

G228 丹东线丁字湾大桥科学养护 两阶段初步设计

第一册 共二册

(第一册 设计文件 第二册 概算文件)

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

二〇二五年四月

G228 丹东线丁字湾大桥科学养护工程

两阶段初步设计

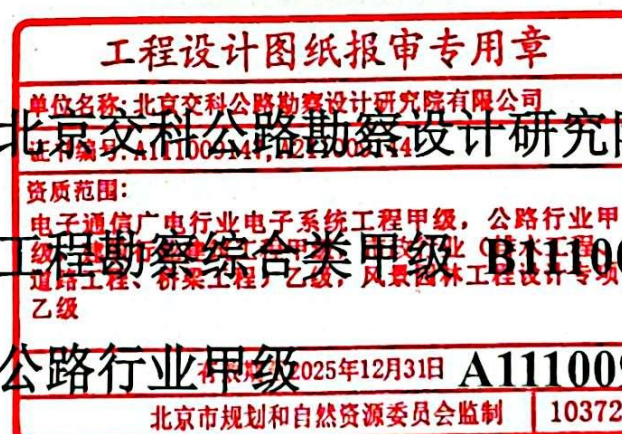
项目负责人：王军永
技术负责人：武俊平
总工程师：徐红平
单位负责人：王军永

设计单位：北京文科公路勘察设计研究院有限公司

设计证书：工程勘察综合类甲级 B111009147

公路行业甲级 A111009147

设计时间：2025 年 4 月



本 册 目 录

序号	图 表 名 称	图 号	页 码	序号	图 表 名 称	图 号	页 码
	G228丹东线丁字湾大桥科学养护工程						
1	设计说明	S-1~31	1~31				
2	附录1：耐久性专项检测结论	S-32~34	32~34				
3	附录2：裂缝修补	S-35~37	35~37				
4	附录3：混凝土局部病害维修（丙乳砂浆）	S-38~39	38~39				
5	附录4：混凝土结构钢筋除锈/阻锈	S-40~41	40~41				
6	附录5：浸瓷圭釉材料涂装防护	S-42~43	42~43				
7	附录6：混凝土防腐涂层方案（索塔）	S-44~46	44~46				
8	附录7：RS-S200带锈涂装	S-47~48	47~48				
9	附录8：超表处技术要求	S-49~52	49~52				
10	项目位置图	S-53	53				
11	工程数量汇总表	S-54	54				
12	科学养护总体布置图（一）~（十）	S-55~64	55~64				
12	混凝土表观病害修补示意图	S-65	65				
13	桥面铺装示意	S-66	66				
15	斜拉索防腐示意图（一）~（二）	S-67~68	67~68				
16	主桥主梁防护示意	S-69	69				
17	北引桥右幅39#墩加固设计图（一）~（三）	S-70~72	70~72				
18	引桥桥墩浪溅区防护（一）~（八）	S-73~80	73~80				
19	桥梁路侧护栏防护设计图	S-81	81				
20	泄水管接长改造设计图	S-82	82				
21	桥面标线设计图	S-83	83				

G228 丹东线丁字湾大桥科学养护工程

初步设计

1. 项目概况

1.1 项目背景

中国拥有漫长的海岸线，其中北方冰冻海域的海岸线总长占全国海岸线34.2%。山东作为北方沿海大省，海岸线占北方冰冻海域海岸线长度的53.1%，在这辽阔海岸线的沿海地区建设有众多滨海桥梁和多座跨海桥梁。这些桥梁，尤其跨海桥梁，服役环境严酷、恶劣。与南方省份的跨海桥梁相比，北方海域含盐量高更高（如胶州湾海域含盐量达30‰，是杭州湾跨海大桥海域的2倍以上），且还有着南方海域不会发生的冻融问题（如海域结冰期平均60天/年，年冻融循环50余次）。在冰冻海域高盐、冻融等作用下，北方跨海桥梁无论较南方跨海桥梁还是较内陆桥梁都要面临更为严峻的结构耐久性和安全性问题。



图 1-1 北方冰冻海域桥梁恶劣服役环境

为系统解决北方冰冻海域跨海桥梁面临的结构耐久性和安全性问题，交通运输部发布《交通运输部办公厅关于组织开展2024年度国家公路现代养护工程试点工作的通知》（交办公路函〔2024〕968号），要求“针对高盐、高腐蚀环境，以长会口特大桥等跨海桥梁安全耐久提升为目标，考虑全寿命周期养护理念，通过引入智能化快速检测技术、融合分析桥梁检监测数据等，构建桥梁性能评估与预测模型，并开展包含桥梁养护需求分析、决策优化等在内

的现代科学养护体系应用；在此基础上，形成适用于北方跨海桥梁的科学养护方案。采取高韧超薄沥青磨耗层维修桥面铺装，利用微波雷达、无人机等智能化快速检测技术，提升检测业务的自动化水平及检测效率。制定北方跨海桥梁科学养护技术指南、公路桥梁养护决策技术指南等指南标准，形成适用于北方跨海桥梁的科学养护方案”。

根据部试点要求，为系统提升跨海桥梁养护的科学性、时效性和长效性，保障桥梁运营的安全、耐久，丁字湾大桥选为2024年国家公路现代养护工程试点工程之一。

1.2 桥梁概况

烟台市滨海公路海阳段东起威海市规划建设的滨海公路乳山口大桥，西接青岛境内已建成通车的滨海公路（北段），位于威海至青岛高速公路南侧，在海阳境内沿黄海海岸布设，全长58.831公里。

丁字湾大桥位于烟台市滨海公路海阳段终点，地处烟台海阳市与青岛即墨市交界处，黄海与丁字湾交接的丁字河口，北侧连接海阳市滨海公路，南侧连接青岛滨海公路北段，地理坐标为东经121° 57'，北纬36° 34'，2012年建成通车。



图 1-2 项目地理位置图

丁字湾大桥中心桩号为K54+349.2（设计），全长3288米，左右幅引桥均为现浇预应力混凝土连续箱梁，主桥为双塔双索面混凝土斜拉桥；北侧引桥桥跨布置左、右幅均为（6×30）

$\times 4 + (7 \times 30) \times 2 + (5 \times 40) \times 3 + (4 \times 40 + 37) \text{ m}$ ，共10联，主桥桥跨布置为 $(88 + 200 + 88) \text{ m}$ ，南侧引桥桥跨布置左、右幅均为 $(4 \times 40) + (5 \times 40) \times 3 + (4 \times 40 + 37) \text{ m}$ ，共5联；引桥全宽24.5m，主桥全宽26.9m（含锚索区），引桥单幅桥面净宽12.25m，行车道宽 $4 \times 3.75 \text{ m}$ ，无人行道。

1. 总体布置

主桥结构体系为支承体系（半漂浮体系），桥墩固结，主梁在桥塔及共用墩处设竖向支承，并在桥塔与主梁之间设置横向与纵向限位装置，主塔为钢筋混凝土结构，桥面以上塔高约60.8m，桥面以下塔高为27.9m，桥塔总高为88.7m。主桥斜拉索呈空间扇形分布，每个索塔有24对拉索，全桥共计96根斜拉索，斜拉索防护套采用彩色高密度聚乙烯材料，斜拉索主梁端采用钢锚箱锚固，在塔端和梁端套筒端部均设置高阻尼粘弹性橡胶减震圈。

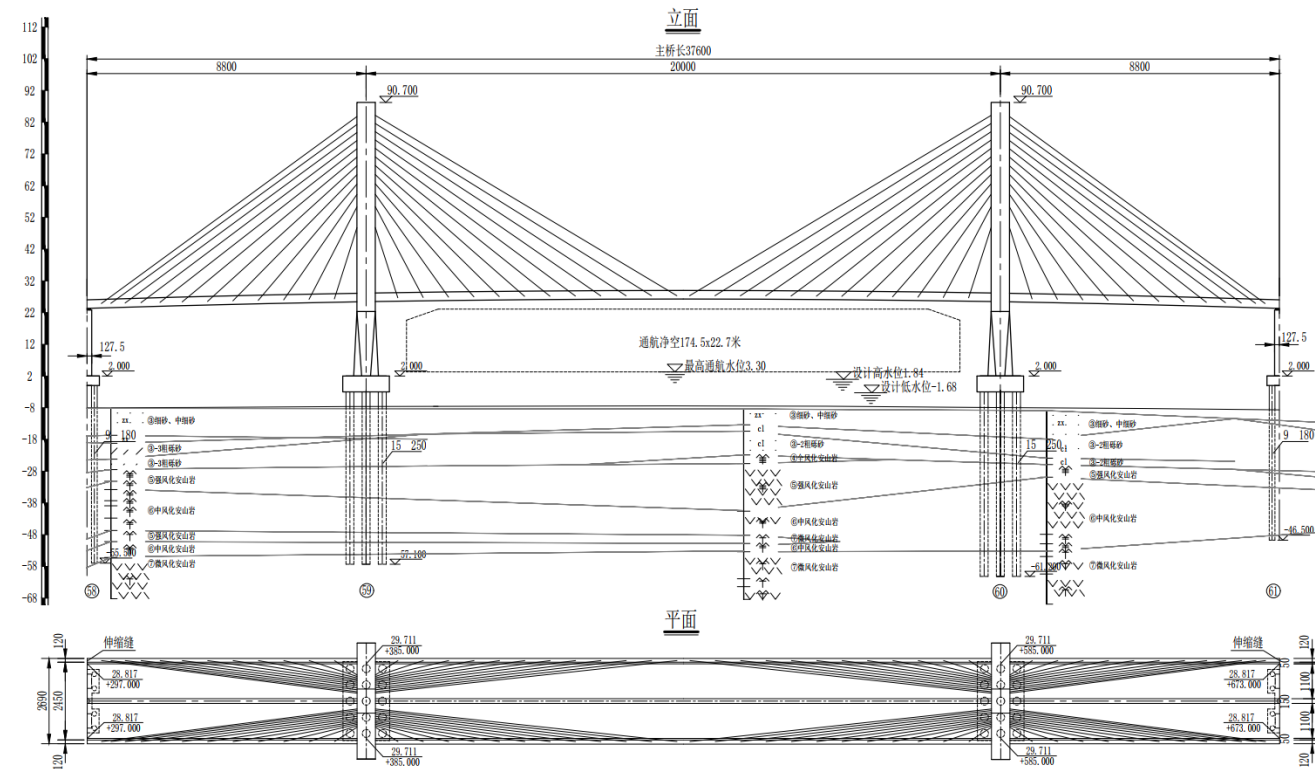


图 1-3 主桥总体布置图

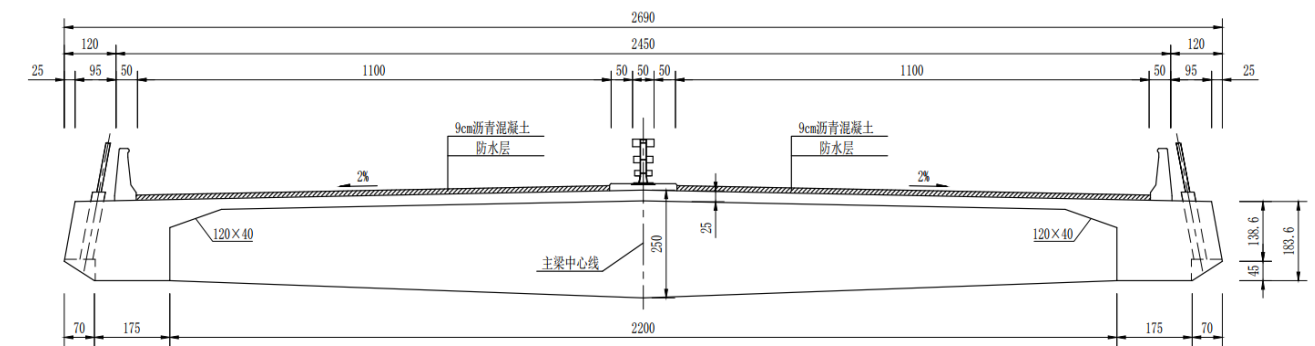


图 1-4 主桥标准横断面

2. 主桥上部结构

(1) 主梁

主梁采用双边肋断面。主梁横向宽度为26.9m（含锚索区），梁中心高度为2.1m（边跨现浇梁段中心高度为2.877m），主梁高跨比为1/95.2，标准梁段桥面板厚度为25cm；顺桥向每隔4m间距设置一道横隔板，横隔板采用变高度实心矩形断面，由外侧1.836m渐变至跨中高度2.5m（含桥面板厚度），其中斜拉索锚固横梁厚度为30cm，非锚固横梁厚度为25cm；边跨现浇梁段长5.75m，0#、1（1'）#梁段采用支架现浇，总长22m，边跨、中跨合拢段均长2m。主梁悬臂现浇段桥面板内配置 $\Phi 32$ 预应力粗钢筋，两边肋内配置 $19\Phi^{S15.2}$ （上缘）和 $12\Phi^{S15.2}$ （下缘）纵向通长预应力钢束，分段接长；中跨和边跨设顶、底板合龙预应力束；横隔板内设置横向预应力钢束。

斜拉索在梁上锚固处设钢锚箱，钢锚箱由索管道（锚筒）、锚垫板、箱身三部分组成。索管道根据拉索型号不同采用不同直径。锚垫板采用厚度为60mm的钢板，锚垫板后设有螺旋钢筋及钢筋网，以满足锚下混凝土抗裂和局部承压能力要求。锚箱箱身采用圆筒形，内径70cm，锚箱箱身采用20mm厚钢板焊接而成，箱身变高度，以避免箱身伸出梁底，影响美观。索管道及锚箱均与锚垫板垂直。

钢锚箱外露部分应采用防腐涂装方案进行防护，涂装方案同桥塔钢锚梁的防腐方案。

(2) 斜拉索

斜拉索呈空间扇形分布，双索面，在塔上竖向间距2.5~3米，在梁上纵桥向间距分别为8、6.5、4.3和3.5米。共采用4种型号：7-91、7-139、7-163和7-211，全桥96根，共重377.5吨（钢丝重），最大单索重量为7.2吨。斜拉索主梁端采用钢锚箱锚固，锚箱埋置在主梁边肋内。

斜拉索除满足强度、疲劳的要求外，尚须满足抗震、抗风雨的气动要求。斜拉索外套筒表面采用双螺旋线方案，以抑制拉索风雨振。成品斜拉索应具有索力测知设备，以便在施工过程及运营过程中测知索力变化情况。索力测知设备应具有可靠稳定性，具有在斜拉索的使用寿命内可调整更换性。

斜拉索在塔端和梁端套筒端部均设置高阻尼粘弹性橡胶减振圈。

(3) 钢锚梁

每个索塔共有24对拉索，均锚固在钢锚梁上。钢锚梁长4.6m，宽0.85m，除端头锚索区外，高0.62m。钢锚梁梁端距塔壁10cm，设有限位钢板，钢锚梁每端在纵向设有5mm的自由活动量以适应自身的弹性变形。塔柱内设有宽60cm，高140~180cm（含变厚段），顶面水平的牛腿，牛腿顶面设预埋钢板，上设聚四氟乙烯板，钢锚梁支承在聚四氟乙烯板上。斜拉索索力产生的侧向（横桥向）分力及不平衡水平分力（顺桥向），由钢锚梁与聚四氟乙烯板之间的摩擦力

和经限位装置传递的塔壁反力共同承担。

钢锚梁为箱形结构，由锚垫板、支承板、加劲板、侧拉板、顶板、底板、隔板等组成。拉索锚头作用在锚垫板上，通过支承板和加劲板将压力传给拉板及支座。锚垫板、支承板为主要承压构件，其厚度分别为50m、40mm。侧拉板是主要承拉构件，板厚40m。为增加钢锚梁钢板的竖向稳定性，侧拉板外侧焊有厚度为30mm的竖向加劲肋，在侧拉板中间设置两道横隔板，板厚20m。底板端部和中段分别设有宽30cm的手孔，以方便对钢锚梁内部进行涂装和检修。

3. 主桥下部结构

（1）桥塔与基础

桥面以上塔高约60.8m，呈倒V形，塔高与主跨之比为0.304；桥面以下塔高为27.9米呈V形，桥塔总高度为88.7米。塔柱采用箱形断面，其中上塔柱横桥向宽3.5米，顺桥向宽6米；下塔柱横桥向宽由3.5米变至6.65米，顺桥向宽由6米变至8米，并在承台顶面以上3米范围内设置塔座实心段，以使塔壁能抵丁字湾大桥结构运营安全监测与预警系统建设方案抗船舶的撞击。上、下塔连接处设置横梁，横梁高度为4米，宽度为4米，采用箱形断面，横梁内设置预应力束。

桥塔采用群桩基础，由15根Φ2.5m钻孔灌注桩组成，平面布置为3（顺桥向）×5（横桥向）=15根，按嵌岩桩设计。承台采用高桩承台，承台顶面高程设置在2.0m处。承台为钢筋混凝土矩形实体构造，平面尺寸为24.9×14.7m，厚度为5.0m，下设2m厚的封底混凝土。

（2）桥塔横梁

桥塔横梁高4米，宽4米，顶长26.95米，底长26.15米。桥塔横梁设在主梁下方，顶面标高26.950米，底面标高22.950米，横梁采用箱型断面，为预应力混凝土结构。横梁顶、底板厚60厘米，腹板厚80厘米，与塔交接处为实心断面。横梁内布置32束19Φ^s15.2mm钢绞线，钢绞线面积A_y=139mm²，标准强度R_{yh}=1860Mpa，钢绞线锚下张拉控制应力采用0.75R_{yh}=1395Mpa，每束张拉力为3684KN，所有预应力锚固点均设在塔柱外侧，预应力管道采用塑料波纹管、真空辅助压浆工艺。

横梁侧面设通气孔，横梁顶面安装主梁限位挡块及临时固结构造。

（3）主、引桥共用墩

共用墩采用双柱墩，实心矩形断面，平面尺寸为4.5m（横桥向）×2.8m（纵桥向），外侧设圆倒角，半径为20cm。承台为工字形，平面尺寸为7.5m×7.5m，厚度为3.5m，通过系梁连接；采用群桩基础，承台下桩基平面布置为2×2=4（根），系梁下设一根桩基，桩基直径1.8m。

引桥上部结构：主梁采用C50现浇等高度预应力混凝土连续箱梁，支座采用球型支座、固结墩。下部结构：桥墩采用墩顶带扩头的实体墩、桩基础；桥台采用U型式桥台，扩大基础。

桥面系及附属设施：桥面铺装采用沥青混凝土铺装层，铺装结构为4cm改性沥青混凝土AC-13+乳化沥青+5cm改性沥青混凝土AC-16+热融沥青碎石（防水层）；桥梁外侧护栏为SS级混凝土防撞栏，中分带为SS级钢护栏；主、引桥之间均设置模数式伸缩缝，引桥桥台出采用160型伸缩缝，桥墩处采用240型伸缩缝，主引桥相接处采用400型伸缩缝，全桥共设置17道伸缩缝。



图 1-5 丁字湾大桥立面照

1.3 自然地理概况

1.3.1 地形地貌

烟台市滨海公路海阳段地处山东半岛东南部沿海地区，地理坐标介于东经 120° 12′ ～121° 16′，北纬36° 25′ ～36° 50′ 之间。路线起点位于海阳市与乳山市交界的琵琶岛处，终点连接到青岛滨海路上，全长58.831公里。

丁字湾位于即墨、莱阳、海阳三市的交界处，在构造上属鲁东隆起中胶莱拗陷的一部分，海湾形态受东西向构造和新华夏构造体系的控制，海湾主体呈北西-南东走向，湾顶部在麻姑岛附近折而向西，湾口则转向东偏南方向，整个形态大致呈“丁”字形，故名丁字湾，从湾口到湾顶长22公里，湾内岸线蜿蜒曲折，岬湾相间，计有栲栳滩、芝坊滩、鲁岛滩、力岛滩、湾顶滩及五龙河三角洲等，岬角处多为基岩裸露，形成海蚀崖，但湾内滩涂除栲栳头附近为石底外，大部分为泥质或泥沙相间。丁字湾周围被山丘环抱，南，北方向为剥蚀山丘，高程

为70米，上下为切割山坡地，表面被残积-坡积物覆盖，西北方向为冲积平原。

1.3.2 水文地质

项目所在区域沿线大小河流众多，均为季风雨源型河流。枯水季节除几条主要河流的中下游有少量径流外，其余皆为涓涓细流，甚至断流。一旦降暴雨，则洪水汹涌，其特点是源高流短，涨快退速。

地下水主要以第四系松散孔隙水和裂隙潜水为主。受大气降水、地表水的补给和海洋潮汐作用，水质基本上以海水为主，对混凝土有中-强度侵蚀。

1.3.3 气候与气象

项目所在区域处于我国东部暖温带半湿润季风气候区，濒临黄海，兼有海洋性气候。四季分明，春季干燥，风大多春旱，夏季光照充足，雨热同期，秋季温和凉爽，间有秋旱和连阴雨天气，冬季雨雪量较少。具有冬暖夏凉、春冷、秋温及温差小、风大、雾多等特征。

1. 气温

年各月温度变化呈正态分布型，7、8月份最高，1、2月份最低，最热月份为8月，平均温度为24.8℃，历年极端最高气温36.4℃；最冷月份为1月，平均温度为-3.7℃，历年极端最低气温-16.3℃。年际变化趋势约为13-15年一个周期，50年代为最高值期，60～70年代为最低值期。在近30年中，年平均气温为12℃。

2. 降水

年平均降水量787.8mm，年最大降水量1661mm（1964年），年最小降水量390.7mm（1981年）。降水多集中在夏季，冬季降水量最少。

3. 风

由于地形地貌的制约，大气活动中心的消长，区域内风向随季节变化十分明显。冬季以偏西北风为主，夏季盛行南至东南风。全年四月份风速最大，分布特点是北部大于南部。年平均风速3.1m/s，10分钟最大风速25.3m/s，瞬时最大风速32m/s。

4. 霜冻

区域内无霜期变化在200天左右，初霜日10月上旬，终霜日4月中旬，沿线平均冻土深度为30厘米，最大冻土深为62厘米（1989年2月），最早冰冻发生在1981年10月23日，最晚解冻日为1987年4月14日，历年平均冰冻日数为80.85日。年最大冻土深度为12～15厘米。

5. 湿度

历年平均绝对湿度为12.22度，最大为35.87度，最小为0.76度。历年平均相对湿度为66～70%，属半湿润地带。

6. 蒸发量

全年平均蒸发量为1541mm，蒸发量年分布5月份为最大，平均为208.8mm，1月份为最小，平均55.2mm。

7. 雾况

海阳位于南黄海海雾中心的西边缘。海雾种类主要为平流雾。海雾主要出现于4～8月，其中7月份最多。能见距离小于等于1km的年雾情况如下：年平均雾日数24.9d，年最多雾日数44d，年最少雾日数8d。

1.3.4 海洋水文

潮流方向以东北向西南为主，平均潮高约为86厘米，沿线海岸由于当地环保措施好，海水比较清澈，透明度在40～320厘米之间，海水盐度在32%左右，PH值8.1显弱碱性。

1. 波浪

工程海区的强浪向为E向。E向不同重现期、不同水位下等波高线分布趋势大体相同。在丁字嘴以东水域，等波高线基本是南北向分布，在离岸较近的水域，等波高线基本是沿岸线分布。E向浪在传播到工程点位的过程中由于没有受到岛屿的遮拦作用，波高较大，不同水位不同重现期的波高相差也较大。有效波高在0.34m～3.52m之间。

SE向不同重现期、不同水位下等波高线分布趋势大体相同。在121.07°E以东水域，等波高线基本是南北向分布，在栲栳岛与丁字嘴连线东南水域，等波高线基本是NE～SW走向，在离岸较近的水域，等波高线基本是沿岸线分布。SE向浪在传播到工程点位的过程中由于受到栲栳岛的遮拦作用，波高较小，不同水位不同重现期的波高相差也较小。有效波高在0m～0.15m之间。

S向不同重现期、不同水位下等波高线分布趋势大体相同。在121.08°E以东水域，等波高线基本是南北向分布，在栲栳岛与丁字嘴连线东南水域，等波高线基本是NE～SW走向，在离岸较近的水域，等波高线基本是沿岸线分布。S向浪在传播到工程点位的过程中由于受到栲栳岛的遮拦作用，波高较小，不同水位不同重现期的波高相差也较小。有效波高在0m～0.13m之间。

2. 潮汐

工程位置外海潮汐受控于南黄海潮波系统。

在近岸区域，由于水深浅，摩擦效应显著，产生一定大小的浅水分潮，它们叠加到天文分潮上的结果出现了涨潮历时和落潮历时不相等的情形。依据栲栳岛海域资料统计，工程位置的平均落潮历时（6小时35分）大于涨潮历时（5小时53分）。

3. 工程水位

根据中国海洋大学提供的《山东省海阳市海即大桥海洋水文论证报告》，工程海域极端水

位高程（56高程）见下表。

表 1-1 工程海域极端高水位（单位：m）

P	极端水位
300 年一遇 p=0.33%	4.05
100 年一遇 P=1%	3.75
50 年一遇 P=2%	3.57

表 1-2 工程海域极端低水位（单位：m）

P	水位
300 年一遇低水位（P=99%）	-3.48
100 年一遇低水位（P=99%）	-3.34
50 年一遇低水位（P=98%）	-3.26

设计高、低水位采用工程海域附近专用水文站1997.3～1998.3逐时观测资料计算结果，根据《港口工程技术规范》设计高、低水位计算方法求出基于56高程的设计高低水位计算结果，设计高水位：1.87m；设计低水位：-1.65m。

1.3.5 工程地质

桥区所经区域处于胶东半岛南部剥蚀丘陵岩石海岸地带，为丁字河入海口，揭露深度内的地层为第四系以来的海积土层，下伏基岩为白垩系青山群八亩地组，安山岩、玄武岩、安山质凝灰岩，元古界于家岭组变粒岩等。

1.3.6 地震

胶东半岛北部为多震区，地震活动上具有强度小、频率高、震源浅、有感范围广的四大特点；与构造息息相关，有史以来发生的最大地震为6级，这反映了半岛地区内部比较完整，无大型断裂和断陷存在，1970～1979年，胶东半岛发生了43次大于3级有感地震。根据《海（阳）即（墨）大桥建设工程场地地震安全性评价报告》（山东省地震工程研究院，2007），大桥所经区域鸭岛场地的卓越周期值为0.12秒，栲栳岛场地的卓越周期值为0.24秒。场地土属中软场地土，场地为Ⅱ类建筑场地。

1.4 原桥耐久性措施

本桥混凝土结构提高耐久性采取的基本措施是：全桥采用海工耐久性混凝土，以氯离子扩散系数为混凝土耐久性的主要控制指标；采用大掺量掺合料和低水胶比降低氯离子扩散系数；根据结构部位和受力特点，设置合理的钢筋保护层厚度（见下表），在满足结构施工和设计要求的前提下，尽量延长氯离子渗透到钢筋表面的时间。

表 1-3 混凝土结构各部位钢筋保护层厚度

结构部位		腐蚀环境	保护层厚度（mm）
钻孔桩		水下区及泥下区	90
承台	海上	水位变动区	90
	陆上	大气区	75
桥墩		浪溅区及大气区	60
箱梁		大气区	40

施工中所用的混凝土材料按符合《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ275-2000）和《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES 01-2004）等相关规范的要求执行，为此，原设计提出的混凝土的抗氯离子渗透性要求如下表，检测按快速非稳态电迁移法（RCM法）进行。

表 1-4 混凝土抗氯离子渗透性与抗冻性能要求

区段	构件类型	环境分类	混凝土强度等级	84d 渗透性能		28d 抗冻性能
				Cl ⁻ 扩散系数 10 ⁻¹² m ² /s	电通量 C	快冻法（DF>75%）
海上段	桩	Ⅱ-D /Ⅲ-C	C35 水下	2.0	1500	/
	承台	Ⅱ-D /Ⅲ-E	C40	1.5	1000	300
	墩身	Ⅲ-E	C40	1.5	1000	300
	箱梁	Ⅲ-D	C50	1.5	1000	300
	桥塔下部	Ⅲ-E	C50	1.5	1000	300
	桥塔上部	Ⅲ-D		1.5	1000	/
	湿接头	Ⅲ-D/Ⅳ-D	C50	1.5	1000	300
	防撞墙	Ⅲ-D/Ⅳ-D	C35	1.5	1000	300
陆上段	桩	Ⅲ-C	C35	2.0	1500	/
	承台	Ⅲ-C	C40	1.5	1000	/
	墩身	Ⅲ-C	C40	1.5	1000	/
	箱梁	Ⅳ-D	C50	1.5	1000	300
	防撞墙	Ⅳ-D	C35	1.5	1000	300

2. 专家意见执行情况

2.1 初步设计审查会

2024年8月7日，山东省交通运输厅邀请有关专家，在济南组织召开了G228丹东线丁字湾大桥科学养护工程初步设计审查会。与会专家及代表认真审阅了设计文件和基础资料，经质询和讨论，形成如下审查意见。

G228 丹东线丁字湾大桥科学养护工程初步设计审查会

专家意见

2024 年 8 月 7 日，山东省交通运输厅邀请有关专家(名单附后)，在济南组织召开了 G228 丹东线丁字湾大桥科学养护工程初步设计审查会。参加会议的有交通运输部公路科学研究院、山东省交通运输事业服务中心、山东省交通运输厅工程建设事务中心、烟台市交通运输局、烟台市公路事业发展中心、海阳市交通运输局、山东省公路桥梁检测中心有限公司等单位的代表，会议听取了设计单位—北京交科公路勘察设计研究院有限公司的设计汇报和有关单位的意见，与会专家及代表认真审阅了设计文件和基础资料，经质询和讨论，形成如下审查意见。

一、基本情况

该桥位于 G228 丹东线烟台、青岛境内，桩号（K2615+466～K2618+754），设计汽车荷载为公路-I 级，2012 年建成通车。桥梁全长 3288 米，海阳侧接线长 800 米，主桥为双塔双索面混凝土斜拉桥，桥跨布置为（88+200+88）米，全宽 26.9 米（含锚索区）；左右幅引桥均为现浇 30 米、40 米跨径的预应力混凝土连续箱梁，全宽 24.5m。

根据《交通运输部办公厅关于组织开展 2024 年度国家公路现代养护工程试点工作的通知》（交办公路函〔2024〕968 号）要求，依托该桥梁开展高盐、高腐蚀环境下北方跨海桥梁安全耐久性水平提升的科学养护工程，旨在考虑全寿命周期养护理念、构建桥梁性能评估与预测模型、开展桥梁养护需求分析和决策优化、形成适用

于北方跨海桥梁的科学养护方案及体系。

二、科学养护工程

（一）原则同意设计单位提出的如下养护工程：

1. 主梁、索塔及护栏表观病害修复与防护工程。
2. 桥墩干湿交替区混凝土防护工程。
3. 斜拉索锚头、索体防腐与阻尼器增设工程。
4. 桥面铺装预防养护及引道路面修复工程。
5. 桥梁健康监测系统增设工程。
6. 照明系统与排水系统修复工程。

（二）原则同意本项目计划工期 5 个月，采取“半幅封闭施工，半幅双向通行”的交通组织方案。

三、意见建议

1. 进一步修改完善设计说明，加强大桥现状分析、养护需求论证和科学养护工程确定等方面的分析论述；
2. 进一步细化、明晰该桥科学养护工程的设计思路、目标、内容、要点和施工要求、质控标准等方面的要求；
3. 加强历史检测数据的深度分析，补充必要的专项检查，进一步分析病害成因及其对安全耐久水平的影响，提出桥梁检测数据的科学分析方法；
4. 进一步深化斜拉索振动振幅的分析论证，确定设置阻尼器的必要性；优化完善斜拉索防护层修补方法；
5. 宜采用张拉测力的方法实测斜拉索索力，建立其动态跟踪

观测（健康监测）的基准；

6. 细化施工和工期要求；进一步核实交通维护、车辆通行、环保、照明、临时工程等的费用；补充索力调整、浸瓷圭釉、专项检测、健康监测等项目的依据；根据优化后的初步设计调整、控制概算。

专家组组长：张劲泉
2024 年 8 月 7 日

2.2 专家意见执行情况

1. 进一步修改完善设计说明，加强大桥现状分析、养护需求论证和科学养护工程确定等方面的分析论述；

执行情况：执行专家意见，深化了现状分析、养护需求分析，并优化了科学养护工程方案。

2. 进一步细化、明晰该桥科学养护工程的设计思路、目标、内容、要点和施工要求、质控标准等方面的要求；

执行情况：执行专家意见，进一步明晰了设计思路和目标，细化了工程内容、施工要求和验收指标。

3. 加强历史检测数据的深度分析，补充必要的专项检查，进一步分析病害成因及其对安全耐久水平的影响，提出桥梁检测数据的科学分析方法；

执行情况：执行专家意见，深入分析了历史检测数据和病害成因及影响，增加索力检测和调整的工程内容，和在施工图设计时，测试并标定索力，作为索力调整和健康监测系统的基准。

4. 进一步深化斜拉索振动振幅的分析论证，确定设置阻尼器的必要性；优化完善斜拉索防护层修补方法；

执行情况：执行专家意见，深化了斜拉索振幅分析论证，本次维修不再增设阻尼器；优化了拉索防护层修补方案。

5. 宜采用张拉测力的方法实测斜拉索索力，建立其动态跟踪观测（健康监测）的基准；

执行情况：执行专家意见，在施工图设计阶段实施。

6. 细化施工和工期要求；进一步核实交通维护、车辆通行、环保、照明、临时工程等的费用；补充索力调整、浸瓷圭釉、专项检测、健康监测等项目的依据；根据优化后的初步设计调整、控制概算。

执行情况：执行专家意见，核查了相关费用，补充了相关项目的计费依据，根据优化后的初步设计方案，调整了概算。

3. 设计依据

- （1）《山东省跨海桥梁科学养护试点技术实施方案》
- （2）历年丁字湾大桥检测报告、耐久性专项检测报告
- （3）管养单位提供的竣工图纸及现场调查统计资料
- （4）有关的会议、座谈对维修设计的要求等

4. 参考规范

- （1）《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）
- （2）《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）
- （3）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）
- （4）《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）
- （5）《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）
- （6）《公路沥青路面设计规范》（JTG D50-2017）
- （7）《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）
- （8）《公路养护技术标准》（JTG 5110-2023）
- （9）《公路养护工程质量评定标准》（JTG 5220-2020）
- （10）《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）
- （11）《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310-2019）
- （12）《道路交通标志和标线》（GB 5768-2009）
- （13）《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》（CJT297-2016）
- （14）《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG/T 5122-2021）

5. 主要技术标准

本项目为既有桥梁养护维修，不改变原路技术标准，具体指标如下：

- （1）公路等级：双向四车道一级公路

- (2) 设计速度：80公里/小时
- (3) 标准路基宽度：24.5米
- (4) 桥梁宽度：引桥全宽24.5m，主桥全宽26.9m（含锚索区）
- (5) 设计汽车荷载：公路-I级
- (6) 最大纵坡：<3%
- (7) 桥面横坡：2%
- (8) 设计最高通航水位：3.3m（1985国家高程基准）
- (9) 设计通航净空：净高22.7米，净宽174.5米
- (10) 地震动峰值加速度为0.05g，相应的地震基本烈度为Ⅵ度
- (11) 设计洪水频率：1/300

6. 历年检测情况及养护历史

6.1 历年检测情况

1. 检测状况说明

(1) 2015年，西安长大公路工程检测中心对丁字湾大桥进行了表观检查、材质检测、索力及荷载试验，检测结论如下：

1) 桥梁技术状况

该桥左幅技术状况评分为89.15，技术状况等级评定为2类，处于较好的状态，需对桥梁进行小修；该桥右幅技术状况评分为88.42，技术状况等级评定为2类，处于较好的状态，需对桥梁进行小修。

2) 外观检查结果

- ①伸缩缝轻微堵塞、反光板缺失破损和混凝土护栏涂层开裂掉皮；
- ②主梁存在水平及竖向裂缝、剥落露筋、蜂窝麻面及粗骨料外露等病害；
- ③支座个别限位装置未拆除。

3) 材质状况

①混凝土强度：经检测主要承重构件主梁、墩身混凝土构件强度评定表度均为1，等级满足强度设计要求；

②保护层厚度：经检测，构件混凝土保护层厚度评定标度为1，对结构混凝土耐久性影响不显著；

③碳化深度：箱梁、墩身混凝土碳化深度评定标度值为1，混凝土碳化深度尚未到达钢筋

位置，钢筋仍处于混凝土的碱性环境保护之下。

4) 索力测量情况

主桥斜拉索索力实测值与理论值偏差相差不大，在可接受范围内，斜拉索索力满足使用要求。

(2) 2019年，铁正检测科技有限公司对丁字湾大桥进行了表观检查、材质检测及索力测试，检测结论如下：

1) 桥梁技术状况

根据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/TH21-2011）的规定，主桥技术状况得分为89.3，技术状况等级为2类;小桩号侧引桥左幅桥技术状况得分为84.2，技术状况等级为2类，小桩号侧引桥右幅桥技术状况得分为83.9，技术状况等级为2类；大桩号侧引桥左幅桥技术状况得分为84.1，技术状况等级为2类，大桩号侧引桥右幅桥技术状况得分为82.8，技术状况等级为2类。全桥技术状况评定为结果以最差的一个评定结果作为全桥评定结果，全桥技术状况最终评定为2类，全桥技术状况最终得分为82.8。

2) 材质状况

①混凝土强度：经检测主要承重构件箱梁、墩身混凝土构件强度评定表度均为1，混凝土强度状况良好；

②保护层厚度：经检测，构件混凝土保护层厚度评定标度为1或2，对结构混凝土测区钢筋耐久性影响不显著或轻度影响；

③碳化深度：经检测，构件混凝土碳化深度评定标度值为1，混凝土碳化深度对保护层保护钢筋的效能影响不显著。

3) 索力测量情况

通过本次斜拉索索力测试数据的比较，小桩号侧索塔左幅索力普遍比右幅大，大桩号侧索塔右幅索力较左幅偏大，靠近索塔位置的短索索力小于远离索塔位置的长索索力，后期应加强对斜拉索索力的监测，当索力偏差较大或超限时，及时采取相应加固维修措施，保证桥梁的运营安全。

(3) 2022年4月，山东省公路桥梁检测中心有限公司对丁字湾河口大桥进行了表观检查、材质检测及索力测试，检测结论如下：

1) 桥梁技术状况

2022年4月30日丁字湾大桥引桥总体质量状况得分为76.89分，最终评定为3类，处于较差的状态；主桥总体质量状况得分为85.99分，最终评定为2类，处于较好的状态。

2) 材质状况

①混凝土强度：钢筋混凝土箱梁的混凝土强度评定标度值为1，混凝土构件强度及匀质性良好。

②钢筋锈蚀：连续箱梁、墩身混凝土内部钢筋锈蚀状态评定标度为1，即无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

③钢筋保护层厚度：箱梁及立柱保护层厚度对结构钢筋耐久性的评定标度为1或2，总体评价保护层厚度对结构钢筋耐久性影响不显著或有轻度影响。

④碳化：主要承重构件的混凝土碳化深度标度值为1，混凝土碳化对保护层保护钢筋的效能有轻微影响。

⑤氯离子含量：箱梁、墩身、护栏混凝土氯离子含量评定标度均为2，对诱发钢筋锈蚀的可能性为不确定。

3）索力测量情况

①北塔左幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-14.77%~13.81%）之间，其中LB11#、LZ12#斜拉索偏差大于10%；

②北塔右幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-10.81%~10.80%）之间，其中RB5#、RB11#、RZ12#斜拉索偏差大于10%；

③南塔左幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-27.29%~4.90%）之间，其中LZ1#、LZ7#、LB8#斜拉索偏差大于10%；

④南塔右幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-25.61%~5.70%）之间，其中RZ2#、RZ7#、RZ8#、RB3#、RB12#斜拉索偏差大于10%。

（4）2022年11月，招商局重庆公路工程检测中心有限公司对丁字湾河口大桥进行了外观检查及专项检测（索力测试、线形测量），检测主要结果如下：

1）桥梁技术状况

依据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/TH21-2011）对丁字湾大桥主桥技术评定为2类，引桥评定为3类，全桥技术状况评定为3类，有中等缺损，尚能维持正常使用功能，应进行修复养护。

2）外观检查结果

①上部承重构件病害主要表现为纵向裂缝、斜向裂缝、横向裂缝、网状裂缝、混凝土钢筋锈胀、剥落、破损、砼夹渣、蜂窝、麻面、露筋、破损露筋；上部一般构件（横隔板）病害主要表现为竖向裂缝、U形裂缝、横向裂缝、L形裂缝、斜向裂缝纵向裂缝。

②支座个别限位装置未拆除。

③桥墩存在网状裂缝、竖向裂缝、露筋、孔洞、掉角、蜂窝、麻面等病害。

④桥面铺装病害主要表现为纵向裂缝、网状裂缝，个别构件出现坑槽、拥包。

⑤伸缩缝装置主要病害表现为锚固区混凝土纵向开裂。

⑥栏杆、护栏主要病害表现为竖向开裂。

3）桥梁专项检测

①索力测试结果

10根拉索与2022年测试结果相差10%以上，索力差值在-1070.7kN~1286.3kN之间，最大偏差34.6%；7对拉索左右幅索力差值超过10%，最大差值为1123.3kN。

建议对与成桥索力偏差大于10%的拉索及左右幅索力偏差大于10%的拉索的加强索力监测。桥位处风速较大，监测期间，桥面最大风力达到8.6级，现场检查时发现，59#R-Z-5拉索振动较大，建议对全桥拉索增加外置阻尼器，提高拉索疲劳使用寿命。

②线形测量结果

丁字湾大桥左侧桥面线形与往年相比有一定差异。左侧与2015年桥面线形测量结果相比，测点差值在0.00mm~86.49mm范围。右侧桥面线形与往年第60跨主桥中间部分存在差异。右侧与2015年桥面线形测量结果相比,测点差值在-77.32mm~13.00mm范围。

从整体线形来看2015年左后半段与其他偏差较大，可能存在当时测量误差。2022年和2015年左侧桥面均高于右侧桥面结合索力变化得知存在桥面倾斜，应当留意观测及时处理。

考虑到测量时，有车载、环境及温度等因素影响，本次观测数据需结合后期多次监测数据进行综合分析判断桥面线形变形趋势。

（5）2023年山东省公路桥梁检测中心有限公司对丁字湾河口大桥进行了表观检查、材质检测及索力测试，检测结论如下：

1）桥梁技术状况

引桥总体质量状况得分为78.46分，最终评定为3类桥，处于较差的状态。主桥总体质量状况得分为83.69分，最终评定为2类桥，处于较好的状态。

2）外观检查结果

①引桥箱梁腹板及底板存在纵向开裂，底板、腹板多条斜向开裂、网裂。

②主桥横、纵梁横向裂缝，竖向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝、胀裂、蜂窝麻面。

③主桥斜拉索下锚头护筒存在不同程度锈蚀，护筒缺失。

④引桥桥墩墩身上缘出现多条竖向裂缝。

⑤主引桥桥墩基础均未设置护墩体，存在过往渔船发生刷蹭、碰撞损坏隐患。

⑥桥面铺装：全桥桥面铺装存在多条纵向开裂网状开裂

⑦伸缩缝锚固混凝土均出现顺桥向纵向裂缝

⑧护栏均存在不同程度防腐涂层起皮、剥落现象，表观较差。	
3）材质状况	
①所检测测区混凝土强度评定标度值均为1，混凝土构件强度良好；	
②L84#箱梁、L84-1#墩柱的保护层厚度评定标度为5，钢筋易失去碱性保护，发生锈蚀；R2#箱梁的保护层厚度评定标度为4，钢筋保护层对钢筋耐久性有较大影响；60-1#纵梁、R84-1#墩柱的保护层厚度评定标度为3，保护层对钢筋的耐久性有影响；其他测区评定标度为1或2，保护层对钢筋的耐久性的影响不显著或有轻度影响。	
③所检测测区钢筋锈蚀电位测试值在0~-200mV之间，结合评判标准判定混凝土内部钢筋锈蚀状态评定标度为1，无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。	
④所检测测区混凝土的碳化深度在0.5~2.5mm之间，均小于保护层最小厚度，依据评判标准，构件混凝土碳化深度评定标度值为1，混凝土碳化深度尚未到达钢筋位置，钢筋仍处于混凝土的碱性环境保护之下，可以较好的保护钢筋，混凝土碳化深度对保护层保护钢筋的效能无影响或轻微影响。	
4）索力测量情况（检测时间：2023年5月）	
A.根据与2022年检测数据进行对比，结果如下：	
①北塔左幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-1.99%~1.62%）之间；	
②北塔右幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-0.71%~2.46%）之间；	
③南塔左幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-4.17%~1.66%）之间；	
④南塔右幅斜拉索：索力实测值偏差介于（-0.67%~2.20%）之间。	
B.通过与2022年检测数据进行对比，两年度索力实测值偏差总体介于（-4.17%~2.46%）之间，全桥索力本周期未出现明显变化。	
5）桥面线形测量结果（检测时间：2023年8月）	
通过本次测量，全桥桥面整体线形顺畅，无明显突变点。	
（6）耐久性专项检测	
为详细了解丁字湾河口大桥各构件耐久性状况，运营单位于2024年特委托进行了专项耐久性检测，对混凝土结构的外观耐久状态、混凝土强度、钢筋保护层厚度、混凝土碳化深度、逐层氯离子含量、混凝土电阻率、钢筋锈蚀电位及斜拉索等进行了检测，检测结论见附录1。	
2. 检测状况对比	
根据历年检测报告，桥梁技术状况对比见下图：	

检测时间		2015 年	2019	2022 年 4 月	2022 年 11 月	2023 年
检测单位		西安长大公路工程检测中心	铁正检测科技有限公司	山东省公路桥梁检测中心有限公司	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	山东省公路桥梁检测中心有限公司
检测内容	表观检查	✓	✓	✓	✓	✓
	材质检测	✓	✓	✓		✓
	索力测试		✓	✓	✓	✓
	荷载试验	✓				
	线形测量				✓	✓
检测结论	桥梁技术状况	引桥：2 类 主桥：2 类	引桥：2 类 主桥：2 类	引桥：3 类 主桥：2 类	引桥：3 类 主桥：2 类	引桥：3 类 主桥：2 类
	外观检查	①伸缩缝轻微堵塞、反光板缺失破损和混凝土护栏涂层开裂掉皮； ②主梁存在水平及竖向裂缝、剥落露筋、蜂窝麻面及粗骨料外露等病害； ③支座个别限位装置未拆除。	/	/	①上部承重构件病害主要表现为纵向裂缝、斜向裂缝、横向裂缝、网状裂缝、混凝土钢筋锈胀、剥落、破损、砼夹渣、蜂窝、麻面、露筋、破损露筋；上部一般构件（横隔板）病害主要表现为竖向裂缝、U 形裂缝、横向裂缝、L 形裂缝、斜向裂缝纵向裂缝。 ②支座个别限位装置未拆除。 ③桥墩存在网状裂缝、竖向裂缝、露筋、孔洞、掉角、蜂窝、麻面等病害。 ④桥面铺装病害主要表现为纵向裂缝、网状裂缝，个别构件出现坑槽、拥包。 ⑤伸缩缝装置主要病害表现为锚固区混凝土纵向开裂。 ⑥栏杆、护栏主要病害表现为竖向开裂。	①引桥箱梁腹板及底板存在纵向开裂，底板、腹板多条斜向开裂、网裂。 ②主桥横、纵梁横向裂缝，竖向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝、胀裂、蜂窝麻面。 ③主桥斜拉索下锚头护筒存在不同程度锈蚀，护筒缺失。 ④引桥桥墩墩身上缘出现多条竖向裂缝。 ⑤主引桥桥墩基础均未设置护墩体，存在过往渔船发生剐蹭、碰撞损坏隐患。 ⑥桥面铺装：全桥桥面铺装存在多条纵向开裂网状开裂 ⑦伸缩缝锚固混凝土均出现顺桥向纵向裂缝 ⑧护栏均存在不同程度防腐涂层起皮、剥落现象，表观较差。
	材质状况	混凝土强度、保护层厚度、碳化深度指标均良好	混凝土强度、保护层厚度、碳化深度指标均良好	混凝土强度、钢筋锈蚀、碳化深度指标良好；钢筋保护层厚度对结构钢筋耐久性影响不显著或有轻度影响；氯离子含量对诱发钢筋锈蚀的可能性为不确定。		
	索力测量	实测值与理论值偏差相差不大	小桩号侧索塔左幅索力普遍比右幅大，大桩号侧索塔右幅索力较左幅偏大，靠近索塔位置的短索索力小于远离索塔位置的长索索力，加强监测	部分索力偏差大于10%	10 根拉索与 2022 年测试结果相差 10%以上，最大偏差 34.6%；7 对拉索左右幅索力差值超过 10%。	索力实测值偏差总体介于（-4.17%~2.46%）之间

检测时间		2015 年	2019	2022 年 4 月	2022 年 11 月	2023 年
检测单位		西安长大公路工程检测中心	铁正检测科技有限公司	山东省公路桥梁检测中心有限公司	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	山东省公路桥梁检测中心有限公司
	线形测量				有一定的差异	全桥桥面整体线形顺畅，无明显突变点。

6.2 养护历史

2018年6月对全桥中央分隔带钢护栏进行了除锈、防腐涂装维修。

7. 设计原则

本桥作为2024年国家公路现代养护工程试点依托项目，基于全寿命周期养护理念，针对北方冰冻海域高盐、冻融等环境特点，在智能快速检测、数据分析评估、养护科学决策、养护设计与施工、新材料应用等方向全面开展试点，加快构建北方跨海桥梁现代科学养护技术体系，实现试点桥梁的科学长效养护，为北方冰冻海域近海桥梁的安全耐久提升提供技术支撑。本次维修方案设计的原则是：

1. 安全性原则

设计方案应符合相关的国家和行业标准，使得维修加固后的结构能够满足在原设计荷载标准下的正常安全使用。

2. 全寿命周期原则

遵循全寿命周期成本理念原则。严格遵循全寿命周期养护设计理念和环保可持续发展的原则，准确把握性能衰减规律，加强预防性养护设计，减缓病害发展速度，延长桥梁使用寿命，并保持良好的使用功能。

3. 经济性原则

进行生命周期成本分析，综合考虑初始投资、维护成本和使用寿命，选择经济效益最优的方案。根据桥梁的重要性和损坏程度，合理分配维修加固资源，确保资金的有效使用。在选择加固技术时，综合考虑技术可行性和经济性，选择技术成熟、经济合理的方案。

4. 科学决策原则

收集桥梁基础数据和历年检测数据，通过对数据进行综合决策分析，判断病害发展趋势，逐步由传统经验判断向数据驱动的科学决策转变。

5. 可持续性原则

在设计过程中，注重环保，尽量减少对环境的影响，如减少施工过程中的废弃物和污染。尽可能选用可再生或环保材料，促进资源的可持续利用。在加固过程中，采用节能技术和措施，降低能源消耗和排放。

6. 施工可行性原则

设计方案应尽量简化施工工艺，减少施工难度和工期，提高施工效率。应考虑施工对交通的影响，尽量减少交通中断和通行不便。

7. 综合性原则

综合考虑结构工程、材料科学、施工技术、环境保护等多学科的知识，形成综合性的解决方案。不仅要关注当前的修复和加固效果，还要考虑长远的使用效果和维护需求，确保桥梁在未来的可靠性和耐久性。

8. 动态设计原则

加强施工阶段的设计服务，及时跟踪病害发展及结构变化情况，适时调整养护方案。

8. 养护需求分析

8.1 养护决策目标

以公路养护高质量发展为主线，探索养护工程新理念、新模式、新技术，加强管理创新及技术创新，通过实施试点项目，充分发挥养护工程试点“头雁”效应，形成一批可复制、可推广的经验做法，促进全面提升养护工程科学化、智慧化、绿色化、精细化、集约化水平。

在全寿命周期养护理念指导下，充分利用融合建设、养护历史数据和桥梁现状，采取有效措施保障结构安全耐久，实现良好的社会经济综合效益。

8.2 桥梁现状

丁字湾大桥由海阳市政府投资，海阳市交通运输局负责建设、管理，于2012年5月28日建成通车，曾荣获2016～2017年度公路交通优质工程（李春）奖，2018年通过竣工验收，迄今已运营超过13年，该桥运营期间，桥梁未发生较大事故，建成以来仅在2018年对中央分隔带钢护栏进行除锈、防腐涂装维修，从未对历年桥检报告中存在的病害进行维修，桥梁处于失养状态，带病工作，既包含着安全隐患，亦将大大缩短桥梁使用寿命。

目前，根据2023年对丁字湾大桥进行的桥梁检测，大桥技术状况等级被评为**引桥3类，主桥2类**，桥梁表观病害较多，耐久性问题较严重，亟需对桥梁进行预防养护，以提升桥梁状况。

8.2.1 环境因素

海洋腐蚀区域划分为大气区、浪溅区、潮差区、全浸区和海泥区五个区域。海洋浪溅区由于干湿交替频率高、供氧充分、含盐粒子量高、来自太阳的紫外线等因素，是海洋腐蚀区域中最苛刻的区带。

海洋浪花飞溅区简称浪溅区是一种气相、液相和附加应力共存的复杂的腐蚀环境。海水

是含有悬浮泥沙、溶解气体、生物、有机物和多种盐类的强腐蚀性电解质。处于浪溅区的海工设施除了经受海水腐蚀,还要经受海洋大气阳光幅照,盐分浓缩、潮差和海浪引起的干湿交替的作用,以及风、雨、波浪和海流的机械冲击作用。与海水全浸区相比,此区域的涂层老化速度更快。因此,潮差浪溅区成为海洋环境中腐蚀最为严重的区域。

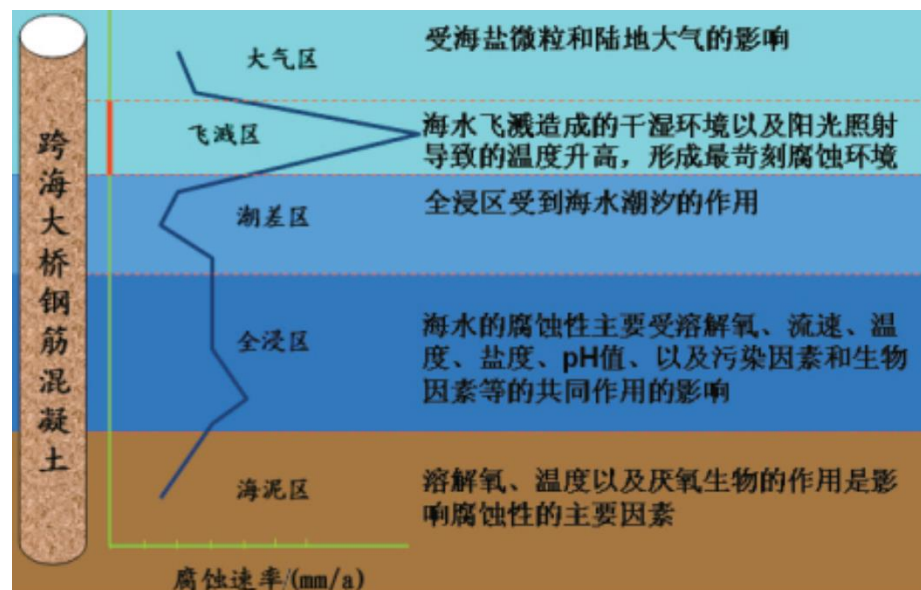


图 8-1 跨海桥梁钢筋混凝土在不同腐蚀区带的腐蚀特点

因此,应对处于潮差浪溅区结构进行特殊防护,以提高结构的耐久性。

丁字湾大桥位于烟台市滨海公路海阳段终点,地处烟台海阳市与青岛即墨市交界处,黄海与丁字湾交接的丁字河口,所处地域最冷月份为1月,平均温度为-3.7℃,历年极端最低气温-16.3℃,为典型的北方跨海桥梁。与其他地区桥梁相比,本桥最为显著的特征为桥梁处于高盐(氯离子侵蚀严重)、冻融环境中,处于该环境下,桥梁钢筋混凝土结构腐蚀较快。

1. 氯离子侵蚀

氯离子对钢筋混凝土的侵蚀主要体现在以下五个方面:

(1) 破坏钢筋钝化膜

水泥水化所形成的高碱性环境($\text{pH} \geq 12.6$),使混凝土内的钢筋表面产生一层致密钝化膜。最新研究表明,该钝化膜中包含有 $\text{Si}-\text{O}$ 键,对钢筋有很强的保护作用,这正是混凝土中钢筋正常情况下不受腐蚀的主要原因。然而,钝化膜只有在高碱性环境中才是稳定的,研究和实践表明,当 $\text{pH} < 11.5$ 时(临界值),钝化膜就开始不稳定;当 $\text{pH} < 9.88$ 时,钝化膜生成困难或已经生成的钝化膜逐渐破坏。氯离子进入混凝土中并到达钢筋表面,当它吸附于局部钝化膜时,可使该处的 pH 值迅速降低。有微观测试试验表明,氯离子的局部酸化作用,可使钢筋表面 pH 值降低到4以下,从而使钢筋钝化膜破坏。

(2) 形成“腐蚀电池”

氯离子对钢筋表面钝化膜的破坏首先发生在局部(点),使这些部位(点)露出了铁基体,与尚完好的钝化膜区域之间构成电位差,铁基体作为阳极而受腐蚀,大面积的钝化膜区作为阴极。腐蚀电池作用使得钢筋表面产生点蚀,由于大阴极(钝化膜区)对应于小阳极(钝化膜的破坏点),坑蚀发展十分迅速。这就是氯离子对钢筋表面产生以“坑蚀”为主破坏的原因所在。

(3) 氯离子的阳极去极化作用

氯离子不仅促成了钢筋表面的腐蚀电池,而且加速了电池作用的过程。阳极反应过程形成 Fe^{2+} ,如果生成的 Fe^{2+} 不能及时搬运走而积累于阳极表面,则阳极反应就会因此受阻;相反,如果生成的 Fe^{2+} 能及时被搬运走,那么阳极过程就会顺利进行乃至加速进行。 Cl^- 与 Fe^{2+} 相遇会生成 FeCl_2 , Cl^- 能使 Fe^{2+} 消失,从而加速阳极反应。通常,将使阳极过程受阻称为阳极极化作用;将加速阳极过程者,称为阳极去极化作用,而 Cl^- 正是发挥了阳极去极化的功能。

由于 FeCl_2 是可溶的,在向混凝土内扩散时遇到 OH^- ,立即生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (沉淀),进一步氧化成铁的氧化物(通常看到的铁锈),而氯离子则重新游离出来,继续进行反应。可以看出, Cl^- 只是参与了过程,同时起到了搬运作用,重要的是它在整个过程中并没有被消耗掉,换言之,凡是进入到混凝土中游离状态的氯离子,会周而复始地起破坏作用,这也是氯盐危害的特点之一。

(4) 氯离子的导电作用

腐蚀电池的要素之一是要有离子通路。混凝土中氯离子的存在,强化了离子通路,降低了阴极、阳极之间的电阻,提高了腐蚀电池的效率,从而加速了电化学腐蚀过程。氯盐中的阳离子(Na^+ 、 Ca^{2+} 等)也降低阴极、阳极之间的电阻,但不参与阴极、阳极过程。

(5) 氯离子与水泥的作用及对钢筋锈蚀的影响

水泥中的铝酸三钙(C_3A),在一定条件下可与氯离子作用生成不溶性“复盐”,降低了混凝土中游离氯离子的存在,从这个角度讲,含 C_3A 高的水泥品种有利于抵御氯盐的侵害。但是应该注意的是,这种复盐只有在强碱性环境下

才能生成和保持稳定,当混凝土的碱度降低时,复盐会发生分解,重新释放出氯离子。就此而言,复盐还有潜在危险的一面,保持混凝土的高碱性对于防止复盐的分解也是非常重要的。此外,在同时含有硫酸盐的情况下,氯离子与 C_3A 反应生成复盐,也有利于降低硫酸盐与 C_3A 作用而产生的膨胀破坏,即氯盐在一定条件下可抑制硫酸盐对混凝土的破坏作用,条件仍然是必须保持混凝土的高碱度,并且氯盐、硫酸盐在混凝土中有较低的浓度。否则,氯盐与硫酸盐高浓度的叠加作用,将大大加速钢筋锈蚀和混凝土的破坏。

2. 冻融

混凝土冻融破坏分为一般冻融破坏（即水中冻融破坏）和盐冻破坏，其破坏机理如下：

（1）混凝土冻融破坏机理

混凝土在饱水状态下因冻融循环产生的破坏作用称为冻融破坏，混凝土处于饱水状态和冻融循环交替作用是混凝土发生冻融破坏的必要条件。围绕混凝土冻融破坏机理的研究形成了多种理论，如静水压理论、渗透压理论、水的离析成层理论、充水系数理论、临界饱水值理论和孔结构理论。目前，对于混凝土

土冻融破坏的机理研究还没有形成统一的理论，这其中最具代表性的是Powers的静水压理论以及Powers和Helmuth的渗透压理论。

静水压理论认为：冰冻过程中，混凝土孔隙中的部分孔溶液因结冰膨胀，迫使未结冰的孔溶液从结冰区向外迁移，而孔溶液在可渗透的水泥浆体结构中移动，必须克服黏滞阻力，从而产生静水压，形成破坏应力。通常，流动黏阻力即静水压力随孔溶液流程长度的增加而增加，因此它存在一个极限流程长度，若流程长度大于临界值，则静水压力将超过材料的抗拉强度而发生破坏。混凝土拌合时掺入引气剂后，硬化后混凝土浆体内分布有不与毛细孔连通的、相互独立且封闭的空气泡，空气泡直径达25~500um，且不易吸水饱和。空气泡的存在使受压迫的孔隙水可就近排入其中，提供了孔隙水的“卸压空间”，缩短了孔隙水的流程长度，减小了静水压力，从而使混凝土的抗冻性大大提高，这就是引气混凝土抗冻性远好于普通混凝土的原因。

渗透压理论认为，由于混凝土孔溶液中含有钾、钠、钙离子等盐类，大孔中的部分溶液先结冰后，未冻溶液中盐的浓度上升，与周围较小孔隙中的溶液之间形成浓度差。这个浓度差的存在使小孔中溶液向已部分冻结的大孔迁移。即使是浓度为0的孔溶液，由于冰的饱和蒸气压低于同温度下水的饱和蒸汽压，小孔中的溶液也要向已部分冻结的大孔溶液迁移。由于混凝土孔隙中水的冰点随孔径的减小而降低，胶凝孔中处于过冷状态的水分子因其蒸气压高于同温度下冰水的蒸气压而向毛细孔中冰水的界面处渗透,于是在毛细孔中又产生压力这也将导致毛细孔中的冰体积进一步膨胀。可见渗透压是孔溶液的盐浓度差和饱和蒸气压差共同形成的。当渗透压超过混凝土的抗拉强度时混凝土就会开裂。对静水压和渗透压何为冻融破坏的主要因素，很多学者有不同的见解。虽然Powver早期提出了静水压假说，但是在后来的研究中发现，有些重要观察结果无法用静水压解释，如未引气净浆在温度保持恒定时的连续膨胀，引气净浆的收缩。预期的冰冻速率对冻害程度的影响也未能始终如一观察到，因此Power本人后来偏向了渗透压假说。

一般认为：水灰比大、强度较低及龄期较短、水化程度较小的混凝土，静水压破坏是主

要的：而对水灰比较小、强度较高及含盐量较大环境下冻结的混凝土渗透压是破坏的主要原因。

（2）混凝土盐冻破坏机理

混凝土的盐冻破坏一般是指在冻融循环条件下，由盐引起的混凝土表面剥蚀破坏，多发生于寒冷地区海洋环境和除冰盐环境中的混凝土结构。盐冻破坏作为混凝土冻融破坏的一种特殊形式，其破坏机理既有与混凝土一般冻融破坏机理相似的地方，又有其自身独有的一些特点。一方面，盐的存在降低了混凝土中可冻水的冰点，这是对减小混凝土冻融破坏有利的因素，另一方面，盐的存在又对混凝土的冻融破坏产生了很多不利影响。总体看来，盐冻对混凝土的破坏要比冻融对混凝土的破坏更加严酷。盐的存在对混凝土冻融破坏的不利影响主要体现在以下几个方面：

(a)提高了混凝土中的饱水度。试验表明，混凝土内含盐量越高，混凝土中的平衡饱水度越高，吸水时达到平衡的时间越短，而失水时达到平衡的时间越长，即盐的吸湿性和保水性使混凝土的初始饱和度明显提高，可冻水增多，冻胀力增大。

(b)由于盐的浓度差，使受冻时混凝土孔隙中产生更大的渗透压，又因分层结冰而产生更大的应力差。

(c)由于盐产生的过冷水处在不稳定状态，使其在毛细孔中结冰时的结冰速度更快，产生更大的静水压。由于盐使冰雪融化时要吸收大量的热量，使冰雪覆盖层下的混凝土温度剧降，从而导致额外的冻害。

(d)含盐混凝土在水分蒸发失水干燥时，孔中盐溶液过饱和而结晶，产生一个额外的结晶压力。

8.2.2 桥梁交通量

经查，在2017年~2022年，观测点对G228的交通量进行了观测，2017年~2022汽车当量数均维持在9000~13000 pcu/d。

表 8-1 G228 国道历年交通量统计

路线名称	观测点	路段等级	所在地区	观测里程	车型	2017	2018	2019	2020	2021	2022
G228	田横	一级	即墨市	26.214	小货 1.0	214	444	457	456	619	470
					中货 1.5	573	908	875	827	1274	863
					大货 2.5	71	102	97	97	154	104
					特大货 4	132	479	432	437	815	446
					拖挂 4						
					集装箱 4	128	93	80	90	156	92
					小客 1.0	2985	4738	4698	4586	6293	4844

路线名称	观测点	路段等级	所在地区	观测里程	车型	2017	2018	2019	2020	2021	2022
					大客 1.5	141	208	201	197	289	227
					客车自然数	3126	4946	4899	4783	6582	5071
					货车自然数	1118	2026	1941	1907	3018	1975
					汽车自然数	4244	6972	6840	6690	9600	7046
					汽车当量数	5488	9399	9060	8929	13526	9361

丁字湾大桥所处位置路过车型大多为客车（占比70%以上），且多为小型客车，货车占比较小，多为中小型货车，桥梁北侧设有称重设施，可有效管控超载车辆。

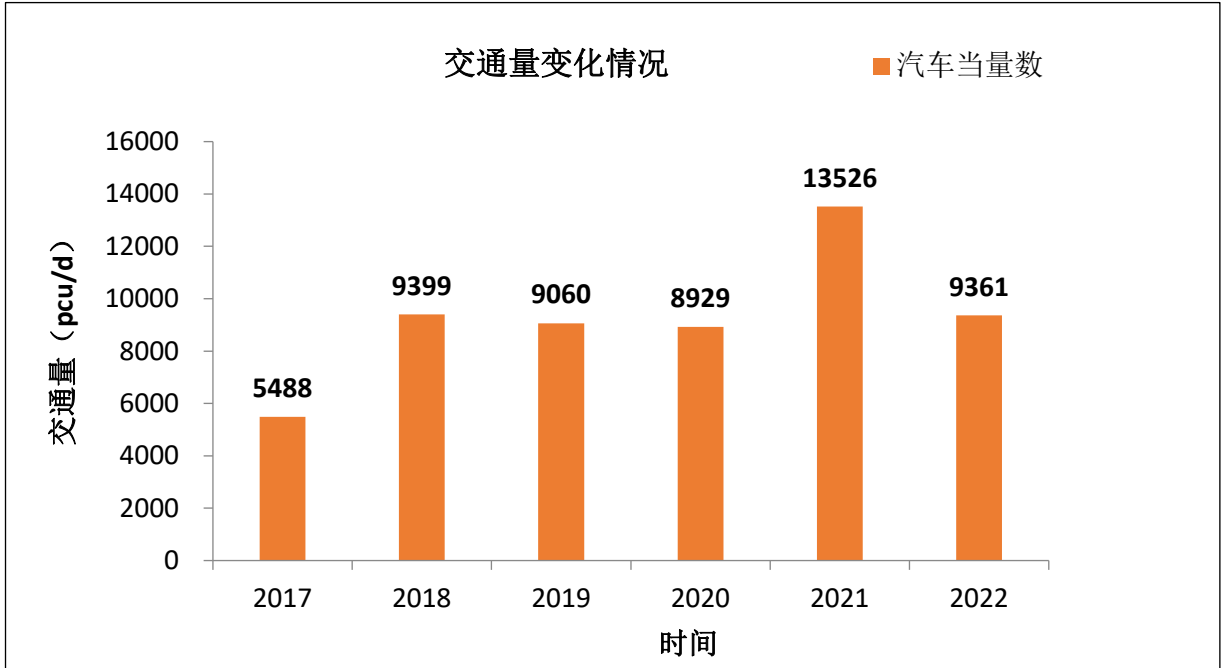


图 8-2 流量增长趋势图（田横观测点）

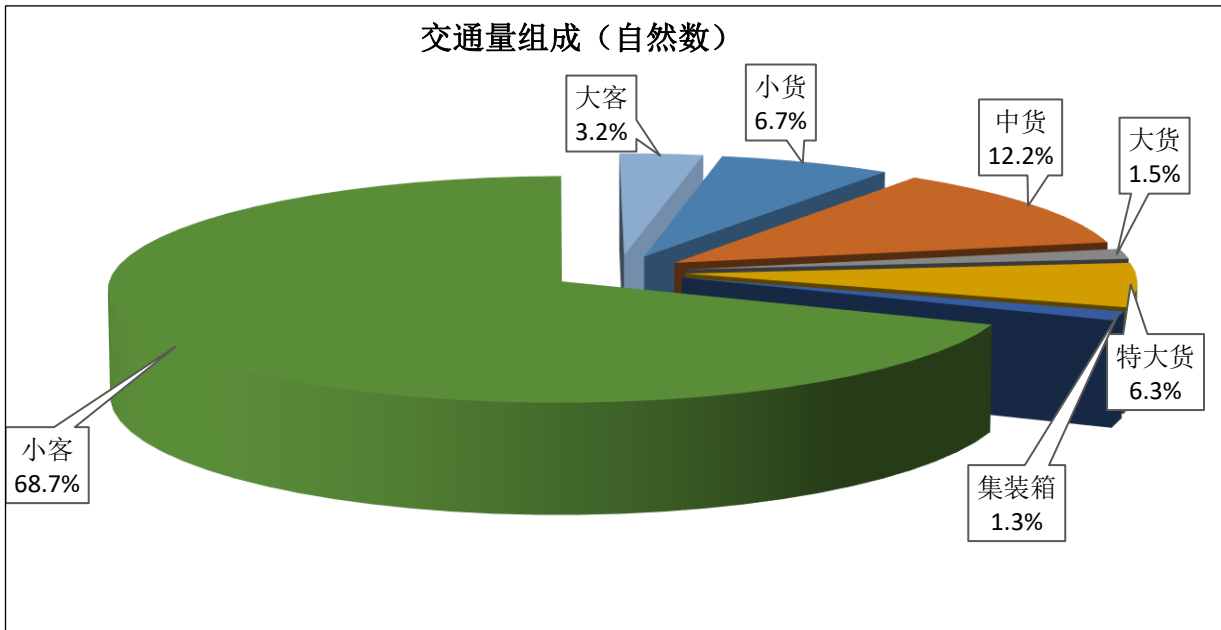


图 8-3 交通量组成示意图（自然数）

8.3 养护需求分析

为在全寿命周期时间尺度上实现跨海桥梁的养护科学决策，本次科学养护基于结构耐久状况、技术状况等对结构各部件开展养护需求分析。

8.3.1 耐久状况主导的养护需求分析

为更好的了解桥梁状态，为本次科学养护提供充足的依据，运营单位于2024年进行了专项耐久性检测，对混凝土结构的外观耐久状态、混凝土强度、钢筋保护层厚度、混凝土碳化深度、逐层氯离子含量、混凝土电阻率、钢筋锈蚀电位及斜拉索等进行了检测，并对桥梁各构件钢筋保护层厚度、混凝土碳化深度、逐层氯离子含量判别结构构件材质劣化和环境侵蚀程度，评估其“剩余耐久年限”。

1. 剩余耐久年限

本次科学养护，采用剩余耐久年限作为依据之一，可判断桥梁各构件耐久性，对剩余耐久年限不足的构件进行防护，根据《山东省跨海桥梁科学养护试点技术实施方案》，对丁字湾大桥开展全桥主体结构系统化耐久性检测与评估分析，建立各类构件耐久状况性能预测模型。

典型构件氯盐侵蚀预测模型如下图所示：

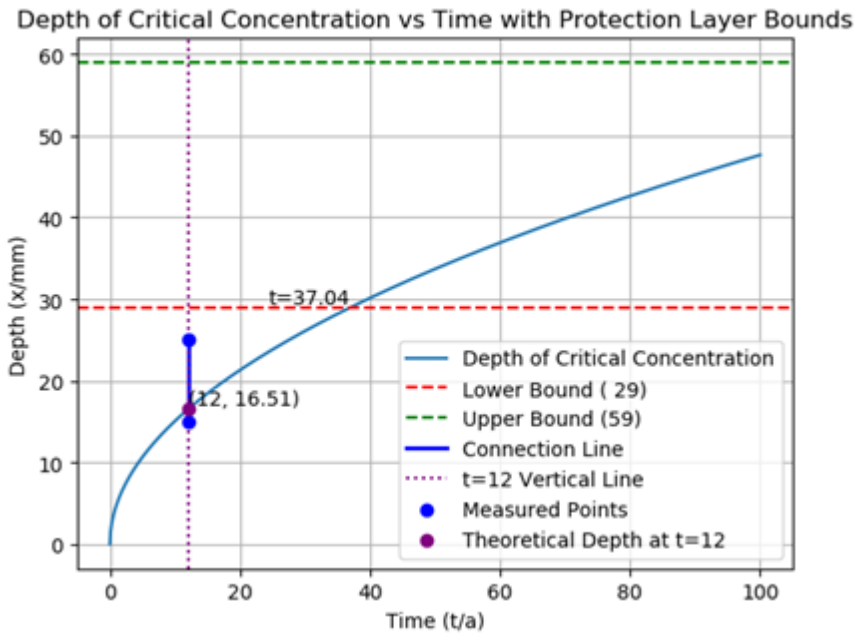


图 8-430m 跨桥墩浪溅区侵蚀深度预测模型

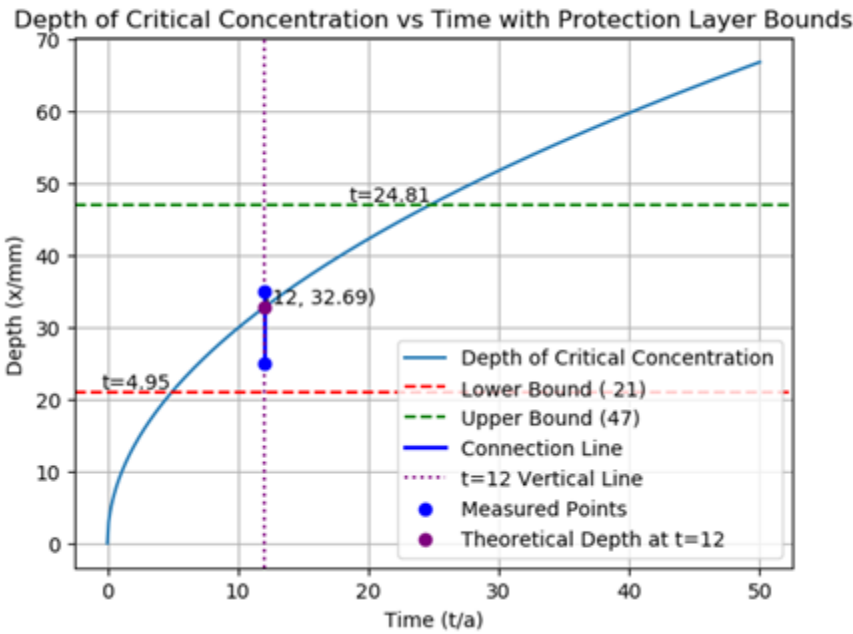


图 8-540m 跨桥墩浪溅区侵蚀深度预测模型

由预测模型可知，桥梁上部结构整体耐久性尚好； 30m跨桥墩处于海岸上，水变浪溅区虽未出现锈蚀但氯盐侵蚀剩余耐久年限不足；40m跨桥墩处于海水中，预测模型显示其在几年前氯盐侵蚀已到达钢筋表面，现场检测桥墩已出现锈蚀，与预测模型结果相符。

桥梁各构件耐久性评定结果如下：

表 8-2 丁字湾大桥引桥各评定单元耐久性评定结果

主体结构	构件类别	评定单元	构件数量	外观耐久状态	氯离子侵蚀系数 $mm/\sqrt{a}$	剩余耐久年限 a	耐久性等级
主梁	30m 箱梁	30m 箱梁	76	IIa	/	>100	II
	40m 箱梁	40m 箱梁	88	IIa	/	>100	II
桥墩	30m 桥墩	大气区	76	IIa	3.3320	>100	IIa
		水变浪溅区	76	IIa	4.1441	74.1	II
	40m 桥墩	大气区	88	IIa	/	>100	II
		浪溅区	88	III a	8.7893	1.95	III
		水变区	88	III a	7.5268	7.0	III

表 8-3 丁字湾大桥主桥各评定单元耐久性评定结果

主体结构	构件类别	评定单元	构件数量	外观耐久状态	氯离子侵蚀系数 $mm/\sqrt{a}$	剩余耐久年限 a	耐久性等级
主梁	主梁	纵梁单元	182	IIa	/	>100	II
		横梁单元	88	IIa	/	>100	II
索塔	索塔	索塔-大气区	4	IIa	/	>100	II
		索塔-浪溅区	4	IIa	5.9257	65.7	II

主体结构	构件类别	评定单元	构件数量	外观耐久状态	氯离子侵蚀系数 $mm/\sqrt{a}$	剩余耐久年限 a	耐久性等级
		索塔承台-水变区	4	IIa	7.3987	>100	II

由上表可知，桥梁30m桥墩水变浪溅区、40m桥墩浪溅区及水变区、索塔浪溅区的剩余耐久年限不足，需进行预防性养护，以提高耐久性。

2. 保护层厚度

同时，耐久性检测报告显示，主桥纵梁及横梁单元底部保护层的厚度偏小，腹板保护层整体尚好，建议对底板进行防护。

表 8-4 纵梁单元钢筋保护层厚度测试结果表

序号	构 件	测试部位	保护层厚度均值推定区间 (mm)						结果值 (mm)
			最大值	最小值	均值	变异系数	区间上限	区间下限	
1	L60-23#	底板	45	5	25	0.571	29	21	21
2	L60-23#	外腹板	62	31	47	0.131	48	45	47
3	L60-23#	内腹板	57	9	33	0.416	37	29	29
4	R60-23#	底板	47	4	18	0.590	21	14	14
5	R60-23#	外腹板	72	60	66	0.043	67	65	66
6	R60-23#	内腹板	52	8	39	0.241	42	36	36
7	L60-24#	底板	49	10	21	0.460	24	18	18
8	L60-24#	外腹板	64	45	56	0.061	57	55	56
9	L60-24#	内腹板	79	58	67	0.077	69	66	67
10	R60-24#	底板	55	6	30	0.555	35	25	25
11	R60-24#	外腹板	82	57	67	0.110	69	65	67
12	R60-24#	内腹板	58	46	53	0.062	54	52	53
13	L60-25#	底板	40	5	24	0.440	27	21	21
14	L60-25#	外腹板	74	53	63	0.085	65	61	63
15	L60-25#	内腹板	53	23	36	0.224	39	34	34
16	R60-25#	底板	51	7	24	0.561	28	19	19
17	R60-25#	外腹板	68	15	36	0.274	39	33	33
18	R60-25#	内腹板	64	45	54	0.081	55	53	54
19	L60-26#	底板	39	10	25	0.360	28	22	22
20	L60-26#	外腹板	70	33	59	0.162	62	56	56
21	L60-26#	内腹板	82	25	53	0.336	59	48	48
22	L60-27#	底板	48	11	29	0.384	33	26	26
23	L60-27#	外腹板	87	31	65	0.168	68	61	61
24	L60-27#	内腹板	60	12	39	0.351	43	35	35

表 8-5 横梁单元钢筋保护层厚度测试结果表

序号	构 件	测试部位	保护层厚度均值推定区间 (mm)						结果值 (mm)
			最大值	最小值	均值	变异系数	区间上限	区间下限	
1	R59#现浇段	底板	48	7	27	0.490	31	23	23
2	R59#现浇段	高桩侧	64	3	38	0.595	45	31	31

序号	构 件	测试 部位	保护层厚度均值推定区间(mm)						结果值 (mm)
			最大值	最小值	均值	变异系数	区间上限	区间下限	
3	R59#现浇段	低桩侧	84	50	65	0.119	68	63	65
4	R59-1#	底板	52	6	25	0.604	30	20	20
5	R59-1#	高桩侧	62	43	55	0.076	56	53	55
6	R59-1#	低桩侧	58	41	47	0.074	48	46	47
7	R60-23#	底板	37	5	14	0.595	16	11	11
8	R60-23#	高桩侧	57	42	50	0.070	51	49	50
9	R60-23#	低桩侧	53	32	45	0.124	47	43	45
10	L60-24#	底板	43	4	20	0.449	23	17	17
11	L60-24#	高桩侧	51	23	39	0.186	41	37	37
12	L60-24#	低桩侧	52	13	28	0.366	31	25	25
13	R60-24#	底板	50	6	26	0.483	30	22	22
14	R60-24#	高桩侧	54	39	48	0.063	49	47	48
15	R60-24#	低桩侧	64	23	51	0.177	53	48	48
16	L60-25#	底板	37	7	24	0.426	27	21	21
17	L60-25#	高桩侧	56	23	40	0.251	43	37	37
18	L60-25#	低桩侧	49	26	36	0.198	38	33	33
19	L60-27#	底板	38	6	17	0.488	20	14	14
20	L60-27#	高桩侧	54	8	42	0.274	45	38	38
21	L60-27#	低桩侧	56	42	48	0.076	49	46	48
22	L61#现浇段	底板	51	7	34	0.465	39	29	29
23	L61#现浇段	高桩侧	64	23	51	0.135	53	49	51
24	L61#现浇段	低桩侧	72	43	54	0.147	56	52	54
25	L61-20#	底板	41	16	30	0.271	33	27	27
26	L61-20#	高桩侧	54	42	47	0.059	48	46	47
27	L61-20#	低桩侧	64	23	52	0.167	55	50	50

3. 裂缝及表观病害

根据历年桥梁检测报告及现场调查发现，主桥主梁、横隔板、索塔、引桥主梁、桥墩等混凝土结构存在纵向裂缝、竖向裂缝、横向裂缝、网状裂缝、露筋、钢筋锈蚀等病害，建议对病害进行修复。

8.3.2 技术状况主导的养护需求分析

根据最近一次的桥梁检测报告（由山东省公路桥梁检测中心有限公司于2023年进行），主桥桥梁技术状况等级被评为2类，引桥被评为3类，各构件得分及等级见下表：

表 8-6 主桥总体技术状况评分表

桥梁总体技术状况评分 Dr	部位	技术状况等级	部位评分	部位权重	类别 i	评价部件	部件评分	部件等级	权重
83.69	上部结构 SPCI	3 类	77.97	0.4	1	斜拉索系统(斜拉索、锚具、拉索护套、减震装置等)	80.42	2 类	0.40
					2	主梁	60.24	3 类	0.25

桥梁总体技术状况评分 Dr	部位	技术状况等级	部位评分	部位权重	类别 i	评价部件	部件评分	部件等级	权重
					3	索塔	85.00	2 类	0.25
					4	支座	94.91	2 类	0.10
桥梁技术状况等级	下部结构 SBCI	2 类	93.49	0.4	5	翼墙、耳墙	/	/	/
6					锥坡、护坡	/	/	/	
2 类					7	桥墩	100.00	1 类	0.46
					8	桥台	/	/	/
					9	墩台基础	84.87	2 类	0.43
					10	河床	100.00	1 类	0.11
					11	调治构造物	/	/	/
					桥面系 BDCI	3 类	75.54	0.2	12
	13	伸缩缝装置	80.00	2 类					0.28
14	人行道	/	/	/					
15	栏杆、护栏	72.50	3 类	0.11					
16	排水系统	80.00	2 类	0.11					
17	照明、标志	75.00	3 类	0.06					

表 8-7 引桥总体技术状况评分表

桥梁总体技术状况评分 Dr	部位	技术状况等级	部位评分	部位权重	类别 i	评价部件	部件评分	部件等级	权重
78.46	上部结构 SPCI	3 类	72.65	0.4	1	上部承重构件 (主梁、挂梁)	66.99	3 类	0.70
					2	上部一般构件 (湿接缝、横隔板等)	85.86	2 类	0.18
					3	支座	85.84	2 类	0.12
桥梁技术状况等级	下部结构 SBCI	2 类	86.54	0.4	4	翼墙、耳墙	100.00	1 类	0.02
5					锥坡、护坡	84.87	2 类	0.01	
3 类					6	桥墩	87.41	2 类	0.31
					7	桥台	85.00	2 类	0.31
					8	墩台基础	80.15	2 类	0.29
					9	河床	100.00	1 类	0.07
					10	调治构造物	/	/	/
	桥面系 BDCI	3 类	73.92	0.2	11	桥面铺装	73.69	3 类	0.44
12					伸缩缝装置	71.53	3 类	0.28	
13					人行道	/	/	/	
14					栏杆、护栏	72.50	3 类	0.11	
15					排水系统	80.00	2 类	0.11	
16					照明、标志	78.27	3 类	0.06	

由上表得知，主、引桥各构件等级多为2、3类，根据《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-

2021）规定，对于2类桥应进行“修复养护、预防养护”，3类桥应进行“修复养护、加固或更换较大缺陷构件；必要时可进行交通管制”，结合桥检报告及现场调查出的病害，本次科学养护计划对桥梁存在2类及3类构件进行预防养护和修复养护。

8.3.3 缆索体系养护需求分析

1. 斜拉索索力不平衡

斜拉索已使用十余年，为保障斜拉索索力值在合理范围内，桥面线形正常，近几年已委托多家检测单位对斜拉索索力进行测量，山东省路桥梁检测中心有限公司（2022年4月、2023年5月）、招商局重庆公路工程检测中心有限公司（2022年、2022年11月）测定的索力值及偏差如下：

表 8-8 招商局重庆公路工程检测中心有限公司测定索力值

拉索编号	左侧		拉索编号	右侧		左右差%	
	2022 年 11 月	2022 年 4 月		2022 年 11 月	2022 年 4 月	2022 年 11 月	2022 年 4 月
L-59-59-12	4270.3	4183.9	R-59-59-12	3501.7	4572.4	18.0	-9.3
L-59-59-11	4718.8	4673.3	R-59-59-11	4000.7	4718	15.2	-1.0
L-59-59-10	3901.8	3801.9	R-59-59-10	4206.9	3911.1	-7.8	-2.9
L-59-59-9	4102.8	4020.5	R-59-59-9	4165.2	3819.1	-1.5	5.0
L-59-59-8	4270.3	4218.1	R-59-59-8	3673.2	4109.5	14.0	2.6
L-59-59-7	4484.2	4416.9	R-59-59-7	4422.5	4436	1.4	-0.4
L-59-59-6	3467.2	3426	R-59-59-6	3456.6	3095.6	0.3	9.6
L-59-59-5	3423.7	3379.9	R-59-59-5	3885.5	3402.8	-13.5	-0.7
L-59-59-4	3278.6	3208.5	R-59-59-4	3278.6	3055.7	0.0	4.8
L-59-59-3	3361.2	3250.4	R-59-59-3	3307	3093.1	1.6	4.8
L-59-59-2	2902.6	2845.3	R-59-59-2	3110.1	3357.4	-7.1	-18.0
L-59-59-1	2600.8	2549.7	R-59-59-1	2539.2	2605.6	2.4	-2.2
L-60-59-1	2586.5	2490.2	R-60-59-1	2682.5	2502.6	-3.7	-0.5
L-60-59-2	3129.9	3008.9	R-60-59-2	3312.7	3025	-5.8	-0.5
L-60-59-3	2973.1	2867	R-60-59-3	3166.5	3237.1	-6.5	-12.9
L-60-59-4	3182.5	3105.2	R-60-59-4	3029.9	3168.6	4.8	-2.0
L-60-59-5	3529.7	3434.5	R-60-59-5	3381.1	3848	4.2	-12.0
L-60-59-6	3881.4	3840	R-60-59-6	3107.8	3376.4	19.9	12.1
L-60-59-7	3307.4	3288.9	R-60-59-7	4510.1	3349.9	-36.4	-1.9
L-60-59-8	3822.2	3736.3	R-60-59-8	4110.6	3618	-7.5	3.2
L-60-59-9	3786.4	3744.3	R-60-59-9	3978	4170.4	-5.1	-11.4
L-60-59-10	4590.5	4564.9	R-60-59-10	4088.1	4314.5	10.9	5.5
L-60-59-11	4913.3	4968.5	R-60-59-11	5219.2	4375	-6.2	11.9
L-60-59-12	3807.3	3800.8	R-60-59-12	5382.6	4096.3	-41.4	-7.8
L-60-60-12	4259.3	4213.4	R-60-60-12	4018.8	3987.4	5.6	5.4
L-60-60-11	4156.9	4091.3	R-60-60-11	4913.3	4869.7	-18.2	-19.0
L-60-60-10	4406.3	4323.3	R-60-60-10	4186.3	4145.4	5.0	4.1

拉索编号	左侧		拉索编号	右侧		左右差%	
	2022 年 11 月	2022 年 4 月		2022 年 11 月	2022 年 4 月	2022 年 11 月	2022 年 4 月
L-60-60-9	4174.5	4118.8	R-60-60-9	3726.3	3691.2	10.7	10.4
L-60-60-8	3838	3761.6	R-60-60-8	3901.3	3809	-1.6	-1.3
L-60-60-7	4403	3349.9	R-60-60-7	3447.9	3354.3	21.7	-0.1
L-60-60-6	3342.3	3294.8	R-60-60-6	3937.6	3866	-17.8	-17.3
L-60-60-5	3866	3815.3	R-60-60-5	3787.8	3548.6	2.0	7.0
L-60-60-4	3268	3229.9	R-60-60-4	3317.8	3082.5	-1.5	4.6
L-60-60-3	3225.7	3226	R-60-60-3	3094.9	2991.7	4.1	7.3
L-60-60-2	3343.7	3262.7	R-60-60-2	2952.2	2862.2	11.7	12.3
L-60-60-1	2282.8	2272.5	R-60-60-1	2288.1	2210.8	-0.2	2.7
L-61-60-1	2709	2603	R-61-60-1	2408	2343.9	11.1	10.0
L-61-60-2	3387.3	3320.7	R-61-60-2	2983.3	2874.9	11.9	13.4
L-61-60-3	3374.8	3277.1	R-61-60-3	3330.7	3226.6	1.3	1.5
L-61-60-4	3015.5	2979.5	R-61-60-4	3087.9	3015.5	-2.4	-1.2
L-61-60-5	3414.4	3352.7	R-61-60-5	3235.5	3163.6	5.2	5.6
L-61-60-6	3267.8	3236.8	R-61-60-6	3683.5	3626.1	-12.7	-12.0
L-61-60-7	4515.2	4474.3	R-61-60-7	4655.9	4581.6	-3.1	-2.4
L-61-60-8	4170.4	4135.6	R-61-60-8	4253.6	4239.5	-2.0	-2.5
L-61-60-9	3611.1	3565.7	R-61-60-9	4049.5	4003.4	-12.1	-12.3
L-61-60-10	3753.5	3721.4	R-61-60-10	3790.3	3698.4	-1.0	0.6
L-61-60-11	4420.1	4397.4	R-61-60-11	4632.3	4549.6	-4.8	-3.5
L-61-60-12	4532.3	4528.1	R-61-60-12	4248.8	4187.6	6.3	7.5

表 8-9 山东省路桥梁检测中心有限公司测定索力值

拉索编号	左侧		拉索编号	右侧		左右差%	
	2023 年 5 月	2022 年		2023 年 5 月	2022 年	2023 年 5 月	2022 年
L-59-59-12	4251.8	4183.9	R-59-59-12	4290.7	4187.6	-0.9	-0.1
L-59-59-11	4704	4673.3	R-59-59-11	4608.7	4549.6	2.0	2.6
L-59-59-10	3821.2	3801.9	R-59-59-10	3763.6	3698.4	1.5	2.7
L-59-59-9	4054.9	4020.5	R-59-59-9	4026.2	4003.4	0.7	0.4
L-59-59-8	4196.4	4218.1	R-59-59-8	4209.2	4239.5	-0.3	-0.5
L-59-59-7	4443.8	4416.9	R-59-59-7	4568.7	4581.6	-2.8	-3.7
L-59-59-6	3440.6	3426	R-59-59-6	3627.7	3626.1	-5.4	-5.8
L-59-59-5	3367	3379.9	R-59-59-5	3168.5	3163.6	5.9	6.4
L-59-59-4	3209.6	3208.5	R-59-59-4	3010.8	3015.5	6.2	6.0
L-59-59-3	3250.3	3250.4	R-59-59-3	3228	3226.6	0.7	0.7
L-59-59-2	2788.7	2845.3	R-59-59-2	2889.7	2874.9	-3.6	-1.0
L-59-59-1	2562.3	2549.7	R-59-59-1	2332.9	2343.9	9.0	8.1
L-60-59-1	2493.3	2490.2	R-60-59-1	2228.2	2210.8	10.6	11.2
L-60-59-2	3003.2	3008.9	R-60-59-2	2857.4	2862.2	4.9	4.9
L-60-59-3	2879.7	2867	R-60-59-3	3006.7	2991.7	-4.4	-4.3
L-60-59-4	3110.8	3105.2	R-60-59-4	3066.9	3082.5	1.4	0.7

拉索编号	左侧		拉索编号	右侧		左右差%	
	2023 年 5 月	2022 年		2023 年 5 月	2022 年	2023 年 5 月	2022 年
L-60-59-5	3446.2	3434.5	R-60-59-5	3550.5	3548.6	-3.0	-3.3
L-60-59-6	3860.6	3840	R-60-59-6	3859.1	3866	0.0	-0.7
L-60-59-7	3284.3	3288.9	R-60-59-7	3344.5	3354.3	-1.8	-2.0
L-60-59-8	3724.7	3736.3	R-60-59-8	3788.6	3809	-1.7	-1.9
L-60-59-9	3773.9	3744.3	R-60-59-9	3722.4	3691.2	1.4	1.4
L-60-59-10	4578.8	4564.9	R-60-59-10	4168.6	4145.4	9.0	9.2
L-60-59-11	4990	4968.5	R-60-59-11	4869.5	4869.7	2.4	2.0
L-60-59-12	3781.9	3800.8	R-60-59-12	4009.3	3987.4	-6.0	-4.9
L-60-60-12	4251.3	4213.4	R-60-60-12	4076.1	4096.3	4.1	2.8
L-60-60-11	4065.8	4091.3	R-60-60-11	4403.1	4375	-8.3	-6.9
L-60-60-10	4394.9	4323.3	R-60-60-10	4319.4	4314.5	1.7	0.2
L-60-60-9	4131.2	4118.8	R-60-60-9	4186.8	4170.4	-1.3	-1.3
L-60-60-8	3770.4	3761.6	R-60-60-8	3593.8	3618	4.7	3.8
L-60-60-7	3359.1	3349.9	R-60-60-7	3395.1	3349.9	-1.1	0.0
L-60-60-6	3284.9	3294.8	R-60-60-6	3383.5	3376.4	-3.0	-2.5
L-60-60-5	3828.7	3815.3	R-60-60-5	3841.1	3848	-0.3	-0.9
L-60-60-4	3222.4	3229.9	R-60-60-4	3179.3	3168.6	1.3	1.9
L-60-60-3	3230.5	3226	R-60-60-3	3237.1	3237.1	-0.2	-0.3
L-60-60-2	3265.5	3262.7	R-60-60-2	3025	3025	7.4	7.3
L-60-60-1	2177.7	2272.5	R-60-60-1	2501.6	2502.6	-14.9	-10.1
L-61-60-1	2604.2	2603	R-61-60-1	2608.3	2605.6	-0.2	-0.1
L-61-60-2	3316.7	3320.7	R-61-60-2	3363.2	3357.4	-1.4	-1.1
L-61-60-3	3277.8	3277.1	R-61-60-3	3161.3	3093.1	3.6	5.6
L-61-60-4	2968.5	2979.5	R-61-60-4	3047.8	3055.7	-2.7	-2.6
L-61-60-5	3357.4	3352.7	R-61-60-5	3414.3	3402.8	-1.7	-1.5
L-61-60-6	3251.5	3236.8	R-61-60-6	3081.9	3095.6	5.2	4.4
L-61-60-7	4485.1	4474.3	R-61-60-7	4449.3	4436	0.8	0.9
L-61-60-8	4129.9	4135.6	R-61-60-8	4130.6	4109.5	0.0	0.6
L-61-60-9	3555.7	3565.7	R-61-60-9	3831.1	3819.1	-7.7	-7.1
L-61-60-10	3736.8	3721.4	R-61-60-10	3940.9	3911.1	-5.5	-5.1
L-61-60-11	4444.2	4397.4	R-61-60-11	4720.3	4718	-6.2	-7.3
L-61-60-12	4539.7	4528.1	R-61-60-12	4551.6	4572.4	-0.3	-1.0

由上表可知，通过多次对斜拉索索力的测量，山东省路桥桥梁检测中心有限公司（2022年4月、2023年5月）测定的索力左右偏差值较小，基本在可接受范围内，招商局重庆公路工程检测中心有限公司（2022年11月）测定的索力值偏差较大，最大偏差值在40%以上，与现场调查过程中桥面线形实际情况不符，且不同时间得出的同一处左右两侧索力值差距也较大，初步判断招商局重庆公路工程检测中心有限公司测定的索力值应存在较大误差，不足以作为索力调整的依据，应进一步进行索力检测以保障斜拉索安全。

2. 斜拉索防护不足

同时，斜拉索下锚头防护罩存在不同程度锈蚀、缺失、存在积水以及油脂较少等病害，斜拉索PE护套也存在多处破损，以上病害均影响斜拉索防护能力，建议对斜拉索存在的病害进行修复养护。

根据《山东省跨海桥梁科学养护试点技术实施方案》，养护需求与科学决策内容汇总于表8-10。

表 8-10 丁字湾大桥科学决策汇总表

桥梁	评定单元	病害	外观耐久状态	耐久年限	关注	是否需要耐久性提升	养护内容
引桥	30m 箱梁	裂缝锈胀露筋、剥落等表观病害	IIa	满足	/	否	裂缝封闭，混凝土局部病害修补
	40m 箱梁						
	30m 跨墩-大气区	裂缝、混凝土破损	IIa	满足	/	否	裂缝封闭，局部病害修补
	30m 跨墩-水变浪溅区						
	40m 跨墩-大气区		IIa	满足	/	否	裂缝封闭，局部病害修补
	40m 跨墩-浪溅区						
	40m 跨墩-水变区		IIIa	不满足	考虑潮汐工况下施工条件	是	裂缝封闭，局部病害修补，耐久性防护提升
	北引桥右幅 39#墩		IIIa	不满足		是	
	大面积表面龟裂		/	/	/	/	UHPC 包围加固
主桥	纵梁	裂缝锈胀露筋、剥落等表观病害	IIa	满足	/	否	裂缝、破损修复
	横梁		IIa	满足	底板保护层的厚度偏小，不满足设计要求	是	裂缝、破损修复，对主桥主梁保护层厚度不足部分进行防护
	索塔-大气区	混凝土、涂层破损	IIa	满足	/	是	索塔外表面重新防护
	索塔-浪溅区		IIa	不满足	考虑潮汐工况下施工条件	是	
	索塔承台-水变区		IIa	满足		是	
斜拉索系统	下锚头	防护罩修饰、护筒缺失、积水、油脂较少	/	/	/	是	除锈，补充缺失的防护罩，导管内改注聚硫防腐密封胶
	斜拉索防护套	PE 材料多出破损	/	/	/	是	PE 护套局部修补
	斜拉索索力	部分左右索力值有差距	/	/	调整索力前应再次测定索力值	/	索力调整
桥面系	伸缩缝	锚固区开裂	/	/	/	是	封闭裂缝
	防撞护栏	混凝土护栏防腐涂层起皮、剥落现象；中分带钢护栏锈蚀	/	/	/	是	路侧防撞护栏浸瓷圭釉涂装，中分带钢护栏带锈涂装
	排水系统	滴水檐剥落，泄水管雨水侵蚀梁体	/	/	/	是	增设滴水檐；增设泄水孔集水装置

桥梁	评定单元	病害	外观耐久状态	耐久年限	关注	是否需要耐久性提升	养护内容
	照明系统	照明系统部分失效	/	/	/	/	修复照明系统
	桥面铺装	原桥沥青铺装老化，横纵缝	/	/	3类	是	采用低噪抗滑超表处进行提升

9. 科学养护内容与设计方案

具体病害根据科学决策中需本次养护构件、无需养护构件、需关注及后阶段养护构件结果，以预防为主、防治结合为原则，丁字湾大桥科学养护设计内容主要包括：

一、耐久性提升养护设计

- （1）上部结构、护栏及索塔进行修补并重做耐久性防护。
- （2）斜拉索系统重新防腐。
- （3）对潮差区、浪溅区范围内的桥墩进行耐久性防护。
- （4）箱梁翼缘底部增设集排水装置，部分影响通行安全的部分增设新型滴水檐。

二、常规养护设计

- （1）斜拉索索力调整。
- （2）北引桥右幅39#墩加固。
- （3）路侧防撞护栏重做防腐涂装，中分带钢护栏带锈涂装。
- （4）桥面铺装低噪抗滑超表处置。
- （5）排水系统、照明系统修复。
- （6）增设健康监测系统。

三、跟踪观测与全周期养护设计

对以下内容开展为期五年跟踪试验观测，优化预测与决策相关模型的准确性和适用性，根据结果实施全周期养护设计，形成养护闭环：

表 9-1 丁字湾大桥长期观测项目汇总

序号	长期观测项目	工作内容	效果评价
1	主桥护栏防腐涂层保护	主桥护栏表面浸瓷釉防护	防护完整性、是否出现裂缝、剥落等情况。
2	桥墩水变浪溅区部分防腐防护	直接围筑 UHPC、喷射 UHPC、预制 UHPC 永久模板+混凝土	UHPC 的抗渗、抗冻融及抗化学侵蚀能力
3	混凝土结构耐久性提升/防护	主梁底板、桥塔耐久性防护提升	混凝土结构耐久性检测
4	拉索防腐体系	防护罩除锈、防腐材料更换、增设阻尼器、索力调整	斜拉索锚头锈蚀情况检测；斜拉索索力、主桥线形变化长期监测。
5	沥青混凝土铺装防护方案	低噪抗滑超表处	路面各项指标恢复情况

具体病害原因分析与详细维修方案如下：

9.1 主桥 (88+200+88) m

1. 裂缝及表观破损

主梁主要表现为纵向裂缝、竖向裂缝、横向裂缝、露筋、钢筋锈蚀，主梁横隔板主要表现为横向裂缝、竖向裂缝、纵向裂缝等。

检查发现，横、纵梁共计存在96条横向裂缝最大缝宽为0.30mm；横梁共计存在74条竖向裂缝，最大缝宽为0.18mm；纵梁、顶板共计80条纵向裂缝，最大缝宽为0.25mm；顶板、横梁共计15条斜向裂缝，最大缝宽为0.20mm；顶板、横梁、纵梁共计14处胀裂；纵梁底板共存在2处蜂窝麻面。同时，3处索塔门洞位置存在竖向裂缝，个别裂缝贯穿门洞形成U型，最大缝宽0.19mm；索塔顶部位置1处混凝土缺损。

典型病害如图所示：

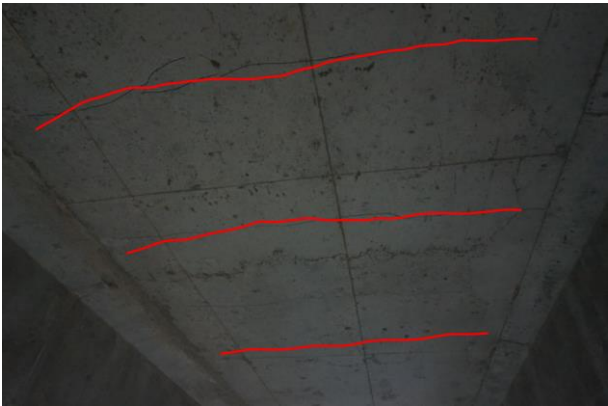


图 9-1 60-9#顶板纵向裂缝



图 9-2 右侧纵梁纵向裂缝



图 9-3 节段梁纵向裂缝



图 9-4 节段梁钢筋锈蚀



图 9-5 横隔板露筋



图 9-6 节段梁露筋

原因分析：

主桥多处横梁存在横向裂缝（此处横向裂缝为横桥向裂缝，沿横梁纵向），且个别横梁存在竖向裂缝，最大缝宽达0.30mm，横梁裂缝部分区域存在渗水泛白现象。裂缝产生的主要原因有：

- （1）由于保护层厚度不足，混凝土收缩受波纹管约束而产生的拉应力裂缝；
- （2）预应力对梁体混凝土产生压应力，由于泊松比效应，梁体混凝土沿预应力管道产生横向拉应力，若波纹管处混凝土厚度不足，则易产生沿预应力管道方向的横向裂缝；

梁板竖向裂缝、顶板纵向裂缝产生的主要原因为：

- （1）重型车辆通行，截面弯曲挠度产生裂缝；混凝土收缩、徐变，保护层厚度不足也可作为裂缝产生之原因；
- （2）裂缝缝口渗水泛白，分析为混凝土结构长期暴露于潮湿环境，缝口混凝土出现钙化吸附作用所致。

维修方案：

为保障大桥的安全性并提高结构耐久性，拟采取以下维修加固方案：

（1）混凝土裂缝修补

根据检测单位出具的检测报告，结构出现的裂缝主要为表观的非结构性裂缝，根据《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）第16.3节，对不同裂缝宽度采用不同的加固方案：

- 1）裂缝宽度小于0.2mm时，采用表面封闭法进行处理；
- 2）裂缝宽度在0.2～1.5mm之间，采用静压注射法进行补强；
- 3）裂缝宽度大于0.5mm的活动裂缝，宜采用填充密封法进行修补。

若裂缝伴有渗水泛白现象，应对板底渗水部位进行钻孔排水，以保证梁体空腔内干燥。

（2）混凝土结构局部病害修补

针对桥梁存在的结构混凝土破损、锈胀露筋、麻面及钢筋混凝土保护层厚度不足等病害，

采用丙乳砂浆或高强细石混凝土进行局部修复处理：

- 1）对面积较小，程度较轻的蜂窝、麻面、崩角和孔洞等一些浅表面的混凝土病害，先凿除其表面疏松腐蚀部分，然后采用聚合物水泥砂浆（如聚丙烯酸酯乳液砂浆，即丙乳砂浆）涂刮、抹面修补；
- 2）对程度较严重（孔洞及深度超过6cm）的麻面、局部混凝土的空洞、剥离、破损、缺失等，应先清除缺陷混凝土至新鲜混凝土表面，然后采用高强细石混凝土进行补强，最后对表面进行涂刮、抹面，（考虑底板空洞修补混凝土浇注困难，建议采用内衬垫板）
- 3）对混凝土破损较重，出现钢筋露出、锈胀部位时，应凿除梁板疏松、腐蚀及露筋部位剥落等劣化混凝土，并对外露锈蚀钢筋进行除锈处理，一般要到钢筋位置，用丙酮或酒精清洗干净沟槽内表面，在表面涂刷渗透型阻锈剂或环氧树脂涂层进行防腐，其性能应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）第4.7节的相关规定。对锈蚀损失面积达到钢筋面积20%以上的主筋，必须将其完全凿出，进行除锈处理后，在其侧面焊接同直径的接长钢筋，对于病害面积较大的区域，增加一层钢筋网，最后再用丙乳砂浆或高强细石混凝土将结构表面修补平整。

2. 斜拉索系统

（1）主桥斜拉索下锚头

- ◆ 锚头防护罩存在不同程度锈蚀；
- ◆ 根据桥检报告，共计抽检的32个下锚头护筒中，1个护筒缺失、6个护筒内存在积水、6个护筒内油脂较少、3个护筒底部螺母缺失。



图 9-7 锚头护筒出现锈蚀



图 9-8 锚头护筒出现锈蚀



图 9-9 斜拉索锚头现状



图 9-10 斜拉索锚头现状

维修方案：

- 1) 对全桥锚头防护罩进行除锈，补充缺失的锚头防护罩。
 - 2) 清理斜拉索导管内的防腐油脂，改注聚硫防腐密封胶。
 - a. 首先将所内原有的填充材料清除，并将预埋管内壁和斜拉索外套清洗干净（有条件时应采用必要的烘干措施，排出内部水分），达到密封条件后方可密封施工，以保证密封可靠，达到防腐、防水效果。
 - b. 将锚板与保护罩的溢水口及结合处的缝隙使用MF860F聚硫防腐密封胶密封好。
 - c. 使用MF2000G非硫化不干性防腐密封胶泵入预埋管内直至减震装置位置，确保密封胶注满导管内空腔，以达到最佳防腐密封效果。
 - d. 从防护罩的上端灌入MF2000G非硫化不干性防腐密封胶至指定位置。
 - e. 涂抹MF2000H防水嵌缝密封胶至设计要求。
 - f. 对拉索锚头，表面涂抹MF860F聚硫防腐密封胶进行密封。
- 以上各材料的性能特点见下表。

表 9-2 各防腐胶体优点

材 料	MF860F 聚硫防腐密封胶	MF2000G 非硫化不干性防腐密封胶	MF2000H 防水嵌缝密封胶
性 能 特 点	1.高拉伸强度和粘接强度，弹性好。 2.优异的耐水稳定性。 3.工作使用温度范围为-40～120℃，常温固化 4.良好的绝缘性能，防止电腐蚀。 5.优异的耐腐蚀性能 6.综合老化性能寿命达 80～100 年。	1.单组份不干性密封胶，与各种金属、玻璃、陶瓷等材料有良好的粘附性。 2.良好的密封防腐性能。 3.对普通碳钢和镀锌钢材等金属材料有阻蚀保护性能。 4.可有效吸收和转化密封空间内的水汽。 5.在-40～90℃工作温度范围内可长期保持可塑性。 6.优越的流动性，便于填充细小的空间 7.在密封空间内使用寿命可达 80～100 年。	1.与 PE 管和钢结构粘接性能优异。 2.对普通碳钢和镀锌钢材等金属材料有阻蚀保护性能。 3.有良好的密封防腐性能。

(2) 斜拉索防护

斜拉索现有护套为PE材料，已出现多处破损，影响斜拉索防护能力。



图 9-11 斜拉索现状

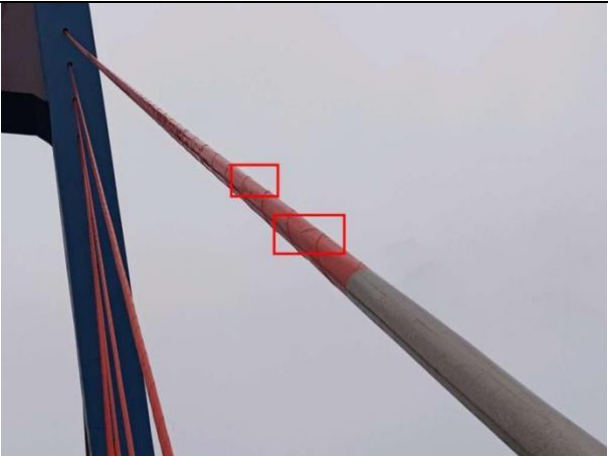


图 9-12 斜拉索防护层破损

维修方案：对现有PE护套进行局部修补

为保障斜拉索防护能力，本次维修施工采用对PE护套进行局部修补的方式进行，维修前应对PE护套破损较严重的部位进行开窗检查，确定PE护套内拉索是否暴露在空气中及拉索钢丝是否发生锈蚀，如过钢丝发生锈蚀，应对拉索钢丝进行除锈后再进行修补。

局部修补具体流程如下：

- ①清除灰尘：用3#砂纸打磨清除聚乙烯套管外壁的粉化层和污染层，用干净干燥的棉布擦拭表面无污迹；
- ②清洗：用醇类复合化学清洗剂对聚乙烯套管表面进行二次擦拭清洗，进一步除去表面残留的粉化微粒及污染微粒，确保表面清洁度；
- ③热熔PE料修复

对于斜拉索PE表面小于10平方厘米，且深度在3mm以下的开裂、破损，用专用焊枪将相同的PE原料覆盖并焊接在损坏处，再用电磨机进行表面处理，使损坏处恢复原有的护层厚度，并使索表面基本恢复原有平整状态。

对于修复面积大于10平方厘米，深度在3mm以上，采用加热套管进行恢复。施工时，先将相同的PE料填充在受损伤部位，然后用加热套管使PE原料热熔填充在损坏的缺口处，热熔完成后仍用电磨机进行表面处理，恢复表面平整。

施工时注意修补材料尽量与原护套颜色相近。

(3) 索力调整

本次索力调整仅对左右索力值差距大于10%的斜拉索进行调整，涉及斜拉索共计24对。调整前应由施工单位再次测定索力值，按照新测定的索力值偏差进行索力调整。

3. 主桥主梁防护

由于本桥为跨海大桥，处于海域环境，受到海洋环境的直接作用，在恶劣的海洋环境下，

长期受到海洋盐雾及融雪剂的侵蚀，跨海桥梁的混凝土壳体韧性差，易发生开裂且裂缝难以控制，进而加速氯离子侵蚀过程，导致钢筋锈蚀，大大降低桥梁混凝土的耐久性寿命。

根据耐久性检测报告，主梁底板保护层厚度均偏小，不能满足原设计要求最小保护层厚度，且主梁底部已出现多处露筋、锈胀等其他影响主梁耐久性病害。

维修方案：

为保障主梁耐久性，延长主梁服役年限，本次维修拟对主梁纵梁底面、横梁底面及侧面进行防护涂装，其余部分耐久性年限较长，可不进行防护。本次维修采用水泥基渗透结晶材料对主梁底面进行防护，水泥基渗透结晶材料指标及施工注意详见附录。



图 9-13 主梁露筋



图 9-14 横隔板露筋

4. 索塔防护

经检测及现场调查发现，索塔存在涂层开裂脱落和褪色，部分出现竖向开裂现象。



图 9-15 索塔表面裂缝



图 9-16 索塔表面保护涂层剥落

维修方案：

主塔防护考虑防护能力及外观，多方考虑之后，对主塔外表面采用弹性聚合物+三层防腐体系（环氧封闭漆+通用改性环氧树脂漆+氟碳面漆）；

依据《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》（JT/T 695-2007）的规定，要求涂层体系应具有一定的防腐年限，根据实际需要可分为普通型M（10年）和长效型H（20年）两类。结

合本桥实际情况，本次维修要求桥塔混凝土结构的防腐寿命20年。考虑到涂层防护的有效性和历史使用情况，本次防腐采用双层防护，首先对混凝土基面采用弹性聚合物改性水泥涂料进行全覆盖涂装防护；其次在水泥涂料防护涂层的表面采用（环氧）封闭漆+通用改性环氧树脂漆+氟碳面漆进行防护处理。

桥塔混凝土表面防腐处理方案如下表所示。

表 9-3 桥塔防腐涂层配套方案

体系配套	材料	涂层厚度/道数	备注
内层	弹性聚合物改性水泥涂料	2mm/1 道	应对混凝土基面进行预处理
外层	封闭底漆	≤50μm（干膜）/1 道	1.本方案依据 JT/T 695-2007 中 II - I m1 涂层体系 S2.08 设计； 2.氟碳面漆颜色应与业主商定。
	通用改性环氧树脂漆	100μm（干膜）/1~2 道*	
	氟碳面漆	60μm（干膜）/2 道	

注：表中标注*项通用改性环氧树脂漆涂层宜采用 2 道涂刷，若选用材料经验证也可采用 1 道涂刷。

主塔混凝土结构防腐处理具体施工工艺流程为：

1）表面处理：对原有桥塔混凝土表面（全部）进行处理，首先，全面清除原混凝土结构表面的旧涂料层（建议采用电动打磨机，并配置吸尘装置等）直至露出桥塔混凝土坚实、干净基面；其次，对混凝土局部病害（如锈迹污损、坑槽及拆除钢板造成的局部损伤等）采用聚合物砂浆（如丙乳砂浆等）进行修补或补强；如有钢筋锈蚀，则应对其进行除锈处理。

2）刮涂/喷涂弹性聚合物改性水泥涂料：利用材料的高防护性（防护侵蚀性离子和水）、高界面结合力、高弹性和长效防护性等技术优势，完成对混凝土的局部修补、补强和表面耐久性防护，提升修复混凝土构件的长期服役性能，延长修复工程使用寿命。

3）喷涂表面层防护：正式喷涂前，应对选用的颜色进行试喷，保证色泽稳定并与预期一致。

9.2 引桥

1. 裂缝及表观破损

丁字湾大桥引桥上部承重构件为连续箱梁。引桥共计82孔，构件总数为82。

引桥箱梁外部腹板及底板共计存在427条纵向开裂，最大缝宽0.28mm；箱梁底板、腹板部位共计存在39条斜向开裂，最大缝宽1.0mm；腹板裂缝多分布于腹板距底板0.2m~0.4m范围内，多数裂缝缝口无渗水痕迹；底板裂缝多分布于距左右边侧0.3m处，多数裂缝缝口无渗水痕迹。箱梁内部顶板中线两侧1m~2.2m范围内共计存在1444条纵向裂缝，最大缝宽0.25mm；裂缝多纵向断续性贯通全孔，宽度介于0.06mm~0.10mm之间，局部区域形成小面积网裂，未发现渗水痕迹。



图 9-17 箱外底板锈胀露筋



图 9-18 #箱外底板锈胀露筋



图 9-19 箱外左腹板纵缝



图 9-20 左侧滴水沿混凝土剥落



图 9-21 箱内顶板混凝土破损



图 9-22 箱内顶板纵向裂缝

引桥桥墩墩身上缘出现多条竖向裂缝，长度介于0.3~1.8m，最大缝宽为0.50mm；墩身共计存在4条水平裂缝，最大缝宽为0.18mm；墩身共计存在23处网状裂缝；



图 9-23 墩身竖向裂缝



图 9-24 墩身竖向裂缝



图 9-25 墩身网状裂缝



图 9-26 墩身横向裂缝

原因分析：

(1) 箱梁外部腹板、底板裂缝

全桥引桥箱梁外部共计存在280条纵向开裂，最大缝宽0.30mm；箱梁底板、腹板部位共计存在24条斜向开裂，最大缝宽0.40mm；箱梁底板、腹板及翼板处共计存在100处混凝土锈胀、钢筋锈蚀；腹板、翼板处共计存在3处网裂；连续箱梁底板、腹板共存在12处蜂窝麻面。

箱梁底板纵向裂缝、梁体腹板纵向及斜向裂缝多数与预应力管道位置相对应。裂缝成因初步分析是由施工时压浆不密实，浆体含水量大，积水、冻胀或保护层不足、混凝土表面收缩所致。

对比往年的检测报告，30m、40m连续箱梁梁体腹板沿预应力管道方向的顺向裂缝数量存在少量增加的趋势，单条裂缝长度在原裂缝两端有所延伸发展，但裂缝宽度未见明显变化，绝大多数裂缝均未发现渗水痕迹。

(2) 箱梁内部顶板裂缝

连续箱梁箱内顶板共计存在1591条纵向开裂，最大缝宽0.23mm；顶板共计存在140条斜向开裂，最大缝宽0.15mm。检测发现主梁顶板底面在中线两侧1m~2.2m范围内存在3~6条纵向裂缝，裂缝多纵向断续性贯通全孔，宽度介于0.06mm~0.10mm之间，局部区域形成小面积网

裂，未发现渗水痕迹。

根据箱梁顶板底面裂缝出现的位置，并结合铺装纵裂出现的位置，引桥箱梁顶板底面纵裂成因初步分析为桥面重车通行所致。该桥引桥箱梁结构横断面型式为单箱单室，顶板横向跨度较大，且桥梁所在道路交通量较大，重车通行较多，梁体在车辆长期荷载作用下整体刚度较为不足，导致在箱梁顶板中线位置产生纵向裂缝。

维修方案：

引桥表观裂缝及混凝土结构破损处理方式同8.1节主桥

2. 北引桥右幅39#墩加固

调查发现右幅39#桥墩出现大面积表面龟裂，且裂缝均伴有水分析出，初步判断有以下两种可能：

（1）建设期混凝土配合比出现问题，裂缝较深且连续，裂缝处水分为毛细作用所致（部分桥墩处于海水中）。

（2）表面为收缩裂缝，裂缝处水分为空气中水分吸入。

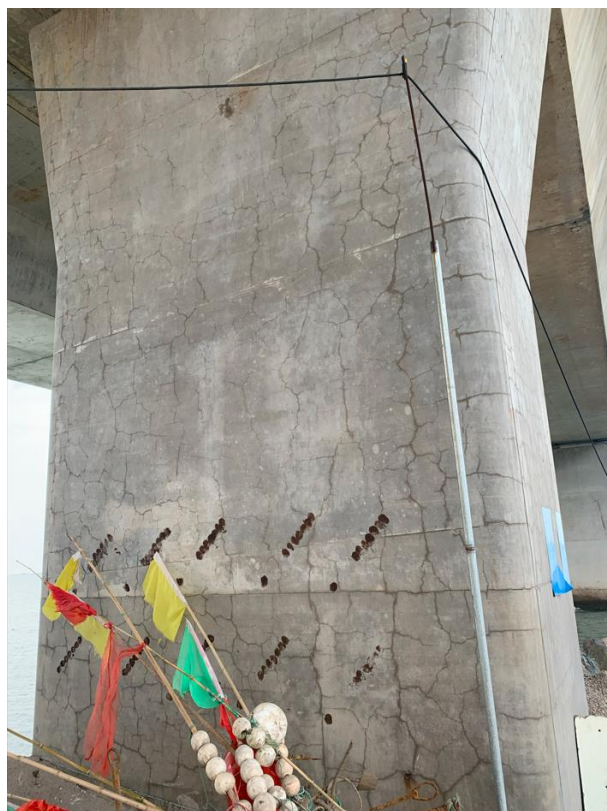


图 9-27 北引桥右幅 39#墩现状



图 9-28 北引桥右幅 39#墩现状

维修方案：

对该桥墩进行深入检测，使用取芯等手段确定裂缝深度，混凝土强度等。本次计划对该墩表面凿除至主筋后，对钢筋进行防锈处理，后采用20cm厚UHPC进行包围加固。

3. 引桥下部结构水变浪溅区防护

由于干湿循环频繁、含氧量充足、氯离子浓度较高等原因，海洋浪溅区环境作用对混凝土结构的腐蚀强度较高。为提升下部结构防护能力，本次维修拟对下部结构进行加强防护。

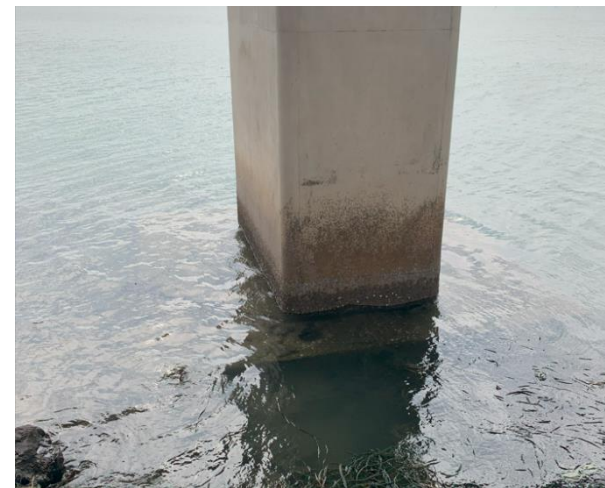


图 9-29 浪溅区引桥墩现状



图 9-30 浪溅区引桥墩现状

维修方案：

本次维修考虑以下几种方案：

方案一：直接围筑UHPC

清理桥墩及承台顶局部受到侵蚀的混凝土，采用10cm厚UHPC进行包围防护。

方案二：喷射UHPC

在对桥墩裂缝、锈胀露筋等表面缺损进行处理并进行清洁后，然后再喷射一层3cmUHPC对桥墩进行防护。



图 9-31 UHPC 材料喷射施工



图 9-32 UHPC 材料喷射施工后

方案三：预制UHPC永久模板+混凝土

依据UHPC力学性能优秀的特性,使用UHPC制作永久性模板可以避免在模板内配置钢筋，达到增强结构耐久性，减小模板厚度，减少材料使用的效果，模板最终与结构共同受力，能提高结构受力性能和耐久性，以预制标准板的制作方法，有利于提高标准板的制作良品率和适合工厂批量化预制，标准板相互之间扣合的施工方法，既保证施工速度又保障结构连接质

量，有利于装配式结构快速施工。

本项目提出的UHPC永久模板防护具体方法为：清理承台表面酥松物质，直接在桥位处组拼模板为整体，利用永久模板进行隔水浇筑承台外用混凝土，使模板、后浇混凝土、桥墩构件结合为一个整体。

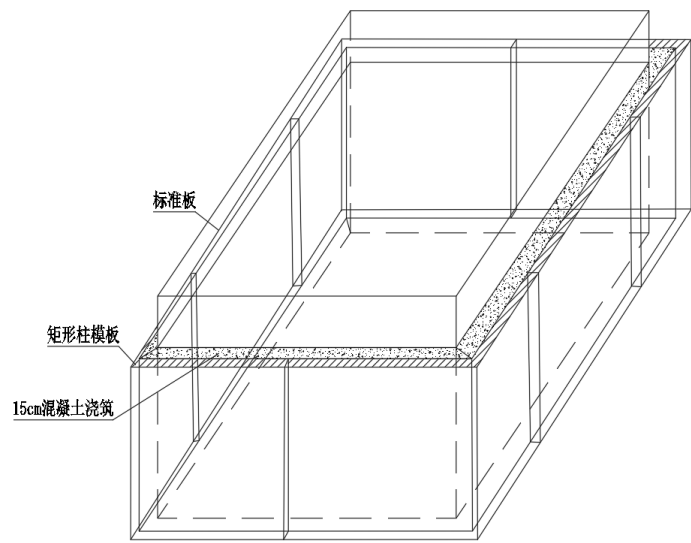


图 9-33 UHPC 永久模板防护示意

浪溅区防护方案：

考虑到浪溅区混凝土结构腐蚀的特点，UHPC作为新一代高性能水泥基材料，具有超高的力学性能和超强的耐久性能，被称为21世纪混凝土。它在新建结构和既有结构加固改造中的应用，有望从源头上解决传统混凝土结构自重大、易开裂、耐久性不足、维护费用高等共性难题，驱动桥梁工程的高质量发展。随着低碳建筑和交通强国战略的推进，UHPC在工程建筑中将有巨大的发展机遇。同时，为探索科学、合理的混凝土防腐体系，试点新技术、新材料应用。

本次科学养护对大桥部分桥墩水位变动区和浪溅区的防腐应用以上三种方案，三种方案应用部位见下表：

表 9-2 各防护体系应用部位

部位	防护方案
引桥 1#~15#、引桥 48#~58#、引桥 61#~74#	方案二：喷射 UHPC
引桥 16#~30#	方案三：预制 UHPC 永久模板+混凝土
引桥 38#~47#	方案一：直接围筑 UHPC

9.3 桥面系

1. 桥面铺装

全桥桥面铺装存在多条纵向开裂，长度介于1~29m，裂缝多数出现在行车道车轮碾压范

围内，局部纵向裂缝处发展为网状开裂，桥检报告中主、引桥桥面铺装部件等级均评为3类，需对桥面铺装进行修复性养护。



图 9-34 桥面铺装横裂



图 9-35 桥面铺装纵裂

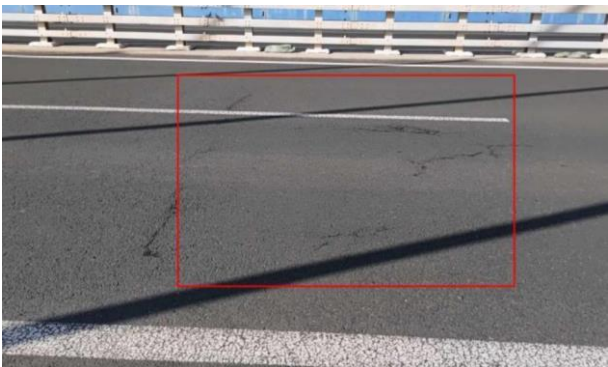


图 9-36 主桥桥面铺装网状裂缝



图 9-37 主桥桥面铺装网状裂缝

处置方案：

桥面铺装自2012年建成至今已通车运行十余年，期间未曾进行大中修，桥面铺装出现多处横、纵缝及网状开裂，沥青存在老化情况，但桥面铺装整体状况良好，为节省养护资金，故本次维修对桥面铺装采用低噪抗滑超表处解决路面老化问题。超表处技术要求详见附录。

考虑整体美观和行驶安全的需求，本次设计超表处置宽度为11.00m，罩面范围内所有标线、文字需清除，行车道范围内标线、文字原样恢复，施工过程注意对雨水篦子的保护。

2. 伸缩缝

丁字河口大桥全桥设置17道模数式伸缩缝，引桥伸缩缝共计15个构件。检查发现，伸缩缝锚固混凝土共计存在48条顺桥向开裂，总长度为39.0m。



图 9-38 主桥伸缩缝锚固区开裂

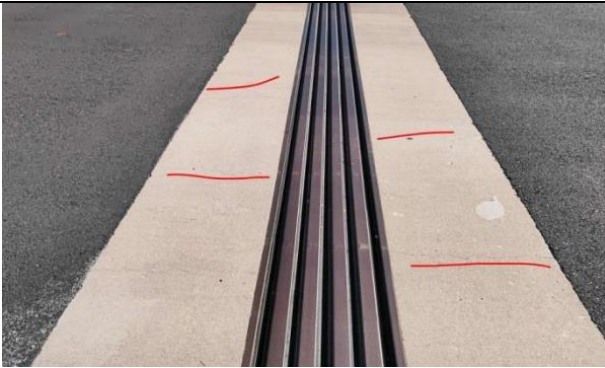


图 9-39 主桥伸缩缝锚固区开裂



图 9-40 引桥伸缩缝锚固区开裂



图 9-41 引桥伸缩缝锚固区开裂

维修方案:

对伸缩缝存在的裂缝进行封闭处理。

3. 护栏

全桥外侧混凝土护栏均存在不同程度防腐涂层起皮、剥落现象，表观较差，中分带钢护栏存在锈蚀、剥落现象。



图 9-42 外侧护栏现状



图 9-43 外侧护栏现状



图 9-44 外侧护栏现状



图 9-45 外侧护栏现状



图 9-46 中分带钢护栏现状



图 9-47 中分带钢护栏现状

维修方案:

(1) 路侧混凝土防撞护栏

本次维修对主桥路侧混凝土防撞护栏采用**浸瓷硅釉涂装**，浸瓷硅釉材料指标及施工注意详见附件。

同时更换路侧轮廓标。

(2) 中分带护栏锈蚀部分重新进行防腐涂装

考虑到中分带钢护栏于2018年进行了除锈、防腐涂装维修，且钢护栏现状良好，仅局部出现锈蚀情况，面积较小，基本均位于护栏横梁连接处，故本次养护维修采用**RS-S200带锈涂装工艺**

RS-S200带锈涂装涂料由底漆和面漆组成，均为双组分涂料，其中底漆含有多重聚酯树脂和高活性物质，涂膜固化后具有很强的附着力，遮盖力强，耐磨性强，渗透性优，面漆具有优异的耐老化、耐盐雾、耐酸碱、耐磨性能，在带锈面的钢结构上具有良好的防腐效果和防腐保护年限。

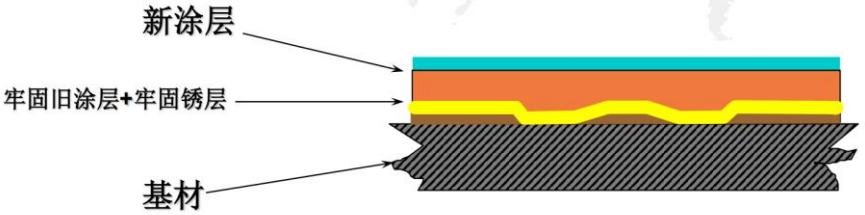


图 9-48 RS-S200 带锈防腐涂料涂层结构

4. 排水系统

引桥泄水管与现浇箱梁悬臂混凝土间存在间隙，且部分泄水管外伸长度不足，导致层间水及泄水管内部水深入箱梁腹板及底板，造成梁体雨水侵蚀，混凝土破损露筋等病害。同时，原桥设计中的混凝土滴水檐大量掉落，影响桥下行人安全。



图 9-49 引桥泄水管现状



图 9-50 滴水沿混凝土剥落

维修方案：

(1) 对存在渗水泄水管处的箱梁翼缘底部增设集排水装置，即通过带有法兰盘的排水管（排水管直径大于现状排水管10cm）通过射钉固定于箱梁翼缘，法兰盘与箱梁翼缘间设置防水密封胶，保证不外渗。

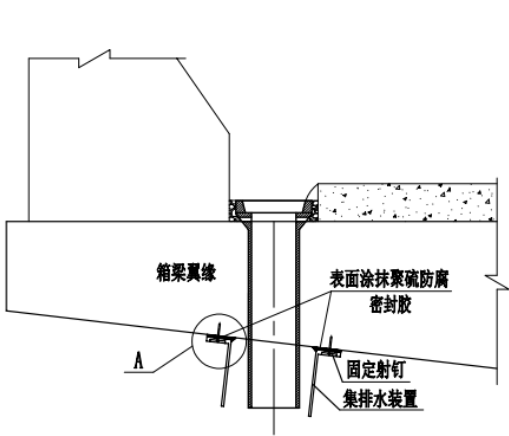


图 9-51 桥梁泄水孔改造示意



图 9-52 改造后泄水孔示例

(2) 将原桥影响桥下通行安全的混凝土滴水檐敲除，采用丙乳砂浆对混凝土进行修补后，增设L型滴水檐。涉及桥跨为31~39跨及75~85跨，共计1420米。

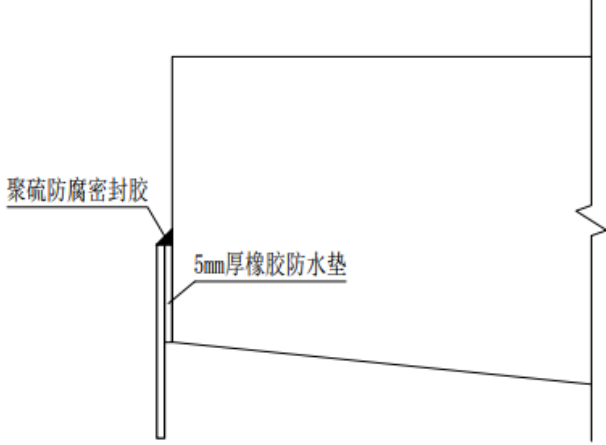


图 9-53 L型滴水檐

5. 照明系统

桥梁照明系统存在以下病害：

- (1) 全桥2处路灯杆出现倾斜变形；
- (2) 全桥灯杆底座多处固定螺母保护罩缺失、螺母外露锈蚀；
- (3) 部分灯杆下缘护栏接线孔盖板固定螺丝松动、缺失，盖板存在松动、脱开及锈蚀现象；
- (4) 全桥主桥处射灯固定支座锈蚀；
- (5) 60#墩顶右侧配电箱箱门缺失。
- (6) 部分灯杆缺失



图 9-54 48#墩顶灯杆缺失图



图 9-55 固定螺母保护罩缺失

维修方案：

增设缺失的路灯灯杆，对生锈的固定螺母进行除锈、防腐或更换，补充缺失的电箱箱门等，更换损坏的路灯。

10. 主要材料

10.1 混凝土

所采用混凝土均为海工混凝土，混凝土技术标准应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）的规定。

10.2 普通钢筋

采用HPB300和HRB400钢筋，其技术标准应分别符合《钢筋混凝土用钢 第一部分：热轧光圆钢筋》（GB1499.1-2008、《钢筋混凝土用钢 第二部分：热轧带肋钢筋》（GB1499.2-2007）。钢筋直径大于或等于25mm者应采用机械连接，接头的位置、接头百分率、接头性能等应符合《钢筋机械连接通用技术规程》（JGJ 107-2003）及《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）的规定。

10.3 高强螺栓

连接垫板的使用的 高强度螺栓性能等级采用10.9s，技术指标均应满足《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228-2006），螺母应符合《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229-2006）的要求，垫圈应符合《钢结构用高强度垫圈》（GB1230-2006）的要求。

10.4 粘接材料

植筋胶应选用满足《混凝土结构加固设计规范》（GB50367）要求的A级胶。

10.5 焊接材料

焊接材料采用与母材相匹配的焊丝、焊剂和手工焊条，气体纯度不小于99.5%，各材料均应符合现行国家标准。

10.6 超高性能混凝土（UHPC）

干混料进场时，除应按规定批次提供产品检验报告等质量证明文件外，还应进行外观检验和物理力学性能检验，并应符合下列规定：

- a）散装干混料应外观均匀，无结块、受潮现象；
- b）袋装干混料应包装完整，无破袋、受潮现象；
- c）按推荐用水量拌制新拌混凝土，流动性应符合施工要求；
- d）流动性符合施工要求的混凝土，抗弯拉强度应大于相应强度等级标准值的1.15倍。

11. 施工交通组织方案

本项目计划施工工期5个月，采取“半幅封闭施工，半幅双向通行”的交通组织方案，施工时应要确保施工期间的统一指挥统一协调，合理的安排施工，减小改造施工对高速通行的影响，保证安全施工、安全通行。

11.1 总体布置

为保证工程质量和工程进度，必须周密计划，精心组织，合理安排。

施工及交通封闭期间，施工单位应配合管养单位按照相关规范要求，采取适当措施，做好交通疏导工作，尽可能减少施工期间给车辆行驶和人民群众生活带来的不便。为尽量降低施工对区域交通的影响，施工封闭期间应设置完善的交通绕行标志，并进行合理的交通组织和规划，作好交警、路政、桥梁管养部门及施工单位的组织协调，以保证交通运输的顺畅和安全。

11.2 养护作业控制区

工程作业的管理必须严格按照《公路养护技术规范》（JTG 5110-2023）、《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）、《道路交通标志标线》（GB 5768）等相关规定和要求设置各种标志。各种标志的设置方案应经当地路政及交警部门审批，且封闭区域之外的各种标志标牌均应摆放在中央分隔带护栏之内或路侧护栏之外（桥梁结构物路段除外），以确保车辆通行安全。

公路养护作业控制区按警告区、上游过渡区、缓冲区、维修工作区、下游过渡区和终止区的顺序依次布置。

（1）养护作业控制区限速

限速工程应在警告区内完成；限速采用逐级限速或重复提示限速方法，逐级限速每100m降低10km/h，相邻限速标志间距不宜小于200m；最终限速值不应大于下表的规定，当最终限速值对应的预留行车宽度不符合要求时，应降低最终限速值。

表 11-1 养护作业限速值		
设计速度（km/h）	限速值（km/h）	预留行车宽度（m）
120	80	3.75
100	60	3.50
80	40	3.50

注：高速公路封闭路肩养护作业，最终限速值可提高 10km/h 或 20km/h。

（2）警告区

警告区最小长度应符合下表的规定；当交通量Q超出表中范围时，宜采取分流措施。

表 11-2 警告区（S）最小长度

设计速度（km/h）	交通量[pcu/（h.ln）]	警告区最小长度（m）
120	Q≤1400	1600
	1400<Q≤1800	2000
100	Q≤1400	1500
	1400<Q≤1800	1800
80	Q≤1400	1200
	1400<Q≤1800	1600

（3）上游过渡区

上游过渡区最小长度应符合下表的规定，封闭路肩养护作业的上游过渡区长度不应小于表中数值的1/3。

表 11-3 封闭车道上游过渡区（L_s）最小长度

最终限速值（km/h）	封闭车道宽度（m）			
	3.0	3.25	3.5	3.75
80	150	160	170	190
70	120	130	140	160
60	80	90	100	120

（4）缓冲区

缓冲区分为纵向缓冲区和横向缓冲区；纵向缓冲区的最小长度应符合下表的规定，当工作区位于下坡路段时，纵向缓冲区的最小长度应适当延长；在保障行车道宽度的前提下，工作区和纵向缓冲区与非封闭车道之间宜布置横向缓冲区，其宽度不宜大于0.5m。

表 11-4 纵向缓冲区（H）最小长度

最终限速值（km/h）	不同下坡坡度的纵向缓冲区最小长度（m）	
	≤3%	>3%
80	120	150
70	100	120
60	80	100

（5）工作区长度（G）

除借用对向车道通行的养护作业外，工作区的最大长度不宜超过4km；借用对向车道通行的养护作业，工作区的长度应根据中央分隔带开口间距和实际养护作业而定，工作区的最大长度不宜超过6km，当中央分隔带开口间距大于3km时，工作区的最大长度应为一个中央分隔带开口间距。

（6）下游过渡区和终止区

下游过渡区（L_x）的长度不宜小于30m；终止区的长度（Z）不宜小于30m。

11.3 人员及临时设施配置

施工期间的公路养护作业控制区，应根据需要配置适当的交通管理人员，设置临时标志、

移动指示车、锥形标、频闪灯、服务车等临时设施，每处养护作业控制区人员、临时设施配置如下。

表 11-5 每处养护作业控制区人员配置

名 称	数 量	备 注
安全协调办公室主任	1 人	负责安全协调全面工作
安全协调办公室副主任	1 人	协助主任负责安全协调工作
现场交通管制负责人	1 人	现场交通管制负责
专职安全员	根据实际需要	现场交通疏导
交 警	根据实际需要	现场交通管理
路 政	根据实际需要	现场交通管理

表 11-6 每处养护作业控制区临时设施配置

设施名称	单 位	数 量	备 注
移动指示车	台	3	1 台备用
安全服务车	台	2	大型车 1 辆，小型车 1 辆
清障车	台	1	
标志牌	块	根据实际需要	指示牌、禁令牌、告示牌等
锥形标	个	根据实际需要	
频闪灯	个	根据实际需要	

11.4 其他注意事项

施工期间的施工组织及方案应注意以下几点：

（1）交通安全布控严格按照《道路交通标志和标线》（GB5768—2009）、《公路养护安全作业规程》（JTG H30—2015）中的规定进行，编制的施工作业交通控制方案，必须在得到相关部门的批准后再实施。

（2）根据交通运输部《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）及有关的管理、施工规定，结合本工程的具体情况，在交通安全封闭作业中须配备一定数量的安全人员，施工过程中需要设置持续减速标志、开口预告标志、通过开口标志、合流预告标志、指向标志、封闭标志、限制速度、解除限制速度、警告标志，车道间采用锥形交通标分隔等安全设施。

（3）施工人员在上路作业之前，应办理有关进入施工手续，并认真学习高速公路有关公路法规、安全作业规章制度。

（4）施工过程中应采取适当措施，并做好交通分流、道路标识提示，并安排专门的交通组织控制人员。尽量减少施工与车辆的相互干扰，避免出现交通堵塞，保证安全、减少损失。

（5）应重视施工前期的交通组织宣传工作，通过报纸、新闻、广播、现场指挥等各种方式、多渠道地宣传交通组织方案。

12. 施工应注意问题及相关设计要求

施工单位在进行桥梁维修加固施工前，应对全桥重新进行复查，记录病害类型及数量，并根据二次病害确认的结果核对设计维修方案和工程量，统计汇总后报监理和业主，经批准后方可进行维修加固施工，若出现较大差异，应及时报设计单位处置。

本次维修加固方案涉及到UHPC加固等技术，施工工艺较为复杂，技术要求高，难度大，质量要求严格。为切实保证维修加固的效果，应注意以下几个方面：

（1）本项目涉及到拉索套管高空修复、混凝土裂缝修补等技术，高空作业多，技术要求高，特别是需要进行施工过程中的检测、设计方案的实时优化和工程数量的动态调整，为确保工程质量和工期、节约资金成本和时间成本，建议采用设计牵头的EPC模式实施。

（2）正式施工前，应先对修补料与PE材料的粘结工艺进行试验，以确认二者结合的可靠性，并根据试验结果确定密封材料。

（3）为保证维修施工质量、施工安全，并缩短工期，建议选择具有相应专业承包资质和有丰富的拉索维修经验的专业队伍和专业人员承担。施工前应制定详细完善的施工组织方案，合理组织，精心施工，防止在施工过程中发生事故。

（4）施工单位在施工过程中不得采用有损于结构构件的工艺、方法或机具。施工中如发现新的缺陷、病害，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。

（5）正确合理的施工工艺及操作是保证维修加固效果的前提，施工单位应对相关人员提前进行培训，熟悉正确的施工工艺和技术要求。本说明附录列出了相关加固技术的一般工艺及技术要求，供施工单位参考；

（6）维修加固施工中使用的材料应按照相关规范、规定及标准进行检测试验，如：裂缝修补、注射/注浆胶液等材料的性能试验；高性能混凝土、聚合物水泥砂浆的力学性能试验；胶粘剂的力学性能试验；聚合物乳液、环氧树脂、胶粘剂、裂缝修补胶液的毒性试验等；若产品具备权威部门出具的相关性能证明材料，则可以不进行该项测试；

（7）**施工单位进场施工前应提交完善的施工组织计划及交通组织方案。**

其它未尽事宜详见有关施工规范。

13. 科学养护后评价

13.1 评价目标

本次科学养护涵盖内容广泛，包含混凝土常规病害修复、斜拉索系统防护、桥塔防护、梁底防护、桥墩水变浪溅区防护等养护措施，目的在于延长大桥在北方冰冻海域的服役期限，

系统解决北方冰冻海域跨海桥梁面临的结构耐久性和安全性问题，养护工作完成后应全面、客观地评估养护成果，总结经验教训，为后续养护及类似桥梁养护项目提供技术参考和优化依据。

13.2 评价方法及对比分析

1. 检测与监测数据对比

将施工前后桥梁主要技术指标进行对比，采用标准化测试方法（如快速氯离子迁移法、钢筋锈蚀电位测试），量化养护成效。应用桥梁健康监测系统的动态数据，对斜拉索索力、主梁变形、桥面线形变化等进行长期跟踪评价。

2. 实地观察与反馈

对比养护前后重点部位的外观状态（如涂层完整性、裂缝修复效果），记录养护前后变化照片。收集交通部门和公众对桥梁使用体验的反馈，形成社会满意度报告。

3. 寿命预测模型验证

运用桥梁耐久性寿命预测模型，将养护措施纳入计算，分析桥梁剩余使用寿命的提升幅度。

13.3 评价内容

科学养护工作的后评价评估包括但不限于以下内容：

1. 病害修复效果评价

基于外观检查、现场巡查及专业仪器检测的数据，详细汇报桥各部位的病害修复情况，分析对比各部分的结构指标，如结构强度、钢筋锈情况、裂缝发展情况，判断病害修复是否达到预期。

2. 耐久性提升质量评价

需对本次养护工作进行耐久性提升的构件进行耐久性提升评估，与未进行耐久性提升的部位进行对比，明确各部位、各材料对耐久性提升的效果，必要时再次进行耐久性专项检测，评估混凝土碳刷深度、氯离子扩散系数、钢筋锈蚀率等参数，并评估本次科学养护对耐久性提升的具体贡献。

3. 使用功能恢复评价

明确养护后桥梁在行车舒适性、排水系统通畅性、防护设施功能等方面的使用功能恢复情况，养护工作对桥梁正常运营的积极影响。

4. 成本效益分析

成本核算方面对养护总成本与预算成本进行对比分析查看成本控制情况，效益评估方面，

分析通过养护延长桥梁使用寿命所节省的潜在维修或重建费用，以及保障桥梁正常通行带来的运输效益提升，计算养护投入与产出的经济效益比。

丁字湾大桥耐久性提升方案后评价主要内容见表 9 1 丁字湾大桥长期观测项目汇总。

13.4 结论与建议

对整个丁字湾大桥科学养护工作进行总体评价，概括养护工作取得的成效（如结构性能提升、病害有效控制、使用功能恢复、养护质量可靠、成本效益合理、安全性能增强、环境影响较小等方面），再次强调存在的问题及相应建议，展望后续桥梁养护工作的方向，得出此次养护工作是否达到预期目标以及对同类桥梁养护项目的借鉴意义等结论性内容。

14. 问题与建议

（1）建议桥梁管理与养护部门依照《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）的相关要求，加强对桥梁的日常检查、养护及维修工作。

（2）为了实现精准养护，现场施工时，建议管理、监理、预防性养护实施单位在二次病害调查的基础上，加大现场协调力度，尽快落实养护施工方案，以便提前做好准备工作，保证施工进度，避免延长封闭时间。

（3）根据交通部《公路养护工程管理办法》（交公路发33号）“**第三十三条 养护工程设计实行动态设计。设计单位应当及时跟踪公路病害发展情况，并根据需要进行设计变更。**”的要求，二次病害确认是动态设计的具体体现，更是精准养护施工的保障、养护工程施工的必需手段。

15. 质量、环境和职业健康

在本项目的设计过程中，我院以增强业主满意为目的，充分理解顾客当前和未来需求，确保顾客的要求得到确定和满足，并争取超越顾客希望。同时，重视和关注环境保护，关注职工的健康和安全，谋求我院、职工、业主、施工单位的共同持续发展。

在加强与业主沟通，正确识别其要求的前提下，确保设计和服务质量让业主满意；加强环境因素的识别与评价，并对重要环境因素实施控制；关注危险源辨识与评价重大危险源，确定其影响程度，确保在设计工作中落实，做好健康安全事故的预防工作。

业主及施工单位在重点做好本项目的工程管理和建设质量的同时，应按照国家有关标准、规范、条例对本项目的施工环境、危险源进行识别和评价，切实做好保护环境、保证职工健康安全，制订有关预案，做好预防工作，及时处置环境、安全、健康的突发事件，将生命、

财产、环境损失降到最低。

其它未尽事应严格按照招标文件中的技术规范及现行的有关规范、标准执行。

附录 1：耐久性专项检测结论

（1）引桥30m箱梁

引桥30m箱梁存在较多的腹板、底板及顶板纵向裂缝，裂缝宽度在0.2mm以内。梁体混凝土存在部分蜂窝麻面，箱梁底板、腹板及翼板处存在少量钢筋锈蚀、混凝土剥落，个别梁底保护层较薄，出现钢筋网锈迹。外观耐久状态整体尚好，为IIa级。

测试6个构件中，回弹强度均大于设计值；有3个构件底板部位保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，底板保护层厚度较差，腹板部位保护层厚度整体较好；碳化深度在2.0mm以内；混凝土电阻率均大于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ ，电阻率较大，混凝土导电性弱；R3#箱梁右腹板钢筋锈蚀电位为-490mV，有锈蚀活动性。

测算得出表层氯离子浓度均 $C_s<0.10\%$ ，结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体良好。

综合耐久性等级为II级。

（2）引桥40m箱梁

引桥40m箱梁存在较多的腹板、底板及顶板纵向裂缝，裂缝宽度在0.2mm以内。梁体混凝土存在部分蜂窝麻面，箱内顶板存在网状裂缝，箱梁底板、腹板及翼板处存在少量钢筋锈蚀、混凝土剥落、混凝土振捣不实，个别梁底保护层较薄，出现钢筋网锈迹。外观耐久状态整体尚好，为IIa级。

测试9个构件中，回弹强度均大于设计值；有3个构件跨中底板部位、4个构件中支点腹板部位、2个1/4跨腹板部位保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，跨中底板、中支点腹板部位保护层厚度较差；碳化深度在1.5mm以内；混凝土电阻率均大于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ ，电阻率较大，混凝土导电性弱；R66#箱梁右腹板、R81#箱梁中支点钢筋锈蚀电位分别为-633mV、-533mV，构件存在锈蚀开裂区域，R43#箱梁右腹板钢筋锈蚀电位为-332mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%，其他4个构件无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出表层氯离子浓度均 $C_s<0.10\%$ ，结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体良好。

综合耐久性等级为II级。

（3）引桥30m桥墩-大气区

引桥30m桥墩-大气区无明显病害，个别桥墩存在少量锈迹，整体外观耐久状态较好，为IIa级。

测试13个构件中，回弹强度均大于设计值；有2个构件内侧面部位保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，30m桥墩-大气区保护层厚度整体较好；碳化深度在1.0mm以内；L28#桥墩大气区混凝土电阻率大于 $15\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ 、小于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ ，可能的钢筋锈蚀发展速度慢；其他电阻率均大于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ ，电阻率较大，混凝土导电性弱，可能的钢筋锈蚀发展速度很慢；R7#桥墩大气区钢筋锈蚀电位分别为-407mV，有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大；L3#箱梁右腹板钢筋锈蚀电位为-310mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%。其他4个构件无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为3.3320，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限状况整体较好，测试构件中L2#桥墩内侧面、L5#桥墩内侧面保护层偏薄，耐久年限较低，需加强防护。

综合耐久性等级为II级。

（4）引桥30m桥墩-水变浪溅区

引桥30m桥墩-水变浪溅区无明显病害，整体外观耐久状态较好，为IIa级。

测试13个构件中，回弹强度均大于设计值；R7#桥墩内侧面部位保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，30m桥墩-水变浪溅区保护层厚度整体较好；碳化深度在1.5mm以内；混凝土电阻率均大于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ ，电阻率较大，混凝土导电性弱；R7#桥墩水变区钢筋锈蚀电位为-740mV，构件存在锈蚀开裂区域，L3#桥墩水变区钢筋锈蚀电位为-490mV，有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大，L25#、L28#桥墩水变区钢筋锈蚀电位分别为-396mV、-345mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%，L1#桥墩水变区钢筋锈蚀电位为-240mV，有锈蚀活动性，但锈蚀状态不确定，可能坑蚀，L30#桥墩水变区钢筋锈蚀电位为-72mV，无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为4.1441，单元受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限为74.1年，部分构件保护层偏薄，耐久年限较低。

综合耐久性等级为II级。

（5）引桥40m桥墩-大气区

引桥40m桥墩-大气区侧面及墩顶存在大量的竖向裂缝和网状裂缝，裂缝宽度在0.2mm以内，网状裂缝面积较大。部分位置存在水平裂缝，裂缝宽度在0.1mm以内。露筋及锈胀露筋现象严重，有少量位置出现混凝土破损、缺失，少数桥墩墩顶有杂物堆积。整体外观耐久状态尚好，为IIa级。

测试部位为桥墩顶部，测试13个构件中，构件回弹强度均大于设计值；保护层均值推定均大于30mm，且变异系数较小，40m桥墩-大气区保护层厚度整体较好；5个构件碳化深度在

1.5mm以内，L69#桥墩外侧面碳化深度为4.0mm，碳化较大；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱；L69#桥墩外侧面大气区钢筋锈蚀电位为-586mV，构件存在锈蚀区域；R58#桥墩大气区钢筋锈蚀电位为-490mV，有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大；L62#桥墩大气区钢筋锈蚀电位为-313mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%；其余构件无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测试部位为桥墩顶部，测算得出表层氯离子浓度均Cs<0.10%，结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体较好。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（6）引桥40m桥墩-浪溅区

引桥40m桥墩-浪溅区部分存在网状裂缝，面积较大，部分位置存在竖向裂缝，裂缝宽度在0.2mm以内。侧面部分位置出现振捣不密实、混凝土缺失、破损、露筋、锈胀开裂较多。整体外观耐久状态较差，为ⅢIa级。

测试13个构件中，有3个构件底板部位保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，40m桥墩-浪溅区保护层厚度整体稍好；碳化深度在1.0mm以内；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为8.7893，侵蚀严重，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限状况差，区间下限为1.95 a，部分存在锈蚀活化迹象，亟需开展防护。

综合耐久性等级为ⅢI级。

（7）引桥40m桥墩-水变区

引桥40m桥墩-水变区存在混凝土缺失与锈蚀露筋现象，部分柱底存在混凝土缺失，存在少量竖向裂缝与网状裂缝。整体外观耐久状态尚好，为ⅢIa级。

测试13个构件中，L69#桥墩外侧面推定强度为44.8MPa，其他构件回弹强度均大于设计值；有3个构件底板部位保护层均值推定小于30mm，保护层厚度整体稍好；碳化深度在1.0mm以内；L69#桥墩高桩号侧面电阻率为15 kΩ·cm，可能的钢筋锈蚀发展速度慢，其他构件电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱，可能的钢筋锈蚀发展速度很慢；R44#、L62#桥墩低桩侧水变区钢筋锈蚀电位分别为-471mV、-432mV，有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大，L69#桥墩低桩侧、R43#桥墩高桩号侧水变区钢筋锈蚀电位分别为-306mV、-331mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%，其他构件无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为7.5268，侵蚀严重，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限状况差，区间下限为7.0 a，部分存在锈蚀活化迹象，亟需开展防护。

综合耐久性等级为ⅢI级。

（8）主桥主梁纵梁单元

主桥主梁纵梁单元外侧倒角处存在蜂窝麻面及锈胀现象，外侧面有蜂窝、纵向裂缝，裂缝宽度在0.1mm以内。纵梁底面有锈胀露筋现象，斜底面存在纵向裂缝，宽度在0.2mm以内。整体外观耐久状态尚好，为ⅡIa级。

测试构件中构件回弹强度均大于设计值；有8个构件底板、1个内腹板保护层均值推定小于30mm，且变异系数较大，纵梁底板保护层厚度均偏小，腹板保护层整体较好；碳化深度在2.0mm以内；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱；L60-27#纵梁内腹板钢筋锈蚀电位为-748mV，构件存在锈蚀开裂区域，R60-25#纵梁外腹板钢筋锈蚀电位为-232mV，有锈蚀活动性，但锈蚀状态不确定，可能坑蚀，其余构件无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出表层氯离子浓度均Cs<0.10%，在维持涂层防护状态下结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体良好。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（9）主桥主梁横梁单元

主桥主梁横梁单元侧面存在较多横向裂缝，少数部位存在竖向裂缝及斜向裂缝，裂缝宽度大多在0.2mm以内，极少数部位裂缝宽度达0.24mm。底面有个别锈胀露筋现象。整体外观耐久状态尚好，为ⅡIa级。

测试个构件中，横梁底板保护层厚度均偏小，腹板保护层整体较好；碳化深度在2.5mm以内；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱；L60-25#横梁高桩侧钢筋锈蚀电位为-585mV，构件存在锈蚀区域，R60-24#横梁底面钢筋锈蚀电位为-230mV，有锈蚀活动性，但锈蚀状态不确定，可能坑蚀，其余构件钢筋锈蚀电位均大于-200mV，无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出表层氯离子浓度均Cs<0.10%，在维持涂层防护状态下结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体良好。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（10）主桥索塔-大气区

索塔-大气区存在多处竖向裂缝，个别裂缝贯穿门洞形成U型，最大缝宽0.19mm；索塔顶部位置1处混凝土缺损。涂层大面积破损。整体外观耐久状态尚好，为ⅡIa级。

测试4个构件中，回弹强度大于设计值；测试4个构件中，保护层均值推定在60~70mm，索塔-大气区保护层厚度整体较好；60-2#桥墩内侧面碳化深度为4.0mm，其他3个构件碳化深

度为0.0mm，；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱；索塔大气区钢筋锈蚀电位均大于-200mV，无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定，由于索塔大气区位带涂层检测，测试结果仅供参考。

测算得出表层氯离子浓度均Cs<0.10%，在维持涂层防护状态下结构表层富集的氯离子含量较小，氯离子向内扩散不足以引起钢筋锈蚀，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限整体良好。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（11）主桥索塔-浪溅区

索塔-浪溅区存在较大范围涂层破损剥落，整体外观耐久状态尚好，为Ⅱa级。

测试4个构件中，保护层均值推定在56~79 mm，索塔-浪溅区保护层厚度整体较好；碳化深度在2.0mm以内；混凝土电阻率均大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱；59-1#外侧面、59-2#外侧面钢筋锈蚀电位分别为-394mV、-311mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%，其他测试位置钢筋锈蚀电位均大于-200mV，无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为5.9257，在当前涂层防护状态下受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限状况稍差，区间下限为65.7 a。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（12）主桥索塔-承台

测试4个构件中，保护层均值推定大于80mm，索塔-承台保护层厚度整体良好；碳化深度在0.5mm以内；60#索塔承台电阻率为10 kΩ·cm，可能的钢筋锈蚀发展速度一般，60#索塔承台电阻率大于20 kΩ·cm，电阻率较大，混凝土导电性弱，可能的钢筋锈蚀发展速度很慢；59#承台顶面钢筋锈蚀电位为-492mV，有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大，60#承台顶面钢筋锈蚀电位为-397mV，有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%。

测算得出该单元的混凝土氯离子侵蚀系数为7.3987，承台保护层在80mm以上，受氯盐侵蚀控制的剩余耐久年限状况良好，大于100 a。

综合耐久性等级为Ⅱ级。

（13）斜拉索

共检测6根斜拉索，检测结果发现：多处斜拉索防水罩之间的紧固螺栓存在锈蚀现象；防水罩外部存在沿接缝的锈蚀痕迹，防水罩内部存在较为严重的锈蚀；内部发泡胶存在松散老化现象，部分构件内部存在大量水分；下导管内壁存在较为严重的锈蚀现象。

斜拉索锚固端检测结果：南塔北侧11#锚头防护罩内壁有锈蚀，锚头包裹黄油密实；南塔北侧12#锚头、北塔南侧12#防护罩观测孔均被黄油填满。

（14）预应力管道

预应力管道内部裂缝检测结果显示存在裂缝现象，裂缝最大宽度0.24mm、最大深度69.21mm；28#梁左翼板泄水管损坏，造成左翼板和左腹板存在水侵梁体现象；左幅28#跨底板内部存在空洞，空洞位于梁跨中、距右腹板25cm位置，面积S=60cm×10cm=600cm²；空洞内钢筋分布较为紧密，且存在一定的锈蚀现象；箱梁混凝土浇筑不密实，但波纹管内部压浆密实。

附录 2：裂缝修补

由于裂缝病害比较普遍，分布范围较广，形态宽度各异，施工时应根据不同的裂缝宽度采用相应的处理方案（当设计方案中有明确要求时应按照设计要求执行）：

1. 裂缝宽度小于0.2mm时，采用**表面封闭法**进行处理；
2. 裂缝宽度在0.2～1.5mm之间，采用**静压注射法**进行补强；
3. 裂缝宽度大于0.5mm的活动裂缝，宜采用**填充密封法**进行修补。

若裂缝伴有渗水泛白现象，应对板底进行钻孔排水，以保证梁体空腔内干燥。钻孔排水方案详见《梁板板底钻孔排水方案示意图》

（一）材料要求

1. 混凝土裂缝修补胶的安全性能指标应符合表1的规定；

表 1 裂缝修补胶（注射剂）安全性能指标

检 验 项 目		检 验 条 件	性 能 指 标
钢-钢拉伸抗剪强度（MPa）		粘合毕养护 7d，到期立即在 23±2℃、（50±5）%RH 条件下测试	≥15
钢-钢对接抗拉强度（MPa）			≥20
钢对干态混凝土正拉粘结强度（MPa）			≥2.5，且为混凝土内聚破坏
钢对湿态混凝土正拉粘结强度（MPa）			≥1.8，且为混凝土内聚破坏
胶 体 性 能	抗拉强度（MPa）	浇注毕养护 7d，到期立即在 23±2℃、（50±5）%RH 条件下测试	≥25
	受拉弹性模量（MPa）		≥1500
	伸长率（%）		≥1.7
	抗弯强度（MPa）		≥30 且不得呈脆性（碎裂状）破坏
	抗压强度（MPa）		≥50
	无约束线性收缩率（%）	浇注毕养护 7d，到期立即在 23±2℃条件下测试	≤0.3
耐湿热老化性能		在 50℃、（95±3）%RH 环境中老化 90d，冷却至室温进行钢对钢拉伸抗剪强度实验	与室温下，短期试验结果相比，其抗剪强度降低率不大于 18%

注：1. 表中各项性能指标均为平均值

2. 干态混凝土指含水率不大于 6%的硬化混凝土；湿态混凝土指饱和含水率状态下的硬化混凝土。

2. 胶粘剂必须通过毒性检验；严禁掺加挥发性有害溶剂和非反应性稀释剂；对完全固化的胶粘剂，必须符合实际无毒卫生等级的要求；

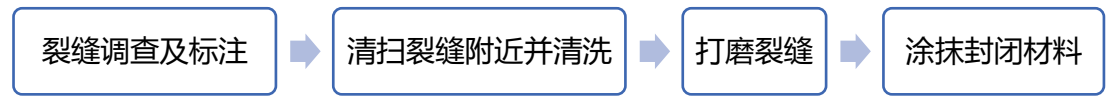
3. 胶粘剂在有明水或潮湿的环境下施工时，必须提供国家权威部门检验合格的证明；

（二）施工工艺及要点

1. 表面封闭法

表面封闭法主要采用**表面封闭材料**（如环氧胶泥、聚合物砂浆等）对结构表面裂缝进行封闭修补的方法。本方法适用于裂缝宽度小于0.2mm的裂缝。

工艺流程图：



（1）裂缝调查及标注

对裂缝进行全面的调查，现场核实裂缝数量、长度、宽度等，并对裂缝编号，做好记录，绘制裂缝分布图。

（2）表面处理

对混凝土构件的裂缝，先将裂缝附近80～100mm宽度范围内的灰尘、浮渣用压缩空气吹净，或用砂轮机、钢丝刷、砂纸、毛刷清扫干净并清洗，露出混凝土新面，油污可用二甲苯或丙酮擦洗一遍。如表面潮湿，应用喷灯烘烤干燥、预热，以保证环氧胶泥与混凝土黏结良好；如基层表面难以干燥时，应用**环氧煤焦油胶泥（涂料）**涂抹，并刮刮在裂缝表面。

（3）封缝

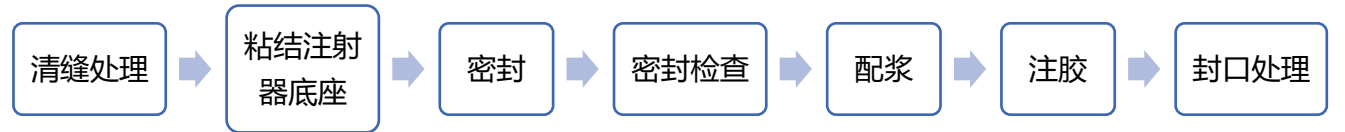
裂缝封闭采用环氧树脂材料，其材料性能应符合《公路桥梁加固设计规范》的相关规定，按照产品说明书要求配兑环氧树脂封缝胶，抹胶泥时应防止产生小气孔和气泡，要刮平整，保证封闭可靠。

2. 静压注射法

该方法适用于 $0.2\text{mm} \leq \omega \leq 1.5\text{mm}$ 的裂缝。

以一定的压力（应按产品使用说明书的规定，一般为0.2～0.4MPa），将**低黏度、高强度**的**裂缝修补胶**注入裂缝腔内。注射前，应对裂缝周边进行密封，一般情况下可按以下步骤进行：

工艺流程图：



（1）清缝处理

- 对所有拟处理的裂缝沿缝凿成深2～4mm、宽4～6mm“V”形槽；
- 剔除缝口表面的松散杂物，用气压为0.2MPa以上的压缩空气清除槽内浮尘；

● 沿缝长范围内用丙酮进行清洗，擦清表面。

(2) 粘结注射器底座

根据裂缝的宽度，确定注射器底座的间距和位置，在裂缝端部、裂缝交叉处和裂缝较宽处设置注射器底座，并做好标志，原则上缝宽可稀，缝窄宜密，但每条裂缝至少须有一个进浆口和排气孔，灌胶底座的粘贴间距为20~30cm。

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

(3) 密封

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

(4) 密封检查（气检）

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

(5) 配浆

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

(6) 注胶

安装注射器，注入专用裂缝修补胶液，待相邻注射嘴冒浆时，停止注射并用木塞塞紧，然后进行下一个注射嘴注胶，直至最后一个。

若裂缝长度较长，一次性所需注射胶液较多，也可采用空压机和贮胶罐进行灌缝（见图1）。压力以0.2~0.4MPa为宜，施工时应防止骤然加压对管道造成破坏。

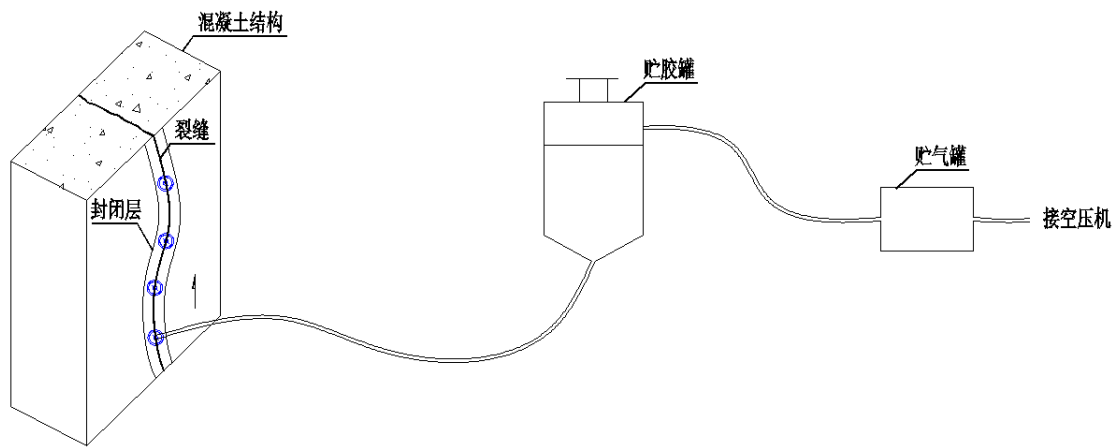


图 1 空压机灌缝示意图

(7) 封口处理

注射胶液初凝后，除去木塞，采用环氧胶泥封堵注射嘴。

3. 填充密封法

此方法适用于处理宽度大于0.5mm的活动性裂缝。

在构件表面沿裂缝走向骑缝凿出槽深和槽宽分别不小于20mm和15mm的“U”型沟槽（见图2），槽的两边混凝土必须修理平整，并用丙酮擦拭一遍。然后用改性环氧树脂充填，并粘贴不小于3倍缝宽的E玻璃纤维布（或按设计要求）封闭其表面。填充改性环氧树脂前应保证槽口干燥，否则应采取其他有效措施，使槽内干燥后再进行填补。

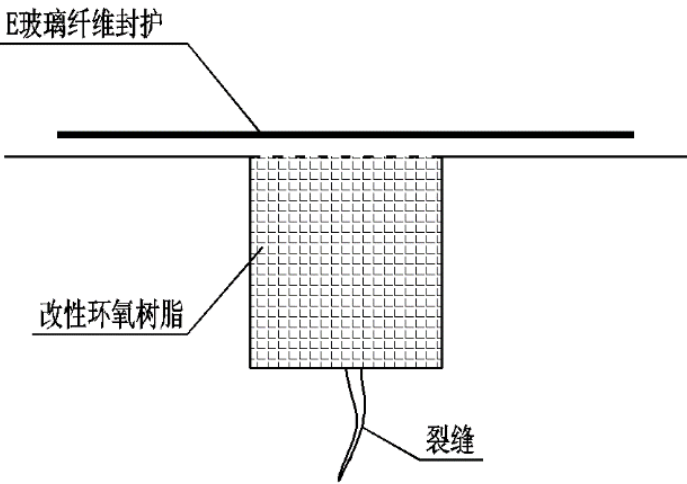


图 2 裂缝填充密封示意图

(三) 验收标准

裂缝修补施工质量应满足现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》（GB 50550-2010）及《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/TJ23-2008）的规定。

1. 混凝土裂缝修补应符合下列基本要求：

- (1) 裂缝修补所用材料的品种、性能、规格等应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。
- (2) 应按设计要求对混凝土表面进行处理，含水率应与修补材料的使用要求相适应。表面封闭时基面应清洁、密实、坚固；灌胶时裂缝两侧基面应清理出密实新鲜混凝土，表面应清洁、干燥。
- (3) 静压注射时，在裂缝交叉点、端部及宽度较大处应设注射器底座，且在封缝胶固化后应检查其气密性，应无漏气。

(4) 修补工艺、顺序应符合设计要求。

2. 混凝土裂缝修补实测项目应符合下表的规定。

表 2 裂缝表面封闭实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	表面封闭 涂敷厚度(μm)	平均厚度≥设计厚度，80%点的厚度 >设计厚度，小厚度≥80%设计厚度	测厚仪：每 100m ² 测 10 点， 且不少于 10 点，7d 后检查
2	黏结强度 (MPa)	在合格标准内	附录 N（JTG 5220-2020）

注：项次 1 封闭面积不满 100 m²者，按 100 m²处理。

表 3 裂缝灌浆实测项目

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

3. 胶（浆）液固化时间达到7d时，应立即采用“超声波法”或“取芯法”进行灌注质量检验。

4. 当采用超声波探测时，其测定的浆体饱满度应不小于90%，检查数量应为裂缝总数的10%，且不少于5条裂缝。

5. 当采用“取芯法”检测时，钻取芯样应符合下列规定：

- (1) 钻取部位的选取应尽量避免对结构的损伤；
- (2) 取样的数量应按裂缝注射或注浆的分区确定，但每区应不少于2个芯样；
- (3) 芯样应骑缝钻取，但应避开内部钢筋；
- (4) 芯样的直径应不小于50mm；
- (5) 取芯造成的孔洞，应立即采用强度等级较原构件提高一级的豆石混凝土或掺有石英砂的结构胶填塞密实。

6. 检查芯样裂缝是否被胶体填充密实、饱满，粘结完整。如裂缝修补对混凝土截面有补强要求，还应对芯样做劈拉强度试验。当试验结果符合下列条件之一时，判为符合设计要求：

- (1) 沿裂缝方向施加的劈力，其破坏应发生在混凝土内部（即内聚破坏）；
- (2) 破坏虽有部分发生在界面上，但这部分破坏面积不大于破坏总面积的15%。

附录 3：混凝土局部病害维修（丙乳砂浆）

混凝土表面修补宜按照病害情况分别进行处理。对劣质疏松层较浅、病害范围较小的区域采用丙乳砂浆（PAEC砂浆）修补，对孔洞及深度超过6cm的深层劣质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，应明确使用要求，严格按产品说明和《聚合物水泥砂浆防腐蚀工程技术规程》（CECS 18：2000）执行。

（一）原材料及成品质量要求

表 1 乳液质量指标

项目	聚丙烯酸酯乳液
外观	乳白色无沉淀的均匀乳液
粘度	11.5～12.5（S）
总固体含量（%）	39～41
密度（g/cm³）	≥1.056
储存稳定性	5～40℃，三个月无明显沉淀

表 2 细骨料的质量

项目	含泥量（%）	云母含量（%）	硫化物含量（%）	有机物含量
指标	≤3	≤1	≤1	浅于标准色（如深于标准色，应配成砂浆进行强度对比试验，抗压强度比不应低于 0.95）

表 3 细骨料的颗粒级配

筛孔（mm）	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16
筛余量（%）	0	0～25	10～50	41～70	70～92	90～100

注：细骨料的最大粒径不应超过砂浆层厚度的 1/3。

表 4 丙乳砂浆质量要求

项目	丙乳砂浆
初凝时间（min）	≥45
终凝时间	≤12
抗压强度（MPa）	≥30
与水泥砂浆粘结强度（MPa）	≥1.2

表 5 丙乳砂浆的物理力学性能

项目		丙乳砂浆
抗压强度（MPa）		≥30
抗拉强度（MPa）		≥4.5
粘结强度	与水泥基层	≥1.2
	与钢铁基层	≥1.5
抗渗等级（MPa）		≥1.5
吸水率（%）		≤5.5
使用温度（℃）		≤60

（二）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，丙乳砂浆施工的环境温度宜为10～35℃，当施工环境温度低于5℃时应采取加热保温措施并不宜在大风环境或气温高且有太阳直射的环境中施工；
- 一般使用不低于52.5级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；
- 在水泥基层上施工时，施工前须清除基底表面污物、尘土和松软、脆弱部分，并对其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（但不应有自由水），在薄层修补区的边缘宜凿一道3～5cm的深齿槽，增加修补面与旧混凝土的粘结；
- 在钢基层上施工时基层表面应无油污浮锈，除锈等级宜采用St3.0，焊缝和搭接部位应预先用聚合物水泥砂浆或聚合物水泥浆找平；
- 根据工程要求，选定灰砂比及丙乳掺量，宜选灰砂比1:（1.5～2）砂浆，丙乳掺量为水泥用量的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（参考配合比参见表6）；
- 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；
- 在刮涂砂浆时，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，在净浆未硬化前，刮涂丙乳砂浆。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，砂浆刮涂到位后，用力压实，随后应立即抹面，注意向一个方向抹面，不要来回多次抹，不需第二次收光；
- 丙乳砂浆早期干缩偏大，应特别注意加强早期养护，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；

9. 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；
10. 修补面积较大宜分段分块间隔施工，以避免砂浆干缩开裂。

表 6 丙乳砂浆参考配合比（质量比）

项目	丙乳砂浆	丙乳水泥浆
水泥	100	100~200
砂子	100~200	-
聚丙烯酸酯乳液	25~38	50~100
水	适量	-

注：表中聚丙烯酸酯乳液的固体含量按 40%计，在乳液中应含有消泡剂、稳定剂，凡不符合以上条件时应按实际情况调整。

（三）高强细石混凝土施工方法及注意事项

1. 高强细石混凝土配合比应由实验室确定，要求3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。

2. 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、凿实混凝土为止，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，饱水24小时；
- （3）在保持结合面湿润但无自由水的情况下，涂刷界面剂（净浆），立模浇筑高强细石子混凝土并振捣密实，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，用界面剂（净浆）在纵横向分批涂抹。

高强细石混凝土施工技术要求应满足现行相关规范和标准的要求。

（四）质量要求

本项目的材料、施工、质量验收标准应严格执行《建筑结构加固工程施工质量验收规范》（GB 50550-2010）的相关规定，具体要求如下：

1. 配置结构加固用砂浆的水泥，其品种、性能和质量应符合GB 50550-2010第4.1.1条的规定；
2. 配置砂浆用的外加剂，其性能和质量应符合现行国家标准《砌体工程施工质量验收规范》（GB 50203）的规定；
3. 配置砂浆用的砂和拌合水，其质量应分别符合GB 50550-2010第4.1.4条及第4.1.5条的规定；
4. 配置结构加固用聚合物砂浆（包括以复合砂浆命名的聚合物砂浆）、灌浆料等原材料，

应按工程用量一次进场到位。聚合物原材料进场时，施工单位应会同监理单位对其品种、型号、包装、中文标志、出厂日期、出厂检验合格报告等进行检查，同时尚应对聚合物砂浆体的劈裂抗拉强度、抗折强度及聚合物砂浆与钢粘结的拉伸抗剪强度（作为粘钢外保护层时）进行见证取样复验。其检查和复验结果必须符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367）的规定。

5. 聚合物砂浆、灌浆料的用砂，应采用粒径不大于2.5mm的石英砂配制的细度模数不小于2.5的中砂。其使用的技术条件，应按设计强度等级经试配确定。

6. 聚合物砂浆、灌浆料的强度等级必须符合设计要求；

7. 聚合物砂浆、灌浆料施工应满足GB 50550-2010第12.4.3~12.4.5条的规定。

8. 聚合物砂浆，面层施工的外观质量不应有严重缺陷及影响结构性能和使用功能的尺寸偏差。面层外观质量缺陷的检查与评定应按GB 50550-2010表12.5.1进行；尺寸偏差的检查与评定应按设计单位在施工图上对重要尺寸允许偏差所作的规定进行。对已经出现的面层外观质量严重缺陷及影响结构使用功能的尺寸偏差，应由施工单位提出技术处理方案，经业主（监理）和设计单位共同认可后予以实施。对经处理的部位应重新检查、验收。

9. 聚合物砂浆面层与原构件混凝土之间有效粘结面积不应小于该构件总粘结面积的95%。否则应揭去重做，并重新检查验收。

10. 聚合物砂浆面层与原结构混凝土间的正拉粘结强度，应符合GB 50550-2010表10.4.2规定的合格指标要求。若不合格，应揭去重做，并重新检查、验收。

11. 聚合物砂浆面层的保护层厚度检查，宜采用钢筋探测仪测定，且仅允许有8mm的正偏差。

12. 聚合物砂浆面层尺寸的允许偏差应符合下列规定：

- 面层厚度：仅允许有5mm正偏差
- 表面平整度：≤0.3%

附录 4：混凝土结构钢筋除锈/阻锈

已有混凝土结构中钢筋的防锈与锈蚀破坏的修复所采用的阻锈剂分为掺加型和渗透型两类。掺加型是将阻锈剂掺入混凝土或砂浆中使用，适用于局部混凝土缺陷及钢筋锈蚀的挖补处理；渗透型亦称喷涂型，是直接将阻锈剂喷涂或涂刷在病害混凝土土表面或局部剔凿后的混凝土表面。

（一）材料要求

- （1）混凝土结构钢筋的防锈，宜采用喷涂型阻锈剂，承重构件应采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂；
- （2）喷涂型阻锈剂的质量和性能指标应满足表1和表2的要求；
- （3）对混凝土承重结构破损界面的修复，不得在新浇筑的混凝土中采用以亚硝酸盐类为主成分的阳极型阻锈剂；
- （4）采用阻锈剂时，应选用对氯离子、氧气、水以及其他有害介质滤除能力强、不影响混凝土强度和握裹力，并不致在修复界面形成附加阳极的阻锈剂。

表 1 喷涂型阻锈剂的质量

烷氧基阻锈剂		氨基类阻锈剂	
检验项目	合格指标	检验项目	合格指标
外 观	透明、琥珀色液体	外观	透明、微黄色液体
浓 度	0.88g/mL	相对浓度（20℃ 时）	1.13
pH 值	10~11	pH 值	10~12
黏度（20℃ 时）	0.95mPa·s	黏度（20℃ 时）	25mPa·s
烷氧基复合物含量	≥98.9%	氨基复合物含量	>15%
硅氧烷含量	≤0.3%	氯离子	无
挥发性有机物含量	<400g/L	挥发性有机物含量	<200g/L

表 2 喷涂型阻锈剂的性能指标

检验项目	合格指标	检验方法标准
氯离子含量降低率	≥90%	JTJ275-2000
盐水浸渍试验	无锈蚀，且电位为 0~-250mV	YB/T9231-1998
干湿冷热循环试验	60 次，无锈蚀	YB/T9231-1998
电化学实验	电流应小于 150μA，且破样检查无锈蚀	YBJ 222
现场锈蚀电流检测	喷涂 150d 后现场测定的电流降低率≥80%	GB50367-2006

（二）使用要求

1. 掺加型阻锈剂

- （1）采用水剂阻锈剂时，应扣除等量拌合水；采用粉剂阻锈剂时，需延长搅拌时间3min左右，在保持相同流动度条件下宜适当减水；
- （2）阻锈剂掺量应按产品说明书规定计量，当掺用可提高混凝土密实性而又不降低混凝

土碱度的掺合料时，钢筋阻锈剂可酌减；

- （3）阻锈剂不得与含有氯化物、硫化物、亚硫酸盐、氯酸盐等有害成分的减水剂或引气剂等外加剂混用。

2. 喷涂型阻锈剂

- （1）喷涂型钢筋阻锈剂在喷涂前应仔细清理混凝土的表层，不得粘有浮浆、尘土、油污、水渍、霉菌以及残留的装饰层；
- （2）剔凿、修复局部劣化的混凝土表面，如空鼓、松动、剥落等，并清除钢筋锈渍；
- （3）喷涂阻锈剂前，混凝土龄期不应小于28d，局部修补的混凝土，其龄期不少于14d；
- （4）混凝土表面温度应在5~45℃之间；
- （5）阻锈剂应连续喷涂，使被涂表面饱和溢流。喷涂的遍数及其时间间隔应按产品说明书和设计要求确定；
- （6）每一遍喷涂后，均应采取措施防止日晒雨淋，按1m²计的阻锈剂总量分3~5遍涂刷，最后一遍喷涂完毕后，应静置24h以上，然后用压力水将表面残留物清除干净；
- （7）若混凝土表面原先刷过涂料或各种防护液，已使混凝土失去可渗性且无法清除时，喷涂阻锈方法无效，应改用其他阻锈技术；
- （8）对露天工程或在腐蚀性介质环境中使用亲水性阻锈剂时，应在构件表面增喷附加涂层封护。

（三）施工注意事项

- （1）喷涂型钢筋阻锈剂在施工时应剔凿、修复局部劣化的混凝土表面（如空鼓、剥落、顺筋开裂和锈胀等）。一般工序为：①剔除松动、开裂的混凝土；②将钢筋表面除锈打磨至发亮；③打磨混凝土表面，除去油污和原有涂层，用高压水冲洗干净，晾干；④用修补料进行修补或用压力注浆将裂缝密封。
- （2）喷涂型钢筋阻锈剂为透明状液体，喷涂十几分钟后就没有任何痕迹，应设立专门质量员分时、分段抽查，以确保每个部位均能喷涂到位。

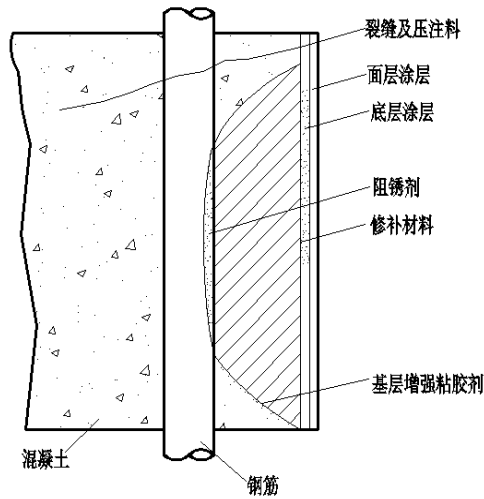


图 1 阻锈剂使用示意图

（四）验收标准及要求

阻锈剂使用效果的验收及要求应满足《建筑结构加固工程施工质量验收规范》（GB 50550-2010）附录Y钢筋阻锈剂应用规定和《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）的相关要求。

喷涂型阻锈剂效果的评估应符合下列规定：

（1）应在喷涂阻锈剂150d后，采用同一仪器（至少应采用相同型号的测试仪）对阻锈处理前测试的构件进行原位复测，其锈蚀电流的降低率应按下式计算：

$$\text{锈蚀电流的降低率} = \frac{I_0 - I}{I_0} \times 100\%$$

式中：I----150d后的锈蚀电流平均值；

I_0 ----喷涂阻锈剂前的厨师锈蚀电流平均值。

（2）当检测结果达到下列指标时，可认为该工程的阻锈处理符合本规范要求，可以重新交付使用：

- 初始锈蚀电流 $>1 \mu A/cm^2$ 的构件，其150d后的锈蚀电流的降低率不小于80%；
- 初始锈蚀电流 $<1 \mu A/cm^2$ 的构件，其150d后的锈蚀电流的降低率不小于50%。

附录 5：浸瓷圭釉材料涂装防护

浸瓷圭釉材料是一种独特的水性小分子纳米硅材料，双组份，在室温条件下反应固化。水性小分子材料，可以渗入混凝土结构的毛细孔和微裂纹中2～4mm，深入内部固化扎根，满溢后在表面成瓷，交联固化与混凝土结合为一体，达到持久防护的效果。

浸瓷圭釉材料融合了现有的表面涂层和表面浸渍两种混凝土结构常用附加防腐蚀措施的优点，弥补了其使用寿命和防护性能不足的缺点，能够有效地提升混凝土结构的耐久性要求。

（一）涂层方案

依据《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》（JT/T695-2007）的规定，要求涂层体系应具有一定的防腐年限，根据实际需要可分为普通型M（10年）和长效型H（20年）两类，按浸水腐蚀环境分为淡水（Im1）和海水或盐水（Im2）两种类型。结合路桥的况，考虑到除冰盐的腐蚀，腐蚀环境定位盐水（Im2），混凝土防腐涂层的使用寿命20年。

混凝土表面防腐处理方案如下表所示。

混凝土防腐涂层配套方案		
材料	涂层厚度/道数	备注
浸渍圭釉材料（底涂）	2mm/1 道	渗透深度>2mm
浸瓷圭釉材料（面涂）	0.06mm/2 道	表面成膜厚度

混凝土结构防腐处理具体施工工艺流程为：

表面处理：对原有混凝土表面进行处理。新浇筑混凝土，养护15天后，用高压水枪去除混凝土表面浮浆，用聚合物水泥修补局部缺陷。旧混凝土结构，用高压水枪去除混凝土结构表面的旧涂料层，对混凝土局部病害（如锈胀、坑槽等）采用聚合物水泥进行修补， 如有露筋，则先对裸露钢筋作表面防锈处理。

喷涂/滚涂浸渍圭釉材料1道，充分渗入混凝土表层，深入扎根固化。

喷涂/滚涂浸瓷圭釉材料2道，保证表面完全均匀成膜，疏水性能优良，色彩均匀一致。

（二）材料和施工的要求

浸瓷圭釉材料可渗入混凝土2~4mm强化表层深入扎根，最终表面形成瓷釉，永不脱落斑驳，是耐久性混凝土防腐蚀涂装方案。其特点为：**与混凝土附着力极强，耐水、耐碱、耐酸、耐盐浸泡，耐气候老化、抗污染、耐磨损性能优良。**

1. 对浸瓷圭釉材料的性能要求

浸瓷圭釉材料技术指标

序号	检测项目	标准值	检测结果	检测方法
1	耐水性（3000h）	无气泡、剥落、粉化现象	无气泡、剥落、粉化现象	JT/T 695-2007
2	耐盐水性（3%NaCl,3000h）	无气泡、剥落、粉化现象	无气泡、剥落、粉化现象	JT/T 695-2007
3	耐碱性（10%NaOH，30d）	无气泡、剥落、粉化现象	无气泡、剥落、粉化现象	JT/T 695-2007
4	耐酸性（10%H2SO4，30d）	无气泡、剥落、粉化现象	无气泡、剥落、粉化现象	JT/T 695-2007
5	耐人工气候老化	1000h,无气泡、剥落、粉化现象,变色 2 级。	4000h，无气泡、剥落、粉化现象,变色 1 级。	JT/T 695-2007
6	附着力（拉开法），MPa	≥1.5	6	JT/T 695-2007
7	耐磨性，g	≤0.03	0.015	
8	耐冲击性，cm	50	50	
9	铅笔硬度（擦伤）	≥3H	4H	
10	耐沾污性，级	≤2	2	
11	渗透深度，mm	≥2	3	JG/T 337-2011
12	碳化深度比，%	≤20%	5%	JG/T 335-2011
13	抗冻性	200 次，无异常	300 次，无异常	JG/T 335-2011
14	抗氯离子渗透性，[mg/（cm2.d）]	≤1.0x10-3	1.0x10-4	JG/T 335-2011

2. 对浸瓷圭釉材料的施工要求

（1）基层处理

清除混凝土表面浮浆或浮灰，表面应无空鼓、起皮、砂石和油污等。

（2）配料

浸瓷圭釉材料是双组份材料，使用时，按照说明书混合A\B组份进行操作。

（3）可用时间

两组份混合后适用期2h，视当时的环境状况，依据说明书操作。

（4）使用量

浸瓷圭釉材料涂布率，浸渍圭釉材料（底涂）涂一道约0.16公斤/平米，浸瓷圭釉材料（面涂）涂两道约0.33公斤/平米。

（5）施工操作

参考涂布率，浸渍圭釉材料（底涂）涂一道，表面干燥后，既可以涂装第一道浸瓷圭釉材料（面涂），干燥24h后，再涂装第二道浸瓷圭釉材料（面涂）即可。

（6）注意事项

施工的环境条件，温度在10℃以上，湿度在80%以下，雨雪天气禁止施工，实干前遇雨雪时，应覆盖表面，以避免影响施工质量。

（7）贮存期

产品的贮存温度保持在5-350C，原包装放置于干燥处可存放12个月。远离热源和明火。

3. 施工质量验收指标

- （1）渗透深度 $\geq 2\text{mm}$ （同步试块剖面抗渗测试）。
- （2）涂层的抗擦伤性，表面硬度 $\geq 3\text{H}$ （铅笔硬度）。
- （3）涂层的耐沾污性，表面张力 $\leq 24\text{dyn}$ （达因笔测试）。
- （4）彩色涂层的颜色应保持均匀一致。

附录 6：混凝土防腐涂层方案（索塔）

（一）涂层方案

依据《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》（JT/T 695-2007）的规定，要求涂层体系应具有一定的防腐年限，根据实际需要可分为普通型M（10年）和长效型H（20年）两类。结合本桥实际情况，本次维修要求混凝土结构的防腐寿命20年。考虑到涂层防护的有效性和历史使用情况，本次防腐采用双层防护，首先对混凝土基面采用弹性聚合物改性水泥涂料进行全覆盖涂装防护；其次在水泥涂料防护涂层的表面采用（环氧）封闭漆+通用改性环氧树脂漆+氟碳面漆进行防护处理。

混凝土表面防腐处理方案如下表所示。

表 1 混凝土防腐涂层配套方案

体系配套	材料	涂层厚度/道数	备注
内层	弹性聚合物改性水泥涂料	2mm/1 道	应对混凝土基面进行预处理
外层	封闭底漆	≤50μm（干膜）/1 道	1.本方案依据 JT/T 695-2007 中Ⅱ- I m1 涂层体系 S2.08 设计； 2.氟碳面漆颜色应与业主商定。
	通用改性环氧树脂漆	100μm（干膜）/1～2 道*	
	氟碳面漆	60μm（干膜）/2 道	

注：表中标注*项通用改性环氧树脂漆涂层宜采用 2 道涂刷，若选用材料经验证也可采用 1 道涂刷。

混凝土结构防腐处理具体施工工艺流程为：

（1）表面处理：对原有混凝土表面（全部）进行处理，首先，全面清除原混凝土结构表面的旧涂料层（建议采用电动打磨机，并配置吸尘装置等）直至露出桥塔混凝土坚实、干净基面；其次，对混凝土局部病害（如锈迹污损、坑槽及拆除钢板造成的局部损伤等）采用聚合物砂浆（如丙乳砂浆等）进行修补或补强；如有钢筋锈蚀，则应对其进行除锈处理。

（2）刮涂/喷涂弹性聚合物改性水泥涂料：利用材料的高防护性（防护侵蚀性离子和水）、高界面结合力、高弹性和长效防护性等技术优势，完成对混凝土的局部修补、补强和表面耐久性防护，提升修复混凝土构件的长期服役性能，延长修复工程使用寿命。

（3）喷涂表面层防护：正式喷涂前，应对选用的颜色进行试喷，保证色泽稳定并与预期一致。

（二）对涂层材料和施工的要求（外层）

1. 对材料性能要求

（1）混凝土封闭底漆（用于混凝土表面）

表 2 混凝土封闭底漆材料技术指标

检测项目	技术参数	备注
固体含量（重量）	≥50%	GB6751-86
细度	≤10um	GB6753.1-86
粘度（混合液）	20-40s	GB6753.4-86（ISO4#杯）
不挥发物含量	50-70	GB/T5210-2006
比重（基料）	1. 0 g/ml	GB6750-86

（2）通用改性环氧涂料（厚浆）中间漆（用于混凝土和钢结构中间漆或钢结构表面底漆）

表 3 中间漆材料技术指标

检测项目	技术参数	备注
固体含量（重量）	≥80%	GB6751-86
粘度（基料）	100-120KU	GB9269-88
附着力（拉开法）	≥6MPa	GB/T5210-85
硬度	≥0.5	GB/T1730-93 B 法
耐盐水	2000h	GB/T9274-88 甲法
冲击	≥50cm	GB/T1732-93
比重（基料）	1.5g/ml	GB6750-86

（3）氟碳面漆

溶剂可溶物中氟含量≥24%，耐人工加速老化性能3000小时试验应无明显变色、无粉化；保光率≥80%。

表 4 氟碳面漆材料技术指标

检测项目	技术参数	备注
氟含量	≥24%	HG/T3792-2006
粘度（基料）25℃	65-80KU	GB9269-88 B 法
附着力（拉开法）	≥5（Mpa）	GB/T5210-2006（喷砂钢板）
比重（基料）	1.10-1.20g/ml	GB6750-86
冲击强度 kg·cm	50	GB/T1732-93
人工加速老化（3000h）	无明显变色,无粉化,无起泡,保光率≥80%	GB/T14522
耐碱性（5%NaOH）	240h 涂层无异常	GB/T1763-1979
耐酸性（5%H ₂ SO ₄ ）	240h 涂层无异常	GB/T1763-1979

2. 涂装施工要求

（1）混凝土表面处理

防腐涂层涂刷前，应做好基底表面处理，将混凝土表面的灰浆残留物及时清理干净。混凝土处理后表面洁净度、平整度、粗糙度等应满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）、《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》（GB50212-2002）等现行规范要求。

（2）涂装工艺

1）调配涂料

● 涂料性能检查

各种不同包装的涂料组分在施工前都要进行性能检测。核对涂料各组分名称、批号、生产单位、出厂时间及保质期；掌握施工要求、干燥（固化）方式、双组分（或多组分）涂料各组分间配比及涂料适用期、配套材料等；在被涂物件进行小面积试涂，确定工艺参数；对过保质期的涂料组分，不得涂装使用；选择适宜的涂装环境、准备好施工所需的卫生安全防护措施。

● 调配涂料

将环氧涂料主剂和固化剂分别搅拌均匀后，按产品说明书中的要求准确称量、充分混合，才能施工。

2) 涂料施工

● 涂装封闭底漆

涂装面必须无油污、清洁、无积水。使用前将涂料充分搅拌均匀后才能施工，用不完的未混合的涂料需密封保存。可采用辊涂、刷涂或高压无气喷涂，涂装时工件表面温度应严格按产品说明书执行。

● 涂装环氧底漆和中间层漆

可以采用传统的真空喷涂、刷涂或辊涂。

● 涂装氟碳防腐面漆

可采用真空喷涂、辊涂或传统的喷涂。不要在湿表面或潮湿条件下施工。

（3）施工质量控制与检查

施工质量控制和检查遵照国家、部门、地方的有关规程规范、标准，并应注意以下事项：

a) 施工全过程要做好详细记录。施工人员要经过现场技术培训。

b) 对每一道工序包括混凝土表面处理、各道涂层施工等进行认真检查，并通过监理验收。

c) 严格按照涂料配比混合使用，使用动力机械搅拌，稀释剂添加量不超过说明书规定最大用量。

d) 严格按设计要求的涂装道数和涂膜厚度进行施工，随时用湿膜厚度规检查涂层湿膜厚度，以控制涂层的最终厚度及其均匀性。采用梳规湿膜测厚仪。油漆涂装后马上用湿膜测厚仪垂直按入湿膜直至接触到底材，然后取出测厚仪读取数值。湿膜厚度与干膜厚度的相应值严格按照防腐涂层设计方案。膜厚的控制应遵守两个85%的规定，即85%的测点应在规定膜厚以上，余下的15%的测点应达到规定膜厚的85%。测点的密度应根据施工面积的大小而定。

e) 涂装过程中随时注意涂层湿膜的表面状况，当发现露涂、流挂、变色、针孔、裂纹等情况时，及时进行修复处理。

f) 涂装时无论是无气喷涂还是刷涂、辊涂都要严格按照正确工艺操作：

● 喷涂前要检查动力源是否运转正常，然后吸入涂料，检查高压涂料缸是否增压正常，输料软管有无泄漏，有无接地。配件间连接是否紧密，喷枪及滤网有无堵塞情况等。发现故障，及时排除。

● 枪距以300～400mm为宜。枪距过小，喷涂压力过大，反冲力也大，容易出现涂层不均匀现象，而且喷幅（扇面宽度）小，使被涂物局部喷料过多，涂膜过厚。枪距过大，喷涂压力损失大，涂料易散失，而且喷幅过大，使被涂物局部喷料过少，涂膜达不到厚度要求。

● 喷涂扇面与被涂物面要相互垂直，手工操作喷枪时，要注意每次的喷涂宽度不宜过大，否则因操作不便会引起喷涂扇面角度明显变化，造成涂层不均匀。

● 喷枪运行的方向要始终与被涂物面平行，与喷涂扇面垂直，以保证涂层的均匀性。喷枪运行速度要稳，以300～400mm/s为宜。运行速度不稳，涂层厚度不均匀，运行速度过快涂层太薄，过慢涂层太厚。

● 采用手刷或辊涂时，使用鬃毛刷或短羊毛辊子。要求涂刷严密，无露底、漏涂，涂刷时要掌握好手法，不要出现流挂、刷痕、有接茬等涂膜缺陷。

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

h) 涂装环境的控制，施工前除了检查底材是否清洁外，还要注意底材温度、环境温度和相对湿度等。具体要求严格按照产品说明书进行。

i) 严格控制涂装间隔期，一道漆涂装完毕后，在进行下道漆涂装之前，一定要确认是否已达到规定的涂装间隔时间，否则就不能进行涂装。保证在最短涂装间隔时间以后和最长涂装间隔时间以内涂装，以保证优良的层间附着力。

j) 每道涂装施工前对上道涂层进行检查，上道涂层检查合格后才能进行下一道涂层施工。

k) 涂装完成后7d，对涂层干膜厚度测定，抽样按业主和监理有关规定执行。

l) 涂料储存要置于阴凉通风处，远离火源。如果油漆的储存超过其储存期，则应该进行检查，若符合标准，则仍可继续使用。

m) 涂装完成后7d，应使用拉脱式涂层粘结强度测定仪测定涂层系统的粘结强度。涂层系统的最小粘结强度应不小于设计要求

n) 涂层粘结强度不能达到设计要求时，可在原检测点附近涂层面上，按加倍测点数

量重做涂层粘结强度检测。如仍不合格，涂装施工应返工直至检测验收合格。涂层粘结强度测定完成后，用相同的涂层系统按规定配套修补测点位置破损的涂层。

o) 涂料防腐蚀工程的质量要求和检验评定方法

表 5 涂料防腐蚀工程的质量要求和检验评定方法

序号	基本项目	质量要求	检验评定方法
1	基层找平层	必须平整、洁净、密实、均匀、无裂纹、无剥落	观察检查
2	涂料配合比	必须符合施工指导书要求	观察和检查施工记录
3	涂层外观	均匀、不流挂、无裂纹、无漏涂、无气泡、颜色一致无明显色差等	观察检查
4	涂层厚度	符合设计要求	湿膜厚度：采用湿膜测厚仪 干膜厚度：采用适用于混凝土基面的超声波测厚仪
5	涂层的修补	按原设计要求	同上

(三) 对弹性聚合物改性水泥材料和施工的要求（内层）

弹性聚合物改性水泥用于微裂纹和孔洞修补，表面改性，可提高混凝土韧性和表面强度，防止开裂。其特点为：弹性高，粘结性好，附着力强，耐水、耐碱、耐酸，无毒性，使用安全、可靠。

1. 对弹性聚合物改性水泥材料性能要求

表 6 弹性聚合物改性水泥材料技术指标

序号	项目名称		标准要求
1	固体含量≥		76%
2	拉伸强度	无处理≥	1.2MPa
		加热处理后保持率≥	145%
		碱处理后保持率≥	112%
		浸水处理后保持率≥	118%
		紫外线处理后保持率≥	116%
3	断裂延伸率（%）	无处理≥	300%
		加热处理≥	200%
		碱处理≥	360%
		浸水处理≥	420%
		紫外线处理≥	229%
4	低温柔性（Φ10mm 棒）		-10℃，无裂纹
5	粘结强度	无处理≥	1.4MPa
		潮湿基面≥	1.5MPa
6	不透水性（0.3MPa，30min）		不透水
7	氯离子扩散系数降低率（C40 水泥混凝土，厚度 2mm，28 天）≥		20%
8	电通量降低率（C40 水泥混凝土，厚度 2mm，28 天）≥		20%

1. 对弹性聚合物改性水泥材料的施工要求

（1）基层处理

清除混凝土表面破损或浮灰，表面应无空鼓、起皮、砂石和油污等。施工前应润湿基面，但不得有明水。

（2）配料

液料：粉料：水=10：15：1。制备时，先加入液料，搅拌过程中逐步加入粉料，充分搅拌至混合料中无团聚颗粒，搅拌时间通常为4～5分钟。

（3）可用时间

双组分拌合起1小时。

（4）使用量

防护膜层建议厚度2mm（不宜超过3mm），材料用量约2.5～3.0kg/m²。

（5）施工操作

按规定用量，分3～4次刮涂或4～6次喷涂施工，次层施工间隔以前层表面固化为准，通常夏季不低于0.5小时，冬季不低于2小时。大面积厚层防护使用，建议混凝土表面凿毛处理，可配合网格布使用。

（6）注意事项

施工不宜在0℃以下或雨雪天气开展，实干前遇雨雪时，应覆盖表面，以避免影响施工质量。

（7）贮存期

液料6个月；干燥环境下，粉料3个月；夏季湿热环境下，粉料1个月。

附录 7：RS-S200 带锈涂装

（一）性能指标

表 1 RS-S200 带锈涂装涂料底漆性能指标

序号	项目	技术指标	测试方法
1	容器中状态	正常	HG/T 4564-2013
2	不挥发物含量，%	≥80	
3	表干时间，h	≤4	
4	实干时间，h	≤24	
5	弯曲试验，mm	≤2	
6	耐冲击性，cm	50	
7	耐水性（240h）	无异常	
8	带锈附着力，MPa	≥4.5	
9	不带锈附着力，MPa	≥20	GB/T 5210-2006

表 2 RS-S200 带锈涂装涂料涂料层性能指标

序号	项目	技术指标	测试方法
1	耐酸性（240h，5%硫酸）	无起泡、脱落、生锈、变色等现象	GB/T9274-1988
2	耐碱性（240h，5%氢氧化钠）	无起泡、脱落、生锈、变色等现象	
3	耐人工气候老化性（1500h）	无起泡、开裂、脱落；变色 0 级、粉化 0 级	GB/T1865-2009
4	耐盐雾性（2000h）	无起泡、生锈等损坏现象	GB/T 1771-2007
5	附着力，MPa	≥4.5	GB/T 5210-2006
6	弯曲试验，mm	≤2	HG/T 4564-2013
7	耐冲击性，cm	50	

（二）施工方案

1、施工环境条件

- 涂装的适宜环境：温度5～40℃，湿度≤85%，基面温度≤50℃，且高于露点3℃以上，风力≤3级；
- 室外施工应避免雨天、雾天及风沙场合，还应考虑早晚的结露因素；
- 当基面温度低于0℃，或环境湿度大于85%时，不建议施工；
- 一般情况下，涂装后的涂膜在16h内不宜淋雨。

2、施工流程

2.1施工准备

- 根据设计图纸要求，备好带锈防腐涂料及基面清洗剂；
- 准备除锈机械，涂刷、喷涂工具；
- 涂装前钢结构、构件已检查验收，并符合设计的除锈要求；
- 防腐涂装作业应具有防火和通风措施，防止火灾和人员中毒事故。

2.2基面清理

涂装前将需要涂装部位的焊缝飞溅物、油污、尘土、盐分等清除干净，对锈蚀严重部位使用角磨机对涂装区域进行打磨处理达到St2等级，涂装前表面必须完全干燥。

2.3涂料涂装

油漆开桶后，使用搅拌器低速搅拌，确保所有的成分都搅拌均匀，备用；

严格按照配比进行称重混合，使用机械搅拌进行混合，搅拌时间不低于3min；

涂装前应先试涂，根据现场施工条件，选择合适的工作参数，使用空气喷涂时喷嘴口径1.8～2.5mm，喷出压力0.3～0.5MPa，使用无气喷涂时喷嘴口径0.01～0.02mm，喷出压力20MPa左右，喷漆时采用勤移动、短距离的原则，防止喷漆太多而流坠；

使用毛刷施工时，选用较为柔软的刷子，先横向（左右涂），然后竖向（上下涂），动作要慢，避免形成气泡，让涂料有时间渗透到基面中；

涂刷底漆，推荐采用喷涂施工，喷涂1-2遍，直至达到规定漆膜厚度；

待底漆实干后即可涂刷面漆，推荐采用喷涂施工，直至达到规定漆膜厚度。

2.4涂层检查与验收

- 涂装后处理检查，应该是涂装颜色一致，色泽鲜明光亮，不起皱皮，不起疙瘩；
- 表面涂装施工时和施工后，对涂装过的工作面进行保护，防止飞扬尘土和其他杂物；
- 涂装漆膜厚度的测定，用角点式漆膜测厚仪测定漆膜厚度，漆膜测厚仪一般测定3点厚度，取其平均值。

2.5涂层保护

- 钢结构涂装后加以临时围护隔离，禁止踏踩，损伤涂层；
- 钢结构涂装后，在4小时之内遇有大风或下雨时，需加以覆盖，防止沾染尘土和水汽，影响涂层的附着力；
- 涂装后构件需要运输时，要注意防止磕碰，禁止在地上拖拉，损坏涂层。

3.施工中应注意的问题

- 表面处理可用油脂去除剂去除油脂，用四氯化碳去除盐分，TSP磷酸三钠或柑橘类清洁剂以清除表面杂质及残留的油脂去除剂，再使用3500psi高压水枪清洗；

- （2）喷涂施工中断或停止施工时，应及时用溶剂清洗管路及容器；
- （3）开桶尽量用完，未用完及时盖严保护，否则产品将在容器中逐渐固化；
- （4）参加钢结构涂装的工人，应该熟知本工种的安全技术操作规程，严禁酒后操作，同时施工现场严禁明火和按规定配备消防器材。

（三）防腐配套方案

耐久性	干膜厚度（ μm ）		用量（ kg/m^2 ）	施工方式
15 年以上	底漆	200	0.29	喷涂或刷涂
	面漆	80	0.15	

附录 8：超表处技术要求

低噪抗滑超表处技术，是一种路面预防性养护工艺。该技术是将层间界面剂、改性乳化沥青、耐磨抗滑降噪集料、改性乳化沥青、表面保护剂，使用专用设备“五位一体”同步联铺，形成Ⅰ型厚度3mm、Ⅱ型厚度6mm和Ⅲ型厚度8mm（Ⅰ型和Ⅱ型复合施工）的超表处。本次使用Ⅱ型超表处。

超表处适用于路面抗滑性不足等轻、中度病害的预防性养护，具有以下显著特点：行车噪音低，摩擦系数高（≥55BPN），封水（渗水系数为0），延缓反射裂缝，保护、美化原路面，快速开放交通（2~4h开放交通），使用寿命长（4~6年），节能环保、绿色低碳、性价比高。

1.1 材料

1.1.1 一般规定

超表处使用的各种材料经取样检验合格后方可使用。

1.1.2 层间界面剂

层间界面剂外观状态为常温液态，含有表面活性剂、高分子粘结剂和沥青再生剂或水泥增强剂等材料，分为沥青路面专用型和水泥路面专用型，层间界面剂技术要求应符合表1的规定。

表 1 层间界面剂技术要求

检验项目	单位	技术要求		试验方法
		沥青路面专用	水泥混凝土路面专用	
外观状态	—	常温液态	常温液态	—
PH 值	—	5~9	5~9	GB/T 14518
固含量	%	≥15	≥20	GB/T 2793

1.1.3 改性乳化沥青

改性乳化沥青技术要求应符合表2的规定。

表 2 乳化高黏沥青技术要求

检验项目		单位	技术要求	试验方法
破乳速度		—	快裂	JTG E20 T 0658
粒子电荷		—	阳离子（+）	JTG E20 T 0653
筛上剩余量（1.18mm 筛）		%	≤0.1	JTG E20 T 0652
标准黏度 C _{25, 3}		s	15~35	JTG E20 T 0621
蒸发残留物含量		%	≥63	JTG E20 T 0651
蒸发后残留物	针入度（100g, 25℃, 5s）	0.1mm	40~80	JTG E20 T 0604
	软化点（环球法）	℃	≥90	JTG E20 T 0606

	延度（5℃）	cm	≥40	JTG E20 T 0605
	弹性恢复（25℃）	%	≥95	JTG E20 T 0662
	60℃动力黏度	Pa·s	≥120 000	JTG E20 T 0620
	溶解度（三氯乙烯）	%	≥97.5	JTG E20 T 0607
	黏韧性	N·m	≥20	JTG E20 T 0624
	韧性	N·m	≥10	JTG E20 T 0624
储存稳定性 ^a	1d	%	≤1	JTG E20 T 0655
	5d	%	≤5	
与粗集料的黏附性，裹覆面积		—	≥2/3	JTG E20 T 0654
^a 储存稳定性根据施工实际情况选择试验天数，通常采用 5d，乳化沥青生产后能在第二天使用完时可选用 1d。				

1.1.4 集料

集料应具有较高硬度和耐磨性能，集料的主要技术要求应符合表3的规定。

表 3 集料技术要求

检验项目 ^a	单位	技术要求	试验方法
表观相对密度	—	≥2.75	JTG E42 T 0328
坚固性（>0.3mm 部分）	%	≤12	JTG E42 T 0340
针片状含量	%	≤15	JTG E42 T 0312
压碎值	%	≤20	JTG E42 T 0316
洛杉矶磨耗损失	%	≤22	JTG E42 T 0317
磨光值 PSV	BPN	≥42	JTG E42 T 0321
含泥量（小于 0.075mm 的含量）	%	<1	JTG E42 T 0333
砂当量	%	≥80	JTG E42 T 0334
软石含量	%	≤5	JTG E42 T 0320
^a 坚固性、压碎值、洛杉矶磨耗损失、磨光值等检验项目是采用同种材质的粗集料进行试验。			

超表处用集料粒径范围应符合表4的规定。

表 4 各类型骨料粒径范围

类型	通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）				
	4.75	2.36	1.18	0.3	0.075
Ⅰ型	-	95-100	0-5	-	<1
Ⅱ型	95-100	0-5	-	-	<1

1.1.5 表面保护剂

表面保护剂外观状态为常温液态，表面保护剂技术要求应符合表5 的规定。

表 5 表面保护剂技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
pH 值	—	7~11	GB/T 14518
固含量	%	≥20	GB/T 2793
表干时间	h	≤1	GB/T 16777

1.1.6 防凝冰剂

防凝冰剂的技术要求应符合表6的规定。

表 6 防凝冰剂技术要求

检验项目	单位	技术要求	试验方法
固含量	%	≥60	GB/T 2793
冰点	℃	<-30	SH/T 0090

本次暂不添加防凝冰剂。

1.2 适用路面和类型选择

1.2.1 一般规定

超表处的类型选择及设计，应根据道路等级、交通量、路面类型、原路面状况、使用要求等因素确定。原路面或处置后的路面路况指数要求应符合表7的规定。

表 7 路况指数要求

路面类型	道路等级	路况指数 a		
		PCI	PSSI	RQI
沥青路面	高速公路	≥75	≥80	≥80
	一级公路、二级公路、城市快速路和主干道	≥75	≥75	≥75
	三级及以下公路、城市次干道	≥70	≥70	≥70
水泥混凝土路面	高速公路	≥70	—	≥80
	一级公路、二级公路、城市快速路和主干道	≥70	—	≥75
	三级及以下公路、城市次干道	≥65	—	≥70
a 按 JTG 5210 规定的方法检测，应采用近 6 个月以内检测的数据；其中 PCI 为判断指标，PSSI 和 RQI 为检验指标。				

1.2.2 局部病害处置要求

（1）当沥青路面局部病害超出表8规定的要求时，应按JTG 5142进行处置。

表 8 沥青路面局部病害相关处置要求

病害类型及名称	要求
块状、龟裂裂缝	裂区无变形、无散落，主要裂缝宽度小于 2mm，主要裂缝块度面积大于 0.3m ² （约 0.6m×0.6m）
横向、纵向裂缝	裂缝壁无散落或有轻微散落，无支缝或有少量支缝，裂缝宽度小于 3mm
坑槽	直径小于 30mm、深度小于 10mm
松散	路面有轻度细集料散失、脱皮、麻面等表面损坏
沉陷	深度小于 10mm，行车无明显感觉
车辙	辙槽浅，深度小于 10mm
波浪拥包	波峰波谷高差小，高差小于 10mm
唧浆	处置

（2）当水泥混凝土路面局部病害超出表9规定的要求时，应按现行JTJ 073.1进行处置。

表 9 水泥混凝土路面局部病害相关处置要求

病害类型及名称	要求
破碎板	板块被裂缝分为 3 块以下，破碎板未发生松动和沉陷
裂缝	板块上只有一条裂缝，裂缝窄、裂缝处未剥落，缝宽小于 3mm
板角断裂	裂缝宽度小于 3mm
错台	高差小于 10mm
唧泥	处置
边角剥落	浅层剥落
接缝料损坏	填料未剥落、脱空，未被砂、石、泥土等填塞
坑洞	直径小于 30mm、深度小于 10mm

1.2.3 类型选择

超表处按施工厚度可分为 I 型（3mm）、II 型（6mm）、III 型（8mm），其中III型为复合施工超表处，下层为 II 型，上层为 I 型。超表处类型选择应符合表10的规定：

表 10 类型选择

类型	选择标准 ^a	
	沥青路面	水泥混凝土路面
I型	重交通荷载等级及以下路段，PCI≥85 路段的预防养护；抗滑性不足路面的防滑处理。 在下述路况条件下使用时，宜通过试验路验证后应用：较 重 麻 面 路 段 （ 构 造 深 度 TD>2.0mm）；坡度不小于 2%的坡道段及圆曲线最小半径不大于 400m 的重交通荷载弯道路段。	不适用
II型	重交通荷载等级及以下路段，PCI≥80 路段的预防养护；对抗滑性不足路面的防滑处理。 在下述路况条件下使用时，宜通过试验路验证后应用：坡度不小于 3%的坡道段及圆曲线最小半径不大于 200m 的重交通荷载弯道路段。	重交通荷载等级及以下路段；PCI≥75 路段的预防养护；对水泥混凝土路面的“白加黑”处理；抗滑性不足路面的防滑处理。 在下述路况条件下使用时，宜通过试验路验证后应用：坡度不小于 3%的坡道段及圆曲线最小半径不大于 200m 的重交通荷载弯道路段。
III型	PCI≥75 路段的预防养护；对抗滑性不足路面的防滑处理。推荐应用于特重交通荷载等级路段，桥隧、坡道及弯道路段。	PCI≥75 路段的预防养护；对水泥混凝土路面的“白加黑”处理，抗滑性不足路面的防滑处理。 推荐应用于特重交通荷载等级路段，桥隧、坡道及弯道路段。
^a 沥青路面出现车辙，先采用II型超表处或微表处对车辙进行填补，然后根据上述三项原则，选择I型、II型或III型低噪抗滑超表处对路面进行整体处置。		

1.3 材料设计和技术要求

1.3.1 材料设计

超表处材料设计应符合表11的规定。

表 11 超表处原材料用量范围

项目	I型	II型	III型 ^a	备注
层间界面剂用量（kg/m ² ）	0.2~0.25	0.3~0.35	0.3~0.35	构造深度大、老化严重、洁净度差的路面宜选择上限，反之宜选择下限。

项目	I型	II型	III型 ^a	备注
改性乳化沥青用量（kg/m ² ）	0.8~1.0	1.3~1.7	2.1~2.7	高速、一级公路、城市主干道、交通量大的路面宜选择上限，其它路面宜选择下限；第一层改性乳化沥青不应低于改性乳化沥青总量的 50%。
表面保护剂用量（kg/m ² ）	0.25~0.35	0.35~0.45	0.25~0.35	气温高于 30℃时，宜选择上限；气温低于 25℃时，宜选择下限。
集料粒径范围（mm）	0-3 或 0~4	0~6	上层 0-3 或 0-4， 下层 0~6	
集料用量（kg/m ² ）	3.5~4.5	5.5~6.5	9~11	构造深度大，麻面严重的路面宜选择上限，构造深度小、无麻面时宜选择下限
^a 由于III型超表处为复合式封层，其改性乳化沥青、集料用量为I型和II型用量的总和。				

1.3.2 技术要求

超表处技术要求应符合表12的规定。

表 12 超表处技术要求

指标		技术要求	检测方法	
厚度（mm）	I型	3	钢尺测量或其他有效手段	
	II型	6		
	III型	8		
抗滑性能	摆值（BPN） ^a		JTG3450 T 0964	
	横向力系数 SFC ^a		JTG3450 T 0965	
	构造深度 TD（mm）	I型	≥0.4	JTG3450 T 0961
		II型	≥0.55	JTG3450 T 0961
		III型	≥0.4	JTG3450 T 0961
渗水系数 ^b （mL/min）		≤10	JTG3450 T 0971	
行车车内噪声 ^c （dB）		≤63	《道路路面低噪抗滑超表处技术规程》 附录 A	

^a应在横向力系数和摆值两个指标中选取一个。

^b为更加准确地测定渗水系数，在开放交通早期进行渗水系数检测时，应以适当方式阻断其侧向排水，如：以测试点为圆心，将内径 230mm、外径 250mm 环形区域内的表面层去除，并在该区域内涂抹密封材料，然后再进行渗水系数检测。

^c测试条件应满足：环境噪声小于 60dB，路面平整度良好，测试车辆车况良好。试验方法见附录 A。

1.4 施工机械

1.4.1 一般规定

超表处施工可采用图1所示的超表处封层车。

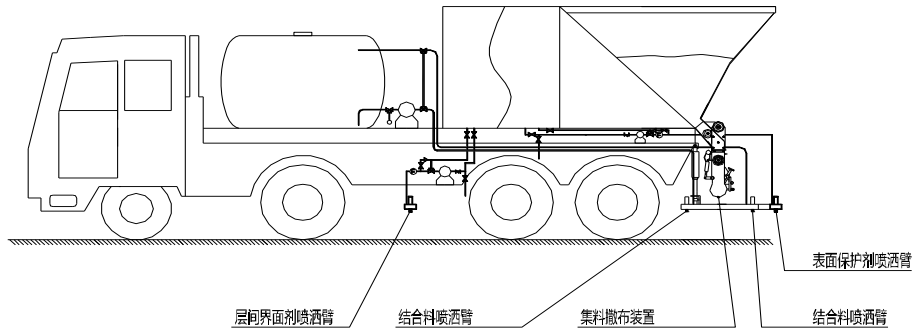


图 1 超表处封层车示意

超表处应采用“五位一体”施工工艺，依次将层间界面剂、改性乳化沥青、集料、改性乳化沥青、表面保护剂，多层同步洒/撒布施工至原路面。作业时，“五位一体”超表处专用施工车应保持车速和洒/撒布量的稳定，在整个洒布宽度范围内，应布料均匀。

超表处封层车应配备沥青罐、层间界面剂罐、表面保护剂罐、集料仓、计量系统、喷洒系统、集料撒布装置及操作台等主要部件，应具备设定、显示和记录材料用量的功能。

1.4.2 “五位一体”超表处专用施工车

超表处专用施工车的层间界面剂、改性乳化沥青、集料、表面保护剂洒/撒布量可调。

超表处专用施工车施工宽度可调，根据路幅宽度，施工宽度宜控制在0.6m～4m；应尽量减少纵向、横向接缝数量，接缝处置宜采用搭接方式，搭接宽度宜为5cm～10cm。纵向接缝不宜位于轮迹带区域。

清扫机：宜选用钢刷清扫机。压路机：必须选用胶轮压路机。

1.5 施工要求

1.5.1 一般规定

- （1）超表处需选择在无雨和温度适宜的季节施工。
- （2）施工、养生期内的气温宜高于15℃；不应在雨雪天施工；
- （3）超表处尚未成型时，不得开放交通。

1.5.2 对原路面的要求

- （1）超表处施工前应对原沥青路面进行调查，确保满足超表处进行预防性养护要求。
- （2）实施超表处预防性养护技术对原路面的要求：
 - ①路面应具有足够的结构强度。
 - ②路面应具有良好的整体稳定性，若原路面局部出现了坑槽、沉陷、拥包、车辙、龟裂等结构性病害，应先按现行国家、行业相关标准要求对病害进行处治。

1.5.3 施工准备

- （1）施工前，应对原路面进行调查，确认原路面满足施工要求。
- （2）每批材料进场前，必须有材料出厂检验合格证，材料进场后需抽检，抽检合格后方可使用。
- （3）施工前准备好相关施工机具，并确保工作状态良好，并对超表处专用施工车进行计量标定。
- （4）施工前应通过实验室试件和在预施工路段试铺确定各物料洒/撒布量及施工工艺。

（5）施工前，道路交通管制应遵循如下规定：

- ①交通标志标牌符合《道路交通标志和标线》（GB5768-2009）的相关规定。
- ②交通控制应遵守《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）的相关规定。

1.5.4 施工试验段

- （1）超表处正式施工前，应施工试验段，长度不宜小于200米。
- （2）正式施工前，应通过试验段确定材料用量及施工工艺，验证施工装备、技术参数和施工质量是否满足要求。
- （3）通过试验段得出的施工各材料用量和确定的施工工艺经监理或业主认可后，作为正式施工依据，施工过程中不应随意更改，必须更改时，应得到监理或业主认可。

1.5.5 施工

超表处应按照下列程序施工：

- （1）确认待施工区域，做好交通安全维护；
- （2）对作业路面的局部病害进行处治；
- （3）路面清扫；
- （4）根据批准的施工技术参数进行施工。
- （5）施工过程中的局部不均匀处，应及时修补。若施工异常，应立即停止施工，找出原因，及时纠错。
- （6）养生、碾压，根据施工类型及气候条件，使用3t及以上胶轮压路机碾压，在确保不粘轮情况下，应尽早实施碾压4~6遍。当采用大吨位压路机时，碾压遍数宜取下限；当采用小吨位压路机时，碾压遍数宜取上限。
- （7）开放交通：碾压完成后，应尽快开放交通。

1.6 质量控制及验收评定

1.6.1 质量控制

施工过程中应对超表处封层车及辅助施工机械配套情况等进行检查。

材料质量的检查项目及频率要求应符合表13的规定。

表 13 施工过程质量检查项目及频率要求

材料	检查项目及要求	检验频率
层间界面剂	表 1	每批次
改性乳化沥青	表 2	单项工程至少一次
表面保护剂	表 3	每批次
集料	表 4、表 5	每批次

超表处施工过程中应检查外观均匀无缺陷，无漏洒、无流淌、色泽均匀。

1.6.2 交工验收

工程完工7日后，应组织交工质量检查与验收，项目及频率应符合下表的规定。

表 14 交工质量检查与验收项目及频率要求

检验项目		质量要求	检验频率	检验方法	
外观		无局部施工缺陷	全线连续	目测	
厚度（mm）	I型	≥3	3 处/km	钢尺测量或其他有效手段	
	II型	6±1			
	III型	8±1			
抗滑性能	摆值（BPN）		≥55	3 处/km	JTG 3450 T 0964
	横向力系数 SFC		≥55	代表值/km	JTG 3450 T 0965
	构造深度 TD（mm）	I型	≥0.4	3 处/km	JTG 3450 T 0961
		II型	≥0.55	3 处/km	
		III型	≥0.4	3 处/km	
渗水系数（mL/min）		≤10	3 点/km	JTG 3450 T 0971	
行车车内噪声（dB）		≤63	3 处/km	《道路路面低噪抗滑超表处技术规程》附录 B	

山东省高速公路网现状示意图

(截至2022年1月)



图例

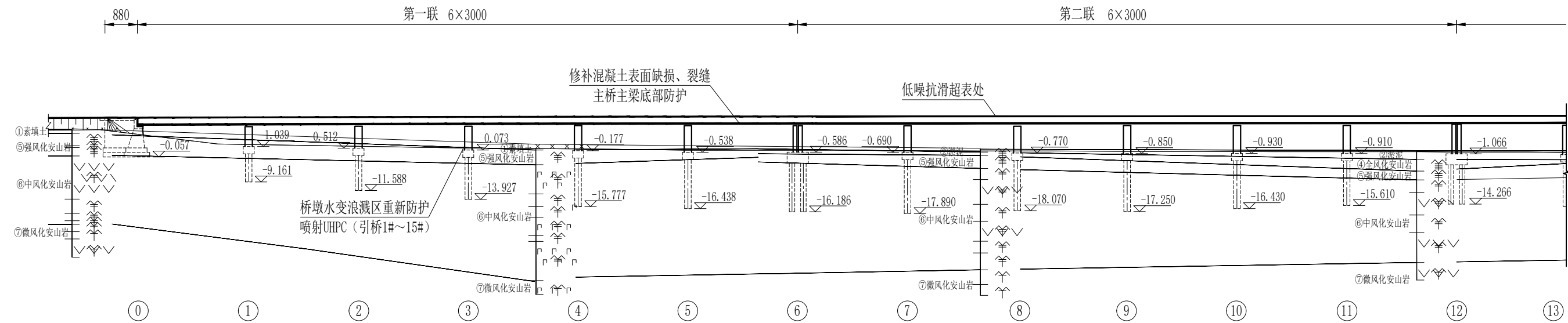
- 已通车项目
- - - 在建项目（新建）
- == 在建项目（改扩建）

工程数量汇总表

位置 项目		单位	主桥			引桥		桥面系						小计
			上部结构			上部结构	下部结构	桥面铺装	伸缩缝	防撞护栏		排水系统	照明	
			主梁、板构件	斜拉索	索塔	梁板	桥墩			路侧	中分带侧			
裂缝修补	表面封闭	m	805.9			19107.9	205.8							20119.7
	静压注射	m	687.6			4777.0	51.5		100					5616.0
表面缺陷	丙乳砂浆修补	m²	16.6			645.7	342.2					213		1217.4
锚头防护罩除锈		个		93										93
拉索锚筒内防护	导管清理原套管内填充材料清理	处		96										96.0
	灌注非硫化防腐密封胶MF2000G	kg		38196.2										38196.2
斜拉索防护	PE护套局部修补	处		10										10
斜拉索索力	全桥索力测量	处		96										96
	索力调整	对		24										24
主桥主梁底板防护	水泥基渗透结晶材料	m²	7122.0											7122.0
主塔防护	弹性聚合物+三层防腐	m²			4112.0									4112.0
右幅39#桥墩加固	桥墩表面凿毛	m²					157.2							157.2
	超高性能混凝土（UHPC）	m³					29.3							29.3
	HRB400	kg					2287.4							2287.4
桥墩浪溅区防护	超高性能混凝土（现浇）	m³					123.7							123.7
	超高性能混凝土（喷射）	m³					117.8							117.8
	超高性能混凝土（预制）	m³					60.9							60.9
	C40海工混凝土	m³					210.3							210.3
	桥墩表面凿毛	m²					5573.0							5573.0
外侧混凝土护栏	浸瓷硅釉	m²								2399				2399
中分带护栏	RS-S200带锈涂装	m²									50			50.0
照明	灯杆缺失	处											2	2.0
	部分路灯更换	个											110	110
轮廓标更换		个								220				220.0
排水系统	新型滴水檐	m										1420		1420.0
	引桥泄水管接长	处										2896		2896.0
桥面铺装	低噪抗滑超表处	m²						72336						72336.0
	标线	m²						3025.0						3025.0

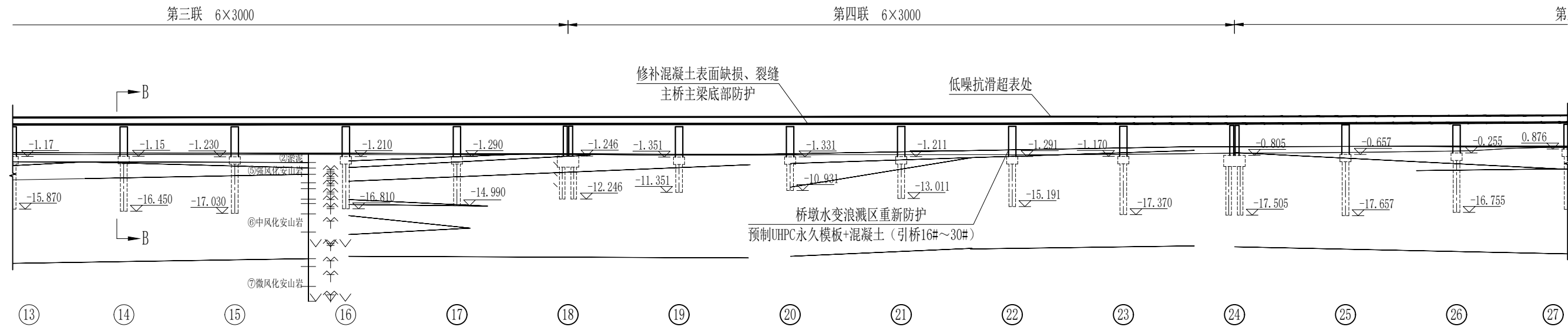
注：
表中工程量为依据调查数据和检测报告统计的病害处理数量，施工单位进场后，应现场对病害进行二次确认，最终病害处理工程量应按实际发生量予以计量。

北引桥立面



- 注：
1. 本图尺寸均以mm为单位。
 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下：
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补；
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护（水泥基渗透结晶材料）；
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器；
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系；
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固；
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施；
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装；
 - (8) 桥面排水修复；
 - (9) 照明系统更新；
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置

北引桥立面

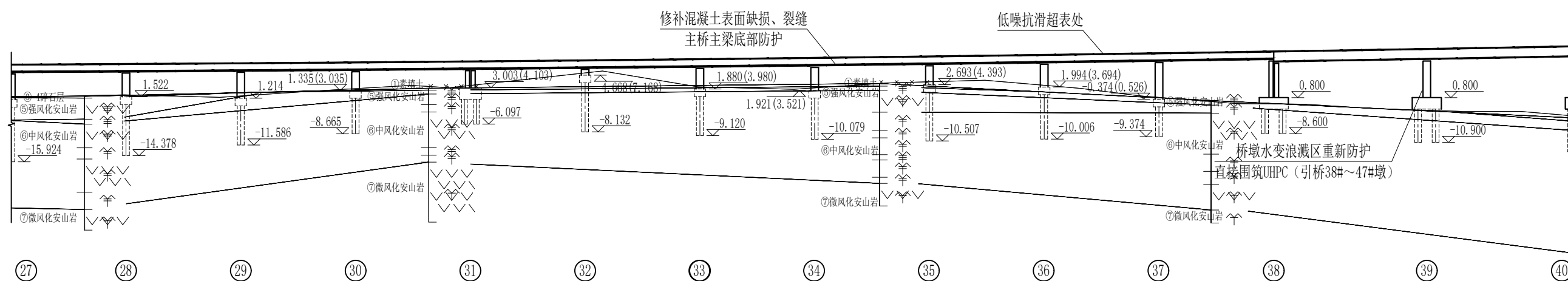


- 注:
1. 本图尺寸均以mm为单位。
 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下:
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补;
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护 (水泥基渗透结晶材料);
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器;
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系;
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固;
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施;
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装;
 - (8) 桥面排水修复;
 - (9) 照明系统更新;
 - (10) 桥面铺装进行超表处置

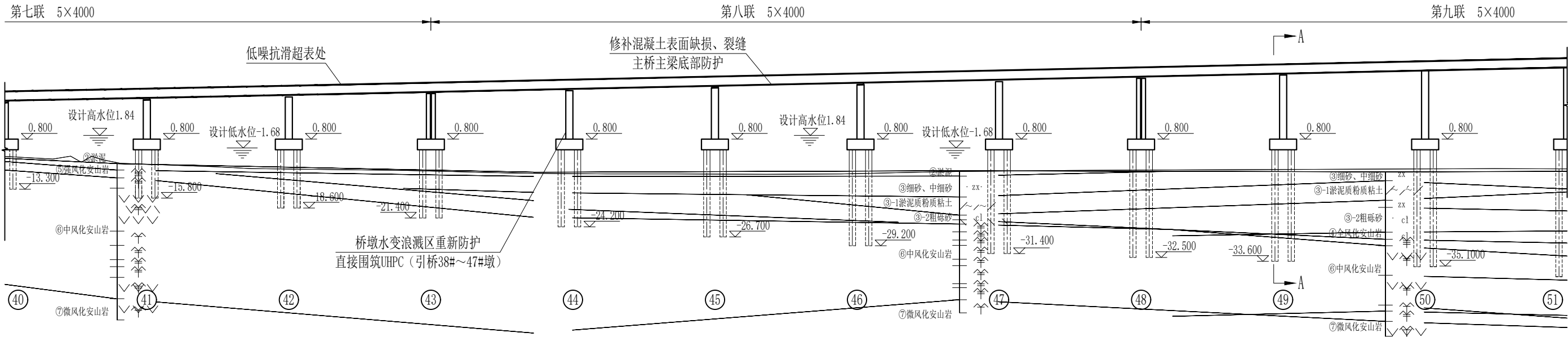
北引桥立面

五联 7×3000

第六联 7×3000

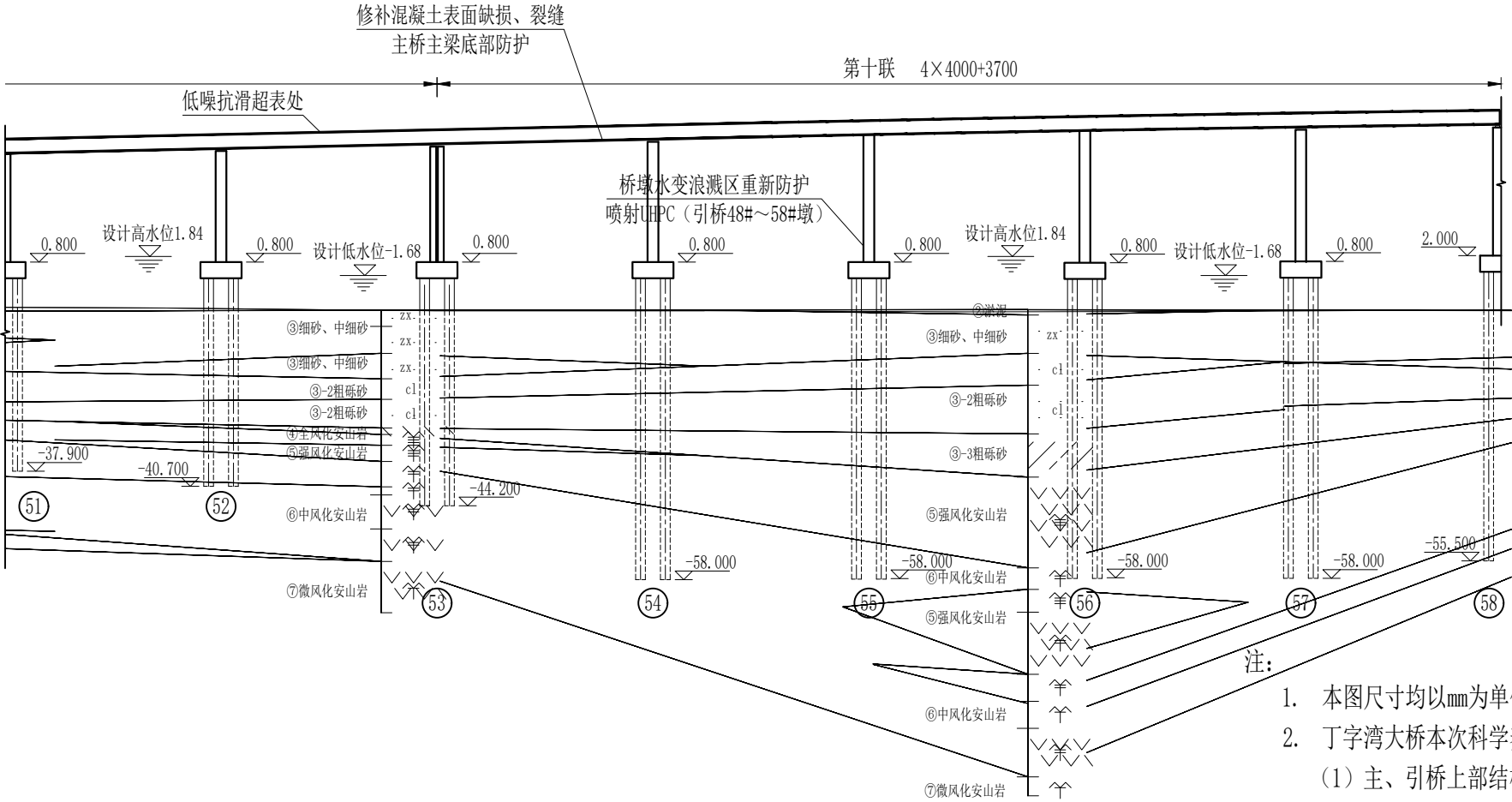


北引桥立面



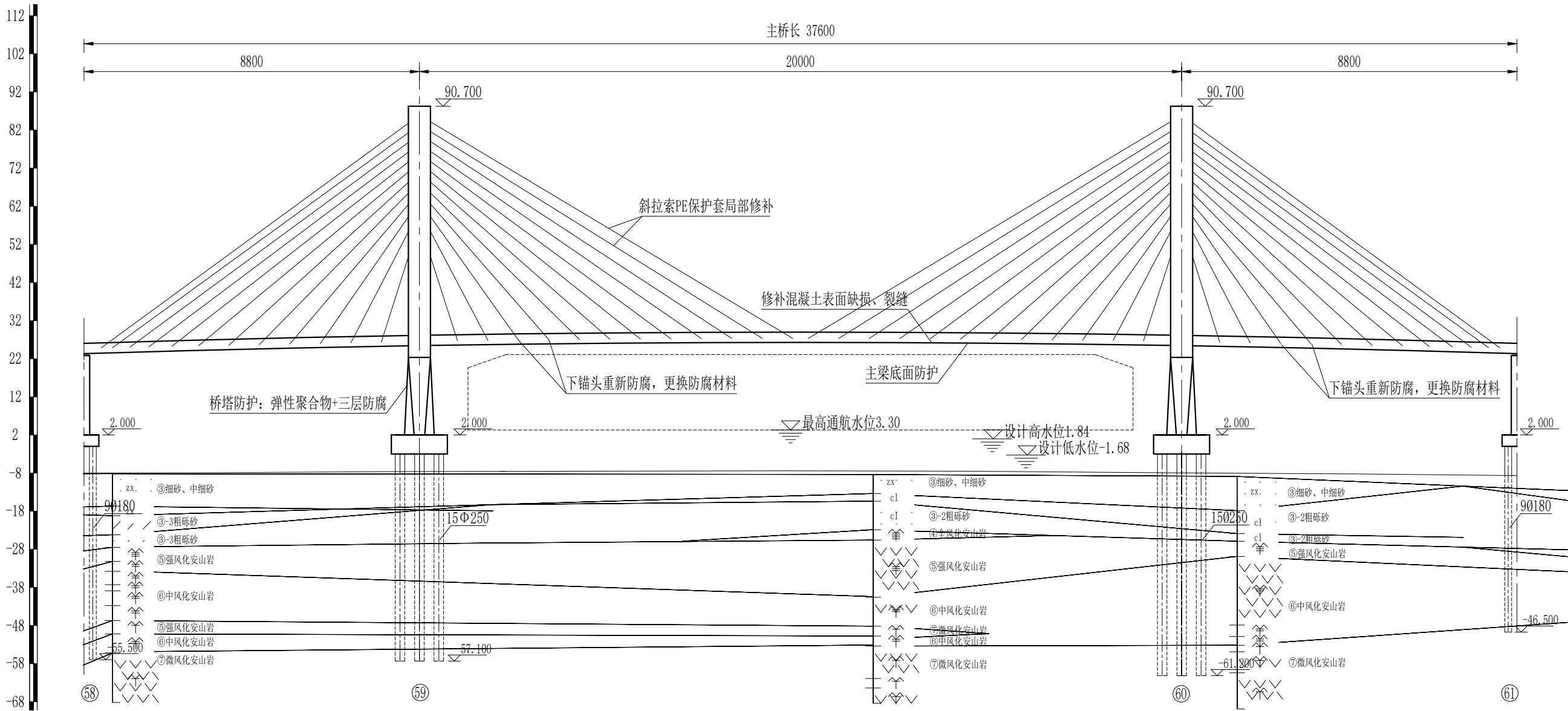
- 注：
- 1. 本图尺寸均以mm为单位。
 - 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下：
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补；
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护（水泥基渗透结晶材料）；
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器；
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系；
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固；
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施；
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装；
 - (8) 桥面排水修复；
 - (9) 照明系统更新；
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置

北引桥立面

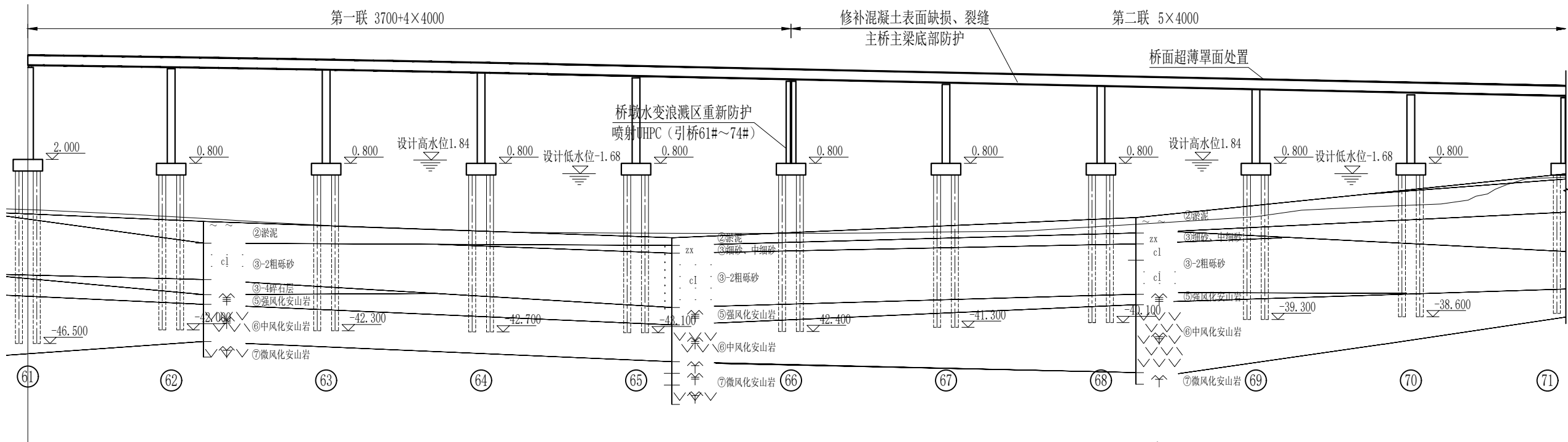


- 注:
1. 本图尺寸均以mm为单位。
 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下:
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补;
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护(水泥基渗透结晶材料);
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器;
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系;
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固;
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施;
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装;
 - (8) 桥面排水修复;
 - (9) 照明系统更新;
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置

立面



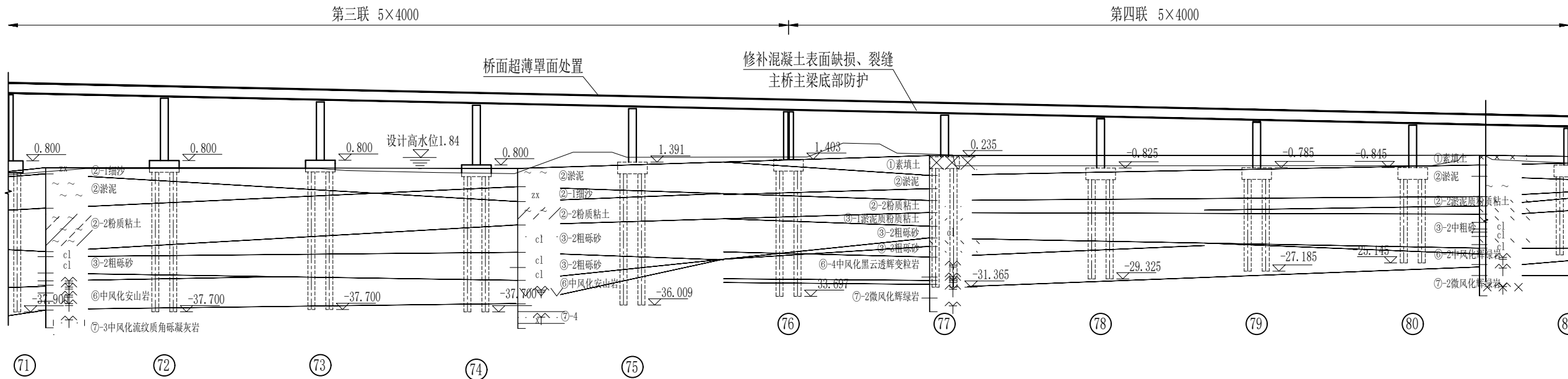
南引桥立面



注:

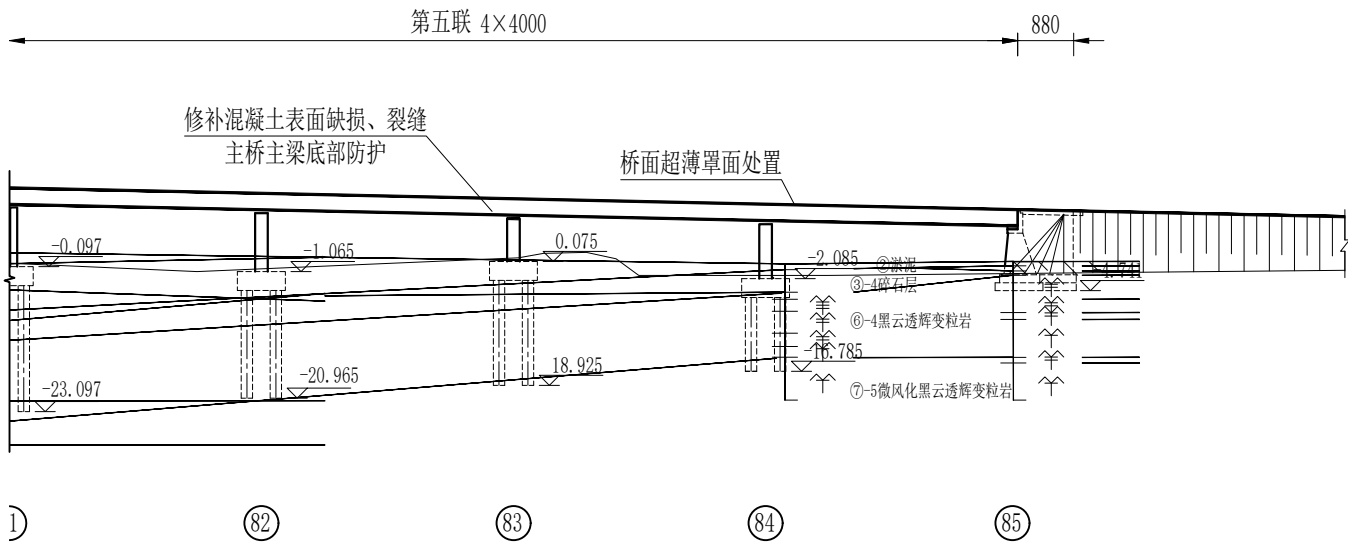
1. 本图尺寸均以mm为单位。
2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下：
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补；
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护（水泥基渗透结晶材料）；
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器；
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系；
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固；
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施；
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装；
 - (8) 桥面排水修复；
 - (9) 照明系统更新；
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置

南引桥立面

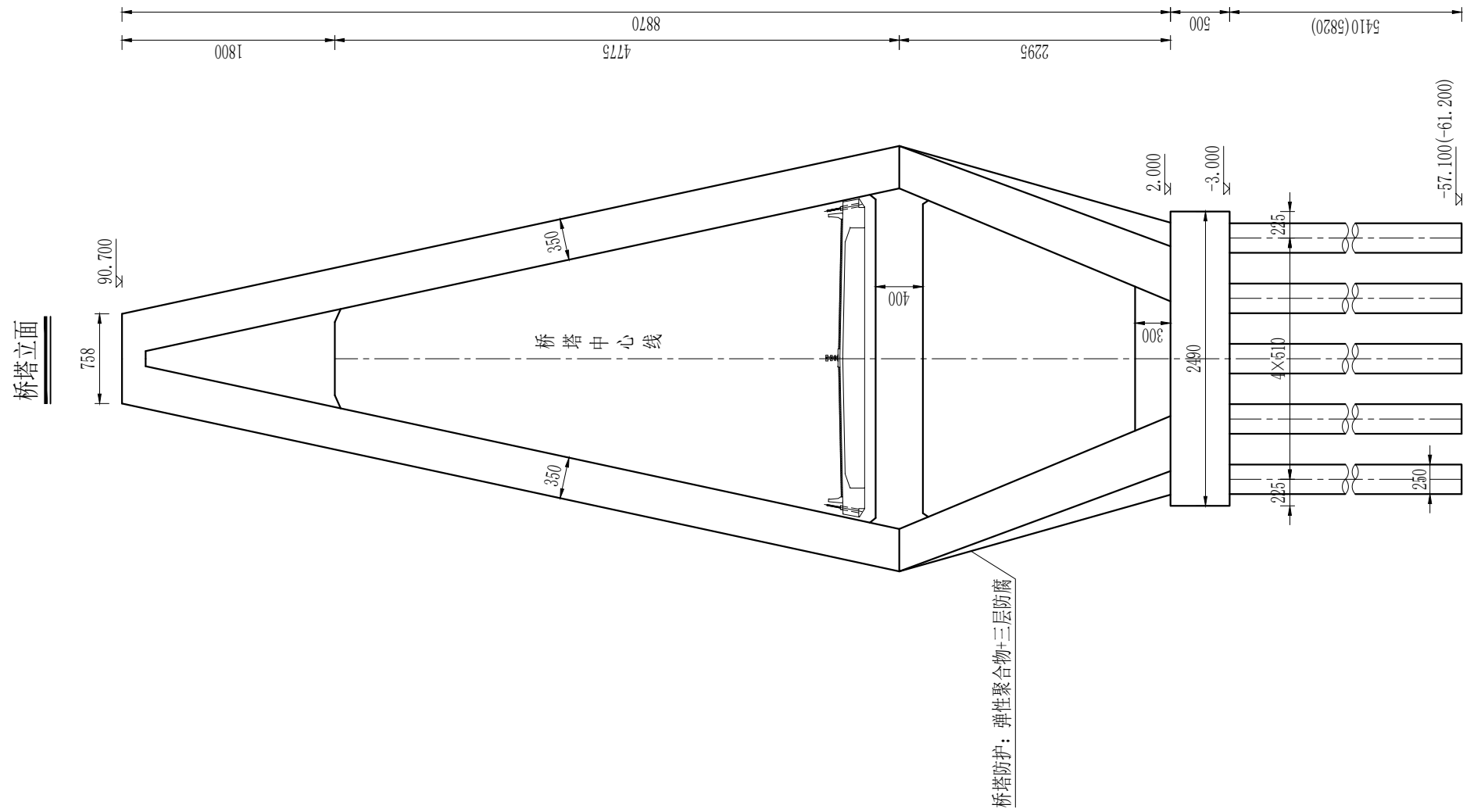


- 注:
- 1. 本图尺寸均以mm为单位。
 - 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下：
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补；
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护（水泥基渗透结晶材料）；
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器；
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系；
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固；
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施；
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装；
 - (8) 桥面排水修复；
 - (9) 照明系统更新；
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置

南引桥立面



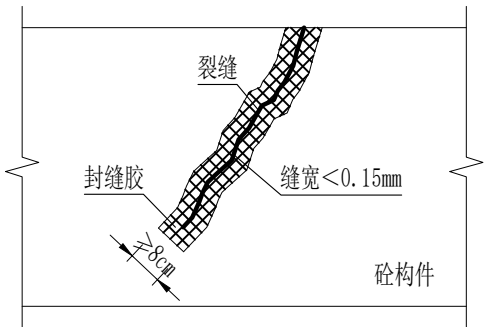
- 注：
- 1. 本图尺寸均以mm为单位。
 - 2. 丁字湾大桥本次科学养护主要内容如下：
 - (1) 主、引桥上部结构混凝土裂缝、锈胀露筋、剥落等缺损修补；
 - (2) 主桥主梁底板修补后新增防腐涂层防护（水泥基渗透结晶材料）；
 - (3) 斜拉索系统进行重新防腐、索力调整、增设阻尼器；
 - (4) 索塔外表面新增防护采用弹性聚合物+三层防腐体系；
 - (5) 右幅39#桥墩采用超高性能混凝土包裹加固；
 - (6) 桥墩潮差区、浪溅区新增耐久性防腐措施；
 - (7) 路侧混凝土护栏重新防腐、中分带钢护栏局部带锈涂装；
 - (8) 桥面排水修复；
 - (9) 照明系统更新；
 - (10) 桥面铺装进行超表处处置



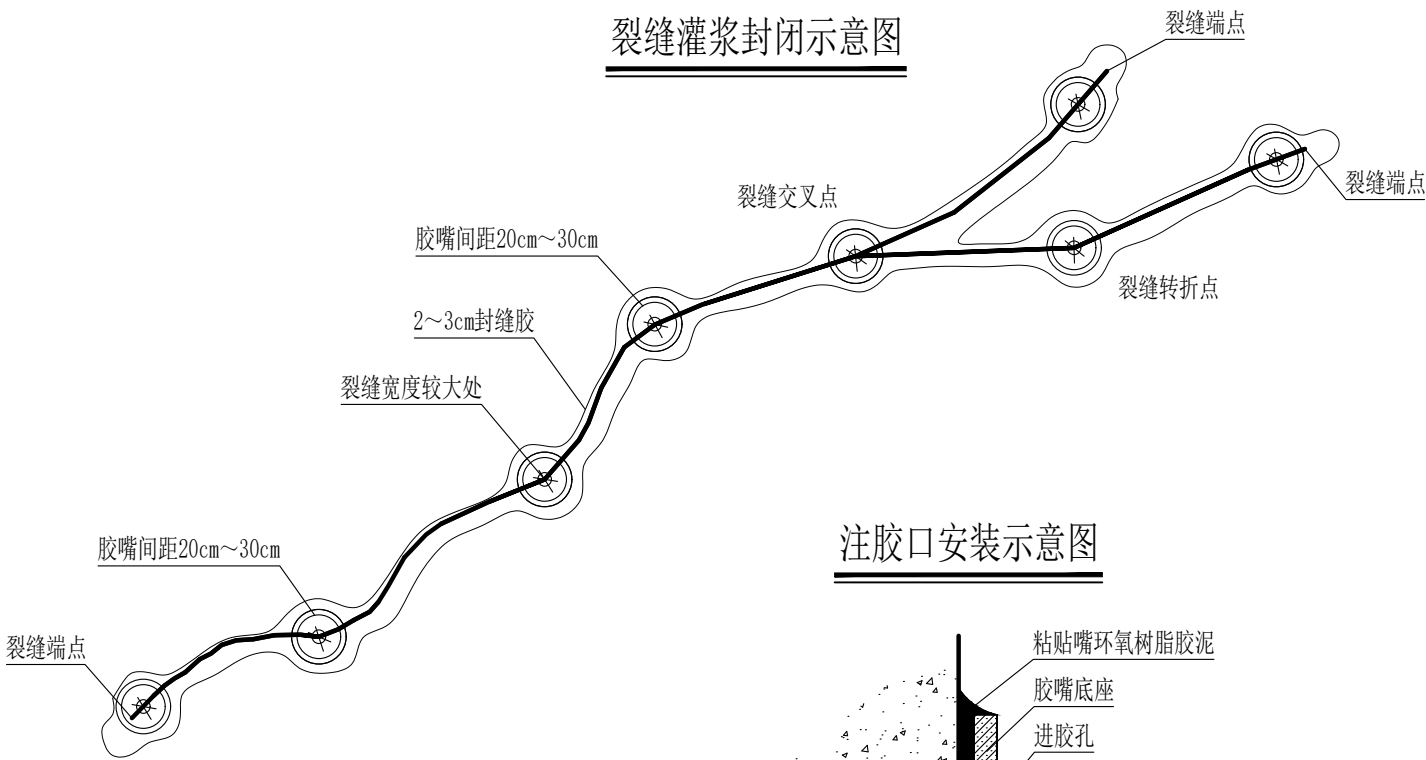
注:

1. 本图尺寸除桩号和标高以米计外, 余均以厘米计;
2. 主塔防腐处理时, 应注意对原有桥塔表面 (全部) 进行处理, 全面清除原结构表面的旧涂料层 (建议采用电动打磨机, 并配置吸尘装置等) 直至露出桥塔混凝土坚实、干净基面;
3. 桥塔立面图中, 括号外数值适用于左侧桥塔桩基, 括号内数值适用于右侧桥塔桩基;
4. 承台顶标高中, 括号外数值适用于左幅桥, 括号内数值适用于右幅桥。

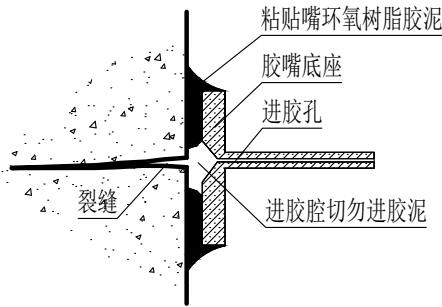
裂缝表面封闭示意



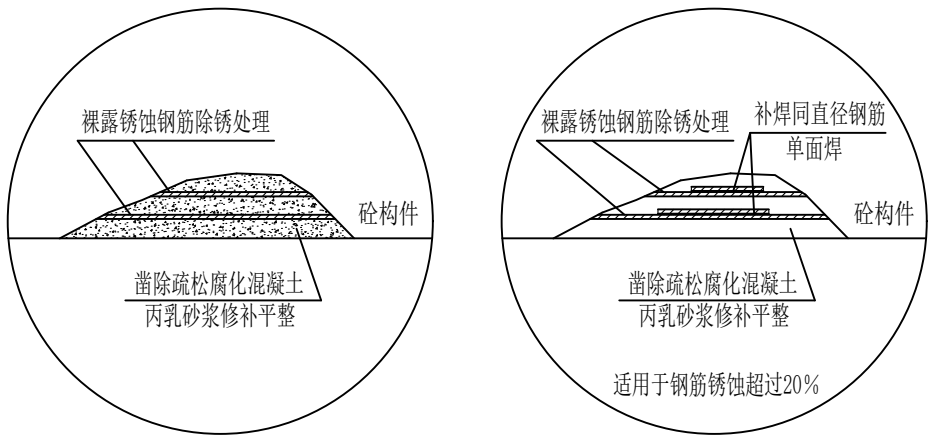
裂缝灌浆封闭示意图



注胶口安装示意图

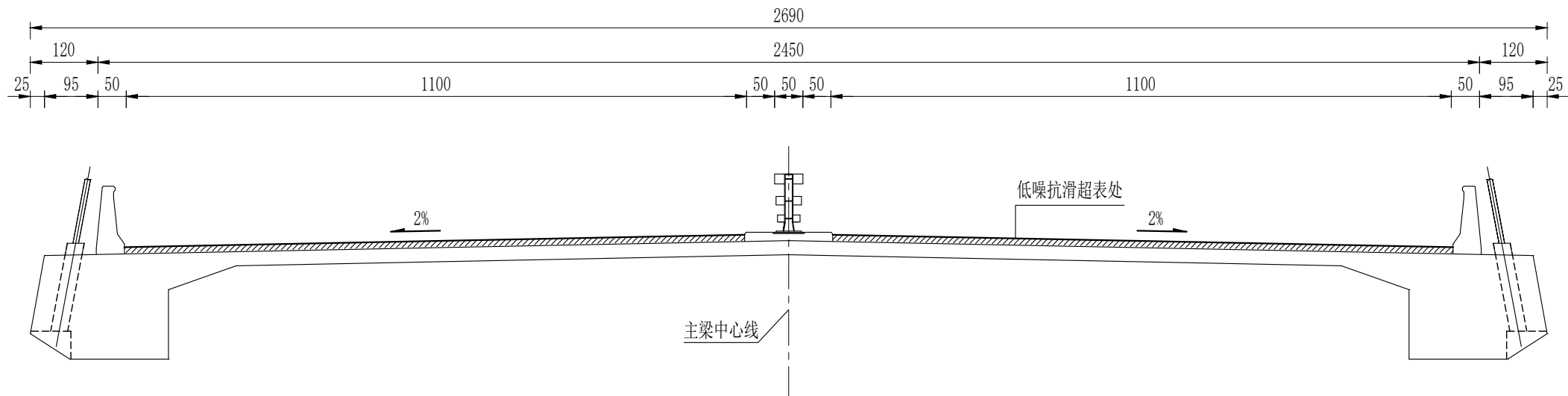


混凝土剥落、露筋锈蚀处理方案



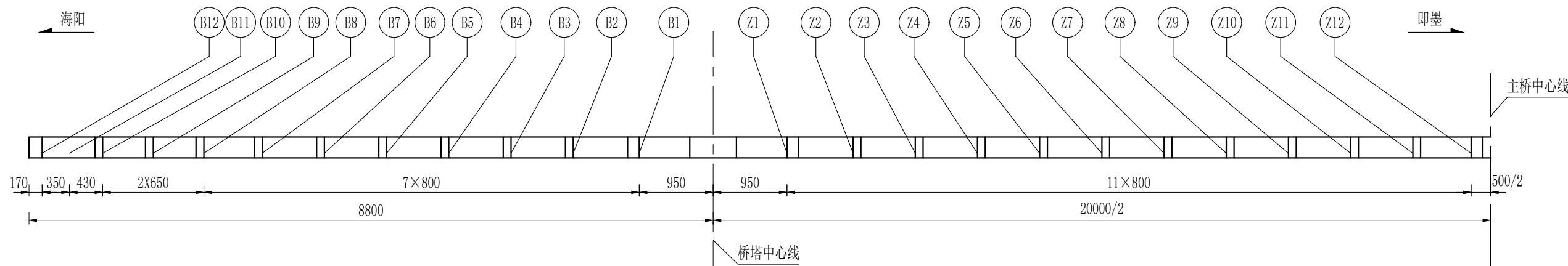
- 注：
- 根据裂缝宽度的不同，采取相应的处理措施，详见设计说明附录。
 - 凿除全桥所有露筋部位的剥落、疏松、腐蚀等劣化混凝土，最后用丙乳砂浆将结构修补平整。并对外露锈蚀钢筋进行除锈处理，对钢筋外露锈蚀区域进行涂刷阻锈剂处理，应采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂，其性能应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）第4.7节的相关规定。对锈蚀损失面积达到钢筋面积20%以上的主筋，必须将其完全凿出，进行除锈处理后，在其侧面焊接同直径的接长钢筋，对于病害面积较大的区域，增加一层钢筋网，最后再用丙乳砂浆将结构表面修补平整。
 - 对蜂窝、麻面、崩角和孔洞等一些浅表面的混凝土病害，先凿除其表面疏松腐蚀部分，然后用丙乳砂浆修补。对孔洞及深度超过6cm的深层疏松区或空洞应采用高强细石混凝土进行修补。

桥面铺装示意



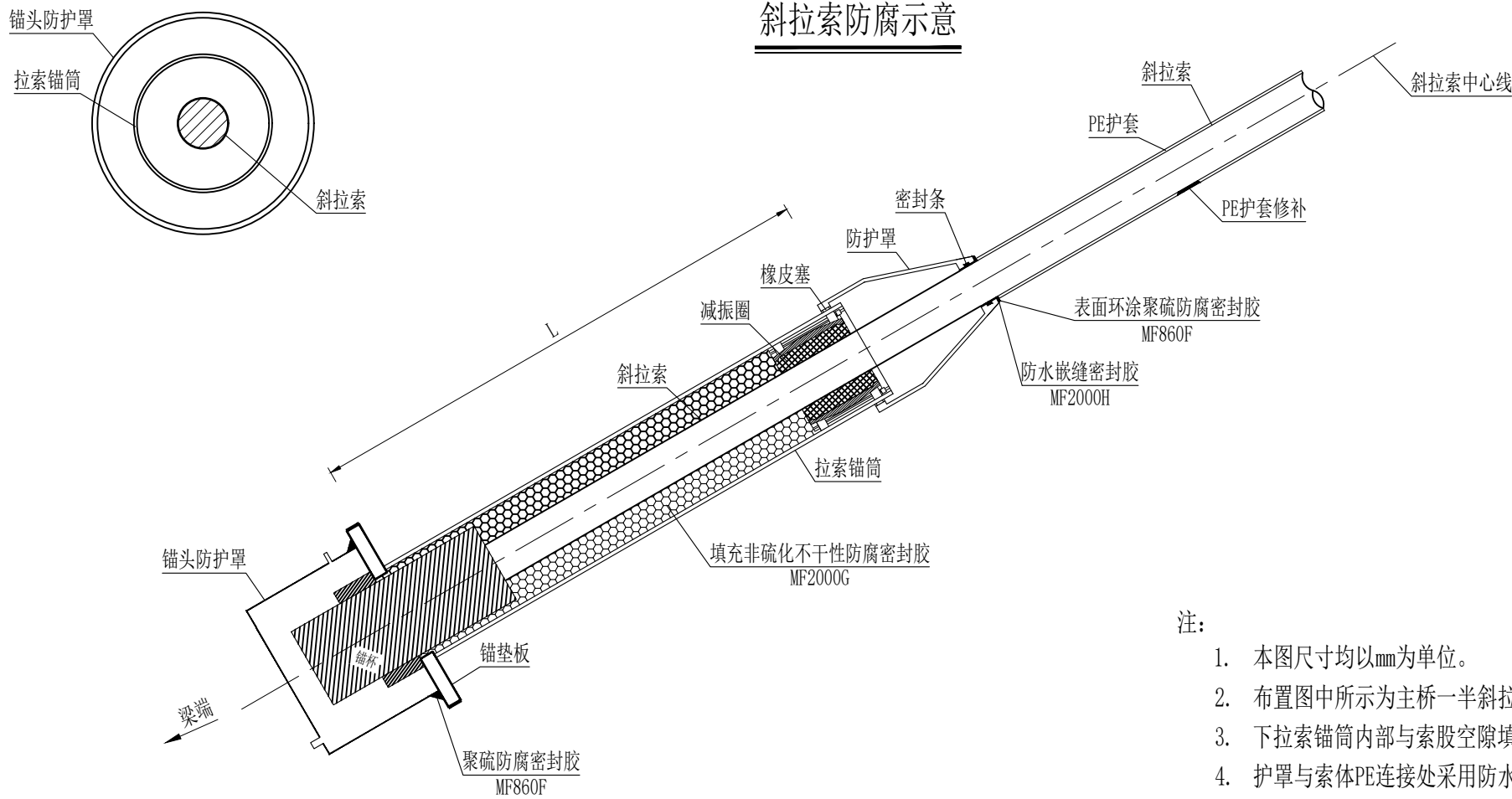
- 注：
- 1. 本图尺寸均以cm为单位。
 - 2. 超薄罩面施工前应对桥面沥青铺装精铣刨（1.0cm）
 - 3. 封层采用高粘沥青碎石封层（碎石粒径3-5mm）

斜拉索立面布置



I—I

斜拉索防腐示意



- 注：
- 1. 本图尺寸均以mm为单位。
 - 2. 布置图中所示为主桥一半斜拉索编号，另一半与其对应；横桥向拉索属同一编号。
 - 3. 下拉索锚筒内部与索股空隙填充非硫化不干性防腐密封胶MF2000G；
 - 4. 护罩与索体PE连接处采用防水嵌缝密封胶MF2000H密封，使两者无缝粘接，然后表面再环状涂抹一层MF860F。

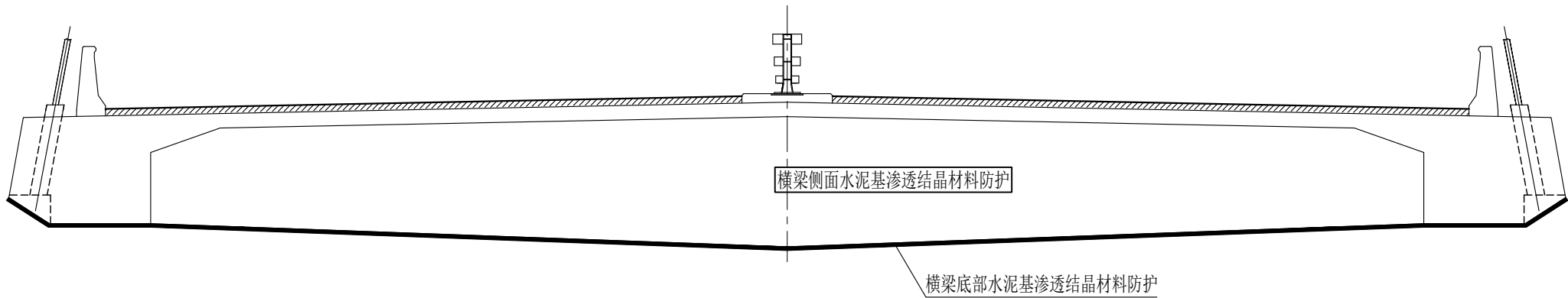
MF2000G 用量表

斜拉索号	下锚筒直径 (m)	下护筒长度 (m)	全桥个数	聚硫防腐密封重量 (kg)
B12	0.325	3.604	4	1791.2
B11	0.325	3.608	4	1793.2
B10	0.325	3.589	4	1783.8
B9	0.325	3.499	4	1739.1
B8	0.325	3.401	4	1690.3
B7	0.325	3.245	4	1612.8
B6	0.284	3.077	4	1160.5
B5	0.284	2.896	4	1092.3
B4	0.284	2.704	4	1019.9
B3	0.284	2.508	4	945.9
B2	0.26	2.316	4	723.6
B1	0.225	2.155	4	511.3
Z1	0.225	2.155	4	511.3
Z2	0.26	2.32	4	724.9
Z3	0.284	2.515	4	948.6
Z4	0.284	2.718	4	1025.1
Z5	0.284	2.916	4	1099.8
Z6	0.284	3.103	4	1170.4
Z7	0.284	3.279	4	1236.7
Z8	0.325	3.442	4	1710.7
Z9	0.325	3.593	4	1785.8
Z10	0.325	3.732	4	1854.9
Z11	0.325	3.862	4	1919.5
Z12	0.325	3.981	4	1978.6
合计				31830.2

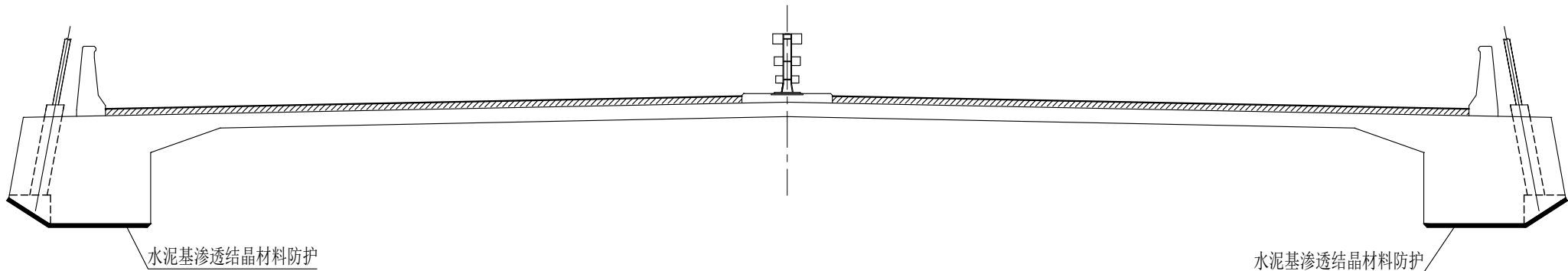
防腐工程数量明细表

材 料	单位	数量
原套管内填充材料清理	处	96
非硫化不干性防腐密封胶 (MF2000G)	kg	31830.2
防水嵌缝密封胶 (MF2000H)	kg	144
聚硫防腐密封胶 (MF860F)	kg	768

主梁横梁处横断面



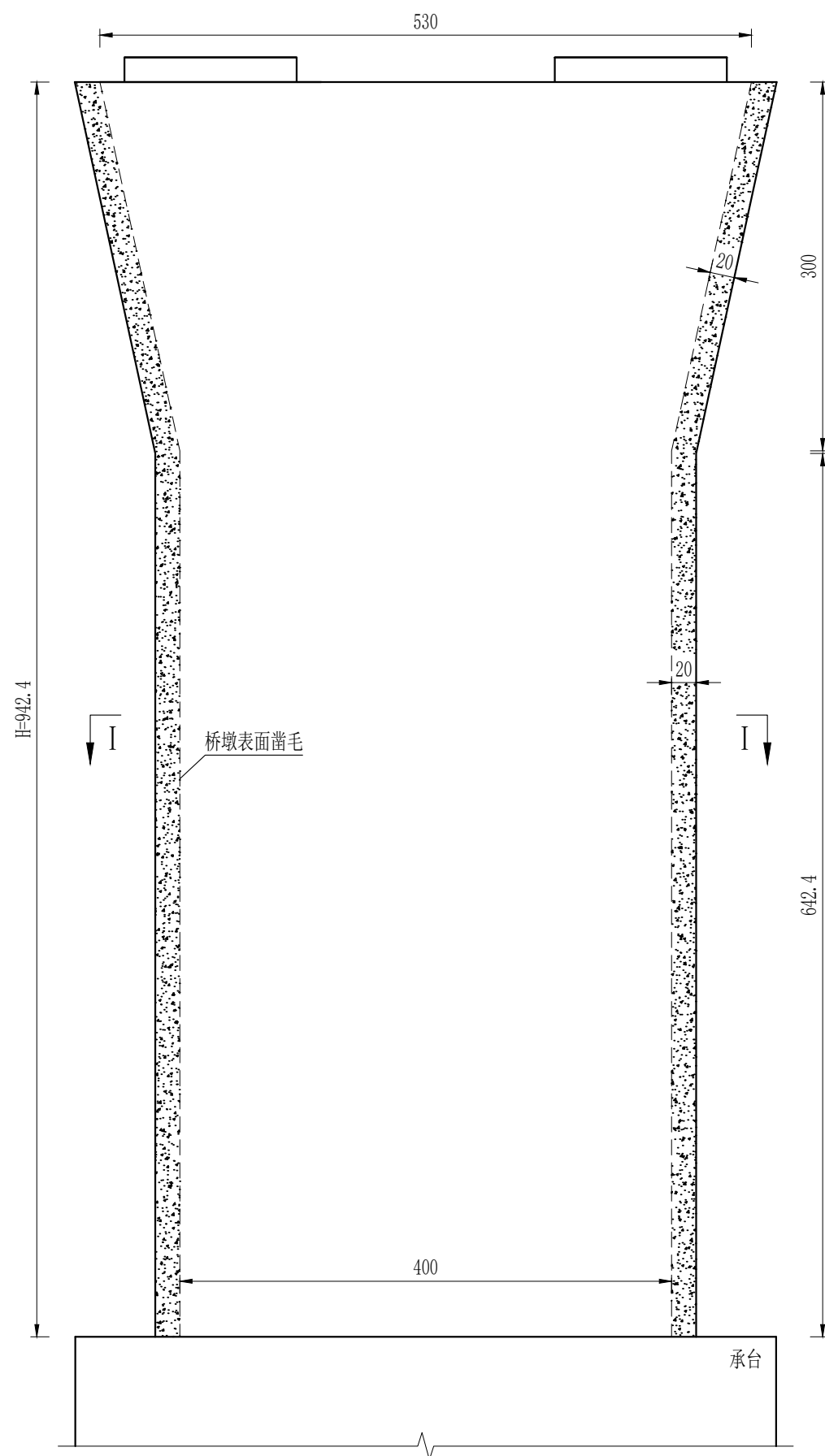
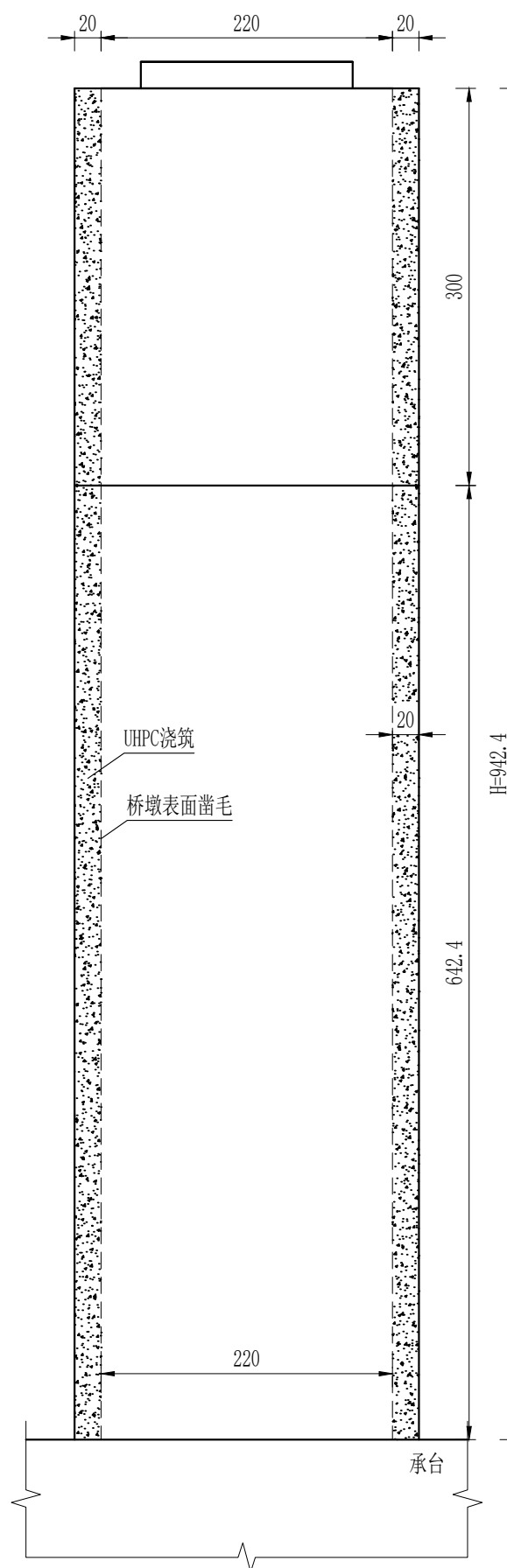
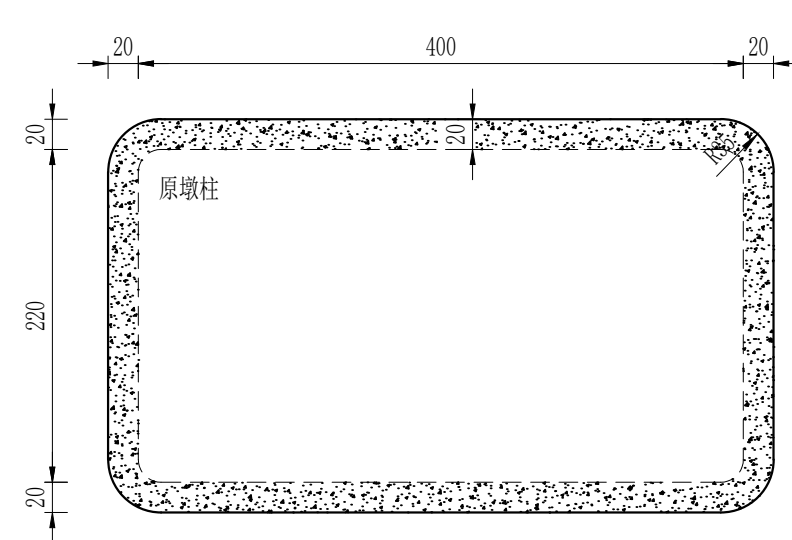
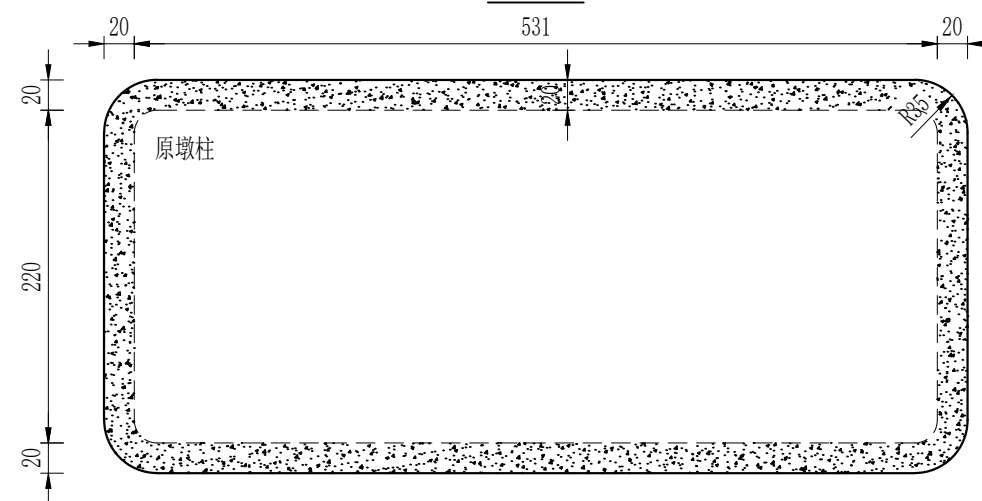
主梁非横梁处横断面



工程数量明细表

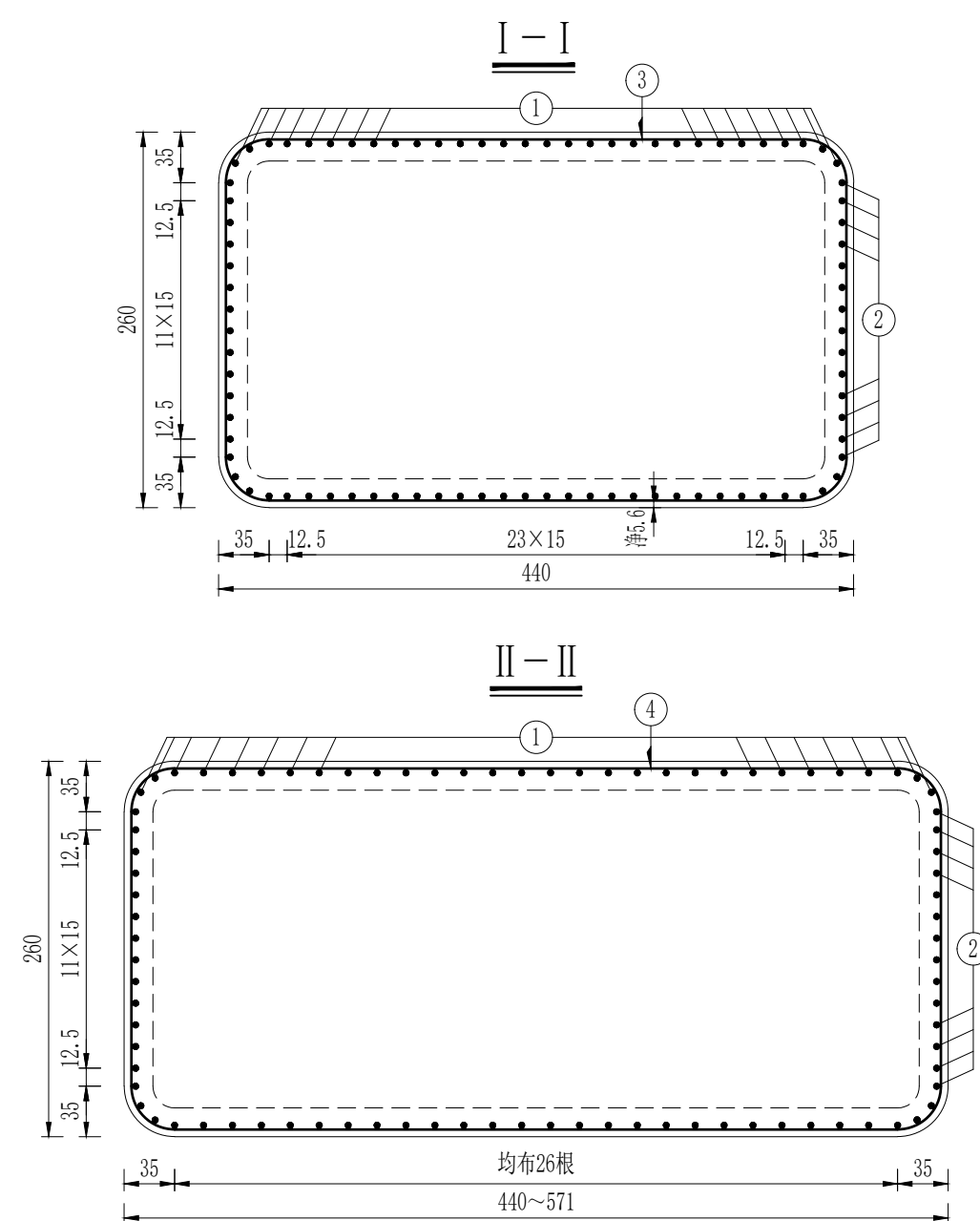
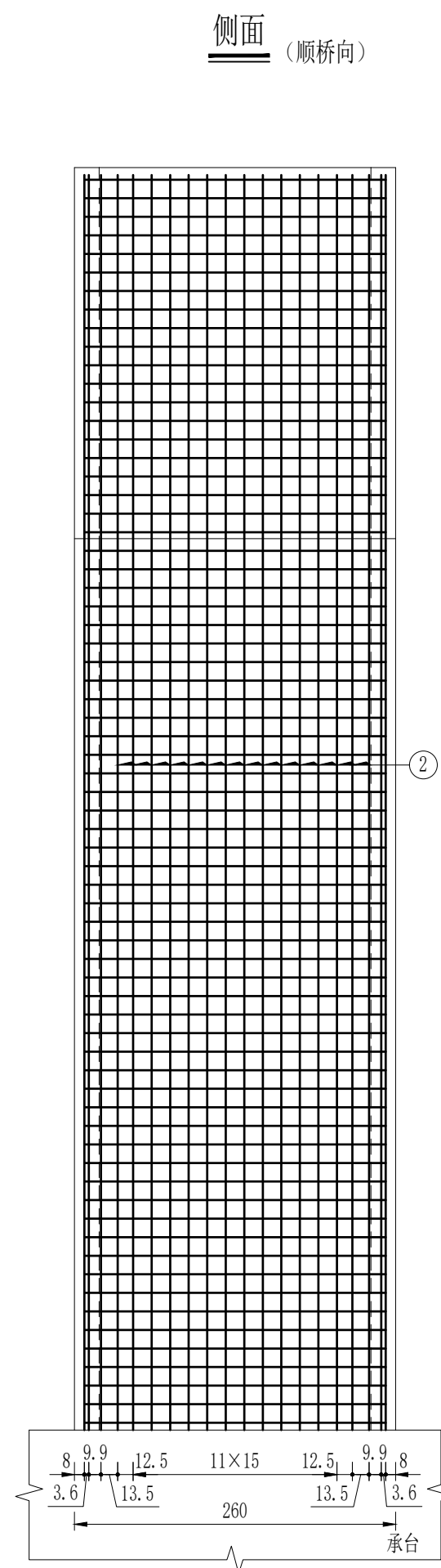
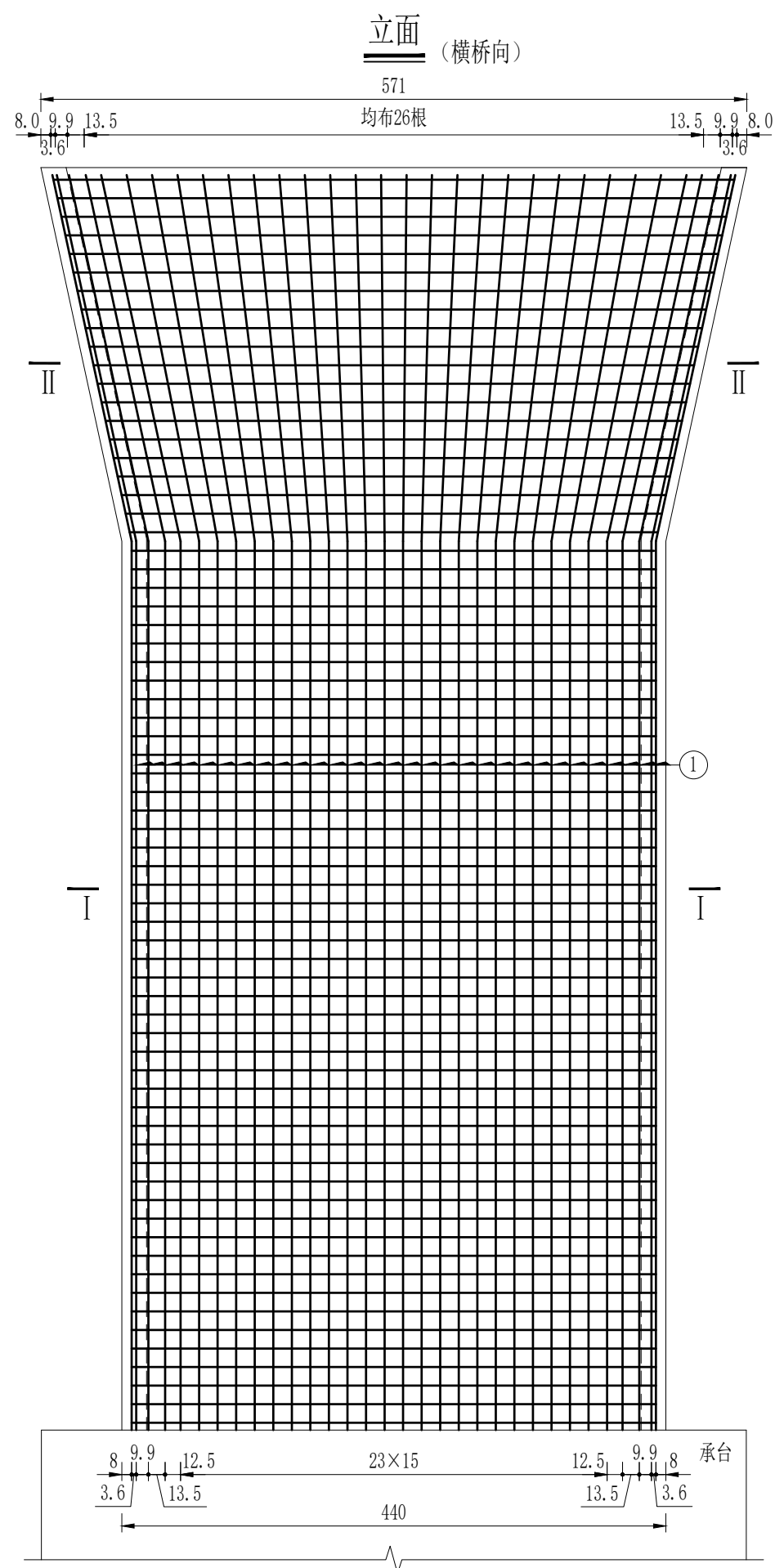
位置	单位	数量
纵梁底板	m²	2233.4
横梁底板	m²	348.5
横梁侧面	m²	4540.8
合计		7122.7

注：
1. 本图尺寸均以厘米为单位。

立面 (横桥向)侧面 (顺桥向)I - III - II

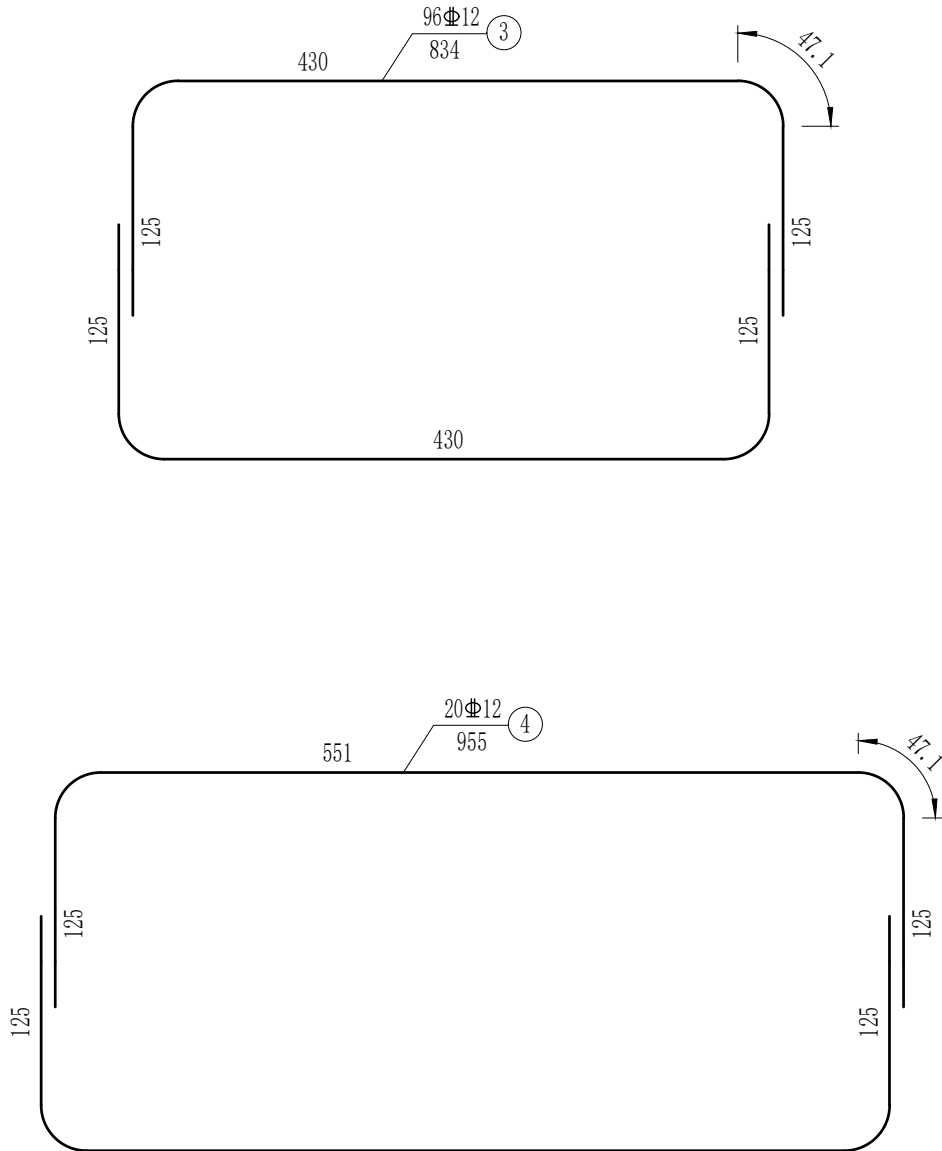
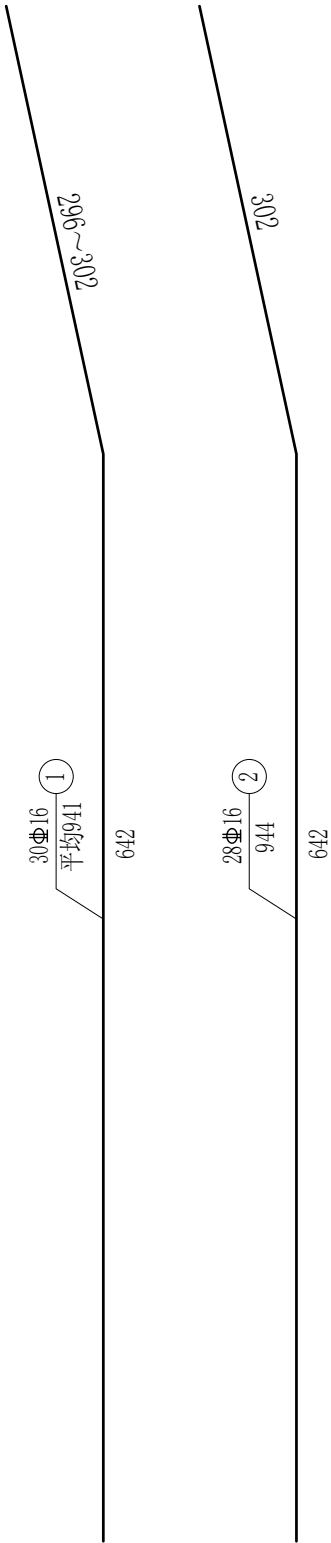
注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位。



注:

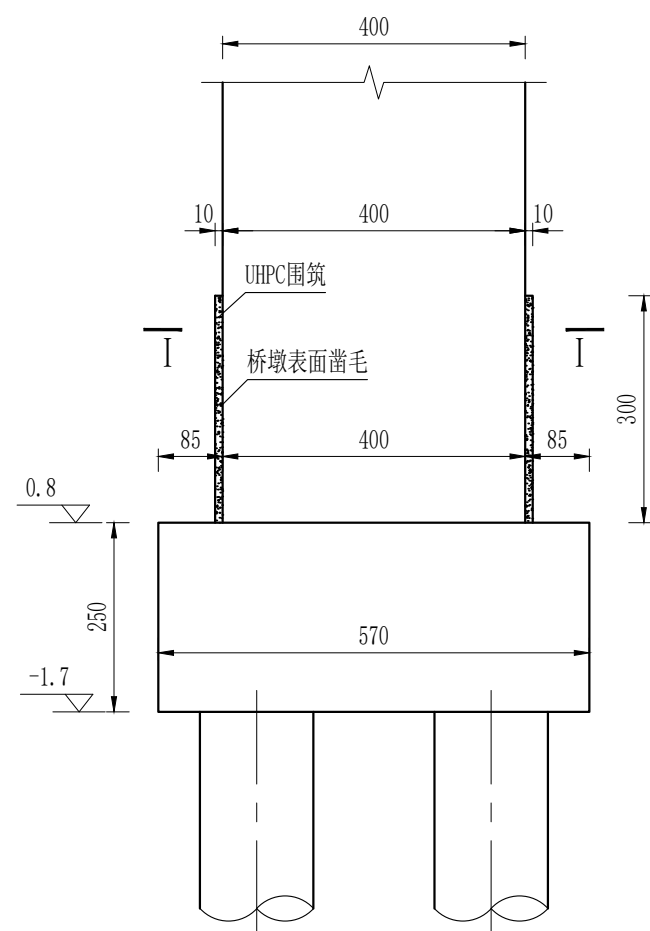
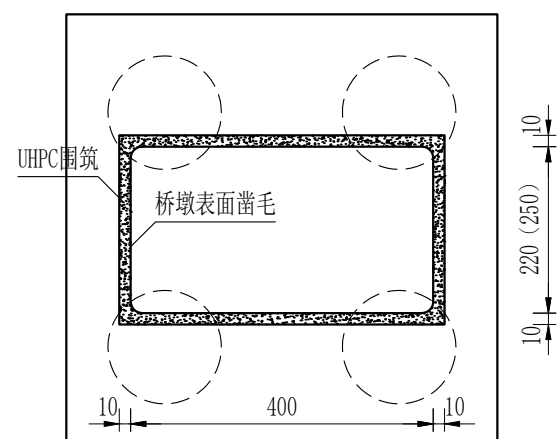
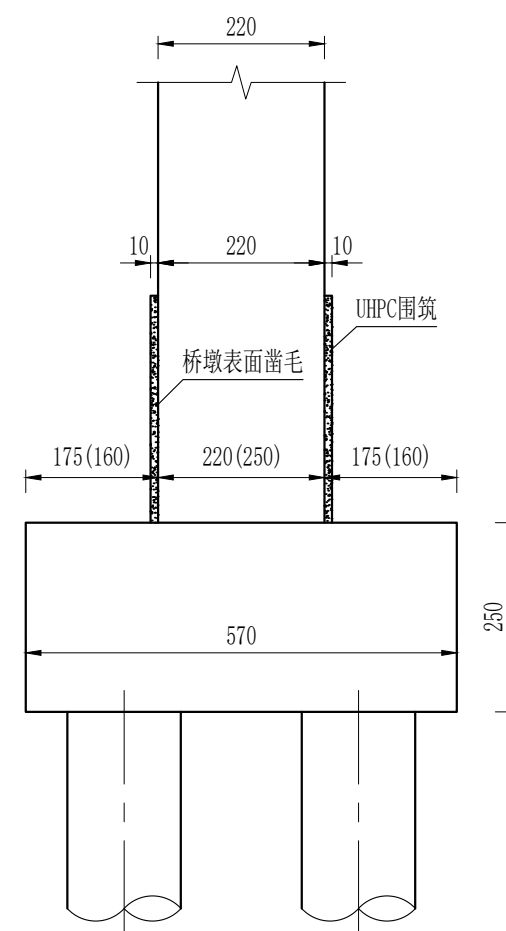
1. 本图尺寸单位除钢筋直径以mm计外, 余均以cm为单位。



39#墩加固设计工程数量表明细

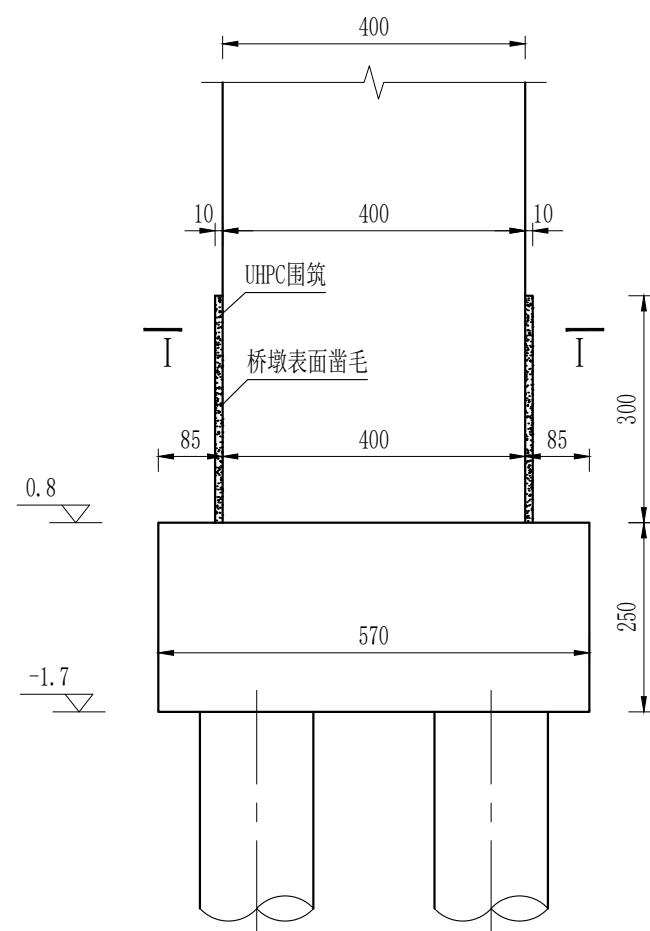
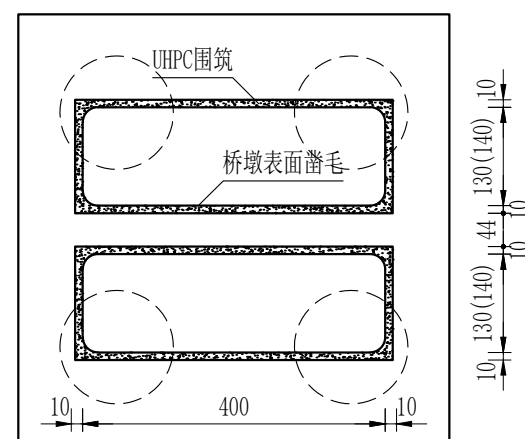
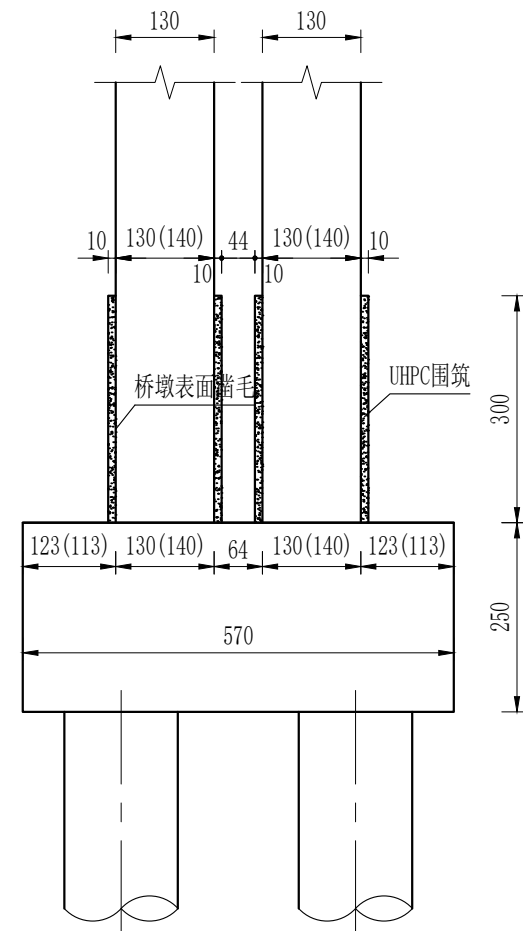
编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	钢筋 (kg)	桥面凿毛 (m²)	超高性能混凝土 UHPC (m³)
1	16	941	60	564.60	892.1	2359.9	157.2	29.34
2	16	944	28	264.32	417.6			
3	12	834	96	800.64	711.0			
4	12	955	40	382	339.2			

注：
1. 本图尺寸单位除钢筋直径以mm计外，余均以cm为单位。

立面 (横桥向)I—I侧面 (顺桥向)

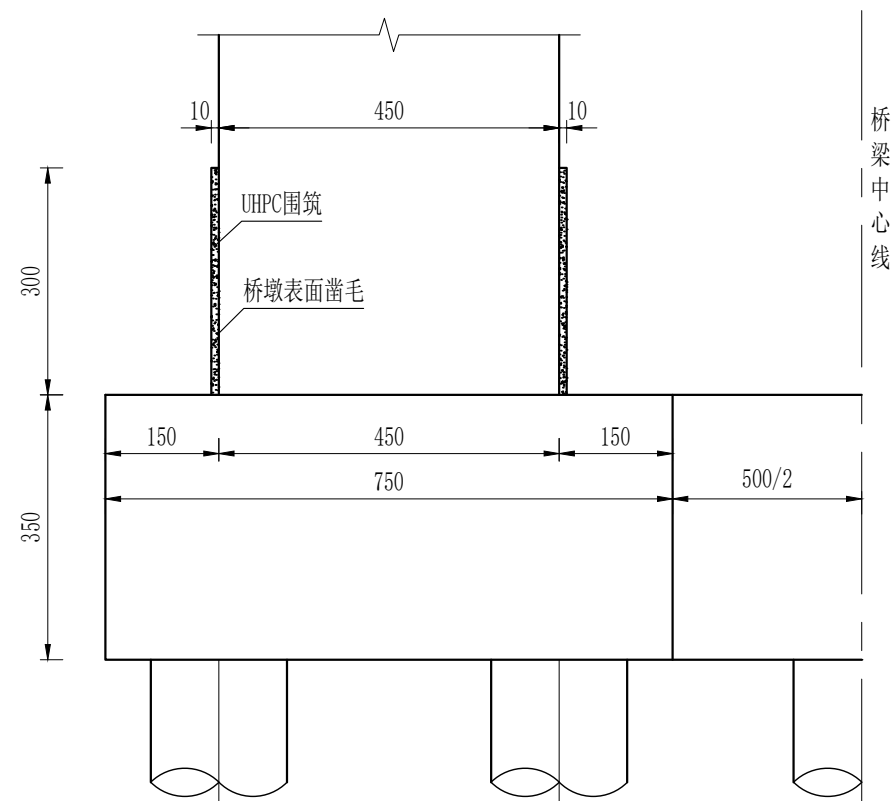
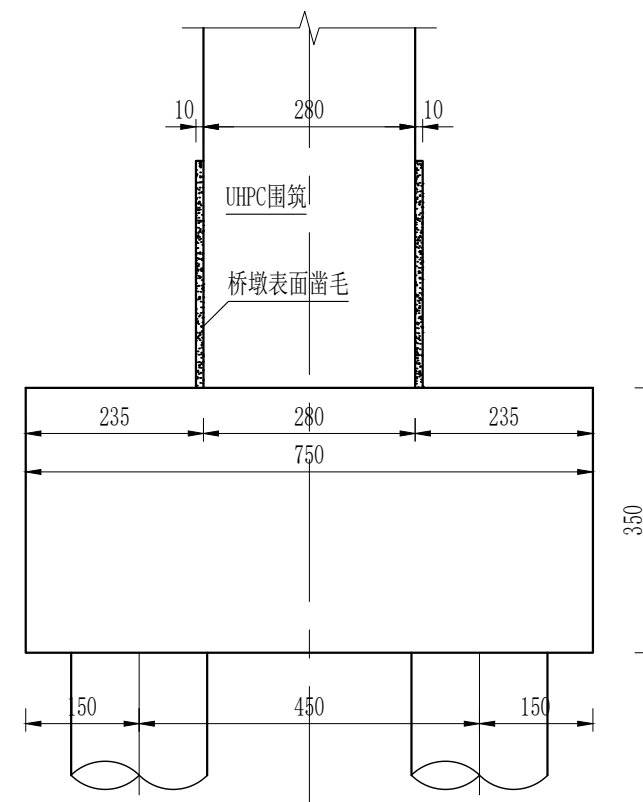
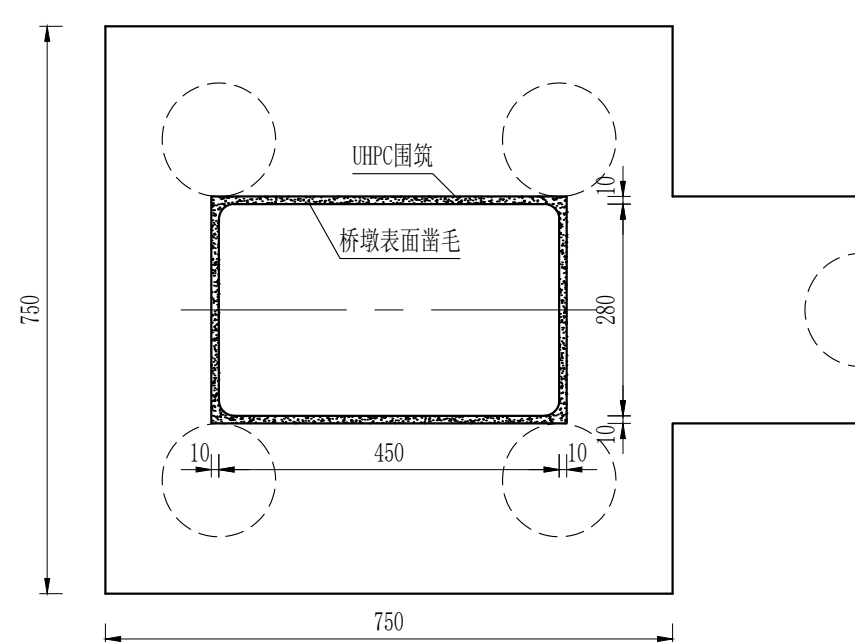
注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位;
2. 括号内尺寸用于引桥54#、57#、62#、65#墩, 其余尺寸共用;
3. 本图适用于超高性能混凝土防护桥墩, 涉及引桥39#~58#、62#~74#墩 (40m引桥共用墩除外), 共计27个;

立面 (横桥向)I—I侧面 (顺桥向)

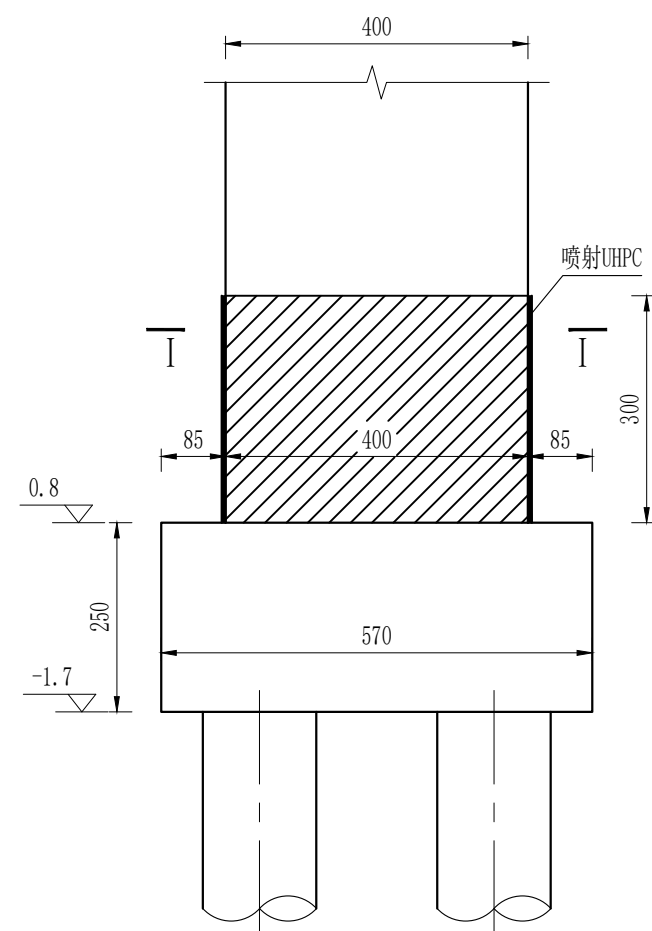
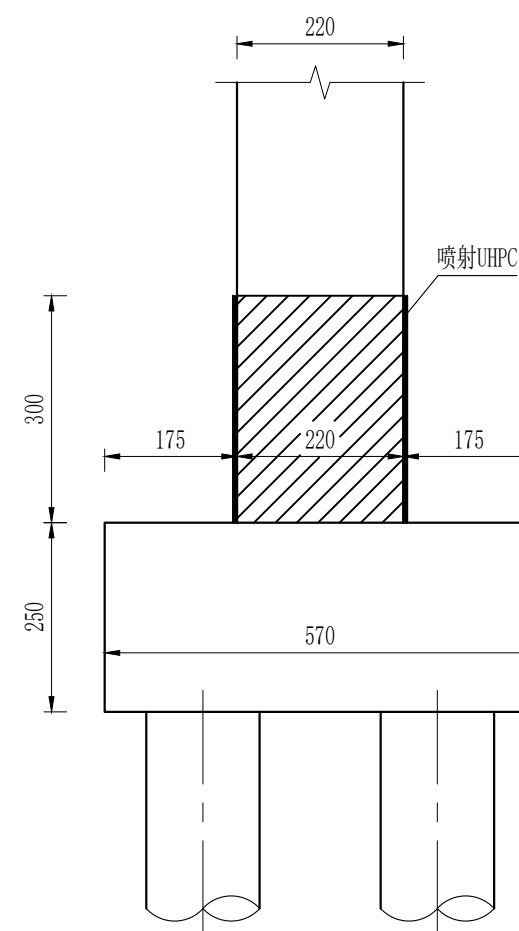
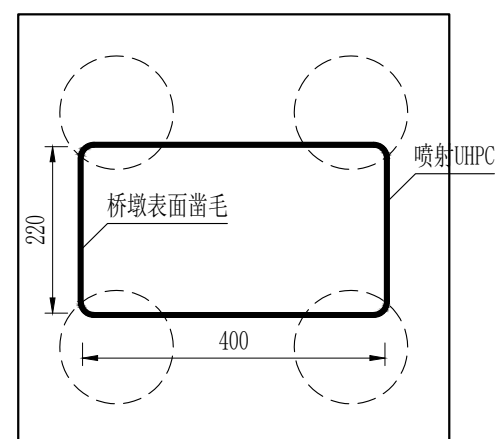
注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位;
2. 括号内数值为40m引桥共用墩尺寸, 括号外数值为38#墩尺寸, 其余尺寸共用;
3. 本图适用于超高性能混凝土防护, 涉及引桥38#、43#、48#、53#、66#、71#墩, 共计6个;

1/2立面侧面1/2平面

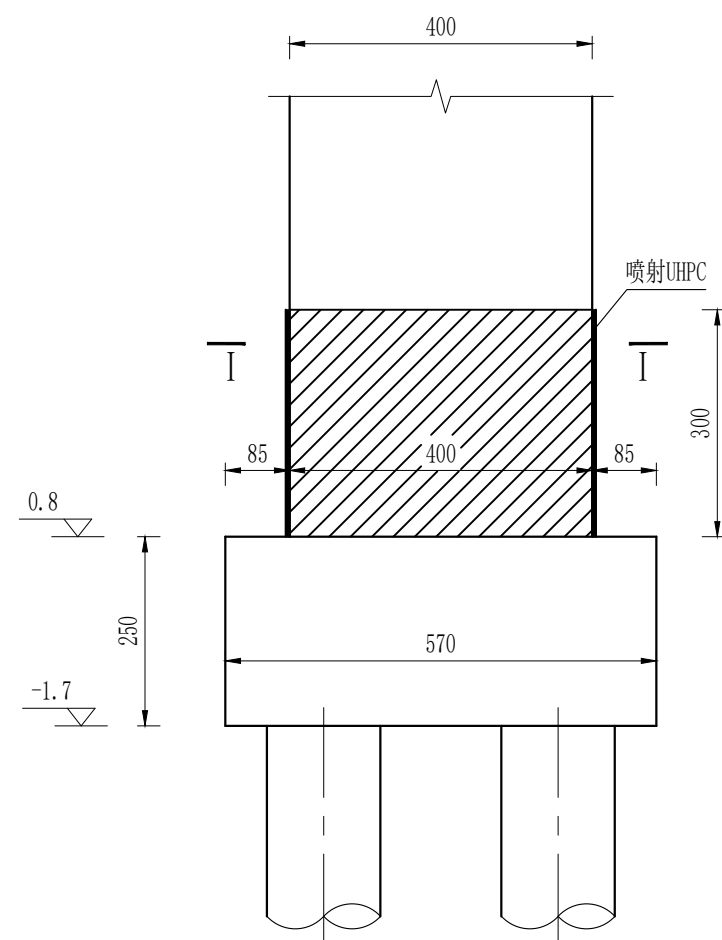
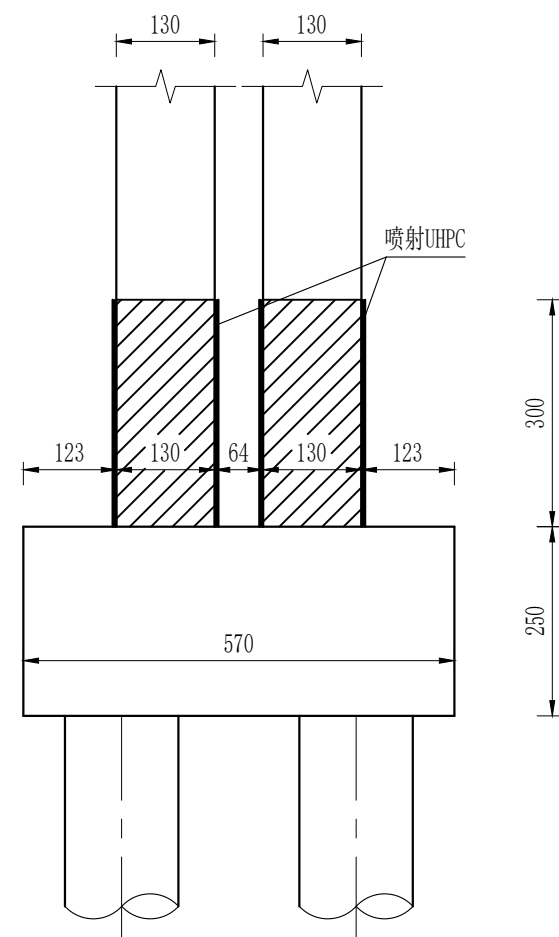
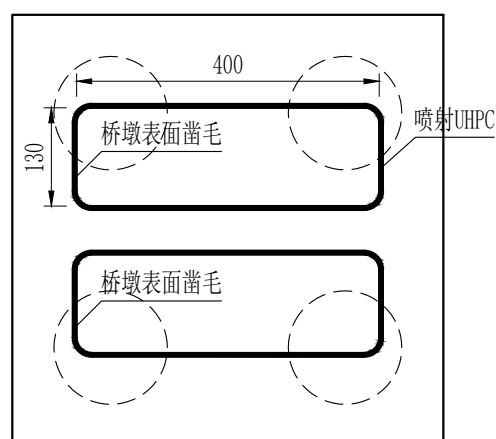
注：

1. 本图尺寸单位均以cm为单位；
2. 本图适用于主、引桥共用墩58#、61#，共计2个；

立面 (横桥向)侧面 (顺桥向)I-I

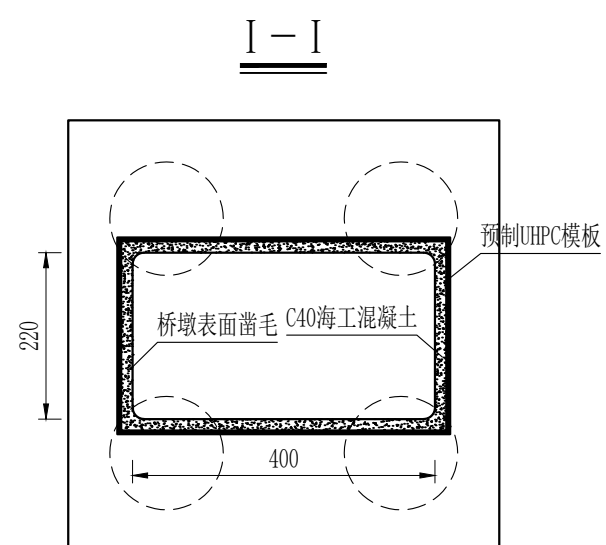
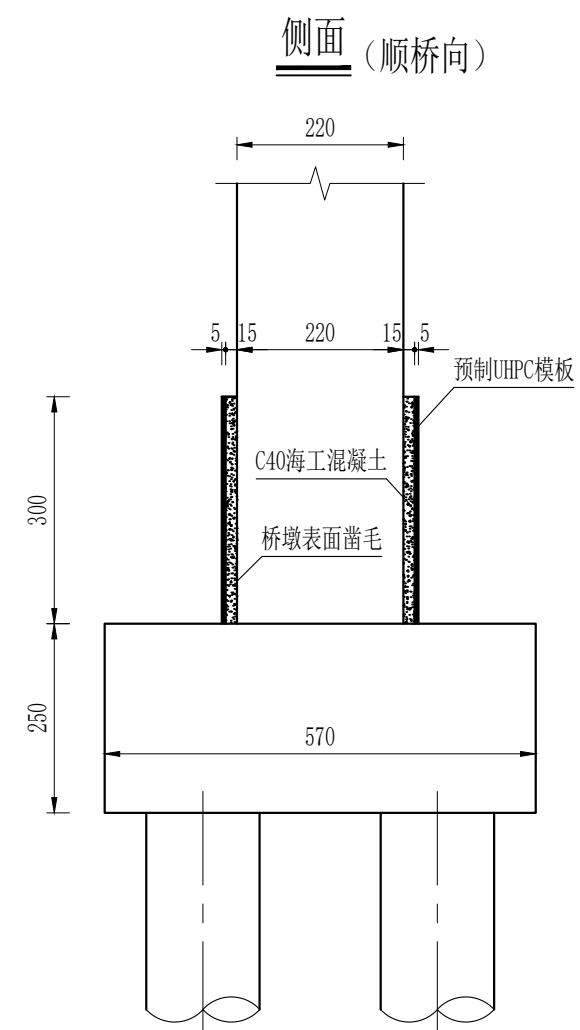
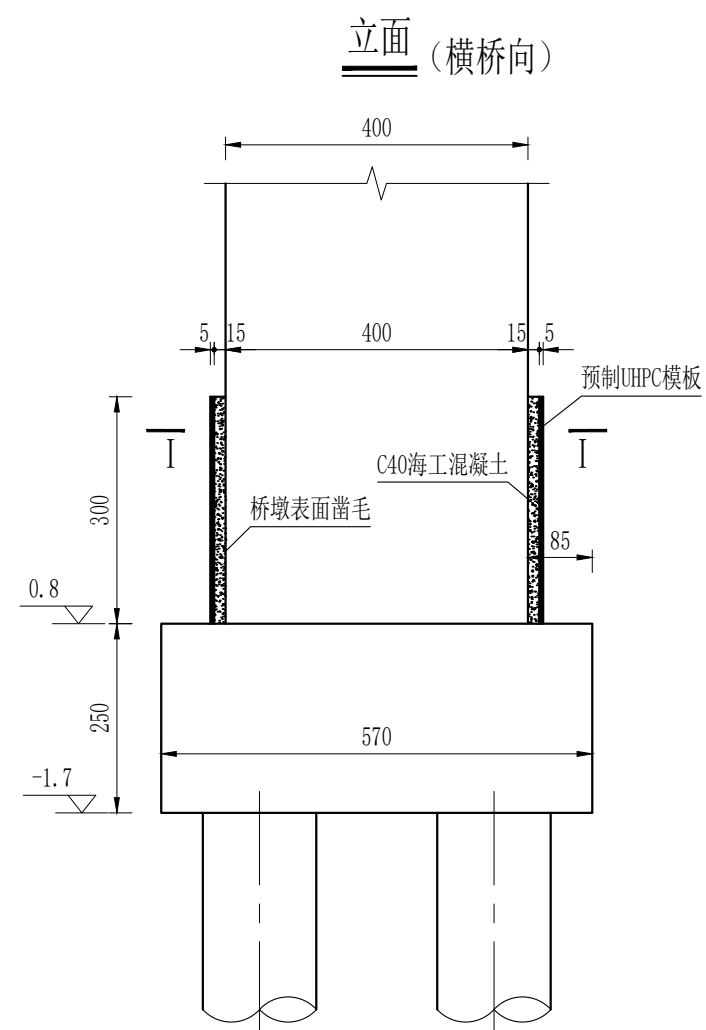
注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位。
2. 本图适用于喷射UHPC防护, 涉及引桥1#~15#墩(除30m引桥共用墩外)共计13个。

立面 (横桥向)侧面 (顺桥向)I—I

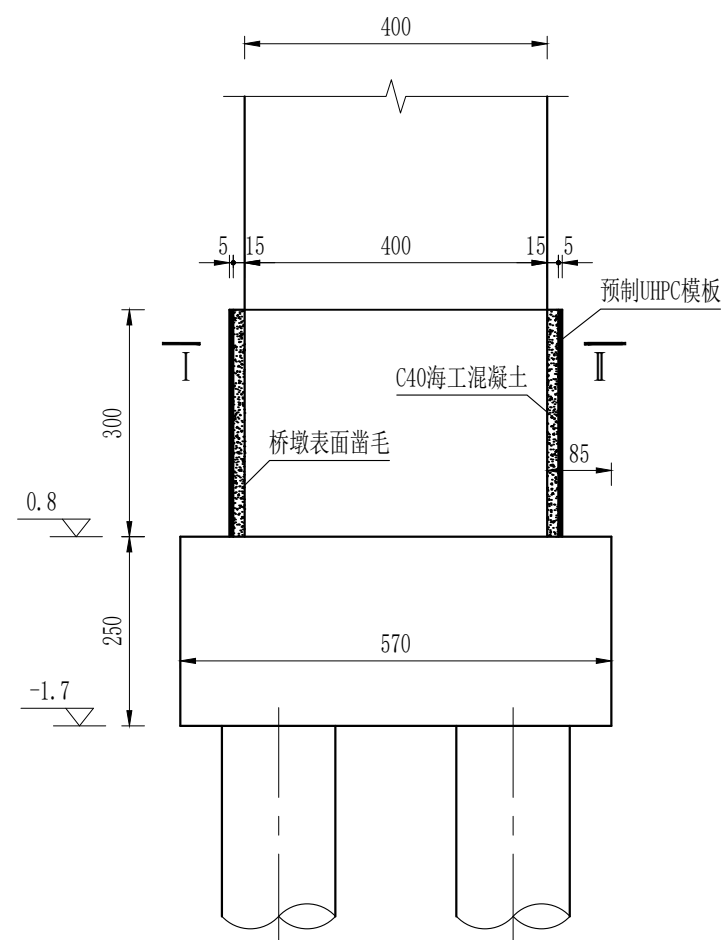
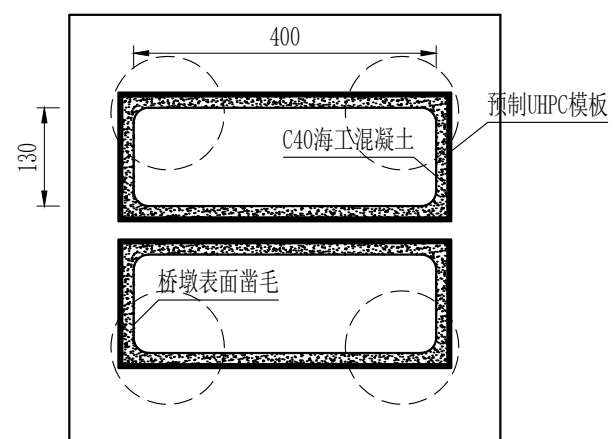
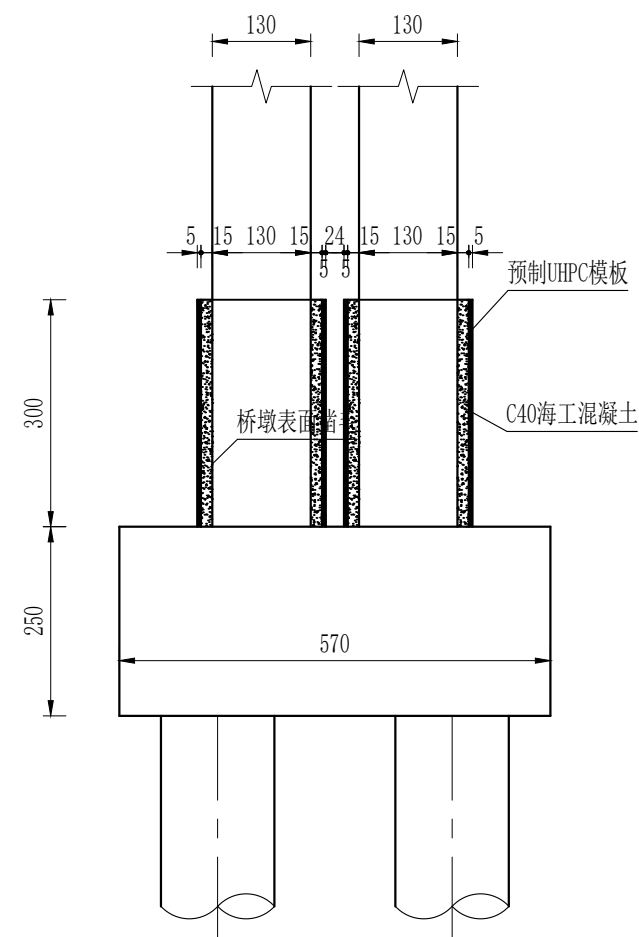
注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位。
2. 本图适用于喷射UHPC防护, 涉及引桥6#、12#墩, 共计2个。



注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位。
2. 本图适用于预制UHPC永久模板+混凝土防护, 涉及引桥16#~30#墩(除30m引桥共用墩外)共计13个。

立面 (横桥向)I—I侧面 (顺桥向)

注:

1. 本图尺寸单位均以cm为单位。
2. 本图适用于预制UHPC永久模板+混凝土防护，涉及引桥18#、24#墩，共计2个。

桥墩喷射UHPC防护数量表

墩号	桥墩尺寸	桥墩表面凿毛（m²）	喷射UHPC（m³）	备注
1#	4*2.2	76.5	2.62	
2#	4*2.2	76.5	2.62	
3#	4*2.2	76.5	2.62	
4#	4*2.2	76.5	2.62	
5#	4*2.2	76.5	2.62	
6#	4*1.3+4*1.3	123.0	4.43	共用墩
7#	4*2.2	76.5	2.62	
8#	4*2.2	76.5	2.62	
9#	4*2.2	76.5	2.62	
10#	4*2.2	76.5	2.62	
11#	4*2.2	76.5	2.62	
12#	4*1.3+4*1.3	123.0	4.43	共用墩
13#	4*2.2	76.5	2.62	
14#	4*2.2	76.5	2.62	
15#	4*2.2	76.5	2.62	
48#	4*1.4+4*1.4	142.6	4.7	共用墩
49#	4*2.2	79.9	2.62	
50#	4*2.2	79.9	2.62	
51#	4*2.2	79.9	2.62	
52#	4*2.2	79.9	2.62	
53#	4*1.4+4*1.4	142.6	4.7	共用墩
54#	4*2.5	83.8	2.81	
55#	4*2.2	79.9	2.62	
56#	4*2.2	79.9	2.62	
57#	4*2.5	83.8	2.81	
58#	4.5*2.8	94.1	2.8	主、引桥共用墩
61#	4.5*2.8	94.1	2.8	主、引桥共用墩
62#	4*2.5	83.8	2.81	
63#	4*2.2	79.9	2.62	
64#	4*2.2	79.9	2.62	
65#	4*2.5	83.8	2.81	
66#	4*1.4+4*1.4	142.6	4.7	共用墩
67#	4*2.2	79.9	2.62	
68#	4*2.2	79.9	2.62	
69#	4*2.2	79.9	2.62	
70#	4*2.2	79.9	2.62	
71#	4*1.4+4*1.4	142.6	4.7	共用墩
72#	4*2.2	79.9	2.62	
73#	4*2.2	79.9	2.62	
74#	4*2.2	79.9	2.62	
合计		1240.3	117.8	

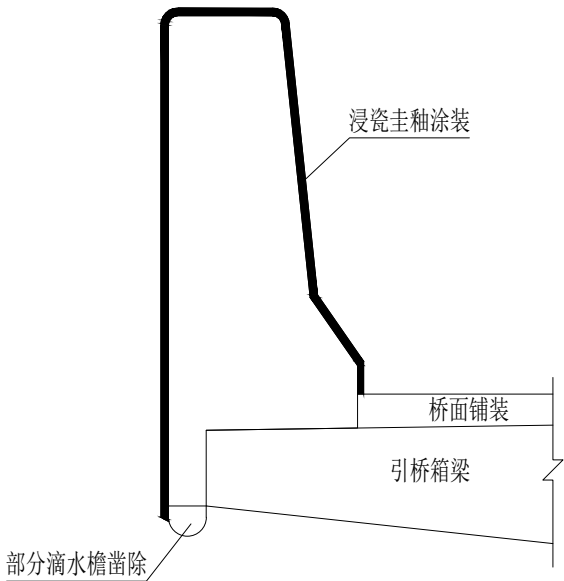
桥墩现浇UHPC防护数量表

墩号	桥墩尺寸	桥墩表面凿毛（m²）	超高性能混凝土（m³）	备注
38#	4×1.4+4×1.4	142.6	20.0	引桥共用墩
39#	4×2.2	79.9	10.5	
40#	4×2.2	79.9	10.5	
41#	4×2.2	79.9	10.5	
42#	4×2.2	79.9	10.5	
43#	4×1.4+4×1.4	142.6	18.1	引桥共用墩
44#	4×2.2	79.9	10.5	
45#	4×2.2	79.9	10.5	
46#	4×2.2	79.9	10.5	
47#	4×2.2	79.9	10.5	
合计		924.0	123.7	

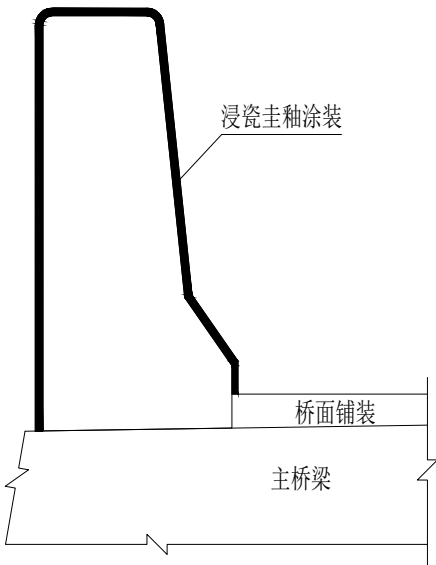
桥墩预制UHPC永久模板+混凝土防护数量表

墩号	桥墩尺寸	桥墩表面凿毛（m²）	C40海工混凝土（m³）	预制UHPC模板（m³）	备注
16#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
17#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
18#	4×1.4+4×1.4	135.30	20.66	4.43	引桥共用墩
19#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
20#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
21#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
22#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
23#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
24#	4×1.4+4×1.4	135.30	20.66	4.43	引桥共用墩
25#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
26#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
27#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
28#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
29#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
30#	4×2.2	76.5	13.00	4.01	
合计		1264.9	210.3	60.94	

引桥桥梁外侧护栏横断面



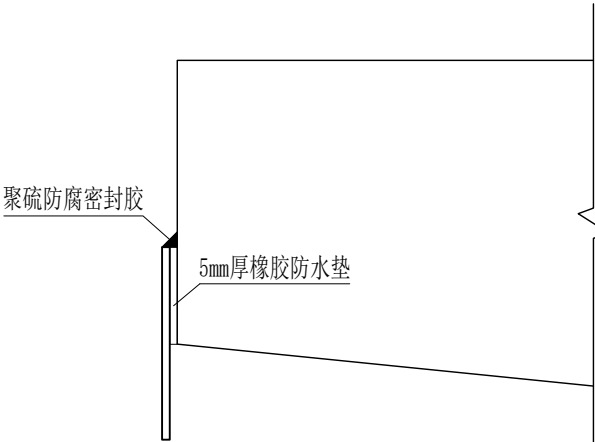
主桥桥梁外侧护栏横断面



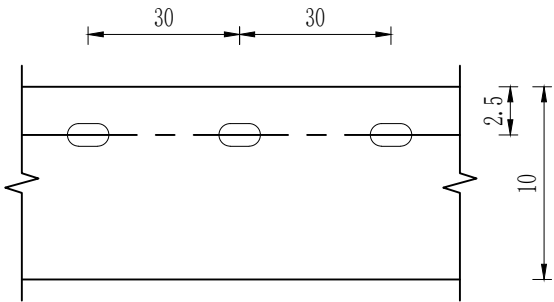
工程数量明细

项目	单位	数量
护栏浸瓷珐釉	m²	2399
原混凝土滴水檐凿除	m	1420
丙乳砂浆修补	m²	213
新型滴水檐	m	1420

PVC滴水檐

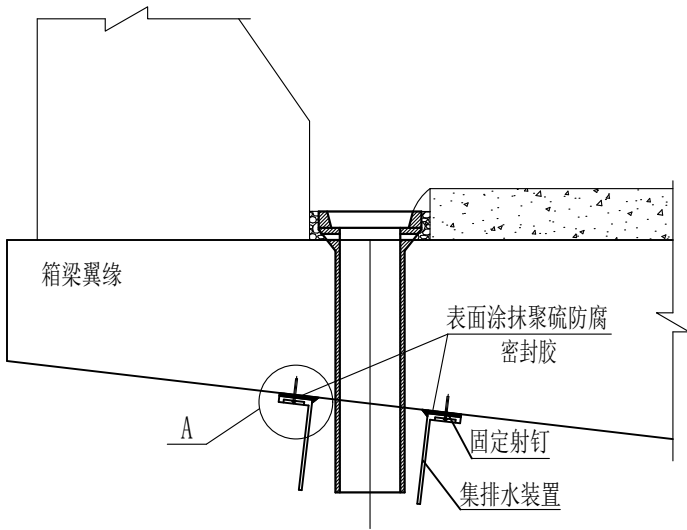


滴水檐正面

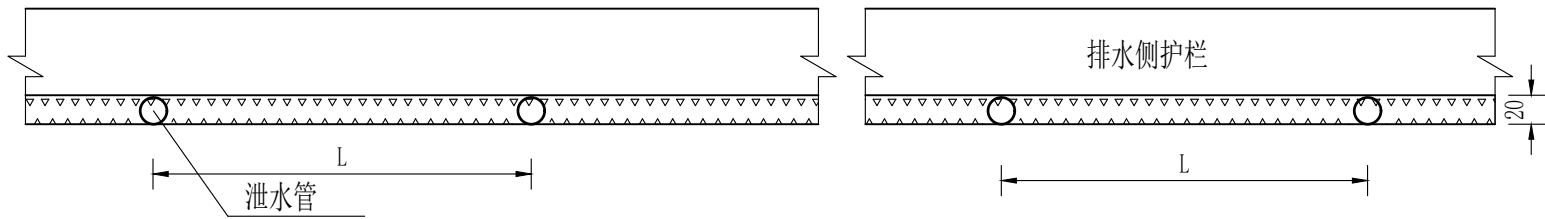


- 注：
1. 本图尺寸除特殊注明外均以厘米计。
 2. 浸瓷珐釉施工必须将表面处理洁净，滴水线槽粘贴前应清除粘贴面混凝土表面的灰尘、污垢等并洒水湿润，如混凝土表面有缝隙、孔洞、表面不平或接缝错位之处，均应按照相应处理方法修补。
 2. 箱梁翼板设置滴水檐，纵桥向锚栓间距30cm；新增滴水装置采用M6锚栓固定在小箱梁翼缘上，采用拘留防腐密封胶进行密封；
 3. 本次护栏防护仅对主桥外侧混凝土护栏进行防护，共计752m；
 4. 新型滴水檐涉及桥跨为31～39跨及75～85跨，共计1420米。

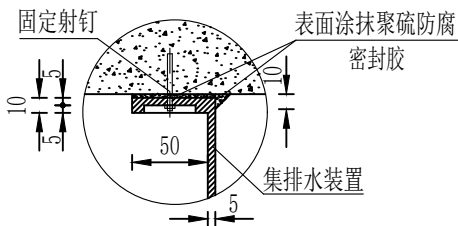
集排水装置安装示意图



泄水槽及排水管平面布置图



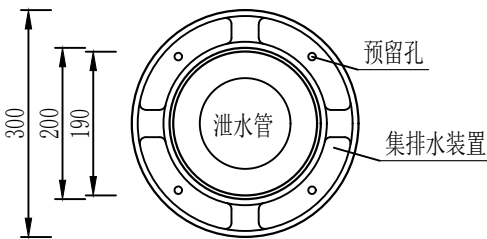
A大样



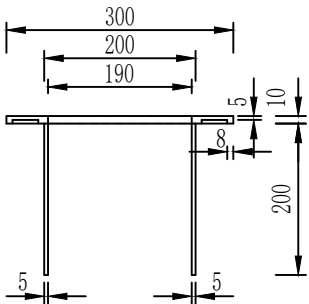
一处集排水装置材料数量表

类别名称	数量
PVC集排水装置（套）	1
聚硫防腐密封胶（kg）	0.45
局部修补（m²）	0.16
射钉及其配件（套）	4

集排水装置平面



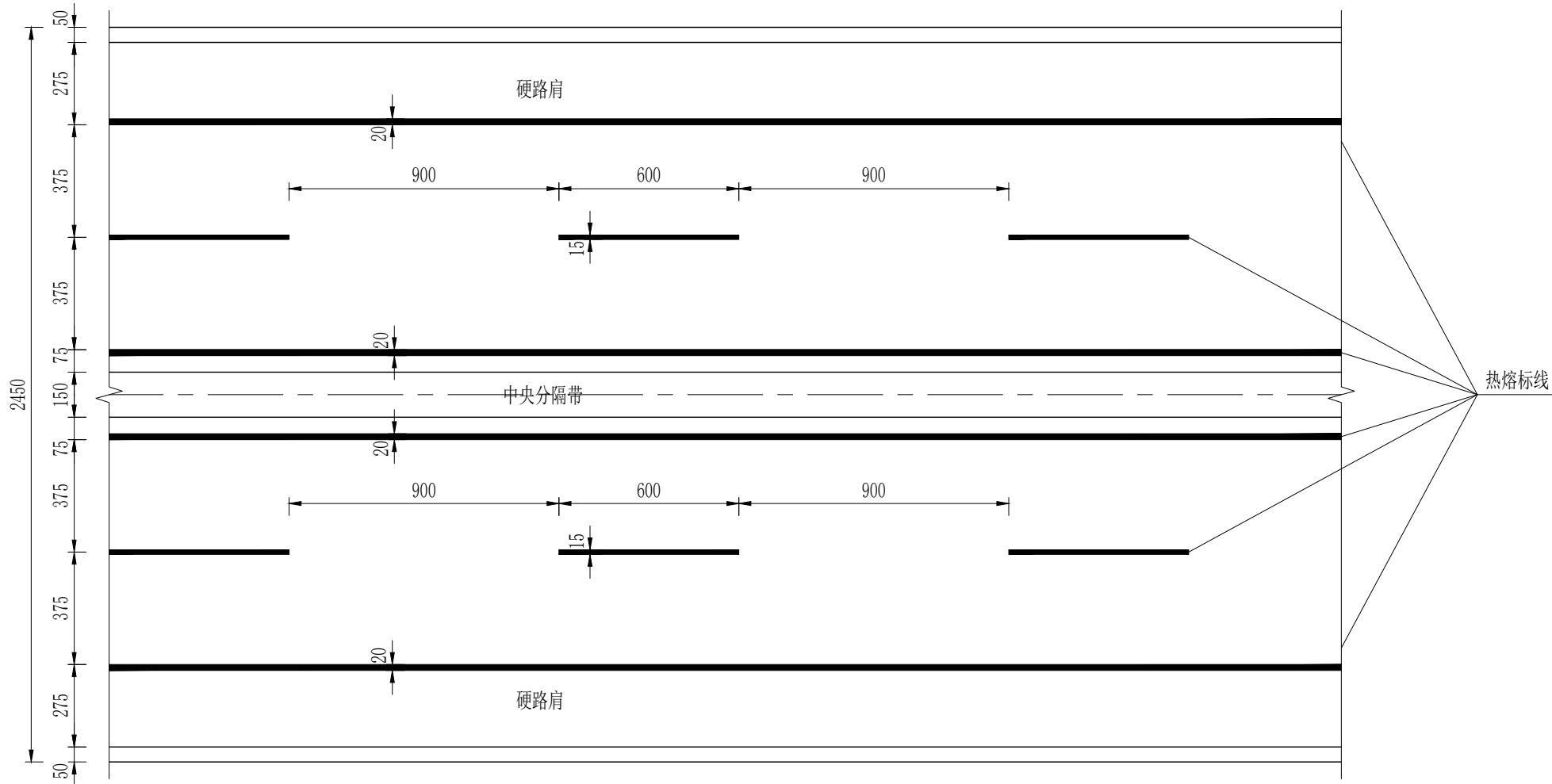
集排水装置立面



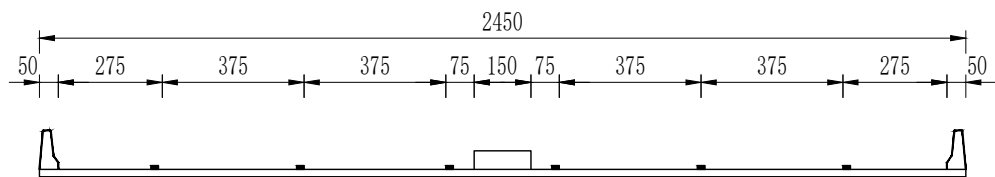
注：

1. 本图尺寸均以mm为单位。
2. 施工前应对泄水孔周围箱梁翼缘表面进行清理整平（若破损应进行局部修补），安装PVC集排水装置应以泄水管为中心定位，在与箱梁翼缘接触部位均匀涂抹聚硫防腐密封胶，涂抹厚度不小于5mm，按压集排水装置法兰部位使密封胶溢出为止。
3. 使用射钉固定排水装置于箱梁翼缘底面，为防止渗水，固定后在排水装置排水管顶部与箱梁翼缘接触部位全周涂抹聚硫防腐密封胶，密封胶涂抹高度应超过法兰顶部，使之形成坡面，便于雨水向下流。
4. 本图排水装置安装位置及构造仅为示意，排水装置构造可根据现场调整，施工前对泄水管尺寸及箱梁翼缘斜度二次测量，防腐胶数量已计入20%损耗。

路面标线平面布置图



标线立面图



- 注：
- 1. 本图尺寸均以厘米为单位；
 - 2. 标志布设应符合GB5768.2-2022《道路交通标志和标线》，标线布设应符合GB5768.3-2009《道路交通标志和标线》；
 - 3. 车道边缘线及车道分界线（虚线）采用热熔反光涂料，颜色除特殊标明外均为白色；
 - 4. 车道边缘线宽为0.2m，车道分界线宽为0.15m，车道边缘线不应侵占行车道，标线应划在车道外缘；
 - 5. 车道外边缘线每隔15m开口5cm，以利于路面排水。
 - 6. 桥梁热熔标线共计：3025平方米。