洪能力提升设计图表（S4-1-41～48）、护栏提升设计图（S4-1-49）、检修步道设计图（S4-1-50）
	第二分册		桥梁韧性提升通用图（S4-2）
	第三分册		斜拉桥韧性提升设计说明、梅溪河特大桥、彭溪河特大桥设计图表（S4-3）
第五册	第一分册	第五篇 隧道	设计说明、安全韧性提升一览表、奉云段隧道安全韧性提升设计图表（S5-1）
	第二分册		云万段隧道安全韧性提升设计图表（S5-2）
	第三分册		万梁段隧道安全韧性提升设计图表、隧道机电部分（S5-3）
第六册	第一分册	第六篇 路线交叉、第七篇 交通工程及沿线设施、第十篇 筑路材料、 第十一篇 施工方案	路线交叉韧性提升一览表（S6-1）、避险车道、云阳服务区，筑路材料（S10）、施工组织设计（S11）
	第二分册		孙家加水站、梁平服务区
	第三分册		三正加水站、爬坡车道1
	第四分册		爬坡车道2
第七册	全一册	第十二篇 施工图设计预算	造价图表
第八册	第一分册	基础资料	工程地质勘察总说明、工作量一览表、柱状图、路基工点勘察报告
	第二分册		隧道工点勘察报告、桥梁工点报告

梅溪河特大桥

目　　录

G42沪蓉高速公路奉节至梁平段安全韧性提升项目两阶段施工图设计

序号	图表名称	图号	页数	备注		序号	图表名称	图号	页数	备注
1	梅溪河特大桥安全韧性提升工程设计说明	S4-3-1	33			27				
2	梅溪河特大桥安全韧性提升工程数量汇总表	S4-3-1-1	2			28				
3	梅溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	S4-3-1-2	2			29				
4	斜拉索更换构造图	S4-3-1-3	1			30				
5	斜拉索编号示意图	S4-3-1-4	1			31				
6	斜拉索长度、重量表	S4-3-1-5	2			32				
7	斜拉索索力表	S4-3-1-6	1			33				
8	斜拉索防火能力提升设计构造图	S4-3-1-7	2			34				
9	拉索更换施工顺序示意图	S4-3-1-8	1			35				
10	桥面铺装更换构造设计图	S4-3-1-9	1			36				
11	桥梁表观病害处治示意图	S4-3-1-10	3			37				
12	梅溪河特大桥横断面护栏布设示意图	S4-3-1-11	3			38				
13	梅溪河特大桥中央分隔带护栏拆除示意图	S4-3-1-12	1			39				
14	梅溪河特大桥中央分隔带SA级梁柱式钢护栏结构示意图	S4-3-1-13	1			40				
15	梅溪河特大桥路侧护栏拆除示意图	S4-3-1-14	1			41				
16	梅溪河特大桥路侧HA级梁柱式护栏结构示意图	S4-3-1-15	1			42				
17	施工导序示意图	S4-3-1-16	1			43				
18	附：部分原竣工图纸	S4-3-1-17	14			44				
19						45				
20						46				
21						47				
22						48				
23						49				
24						50				
25						51				
26						52				

设 计 说 明

1 工点概述

1.1 工程概况

梅溪河特大桥位于沪蓉高速上，桥梁按左右幅设计，左右幅中心桩号均为 K1352+998。本桥左右幅跨径组合均为：（43+147+386+147+43）m（双塔双索面预应力混凝土）+2×25 m（现浇箱梁），两边跨各设一个辅助墩，将 190m 的边跨分成（43+147）m 两跨，左右幅桥梁全长均为 821.00m。

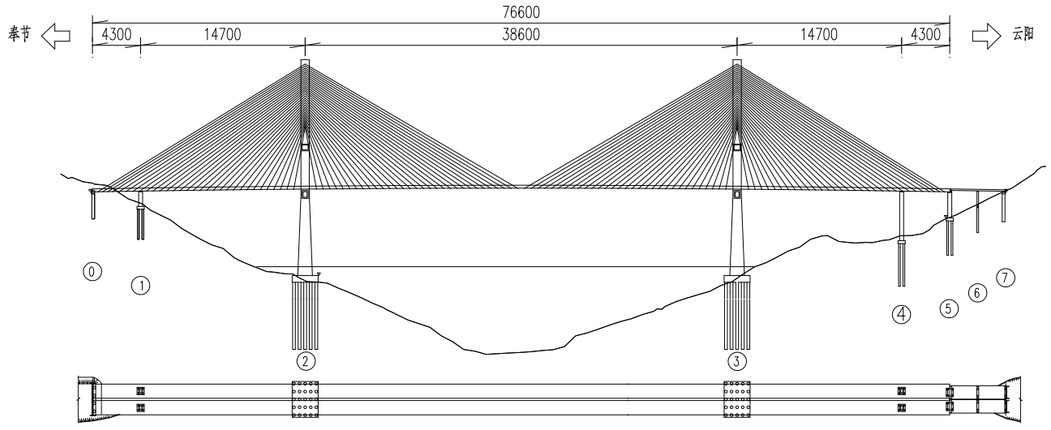
单幅桥面全宽 13.75m，横向布置为：2.00m（检修道+护栏）+11.00m（行车道）+0.75m（中央分隔带）。



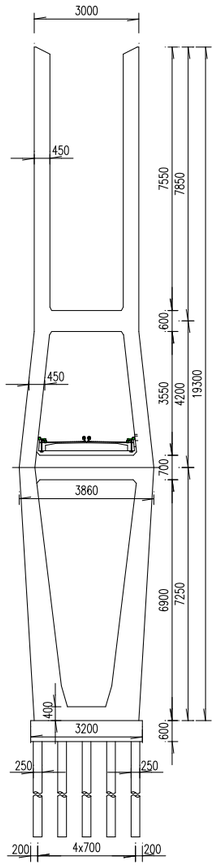
大桥立面照

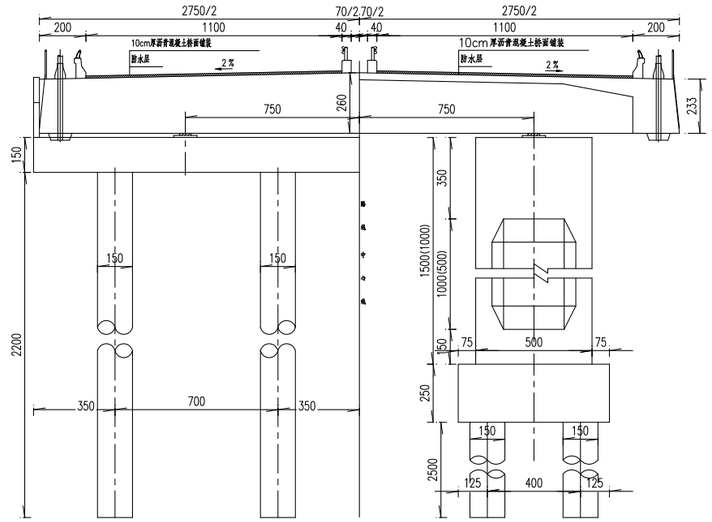


大桥正面照



大桥布置图





大桥典型横断面图

主桥上部结构为双塔双索面半漂浮体系结构。斜拉索单边布置按 4×31 根对称布置。主梁标准截面采用双主肋断面，主梁中心高 2.60 m，高跨比为 1/148.5，顶板宽 23.50 m，厚 0.30m，箱梁全宽 27.50 m，宽跨比为 1/14.04，桥面板设 2.0%的双向横坡。标准段梁肋外侧高 2.33m，单肋宽 2.00m。边跨现浇段主梁肋宽由 2.00m 变化到 3.50m。

索塔采用“H”型索塔，钢筋混凝土结构。塔高为 193.00 m，索塔上塔柱高 78.50m，中塔柱高 42.00 m，下塔柱高 72.50 m。

斜拉索采用密索体系布置，在主梁上的标准索距为 6.00m，边跨混凝土现浇部分索距为 4.50m；在索塔上的索距为 1.75m 和 2.00m。全桥共计 248 根索。

斜拉索采用平行钢丝索，斜拉索规格有 PES7-91、109、139、151、187、211 六种。采用低松驰镀锌高强钢丝，直径 7mm，抗拉强度标准值 f_{pk} =1670MPa。采用双层 PE 防护。

主桥在桥塔处分别设纵、横向限位装置。横向限位装置采用在主梁侧面设置橡胶支座；纵向采用在索塔下横梁上设置限位块，在限位块两侧设置橡胶防冲装置。

引桥上部结构为 2×25m 预应力混凝土现浇箱梁。箱梁宽 12.00m，采用单箱双室断面，梁高 1.60 m，顶板宽 12.00m，底板宽 7.50m，翼缘板悬臂 2.25m，顶板厚 0.20 m，跨中底板厚 0.20 m，跨中腹板厚 0.35m，支点附近腹板厚 0.50m。在中支点处设置 1.50m 厚的中横梁。在端支点处设置 0.80m 厚的端横梁。单幅共设置 3 道横隔板。

主桥下部结构辅助墩与过渡墩采用空心薄壁墩，辅助墩横桥向宽 5.00m，顺桥向 3.00m。高墩壁厚采用 0.80m，底墩采用 0.70m。承台厚 2.50m，平面尺寸为 650×650cm。过渡墩横桥向宽 6.00m，顺桥向 3.50m。壁厚高墩采用 0.80m。承台厚 2.50m，平面尺寸为 750×640cm。基础采用直径为 1.50m 的钻孔灌注桩，每幅桥的桥墩下布置 4 根，为群桩基础。引桥下部结构采用圆形钢筋混凝土柱式桥墩，柱径为 1.40m。基础采用桩基础，桩径为 1.50m。桥台采用柱式桥台，桩基础。

主桥均采用 JQGZ-Ⅱ减震球形钢支座，横向限位采用四氟滑板橡胶支座，纵向采用限位挡块。

引桥桥台处设置 D80 型伸缩缝，主、引桥过渡墩处设置 D480 型伸缩缝。

斜拉桥索塔 C50、主桥主梁采用 C60 混凝土，引桥主梁采用混凝土 C50 混凝土，墩身、台帽采用 C40 混凝土，承台、护栏、索塔桩基采用 C30 混凝土，引桥基桩采用 C25 混凝土。

大桥于 2010 年建成通车，至今已运营约 15 年。

2 设计依据

2.1 相关图纸、报告等文件

《梅溪河特大桥施工图设计》（中交第二勘察设计研究院）

《国家重点公路杭州至兰州线重庆奉节～云阳高速公路竣工图 梅溪河大桥》（路桥华南工程有限公司）

《2020 年至 2021 年桥隧定期检查（监测）及设计项目 DB-2 标段》（中设设计集团股份有限公司工程质量检测中心/华设设计集团股份有限公司工程质量检测中心）

《重庆高速 2022 年至 2024 年桥隧定期检查（监测）及设计项目》（招商局重庆公路工程检测中心有限公司）

《G42 沪蓉高速奉节至梁平段 安全韧性提升项目 K1342+450~K1574+950 工程可行性研究报告》（北京交科公路勘察设计研究院有限公司，2025.5）

《G42 沪蓉高速奉节至梁平段安全韧性提升工程 公路安全韧性评估》（工可阶段评估桥涵专业工程评估报告）（北京公科固桥技术有限公司，2025.4）

《G42 沪蓉高速奉云段梅溪河特大桥（K1352+998）主桥特殊检查》（北京公科固桥技术有限公司检测中心 2025.9）

2.2 主要规范或标准

（1）《钢结构防火涂料》（GB 14907—2018）

（2）《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》（GB/T 18365—2018）

（3）《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101—2019）

（4）《缆索用环氧涂层钢丝》（GB/T 25835—2010）

（5）《纳米孔气凝胶复合绝热制品》（GB/T 34336—2017）

（6）《玻璃纤维无捻粗纱布》（GB/T18370—2014）

（7）《建筑材料及制品燃烧性能分级》（GB 8624—2012）

（8）《建筑设计防火规范》（GB 50016—2018）

（9）《建筑钢结构防火技术规范》（GB 51249—2017）

（10）《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》（JT/T 775—2016）

（11）《公路斜拉桥设计规范》（JTG/T 3365-01—2020）

（12）《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）

（13）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362—2018）

（14）《公路桥涵养护规范》（JTG 5120—2021）

（15）《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JGJ/T5122—2021）

（16）《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722—2023）

（17）《公路桥梁用氟碳面漆》(JT/T 1168—2017）

（18）《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650—2020）

（19）《桥梁缆索防腐缠包带》（HG/T 5600—2019）

（20）《电缆防火阻燃设计与施工》（06D105）

2.3 主要技术标准

（1）公路等级：高速公路

（2）设计车速：80km/h

（3）原设计荷载：公路—I 级（JTGD60-2004）

（4）洪水频率：1/300

（5）地震作用：地震动峰值加速度：0.05g，按 0.1g 设防。

3 韧性不足主要问题及分析

3.1 拉索

（1）外观

拉索共计 39 处钢护套密封圈开裂，79 个防尘罩螺栓缺失；存在 47 处防尘罩锈蚀，8 处黄油变质；7 处下锚头锚固区破损；6 处锚杯积水；3 处锚头锈蚀；斜拉索下锚头锚固区存在 6 处网状裂缝、3 条纵向裂缝、11 处破损。斜拉索 PE 护套共 79 处刮伤、7 处开裂、7 处严重刮伤、2 处修补痕迹。



下锚头破损锈蚀



密封圈开裂



防尘罩锈蚀



护套破损锈蚀



锚杯锈蚀



保护套破损

（2）拉索锈蚀检测

拉索磁致伸缩导波无损检测共 16 处，信号评定全部为 I 区。斜拉索 1 塔-左-M01#、2 塔-右-S28#斜拉索端部反射回波明显偏弱，拉索局部损伤指标 30%≤M<70%，评定标度为 3，斜拉索锈蚀概率较大。其余 14 根索，评定标度为 2，斜拉索锈蚀状态不确定。

择取信号异常较典型性 10 根斜拉索，在距防水罩高度约 0.35m 处位置点将斜拉索 PE 护套开窗，开窗检测评判结论如下：

1 塔-左-M01#、2 塔-右-S28#、、2 塔-右-S29#等 3 根拉索钢丝镀锌层大面积析白，表面少量黄褐色与深褐色锈蚀斑点，部分连接成片。钢丝无断裂，锈斑分布面积占开窗表面积比例均大于 10%且小于 50%。斜拉索内部钢丝技术状况评定标度全部为 3。

2 塔-左-M10#、2 塔-左-S10#、2 塔-右-M26#、2 塔-左-M07#、1 塔-左-S31#、1 塔-右-M02#、1 塔-右-S30#等 7 根拉索钢丝镀锌层大面积析白，表面分布极少量黄褐色、深褐色锈蚀斑点；钢丝表面锈斑分布面积占开窗表面积的比例均小于 10%。斜拉索内部钢丝技术状况评定标度全部为 2。



锈斑面积比例大于 10%且小于 50%



锈斑面积比例小于 10%



锈斑面积比例小于 10%



锈斑面积比例小于 10%



锈斑面积比例大于 10%且小于 50%



锈斑面积比例大于 10%且小于 50%

3.2 主梁

主梁共存在节段箱梁顶板存在 63 条纵向裂缝，总长度 62.0m，裂缝宽度区间 0.08mm~0.14mm；。横隔板存在少量竖向裂缝、横向裂缝，，最大宽度为 0.12mm；节段梁存在较多混凝土破损、露筋、剥落、蜂窝、麻面等表观病害。



主梁节段纵向裂缝



主梁涂装剥落



主梁纵向裂缝



主梁混凝土剥落、露筋

3.3 索塔

索塔内部存在 2 条竖向裂缝，宽度 0.12mm，1 处孔洞，1 处露筋；1 处蜂窝麻面。索塔外部存在 25 条竖向裂缝，最大裂缝宽度为 0.26mm。



索塔孔洞



索塔露筋



索塔竖向裂缝



索塔蜂窝麻面

3.4 下部结构

下塔柱主要病害表现为桥墩露筋、竖向裂缝、网裂等。墩台基础存在竖向裂缝、泛碱泌死。



桥墩网状裂缝



混凝土剥落

3.5 桥面系

伸缩缝堵塞、橡胶条老化破损及锚固区开裂。



橡胶条老化



伸缩缝堵死

护栏存在 47 处开裂，宽度 0.15mm-0.25mm；40 处胀裂剥落，多处破损露筋。



护栏开裂



护栏破损

3.6 桥面铺装厚度

采用取芯法验证桥面铺装厚度，经检查桥面铺装抽检 6 处，铺装厚度介于 8.0~11.6cm。

3.7 桥面线形

根据桥面线形测量结果，该桥左、右幅桥面线形平顺，整体线形测量值符合桥梁正常变化情况。

3.8 索力复核

考虑测量环境因素影响及车辆行驶对桥梁测试结果有影响，索力测试结果如下：

（1）本次与成桥索力相差 10%以上的斜拉索：15 根斜拉索，索力差值在 0kN~702kN 之间。

（2）本次与 2024 年测试结果相差 10%以上的斜拉索：9 根斜拉索，索力差值在 0kN~683kN 之间。

3.9 病害发展分析

2023 年 12 月已完成部分维修，并涂刷砼保护漆，2023 年定期检查也在维修之后。本次检查结果与 2022 年、2023 年定期检查报告中的检查结果对比，发现混凝土的大面积修补区域出现了少量网状裂缝以及横向裂缝等，部分裂缝修补后有重新开裂现象，部分裂缝也有发展。

3.10 技术状况评定

主桥整体技术状况评分为 90.46，整体技术状况等级评定为 2 类。

3.11 火灾

斜拉索位于护栏外侧，路段存在易燃品运输车辆，斜拉索距离行车道较近，未设置防火措施，构件与可能起火点横向安全距离小，高温辐射或燃烧直接影响构件，因此本桥索结构受火灾扰动明显。

3.12 安全韧性评估结果

特性指标	表征指标	标度取值	
冗余性	承受能力	3	斜拉索位于护栏外侧，与可能起火点横向安全距离小
	结构监测与监测预警	5	设备运行正常，监测与报警高效。告警阻拦装置符合《关于进一步加强监测警提升公路防灾抗灾能力的通知》要求，设备运行正常

特性指标	表征指标	标度取值	
	设防能力	4	该桥梁按照《公路桥涵设计通用规范》（JTGD60-2004）设计
	技术状况	5	上部结构技术状况为 2 类
应变性	外部扰动持续力	/	/
稳健性	恢复能力	3	该桥斜拉索未设置防火措施
恢复性	最大抗风险能力	5	火灾可能导致拉吊杆（索）等可更换构件的损伤
适应性	最低服务能力	/	/

大桥评估分数为 **76.4**。

4 结构验算

4.1 计算模型及主要参数

（1）恒载

一期恒载：混凝土容重取为 26kN/m3。

二期恒载：整个二期恒载按实际布置取值。

（2）汽车荷载

根据设计说明，汽车荷载取值如下：公路Ⅰ级。双向 6 车道，考虑到实际状况中重车的影响，汽车荷载按 1.02 倍取值。

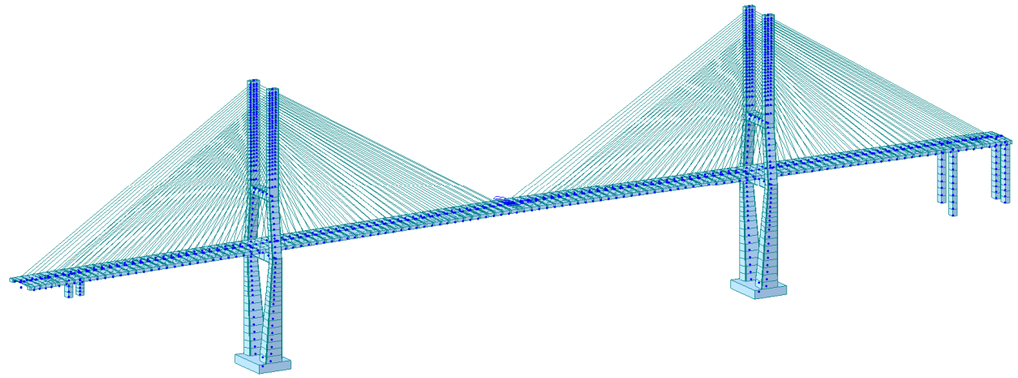
（3）温度作用

均匀温度作用考虑为：整体升温 20℃，整体降温 20℃；考虑主梁截面温度梯度、索塔温差、拉索温差。

（4）荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）的验算荷载以及荷载组合方式。

纵向总体计算采用桥梁通用程序 Midas Civil，按空间杆系进行结构分析。按照设计施工流程图的施工顺序进行结构离散，主塔、主梁、主墩及横隔板均采用梁单元模拟，桥面板采用板单元模拟，斜拉索采用桁架单元模拟。



建立有限元计算模型

4.2 现状工况验算结果

4.2.1 索力验算

按现行规范对基于检测结果的结构工况进行验算，并考虑了实际荷载的修正的情况。

现状索力验算结果

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d (kN)	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	拉索强度设计值（MPa）	拉索强度修正值（MPa）	安全系数	结论
1	A31	PES7-211	6523	884	900	828	0.94	不满足
2	A30	PES7-211	6277	850	900	828	0.97	不满足
3	A29	PES7-211	6042	818	900	828	1.01	满足
4	A28	PES7-187	5724	875	900	828	0.95	不满足
5	A27	PES7-187	5577	852	900	828	0.97	不满足
6	A26	PES7-187	5309	811	900	828	1.02	满足
7	A25	PES7-187	5113	781	900	828	1.06	满足
8	A24	PES7-187	5962	911	900	828	0.91	不满足
9	A23	PES7-151	4535	858	900	828	0.96	不满足
10	A22	PES7-151	4241	803	900	828	1.03	满足
11	A21	PES7-151	3958	749	900	828	1.11	满足
12	A20	PES7-151	4242	803	900	828	1.03	满足
13	A19	PES7-151	4271	808	900	828	1.02	满足
14	A18	PES7-139	4304	885	900	828	0.94	不满足
15	A17	PES7-139	4035	830	900	828	1.00	不满足
16	A16	PES7-139	3715	764	900	828	1.08	满足
17	A15	PES7-139	4075	838	900	828	0.99	不满足
18	A14	PES7-139	4247	873	900	828	0.95	不满足
19	A13	PES7-139	3930	808	900	828	1.02	满足

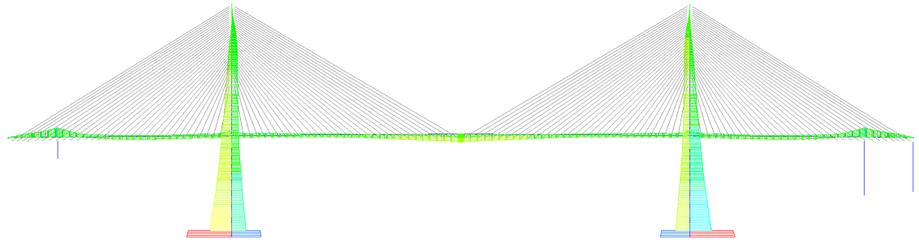
序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d (kN)	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	拉索强度设计值 (MPa)	拉索强度修正值 (MPa)	安全系数	结论
20	A12	PES7-139	3579	736	900	828	1.13	满足
21	A11	PES7-139	3787	779	900	828	1.06	满足
22	A10	PES7-139	3383	696	900	828	1.19	满足
23	A9	PES7-109	3405	893	900	828	0.93	不满足
24	A8	PES7-109	3073	806	900	828	1.03	满足
25	A7	PES7-109	3035	796	900	828	1.04	满足
26	A6	PES7-109	2933	769	900	828	1.08	满足
27	A5	PES7-109	3002	787	900	828	1.05	满足
28	A4	PES7-91	2896	910	900	828	0.91	不满足
29	A3	PES7-91	2778	873	900	828	0.95	不满足
30	A2	PES7-91	2672	839	900	828	0.99	不满足
31	A1	PES7-91	2743	861	900	828	0.96	不满足
32	J1	PES7-91	2622	824	900	828	1.01	满足
33	J2	PES7-91	2591	814	900	828	1.02	满足
34	J3	PES7-91	2654	834	900	828	0.99	不满足
35	J4	PES7-91	2575	809	900	828	1.02	满足
36	J5	PES7-109	2879	755	900	828	1.10	满足
37	J6	PES7-109	2821	740	900	828	1.12	满足
38	J7	PES7-109	2914	764	900	828	1.08	满足
39	J8	PES7-109	3122	819	900	828	1.01	满足
40	J9	PES7-109	3314	869	900	828	0.95	不满足
41	J10	PES7-139	3729	767	900	828	1.08	满足
42	J11	PES7-139	3719	765	900	828	1.08	满足
43	J12	PES7-139	4061	835	900	828	0.99	不满足
44	J13	PES7-139	4054	834	900	828	0.99	不满足
45	J14	PES7-139	4245	873	900	828	0.95	不满足
46	J15	PES7-139	4107	845	900	828	0.98	不满足
47	J16	PES7-139	4409	907	900	828	0.91	不满足
48	J17	PES7-139	4023	827	900	828	1.00	满足
49	J18	PES7-139	4341	893	900	828	0.93	不满足
50	J19	PES7-151	4506	853	900	828	0.97	不满足
51	J20	PES7-151	4448	842	900	828	0.98	不满足
52	J21	PES7-151	4730	895	900	828	0.92	不满足
53	J22	PES7-151	5035	953	900	828	0.87	不满足
54	J23	PES7-151	4832	915	900	828	0.91	不满足
55	J24	PES7-151	5103	966	900	828	0.86	不满足
56	J25	PES7-151	4377	829	900	828	1.00	不满足
57	J26	PES7-187	5091	778	900	828	1.06	满足
58	J27	PES7-187	5401	826	900	828	1.00	满足
59	J28	PES7-187	5034	769	900	828	1.08	满足
60	J29	PES7-187	5338	816	900	828	1.01	满足
61	J30	PES7-187	5652	864	900	828	0.96	不满足
62	J31	PES7-187	5983	914	900	828	0.91	不满足

结论：约一半拉索不满足要求，约 80%索力安全系数储备偏低。

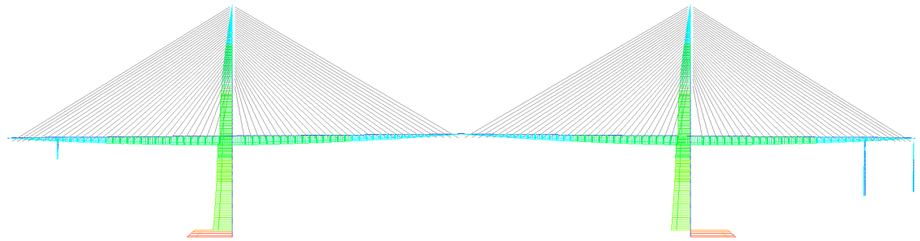
4.2.2 主梁验算

（1）承载能力极限状态验算

弯矩、轴力结果满足规范要求。



承载能力极限状态下结构弯矩包络（单位：kN.m）



承载能力极限状态下结构轴力包络（单位：kN）

主梁承载力验算结果

验算项目	荷载组合	验算内容	最大作用效应 S		最大作用效应截面的结构抗力 R	修正后结构抗力 R'	结论
承载能力极限状态	基本组合	偏心受压构件正截面抗	1#墩顶	-61.1	128943.2	128488.1	满足要求
			第 1 跨跨中	-34013.4	61203.5	60987.5	满足要求
			2#墩顶	-55460.0	78886.9	78608.5	满足要求
			第 2 跨跨中	-133480.9	484741.2	483030.2	满足要求
			3#塔	-157608.5	617587.5	615407.6	满足要求

验算项目	荷载组合	验算内容	最大作用效应 S		最大作用效应截面的结构抗力 R	修正后结构抗力 R'	结论
		压承载力	第 3 跨 1/4 处	-119855.6	458939.2	457319.3	满足要求
			第 3 跨跨中	2019.0	464965.2	463324.0	满足要求
			第 3 跨 3/4 处	-103964.2	458855.3	457235.7	满足要求
			4#塔	-156427.2	616256.3	614081.1	满足要求
			第 4 跨跨中	-127163.2	458558.6	456940.0	满足要求
			5#墩顶	-62698.9	77616.3	77342.3	满足要求
			第 5 跨跨中	-33880.4	63753.6	63528.6	满足要求
			6#墩顶	-19.3	126828.6	126380.9	满足要求
		斜截面抗剪承载力	1#墩顶	1418.4	44003.5	43848.2	满足要求
			第 1 跨跨中	5266.6	40932.3	40787.8	满足要求
			2#墩顶	9567.1	40932.3	40787.8	满足要求
			第 2 跨跨中	2457.3	27224.2	27128.1	满足要求
			3#塔	15436.4	36678.3	36548.8	满足要求
			第 3 跨 1/4 处	7280.8	26346.1	26253.1	满足要求
			第 3 跨跨中	3768.6	29447.2	29343.3	满足要求
			第 3 跨 3/4 处	3064.4	26123.9	26031.7	满足要求
			4#塔	10328.7	36678.3	36548.8	满足要求
			第 4 跨跨中	7054.1	27224.2	27128.1	满足要求
			5#墩顶	10298.5	30773.4	30664.8	满足要求
			第 5 跨跨中	5353.2	40932.3	40787.8	满足要求
			6#墩顶	6684.7	44003.5	43848.2	满足要求

（2）持久状况正常使用极限状态验算

验算项目	荷载组合	验算内容	正截面法向最大应力（MPa）		计入活载影响修正系数的计算值（MPa）	规范容许值（MPa）	修正后规范容许值（MPa）	结论
正常使用阶段极限状态	标准组合	正截面法向压应力	1#墩顶	-4.7	-4.7	-19.25	-21.37	满足要求
			第 1 跨跨中	-5.7	-5.7	-19.25	-21.37	满足要求
			2#墩顶	-11.1	-11.1	-19.25	-21.37	满足要求
			第 2 跨跨中	-9.7	-9.7	-19.25	-21.37	满足要求
			3#塔	-11.0	-11.0	-19.25	-21.37	满足要求
			第 3 跨 1/4 处	-12.5	-12.5	-19.25	-21.37	满足要求
			第 3 跨跨中	-7.7	-7.7	-19.25	-21.37	满足要求
			第 3 跨 3/4 处	-8.7	-8.7	-19.25	-21.37	满足要求
			4#塔	-14.5	-14.5	-19.25	-21.37	满足要求
			第 4 跨跨中	-10.2	-10.2	-19.25	-21.37	满足要求
			5#墩顶	-11.7	-11.7	-19.25	-21.37	满足要求
			第 5 跨跨中	-7.3	-7.3	-19.25	-21.37	满足要求

验算项目	荷载组合	验算内容	正截面法向最大应力（MPa）		计入活载影响修正系数的计算值（MPa）	规范容许值（MPa）	修正后规范容许值（MPa）	结论
			6#墩顶	-5.2	-5.2	-19.25	-21.37	满足要求
	频遇组合	正截面法向拉应力	1#墩顶	1.25	1.25	2.00	2.22	满足要求
			第 1 跨跨中	-1.57	-1.57	2.00	2.22	满足要求
			2#墩顶	-2.71	-2.71	2.00	2.22	满足要求
			第 2 跨跨中	-2.34	-2.34	2.00	2.22	满足要求
			3#塔	-4.08	-4.08	2.00	2.22	满足要求
			第 3 跨 1/4 处	-2.19	-2.19	2.00	2.22	满足要求
			第 3 跨跨中	-0.82	-0.82	2.00	2.22	满足要求
			第 3 跨 3/4 处	-3.09	-3.09	2.00	2.22	满足要求
			4#塔	-2.92	-2.92	2.00	2.22	满足要求
			第 4 跨跨中	-4.66	-4.66	2.00	2.22	满足要求
			5#墩顶	-2.97	-2.97	2.00	2.22	满足要求
			第 5 跨跨中	-0.85	-0.85	2.00	2.22	满足要求
			6#墩顶	1.25	1.25	2.00	2.22	满足要求

（3）主梁挠度验算

按照《公路斜拉桥设计规范》（JTGT 3365-01—2020）7.2.5 条规定，混凝土主梁正负挠度绝对值之和不应超过跨径的 1/500。

29.2cm＜38600/500=77.2cm，挠度验算满足规范要求。

4.2.3 主塔验算

索塔持久状况承载能力极限状态检算结果

验算项目	**荷载组合**	**验算内容**	**最大作用效应 S**		**最大作用效应截面的结构抗力 R**	**修正后结构抗力 R'**	**结论**
承载能力极限状态	基本组合	偏心受压构件正截面抗压承载力	1#塔下横梁处	-289802.6	999400	1042669	满足要求
			1#塔上横梁处	-239463.9	999400	1042669	满足要求
			2#塔下横梁处	-214794.8	999400	1042669	满足要求
			2#塔上横梁处	-207226.8	999400	1042669	满足要求

索塔持久状况正常使用极限状态检算结果

验算项目	**荷载组合**	**验算内容**	**正截面法向最大应力（MPa）**		**计入活载影响修正系数的计算值（MPa）**	**规范容许值（MPa）**	**修正后规范容许值（MPa）**	**结论**
正常使用阶段	标准组合		1#塔下横梁主塔	-14.70	-14.70	-16.20	-18.31	满足要求

验算项目	荷载组合	验算内容	正截面法向最大应力（MPa）		计入活载影响修正系数的计算值（MPa）	规范容许值（MPa）	修正后规范容许值（MPa）	结论
极限状态		正截面法向压应力	1#塔上横梁主塔	-14.30	-14.30	-16.20	-18.31	满足要求
			2#塔下横梁主塔	-12.51	-12.51	-16.20	-18.31	满足要求
			2#塔上横梁主塔	-11.50	-11.50	-16.20	-18.31	满足要求

5 韧性提升方案

5.1 拉索提升方案

针对大桥拉索抗火灾能力不足以及索力验算承载能力安全系数储备低的问题，综合考虑现有拉索的寿命以及更换拉索施工难度及社会影响，并结合初步设计评审意见，拟定采用**一次性更换全部拉索并增加索体防火措施方案**。

5.2 拉索更换

更换拉索与原设计规格一致。新换索采用环氧涂层钢丝成品拉索体系，钢丝采用低松弛高强钢丝，直径 7mm，抗拉强度标准值 f_{pk}=1860MPa（对比原设计强度 1670MPa），型号为：PES（C）7-91、PES（C）7-109、PES（C）7-139、PES（C）7-151、PES（C）7-187、PES（C）7-211。拉索外包黑色内层彩色外层的双层 HDPE 低应力全防腐结构。采用冷铸镦头锚。新索与旧索的对比如下，施工前应再次复核拉索直径与套管孔道，确保可以顺利安装。

拉索与预埋管适配性表

序号	原设计拉索型号	预埋套管内径（mm）	更换拉索型号	更换拉索锚杯外径（mm）
1	PES7-91	235	PES.E7-91	210
2	PES7-109	243	PES.E7-109	225
3	PES7-139	260	PES.E 7-139	250
4	PES7-151	281	PES.E 7-151	265
5	PES7-187	301	PES.E 7-187	285
6	PES7-211	325	PES.E 7-211	305

本桥拉索已安装外置阻尼器，本次换索后恢复，恢复前应检查是否有老化或功能受损情况，根据检查结果确定是否更换新索配套的外置阻尼器。

5.3 拉索增加防火措施

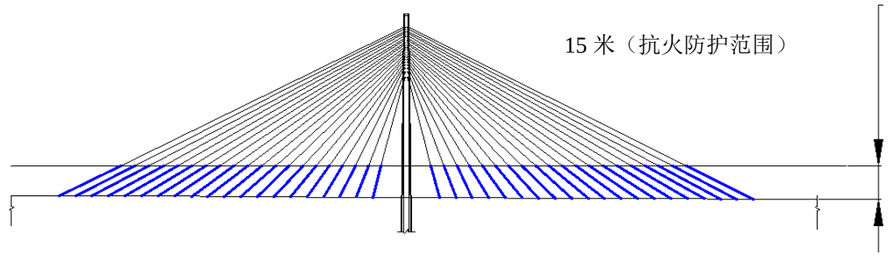
5.3.1 设防标准

（1）火灾热释放功率标准为 200MW;

（2）斜拉索设防时间为 60min;

（3）斜拉索钢丝设防温度为 300℃;

（4）设防范围为桥面以上垂直高度 15m 的拉索结构。



斜拉索抗火防护范围

5.3.2 索体锚固端防火方案

桥面以上 0～防水罩高度，含导索管、防水罩，增设耐火涂料层。采用 6mm 厚的环氧防火涂料进行防护。面漆颜色与拉索一致或指定。具体组成如下：

防水罩及以下高度拉索防火涂料

位置	涂装用料	道数	干膜厚度（μm）
桥面 0~防水罩高度	锚固区原防护层	/	/
	表面清洁拉毛，去除面漆层	/	/
	环氧防火涂料	1	3000
	增强高温纤维网	1	/
	环氧防火涂料	1	3000
	氟碳面漆	2	2×40

5.3.3 索体防火方案

防水罩高度~15m 高度，采用高硅氧气凝胶毡防火套防护。

具体组成为：2 层 5mm 高硅氧铝硅气凝胶毡+0.7mm 不锈钢罩+PVF 缠包带的方案进行防护。

高硅氧气凝胶毡采用螺旋缠绕式施工，环向、纵向均采取对接方式，材料经加工覆布背胶（在高硅氧气凝胶毡所有外表面均通过特殊的缝纫工艺复合耐高温无碱玻璃纤维布，在无碱玻璃纤维布外增加高粘防水背胶（丁基胶带）），可以紧实的贴合在斜拉索表面。

高硅氧气凝胶毡防火套方案

位置	防护材料	道数	厚度
防水罩~15m 高度	高硅氧铝硅气凝胶毡	2	2*5mm
	不锈钢护套	1	0.7mm
	PVF 缠包带	1	/

防火套施工完毕后，其外侧还应外包一层原拉索成品含有螺旋线的 HDPE 护套。

5.4 一般病害维修方案

5.4.1 裂缝维修

对于一般混凝土构件裂缝，根据缝宽大小采取以下措施进行处理：

（1）裂缝宽度<0.15mm，采用环氧树脂胶泥进行封闭；

（2）裂缝宽度≥0.15mm，采用低压注射环氧树脂胶进行修补。

5.4.2 混凝土表面缺陷

对于桥塔、主梁锈胀、表面砼蜂窝麻面及剥落情况，首先将松散不密实的混凝土凿除，直至露出新鲜的混凝土为止，然后用高压水清除混凝土表面，进行钢筋除锈、阻锈处理，最后用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补。

对混凝土蜂窝麻面、风化、泛白、泛碱等病害，首先凿除松散的混凝土，然后用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补。

5.4.3 钢筋除锈

对外露钢筋表面的氧化层应利用钢刷予以清除，直至露出新鲜坚实部分。

对由钢筋锈蚀探查确定的钢筋锈蚀区域应对该部位混凝土表面破损、腐化、松散等缺陷区域进行凿除、清理，确保表面无油污、油脂、蜡状物等影响渗透的污物。在其外表面涂刷渗透型钢筋阻锈剂，形成保护膜，阻止钢筋的锈蚀，涂刷后再进行破损修补。

5.5 伸缩缝处理

更换破损的橡胶带。

5.6 桥面铺装处理

经调查该路段大型货车占比较高，桥面已出现破损车辙等病害。

主桥原结构铺装设计为 10cm 沥青混凝土，实测 8~11.6cm，本次提升设计基本维持铺装层厚度不变，先对桥面铺装沥青层进行铣刨，更换为 4cmSMA-13 改性沥青混凝土+6cmGAC-20C 改性沥青混凝土。

由于实测桥面沥青层厚度不均匀，应先在下面层沥青混凝土施工时找平标高，再施工上面层沥青混凝土。

引桥铣刨 2cm 后，重铺 2cm 高粘高弹改性沥青 SMA-8 超薄罩面。

5.7 护栏提升

见说明交安提升部分。

5.8 提升后结构验算

本次更换拉索同时也进行铺装改造和护栏等级提升，铺装总厚度基本维持原设计不变。而外侧护栏由混凝土护栏变更为钢护栏，恒载有所减少，最终二期恒载与桥梁现状基本持平，略有下降。

拉索更换提升后钢丝的抗拉强度标准值由 1670MPa 提升至 1860MPa，对索力重新验算。

提升后索力验算结果

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d（kN）	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	拉索强度设计值（MPa）	安全系数	结论
1	A31	PES(C)7-211	6523	884	1005	1.14	满足
2	A30	PES(C)7-211	6277	850	1005	1.18	满足
3	A29	PES(C)7-211	6042	818	1005	1.23	满足
4	A28	PES(C)7-187	5724	875	1005	1.15	满足
5	A27	PES(C)7-187	5577	852	1005	1.18	满足
6	A26	PES(C)7-187	5309	811	1005	1.24	满足
7	A25	PES(C)7-187	5113	781	1005	1.29	满足
8	A24	PES(C)7-187	5962	911	1005	1.10	满足
9	A23	PES(C)7-151	4535	858	1005	1.17	满足
10	A22	PES(C)7-151	4241	803	1005	1.25	满足
11	A21	PES(C)7-151	3958	749	1005	1.34	满足
12	A20	PES(C)7-151	4242	803	1005	1.25	满足
13	A19	PES(C)7-151	4271	808	1005	1.24	满足
14	A18	PES(C)7-139	4304	885	1005	1.14	满足
15	A17	PES(C)7-139	4035	830	1005	1.21	满足
16	A16	PES(C)7-139	3715	764	1005	1.32	满足
17	A15	PES(C)7-139	4075	838	1005	1.20	满足
18	A14	PES(C)7-139	4247	873	1005	1.15	满足
19	A13	PES(C)7-139	3930	808	1005	1.24	满足
20	A12	PES(C)7-139	3579	736	1005	1.37	满足
21	A11	PES(C)7-139	3787	779	1005	1.29	满足

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d (kN)	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	拉索强度设计值 (MPa)	安全系数	结论
22	A10	PES(C)7-139	3383	696	1005	1.44	满足
23	A9	PES(C)7-109	3405	893	1005	1.13	满足
24	A8	PES(C)7-109	3073	806	1005	1.25	满足
25	A7	PES(C)7-109	3035	796	1005	1.26	满足
26	A6	PES(C)7-109	2933	769	1005	1.31	满足
27	A5	PES(C)7-109	3002	787	1005	1.28	满足
28	A4	PES(C)7-91	2896	910	1005	1.10	满足
29	A3	PES(C)7-91	2778	873	1005	1.15	满足
30	A2	PES(C)7-91	2672	839	1005	1.20	满足
31	A1	PES(C)7-91	2743	861	1005	1.17	满足
32	J1	PES(C)7-91	2622	824	1005	1.22	满足
33	J2	PES(C)7-91	2591	814	1005	1.23	满足
34	J3	PES(C)7-91	2654	834	1005	1.21	满足
35	J4	PES(C)7-91	2575	809	1005	1.24	满足
36	J5	PES(C)7-109	2879	755	1005	1.33	满足
37	J6	PES(C)7-109	2821	740	1005	1.36	满足
38	J7	PES(C)7-109	2914	764	1005	1.32	满足
39	J8	PES(C)7-109	3122	819	1005	1.23	满足
40	J9	PES(C)7-109	3314	869	1005	1.16	满足
41	J10	PES(C)7-139	3729	767	1005	1.31	满足
42	J11	PES(C)7-139	3719	765	1005	1.31	满足
43	J12	PES(C)7-139	4061	835	1005	1.20	满足
44	J13	PES(C)7-139	4054	834	1005	1.21	满足
45	J14	PES(C)7-139	4245	873	1005	1.15	满足
46	J15	PES(C)7-139	4107	845	1005	1.19	满足
47	J16	PES(C)7-139	4409	907	1005	1.11	满足
48	J17	PES(C)7-139	4023	827	1005	1.21	满足
49	J18	PES(C)7-139	4341	893	1005	1.13	满足
50	J19	PES(C)7-151	4506	853	1005	1.18	满足
51	J20	PES(C)7-151	4448	842	1005	1.19	满足
52	J21	PES(C)7-151	4730	895	1005	1.12	满足
53	J22	PES(C)7-151	5035	953	1005	1.05	满足
54	J23	PES(C)7-151	4832	915	1005	1.10	满足
55	J24	PES(C)7-151	5103	966	1005	1.04	满足
56	J25	PES(C)7-151	4377	829	1005	1.21	满足
57	J26	PES(C)7-187	5091	778	1005	1.29	满足
58	J27	PES(C)7-187	5401	826	1005	1.22	满足
59	J28	PES(C)7-187	5034	769	1005	1.31	满足
60	J29	PES(C)7-187	5338	816	1005	1.23	满足
61	J30	PES(C)7-187	5652	864	1005	1.16	满足
62	J31	PES(C)7-187	5983	914	1005	1.10	满足

结论：拉索满足要求且安全系数有明显提升。

5.9 换索过程验算

5.9.1 索力验算

审查意见建议采用半封闭交通方案，因此以半封闭交通工况进行模拟，为加快施工，本次拉索更换计算考虑同时拆除更换单塔对称两根斜拉索，大桥可满足受力要求。施工时可根据需要进一步优化施工工序。

具体为封闭单侧单向交通，更换另一侧拉索，采用单塔单侧对称更换，即同时卸载单塔对应相同编号的两根拉索。

目前列出拆除更换斜拉索时索力变化最大的位置以及典型位置的工况（列出更换最长索 A31#、J31#索，中跨 1/4L 附近 J16#索及边跨 1/2L 附近 A16#索，最短索 A1#索、J1#索）的换索过程索力验算结果，其他详细结果可参见详细计算书。

拆除小桩号塔上游侧 A31#、J31#最长索时，相邻索索力验算

编号同侧	换索前恒载索力 (kN)	拆 31#索					
		拆索时索力 (kN)	拆索时应力 (MPa)	变化率	应力限值 (Mpa)	安全系数	是否满足
A1	1976	2662	836	0.2%	1035	1.24	是
A2	2014	2673	840	-0.6%	1035	1.23	是
A3	1983	2602	817	0.1%	1035	1.27	是
A4	1984	2570	807	0.0%	1035	1.28	是
A5	2055	2653	696	-0.1%	1035	1.49	是
A6	2111	2688	705	-0.1%	1035	1.47	是
A7	2130	2685	704	-0.2%	1035	1.47	是
A8	2210	2764	725	-0.2%	1035	1.43	是
A9	2358	2927	768	-0.1%	1035	1.35	是
A10	2416	3012	619	-0.1%	1035	1.67	是
A11	2511	3119	641	0.0%	1035	1.61	是
A12	2539	3158	649	0.1%	1035	1.60	是
A13	2623	3270	672	0.3%	1035	1.54	是

编号 同侧	换索前恒载索力（kN）	拆 31#索					
		拆索时索力（kN）	拆索时应力（MPa）	变化率	应力限值（Mpa）	安全系数	是否满足
A14	2684	3359	691	0.5%	1035	1.51	是
A15	2710	3408	701	0.8%	1035	1.49	是
A16	2730	3451	710	1.1%	1035	1.47	是
A17	2775	3528	725	1.4%	1035	1.45	是
A18	2786	3574	735	1.8%	1035	1.43	是
A19	2766	3608	683	2.5%	1035	1.55	是
A20	2756	3651	691	3.0%	1035	1.54	是
A21	2813	3772	714	3.5%	1035	1.50	是
A22	3022	4074	771	3.8%	1035	1.39	是
A23	3208	4334	820	4.0%	1035	1.31	是
A24	3825	5204	795	4.5%	1035	1.36	是
A25	3508	4687	887	4.1%	1035	1.21	是
A26	3823	5147	787	4.8%	1035	1.38	是
A27	3961	5294	809	4.9%	1035	1.34	是
A28	4034	5371	821	5.0%	1035	1.32	是
A29	4266	5705	773	5.4%	1035	1.41	是
A30	4480	5988	811	5.3%	1035	1.34	是
A31	4706	—	—	—	—	—	—
J1	1961	2698	847	0.1%	1035	1.22	是
J2	1989	2692	846	0.0%	1035	1.22	是
J3	1951	2597	816	-0.2%	1035	1.27	是
J4	1952	2557	803	-0.1%	1035	1.29	是
J5	2028	2647	694	-0.1%	1035	1.49	是
J6	2102	2696	707	-0.1%	1035	1.46	是
J7	2142	2712	711	-0.1%	1035	1.45	是
J8	2247	2813	738	-0.1%	1035	1.40	是
J9	2417	3001	787	-0.1%	1035	1.31	是
J10	2521	3138	645	-0.2%	1035	1.60	是
J11	2637	3273	673	-0.1%	1035	1.54	是
J12	2683	3332	685	-0.1%	1035	1.51	是
J13	2785	3459	711	0.0%	1035	1.46	是
J14	2869	3564	733	0.1%	1035	1.41	是
J15	2919	3631	747	0.2%	1035	1.39	是
J16	2962	3690	759	0.4%	1035	1.37	是
J17	3036	3785	778	0.6%	1035	1.34	是
J18	3076	3839	789	0.8%	1035	1.32	是
J19	3116	3907	740	1.2%	1035	1.42	是
J20	3140	3944	747	1.6%	1035	1.41	是
J21	3219	4048	766	2.0%	1035	1.38	是
J22	3305	4168	789	2.6%	1035	1.35	是

编号 同侧	换索前恒载索力（kN）	拆 31#索					
		拆索时索力（kN）	拆索时应力（MPa）	变化率	应力限值（Mpa）	安全系数	是否满足
J23	3367	4266	808	3.1%	1035	1.32	是
J24	3592	4565	698	3.5%	1035	1.53	是
J25	3246	4185	792	4.4%	1035	1.36	是
J26	3372	4450	680	6.2%	1035	1.62	是
J27	3603	4790	732	6.6%	1035	1.51	是
J28	3710	4491	686	-3.6%	1035	1.45	是
J29	3856	5240	801	7.4%	1035	1.39	是
J30	4102	5614	858	7.9%	1035	1.30	是
J31	4250	—	—	—	—	—	—

注：（1）索力变化率正值为增大，负值为减小；

（2）拆除时极限索力按基本组合计算，考虑了铺装拆除。

拆除小桩号塔上游侧中跨 1/4L J16#索及边跨 1/2L A16#索时，相邻索索力验算

编号 同侧	换索前恒载索力（kN）	拆 16#索					
		拆索时索力（kN）	拆索时应力（MPa）	变化率	应力限值（Mpa）	安全系数	是否满足
A1	1976	2659	835	0.1%	1035	1.24	是
A2	2014	2671	839	-0.6%	1035	1.23	是
A3	1983	2604	818	0.2%	1035	1.27	是
A4	1984	2578	810	0.3%	1035	1.28	是
A5	2055	2673	701	0.6%	1035	1.49	是
A6	2111	2720	713	1.1%	1035	1.47	是
A7	2130	2732	716	1.6%	1035	1.47	是
A8	2210	2828	742	2.1%	1035	1.43	是
A9	2358	3011	790	2.7%	1035	1.35	是
A10	2416	3149	648	4.4%	1035	1.67	是
A11	2511	3290	677	5.4%	1035	1.61	是
A12	2539	3366	692	6.7%	1035	1.60	是
A13	2623	3516	723	7.8%	1035	1.54	是
A14	2684	3643	749	9.0%	1035	1.51	是
A15	2710	3732	767	10.3%	1035	1.49	是
A16	2730	—	—	—	—	—	—
A17	2775	3795	780	9.1%	1035	1.45	是
A18	2786	3757	773	7.0%	1035	1.43	是
A19	2766	3725	705	5.8%	1035	1.55	是
A20	2756	3696	700	4.3%	1035	1.54	是
A21	2813	3755	711	3.0%	1035	1.50	是
A22	3022	4001	757	1.9%	1035	1.39	是
A23	3208	4220	799	1.3%	1035	1.31	是

编号 同侧	换索前恒载索力（kN）	拆 16#索					
		拆索时索力（kN）	拆索时应力（MPa）	变化率	应力限值（Mpa）	安全系数	是否满足
A24	3825	5031	769	1.0%	1035	1.36	是
A25	3508	4538	859	0.8%	1035	1.21	是
A26	3823	4951	757	0.8%	1035	1.38	是
A27	3961	5079	776	0.7%	1035	1.34	是
A28	4034	5151	787	0.7%	1035	1.32	是
A29	4266	5453	739	0.7%	1035	1.41	是
A30	4480	5726	776	0.7%	1035	1.34	是
A31	4706	6011	814	0.7%	1035	1.28	是
J1	1961	2693	846	-0.1%	1035	1.22	是
J2	1989	2690	845	-0.1%	1035	1.22	是
J3	1951	2600	817	0.0%	1035	1.27	是
J4	1952	2564	805	0.2%	1035	1.29	是
J5	2028	2663	698	0.5%	1035	1.49	是
J6	2102	2725	715	1.0%	1035	1.46	是
J7	2142	2758	723	1.6%	1035	1.45	是
J8	2247	2881	755	2.3%	1035	1.40	是
J9	2417	3093	811	3.0%	1035	1.31	是
J10	2521	3291	677	4.7%	1035	1.60	是
J11	2637	3468	713	5.8%	1035	1.54	是
J12	2683	3572	735	7.1%	1035	1.51	是
J13	2785	3748	771	8.4%	1035	1.46	是
J14	2869	3904	803	9.6%	1035	1.41	是
J15	2919	4022	827	11.0%	1035	1.39	是
J16	2962	—	—	—	—	—	—
J17	3036	4132	850	9.8%	1035	1.34	是
J18	3076	4103	844	7.8%	1035	1.32	是
J19	3116	4116	779	6.7%	1035	1.42	是
J20	3140	4085	773	5.3%	1035	1.41	是
J21	3219	4128	781	4.0%	1035	1.38	是
J22	3305	4188	801	3.1%	1035	1.35	是
J23	3367	4232	849	2.3%	1035	1.32	是
J24	3592	4483	620	1.6%	1035	1.53	是
J25	3246	4057	802	1.2%	1035	1.36	是
J26	3372	4235	691	1.0%	1035	1.62	是
J27	3603	4521	714	0.6%	1035	1.51	是
J28	3710	4671	745	0.3%	1035	1.45	是
J29	3856	4873	795	-0.1%	1035	1.39	是
J30	4102	5200	830	-0.1%	1035	1.30	是
J31	4250	5431	830	-0.2%	1035	1.24	是

注：（1）索力变化率正值为增大，负值为减小；

（2）拆除时极限索力按基本组合计算，考虑了铺装拆除。

拆除小桩号塔上游侧 A1#索、J1#索最短索时，相邻索索力验算

编号 同侧	换索前组合索力（kN）	拆 1#索					
		拆索时索力（kN）	拆索时应力（MPa）	变化率	应力限值（Mpa）	安全系数	是否满足
A1	2657	—	—	—	—	—	—
A2	2688	2837	891	5.5%	1035	1.16	是
A3	2599	2720	854	4.7%	1035	1.21	是
A4	2570	2650	832	3.1%	1035	1.24	是
A5	2656	2719	713	2.4%	1035	1.45	是
A6	2691	2734	717	1.6%	1035	1.44	是
A7	2690	2719	713	1.1%	1035	1.45	是
A8	2769	2788	731	0.7%	1035	1.42	是
A9	2931	2944	772	0.4%	1035	1.34	是
A10	3016	3026	622	0.3%	1035	1.66	是
A11	3120	3126	643	0.2%	1035	1.61	是
A12	3155	3158	649	0.1%	1035	1.59	是
A13	3261	3263	671	0.1%	1035	1.54	是
A14	3342	3343	687	0.0%	1035	1.51	是
A15	3382	3383	696	0.0%	1035	1.49	是
A16	3415	3414	702	0.0%	1035	1.47	是
A17	3480	3479	715	0.0%	1035	1.45	是
A18	3512	3511	722	0.0%	1035	1.43	是
A19	3520	3520	666	0.0%	1035	1.55	是
A20	3545	3543	671	-0.1%	1035	1.54	是
A21	3646	3645	690	0.0%	1035	1.50	是
A22	3926	3925	743	0.0%	1035	1.39	是
A23	4167	4166	789	0.0%	1035	1.31	是
A24	4982	4982	761	0.0%	1035	1.36	是
A25	4503	4504	853	0.0%	1035	1.21	是
A26	4913	4914	751	0.0%	1035	1.38	是
A27	5045	5045	771	0.0%	1035	1.34	是
A28	5117	5117	782	0.0%	1035	1.32	是
A29	5413	5414	733	0.0%	1035	1.41	是
A30	5688	5686	770	0.0%	1035	1.34	是
A31	5970	5969	809	0.0%	1035	1.28	是
J1	2696	—	—	—	—	—	—
J2	2693	2866	900	6.4%	1035	1.15	是
J3	2601	2727	857	4.8%	1035	1.21	是
J4	2560	2641	830	3.2%	1035	1.25	是
J5	2649	2714	712	2.5%	1035	1.45	是
J6	2698	2742	719	1.6%	1035	1.44	是
J7	2715	2744	720	1.1%	1035	1.44	是

J8	2816	2836	744	0.7%	1035	1.39	是
J9	3004	3017	791	0.4%	1035	1.31	是
J10	3143	3153	648	0.3%	1035	1.60	是
J11	3277	3282	675	0.2%	1035	1.53	是
J12	3334	3337	686	0.1%	1035	1.51	是
J13	3459	3461	712	0.1%	1035	1.45	是
J14	3561	3562	732	0.0%	1035	1.41	是
J15	3623	3623	745	0.0%	1035	1.39	是
J16	3675	3675	756	0.0%	1035	1.37	是
J17	3763	3762	774	0.0%	1035	1.34	是
J18	3807	3806	783	0.0%	1035	1.32	是
J19	3859	3858	730	0.0%	1035	1.42	是
J20	3881	3881	735	0.0%	1035	1.41	是
J21	3968	3968	751	0.0%	1035	1.38	是
J22	4064	4064	769	0.0%	1035	1.35	是
J23	4138	4138	783	0.0%	1035	1.32	是
J24	4412	4412	674	0.0%	1035	1.53	是
J25	4007	4006	758	0.0%	1035	1.36	是
J26	4191	4191	641	0.0%	1035	1.62	是
J27	4493	4494	687	0.0%	1035	1.51	是
J28	4657	4657	712	0.0%	1035	1.45	是
J29	4880	4869	744	-0.2%	1035	1.39	是
J30	5205	5206	796	0.0%	1035	1.30	是
J31	5443	5444	832	0.0%	1035	1.24	是

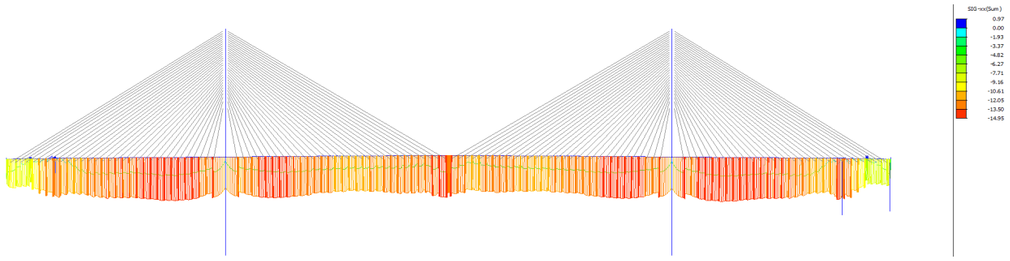
注：（1）索力变化率正值为增大，负值为减小；

（2）拆除时极限索力按基本组合计算，考虑了铺装拆除。

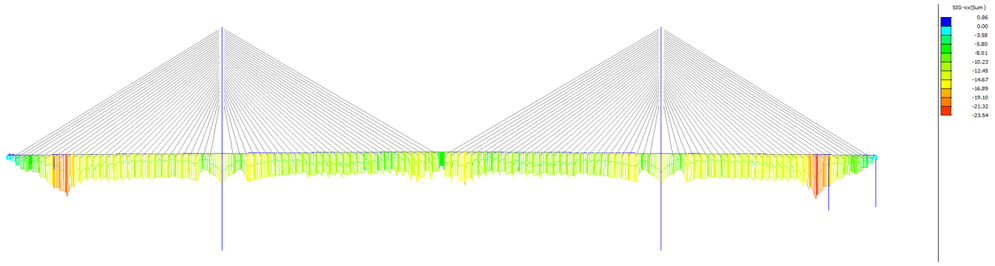
计算结果可以看出，换索时相邻索的索力变化最大不超过 15%，拆除拉索时，拉索最大应力小于规范要求的 1.25f_d，可满足设计强度要求。

5.9.2 主梁验算

由于通车条件限制，换索采用单幅封闭施工，为加快施工，本次拉索更换考虑同时拆除更换单塔对称两根斜拉索，施工时过程可进一步优化施工工序。目前列出拆除更换斜拉索时典型工况（列出更换最长索 A31#、J31#索，中跨 1/4L J16#索及边跨 1/2L A16#索，最短索 A1#索、J1#索）的换索过程主梁应力验算结果，其他详细计算结果见详细计算书。



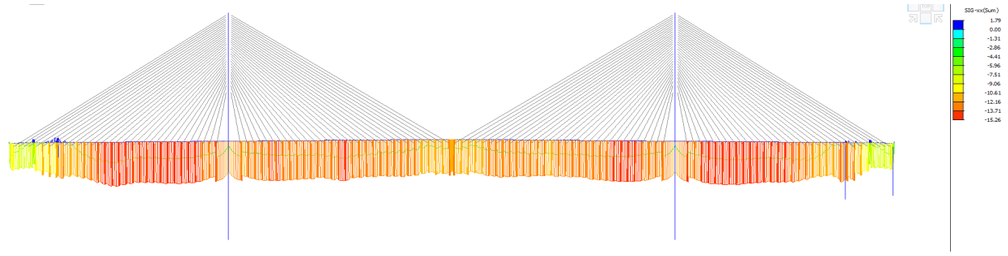
（a）主梁上缘正截面应力



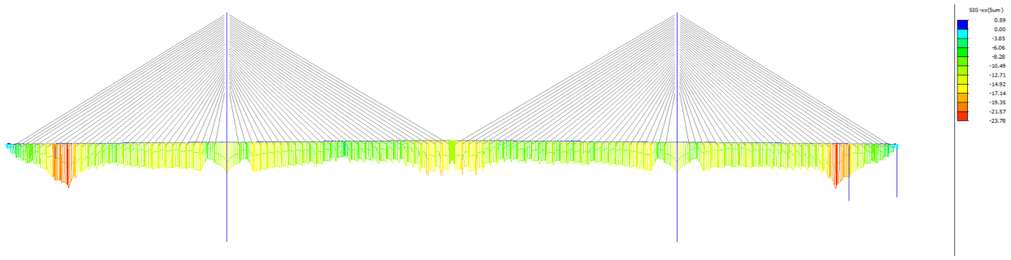
（b）主梁下缘应力

拆除小桩号塔上游侧 A31#、J31#最长索主梁正截面应力图（MPa）

按短暂状况计算，主梁边缘混凝土最大法向压应力 σ tcc=23.54MPa＜0.7×38.5=26.95MPa，满足规范要求；按短暂状况计算，主梁边缘混凝土基本处于受压状态，满足规范要求。



（a）主梁上缘应力

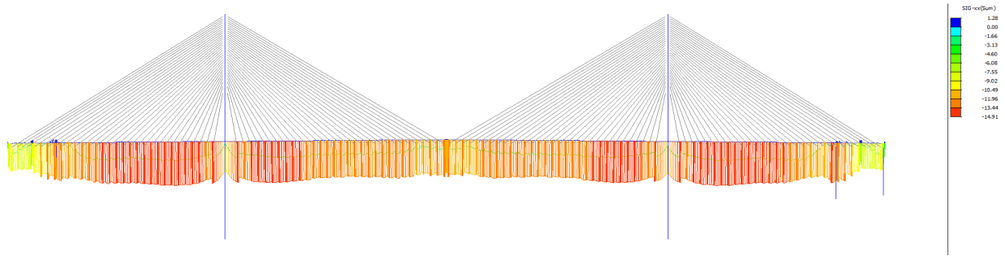


（b）主梁下缘应力

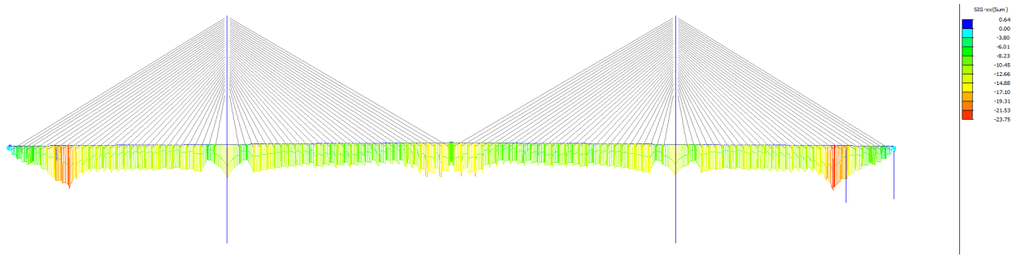
拆除小桩号塔上游侧中跨 1/4L J16#索及边跨 1/2L A16#索主梁正截面应力图（MPa）

按短暂状况计算，主梁边缘混凝土最大法向压应力 σ tcc=23.78MPa＜0.7×38.5=26.95MPa，满足规范要求；按短暂状况计算，主梁边缘混凝土基本处于受压状态，满足

规范要求。



（a）主梁上缘正截面应力

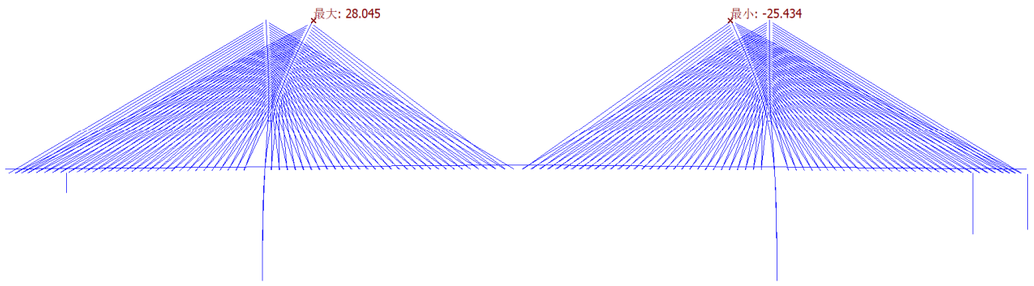


（b）主梁下缘应力

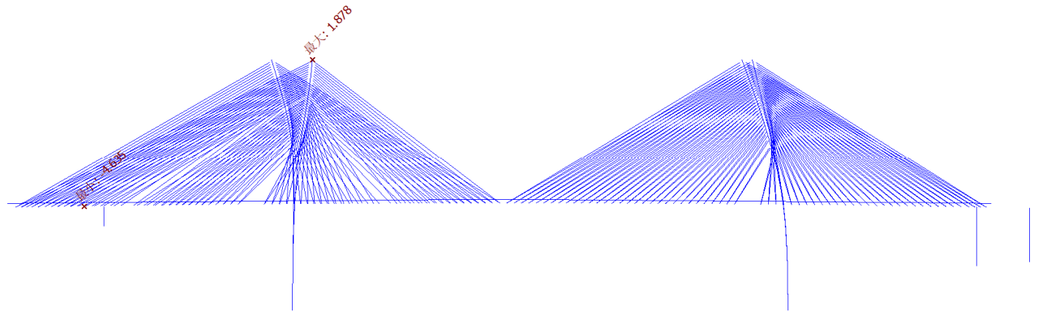
拆除小桩号塔上游侧 A1#、J1#最短索主梁正截面应力图（MPa）

按短暂状况计算，主梁边缘混凝土最大法向压应力 σ tcc=23.75MPa＜0.7×38.5=26.95MPa，满足规范要求；按短暂状况计算，主梁边缘混凝土基本处于受压状态，满足规范要求。

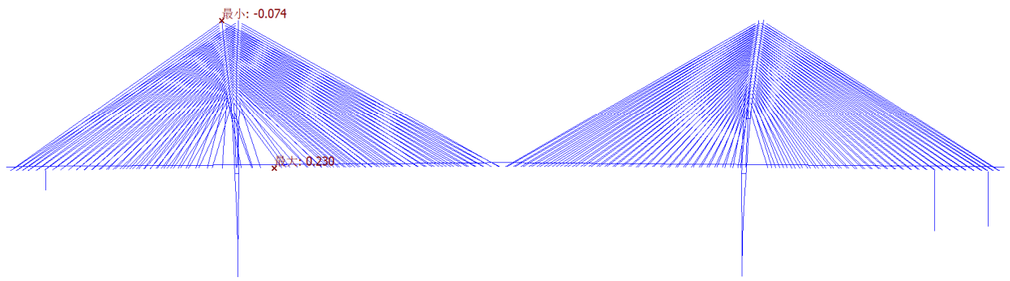
5.9.3 桥塔验算



拆除小桩号塔上游侧 A31#、J31#最长索桥塔水平位移变化量（mm）



拆除小桩号塔上游侧中跨 1/4L J16#索及边跨 1/2L A16#索桥塔水平位移变化量（mm）



拆除小桩号塔上游侧 A1#、J1#最短索桥塔水平位移变化量（mm）

拆除 A31#、J31#最长索桥塔水平位移变化量 28.045mm，拆除中跨 1/4L J16#索及边跨 1/2L A16#索桥塔水平位移变化量 1.878mm，拆除 A1#、J1#最短索桥塔水平位移变化量仅 0.074mm，变化均较小。

5.10 安全韧性提升分数

根据《公路韧性提升评价指南》第 3.3.3 条规定，桥涵单项工程修复后的安全韧性评分估值为 92.8，提升率 25%。

6 主要材料及技术要求

6.1 拉索

拉索钢丝采用镀锌铝钢丝，钢丝强度等级 1860MPa，满足《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101—2019）的相关要求。拉索索体采用双层 PE 护套，拉索性能满足《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》（JT/T 775—2016）和《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉

索》（GB/T 18365—2018）标准要求。钢丝环氧涂层的材料、涂覆、技术要求、实验方法等应执行《缆索用环氧涂层钢丝》（GB/T 25835—2010）。

锚具为冷铸锚具，锚杯材料采用 42CrMo，螺母材料采用 40Cr，锚具表面采用粉末渗锌+封闭漆防腐工艺，总厚度 80~120μm；防腐材料要求采用防腐油脂。内置减振器及不锈钢防水罩采用厂家定型产品。

整个拉索体系应包括环氧涂层钢丝、锚具组件、HDPE 索套管、不锈钢套管、拉索附属件（保护、索箍、防水罩、索套管伸缩缝补偿装置等）、内置式减震器、防腐材料。HDPE 护套采用带双螺旋的圆管式套管。

6.2 高硅氧铝硅气凝胶毡

本产品以玻璃纤维细纱为主要原材料，先通过针刺工艺制得高硅氧玻璃纤维毡，然后注入铝硅气凝胶，通过 ET 超临界干燥工艺，最终制成高硅氧铝硅气凝胶毡。其性能应满足《纳米孔气凝胶复合绝热制品》（GB/T34336—2017）的要求。

本产品在传统的高硅氧气凝胶毡的制作工艺中，加入改性成分，使得气凝胶组分在 1100℃的工况期间微孔结构不塌陷，仍旧能够维持优异的隔热效率。而常规的高硅氧气凝胶毡，在超过 800℃的时候氧化硅基的气凝胶微孔会塌陷，从而失去气凝胶应有的隔热性能，仅剩下高硅氧针刺毡原始的隔热性能了，这也是为什么常规的气凝胶毡在超过 800℃的时候导热系数会大幅度增加的原因，本产品可以有限改善这个问题，可以实现更长时间的隔热效果。

气凝胶技术指标

序号	检测项目	技术要求	技术要求	检测标准
1	导热系数（W/（m·K））800℃		≤0.051	YB/T 4130
	导热系数（W/（m·K））1000℃		≤0.106	
2	加热永久线变化（600℃×24h）/%		≥-5.0	GB/T 17911
3	体积密度（kg/m3）		200±40	GB/T 34336
4	抗拉强度（kPa）		≥200	GB/T 17911
5	憎水率（%）		≥98	GB/T 10299
6	不燃性	质量损失率（%）	≤50	GB/T 5464
		持续燃烧时间（s）	=0	
		炉内温升（℃）	≤30	
	总热值（MJ/kg）		≤2.0	GB/T 14402

气凝胶尺寸及允许偏差

序号	项目	规格	允许偏差
1	长度（mm）	20m	±0.5
2	宽度（mm）	100	+10，-3.0
3	厚度δ（mm）	5mm	+2.0，不允许负偏差

6.3 高硅氧布

采用两元或者三元法高硅氧连续纤维织布，摒弃无碱玻璃纤维布（最高耐温度 650℃）或者玄武岩纤维布（最高耐温度 800℃）以及用无碱玻璃纤维布酸洗出来的假高硅氧布（最高耐温度 900℃），在酸碱环境、抗紫外线等耐候性特征方面具有绝佳的优势。

高硅氧布技术指标

检测项目	标准值	参照标准
厚度	0.3mm	GB/T7689
耐温度	1100℃	企标
氧化硅含量	≥96%	光谱仪
工艺方法	二元或三元法	企标
抗拉强度	纬向≥350N/25mm	GB/T7689
	径向≥500N/25mm	GB/T7689

6.4 陶瓷化涂层

在高硅氧布表面做的特殊涂层，常温下为硅胶质状态，与布致密结合，可以起到防水，防潮，耐酸碱，抗老化的作用，施工作业期间更能起到密封气凝胶的作用，避免气凝胶粉体对人体和环境造成危害。高温环境下该涂层会陶瓷化，作为保护布和气凝胶毡的第一道防线，增加整体防火材料系统的防火时间。

陶瓷化涂层技术指标

检测项目	标准值	参照标准
厚度	0.03mm	GB/T7689
剥离强度	≥3Mpa	企标
外观质量	表面色泽均匀，无气孔、基本平整	企标
抗开裂性(耐久性)	T-Bar 冷热循环≥40 个循环后不开裂不脱落	企标
耐热性	≥45 分钟（在烃类温升条件下）	企标
	高温（800）环境下陶瓷化	企标

6.5 缝纫工艺

将高硅氧布基耐高温保护材料将防火隔热主材高硅氧气凝胶毡用特殊工艺缝制起来，形成系统性的完整产品，缝纫用线采取耐高温耐候性强的复合材料缝纫线。

缝纫线技术要求

材质	规格	耐高温性能
高硅氧缝纫线	线径 0.2	1000℃

6.6 PVF 缠包带

护套表面清洁后，现场以不小于 50%的搭接率螺旋缠包一层氟碳缠包带（PVF），氟碳缠包带（PVF）结构如下：氟碳聚合物（PVF）复合膜/粘结剂/离型膜，根据景观要求选择合适的颜色氟碳聚合物（PVF）复合膜，缠包带各项基本性能指标应满足以下要求：

氟碳缠包带（PVF）基本性能指标

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
1	外观		厚度均匀，无色差，分切无锯齿	目测
2	缠包带厚度（不含离型膜）	μm	120±5	GB/T 7125
3	抗拉强度（纵向）	N/mm	≥7	GB/T 30776
4	断裂伸长率（纵向）	%	≥90	GB/T 30776
5	抗撕裂强度（纵向）	kN/m	≥5	GB/T 16578.1
6	粘结力	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
		N/10mm	≥5.5	

为保证 PVF 胶带使用于缆索的长期耐久性，应按照下表测试方法，提供 PVF 缠包带做加速老化试验（测试技术条件为：85±2℃，85±2%RH）测试报告，加速老化试验时间不少于 1200 小时，加速老化试验后胶带性能必须达到下表要求：

氟碳缠包带（PVF）耐老化性能指标

序号	性能项目		单位	性能指标	检测标准
1	湿热老化后性能（85℃，RH85%，1080h）	抗拉强度（纵向）	N/mm	≥5	GB/T 30776
		断裂伸长率（纵向）	%	≥72	GB/T 30776
		粘结力 与 HDPE	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
		粘结力 对 PVF	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
2	紫外荧光老化后（0.76W/m2@340nm，1080h，GB/T 16422.3-2022）	色差ΔE	—	≤1	CIE 色差仪

6.7 丁基胶带

为了让防火隔热材料更好的跟缆索紧密贴合，在本成品防火隔热产品的背面施加一层丁基胶带。丁基胶带采用丁基橡胶与聚异丁烯等原料共混而成，具有耐高温、防水、粘结性强等多种特性，其性能应满足《丁基橡胶防水密封胶粘带》（JC/T 942—2022）的要求。

丁基胶带技术指标

序号	检测项目		技术要求	性能指标
			高分子防水卷材	金属板
1	初始粘结力（23℃）/N		≥60 且无粘结破坏	
2	耐热性（100℃，2h）		无滑移、流淌、变形	
3	剪切状态下的粘合性（N/mm）		≥3.0	≥8.0
4	剥离强度（N/mm）	标准条件	≥0.6	
		热处理（80℃，168h）	≥0.5	
		碱处理（饱和氢氧化钙溶液，168h）	≥0.5	
		浸水处理（168h）	≥0.5	

6.8 环氧防火涂料

环氧防火涂料应满足《钢结构防火涂料》（GB14907—2018）的要求。技术指标下表所示，表中指标 5、6 为型式试验内容，需根据项目要求明确检测频次。防火涂料进场前需提供：

（1）耐老化性能测试报告要求按 ASTMD4587 标准或同等标准进行的无面漆情况下至少 10000 小时以上且该耐老化测试后的防火性能衰减 15%以内的第三方测试报告或证书；

（2）耐水性要求防火涂层无面漆情况下不含底材质量的涂层自身吸水率 0.2%以内的第三方测试报告或证书。

环氧防火涂料技术指标

序号	检测项目	技术要求
1	干膜厚度(含纤维网)	≥6mm
2	粘接强度	≥3MPa
3	干燥性能(20±5℃)	≥24 小时(移动时间); ≥5 天(完全固化时间)
4	外观质量	表面色泽均匀，无气孔、基本平整
5	抗开裂性(耐久性)	T-Bar 冷热循环≥40 个循环后不开裂不脱落
6	抗火性能	≥45 分钟（在烃类温升条件下）
7	涂装性能	底层油漆和防火涂料兼容性匹配; 面漆需采用满足结构耐久性要求的材料。建议采用氟碳面漆，厚度不小于 60um

6.9 氟碳面漆

氟碳面漆性能指标应满足《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》（JT/T 694—2007）和《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722—2023），并从严要求。

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
1	颜色和外观		符合商定标准样板或色卡及其色差范围，漆膜平整	目测
2	固体含量（%）		≥60	GB/T 1725
3	细度（μm）		≤30	GB/T 1724
4	干燥时间	表干（h）	≤1	GB/T 1728
		实干（h）	≤24	
5	柔韧性（mm）		1	GB/T 1731
6	耐冲击性（cm）		50	GB/T 1732
7	拉断伸长率		≥50%	GB/T 528
8	耐水性		72h 漆膜无变化	GB/T 1733
9	耐盐水性		72h 漆膜无变化	GB/T 9274
10	耐磨性(1kg·500r)		≤0.05g	GB/T 1768
11	耐酸性(10%H_2SO_4)		168h 漆膜无异常	GB/T 9274
12	耐碱性(10%NaOH)			
13	氟含量（%）		≥24	HG/T 3792
14	人工加速老化		3000h	GB/T 1865

7 施工工艺及要求

7.1 总体施工顺序

施工准备→交通疏导→半幅封闭→半幅铺装拆除→半幅换索施工→半幅铺装恢复→半幅索力调整→另半幅同样顺序施工→最后全桥索力复测及调整→恢复交通

其它提升工程可在换索施工中同步进行。

7.2 防火施工

7.2.1 气凝胶毡施工

（1）气凝胶毡施工前，斜拉索表面应清理干净，无油渍、水渍或其他影响产品施工质量的杂物附着。

（2）10cm 宽度的气凝胶毡螺旋缠绕，施工应控制气凝胶毡对接缝的宽度，施工方向为由低往高。

（3）气凝胶毡缠绕应牢靠。两层气凝胶毡的环向拼缝、纵向拼缝均错开。

7.2.2 密封层施工

（1）采用厚度为 0.70mm 不锈钢护套固定在防火层外侧。

（2）防火段与非防火段应设过渡段，过渡段先采用丁基胶带按不小于 50%层叠比例进行螺旋缠绕过渡，过渡段缠绕长度为沿着不锈钢顶部端面上下各 50cm 。丁基胶带外表面均匀刮涂密封胶，密封胶表面刷涂氟碳面漆，以达到美观和增强防水的目的。

7.2.3 环氧防火涂料施工

（1）涂装所用的面漆、稀释剂等，应配套供应。

（2）对于双组分涂料，应按当日（班）需要量，严格按照产品说明书上规定的比例调配，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；放置一定的熟化期（按产品说明书要求），以使充分反应才能使用；涂料的使用时间按产品说明书规定的使用期执行。

（3）漆料在开桶前应倒置并用力摇荡，开桶后再搅拌均匀，如有杂质、漆皮等需过滤。

（4）为保证环氧防火涂料与原涂层的结合力，防火涂料施工前使用专用工具（钢丝刷、钢丝轮、千叶片配合角磨机） 去除构件原面漆涂层，保留原环氧涂层即可，必要时刷涂一道环氧底漆或中间漆。

（5）防火涂料施工前，构件表面应清理干净，无油渍、水渍或其他影响产品施工质量的杂物附着。

（6）防火涂料涂刷需均匀，不可存在漏涂、表面不平整情况。

（7）当涂层出现下列情况时应重涂：涂层干燥固化不好，粘结不牢或粉化、空鼓、脱落时；涂层表面有浮浆或裂缝宽度大于 1.0mm 时；涂层厚度小于设计规定厚度的 95%时。

（8）增强高温纤维网采用全铺网工艺。

7.3 防火验收标准

施工单位进场前，应结合系统特点和《公路工程质量检验评定标准(JTG F80—2017)》，形成适用于本项目的验收标准，通过评审后，作为本项目的验收依据。

7.3.1 基本规定

（1）工程采用的材料、半成品、产品、器具和设备应进行进场检验，按各专业工程施工验收规范的规定和设计要求进行复验，并应经监理工程师检查认可。

（2）各施工工序应按施工技术标准进行质量控制，每道施工工序完成后，经施工单位自检合格后，才能进行下一道工序施工，并做好交接检验记录。

（3）工程开工前，施工单位与监理单位共同确定重要工序。重要工序应经监理工程师检查认可，才能进行下一道工序施工。

（4）施工质量验收应在施工单位自检合格的基础上进行。

（5）本工程所采用的高硅氧气凝胶毡进场时应进行见证取样检验。

检验批最小抽样数量

检验批的容量	最小抽样数量	检验批的容量	最小抽样数量
2～15	2	151～280	13
16～25	3	281～500	20
26～90	5	501～1200	32
91～150	8	1201～3200	50

（6）对于设计选用的具有防火性能要求的材料，应查验其产品出厂合格证（或质保书）采购合同和由具有法定资质的检验机构出具的含防火极限或燃烧性能测试项目的型式检验报告。

7.3.2 进场检验

各类材料进场后随机抽样进行小样检验，或按要求送交第三方检测，检测结果应符合设计要求。

7.3.3 高硅氧气凝胶毡

（1）高硅氧气凝胶毡应符合国家现行产品标准的规定和设计要求，并应具备产品合格证、有资质的检测机构出具的检验合格报告和型式认可证书。

检查数量：全数检查。

检查方法：查验产品合格证、检验合格报告和型式认可证书。

（2）在材料进场后，应对其隔热性能进行见证取样检验，实测的等效热传导系数不应大于等效热传导系数的设计取值，其允许偏差为+10%。

检查数量：按施工进货的生产批次确定，每一批次应抽检一次。

检查方法：按现行国家标准《建筑构件防火试验方法 第 1 部分：通用要求》（GB/T 9978.1）

规定的防火性能试验方法测试。试件的防火保护层厚度取毡状防火材料的厚度， 并应按《建筑钢结构防火技术规范》（GB51249）的规定计算等效热传导系数。

（3）气凝胶毡表面应平整，无孔洞、凸出物、缺损、泛出物。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察检查。

（4）气凝胶毡缠绕应牢靠，对接缝应紧密、无明显缝隙， 搭接缝应紧实、无明显空鼓。气凝胶毡拼缝位置应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察检查，核查隐蔽工程验收记录。

（5）气凝胶毡防护高度应符合设计要求，不允许负偏差。

检查数量：全数检查。

检查方法：尺量检查，现场按图核对。

7.3.4 PVF 缠包带

（1）现场施工条件保证

①应采用具有张力、角度控制的自动缠带机，提升自动化程度，减少人工干预；

②确保施工环境清洁，防止灰尘、雨水、油污污染；

③禁止雨中施工，缠带完成后应尽快完成加热，间隔不能超过 24 小时，施工中如有露水也需要用干布擦净表面水分。

（2）施工质量保证

①确保设备完好；

②安排经过培训的熟练的操作工进行操作；

③严格按工艺进行施工，安排专职质检员跟踪检查过程质量；

④每根拉索区域为一个完整的施工单元，每天必须完成施工单元内的所有工序；

⑤当天未缠包完的缠包带应用封箱带包覆保护。

7.3.5 防火涂料

防火涂料验收宜在涂装完成后 14 天内进行，可按构件分批次验收，验收要求如表所示。

检验批最小抽样数量

序号	检验要求	质量指标	检测手段和频率
1	外观	平整，颜色和厚度均匀	目测，每个构件至少一次
2	增强网铺设	边缘和阳角处需铺设，不空鼓、不漏贴	/
3	干燥	指触干硬	目测，每个构件至少一次
4	硬度	Shore D 大于 70	随机抽查，或有异常时
5	干膜厚度	6mm	PA2 85/15 规则
6	结合力	>3MPa 或满足敲凿法测试要求	随即抽查，拉拔力测试或敲凿法测试

7.4 拉索更换

7.4.1 总体要求

（1）在正式施工前及编制施工方案之前，详细了解施工现场实际情况，详细研究设计文件，制定详细、合理的施工方案。

（2）根据项目的特性、规模、性质等因素，合理的组织相关人员确保施工人员的协同配合，提高施工效率。确保施工人员能够高效完成各项任务。为确保斜拉索更换整体目标得以实现，在组织人员方面要选用具有类似施工经验的施工人员进行施工，选用斜拉索更换的熟练工人进行施工操作。操作人员如电工、焊工等，需取得特殊作业人员资格上岗证后方可上岗。

（3）根据项目现场实际情况分析，在确保安全和工期的前提下，优化调整合理的施工方案。如起重吊装的机具，与项目实际情况相符的施工平台。所采用的机械设备必须经年检合格。所采用的材料必须经检验合格。

（4）根据项目施工的重点及难点进行分析，本项目高空作业、起重作业频繁。安全责任为重中之重，本项目主要控制要点为在放索和安装新索时，需要确保其同步性，及时监控桥面标高、索塔变形情况在放索过程中需分级、对称、同步进行，并做好桥面、索塔各观测点监控测量。

大桥斜拉索编号依次从短索至长索编号，编号为“A31、A30...A2、A1、J1、J2...J30、J31”。工程总体采用“从长索至短索依次对称更换方式”的施工方案，为确保桥梁拉索更换整体安全性，斜拉索更换直接利用原有封装钢板和垫板，在桥梁半封闭交通状态下进行。更换斜拉索时，以“以桥面线性为主，索力为辅”的原则进行控制，整个更换斜拉索过程应对主塔和主梁变形进行监控，原则上新更换的拉索索力与旧索索力相等，且更换前后桥面标高不变（以上旧索索力和桥面标高均在半封闭交通状态下实测）。

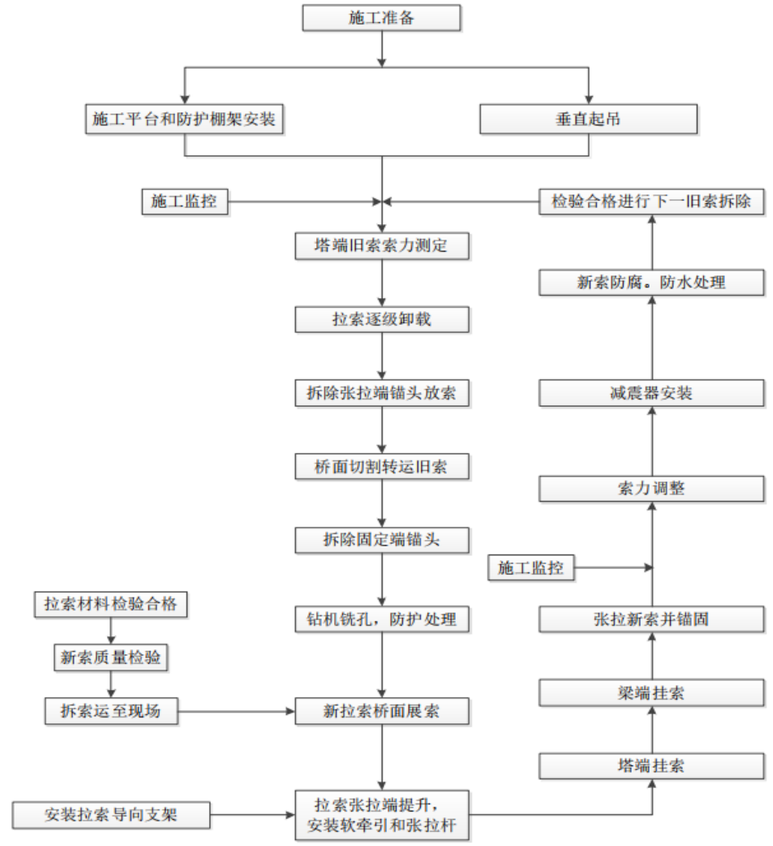
换索顺序原则：先换长索，然后向主塔方向前进，最后换短索。

对称的原则：单塔对称的顺序进行，每塔一次更换同一索号的一对索。

单塔的更换顺序：A31/J31 → A30/J30 → A29/J29 …… → A3/J3 → A2/J2 → A1/J1。

病害严重的索先换的原则：病害较为严重的索即使目前工作状态正常，在更换其临近索时会受到应力重分布等因素的影响，索力突然增大或拉索内应力发生较大幅度变化，从而产生对结构安全而言难于预料的反应。通过普查全桥斜拉索病害，统计病害比较严重的斜拉索编号，考虑优先更换病害严重的斜拉索。

7.4.2 斜拉索更换流程



更换拉索总流程图

7.4.3 施工准备要点

（1）材料准备

在进场后换索施工前，必须对全桥斜拉索上下锚点坐标进行逐一复测，采用复测结果基础上修正后的长度确定拉索下料长度。工厂生产新斜拉索以此为依据，进行斜拉索生产。

（2）搭设施工平台

①塔外施工平台：为方便塔端旧索切割及下放、锚头拆除牵引出索道孔和新索锚头于塔端的安装，在每个索塔安装施工吊篮，确保索头安全通过索道孔。

②塔顶吊架：在塔顶索塔外壁侧，设置悬挑钢吊架，此支架作为设备及塔端索体安装辅助吊点。

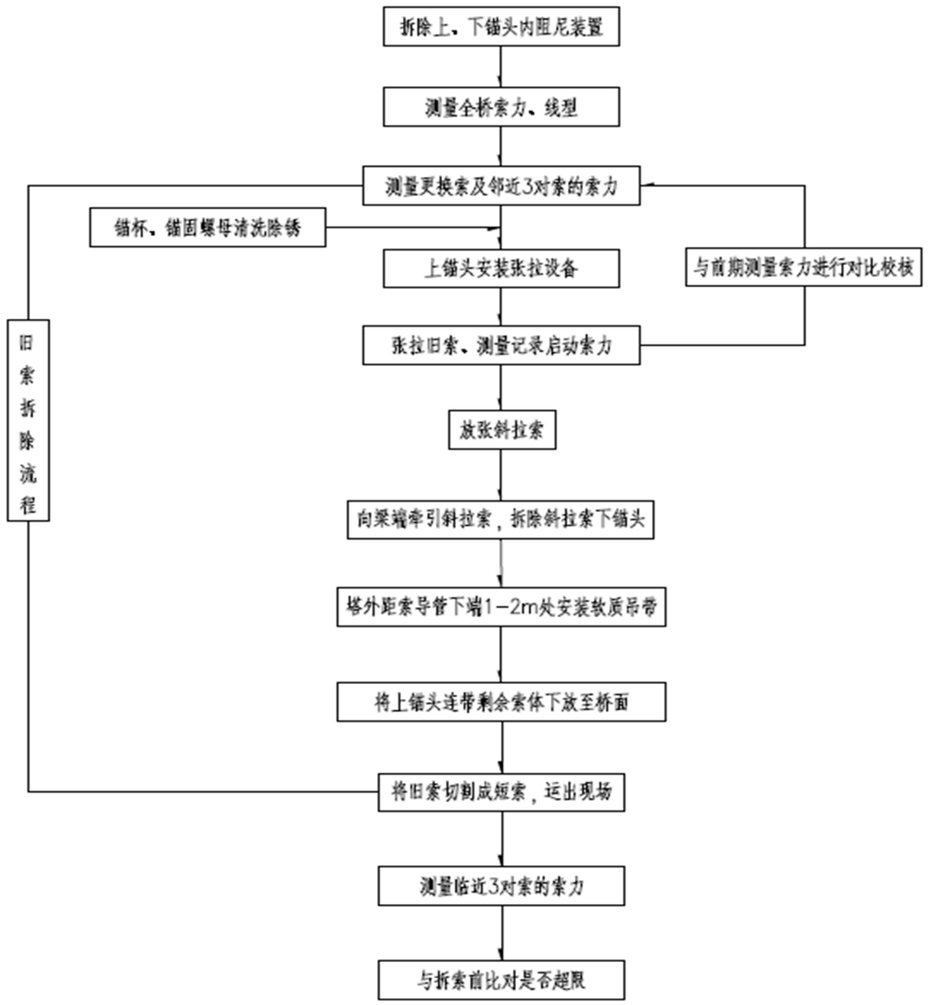
③塔内施工平台：采用满堂式盘扣支架。

④梁底施工挂篮：在人行道两侧安装梁底施工挂篮，用于斜拉索拆除、锚具安装等施工。

7.4.4 拆除旧索

（1）拆除旧索顺序

旧索拆除按以下工序进行：



旧索拆除流程图

（2）旧索测量

采集相关数据：桥面高程、斜拉索索力等原桥数据，作为后期新斜拉索安装技术依据。

由于目前检测手段测定索力偏差较大，建议利用放张千斤顶将螺母张拉至脱离锚垫板 0.5mm（可用塞尺测量），并在千斤顶与反力架间设置压力环，此时千斤顶的张拉力作为新索安装的张拉索力。

（3）拆除旧索附属构件

施工人员在塔外平台用角磨机将塔外减震器外的钢筋进行切割并用撬棍将减震橡胶进行取出，如塔外减震橡胶老化严重与索体粘合在一起，无法取出。可适当用卷扬机连接索体将索体提升，使索体与减震橡胶有适当空间，再用撬棍进行拆除。如有遇到减震器橡胶与预埋管粘接牢靠，则等待索体放张后带动减震橡胶一并带出预埋管，再进行拆除。

拆除拉索两端锚具保护罩。吊装至桥面归堆堆放。

用砂轮切割机将桥面防水罩进行拆除，再用撬棍将预埋管内减震橡胶进行拆除并清除预埋管内的杂物。

③清理锚杯杂物

用扳手将上下锚头封板进行拆除，并清理锚垫板上的杂物。

④螺牙除锈

锚具螺牙及锚杯内螺牙有锈蚀的地方用钢丝轮进行除锈处理。仔细检查螺纹有损坏的地方，用锉刀将螺纹进行处理。并用有机溶液将锚具螺纹及锚杯内螺纹浸透。

（4）旧索放张

在斜拉索更换过程中，旧放张是重中之重。大桥结构使用索体使用时间长，病害存在不确定性，难以确定结构的承载能力，所以施工复杂，技术难度大。

为确保放索的张拉设备有效性，采用合适吨位的千斤顶进行放张。为确定旧斜拉索放张的设备和工法，科学、合理、安全进行施工，索力大于 5 吨时，采用千斤顶、张拉杆、撑脚及相应组件在塔端进行放张；在索力小于 5 吨时，采用卷扬机、滑轮组、抱箍组合在梁端进行放张。

①安装张拉杆前，将张拉杆、张拉螺母上的螺纹上的油污、脏物擦拭除锈，保证各工件能顺利旋动。

②检查旧索锚杯规格，选择合适规格的张拉杆倒运至塔内安装。

③张拉设备安装好之后，检查各工件连接可靠。确保脚撑安放在稳固平面上，脚撑、张拉螺母、锚垫板等处受压面均为面接触。

④安装千斤顶、油泵，安装好后检查压力表和千斤顶是否按照校准报告配对使用。

⑤按换索施工前测得索力为依据，卸索以斜拉索索力和锚头回缩量双控，每次 1cm～5cm 同步放松（具体数值按分级索力减小的对应回缩量确定）。放松时密切注意两侧松张的索

力，变形保持同步，以保证索塔两侧不产生偏载，受力平衡。

⑥分 3 阶段张拉对称的两根索，每个阶段的张拉力，分别为测试索力的 50%、80%、100%， 操作设备张拉到达每阶段索力时，应暂停持荷 5min，等待技术人员的下一级张拉力指令。

⑦张拉对称的两根索到最后一阶段接近测试索力时，观察锚固螺母是否与锚垫板产生松动。当位移传感器报警，提升锚固螺母与锚垫板产生松动，此时的索力为该根斜拉索的启动索力。记录启动索力值并与索力测试值比对。如果发现张拉力与换索施工前测得的索力值相差较大，停止张拉，并上报设计及监控方。

⑧在张拉到测试索力的 80%之后，应谨慎操作，使压力表读数缓慢上升，直至启动索力。张拉到启动索力并使锚固螺母松动后，旋松锚固螺母至其与锚杯齐平。长索在张拉杆后接长短张拉杆，通过张拉杆前后端的锚固螺母来回倒顶，完成放张退索。

⑨千斤顶缓慢回油，分 5 级将斜拉索索力放张。每一级索力分别为启动索力的 90%、80%、60%、30%、直至斜拉索索力小于 5t。在每一级放张到位后持荷 5min，测量锚杯或张拉杆向索导管内回缩量，并读取监控系统数据，如出现异常应立即停止放张，并上报设计及监理方。确保两根索每一级放张的索力和轴向回缩量长度一致。

（5）拆除上、下锚头

在塔端将斜拉索卸载至索力小于 5 吨后（因索体垂度影响，不能直接在塔端将索力卸载为零），拉索在桥面距梁端索导管上端口 4-6m 处安装哈弗夹，连接梁端卷扬机牵引系统。

启动牵引系统，将索体向梁端牵引，卸载下锚头锚固螺母的锚固力。锚固螺母与锚垫板间脱开 2mm，则通过对讲机发出信号，指示牵引系统操作人员停止牵引。

拆除梁端锚固螺母，将下锚头锚杯连带索导管中的索体沿索导管牵引上桥面。确认自牵引点以下索体的索力已完全卸载的情况下，在索导管上端出口用气割将斜拉索体逐丝割断，解除下锚头的连接。

桥面卷扬机继续放松，使斜拉索后端沿桥面慢慢向塔跟滑动，直到斜拉索不能继续滑动为止。在距塔端索导管下端口 1-2m 处的索体上安装哈弗夹及软吊带。

在塔外提升系统下放索体时在索导管内同步下放上锚头，以免上锚头在索导管内卡死，直至上锚头、张拉杆完全露出索导管下端。

（6）斜拉索下放及转运

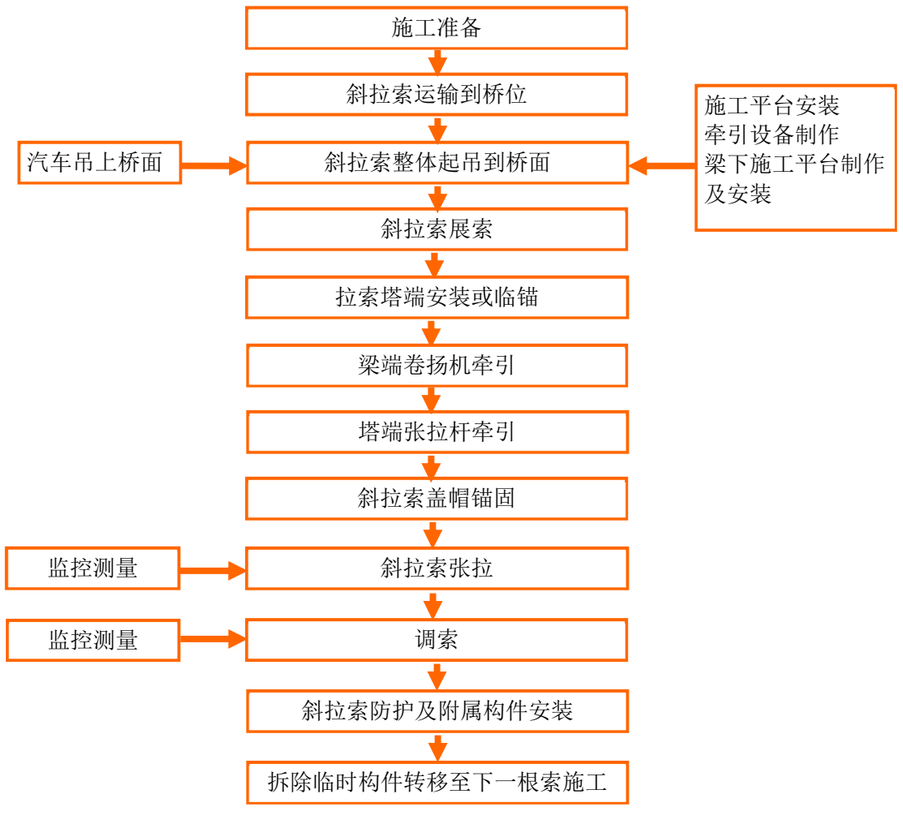
启动塔顶提升系统，匀速缓慢将索体下放到桥面。在下放索体过程中，在索体下放置圆木（或带轮子的小车），让索体下落在圆木上，防止索体直接接触地面。

在旧索下放的过程中利用桥面的卷扬机牵引系统将旧索在桥面理顺，然后用卷扬机沿桥面将拆下来的旧索整束牵引至桥面，切割、卷盘、装车运离施工现场至指定地点存放。

7.4.5 新索安装

（1）安装流程顺序

斜拉索挂设及张拉主要包括运输、索上桥面、展索、挂设、张拉、索力调整及减振装置安装等工作。根据斜拉索的质量、锚固牵引力的大小以为张拉端的布置及空间要求，本桥斜拉索安装工程拟用以下工艺流程进行挂设。



新斜拉索挂设工艺流程图

（2）安装要点

①起吊

拉索使用软吊带多点对称吊装，并在索盘周围垫木方，防止索盘上斜拉索展开完接触到桥面导致 PE 受损。

②展索

避免斜拉索与桥面的直接接触而刮伤斜拉索 PE 套，斜拉索在桥面移动时采用放索小

车，由于承重较大，建议采用全钢结构。

随时观察斜拉索的姿态，保证拉索最小弯曲半径不小于 20 倍索径，以免造成拉索外层 PE 破裂或过度拉伸。

③牵引

安装斜拉索前应计算出克服索自重所需要的牵引力，以便选择卷扬机、吊机及滑轮组配置方式。根据设计提供的索力及斜拉索相关技术参数，对每对索张拉端不同工况的牵引力进行计算，确定牵引张拉杆组合形式，同时对每根索牵引阶段的牵引力进行计算确定张拉杆长度。牵引过程中，应及时记录各阶段牵引索力，并与计算所得的牵引索力进行对比，实时修正。

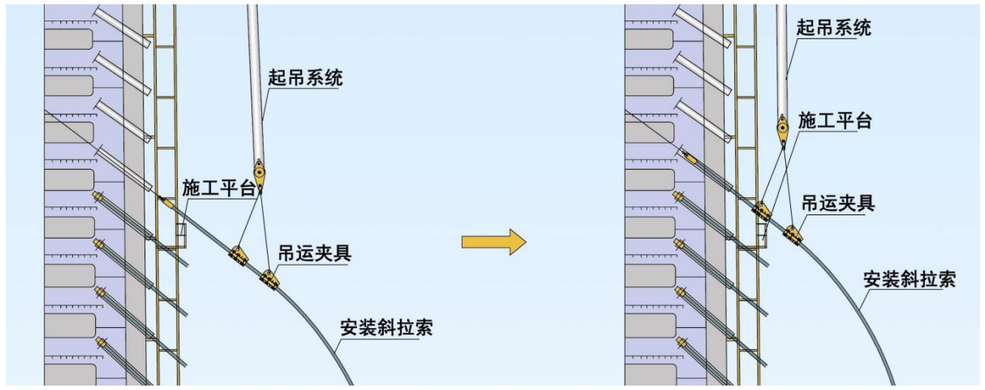
卷扬机牵引系统，建议在同斜拉索接触处加垫 10mm 厚的橡胶，施工过程中可以很好地保护斜拉索免受损伤。型号选择安全系数控制在 3.0 以上。索体 PE 受力有限，为不损伤索体外保层，本工程卷扬机牵引系统牵引力控制在 5T 以内。

④挂索

汽车吊应使用软吊带多点对称吊装。

在索盘周围垫木方，防止索盘上斜拉索展开完接触到桥面 PE 受损。

时刻观察塔内卷扬机牵引力，拉力过大则须暂停检查是否有卡顿或预埋管变形。



塔端挂索示意图

斜拉索塔端挂索完成后，依次进行下端入洞作业。下端入洞采用 5T 卷扬机牵引哈弗抱夹作业。下穿过程利用汽车吊将部分斜拉索提起，以降低下穿过程中牵引力。

（3）斜拉索的张拉及索力调整

①根据测定的原索力，对新索进行张拉控制，并记录相对应的数据。

②调索应遵循的原则为：调整后索力满足旧索拉拔测定索力。

③调索前计算各级调整值并列出相应的延伸量。

④调索前作好索力检测和其他各种观测的准备工作。

⑤调索按预定级次的相应张拉力，通过电动油泵进油或回油逐级调整索力。如果是降低索力，则先进油使锚圈能够松动，旋开锚环后可回油使斜拉索索力降低。

⑥按照测定的索力分级张拉，各个千斤顶同步之差不大于油表读数的最小分格，索力中值误差小于±5%。

⑦张拉采用索力及桥梁线型双控措施。以桥梁线型为主、索力为辅。采用频振法测索力，测量出频率后换算成梁体或塔体应力，用以指导张拉控制。拉索张拉过程中必须同时进行索塔变位观测并与设计变位值校核。

⑧斜拉索正式张拉分两次，在挂索完成后进行第一次张拉；为了减少温度、日照对张拉和梁体标高的影响，斜拉索的第二次张拉（也叫调索）应定在温度较稳定的时间进行。采用分级张拉，张拉程序为：0→0.15σ→0.30σ→→0.8σ→1.0σ。

⑨调索要求：以桥面线性控制为主，索力为辅的原则进行调索。

⑩索后主梁标高恢复到原桥状态，使桥面线性流畅，索力均匀，梁体结构也能处于较佳工作状态，基本消除徐变、非线性影响，使索力、主梁应力、索塔应力都处于安全的工作范围内。

（4）斜拉索的附属设施安装

①减震器安装

将减振器平推入预埋管后，通过对减振器契块顶压使减振橡胶沿径向膨胀，从而将斜拉索契紧，然后旋紧契块尾部的螺母将契块锁定。然后再按设计要求安装减振器。

②锚头防腐、防水罩安装

先将防水罩下端的密封圈装好，再将防水罩套在索护管上，接着向防水罩内注入密封剂，再将上端密封圈及橡胶防水罩安装好。

斜拉索上端连接装置和下端防水罩以及上下端锚具的保护罩安装需按产品工艺进行。

斜拉索两端预埋管口处的防水罩保证密封。斜拉索两端锚具外露部分涂抹防腐油脂。

斜拉索减震器应根据产品说明进行安装，必须由专业技术人员或在其指导下进行。

7.4.6 拉索更换施工注意事项

（1）旧索放张

应对称进行，尽量保证主塔两侧受力平衡而不产生偏载。

卸索过程中，应全过程跟踪观测梁顶面标高变化，并与理论计算值进行对比，如有异

常，应立刻停止斜拉索卸索工作，待找出原因后方可进行。

（2）换索顺序

应逐对更换，并采取双向对称进行方式，更换完成以后。同一索号更换完成后再进行下一索号更换。在更换斜拉索时，每束均按设计给定的索力进行张拉锚定，待同一索号斜拉索全部束均更换完毕后，全部的束再同时张拉进行索力调整，使其达到给定的索力。

（3）新索张拉

张拉新索应缓慢、分级进行；当索力达到设计索力时，持荷 5min,此时需检查更换的新索索力是否达到原有索力，桥面高程是否恢复到换索前的高程。当确认索力和高程恢复到原有的索力和高程时，才可进行下一根拉索的更换。

（4）换索后的索力调整

拉索更换工程中主要技术指标是索力和桥面标高，若对索力的大小及分布控制出现偏差，将会引起斜拉桥主梁内力分布变化，有可能最终使结构偏离原设计的理想状态，因此，换索后需进行必要的索力调整。调索的计算方法主要有影响矩阵法、逼近法、数学规划法等，应结合具体工程进行选择方案反复调整。

调索的原则是应兼顾主梁混凝土应力、主梁线形以及塔位的变化。具体来讲，调索应使主梁的局部下挠有所缓解，尽可能接近竣工线形；同时应使主梁上、下缘混凝土应力适度增减，避免产生过大的拉应力，以保障主梁的安全。

7.5 裂缝灌浆

对结构上、下部存在的所有可见裂缝进行封闭处理。裂缝宽度 W≥0.15mm 的裂缝采用裂缝灌注胶进行低压灌缝处理；裂缝宽度 W＜0.15mm 的裂缝涂抹环氧胶泥进行封缝处理。裂缝灌缝采用低压注胶法，在注入过程中应始终保持 0.2～0.4MPa 的压力，修补材料注入到宽度仅 0.02mm 的裂缝末端，同时均匀缓慢的压力可以将裂缝中积存的空气压入混凝土的毛细孔中，并通过混凝土的自然呼吸过程排出，有效避免产生气阻而确保修补质量。

灌浆胶采用优质 A 级环氧灌缝胶，选用粘度适宜的灌浆胶，确保裂缝之间的胶体能均匀密实地渗透进去。无论产品本身或施工时都不得掺加任何溶剂。裂缝灌注胶的性能应不低于国家标准《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367-2013)表 4.6.1 裂缝修补胶(注射剂)或《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）要求的基本性能指标，主要设计指标要求如下表：

裂缝灌注胶的性能指标要求

性能项目		试验方法标准	性能指标
钢-钢拉伸抗剪强度标准值 （MPa）		GB/T 7124	≥10
胶体性能	拉伸强度 （MPa）	GB/T2568	≥20
	受拉弹性模量 （MPa）	GB/T 2568	≥1500
	抗弯强度（MPa）	GB/T 2570	≥30，且不得呈脆性（碎裂状）破坏
	抗压强度（MPa）	GB/T 2569	≥50
不挥发物含量（固体含量）（%）		GB/T 14683	≥99

（1）表面处理

① 用钢丝刷沿裂缝走向清理约 5cm 范围的表面混凝土，仔细清理混凝土的表面；

② 锤子和钢纤凿除两侧疏松的混凝土块和沙粒，露出坚实的混凝土表面；

③ 用略潮湿的抹布清除表面的浮尘，并彻底晾干，用丙酮去除表面的油污，如缝内潮湿，要等其充分干燥，必要时可用喷灯烘干。

（2）粘结注入座和密封裂缝

① 制好封口胶，搅拌均匀，用抹刀将少许胶刮在注入座底面的四边，将注入座固定在混凝土上；

② 注入座的布置应掌握以下原则：沿缝的走向，每米约布置 3 个，裂缝分岔处的交叉点应设注入座，选混凝土表面平整处设置，避开剥落部位，对于贯通缝，可在一侧布置注入座，另一侧完全封闭，缝宽较大且内部通畅时，可以按每米 2 个的密度来布置；

③ 封口胶将裂缝密封，与注入座衔接的地方要特别注意。

（3）封口胶的固化：

密封完成后，让封口胶自然固化，注意固化过程中防止其接触水。

（4）注入灌注胶

材料：裂缝灌注胶。

工具：注入器、密封良好的进口黄油枪、加线增强管(内径 9mm，耐压 5kg/cm2 以上）、喉箍(蜗轮蜗杆式，直径 10～16mm）、阀门、过滤器、桶、搅拌棒、丙酮、秤(精确到 10g）、钳子、螺丝刀、生料带）。

注入器种类较多，需根据各注入器的使用说明确定施工工序，一般施工工序如下：

①将注入器的连接端(蓝色）安装在注入座上，把卡口部分的两扣卡紧，用力不要过猛，以免损坏座的颈部，注意使橡胶密封圈处于正常位置。同一条裂缝上的注入器同时安装好；

②按顺序连接工具，螺纹配合处用生料带缠绕密封；

③将灌注胶的两种成分混合搅拌均匀，一次能用完一整套包装的量时不必称量；全部混

合即可；用量较少时要分别称量两种成分，按规定配比配合；

④将混合好的胶装入黄油枪，盖好盖。将黄油枪倒置，打开阀门，推动黄油枪活塞，排除系统中的空气；

⑤当过滤器中有胶流出时，将它连接到注入器的注入端(白色），卡紧卡口，慢慢推动黄油枪的活塞，开始注入。每次推动都要达到活塞的尽头，一般 3～5 秒推动一下。当橡胶管膨胀至充满限制套时停止注入；

⑥一个注入器注完后，先关闭阀门，再小心的脱开白色端的连接，避免蓝色端之间的连接松动，移到下一个注入器继续注入；

⑦水平走向的裂缝从一端开始逐个注入，倾斜或垂直走向的裂缝要从较低一端开始向上推进。如果注入器膨胀后收缩较快，说明该处裂缝深，缝内空间大，要补灌，直到能保持膨胀状态；

⑧操作时要两人配合，一人操作黄油枪，另一人托扶注入器和阀门，不要让注入座的颈部不正常受力。

（5）清洗工具

必须用丙酮反复清洗，除去残余的胶，然后用清水漂洗、晾干。

（6）灌注胶的固化

让灌注胶自行固化，可用手捏注入管以了解固化进程。

（7）保温措施

当施工温度在 5～15℃时，密封胶及注入胶应选用冬季用型号。

7.6 裂缝封闭

对所有宽度小于 0.15mm 的裂缝，无论缝宽大小，在进行裂缝的灌浆过程中一并封闭，不需再做处理。对外表颜色较深的原封缝物均要清除干净，重新采用环氧胶泥刮抹，要求颜色与原混凝土颜色相近，外观平整。

7.7 混凝土表面缺陷处理

混凝土表面修补按照病害情况分两种情况进行处理。对疏松层较浅、病害范围较小的区域采用丙乳砂浆修补，对孔洞及深度超过 6mm 的深层疏松层采用丙乳细石混凝土修补。在用丙乳砂浆或丙乳细石混凝土修补混凝土表面缺陷时，应严格按照丙烯酸脂共聚乳液产品说明和《港口水工建筑物修补加固技术规范》（JTS311—2011）执行。

7.8 丙乳砂浆使用方法及注意事项

丙乳需贮存在 0℃以上的环境中，丙乳砂浆施工要求气温高于 5℃。

一般使用 42.5 级以上的硅酸盐或普通硅酸盐水泥，砂子需过 2.5mm 筛，水泥及砂子均需满足有关规范规定。

施工前须清除基底表面污物、尘土和松软、脆弱部分，并对基面加以喷砂或人工凿毛（深度 1～2mm），然后用清水冲洗干净，施工前应使待施工面处于饱和状态（但不应有积水），在薄层修补区的边缘宜凿一道 3～5cm 的深齿槽，增加修补面与老混凝土的粘结。

根据工程要求，选定灰砂比及丙乳掺量，应选灰砂比 1：（1.5～2）砂浆，丙乳掺量为水泥用量 25～30％。施工前根据现场水泥和砂子及施工和易性要求通过试拌确定水灰比。

丙乳砂浆拌制时，先将水泥、砂子拌均匀，再加入经试拌确定的水量及丙乳，充分拌和均匀，材料必须称量正确，尤其是水和丙乳，拌和过程中不能随意扩大水灰比，每次拌制的砂浆，要求能在 30～45 分钟内使用完，不宜一次拌和过多数量。

在涂抹砂浆时，修补面上需先用丙乳净浆打底，净浆配比为 1kg 丙乳加 2kg 水泥拌制成浆，在净浆未硬化间，即铺筑丙乳砂浆。仰面和立面施工，涂层厚度超过 7mm 时，需分二次抹压，以免重垂脱空，砂浆铺筑到位后，用力压实，随后就抹面，注意向一个方向抹面，不要来回多次抹，不需第二次收光。修补面积较大时，可隔块跳开分段施工。

丙乳砂浆早期干缩偏大，应特别注意加强早期养护，丙乳砂浆表面略干后，宜用农用喷雾器喷雾养护。一昼夜后再洒水养护七天即可自然干燥，在阳光直射或风口部位，注意遮光、保湿。

如果施工面为斜面或曲面，施工应从较低部位开始，然后依次施工到较高部位，修补面积较大宜分段分块间隔施工，以避免砂浆干缩开裂。

7.9 丙乳细石混凝土施工方法及注意事项

采用丙乳细石混凝土配合比参照前述丙乳砂浆配合比由实验室确定，要求一天抗压强度不小于 30MPa，7 天抗压强度不小于 50MPa，28 天抗压强度不小于 60MPa。可添加适量膨胀剂，补偿收缩。

修补施工程序：

①首先将疏松区劣质混凝土凿除，其周边宜凿成规则的多边形，开凿范围以见新鲜密实混凝土为止，开凿区以及孔洞四周边宜做成台阶状，台阶高差以不小于 3cm 为宜。

②剔除开凿表面（新旧混凝土结合面）的浮石，并清洗开凿表面，应使混凝土表面充分

润湿。

③在保持结合面湿润但无自由水的情况下，涂刷丙乳净浆，立模浇筑丙乳细石混凝土并振捣密实，终凝后及时拆模覆盖湿麻袋保持潮湿 7 天。

④养护 7 天后，在修补区的外露表面无尘埃、无自由水且湿润的条件下，用丙乳净浆在纵横向分批涂抹。

丙乳细石混凝土施工技术要求与丙乳砂浆施工技术要求基本相似，可参照执行，这里不再赘述。

7.10 钢筋除锈

（1）工艺流程

锈蚀钢筋部位定位→凿除松散混凝土→锈迹清除→涂刷阻锈剂→表面封堵

（2）施工工序

①观察并标出结构物钢筋锈蚀部位；

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

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

④采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂进行防锈、阻锈处理，阻锈剂的质量和性能指标应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367—2013）表 4.7.2 和表 4.7.3 的规定；

⑤采用丙乳砂浆修复破损部位。

8 换索施工监控要求

换索施工监控的目的是依据施工过程中监测的结构响应及时修正结构计算参数，以更好地指导下一步施工，使换索后结构受力和线形满足设计要求，并保证换索过程中的结构安全。

8.1 监控原则

（1）斜拉索更换完成后的主梁线形应和换索前应保持一致，结构受力控制在材料允许范围内。

（2）新索张拉过程应实行“标高、索力双控”模式，以主梁标高控制为主以索力控制或调整为辅。

（3）更换过程中如发现主梁标高、索力偏差或变化较大，应立即叫停施工，查明原因并进行相应整改后方可继续施工

（4）充分考虑昼夜温差影响，在温度较均匀的凌晨到日出前进行换索量测。

（5）充分考虑主梁结构的空间效应。

8.2 施工监控内容

换索施工监控应包含的主要内容有：斜拉索张拉施工监控、主梁状态监控、主塔状态监控、索力监控等。重点监控项目包括相邻索力监测、主梁应力应变监测、主塔偏移量监测、主梁线形监测、斜拉索张拉过程中张拉力及伸长量监测等。

（1）索力监测

索力监测主要是针对待更换索的临近拉索，在换索前、换索中（旧索分级卸载过程、旧索拆除完成、新索分级张拉过程）、换索后对其拉索索力进行测量监控。施工前应对全桥所有斜拉索索力进行测量，新索全部安装完成后应对全桥斜拉索索力再次进行测量复核。

（2）应力（应变）增量监测

主梁应力（应变）监测主要是指对即将更换的斜拉索所在的混凝土纵梁、桥面板、横隔板等关键断面的应力（应变）进行监测。斜拉索更换前后，关键断面和部位的混凝土表面应力（应变）应基本保持一致，或偏差量应在允许范围之内。

（3）主梁变形及主塔偏位监测

主塔变形监测应在塔顶安装变位观测点，在换索施工过程中实时观测塔顶变位情况，在每根斜拉索拆除及更换施工结束后必须对塔顶偏位进行观测并记录。

主梁线形监测应在典型断面梁底安装观测点，在斜拉索拆除、新索安装等工况对主梁典型断面标高变化形进行观测并记录。

（4）裂缝观测

换索过程中，结构受力薄弱部位和受力较大的部位，以及已出现裂缝的部位，有可能出现新裂缝或原有裂缝继续扩展，须在换索、调索过程中连续观测。当出现异常情况时，应立即叫停施工，待研究分析后，优化调索方案，并须采取有效措施保证结构安全。

（5）结构温度的监测

结构温度是影响主梁变形的重要因素之一，在换索过程中，应加强对结构各控制截面的温度进行测量记录。。

9 其它施工注意事项

（1）本设计中未提及的有关施工规定，均须严格按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650—2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23—2008）等有关标准、规范、规程执行；有关标准、规范、规程等若有新版本则按新版本执行， 当不同规范的条文要求不一致时，应按高标准执行。

（2）质量验收标准为《公路工程质量评定检验评定标准》（JTG F80/1—2017）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650—2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/TJ23—2008）等有关标准规范；相关规范若有新版本则按新版本执行。

（3）开工前，施工单位应仔细阅读并复核设计文件、图纸及相关基础资料，领会设计意图，必要时应进行补充调查，施工单位必须按照图纸及有关说明的要求施工，若有疑问应及时向监理工程师提出，并经业主转设计单位。

（4）请施工单位自行踏勘、调查，须充分考虑现状条件对施工带来的困难，自行考虑，做好交通组织方案及应急预案，保证施工安全、质量。

（5）图纸中所有列出材料，均要求厂家出示国家规定单位的检验证书，进场后的原材料必须进行工地检验，确认合格后方能使用。不得使用非正式厂家生产的或无检验证的低、劣质钢材及其他原材料。

（6）斜拉索原设计设置有螺旋线以防止风雨振，采用防火体系后桥面以上 15m 高度范围护套螺旋线遭到破坏，应采用带有螺旋线的 HDPE 套管恢复其外观，确保斜拉索防风雨振性能无较大改变。

（7）正式施工前应先进行试验段施工，以确保施工工艺、施工方案可行。

（8）施工期间，交通组织和安全风险管理至关重要。施工组织方案、交通组织方案及应急预案应经专项评审或监理工程师批准后方可实施。

（9）危大工程风险源提示

根据住房城乡建设部办公厅关于实施《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知的要求，现列出本次设计范围内的涉及危险性较大的分部分项工程。

①高空作业。斜拉索防火相关工程施工整个流程均属于高空作业，进行缆索系统施工时，攀登和悬空高处作业人员以及搭设高处作业安全设施的人员，必须经过专业技术培训，并定期进行体格检查。患有高血压、心脏病及酒后、精神不振者严禁从事缆索系统施工。作业人员拴安全带、戴安全帽、穿防滑鞋。高空作业人员配给工具袋。小型工具及材料放入袋内，较大的工具，拴好保险绳。不得随手乱放，防止坠落伤人，严禁从高空向下乱扔乱丢。

②起重吊装。起重设备应有检测合格证明。起重机械操作人员取得操作合格证，不准将机械设备交给无本机操作证的人员操作，对机械操作人员要建立档案，专人管理。操作人员按照机械说明规定，严格执行工作前的检查制度和工作中注意观察、工作后的检查保养制度。保持机械操作室整洁，严禁存放易燃易爆物品。不酒后操作机械，机械不带病运转、超负荷运转。起重作业严格按照《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ 33—2012）和《建筑安装工人安全技术操作规程》规定的要求执行。起重臂下严禁站人。定期组织机电设备安全大检查。对检查中查出的安全问题按照“三不放过”原则进行调查处理，制定防范措施，防止机械事故的发生。

③火灾和毒气挥发风险。防腐材料为易燃物质，各种溶剂多为有毒或易燃液体，挥发出的气体与空气混合可成为爆炸性气体,为此现场应设置专用库房，材料库房应能通风并备置消防器材。施工单位应制定详细有效的环保措施，控制施工过程中的环境污染。涂料产品的有机挥发物含量(VOC)应符合国家有关法律法规要求。

10 施工交通组织及施工安排

10.1 施工交通组织

10.1.1 方案论述

针对大桥全部更换拉索施工周期长、风险高、对交通影响大的特点，对桥梁换索的多种方案进行了结构计算模拟。根据审查意见及计算结果，推荐半幅封闭的施工方案。

由于桥上作业面狭窄、桥梁规模大、不确定因素较多，换索施工风险很大，施工单位应根据桥梁具体施工进度情况及当地交管部门的要求制定安全可靠的交通组织设计方案。交通组织设计方案还应结合本线路韧性提升工程其它临近工点的交通组织实施情况，统筹考虑实施。

推荐采用半幅封闭半幅施工方案，总工期约 12 个月。

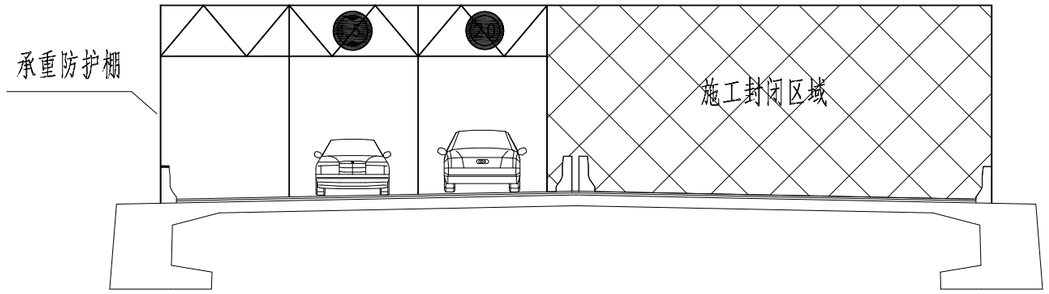
10.1.2 建议导行方案

在占道施工前，提前 10 天向社会发布公告，告知广大市民提前做好出行安排。在拟更换索半幅车道区域，封闭交通，占用 2 个车道；另半幅两个车道供车辆双向通行。

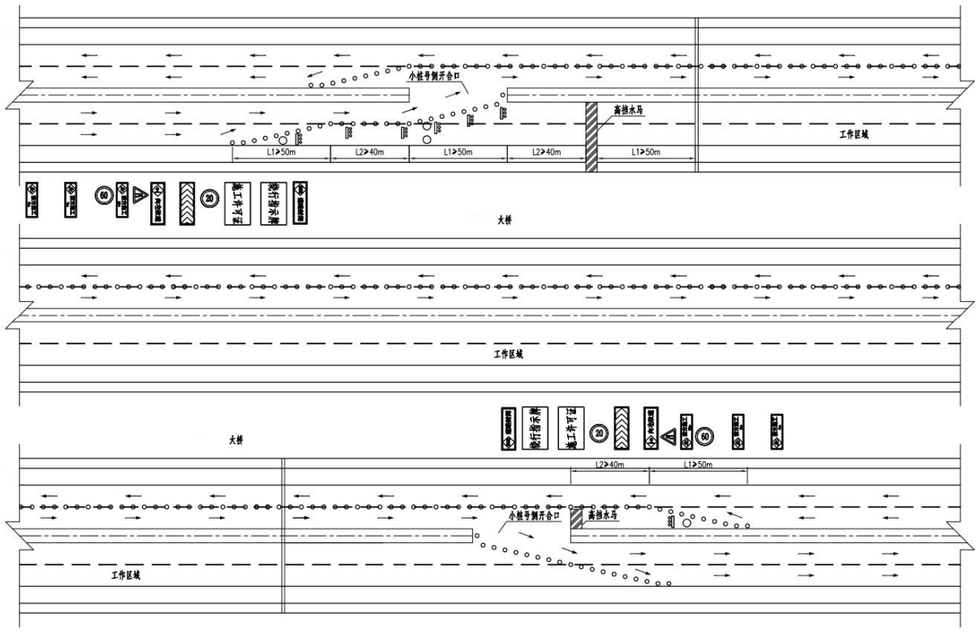
封闭区域前方设置提示区、缓冲区。

为保障安全和施工便利，在桥塔区域纵桥向 18m 范围内搭设承重防护棚。承重防护棚要求具有足够的强度、刚度和稳定性，并且横桥向跨越机动车道，以保证施工作业安全。由于本桥位于高速公路上，过往车辆较多，导行区域承重防护棚采用双层防护棚。

封闭区域塔柱下方不设置防护棚，仅车辆通行半幅设置防护棚。



交通管制及防护棚示意



交通管制平面图

本维修加固工程对交通运营有较大的影响，为保证施工期间交通的正常运作，还应注意以下几点：

①施工期间采取措施对过往车辆进行提前有效分流，主要路口设置引导标志牌，并通过各种渠道广播限行路段，提前引导车辆变更路线，减少交通的拥堵。

②施工期间应严格按《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）设置施工标志、限速标志、反光锥形交通路标和其他安全设施；联系交警部门，施工临时交通管制时间，周围设立醒目警示标志，安排专人职守，以免影响施工。设立安全警戒线和警示牌：警戒范围不小于 200m，安全警示牌应标明警示语。

③施工单位应根据桥梁维修加固内容做好完善的施工组织计划和详细的施工方案，合理安排施工各环节工序，达到施工连续不中断，并尽可能减少施工对交通的影响。

10.2 施工安排

加固施工应对称、均衡地进行。

提升改造施工工期预计为 12 个月。

施工总体安排

时间 工作内容	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月
施工准备、交通维护、搭设施工平台	—											
左幅铺装拆除	—											
左幅拉索更换		—	—	—	—							
左幅桥面系改造					—	—						
左幅调索						—						
右幅铺装拆除							—					
右幅拉索更换							—	—	—	—		
右幅桥面系改造											—	
全桥索力复测调整												—
裂缝处理+局部病害修补+护栏提升				—	—					—	—	
拉索防火套及附件安装					—						—	
拆除临时设备、恢复交通												—

11 问题与建议

（1）本设计根据检测报告反映病害进行分析和设计，并以此为依据提出提升设计方案。本设计中桥梁构件编号与检测报告同检测报告。

（2）维修施工后，应严格限制超载车辆通行，避免桥跨结构处于超负荷的状态，延长桥梁使用期限。加强日常检查和定期检测，发现问题及时处理。

（3）加固用到的关键材料都应进行抽样检测，由监理现场鉴封处理后送至鉴定单位（要求鉴定单位具备相应资质）检测，各项指标应达到国家及行业相应技术规范和规程的要求。未

尽事宜应严格遵照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）的相关条款进行。

（4）**为保证大桥拉索更换施工质量、施工安全，建议选择承担大桥拉索更换工程的施工方应具有相应专业承包资质和丰富的拉（吊）索更换施工和监控经验的专业队伍和专业人员承担。**监理单位应全过程旁站监督，以保证本次拉索更换的整体质量，达到拉索更换预期的目的。

（5）桥梁维护施工期间，施工单位应采取措施确保交通安全。防止施工单位采用有损于结构构件的工艺、方法或机具等，维修措施必须征得设计和监理单位的同意。

（6）本施工图设计以检测报告反映病害内容和数量为依据，施工中如发现新的缺陷、病害及与本文件不一致的地方，应及时与业主、监理工程师、设计单位取得联系，共同商定解决办法。工程数量以业主、监理确认的现场实际发生工程数量为准。

（7）施工过程中应对桥梁关键部位进行监测。

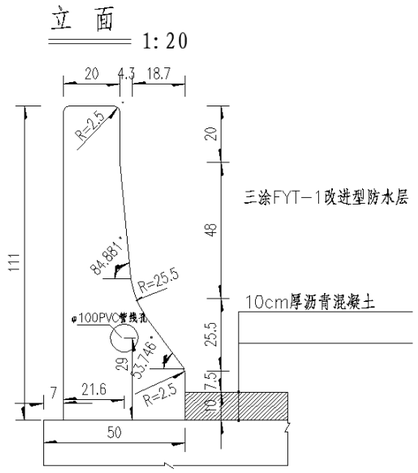
（8）其它未尽事宜，由设计单位、监理工程师、施工单位及业主协商解决。

交 安 设 计 说 明

1 现场调查情况

1.1 桥侧混凝土护栏现状

梅溪河特大桥现状桥梁护栏采用混凝土护栏，该形式混凝土护栏高度 101cm，迎撞面形式与 17 版规范不一致，其防护能力未知，需拆除重建。





现状混凝土护栏

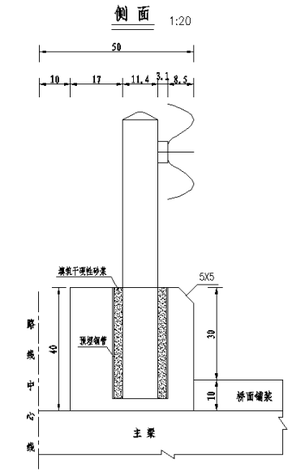
1.2 中央分隔带波形梁护栏现状

梅溪河大桥 2008 年建成通车，护栏原设计依据为《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》（JTJ 074-94）（以下简称“94 版规范”）。

根据中央分隔带护栏设置现状调研核查，现状护栏形式和结构如下：

梅溪河大桥中央分隔带波形梁护栏形式和结构情况表

原护栏代号	规　格	间距	埋置深度或形式	波形板	设计规范
Gr-A-2B	φ114mm×4.5mm	2m	法兰，桥梁中分带	3mm 两波形梁板	94 版







梅溪河特大桥现状中央分隔带波形梁护栏

2 桥梁护栏提升设计方案

2.1 桥侧护栏

《公路安全韧性提升技术指南（试行）》提出了“交通安全设施应充分考虑易于恢复”、“护栏提升改造应综合考虑护栏防护等级与形式、既有护栏利用等因素”、“护栏、标志等交通安全设施宜积极采用施工速度快、性价比高、防护性能好且经过验证的新产品”等要求。

4.7.2 交通安全设施韧性提升应满足下列要求：

1 交通安全设施选型应充分考虑恶劣天气条件下的性能保持以及突发事件时的快速响应和易于恢复。

2 交通标志和标线应综合设计，重点考虑互通式立交间距小于5km的路段，整体考虑视认效果。标线应根据主体工程提升后的交通组织设计重新梳理和优化。

3 护栏提升改造应综合考虑护栏防护等级与形式、既有护栏利用等因素，选择合理的提升方案。

4 桥梁护栏提升改造可按《提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南》进行设计。

4.7.3 在灾害风险区域，可适当配置不依赖公共移动通信网络的无线通信设施、适当配置不依赖于外部电网的移动发电设施，提升灾后通信、电力支撑保障能力。

4.7.4 护栏、标志等交通安全设施宜积极采用施工速度快、性价比高、防护性能好且经过验证的新产品。

梅溪河特大桥设计速度80km/h，未跨越公路、铁路或城市饮用水水源一级保护区，按照17版规范的表6.3.2确定桥梁护栏防护等级选取，桥侧护栏的防护等级根据车辆进入对向车行道的事故严重程度等级为中，防护等级不低于四（SBm）级，但梅溪河特大桥总质量大于或等于25t的车辆自然数所占比例大于20%，桥侧护栏的防护等级在17版规范的表6.3.2基础上提高1个等级，防护等级不低于五（SA）级，梅溪河特大桥为斜拉桥，斜拉桥的桥侧护栏防护等级宜采用八（HA）级。因此梅溪河特大桥设计防护等级为八（HA）级，拆除原有混凝土护栏，新建HA级特高防护等级桥梁钢护栏。

2.1.1 设计方案

特高防护等级桥梁钢护栏主要由钢立柱、横梁、横梁套管、连接角钢和螺栓等组成，总高度1.68m，立柱间距1.5米。实施方案如下：

（1）施工流程：

拆除混凝土护栏—测量放线—立柱定位—施工基础预埋地脚螺栓—安装立柱—安装横梁—线形调整。

（2）施工要点

立柱通过预埋的M30地脚螺栓进行锚固，锚固深度不低于30cm，并与地平面垂直。

立柱采用预埋螺栓进行锚固时，宜根据实际情况设置锚固板与定位板。

立柱安装应与设计图相符，并与道路线形相协调。

立柱安装正确是护栏线形平顺的关键，必须确保立柱安装高度和竖直，不得扭转变形。

横梁连接完成后，通过立柱及横梁的长螺孔调整横梁线形，保持护栏平顺、线型一致，最后拧紧全部螺栓。

护栏每6m设置一根拼接套管；伸缩缝处一端锚固，一端不固定，起伸缩作用。

2.1.2 技术要求

（1）材料

立柱和横梁应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）中Q355钢的规定。

用于横梁、立柱和套管之间的螺栓连接件公称直径为20mm。

护栏表面应采用热浸锌处理，防腐层质量符合现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）。

特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）材料规格和材质明细（每6m）

编号	名　称	规　格(mm)	数量	材　质
1	立柱	250×300×1680	4根	Q355
2	连接角钢	90×90×210	24个	Q355
3	横梁1	210×140×6000	1根	Q355
4	横梁2	160×140×6000	1根	Q355
5	横梁3	160×140×6000	2根	Q355
6	横梁套管1	188×118×600	1根	Q355
7	横梁套管2	138×118×600	1根	Q355
8	横梁套管3	146×126×600	2根	Q355
9	高强螺栓	M20×70	24套	10.9级
10	高强螺栓	M20×220	8套	10.9级
11	高强螺栓	M20×200	24套	10.9级
12	高强螺栓	M20×180	24套	10.9级

（2）施工要求

立柱和横梁安装应与设计图相符,并与道路线形相协调。

立柱地脚螺栓或植筋锚栓应牢固地打入混凝土中,达到设计所规定的深度，并与地平面垂直。

安装过程中不应过早拧紧连接螺栓，应充分发挥套管圆孔的调节作用。连接螺栓不宜拧的过紧，以便利用长圆孔调节温度应力。

护栏横梁的中心高度允许误差为±2cm。

立柱中距允许误差为±2cm。

2.2 中央分隔带护栏

梅溪河特大桥设计速度 80km/h，中央分隔带护栏采用分设型，未跨越公路、铁路或城市饮用水水源一级保护区，按照 17 版规范的表 6.3.2 确定桥梁护栏防护等级选取，中央分隔带护栏的防护等级根据车辆进入对向车行道的事故严重程度等级为中，防护等级不低于四（SBm）级，梅溪河特大桥总质量大于或等于 25t 的车辆自然数所占比例大于 20%，防护等级在 17 版规范的表 6.3.2 基础上提高 1 个等级，防护等级不低于五（SAm）级，梅溪河特大桥中央分隔带护栏防护等级设计为五（SAm）级。拆除原有护栏，新建 SA 级梁柱式护栏。。

2.2.1 设计方案

SA 级梁柱式护栏具有高强轻质、高透风性、高防护等级、施工便捷等特点。SA 级梁柱式护栏由横梁、立柱、防阻块、套管等构件组成。SA 级梁柱式护栏总高度为 1290mm，横梁中心距离地面高度分别为 1200mm、900mm、450mm，立柱间距 3m，横梁标准长度 5.99m，横梁通过连接螺栓和防阻块与立柱连接，横梁与横梁之间通过内套管拼接。实施方案如下：

① 拆除中央分隔带原有波形梁护栏，有损坏处应按照标准要求进行恢复；

② 根据设计图中所示的 SA 级梁柱式护栏立柱间距进行放线定位；

③ 根据设计图纸中标示的立柱埋深，打入立柱；

④ 安装防阻块；

⑤ 安装平椭圆横梁；

⑥ 安装通过套筒将横梁连接；

⑦ 线形调整。

2.2.2 技术要求

（1）材料

平椭圆横梁、平椭圆立柱的材料应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018），原材料屈服强度不低于 355MPa。

用于横梁、立柱之间的螺栓连接件公称直径为 18mm。

护栏钢构件防腐层质量应符合现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）的规定。

验收标准如下表所示。

SA 级梁柱式护栏验收标准

检 测 项 目	技 术 要 求			参照标准	
1 整体尺寸	上横梁距离地面高度 120cm±2cm			实车碰撞试验报告	
	中横梁距离地面高度 90cm±2cm				
	下横梁距离地面高度 45cm±2cm				
	立柱中心距 3m±2cm				
2 外观质量	镀锌构件表面应颜色一致、均匀完整，镀件无漏镀等缺陷；表面不应有流挂、滴瘤或多余结块。			现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）	
3 构件壁厚，mm	横梁	6.0mm±0.25	Q335	《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709-2019）	《碳素结构钢》（GB/T 700-2006）
	立柱				《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）
	套管				
	防阻块				
4 平均镀锌层厚度，δ(μm)	连接螺栓	≥49		现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）	
	横梁	≥84			
	立柱				
	套管				
	防阻块				
5 镀锌层对金属基底的附着性能	所有镀锌构件	镀锌构件的镀层应与基底金属结合牢固，经锤击试验后镀层不剥离，不凸起。		现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）	
6 螺栓，mm	连接螺栓 M18×100	直径:16±0.43 长度:120±1.75	8.8 级	《钢结构用高强大六角头螺栓》（GB/T 1228-2006）	

每 6mSA 级梁柱式护栏材料规格和材质明细

编号	名 称	截面属性	规 格（mm）	材 质
1	立柱	平椭圆	100*60*6*5990	Q355
2	横梁	平椭圆	100*60*6*2500	Q355
3	横梁套管	平椭圆	80*40*6*500	Q355
4	防阻块	矩形	80*80*270*6	Q355
5	连接螺栓	大六角头	M18*100	8.8 级

（2）施工要求

护栏立柱放样应以公路上的一些控制点为基础，根据现场情况对立柱间距作适当调整。

在立柱安装前，应对其地下情况进行调查，如遇地下通信管线、泄水管等，可调整某些立柱的位置。

立柱安装应与设计图相符，并与道路线形相协调。

立柱安装正确是护栏线形平顺的关键，必须确保立柱安装高度和竖直，不得扭转变形。

安装过程中不应过早拧紧连接螺栓，应充分发挥板上长圆孔的调节作用。连接螺栓不宜拧的过紧，以便利用长圆孔调节温度应力。

护栏横梁的中心高度允许误差为±2cm。

立柱中距允许误差为±2cm。

2.3 轮廓标

护栏改造段落，原有轮廓标反光效果差不予利用，考虑全部拆除更换。工程量纳入本次韧性提升计列。

（1）设置护栏路段采用附着式轮廓标。

（2）桥梁上的轮廓标采用附着式，设置间距为 12 米。

（3）轮廓标单面设置，沿行车方向，行车方向左侧为黄色，其背面为白色；行 车方向右侧为白色，其背面亦为白色。

（4）轮廓标代号如下：

VG-De(Rby/Rbw)-At1 附着式轮廓标，附着在桥梁护栏上；

（5）技术要求

① 附着式轮廓标由反射器、支架和连接件组成，反射器采用反光片，应符 合《轮廓标》（GB/T24970-2020）的有关规定。

② 附着式轮廓标采用 2 毫米厚冷轧钢板制作底板，应进行热镀锌处理。

③ 附着式轮廓标底板采用普通碳素结构钢 Q235 ，其技术条件应符合 GB/T700-2006 的规定。

④ 附着式轮廓标的防锈采用热浸镀锌处理，镀锌量应不低于 500g/m2。且 应符合现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）的有关规定。

⑤ 附着式轮廓标安装于桥梁护栏立柱上。

⑥ 安装时，应尽量使道路两侧及中央分隔带两侧的轮廓标处于同一断面上， 并应尽量使所有的轮廓标保持平顺。

2.4 防眩设施

防眩板为“一”字形绿色玻璃钢防眩板，板宽 200mm，板间距 1m，防眩角为 10°。防眩板的防眩角受平、竖曲线的大小而变化，在施工过程中要根据实际情况进行调整。

防眩板支撑结构所有钢构件均应进行热浸镀锌处理，螺栓、螺母、垫圈等连接件的镀锌量为 350g/m^2，其它构件为 600g/m^2。

防眩设施安装时，应保证在一条直线上，支撑顶面在同一水平面上，防眩设施应保证垂直，同时应符合《公路交通安全设施施工技术规范》（JTG F71-2021）的要求和规定。

梅溪河特大桥安全任性提升工程数量汇总表

项目		单位	斜拉索	桥面铺装	其他	合计
混凝土	沥青混凝土	m^3		1685.2		1685.2
防水层		m^2		16852.0		16852.0
拆除原桥沥青铺装		m^3		1685.2		1685.2
钢筋	HPB300	kg				
	HRB400	kg		0.0		0.0
斜拉索	PES(C)7-91	kg	48107.4			48107.4
	PES(C)7-109	kg	103375.5			103375.5
	PES(C)7-139	kg	355903.3			355903.3
	PES(C)7-151	kg	355804.2			355804.2
	PES(C)7-187	kg	487009.4			487009.4
	PES(C)7-211	kg	161170.2			161170.2
拆除原桥拉索		kg	1511370.0			1511370.0
斜拉索锚具	LZM7-91	套	64			64.0
	LZM7-109	套	80			80.0
	LZM7-139	套	144			144.0
	LZM7-151	套	96			96.0
	LZM7-187	套	88			88.0
	LZM7-211	套	24			24.0
拆除原桥拉索锚具		套	496			496.0
病害处治	裂缝封闭	m			5460.0	5460.0
	裂缝灌胶	m			300.3	300.3
	混凝土破损	m^2			54.0	54.0
斜拉索索体防火	环氧防火涂料	m^2			694	694.2
	增强高温纤维网	m^2			347	347.1
	氟碳面漆	m^2			694	694.2
	5mm高硅氧铝硅气凝胶毡	m^2			3833	3833.1
	0.7mm不锈钢	m^2			1917	1916.5
	PVF缠包带	m^2			1916.50	1916.5
	带螺旋线的HDPE套管	m^2			1916.50	1916.5

梅溪河特大桥附属设施工程主要数量表—分项

位置	类别	序号	内容	单位	引桥	主桥	合计
桥侧	新增	1	桥侧HA级护栏	m	110	1532	1642
		1.1	桥侧HA级护栏	m	110	1532	1642
		1.2	钢筋混凝土基础	m	110	1532	1642
		1.2.1	HRB400级钢筋Φ12	t	1.11	15.40	16.51
		1.2.1.1	HRB400级钢筋Φ12材料	t	1.11	15.40	16.51
		1.2.1.2	HRB400级钢筋Φ12植筋，深度10cm	根	1100	15320	16420
		1.2.2	A类植筋胶	m^3	0.02	0.31	0.33
		1.2.3	C30混凝土	m^3	9.17	127.67	136.83
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	2	16	18
		4	轮廓标	个	10	128	138
	拆除	1	混凝土护栏	m	110	1532	1642
		1.1	钢筋混凝土护栏	m^3	33.00	459.60	492.60
		1.1.1	钢筋	t	5.85	81.53	87.39
		1.1.2	混凝土	m^3	33.00	459.60	492.60
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	2	16	18
		4	轮廓标	个	10	128	138
	移改	1	桥侧混凝土护栏内线缆	m	110	1532	1642
中分带	新增	1	SA级梁柱式钢护栏	m	110	1532	1642
		1.1	SA级梁柱式钢护栏	m	110	1532	1642
		1.2	回填孔内混凝土C30	m^3	1.12	15.59	16.71
		1.2	植筋M30×360mm，深度30cm	根	296	4088	4384
		1.3	A类植筋胶	m^3	0.01	0.11	0.12
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	2	16	18
		4	防眩板	个	110	1532	1642
		5	轮廓标	个	10	128	138
	拆除	1	中央分隔带波形梁护栏	m	110	1532	1642
		1.1	钢材	t	2.39	33.30	35.69
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	2	16	18
		4	防眩板	个	110	1532	1642
		5	轮廓标	个	10	128	138

梅溪河特大桥附属设施工程主要数量表—汇总

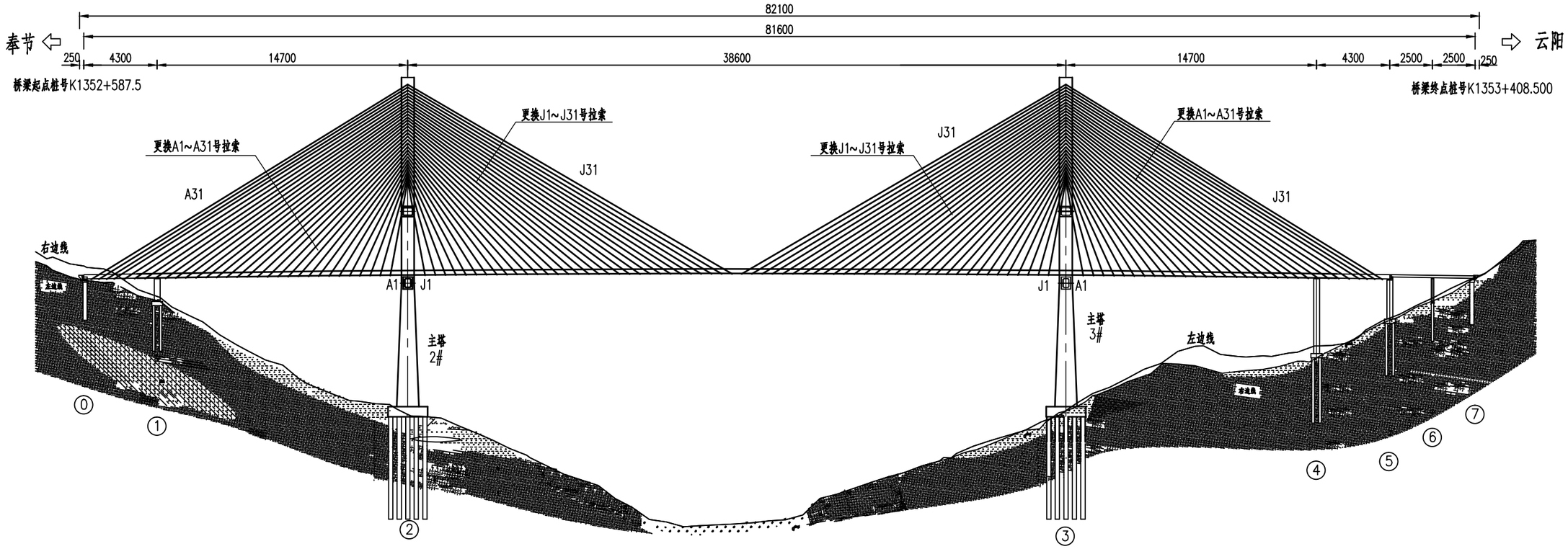
位置	类别	序号	内容	单位	引桥	主桥	合计
全桥	新增	1	桥侧HA级护栏	m	110	1532	1642
		2	SA级梁柱式钢护栏	m	110	1532	1642
		3	里程碑	个	2	2	4
		4	百米牌	个	4	32	36
		5	轮廓标	个	20	256	276
		6	防眩板	个	110	1532	1642
	拆除	1	混凝土护栏	m	110	1532	1642
		2	预埋套筒式两波形梁钢护栏	m	110	1532	1642
		3	里程碑	个	2	2	4
		4	百米牌	个	4	32	36
		5	轮廓标	个	20	256	276
		6	防眩板	个	110	1532	1642
	移改	1	桥侧混凝土护栏内线缆	m	110	1532	1642

注：

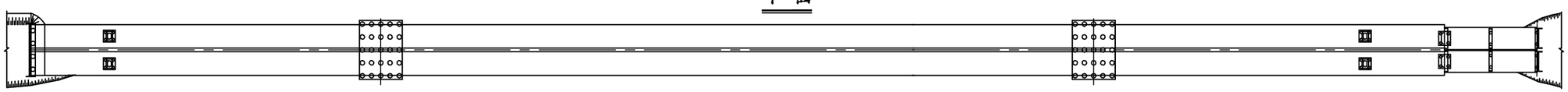
1.本图中工程数量为依据原桥竣工图文件计算的数量，施工时应根据工程实际情况复核。若出入较大时，应根据实际情况适当调整工程量，由业主和监理现场确认。

立面

桥梁中心桩号K1352+998



平面



安全韧性提升方案:

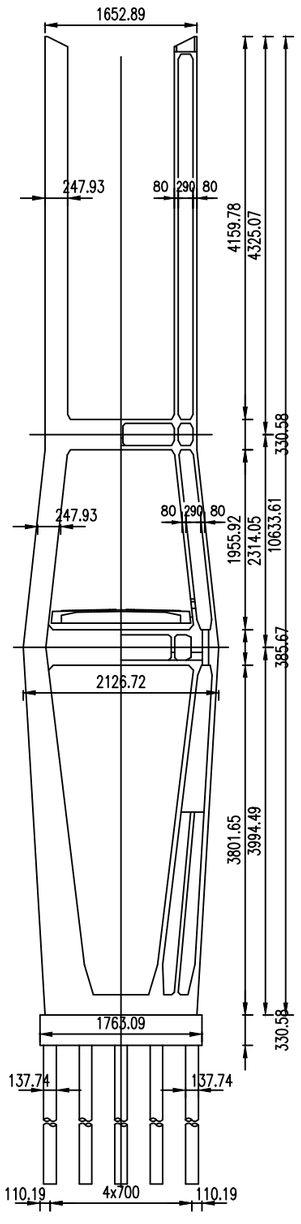
1、更换全桥拉索。
2、桥面垂直高度15m范围内，对拉索进行外包防火套处理。
3、裂缝及混凝土表观病害处治。
4、更换铺装为：8cm混凝土+5cm SMA-13改性沥青混凝土。

注：

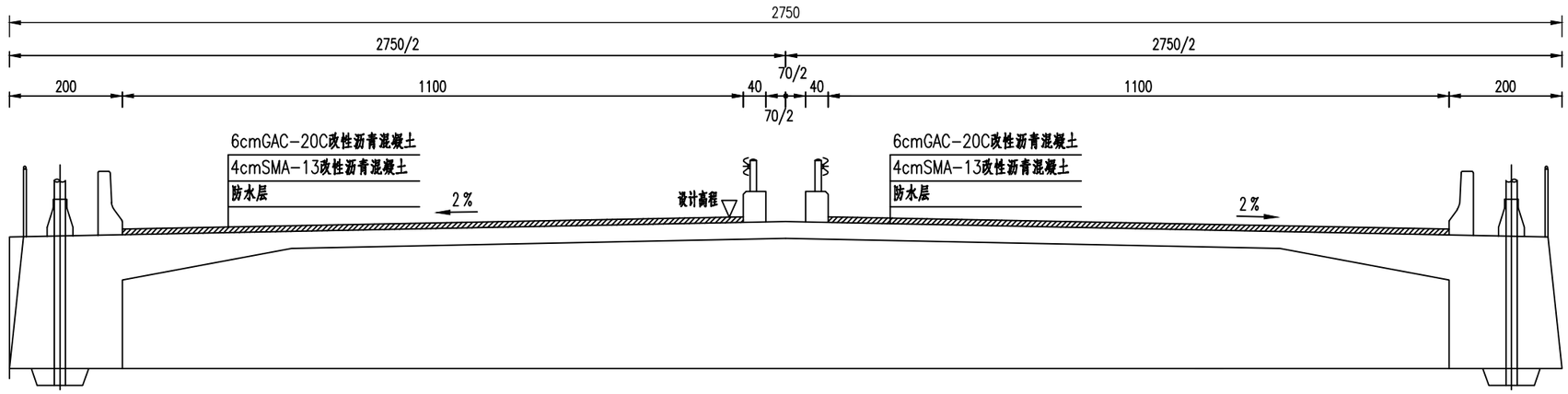
1.图中尺寸除高程、桩号以米计外，其余均以厘米为单位。
2.主桥桥跨为43+147+386+147+43m，主桥总桥宽为27.1m，其中单侧行车道宽度为11m。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨亚	审定	杨仪	图号	S4-3-1-2

主塔立面



主桥主梁桥面铺装



安全韧性提升方案:

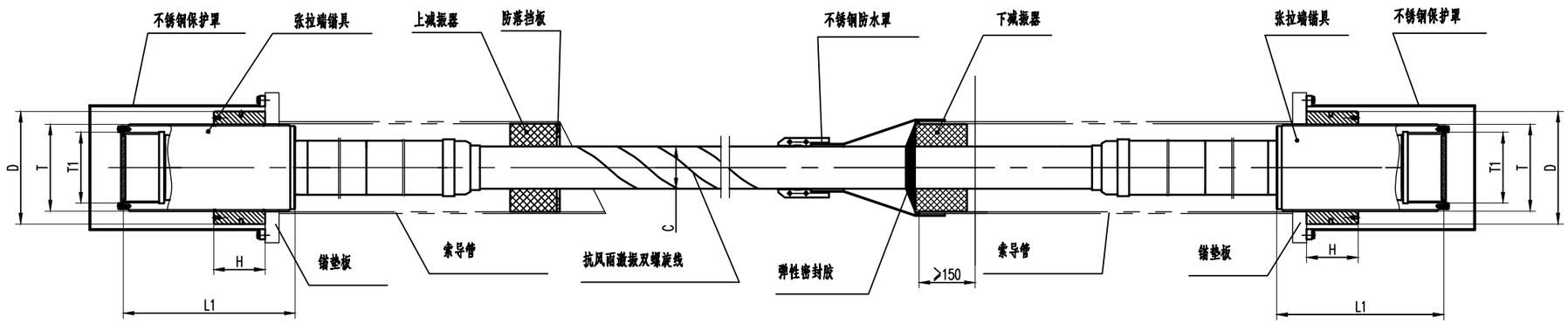
1、更换全桥拉索。
2、桥面垂直高度15m范围内，对拉索进行外包防火套处理。
3、裂缝及混凝土表观病害处治。
4、更换铺装为：8cm混凝土+5cm SMA-13改性沥青混凝土。

注：

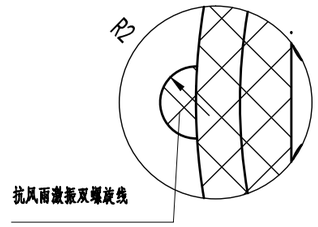
1.图中尺寸除高程、桩号以米计外，其余均以厘米为单位。
2.主桥桥跨为43+147+386+147+43m，主桥总桥宽为27.1m，其中单侧行车道宽度为11m。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	设计	李新龙	复核	吴美西	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-2

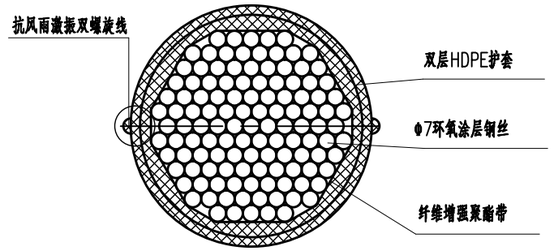
斜拉索构造示意



A大样



拉索断面构造示意



拉索主要参数表

拉索规格	T	T1	L1	D	H	C	钢丝面积	斜拉索钢丝单位重	张拉端锚具	固定端锚具	对应斜拉索编号	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	(cm^2)	(kg/m)	(套)	(套)	边跨	中跨
PES(C)7-91	Tr210x10	Tr155x8	410	Φ275	110	Φ97	35.02	27.5	32	32	A1~A4	J1~J4
PES(C)7-109	Tr225x10	Tr165x10	430	Φ305	110	Φ104	41.95	32.9	40	40	A5~A9	J5~J9
PES(C)7-139	Tr250x12	Tr180x12	460	Φ325	135	Φ117	53.49	42.0	72	72	A10~A18	J10~J18
PES(C)7-151	Tr265x12	Tr190x12	480	Φ340	135	Φ120	58.11	45.6	48	48	A19~A23、A25	J19~J23、J25
PES(C)7-187	Tr285x12	Tr205x12	520	Φ380	155	Φ131	71.97	56.5	44	44	A24、A26~A28	J24、J26~J31
PES(C)7-211	Tr310x14	Tr220x14	555	Φ405	180	Φ139	81.20	63.7	12	12	A29~A31	

技术要求

1、本图尺寸均以毫米计；

2、拉索钢丝采用环氧涂层钢丝。钢丝强度等级1860MPa，满足GB/T 25835-2010《缆索用环氧涂层钢丝》的相关要求；松弛率≤4.5%(0.7 σb，1000h,20℃)；

3、拉索索体采用双层PE护套，拉索性能满足JT/T 775-2016《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》和GB/T 18365-2018《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》标准要求；拉索索体表面设置抗风雨激振双螺旋线,螺旋线螺距为8倍索径±50mm，高度约2mm；

4、锚具为冷铸锚具，锚杯材料采用:42CrMo，螺母材料采用:40Cr，锚具表面采用粉末渗锌+封闭漆防腐工艺，总厚度80~120 μm；

5、内置减振器及不锈钢防水罩采用厂家定型产品；

6、斜拉索张拉到位后，两端锚头均应设置不锈钢保护罩(材质：022Cr17Ni12Mo2)，梁端保护罩采用可视化锚具保护罩(可视化采用设置可视化树脂实现)，保护罩内锚头表面均匀涂抹油性蜡，油性蜡性能指标满足GB/T 30826-2014《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》中6.1.1.6中表2的要求；在桥梁使用过程中应定期对锚具进行复查、补涂，防止锚具锈蚀；

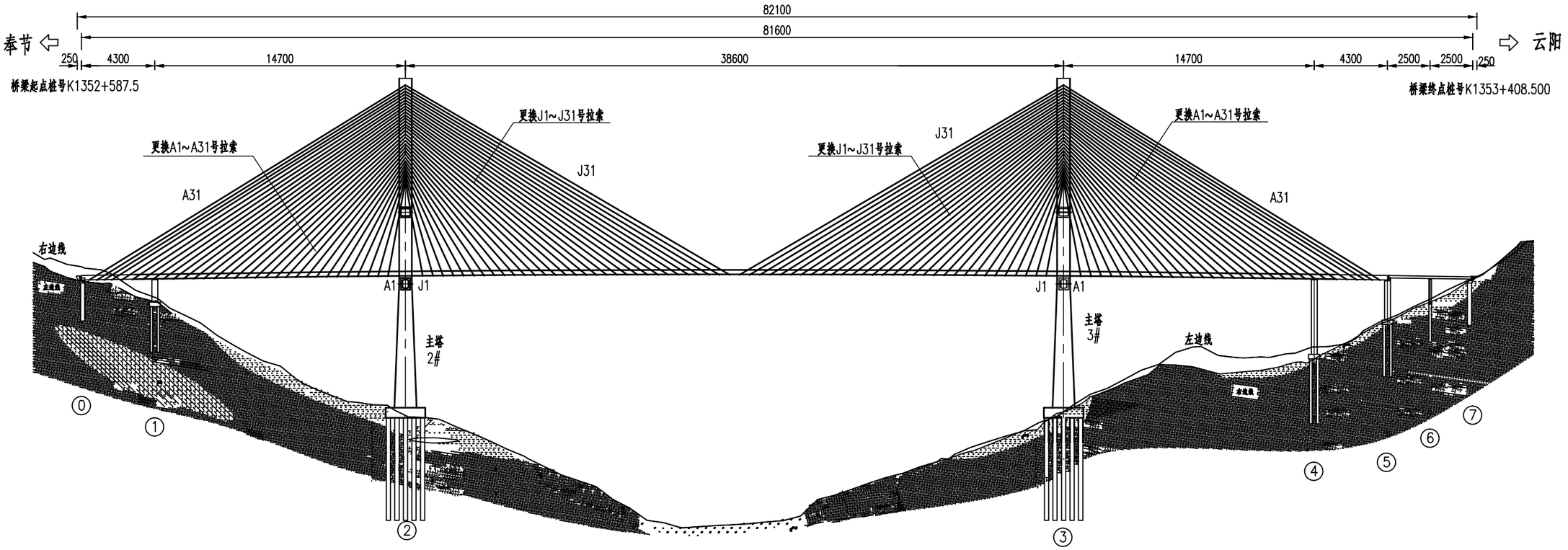
7、下减振器安装后需在上端面覆盖弹性密封胶，将索体与索导管口的间隙完全封堵，与防水罩一起在管口形成双重密封措施；

8、挂索施工完成后，拉索锚具外露表面须作等同桥梁钢结构防腐要求的二次防腐，由施工方自行负责。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索更换构造图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-3

立面

桥梁中心桩号K1352+998



注：

1.图中尺寸除高程、桩号以米计外，其余均以厘米为单位。

2.斜拉索编号：中斜拉索为J1~J31，边跨斜拉索为A1~A31。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索编号示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-4

2号塔单侧斜拉索工程数量表

斜拉索编号	斜拉索规格	斜拉索无应力下料长度（m）	斜拉索钢丝单位重（Kg/m）	单根斜拉索钢丝重（Kg）	斜拉索锚具型号	锚具数量（套）
A1	PES(C)7-91	45.364	27.5	1247.5	PES7-91	2
A2	PES(C)7-91	52.561	27.5	1445.4	PES7-91	2
A3	PES(C)7-91	58.085	27.5	1597.3	PES7-91	2
A4	PES(C)7-91	63.223	27.5	1738.6	PES7-91	2
A5	PES(C)7-109	68.368	32.9	2249.3	PES7-109	2
A6	PES(C)7-109	73.521	32.9	2418.8	PES7-109	2
A7	PES(C)7-109	78.775	32.9	2591.7	PES7-109	2
A8	PES(C)7-109	84.125	32.9	2767.7	PES7-109	2
A9	PES(C)7-109	89.564	32.9	2946.7	PES7-109	2
A10	PES(C)7-139	95.199	42.0	3998.4	PES7-139	2
A11	PES(C)7-139	100.817	42.0	4234.3	PES7-139	2
A12	PES(C)7-139	106.509	42.0	4473.4	PES7-139	2
A13	PES(C)7-139	112.257	42.0	4714.8	PES7-139	2
A14	PES(C)7-139	118.061	42.0	4958.6	PES7-139	2
A15	PES(C)7-139	123.916	42.0	5204.5	PES7-139	2
A16	PES(C)7-139	129.814	42.0	5452.2	PES7-139	2
A17	PES(C)7-139	135.746	42.0	5701.3	PES7-139	2
A18	PES(C)7-139	141.562	42.0	5945.6	PES7-139	2
A19	PES(C)7-151	147.474	45.6	6724.8	PES7-151	2
A20	PES(C)7-151	153.361	45.6	6993.3	PES7-151	2
A21	PES(C)7-151	159.268	45.6	7262.6	PES7-151	2
A22	PES(C)7-151	165.189	45.6	7532.6	PES7-151	2
A23	PES(C)7-151	171.124	45.6	7803.3	PES7-151	2
A24	PES(C)7-187	177.232	56.5	10013.6	PES7-187	2
A25	PES(C)7-151	183.057	45.6	8347.4	PES7-151	2
A26	PES(C)7-187	189.204	56.5	10690.0	PES7-187	2
A27	PES(C)7-187	195.217	56.5	11029.8	PES7-187	2
A28	PES(C)7-187	201.24	56.5	11370.1	PES7-187	2
A29	PES(C)7-211	206.096	63.7	13128.3	PES7-211	2
A30	PES(C)7-211	210.845	63.7	13430.8	PES7-211	2
A31	PES(C)7-211	215.595	63.7	13733.4	PES7-211	2

注：

1、本表格同样适用于3#塔的拉索。

2号塔单侧斜拉索工程数量表

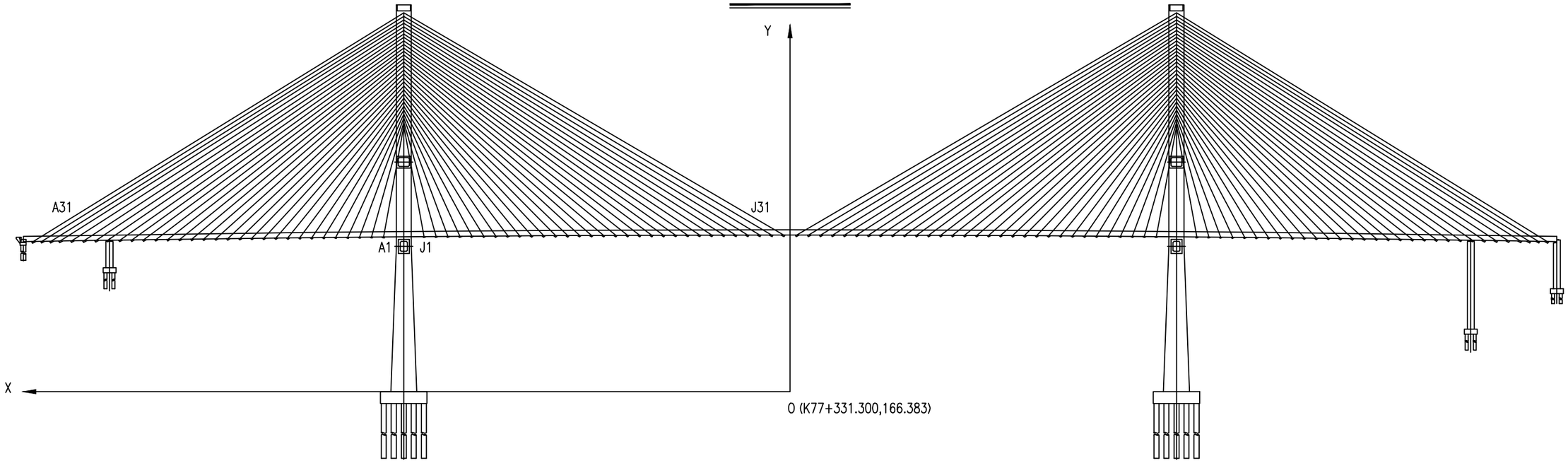
斜拉索编号	斜拉索规格	斜拉索无应力下料长度（m）	斜拉索钢丝单位重（Kg/m）	单根斜拉索钢丝重（Kg）	斜拉索锚具型号	张拉端锚具数量（套）
J1	PES(C)7-91	45.223	27.5	1243.6	PES7-91	2
J2	PES(C)7-91	52.323	27.5	1438.9	PES7-91	2
J3	PES(C)7-91	57.755	27.5	1588.3	PES7-91	2
J4	PES(C)7-91	62.806	27.5	1727.2	PES7-91	2
J5	PES(C)7-109	67.871	32.9	2233.0	PES7-109	2
J6	PES(C)7-109	72.951	32.9	2400.1	PES7-109	2
J7	PES(C)7-109	78.135	32.9	2570.6	PES7-109	2
J8	PES(C)7-109	83.42	32.9	2744.5	PES7-109	2
J9	PES(C)7-109	88.798	32.9	2921.5	PES7-109	2
J10	PES(C)7-139	94.374	42.0	3963.7	PES7-139	2
J11	PES(C)7-139	99.936	42.0	4197.3	PES7-139	2
J12	PES(C)7-139	105.575	42.0	4434.2	PES7-139	2
J13	PES(C)7-139	111.272	42.0	4673.4	PES7-139	2
J14	PES(C)7-139	117.025	42.0	4915.1	PES7-139	2
J15	PES(C)7-139	122.831	42.0	5158.9	PES7-139	2
J16	PES(C)7-139	128.681	42.0	5404.6	PES7-139	2
J17	PES(C)7-139	134.564	42.0	5651.7	PES7-139	2
J18	PES(C)7-139	140.333	42.0	5894.0	PES7-139	2
J19	PES(C)7-151	146.197	45.6	6666.6	PES7-151	2
J20	PES(C)7-151	152.037	45.6	6932.9	PES7-151	2
J21	PES(C)7-151	157.897	45.6	7200.1	PES7-151	2
J22	PES(C)7-151	163.78	45.6	7468.4	PES7-151	2
J23	PES(C)7-151	169.691	45.6	7737.9	PES7-151	2
J24	PES(C)7-187	175.764	56.5	9930.7	PES7-187	2
J25	PES(C)7-151	181.606	45.6	8281.2	PES7-151	2
J26	PES(C)7-187	187.724	56.5	10606.4	PES7-187	2
J27	PES(C)7-187	193.699	56.5	10944.0	PES7-187	2
J28	PES(C)7-187	199.695	56.5	11282.8	PES7-187	2
J29	PES(C)7-187	205.7	56.5	11622.1	PES7-187	2
J30	PES(C)7-187	211.703	56.5	11961.2	PES7-187	2
J31	PES(C)7-187	217.731	56.5	12301.8	PES7-187	2

注：

1、本表格同样适用于3#塔的拉索。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索长度、重量表	设计	李新龙	复核	吴昊雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-5

坐标系统示意



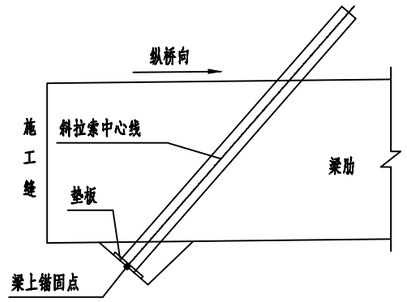
梁上锚固点坐标表

斜拉索编号	梁上锚固点坐标		斜拉索编号	梁上锚固点坐标		斜拉索编号	梁上锚固点坐标		斜拉索编号	梁上锚固点坐标	
	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)
A1	203.200	76.809	A17	299.200	75.712	J1	182.800	76.988	J17	86.800	77.576
A2	209.200	76.752	A18	305.200	75.630	J2	176.800	77.037	J18	80.800	77.599
A3	215.200	76.695	A19	311.200	75.546	J3	170.800	77.084	J19	74.800	77.620
A4	221.200	76.635	A20	317.200	75.460	J4	164.800	77.130	J20	68.800	77.640
A5	227.200	76.574	A21	323.200	75.373	J5	158.800	77.174	J21	62.800	77.658
A6	233.200	76.511	A22	329.200	75.284	J6	152.800	77.217	J22	56.800	77.674
A7	239.200	76.447	A23	335.200	75.193	J7	146.800	77.257	J23	50.800	77.689
A8	245.200	76.381	A24	341.200	75.101	J8	140.800	77.297	J24	44.800	77.702
A9	251.200	76.313	A25	347.200	75.007	J9	134.800	77.334	J25	38.800	77.713
A10	257.200	76.244	A26	353.200	74.911	J10	128.800	77.370	J26	32.800	77.723
A11	263.200	76.173	A27	359.200	74.815	J11	122.800	77.404	J27	26.800	77.731
A12	269.200	76.100	A28	365.200	74.719	J12	116.800	77.437	J28	20.800	77.737
A13	275.200	76.026	A29	369.700	74.647	J13	110.800	77.468	J29	14.800	77.742
A14	281.200	75.950	A30	374.200	74.575	J14	104.800	77.498	J30	8.800	77.745
A15	287.200	75.872	A31	378.700	74.503	J15	98.800	77.525	J31	2.800	77.747
A16	293.200	75.793				J16	92.800	77.551			

施工阶段张拉端索力

斜拉索编号	张拉索力(kN)	斜拉索编号	张拉索力(kN)	斜拉索编号	张拉索力(kN)	斜拉索编号	张拉索力(kN)
A1	2150	A17	2950	J1	2150	J17	2950
A2	2150	A18	3000	J2	2150	J18	3000
A3	2100	A19	3050	J3	2100	J19	3050
A4	2050	A20	3100	J4	2050	J20	3100
A5	2075	A21	3200	J5	2075	J21	3200
A6	2100	A22	3350	J6	2100	J22	3300
A7	2125	A23	3600	J7	2125	J23	3450
A8	2225	A24	4200	J8	2225	J24	3800
A9	2375	A25	3750	J9	2375	J25	3400
A10	2450	A26	3900	J10	2450	J26	3550
A11	2550	A27	3950	J11	2550	J27	3700
A12	2600	A28	4000	J12	2600	J28	3850
A13	2700	A29	4100	J13	2700	J29	3950
A14	2775	A30	4200	J14	2775	J30	4100
A15	2825	A31	4300	J15	2825	J31	4150
A16	2875			J16	2875		

梁上锚固点示意 (1:100)

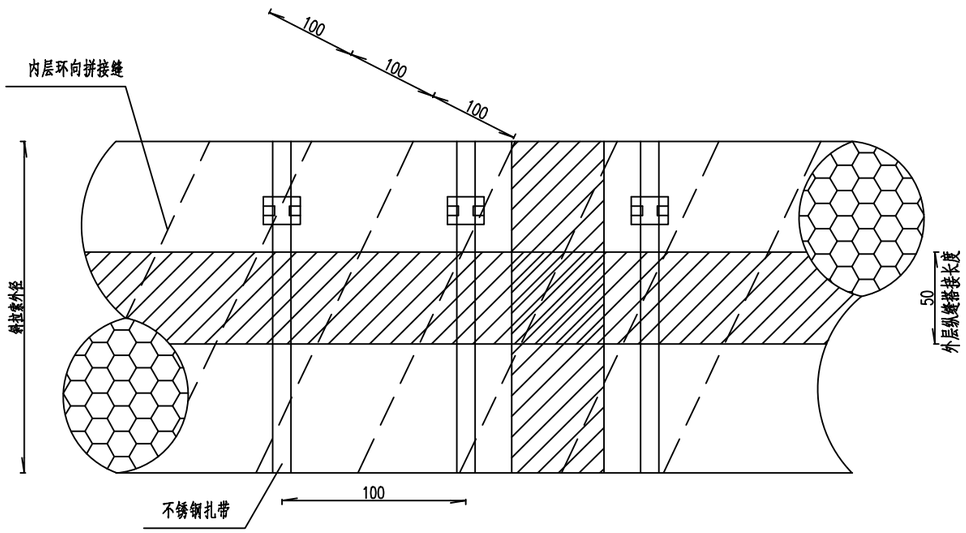


注：

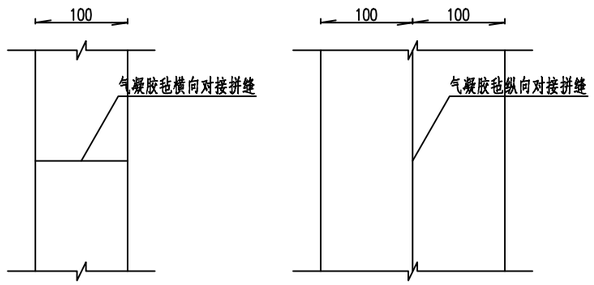
1、本图所示张拉索力均为施工阶段拉索张拉端最后一次张拉的张拉索力。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索索力表	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨俊	图号	S4-3-1-6

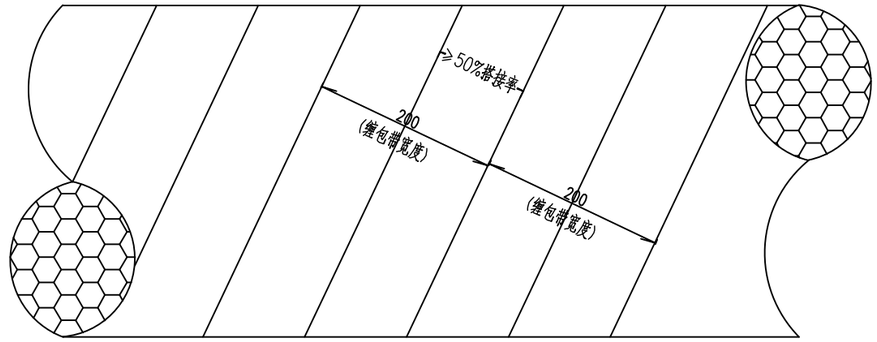
斜拉索高硅氧气凝胶毡包裹大样



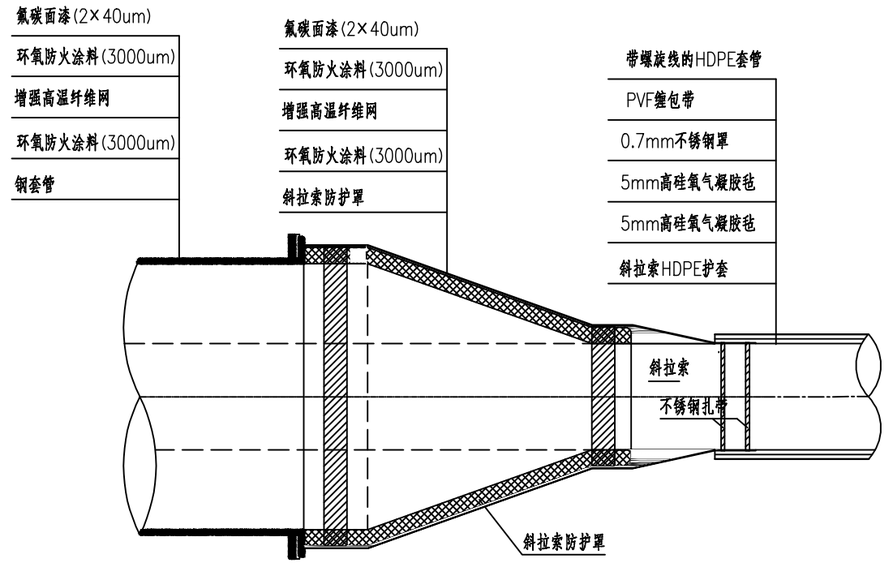
斜拉索内层高硅氧气凝胶毡拼接缝大样



斜拉索PVF缠包带包裹大样



斜拉索梁端锚固耐火方案



防护材料数量表

位置	防护材料	道数	厚度	全桥数量(m^2)
桥面以上0-防护罩区域主缆	环氧防火涂料	2	3000um	694.2
	增强高温纤维网	1	/	347.1
	氟碳面漆	2	40um	694.2
防护罩以上区域主缆	5mm高硅氧铝硅气凝胶毡	2	/	3833.1
	0.7mm不锈钢	1	/	1916.5
	PVF缠包带	1	/	1916.5
	带螺旋线的HDPE套管	1	/	1916.5

注：

1、本图尺寸除注明外，均以 mm 为单位。

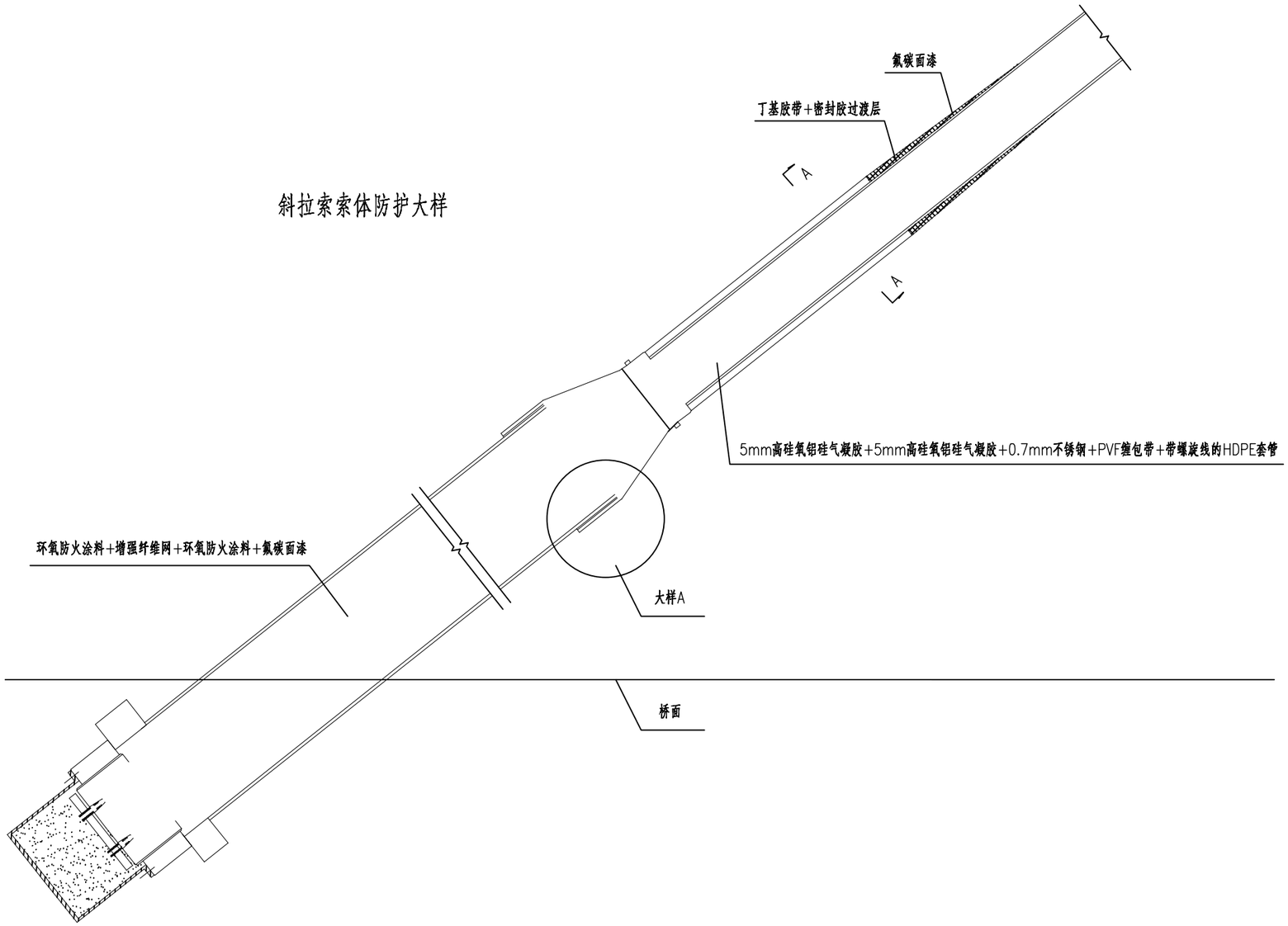
2、斜拉索高硅氧气凝胶毡施工完毕后，外套0.7mm不锈钢罩，并立即进行缠包带的施工，按叠合 > 50%搭接率进行缠包，将不锈钢罩完全包裹覆盖，PVF 缠包带表面应平整、干净，无杂物、灰尘和其他污染物，无破洞等缺陷。

3、斜拉索缠包方向为从低往高。为保持拉索外观一致性，最外层缠包带应完全覆盖缠绕的气凝胶毡，并在施工完毕后进行外观检查。确保整个拉索表面具有平整光滑的外观质量。

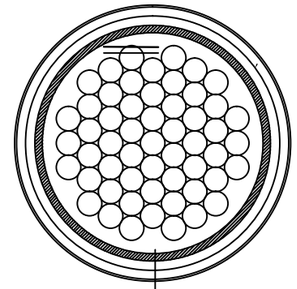
4、防火段与非防火段应设过渡段，过渡段先采用丁基胶带按>50%层叠比例进行螺旋缠绕过渡，过渡段缠绕长度为沿着不锈钢顶部端面上下各50cm，丁基胶带外表面均匀刮涂密封胶，密封胶表面刷涂氟碳面漆，以达到美观和增强防水的目的。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索防火能力提升设计构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-7

斜拉索索体防护大样

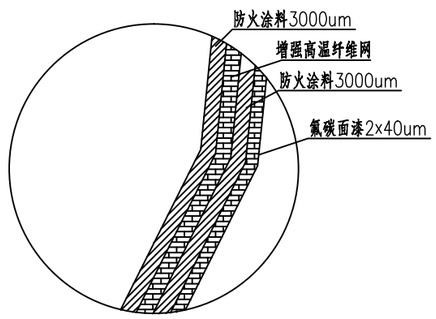


A–A



斜拉索
斜拉索HDPE护套
5mm高硅氧铝硅气凝胶
5mm高硅氧铝硅气凝胶
0.7mm不锈钢
PVF缠包带
带螺旋线的HDPE套管

大样A



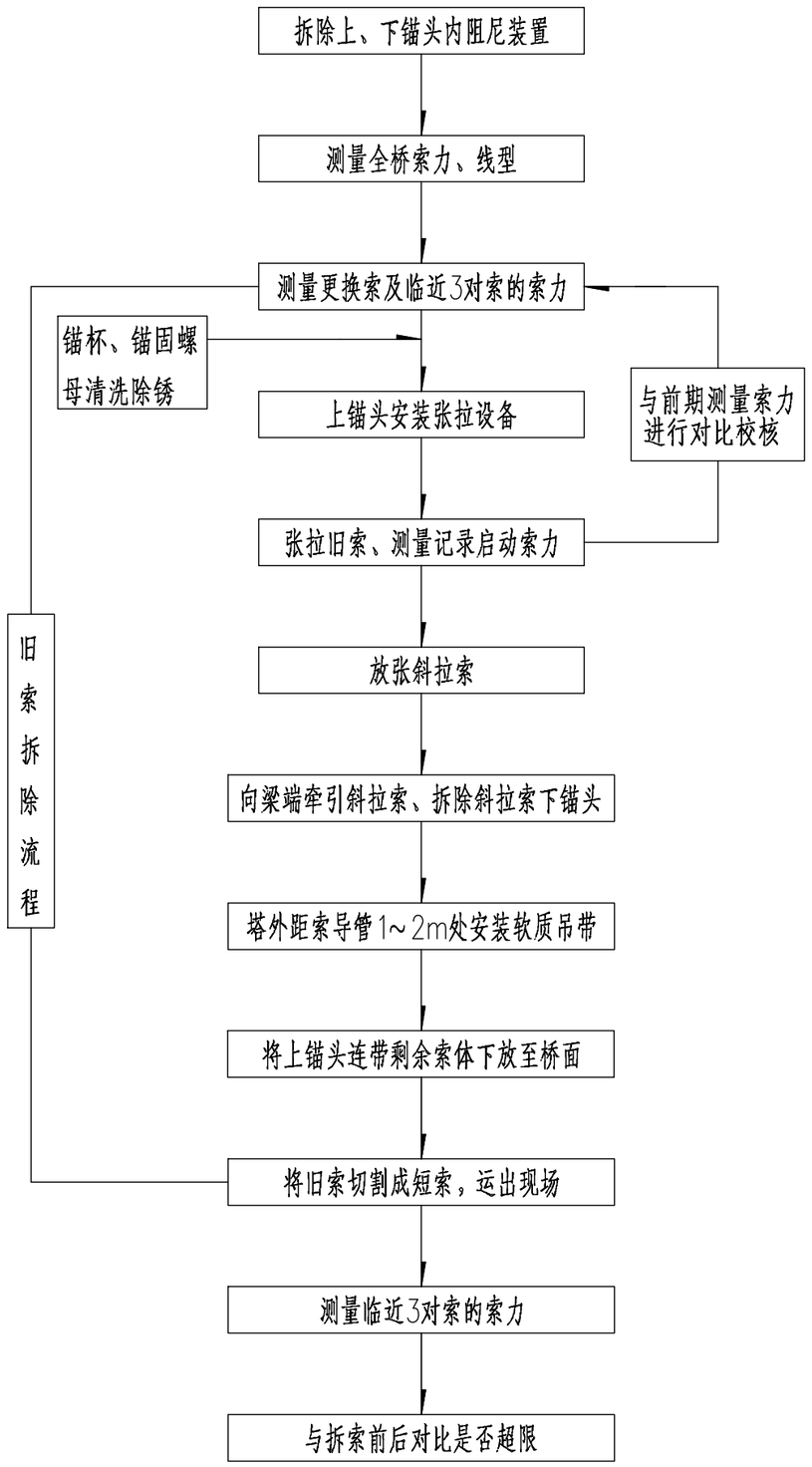
注：1、本图尺寸除注明外，均以 mm 为单位。

2、本桥采用双层缠绕式高硅氧气凝胶毡进行防护，t = 5mm + 5mm。

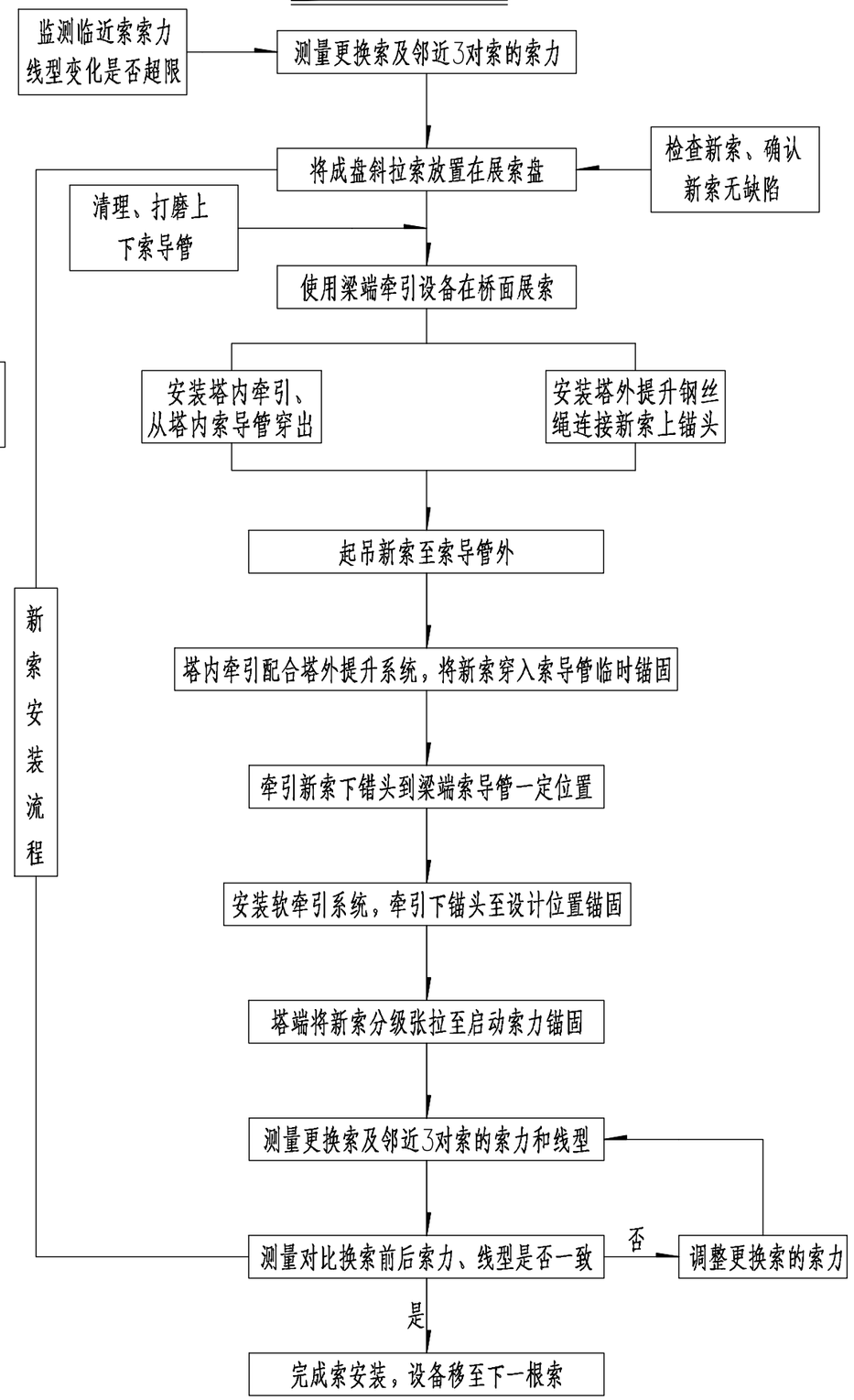
3、高硅氧气凝胶毡采用螺旋缠绕式施工，环向、纵向均采取对接方式，材料经加工覆布背胶，可以紧实的贴合在斜拉索表面。施工应控制气凝胶毡对接缝的宽度，缝宽不大于 1mm，拼缝间隙采用防火涂料填平。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索防火能力提升设计构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-7

一根旧索拆除流程图



一根新索安装流程图



注：

1.图中一对索指同一里程线处上下游两根索。

2.旧常张拉之后,放张之前应测量该索准确的成桥索力值，如发现旧索实际成桥索力与前期实测索力相差较大，应及时通知设计单位复核设计。

3.旧索张拉过程按照先长(外)索、后短(内)索，双塔同一侧对称更换拉索，即同时卸载两个桥塔对应相同编号的4根拉索。

4.本次换索的原则是换索后应恢复原结构的内力状态和线型。全桥换索前应通过监测系统记录当前成桥线型和内力，与换索完成后的数据进行对比。

5.旧索放张、新索张拉。索力测量过程中建议封闭全桥交通。

6.部分封闭交通期间汽车吊等较重的施工器械在施工完毕后应全部下桥。

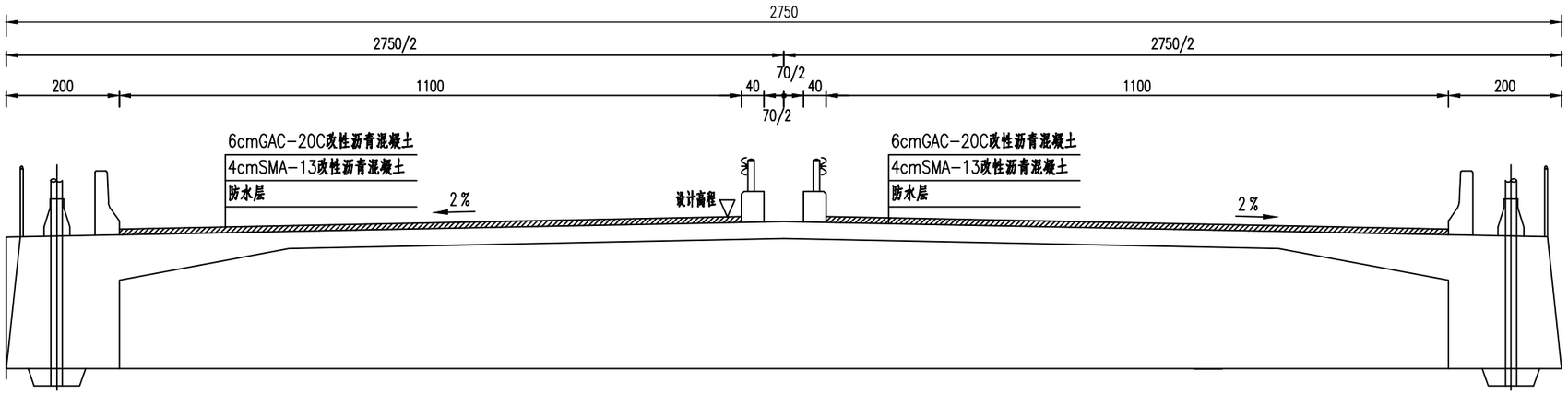
7.旧索的拆除和新索的安装应依次进行，即本阶段旧索拆除工作全部完成后方可开始新索安装，禁止交叉进行。

8.待安装新索上桥前应将桥上所有拆除的旧索运出现场，每根新索安装过程中仅该待安装的新索可置于桥上，禁止将其他拉索也放置在桥上。

9.整个换索过程中应全程观测并记录监测系统的数据。如出现异常应立即停止施工。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索更换施工顺序示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-8

主桥主梁桥面铺装



主桥桥面铺装材料数量表

材料	单位	主 桥	合 计
GAC-20C改性沥青混凝土	m^3	1011.1	1011.1
SMA-13改性沥青混凝土	m^2	674.1	674.1
防水层	m^2	16852	16852
拆除原铺装	m^3	1685.2	1685.2

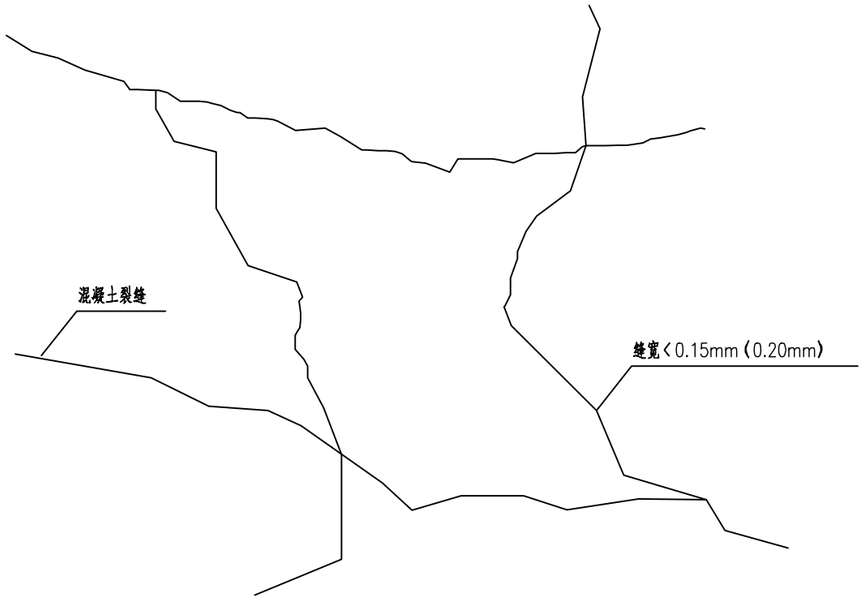
注：

1、本图中除注明以外，其余尺寸均以厘米计。

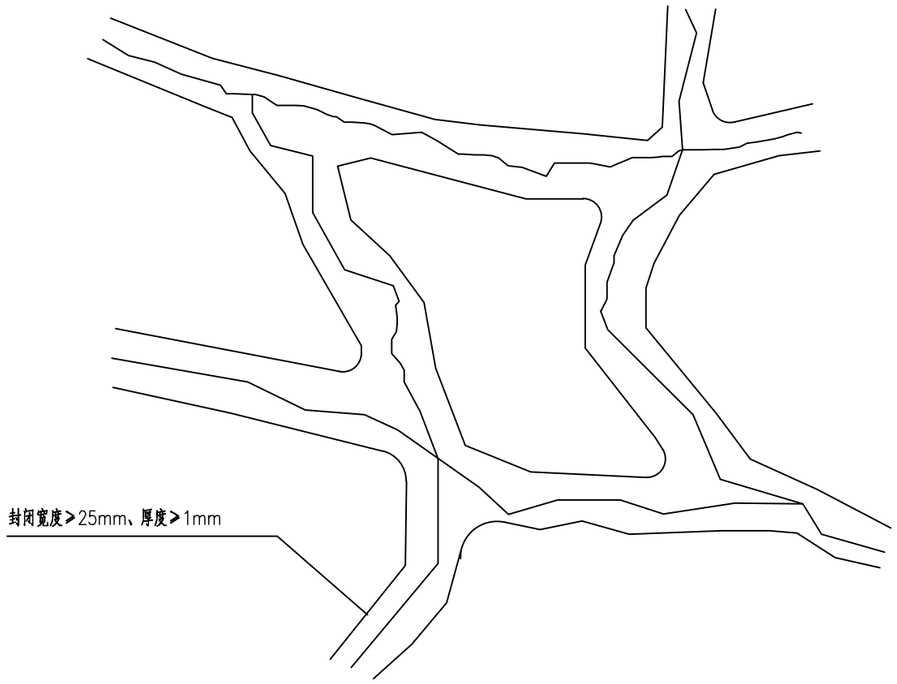
2、图中11m为主桥半幅桥面行车道的宽度。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥面铺装更换构造设计图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-9

裂缝示意图



裂缝封闭示意图



混凝土裂缝封闭工程数量表

病害位置	裂缝封闭（m）
主桥	5460

注：

1.本图适用于对梅溪河特大桥的裂缝进行封闭处治。

2.对宽度<0.15mm的裂缝进行表面封闭处理。

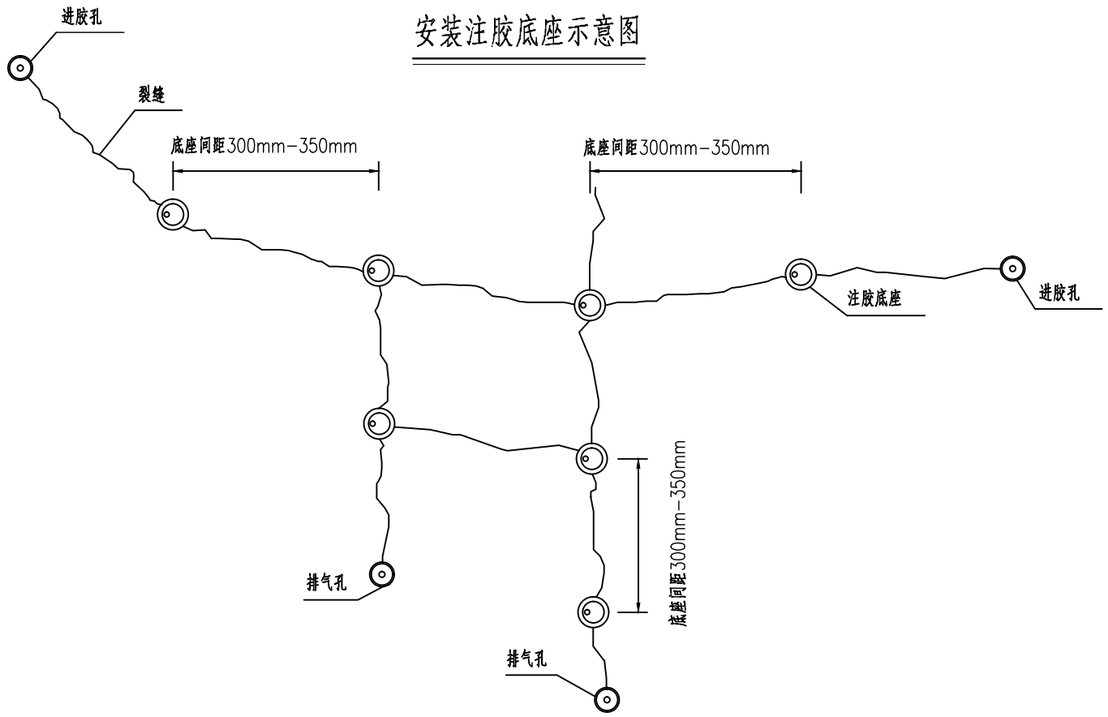
3.裂缝处理前先对裂缝两侧3~5cm范围混凝土表面清理干净，以免影响封闭效果。

4.裂缝表面封闭处理时直接将封闭胶涂刮在裂缝混凝土表面，应做到连续无间断,确保封闭密实。

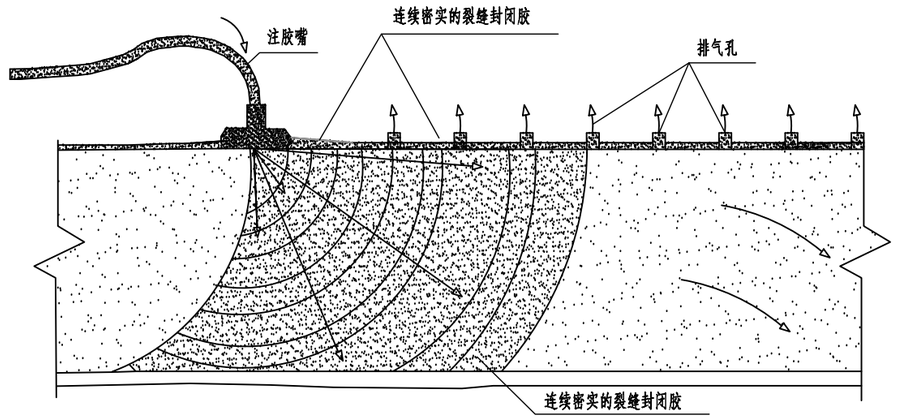
5.本桥裂缝病害根据《梅溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制，裂缝封闭处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-10

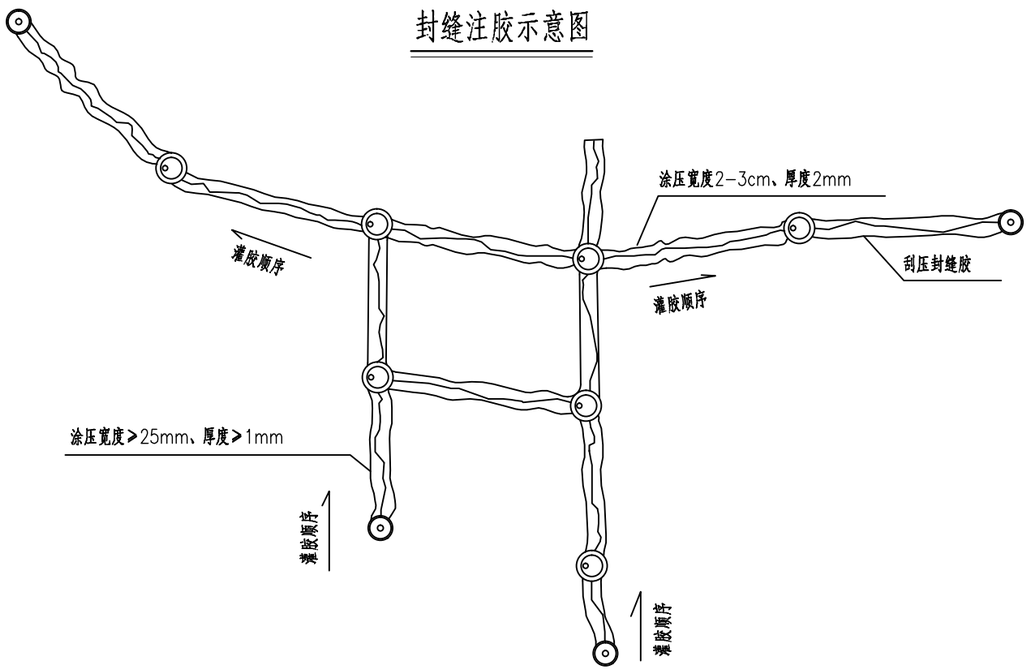
安装注胶底座示意图



压力灌胶示意图



封缝注胶示意图



混凝土裂缝灌胶工程数量表

病害位置	裂缝灌胶（m）
主桥	300.3

注：

1.本图适用于对梅溪河特大桥的裂缝进行封闭处治。

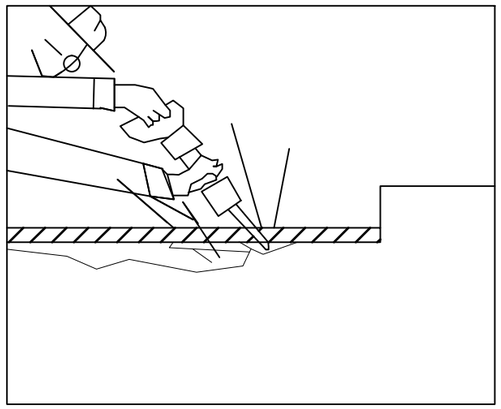
2.对宽度≥0.15mm的裂缝进行压力灌胶修补处理。

3.裂缝处理前先对裂缝两侧3~5cm范围混凝土表面清理干净，以免影响封闭效果。

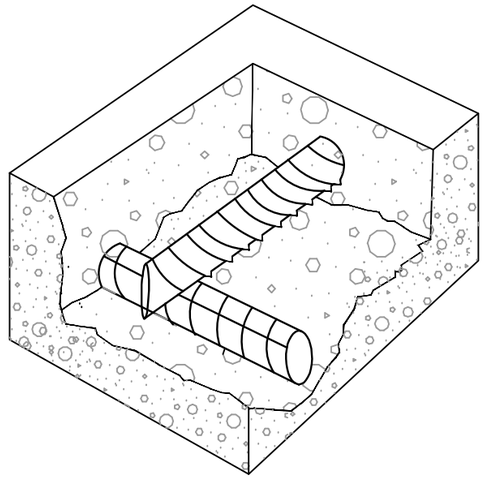
4.本桥裂缝病害根据《梅溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制，裂缝灌胶处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-10

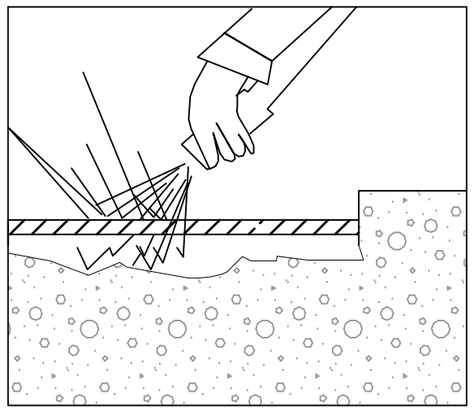
露筋、钢筋锈蚀病害处治图



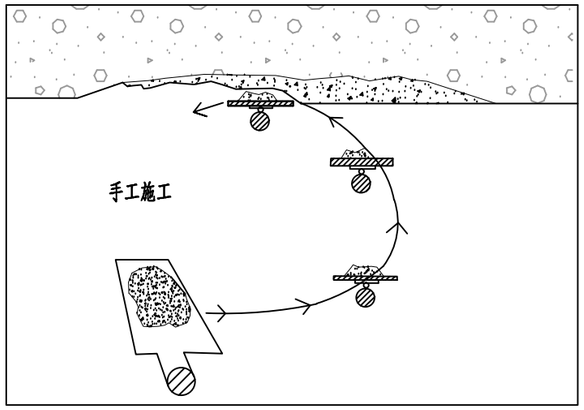
1.人工凿除锈蚀钢筋周围的混凝土



2.将松散不密实的混凝土凿除，直至露出新鲜的混凝土为止。

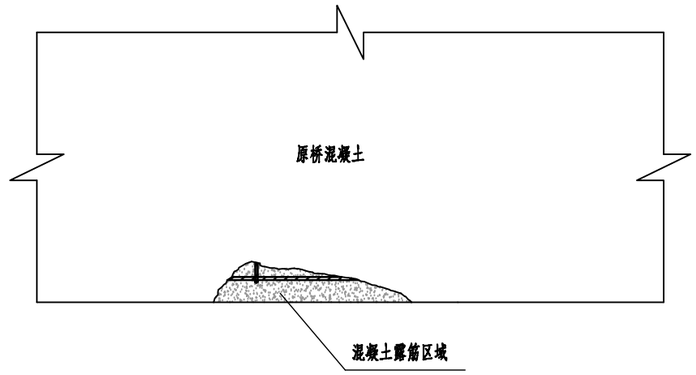


3.高压水清除混凝土表面，进行钢筋除锈、阻锈处理



4.用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补

混凝土露筋示意图



混凝土破损露筋工程数量表

病害位置	凿除混凝土（m^3）	阻锈剂（m^3）	环氧砂浆（m^3）
主桥	54.0	54.0	54.0

注：

1.对梅溪河特大桥的混凝土破损露筋进行除锈、环氧砂浆修补处治。

2.露筋、钢筋锈蚀病害处治流程：

（1）人工凿除松散不密实的混凝土；

（2）高压水清除混凝土表面，用钢丝刷对钢筋除锈；

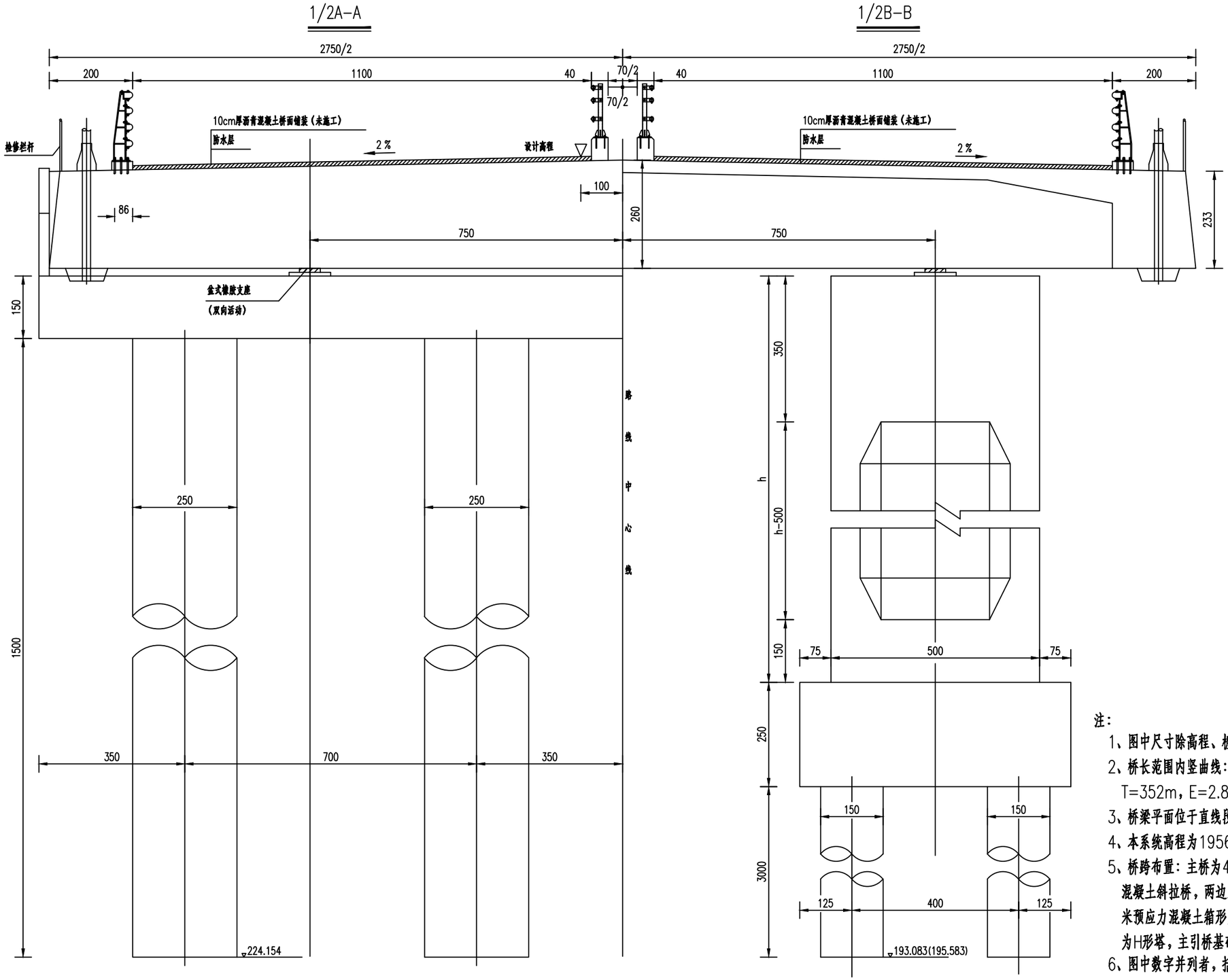
（3）混凝土表面和钢筋干燥后，对钢筋人工用毛刷涂刷一层阻锈剂；

（4）用环氧砂浆填塞凿开区域，然后捣实、抹平。

3.凿除和修补厚度应根据保护层厚度和主筋植筋对凿除深度进行要求，本图暂按5cm计。

4.本桥破损露筋病害《梅溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制绘制，破损露筋处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴昊雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-10



注：

1、图中尺寸除高程、桩号以米计外，其余均以厘米为单位。

2、桥长范围内竖曲线：变坡点桩号为K77+331.300，R=22000m，T=352m，E=2.816m，i1=1.6%，i2=-1.6%。

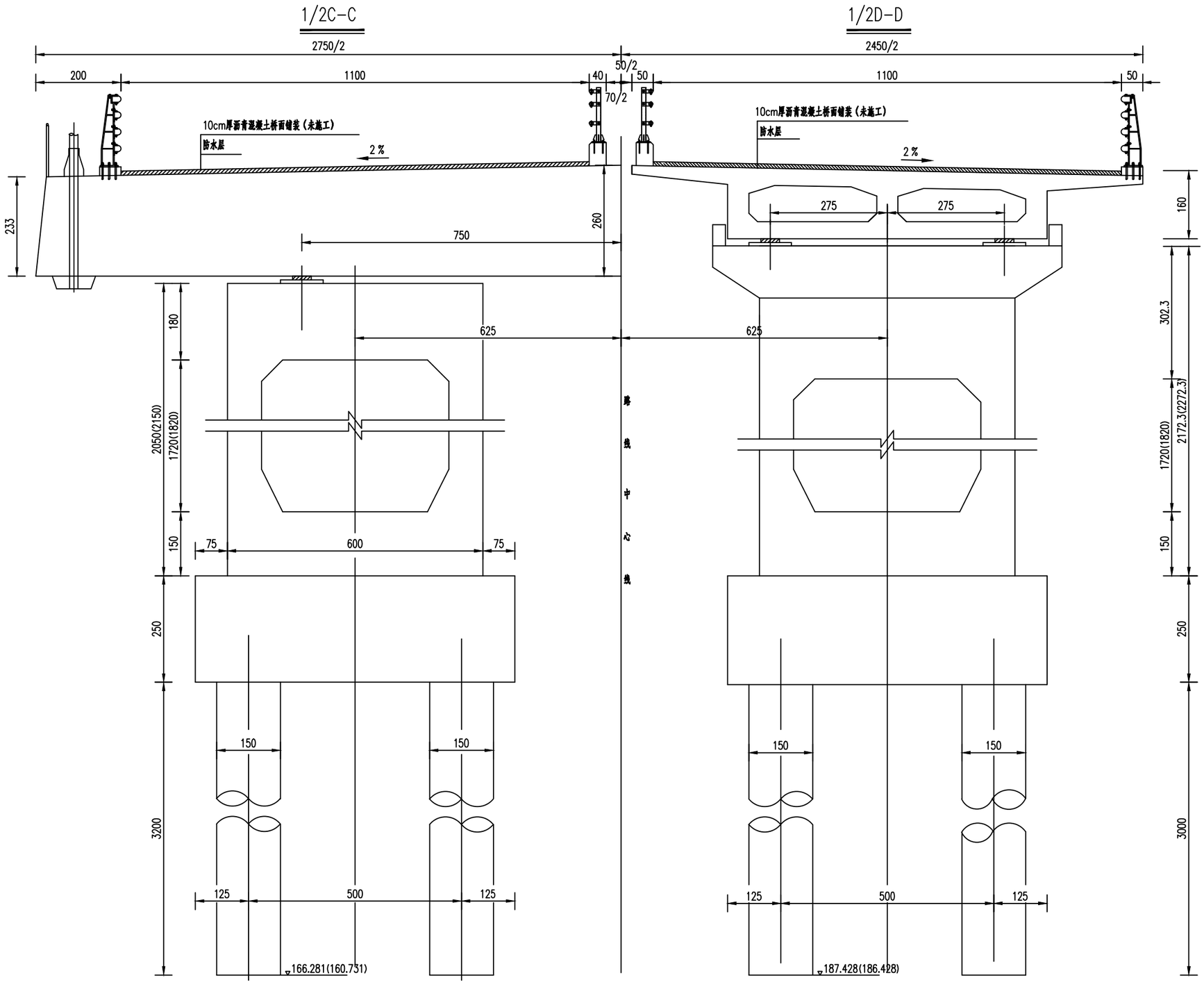
3、桥梁平面位于直线段上。

4、本系统高程为1956年黄海高程系统。

5、桥跨布置：主桥为43+147+386+147+43米双塔双索面预应力混凝土斜拉桥，两边跨各设置一个辅助墩；引桥采用2×25米预应力混凝土箱形梁桥；主梁采用双边肋Π形截面，索塔为H形塔，主引桥基础均采用钻孔灌注桩基础。

6、图中数字并列者，括号内、外分别用于右、左幅桥，其余共用。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥横断面护栏布设示意图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-11



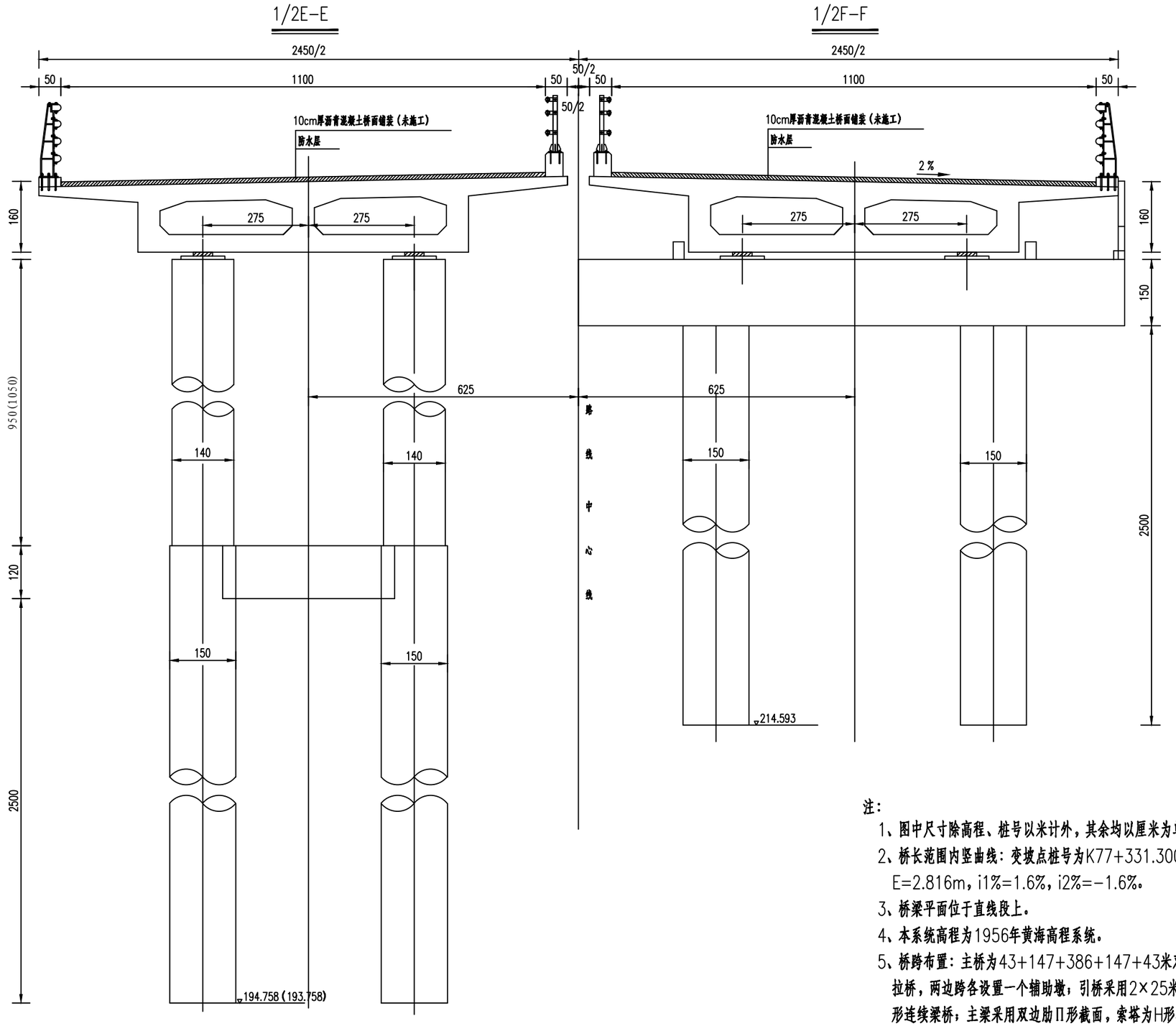
注：

1.图中尺寸除高程以米计外，其余均以厘米为单位。

2、图中数字并列者，括号内、外分别用于右、左幅桥，其余共用。

3、本系统高程为1956年黄海高程系统。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥横断面护栏布设示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-11



注：

1、图中尺寸除高程、桩号以米计外，其余均以厘米为单位。

2、桥长范围内竖曲线：变坡点桩号为K77+331.300，R=22000m，T=352m，E=2.816m，i1%=1.6%，i2%=-1.6%。

3、桥梁平面位于直线段上。

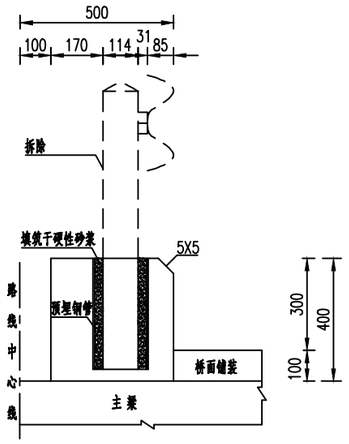
4、本系统高程为1956年黄海高程系统。

5、桥跨布置：主桥为43+147+386+147+43米双塔双索面预应力混凝土斜拉桥，两边跨各设置一个辅助墩；引桥采用2×25米预应力混凝土箱形连续梁桥；主梁采用双边肋Π形截面，索塔为H形塔，主引桥基础均采用钻孔灌注桩基础。

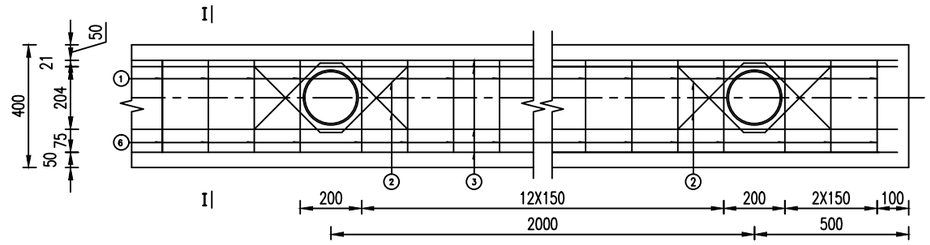
6、图中数字并列者，括号内、外分别用于右、左幅桥，其余共用。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥横断面护栏布设示意图	设计	李新龙	复核	吴美西	审核	王成龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-11

原中央分隔带波形梁护栏侧立面（拆除）



原护栏座钢筋平面布置示意图



注：

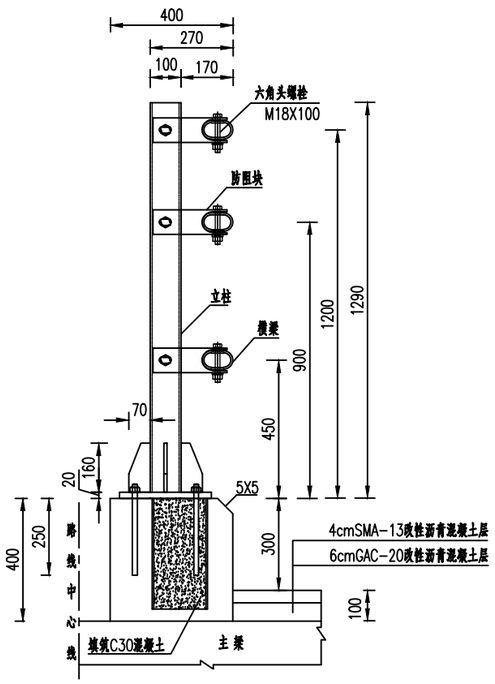
1、本图以毫米为单位。

2、本图适用于桥梁中央分隔带护栏。

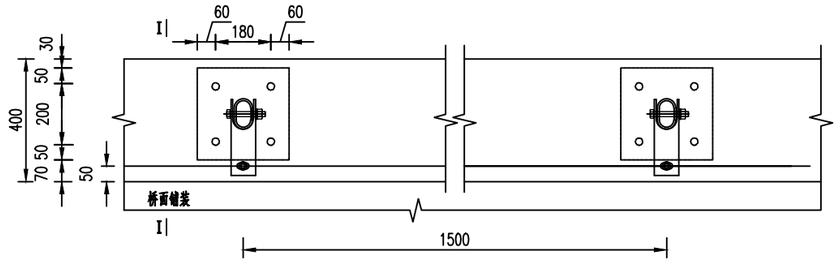
3、拆除中央分隔带原桥梁路段波形梁护栏。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥中央分隔带护栏拆除示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰亚	审定	杨仪	图号	S4-3-1-12

侧立面



护栏基础平面布置示意图



材料数量表(12m长计)

序号	名称	数量	备注	重量
1	立柱	8根	Q355	成套
2	横梁	6根	Q355	
3	内套管	12根	Q355	
4	复合连接器	6个	–	
5	防阻块	24个	Q355	
6	法兰	8个	Q355	
7	加劲肋	32个	Q355	
8	螺栓	72套	8.8级	
9	植筋螺栓	32套	–	
10	填筑C30砼	0.0384m ^{3}		

注:

1、本图均以毫米为单位。

2、本图适用于梅溪河大桥，护栏设计防护等级为SA级。

3、SA级梁柱式钢护栏标准段须过国家交通安全设施质量检验检测中心SA级大型客车、大型货车、小型客车实车碰撞试验验证，提供实车碰撞试验检测报告，报告中包含同一检测结构出具主要构件材料力学性能测试结果。

4、SA级梁柱式钢护栏由横梁、立柱、复合连接器、防阻块、法兰盘、加劲肋、植筋螺栓等构成 。

5、SA级梁柱式钢护栏立柱间距为1.5m，标准横梁长度为5.99m。

6、SA级梁柱式钢护栏横梁、立柱、防阻块、法兰盘、加劲肋均采用Q355钢材,应符合现行《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591）的规定。

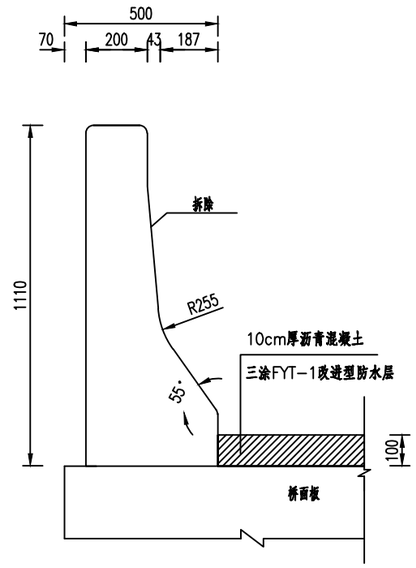
7、各构件均应进行热浸镀锌处理，符合GB/T 18226的要求。

8、SA级梁柱式钢护栏可根据现场情况实际测量放样。

9、图中改性沥青混凝土厚度仅为主桥路段示意，由于实际桥面铺装厚度变化较大，现场应根据实测数据进行调整，保证护栏基础顶面到桥面高度为300mm。引桥路段保留原铺装，仅对原沥青层铣刨2cm后，重铺2cm改性沥青SMA-8超薄罩面。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥中央分隔带SA级梁柱式钢护栏结构示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨亚	审定	杨仪	图号	S4-3-1-13

原路侧混凝土护栏侧立面（拆除）



注：

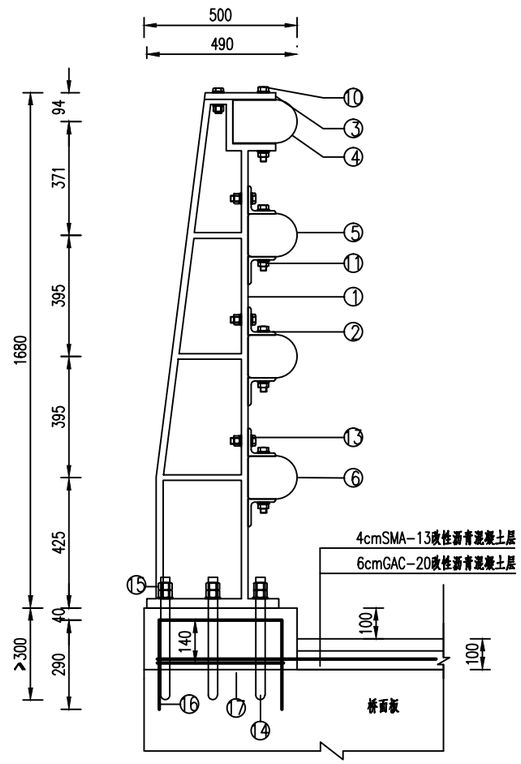
1、本图以毫米为单位。

2、本图适用于桥梁路侧护栏。

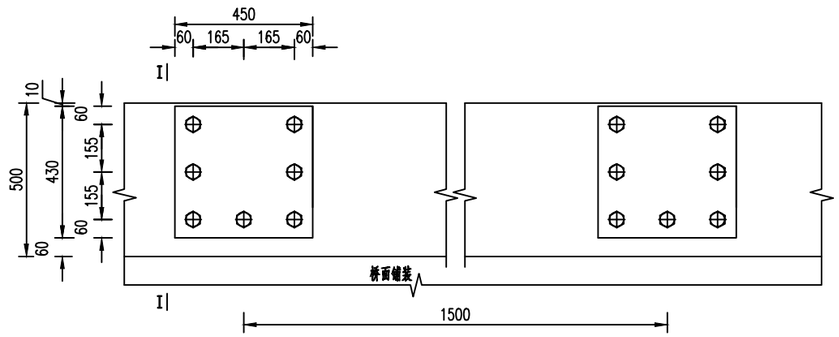
3、拆除路侧原桥梁路段混凝土护栏。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥路侧护栏拆除示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-14

侧立面



护栏基础平面布置示意图



注：

1、本图均以毫米为单位。

2、本图适用于梅溪河大桥路段，护栏设计防护等级为HA级。

3、特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）须具有由中国国家认证认可监督管理委员会颁发资质认定证书的检测检验机构出具的小型客车、特大型客车、40t大型货车和49t以上大型货车的实车碰撞试验，满足《公路护栏安全性能评价标准》（JTG B05-01-2013）相关要求，实车碰撞实验报告中应包含同一检测机构测试的试验段主要构件尺寸及力学性能数据。

4、特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）采用Q355横梁与立柱组合而成，钢结构高强度螺栓连接固定。

5、特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）每6延米设置一根内套管，伸缩缝处一端锚固，一端不固定，起伸缩作用。

6、本图仅为示意，需根据实际测量情况进行适当调整。

7、护栏表面应采用热浸锌处理，防腐层质量符合《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226-2015）。

8、立柱通过预埋或化学植入的M30地脚螺栓进行锚固，锚固深度不低于30cm。

9、本图适用于混凝土桥面板设置特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）。

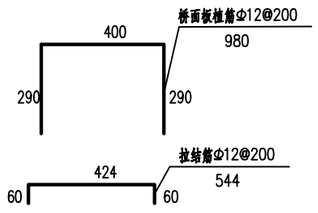
10、图中改性沥青混凝土厚度仅为主桥路段示意，由于实际桥面铺装厚度变化较大，现场应根据实测数据进行调整，现场应根据实测数据进行调整，保证护栏基础顶面到桥面高度为100mm。引桥路段保留原铺装，仅对原沥青层铣刨2cm后，重铺2cm改性沥青SMA-8超薄罩面。

11、现浇层内钢筋延伸至护栏混凝土基础内，与护栏钢筋进行绑扎或焊接。延伸钢筋材料量见主体结构。

6米标准段护栏材料统计表

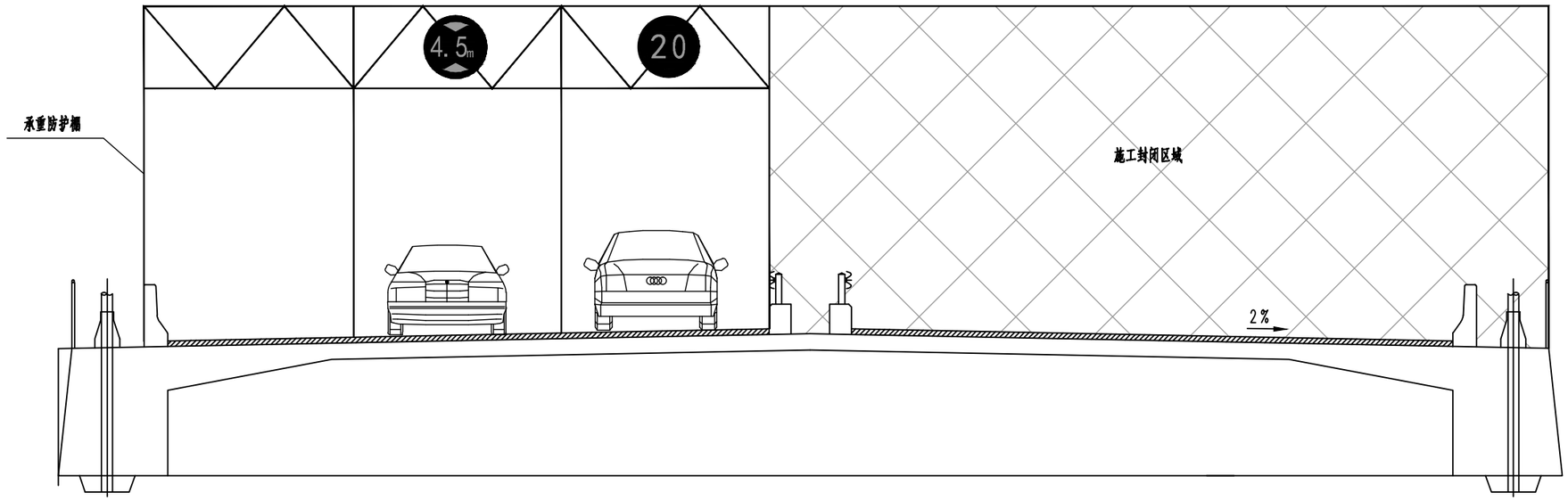
序号	名称	数量	备注
①	立柱	4 个	Q355B
②	连接角钢	12 个	
③	立柱顶部盖板	4 个	
④	上横梁	5.99 米	
⑤	中横梁	5.99 米	
⑥	下横梁	11.98 米	
⑦	上横梁拼接套管	0.6 米	
⑧	中横梁拼接套管	0.6 米	
⑨	下横梁拼接套管	1.2 米	
⑩	连接螺栓	8 套	10.9级
⑪		24 套	
⑫		24 套	
⑬		32 套	
⑭	地脚螺栓	28 套	10.9级
⑮	螺母	56 个	Q235B
⑯	ø12 桥面板植筋	30 根	HRB400
⑰	ø12 拉结筋	30 根	HRB400

钢筋大样图

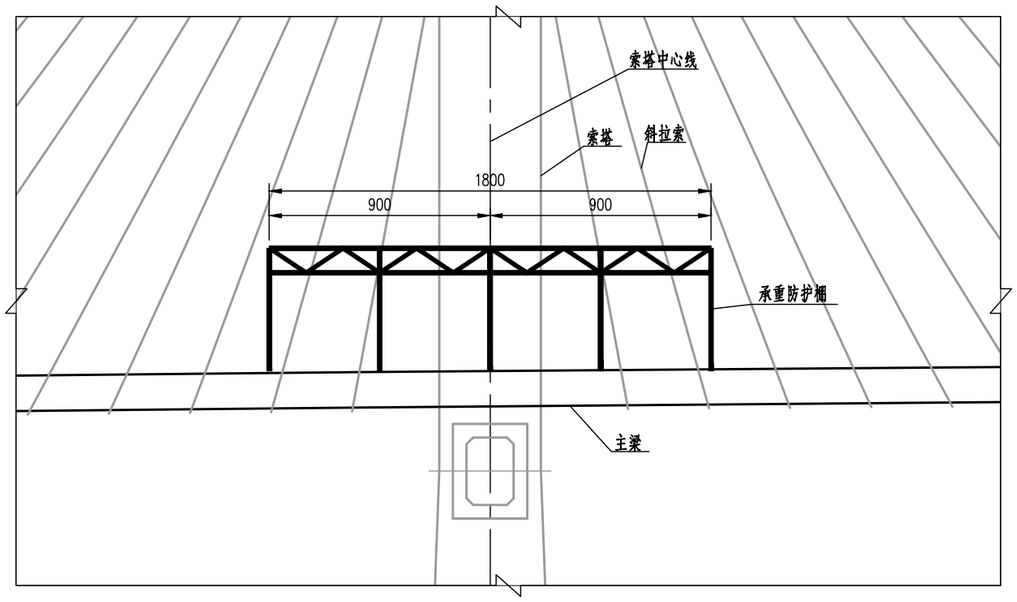


北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	梅溪河特大桥路侧HA级梁柱式护栏结构示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王顺生	审定	杨仪	图号	S4-3-1-15

施工导序示意



承重防护棚纵桥向布置示意



注：

1、本图除注明外，其余均以厘米计。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	施工导序示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-16

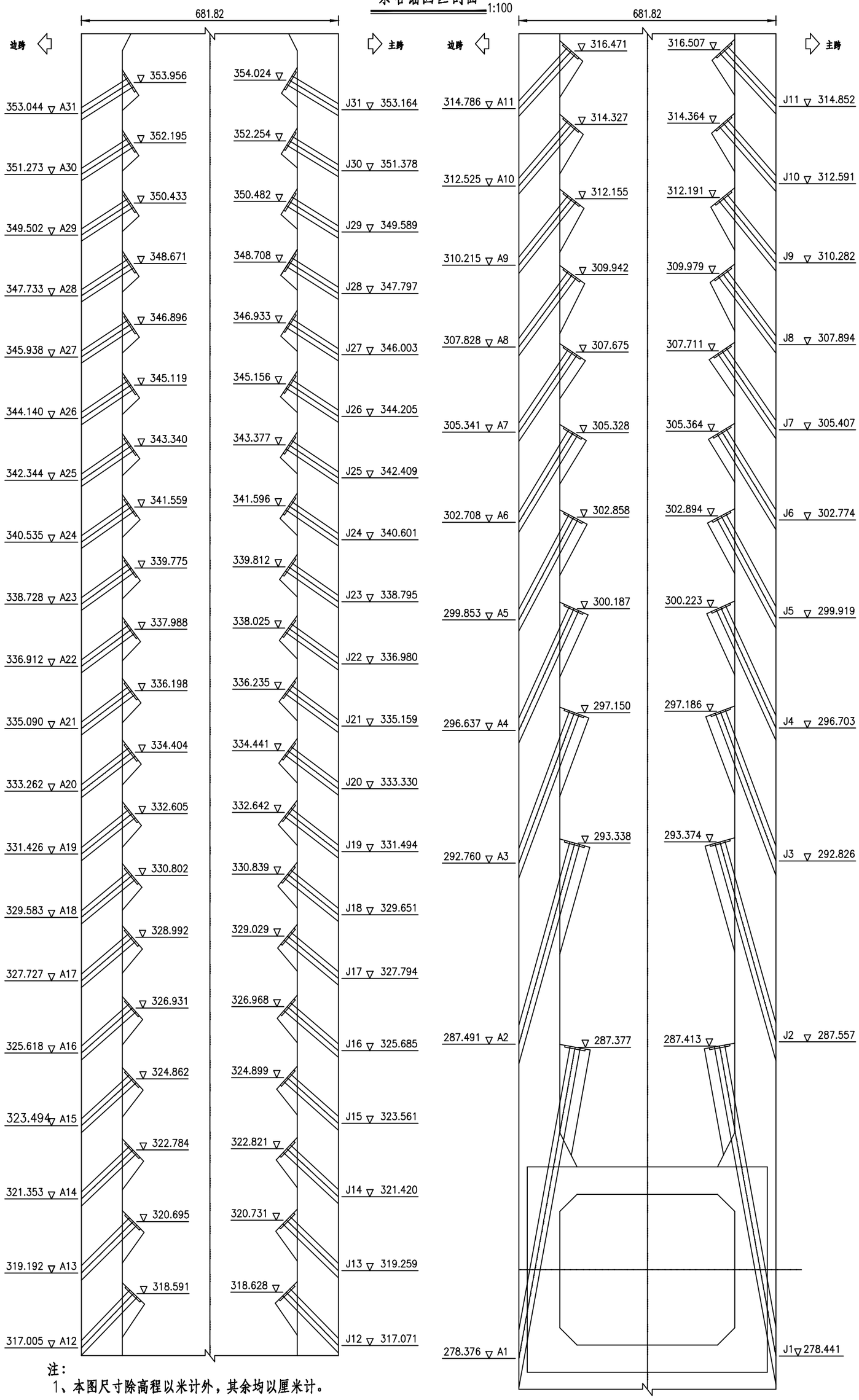
北京交科公路勘察设计研究院有限公司
北京公科固桥技术有限公司

G42沪蓉高速公路奉节至梁平段
安全韧性提升项目两阶段施工图设计

拉索塔端锚块构造图

设计	
复核	
审核	
审定	
图号	S4-3-1-17

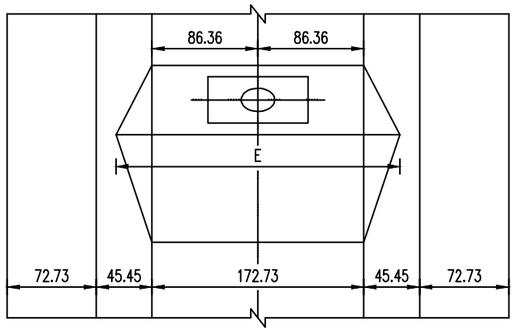
索塔锚固区剖面 1:100



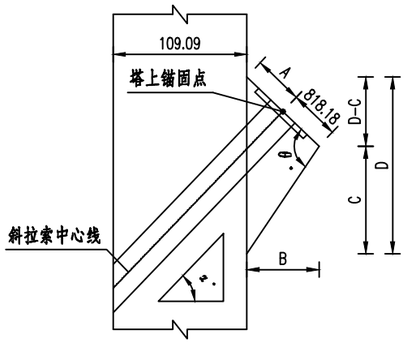
注：

1、本图尺寸除高程以米计外，其余均以厘米计。

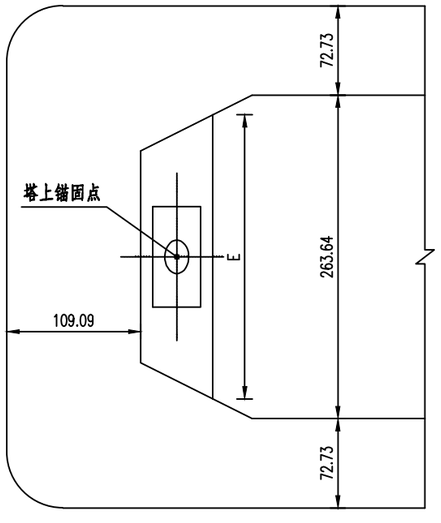
立面 1:50



侧面 1:50



平面 1:50



拉索塔端锚块构造参数表

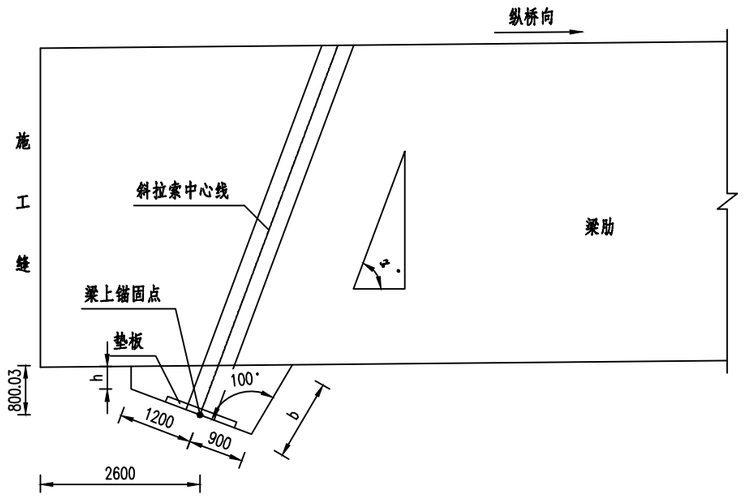
斜拉索编号	角度 α（度）	角度 θ（度）	A值（cm）	B值（cm）	C值（cm）	D值（cm）	E值（cm）
A1	79.6575	90	45.0	88.5	306.5	322.7	278.5
A2	74.3912	90	45.0	86.7	310.2	334.4	276.7
A3	69.7240	90	45.0	84.4	228.5	259.6	274.4
A4	65.6111	90	45.0	81.9	180.7	217.9	271.9
A5	62.0160	90	44.9	79.4	149.5	191.7	269.4
A6	58.8371	90	44.9	76.9	127.2	173.8	266.9
A7	56.0405	90	44.9	74.6	110.7	160.9	264.6
A8	53.5642	100	44.9	72.3	145.4	198.8	262.3
A9	51.3619	100	44.9	70.2	128.5	184.6	260.2
A10	49.4806	100	44.8	68.3	115.8	174.1	258.3
A11	47.7369	100	44.8	66.4	105.2	165.6	256.4
A12	46.1813	100	44.7	64.7	96.6	158.8	254.7
A13	44.7733	100	44.7	63.2	89.5	153.1	253.2
A14	43.5039	100	44.7	61.7	83.4	148.5	251.7
A15	42.3574	100	44.6	60.4	78.3	144.5	250.4
A16	41.3158	100	44.6	59.2	73.9	141.2	249.2
A17	40.3619	100	44.6	58.0	70.0	138.3	248.0
A18	39.4169	100	44.5	56.9	66.4	135.5	246.9
A19	38.5920	100	44.4	55.8	63.3	133.2	245.8
A20	37.7980	100	44.4	54.8	60.4	131.1	244.8
A21	37.0521	100	44.4	53.8	57.8	129.2	243.8
A22	36.3453	100	44.3	53.0	55.5	127.5	243.0
A23	35.6765	100	44.3	52.1	53.3	125.9	242.1
A24	35.1314	100	44.2	51.4	51.6	124.6	241.4
A25	34.4779	100	44.3	50.6	49.6	123.3	240.6
A26	34.0628	100	44.2	49.9	48.3	122.2	239.9
A27	33.5541	100	44.1	49.3	46.8	121.1	239.3
A28	33.0737	100	44.1	48.6	45.5	120.1	238.6
A29	32.9103	100	44.0	48.4	45.0	119.7	238.4
A30	32.6652	100	44.0	48.1	44.3	119.2	238.1
A31	32.4321	100	44.0	47.8	43.7	118.8	237.8

斜拉索编号	角度 α（度）	角度 θ（度）	A值（cm）	B值（cm）	C值（cm）	D值（cm）	E值（cm）
J1	79.6253	90	45.0	88.5	308.8	325.1	278.5
J2	74.3173	90	45.0	86.6	308.6	332.9	276.6
J3	69.6012	90	45.0	84.3	226.8	258.1	274.3
J4	65.4367	90	45.0	81.8	179.0	216.4	271.8
J5	61.7900	90	44.9	79.3	147.7	190.3	269.3
J6	58.5620	90	44.9	76.7	125.5	172.4	266.7
J7	55.7194	90	44.9	74.3	109.0	159.6	264.3
J8	53.2006	100	44.9	72.0	142.5	196.3	262.0
J9	50.9597	100	44.9	69.8	125.7	182.3	259.8
J10	49.0412	100	44.8	67.8	113.0	171.9	257.8
J11	47.2656	100	44.8	65.9	102.6	163.5	255.9
J12	45.6810	100	44.7	64.2	94.0	156.7	254.2
J13	44.2466	100	44.7	62.6	86.9	151.2	252.6
J14	42.9524	100	44.7	61.1	80.9	146.6	251.1
J15	41.7825	100	44.6	59.7	75.9	142.7	249.7
J16	40.7187	100	44.6	58.5	71.5	139.4	248.5
J17	39.7429	100	44.6	57.3	67.6	136.5	247.3
J18	38.7744	100	44.6	56.1	64.0	133.8	246.1
J19	37.9195	100	44.5	55.0	60.9	131.5	245.0
J20	37.0997	100	44.4	54.0	58.1	129.4	244.0
J21	36.3318	100	44.4	53.0	55.5	127.5	243.0
J22	35.6165	100	44.4	52.1	53.2	125.9	242.1
J23	34.9562	100	44.4	51.2	51.1	124.4	241.2
J24	34.4568	100	44.2	50.5	49.5	123.1	240.5
J25	33.8046	100	44.3	49.7	47.6	121.8	239.7
J26	33.4032	100	44.1	49.0	46.4	120.7	239.0
J27	32.8803	100	44.0	48.4	44.9	119.7	238.4
J28	32.3978	100	44.0	47.7	43.6	118.7	237.7
J29	31.9407	100	44.0	47.1	42.3	117.9	237.1
J30	31.4922	100	44.0	46.5	41.1	117.0	236.5
J31	31.0866	100	44.0	46.0	40.1	116.3	236.0

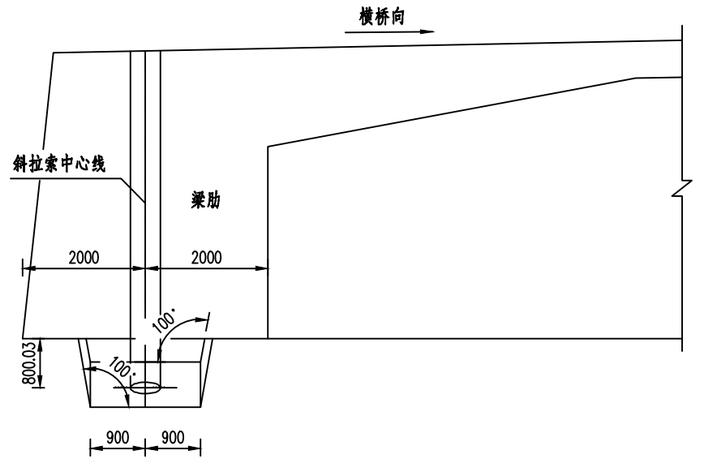
注：
1、本图尺寸均以厘米计。
2、图中所示角 α为斜拉索在索塔处与水平面的夹角，其值为修正后角度。
3、拉索套筒安装时保证了出口刨面与塔的外表面平齐。
4、锚块编号与斜拉索编号相对应。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索塔端锚块构造竣工图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-17

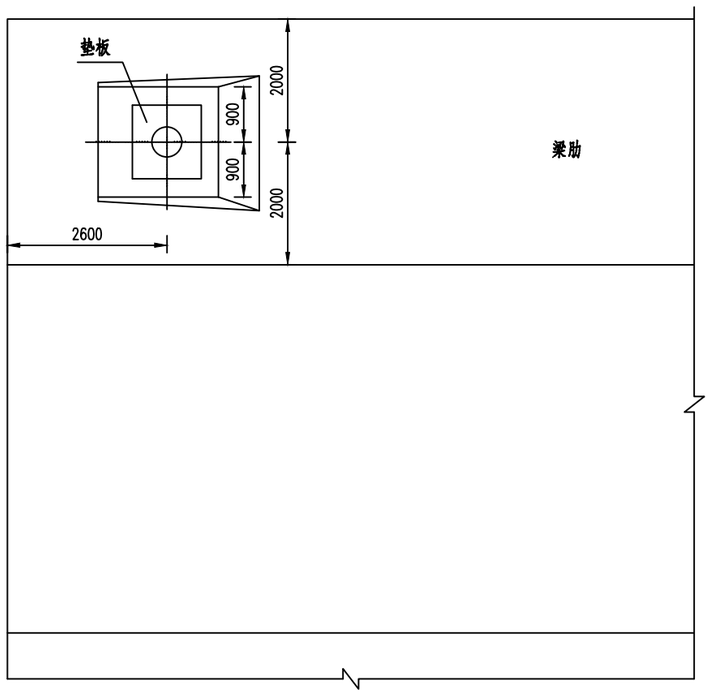
立面 (1:50)



侧面 (1:50)



平面 (1:50)



拉索梁端锚块构造参数表

斜拉索编号	角度 α (度)	b值 (cm)	h值 (cm)
A1	79.5847	52.0	28.6
A2	74.2673	58.8	23.1
A3	69.5450	65.5	18.5

斜拉索编号	角度 α (度)	b值 (cm)	h值 (cm)
J1	79.5528	50.9	29.6
J2	74.1941	57.4	24.1
J3	69.4229	64.2	19.3

注：

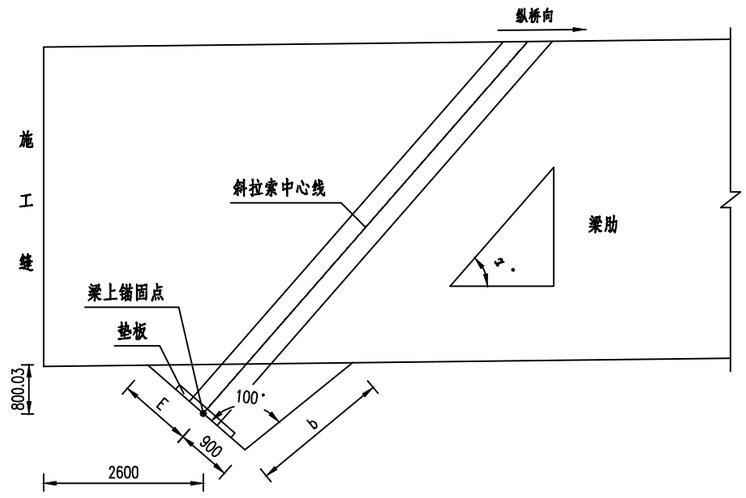
1、本图尺寸均以厘米计。

2、本图所示斜拉索锚块适用于A1～A3及J1～J3。

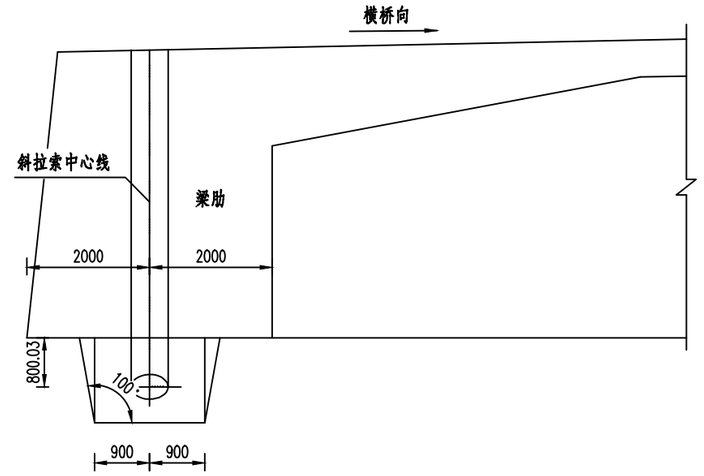
3、图中所示角 α为斜拉索在主梁处与水平面的夹角，其值为修正后角度。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块构造图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

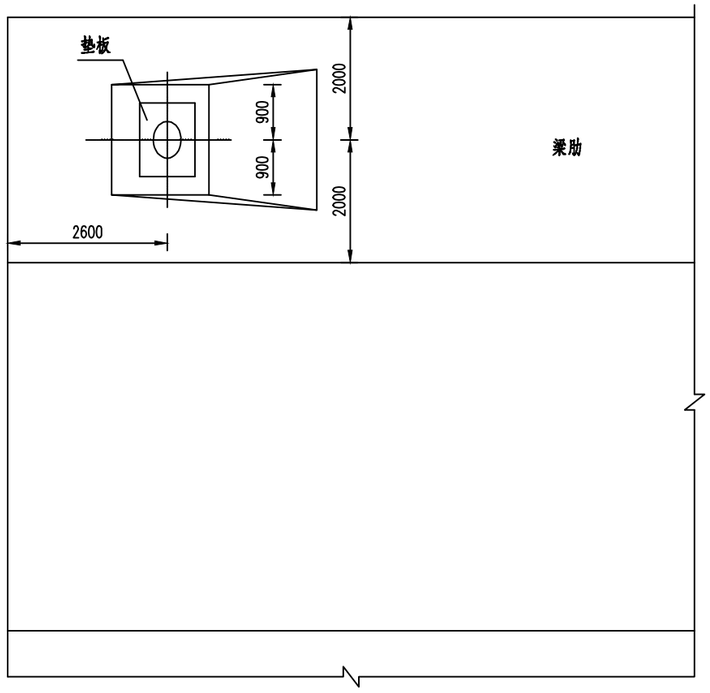
立面 (1:50)



侧面 (1:50)



平面 (1:50)



拉索梁端锚块构造参数表

斜拉索编号	角度 α(度)	b值(cm)	E值(cm)
A4	65.3778	72.6	93.5
A5	61.6895	79.7	82.3
A6	58.4619	86.2	75.2
A7	55.6138	93.1	69.7
A8	53.1021	99.9	65.6
A9	50.8814	107.3	62.2
A10	48.8236	113.3	60.0
A11	47.0478	119.8	58.0
A12	45.4444	126.3	56.3
A13	44.0060	132.6	54.9
A14	42.7007	138.7	53.8
A15	41.5089	144.8	52.8

斜拉索编号	角度 α(度)	b值(cm)	E值(cm)
J4	65.2040	71.0	96.9
J5	61.4647	77.8	84.9
J6	58.1886	84.6	76.7
J7	55.2953	91.4	70.9
J8	52.7425	98.1	66.6
J9	50.4847	104.6	63.3
J10	48.3955	111.4	60.6
J11	46.5897	117.8	58.6
J12	44.9596	124.1	56.8
J13	43.4973	130.3	55.4
J14	42.1711	136.5	54.2
J15	40.9617	142.5	53.2

注：

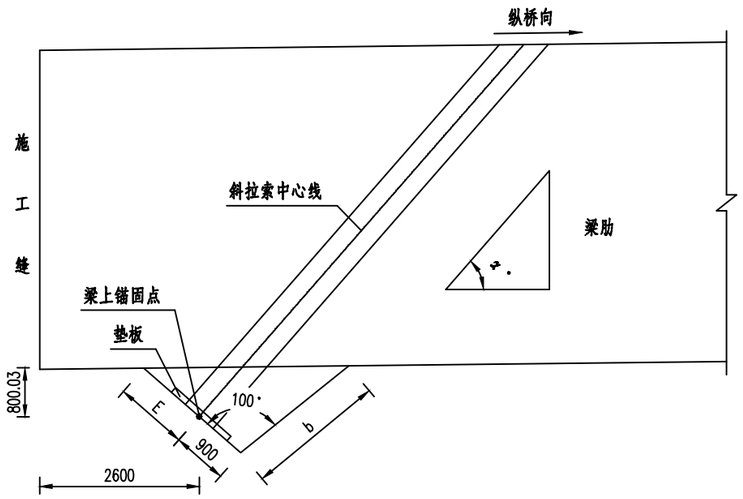
1、本图尺寸均以厘米计。

2、本图所示斜拉索锚块适用于A4~A15及J4~J15。

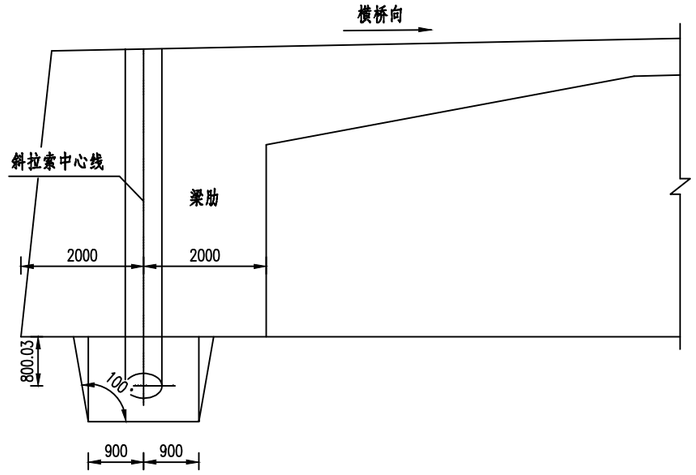
3、图中所示角 α为斜拉索在主梁处与水平面的夹角，其值为修正后角度。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王振亚	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

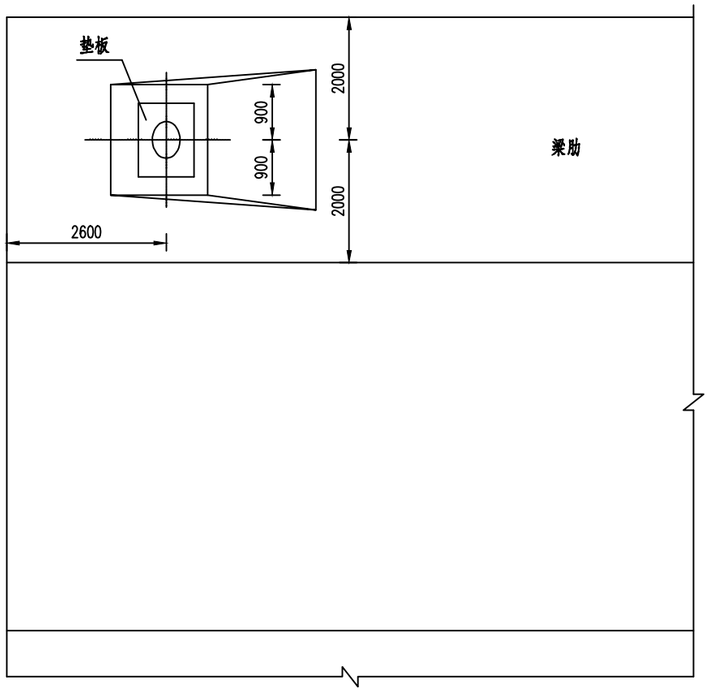
立面 (1:50)



侧面 (1:50)



平面 (1:50)



拉索梁端锚块构造参数表

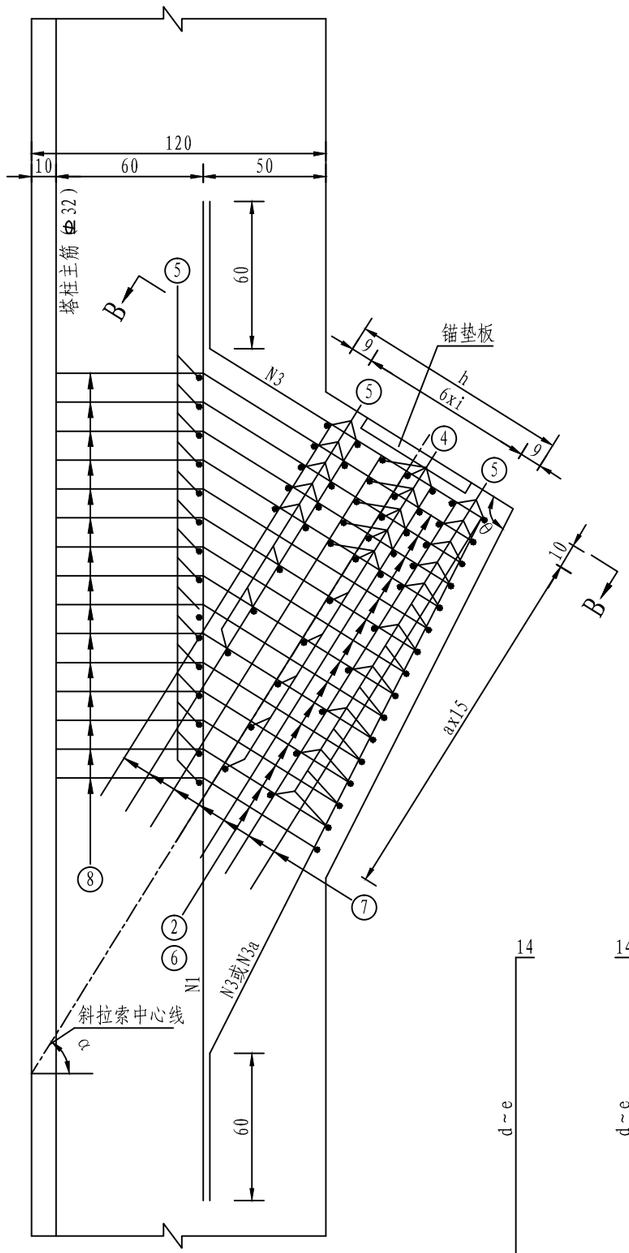
斜拉索编号	角度 α(度)	b值(cm)	E值(cm)
A16	40.4199	150.9	51.9
A17	39.4259	156.7	51.2
A18	38.4297	163.1	50.5
A19	37.4633	169.6	49.9
A20	36.6025	175.9	49.3
A21	35.8152	182.1	48.8
A22	35.0985	188.0	48.4
A23	34.4424	193.8	48.0
A24	33.7489	200.2	47.6
A25	33.2493	205.2	47.3
A26	32.5780	212.1	47.0
A27	32.0705	217.6	46.8
A28	31.5952	223.0	46.6
A29	31.2794	226.6	46.4
A30	31.0697	229.1	46.3
A31	30.8679	231.6	46.2

斜拉索编号	角度 α(度)	b值(cm)	E值(cm)
J16	39.8576	148.4	52.3
J17	38.8517	154.2	51.5
J18	37.8455	160.4	50.8
J19	36.8789	166.8	50.1
J20	36.0161	172.9	49.6
J21	35.2253	178.8	49.1
J22	34.4929	184.7	48.6
J23	33.8057	190.6	48.2
J24	33.0446	197.5	47.8
J25	32.5243	202.5	47.5
J26	31.8210	209.6	47.1
J27	31.3123	215.1	46.8
J28	30.8249	220.6	46.6
J29	30.3691	226.0	46.4
J30	29.9576	231.1	46.2
J31	29.5504	236.4	46.0

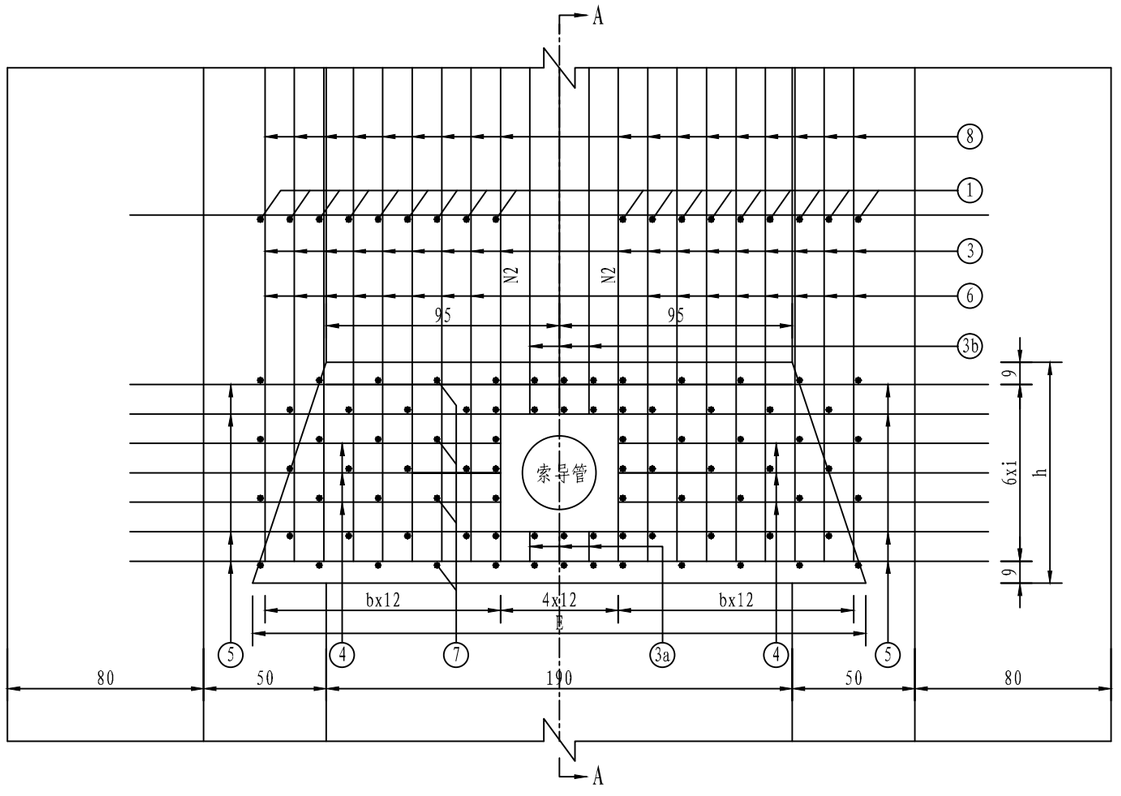
注：
1、本图尺寸均以厘米计。
2、本图所示斜拉索锚块适用于A16~A31及J16~J31。
3、图中所示角 α为斜拉索在主梁处与水平面的夹角，其值为修正后角度。

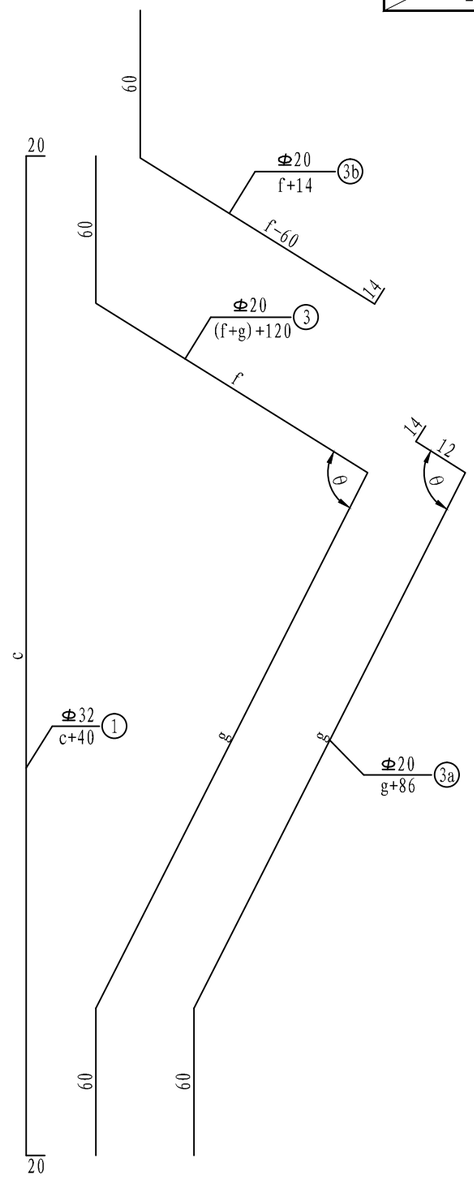
北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块构造图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

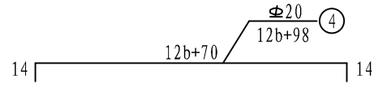
A-A 1:25

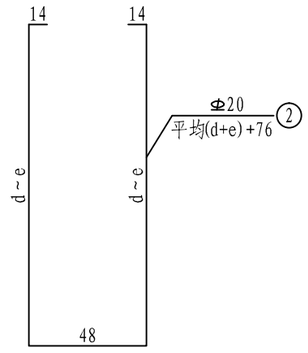


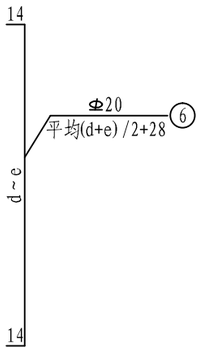
B-B 1:25

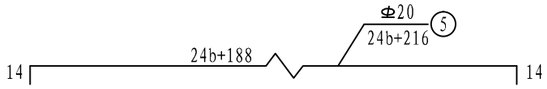


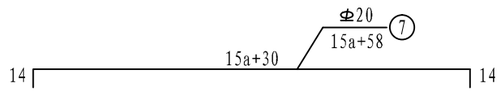


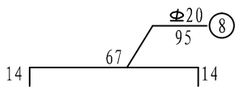












注

1、本图尺寸除钢筋直径以毫米计外，余均以厘米计。

2、本图为拉索塔端J1～J31、Z1～Z31锚块钢筋构造。

3、N8钢筋将N1钢筋与塔柱主筋相连。

4、N3钢筋与N1钢筋绑扎。

5、参数α、θ、a～g数值详见《拉索塔端锚块钢筋参数表》。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索塔端锚块钢筋构造竣工图（一）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-17

拉索塔端锚块钢筋参数表

斜拉索编号	α	θ	a	b	c	d	e	f	g	h	i	斜拉索编号	α	θ	a	b	c	d	e	f	g	h	i
	(度)	(度)	根数	根数	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(度)	(度)	根数	根数	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
A1	79.7551	90	20	9	589.8	77.4	128.9	131.6	464.5	90.0	12.0	J1	79.7138	90	20	9	593.1	77.0	128.9	131.6	467.5	90.0	12.0
A2	74.4587	90	20	9	611.0	49.2	128.4	132.5	472.8	90.0	12.0	J2	74.3748	90	20	9	608.6	48.7	128.3	132.5	470.3	90.0	12.0
A3	69.7560	90	15	9	503.6	50.7	128.1	133.6	359.6	90.0	12.0	J3	69.6253	90	15	9	501.4	50.1	128.1	133.7	357.2	90.0	12.0
A4	65.6514	90	12	9	445.2	53.4	128.1	134.9	295.8	89.9	12.0	J4	65.4713	90	12	9	443.1	52.7	128.2	135.0	293.4	89.9	12.0
A5	62.0077	90	10	9	408.7	56.6	128.4	136.3	254.4	89.9	12.0	J5	61.7809	90	10	9	406.8	55.9	128.4	136.4	252.2	89.9	12.0
A6	58.8251	90	9	9	384.7	56.1	128.7	137.8	226.0	89.9	12.0	J6	58.5524	90	9	9	382.8	55.4	128.8	138.0	223.7	89.9	12.0
A7	56.0406	90	8	9	367.8	58.6	129.2	139.3	205.1	89.9	12.0	J7	55.7232	90	8	9	366.2	57.8	129.3	139.5	202.9	89.9	12.0
A8	53.5863	100	10	8	429.7	57.9	132.5	140.8	252.5	89.9	12.0	J8	53.2260	100	9	8	426.3	65.2	132.6	141.1	248.5	89.9	12.0
A9	51.3800	100	9	8	410.7	59.5	133.1	142.3	230.0	89.8	12.0	J9	50.9823	100	8	8	407.7	67.7	133.3	142.6	226.3	89.8	12.0
A10	49.4262	100	8	8	396.8	63.4	133.7	143.8	212.8	89.8	12.0	J10	48.9949	100	8	8	393.9	62.3	133.9	144.1	209.3	89.8	12.0
A11	47.7417	100	7	8	386.3	69.4	134.4	145.2	199.3	89.8	12.0	J11	47.2791	100	7	8	383.7	68.2	134.5	145.6	196.0	89.7	12.0
A12	46.1683	100	7	8	377.8	65.5	134.9	146.5	188.1	89.7	12.0	J12	45.6724	100	6	8	375.3	76.1	135.2	147.0	184.8	89.7	12.0
A13	44.7759	100	6	8	371.0	74.3	135.6	147.8	178.9	89.7	12.0	J13	44.2443	100	6	8	368.8	73.1	135.9	148.5	175.5	89.7	12.0
A14	43.5297	100	6	8	365.8	71.4	136.2	149.2	171.1	89.7	12.0	J14	42.9514	100	6	8	363.6	70.2	136.6	149.9	167.8	89.7	12.0
A15	42.4045	100	5	8	361.5	82.5	136.8	150.3	164.6	89.6	11.9	J15	41.7838	100	5	8	361.1	81.5	138.2	152.4	161.3	89.6	11.9
A16	41.3883	100	5	8	357.9	80.8	137.4	151.6	158.9	89.5	11.9	J16	40.7242	100	5	8	355.9	79.7	137.9	152.4	155.5	89.6	11.9
A17	40.4597	100	5	8	354.9	79.1	138.0	152.7	154.0	89.5	11.9	J17	39.7459	100	5	8	353.0	77.9	138.6	153.7	150.5	89.6	11.9
A18	39.5296	100	5	8	352.3	77.3	138.6	153.9	149.3	89.4	11.9	J18	38.7719	100	5	8	350.4	76.1	139.2	155.0	145.8	89.6	11.9
A19	38.6530	100	4	8	350.1	91.6	139.3	155.2	145.0	89.4	11.9	J19	37.8822	100	4	8	348.2	90.8	139.9	156.2	141.6	89.5	11.9
A20	37.8320	100	4	8	348.1	90.5	139.8	156.2	141.2	89.4	11.9	J20	37.0536	100	4	8	346.6	89.7	140.5	157.5	137.8	89.5	11.9
A21	37.0459	100	4	8	346.6	89.5	140.5	157.5	137.7	89.4	11.9	J21	36.2916	100	4	8	345.3	88.6	141.2	158.7	134.5	89.5	11.9
A22	36.4346	100	4	8	345.1	88.7	140.9	158.3	134.9	89.2	11.9	J22	35.6850	100	4	8	344.0	87.7	141.6	159.5	131.9	89.3	11.9
A23	35.7539	100	4	8	344.1	87.7	141.6	159.5	132.0	89.2	11.9	J23	35.0242	100	4	8	343.0	86.8	142.2	160.7	129.1	89.3	11.9
A24	35.1275	100	4	8	343.2	86.9	142.1	160.5	129.5	89.2	11.9	J24	34.4106	100	4	8	342.1	85.9	142.8	161.8	126.6	89.2	11.9
A25	34.5479	100	4	8	342.2	86.1	142.7	161.5	127.1	89.2	11.9	J25	33.8360	100	3	7	341.3	104.6	143.4	162.8	124.3	89.2	11.9
A26	33.9921	100	3	7	341.5	104.6	143.2	162.4	125.0	89.2	11.9	J26	33.2961	100	3	7	340.8	104.3	144.0	163.9	122.2	89.2	11.9
A27	33.4762	100	3	7	341.1	104.3	143.8	163.5	123.0	89.2	11.9	J27	32.7957	100	3	7	340.4	103.9	144.6	164.9	120.3	89.2	11.9
A28	33.2094	100	3	7	340.5	103.9	143.8	163.8	121.8	89.0	11.8	J28	32.3593	100	3	7	339.8	103.5	144.9	165.6	118.7	89.1	11.9
A29	32.9216	100	3	7	340.2	103.8	144.2	164.4	120.7	89.0	11.8	J29	31.9341	100	3	7	339.4	103.2	145.4	166.4	117.1	89.0	11.8
A30	32.6715	100	3	7	339.9	103.7	144.5	164.9	119.8	89.0	11.8	J30	31.4895	100	3	7	339.3	103.0	146.0	167.5	115.4	89.0	11.8
A31	32.4133	100	3	7	340.0	103.5	144.9	165.6	118.8	89.1	11.9	J31	31.2809	100	3	7	338.9	102.6	145.9	167.6	114.6	88.8	11.8

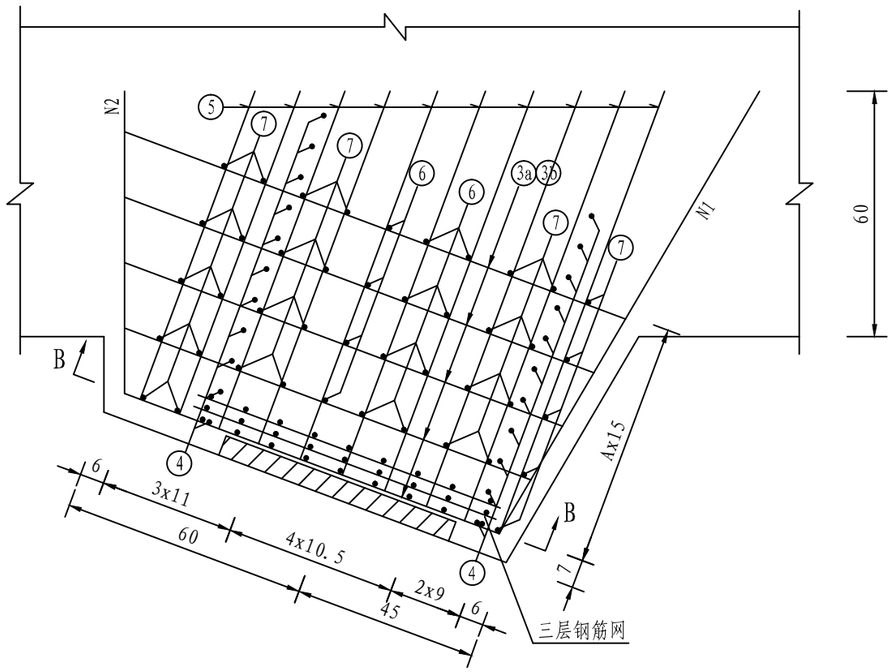
注

1、本图配合《拉索塔端锚块钢筋构造（一）》使用。

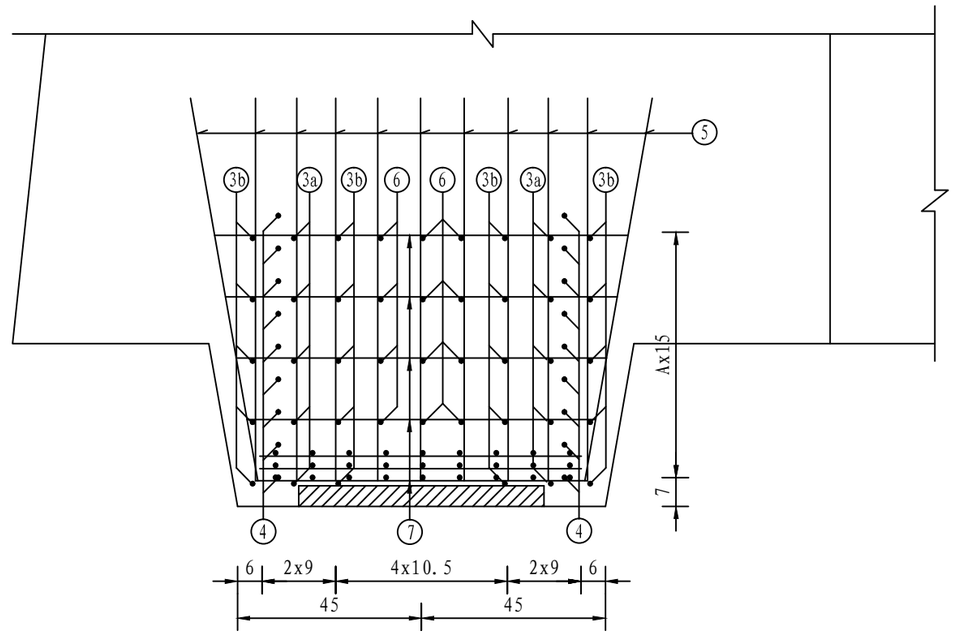
2、本图适用于拉索塔端A1～A31、J1～J31锚块钢筋构造。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索塔端锚块钢筋构造竣工图（二）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

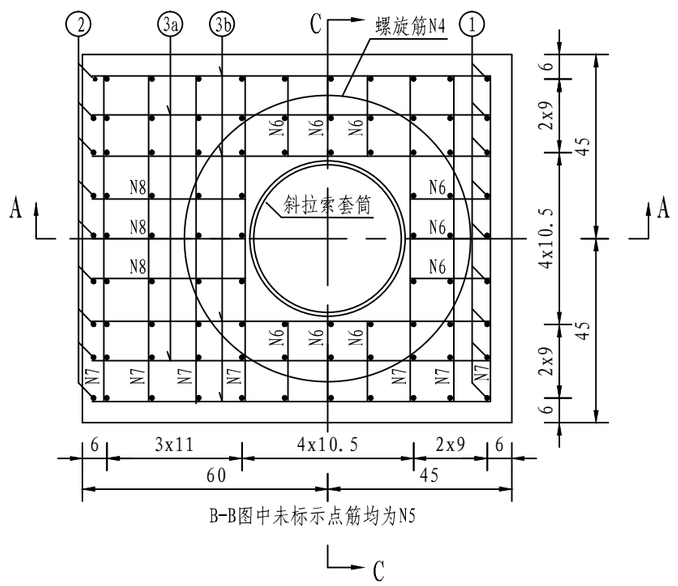
A－A



C－C

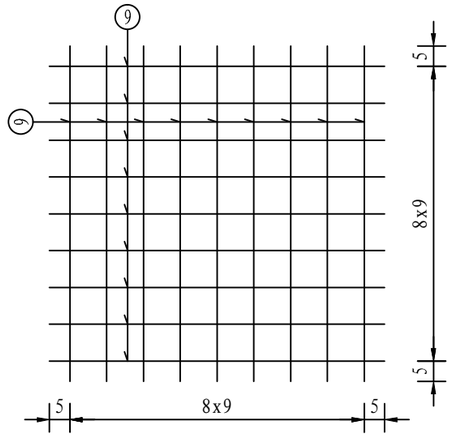


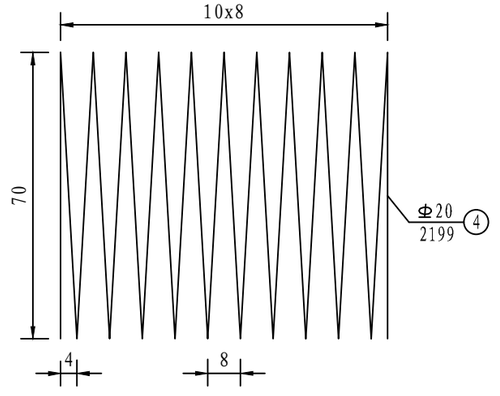
B－B



B-B图中未标示点筋均为N5

钢筋网大样

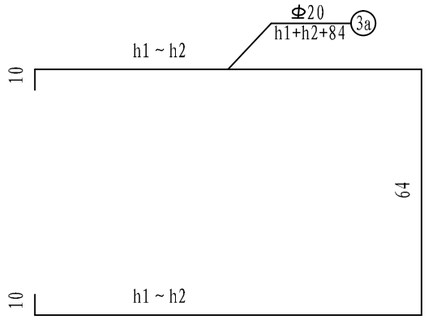


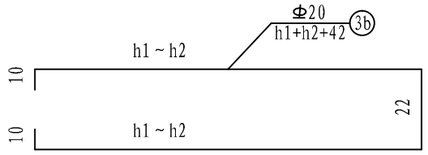


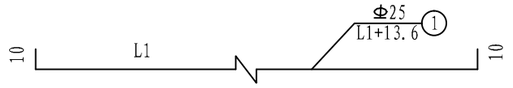
注

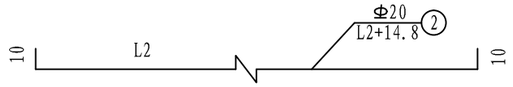
1. 本图尺寸除钢筋直径以毫米计外，余均以厘米计；
2. 本图所示拉索锚下钢筋布置适用于梁底拉索编号A1～A3及J1～J3；
3. 图中斜拉索与主梁处的角度见《拉索梁端锚块一般构造（一）》。

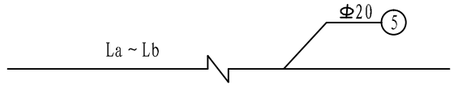
北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块钢筋构造竣工图（一）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王顺	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

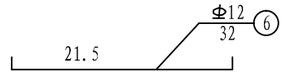


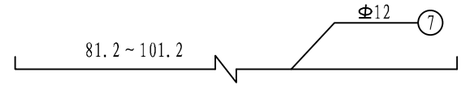


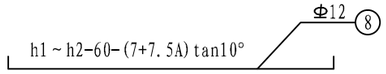










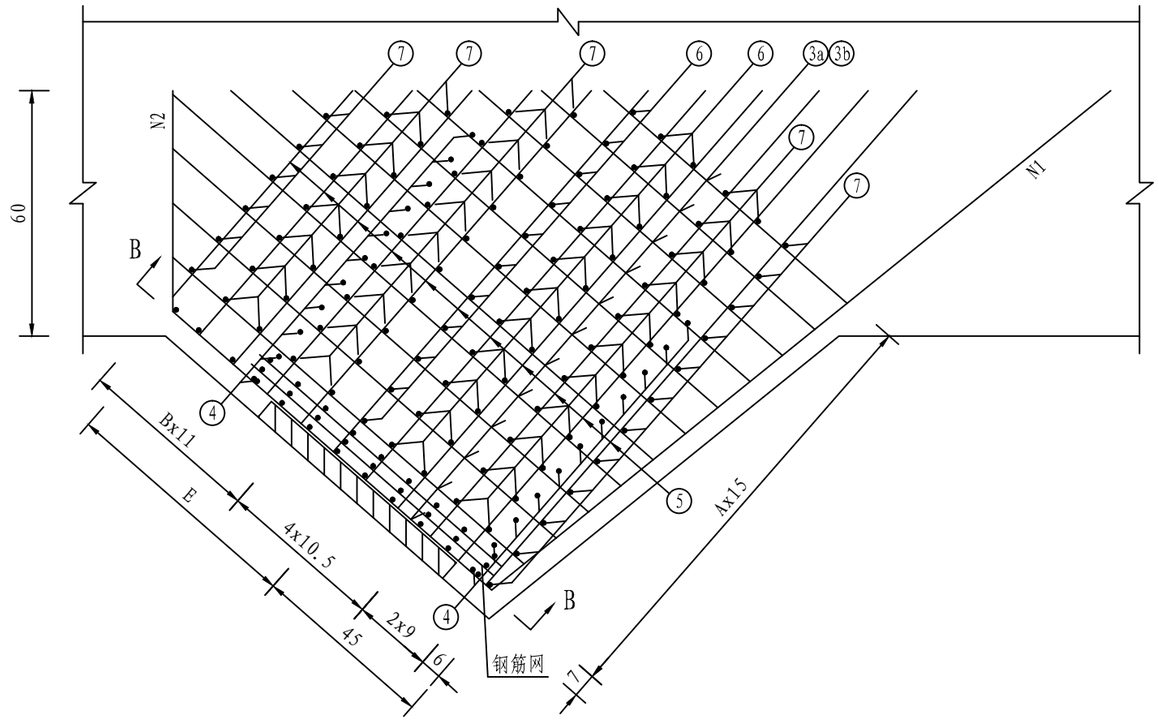




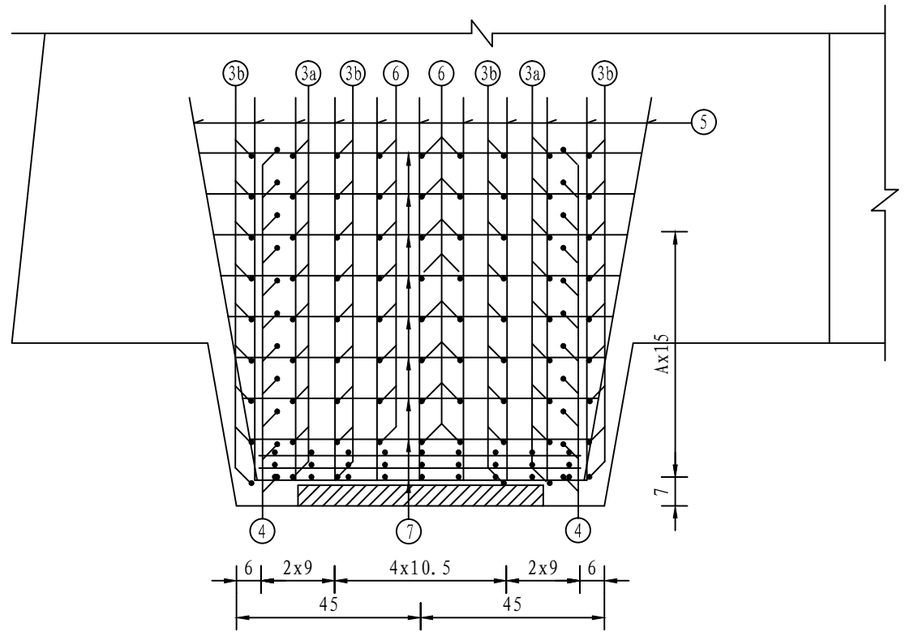
尺寸表

项目	A1	A2	A3	J1	J2	J3
h1～h2(cm)	92.8～109.1	93.2～120.8	93.6～126.6	93.0～109.1	93.4～120.9	93.7～126.7
La～Lb(cm)	85.4～102.7	82.4～108.7	80.3～115.0	86.5～103.8	83.4～109.8	81.3～116.3
L1	107.8	116.2	125	108.9	117.4	126.4
L2	84	79.2	75	85	80.1	75.9
A	3	4	4	3	4	4

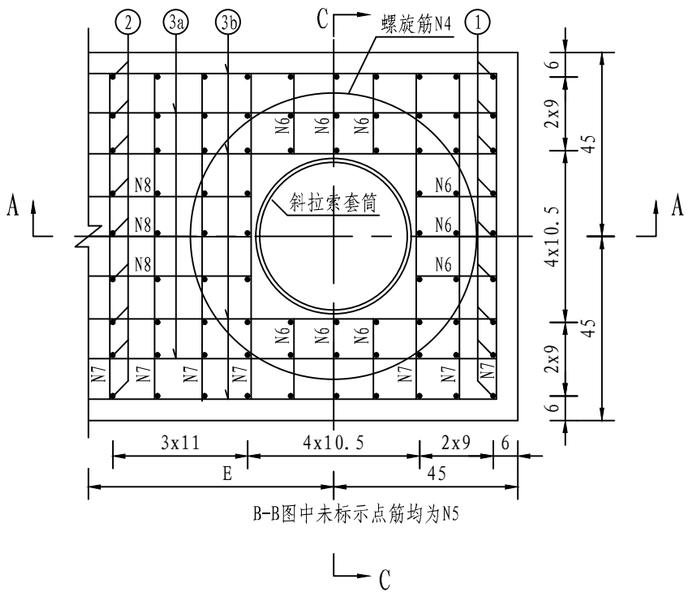
A－A



C－C

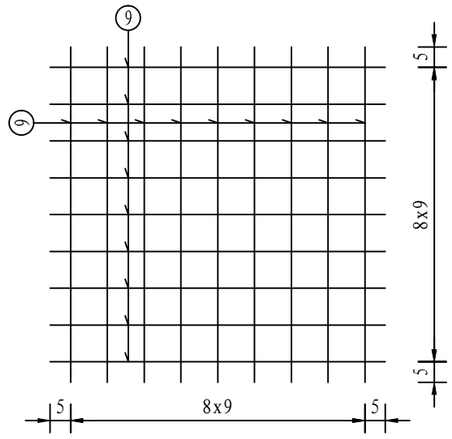


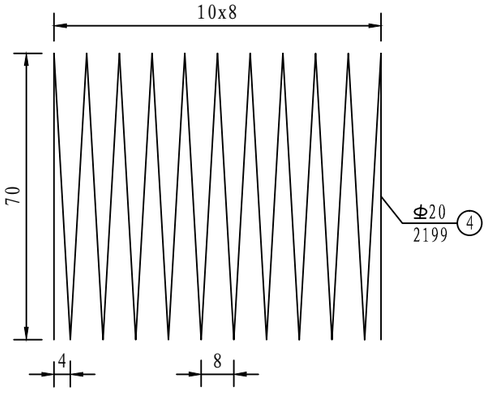
B－B



B-B图中未标示点筋均为N5

钢筋网大样

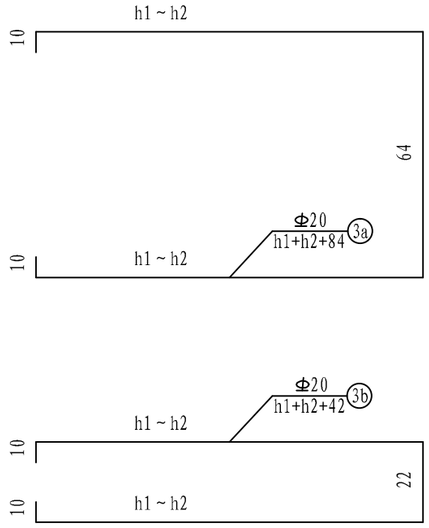


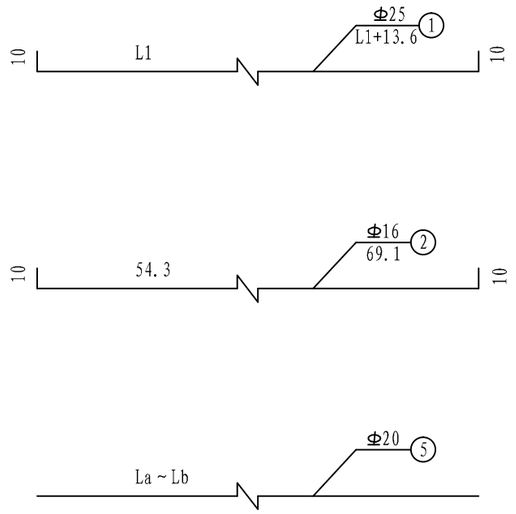


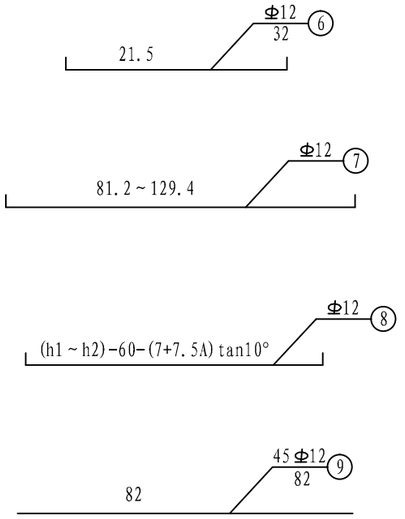
注

1. 本图尺寸除钢筋直径以毫米计外，余均以厘米计；
2. 本图所示拉索锚下钢筋布置适用于梁底拉索编号A4～A15及B4～B15；
3. 图中斜拉索与主梁处的角度见《拉索梁端锚块一般构造（二）》。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块钢筋构造竣工图（三）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王顺连	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17







尺寸表

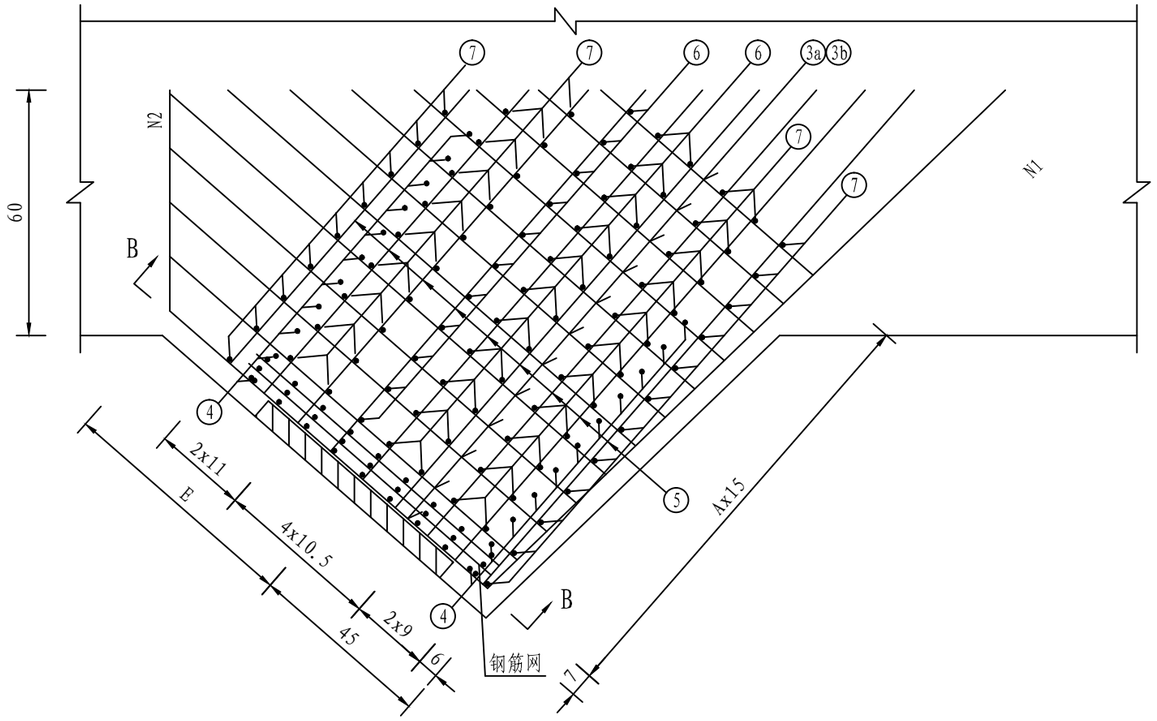
项目	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
h1～h2(cm)	135.0～163.6	112.6～156.3	111.5～152.3	91.9～149.7	93.9～145.9	95.7～143.1	82.9～141.0	99.0～139.4	75.2～138.2	78.0～137.2	69.4～136.5	72.2～135.9
La～Lb(cm)	63.4～121.3	66.1～128.0	64.2～134.7	70.2～141.4	69.8～148.0	69.6～154.3	79.2～160.4	80.0～166.6	80.8～172.3	82.3～177.9	82.6～183.4	83.5～188.8
L1	134.5	144.2	154.1	164	174	183.7	193.5	203.4	212.8	222.2	231.6	240.8
A	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9
B	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3

尺寸表

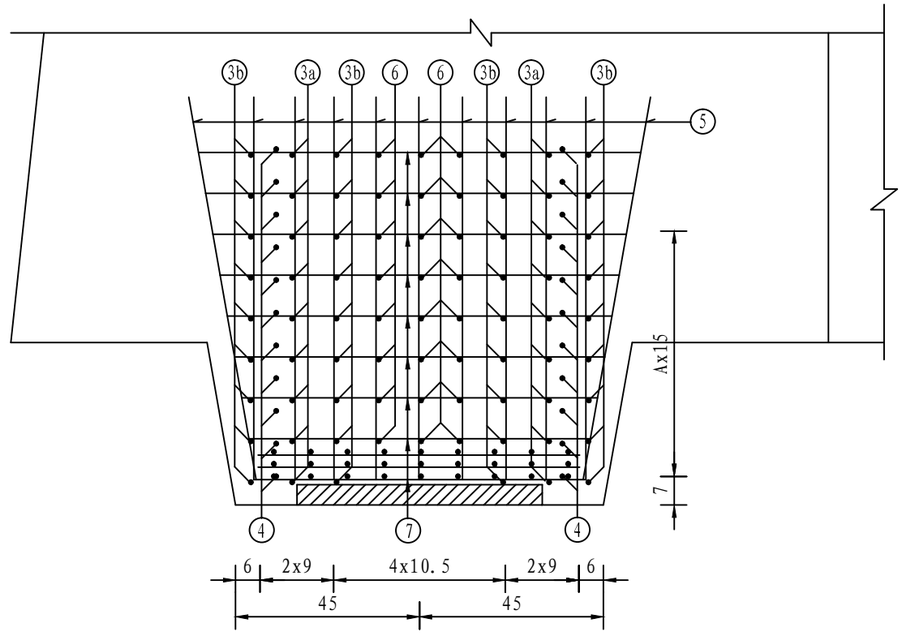
项目	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
h1～h2(cm)	118.4～166.7	115.4～158.8	113.9～154.4	94.3～1151.3	96.1～147.3	97.8～144.4	85.2～142.2	87.7～140.6	77.6～139.3	80.4～138.4	71.9～137.6	74.8～137.0
La～Lb(cm)	59.9～123.3	61.5～130.0	65.6～136.9	64.0～143.7	71.2～150.4	71.0～156.9	71.1～163.3	81.6～169.7	82.5～175.6	83.5～181.5	84.5～187.2	85.5～192.7
L1	136.7	146.6	156.7	166.9	177.2	187.3	197.5	207.8	217.6	227.5	237.2	246.8
A	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9
B	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块钢筋构造竣工图（四）	设计	李新龙	复核	吴昊雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

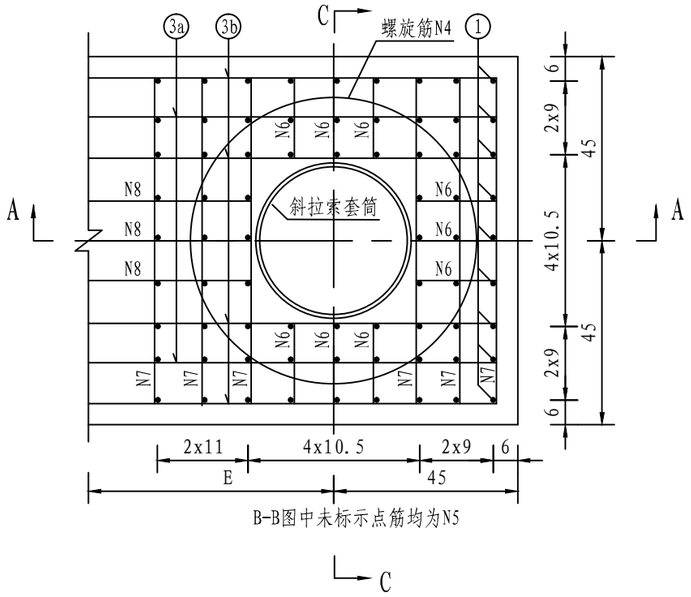
A－A



C－C

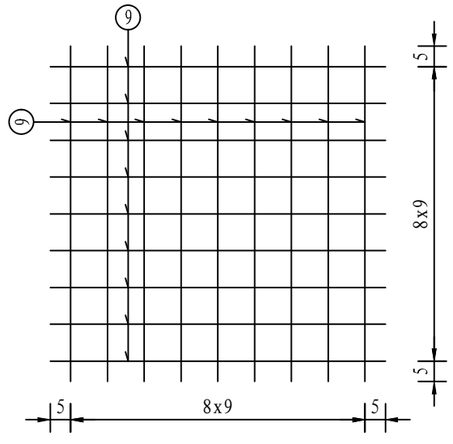


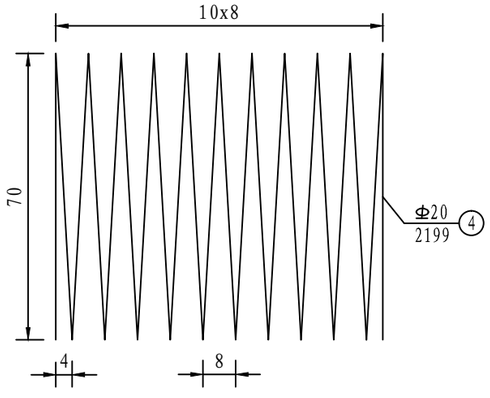
B－B



B-B图中未标示点筋均为N5

钢筋网大样

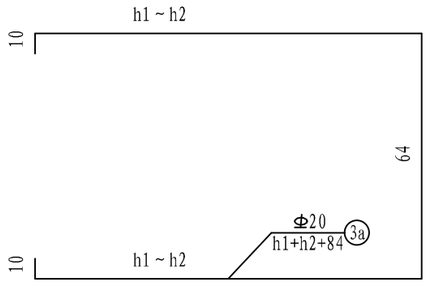


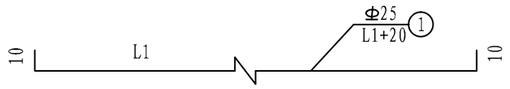


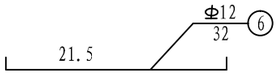
注

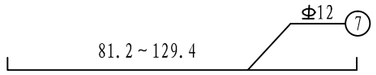
1. 本图尺寸除钢筋直径以毫米计外，余均以厘米计；
2. 本图所示拉索锚下钢筋布置适用于梁底拉索编号A16～A31及J16～J31；
3. 图中斜拉索与主梁处的角度见《拉索梁端锚块一般构造（二）》。

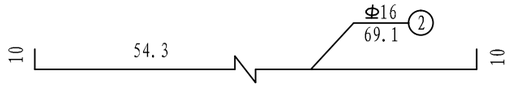
北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块钢筋构造竣工图（五）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-1-17

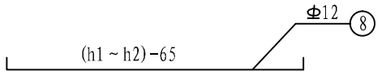


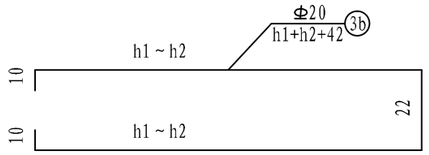


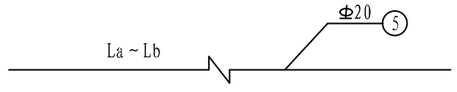














拉索梁端锚块工程数量表

清单编号	工程细目名称	计量单位	工程数量		备注
			设计	竣工	
403-3-b	带肋钢筋（HRB335HRB400）	kg	202649.0	214453.3	B05-037#变更令
411-7-e	现浇C60高性能纤维混凝土	m^3	0.0	236.1	B05-031#/038#变更令

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索梁端锚块钢筋构造竣工图（六）	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-1-17

尺寸表

项目	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26
h1～h2(cm)	87.0～137.5	88.9～137.7	81.5～138.4	83.6～139.2	85.4～139.9	87～140.6	87～141.0	84～142	84～143	86～143	87～143
La～Lb(cm)	97.5～193.0	98.9～199.0	100.5～204.3	102～209.3	103.5～214.0	105～218	106～223	107～227	109～232	110～236	112～240
L1	253.0	262.0	272.0	281.3	291	299	309	318	326	334	343
A	10	10	11	11	12	12	12	13	13	14	14

尺寸表

项目	A27	A28	A29	A30	A31		J16	J17	J18	J19	J20
h1～h2(cm)	82～143	83～143	84～142	85～142	85～142		89～138	91～139	83～140	85～140	87～141
La～Lb(cm)	113～244	115～249	116～251	116～252	117～254		99～197	101～202	102～208	104～213	105～218
L1	350	362	365	369	372		259	268	278	287	297
A	15	16	16	16	16		10	10	11	11	12

尺寸表

项目	J21	J22	J23	J24	J25	J26	J27	J28	J29	J30	J31
h1～h2(cm)	89～142	83～143	85～143	86～143	88～143	83～143	84～143	86～143	87～143	82～143	87～141
La～Lb(cm)	107～223	109～228	110～233	112～237	113～242	114～246	116～250	117～255	119～259	120～262	122～268
L1	307	318	328	337	346	355	364	374	383	391	403
A	12	13	13	13	14	14	15	16	16	16	16

彭溪河特大桥

目　　录

G42沪蓉高速公路奉节至梁平段安全韧性提升项目两阶段施工图设计

序号	图表名称	图号	页数	备注		序号	图表名称	图号	页数	备注
1	彭溪河特大桥安全韧性提升工程设计说明	S4-3-2	33			27				
2	彭溪河特大桥安全韧性提升工程数量汇总表	S4-3-2-1	2			28				
3	彭溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	S4-3-2-2	2			29				
4	斜拉索更换构造图	S4-3-2-3	1			30				
5	斜拉索编号示意图	S4-3-2-4	2			31				
6	斜拉索长度、重量表	S4-3-2-5	2			32				
7	斜拉索索力表	S4-3-2-6	1			33				
8	斜拉索防火能力提升设计构造图	S4-3-2-7	2			34				
9	拉索更换施工顺序示意图	S4-3-2-8	1			35				
10	桥面铺装更换构造设计图	S4-3-2-9	1			36				
11	桥面铺装更换钢筋构造图	S4-3-2-10	2			37				
12	桥梁表观病害处治示意图	S4-3-2-11	3			38				
13	彭溪河特大桥中央分隔带护栏拆除示意图	S4-3-2-12	1			39				
14	彭溪河特大桥中央分隔带轻量化SS级梁柱式护栏结构示意图	S4-3-2-13	1			40				
15	彭溪河特大桥路侧护栏拆除示意图	S4-3-2-14	1			41				
16	彭溪河特大桥路侧HA级梁柱式护栏结构示意图	S4-3-2-15	1			42				
17	彭溪河特大桥防落物网结构示意图	S4-3-2-16	1			43				
18	施工导序示意图	S4-3-2-17	1			44				
19	附：部分原竣工图纸	S4-3-2-18	5			45				
20						46				
21						47				
22						48				
23						49				
24						50				
25						51				
26						52				

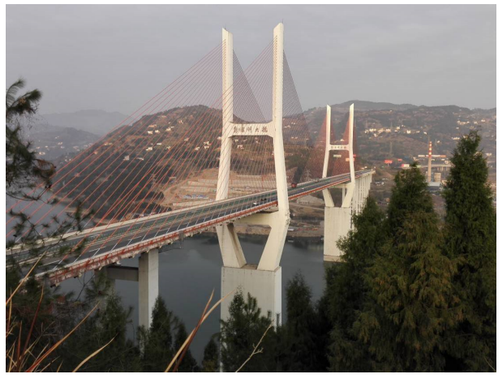
设 计 说 明

1 工点概述

彭溪河特大桥位于 G42 沪蓉高速公路重庆境内云阳-万州段。桥梁中心桩号 K1436+118。桥梁平面除万州岸右线部分位于缓和曲线外，其余均位于直线上。

全桥跨径组合为：2×（4×40）m（预应力混凝土连续 T 梁）+（50+108+316+108+50）m（斜拉桥）+1×40m（预应力混凝土简支 T 梁），全长 1001.0m，其中主桥长 632.0m。两岸各设一辅助墩，辅助墩距交界墩 49.225 米。

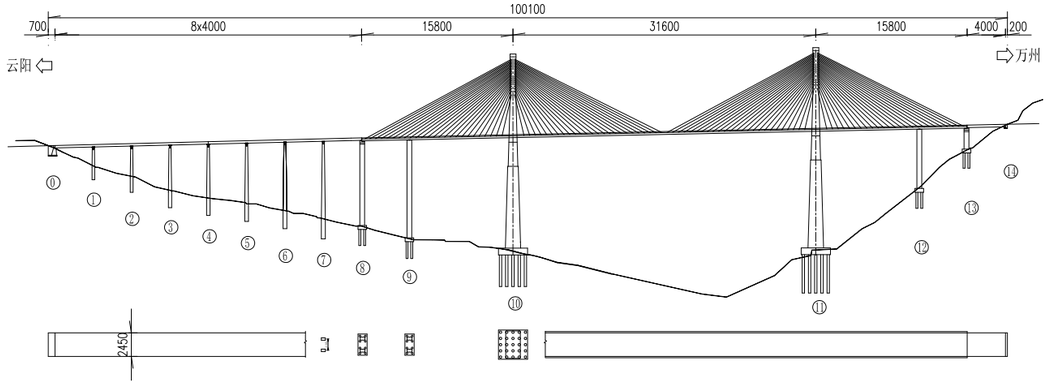
桥面横向布置：0.5m（防撞护栏）+10.75m（行车道）+2.0m（中央分隔带）+10.75m（行车道）+0.5m（防撞护栏）。



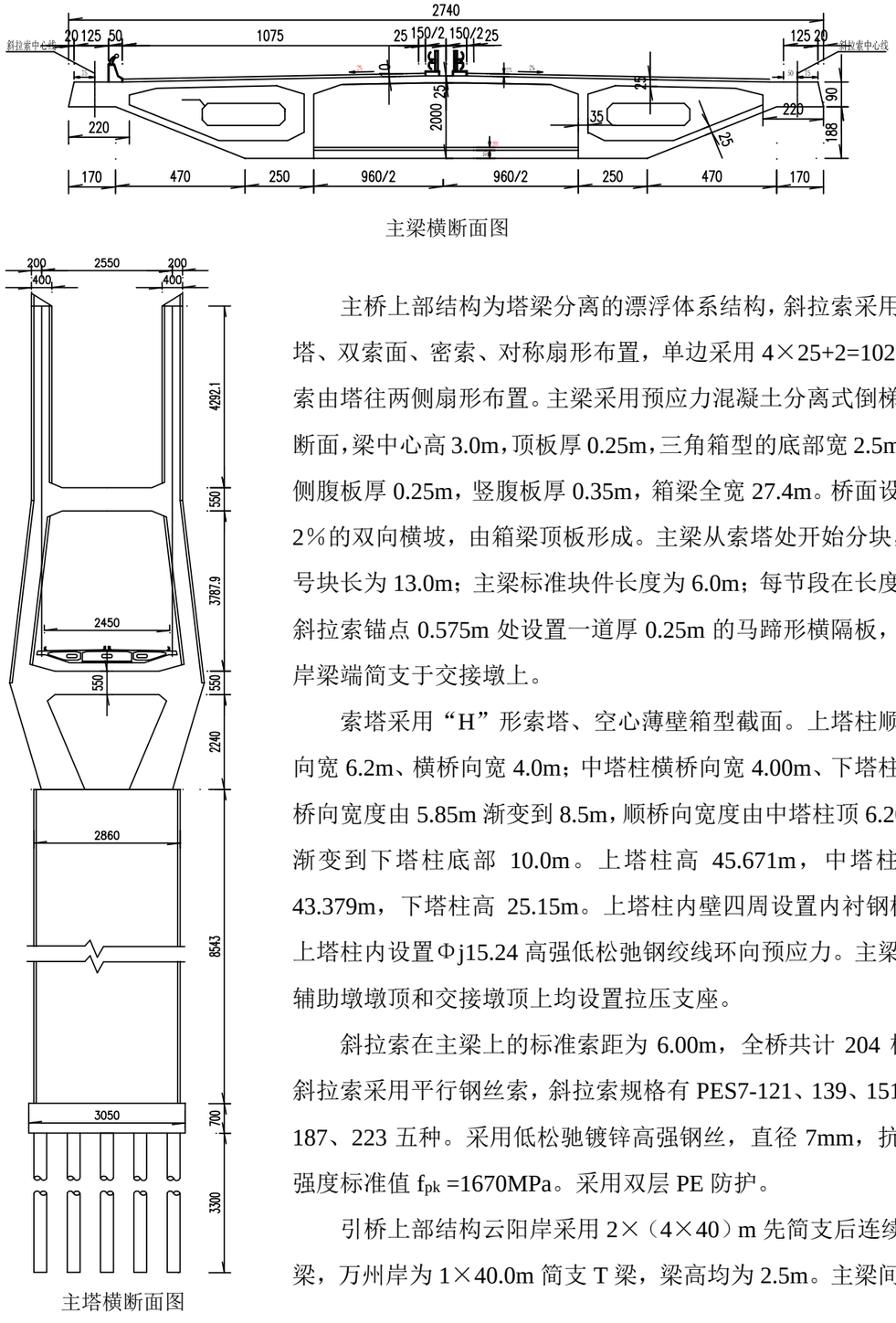
大桥立面照



大桥正面照



大桥布置图



主梁横断面图

主塔横断面图

主桥上部结构为塔梁分离的漂浮体系结构，斜拉索采用双塔、双索面、密索、对称扇形布置，单边采用 4×25+2=102 根索由塔往两侧扇形布置。主梁采用预应力混凝土分离式倒梯形断面，梁中心高 3.0m，顶板厚 0.25m，三角箱型的底部宽 2.5m，侧腹板厚 0.25m，竖腹板厚 0.35m，箱梁全宽 27.4m。桥面设置 2%的双向横坡，由箱梁顶板形成。主梁从索塔处开始分块，0 号块长为 13.0m；主梁标准块件长度为 6.0m；每节段在长度距斜拉索锚点 0.575m 处设置一道厚 0.25m 的马蹄形横隔板，两岸梁端简支于交接墩上。

索塔采用“H”形索塔、空心薄壁箱型截面。上塔柱顺桥向宽 6.2m、横桥向宽 4.0m；中塔柱横桥向宽 4.00m、下塔柱横桥向宽度由 5.85m 渐变到 8.5m，顺桥向宽度由中塔柱顶 6.20m 渐变到下塔柱底部 10.0m。上塔柱高 45.671m，中塔柱高 43.379m，下塔柱高 25.15m。上塔柱内壁四周设置内衬钢板，上塔柱内设置Φj15.24 高强低松弛钢绞线环向预应力。主梁下辅助墩墩顶和交接墩顶上均设置拉压支座。

斜拉索在主梁上的标准索距为 6.00m，全桥共计 204 根。斜拉索采用平行钢丝索，斜拉索规格有 PES7-121、139、151、187、223 五种。采用低松弛镀锌高强钢丝，直径 7mm，抗拉强度标准值 f_{pk} =1670MPa。采用双层 PE 防护。

引桥上部结构云阳岸采用 2×（4×40）m 先简支后连续 T 梁，万州岸为 1×40.0m 简支 T 梁，梁高均为 2.5m。主梁间设

9 道横隔板。

引桥 T 梁设 GPZ3000DX、GPZ3000SX、GPZ3000GD 盆式支座，GJZ 板式橡胶支座和 GJZF4 四氟滑板橡胶支座。

主桥下部结构主墩墩身采用单箱 4 室空心薄壁截面，墩身横桥向宽 28.6m，墩身纵桥向顶宽 11m，向下 35:1 放坡，墩身每间隔 16.8m 设一道横隔板；主墩桩基础为桩径 2.50m 的钻孔灌注桩；交接墩和辅助墩均采用顺桥向长 5.0m、横桥向宽为 3.0m 的 2 柱式空心薄壁墩。

桩基础采用挖孔灌注桩。引桥桥墩除云阳岸两个矮墩采用实心墩外，其余采用双柱墩式薄壁空心墩。基础采用挖孔灌注桩。

桥台 4 号墩 12 桥台顶各设一道 SSFB-80 伸缩缝；主桥两端各设一道 SSFB-320 伸缩缝

大桥于 2008 年建成通车，至今已运营约 17 年。

2 设计依据

2.1 相关图纸、报告等文件

《彭溪河特大桥施工图》（四川省交通厅公路规划勘察设计研究院）

《彭溪河特大桥竣工图》（中港第二航务工程局）

《彭溪河特大桥夏季变形监测检测报告》及《G42 沪蓉高速彭溪河特大桥（K1436+118）定期检查报告》（河南省交院工程检测科技有限公司）

《重庆高速集团 2021 年桥隧定期检查（监测）DB-1 标》（中犇检测认证有限公司）

《重庆高速公路集团有限公司东南营运分公司 2020 年至 2021 年桥隧定期检查（监测）及设计项目 DN 标》（贵州宏信创达工程检测咨询有限公司）

《重庆高速公路集团有限公司东南营运分公司 2022 年至 2024 年桥隧定期检查（监测）及设计项目》（招商局重庆公路工程检测中心有限公司）

《G42 沪蓉高速奉节至梁平段 安全韧性提升项目 K1342+450~K1574+950 工程可行性研究报告》（北京交科公路勘察设计研究院有限公司，2025.5）

《G42 沪蓉高速奉节至梁平段安全韧性提升工程 公路安全韧性评估》（工可阶段评估 桥涵专业工程评估报告）（北京公科固桥技术有限公司，2025.4）

《G42 沪蓉高速云万段彭溪河特大桥（K1436+118）主桥特殊检查》（北京公科固桥技术有限公司检测中心 2025.9）

2.2 主要规范或标准

（1）《钢结构防火涂料》（GB 14907—2018）

（2）《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》（GB/T 18365—2018）

（3）《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101—2019）

（4）《缆索用环氧涂层钢丝》（GB/T 25835—2010）

（5）《纳米孔气凝胶复合绝热制品》（GB/T 34336—2017）

（6）《玻璃纤维无捻粗纱布》（GB/T18370—2014）

（7）《建筑材料及制品燃烧性能分级》（GB 8624—2012）

（8）《建筑设计防火规范》（GB 50016—2018）

（9）《建筑钢结构防火技术规范》（GB 51249—2017）

（10）《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》（JT/T 775—2016）

（11）《公路斜拉桥设计规范》（JTG/T 3365-01—2020）

（12）《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）

（13）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362—2018）

（14）《公路桥涵养护规范》（JTG 5120—2021）

（15）《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JGJ/T5122—2021）

（16）《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722—2023）

（17）《公路桥梁用氟碳面漆》(JT/T 1168—2017）

（18）《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650—2020）

（19）《桥梁缆索防腐缠包带》（HG/T 5600—2019）

（20）《电缆防火阻燃设计与施工》（06D105）

2.3 主要技术标准

（1）公路等级：高速公路

（2）设计车速：80km/h

（3）原设计荷载：公路—I 级（JTGD60-2004）

（4）洪水频率：1/300

（5）地震作用：地震动峰值加速度：0.05g，按 0.1g 设防。

3 韧性不足主要问题及分析

3.1 拉索

（1）外观

斜拉索存在 103 处刮伤，26 处刮痕；7 处防尘罩积水、2 处锚头渗水；9 处黄油结块、变质；17 处防尘罩锈蚀；11 处钢护套密封圈开裂、2 处破损；5 处钢护筒破损；6 处锚具锈蚀；2 处锚头渗油；8 处齿板锈蚀；1 处齿块破损。



防水罩及齿板锈蚀



黄油结块



钢护筒破损



锚头积水



锚杯锈蚀



锚具锈蚀



锚具锈蚀



密封圈开裂

（2）拉索锈蚀检测

拉索磁致伸缩导波无损检测共 22 处，信号评定全部为 I 区。斜拉索大部分上下锚头评定标度全部为 1；斜拉索端部有 7 处反射回波信号相对偏弱，评定标度为 2，斜拉索锈蚀状态不确定。

择取信号异常较典型性 6 根斜拉索（相对较差）1 塔-左-S23#、1 塔-右-M18#、1 塔-右-M19#、1 塔-右-S18#、2 塔-左-S25#、2 塔-右-M01#以及信号未见明显异常（相对较好）的典型性斜拉索 1 塔-左-M05#（短索）、1 塔-左-S22#（长索）、1 塔-左-S24#（长索），在距梁端防水罩高度约 0.35m 处位置点将斜拉索 PE 护套开窗，开窗检测评判结论如下：

其中 1 根拉索钢丝镀锌层存在大面积析白，钢丝夹缝局部少量黄褐色锈蚀斑点，锈斑分布面积占开窗表面积的比例小于 10%，评定标度全部为 2；1 根拉索钢丝镀锌层存在小面积析白，钢丝夹缝局部少量黄褐色锈蚀斑点，评定标度全部为 2；3 根拉索钢丝镀锌层存在小面积析白，评定标度全部为 2；其余 1 根斜拉索内部钢丝技术状况评定标度为 1。



锈斑面积比例小于 10%



锈斑面积比例小于 10%

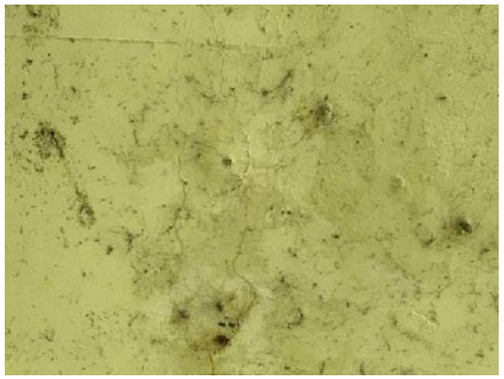
3.2 主梁

该桥主梁存在 127 条纵向裂缝，宽度 0.08mm~0.20mm；以及横向裂缝、斜向裂缝、网状裂缝，宽度 0.10mm~0.16mm；横隔板存在部分横向裂缝、纵向裂缝、竖向裂缝，宽度 0.05mm~0.16mm。

混凝土多处破损露筋、剥落、涂层劣化、蜂窝、麻面。



主梁纵向裂缝



主梁纵向裂缝



主梁蜂窝麻面



主梁混凝土剥落、露筋

3.3 索塔

索塔塔柱存在少量混凝土破损、露筋等。



索塔剥落、破损



索塔露筋

3.4 下部结构

主要病害表现为桥墩受水侵蚀。



墩身水侵蚀

3.5 桥面系

桥面铺装有 10 处坑槽、5 处拥包、4 条横向裂缝、一处露骨、7 处网裂。



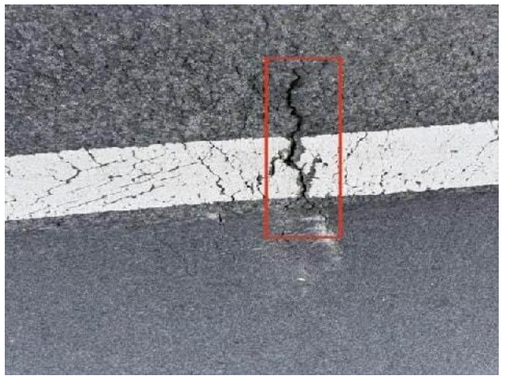
桥面铺装破损、坑槽



桥面铺装破损、坑槽



桥面铺装网裂



桥面铺装网裂

伸缩缝堵塞，胶条存在老化破损，锚固区混凝土开裂。



胶条破损



锚固区开裂

3.6 护栏

护栏存在 51 处破损露筋，7 处开裂，宽度 0.10mm-0.14mm。



护栏破损露筋



护栏破损露筋

3.7 桥面铺装厚度

采用取芯法验证桥面铺装厚度，原竣工图纸无沥青铺装。经检查桥面铺装抽检 12 处，沥青层厚度介于 4.3cm~5.5cm，混凝土层厚度介于 5.0cm~9.0cm。

3.8 桥面线形

根据桥面线形测量结果，该桥左、右幅桥面线形平顺，整体线形测量值符合桥梁正常变化情况。本次检测与上一年同季度检测时相比，主桥左幅右幅外侧高程变化值在 1.06mm～5.00mm 之间。

3.9 索力复核

本次本次全桥测试 60 根斜拉索索力，与 2024 年测试结果相差 10%以上的斜拉索为 6 根，索力差值在 0.0kN~775kN 之间。

3.10 病害发展分析

2023 年该桥针对上部结构、下部结构、桥面系进行了桥梁病害维修养护。本次检查结果与 2023 年、2024 年定期检查报告中的检查结果对比，本次检查发现混凝土的大面积修补区域出现了少量网状裂缝以及横向裂缝等。

3.11 技术状况评定

根据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）4.1.5 的规定，桥面系为 3 类构件。主桥整体技术状况评分为 86.88，整体技术状况等级评定为 2 类。

3.12 火灾

斜拉索位于护栏外侧，路段存在易燃品运输车辆，斜拉索距离行车道较近，未设置防火措施，构件与可能起火点横向安全距离小，高温辐射或燃烧直接影响构件，因此本桥索结构受火灾扰动明显。

3.13 安全韧性评估结果

特性指标	表征指标	标度取值	
冗余性	承受能力	3	斜拉索位于护栏外侧，与可能起火点横向安全距离小
	结构监测与监测预警	5	设备运行正常，监测与报警高效。告警阻拦装置符合《关于进一步加强监测警提升公路防灾抗灾能力的通知》要求，设备运行正常
	设防能力	4	该桥梁按照《公路桥涵设计通用规范》（JTGD60-2004）设计
	技术状况	5	上部结构技术状况为 2 类
应变性	外部扰动持续力	/	/
稳健性	恢复能力	3	该桥斜拉索未设置防火措施
恢复性	最大抗风险能力	5	火灾可能导致拉吊杆（索）等可更换构件的损伤
适应性	最低服务能力	/	/

大桥评估分数为 **76.4**。

4 结构验算

4.1 计算模型及主要参数

（1）恒载

一期恒载：混凝土容重取为 26kN/m^3。

二期恒载：整个二期恒载按实际布置取值。

（2）汽车荷载

根据设计说明，汽车荷载取值如下：公路Ⅰ级。双向 6 车道，考虑到实际状况中重车的影响，汽车荷载按 1.02 倍取值。

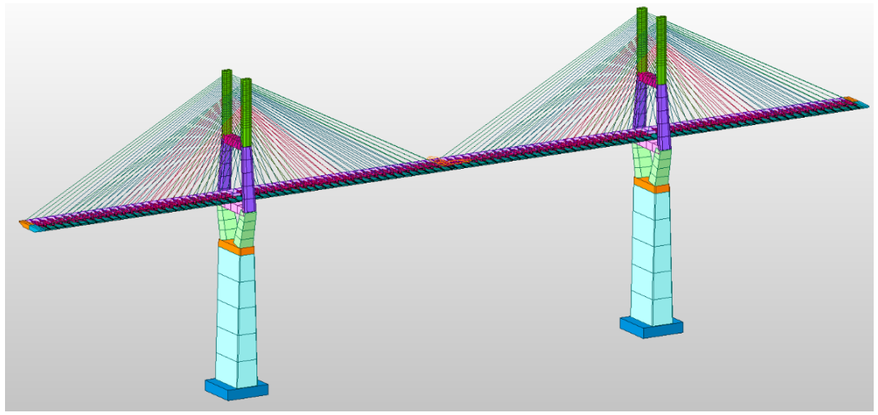
（3）温度作用

均匀温度作用考虑为：整体升温 20℃，整体降温 20℃；考虑主梁截面温度梯度、索塔温差、拉索温差。

（4）荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）的验算荷载以及荷载组合方式。

纵向总体计算采用桥梁通用程序 Midas Civil，按空间杆系进行结构分析。按照设计施工流程图的施工顺序进行结构离散，主塔、主梁、主墩及横隔板均采用梁单元模拟，桥面板采用板单元模拟，斜拉索采用桁架单元模拟。



建立有限元计算模型

4.2 现状工况验算结果

4.2.1 索力验算

按现行规范对基于检测结果的结构工况进行验算，并考虑了实际荷载的修正以及桥梁实测铺装超方情况。竣工资料无沥青层，根据实测铺装厚度推算，超方约 31KN/m。

现状索力验算结果

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d（kN）	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	抗拉强度设计值（MPa）	抗拉强度修正值（MPa）	安全系数	结论
1	N25'	PES7-223	6191	794	900	837	1.05	满足
2	N24'	PES7-223	6081	779	900	837	1.07	满足
3	N23'	PES7-223	5814	745	900	837	1.12	满足
4	N22'	PES7-223	5582	715	900	837	1.17	满足
5	N21'	PES7-187	5304	811	900	837	1.03	满足
6	N20'	PES7-187	5194	794	900	837	1.05	满足
7	N19'	PES7-187	5091	778	900	837	1.08	满足
8	N18'	PES7-187	4968	759	900	837	1.10	满足
9	N17'	PES7-187	4945	756	900	837	1.11	满足
10	N16'	PES7-187	4881	746	900	837	1.12	满足
11	N15'	PES7-187	4784	731	900	837	1.14	满足
12	N14'	PES7-187	4673	714	900	837	1.17	满足
13	N13'	PES7-151	4287	811	900	837	1.03	满足
14	N12'	PES7-151	4174	790	900	837	1.06	满足

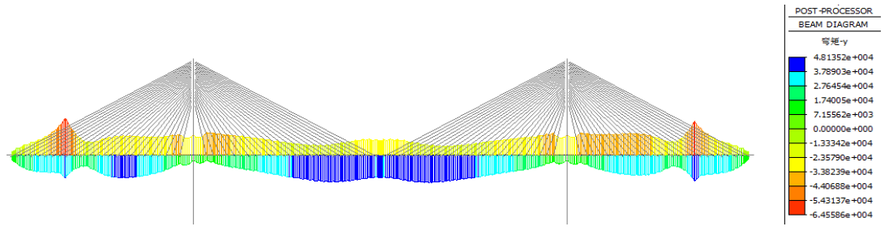
序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d (kN)	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	抗拉强度设计值（MPa）	抗拉强度修正值（MPa）	安全系数	结论
15	N11'	PES7-151	4058	768	900	837	1.09	满足
16	N10'	PES7-151	3948	747	900	837	1.12	满足
17	N9'	PES7-151	3832	725	900	837	1.15	满足
18	N8'	PES7-151	3704	701	900	837	1.19	满足
19	N7'	PES7-139	3492	718	900	837	1.17	满足
20	N6'	PES7-139	3364	692	900	837	1.21	满足
21	N5'	PES7-139	3238	666	900	837	1.26	满足
22	N4'	PES7-121	3003	709	900	837	1.18	满足
23	N3'	PES7-121	2875	679	900	837	1.23	满足
24	N2'	PES7-121	3031	716	900	837	1.17	满足
25	N1'	PES7-187	4945	756	900	837	1.11	满足
26	N0	PES7-223	5289	678	900	837	1.23	满足
25	N1	PES7-187	5045	771	900	837	1.09	满足
28	N2	PES7-121	3096	731	900	837	1.14	满足
29	N3	PES7-121	2936	694	900	837	1.21	满足
30	N4	PES7-121	3055	722	900	837	1.16	满足
31	N5	PES7-139	3290	677	900	837	1.24	满足
32	N6	PES7-139	3408	701	900	837	1.19	满足
33	N7	PES7-139	3523	724	900	837	1.16	满足
34	N8	PES7-151	3718	704	900	837	1.19	满足
35	N9	PES7-151	3834	726	900	837	1.15	满足
36	N10	PES7-151	3945	747	900	837	1.12	满足
37	N11	PES7-151	4050	767	900	837	1.09	满足
38	N12	PES7-151	4147	785	900	837	1.07	满足
39	N13	PES7-151	4224	800	900	837	1.05	满足
40	N14	PES7-187	4528	692	900	837	1.21	满足
41	N15	PES7-187	4584	701	900	837	1.19	满足
42	N16	PES7-187	4638	709	900	837	1.18	满足
43	N17	PES7-187	4685	716	900	837	1.17	满足
44	N18	PES7-187	4732	723	900	837	1.16	满足
45	N19	PES7-187	4911	751	900	837	1.12	满足
46	N20	PES7-187	5095	779	900	837	1.07	满足
47	N21	PES7-187	5284	808	900	837	1.04	满足
48	N22	PES7-223	5648	724	900	837	1.16	满足
49	N23	PES7-223	5958	764	900	837	1.10	满足
50	N24	PES7-223	6265	803	900	837	1.04	满足
51	N25	PES7-223	6235	799	900	837	1.05	满足

结论：拉索承载力满足要求，但约 25%索力安全系数储备偏低。

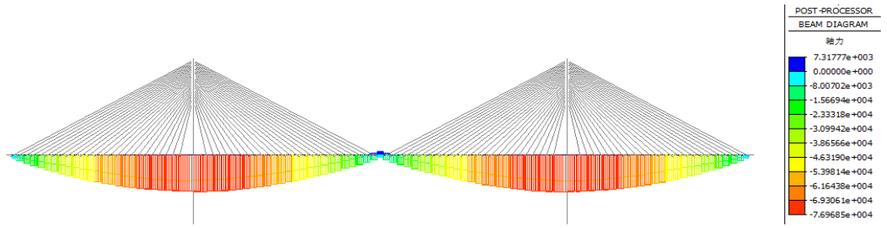
4.2.2 主梁验算

（1）主梁内力验算

弯矩、轴力结果满足规范要求。

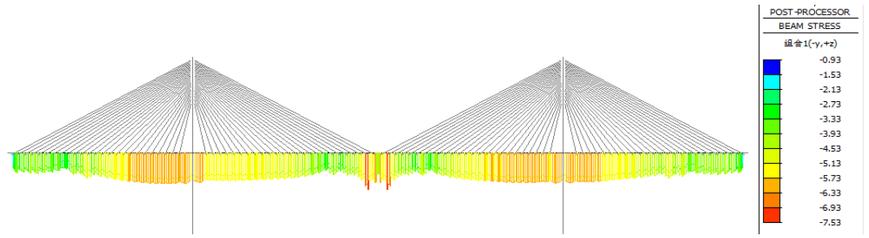


承载能力极限状态下主梁弯矩包络（单位：kN.m）

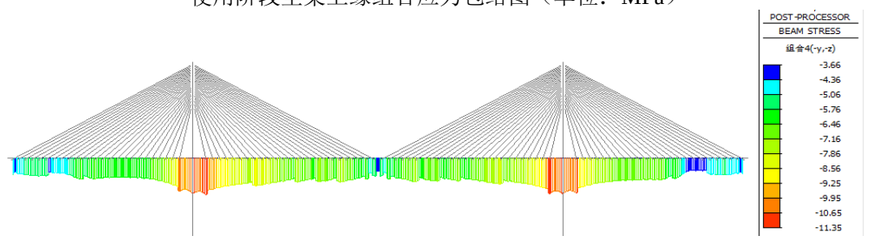


承载能力极限状态下主梁轴力包络（单位：kN.m）

（2）正截面抗裂验算：满足要求。

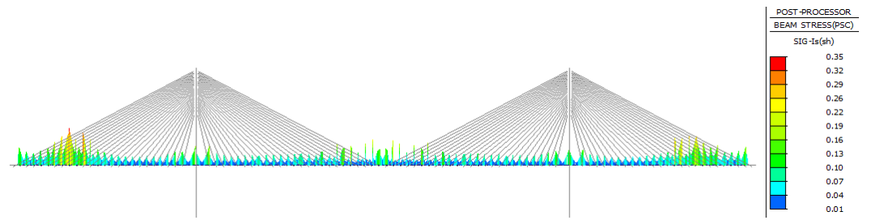


使用阶段主梁上缘组合应力包络图（单位：MPa）



使用阶段主梁下缘组合应力包络图（单位：MPa）

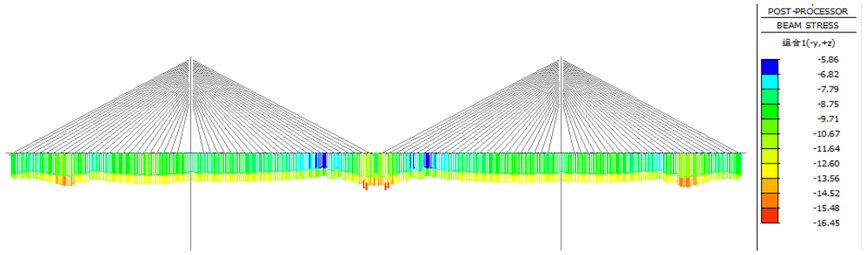
（3）斜截面抗裂验算



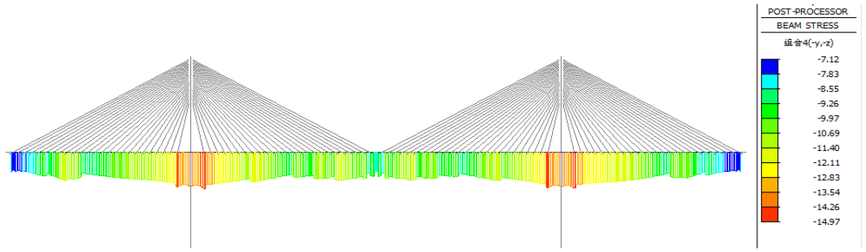
使用阶段主梁最大主拉应力（单位：MPa）

σ_{tp} =0.35MPa≤0.4f_{tk} =1.140 MPa，满足要求。

（4）正截面压应力验算



使用阶段正截面压应力上缘包络图（单位：MPa）

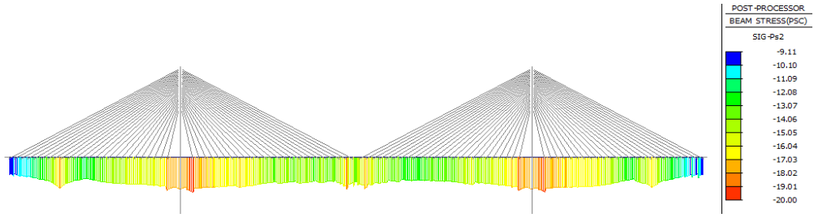


使用阶段正截面压应力验算下缘包络图（单位：MPa）

顶缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}$ =16.67MPa≤0.5f_{ck} =19.25MPa，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}$ =15.32MPa≤0.5f_{ck} =19.25MPa，满足规范要求。

（5）斜截面主压应力验算：

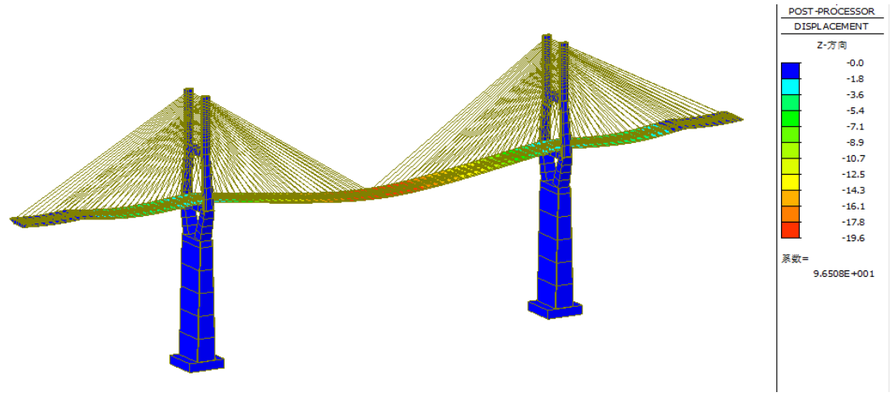


使用阶段主梁主压应力（单位：MPa）

σ_{cp} =20.0MPa≤0.6f_{ck} =23.10MPa，满足规范要求。

（6）主梁挠度验算

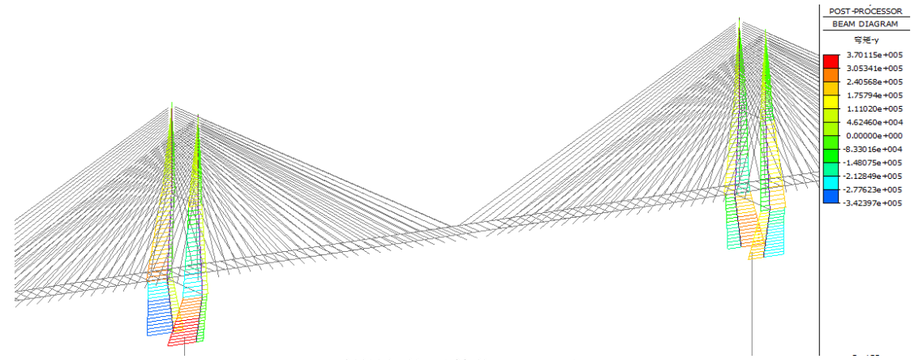
按照《公路斜拉桥设计规范》（JTGT 3365-01—2020）7.2.5 条规定，混凝土主梁正负挠度绝对值之和不应超过跨径的 1/500。



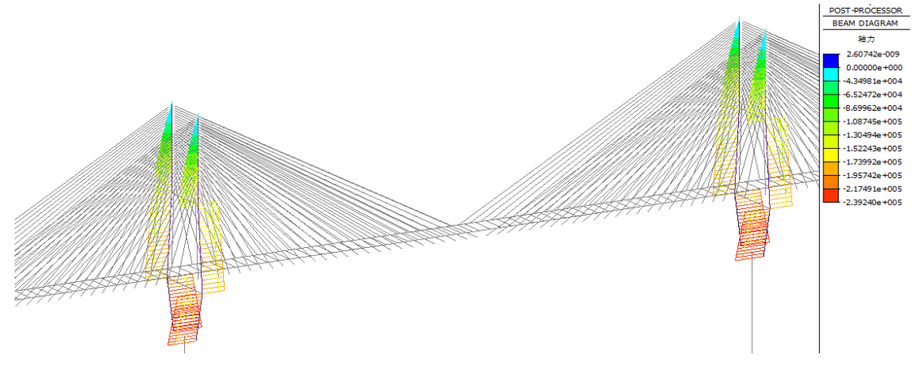
2.1+19.6=21.7cm＜31600/500=63.2cm，挠度验算满足规范要求。

4.2.3 主塔验算

（1）承载力



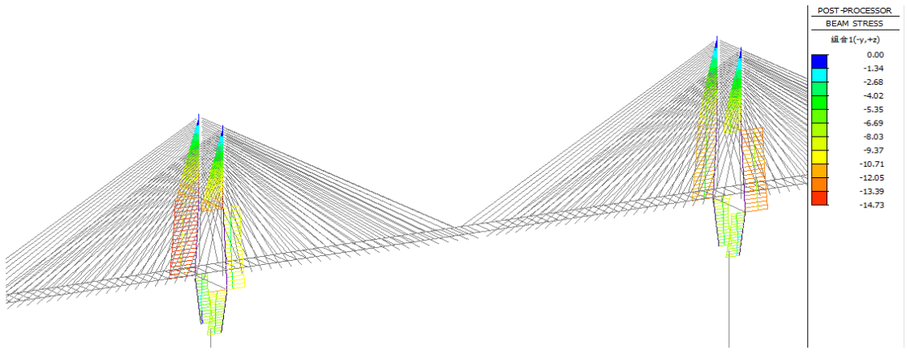
弯矩包络（单位：kN.m）



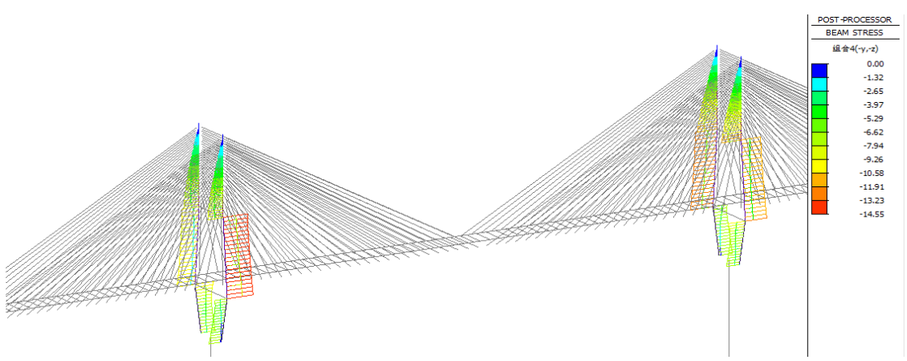
轴力包络（单位：kN）

承载能力满足规范要求。

（2）应力



桥塔上缘组合应力（单位：MPa）



桥塔下缘组合应力（单位：MPa）

在正常使用极限状态下，桥塔顶缘最大压应力为 14.7MPa，发生在中塔柱与下横梁交界处；底缘最大压应力为 14.5MPa，发生在中塔柱与下横梁交界处。桥塔顶底缘应力均满足规范要求。

5 韧性提升方案

5.1 拉索提升方案

针对大桥拉索抗火灾能力不足以及索力验算部分索体承载能力安全系数储备低的问题，综合考虑现有拉索的寿命以及更换拉索施工难度及社会影响，并结合初步设计评审意见，拟定采用**一次性更换全部拉索并增加索体防火措施方案**。

5.2 拉索更换

更换拉索与原设计规格一致。新换索采用环氧涂层钢丝成品拉索体系，钢丝采用低松驰高强钢丝，直径 7mm，抗拉强度标准值 f_{pk}=1860MPa（原设计强度 1670MPa），型号为：PES（C）7-121、PES（C）7-139、PES（C）7-151、PES（C）7-187、PES（C）7-223。拉索外包黑色内层彩色外层的双层 HDPE 低应力全防腐结构。锚具采用冷铸镦头锚。新索与旧索的对比如下，施工前应再次复核拉索直径与套管孔道，确保可以顺利安装。

拉索与预埋管适配性表

原设计拉索型号	预埋套管内径（mm）	更换拉索型号	更换拉索锚杯外径（mm）
PES7-121	257	PES（C）7-121	240
PES7-139	260	PES（C）7-139	250
PES7-151	281	PES（C）7-151	265
PES7-187	301	PES（C）7-187	285
PES7-223	331	PES（C）7-223	315

本桥拉索未设置外置减震装置，换索后增加外置减震器。

5.3 拉索增加防火措施

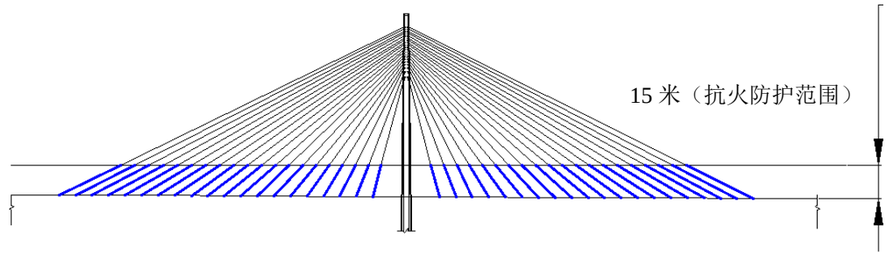
5.3.1 设防标准

（1）火灾热释放功率标准为 200MW;

（2）斜拉索设防时间为 60min;

（3）斜拉索钢丝设防温度为 300℃;

（4）设防范围为桥面以上垂直高度 15m 的拉索结构。



斜拉索抗火防护范围

5.3.2 索体锚固端防火方案

桥面以上 0～防水罩高度，含导索管、防水罩，增设耐火涂料层。采用 6mm 厚的环氧防火涂料进行防护。面漆颜色与拉索一致或指定。具体组成如下：

防水罩及以下高度拉索防火涂料

位置	涂装用料	道数	干膜厚度（μm）
桥面 0~防水罩高度	锚固区原防护层	/	/
	表面清洁拉毛，去除面漆层	/	/
	环氧防火涂料	1	3000
	增强高温纤维网	1	/
	环氧防火涂料	1	3000

位置	涂装用料	道数	干膜厚度（μm）
	氟碳面漆	2	2×40

5.3.3 索体防火方案

防水罩高度~15m 高度，采用高硅氧气凝胶毡防火套防护。

具体组成为：2 层 5mm 高硅氧铝硅气凝胶毡+0.7mm 不锈钢罩+PVF 缠包带的方案进行防护。

高硅氧气凝胶毡采用螺旋缠绕式施工，环向、纵向均采取对接方式，材料经加工覆布背胶（在高硅氧气凝胶毡所有外表面均通过特殊的缝纫工艺复合耐高温无碱玻璃纤维布，在无碱玻璃纤维布外增加高粘防水背胶（丁基胶带）），可以紧实的贴合在斜拉索表面。

高硅氧气凝胶毡防火套方案

位置	防护材料	道数	厚度
防水罩~15m 高度	高硅氧铝硅气凝胶毡	2	2*5mm
	不锈钢护套	1	0.7mm
	PVF 缠包带	1	/

防火套施工完毕后，其外侧还应外包一层原拉索成品含有螺旋线的 HDPE 护套。

5.4 一般病害维修方案

5.4.1 裂缝维修

对于一般混凝土构件裂缝，根据缝宽大小采取以下措施进行处理：

（1）裂缝宽度<0.15mm，采用环氧树脂胶泥进行封闭；

（2）裂缝宽度≥0.15mm，采用低压注射环氧树脂胶进行修补。

5.4.2 混凝土表面缺陷

对于桥塔、主梁锈胀、表面砼蜂窝麻面及剥落情况，首先将松散不密实的混凝土凿除，直至露出新鲜的混凝土为止，然后用高压水清除混凝土表面，进行钢筋除锈、阻锈处理，最后用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补。

对混凝土蜂窝麻面、风化、泛白、泛碱等病害，首先凿除松散的混凝土，然后用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补。

5.4.3 钢筋除锈

对外露钢筋表面的氧化层应利用钢刷予以清除，直至露出新鲜坚实部分。

对由钢筋锈蚀探查确定的钢筋锈蚀区域应对该部位混凝土表面破损、腐化、松散等缺陷区域进行凿除、清理，确保表面无油污、油脂、蜡状物等影响渗透的污物。在其外表面涂刷渗透型钢筋阻锈剂，形成保护膜，阻止钢筋的锈蚀，涂刷后再进行破损修补。

5.5 伸缩缝处理

更换破损的橡胶带。

5.6 桥面铺装处理

经调查该路段大型货车占比较高，桥面已出现破损车辙等病害。

原结构竣工图显示主桥铺装为 6cm 混凝土，无沥青层。取芯实测现状铺装为 5.0~9.0cm 钢筋混凝土+4.3~5.5cm 沥青混凝土，本次提升设计方案基本维持现状铺装层总厚度不变，适当加强混凝土铺装层厚度。先对桥面沥青层和混凝土调平层进行破除，更换为 8cm 钢筋混凝土+5cmSMA-13 改性沥青混凝土。

由于实测桥面铺装厚度不均匀，桥面有一定程度的不平顺，应先在混凝土调平层施工时找平标高，再施工上面层沥青混凝土。

由于检测取芯时，桥梁无法封闭交通，因此取芯数量及分布不能完全反应铺装的实际厚度，在施工期间封闭交通后，应对铺装厚度和梁顶标高进行详细的测量，并以此作为铺装厚度施工的依据，如发现实际厚度与上述检测结果有较大的差异，应及时上报设计及业主单位商议解决方案。

引桥铺装铣刨 2cm 后，重铺 2cm 高粘高弹改性沥青 SMA-8 超薄罩面。

5.7 护栏提升

见说明交安提升部分。

5.8 提升后结构验算

本次更换拉索同时也进行铺装改造和护栏等级提升，现状桥梁铺装厚度不均匀，桥面有一定程度的起伏，为行车安全及舒适性，本次重做桥面铺装时结合纵坡线型进行适度的局部调平，铺装估算恒载略有增加。而外侧护栏由混凝土护栏变更为钢护栏，恒载减少，最终二期恒载比竣工状况增加约 33KN/m，基本与桥梁现状持平。

本次提升，拉索抗拉强度由 1670MPa 提升至 1860Mpa。按现行规范对提升后的拉索结构进行验算，结果如下。

提升后索力验算结果

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d（kN）	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	抗拉强度设计值（MPa）	安全系数	结论
1	N25'	PES(C)7-223	6170	791	1005	1.27	满足
2	N24'	PES(C)7-223	6059	777	1005	1.29	满足

序号	拉索编号	斜拉索规格	拉索内力 N_d（kN）	$\gamma_0 N_d/A$ (MPa)	抗拉强度设计值（MPa）	安全系数	结论
3	N23'	PES(C)7-223	5804	744	1005	1.35	满足
4	N22'	PES(C)7-223	5570	714	1005	1.41	满足
5	N21'	PES(C)7-187	5292	809	1005	1.24	满足
6	N20'	PES(C)7-187	5182	792	1005	1.27	满足
7	N19'	PES(C)7-187	5075	776	1005	1.30	满足
8	N18'	PES(C)7-187	4948	756	1005	1.33	满足
9	N17'	PES(C)7-187	4921	752	1005	1.34	满足
10	N16'	PES(C)7-187	4854	742	1005	1.35	满足
11	N15'	PES(C)7-187	4755	727	1005	1.38	满足
12	N14'	PES(C)7-187	4643	710	1005	1.42	满足
13	N13'	PES(C)7-151	4264	807	1005	1.25	满足
14	N12'	PES(C)7-151	4154	786	1005	1.28	满足
15	N11'	PES(C)7-151	4039	765	1005	1.31	满足
16	N10'	PES(C)7-151	3932	744	1005	1.35	满足
17	N9'	PES(C)7-151	3818	723	1005	1.39	满足
18	N8'	PES(C)7-151	3691	699	1005	1.44	满足
19	N7'	PES(C)7-139	3480	716	1005	1.40	满足
20	N6'	PES(C)7-139	3350	689	1005	1.46	满足
21	N5'	PES(C)7-139	3220	662	1005	1.52	满足
22	N4'	PES(C)7-121	2984	705	1005	1.43	满足
23	N3'	PES(C)7-121	2853	674	1005	1.49	满足
24	N2'	PES(C)7-121	3004	710	1005	1.42	满足
25	N1'	PES(C)7-187	4901	749	1005	1.34	满足
26	N0	PES(C)7-223	5368	688	1005	1.46	满足
25	N1	PES(C)7-187	5022	768	1005	1.31	满足
28	N2	PES(C)7-121	3081	728	1005	1.38	满足
29	N3	PES(C)7-121	2924	691	1005	1.46	满足
30	N4	PES(C)7-121	3046	720	1005	1.40	满足
31	N5	PES(C)7-139	3283	675	1005	1.49	满足
32	N6	PES(C)7-139	3405	700	1005	1.44	满足
33	N7	PES(C)7-139	3521	724	1005	1.39	满足
34	N8	PES(C)7-151	3719	704	1005	1.43	满足
35	N9	PES(C)7-151	3838	726	1005	1.38	满足
36	N10	PES(C)7-151	3949	748	1005	1.34	满足
37	N11	PES(C)7-151	4054	767	1005	1.31	满足
38	N12	PES(C)7-151	4150	786	1005	1.28	满足
39	N13	PES(C)7-151	4228	800	1005	1.26	满足
40	N14	PES(C)7-187	4532	693	1005	1.45	满足
41	N15	PES(C)7-187	4587	701	1005	1.43	满足
42	N16	PES(C)7-187	4639	709	1005	1.42	满足
43	N17	PES(C)7-187	4685	716	1005	1.40	满足
44	N18	PES(C)7-187	4733	723	1005	1.39	满足
45	N19	PES(C)7-187	4911	751	1005	1.34	满足
46	N20	PES(C)7-187	5093	778	1005	1.29	满足
47	N21	PES(C)7-187	5281	807	1005	1.25	满足
48	N22	PES(C)7-223	5643	723	1005	1.39	满足
49	N23	PES(C)7-223	5950	763	1005	1.32	满足
50	N24	PES(C)7-223	6254	802	1005	1.25	满足
51	N25	PES(C)7-223	6218	797	1005	1.26	满足

结论：拉索满足要求且安全系数有明显提升。

5.9 换索工况验算

审查意见建议采用半封闭交通方案，因此以半封闭交通工况进行模拟，在拆除桥面铺装后，单塔单侧同时更换 2 根索，大桥可满足受力要求。

具体为封闭单侧单向交通，更换另一侧拉索，采用单塔单侧对称更换，即同时卸载单塔对应相同编号的根拉索。

5.9.1 拉索验算

换索时索力变化值见下表：

编号	换索前索力 KN	拆 25#索		拆 24#索		拆 23#索		拆 22#索		拆 21#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N1	2760	2748	-0.4%	2749	-0.4%	2750	-0.4%	2751	-0.3%	2752	-0.3%
N2	1711	1707	-0.2%	1707	-0.2%	1707	-0.2%	1707	-0.2%	1707	-0.2%
N3	1632	1631	-0.1%	1630	-0.1%	1630	-0.1%	1629	-0.2%	1629	-0.2%
N4	1779	1782	0.2%	1781	0.1%	1779	0.0%	1778	-0.1%	1777	-0.1%
N5	1899	1910	0.6%	1907	0.4%	1904	0.3%	1901	0.1%	1900	0.1%
N6	2031	2051	1.0%	2046	0.7%	2042	0.5%	2038	0.3%	2036	0.2%
N7	2156	2186	1.4%	2180	1.1%	2174	0.8%	2169	0.6%	2166	0.5%
N8	2276	2321	2.0%	2313	1.6%	2305	1.3%	2298	1.0%	2293	0.7%
N9	2391	2449	2.4%	2441	2.1%	2430	1.6%	2422	1.3%	2416	1.0%
N10	2498	2570	2.9%	2560	2.5%	2548	2.0%	2538	1.6%	2530	1.3%

编号	换索前索力 KN	拆 25#索		拆 24#索		拆 23#索		拆 22#索		拆 21#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N11	2601	2689	3.4%	2678	3.0%	2664	2.4%	2652	2.0%	2643	1.6%
N12	2702	2805	3.8%	2792	3.3%	2777	2.8%	2764	2.3%	2754	1.9%
N13	2791	2909	4.2%	2896	3.8%	2880	3.2%	2865	2.7%	2854	2.3%
N14	2910	3074	5.6%	3057	5.1%	3036	4.3%	3016	3.6%	3001	3.1%
N15	2987	3168	6.1%	3151	5.5%	3130	4.8%	3109	4.1%	3093	3.5%
N16	3059	3253	6.3%	3237	5.8%	3216	5.1%	3195	4.4%	3179	3.9%
N17	3116	3320	6.5%	3306	6.1%	3286	5.5%	3266	4.8%	3249	4.3%
N18	3156	3363	6.6%	3352	6.2%	3336	5.7%	3318	5.1%	3304	4.7%
N19	3292	3497	6.2%	3490	6.0%	3478	5.7%	3463	5.2%	3450	4.8%
N20	3416	3620	6.0%	3616	5.9%	3608	5.6%	3595	5.2%	3583	4.9%
N21	3537	3739	5.7%	3737	5.7%	3732	5.5%	3720	5.2%	—	—
N22	3630	3870	6.6%	3869	6.6%	3863	6.4%	—	—	4075	12.3%
N23	3848	4088	6.2%	4086	6.2%	—	—	4267	10.9%	4239	10.2%
N24	4078	4319	5.9%	—	—	4472	9.7%	4444	9.0%	4419	8.4%
N25	4173	—	—	4584	9.8%	4560	9.3%	4533	8.6%	4511	8.1%
N0	3006	2997	-0.3%	2998	-0.3%	2998	-0.3%	2999	-0.2%	3000	-0.2%

续前表

编号	换索前索力 KN	拆 20#索		拆 19#索		拆 18#索		拆 17#索		拆 16#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N1	2760	2752	-0.3%	2754	-0.2%	2756	-0.1%	2758	-0.1%	2762	0.1%
N2	1711	1707	-0.2%	1708	-0.2%	1710	-0.1%	1712	0.1%	1715	0.2%
N3	1632	1629	-0.2%	1630	-0.1%	1632	0.0%	1634	0.1%	1639	0.4%
N4	1779	1777	-0.1%	1778	-0.1%	1780	0.1%	1783	0.2%	1788	0.5%
N5	1899	1899	0.0%	1900	0.1%	1902	0.2%	1906	0.4%	1914	0.8%
N6	2031	2034	0.1%	2035	0.2%	2037	0.3%	2042	0.5%	2050	0.9%
N7	2156	2164	0.4%	2164	0.4%	2165	0.4%	2171	0.7%	2179	1.1%
N8	2276	2290	0.6%	2289	0.6%	2291	0.7%	2297	0.9%	2307	1.4%
N9	2391	2412	0.9%	2410	0.8%	2411	0.8%	2416	1.0%	2426	1.5%
N10	2498	2525	1.1%	2522	1.0%	2522	1.0%	2527	1.2%	2537	1.6%
N11	2601	2637	1.4%	2633	1.2%	2631	1.2%	2635	1.3%	2644	1.7%
N12	2702	2746	1.6%	2740	1.4%	2737	1.3%	2739	1.4%	2746	1.6%
N13	2791	2845	1.9%	2837	1.6%	2832	1.5%	2832	1.5%	2837	1.6%
N14	2910	2988	2.7%	2977	2.3%	2967	2.0%	2964	1.9%	2966	1.9%
N15	2987	3078	3.0%	3064	2.6%	3051	2.1%	3044	1.9%	3040	1.8%
N16	3059	3163	3.4%	3146	2.8%	3129	2.3%	3116	1.9%	—	—
N17	3116	3232	3.7%	3213	3.1%	3191	2.4%	—	—	3478	11.6%
N18	3156	3287	4.2%	3265	3.5%	—	—	3521	11.6%	3485	10.4%
N19	3292	3433	4.3%	—	—	3665	11.3%	3626	10.1%	3589	9.0%
N20	3416	—	—	3800	11.2%	3758	10.0%	3720	8.9%	3684	7.8%
N21	3537	3921	10.9%	3884	9.8%	3844	8.7%	3809	7.7%	3774	6.7%
N22	3630	4040	11.3%	3999	10.2%	3956	9.0%	3919	8.0%	3880	6.9%
N23	3848	4207	9.3%	4172	8.4%	4134	7.4%	4101	6.6%	4064	5.6%
N24	4078	4392	7.7%	4362	7.0%	4329	6.2%	4299	5.4%	4265	4.6%
N25	4173	4487	7.5%	4461	6.9%	4432	6.2%	4405	5.6%	4372	4.8%
N0	3006	3001	-0.2%	3002	-0.1%	3003	-0.1%	3005	0.0%	3008	0.1%

续前表

编号	换索前索力 KN	拆 15#索		拆 14#索		拆 13#索		拆 12#索		拆 11#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N1	2760	2768	0.3%	2774	0.5%	2783	0.8%	2793	1.2%	2806	1.7%
N2	1711	1719	0.5%	1725	0.8%	1730	1.1%	1738	1.6%	1746	2.0%
N3	1632	1644	0.7%	1650	1.1%	1657	1.5%	1665	2.0%	1674	2.6%
N4	1779	1795	0.9%	1802	1.3%	1809	1.7%	1818	2.2%	1827	2.7%
N5	1899	1922	1.2%	1932	1.7%	1941	2.2%	1952	2.8%	1962	3.3%
N6	2031	2060	1.4%	2070	1.9%	2080	2.4%	2091	3.0%	2101	3.4%
N7	2156	2190	1.6%	2201	2.1%	2210	2.5%	2221	3.0%	2230	3.4%
N8	2276	2318	1.8%	2331	2.4%	2340	2.8%	2351	3.3%	2357	3.6%
N9	2391	2438	2.0%	2450	2.5%	2458	2.8%	2466	3.1%	2469	3.3%
N10	2498	2548	2.0%	2558	2.4%	2564	2.6%	2569	2.8%	2566	2.7%
N11	2601	2654	2.0%	2662	2.3%	2664	2.4%	2664	2.4%	—	—
N12	2702	2754	1.9%	2759	2.1%	2756	2.0%	—	—	3057	13.1%
N13	2791	2841	1.8%	2841	1.8%	—	—	3133	12.3%	3100	11.1%
N14	2910	2965	1.9%	—	—	3314	13.9%	3278	12.6%	3239	11.3%
N15	2987	—	—	3374	13.0%	3336	11.7%	3302	10.5%	3268	9.4%
N16	3059	3431	12.2%	3397	11.0%	3361	9.9%	3330	8.9%	3301	7.9%
N17	3116	3445	10.6%	3411	9.5%	3378	8.4%	3350	7.5%	3325	6.7%
N18	3156	3450	9.3%	3417	8.3%	3386	7.3%	3361	6.5%	3338	5.8%
N19	3292	3554	8.0%	3522	7.0%	3492	6.1%	3468	5.3%	3448	4.7%
N20	3416	3650	6.9%	3618	5.9%	3589	5.1%	3567	4.4%	3547	3.8%
N21	3537	3741	5.8%	3711	4.9%	3683	4.1%	3660	3.5%	3641	2.9%
N22	3630	3842	5.8%	3807	4.9%	3773	3.9%	3747	3.2%	3724	2.6%
N23	3848	4028	4.7%	3993	3.8%	3960	2.9%	3933	2.2%	3910	1.6%
N24	4078	4230	3.7%	4195	2.9%	4162	2.1%	4135	1.4%	4111	0.8%
N25	4173	4338	4.0%	4304	3.1%	4270	2.3%	4243	1.7%	4218	1.1%
N0	3006	3013	0.2%	3018	0.4%	3026	0.7%	3035	1.0%	3047	1.4%

续前表

编号	换索前索力 KN	拆 10#索		拆 9#索		拆 8#索		拆 7#索		拆 6#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N1	2760	2820	2.2%	2836	2.8%	2853	3.4%	2868	3.9%	2882	4.4%
N2	1711	1755	2.6%	1765	3.2%	1774	3.7%	1781	4.1%	1785	4.3%
N3	1632	1683	3.1%	1691	3.6%	1698	4.0%	1701	4.2%	1700	4.2%
N4	1779	1836	3.2%	1843	3.6%	1846	3.8%	1844	3.7%	1836	3.2%
N5	1899	1971	3.8%	1976	4.1%	1976	4.1%	1967	3.6%	1947	2.5%
N6	2031	2107	3.7%	2109	3.8%	2103	3.5%	2085	2.7%	—	—
N7	2156	2233	3.6%	2230	3.4%	2216	2.8%	—	—	2532	17.4%
N8	2276	2357	3.6%	2346	3.1%	—	—	2676	17.6%	2610	14.7%
N9	2391	2462	3.0%	—	—	2782	16.4%	2721	13.8%	2663	11.4%
N10	2498	—	—	2879	15.3%	2826	13.1%	2771	10.9%	2722	9.0%
N11	2601	2970	14.2%	2925	12.5%	2877	10.6%	2830	8.8%	2790	7.3%
N12	2702	3018	11.7%	2976	10.1%	2935	8.6%	2897	7.2%	2865	6.0%
N13	2791	3064	9.8%	3028	8.5%	2994	7.3%	2964	6.2%	2938	5.3%
N14	2910	3200	10.0%	3164	8.7%	3130	7.6%	3101	6.6%	3077	5.7%
N15	2987	3236	8.3%	3206	7.3%	3180	6.5%	3158	5.7%	3140	5.1%
N16	3059	3275	7.1%	3251	6.3%	3231	5.6%	3215	5.1%	3202	4.7%
N17	3116	3304	6.0%	3285	5.4%	3269	4.9%	3257	4.5%	3248	4.2%
N18	3156	3319	5.2%	3303	4.7%	3291	4.3%	3281	4.0%	3273	3.7%
N19	3292	3430	4.2%	3416	3.8%	3405	3.4%	3396	3.2%	3390	3.0%
N20	3416	3530	3.3%	3517	3.0%	3506	2.6%	3498	2.4%	3492	2.2%
N21	3537	3625	2.5%	3612	2.1%	3601	1.8%	3593	1.6%	3587	1.4%
N22	3630	3704	2.0%	3688	1.6%	3675	1.2%	3665	1.0%	3658	0.8%
N23	3848	3890	1.1%	3873	0.6%	3859	0.3%	3849	0.0%	3841	-0.2%
N24	4078	4090	0.3%	4073	-0.1%	4059	-0.5%	4047	-0.8%	4039	-1.0%
N25	4173	4197	0.6%	4179	0.1%	4164	-0.2%	4152	-0.5%	4143	-0.7%
N0	3006	3062	1.9%	3080	2.5%	3099	3.1%	3119	3.8%	3139	4.4%

续前表

编号	换索前索力 KN	拆 5#索		拆 4#索		拆 3#索		拆 2#索		拆 1#索		拆 0#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N1	2760	2887	4.6%	2880	4.3%	2855	3.4%	2860	3.6%	—	—	3623	31.3%
N2	1711	1782	4.1%	1769	3.4%	1743	1.9%	—	—	2477	44.8%	1986	16.1%
N3	1632	1689	3.5%	1665	2.0%	—	—	2084	27.7%	2175	33.3%	1807	10.7%
N4	1779	1816	2.1%	—	—	2161	21.5%	2106	18.4%	2162	21.5%	1892	6.4%
N5	1899	—	—	2311	21.7%	2232	17.5%	2176	14.6%	2213	16.5%	1990	4.8%
N6	2031	2421	19.2%	2347	15.6%	2279	12.2%	2231	9.8%	2251	10.8%	2095	3.2%
N7	2156	2465	14.3%	2400	11.3%	2343	8.7%	2305	6.9%	2314	7.3%	2206	2.3%
N8	2276	2545	11.8%	2486	9.2%	2437	7.1%	2404	5.6%	2407	5.8%	2327	2.2%

编号	换索前索力 KN	拆 5#索		拆 4#索		拆 3#索		拆 2#索		拆 1#索		拆 0#索	
		索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率	索力 KN	变化率
N9	2391	2608	9.1%	2560	7.1%	2521	5.4%	2495	4.3%	2495	4.3%	2441	2.1%
N10	2498	2677	7.2%	2639	5.6%	2609	4.4%	2589	3.6%	2586	3.5%	2552	2.2%
N11	2601	2754	5.9%	2724	4.7%	2702	3.9%	2687	3.3%	2683	3.2%	2661	2.3%
N12	2702	2837	5.0%	2815	4.2%	2798	3.6%	2787	3.1%	2783	3.0%	2770	2.5%
N13	2791	2917	4.5%	2901	3.9%	2888	3.5%	2880	3.2%	2877	3.1%	2870	2.8%
N14	2910	3058	5.1%	3043	4.6%	3032	4.2%	3026	4.0%	3022	3.8%	3018	3.7%
N15	2987	3126	4.7%	3116	4.3%	3109	4.1%	3104	3.9%	3100	3.8%	3100	3.8%
N16	3059	3192	4.3%	3185	4.1%	3180	4.0%	3177	3.9%	3174	3.8%	3175	3.8%
N17	3116	3241	4.0%	3236	3.9%	3233	3.8%	3231	3.7%	3228	3.6%	3230	3.7%
N18	3156	3268	3.5%	3264	3.4%	3262	3.4%	3261	3.3%	3259	3.3%	3261	3.3%
N19	3292	3385	2.8%	3383	2.8%	3381	2.7%	3380	2.7%	3378	2.6%	3380	2.7%
N20	3416	3488	2.1%	3486	2.0%	3484	2.0%	3483	2.0%	3482	1.9%	3484	2.0%
N21	3537	3583	1.3%	3581	1.2%	3579	1.2%	3578	1.2%	3577	1.1%	3578	1.2%
N22	3630	3653	0.6%	3650	0.6%	3648	0.5%	3647	0.5%	3645	0.4%	3646	0.4%
N23	3848	3836	-0.3%	3832	-0.4%	3830	-0.5%	3829	-0.5%	3827	-0.5%	3828	-0.5%
N24	4078	4033	-1.1%	4029	-1.2%	4026	-1.3%	4025	-1.3%	4024	-1.3%	4024	-1.3%
N25	4173	4137	-0.9%	4132	-1.0%	4129	-1.1%	4128	-1.1%	4126	-1.1%	4127	-1.1%
N0	3006	3153	4.9%	3158	5.1%	3146	4.7%	3182	5.9%	3792	26.1%	—	—

计算结果可以看出，换索时索力有较大变化的范围主要围绕着被拆除索附近拉索。长索拆除时，相邻索力增长约 6~10%，变化幅度较小；短索拆除时，相邻索力变化幅度较大，可达 20%~40%，变化幅度较大。拉索最大应力小于规范要求的 1.25f_d，可满足设计强度要求。

5.9.2 主梁验算

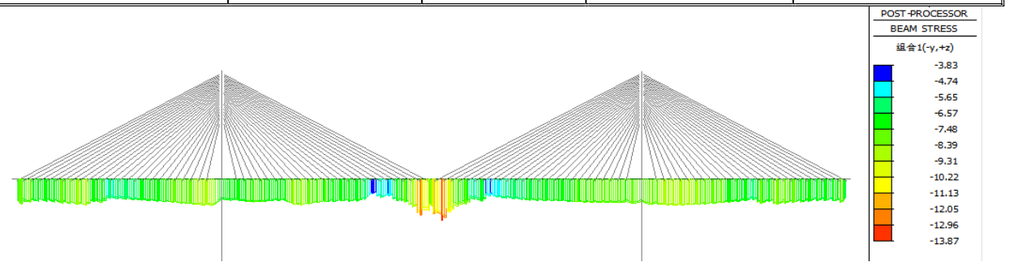
（1）应力验算

拉索卸载时主梁应力结果如下。

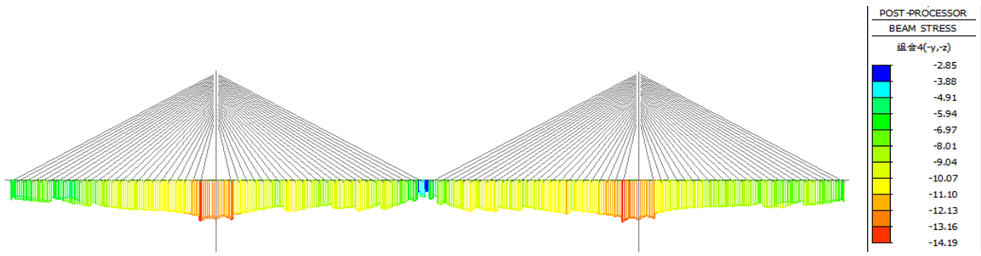
半封闭单塔单侧对称换索主梁应力结果（MPa）

阶段	过渡墩处	辅助墩处	1/4L	跨中位置
半幅封闭交通	-6.94	-9.14	-12.69	-7.21
铲除单侧铺装	-6.95	-9.13	-12.67	-7.17
拆除 25#拉索	-7.11	-9.35	-12.53	-8.87
拆除 24#拉索	-7.05	-9.21	-12.55	-8.24
拆除 23#拉索	-7.41	-9.05	-12.58	-7.71
拆除 22#拉索	-7.53	-8.92	-12.6	-7.42
拆除 21#拉索	-7.51	-8.83	-12.62	-7.22
拆除 20#拉索	-7.4	-8.79	-12.64	-7.08

阶段	过渡墩处	辅助墩处	1/4L	跨中位置
拆除 19#拉索	-7.26	-8.85	-12.67	-6.98
拆除 18#拉索	-7.11	-9	-12.7	-6.93
拆除 17#拉索	-6.99	-10.09	-12.73	-6.9
拆除 16#拉索	-6.92	-9.46	-12.78	-6.89
拆除 15#拉索	-6.88	-9.05	-12.83	-6.89
拆除 14#拉索	-6.84	-8.82	-12.88	-6.91
拆除 13#拉索	-6.8	-8.74	-12.92	-6.94
拆除 12#拉索	-6.77	-8.73	-12.97	-6.96
拆除 11#拉索	-6.75	-8.78	-13.01	-6.99
拆除 10#拉索	-6.72	-8.86	-13.04	-7.02
拆除 9#拉索	-6.69	-8.96	-13.03	-7.05
拆除 8#拉索	-6.67	-9.06	-13	-7.08
拆除 7#拉索	-6.66	-9.16	-12.92	-7.1
拆除 6#拉索	-6.65	-9.25	-12.8	-7.12
拆除 5#拉索	-6.64	-9.34	-12.59	-7.13
拆除 4#拉索	-6.64	-9.4	-12.3	-7.14
拆除 3#拉索	-6.64	-9.46	-11.9	-7.14
拆除 2#拉索	-6.64	-9.49	-11.4	-7.15
拆除 1#拉索	-6.6	-9.44	-10.2	-7.15
拆除 0#拉索	-6.74	-9.74	-10.11	-7.15
重铺桥面铺装	-6.62	-9.37	-10.68	-8.4

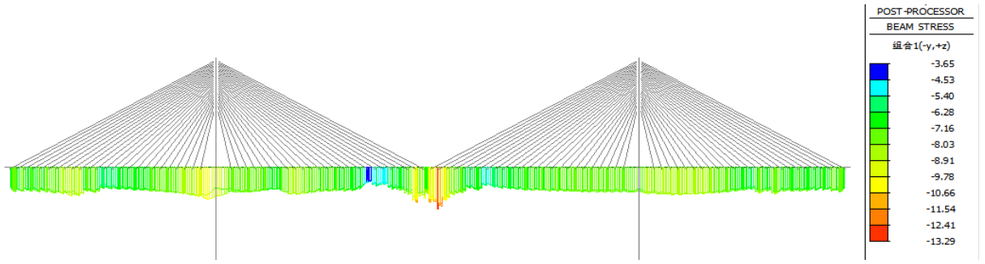


（a）主梁上缘应力

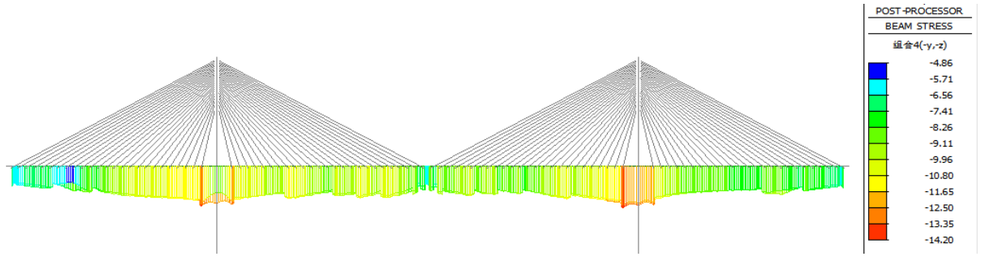


（b）主梁下缘应力

拆除#25 拉索主梁应力图（MPa）



主梁上缘应力



主梁下缘应力

拆除#0 拉索主梁应力图（MPa）

（2）变形验算

换索时主梁变形结果（cm）

阶段	竖向位移			
	梁端	辅助墩	1/4L	跨中
半幅封闭交通	0.23	1.82	-3.60	-8.10
铲除单侧铺装	0.23	1.82	-3.61	-8.20
拆除 25#拉索	0.24	1.82	-3.55	-13.65
拆除 24#拉索	0.26	1.82	-3.55	-13.31
拆除 23#拉索	0.27	1.82	-3.55	-12.57
拆除 22#拉索	0.27	1.82	-3.56	-11.77
拆除 21#拉索	0.26	1.82	-3.56	-11.08
拆除 20#拉索	0.25	1.82	-3.57	-10.41
拆除 19#拉索	0.24	1.82	-3.57	-9.75
拆除 18#拉索	0.22	1.82	-3.57	-9.10
拆除 17#拉索	0.21	1.82	-3.58	-8.55
拆除 16#拉索	0.20	1.82	-3.59	-7.98
拆除 15#拉索	0.20	1.82	-3.60	-7.42
拆除 14#拉索	0.20	1.82	-3.61	-6.91
拆除 13#拉索	0.20	1.82	-3.63	-6.43
拆除 12#拉索	0.20	1.82	-3.66	-6.06
拆除 11#拉索	0.21	1.82	-3.69	-5.74

阶段	竖向位移			
	梁端	辅助墩	1/4L	跨中
拆除 10#拉索	0.21	1.82	-3.73	-5.47
拆除 9#拉索	0.22	1.82	-3.78	-5.26
拆除 8#拉索	0.22	1.82	-3.83	-5.11
拆除 7#拉索	0.22	1.82	-3.89	-4.99
拆除 6#拉索	0.23	1.82	-3.95	-4.92
拆除 5#拉索	0.23	1.82	-3.99	-4.88
拆除 4#拉索	0.23	1.82	-4.02	-4.86
拆除 3#拉索	0.23	1.82	-4.01	-4.86
拆除 2#拉索	0.23	1.82	-4.09	-4.86
拆除 1#拉索	0.23	1.82	-5.28	-4.84
拆除 0#拉索	0.23	1.82	-3.03	-4.91
重铺桥面铺装	0.25	1.82	-4.54	-20.49

5.9.3 桥塔验算

（1）应力

在正常使用极限状态下，桥塔顶缘最大压应力为 12.59MPa，发生在中塔柱与下横梁交界处；底缘最大压应力为 10.67MPa，发生在中塔柱与下横梁交界处。桥塔顶底缘应力均满足规范要求。

（2）变形

换索时主塔纵向位移结果（cm）

阶段	塔顶	中塔柱	塔底
半幅封闭交通	-19.17	-3.35	-1.97
铲除单侧铺装	-19.22	-3.36	-1.97
拆除 25#拉索	-20.45	-3.46	-2.02
拆除 24#拉索	-20.29	-3.44	-2.01
拆除 23#拉索	-20.07	-3.42	-2.00
拆除 22#拉索	-19.88	-3.40	-1.99
拆除 21#拉索	-19.73	-3.39	-1.98
拆除 20#拉索	-19.60	-3.38	-1.98
拆除 19#拉索	-19.48	-3.37	-1.98
拆除 18#拉索	-19.38	-3.37	-1.98
拆除 17#拉索	-19.29	-3.37	-1.97
拆除 16#拉索	-19.19	-3.36	-1.97
拆除 15#拉索	-19.10	-3.36	-1.97
拆除 14#拉索	-19.01	-3.35	-1.97
拆除 13#拉索	-18.93	-3.35	-1.97
拆除 12#拉索	-18.86	-3.35	-1.97
拆除 11#拉索	-18.81	-3.35	-1.97
拆除 10#拉索	-18.76	-3.35	-1.97
拆除 9#拉索	-18.72	-3.34	-1.97
拆除 8#拉索	-18.69	-3.34	-1.97
拆除 7#拉索	-18.67	-3.34	-1.97
拆除 6#拉索	-18.65	-3.34	-1.97
拆除 5#拉索	-18.64	-3.34	-1.97
拆除 4#拉索	-18.64	-3.34	-1.97
拆除 3#拉索	-18.64	-3.34	-1.97
拆除 2#拉索	-18.64	-3.35	-1.97
拆除 1#拉索	-18.64	-3.35	-1.97
拆除 0#拉索	-18.63	-3.35	-1.97
重铺桥面铺装	-24.02	-4.07	-2.38

5.10 安全韧性提升分数

根据《公路韧性提升评价指南》第 3.3.3 条规定，桥涵单项工程修复后的安全韧性评分估值为 92.8，提升率 21%。

6 主要材料及技术要求

6.1 拉索

拉索钢丝采用镀锌铝钢丝，钢丝强度等级 1860MPa，满足《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101—2019）的相关要求。拉索索体采用双层 PE 护套，拉索性能满足《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》（JT/T 775—2016）和《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》（GB/T 18365—2018）标准要求。钢丝环氧涂层的材料、涂覆、技术要求、实验方法等应执行《缆索用环氧涂层钢丝》（GB/T 25835—2010）。

锚具为冷铸锚具，锚杯材料采用 42CrMo，螺母材料采用 40Cr，锚具表面采用粉末渗锌+封闭漆防腐工艺，总厚度 80~120μm；防腐材料要求采用防腐油脂。内置减振器及不锈钢防水罩采用厂家定型产品。

整个拉索体系应包括环氧涂层钢丝、锚具组件、HDPE 索套管、不锈钢套管、拉索附属件（保护、索箍、防水罩、索套管伸缩缝补偿装置等）、内置式减震器、防腐材料。HDPE 护套采用带双螺旋的圆管式套管。

6.2 高硅氧铝硅气凝胶毡

本产品以玻璃纤维细纱为主要原材料，先通过针刺工艺制得高硅氧玻璃纤维毡，然后注入铝硅气凝胶，通过 ET 超临界干燥工艺，最终制成高硅氧铝硅气凝胶毡。其性能应满足《纳米孔气凝胶复合绝热制品》（GB/T34336—2017）的要求。

本产品在传统的高硅氧气凝胶毡的制作工艺中，加入改性成分，使得气凝胶组分在 1100℃的工况期间微孔结构不塌陷，仍旧能够维持优异的隔热效率。而常规的高硅氧气凝胶毡，在超过 800℃的时候氧化硅基的气凝胶微孔会塌陷，从而失去气凝胶应有的隔热性能，仅剩下高硅氧针刺毡原始的隔热性能了，这也是为什么常规的气凝胶毡在超过 800℃的时候导热系数会大幅度增加的原因，本产品可以有限改善这个问题，可以实现更长时间的隔热效果。

气凝胶技术指标

序号	检测项目	技术要求	技术要求	检测标准
1	导热系数（W/（m·K））800℃		≤0.051	YB/T 4130
	导热系数（W/（m·K））1000℃		≤0.106	
2	加热永久线变化（600℃×24h）/%		≥-5.0	GB/T 17911
3	体积密度（kg/m3）		200±40	GB/T 34336
4	抗拉强度（kPa）		≥200	GB/T 17911
5	憎水率（%）		≥98	GB/T 10299
6	不燃性	质量损失率（%）	≤50	GB/T 5464
		持续燃烧时间（s）	=0	
		炉内温升（℃）	≤30	
	总热值（MJ/kg）		≤2.0	GB/T 14402

气凝胶尺寸及允许偏差

序号	项目	规格	允许偏差
1	长度（mm）	20m	±0.5
2	宽度（mm）	100	+10，-3.0
3	厚度δ（mm）	5mm	+2.0，不允许负偏差

6.3 高硅氧布

采用两元或者三元法高硅氧连续纤维织布，摒弃无碱玻璃纤维布（最高耐温度 650℃）或者玄武岩纤维布（最高耐温度 800℃）以及用无碱玻璃纤维布酸洗出来的假高硅氧布（最高耐温度 900℃），在酸碱环境、抗紫外线等耐候性特征方面具有绝佳的优势。

高硅氧布技术指标

检测项目	标准值	参照标准
厚度	0.3mm	GB/T7689
耐温度	1100℃	企标
氧化硅含量	≥96%	光谱仪
工艺方法	二元或三元法	企标
抗拉强度	纬向≥350N/25mm	GB/T7689
	径向≥500N/25mm	GB/T7689

6.4 陶瓷化涂层

在高硅氧布表面做的特殊涂层，常温下为硅胶质状态，与布致密结合，可以起到防水，防潮，耐酸碱，抗老化的作用，施工作业期间更能起到密封气凝胶的作用，避免气凝胶粉体对人体和环境造成危害。高温环境下该涂层会陶瓷化，作为保护布和气凝胶毡的第一道防线，增加整体防火材料系统的防火时间。

陶瓷化涂层技术指标

检测项目	标准值	参照标准
厚度	0.03mm	GB/T7689
剥离强度	≥3Mpa	企标
外观质量	表面色泽均匀，无气孔、基本平整	企标
抗开裂性(耐久性)	T-Bar 冷热循环≥40 个循环后不开裂不脱落	企标
耐热性	≥45 分钟（在烃类温升条件下）	企标
	高温（800）环境下陶瓷化	企标

6.5 缝纫工艺

将高硅氧布基耐高温保护材料将防火隔热主材高硅氧气凝胶毡用特殊工艺缝制起来，形成系统性的完整产品，缝纫用线采取耐高温耐候性强的复合材料缝纫线。

缝纫线技术要求

材质	规格	耐高温性能
高硅氧缝纫线	线径 0.2	1000℃

6.6 PVF 缠包带

护套表面清洁后，现场以不小于 50%的搭接率螺旋缠包一层氟碳缠包带（PVF），氟碳缠包带（PVF）结构如下：氟碳聚合物（PVF）复合膜/粘结剂/离型膜，根据景观要求选择合适的颜色氟碳聚合物（PVF）复合膜，缠包带各项基本性能指标应满足以下要求：

氟碳缠包带（PVF）基本性能指标

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
1	外观		厚度均匀，无色差，分切无锯齿	目测

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
2	缠包带厚度 （不含离型膜）	μm	120±5	GB/T 7125
3	抗拉强度（纵向）	N/mm	≥7	GB/T 30776
4	断裂伸长率（纵向）	%	≥90	GB/T 30776
5	抗撕裂强度（纵向）	kN/m	≥5	GB/T 16578.1
6	粘结力	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
		N/10mm	≥5.5	

为保证 PVF 胶带使用于缆索的长期耐久性，应按照下表测试方法，提供 PVF 缠包带做加速老化试验（测试技术条件为：85±2℃，85±2%RH）测试报告，加速老化试验时间不少于 1200 小时，加速老化试验后胶带性能必须达到下表要求：

氟碳缠包带（PVF）耐老化性能指标

序号	性能项目		单位	性能指标	检测标准
1	湿热老化后性能 （85℃，RH85%， 1080h）	抗拉强度（纵向）	N/mm	≥5	GB/T 30776
		断裂伸长率（纵向）	%	≥72	GB/T 30776
		粘结力 与 HDPE	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
		粘结力 对 PVF	N/10mm	≥5.5	GB/T 2792
2	紫外荧光老化后 （0.76W/m2@340nm， 1080h，GB/T 16422.3-2022）	色差ΔE	—	≤1	CIE 色差仪

6.7 丁基胶带

为了让防火隔热材料更好的跟缆索紧密贴合，在本成品防火隔热产品的背面施加一层丁基胶带。丁基胶带采用丁基橡胶与聚异丁烯等原料共混而成，具有耐高温、防水、粘结性强等多种特性，其性能应满足《丁基橡胶防水密封胶粘带》（JC/T 942—2022）的要求。

丁基胶带技术指标

序号	检测项目		技术要求	性能指标
			高分子防水卷材	金属板
1	初始粘结力（23℃）/N		≥60 且无粘结破坏	
2	耐热性（100℃，2h）		无滑移、流淌、变形	
3	剪切状态下的粘合性（N/mm）		≥3.0	≥8.0
4	剥离强度 （N/mm）	标准条件	≥0.6	
		热处理（80℃，168h）	≥0.5	
		碱处理（饱和氢氧化钙溶液，168h）	≥0.5	
		浸水处理（168h）	≥0.5	

6.8 环氧防火涂料

环氧防火涂料应满足《钢结构防火涂料》（GB14907—2018）的要求。技术指标下表所示，表中指标 5、6 为型式试验内容，需根据项目要求明确检测频次。防火涂料进场前需提供：

（1）耐老化性能测试报告要求按 ASTMD4587 标准或同等标准进行的无面漆情况下至少 10000 小时以上且该耐老化测试后的防火性能衰减 15%以内的第三方测试报告或证书；

（2）耐水性要求防火涂层无面漆情况下不含底材质量的涂层自身吸水率 0.2%以内的第三方测试报告或证书。

环氧防火涂料技术指标

序号	检测项目	技术要求
1	干膜厚度(含纤维网)	≥6mm
2	粘接强度	≥3MPa
3	干燥性能(20±5℃)	≥24 小时(移动时间); ≥5 天(完全固化时间)
4	外观质量	表面色泽均匀，无气孔、基本平整
5	抗开裂性(耐久性)	T-Bar 冷热循环≥40 个循环后不开裂不脱落
6	抗火性能	≥45 分钟（在烃类温升条件下）
7	涂装性能	底层油漆和防火涂料兼容性匹配; 面漆需采用满足结构耐久性要求的材料。建议采用氟碳面漆，厚度不小于 60um

6.9 氟碳面漆

氟碳面漆性能指标应满足《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》（JT/T 694—2007）和《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722—2023），并从严要求。

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
1	颜色和外观		符合商定标准样板或色卡及其色差范围，漆膜平整	目测
2	固体含量（%）		≥60	GB/T 1725
3	细度（μm）		≤30	GB/T 1724
4	干燥时间	表干（h）	≤1	GB/T 1728
		实干（h）	≤24	
5	柔韧性（mm）		1	GB/T 1731
6	耐冲击性（cm）		50	GB/T 1732
7	拉断伸长率		≥50%	GB/T 528
8	耐水性		72h 漆膜无变化	GB/T 1733
9	耐盐水性		72h 漆膜无变化	GB/T 9274
10	耐磨性(1kg·500r)		≤0.05g	GB/T 1768
11	耐酸性(10%H_2SO_4)		168h 漆膜无异常	GB/T 9274

序号	性能项目	单位	性能指标	检测标准
12	耐碱性(10%NaOH)			
13	氟含量（%）		≥24	HG/T 3792
14	人工加速老化		3000h	GB/T 1865

7 施工工艺及要求

7.1 总体施工顺序

施工准备→交通疏导→半幅封闭→半幅铺装拆除→半幅换索施工→半幅铺装恢复→半幅索力调整→另半幅同样顺序施工→最后全桥索力复测及调整→恢复交通

其它提升工程可在换索施工中同步进行。

7.2 防火施工

7.2.1 气凝胶毡施工

（1）气凝胶毡施工前，斜拉索表面应清理干净，无油渍、水渍或其他影响产品施工质量的杂物附着。

（2）10cm 宽度的气凝胶毡螺旋缠绕，施工应控制气凝胶毡对接缝的宽度，施工方向为由低往高。

（3）气凝胶毡缠绕应牢靠。两层气凝胶毡的环向拼缝、纵向拼缝均错开。

7.2.2 密封层施工

（1）采用厚度为 0.70mm 不锈钢护套固定在防火层外侧。

（2）防火段与非防火段应设过渡段，过渡段先采用丁基胶带按不小于 50%层叠比例进行螺旋缠绕过渡，过渡段缠绕长度为沿着不锈钢顶部端面上下各 50cm 。丁基胶带外表面均匀刮涂密封胶，密封胶表面刷涂氟碳面漆，以达到美观和增强防水的目的。

7.2.3 环氧防火涂料施工

（1）涂装所用的面漆、稀释剂等，应配套供应。

（2）对于双组分涂料，应按当日（班）需要量，严格按照产品说明书上规定的比例调配，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；放置一定的熟化期（按产品说明书要求），以使充分反应才能使用；涂料的使用时间按产品说明书规定的使用期执行。

（3）漆料在开桶前应倒置并用力摇荡，开桶后再搅拌均匀，如有杂质、漆皮等需过滤。

（4）为保证环氧防火涂料与原涂层的结合力，防火涂料施工前使用专用工具（钢丝刷、钢丝轮、千叶片配合角磨机） 去除构件原面漆涂层，保留原环氧涂层即可，必要时刷涂一道环氧底漆或中间漆。

（5）防火涂料施工前，构件表面应清理干净，无油渍、水渍或其他影响产品施工质量的杂物附着。

（6）防火涂料涂刷需均匀，不可存在漏涂、表面不平整情况。

（7）当涂层出现下列情况时应重涂：涂层干燥固化不好，粘结不牢或粉化、空鼓、脱落时；涂层表面有浮浆或裂缝宽度大于 1.0mm 时；涂层厚度小于设计规定厚度的 95%时。

（8）增强高温纤维网采用全铺网工艺。

7.3 防火验收标准

施工单位进场前，应结合系统特点和《公路工程质量检验评定标准(JTG F80—2017)》，形成适用于本项目的验收标准，通过评审后，作为本项目的验收依据。

7.3.1 基本规定

（1）工程采用的材料、半成品、产品、器具和设备应进行进场检验，按各专业工程施工验收规范的规定和设计要求进行复验，并应经监理工程师检查认可。

（2）各施工工序应按施工技术标准进行质量控制，每道施工工序完成后，经施工单位自检合格后，才能进行下一道工序施工，并做好交接检验记录。

（3）工程开工前，施工单位与监理单位共同确定重要工序。重要工序应经监理工程师检查认可，才能进行下一道工序施工。

（4）施工质量验收应在施工单位自检合格的基础上进行。

（5）本工程所采用的高硅氧气凝胶毡进场时应进行见证取样检验。

检验批最小抽样数量

检验批的容量	最小抽样数量	检验批的容量	最小抽样数量
2 ~ 15	2	151 ~ 280	13
16 ~ 25	3	281 ~ 500	20
26 ~ 90	5	501 ~ 1200	32
91 ~ 150	8	1201 ~ 3200	50

（6）对于设计选用的具有防火性能要求的材料，应查验其产品出厂合格证（或质保书）采购合同和由具有法定资质的检验机构出具的含防火极限或燃烧性能测试项目的型式检验报告。

7.3.2 进场检验

各类材料进场后随机抽样进行小样检验，或按要求送交第三方检测，检测结果应符合设

计要求。

7.3.3 高硅氧气凝胶毡

（1）高硅氧气凝胶毡应符合国家现行产品标准的规定和设计要求，并应具备产品合格证、有资质的检测机构出具的检验合格报告和型式认可证书。

检查数量：全数检查。

检查方法：查验产品合格证、检验合格报告和型式认可证书。

（2）在材料进场后，应对其隔热性能进行见证取样检验，实测的等效热传导系数不应大于等效热传导系数的设计取值，其允许偏差为+10%。

检查数量：按施工进货的生产批次确定，每一批次应抽检一次。

检查方法：按现行国家标准《建筑构件防火试验方法 第 1 部分：通用要求》（GB/T 9978.1）规定的防火性能试验方法测试。试件的防火保护层厚度取毡状防火材料的厚度， 并应按《建筑钢结构防火技术规范》（GB51249）的规定计算等效热传导系数。

（3）气凝胶毡表面应平整，无孔洞、凸出物、缺损、泛出物。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察检查。

（4）气凝胶毡缠绕应牢靠，对接缝应紧密、无明显缝隙， 搭接缝应紧实、无明显空鼓。气凝胶毡拼缝位置应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察检查，核查隐蔽工程验收记录。

（5）气凝胶毡防护高度应符合设计要求，不允许负偏差。

检查数量：全数检查。

检查方法：尺量检查，现场按图核对。

7.3.4 PVF 缠包带

（1）现场施工条件保证

①应采用具有张力、角度控制的自动缠带机，提升自动化程度，减少人工干预；

②确保施工环境清洁，防止灰尘、雨水、油污污染；

③禁止雨中施工，缠带完成后应尽快完成加热，间隔不能超过 24 小时，施工中如有露水也需要用干布擦净表面水分。

（2）施工质量保证

①确保设备完好；

②安排经过培训的熟练的操作工进行操作；

③严格按工艺进行施工，安排专职质检员跟踪检查过程质量；

④每根拉索区域为一个完整的施工单元，每天必须完成施工单元内的所有工序；

⑤当天未缠包完的缠包带应用封箱带包覆保护。

7.3.5 防火涂料

防火涂料验收宜在涂装完成后 14 天内进行，可按构件分批次验收，验收要求如表所示。

检验批最小抽样数量

序号	检验要求	质量指标	检测手段和频率
1	外观	平整，颜色和厚度均匀	目测，每个构件至少一次
2	增强网铺设	边缘和阳角处需铺设，不空鼓、不漏贴	/
3	干燥	指触干硬	目测，每个构件至少一次
4	硬度	Shore D 大于 70	随机抽查，或有异常时
5	干膜厚度	6mm	PA2 85/15 规则
6	结合力	>3MPa 或满足敲凿法测试要求	随即抽查，拉拔力测试或敲凿法测试

7.4 拉索更换

7.4.1 总体要求

（1）在正式施工前及编制施工方案之前，详细了解施工现场实际情况，详细研究设计文件，制定详细、合理的施工方案。

（2）根据项目的特性、规模、性质等因素，合理的组织相关人员确保施工人员的协同配合，提高施工效率。确保施工人员能够高效完成各项任务。为确保斜拉索更换整体目标得以实现，在组织人员方面要选用具有类似施工经验的施工人员进行施工，选用斜拉索更换的熟练工人进行施工操作。操作人员如电工、焊工等，需取得特殊作业人员资格上岗证后方可上岗。

（3）根据项目现场实际情况分析，在确保安全和工期的前提下，优化调整合理的施工方案。如起重吊装的机具，与项目实际情况相符的施工平台。所采用的机械设备必须经年检合格。所采用的材料必须经检验合格。

（4）根据项目施工的重点及难点进行分析，本项目高空作业、起重作业频繁。安全责任为重中之重，本项目主要控制要点为在放索和安装新索时，需要确保其同步性，及时监控桥面标高、索塔变形情况在放索过程中需分级、对称、同步进行，并做好桥面、索塔各观测点监控测量。

大桥斜拉索编号依次从短索至长索编号，编号为“25’、24’...2’、1’、0、1、2...24、

25”。工程总体采用“从长索至短索依次对称更换方式”的施工方案，为确保桥梁拉索更换整体安全性，斜拉索更换直接利用原有封装钢板和垫板，在桥梁半封闭交通状态下进行。更换斜拉索时，以“以桥面线性为主，索力为辅”的原则进行控制，整个更换斜拉索过程应对主塔和主梁变形进行监控，原则上新更换的拉索索力与旧索索力相等，且更换前后桥面标高不变（以上旧索索力和桥面标高均在半封闭交通状态下实测）。

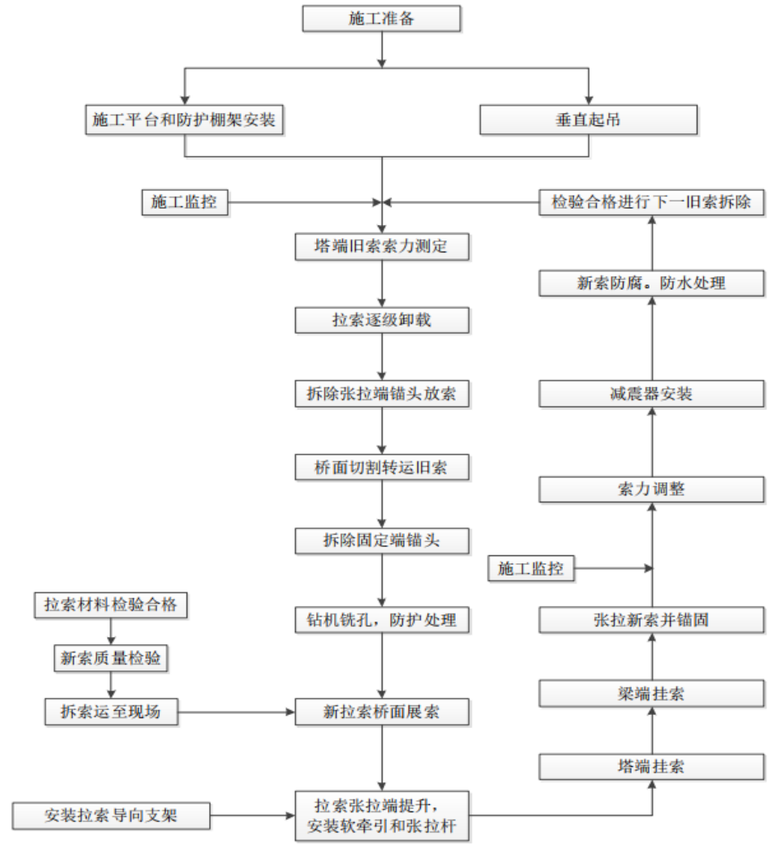
换索顺序原则：先换长索，然后向主塔方向前进，最后换短索。

对称的原则：单塔对称的顺序进行，每塔一次更换同一索号的一对索。

单塔的更换顺序：25’/25 → 24’/24 → 23’/23 …… → 3’/3 → 2’/2 → 1’/1 → 0。

病害严重的索先换的原则：病害较为严重的索即使目前工作状态正常，在更换其临近索时会受到应力重分布等因素的影响，索力突然增大或拉索内应力发生较大幅度变化，从而产生对结构安全而言难于预料的反应。通过普查全桥斜拉索病害，统计病害比较严重的斜拉索编号，考虑优先更换病害严重的斜拉索。

7.4.2 斜拉索更换流程



更换拉索总流程图

7.4.3 施工准备要点

（1）材料准备

在进场后换索施工前，必须对全桥斜拉索上下锚点坐标进行逐一复测，采用复测结果基础上修正后的长度确定拉索下料长度。工厂生产新斜拉索以此为依据，进行斜拉索生产。

（2）搭设施工平台

①塔外施工平台：为方便塔端旧索切割及下放、锚头拆除牵引出索道孔和新索锚头于塔端的安装，在每个索塔安装施工吊篮，确保索头安全通过索道孔。

②塔顶吊架：在塔顶索塔外壁侧，设置悬挑钢吊架，此支架作为设备及塔端索体安装辅助吊点。

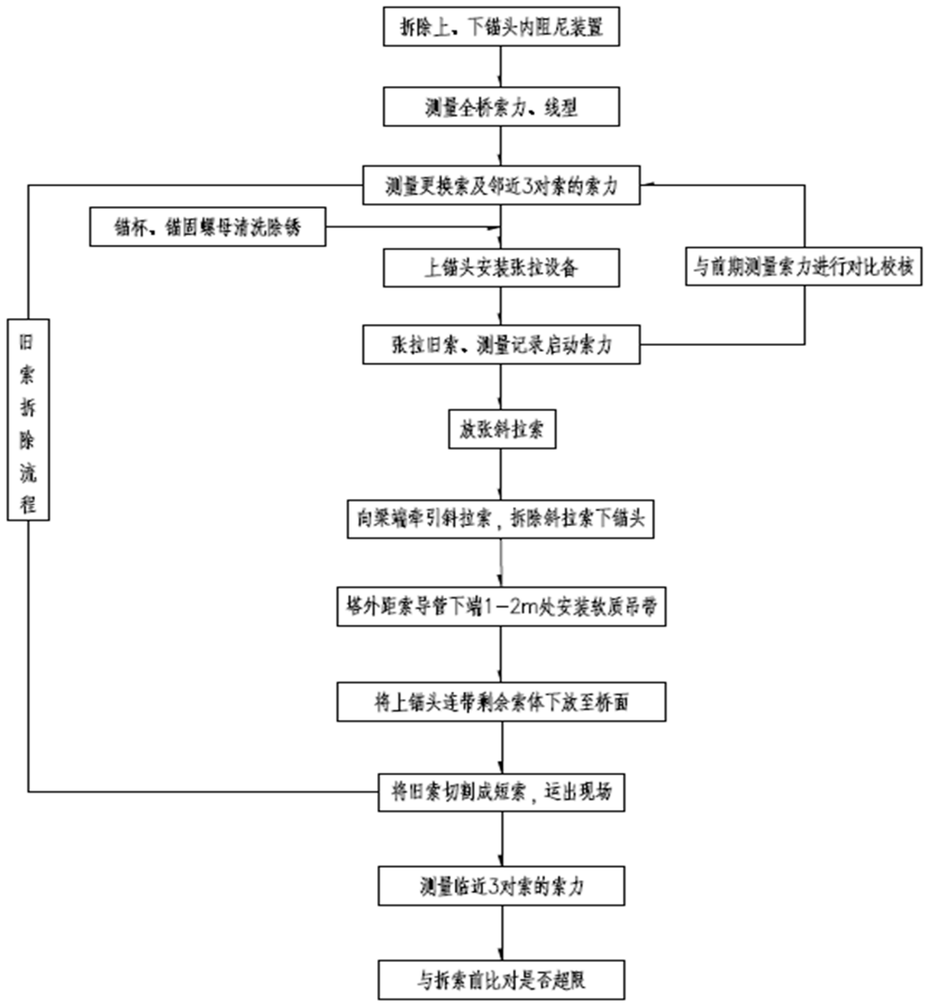
③塔内施工平台：采用满堂式盘扣支架。

④梁底施工挂篮：在人行道两侧安装梁底施工挂篮，用于斜拉索拆除、锚具安装等施工。

7.4.4 拆除旧索

（1）拆除旧索顺序

旧索拆除按以下工序进行：



旧索拆除流程图

（2）旧索测量

采集相关数据：桥面高程、斜拉索索力等原桥数据，作为后期新斜拉索安装技术依据。

由于目前检测手段测定索力偏差较大，建议利用放张千斤顶将螺母张拉至脱离锚垫板0.5mm（可用塞尺测量），并在千斤顶与反力架间设置压力环，此时千斤顶的张拉力作为新索安装的张拉索力。

（3）拆除旧索附属构件

施工人员在塔外平台用角磨机将塔外减震器外的钢筋进行切割并用撬棍将减震橡胶进行取出，如塔外减震橡胶老化严重与索体粘合在一起，无法取出。可适当用卷扬机连接索体将索体提升，使索体与减震橡胶有适当空间，再用撬棍进行拆除。如有遇到减震器橡胶与预埋管粘接牢靠，则等待索体放张后带动减震橡胶一并带出预埋管，再进行拆除。

拆除拉索两端锚具保护罩。吊装至桥面归堆堆放。

用砂轮切割机将桥面防水罩进行拆除，再用撬棍将预埋管内减震橡胶进行拆除并清除预埋管内的杂物。

③清理锚杯杂物

用扳手将上下锚头封板进行拆除，并清理锚垫板上的杂物。

④螺牙除锈

锚具螺牙及锚杯内螺牙有锈蚀的地方用钢丝轮进行除锈处理。仔细检查螺纹有损坏的地方，用锉刀将螺纹进行处理。并用有机溶液将锚具螺纹及锚杯内螺纹浸透。

（4）旧索放张

在斜拉索更换过程中，旧放张是重中之重。大桥结构使用索体使用时间长，病害存在不确定性，难以确定结构的承载能力，所以施工复杂，技术难度大。

为确保放索的张拉设备有效性，采用合适吨位的千斤顶进行放张。为确定旧斜拉索放张的设备和工法，科学、合理、安全进行施工，索力大于 5 吨时，采用千斤顶、张拉杆、撑脚及相应组件在塔端进行放张；在索力小于 5 吨时，采用卷扬机、滑轮组、抱箍组合在梁端进行放张。

①安装张拉杆前，将张拉杆、张拉螺母上的螺纹上的油污、脏物擦拭除锈，保证各工件能顺利旋动。

②检查旧索锚杯规格，选择合适规格的张拉杆倒运至塔内安装。

③张拉设备安装好之后，检查各工件连接可靠。确保脚撑安放在稳固平面上，脚撑、张拉螺母、锚垫板等处受压面均为面接触。

④安装千斤顶、油泵，安装好后检查压力表和千斤顶是否按照校准报告配对使用。

⑤按换索施工前测得索力为依据，卸索以斜拉索索力和锚头回缩量双控，每次 1cm～5cm 同步放松（具体数值按分级索力减小的对应回缩量确定）。放松时密切注意两侧松张的索力，变形保持同步，以保证索塔两侧不产生偏载，受力平衡。

⑥分 3 阶段张拉对称的两根索，每个阶段的张拉力，分别为测试索力的 50%、80%、100%，

操作设备张拉到达每阶段索力时，应暂停持荷 5min，等待技术人员的下一级张拉力指令。

⑦张拉对称的两根索到最后一阶段接近测试索力时，观察锚固螺母是否与锚垫板产生松动。当位移传感器报警，提升锚固螺母与锚垫板产生松动，此时的索力为该根斜拉索的启动索力。记录启动索力值并与索力测试值比对。如果发现张拉力与换索施工前测得的索力值相差较大，停止张拉，并上报设计及监控方。

⑧在张拉到测试索力的 80%之后，应谨慎操作，使压力表读数缓慢上升，直至启动索力。张拉到启动索力并使锚固螺母松动后，旋松锚固螺母至其与锚杯齐平。长索在张拉杆后接长短张拉杆，通过张拉杆前后端的锚固螺母来回倒顶，完成放张退索。

⑨千斤顶缓慢回油，分 5 级将斜拉索索力放张。每一级索力分别为启动索力的 90%、80%、60%、30%、直至斜拉索索力小于 5t。在每一级放张到位后持荷 5min，测量锚杯或张拉杆向索导管内回缩量，并读取监控系统数据，如出现异常应立即停止放张，并上报设计及监理方。确保两根索每一级放张的索力和轴向回缩量长度一致。

（5）拆除上、下锚头

在塔端将斜拉索卸载至索力小于 5 吨后（因索体垂度影响，不能直接在塔端将索力卸载为零），拉索在桥面距梁端索导管上端口 4-6m 处安装哈弗夹，连接梁端卷扬机牵引系统。

启动牵引系统，将索体向梁端牵引，卸载下锚头锚固螺母的锚固力。锚固螺母与锚垫板间脱开 2mm，则通过对讲机发出信号，指示牵引系统操作人员停止牵引。

拆除梁端锚固螺母，将下锚头锚杯连带索导管中的索体沿索导管牵引上桥面。确认自牵引点以下索体的索力已完全卸载的情况下，在索导管上端出口用气割将斜拉索体逐丝割断，解除下锚头的连接。

桥面卷扬机继续放松，使斜拉索后端沿桥面慢慢向塔跟滑动，直到斜拉索不能继续滑动为止。在距塔端索导管下端口 1-2m 处的索体上安装哈弗夹及软吊带。

在塔外提升系统下放索体时在索导管内同步下放上锚头，以免上锚头在索导管内卡死，直至上锚头、张拉杆完全露出索导管下端。

（6）斜拉索下放及转运

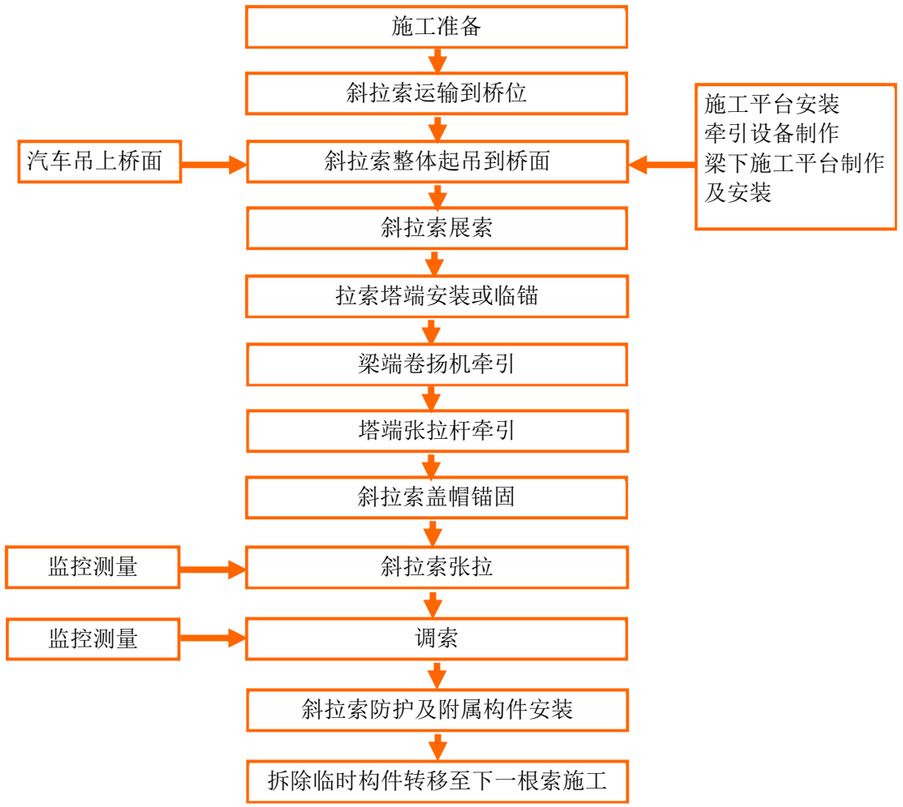
启动塔顶提升系统，匀速缓慢将索体下放到桥面。在下放索体过程中，在索体下放置圆木（或带轮子的小车），让索体下落在圆木上，防止索体直接接触地面。

在旧索下放的过程中利用桥面的卷扬机牵引系统将旧索在桥面理顺，然后用卷扬机沿桥面将拆下来的旧索整束牵引至桥面，切割、卷盘、装车运离施工现场至指定地点存放。

7.4.5 新索安装

（1）安装流程顺序

斜拉索挂设及张拉主要包括运输、索上桥面、展索、挂设、张拉、索力调整及减振装置安装等工作。根据斜拉索的质量、锚固牵引力的大小以为张拉端的布置及空间要求，本桥斜拉索安装工程拟用以下工艺流程进行挂设。



新斜拉索挂设工艺流程图

（2）安装要点

①起吊

拉索使用软吊带多点对称吊装，并在索盘周围垫木方，防止索盘上斜拉索展开完接触到桥面导致 PE 受损。

②展索

避免斜拉索与桥面的直接接触而刮伤斜拉索 PE 套，斜拉索在桥面移动时采用放索小车，由于承重较大，建议采用全钢结构。

随时观察斜拉索的姿态，保证拉索最小弯曲半径不小于 20 倍索径，以免造成拉索外层 PE

破裂或过度拉伸。

③牵引

安装斜拉索前应计算出克服索自重所需要的牵引力，以便选择卷扬机、吊机及滑轮组配置方式。根据设计提供的索力及斜拉索相关技术参数，对每对索张拉端不同工况的牵引力进行计算，确定牵引张拉杆组合形式，同时对每根索牵引阶段的牵引力进行计算确定张拉杆长度。牵引过程中，应及时记录各阶段牵引索力，并与计算所得的牵引索力进行对比，实时修正。

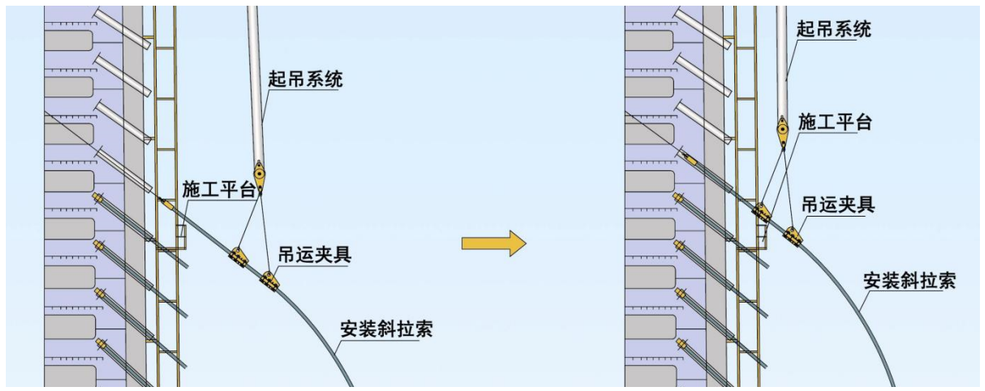
卷扬机牵引系统，建议在同斜拉索接触处加垫 10mm 厚的橡胶，施工过程中可以很好地保护斜拉索免受损伤。型号选择安全系数控制在 3.0 以上。索体 PE 受力有限，为不损伤索体外保层，本工程卷扬机牵引系统牵引力控制在 5T 以内。

④挂索

汽车吊应使用软吊带多点对称吊装。

在索盘周围垫木方，防止索盘上斜拉索展开完接触到桥面 PE 受损。

时刻观察塔内卷扬机牵引力，拉力过大则须暂停检查是否有卡顿或预埋管变形。



塔端挂索示意图

斜拉索塔端挂索完成后，依次进行下端入洞作业。下端入洞采用 5T 卷扬机牵引哈弗抱夹作业。下穿过程利用汽车吊将部分斜拉索提起，以降低下穿过程中牵引力。

（3）斜拉索的张拉及索力调整

①根据测定的原索力，对新索进行张拉控制，并记录相对应的数据。

②调索应遵循的原则为：调整后索力满足旧索拉拔测定索力。

③调索前计算各级调整值并列出相应的延伸量。

④调索前作好索力检测和其他各种观测的准备工作。

⑤调索按预定级次的相应张拉力，通过电动油泵进油或回油逐级调整索力。如果是降低索力，则先进油使锚圈能够松动，旋开锚环后可回油使斜拉索索力降低。

⑥按照测定的索力分级张拉，各个千斤顶同步之差不大于油表读数的最小分格，索力中值误差小于±5%。

⑦张拉采用索力及桥梁线型双控措施。以桥梁线型为主、索力为辅。采用频振法测索力，测量出频率后换算成梁体或塔体应力，用以指导张拉控制。拉索张拉过程中必须同时进行索塔变位观测并与设计变位值校核。

⑧斜拉索正式张拉分两次，在挂索完成后进行第一次张拉；为了减少温度、日照对张拉和梁体标高的影响，斜拉索的第二次张拉（也叫调索）应定在温度较稳定的时间进行。采用分级张拉，张拉程序为：0→0.15σ→0.30σ→→0.8σ→1.0σ。

⑨调索要求：以桥面线性控制为主，索力为辅的原则进行调索。

⑩索后主梁标高恢复到原桥状态，使桥面线性流畅，索力均匀，梁体结构也能处于较佳工作状态，基本消除徐变、非线性影响，使索力、主梁应力、索塔应力都处于安全的工作范围内。

（4）斜拉索的附属设施安装

①减震器安装

将减振器平推入预埋管后，通过对减振器契块顶压使减振橡胶沿径向膨胀，从而将斜拉索契紧，然后旋紧契块尾部的螺母将契块锁定。然后再按设计要求安装减振器。

②锚头防腐、防水罩安装

先将防水罩下端的密封圈装好，再将防水罩套在索护管上，接着向防水罩内注入密封剂，再将上端密封圈及橡胶防水罩安装好。

斜拉索上端连接装置和下端防水罩以及上下端锚具的保护罩安装需按产品工艺进行。

斜拉索两端预埋管口处的防水罩保证密封。斜拉索两端锚具外露部分涂抹防腐油脂。

斜拉索减震器应根据产品说明进行安装，必须由专业技术人员或在其指导下进行。

7.4.6 拉索更换施工注意事项

（1）旧索放张

应对称进行，尽量保证主塔两侧受力平衡而不产生偏载。

卸索过程中，应全过程跟踪观测梁顶面标高变化，并与理论计算值进行对比，如有异常，应立刻停止斜拉索卸索工作，待找出原因后方可进行。

（2）换索顺序

应逐对更换，并采取双向对称进行方式，更换完成以后。同一索号更换完成后再进行下一

索号更换。在更换斜拉索时，每束均按设计给定的索力进行张拉锚定，待同一索号斜拉索全部束均更换完毕后，全部的束再同时张拉进行索力调整，使其达到给定的索力。

（3）新索张拉

张拉新索应缓慢、分级进行；当索力达到设计索力时，持荷 5min,此时需检查更换的新索索力是否达到原有索力，桥面高程是否恢复到换索前的高程。当确认索力和高程恢复到原有的索力和高程时，才可进行下一根拉索的更换。

（4）换索后的索力调整

拉索更换工程中主要技术指标是索力和桥面标高，若对索力的大小及分布控制出现偏差，将会引起斜拉桥主梁内力分布变化，有可能最终使结构偏离原设计的理想状态，因此，换索后需进行必要的索力调整。调索的计算方法主要有影响矩阵法、逼近法、数学规划法等，应结合具体工程进行选择方案反复调整。

调索的原则是应兼顾主梁混凝土应力、主梁线形以及塔位的变化。具体来讲，调索应使主梁的局部下挠有所缓解，尽可能接近竣工线形；同时应使主梁上、下缘混凝土应力适度增减，避免产生过大的拉应力，以保障主梁的安全。

7.5 裂缝灌浆

对结构上、下部存在的所有可见裂缝进行封闭处理。裂缝宽度 W≥0.15mm 的裂缝采用裂缝灌注胶进行低压灌缝处理；裂缝宽度 W＜0.15mm 的裂缝涂抹环氧胶泥进行封缝处理。裂缝灌缝采用低压注胶法，在注入过程中应始终保持 0.2～0.4MPa 的压力，修补材料注入到宽度仅 0.02mm 的裂缝末端，同时均匀缓慢的压力可以将裂缝中积存的空气压入混凝土的毛细孔中，并通过混凝土的自然呼吸过程排出，有效避免产生气阻而确保修补质量。

灌浆胶采用优质 A 级环氧灌缝胶，选用粘度适宜的灌浆胶，确保裂缝之间的胶体能均匀密实地渗透进去。无论产品本身或施工时都不得掺加任何溶剂。裂缝灌注胶的性能应不低于国家标准《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367-2013)表 4.6.1 裂缝修补胶(注射剂)或《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）要求的基本性能指标，主要设计指标要求如下表：

裂缝灌注胶的性能指标要求

性能项目		试验方法标准	性能指标
钢-钢拉伸抗剪强度标准值 （MPa）		GB/T 7124	≥10
胶体性能	拉伸强度 （MPa）	GB/T2568	≥20
	受拉弹性模量 （MPa）	GB/T 2568	≥1500
	抗弯强度（MPa）	GB/T 2570	≥30，且不得呈脆性（碎裂状）破坏
	抗压强度（MPa）	GB/T 2569	≥50
不挥发物含量（固体含量）（%）		GB/T 14683	≥99

（1）表面处理

① 用钢丝刷沿裂缝走向清理约 5cm 范围的表面混凝土，仔细清理混凝土的表面；

② 锤子和钢纤凿除两侧疏松的混凝土块和沙粒，露出坚实的混凝土表面；

③ 用略潮湿的抹布清除表面的浮尘，并彻底晾干，用丙酮去除表面的油污，如缝内潮湿，要等其充分干燥，必要时可用喷灯烘干。

（2）粘结注入座和密封裂缝

① 制好封口胶，搅拌均匀，用抹刀将少许胶刮在注入座底面的四边，将注入座固定在混凝土上；

② 注入座的布置应掌握以下原则：沿缝的走向，每米约布置 3 个，裂缝分岔处的交叉点应设注入座，选混凝土表面平整处设置，避开剥落部位，对于贯通缝，可在一侧布置注入座，另一侧完全封闭，缝宽较大且内部通畅时，可以按每米 2 个的密度来布置；

③ 封口胶将裂缝密封，与注入座衔接的地方要特别注意。

（3）封口胶的固化：

密封完成后，让封口胶自然固化，注意固化过程中防止其接触水。

（4）注入灌注胶

材料：裂缝灌注胶。

工具：注入器、密封良好的进口黄油枪、加线增强管(内径 9mm，耐压 5kg/cm2 以上）、喉箍(蜗轮蜗杆式，直径 10～16mm）、阀门、过滤器、桶、搅拌棒、丙酮、秤(精确到 10g）、钳子、螺丝刀、生料带）。

注入器种类较多，需根据各注入器的使用说明确定施工工序，一般施工工序如下：

①将注入器的连接端(蓝色）安装在注入座上，把卡口部分的两扣卡紧，用力不要过猛，以免损坏座的颈部，注意使橡胶密封圈处于正常位置。同一条裂缝上的注入器同时安装好；

②按顺序连接工具，螺纹配合处用生料带缠绕密封；

③将灌注胶的两种成分混合搅拌均匀，一次能用完一整套包装的量时不必称量；全部混合即可；用量较少时要分别称量两种成分，按规定配比配合；

④将混合好的胶装入黄油枪，盖好盖。将黄油枪倒置，打开阀门，推动黄油枪活塞，排除系统中的空气；

⑤当过滤器中有胶流出时，将它连接到注入器的注入端(白色），卡紧卡口，慢慢推动黄

油枪的活塞，开始注入。每次推动都要达到活塞的尽头，一般 3～5 秒推动一下。当橡胶管膨胀至充满限制套时停止注入；

⑥一个注入器注完后，先关闭阀门，再小心的脱开白色端的连接，避免蓝色端之间的连接松动，移到下一个注入器继续注入；

⑦水平走向的裂缝从一端开始逐个注入，倾斜或垂直走向的裂缝要从较低一端开始向上推进。如果注入器膨胀后收缩较快，说明该处裂缝深，缝内空间大，要补灌，直到能保持膨胀状态；

⑧操作时要两人配合，一人操作黄油枪，另一人托扶注入器和阀门，不要让注入座的颈部不正常受力。

（5）清洗工具

必须用丙酮反复清洗，除去残余的胶，然后用清水漂洗、晾干。

（6）灌注胶的固化

让灌注胶自行固化，可用手捏注入管以了解固化进程。

（7）保温措施

当施工温度在 5～15℃时，密封胶及注入胶应选用冬季用型号。

7.6 裂缝封闭

对所有宽度小于 0.15mm 的裂缝，无论缝宽大小，在进行裂缝的灌浆过程中一并封闭，不需再做处理。对外表颜色较深的原封缝物均要清除干净，重新采用环氧胶泥刮抹，要求颜色与原混凝土颜色相近，外观平整。

7.7 混凝土表面缺陷处理

混凝土表面修补按照病害情况分两种情况进行处理。对疏松层较浅、病害范围较小的区域采用丙乳砂浆修补，对孔洞及深度超过 6mm 的深层疏松层采用丙乳细石混凝土修补。在用丙乳砂浆或丙乳细石混凝土修补混凝土表面缺陷时，应严格按照丙烯酸脂共聚乳液产品说明和《港口水工建筑物修补加固技术规范》（JTS311—2011）执行。

7.8 丙乳砂浆使用方法及注意事项

丙乳需贮存在 0℃以上的环境中，丙乳砂浆施工要求气温高于 5℃。

一般使用 42.5 级以上的硅酸盐或普通硅酸盐水泥，砂子需过 2.5mm 筛，水泥及砂子均需满足有关规范规定。

施工前须清除基底表面污物、尘土和松软、脆弱部分，并对基面加以喷砂或人工凿毛（深度 1～2mm），然后用清水冲洗干净，施工前应使待施工面处于饱和状态（但不应有积水），在薄层修补区的边缘宜凿一道 3～5cm 的深齿槽，增加修补面与老混凝土的粘结。

根据工程要求，选定灰砂比及丙乳掺量，应选灰砂比 1：（1.5～2）砂浆，丙乳掺量为水泥用量 25～30％。施工前根据现场水泥和砂子及施工和易性要求通过试拌确定水灰比。

丙乳砂浆拌制时，先将水泥、砂子拌均匀，再加入经试拌确定的水量及丙乳，充分拌和均匀，材料必须称量正确，尤其是水和丙乳，拌和过程中不能随意扩大水灰比，每次拌制的砂浆，要求能在 30～45 分钟内使用完，不宜一次拌和过多数量。

在涂抹砂浆时，修补面上需先用丙乳净浆打底，净浆配比为 1kg 丙乳加 2kg 水泥拌制成浆，在净浆未硬化间，即铺筑丙乳砂浆。仰面和立面施工，涂层厚度超过 7mm 时，需分二次抹压，以免重垂脱空，砂浆铺筑到位后，用力压实，随后就抹面，注意向一个方向抹面，不要来回多次抹，不需第二次收光。修补面积较大时，可隔块跳开分段施工。

丙乳砂浆早期干缩偏大，应特别注意加强早期养护，丙乳砂浆表面略干后，宜用农用喷雾器喷雾养护。一昼夜后再洒水养护七天即可自然干燥，在阳光直射或风口部位，注意遮光、保湿。

如果施工面为斜面或曲面，施工应从较低部位开始，然后依次施工到较高部位，修补面积较大宜分段分块间隔施工，以避免砂浆干缩开裂。

7.9 丙乳细石混凝土施工方法及注意事项

采用丙乳细石混凝土配合比参照前述丙乳砂浆配合比由实验室确定，要求一天抗压强度不小于 30MPa，7 天抗压强度不小于 50MPa，28 天抗压强度不小于 60MPa。可添加适量膨胀剂，补偿收缩。

修补施工程序：

①首先将疏松区劣质混凝土凿除，其周边宜凿成规则的多边形，开凿范围以见新鲜密实混凝土为止，开凿区以及孔洞四周边宜做成台阶状，台阶高差以不小于 3cm 为宜。

②剔除开凿表面（新旧混凝土结合面）的浮石，并清洗开凿表面，应使混凝土表面充分润湿。

③在保持结合面湿润但无自由水的情况下，涂刷丙乳净浆，立模浇筑丙乳细石混凝土并振捣密实，终凝后及时拆模覆盖湿麻袋保持潮湿 7 天。

④养护 7 天后，在修补区的外露表面无尘埃、无自由水且湿润的条件下，用丙乳净浆在纵横向分批涂抹。

丙乳细石混凝土施工技术要求与丙乳砂浆施工技术要求基本相似，可参照执行，这里不再赘述。

7.10 钢筋除锈

（1）工艺流程

锈蚀钢筋部位定位→凿除松散混凝土→锈迹清除→涂刷阻锈剂→表面封堵

（2）施工工序

①观察并标出结构物钢筋锈蚀部位；

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

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

④采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂进行防锈、阻锈处理，阻锈剂的质量和性能指标应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367—2013）表 4.7.2 和表 4.7.3 的规定；

⑤采用丙乳砂浆修复破损部位。

8 换索施工监控要求

换索施工监控的目的是依据施工过程中监测的结构响应及时修正结构计算参数，以更好地指导下一步施工，使换索后结构受力和线形满足设计要求，并保证换索过程中的结构安全。

8.1 监控原则

（1）斜拉索更换完成后的主梁线形应和换索前应保持一致，结构受力控制在材料允许范围内。

（2）新索张拉过程应实行“标高、索力双控”模式，以主梁标高控制为主以索力控制或调整为辅。

（3）更换过程中如发现主梁标高、索力偏差或变化较大，应立即叫停施工，查明原因并进行相应整改后方可继续施工

（4）充分考虑昼夜温差影响，在温度较均匀的凌晨到日出前进行换索量测。

（5）充分考虑主梁结构的空间效应。

8.2 施工监控内容

换索施工监控应包含的主要内容有：斜拉索张拉施工监控、主梁状态监控、主塔状态监控、索力监控等。重点监控项目包括相邻索力监测、主梁应力应变监测、主塔偏移量监测、主梁线形监测、斜拉索张拉过程中张拉力及伸长量监测等。

（1）索力监测

索力监测主要是针对待更换索的临近拉索，在换索前、换索中（旧索分级卸载过程、旧索拆除完成、新索分级张拉过程）、换索后对其拉索索力进行测量监控。施工前应对全桥所有斜拉索索力进行测量，新索全部安装完成后应对全桥斜拉索索力再次进行测量复核。

（2）应力（应变）增量监测

主梁应力（应变）监测主要是指对即将更换的斜拉索所在的混凝土纵梁、桥面板、横隔板等关键断面的应力（应变）进行监测。斜拉索更换前后，关键断面和部位的混凝土表面应力（应变）应基本保持一致，或偏差量应在允许范围之内。

（3）主梁变形及主塔偏位监测

主塔变形监测应在塔顶安装变位观测点，在换索施工过程中实时观测塔顶变位情况，在每根斜拉索拆除及更换施工结束后必须对塔顶偏位进行观测并记录。

主梁线形监测应在典型断面梁底安装观测点，在斜拉索拆除、新索安装等工况对主梁典型断面标高变化形进行观测并记录。

（4）裂缝观测

换索过程中，结构受力薄弱部位和受力较大的部位，以及已出现裂缝的部位，有可能出现新裂缝或原有裂缝继续扩展，须在换索、调索过程中连续观测。当出现异常情况时，应立即叫停施工，待研究分析后，优化调索方案，并须采取有效措施保证结构安全。

（5）结构温度的监测

结构温度是影响主梁变形的重要因素之一，在换索过程中，应加强对结构各控制截面的温度进行测量记录。

9 其它施工注意事项

（1）本设计中未提及的有关施工规定，均须严格按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650—2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23—2008）等有关标准、规范、规程执行；有关标准、规范、规程等若有新版本则按新版本执行， 当不同规范的条文要求不一致时，应按高标准执行。

（2）质量验收标准为《公路工程质量评定检验评定标准》（JTG F80/1—2017）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650—2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/TJ23—2008）等

有关标准规范；相关规范若有新版本则按新版本执行。

（3）开工前，施工单位应仔细阅读并复核设计文件、图纸及相关基础资料，领会设计意图，必要时应进行补充调查，施工单位必须按照图纸及有关说明的要求施工，若有疑问应及时向监理工程师提出，并经业主转设计单位。

（4）请施工单位自行踏勘、调查，须充分考虑现状条件对施工带来的困难，自行考虑，做好交通组织方案及应急预案，保证施工安全、质量。

（5）图纸中所有列出材料，均要求厂家出示国家规定单位的检验证书，进场后的原材料必须进行工地检验，确认合格后方能使用。不得使用非正式厂家生产的或无检验证的低、劣质钢材及其他原材料。

（6）斜拉索原设计设置有螺旋线以防止风雨振，采用防火体系后桥面以上 15m 高度范围护套螺旋线遭到破坏，应采用带有螺旋线的 HDPE 套管恢复其外观，确保斜拉索防风雨振性能无较大改变。

（7）正式施工前应先进行试验段施工，以确保施工工艺、施工方案可行。

（8）施工期间，交通组织和安全风险管理至关重要。施工组织方案、交通组织方案及应急预案应经专项评审或监理工程师批准后方可实施。

（9）危大工程风险源提示

根据住房城乡建设部办公厅关于实施《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知的要求，现列出本次设计范围内的涉及危险性较大的分部分项工程。

①高空作业。斜拉索防火相关工程施工整个流程均属于高空作业，进行缆索系统施工时，攀登和悬空高处作业人员以及搭设高处作业安全设施的人员，必须经过专业技术培训，并定期进行体格检查。患有高血压、心脏病及酒后、精神不振者严禁从事缆索系统施工。作业人员拴安全带、戴安全帽、穿防滑鞋。高空作业人员配给工具袋。小型工具及材料放入袋内，较大的工具，拴好保险绳。不得随手乱放，防止坠落伤人，严禁从高空向下乱扔乱丢。

②起重吊装。起重设备应有检测合格证明。起重机械操作人员取得操作合格证，不准将机械设备交给无本机操作证的人员操作，对机械操作人员要建立档案，专人管理。操作人员按照机械说明规定，严格执行工作前的检查制度和工作中注意观察、工作后的检查保养制度。保持机械操作室整洁，严禁存放易燃易爆物品。不酒后操作机械，机械不带病运转、超负荷运转。起重作业严格按照《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ 33—2012）和《建筑安装工人安全技术操作规程》规定的要求执行。起重臂下严禁站人。定期组织机电设备安全大检查。对检查中查出的安全问题按照“三不放过”原则进行调查处理，制定防范措施，防止机械事故的发生。

③火灾和毒气挥发风险。防腐材料为易燃物质，各种溶剂多为有毒或易燃液体，挥发出的气体与空气混合可成为爆炸性气体,为此现场应设置专用库房，材料库房应能通风并备置消防器材。施工单位应制定详细有效的环保措施，控制施工过程中的环境污染。涂料产品的有机挥发物含量(VOC)应符合国家有关法律法规要求。

10 施工交通组织及施工安排

10.1 施工交通组织

10.1.1 方案论述

针对大桥全部更换拉索施工周期长、风险高、对交通影响大的特点，对桥梁换索的多种方案进行了结构计算模拟。根据审查意见及计算结果，推荐半幅封闭的施工方案。

由于桥上作业面狭窄、桥梁规模大、不确定因素较多，换索施工风险很大，施工单位应根据桥梁具体施工进度情况及当地交管部门的要求制定安全可靠的交通组织设计方案。交通组织设计方案还应结合本线路韧性提升工程其它临近工点的交通组织实施情况，统筹考虑实施。

推荐采用半幅封闭半幅施工方案，总工期约 12 个月。

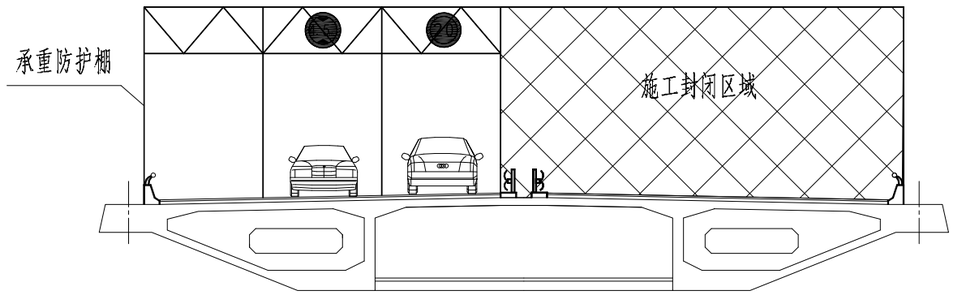
10.1.2 建议导行方案

在占道施工前，提前 10 天向社会发布公告，告知广大市民提前做好出行安排。在拟更换索半幅车道区域，封闭交通，占用 2 个车道；另半幅两个车道供车辆双向通行。

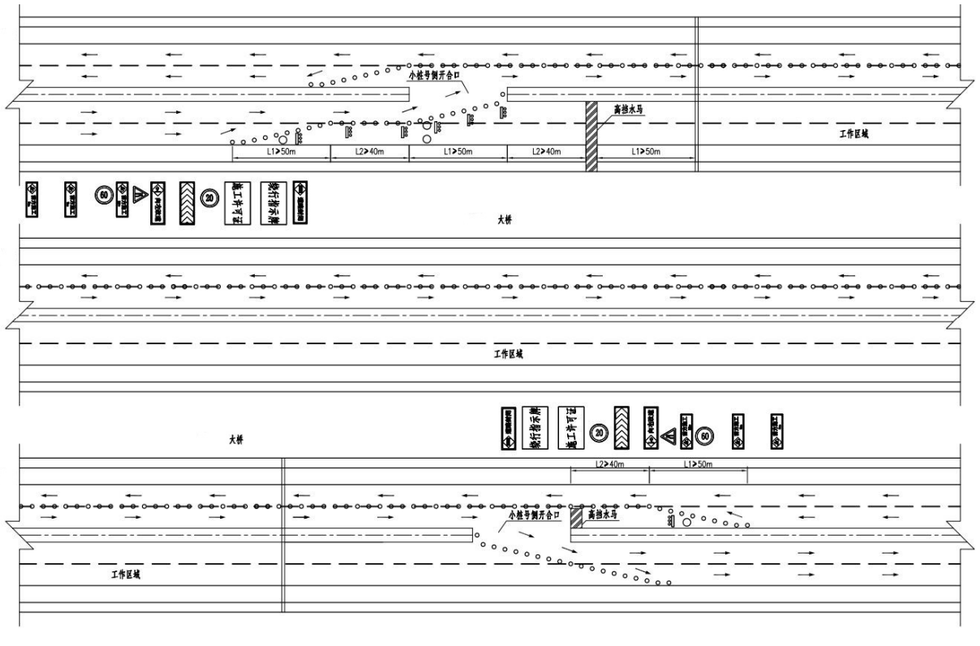
封闭区域前方设置提示区、缓冲区。

为保障安全和施工便利，在桥塔区域纵桥向 18m 范围内搭设承重防护棚。承重防护棚要求具有足够的强度、刚度和稳定性，并且横桥向跨越机动车道，以保证施工作业安全。由于本桥位于高速公路上，过往车辆较多，导行区域承重防护棚采用双层防护棚。

封闭区域塔柱下方不设置防护棚，仅车辆通行半幅设置防护棚。



交通管制及防护棚示意



交通管制平面图

本维修加固工程对交通运营有较大的影响，为保证施工期间交通的正常运作，还应注意以下几点：

①施工期间采取措施对过往车辆进行提前有效分流，主要路口设置引导标志牌，并通过各种渠道广播限行路段，提前引导车辆变更路线，减少交通的拥堵。

②施工期间应严格按《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）设置施工标志、限速标志、反光锥形交通路标和其他安全设施；联系交警部门，施工临时交通管制时间，周围设立醒目警示标志，安排专人职守，以免影响施工。设立安全警戒线和警示牌：警戒范围不小于 200m，安全警示牌应标明警示语。

③施工单位应根据桥梁维修加固内容做好完善的施工组织计划和详细的施工方案，合理安排施工各环节工序，达到施工连续不中断，并尽可能减少施工对交通的影响。

10.2 施工安排

加固施工应对称、均衡地进行。

提升改造施工工期预计为 12 个月。

施工总体安排

时间 工作内容	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月
施工准备、交通维护、搭设施工平台	—											
左幅铺装拆除	—											
左幅拉索更换		—	—	—	—							
左幅桥面系改造					—	—						
左幅调索						—						
右幅铺装拆除							—					
右幅拉索更换							—	—	—	—	—	
右幅桥面系改造											—	
全桥索力复测调整												—
裂缝处理+局部病害修补+护栏提升				—	—					—	—	
拉索防火套及附件安装					—	—					—	
拆除临时设备、恢复交通												—

11 问题与建议

（1）本设计根据检测报告反映病害进行分析和设计，并以此为依据提出提升设计方案。本设计中桥梁构件编号与检测报告同检测报告。

（2）维修施工后，应严格限制超载车辆通行，避免桥跨结构处于超负荷的状态，延长桥梁使用期限。加强日常检查和定期检测，发现问题及时处理。

（3）加固用到的关键材料都应进行抽样检测，由监理现场鉴封处理后送至鉴定单位（要求鉴定单位具备相应资质）检测，各项指标应达到国家及行业相应技术规范和规程的要求。未尽事宜应严格遵照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）及《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）的相关条款进行。

（4）**为保证大桥拉索更换施工质量、施工安全，建议选择承担大桥拉索更换工程的施工方应具有相应专业承包资质和丰富的拉（吊）索更换施工和监控经验的专业队伍和专业人员承担。**监理单位应全过程旁站监督，以保证本次拉索更换的整体质量，达到拉索更换预期的目的。

（5）桥梁维护施工期间，施工单位应采取措施确保交通安全。防止施工单位采用有损于结构构件的工艺、方法或机具等，维修措施必须征得设计和监理单位的同意。

（6）本施工图设计以检测报告反映病害内容和数量为依据，施工中如发现新的缺陷、病害及与本文件不一致的地方，应及时与业主、监理工程师、设计单位取得联系，共同商定解决办法。工程数量以业主、监理确认的现场实际发生工程数量为准。

（7）施工过程中应对桥梁关键部位进行监测。

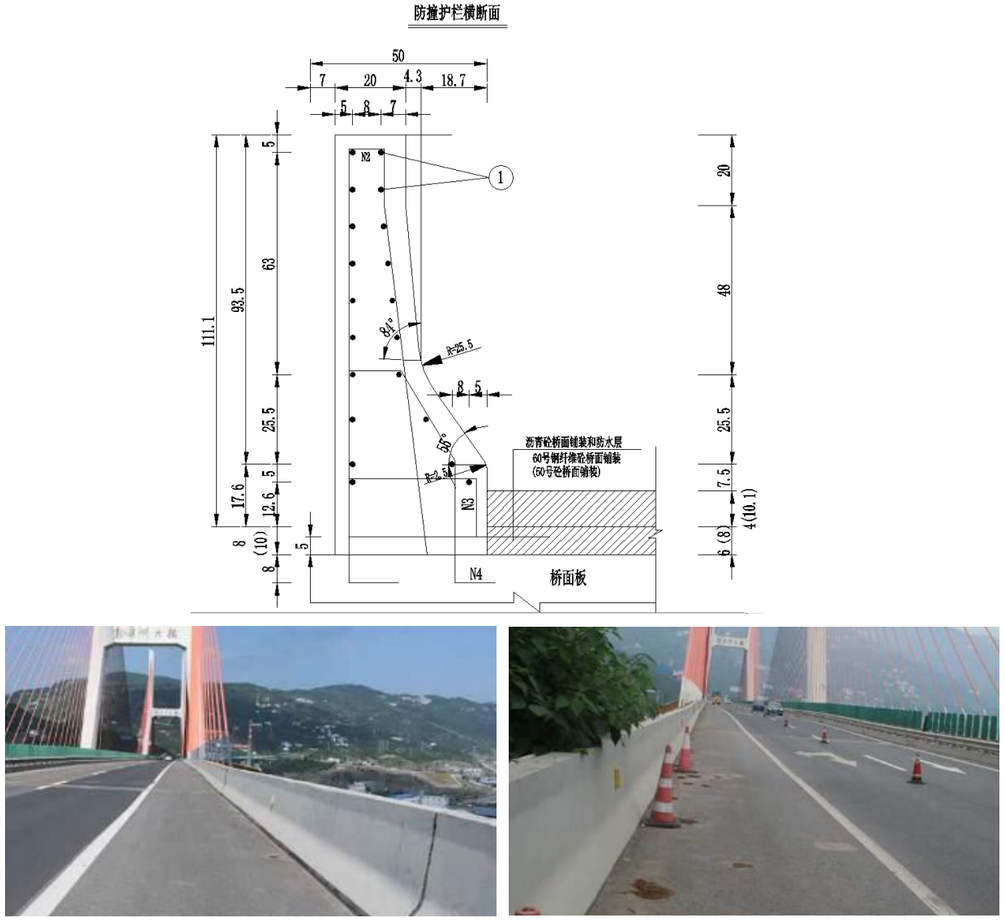
（8）其它未尽事宜，由设计单位、监理工程师、施工单位及业主协商解决。

交 安 设 计 说 明

1 现场调查情况

1.1 桥侧混凝土护栏现状

彭溪河特大桥现状桥梁护栏采用混凝土护栏，该形式混凝土护栏高度 101cm，迎撞面形式与 17 版规范不一致，其防护能力未知，需拆除重建。



现状混凝土护栏

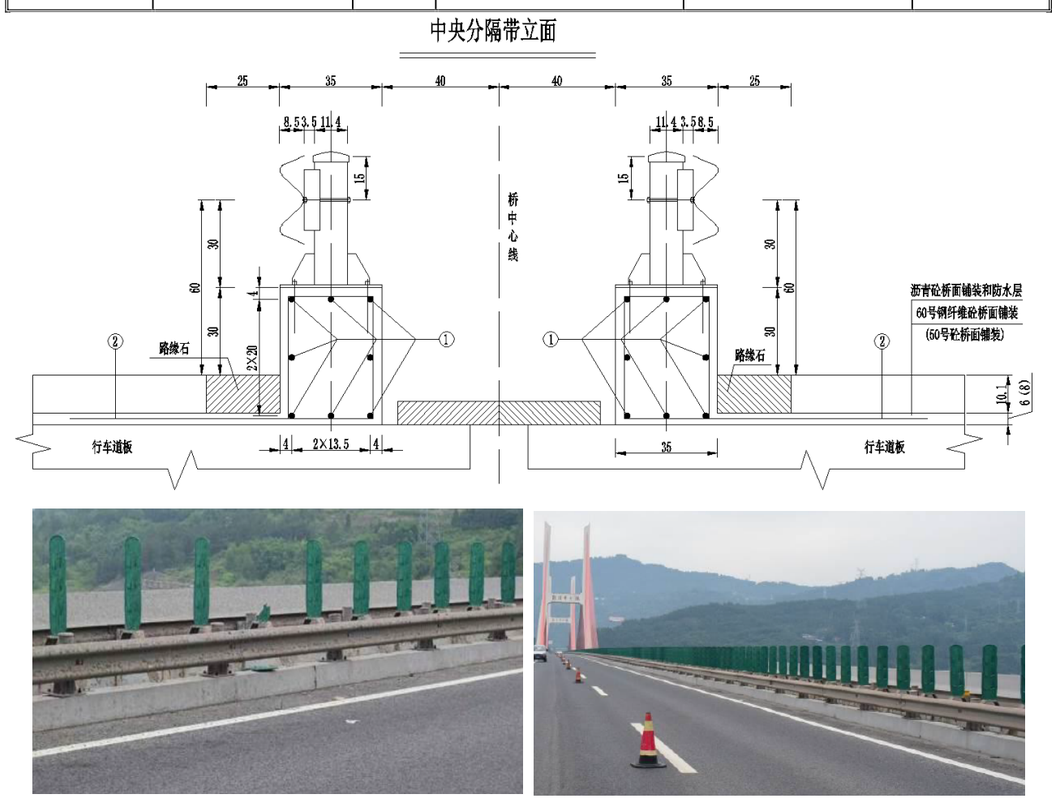
1.2 中央分隔带波形梁护栏现状

彭溪河大桥 2008 年建成通车，护栏原设计依据为《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》（JTJ 074-94）（以下简称“94 版规范”）。

根据中央分隔带护栏设置现状调研核查，现状护栏形式和结构如下：

彭溪河大桥中央分隔带波形梁护栏形式和结构情况表

原护栏代号	规　格	间距	埋置深度或形式	波形板	设计规范
Gr-A-2B	φ114mm×4.5mm	2m	法兰，桥梁中分带	3mm 两波形梁板	94 版



彭溪河特大桥现状中央分隔带波形梁护栏

2 桥梁护栏提升设计方案

2.1 桥侧护栏

《公路安全韧性提升技术指南（试行）》提出了“交通安全设施应充分考虑易于恢复”、“护栏提升改造应综合考虑护栏防护等级与形式、既有护栏利用等因素”、“护栏、标志等交通安全设施宜积极采用施工速度快、性价比高、防护性能好且经过验证的新产品”等要求。

4.7.2 交通安全设施韧性提升应满足下列要求：

1 交通安全设施选型应充分考虑恶劣天气条件下的性能保持以及突发事件时的快速响应和易于恢复。

2 交通标志和标线应综合设计，重点考虑互通式立交间距小于5km的路段，整体考虑视认效果。标线应根据主体工程提升后的交通组织设计重新梳理和优化。

3 护栏提升改造应综合考虑护栏防护等级与形式、既有护栏利用等因素，选择合理的提升方案。

4 桥梁护栏提升改造可按《提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南》进行设计。

4.7.3 在灾害风险区域，可适当配置不依赖公共移动通信网络的无线通信设施、适当配置不依赖于外部电网的移动发电设施，提升灾后通信、电力支撑保障能力。

4.7.4 护栏、标志等交通安全设施宜积极采用施工速度快、性价比高、防护性能好且经过验证的新产品。

彭溪河特大桥设计速度80km/h，未跨越公路、铁路或城市饮用水水源一级保护区，按照17版规范的表6.3.2确定桥梁护栏防护等级选取，桥侧护栏的防护等级根据车辆进入对向车行道的事故严重程度等级为中，防护等级不低于四（SBm）级，但彭溪河特大桥总质量大于或等于25t的车辆自然数所占比例大于20%，桥侧护栏的防护等级在17版规范的表6.3.2基础上提高1个等级，防护等级不低于五（SA）级，彭溪河特大桥为斜拉桥，斜拉桥的桥侧护栏防护等级宜采用八（HA）级。因此彭溪河特大桥设计防护等级为八（HA）级，拆除原有混凝土护栏，新建HA级特高防护等级桥梁钢护栏。

2.1.1 设计方案

特高防护等级桥梁钢护栏主要由钢立柱、横梁、横梁套管、连接角钢和螺栓等组成，总高度1.68m，立柱间距1.5米。实施方案如下：

（1）施工流程：

拆除混凝土护栏—测量放线—立柱定位—施工基础预埋地脚螺栓—安装立柱—安装横梁—线形调整。

（2）施工要点

立柱通过预埋的M30地脚螺栓进行锚固，锚固深度不低于30cm，并与地平面垂直。

立柱采用预埋螺栓进行锚固时，宜根据实际情况设置锚固板与定位板。

立柱安装应与设计图相符，并与道路线形相协调。

立柱安装正确是护栏线形平顺的关键，必须确保立柱安装高度和竖直，不得扭转变形。

横梁连接完成后，通过立柱及横梁的长螺孔调整横梁线形，保持护栏平顺、线型一致，最后拧紧全部螺栓。

护栏每6m设置一根拼接套管；伸缩缝处一端锚固，一端不固定，起伸缩作用。

2.1.2 技术要求

（1）材料

立柱和横梁应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）中Q355钢的规定。

用于横梁、立柱和套管之间的螺栓连接件公称直径为20mm。

护栏表面应采用热浸锌处理，防腐层质量符合现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）。

特高防护等级桥梁钢护栏-加强型（HA-II型）材料规格和材质明细（每6m）

编号	名　称	规　格(mm)	数量	材　质
1	立柱	250×300×1680	4根	Q355
2	连接角钢	90×90×210	24个	Q355
3	横梁1	210×140×6000	1根	Q355
4	横梁2	160×140×6000	1根	Q355
5	横梁3	160×140×6000	2根	Q355
6	横梁套管1	188×118×600	1根	Q355
7	横梁套管2	138×118×600	1根	Q355
8	横梁套管3	146×126×600	2根	Q355
9	高强螺栓	M20×70	24套	10.9级
10	高强螺栓	M20×220	8套	10.9级
11	高强螺栓	M20×200	24套	10.9级
12	高强螺栓	M20×180	24套	10.9级

（2）施工要求

立柱和横梁安装应与设计图相符,并与道路线形相协调。

立柱地脚螺栓或植筋锚栓应牢固地打入混凝土中,达到设计所规定的深度，并与地平面垂直。

安装过程中不应过早拧紧连接螺栓，应充分发挥套管圆孔的调节作用。连接螺栓不宜拧的过紧，以便利用长圆孔调节温度应力。

护栏横梁的中心高度允许误差为±2cm。

立柱中距允许误差为±2cm。

2.2 中央分隔带护栏

彭溪河特大桥设计速度 80km/h，彭溪河大桥中央分隔带护栏采用分设型，上部加装了混凝土盖板，引桥跨越公路，按照 17 版规范的表 6.3.2 确定桥梁护栏防护等级选取，中央分隔带护栏的防护等级根据车辆进入对向车行道的事故严重程度等级为高，防护等级不低于五（SAm）级，彭溪河特大桥总质量大于或等于 25t 的车辆自然数所占比例大于 20%，防护等级在 17 版规范的表 6.3.2 基础上提高 1 个等级，防护等级不低于六（SSm）级，彭溪河特大桥中央分隔带护栏防护等级设计为六（SSm）级。拆除原有护栏，新建 SS 级梁柱式护栏。

2.2.1 设计方案

SS 级梁柱式护栏主要由钢立柱、铝合金横梁、横梁连接套管、缓冲块和螺栓等组成，总高度 1.5m，立柱间距 1.5 米。可同时适用于新建和改扩建路基及桥梁。施工速度快、美观、通透。实施方案如下：

（1）施工流程：

测量放线—利用原有基础并检查修复—立柱定位放线—钻孔植筋—安装高强钢立柱—安装铝合金横梁—线形调整。

（2）施工要点

立柱通过植入的地脚 M30 地脚螺栓进行锚固，锚固深度不低于 25cm。

立柱安装应与设计图相符，并与道路线形相协调。

植筋锚栓应牢固地埋入混凝土中，达到设计所规定的深度，并与地平面垂直。

立柱安装正确是护栏线形平顺的关键，必须确保立柱安装高度和竖直，不得扭转变形。

横梁连接完成后，通过立柱及横梁的长螺孔调整横梁线形，保持护栏平顺、线型一致，最后拧紧全部螺栓。

护栏每 6m 设置一根拼接套管；伸缩缝处一端锚固，一端不固定，起伸缩作用。

2.2.2 技术要求

（1）材料

横梁为高性能铝合金型材，应符合现行国家标准 GB/T 6892《一般工业用铝及铝合金挤压型材》的相关要求。

钢立柱翼板须整板一体折弯成型，不得拼焊，成型后须退火处理，立柱材料应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）中 Q355 钢的规定。

不锈钢连接螺栓应符合《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》（GB/T 3098.6-2014）的规定。

用于横梁、立柱和套管之间的螺栓连接件公称直径为 16mm。

SS 级梁柱式护栏材料规格和材质明细（每 6m）

编号	名　称	规　格(mm)	数量	材　质
1	立柱	300×180×1390	4 根	Q355
2	横梁	150×100	4 根	铝合金
3	横梁连接套管	137×78	4 个	铝合金
4	防阻缓冲块	100×90×120	12 个	铝合金
5	连接螺栓	M16×150	32 根	8.8 级
6	拼接螺栓	M16×70	24 根	8.8 级
8	地脚螺栓	M30×360	16 根	8.8 级

（2）施工要求

立柱和横梁安装应与设计图相符,并与道路线形相协调。

立柱植筋锚栓应牢固地打入混凝土中,达到设计所规定的深度，并与地平面垂直。

安装过程中不应过早拧紧连接螺栓，应充分发挥套管圆孔的调节作用。连接螺栓不宜拧的过紧，以便利用长圆孔调节温度应力。

护栏横梁的中心高度允许误差为±2cm。

立柱中距允许误差为±2cm。

2.3 轮廓标

护栏改造段落，原有轮廓标反光效果差不予利用，考虑全部拆除更换。工程量纳入本次韧性提升计列。

（1）设置护栏路段采用附着式轮廓标。

（2）桥梁上的轮廓标采用附着式，设置间距为 12 米。

（3）轮廓标单面设置，沿行车方向，行车方向左侧为黄色，其背面为白色；行 车方向右侧为白色，其背面亦为白色。

（4）轮廓标代号如下：

VG-De(Rby/Rbw)-At1 附着式轮廓标，附着在桥梁护栏上；

（5）技术要求

① 附着式轮廓标由反射器、支架和连接件组成，反射器采用反光片，应符 合《轮廓标》

（GB/T24970-2020）的有关规定。

② 附着式轮廓标采用 2 毫米厚冷轧钢板制作底板，应进行热镀锌处理。

③ 附着式轮廓标底板采用普通碳素结构钢 Q235 ，其技术条件应符合 GB/T700-2006 的规定。

④ 附着式轮廓标的防锈采用热浸镀锌处理，镀锌量应不低于 500g/m2。且 应符合现行《公路交通工程钢构件防腐技术条件》（GB/T 18226）的有关规定。

⑤ 附着式轮廓标安装于桥梁护栏立柱上。

⑥ 安装时，应尽量使道路两侧及中央分隔带两侧的轮廓标处于同一断面上， 并应尽量使所有的轮廓标保持平顺。

2.4 防眩设施

防眩板为“一”字形绿色玻璃钢防眩板，板宽 200mm，板间距 1m，防眩角为 10°。防眩板的防眩角受平、竖曲线的大小而变化，在施工过程中要根据实际情况进行调整。

防眩板支撑结构所有钢构件均应进行热浸镀锌处理，螺栓、螺母、垫圈等连接件的镀锌量为 350g/m^2，其它构件为 600g/m^2。

防眩设施安装时，应保证在一条直线上，支撑顶面在同一水平面上，防眩设施应保证垂直，同时应符合《公路交通安全设施施工技术规范》（JTG F71-2021）的要求和规定。

彭溪河特大桥安全任性提升工程数量汇总表

项目		单位	斜拉索	桥面铺装	其他	合计
混凝土	C60钢纤维砼	m^3		1358.80		1358.8
	沥青混凝土	m^3		679.4		679.4
防水层		m^2		13588.0		13588.0
拆除原桥铺装		m^3		2038.2		2038.2
引桥精铣刨2.0cm原沥青路面		m^2		7920.0		7920.0
引桥铺筑高粘高弹改性沥青碎石封层		m^2		7920.0		7920.0
引桥铺筑2cm高粘高弹改性沥青SMA-8		m^2		7920.0		7920.0
钢筋	HRB400	kg		290041.4		290041.4
斜拉索	PES(C)7-121	kg	48213.8			48213.8
	PES(C)7-139	kg	69730.4			69730.4
	PES(C)7-151	kg	201622.7			201622.7
	PES(C)7-187	kg	492348.0			492348.0
	PES(C)7-223	kg	366223.4			366223.4
拆除原桥拉索		kg	1178138.4			1178138.4
斜拉索锚具	LZM7-121	套	48			48.0
	LZM7-139	套	48			48.0
	LZM7-151	套	96			96.0
	LZM7-187	套	144			144.0
	LZM7-223	套	72			72.0
拆除原桥拉索锚具		套	408			408.0
外置减震装置		套	56			56.0
外置减震装置预埋钢板		kg	2943			2942.7
外置减震装置预埋M28螺栓		套	408			408.0
病害处治	裂缝封闭	m			537.2	537.2
	裂缝灌胶	m			4.8	4.8
	混凝土破损	m^2			8.9	8.9
斜拉索索体防火	环氧防火涂料	m^2			644.3	644.3
	增强高温纤维网	m^2			322.1	322.1
	氯磺面漆	m^2			644.3	644.3
	5mm高硅氧铝硅气凝胶毡	m^2			3741.4	3741.4
	0.7mm不锈钢	m^2			1870.7	1870.7
	PVF缠包带	m^2			1870.70	1870.7
	带螺旋线的HDPE套管	m^2			1870.70	1870.7

彭溪河特大桥附属设施工程主要数量表—分项

位置	类别	序号	内容	单位	引桥	主桥	合计
桥侧	新增	1	桥侧HA级护栏	m	738	1264	2002
		1.1	桥侧HA级护栏	m	738	1264	2002
		1.2	钢筋混凝土基础	m	738	1264	2002
		1.2.1	HRB400级钢筋Φ12	t	7.42	12.71	20.13
		1.2.1.1	HRB400级钢筋Φ12材料	t	7.42	12.71	20.13
		1.2.1.2	HRB400级钢筋Φ12植筋，深度10cm	根	7380	12640	20020
		1.2.2	A类植筋胶	m^3	0.15	0.25	0.40
		1.2.3	C30混凝土	m^3	61.50	105.33	166.83
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	8	13	21
		4	轮廓标	个	62	106	168
		5	防落物网	m	90	0	90
	拆除	1	混凝土护栏	m	738	1264	2002
		1.1	钢筋混凝土护栏	m^3	260.76	446.61	707.37
		1.1.1	钢筋	t	50.98	87.32	138.30
		1.1.2	混凝土	m^3	260.76	446.61	707.37
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	8	13	21
		4	轮廓标	个	62	106	168
中分带	新增	1	SS级梁柱式护栏	m	738	1264	2002
		1.1	SS级梁柱式护栏	m	738	1264	2002
		1.2	植筋M30×360mm，深度30cm	根	1968	3372	5340
		1.3	A类植筋胶	m^3	0.05	0.09	0.15
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	8	13	21
		4	防眩板	个	738	1264	2002
		5	轮廓标	个	62	106	168
	拆除	1	中央分隔带波形梁护栏	m	738	1264	2002
		1.1	钢材	t	21.95	37.59	59.53
		2	里程碑	个	1	1	2
		3	百米牌	个	8	13	21
		4	防眩板	个	738	1264	2002
		5	轮廓标	个	62	106	168

彭溪河特大桥附属设施工程主要数量表—汇总

位置	类别	序号	内容	单位	引桥	主桥	合计
全桥	新增	1	桥侧HA级护栏	m	738	1264	2002
		2	SS级梁柱式护栏	m	738	1264	2002
		3	里程碑	个	2	2	4
		4	百米牌	个	16	26	42
		5	轮廓标	个	124	212	336
		6	防眩板	个	738	1264	2002
		7	防落物网	m	90	0	90
	拆除	1	混凝土护栏	m	738	1264	2002
		2	法兰式两波形梁钢护栏	m	738	1264	2002
		3	里程碑	个	2	2	4
		4	百米牌	个	16	26	42
		5	轮廓标	个	124	212	336
		6	防眩板	个	738	1264	2002

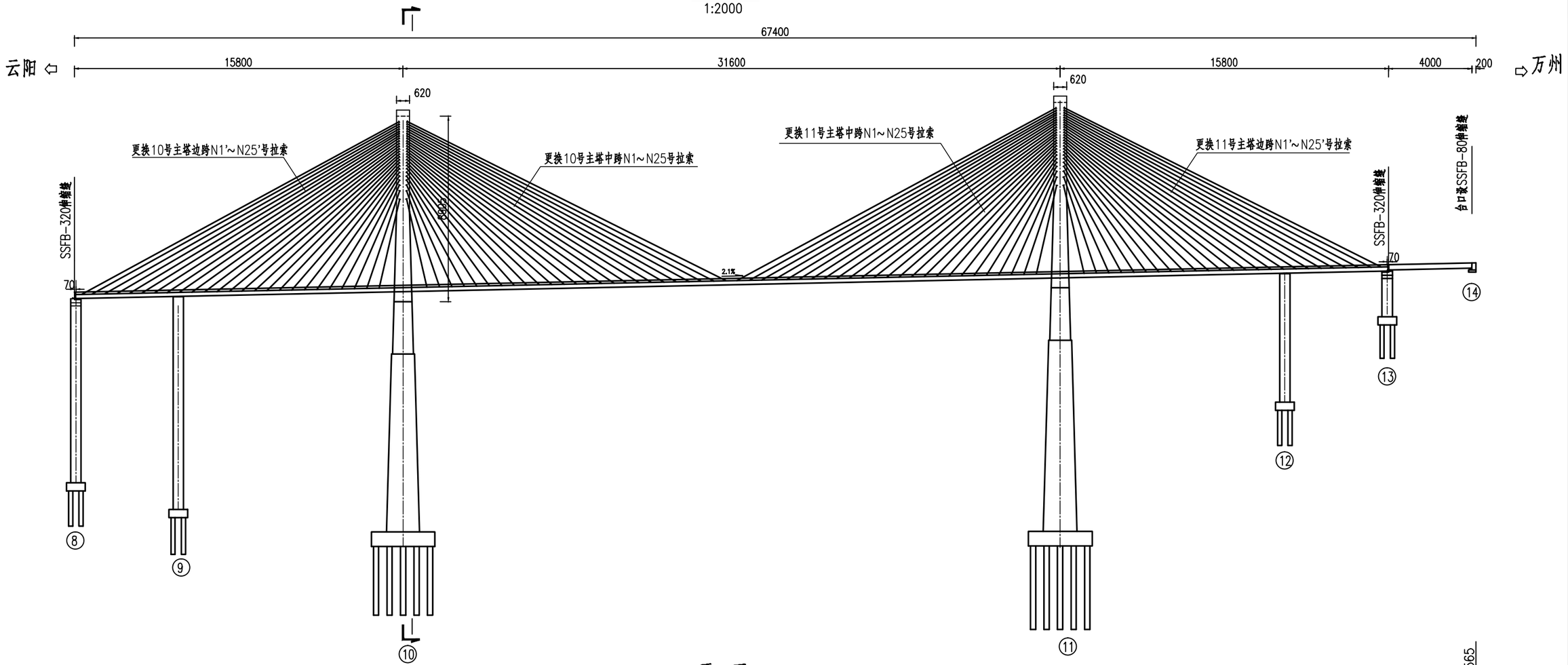
注：

1.本图中工程数量为依据原桥竣工图文件计算的数量，施工时应根据工程实际情况复核。若出入较大时，应根据实际情况适当调整工程量，由业主和监理现场确认。

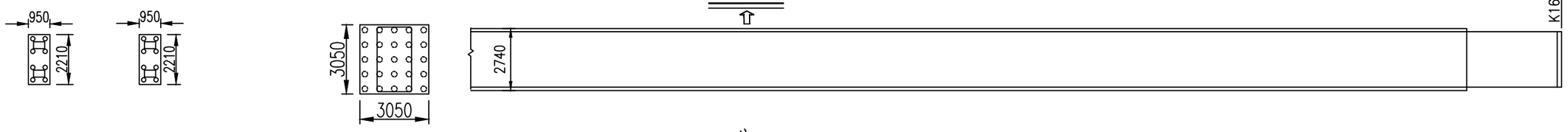
北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥安全韧性提升工程数量汇总表	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-1

立 面

1:2000



平 面



安全韧性提升方案:

1、更换全桥拉索。

2、桥面垂直高度15m范围内，对拉索进行外包防火套处理。

3、裂缝及混凝土表观病害处治。

4、更换铺装为：8cm混凝土+5cm SMA-13改性沥青混凝土。

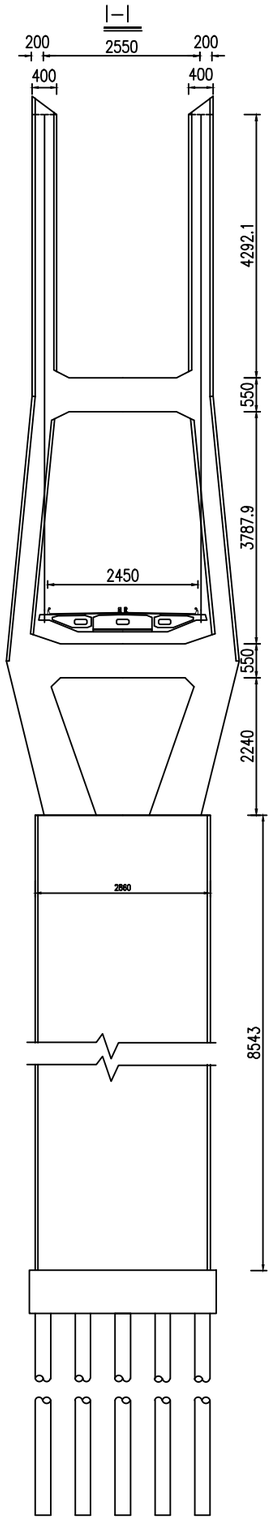
注:

1、图中除标注外，其余尺寸均以厘米计。

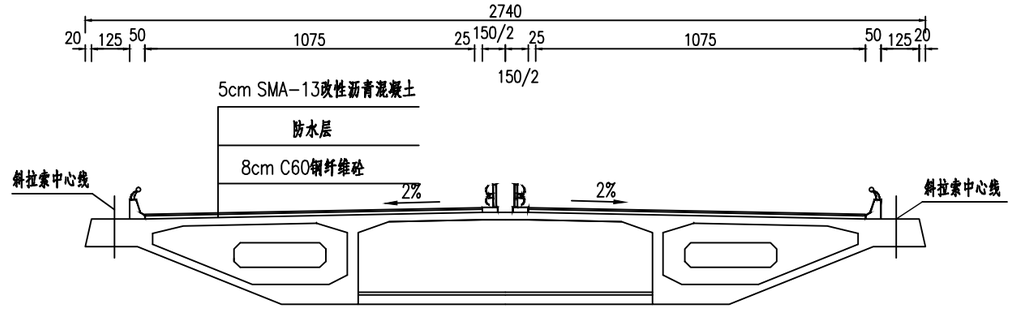
2、主桥上部构造采用158+316+158m双塔斜拉桥， 下部构造主桥墩采用钢筋砼箱形薄壁墩和群桩基础；主桥桩基采用钻孔灌注桩。

3、主桥桥宽0.5m(防撞护栏)+10.75m(行车道)+2m(中央分隔带) +10.75m(行车道)+ 0.5m(防撞护栏)=24.5m

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-2



主梁标准横断面



安全韧性提升方案:

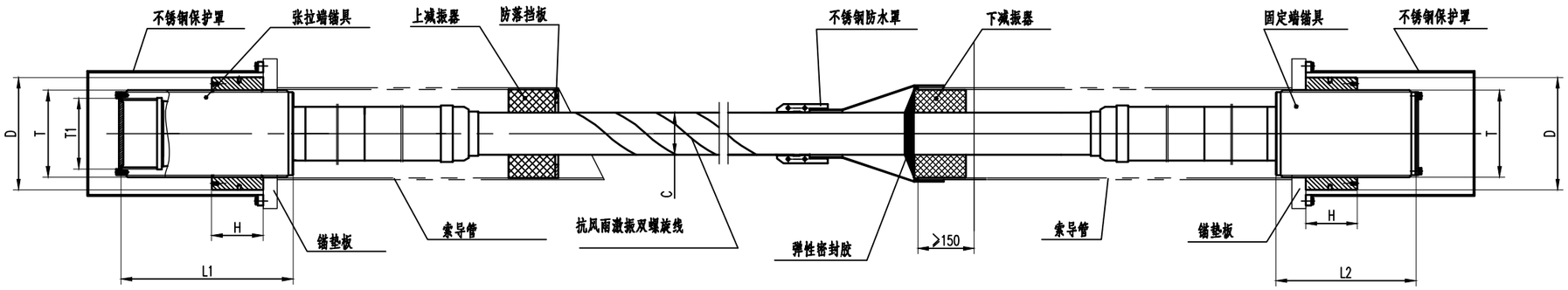
1、更换全桥拉索。
2、桥面垂直高度15m范围内，对拉索进行外包防火套处理。
3、裂缝及混凝土表观病害处治。
4、更换铺装为：8cm混凝土+5cm SMA-13改性沥青混凝土。

注:

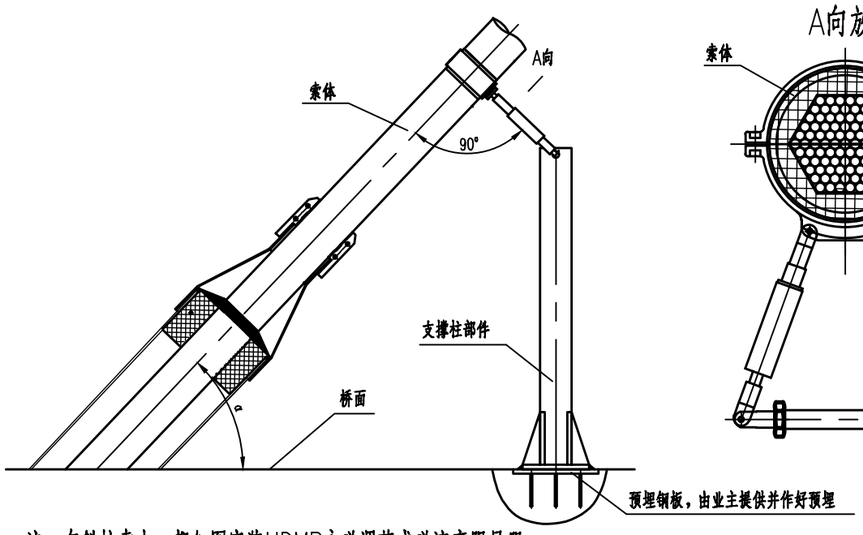
1、图中除标注外，其余尺寸均以厘米计。
2、主桥上部构造采用158+316+158m双塔斜拉桥，下部构造主桥墩采用钢筋砼箱形薄壁墩和群桩基础，主桥桩基采用钻孔灌注桩。
3、主桥桥宽0.5m(防撞护栏)+10.75m(行车道)+2m(中央分隔带)+10.75m(行车道)+0.5m(防撞护栏)=24.5m

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥安全韧性提升工程总体布置图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨亚	审定	杨飞	图号	S4-3-2-2

斜拉索构造示意

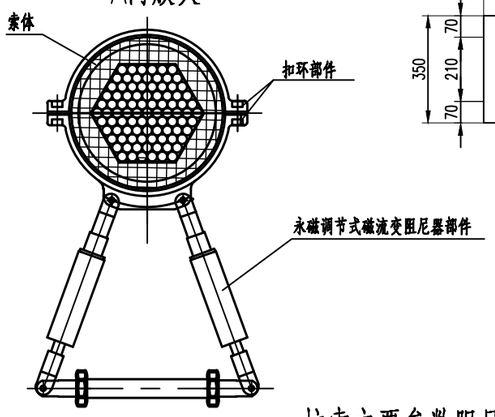


阻尼器构造示意

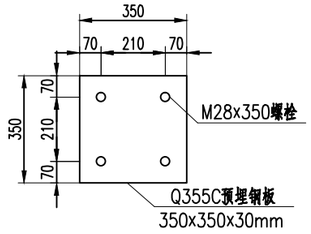


注：在斜拉索上，都如图安装HDMR永磁调节式磁流变阻尼器.

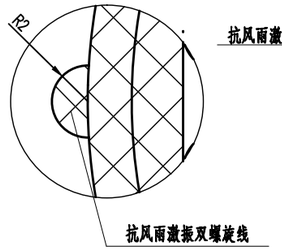
A向放大



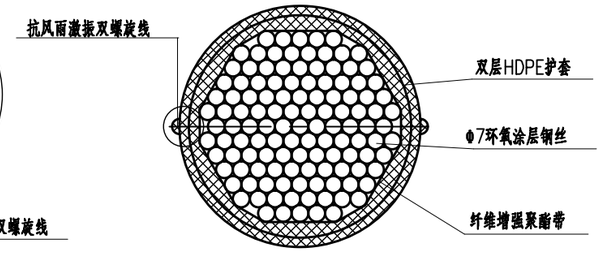
阻尼器预埋钢板大样



A大样



拉索断面构造示意



拉索主要参数阻尼器预埋材料数量表（共56套）

名称	规格mm	单位	数量
Q355C预埋钢板	350x350x30	kg	2942.7
M28螺栓	L=350	套	408

拉索主要参数表

拉索规格	T	T1	L1	L2	D	H	C	钢束面积	钢束单重	张拉端锚具	固定端锚具	对应斜拉索编号	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	(cm²)	(kg/m)	(套)	(套)	10#塔	11#塔
PES(C)7-121	Tr240x12	Tr175x10	450	340	Φ310	135	Φ108	46.57	36.6	24	24	N2'~N4',N2~N4	N2'~N4',N2~N4
PES(C)7-139	Tr250x12	Tr180x12	460	350	Φ325	135	Φ117	53.49	42.0	24	24	N5'~N7',N5~N7	N5'~N7',N5~N7
PES(C)7-151	Tr265x12	Tr190x12	480	355	Φ340	135	Φ120	58.11	45.6	48	48	N8'~N13',N8~N13	N8'~N13',N8~N13
PES(C)7-187	Tr285x12	Tr205x12	520	375	Φ380	155	Φ131	71.97	56.5	72	72	N1'、N14'~N21'、N1、N14~N20	N1'、N14'~N21'、N1、N14~N20
PES(C)7-223	Tr315x14	Tr225x14	575	410	Φ405	180	Φ145	85.82	67.4	36	36	N22'~N25'、N0、N22~N25	N22'~N25'、N0、N22~N25

技术要求

1、本图尺寸均以毫米计；

2、拉索钢丝采用环氧涂层钢丝。钢丝强度等级1860MPa，满足GB/T 25835-2010《缆索用环氧涂层钢丝》的相关要求；松弛率≤4.5%(0.7 σb，1000h,20℃)；

3、拉索索体采用双层PE护套，拉索性能满足JT/T 775-2016《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》和GB/T 18365-2018《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》标准要求；拉索索体表面设置抗风雨激振双螺旋线,螺旋线螺距为8倍索径±50mm，高度2mm；

4、锚具为冷铸锚具，锚杯材料采用:42CrMo，螺母材料采用:40Cr，锚具表面采用粉末渗锌+封闭漆防腐工艺，总厚度80~120 μm；

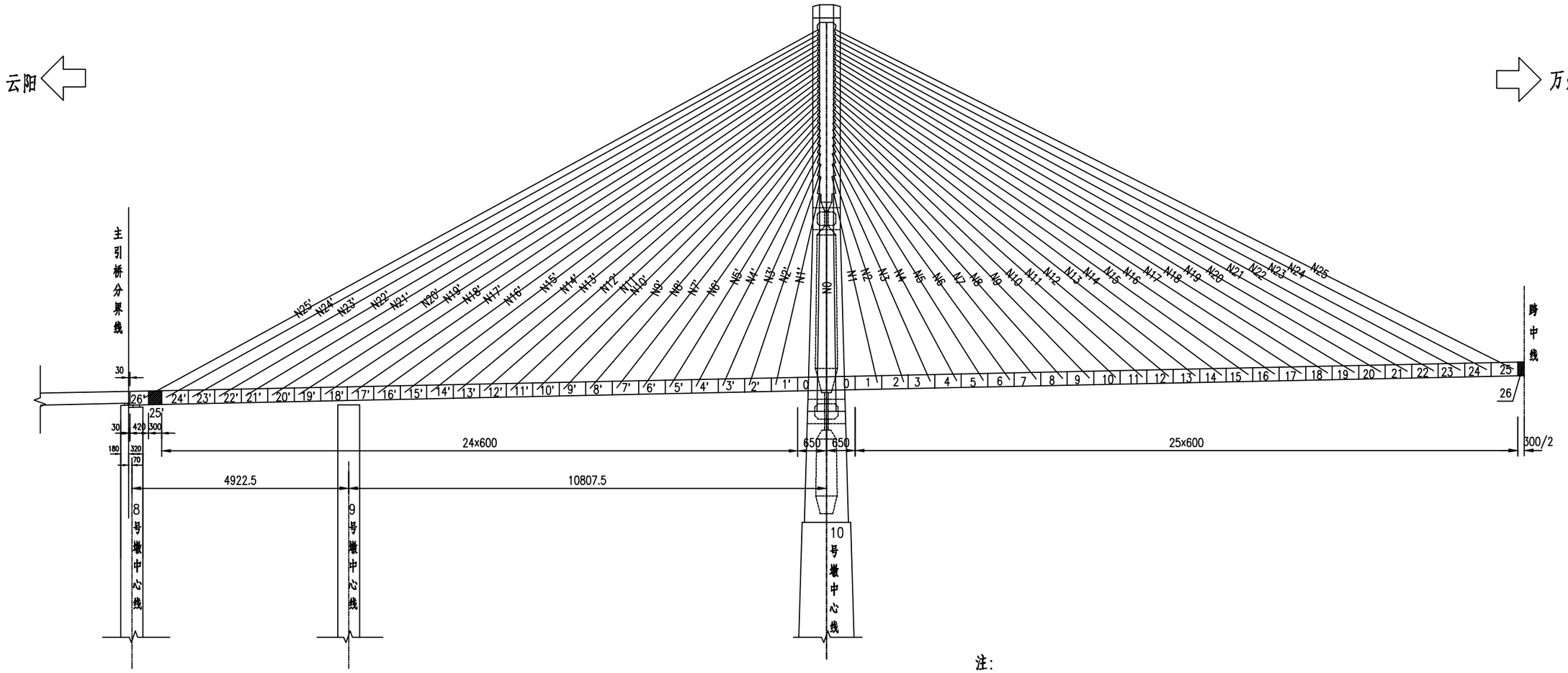
5、内置减振器及不锈钢防水罩采用厂家定型产品；

6、斜拉索张拉到位后，两端锚头均应设置不锈钢保护罩(材质:022Cr17Ni12Mo2)，梁端保护罩采用可视化锚具保护罩(可视化采用设置可视化树脂实现)，保护罩内锚头表面均匀涂抹油性蜡，油性蜡性能指标满足GB/T 30826-2014《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》中6.1.1.6中表2的要求；在桥梁使用过程中应定期对锚具进行复查、补涂，防止锚具锈蚀；

7、下减振器安装后需在上端面覆盖弹性密封胶，将索体与索导管口的间隙完全封堵，与防水罩一起在管口形成双重密封措施；

8、挂索施工完成后，拉索锚具外露表面须作等同桥梁钢结构防腐要求的二次防腐，由施工方自行负责。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索更换构造图	设计	李新龙	复核	吴美西	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-2-3



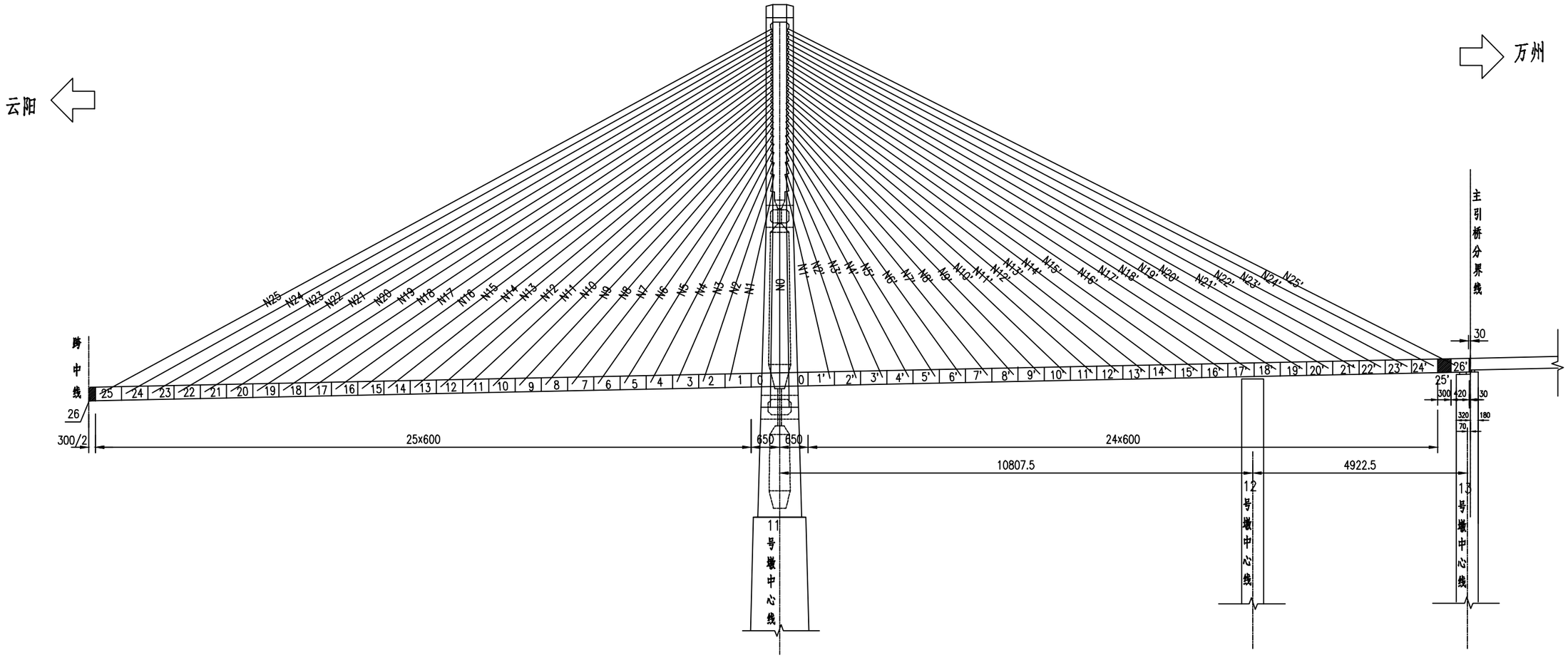
注:

1.本图尺寸除桩号标高以米计外,余均以厘米计。

2.斜拉索编号:

N1～N25为中跨斜拉索,N1'～N25'为边跨斜拉索,N0为0号索。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索编号示意图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-4



注:

1.本图尺寸除桩号标高以米计外,余均以厘米计。

2.斜拉索编号:

N1~N25为中跨斜拉索,N1'~N25'为边跨斜拉索,N0为0号索。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索编号示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-4

10号塔边跨斜拉索数量表

10号塔边跨斜拉索编号	拉索类型	几何长度	张拉端拉索端头与锚垫板间距离	固定端拉索端头与锚垫板间距离	弹性伸长	钢丝镦头长(两端)	下料长度	单根斜拉索钢丝重
单位	丝	L0(m)	Lml(m)	Lmd(m)	Le(m)	3d(m)	m	kg
N1’	PES(C)7-187	44.279	0.35	0.31	0.100	0.021	44.860	2534.6
N2’	PES(C)7-121	49.866	0.35	0.31	0.106	0.021	50.441	1846.2
N3’	PES(C)7-121	54.760	0.35	0.31	0.109	0.021	55.332	2025.1
N4’	PES(C)7-121	59.593	0.35	0.31	0.127	0.021	60.146	2201.4
N5’	PES(C)7-139	64.361	0.35	0.31	0.129	0.021	64.913	2726.3
N6’	PES(C)7-139	69.274	0.35	0.31	0.147	0.021	69.808	2931.9
N7’	PES(C)7-139	74.333	0.35	0.31	0.166	0.021	74.848	3143.6
N8’	PES(C)7-151	79.378	0.35	0.31	0.172	0.021	79.887	3642.8
N9’	PES(C)7-151	84.550	0.35	0.31	0.191	0.021	85.040	3877.8
N10’	PES(C)7-151	89.832	0.35	0.31	0.210	0.021	90.303	4117.8
N11’	PES(C)7-151	95.210	0.35	0.31	0.229	0.021	95.662	4362.2
N12’	PES(C)7-151	100.606	0.35	0.31	0.249	0.021	101.038	4607.3
N13’	PES(C)7-151	106.077	0.35	0.31	0.268	0.021	106.489	4855.9
N14’	PES(C)7-187	111.613	0.35	0.31	0.238	0.021	112.056	6331.2
N15’	PES(C)7-187	117.206	0.35	0.31	0.253	0.021	117.634	6646.3
N16’	PES(C)7-187	122.849	0.35	0.31	0.271	0.021	123.260	6964.2
N17’	PES(C)7-187	128.536	0.35	0.31	0.287	0.021	128.930	7284.5
N18’	PES(C)7-187	134.261	0.35	0.31	0.304	0.021	134.638	7607.0
N19’	PES(C)7-187	139.967	0.35	0.31	0.332	0.021	140.316	7927.9
N20’	PES(C)7-187	145.705	0.35	0.31	0.360	0.021	146.026	8250.5
N21’	PES(C)7-187	151.472	0.35	0.31	0.390	0.021	151.763	8574.6
N22’	PES(C)7-223	157.265	0.35	0.31	0.355	0.021	157.591	10621.6
N23’	PES(C)7-223	163.082	0.35	0.31	0.394	0.021	163.369	11011.1
N24’	PES(C)7-223	168.920	0.35	0.31	0.437	0.021	169.164	11401.6
N25’	PES(C)7-223	173.886	0.35	0.31	0.434	0.021	174.133	11736.6
N0	PES(C)7-223	40.054	0.35	0.31	0.085	0.021	40.650	2739.8
小计		2726.93					2738.30	149969.9

10号塔中跨斜拉索数量表

10号塔中跨斜拉索编号	拉索类型	几何长度	张拉端拉索端头与锚垫板间距离	固定端拉索端头与锚垫板间距离	弹性伸长	钢丝镦头长(两端)	下料长度	单根斜拉索钢丝重
单位	丝	L0(m)	Lml(m)	Lmd(m)	Le(m)	3d(m)	m	kg
N1	PES(C)7-187	43.875	0.35	0.31	0.103	0.021	44.454	2511.6
N2	PES(C)7-121	49.234	0.35	0.31	0.108	0.021	49.808	1823.0
N3	PES(C)7-121	53.918	0.35	0.31	0.110	0.021	54.489	1994.3
N4	PES(C)7-121	58.558	0.35	0.31	0.126	0.021	59.113	2163.5
N5	PES(C)7-139	63.152	0.35	0.31	0.126	0.021	63.707	2675.7
N6	PES(C)7-139	67.907	0.35	0.31	0.143	0.021	68.445	2874.7
N7	PES(C)7-139	72.821	0.35	0.31	0.161	0.021	73.342	3080.3
N8	PES(C)7-151	77.735	0.35	0.31	0.165	0.021	78.250	3568.2
N9	PES(C)7-151	82.786	0.35	0.31	0.183	0.021	83.284	3797.8
N10	PES(C)7-151	87.956	0.35	0.31	0.200	0.021	88.437	4032.7
N11	PES(C)7-151	93.230	0.35	0.31	0.218	0.021	93.693	4272.4
N12	PES(C)7-151	98.530	0.35	0.31	0.237	0.021	98.974	4513.2
N13	PES(C)7-151	103.910	0.35	0.31	0.255	0.021	104.336	4757.7
N14	PES(C)7-187	109.361	0.35	0.31	0.224	0.021	109.818	6204.7
N15	PES(C)7-187	114.872	0.35	0.31	0.239	0.021	115.314	6515.3
N16	PES(C)7-187	120.437	0.35	0.31	0.254	0.021	120.864	6828.8
N17	PES(C)7-187	126.049	0.35	0.31	0.270	0.021	126.460	7145.0
N18	PES(C)7-187	131.701	0.35	0.31	0.287	0.021	132.095	7463.4
N19	PES(C)7-187	137.339	0.35	0.31	0.316	0.021	137.704	7780.3
N20	PES(C)7-187	143.012	0.35	0.31	0.347	0.021	143.346	8099.0
N21	PES(C)7-187	148.715	0.35	0.31	0.380	0.021	149.016	8419.4
N22	PES(C)7-223	154.446	0.35	0.31	0.350	0.021	154.777	10431.9
N23	PES(C)7-223	160.202	0.35	0.31	0.393	0.021	160.490	10817.0
N24	PES(C)7-223	165.980	0.35	0.31	0.438	0.021	166.223	11203.4
N25	PES(C)7-223	171.778	0.35	0.31	0.457	0.021	172.002	11592.9
小计		2637.50					2648.44	144566.3

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索长度、重量表	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-5

11号塔中跨斜拉索数量表

11号塔中跨斜拉索编号	拉索类型	几何长度	张拉端拉索端头与锚垫板间距离	固定端拉索端头与锚垫板间距离	弹性伸长	钢丝镦头长(两端)	下料长度	单根斜拉索钢丝重
单位	丝	L0(m)	Lml(m)	Lmd(m)	Le(m)	3d(m)	m	kg
N1	PES(C)7-187	44.279	0.35	0.31	0.102	0.021	44.858	2534.5
N2	PES(C)7-121	49.866	0.35	0.31	0.109	0.021	50.438	1846.0
N3	PES(C)7-121	54.760	0.35	0.31	0.113	0.021	55.328	2025.0
N4	PES(C)7-121	59.593	0.35	0.31	0.131	0.021	60.143	2201.2
N5	PES(C)7-139	64.361	0.35	0.31	0.133	0.021	64.909	2726.2
N6	PES(C)7-139	69.274	0.35	0.31	0.151	0.021	69.804	2931.8
N7	PES(C)7-139	74.333	0.35	0.31	0.170	0.021	74.844	3143.4
N8	PES(C)7-151	79.378	0.35	0.31	0.177	0.021	79.882	3642.6
N9	PES(C)7-151	84.550	0.35	0.31	0.195	0.021	85.036	3877.6
N10	PES(C)7-151	89.832	0.35	0.31	0.214	0.021	90.299	4117.6
N11	PES(C)7-151	95.210	0.35	0.31	0.234	0.021	95.657	4362.0
N12	PES(C)7-151	100.606	0.35	0.31	0.254	0.021	101.033	4607.1
N13	PES(C)7-151	106.077	0.35	0.31	0.273	0.021	106.484	4855.7
N14	PES(C)7-187	111.613	0.35	0.31	0.242	0.021	112.052	6330.9
N15	PES(C)7-187	117.206	0.35	0.31	0.257	0.021	117.630	6646.1
N16	PES(C)7-187	122.849	0.35	0.31	0.273	0.021	123.257	6964.0
N17	PES(C)7-187	128.536	0.35	0.31	0.288	0.021	128.929	7284.5
N18	PES(C)7-187	134.261	0.35	0.31	0.305	0.021	134.637	7607.0
N19	PES(C)7-187	139.967	0.35	0.31	0.332	0.021	140.315	7927.8
N20	PES(C)7-187	145.705	0.35	0.31	0.361	0.021	146.025	8250.4
N21	PES(C)7-187	151.472	0.35	0.31	0.392	0.021	151.761	8574.5
N22	PES(C)7-223	157.265	0.35	0.31	0.358	0.021	157.589	10621.5
N23	PES(C)7-223	163.082	0.35	0.31	0.396	0.021	163.367	11010.9
N24	PES(C)7-223	168.920	0.35	0.31	0.437	0.021	169.164	11401.7
N25	PES(C)7-223	174.776	0.35	0.31	0.450	0.021	175.008	11795.5
N0	PES(C)7-223	40.054	0.35	0.31	0.085	0.021	40.650	2739.8
小计		2727.82					2739.10	150025.4

11号塔边跨斜拉索数量表

11号塔边跨斜拉索编号	拉索类型	几何长度	张拉端拉索端头与锚垫板间距离	固定端拉索端头与锚垫板间距离	弹性伸长	钢丝镦头长(两端)	下料长度	单根斜拉索钢丝重
单位	丝	L0(m)	Lml(m)	Lmd(m)	Le(m)	3d(m)	m	kg
N1'	PES(C)7-187	43.875	0.35	0.31	0.100	0.021	44.456	2511.8
N2'	PES(C)7-121	49.234	0.35	0.31	0.105	0.021	49.811	1823.1
N3'	PES(C)7-121	53.918	0.35	0.31	0.107	0.021	54.493	1994.4
N4'	PES(C)7-121	58.558	0.35	0.31	0.123	0.021	59.117	2163.7
N5'	PES(C)7-139	63.152	0.35	0.31	0.123	0.021	63.710	2675.8
N6'	PES(C)7-139	67.907	0.35	0.31	0.139	0.021	68.449	2874.8
N7'	PES(C)7-139	72.821	0.35	0.31	0.157	0.021	73.345	3080.5
N8'	PES(C)7-151	77.735	0.35	0.31	0.162	0.021	78.254	3568.4
N9'	PES(C)7-151	82.786	0.35	0.31	0.179	0.021	83.288	3797.9
N10'	PES(C)7-151	87.956	0.35	0.31	0.197	0.021	88.440	4032.9
N11'	PES(C)7-151	93.230	0.35	0.31	0.215	0.021	93.696	4272.5
N12'	PES(C)7-151	98.530	0.35	0.31	0.234	0.021	98.976	4513.3
N13'	PES(C)7-151	103.910	0.35	0.31	0.254	0.021	104.337	4757.8
N14'	PES(C)7-187	109.361	0.35	0.31	0.224	0.021	109.817	6204.7
N15'	PES(C)7-187	114.872	0.35	0.31	0.241	0.021	115.313	6515.2
N16'	PES(C)7-187	120.437	0.35	0.31	0.257	0.021	120.861	6828.6
N17'	PES(C)7-187	126.049	0.35	0.31	0.275	0.021	126.455	7144.7
N18'	PES(C)7-187	131.701	0.35	0.31	0.292	0.021	132.090	7463.1
N19'	PES(C)7-187	137.339	0.35	0.31	0.321	0.021	137.699	7780.0
N20'	PES(C)7-187	143.012	0.35	0.31	0.352	0.021	143.341	8098.8
N21'	PES(C)7-187	148.715	0.35	0.31	0.384	0.021	149.012	8419.2
N22'	PES(C)7-223	154.446	0.35	0.31	0.353	0.021	154.774	10431.8
N23'	PES(C)7-223	160.202	0.35	0.31	0.395	0.021	160.488	10816.9
N24'	PES(C)7-223	165.980	0.35	0.31	0.442	0.021	166.219	11203.2
N25'	PES(C)7-223	170.892	0.35	0.31	0.440	0.021	171.133	11534.4
小计		2636.6					2647.6	144507.3

斜拉索更换数量汇总表

名称及规格		单位	数量
更换数量	斜拉索钢丝	kg	1178137.8
拆除数量	斜拉索钢丝	kg	1178137.8
	锚具	套	408

注:

1.锚具采用冷铸镦头锚LZM7体系,一套锚具包括冷铸镦头锚具,连接筒,绑扎钢丝,锥形铸铁壳,减震装置,法兰盘,密封胶,防水橡胶,铁契等。

2.斜拉索下料长度=L0+Lml+Lmd-Le+3d。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索长度、重量表	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-5

10号塔边跨斜拉索索力表

10号塔边跨斜拉索编号	拉索类型	恒载终索力
单位	丝	KN
N1’	PES(C)7-187	3251.7
N2’	PES(C)7-121	1979
N3’	PES(C)7-121	1861.4
N4’	PES(C)7-121	1991.6
N5’	PES(C)7-139	2140.3
N6’	PES(C)7-139	2269.9
N7’	PES(C)7-139	2390.9
N8’	PES(C)7-151	2522.7
N9’	PES(C)7-151	2623.2
N10’	PES(C)7-151	2711.7
N11’	PES(C)7-151	2795.6
N12’	PES(C)7-151	2873.8
N13’	PES(C)7-151	2941.5
N14’	PES(C)7-187	3069.5
N15’	PES(C)7-187	3112.3
N16’	PES(C)7-187	3172.2
N17’	PES(C)7-187	3217.7
N18’	PES(C)7-187	3263.1
N19’	PES(C)7-187	3412.5
N20’	PES(C)7-187	3559.4
N21’	PES(C)7-187	3707.8
N22’	PES(C)7-223	3876.8
N23’	PES(C)7-223	4147
N24’	PES(C)7-223	4439.8
N25’	PES(C)7-223	4285.8
N0	PES(C)7-223	3626.5

10号塔中跨斜拉索索力表

10号塔中跨斜拉索编号	拉索类型	恒载终索力
单位	丝	KN
N1	PES(C)7-187	3366.6
N2	PES(C)7-121	2041.5
N3	PES(C)7-121	1902.4
N4	PES(C)7-121	2009.4
N5	PES(C)7-139	2142.6
N6	PES(C)7-139	2254.8
N7	PES(C)7-139	2358.2
N8	PES(C)7-151	2474
N9	PES(C)7-151	2562.1
N10	PES(C)7-151	2642.4
N11	PES(C)7-151	2719.7
N12	PES(C)7-151	2794
N13	PES(C)7-151	2855.5
N14	PES(C)7-187	2949.9
N15	PES(C)7-187	2993.6
N16	PES(C)7-187	3039.2
N17	PES(C)7-187	3084.1
N18	PES(C)7-187	3136
N19	PES(C)7-187	3309.5
N20	PES(C)7-187	3488.8
N21	PES(C)7-187	3678.2
N22	PES(C)7-223	3893.2
N23	PES(C)7-223	4210.6
N24	PES(C)7-223	4530
N25	PES(C)7-223	4564.4

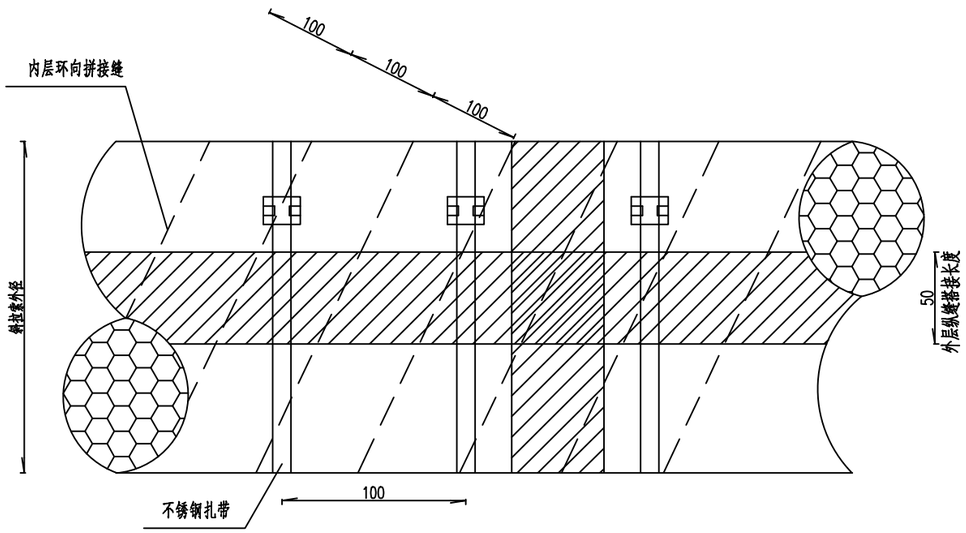
11号塔中跨斜拉索索力表

11号塔中跨斜拉索编号	拉索类型	恒载终索力
单位	丝	KN
N1	PES(C)7-187	3327.1
N2	PES(C)7-121	2035.3
N3	PES(C)7-121	1920
N4	PES(C)7-121	2049.2
N5	PES(C)7-139	2206.4
N6	PES(C)7-139	2334.7
N7	PES(C)7-139	2452.7
N8	PES(C)7-151	2586.7
N9	PES(C)7-151	2683.7
N10	PES(C)7-151	2771.6
N11	PES(C)7-151	2855
N12	PES(C)7-151	2931.6
N13	PES(C)7-151	2993.3
N14	PES(C)7-187	3118
N15	PES(C)7-187	3157.5
N16	PES(C)7-187	3196.1
N17	PES(C)7-187	3230.5
N18	PES(C)7-187	3267.2
N19	PES(C)7-187	3418.3
N20	PES(C)7-187	3570.2
N21	PES(C)7-187	3726.5
N22	PES(C)7-223	3904.6
N23	PES(C)7-223	4171.4
N24	PES(C)7-223	4436.6
N25	PES(C)7-223	4414.6
N0	PES(C)7-223	3627.7

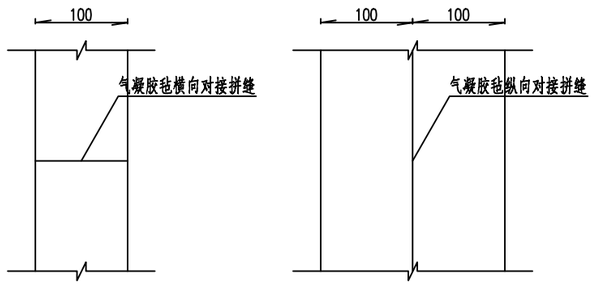
11号塔边跨斜拉索索力表

11号塔边跨斜拉索编号	拉索类型	恒载终索力
单位	丝	KN
N1’	PES(C)7-187	3286.4
N2’	PES(C)7-121	1981.5
N3’	PES(C)7-121	1840.7
N4’	PES(C)7-121	1950.1
N5’	PES(C)7-139	2076.8
N6’	PES(C)7-139	2193.1
N7’	PES(C)7-139	2302.7
N8’	PES(C)7-151	2420.9
N9’	PES(C)7-151	2516.7
N10’	PES(C)7-151	2602.1
N11’	PES(C)7-151	2684.8
N12’	PES(C)7-151	2766
N13’	PES(C)7-151	2838.7
N14’	PES(C)7-187	2951.4
N15’	PES(C)7-187	3014.5
N16’	PES(C)7-187	3076.2
N17’	PES(C)7-187	3135.5
N18’	PES(C)7-187	3196.7
N19’	PES(C)7-187	3367
N20’	PES(C)7-187	3538.1
N21’	PES(C)7-187	3714.4
N22’	PES(C)7-223	3922.4
N23’	PES(C)7-223	4233
N24’	PES(C)7-223	4568.2
N25’	PES(C)7-223	4417.5

斜拉索高硅氧气凝胶毡包裹大样



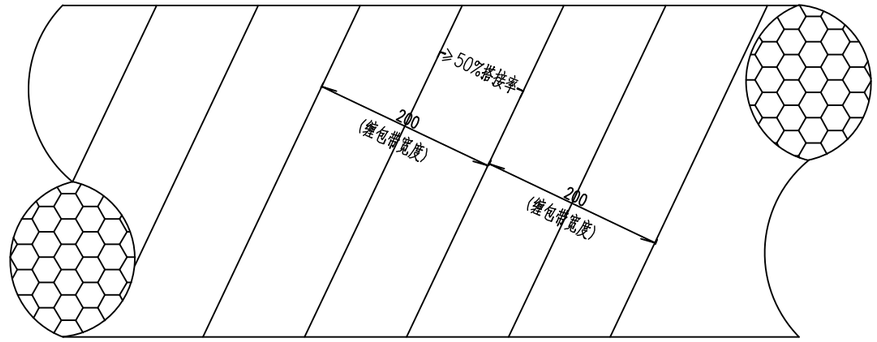
斜拉索内层高硅氧气凝胶毡拼接缝大样



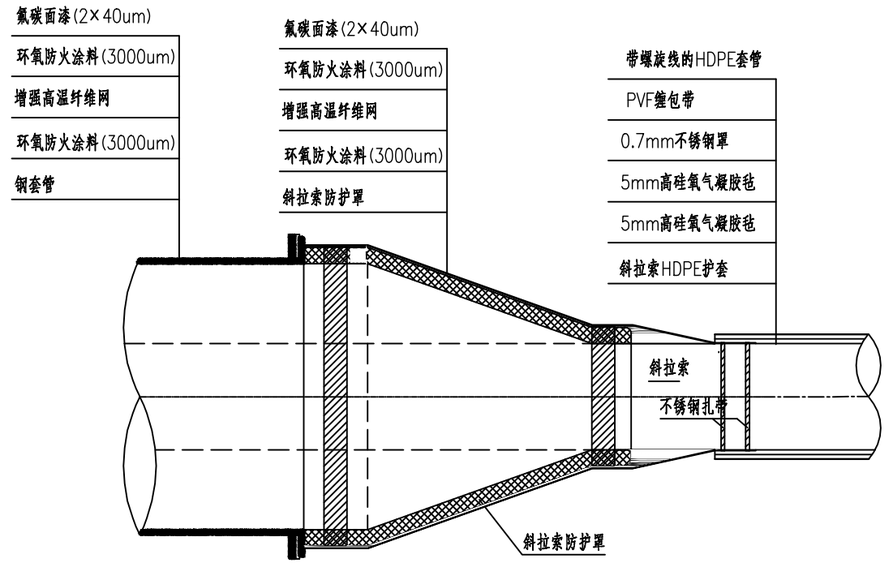
防护材料数量表

位置	防护材料	道数	厚度	全桥数量(m^2)
桥面以上0-防护罩区域主缆	环氧防火涂料	2	3000um	644.3
	增强高温纤维网	1	/	322.1
	氟碳面漆	2	40um	644.3
防护罩以上区域主缆	5mm高硅氧铝硅气凝胶毡	2	/	3741.4
	0.7mm不锈钢	1	/	1870.7
	PVF缠包带	1	/	1870.7
	带螺旋线的HDPE套管	1	/	1870.7

斜拉索PVF缠包带包裹大样



斜拉索梁端锚固耐火方案



注：

1、本图尺寸除注明外，均以 mm 为单位。

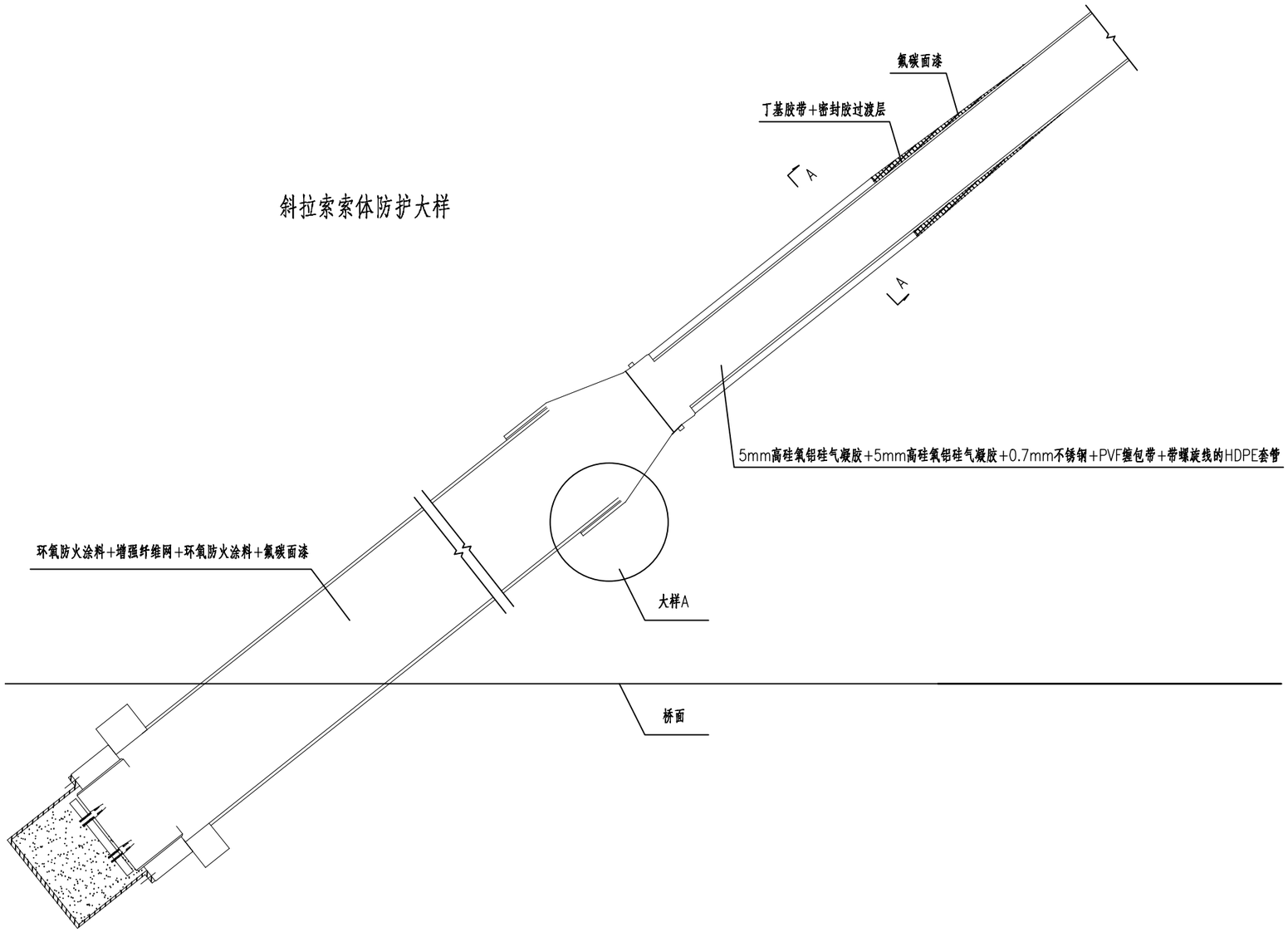
2、斜拉索高硅氧气凝胶毡施工完毕后，外套0.7mm不锈钢罩，并立即进行缠包带的施工，按叠合 > 50%搭接率进行缠包，将不锈钢罩完全包裹覆盖，PVF 缠包带表面应平整、干净，无杂物、灰尘和其他污染物，无破洞等缺陷。

3、斜拉索缠包方向为从低往高。为保持拉索外观一致性，最外层缠包带应完全覆盖缠绕的气凝胶毡，并在施工完毕后进行外观检查。确保整个拉索表面具有平整光滑的外观质量。

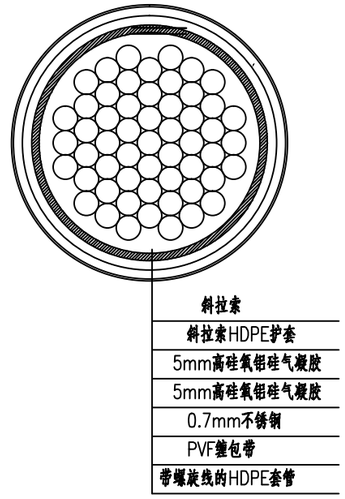
4、防火段与非防火段应设过渡段，过渡段先采用丁基胶带按>50%层叠比例进行螺旋缠绕过渡，过渡段缠绕长度为沿着不锈钢顶部端面上下各50cm，丁基胶带外表面均匀刮涂密封胶，密封胶表面刷涂氟碳面漆，以达到美观和增强防水的目的。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索防火能力提升设计构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-7

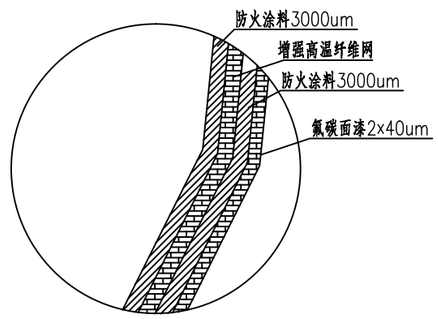
斜拉索索体防护大样



A–A



大样A



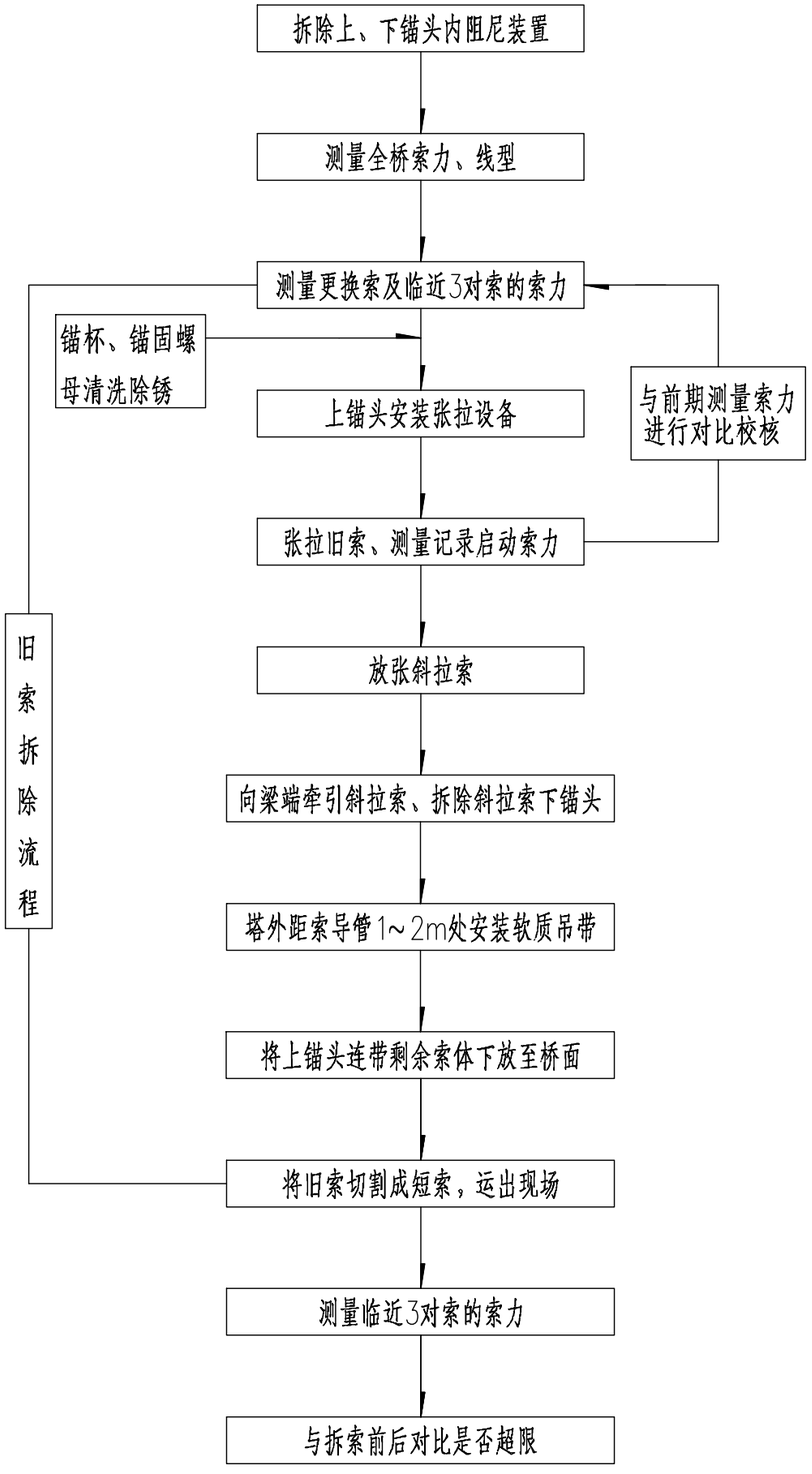
注：1、本图尺寸除注明外，均以 mm 为单位。

2、本桥采用双层缠绕式高硅氧气凝胶毡进行防护，t = 5mm + 5mm。

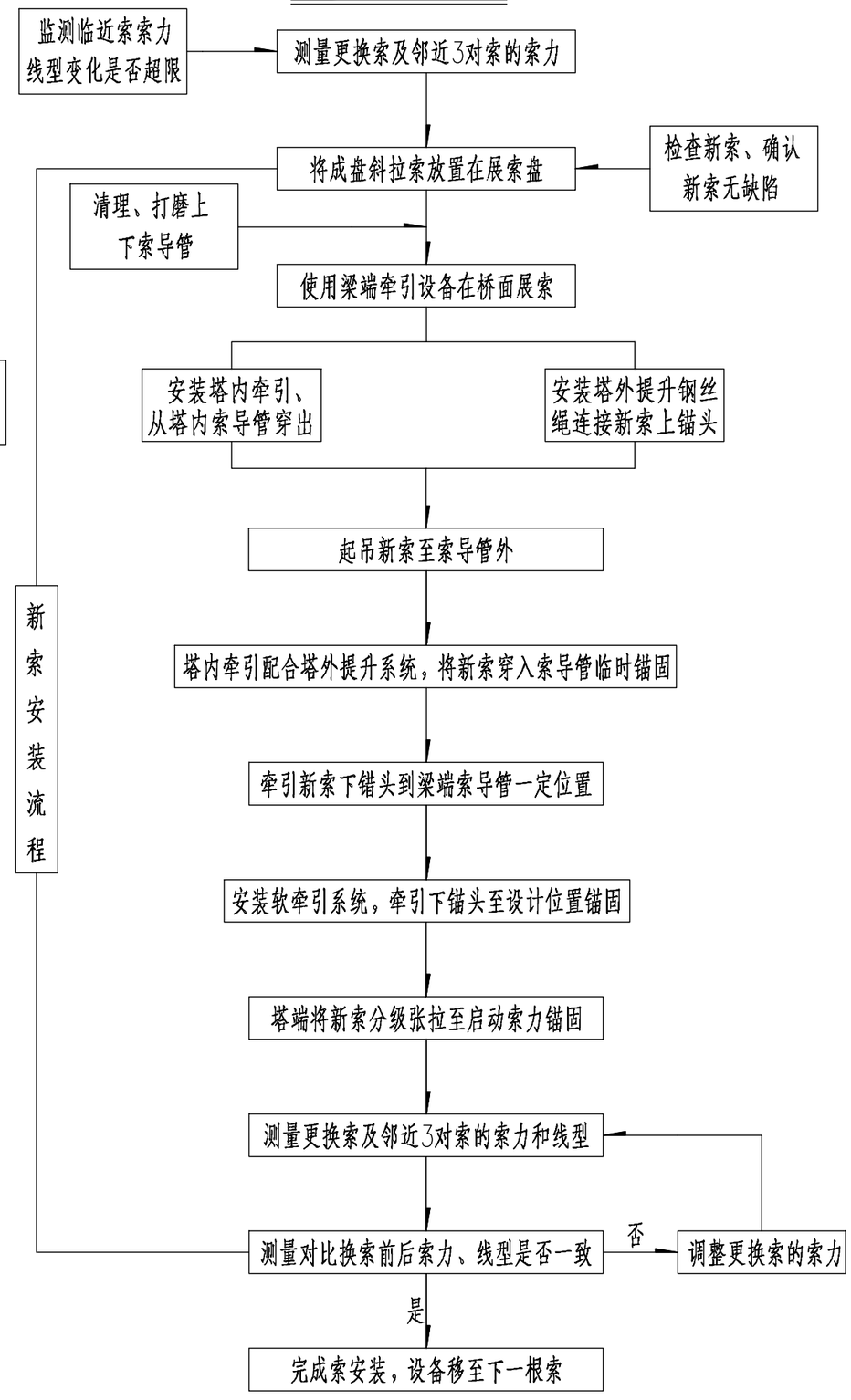
3、高硅氧气凝胶毡采用螺旋缠绕式施工，环向、纵向均采取对接方式，材料经加工覆布背胶，可以紧实的贴合在斜拉索表面。施工应控制气凝胶毡对接缝的宽度，缝宽不大于 1mm，拼缝间隙采用防火涂料填平。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	斜拉索防火能力提升设计构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰东	审定	杨仪	图号	S4-3-2-7

一根旧索拆除流程图



一根新索安装流程图



注：

1.图中一对索指同一里程线处上下游两根索。

2.旧常张拉之后,放张之前应测量该索准确的成桥索力值，如发现旧索实际成桥索力与前期实测索力相差较大，应及时通知设计单位复核设计。

3.旧索张拉过程按照先长(外)索、后短(内)索，双塔同一侧对称更换拉索，即同时卸载两个桥塔对应相同编号的4根拉索。

4.本次换索的原则是换索后应恢复原结构的内力状态和线型。全桥换索前应通过监测系统记录当前成桥线型和内力，与换索完成后的数据进行对比。

5.旧索放张、新索张拉。索力测量过程中建议封闭全桥交通。

6.部分封闭交通期间汽车吊等较重的施工器械在施工完毕后应全部下桥。

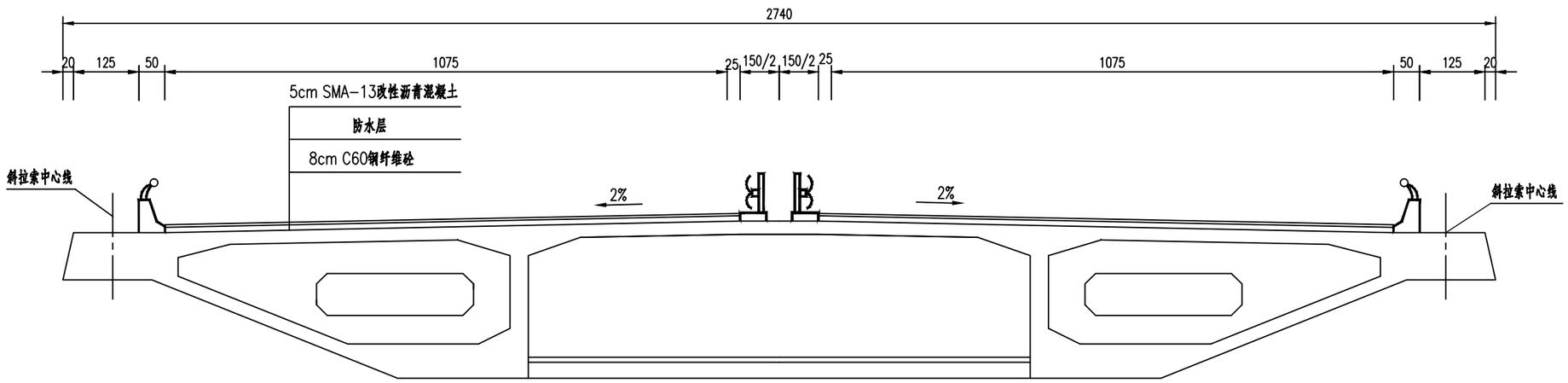
7.旧索的拆除和新索的安装应依次进行，即本阶段旧案拆除工作全部完成后方可开始新索安装，禁止交叉进行。

8.待安装新索上桥前应将桥上所有拆除的旧索运出现场，每根新索安装过程中仅该待安装的新索可置于桥上，禁止将其他拉索也放置在桥上。

9.整个换索过程中应全程观测并记录益测系统的数据。如出现异常应立即停止施工。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	拉索更换施工顺序示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-2-8

桥面铺装构造



主桥桥面铺装材料数量表

材料	拆除原铺装	沥青混凝土	C60钢纤维砼	防水层	更换泄水管
单位	m^3	m^3	m^3	m^2	套
数量	1766.4	679.4	1358.8	13588.0	212

注：

1、本图中除注明以外，其余尺寸均以厘米计。

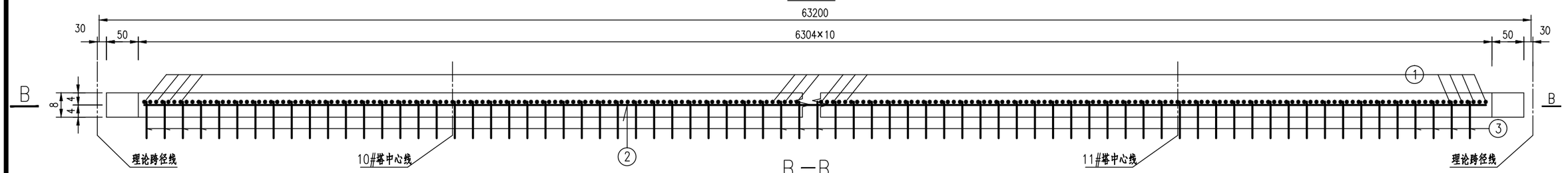
2、图中10.75m为主桥半幅桥面行车道的宽度。

3、桥面铺装施工时按规范锯缝。

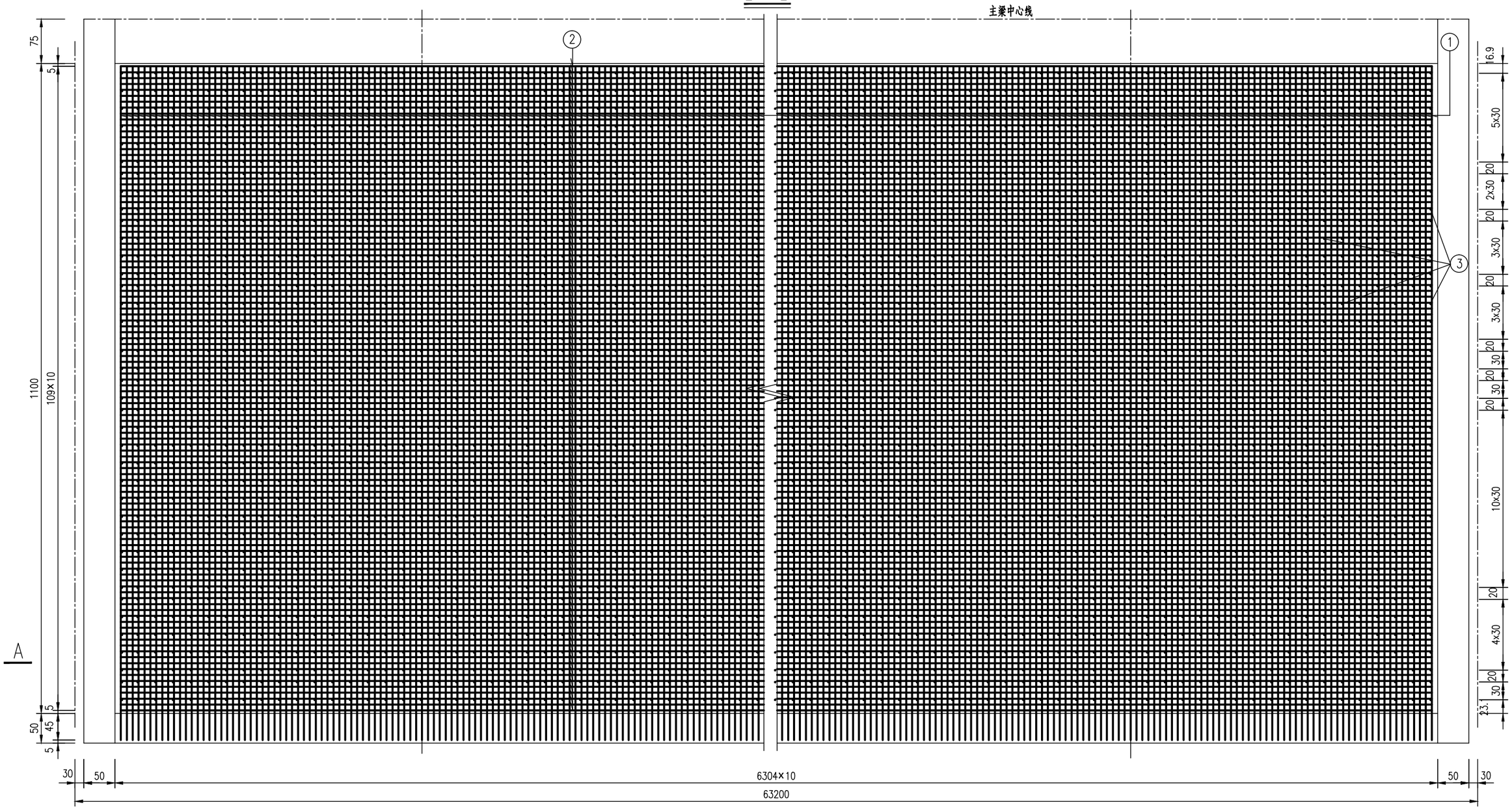
4.由于老桥桥面凹凸不平，图中的C60钢纤维砼数量为暂估量，最终以现场实际计量为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥面铺装更换构造设计图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-9

A－A

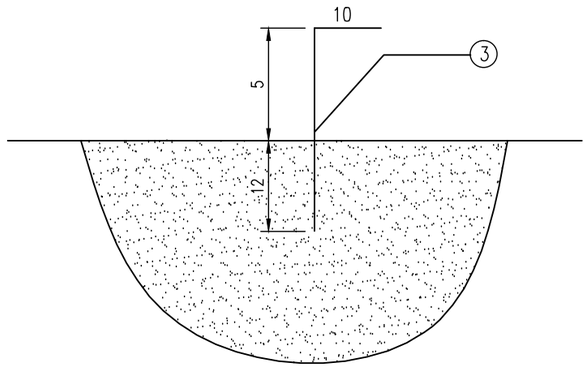


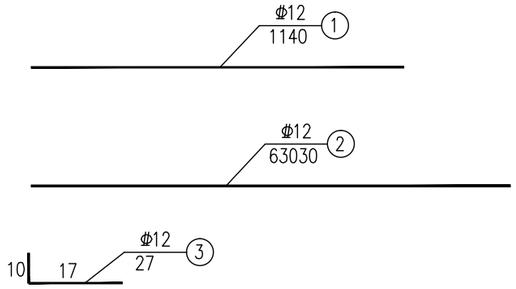
B－B



北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥面铺装更换钢筋构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-10

植筋大样





主桥桥面铺装钢筋明细表

编号	直径 (mm)	长度 (cm)	根数	共长 (m)	单位重 (Kg)	共重 (Kg)	小计 (Kg)	合计（双幅） (Kg)
1	Φ12	1140	6304	71865.6	0.888	63816.7	145020.7	290041.4
2	Φ12	63030	110	69333.0	0.888	61567.7		
3	Φ12	27	81900	22113.0	0.888	19636.3		
D16植筋孔（个）			81900				81900	163800.0
植筋胶（升）			8782.3				8782.3	17564.6

注：

1、本图尺寸除钢筋直径以毫米计外，余均以厘米计。

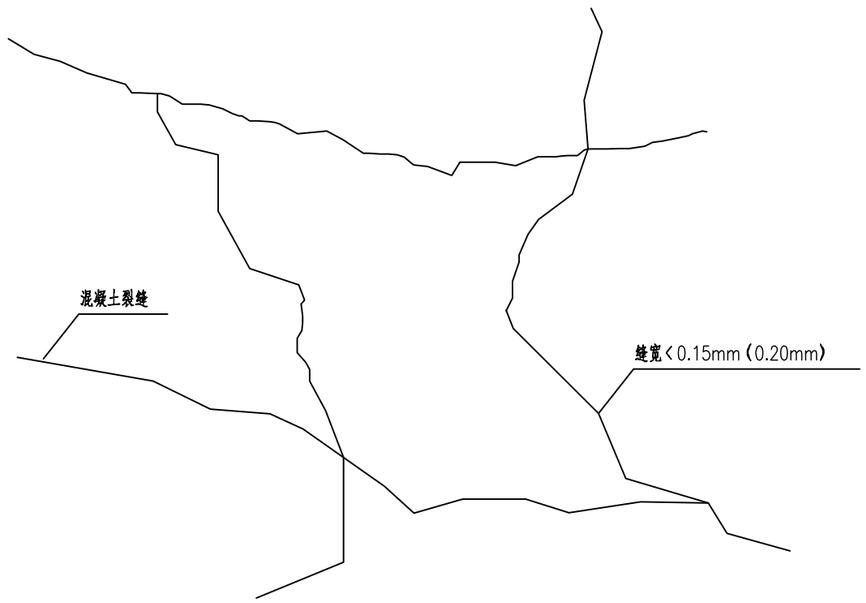
2、在浇筑桥面现浇层混凝土前，保证了预制梁顶面混凝土拉毛并清洗干净。

3、浇筑桥面现浇层混凝土时，准确预埋了伸缩缝及防撞护栏预埋件。

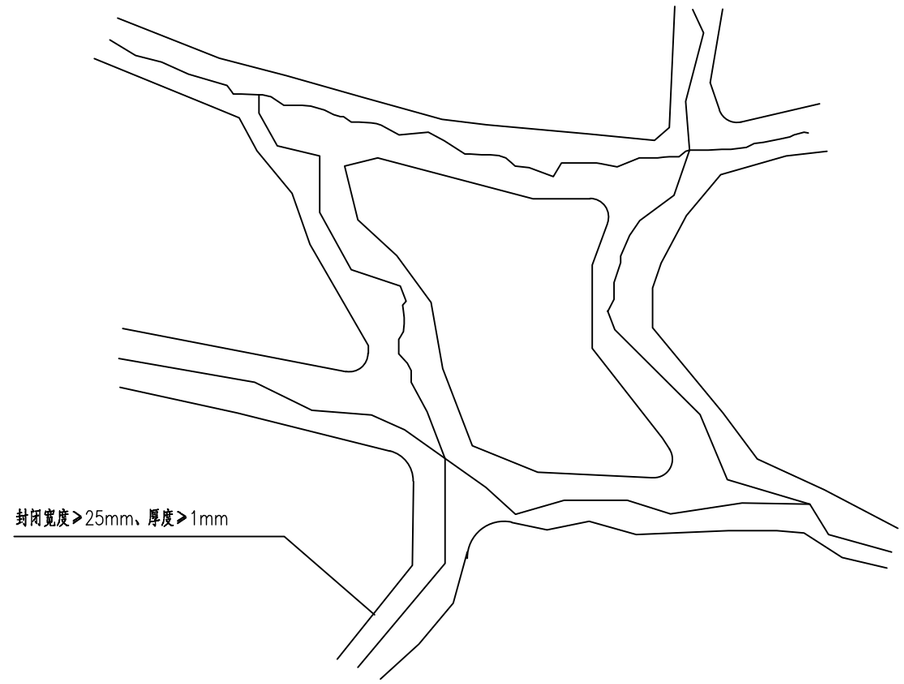
4、N3为植筋伸入主梁12cm，　间距30cm，若与主梁钢筋或预应力有冲突可适当移动位置。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥面铺装更换钢筋构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-10

裂缝示意图



裂缝封闭示意图



混凝土裂缝封闭工程数量表

病害位置	裂缝封闭（m）
主梁	429.8
索塔	4.8

注：

1.本图适用于对彭溪河特大桥的裂缝进行封闭处治。

2.对宽度<0.15mm的裂缝进行表面封闭处理。

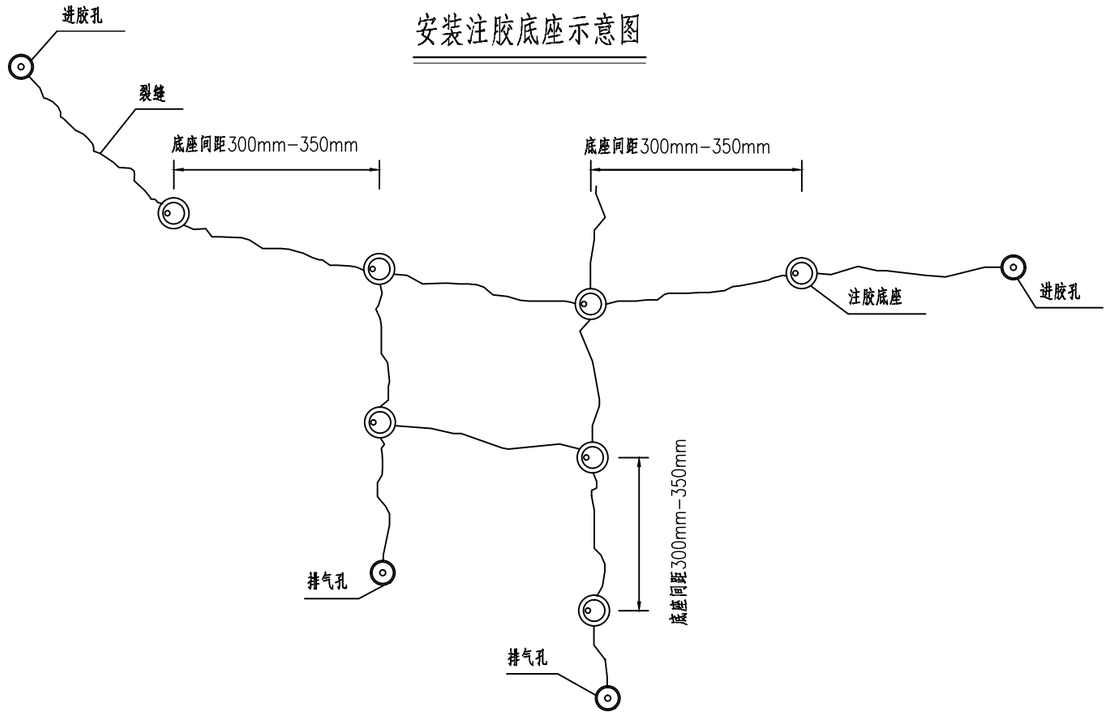
3.裂缝处理前先对裂缝两侧3~5cm范围混凝土表面清理干净，以免影响封闭效果。

4.裂缝表面封闭处理时直接将封闭胶涂刮在裂缝混凝土表面，应做到连续无间断,确保封闭密实。

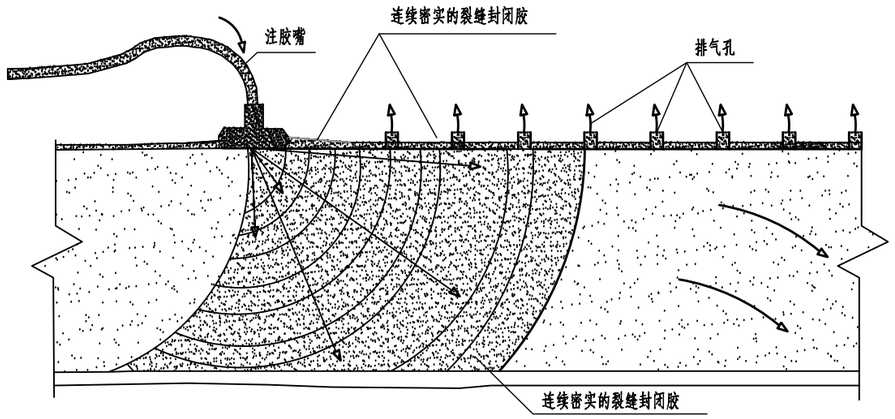
5.本桥裂缝病害根据《彭溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制，裂缝封闭处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-11

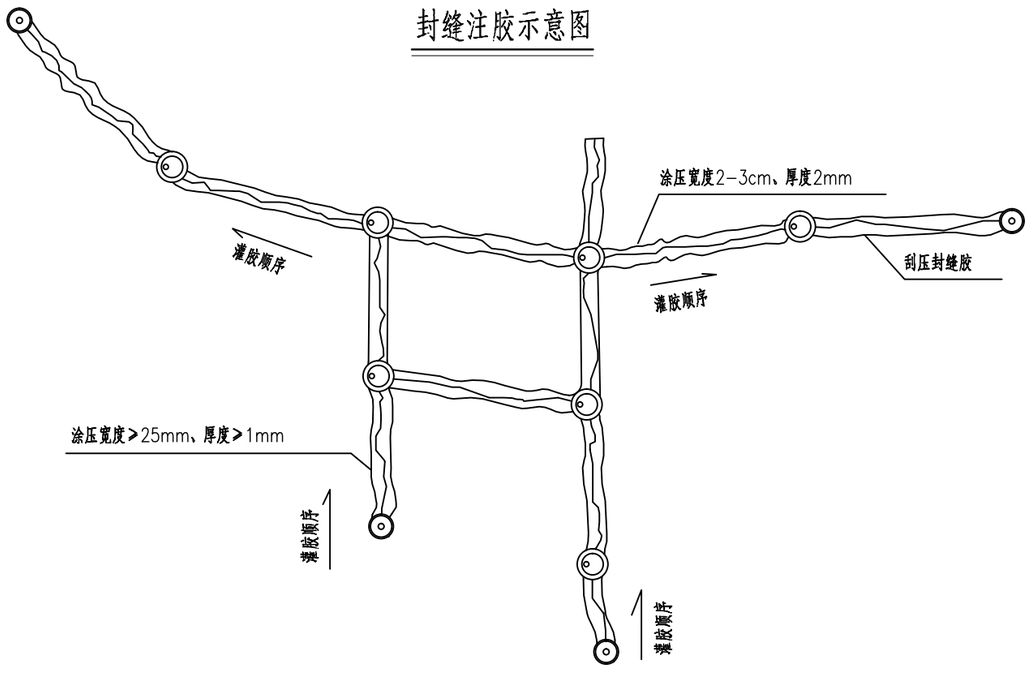
安装注胶底座示意图



压力灌胶示意图



封缝注胶示意图



混凝土裂缝灌胶工程数量表

病害位置	裂缝灌胶（m）
主桥	107.4

注：

1.本图适用于对彭溪河特大桥的裂缝进行封闭处治。

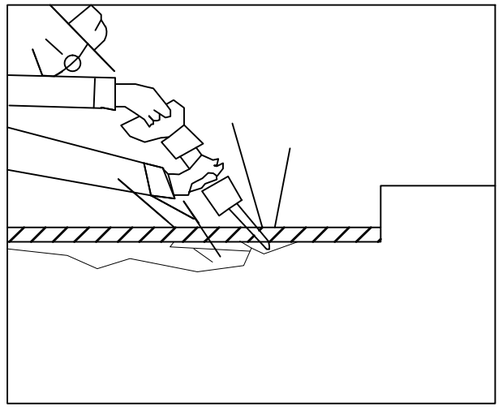
2.对宽度≥0.15mm的裂缝进行压力灌胶修补处理。

3.裂缝处理前先对裂缝两侧3~5cm范围混凝土表面清理干净，以免影响封闭效果。

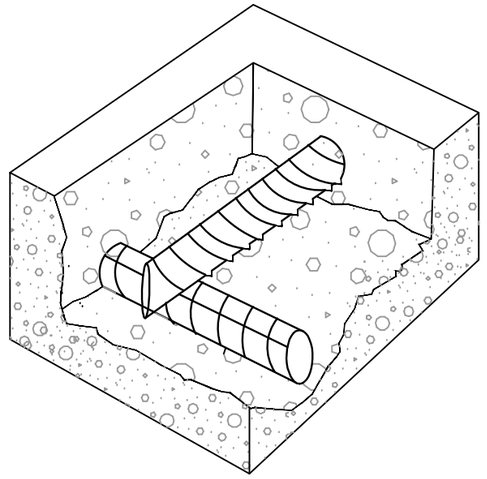
4.本桥裂缝病害根据《彭溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制，裂缝灌胶处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王顺波	审定	杨仪	图号	S4-3-2-11

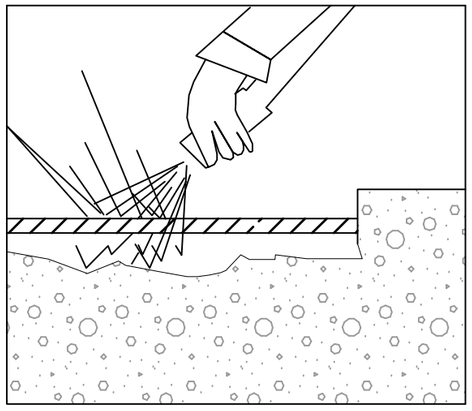
露筋、钢筋锈蚀病害处治图



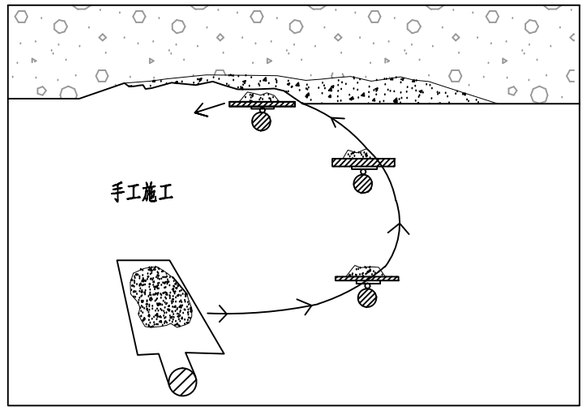
1.人工凿除锈蚀钢筋周围的混凝土



2.将松散不密实的混凝土凿除，直至露出新鲜的混凝土为止。

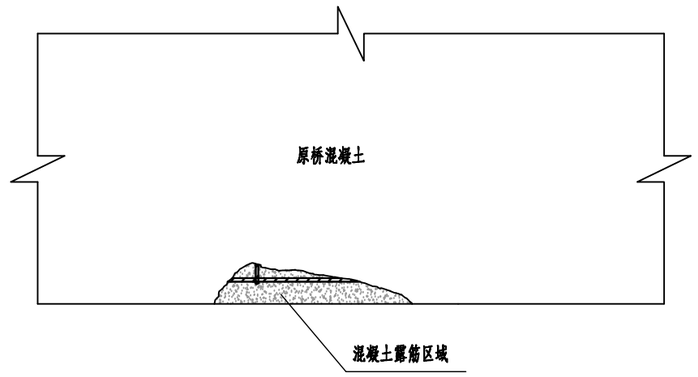


3.高压水清除混凝土表面，进行钢筋除锈、阻锈处理



4.用环氧砂浆对凿开的混凝土区域进行手工修补

混凝土露筋示意图



混凝土破损露筋工程数量表

病害位置	凿除混凝土（m^2）	阻锈剂（m^2）	环氧砂浆（m^2）
主桥	6.3	6.3	6.3
索塔	2.6	2.6	2.6

注：

1.对彭溪河特大桥的混凝土破损露筋进行除锈、环氧砂浆修补处治。

2.露筋、钢筋锈蚀病害处治流程：

（1）人工凿除松散不密实的混凝土；

（2）高压水清除混凝土表面，用钢丝刷对钢筋除锈；

（3）混凝土表面和钢筋干燥后，对钢筋人工用毛刷涂刷一层阻锈剂；

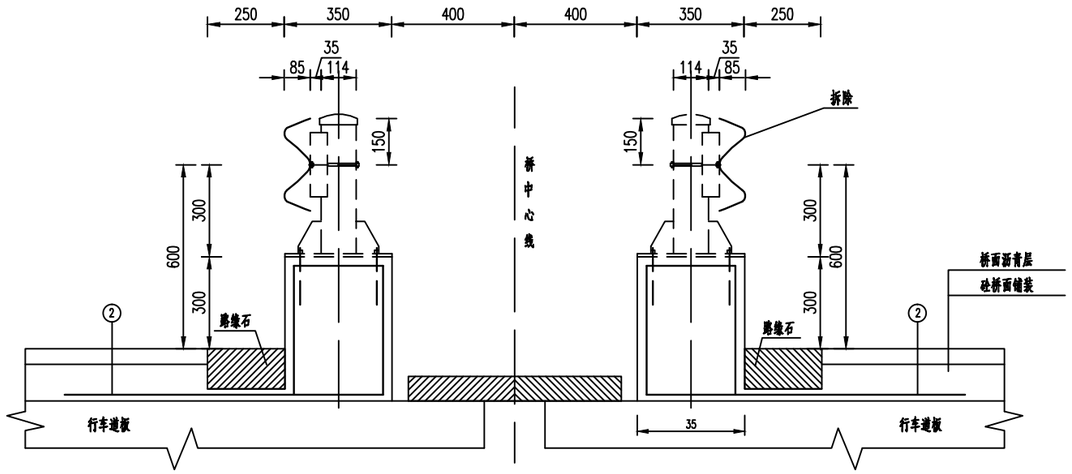
（4）用环氧砂浆填塞凿开区域，然后捣实、抹平。

3.凿除和修补厚度应根据保护层厚度和主筋植筋对凿除深度进行要求，本图暂按5cm计。

4.本桥破损露筋病害《彭溪河特大桥主桥应急检查》报告绘制绘制，破损露筋处治工程数量以现场实际情况为准。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	桥梁表观病害处治示意图	设计	李新龙	复核	吴美西	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-11

原中央分隔带波形梁护栏侧立面（拆除）



注：

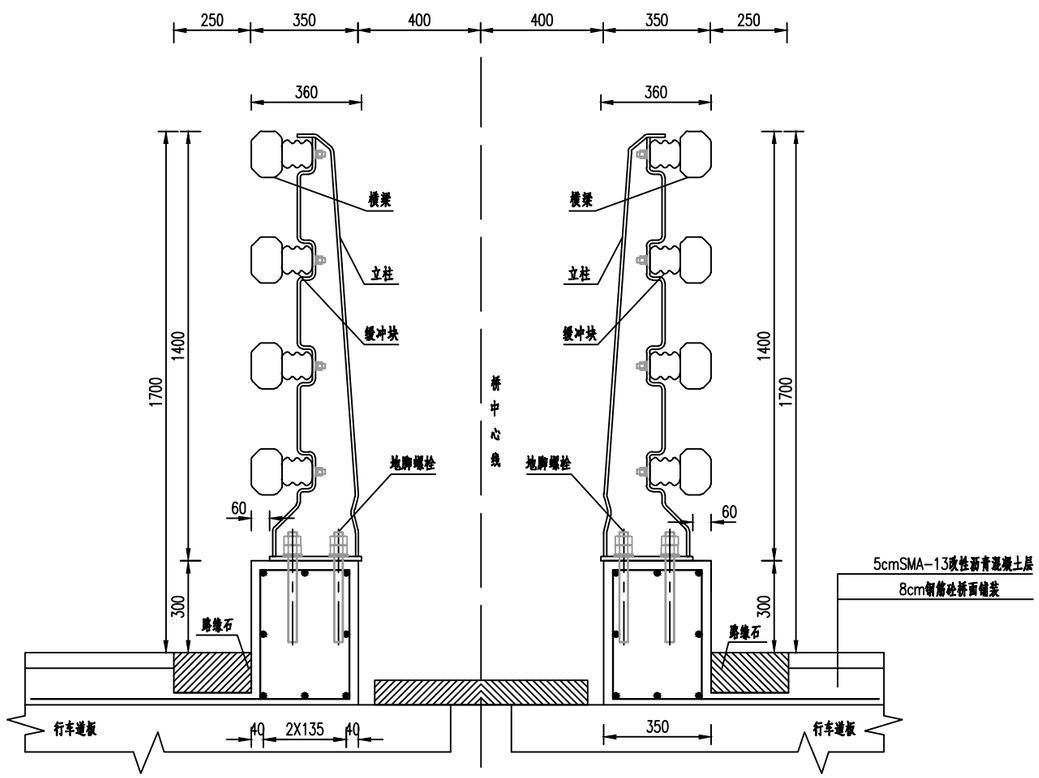
1、本图尺寸以mm计。

2、本图适用于桥梁中央分隔带护栏。

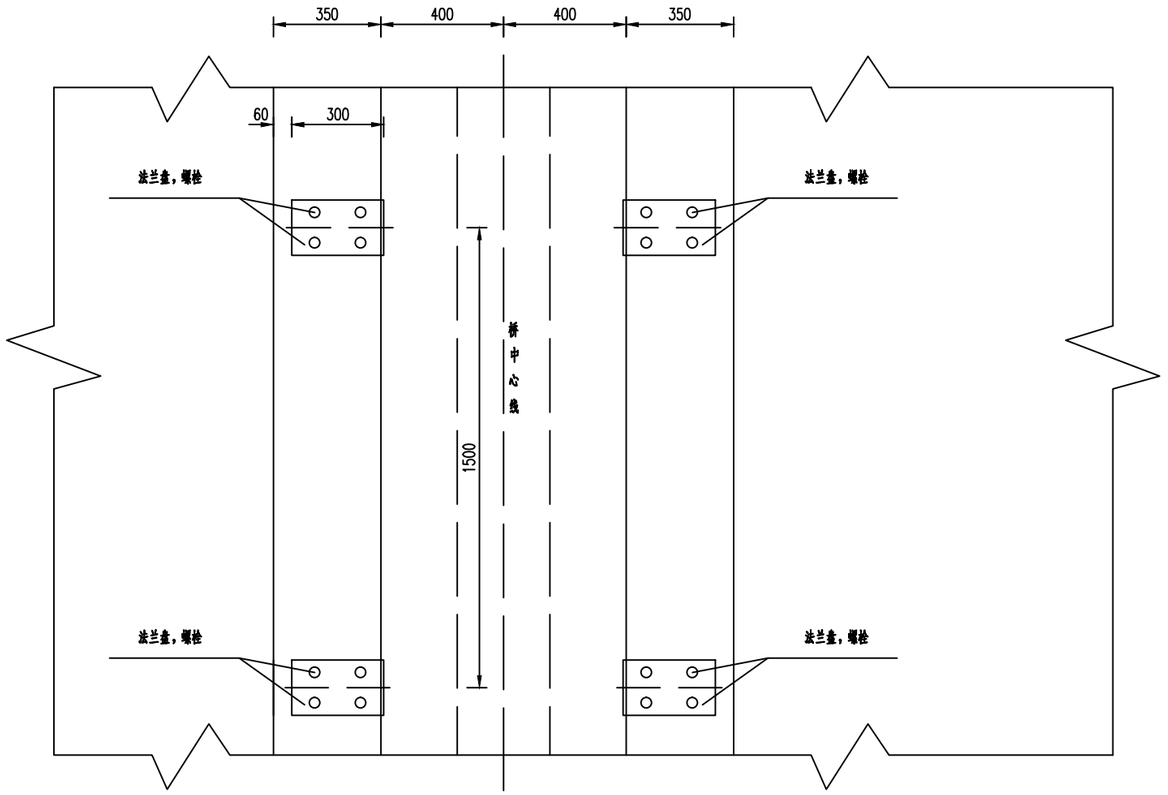
3、拆除中央分隔带原桥梁路段波形梁护栏。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥中央分隔带护栏拆除示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-12

侧立面



护栏基础平面布置示意图



6米标准段护栏材料统计表

序号	名称	数量	单位	备注	重量
1	横梁	4	根	铝合金	成套
2	立柱	4	根	高强钢	
3	横梁内衬	4	根	铝合金	
4	缓冲块	16	个	高强钢	
5	预埋地脚螺栓	16	套	8.8级	
6	定位板	4	片	钢	

注：

1、本图尺寸均以厘米为单位；

2、本图适用于彭溪河大桥路段，护栏设计防护等级为SS级；

3、护栏须通过具备国家认可资质的检测单位小型客车、大型客车、大型货车的实车碰撞试验，满足《公路护栏安全性能评价标准》（JTG B05-01-2013）相关要求；安装前施工单位须提供相应的碰撞试验报告；生产加工图纸以碰撞试验报告为准；

4、横梁为高性能铝合金型材，应符合现行国家标准GB/T 6892《一般工业用铝及铝合金挤压型材》；

5、立柱翼板须整板一体折弯成型，不得拼焊，成型后须退火处理；

6、伸缩缝根据现场确定，伸缩缝处采用加长横梁套管，采用一端固定，一端不固定的方式；

7、所有钢构件均应符合GB/T 18226《公路交通工程钢构件防腐蚀技术条件》的相关要求；

8、立柱通过预埋或化学植入的M24地脚螺栓进行锚固，锚固深度不低于25cm；

9、立柱采用预埋螺栓进行锚固时，宜根据实际情况设置锚固板与定位板；

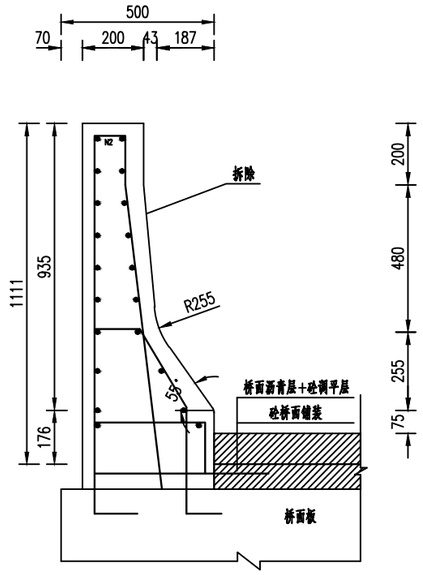
10、护栏每6.4m设置一根拼接套管；伸缩缝处一端锚固，一端不固定，起伸缩作用；

11、SS级梁柱式护栏可根据现场情况实际测量放样；

12、图中钢筋砼桥面铺装及改性沥青混凝土厚度仅为主桥路段示意，由于实际桥面铺装厚度变化较大，现场应根据实测数据进行调整，保证护栏基础顶面到桥面高度为300mm。引桥路段保留原铺装，仅对原沥青层铣刨2cm后，重铺2cm改性沥青SMA-8超薄罩面。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥中央分隔带轻量化SS级梁柱式护栏结构示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰龙	审定	杨仪	图号	S4-3-2-13

原路侧混凝土护栏侧立面（拆除）



注：

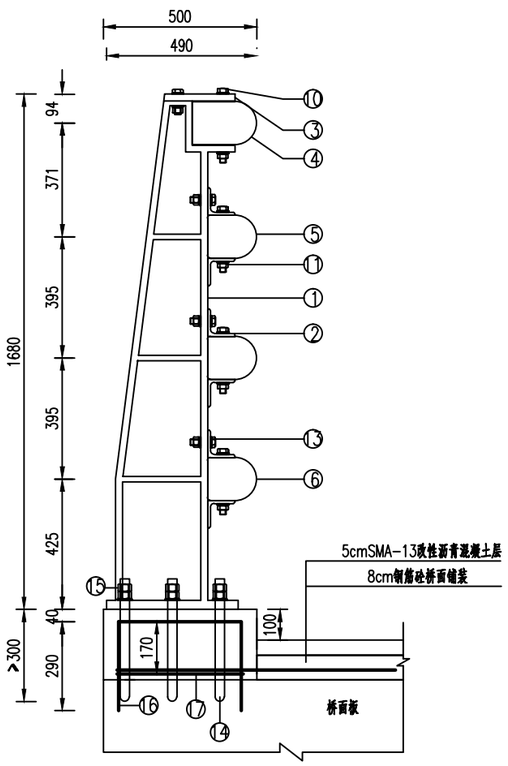
1、本图尺寸以mm计。

2、本图适用于桥梁路侧护栏。

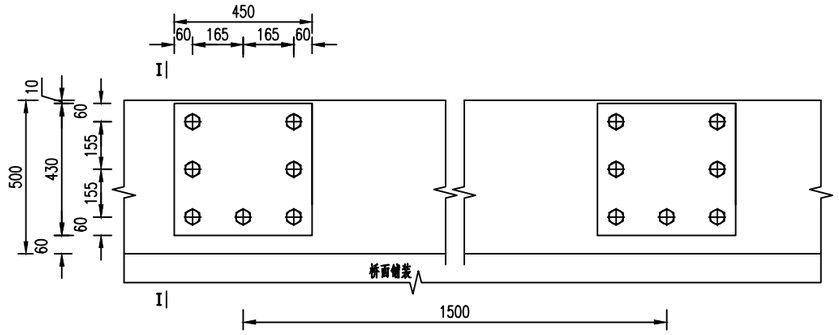
3、拆除路侧原桥梁路段混凝土护栏、拆除原沥青砼桥面铺装和防水层。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥路侧护栏拆除示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-14

侧立面



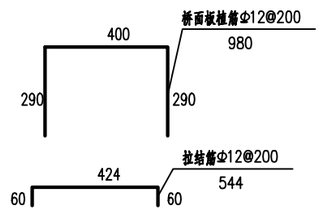
护栏基础平面布置示意图



6米标准段护栏材料统计表

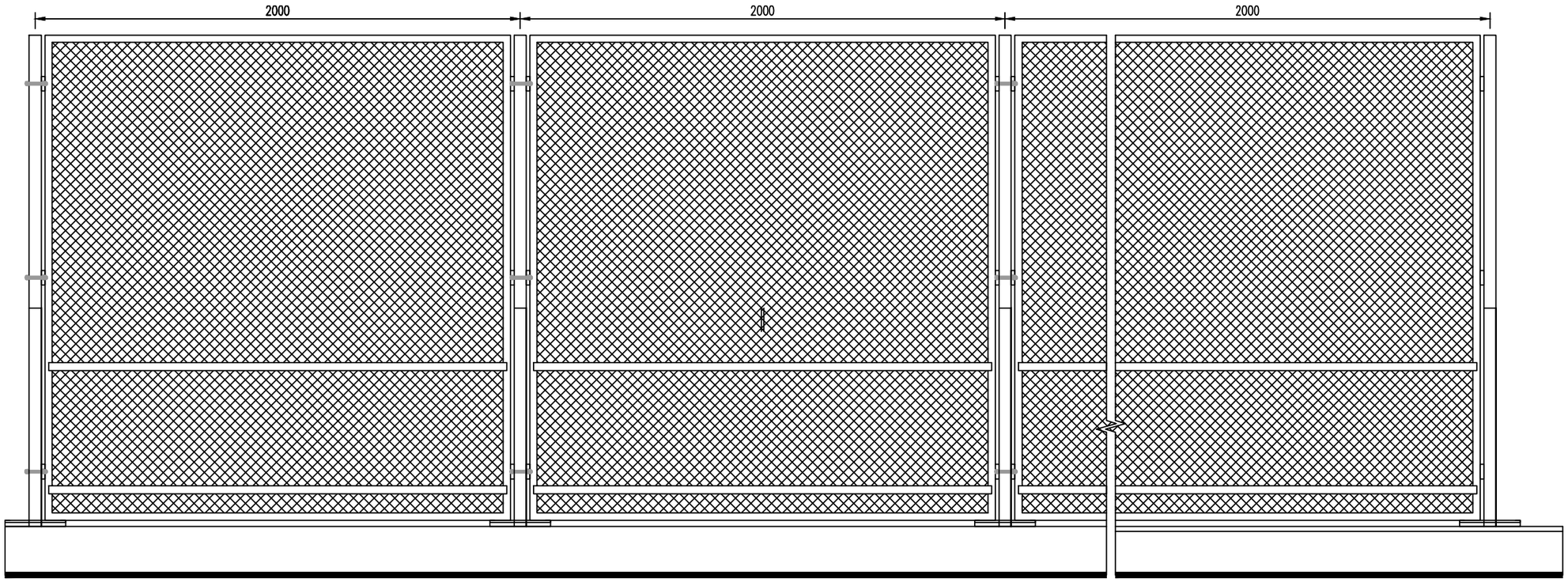
序号	名称	数量	备注
①	立柱	4 个	Q355B
②	连接角钢	12 个	
③	立柱顶部盖板	4 个	
④	上横梁	5.99 米	
⑤	中横梁	5.99 米	
⑥	下横梁	11.98 米	
⑦	上横梁拼接套管	0.6 米	
⑧	中横梁拼接套管	0.6 米	
⑨	下横梁拼接套管	1.2 米	
⑩	连接螺栓	8 套	10.9级
⑪		24 套	
⑫		24 套	
⑬		32 套	
⑭	地脚螺栓	28 套	10.9级
⑮	螺母	56 个	Q235B
⑯	ø12 桥面板植筋	30 根	HRB400
⑰	ø12 拉结筋	30 根	HRB400

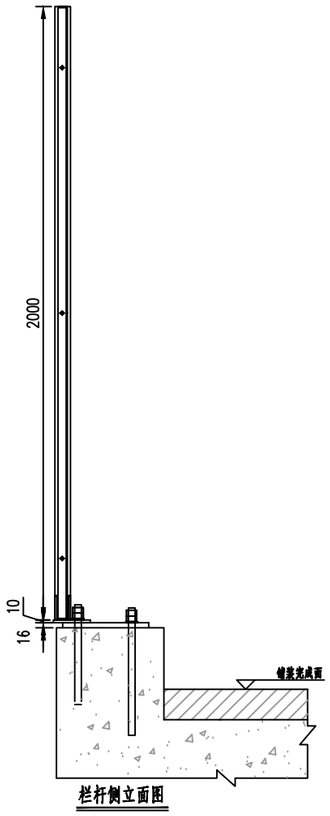
钢筋大样图



北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥路侧HA级梁柱式护栏结构示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王顺亚	审定	杨飞	图号	S4-3-2-15

防落物网立面图





栏杆侧立面图

10m标准段防抛网数量表

序号	名称	外观尺寸(mm)	材质	数量	单位	重量	单位
ⓐ	立柱	50x50x4	Q235B	10	米	56.2	kg
ⓑ	连接螺栓	M8x90	A2-70	30	套	1.7	kg
ⓒ	网板	1920x2000x3	Q235B	19.2	m^2	/	/
ⓓ	角钢	30x30x3	Q235B	38.4	米	51.5	kg
ⓔ	底座	250x120x10	Q235B	5	块	10.94	kg

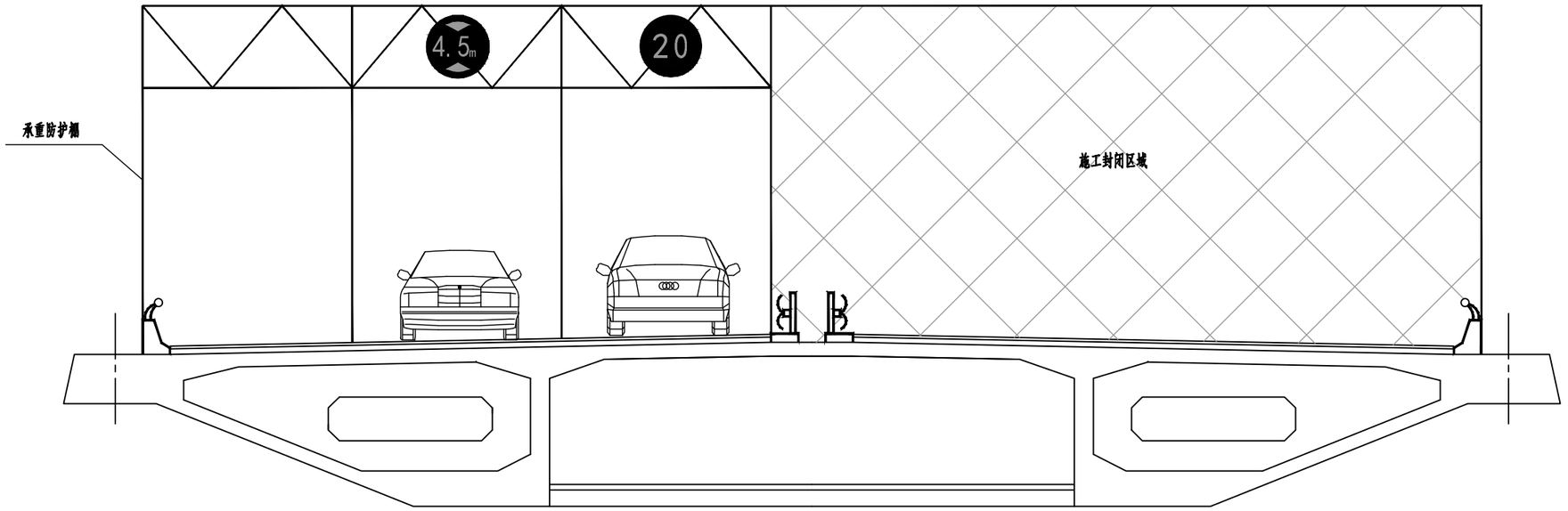
注：

1、本图均以mm为单位；

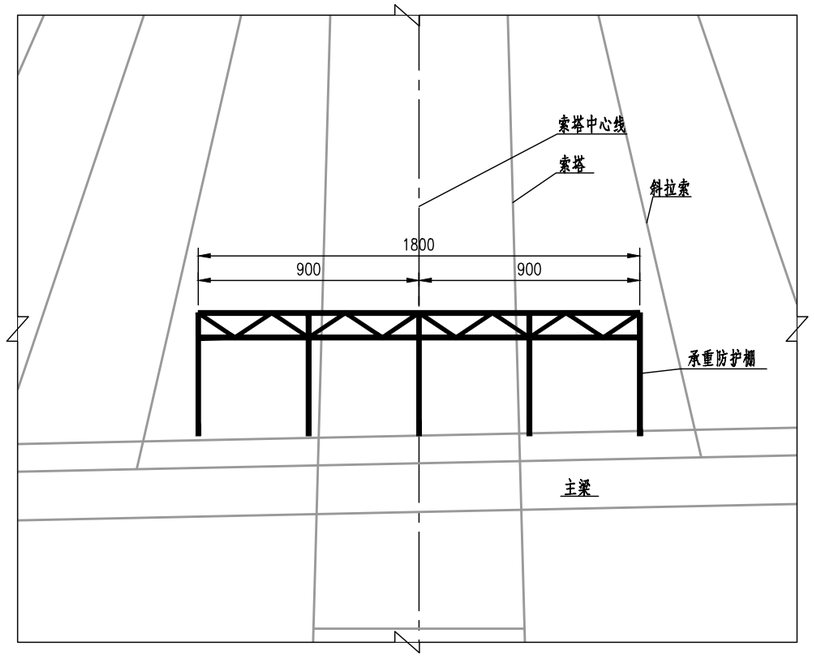
2、防落物网立柱可根据情况设置于混凝土基础上。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥防落物网结构示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨亚	审定	杨仪	图号	S4-3-2-16

施工导序示意



承重防护棚纵桥向布置示意

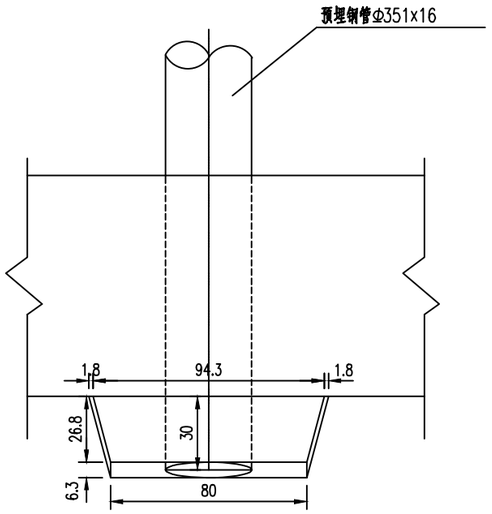


注：

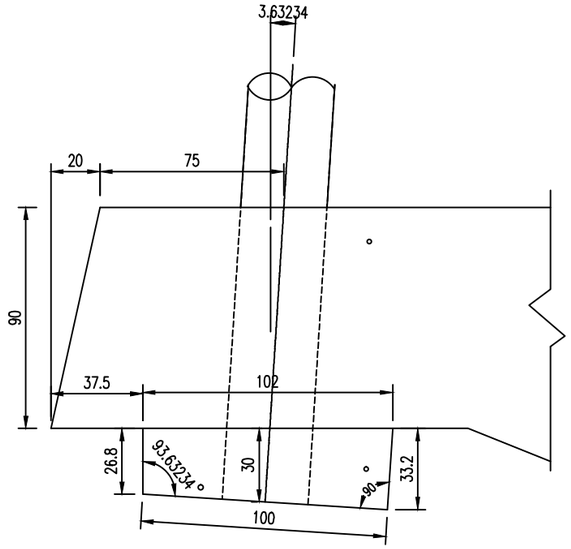
1、本图除注明外，其余均以厘米计。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	施工导序示意图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-17

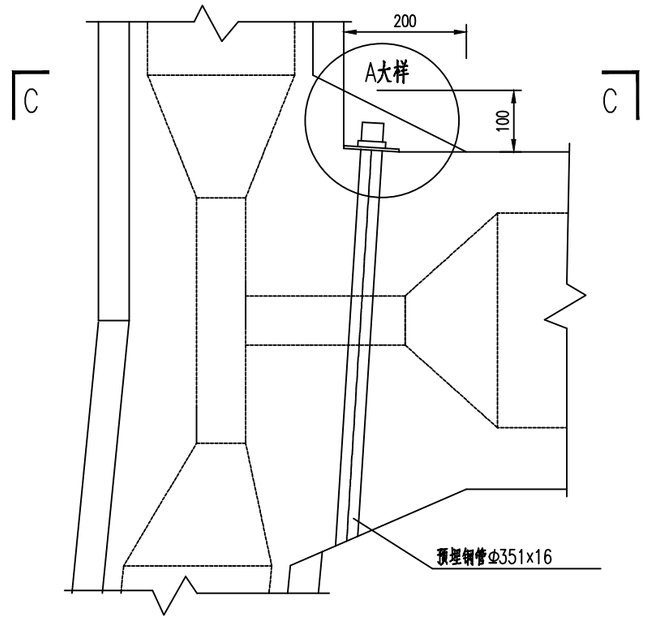
0号拉索梁体锚座立面(纵桥向)



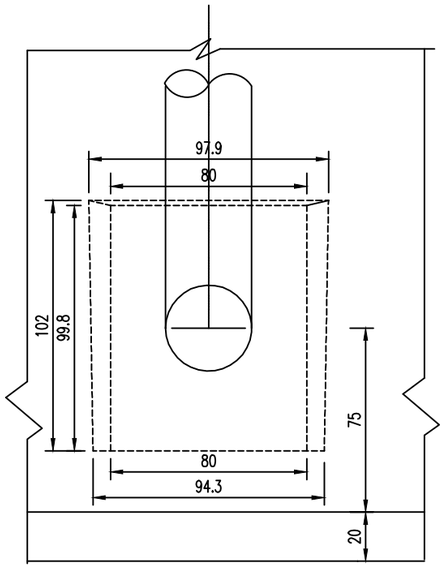
0号拉索梁体锚座侧面(横桥向)



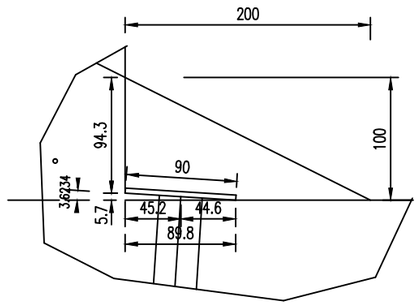
B-B (0号拉索索塔锚座横桥向)



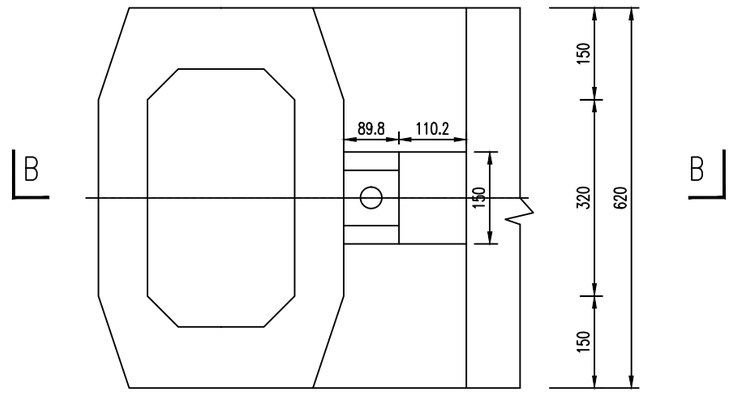
0号拉索梁体锚座平面



A大样



C-C



0号斜拉索锚座垫板,预埋管,螺旋钢筋,砼数量表

部 位	预埋钢管			锚垫板		加劲钢板		螺旋钢筋		60#砼
拉索编号/单位	规格(mm)	长度(mm)	重量(kg)	规格(mm)	重量(kg)	规格(mm)	重量(kg)	螺旋钢筋编号	重量(kg)	(m^3)
0号(梁体上)	Φ351×16	2035	269.0	1000×800×42	263.8	260×130×12	4×3.184	4	48.1	0.284
0号(索塔上)	Φ351×16	6478	856.3	900x900x42	267.1	260×130×12	4×3.184	4	48.1	
全桥合计			4501.2		2123.6		101.9		384.8	1.14

注:

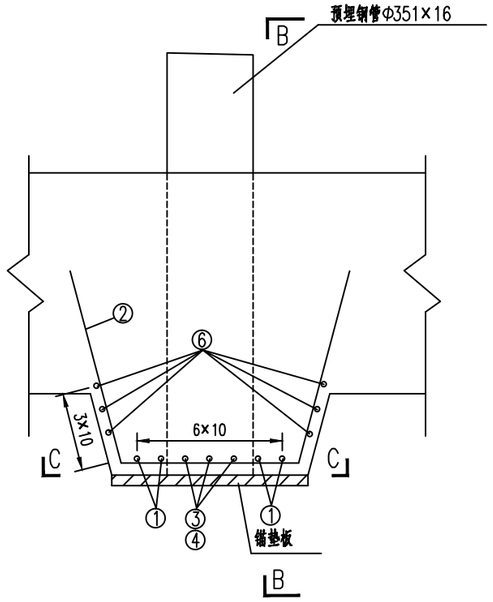
1.本图尺寸以厘米计。

2.0号拉索在施工和调索完成后,布置了与塔柱防裂钢筋网相同的带肋钢筋网对索塔锚固槽口进行封锚。

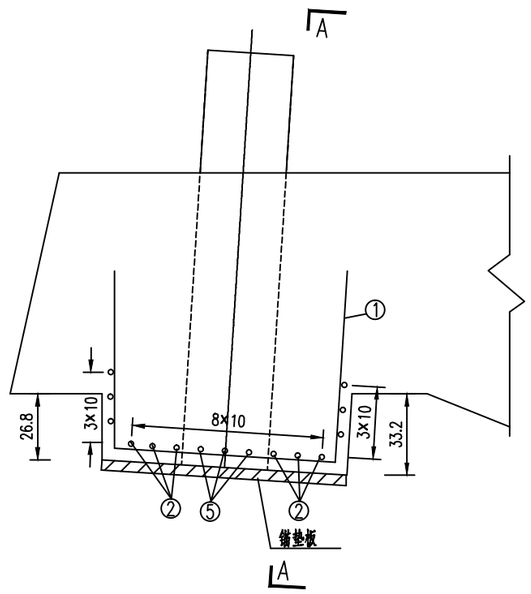
3.0号斜拉索锚座垫板,预埋管,螺旋钢筋布置及焊接方式与图"主梁斜拉索锚下构造图(七)"相同。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥0号斜拉索锚下构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-18

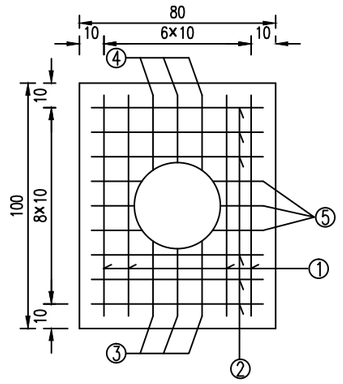
A-A(0号拉索梁体锚座纵桥向)



B-B(0号拉索梁体锚座横桥向)

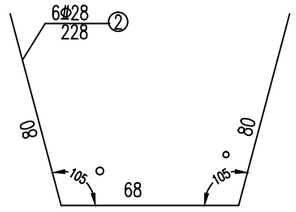


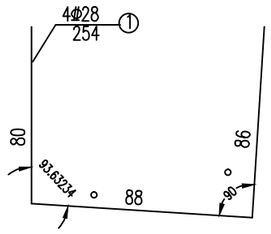
C-C

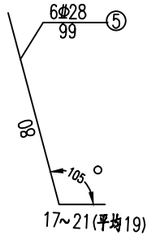


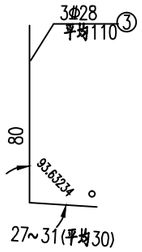
0号斜拉索梁体锚座处钢筋数量表

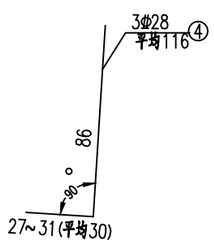
编号	规格(mm)	长度(cm)	根数	总长(m)	总重(kg)	共重(kg)	
1	Φ28	254	4	10.16	49.1	176.7	全桥合计(kg) 706.8
2	Φ28	平均 228	6	13.68	66.1		
3	Φ28	平均 110	3	3.3	16.0		
4	Φ28	平均 116	3	3.48	16.8		
5	Φ28	平均 99	6	5.94	28.7		
6	Φ16	平均 377	3	11.31	17.9	17.9	71.6

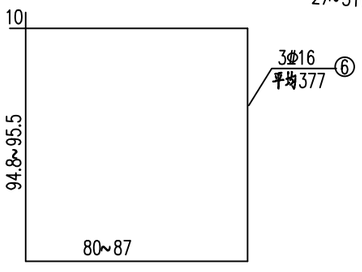




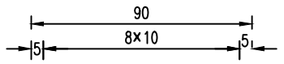


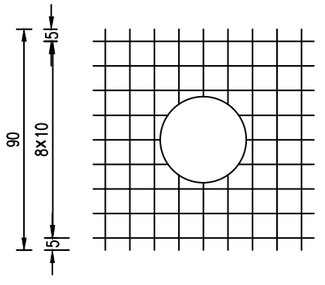






0号斜拉索锚下钢筋网





0号斜拉索锚下钢筋网数量表

规格(mm)	长度(cm)	根数	总长(m)	总重(kg)	全桥合计(kg)
Φ16	90	18×3	48.6	76.7	613.6

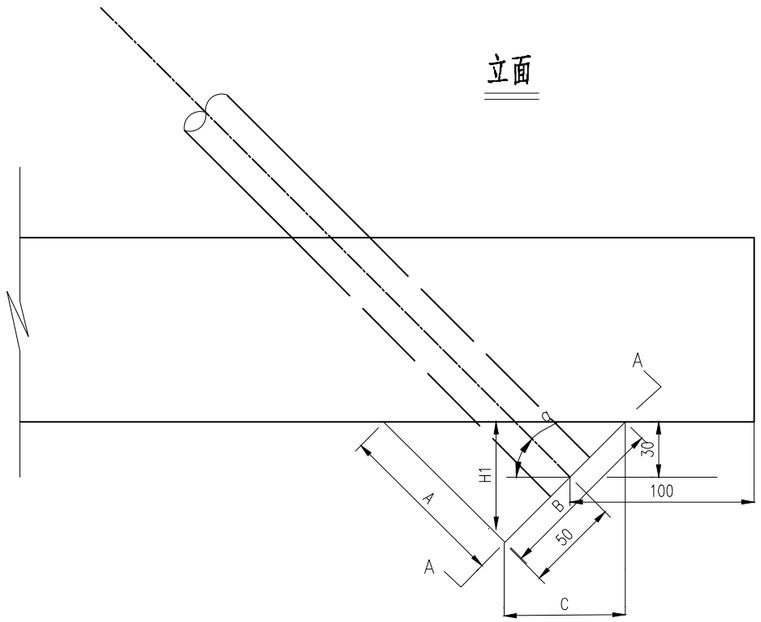
注:

1.本图尺寸除钢材规格以毫米计外,余以厘米计。

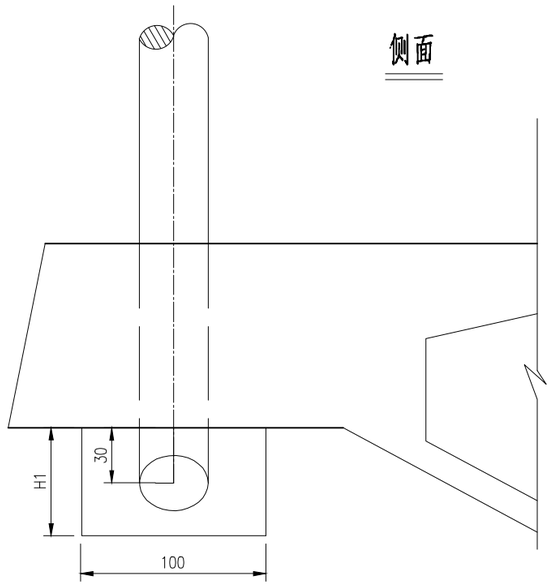
2.A-A,B-B中锚下钢筋网,加劲肋板和螺旋钢筋未示。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥0号斜拉索锚下构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王辰旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-18

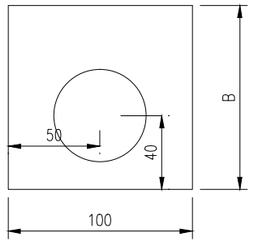
立面



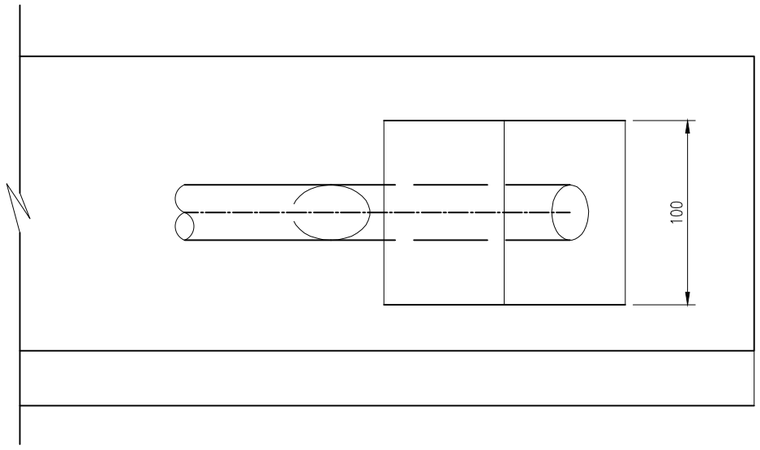
侧面



A–A



平面



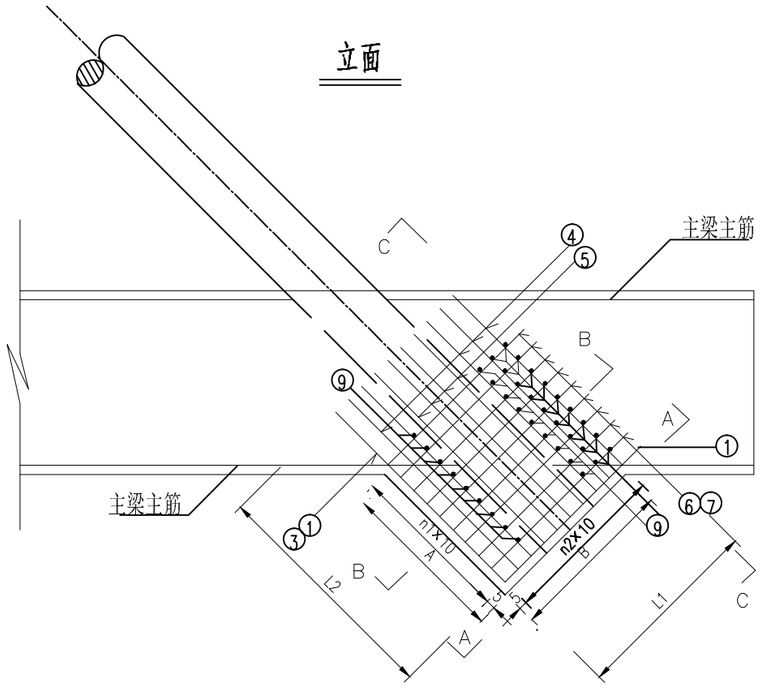
注：

1.本图尺寸以厘米计。

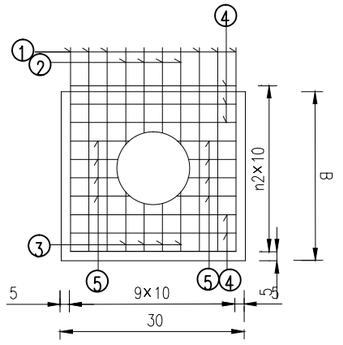
2.本图的参数与其它主梁斜拉索锚下构造图参数一致。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥主梁斜拉索锚下构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨飞	图号	S4-3-2-18

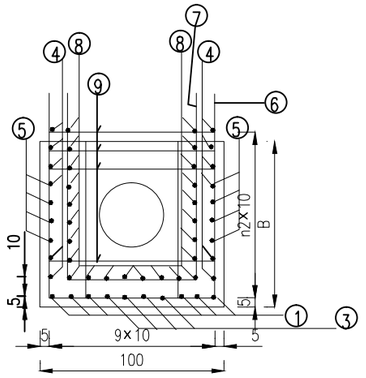
立面

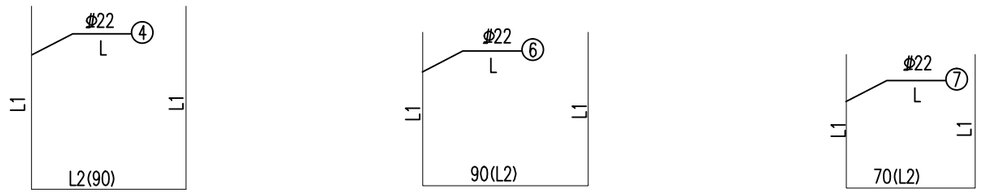


A–A

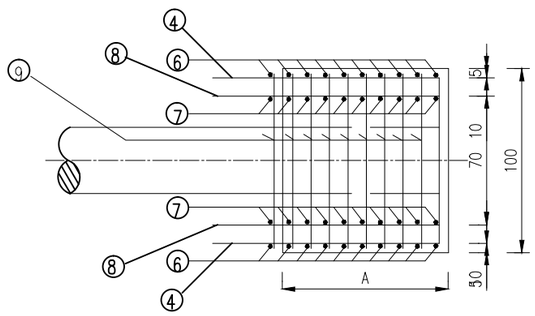


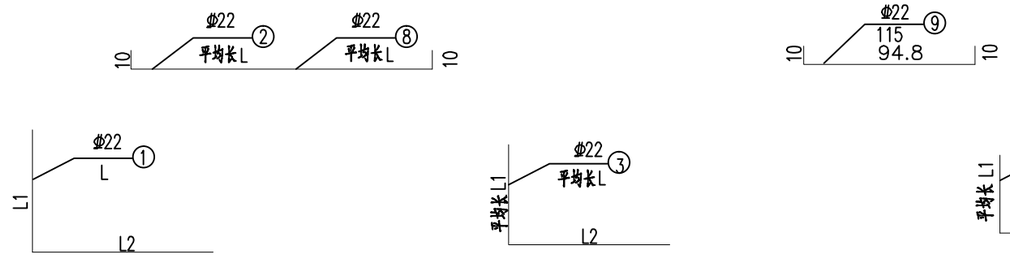
B–B





C–C





注:

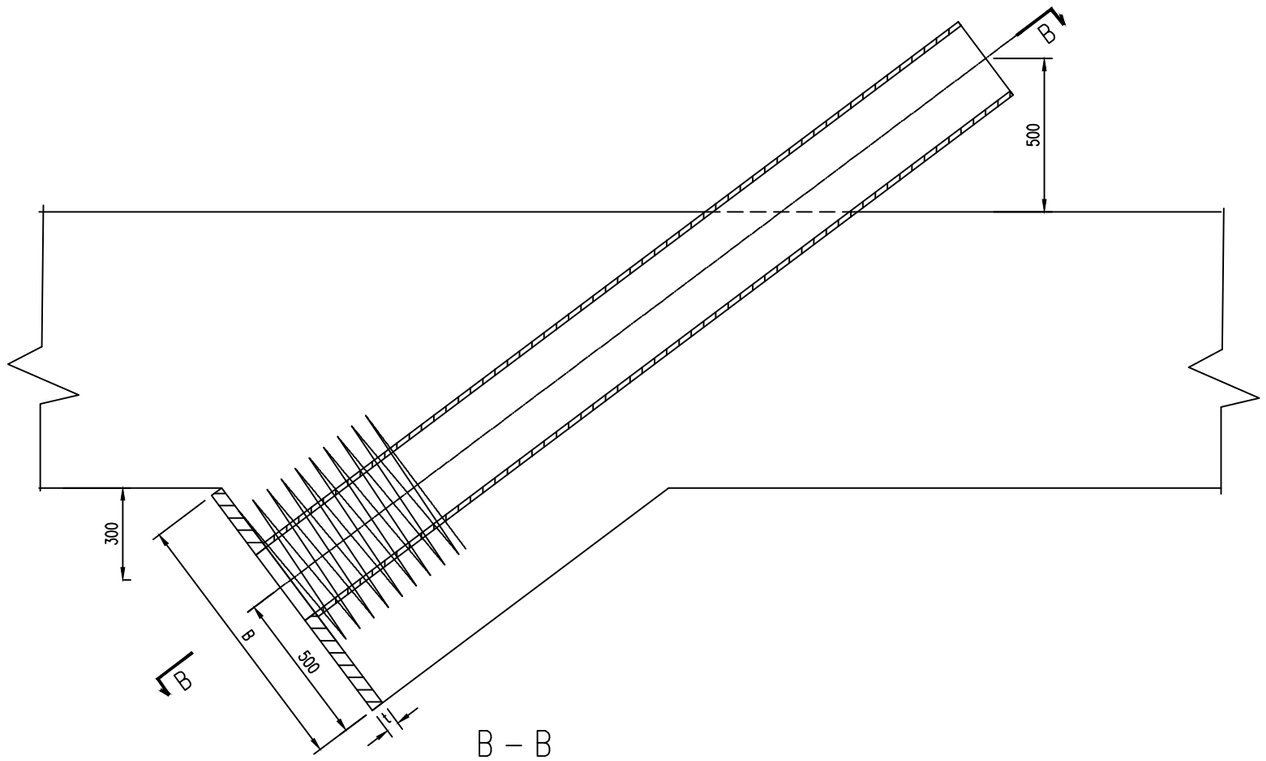
1.本图尺寸以厘米计。

2.本图引用的参数参见其它主梁斜拉索锚下构造图。

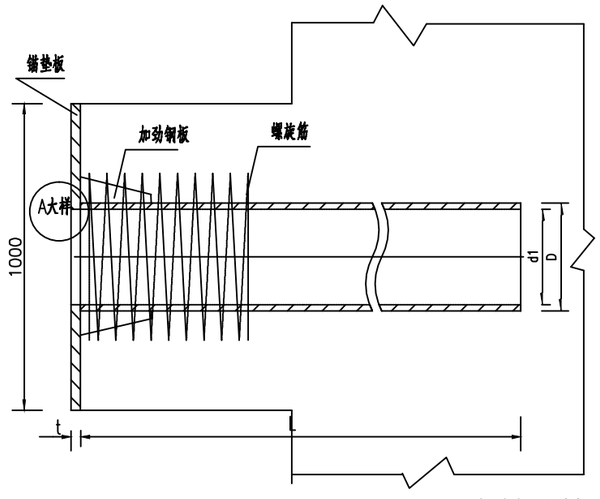
3.N2,N3,N5与预埋钢管焊接。

4.本图所示为除0号斜拉索外的所有斜拉索。

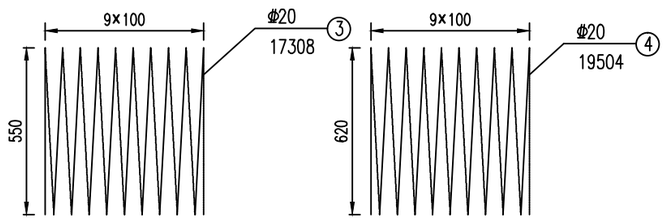
北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥主梁斜拉索锚下构造图	设计	李新龙	复核	吴美丽	审核	王顺通	审定	杨仪	图号	S4-3-2-18



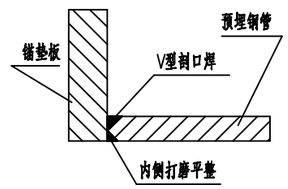
B－B



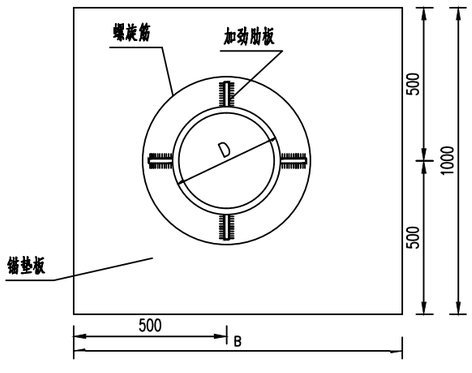
螺旋钢筋大样图



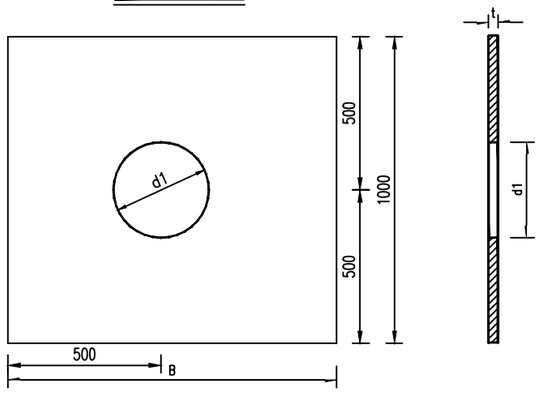
A大样



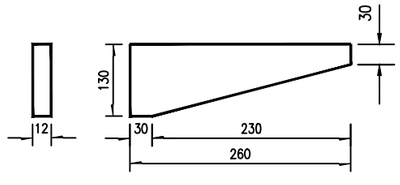
预埋钢管,加劲肋板



锚垫板大样



加劲肋板大样



注：

1.本图尺寸以毫米计。

2.锚垫板加劲钢板与套管均采用Q235B钢。

3.图中尺寸中各字符对应于“主梁斜拉索锚下构造图(八)”中“主梁拉索锚座垫板,预埋管,螺旋钢筋数量表”。

北京交科公路勘察设计研究院有限公司 北京公科固桥技术有限公司	G42沪蓉高速公路奉节至梁平段 安全韧性提升项目两阶段施工图设计	彭溪河特大桥主梁斜拉索锚下构造图	设计	李新龙	复核	吴美雨	审核	王晨旭	审定	杨仪	图号	S4-3-2-18