江门市江海区省道S384线
礼东大桥维修加固工程

第一册（全一册）

施工图设计

中交公路规划设计院有限公司

二O二二年七月 北京

目 录

说　　明

1　项目概况

1.1 总体概况

礼东大桥位于江门市江海区新乐路，。大桥主线全长 680.0m，分为左、右两幅独立修建，两幅的跨径组合均为：8×30.0m（引桥）+52.0m+90.0m+52.0m（主桥）+8×30.0m（引桥）。大桥设计荷载为“公路—I 级”，单幅桥宽 13.0m，桥面横向的布置为：0.5m（防撞护栏）+11.5m（车行道）+0.5m（防撞护栏）+0.5m（隔离带）。由中交公路规划设计院珠海分院设计，竣工于 2011 年 3 月。

图 1.1 礼东大桥地理位置图

主桥的结构型式为三跨预应力混凝土连续刚构桥，其跨径组合为：52.0m+90.0m+52.0m，桥跨结构采用单箱单室箱梁。引桥的上部结构为 30.0m 预制小箱梁，单幅桥的横断面由 4 片小箱梁组成，采用现浇混凝土湿接缝的方式形成横向联系。

主墩墩身顺桥向由两片等截面矩形薄壁墩组成，横桥向宽度为 6.00m，顺桥向宽度为 0.80m。两片薄壁墩之间净距 3.40m。过渡墩墩身为等截面矩形空心薄壁墩，横桥向宽度为 7.00m，顺桥向宽度为 1.8m。引桥采用双柱式墩身，墩身直径分别为 1.30m 和 1.40m，横向中距均为 7.00m。

主墩采用整体 7.2x7.2m 方形承台，厚度 3.0m，下设 1.0m 厚 20 号封底混凝土；过渡墩采用 10.00×3m 的整体矩形承台，厚度 2.0m，下设 0.8m 厚 20 号封底混凝土。引桥桥墩采用柱底加系梁的方式加强横向联系。

主墩采用 4 根 1.80m 直径的钻孔桩；过渡墩采用 3 根 1.5m 直径的钻孔桩。引桥桥墩桩基采用 2 根 1.5m 或 1.6m 直径钻孔桩，桥台采用 4 根 1.5m 直径钻孔桩。根据地质钻孔资料，主墩、过渡墩、引桥、桥台的桩基础均没有冲刷。主墩桩基础按嵌岩桩设计，要求桩底嵌入微风化岩石不小于 5m；过渡墩桩基础按柱桩设计，要求桩底嵌入弱风化岩石不小于 3m。引桥桥墩与桥台桩基按柱桩设计，要求桩底嵌入弱风化岩不小于 2m。

立面图　　正面图

图 1.2 礼东大桥实景照片

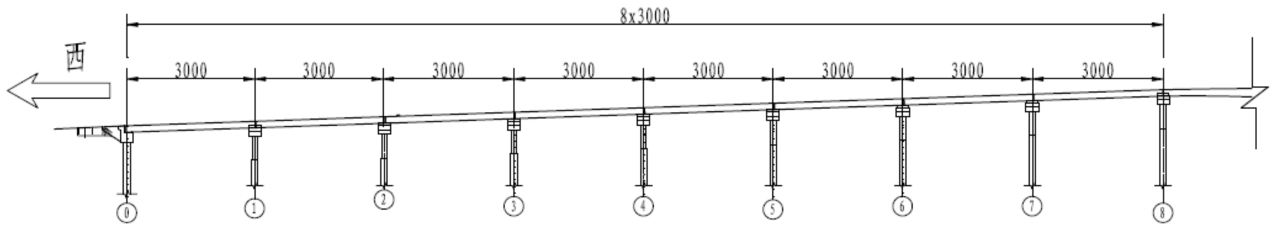


图 1.3 礼东大桥西引桥平、立面图

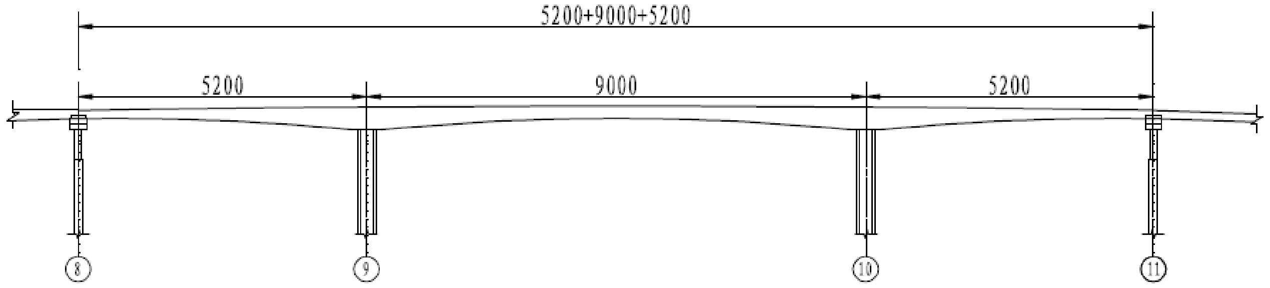


图 1.4 礼东大桥主桥平、立面图

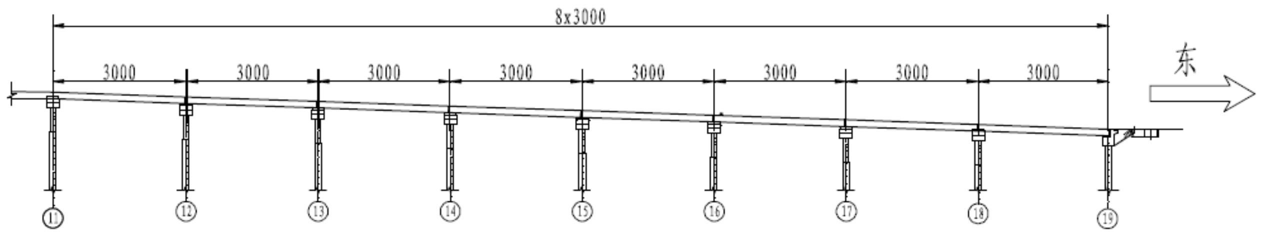


图 1.5 礼东大桥东引桥平、立面图

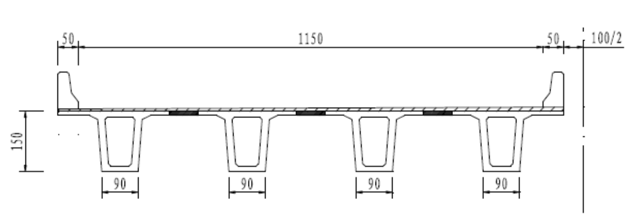


图 1.6 引桥跨中断面布置

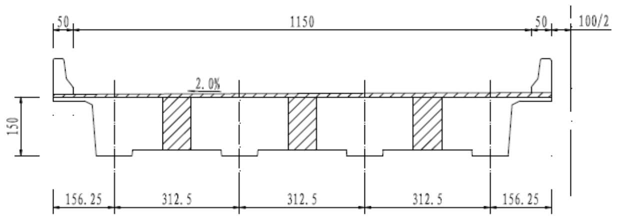


图 1.7 引桥梁端断面布置

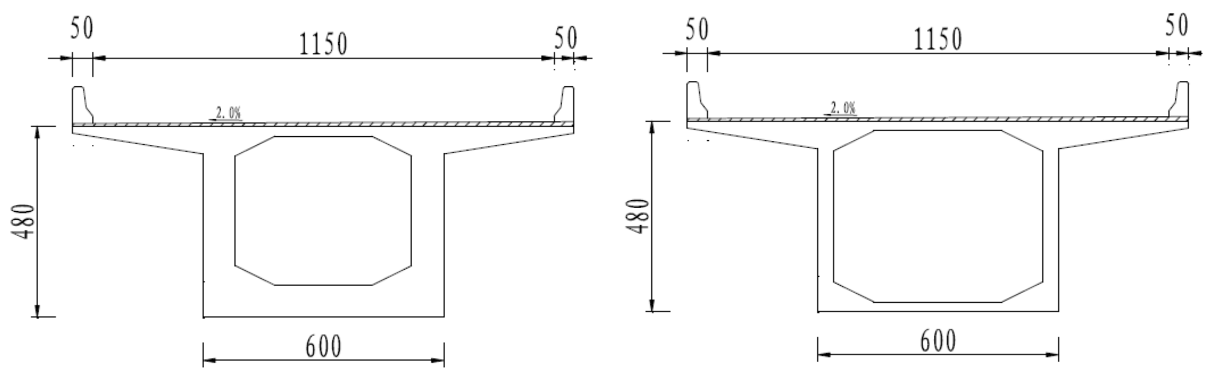


图 1.8 主桥箱梁断面布置

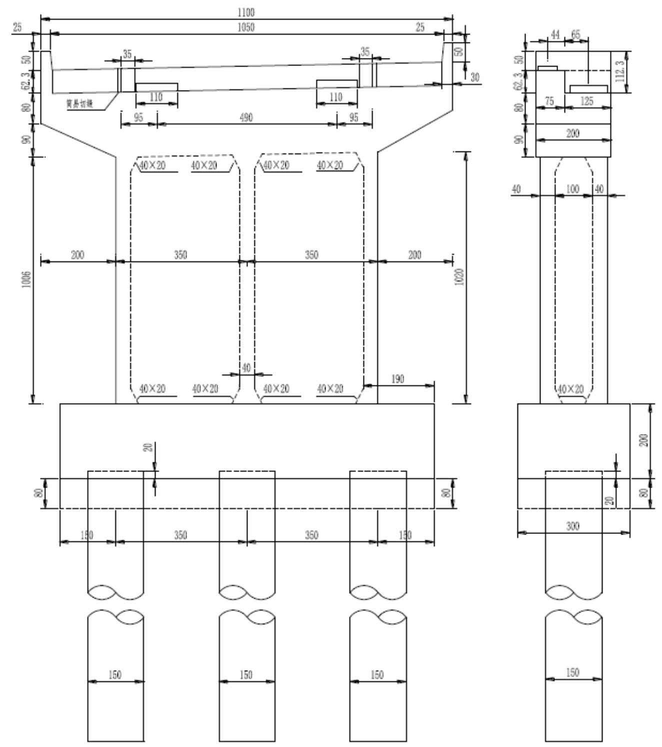


图 1.9 8#墩断面布置

2021 年，广州广大工程检测咨询有限公司对礼东大桥 8#墩进行了专项检测，根据现场检测可知：

（1）礼东大桥 8#墩引桥侧支座左右幅共有 3 个支座脱落，主梁直接作用于支撑垫石，8#墩其余支座均存在超限纵向滑移情况。

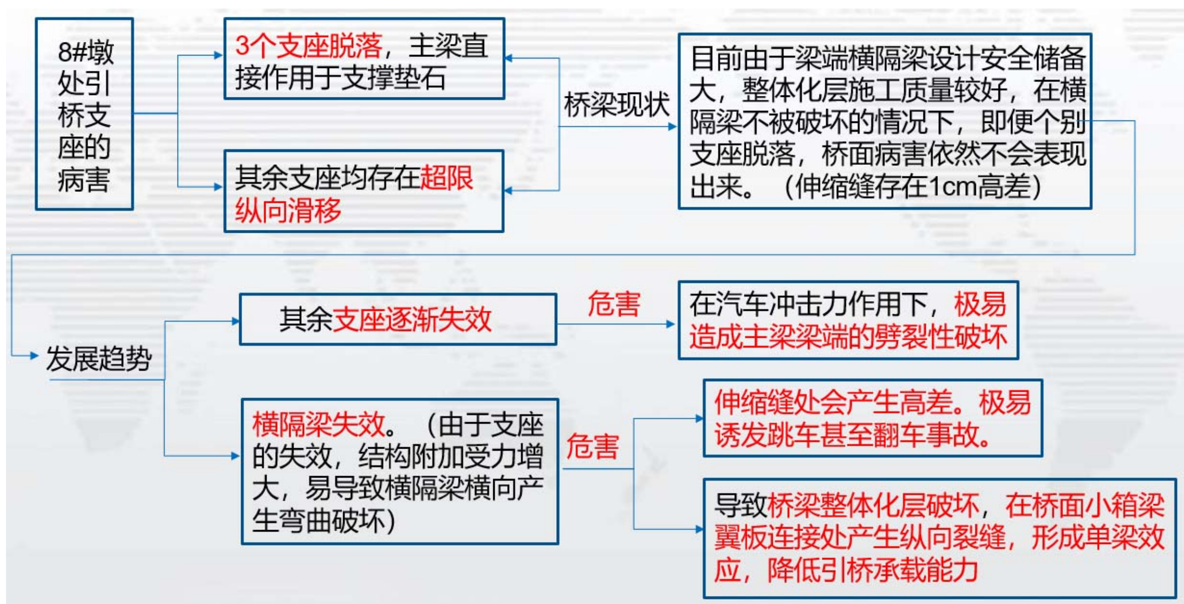


图 1-10 礼东大桥 8#墩处引桥支座病害发展趋势及危害

自 2014 年始，已搜集的历史检测资料的检测结果表明，礼东大桥 8#墩引桥侧小箱梁支座（左、右幅）均存在严重的纵向偏移病害，病害表现形式主要有两种：

◆ 一种是主梁钢垫板纵向偏移，支座无偏移。

◆ 另一种是主梁钢垫板与支座同向偏移。总体而言，左幅较右幅偏移量值大。

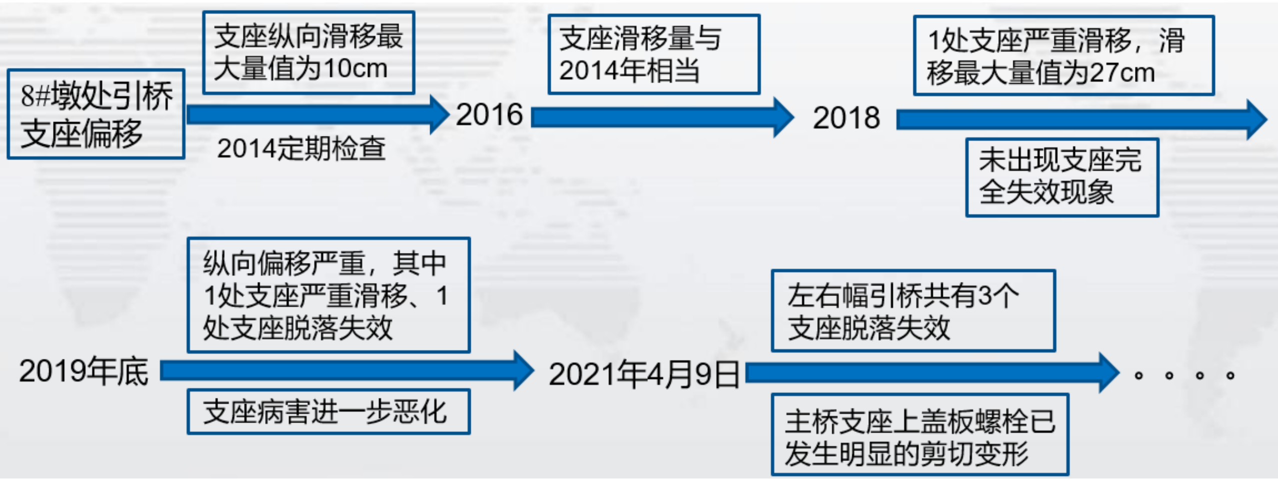


图 1-11 礼东大桥 8#墩处引桥支座病害发展时间轴

（2）根据测量结果，左右幅 8#墩存在倾斜。主要表现在：横向上，8#墩向南侧(即市区侧)方向倾斜，左幅横向倾斜率最大为 0.26%，右幅横向倾斜率最大为 0.14%，基本满足规范限值 0.2%的要求。纵向上，8#桥墩向西侧(即引桥侧)方向倾斜，左幅桥 8#桥墩的纵向倾斜率最大为 1.15%，右幅桥 8#桥墩的纵向倾斜率最大为 1.05%，倾斜率均超过规范限值 0.2%的要求。礼东大桥 8#墩墩高约 12m，墩柱的最大纵向倾斜率将在墩顶产生 13.8cm 的纵向偏移量(向引桥侧)。

图 1.12　8#墩现场情况

根据检测报告内容，从 2016 年开始，总体评分均为 B 类，下部结构评分基本在 B 类下限。自 2018 年开始，桥面系处于 D 类上限。近两年该桥 2021 年、2022 年定期检查全桥均评定为“D 类”，C 级及以上部位为左右幅 8#墩支座。依据《城市桥梁养护技术标准》（CJJ 99-2017）养护对策，**该桥应进行检测评估后进行中修、大修或加固工程。**

表 1-1　历年桥梁技术状况汇总

序号	年份	上部结构评分（BSIm ）	下部结构评分（BSIs ）	桥面系评分（BSIx ）	总体评分（BCI ）
1	2016	86.4(B)	79.9(C)	87.4(B)	83.6(B)
2	2018	88.0(B)	81.1(B)	59.3 (D)	87.7(B)
3	2019	85.0(B)	84.0(B)	60.0(D)	85.6(B)
4	2021	/	/	/	D
5	2022	/	/	/	D

1.2 桥梁设计技术标准

礼东大桥主要技术标准为：

1) 道路等级：一级公路；

2) 设计速度：100km/h

3) 桥面全宽：26m；（其中：行车道宽度：11.5m×2；内外侧护栏带宽：0.5m×2；）

4) 设计荷载：公路—I 级；

5) 地震基本烈度：7 度；

6) 设计洪水频率：1/100；

2 建设条件

2.1 气象水文条件

本区属于亚热带季风海洋性气候，冬无严寒，夏无酷暑，常年温和湿润，雨量充沛，阳光充足，无霜期长。

本区气温变化的主要特点：年平均气温为 21.2℃～22.6℃，最冷为一月，平均气温为 13.3℃～14.1℃；最热为七月，平均气温为 28.3℃～28.5℃；极端最低气温为 0.1℃；极端最高气温为 37.4℃；平均日照时数为 1726 小时。

本区受季风影响，全年降雨量分布不均，其中 4～9 月份为雨季，降雨量约占全年的 82%。根据统计表明，年降雨量为 1130.2～2829.3mm，平均年降雨量为 1750.4mm。

睦洲水道属西江水系，是连通西江和潭江的水道。桥址河段宽约 80m，水深 2.5m～4.0m，河水自北西流向南东，河水受海洋潮汐的影响，潮汐回流明显；雨季洪潮互相顶托，水位多变。若涨潮时受台风、暴雨或洪水影响，则会出现暴潮。

2.2 地形地貌条件

礼东大桥位于江门市礼乐镇东南面，呈近东西向横跨睦洲水道，河道两岸均为农田和鱼塘。桥址地貌单元属珠江三角洲冲积平原，地形平坦开阔，地面标高 0.9～2.2m，两岸堤坝标高 2.7～3.6m。

2.3 地址情况

桥址地基岩土层的分布及其物理力学性质自上而下依次为:

（1）粘土（Q^{mc}）：褐黄、灰黄色，主要以粘粒组成，含粉粒、细砂，具粘性，顶部为耕植土，呈软可塑状，饱和，为中偏高压缩性土。该层分布较广，仅在 QZK9 号孔附近缺失，厚为 0.50～2.20m，层底标高-0.60～1.90m。本层地基承载力[б$_0$]=110Kpa。

（2）淤泥质土与粉细砂互层（Q^{mc}）：灰黑色，为淤泥质土（局部为淤泥）与粉细砂相间韵律沉积，各分层厚度较小，呈薄层状或透镜状，含贝壳碎片、腐植质，淤泥质土呈流塑状，粉细砂层呈松散状，饱和。该层分布广，厚为 0.60～4.70m，层底标高-4.40～-0.40m，本层地基承载力[б$_0$]=70Kpa。

（3）细砂（Q^{mc}）：灰黑色，以细砂为主，粉粒、中砂次之，夹薄层状、透镜状淤泥层，底部含较多贝壳碎片，呈松散状，饱和。该层分布广，厚 1.80～3.40m，层底标高-7.00～-1.90m。本层地基承载力[б$_0$]=120Kpa。

（4）淤泥（Q^{mc}）：灰黑色，质较纯，含少量粉砂及贝壳碎片，呈流塑状，饱和，为高压缩性土和高灵敏土，局部夹淤泥质土。该层分布广，厚 9.20～23.70m，层底标高-26.80～-13.00m，本层地基承载力[б$_0$]=45Kpa。

（5）粘土（Q^{al}）：灰白、灰黄、浅红色，具粘性，质感细腻，含少量粉细砂，呈软可塑状，饱和，为中偏高压缩性土。该层仅分布在 K4+535 地段，厚 4.40～5.90m，层底标高-20.10～-17.40m，本层地基承载力[б$_0$]=160Kpa。

（6）砂砾（Q^{al}）：灰白、黄白色，以砂砾为主，次为中、粗砂，少量细砂，自上而下具多个由粗～细的粒序沉积旋廻，底部含少量卵石和中、粗圆砾，呈中密状，饱和。该层分布广，厚 3.30～15.20m，层底标高-32.60～-28.50m，本层地基承载力[б$_0$]=350Kpa。

（7）亚粘土（Q^{el}）：棕红、黄白、浅红色，含较多中、粗砂，为下伏基岩风化残积土，属中偏低压缩性土，呈硬塑状。该层分布于 QZK8、QZK9、QZK10、号孔附近，厚 0.60～4.30m，层底标高-35.50～-29.80m，本层地基承载力[б$_0$]=280Kpa。

（8）全风化粉细砂岩（E）：棕红、浅红色，岩石强烈风化为亚粘土，属中偏低压缩性土，呈坚硬状，该层仅分布在 QZK7、QZK20 号钻孔附近，厚为 1.20～2.80m，层底标高-33.50～-32.40m，本层地基承载力[б$_0$]=350Kpa。

（9）强风化粉细砂岩（E）：棕红、褐黄、褐红色，中～厚层状，具水平、波状层理，节理裂隙发育，岩石强烈风化呈半土半岩状，岩芯破碎，易掰碎，遇水软化、崩解，暴晒、风干后迅速爆裂、破碎。该层分布广，仅在 K4+915～K4+975 段和 QZK16 号孔附近缺失，厚 0.90～5.50m，层底标高-38.10～-30.10m，本层地基承载力[б$_0$]=500Kpa。

（10）中（弱）风化粉细砂岩：棕红、浅红、浅灰白色，粒状结构，中～厚层状，具水平状、波状层理，泥质胶结，节理裂隙较发育，岩石较致密，岩芯呈短～长柱状，锤击声哑，易断，暴晒、风干后迅速爆裂、破碎，岩石饱和单轴抗压强度标准值为 6.90Mpa。该层分布广，局部夹强风化或中风化泥岩。厚 7.00～22.80m，层底标高-54.00～-44.10m，本层地基承载力[б$_0$]=2760Kpa。

（11）微风化粉细砂岩：棕红、灰白色，粒状结构，中～厚层状，具水平状、波状层理，泥质胶结，节理裂隙稍发育，岩石较致密、坚硬，锤击声哑，岩芯呈长柱状，暴晒、风干后迅速爆裂、破碎，岩石饱和单轴抗压强度标准值为 11.5Mpa。该层分布广，本次勘察揭露厚度为 6.10～15.70m，层顶标高-54.00～-44.10m。地基承载力[б$_0$]=5750Kpa。

2.4 地下水

桥址地基内分布有地下水，为第四系土层孔隙潜水及基岩风化裂隙水，与河水有直接的水力关系，水位随季节动态变化，其中③细砂及⑥砾砂层富水性较好，透水性较强，为地基主要含水层，其它地层富水性和透水性均较差。

3 设计依据

3.1 基础资料

礼东大桥维修加固工程方案设计依据以下文件编制：

（1）《S364 线江门、新会过境公路新建工程礼东大桥段竣工图》（湖南省永州公路桥梁建设有限公司，2011 年 3 月）

（2）《S364 线江门、新会过境公路新建工程礼东大桥段施工图》（中交公路规划设计院，2004 年 6 月）

（3）《礼东大桥外观检测报告》（广州广大工程检测咨询有限公司、广东荣骏建设工程检测股份有限公司，深圳高速工程检测有限公司，2016 年，2018~2019，2022 年）

（4）《礼东大桥桥-静动载报告》（广州广大工程检测咨询有限公司，2017 年）

（5）《礼东大桥 8#墩检测与分析报告》（广州广大工程检测咨询有限公司，2021 年）

（6）《会港大道一期工程施二工期礼东大桥旧桥 11#桥墩(8#桥墩)安全监测报告》（南京瑞迪建设科技有限公司，2021 年 4 月）

（7）国家、行业其他相关规范、规程。

3.2 原桥设计规范及标准：

（1）《公路工程技术标准》（JTG B01—2003）；

（2）《公路桥涵设计通用规范》（JTJ 021—89）；

（3）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ 023—85）；

（4）《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ 024—97）；

（5）《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》（JTJ 025—86）；

（6）《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004—89）；

（7）《公路桥涵施工技术规范》（JTJ 041—2000）；

（8）《公路工程质量检验评定标准》（JTJ071-98）；

3.3 维修加固设计规范及标准

（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）《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63-2007）；

（5）《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）；

（6）《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）；

（7）《公路桥梁荷载试验规程》（JTGT J21-01-2015）；

（8）《公路桥梁养护技术规范》（JTG H11-2004）；

（9）《公路桥梁加固设计规范》（JTG/J22-2008）；

（10）《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG / J23-2008）；

（11）《城市道路工程设计规范》（CJJ 37-2012　2016 年版）；

（12）《城市桥梁设计规范》（CJJ 11-2011）；

（13）《城市桥梁工程施工与质量验收规范》（CJJ 2-2008）；

（14）《城市桥梁检测与评定技术规范》（CJJ / T 233-2015）；

（15）《城市桥梁结构加固技术规程》（CJJ / T 239-2016）；

（16）《城市桥梁抗震设计规范》（CJJ 166-2011）；

（17）《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）；

（18）《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）；

（19）国家、行业其他相关规范、规程。

4 桥梁周边情况

4.1 旁位会港大道工程建设情况对旧桥的影响

1、会港大道工程建设情况

会港大道一期工程对礼东大桥进行拓宽改造，在礼东大桥旧桥左右两幅新建拼宽桥梁。礼东大桥新桥中心里程为：Z1K6+857.183（左幅），Y1K6+857.183（右幅），全桥跨组合为25+2x30+15m（预应力砼简支小箱梁）+（62+100+62）m（预应力砼连续刚构）+15+8x30m（预应力砼简支小箱梁），桥梁长度为581.6m(含桥台侧墙)。

新桥建设按照三阶段施工：第一阶段是新拓宽桥梁承台桩基础施工，Y11桥墩(左幅8#桥墩)附近新拓宽桥梁承台桩基础施工自2017年7月开始至2018年1月结束；第二阶段在过渡墩Y11附近施工拓宽桥梁承台基坑开挖、浇筑，墩柱浇筑等工序，自2019年1月至2019年10月结束；第三阶段墩柱浇筑完毕，模板及支架拆除后挂篮施工阶段，目前礼东大桥新桥已接近完工。

表 4-1 施工阶段状况表

阶段	时间	相邻旧桥墩柱	基础形式	施工概况
第一阶段	2017.5~2018.1	Y11 号墩	冲孔灌注桩	桩基施工阶段
第二阶段	2019.1~2019.9			承台基坑开挖及墩柱浇筑阶段
第三阶段	2019.10~2020.12			新桥挂篮施工阶段

2、礼东大桥新拓宽桥处于原礼东大桥安全防护区域范围内

礼东大桥新拓宽右幅桥横向距旧桥Y11桥墩（左幅8#桥墩）6.5m，纵向距15.0m，其平面位置关系见下图。根据相关规范规定并结合现场实际情况，**礼东大桥新拓宽右幅桥施工作业行为处于原礼东大桥桥梁安全防护区域范围内。**

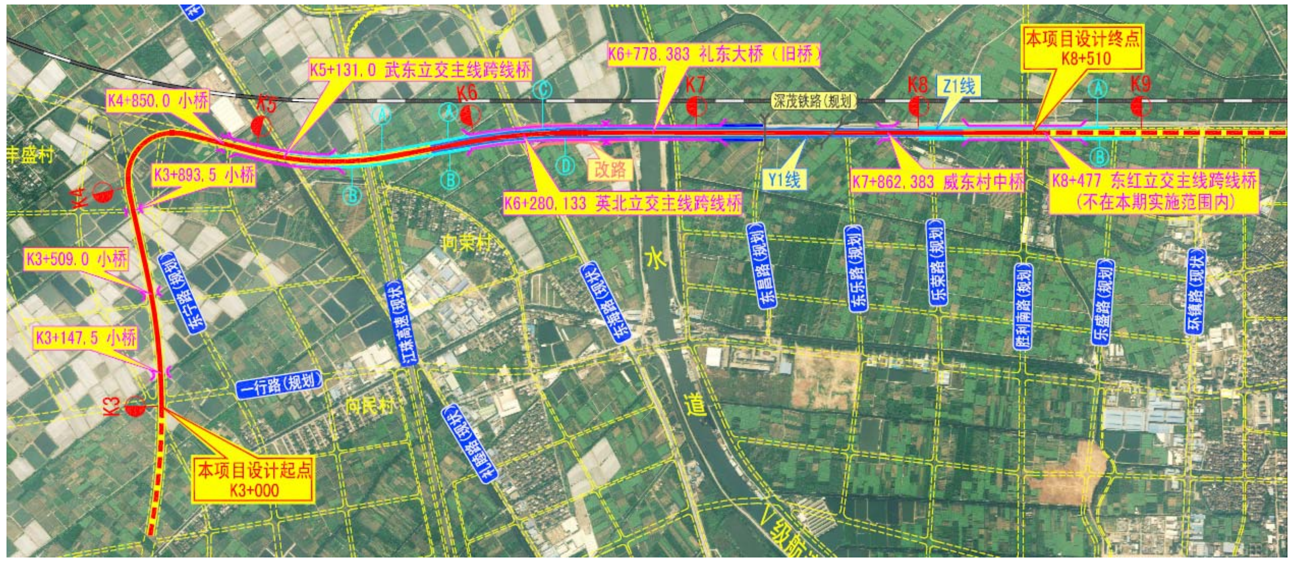


图 4.1 会港大道工程与礼东大桥旧桥位置关系

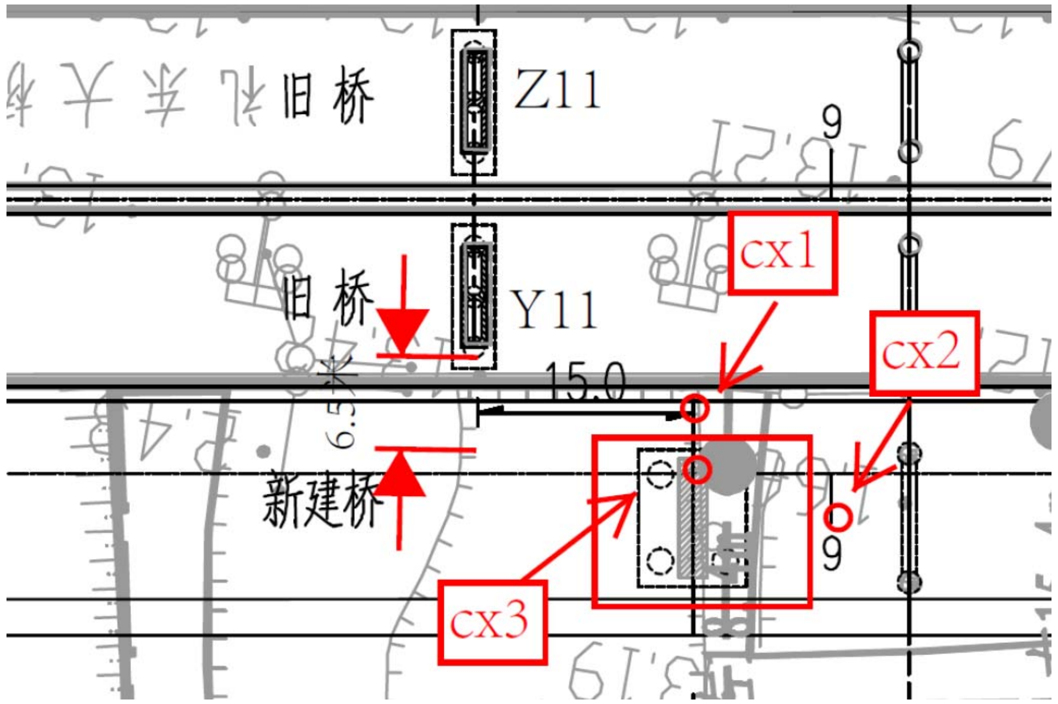


图 4.2 礼东大桥新建桥与旧桥平面位置关系

3、新桥施工期对旧桥的监测情况

礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间，南京瑞迪建设科技有限公司对旧桥进行了施工监测，并形成了监测报告，报告名称为“会港大道一期工程施二工期礼东大桥旧桥11#桥墩(8#桥墩)安全监测报告”。监测单位根据新施工阶段制定了针对礼东大桥旧桥11#桥墩（8#桥墩）的安

全监测方案，并确定了旧桥监控控制标准表（如下表，原报告P2）。

表 4-2 旧桥梁监控控制标准表

指标 项目	施工期		使用期	
	变形速率	总累计量	变形速率	总累计量
沉降	≤2mm/d	≤20mm	≤0.5mm/d	≤10mm
地表水平位移	≤1mm/d	≤10mm	≤0.2mm/d	≤5mm
深层土体水平位移	≤1mm/d	≤10mm	≤0.2mm/d	≤5mm

施工过程中针对旧桥的监测量值主要是墩柱基础水平位移量和新拼宽桥梁基础土体水平位移量两个指标。

具体监测结论如下：(原报告P6和P7)

（1）新拼宽桥梁桩基础施工阶段，2017 年7月至2018年1月，Y11墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为6.88mm， 横向最大累计水平位移量为2.08mm； Z11 墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为6.51mm，横向最大累计水平位移量为2.10mm。

（2）新拼宽桥梁基础承台基坑开挖、浇筑及墩柱浇筑施工阶段，2019 年1月至2019年10月，受基坑支护、模板、支架等遮挡影响，过渡墩水平位移在此阶段无法进行测量，通过观测新拼宽桥梁基础深层土体水平位移来监控桥梁基础施工期间对旧桥基础的影响，桥梁承台基坑开挖期，深层土体水平位移累计位移量为142.13-243.2mm，位移速率为11.9-53.82mm/d，连续发出8份警戒报告；承台浇筑和立柱浇筑阶段，深层土体水平位移累计位移量为-2.82--1.82mm，位移速率为-0.07~-0.05mm/d.

（3）桥梁挂篮施工阶段，2019年10月至今，Y11墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为9.15mm，横向最大累计水平位移量为0.52mmn； Z11 墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为8.10mm，横向最大累计水平位移量为0.62mm。

4、新桥施工期对旧桥的使用及对桥下既有道路的占用情况

（1）施工期对旧桥的使用情况

礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间对礼东大桥旧桥的使用主要分为二个方面：一是利用既有礼东大桥左幅旧桥进行施工物资运送和吊运；二是右幅旧桥单向三车道改为双向两车道。

a、礼东大桥左幅旧桥使用状况

礼东大桥左幅旧桥桥面主要用于挂篮、钢模板等施工物资的运送、吊运与临时堆放，如下图所示。

图 4.3 施工期间左幅桥梁使用情况

b、礼东大桥右幅桥使用状况

因礼东大桥左福桥全封闭用于施工物资吊运，为保证交通的正常通行，右幅桥由原单向三车道改为双向两车道，施工材料及渣士运送等均使用该幅桥，如下图所示。

图 4.4 施工期间右幅桥梁使用情况

（2）施工阶段对旧桥既有道路的使用状况

礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间对礼东大桥旧桥的既有道路使用主要分为二个方面：一是对礼东大桥 8#墩临近道路的硬化及施工物资运输；二是利用礼东大桥桥下既有道路进行施工物资运送与堆放。

a、礼东大桥 8#墩桥下道路硬化及使用状况

礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间对礼东大桥 8#墩侧既有道路采取了路面硬化措施，主要用于大型平板车进行施工物资的运送，并将部分物资堆放于道路两侧，如下图所示。


图 4.5　8#墩桥下道路物资运送与堆放

b、礼东大桥桥下既有道路占用状况

礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间除 8#墩桥下既有道路进行了路面硬化外，其他临时占用道路未曾进行路面硬化，主要用于钢筋、模板等施工物资运送与堆放，如下图所示。


图 4.6　旧桥桥下道路物资运送与堆放

4.2 施工行为对 8#墩安全影响分析

根据管养方和施工方提供的资料，与规程要求相较，礼东大桥新拓宽右幅桥施工期间对 8#墩安全存在一定的影响，可能的影响如下：

（1）施工前，施工单位未与管养单位签订安全保护协议，未提供对安全保护区域内礼东大桥的检测报告，缺乏礼东大桥 8#墩原始状况资料。

（2）施工单位制定了针对礼东大桥的检测方案及相应控制值。从已提交的检测报告看，新拼宽桥梁桩基础施工阶段，墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为 6.88mm；桥梁挂篮施工阶段，墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量为 9. 15mm。墩柱基础位置纵向最大累计水平位移量已接近图 6.7 所定控制值，并有进一-步增 大的趋势。新建桥梁基础承台基坑开挖、浇筑及墩柱浇筑施工阶段，深层土体水平位移累计位移量为 142. 13~243.2mm，位移速率为 11.9~53.82mm/d，连续发出了 8 份警戒报告，表明深层土体扰动较大，存在土体流动现象。由于施工点距离旧桥 8#墩较近，横向最小.距离仅 6.5m，且该区域属于典型软土地基，工程扰动地表面积较大，软基层的深层土体流动所造成的不稳定土压力将加剧 8#墩侧压力，这也与施工过程中监测到的数据趋势是.一致的。

（3）施工期间，施工单位利用礼东大桥 8#墩侧既有道路进行了道路硬化，用于大型平板车辆等进行施工材料运送，并将部分施工物资堆放于道路两侧。既有道路硬化措施和施工物资堆放增加了 8#墩长期土侧压力，大型货运车辆的通行也将产生较大的通行时土侧压力。同时，道路硬化、施工物资堆放以及大型货车的通行等均会对既有道路产生附加作用力，当超过既有道路设计承载力时，将会造成软土地基的扰动，从而易对 8#墩形成不均衡土侧压力，均会对 8#墩的侧倾产生不利影响。

5 桥梁现状及主要病害情况

5.1　8#墩处桥下不平衡堆载

礼东大桥 8#墩周边地表存在不平衡荷载，靠近江侧（9 号墩方向）有填方路基，目前作为施工便道使用，日常有大型施工车辆通行和停靠，靠岸侧为河沟（水深 1m），两侧高差有 2.5m 左右，由此造成的不平衡荷载十分可观。

堆土荷载对墩柱产生水平推力导致桩的挠曲，水平变形过大，从而造成上部结构产生偏移甚至不能正常使用。

图 5.1 8#墩处不平衡堆载

图 5.2 8#墩处水深测量

5.2 支座滑移

根据检测报告内容，2016 年该桥左右幅 8#墩支座已经出现严重的纵向偏移现象。到 2018 年时，已有 1 处支座发生严重滑移，虽未完全失效，但其病害有进一步发展的趋势。2019 年年底进行常规定期检测后发现，支座病害向先前预测的趋势发展，已出现进一步恶化，此时支座病害已非常严重。其中，1 处支座严重滑移，1 处支座脱落失效。截止 2021 年 4 月 9 日，左、右幅共有 3 个支座失效。从支座的滑移量来看，2014 年支座纵向滑移最大量值为 10cm；2016 年的数值与 2014 年相当；到了 2018 年，支座最大滑移量增大至 27cm；2021 年 4 月 9 日止，支座最大滑移量已达 30cm。至 2021 年 4 月 9 日止，严重失控的支座位移已导致近引桥侧支座上盖板螺栓已发生明显的剪切变形。

表 5-1 8#墩处支座测量结果（m）

序号	检查部件	检查情况	图号
1	8#墩（过渡墩）支座	右幅 8-8-1#支座向 9#墩方向移位 20.00cm。	
2		右幅 8-8-2#支座钢垫板向 9#墩方向移位 26.00cm。	
3		右幅 8-8-3#支座钢垫板向 9#墩方向移位 26.00cm	
4		右幅 8-8-4#支座向 9#墩方向移位 23.00cm。	
5		左幅 8-8-4#支座向 9#墩方向移位 25.00cm。	
6		左幅 8-8-3#支座钢垫板向 9#墩方向移位 30.00cm。	
7		左幅 8-8-2#支座向 9#墩方向移位 28.00cm。	
8		左幅 8-8-1#支座钢垫板向 9#墩方向移位 25.00cm。	
9		左幅 9-8-1#支座向 9#墩方向移位 20.00cm。	
10		左幅 9-8-2#支座向 9#墩方向移位 20.00cm。	
11		右幅 9-8-1#支座向 9#墩方向移位 20.00cm。	/
12		右幅 9-8-2#支座向 9#墩方向移位 20.00cm。	/

图 5.3 右幅 8-8-1#支座向 9#墩方向移位 20.0cm

图 5.4 右幅 8-8-2#支座钢垫板向 9#墩方向移位 26.0cm

图 5.5 右幅 8-8-3#支座钢垫板向 9#墩方向 26cm

图 5.6 右幅 8-8-4#支座向 9#墩方向移位移位 23cm

图 5.7　左幅 8-8-4#支座向 9#墩方向移位 25.0cm

图 5.8　左幅 8-8-3#支座钢垫板向 9#墩方向移位 30.0cm

图 5.9　左幅 8-8-2#支座向 9#墩方向移位 28.0cm

图 5.10　左幅 8-8-1#支座钢垫板向9#墩方向移位 25.0cm

图 5.11　左幅 9-8-1#支座向 9#墩方向移位 20.0cm

图 5.12　左幅 9-8-2#支座向 9#墩方向移位 20.0cm

5.3 墩柱偏移

根据《礼东大桥 8#墩检测与分析报告》内容，墩顶倾斜程度为：

横向上，8#墩向南侧（即市区侧）方向倾斜，左幅横向倾斜率最大为 0.26%，右幅横向倾斜率最大为 0.14%，基本满足规范限值 0.2%的要求。纵向上，8#桥墩向西侧（即引桥侧）方向倾斜，左幅桥 8#桥墩的纵向倾斜率最大为 1.15%，右幅桥 8#桥墩的纵向倾斜率最大为 1.05%，倾斜率均超过规范限值 0.2%的要求。礼东大桥 8#墩墩高约 12m，墩柱的最大纵向倾斜率将在墩顶产生 13.8cm 的纵向偏移量（向引桥侧）。该纵向偏移量已超运营荷载所致的主梁纵向位移量值，表明墩柱倾斜率并非完全由运营荷载所致。

表 5-2　8#墩垂直度测量结果（m）

测点号	倾斜量 △X（垂直桥梁方向）	倾斜量 △Y（桥梁前进方向）	高差 △h	倾斜率 (%)	倾斜方向
左幅 CD1	0.015	/	7.052	0.21	横桥向
左幅 CD2	/	-0.080	6.958	1.15	纵桥向
右幅 CD3	0.010	/	7.075	0.14	横桥向
右幅 CD4	/	-0.075	7.746	0.97	纵桥向

此外，经过现场踏勘，用垂线法及测斜尺配合塞尺对 8#墩进行墩身倾斜度复核，左幅 8#墩倾斜度为 2.14%。刚构桥主墩 9#号墩及 7#引桥桥墩进行墩偏测量，8#墩两侧桥墩均为发生明显偏位。

图 5.13　8#墩现场墩身倾斜测量

图 5.14　8#墩现场墩身倾斜测量

图 5.15　主桥 7#刚构墩墩倾斜测量

5.4 其他常规病害情况

目前礼东大桥已发现的病害主要为《礼东大桥外观检测报告》（深圳高速工程检测有限公司，2022 年）所述病害，主要内容如下。

5.4.1 上部结构病害

左幅桥：箱梁存在 8 处露筋锈蚀，总面积约 4.22m2，1 处破损，面积约 0.08m2，多处钢筋锈蚀，总面积约 9.60m2；横隔板存在 1 处破损，面积约 0.04m2。

右幅桥：箱梁存在 11 处露筋锈蚀，总面积约 4.07m2，1 处破损，面积约 0.02m2，1 处蜂窝露筋，面积约 0.01m2，多处钢筋锈蚀，总面积约 13.50m2；横隔板存在 1 处破损，面积约 0.04m2，湿接缝存在 1 处破损露筋，面积约 0.12m2。

图 5.16　左幅 2-1-1#横隔板破损

图 5.17　左幅 11#跨箱梁露筋锈蚀

图 5.18　右幅 19-3#箱梁破损

图 5.19　右幅 19-3#湿接缝破损露筋

5.4.2 下部结构病害

左幅桥：盖梁存在 1 处露筋锈蚀，面积约 0.04m2，8 处渗水；护坡存在 2 处混凝土剥离（破损），总面积约 44.00m2；全桥钢垫板普遍锈蚀；4 个橡胶支座移位采用方木支撑；2 个钢盆支座纵向滑移 20cm。

右幅桥：盖梁存在 2 处露筋锈蚀，总面积约 0.25m2，8 处渗水；护坡存在 2 处混凝土剥离（破损），总面积约 32.00m2；全桥钢垫板普遍锈蚀；4 个橡胶支座移位采用方木支撑；2 个钢盆支座纵向滑移 20cm。

图 5.20　右幅 2-2#盖梁渗水

图 5.21　4#盖梁右侧端部露筋锈蚀，

5.4.3 桥面系病害

左幅桥：桥面铺装层存在 1 处小坑槽，面积约 1.20m2，1 处残留混凝土，面积约 10.00m2；存在 1 条伸缩缝被挡块压住，2 条伸缩缝钢条顶死，5 条伸缩缝堵塞，其中 4 条伸缩缝橡胶带破损、1 条伸缩缝钢条 1cm 高差；0#搭板、19#搭板正在施工改造；该桥泄水孔堵塞；全桥防撞墙涂层普遍脱落。

右幅桥：铺装层存在 5 处横向开裂，总长度约 29.00m，6 处网裂，总面积约 75.00m2，1 处破损，面积约 0.04m2；存在 5 条伸缩缝堵塞，其中 4 条橡胶带破损，3 条伸缩缝钢条顶死；0#、19#搭板正在施工改造；该桥泄水孔堵塞；防撞墙存在 14 处露筋锈蚀，总面积约 2.62m2。

图 5.22　左幅 2#伸缩缝钢条顶死

图 5.23　8#伸缩缝堵塞、橡胶破损、钢条 1cm 高差

图 5.24　右幅 2#伸缩缝钢条顶死

图 5.25　右幅 14#跨铺装层网裂

6　主要病害原因分析

6.1 支座滑移及墩身偏位原因分析

礼东大桥 8#墩倾斜及梁体滑移较大的病害已经远远超出桥梁正常运营的规范限制，根据对礼东大桥桥梁图纸查阅、此前检查检测结果调查研究以及与大桥建设期参与人员咨询，对礼东大桥 8#墩倾斜相关病害的原因作如下初步分析并提供初步处治建议：

（1）礼东大桥桥位在珠江三角洲冲击平原，浅层往往分布较深的淤泥层等软弱土层，使得地层容易受扰动产生滑动、流失，致使对结构产生较大的侧向力；礼东大桥桥位处淤泥层较厚，8#墩处淤泥层厚度约 26m 深，是典型的软土地基，桥墩本身为端承桩，桩端深入中风化层，竖向一般不会产生较大变形，但容易受地表堆载、临近施工等扰动，产生水平变形；

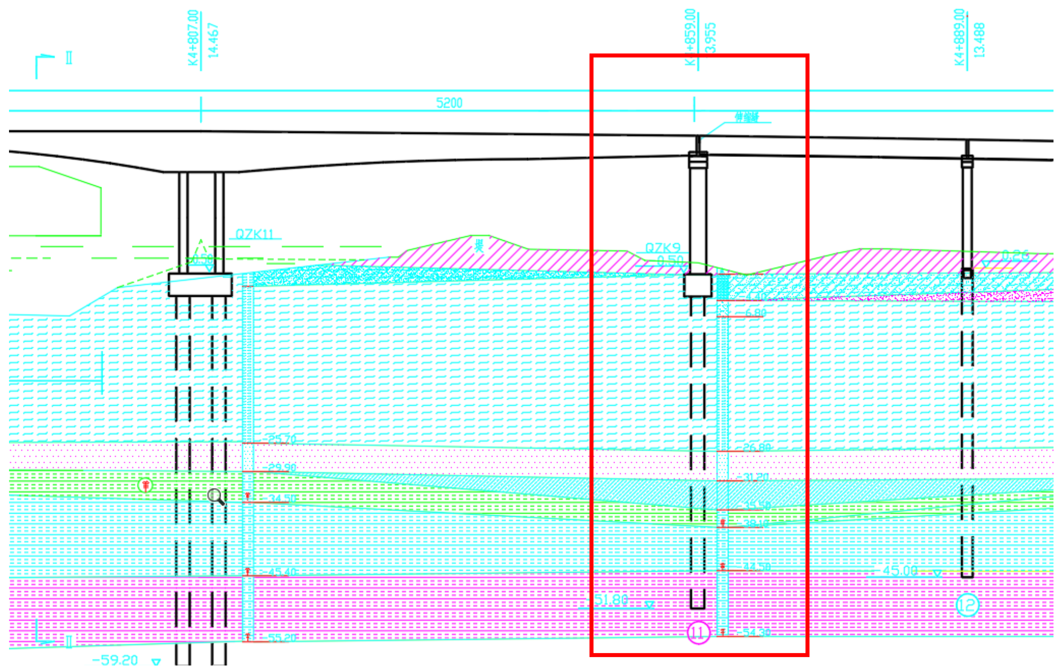


图 6-1 礼东大桥桥型布置及地址纵断面图

（2）根据与礼东大桥建设期相关参与人员咨询，该墩在建设期时因为地面不平衡堆载等情况出现了墩身倾斜状况并在当时进行了纠偏处理；桥梁建成后仍存在一定的偏位，由于桥墩存在早期的水平变形，尽管进行了一定的纠偏，但初始偏位会造成荷载偏心引起后期偏位加大；

（3）根据病害历史资料的调研，建成后至 2014 年、2016 年支座滑移量最大值为 10cm，但 2018 年滑移量增加到了 27cm，2021 年继续发展到 30cm，病害发展呈现早期发展较缓、后期发展较快的情况。主要原因是一方面 2017 年 7 月开始礼东大桥拓宽改造工程开始施工，由于在桥梁左右幅临近进行新建桥幅的施工，且先施工北侧的左幅桥，由于施工区域临近旧桥，施工作业对深层土体带来扰动致使旧桥桥墩水平偏位进一步扩展。

6.2 混凝土常规病害原因分析

1）锈胀露筋

露筋的主要原因为保护层垫块设置不牢固，振捣时垫块移位造成钢筋紧贴模板，形成露筋；钢筋锈蚀主要原因为混凝土保护层受到破坏或保护层厚度不足，混凝土振捣不密实产生较多孔隙，在周围有害环境作用下产生，钢筋锈蚀产生的裂缝均沿钢筋方向。

2）剥落、掉角

混凝土表面剥落病害的主要原因为：（1）混凝土浇筑时未振捣密实；（2）钢筋锈蚀膨胀对表层混凝土产生推挤。

混凝土掉角病害主要为外力撞击所致，如混凝土结构模板拆除时可能产生碰撞，结构运营期间可能受到车辆的碰撞或剐蹭等。

6.3 支座钢板锈蚀

钢结构会在高温环境中与干燥的 O_2、NO_2、SO_2、H_2S 等气体以及非电解质的液体发生化学反应，属于化学锈蚀，在钢结构的表面生成钝化能力很弱的氧化保护薄膜 FeO，FeS 等，其腐蚀的程度随时间和温度的增加而增加。

钢结构也会在潮湿的环境中，与周围介质之间发生氧化还原反应而产生的腐蚀属于电化学锈蚀。在潮湿的空气中，钢结构表面由于显微组织不同、杂质分布不均以及受力变形、表面平整度差异等原因，使钢结构表面局部相邻质点间产生电极电位差产生电子流动而造成钢的腐蚀称为电化学腐蚀。

当钢结构表面涂装防护劣化后，在高温、潮湿或有空气条件下，就会产生腐蚀现象。

6.4 伸缩缝病害

（1）止水带开裂、 破损主要是由于自身材料老化导致，伸缩缝型钢间距过大也会导致止水带开裂。

（2）个别伸缩缝型钢完全顶死。伸缩缝型钢间距过小或项死是由梁体滑移和安装时未根据温度控制好型钢间距共同导致的结果。

7 加固设计方案

7.1 加固设计目标及原则

（1）设计目标

本项目主要根据礼东大桥历年检测报告及 2021 年 8#墩处病害专项检测结果，对大桥进行加固维修，以阻止病害继续发展，改善桥墩乃至桥梁的使用性能、提高结构的安全性和耐久性。

（2）设计原则

本次主桥病害处治以“安全适用、技术可靠、经久耐用、经济合理”的原则进行加固维修设计。

7.2 加固设计的范围及内容

（一）加固设计范围

加固设计范围：主要对礼东大桥旧桥左右幅 8#墩处桩基、承台、桥墩、支座、伸缩缝级全桥混凝土结构耐久性病害的的修复。

3、本次维修加固的内容有：

（1）左右幅 8#墩处堆填土卸载；

（2）左右幅 8#墩基础加固、增大承台尺寸、8#墩主桥侧增大墩身截面；

（3）左右幅 8#墩处支座更换、8#墩顶伸缩缝

（4）全桥混凝土耐久性病害的维修等。

表 7.1　加固改造的目的及内容

部件	构件	改造加固的目的	改造加固的内容	改造加固性质
桥面系	伸缩缝	解决由于墩偏产生的伸缩缝高差问题	更换 8#墩顶伸缩缝	耐久性加固
	其他	常规病害的修复	全桥桥面铺装层破损、护栏锈蚀露筋等常规病害	耐久性修复
上部结构	主梁	常规病害的修复	上部结构混凝土、破损等常规病害	耐久性修复
支座	/	解决支座偏位、滑移问题。	更换 8#墩支座	耐久性加固
下部结构	桥墩	阻止病害继续发展，解决桥墩偏位病害问题。	对 8#墩进行增大截面处治，并进行主动纠偏，并提高其耐久性	耐久性加固
	桩基及承台		新增桩基及增大承台尺寸，通过加固处治后，新桩完全/部分替代旧桩，使新桩承担上部恒载和活载，保留旧桩基作为一定的安全储备	承载力加固、使用性能加固
	其他	常规病害的修复	混凝土、破损等常规病害	耐久性修复
其他	/	降低桥墩地表不平衡荷载，使水平变位得到一定恢复	降低填方路基的标高，对桥下填方路基进行改造	/

7.3 病害处治方案

施工流程：施工顺桥向旋喷桩+增设支撑纠偏装置+地表卸载+墩顶纠偏+增设桩基及承台+增厚桥墩截面+更换支座+更换伸缩缝+混凝土结构常规病害的修复+施工横桥向主桥向旋喷桩。

（1）旋喷桩设置方案

为隔绝维修过程中地表土卸载对礼东新旧桥的影响，本次加固考虑在 8#墩周边打入一定深度的旋喷桩，消除深层土体流动对新旧桥桩基的扰动。选择φ800@1300mm 的高压旋喷桩，旋喷桩的设置以 8#墩为基准，顺桥向沿着礼东新旧桥中线设置，旋喷桩打穿淤泥层，打入深度设计为 35m。

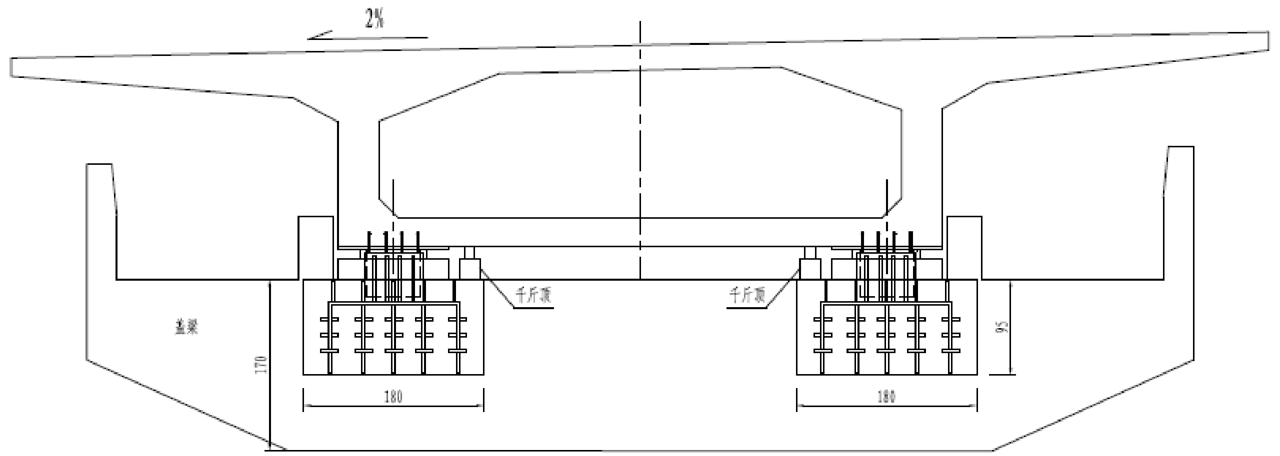
旋喷桩设置成 U 型，由φ1000@1300mm 钻孔桩间嵌插φ800@1300mm 的高压旋喷桩。施工前，先施打顺桥向旋喷桩，起隔绝土体流动，防止后续施工对新桥桩基的不利影响；全部施工完后，再施打主桥侧横桥向旋喷桩，防止后续深层土体流动导致桩基纵向偏位。

（2）增设支撑纠偏装置

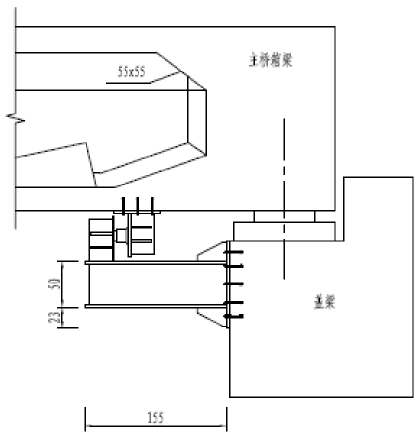
目前 8#墩柱存在较大纵向倾斜，在加固前需对桥墩进行纠偏处治，纠偏过程中必然涉及到梁体顶升，因为 8#墩柱病害处治涉及到地表卸载，以搭设支架的方式顶升梁体会面临难以设置地面着力点的问题，本次拟将梁体顶升和墩柱纠偏设置在同一个支撑纠偏装置上。具体为：

制作两个牛腿平台，以后锚固螺栓的形式将其固定在主桥侧盖梁上，牛腿平台及主桥箱梁位置同时设置后堵板，待地表卸载后，两堵板间用千斤顶进行顶拉使得桥墩回正，此时，桥墩纠偏的力传递至刚构桥主梁上。

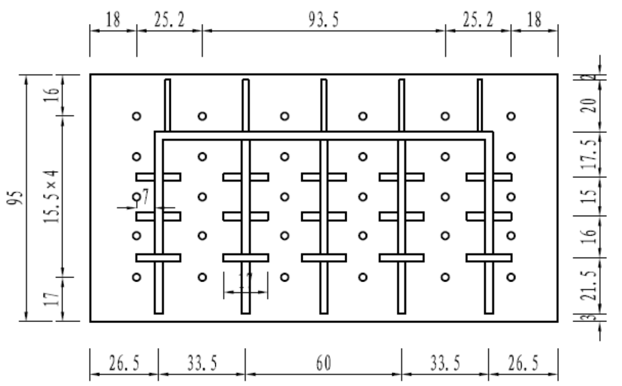
实施流程为：a、安装钢牛腿；b、竖向千斤顶顶升；c、拆除过渡墩支座；d、换装临时支座； e、纵向纠偏作业。如下图所示。



（a）支撑纠偏装置平面图



（b）支撑纠偏装置侧面图



（c）支撑纠偏装置平面锚栓布置

图 7-1 支撑纠偏装置设计图

（3）地表卸载

礼东大桥 8#墩周边地表存在不平衡荷载，靠近江侧（9 号墩方向）有填方路基，目前作为施工便道使用，日常有大型施工车辆通行和停靠，靠岸侧为河沟，两侧高差估计有 3.5m 左右（含 1m 水深），由此造成的不平衡荷载十分可观。

图 7-2 礼东大桥 8#墩北侧填方路基

在对礼东大桥 8#墩偏位处治时，对该段填方路基道路进行改造，降低桥墩地表不平衡荷载，使水平变位得到一定恢复。暂按长度 100 米，路基降低 2.5 米考虑初步工程量。处理后恢复硬化路面。卸载过程开挖机械应尽可能远离墩柱，并避免碰撞墩柱。土方应及时运离场地，避免对其余桥墩产生不利影响。同时卸载过程中应同步监测桥墩、梁体的水平位移，如发现有数据异常立即采取应急措施。

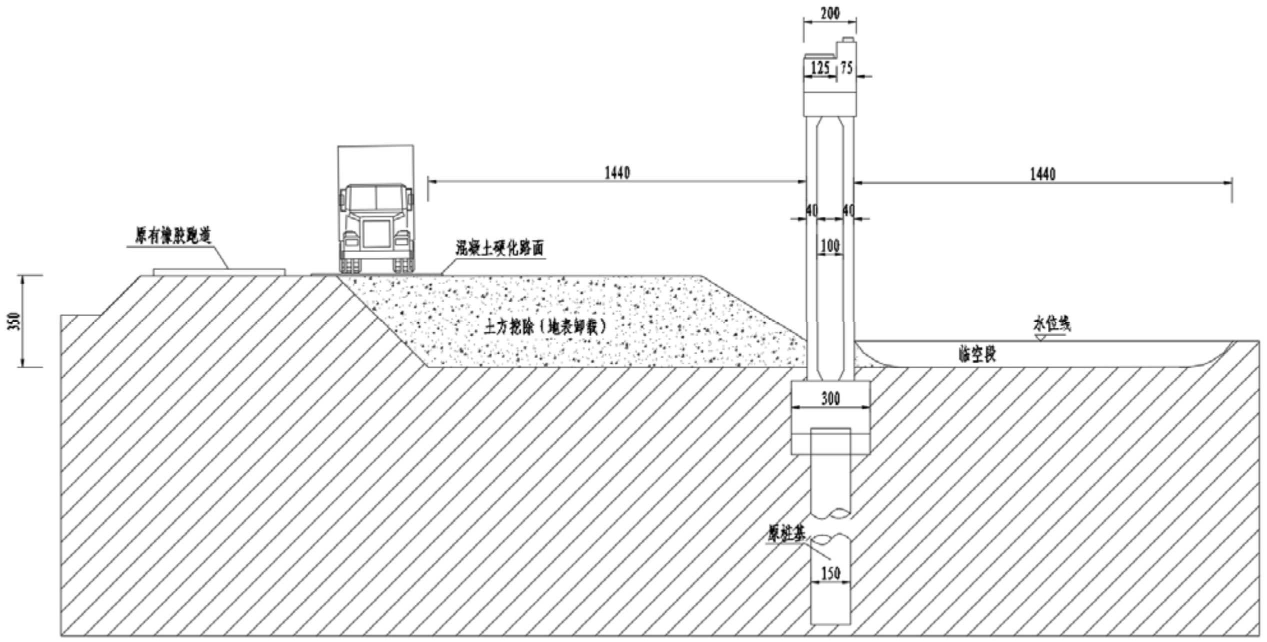


图 7-3 地表卸载示意图

（4）增设桩基及承台（扩大承台尺寸、加双排桩方案）

该加固方案采用 C40 水下混凝土增设桩基和承台，将原 8#墩的单排桩基改为多排群桩基础，可以有效提高下部结构抗水平变形的能力和桩基的竖向承载力。增设桩基采用与原桩基相同构造，为端承桩，桩端与原桩基保持一致，桩间距按照 2 倍桩径考虑。承台部分根据原承台结构布置情况进行尺寸扩大，与新桩基相连。下图为加桩示意：

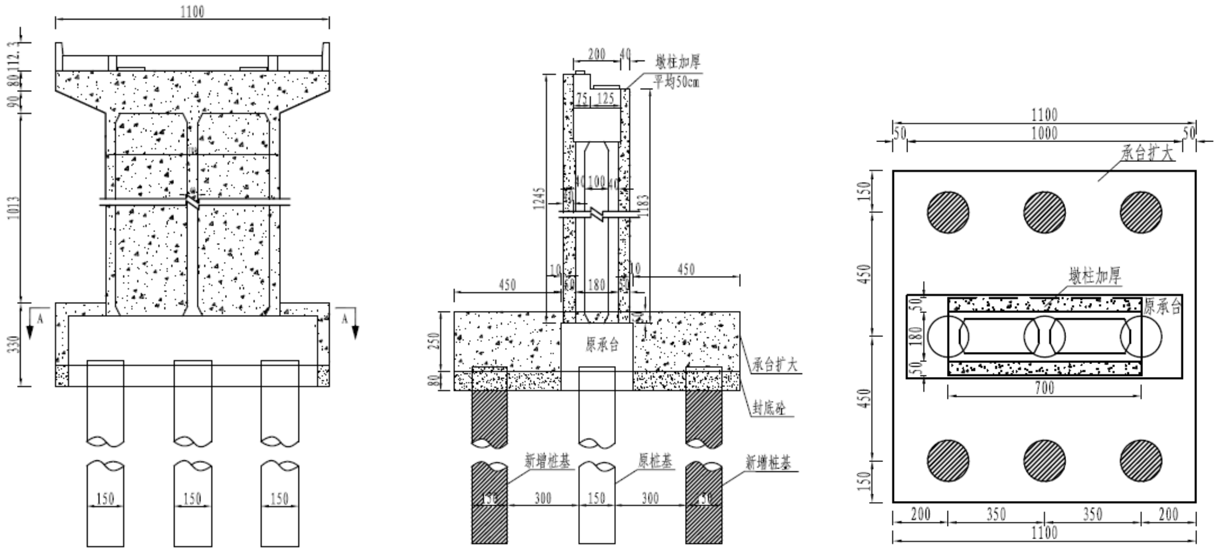


图 7-4 扩大承台尺寸、双排桩加固方案

（5）增大墩身截面

总体思路为对偏位墩柱进行复位，防止偏位再次发生，并调整墩柱截面保证加固后墩柱尽可能处在较佳的受力状态

采用 C40 钢筋混凝土混凝土对墩身进行截面增大加固。增大墩身截面的目的是为了消除构件偏心，保证其加固后的墩身的垂直度符合规范要求，增加抗推水平刚度，故需根据实际偏位情况对墩身主桥侧采用增厚截面进行加固（宜根据地表偏载卸除后的墩身偏位情况实时调整加固方案），使其产生附加弯矩以抵抗墩身倾斜，加固厚度按均厚 40cm 考虑。加固墩身的混凝土与原结构混凝土采用植筋连接，植筋深度根据混凝土强度及结构胶等级综合确定。

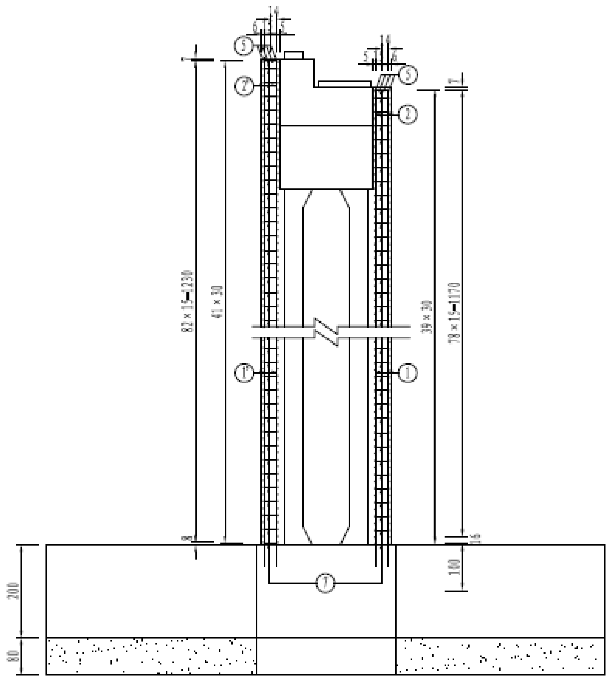


图 7-5 墩身及盖梁截面增大

（6）8#墩顶支座的更换

对左右幅 8#墩顶支座进行整排更换，引桥支座更换过程中在千斤顶与梁底的接触面间放置 8 个 300×550×47 型四氟滑板，引桥支座更换过程中放置 4 个 GPZ4000 系列盆式橡胶支座，降低摩擦力。

图 7-6 支座更换示意图

（7）更换 8#墩顶伸缩缝

为消除 8#墩桥梁偏位对伸缩缝造成的潜在病害，完全恢复伸缩缝的服役功能，对原有的伸缩缝进行更换处理。因地制宜确定旧桥梁伸缩缝的拆除方案、施工安装方案、预留槽口处理方案以及安全保通方案。

图 7-7 伸缩缝更换示意图

8 模型计算分析

8.1 建立模型

根据设计资料，模拟礼东大桥周边堆载、下部施工便道车辆荷载以及基坑开挖影响，施工工况模拟计算采用 MIDAS GTS NX 数值模拟软件。为充分模拟结构的三维空间效应说明如下：

（1）礼东大桥下部结构

根据实际工程情况沿纵向取 136m，沿横向取 60m，深度取地面以下 70m，受影响的既有结构均包含在范围之内。约束情况均为前后、左右方向受水平约束，垂直方向底面受竖向约束，顶面为自由表面。

三维数值计算模型见下图。

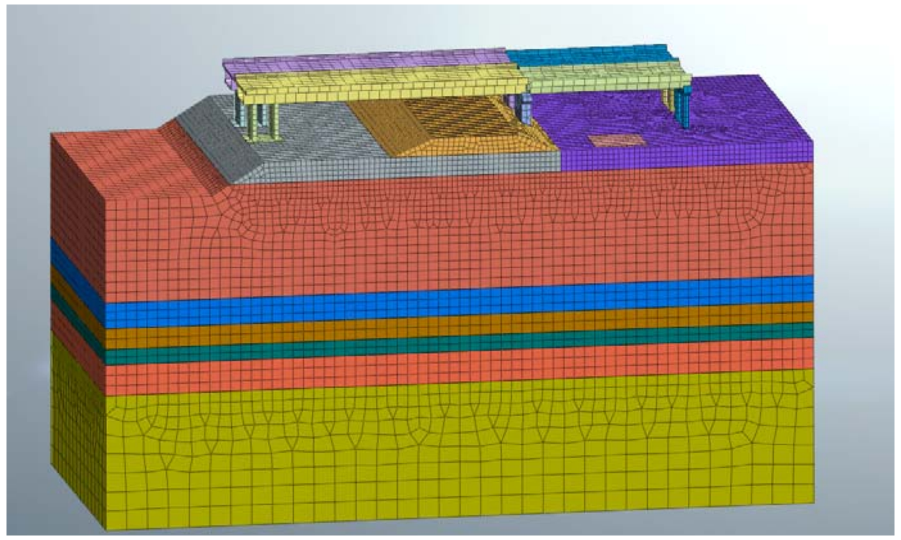


图 8-1 三维模型网格平面图

（2）基本简化和假定

结合本工程项目的实际情况，本次数值模拟计算做了如下几项基本的简化和假定：

a.地层简化：为最大程度地还原场地地层分布情况，使模型中的地层划分具有代表性，本次地层简化前，细致研究分析了《礼东大桥地质纵剖面图》，根据施工的影响范围，通过对比各项目地质条件，着重了解拟建场地及其影响范围内的地层分布情况。选取典型工程地质剖面，所在地层简化后从上至下分别：黏土 3.5m(上部堆土)、淤泥质土与粉细砂互层 4m、淤泥 22m、细沙 5m、亚黏土 4m、全风化粉细砂质泥岩 3m、中风化粉细砂质泥岩 6m、微风化粉细砂质泥岩（至模型底）。

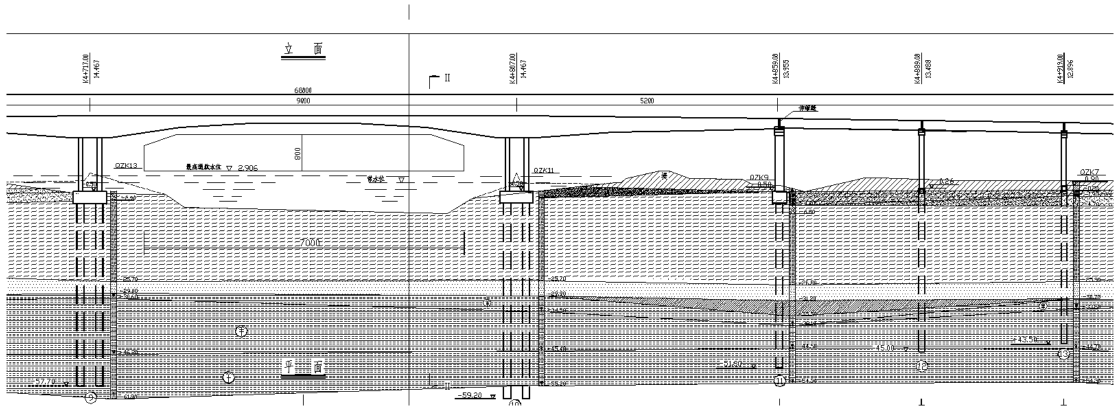


图 8-2 地质断面图

b.施工过程简化：本次模拟对施工过程进行简化，在不损失计算精度的前提下，考虑重要关键节点，省略次要施工环节。基坑分步开挖及支护、建筑物施工工序简化，每一工序一次完成。

c.施工过程假定：本次模拟计算不考虑特殊情况，假定施工过程均按照施工方案实施。

d.既有结构完整假定：假设隧道主体结构完好，并作为数值模拟的前提条件。

（3）计算参数

根据本工程岩土工程勘察报告，数值计算模型中所采用的土层参数如表 8-1 所示，地层计算采用修正摩尔库伦模型。

表 8-1 各岩土层力学指标汇总表

材料	重度（kN/m^3）	三轴实验割线刚度（MPa）	主压密加在试验的割线刚度（MPa）	卸载弹性模量（MPa）	黏聚力（kPa）	剪切破坏时的摩擦角（。）
黏土	16	20	20	60	29	15.8
淤泥质土与粉细砂互层	15	2	2	6	11.8	5.8
淤泥	14.8	1.5	1.5	4.5	11.7	5.3
细沙	19	30	30	90	0	32
亚黏土	18.5	40	40	120	43	26.5
全风化粉细砂质泥岩	19.1	50	50	150	31	34.8
中风化粉细砂质泥岩	19.1	100	100	300	31	34.8
微风化粉细砂质泥岩	19.1	200	200	600	31	34.8

8.2 分析思路

本项目墩身偏位属于非对称堆载作用下被动桩长期承载的机制特性。

对于礼东大桥桥位处深厚的淤泥覆盖层，软土强度低，压缩性高，在堆载影响下，极易产生显著的土体流动现象，且存在时间效应，作用在桩身上的荷载既受堆载大小的影响，也受土体长期变形的影响。

分析思路为：首先基于 Boussinesq 附加应力改进解及局部塑性理论，计算矩形地表分布荷载形式下水平附加应力及桩身土压力，同时考虑土拱效应的排桩计算剩余水平推力，结合非线性 p-y 曲线模型，分析大变形的桩身响应。

8.3 分析计算过程

8.3.1 名词定义及桩土相互作用

（1）主动荷载和被动荷载

针对桩顶直接作用水平荷载情形，该外荷载一般定义为主动荷载。相对于主动荷载，水平向被动荷载则是外部因素影响土体水平运动而间接作用于桩身上，如基坑工程中的围护桩、边坡的抗滑桩、隔离桩、桥台桩基等桩基础均由于桩周土体发生侧向位移而作用在桩身的荷

载，该荷载与上述主动荷载存在差异，一般被称为被动荷载。以上两种不利的土体竖向位移和水平位移常出现在临近桩周堆载和开挖情形，且在软土地区该情形尤为突出

（2）主动桩和被动桩

针对非对称堆载(或侧向堆载)下被动桩的研究，最早可以追溯到 20 世纪 60 年代。Heyman 等基于路堤堆载试验，研究了堆载对既有基桩变形及弯矩的影响。1977 年，DeBeer 针对土体运动下桩基承载问题，首次明确地提出了被动桩的概念。1980 年德国的汉茨等发表了“桥台抗弯桩的计算”一文，后经姚玲森翻译，文中认为主动桩是通过弹性嵌固将结构引起的水平荷载传至土壤，而被动桩是由于周围土体位移而受到荷载。1981 年伊藤富雄等针对防滑桩设计问题时，认为抗滑桩属于典型的被动桩。此外，常见的被动桩有临近桥台、堆载、堤坝、深基坑开挖、隧道开挖等影响的桩基。

两种受荷桩的示意图如下图所示

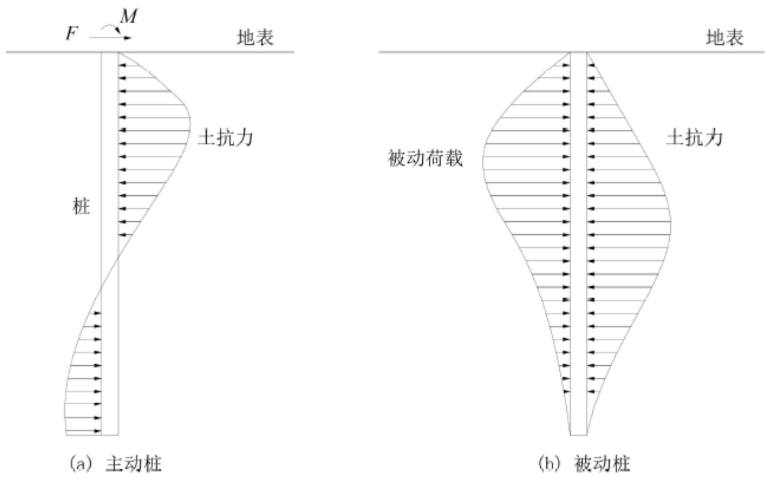
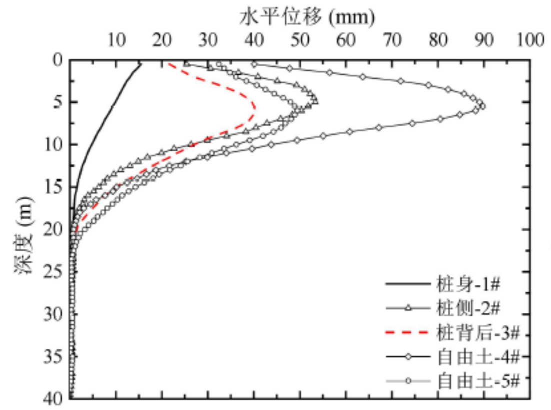


图 8-3　　主、被动桩受荷示意图

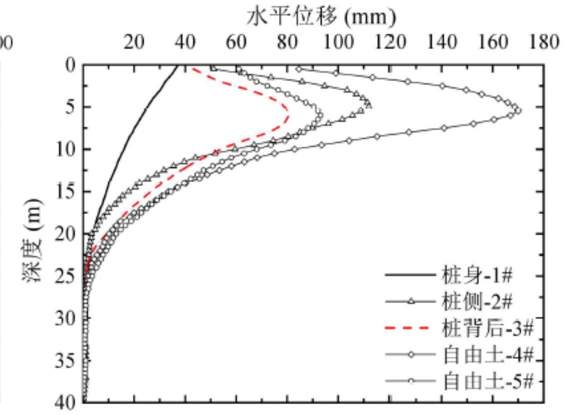
（3）类似项目资料调研

A、桩和土变形对比结果

根据某类似项目中桩和土的测斜变形监测结果，统计对比堆载瞬时(2d)和堆载稳定(319d)时不同测斜管实测变形随深度变化情况，如下图所示：



（c）堆载后 2d 测斜管变形图



（d）堆载后 319d 测斜管变形图

从上述实测结果可以看出，堆载瞬时(2d) 和堆载后稳定阶段(319d) 土体变形规律相似，均随深度先增大后减小变化，而土体变形最大位置与堆载距离有关，堆载距离越近时，最大变形位置略往上移动。在堆载瞬时阶段，堆载周围 3m 左右土体侧移的影响深度可达到 22m，而稳定阶段，土体变形深度可达到 25m 左右。从 1#和 2#测斜数据可以看出，堆载瞬时阶段桩-土水平相对位移最大为 37.8mm，而堆载稳定阶段桩-土水平相对位移最大达到 74.8mm。，

B、堆载后不同时间阶段前后侧土压力随深度变化规律

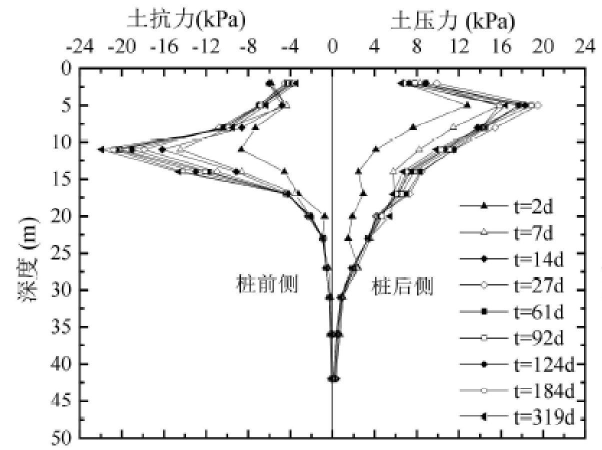


图 4-39 被动桩前后侧土压力随深度变化曲线

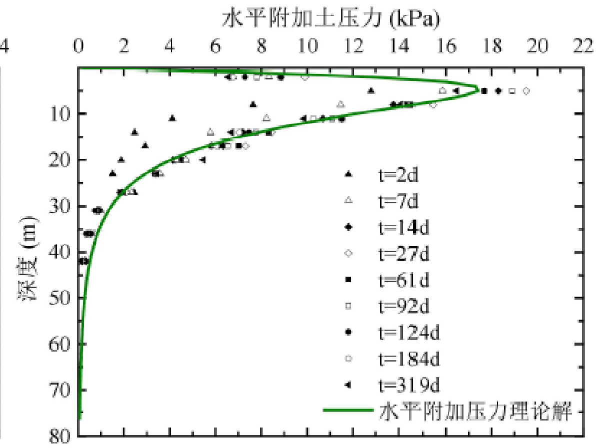


图 4-40 被动桩后侧水平附加土压力随深度变化曲线

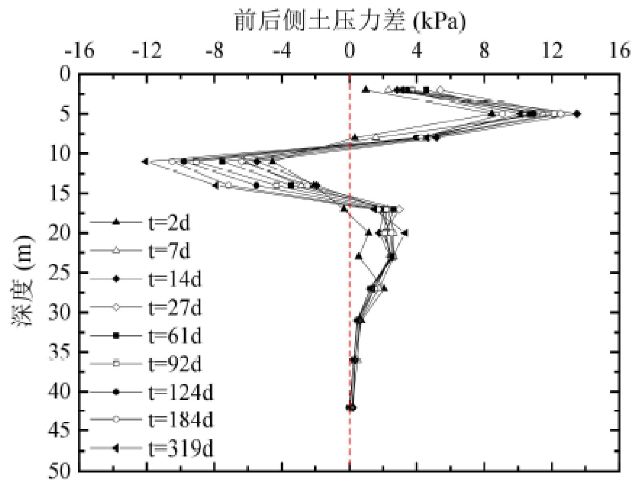


图 4-41 被动桩前后侧土压力差随深度变化曲线

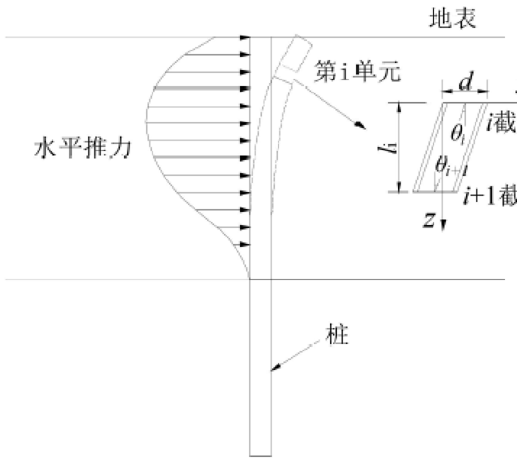


图 4-42 桩单元水平变形转角示意图

8.3.2 堆载作用下水平附加应力计算

非对称堆载作用下会引起桩周土发生水平位移，土体水平侧移挤压临近桩基产生附加水平应力，即水平推力或被动荷载，该荷载与主动受荷桩存在显著的差异。为了应用土压力法分析被动桩承载响应，水平附加应力的确定极为关键。不同学者对被动桩桩侧水平附加应力进行了分析，王国粹、竺明星等学者均基于 Boussinesq 弹性理论解分别推导了各种常规荷载分布形式的堆载作用下地基土中水平附加应力的理论计算公式。以上方法主要是基于弹性理论，而土体一般为非弹性体，在很小土体位移下就容易出现塑性变形，塑性变形后水平附加应力并不会持续增加。

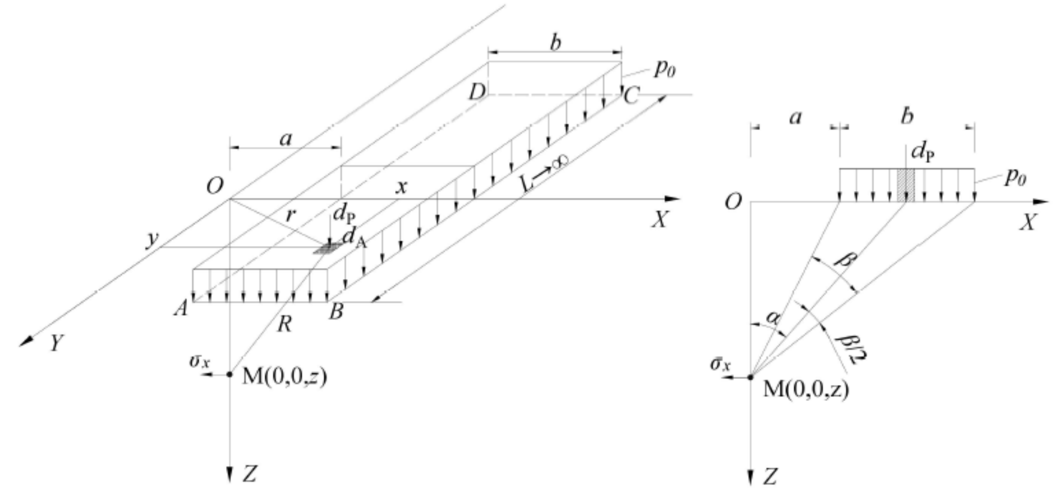
为了确定弹性状态下桩侧水平附加压力，以下基于弹性解，对地表条形堆载下桩侧水平附加应力进行求解，如下所述：

对于地表条形堆载作用下(如下图)，Jarqio 分析了挡土墙侧压力，通过堆载试验，考虑了 2 倍效应，提出了以下计算公式计算挡墙侧压力：

$$\sigma_x = \frac{2p_0}{\pi}(\beta - \sin\beta\cos 2\alpha)$$

$$\begin{cases} \beta = \arctan(\dfrac{a+b}{z}) - \arctan(\dfrac{a}{z}) \\ \alpha = \dfrac{1}{2}\arctan(\dfrac{a+b}{z}) + \dfrac{1}{2}\arctan(\dfrac{a}{z}) \end{cases}$$

式中，β 为计算点与条形荷载两侧边线之间的夹角；a 为计算点竖线与β角的角平分线之间的夹角；b 为条形荷载宽度。



(a) 条形荷载下三维示意图 (b) 剖面图

图 8-4 条形分布荷载下水平附加应力图

应用上述无限堆载条件下水平附加应力计算公式，礼东大桥 8#墩位置桥下条形路基（8#墩处填土）宽度为 10m，路基距离临近桩基为 1.5m，桩长为 80m，桩径为 1.5m，填筑高度为 4m（相对于临空段底部），填土重度为 20kN/m3，则不同距离条件下的桩侧水平附加应力计算结果如下表、下图所示：

表 8-2 堆载引起的不同深度处的桩侧水平应力计算表

Z（深度 m）	a（m）	b（m）	p0（kN/m2）	α	β	σ_x（kPa）
0.5	1.5	10	80	1.3881956	0.2782997	27.243212
0.8	1.5	10	80	1.291091	0.420504	39.038611
1	1.5	10	80	1.2334259	0.5012643	44.641033
1.2	1.5	10	80	1.1814401	0.5707694	48.657031
1.5	1.5	10	80	1.113246	0.6556956	52.328777
2.5	1.5	10	80	0.9485776	0.8163161	53.473125
3.5	1.5	10	80	0.8401236	0.8704637	48.587539
4.5	1.5	10	80	0.7597796	0.8760581	42.61474
5.5	1.5	10	80	0.6954714	0.8584387	36.82593
6.5	1.5	10	80	0.6415719	0.8295462	31.59156
6.8	1.5	10	80	0.6269533	0.8196839	30.146963
7.1	1.5	10	80	0.6129466	0.8094812	28.76163
7.5	1.5	10	80	0.595145	0.7954988	27.006046
8.5	1.5	10	80	0.5544802	0.7596159	23.059646

Z（深度 m）	a（m）	b（m）	p0（kN/m2）	α	β	σ_x（kPa）
9.5	1.5	10	80	0.5184759	0.723748	19.699675
10.5	1.5	10	80	0.4863592	0.6889244	16.857488
11.5	1.5	10	80	0.4575504	0.6556956	14.461801
12.5	1.5	10	80	0.4315923	0.6243267	12.445331
13.5	1.5	10	80	0.4081127	0.594911	10.747801
14.5	1.5	10	80	0.3868016	0.5674399	9.3169035
15.5	1.5	10	80	0.3673968	0.541846	8.108169
16.5	1.5	10	80	0.3496746	0.5180294	7.0842949
17.5	1.5	10	80	0.3334427	0.4958749	6.2142575
18.5	1.5	10	80	0.3185352	0.4752621	5.4723898
19.5	1.5	10	80	0.3048079	0.456072	4.8375163
20.5	1.5	10	80	0.2921356	0.4381901	4.2921855
21.5	1.5	10	80	0.2804091	0.421509	3.8220115
22.5	1.5	10	80	0.2695325	0.4059288	3.4151218
23.5	1.5	10	80	0.2594221	0.3913575	3.0616991
24.5	1.5	10	80	0.2500037	0.3777111	2.7536068
25.5	1.5	10	80	0.2412124	0.3649131	2.4840824
26.5	1.5	10	80	0.2329903	0.3528938	2.2474885
27.5	1.5	10	80	0.2252864	0.34159	2.0391107
28.5	1.5	10	80	0.2180553	0.3309445	1.8549937
29.5	1.5	10	80	0.2112563	0.3209052	1.6918078
30.5	1.5	10	80	0.2048534	0.3114253	1.5467404
31.5	1.5	10	80	0.198814	0.3024618	1.4174081
32.5	1.5	10	80	0.1931091	0.293976	1.3017842
33.5	1.5	10	80	0.1877126	0.2859327	1.1981397

注：由于堆载引起的深层桩侧水平附加应力较小，故只算到 33.5m，往下为全风化岩，可忽略桩侧水平附加应力。

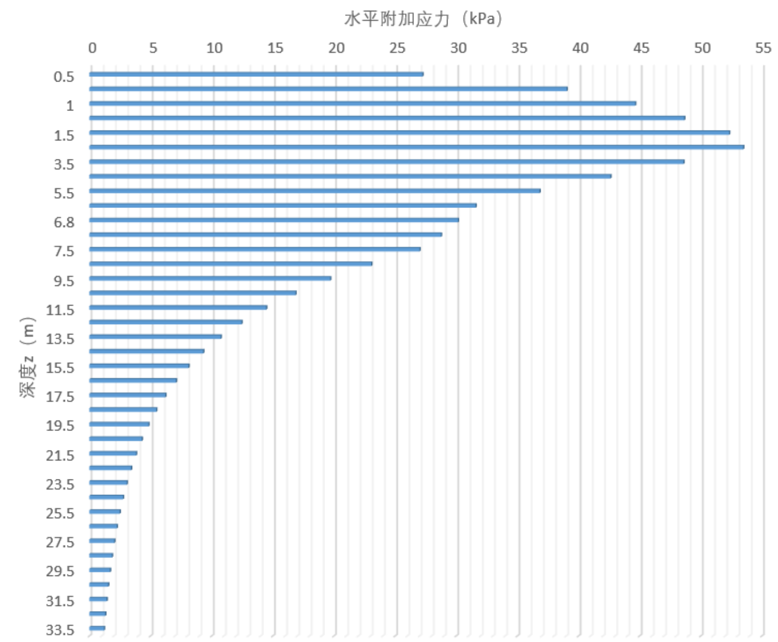


图 8-5　条形分布荷载下水平附加应力计算结果

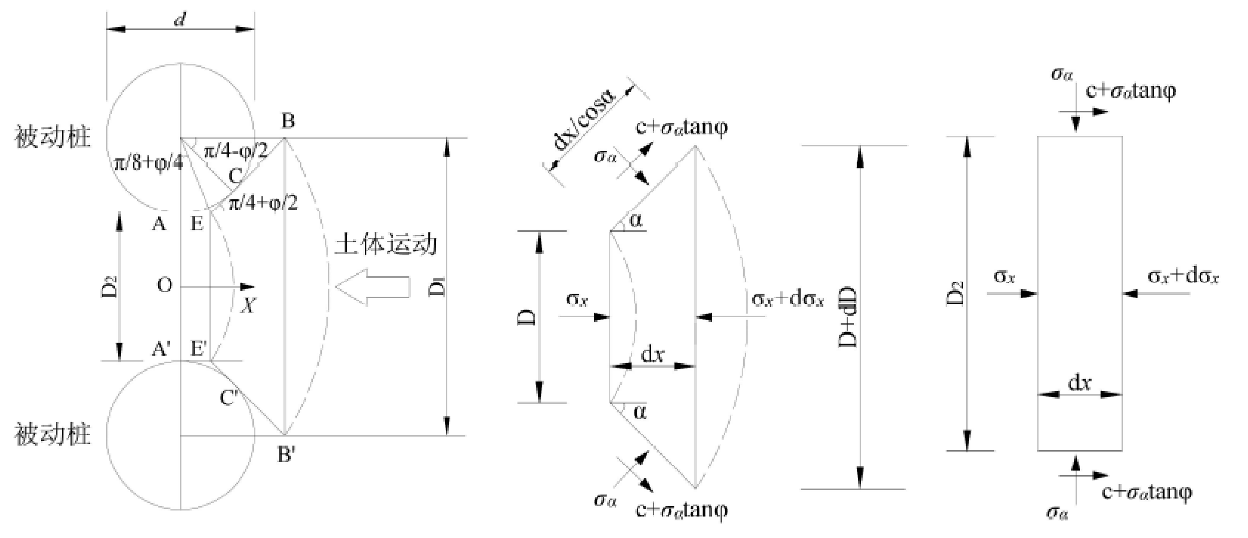
从上述计算结果可以看出，侧边矩形堆载下，桩侧水平附加应力随深度先增大后减小，距离堆载越近，桩侧水平附加应力越大。而且桩身最大水平附加应力位置随着堆载距离的增加而往下移动。

8.3.3 土体侧向位移作用下桩-土极限抗力计算

在进行被动桩的受力分析中，合理地计算作用在桩上的土压力最为关键。根据桩-土之间的相对位移，一般桩侧土压力的计算主要为静止土压力、主动土压力和被动土压力。但对于临近堆载下的被动桩如边坡上的桩基、堆载填土附近的桩基等，其桩侧土压力却较难确定，成为被动桩研究中最关键的问题。

（1）Ito 塑性变形理论

针对被动排桩问题，Ito 等根据局部塑性变形理论建立了土拱效应计算模型(如下图)，提出了移动土体产生的极限侧压力计算公式，从而用来研究排桩间距、桩顶约束条件条件等因素对边坡抗滑桩稳定性的影响。



（a）土拱受力图　（b）EBB'E'受力微单元　（c）AEE'A'受力微单元

图 8-6　　Ito 理论示意图

如上图所示，Itoetal.为了获得桩身被动极限荷载，提出了如下假设，其中，D_1 为桩间距，D_2 为桩间净距，d 为桩径，φ 为土体内摩擦角。

(1)当土体水平位移时，沿 AEB 和 AE'B'发生两个滑动面，EB 和 E'B'与 x 轴的交角等于 a= π / 4+ ϕ / 2；

(2)土层只在桩周 AEBBE'A 范围中产生塑性，服从 Mulu-coulonb 屈服准则，此后，土层可用 q 和 c 的塑性体表示：

(3)在深度方向上，土层处于平面应变条件；

(4)桩为刚性；

(5)假设 AA'上面上作用力为主动土压力；

(6)在考虑塑性区 AEBB'E'A'的应力分量时作用在 AEB(A'E'B')面上的剪应力忽略不计。

然后根据塑性区 AEBB'E'A'不同微单元进行受力平衡分析，如梯形 EBB'E'微单元和矩形 AEE'A'微单元受力如图 4-9 (b)和(c)所示。根据力的平衡条件，认为作用于平面 BB'和平面 AA'上的侧向力之差就是 x 轴方向上单位厚度土层作用在桩上的侧向力 p(z)。

（2）基于 Boussinesq 附加应力塑性变形理论

由于 Ito 塑性理论是从边坡抗滑桩加固机理为出发点，理想的极限状态是滑动面以上土体产生显著的滑动破坏，坡体下部的土体脱离抗滑桩，即抗滑桩前沿土体表现为主动土压力极限状态，而桩后为被动极限状态，也就是说不管边坡是否稳定，均假设按照极限状态进行设计。而假设 AA'面为临界土压力状态(如主动土压力状态或静止土压力状态)仍存在一定的局限性，忽略了临近堆载大小影响程度，说明 Ito 塑性变形理论是一种理想极限状态特例。而实际受堆载影响下，桩身随深度并不是完全处于极限状态。很多学者也意识到这个问题，竺明星等认为堆载作用下产生水平推力作用时被动桩会隔离部分或全部的外部力，使得 AA'面上的应力并非为 Ka 状态。因此，竺明星等基于 Boussinesq 水平附加应力计算方法，通过改变 Ito 局部塑性变形理论的初始条件，从 BB'向 AA'面进行推导，获得被动桩桩身极限荷载。

为了获得考虑堆载附加应力状态的桩身被动荷载，假设桩周土局部塑性区与 Ito 塑性区类似，主要为 AEBB'E'A 范围，根据前述不同堆载类型可计算得到 BB'边的水平附加应力，当堆载为条形均布荷载时，可认为同一深度 z 处的 BB'边的任意位置水平附加应力相同。假设任意深度 z 处 BB'边的单位面积水平附加应力为 $\sigma_{s,B}$，而 BB'边的单位面积总侧压力为 $\sigma_{x,B}$，其中总侧压力为 K0 或 Ka 状态土压力加上水平附加应力。塑性区计算模型受力示意图如下图所示：

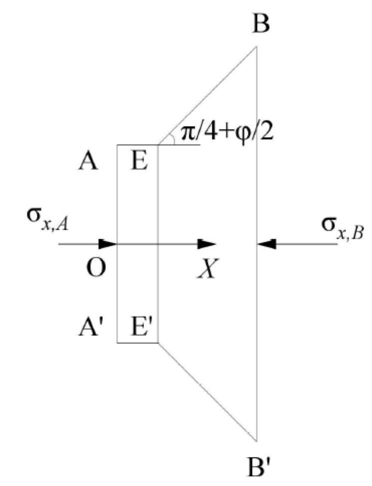


图 8-7　　水平应力传递示意图

当考虑 Ka 状态时，BB'边的单位面积总侧压力为：

$$\sigma_{x,B} = (\gamma z \cdot N_\varphi^{-1} - 2c \cdot N_\varphi^{-1/2}) + \sigma_{s,B} \qquad (4.32)$$

式中，$N_\varphi = \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$，$\sigma_{s,B}$ 为水平附加应力。

当考虑 K_0 状态时，BB'边的单位面积总侧压力为：

$$\sigma_{x,B} = K_0 \gamma z + \sigma_{s,B} \qquad (4.33)$$

以 BB'边为边界条件，D=D_1，结合公式（4.14）可求得，

$$(C_1D_1)^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}=\sigma_{x,B}\cdot(N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1)+c\cdot\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)\tag{4.34}$$

则对于梯形 EBB'E'区域，任意 x 坐标位置处，水平应力可表达为：

$$\begin{aligned}\sigma_x&=\frac{(C_1D_1)^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot(\frac{D}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-c\cdot\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\\&=(\frac{D}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\end{aligned}\tag{4.35}$$

式中，$D=D_2+2\left[x-\frac{D_1-D_2}{2}\tan(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4})\right]\tan(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$ 为任意 x 处梯形底边长度。

对于 EE'边，可令上式 D=D_2，即 $x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)$，则 EE'边水平应力为：

$$\sigma_{x,E}\Big|_{x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)}=(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\tag{4.36}$$

对于矩形 AEE'A'区域，令 $x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)$，则将上式结合公式（4.15）可求得：

$$C_2=\frac{(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot N_\varphi\tan\varphi\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot N_\varphi\tan\varphi\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}+c\cdot\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{\exp(\frac{D_1-D_2}{D_2}N_\varphi\tan\varphi\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right))}\tag{4.37}$$

则对于矩形 AEE'A'区域，任意 x 坐标位置处，水平应力可表达为：

$$\begin{aligned}\sigma_x=&\left\{(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}+c\cdot\frac{\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\right\}\\&\times\exp(\frac{2N_\varphi\tan\varphi}{D_2}x-\frac{D_1-D_2}{D_2}N_\varphi\tan\varphi\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right))-\frac{c\cdot\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\end{aligned}\tag{4.38}$$

对于 AA'边，x=0，则 AA'边水平应力为：

$$\begin{aligned}\sigma_{x,A}=&\left\{(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}+c\cdot\frac{\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\right\}\\&\times\exp(-\frac{D_1-D_2}{D_2}N_\varphi\tan\varphi\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right))-\frac{c\cdot\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\end{aligned}\tag{4.39}$$

为了获得桩身被动荷载，需首先确定临界土压力状态的分界面（如 K_0 或 K_a 状态面），假设 EE'边的 x 坐标为 x_1，BB'边的 x 坐标为 x_2，临界土压力状态的分界面为 x_0，则有，

$$\begin{cases}x_1=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\pi/8+\varphi/4\right)\\x_2=\frac{D_1-D_2}{2}\left[\tan\left(\pi/8+\varphi/4\right)+\tan\left(\pi/4-\varphi/2\right)\right]\end{cases}\tag{4.40}$$

1）当考虑 K_a 状态临界面时，

① 若 $\sigma_{x,E}\Big|_{x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)}<\sigma_a$ 时，则 x_1< x_0< x_2，此时 $D=D_2+2\left[x_0-\frac{D_1-D_2}{2}\tan(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4})\right]\tan(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$。则有，

$$\sigma_{x_0}=\sigma_a\tag{4.41}$$

其中，$\sigma_a=\gamma z\cdot N_\varphi^{-1}-2c\cdot N_\varphi^{-1/2}$ 为主动土压力。

桩身被动荷载可表达为：

$$q_u=\sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D=(D_1-D)(\gamma z\cdot N_\varphi^{-1}-2c\cdot N_\varphi^{-1/2})+D_1\cdot\sigma_{s,B}\tag{4.42}$$

②若 $\sigma_{x,A}\Big|_{x=0}<\sigma_a<\sigma_{x,E}\Big|_{x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)}$ 时，则 0< x_0< x_1，桩身被动荷载可按照下式进行计算，

$$q_u=\sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D_2=(D_1-D_2)(\gamma z\cdot N_\varphi^{-1}-2c\cdot N_\varphi^{-1/2})+D_1\cdot\sigma_{s,B}\tag{4.43}$$

③若 $\sigma_a<\sigma_{x,A}\Big|_{x=0}$ 时，则 x_0=0，桩身被动荷载可按照下式进行计算，

$$\begin{aligned}q_u=&\sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D_2=D_1(\gamma z\cdot N_\varphi^{-1}-2c\cdot N_\varphi^{-1/2})+D_1\cdot\sigma_{s,B}\\&-D_2\left\{(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}+c\cdot\frac{\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\right\}\\&\times\exp(-\frac{D_1-D_2}{D_2}N_\varphi\tan\varphi\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right))-\frac{c\cdot D_2\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\end{aligned}\tag{4.44}$$

2）当考虑 K_0 状态临界面时，

① 若 $\sigma_{x,E}\Big|_{x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)}<\sigma_0$ 时，则 x_1< x_0< x_2，此时 $D=D_2+2\left[x_0-\frac{D_1-D_2}{2}\tan(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4})\right]\tan(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$。则有，

$$\sigma_{x_0}=\sigma_0\tag{4.45}$$

其中，$\sigma_0=K_0\gamma z$ 为静止土压力，K_0 为静止土压力系数，取为 1-sinφ。

桩身被动荷载可表达为：

$$q_u=\sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D=(D_1-D)\cdot K_0\gamma z+D_1\cdot\sigma_{s,B}\tag{4.46}$$

②若 $\sigma_{x,A}\Big|_{x=0}<\sigma_0<\sigma_{x,E}\Big|_{x=\frac{D_1-D_2}{2}\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right)}$ 时，则 0< x_0< x_1，桩身被动荷载可按照下式进行计算，

$$q_u=\sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D_2=(D_1-D_2)\cdot K_0\gamma z+D_1\cdot\sigma_{s,B}\tag{4.47}$$

③若 $\sigma_0<\sigma_{x,A}\Big|_{x=0}$ 时，则 x_0=0，桩身被动荷载可按照下式进行计算，

$$
\begin{aligned}
q_u &= \sigma_{x,B}\cdot D_1-\sigma_{x_0}\cdot D_2 = D_1\cdot K_0\gamma z+D_1\cdot\sigma_{s,B}\\
&-D_2\left\{(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}\cdot\sigma_{x,B}+c\cdot[(\frac{D_2}{D_1})^{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}-1]\cdot\frac{\left(2\tan\varphi+2N_\varphi^{1/2}+N_\varphi^{-1/2}\right)}{N_\varphi^{1/2}\tan\varphi+N_\varphi-1}+c\cdot\frac{\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}\right\}\\
&\times\exp(-\frac{D_1-D_2}{D_2}N_\varphi\tan\varphi\tan\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\varphi}{4}\right))-\frac{c\cdot D_2\left(1+2N_\varphi^{1/2}\tan\varphi\right)}{N_\varphi\tan\varphi}
\end{aligned}
\qquad (4.48)
$$

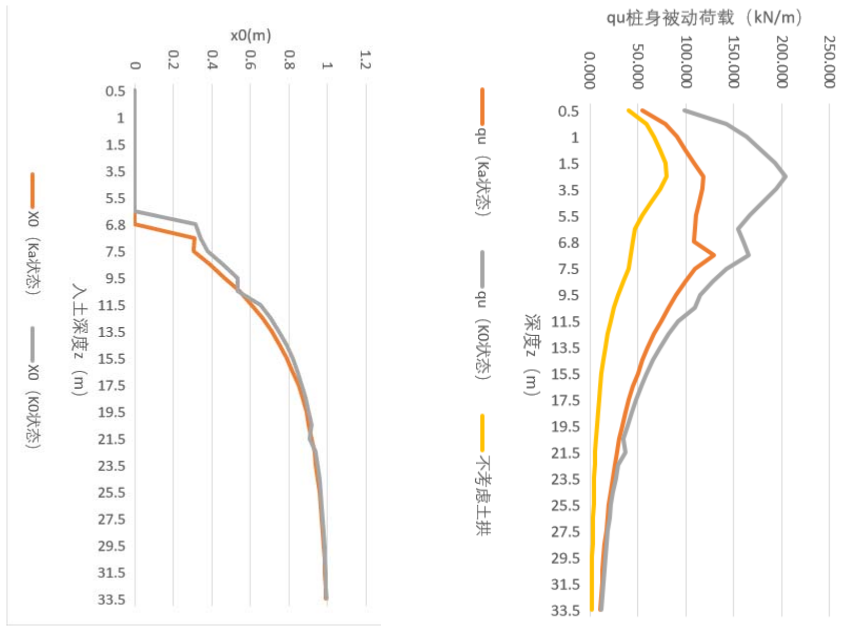
应用上述无限堆载条件下水平附加应力计算公式，礼东大桥条形路基宽度为 10m，路基距离临近桩基为 1.5m，桩长为 49m，桩径为 1.5m，桩间距 D1=3.5m，填筑高度为 5m，根据地勘资料，填士重度为 20kN/m3，土体粘聚力和内摩擦角分别为 c=12kPa，φ=5°，土体重度（取浮重度）为 4.98kN/m3，

不考虑土拱效应沿深度方向弹性状态下桩侧水平附加荷载，可根据上文计算的条形分布荷载下桩侧的水平附加应力和桩径的乘积确定。

则单位厚度桩身被动荷载随深度变化如下表、下图所示：

表 8-3　**临界土压力分界面 x0 值及桩身被动荷载计算汇总表**

z(深度 m)	不考虑土拱效应	考虑土拱效应 Ka 状态临界面		考虑土拱效应 K0 状态临界面	
	qu（kN/m）	x0（m）	qu（kN/m）	x0（m）	qu（kN/m）
0.5	40.865	0	54.624	0	98.761
0.8	58.558	0	78.815	0	142.090
1	66.962	0	90.751	0	163.063
1.2	72.986	0	99.746	0	178.482
1.5	78.493	0	108.879	0	193.379
2.5	80.210	0	118.751	0	204.203
3.5	72.881	0	117.446	0	193.923
4.5	63.922	0	114.126	0	179.837
5.5	55.239	0	111.146	0	166.395
6.5	47.387	0	109.194	0	154.894
6.8	45.220	0	108.842	0.317	160.439
7.1	43.142	0.313	129.116	0.343	165.178
7.5	40.509	0.304	109.137	0.377	142.288
8.5	34.589	0.391	99.273	0.458	128.005
9.5	29.550	0.469	90.228	0.532	114.856
10.5	25.286	0.542	81.792	0.532	109.693
11.5	21.693	0.606	74.102	0.655	92.073
12.5	18.668	0.666	66.872	0.706	82.370
13.5	16.122	0.712	60.704	0.749	73.703
14.5	13.975	0.753	55.020	0.786	66.095
15.5	12.162	0.790	49.789	0.818	59.241
16.5	10.626	0.822	45.006	0.845	53.298
17.5	9.321	0.849	40.688	0.868	48.003
18.5	8.209	0.872	36.870	0.888	43.206
19.5	7.256	0.891	33.605	0.904	39.093
20.5	6.438	0.904	30.955	0.919	35.432
21.5	5.733	0.918	28.317	0.909	36.834
22.5	5.123	0.932	25.650	0.941	29.341
23.5	4.593	0.941	23.682	0.950	26.740
24.5	4.130	0.950	21.706	0.958	24.339
25.5	3.726	0.959	19.697	0.965	22.257
26.5	3.371	0.964	18.524	0.971	20.515
27.5	3.059	0.971	16.902	0.976	18.888
28.5	2.782	0.975	15.725	0.980	17.376
29.5	2.538	0.980	14.537	0.985	15.979
30.5	2.320	0.985	13.329	0.988	14.842
31.5	2.126	0.987	12.532	0.991	13.696
32.5	1.953	0.990	11.732	0.994	12.682
33.5	1.797	0.993	10.925	0.996	11.808



（a）水平侧压力传递范围　　（b）桩身被动荷载

图 8-8　**K0 和 Ka 状态下水平侧压力传递范围及桩身被动荷载（浮重度计算）**

上图(b)中给出了考虑和不考虑土拱效应时桩身被动荷载，其中不考虑土拱效应时，计算

桩身被动荷载采用水平附加应力乘以桩径。从图中可以看出，考虑土拱效应计算得到的桩身被动荷载明显大于不考虑土拱效应计算得到的桩身被动荷载，说明对于临近堆载的排桩，不考虑土拱效应时采用理想弹性理论计算水平附加应力施加在桩宽度上来获得的桩身被动荷载明显偏小，对设计来说偏于不安全，其中考虑土拱效应 Ko 状态下最大桩身被动荷载约为不考虑土拱效应时的 2.55 倍。此外，考虑土拱效应时 K_0 状态下桩身被动荷载约为 Ka 状态下桩身被动荷载的 1.72 倍。考虑土拱效应 Ka 和 Ko 状态桩身最大被动荷载约位于地表以下 1.5m~3.5m 深度处，而不考虑土拱效应的桩身最大被动荷载约位于地表以下 2.5m 深度处，与堆载距离相近。

8.3.4 被动桩主动侧桩土互相作用计算

堆载影响下的被动桩除了被动段受到被动荷载作用外，桩侧还受到桩前土体的土抗力作用，桩前土抗力的计算与主动受荷桩类似。为考虑土体的差异性和非线性，采用 p-y 曲线模型，分析较大变形的桩身响应。

Matlock 最早在软黏土场地现场开展钢管桩水平试验，提出了如下 p-y 曲线模型形式，该 p-y 曲线模型被列入 API-RP2A 规范和我国港口工程桩基规范。

$$p=\begin{cases}0.5p_u\left(\dfrac{y}{y_{50}}\right)^{1/3}, y<8y_{50}\\ p_u, y\geq 8y_{50}\end{cases} \tag{4.78}$$

其中，p 和 y 分别为泥面以下任意深度 x 处的桩侧土抗力和桩身水平变形，$y_{50}=2.5\varepsilon_{50}d$，$\varepsilon_{50}$ 为原状土不排水压缩试验的 50%最大主应力差时对应的应变，当无试验资料时，可参考 Reese 等[365]建议的 ε_{50} 取值（如表 4.2 所示）；p_u 为极限土抗力，从地表到一定深度增加，之后保持不变，可按照如下公式进行计算：

表 4.2 ε_{50} 推荐值（Reese 等(2007)）

土体类型	不排水剪强度 Su/kPa	ε_{50}
非常软	<12	0.02
软土	12~24	0.02
中等硬度	24~48	0.01
硬	48~96	0.006
非常硬	96~192	0.005
坚硬	>192	0.004

$$p_u=\begin{cases}3S_u+\gamma x+J\dfrac{S_u x}{d}, x<x_R\\ 9S_u, x\geq x_R\end{cases} \tag{4.79}$$

$$x_R=\frac{6d}{\dfrac{\gamma d}{S_u}+J} \tag{4.80}$$

式中，x 为地表以下任意深度，S_u 为不排水剪强度（kPa），d 为桩径（m），γ为土体有效重度（kN/m^3），J 为无量纲经验系数，一般为 0.25~0.5，土质越硬，取值越接近 0.25，

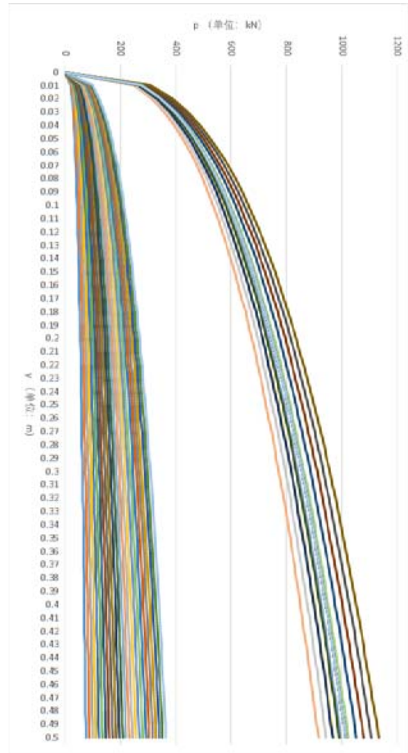


图 8-9 P-y 曲线

（1）ansys 建模分析

由于定义的 P-y 曲线在 midas 时程分析中不具备非线性特征，考虑运用 ansys 进行计算，应用 ansys 强大的计算能力，将被动桩堆载侧桩-土作用等效为上文计算的被动侧水平附加荷载进行模型的赋值（按照考虑土拱效应的 Ka 及 K0 状态的临界面分别计算），将被动桩主动侧桩土互相作用按照 P-y 曲线模拟土弹簧。

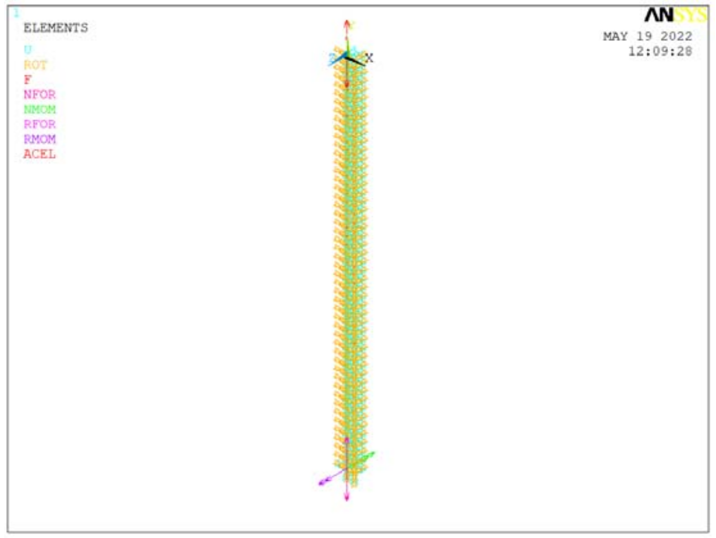


图 8-10 施加 P-y 曲线模拟土弹簧

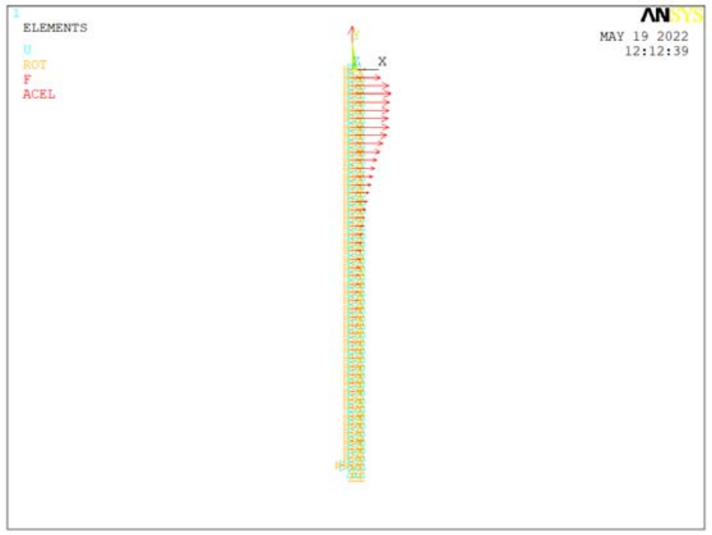
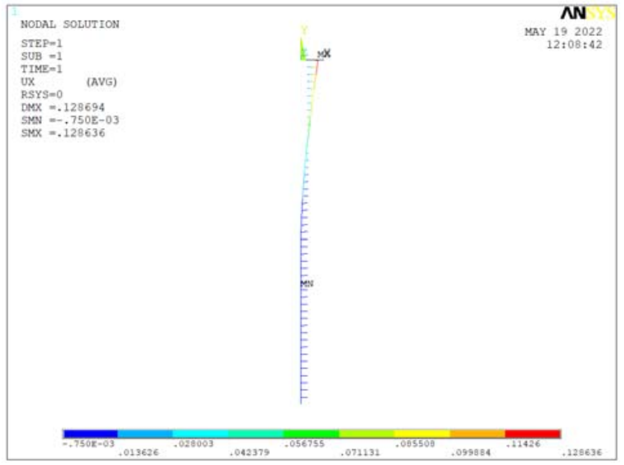


图 8-11 被动桩等效受力模型

经过计算，得出被动桩各节点的水平位移。

（1）当考虑 Ka 状态临界面时，桩顶最大位移为 12.8cm。

（2）当考虑 K0 状态临界面时，桩顶最大位移为 32.2cm。



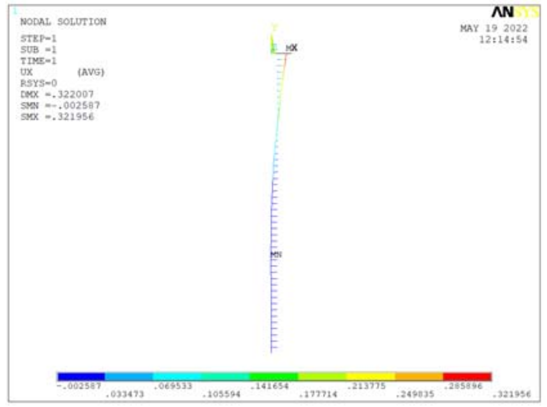


图 8-12 被动桩各节点位移（Ka 状态） 图 8-13 被动桩各节点位移（K0 状态）

（2）midas 建模分析

建立单根桩基的 midas 模型，共建立 49 个节点，48 个单元。边界条件为底部固结。

定义弹塑性材料特征值（定义钢筋和混凝土的应力-应变关系曲线，以便使用纤维单元进行非线性时程分析），为了使用纤维单元做弹塑性分析，将梁单元横截面分为多个纤维块，具有不同非线性应力-应变滞回曲线的混凝土、钢材等的材料特性值指定给纤维块。对于钢筋混凝土结构，保护层混凝土、核心区混凝土及钢筋的特性可以指定给截面。

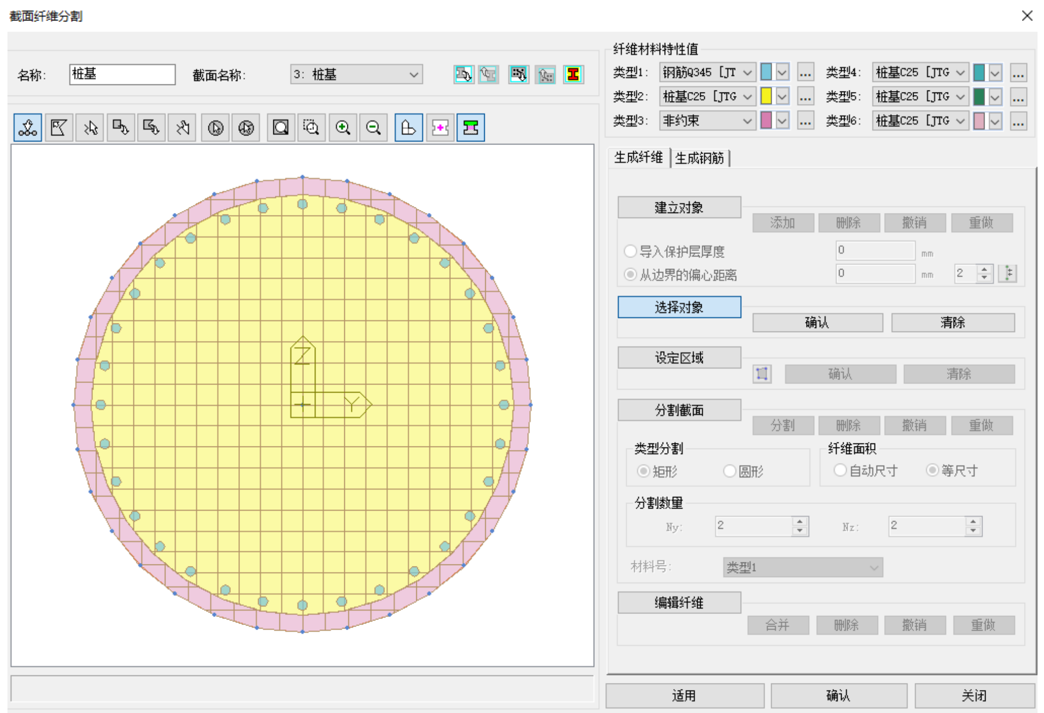


图 8-14 定义截面分割特性

根据现场实测数据，桩顶偏位约 16cm（支座滑移最大 30cm，墩柱偏位约 13.8cm），则桩顶偏位值介于 K0 和 Ka 临界面之间，考虑到现场测量误差及增加一定的安全冗余度，保守估计，各节点位移按照 2 倍 Ka 临界面位移值控制。

在 midas 中通过荷载工况中施加节点强制位移（2 倍 Ka 临界面位移值控制），进行时程分析，时程步长为 250 步。

通过位移控制，求出桩在最终状态下的内力、应力分布图以及桩身是否开裂、钢筋是否屈服，是否断桩等信息。如下表、下图所示：

8.3.5 结果—时程分析（桩内力）

表 8-4　结果内力分析汇总表

节点	轴力	y-弯矩	z-剪力	节点	轴力	y-弯矩	z-剪力	节点	轴力	y-弯矩	z-剪力
29	-5318.6	41.6	-0.89	45	-4594.07	779.74	-1.74	61	-3858.92	2850.27	10.54
30	-5283.24	3.67	-0.1	46	-4548.17	1073.2	-2.34	62	-3812.98	2767.8	452.71
31	-5237.3	-40.94	12.37	47	-4502.27	1354.4	-2.19	63	-3767.03	2658.52	21.66
32	-5191.35	-83.14	1.29	48	-4456.37	1602.4	-2.46	64	-3721.09	2526.12	178.4
33	-5145.41	-120.83	9.25	49	-4410.48	1822.83	-2.24	65	-3675.14	2382.25	170.77
34	-5099.46	-152.66	-0.02	50	-4364.59	2023.76	-2.4	66	-3629.19	2205.63	202.83
35	-5053.52	-176.8	-0.06	51	-4318.7	2206.39	-1.56	67	-3583.25	2016.59	152.66
36	-5007.57	-190.99	-0.11	52	-4272.79	2369.68	-3.95	68	-3537.3	1817.96	218.27
37	-4961.62	-192.16	-0.24	53	-4226.89	2509.03	580.2	69	-3491.36	1605.79	234.41
38	-4915.68	-177.28	-0.46	54	-4180.99	2634.98	-3.83	70	-3445.41	1388.21	202.38
39	-4869.73	-141.38	-0.19	55	-4135.02	2747.83	-2.09	71	-3399.47	1138.38	284.86
40	-4823.79	-80.6	-0.77	56	-4089.05	2834.36	536.99	72	-3353.52	873.66	320.4
41	-4777.84	10.92	-1	57	-4042.93	2900.76	-3.22	73	-3307.57	585.55	271.74
42	-4731.89	137.82	-0.6	58	-3996.89	2926.03	268.48	74	-3261.63	377.58	205.17
43	-4685.95	305.4	-1.68	59	-3950.82	2931.92	254	75	-3216.54	73.77	101.07
44	-4640	518.47	-1.31	60	-3904.87	2906.56	-1.63	76	-3169.74	110.4	134.93

由上表计算结果可知，最大轴力出现在桩底（29#节点）为-5318.6KN。最大弯矩出现在 59#节点为 2931kN·m。

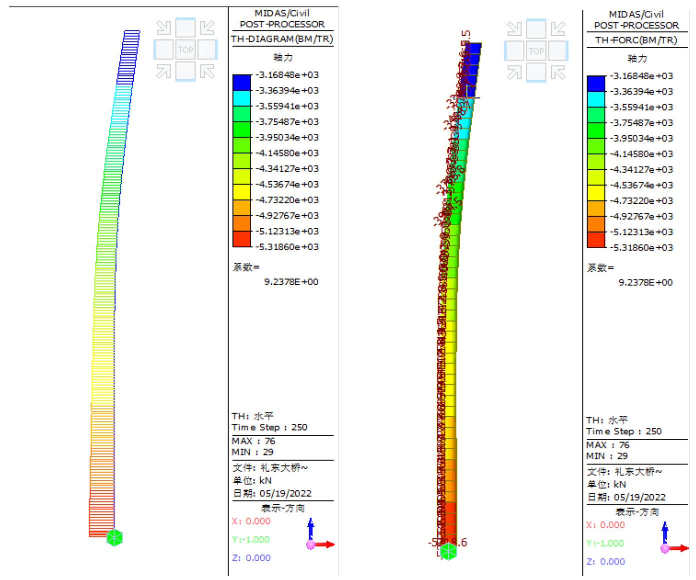


图 8-15 桩身轴力图（取第 250 步）

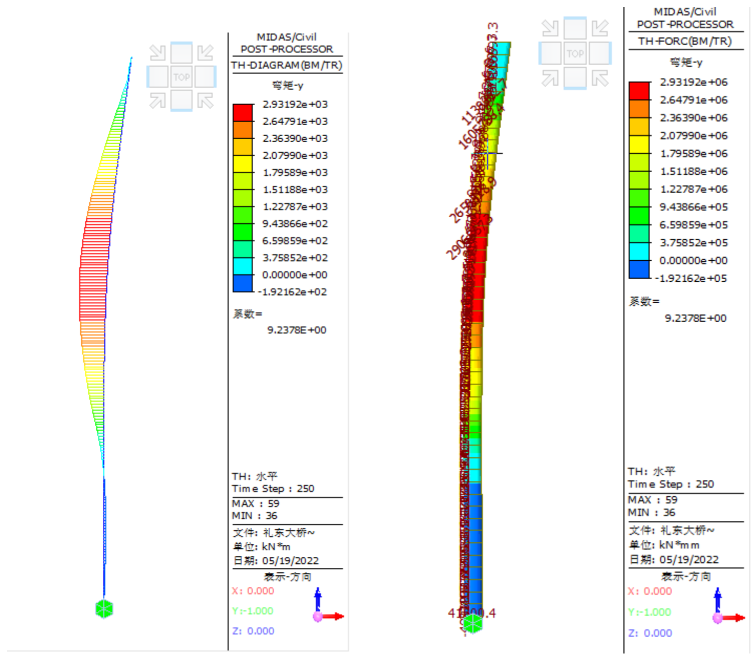


图 8-16　桩身弯矩图（取第 250 步）

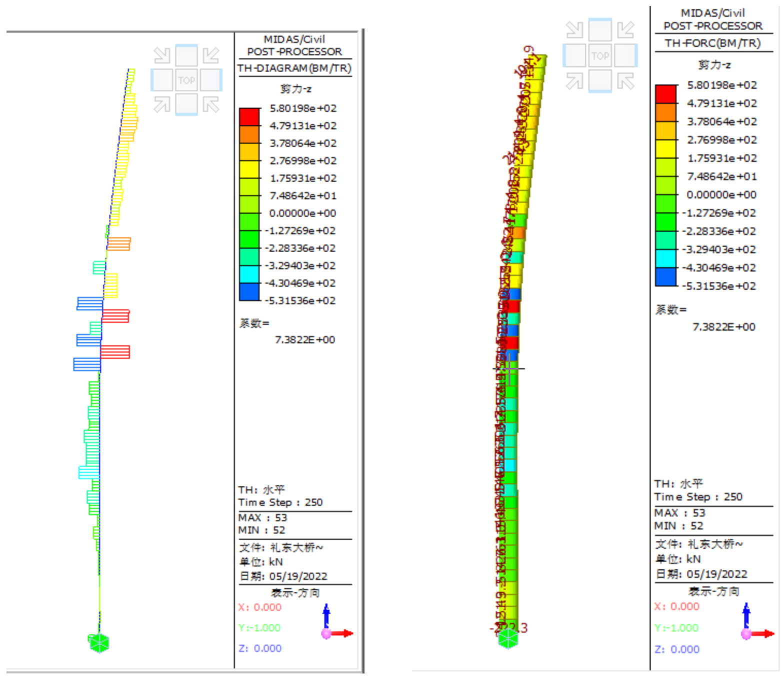


图 8-17 桩身剪力图（取第 250 步）

8.3.6 纤维截面时程分析

选择弯矩最大节点分析纤维截面查看，如下图所示：

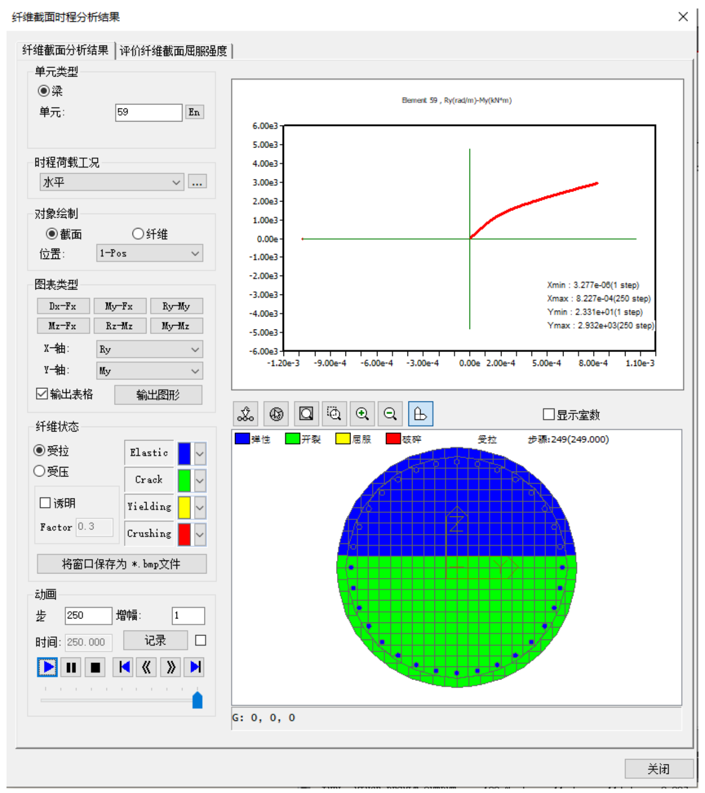


图 8.3-18 纤维截面时程分析结果

由计算结果可知，未发生断桩现象，钢筋未出现屈服，从图形上看，桩身出现开裂，开裂深度达一半桩径为 0.75m。

9 主要材料

（一）水泥

在配置加固用旋喷桩水泥灌浆料时，水泥材料用普通硅酸盐水泥，所采用的水泥强度等级不应低于 42.5 级。

（二）混凝土

桩基础采用 C30 混凝土、墩柱、承台采用 C40 混凝土，逢低混凝土采用 C20 混凝土，旋喷桩采用 C35 混凝土，8#墩顶伸缩缝后浇带都采用 C55 钢纤维混凝土。

混凝土应避免使用引起碱活性反应的集料，严格控制含碱外加剂使用。混凝土的各项技术指标必须满足《 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JIG 3362-2018).《公路桥涵施工技术规范》(JTGT 3650-2020).《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTGT 3310-2019)的要求。

（三）钢材

1）普通钢筋

箱梁大修加固用钢筋采用 HPB300、HRB400 型，其技术标准应符合《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》（GB/T 1499.1-2017）、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2-2018）的规定。

2）钢板

支撑纠偏装置设计的牛腿等用钢板选用 Q355B 钢材，其技术标准应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）的规定。用于体外粘贴钢板的材料选择桥 Q235B 钢材，其技术标准应符合《碳素结构钢》（GB700-2006）的规定。

3）植筋

除图纸中明确了植筋深度外，种植钢筋需保证植入深度不小于 10 倍钢筋外径，种植钢筋

的钻孔直径应符合《混凝土结构后锚固技术规程》（JGJ 145-2013）中 7.2.2 的要求。

（四）锚固件

钢结构与混凝土连接用后锚固锚栓采用 80 级不锈钢开裂混凝土用扩底型机械锚栓，锚栓材质应为 S31608、S31603、S31668、S31723、S23043 等不锈钢。

M16 型锚栓有效锚固深度为 130mm，拉拔力度选择 3t（做拉拔试验时，检测标准：在持荷期间，锚固件无滑移，基材混凝土无裂纹，或其他局部损坏迹象出现，且持荷 2 分钟荷载示值 2min 内无下降或下降幅度不超 5%）。

（五）胶粘剂

锚固钢板与原结构混凝土应在锚固完成后采用压力注胶法注胶粘接，粘接胶采用 A 级改性环氧类结构胶粘剂；加固用用植筋胶应采用 A 级改性环氧树脂类或改性乙烯基酯类材料，其固化剂不应使用乙二胺。

以上胶粘剂以及加固中裂缝修补用胶的技术标准均应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）、《城市桥梁结构加固技术规程》（CJJT 239-2016）和《混凝土结构工程用锚固胶》（GB/T 37127-2018）的规定。

表 9-1　裂缝修补用胶（注射剂）的安全性能指标

性能项目		单位	性能指标
胶体性能	抗拉强度	MPa	≥20
	抗拉弹性模量	MPa	≥1500
	抗压强度	MPa	≥50
	抗弯强度	MPa	≥30 且不得呈脆性破坏
钢-钢（钢套筒法）拉伸抗剪强度标准值		MPa	≥10
不挥发物含量（固体含量）		%	≥99
可灌注性		在产品说明书规定的压力下，能注人宽度为 0.1mm	

（六）混凝土界面剂

新旧混凝土界面剂应满足《混凝土界面处理剂》JCT 907-2002 的要求及下表性能指标：

表 9-2　混凝土用界面剂的物理力学性能

项目			单位	性能指标（I 型）
剪切粘结强度	7d		MPa	⩾1.0
	14d		MPa	⩾1.5
拉伸粘结强度	未处理	7d	MPa	⩾0.4
		14d	MPa	⩾0.6
	浸水处理		MPa	⩾0.5
	热处理		MPa	
	冻融循环处理		MPa	
	碱处理		MPa	
晾置时间			min	根据施工情况确定

10 施工要点

除本设计说明中提出的特殊加工工艺及质量要求外，其它施工质量和精度应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1-2017)的要求，并从严控制。

10.1 测量

（1）施工准备阶段，应对首级控制网进行同等级复测。根据施工精度要求，对控制网进行加密。

（2）测量等级应采用《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)中规定的最高等级要求，并符合相关规定。测量的技术要求和测量精度应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）的要求。

10.2 植筋施工要点

一、施工工艺说明

主要工艺流程如下：放样定位→钻孔→清孔→注胶、植筋→固化.养护→质量检验；

二、主要施工步骤

1、植筋定位、 钻孔

（1）钻孔前用钢筋探测仪探测桥梁构件植筋部位预应力钢束.钢筋位置， 若植筋孔位处存在钢筋则应适当 调整钻孔位置。

（2）钻孔施工遇到钢筋或预埋件时应立即停钻，并适当移动钻孔孔位；若移动值太大，应及时通知设计单位予以处理。

2、清洁孔壁.钢筋

清洁孔壁、钢筋可采用如下方法：

（1）先将喷嘴伸入成孔底部并吹入洁净无油的压缩空气，向外拉出喷嘴，反复 3 次；

（2）将硬毛刷插入孔中，往返旋转清刷 3 次；

（3）再将喷嘴伸入钻孔底部吹气，向外拉出喷嘴，反复了次；

（4）对要植入钢筋上的锈迹、油污进行除锈与清理；

（5）植筋前用丙酮或工业用酒精擦拭孔壁、孔底和植入钢筋。

3、植筋

（1）植筋用胶黏剂应采用专用灌注器或注射器进行灌注， 灌注量-般为孔深的 2/3 ，并应保证在植入钢筋后有少许胶黏剂溢出；

（2）注入胶黏剂后应立即单向旋转插入钢筋， 直至达到设计的深度， 并保证植入钢筋与孔壁间的间隙基本均匀， 校正钢筋的位置和垂直度。

4、静置固化

胶黏剂完全固化前，不得触动或振动已植钢筋，以免影响其黏结性能。

三、施工质量检验

1、钻孔要求

钻孔直径允许偏差为+2mm，-1mm；钻孔深度。垂直度和位置的允许偏差应满足规范的要求。

2、植筋要求

（1）锚孔内胶黏剂应饱满，不得有未固结现象。

（2）植入钢筋不得有松动，表面不应有损伤， 钢筋不得弯曲 90° 以上。

10.3 高压旋喷桩施工

采用双管法旋喷注浆，旋喷桩是利用钻机将旋喷注浆管及喷头钻至于桩底设计高程，将预先配制好的浆液通过高压发生装置使液流获得巨大能量后，从注浆管边的喷嘴中高速喷射出来，形成一股能量高度集中的液流，直接破坏土体，喷射过程中，钻杆边旋转边提升，使浆液与土体充分搅拌混合，在土中形成一定直径的柱状固结体，从而使地基达到加固和起到止水帷幕的作用。施工流程下图。

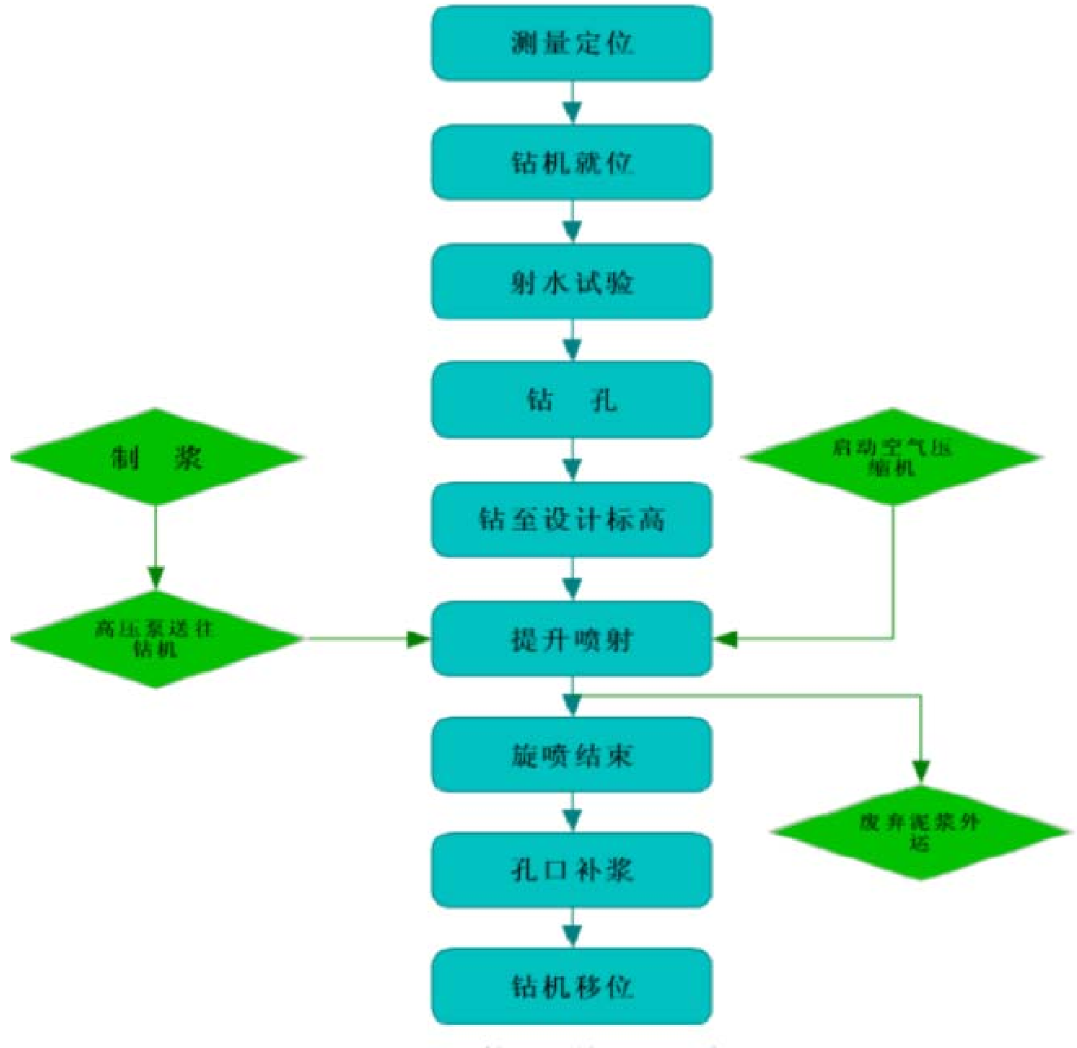


图 10.1 高压旋喷桩施工流程

（1）桩位测放及钻机就位

按桩位排列图进行桩位放样，由测量班组使用全站仪测放纵横向控制线及各主要控制点位的桩点，带线控制纵、横向，尽量确定其他各桩位，全站仪测放的控制桩位点需打木桩钉标记。为防止钻孔后控制点失效，必须将控制点向不受施工影响的地方外引。经过复测验线合格后，用钢尺和测线实地布设桩位，并用钢筋头钉紧且在钢筋头上绑扎明显标示物(红色绳子或线头等)用以保证桩孔中心(偏差小于 20mm)。移动旋喷桩机到指定桩位，将钻头对准孔位中心，同时置平钻机，保持平稳、水平，钻杆的垂直度偏差不大于 1%。就位后，首先进行低压(0. 5MPa)射水试验，用以检查喷嘴是否畅通，压力是否正常。

制备水泥浆。桩机移位时，即开始按设计确定的配合比拌制水泥浆，材料用 42.5 型普通.硅酸盐水泥，根据需要加入适量的外加剂，所用的外加剂的数量应根据具体情况通过试验确

定，水泥浆液的水灰比为 1: 1.5，水泥掺量为 200kg/m，水泥土抗压强度不低于 1. 0MPa。首先将水加入桶中，再将水泥和外掺剂倒入，开动搅拌机搅拌 10~20 分钟，而后拧开搅拌桶底部阀门，放入第一.道筛网(孔径为 0. 8mm)，过滤后流入浆液池，然后通过泥浆泵抽进第二道过滤网(孔径为 0. 5mm)，第二次过滤后流入浆液桶中，待压浆时备用。

（2）钻孔

钻孔的目的是将注浆管顺利置入预定位置，双重管高压旋喷桩钻孔是先由地质钻机开孔，并钻进至设计标高后提起钻杆，钻孔完毕，xxx 站旋喷桩钻孔采用隔一打一方式施工。

（3）试管

当注浆管置入土层预定深度后应用清水试压，若注浆设备和高压管路安全正常，则可搅拌制作水泥浆开始高压注浆作业。

（4）喷射注浆

①主要技术参数:浆液压力大于 20MPa,浆液比重 1.0~1.5,旋转速度，一般以 20r/min 为宜，提升速度 0.2m/min，喷咀直径 2~3 mm， 液浆流量 70~90L/min。

②旋喷作业，钻孔至设计高程后，拧下上节钻杆，放入钢球，堵住射水孔，再将钻杆装上，即可向钻机输送高压水泥浆，待液浆从孔底冒出后，钻杆开始旋转和提升，由下而上进行旋喷。

③拆除钻杆。在旋转过程中，当第- .根钻杆提出地面后，停止压浆，待压力下降后，迅速拆除钻杆，当提升到桩顶设计标高时，重新开始旋喷桩，当提升到桩顶设计标高时，为避免浆液与土在拌合机混合后，因浆液拆除出现缩水，造成旋喷桩顶部凹穴，进行 1~ 2mm 的低压补喷。

（5）冲洗、钻机移位

喷射施工完毕后，应把注浆管等机具冲洗干净，管内、机内不得残存水泥浆，通常把浆液换成水，在地面上喷射，以便把泥浆泵、注浆管和软管内的浆液全部排除。将钻机等机具.设备移到新孔位上。

补浆。喷射注浆作业完成后，由于浆液的析水作用，一般均有不同程度的收缩，使固结体顶部出现凹穴，要及时用水灰比为 1.0 的水泥浆补灌。

高压旋喷桩施工注意事项：

1）钻机或旋喷机就位时机座要平稳，立轴或转盘要与孔位对正，倾角与设计误差一般不得大于 0.5°。

2）喷射注浆前要检查高压设备和管路系统。设备的压力和排量必须满足设计要求，管路系统的密封圈必须良好，各通道和喷嘴内不得有杂物。

3）在插管旋喷过程中，要防止喷嘴被泥砂堵塞，水、浆、压力和流量必须符合设计值，一旦堵塞，要拔管清洗干净，再重新插管和旋喷。插管时应采取边射水边插，控制好水压力，高压水嘴要用塑料布包裹，以防泥土进入管内。

4）在软弱地层旋喷时，固结体强度低。可以在旋喷后用砂浆泵注入 M15 砂浆来提高固结体的强度。

5）定期测试水泥浆液密度,当施工中浆液密度超出设定指标时,立即停止提喷,并调整至正常范围后,再继续喷射。

6）在高喷灌浆过程中，出现压力突降或突增、孔口回浆浓度和回浆量异常,甚至不返浆等情况时,查明原因后及时处理。

7）钻杆的旋转和提升应连续进行，不得中断;拆卸钻杆要保持钻杆伸入下节 100mm 以上的搭接长度，以免桩体脱节。为提高桩的承载力，在桩底部 1m 范围内应适当增加旋喷时间。

8）定期测试水泥浆液密度,当施工中浆液密度超出设定指标时，立即停止提喷,并调整至正常范围后,再继续喷射。

10.4 支撑纠偏

一、总体原则

1.梁体顶升：采用同一墩台全断面顶升方案。以一片盖梁作为一个工作段，伸缩缝两侧可单独整体顶升；若伸缩缝两侧梁体顶死，也必须使盖梁两侧同步顶升。

2.顶升过程实行顶升力与位移双控原则，梁体顶升高度需控制在 5mm 以内。同步顶升时，各千斤顶顶升高度差须小于 1mm.

3.顶升时采用分级顶升的操作方式，加载级别划分按两个阶段进行控制：第一阶段为克服恒载前，每一加载按 5MPa 一级进行控制；第二阶段为克服恒载后，每一加载按 1MPa 一级进行控制，在顶升位移量接近控制高度时，进行微调。

二、施工工艺流程

关键施工工艺流程：搭设盖梁牛腿施工平台--->安装千斤顶、电动油压泵--->安装百分表--->试顶--->顶升后纠偏措施（主动和被动纠偏）--->锁住千斤顶--->下部结构加固完成--->更换支座--->卸载。

三、具体施工步骤

1.安装千斤顶，千斤顶上下均需垫受力钢板，以扩散局部应力；安装千斤顶位移监测点，主桥箱梁梁底左右各安装一块百分表，引桥小箱梁每片梁底安装一块百分表。

2.起梁前先按梁体顶升所需压力的 50%的顶梁力进行试顶，检查钢板、千斤顶等的安装是否正确，千斤顶受力是否均匀；同时记录各千斤顶的伸长量.

3.对百分表进行清零，记录梁体项升位移的初读数，建立梁体项升位移监控系统。

4.当所有受力或传力部件无非弹性形变后即可以开始整体顶升。顶梁时，起初所有千斤顶将梁体项到将要离开墩柱（原支座）但未离开的临界状态，比较千斤顶的项升力与理论计算值之间的误差。

5.分别将梁体顶起，主桥侧纵向上设置千斤顶，以主桥边跨作为着力点，反拉桥墩。同时在竖向上，主桥侧和引桥侧均设置千斤顶将主梁顶起，竖向千斤顶顶部设置四氟板滑块（四氟板滑块与千斤顶间固定不产生相对移动），梁底对应位置设置钢板，四氟板面与梁底钢板相接触。纵向千斤顶施加给墩柱的拉力，使得竖向千斤顶在顶梁的同时，能够沿着滑块与梁底钢板的摩擦面产生相对滑动。经过主动纠偏（反力顶拉纠偏）和被动纠偏（堆填土的卸载、增大主桥侧墩身截面），使墩柱回正。

6.墩柱纠偏完后，对支座进行更换处理：按放样位置准确安装支座。安放前仔细校核支承垫石，不平处用环氧胶泥找平，每块垫石相对误差在 1mm 以内，生锈钢垫板需要除锈和防锈处理，在支承垫石上按设计图纸标出支座位置中心线，同时在橡胶支座也标上十字交叉中心线.橡胶支座上下表面铺涂一层环氧树脂砂浆，将橡胶支座安放在垫石上，使支座的中心：线同墩台上的设计位置中心线相重合，支座就位准确。

7.支座安放好后即可进行卸载.卸载的顺序与加载的顺序相反分级回落，每次回落量不应大于 2mm，直至完全卸载，使梁体与支座紧密结合，拆除千斤顶。

8.卸载完成后，检查支座是否存在脱空情况，同时观察百分表读数，测读支座压缩量。

9.支座更换处理达到设计要求后，拆除梁体顶升设备，完成项梁更换支座；如达不到设计要求，则重新将梁体顶起，对支座进行重新处理。

四、注意事项

1.顶升过程中，必须进行监测，出现意外情况须立即停止顶升作业，并查明原因.

2.图纸内支座顶升仅为示意，施工单位应进行专项施工组织设计，经评审通过后方可实施。顶升过程中观察结构是否有开裂现象，各千斤顶的工作性能是否正常；确认安全后再进一步顶到既要高度。

10.5 桩基及承台施工

（1）根据桥下施工净空情况决定桩基施工是否需要开挖及开挖深度，施工时开挖深度应尽可能控制在最小.

（2）施工新建桩基，钢护筒跟进施工，钢护筒需穿越淞泥层，(钢护筒内径=设计桩径+10cm，壁厚 8mm)计量。

（3）钻孔完成后应尽快放置钢筋笼浇筑桩基混凝土，为保证原桥桩基安全，新桩基应钻完一根桩浇筑一根。

（4）.待所有桩基施工完成之后，开挖或填土至新建承合底设计标高，平整压实并在新增承台底面设 15cm 厚 C20 素混凝 t；保证新建承台与原结构混凝土连接的可靠性，须严格控制承台混凝土凝固过程中相对沉降，要求如下：A.如承台底为填土，则浇筑前必须夯实至密实度不小于 95%。B.承台混凝土凝固过程中不得受到扰动.

（5）按墩柱植筋顺序对原桥墩与新建承台连接部分进行植筋和表面处理；承台钢筋布设应在不影响植筋操作的前提下尽可能同时进行。

（6）浇筑承台混凝土，待混凝土强度达到设计值 90%且龄期不小于 7 天后拆除模板进行基坑回填。

10.6 施工监控要点

10.6.1监测内容

（1）墩柱加固施工期间，8#墩自身的水平及竖向位移，相邻两侧墩柱水平及竖向位移。

（2）墩柱加固施工期间，桥墩附近深层水平位移监测..

（3）墩柱加固施工期间，临时支架挠度、沉降监测.

（4）8#墩柱加固施工期间，在施桥梁及旁边新桥的水平位移，竖向位移监测。

10.6.2监测要求

1、监测以仪器观测为主，目测为辅，开挖前施工方应制定合理的施工方案。第三方监测单位应制定详细的监测方案。

2.墩柱监测：对需要监测的墩柱应统一编号。每个墩柱应至少布设两个监测标志，其中一个设置在墩身一侧高出地面 1m 处；另一个设置在相对应反方向，高出地面 2m 处，且监测点均应高于原桩顶 1.5m。

3、在桥墩施工 5m 位置处布设测斜管，以查看深层的位移量值和方向。测斜管孔利用现有地质钻探孔布设，共布设测斜管 4 个。

4，基坑内土方开挖时，必须对称、均衡、分层开挖，坑底应留 30cm 厚土由人工清除。

5、监测标志应具有可供测量的明晰端面或中心。长期监测时，可采用镶嵌或埋入墙面的金属标志；短期监测时，可采用油漆平行线标志或用建筑胶粘贴的金属片标志。

10.6.3监测周期

1、墩柱加固施工、支座更换全程监测。

2、施工前设置监测点，进行首次观测，不少于 2 次。

3、监测频率：小于报警值 1 次/1 天，超过报警值 2 次/天，超过控制值暂时停止施工。

4、每次观测后应立即对原始观测数据进行校核和整理，包括原始观测值的检验、物理量的计算、填表制图，异常值的剔除、初步分析和整编等。

5、为确保监测结果的质量，加快信息反馈速度，每次监测必须有监测结果，及时上报监测数据，同时附上相应的测点位移时态曲线图。如有异常；应立即停止施工并通知业主转设计单位。

10.6.4注意事项

当出现下列情况之一时，应加强监测，提高监测频率，并及时向委托方及相关单位报告监测结果：

1、监测数据达到报警值。

2、监测数据变化较大或者速率加快。

3、墩柱沉降、水平位移出现异常。

4、当有危险事故征兆时，应实时跟踪监测

10.7 其他

（1）施工单位应对设计文件认真研究，全盘考虑，对图纸中提供的坐标、标高、钢筋明细及结构的相关几何尺寸进行详细复核，一旦发现问题，应向设计单位反馈，在问题没有得到解决前不得施工。

（2）进一步加强现场结构物及地表的检测活动，若发现变形趋势应立即展开桥梁检查，地质情况未稳定前不得实施该方案。

（3）施工单位应进行周密、细致、安全的施工组织方案编制，高度重视施工安全，确保施工质量；施工需加强对本联影响范围内的上下部结构的动态监测，施工完成后持续观测至结构稳定。

（4）混凝土表面均应保证无蜂窝、麻面、收缩裂缝，混凝土颜色应保持一致性，表面应光洁无油污，确保混凝土振捣密实。

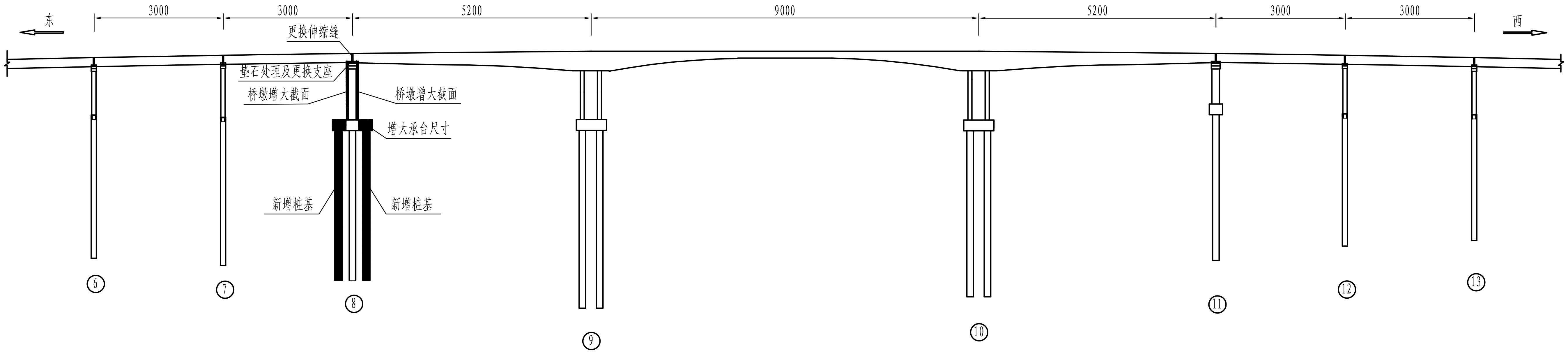
(5)8#墩引桥侧小箱梁均采用四氟板支座，主桥侧采用盆式支座，施工单位在支座安装过程中要根据结构体系要求，正确布置支座方向及相应预埋板方向，建议在梁底做标示；供应商提供的支座深化设计应充分考虑后续梁板复位安装的实际条件。

加固工程数量表

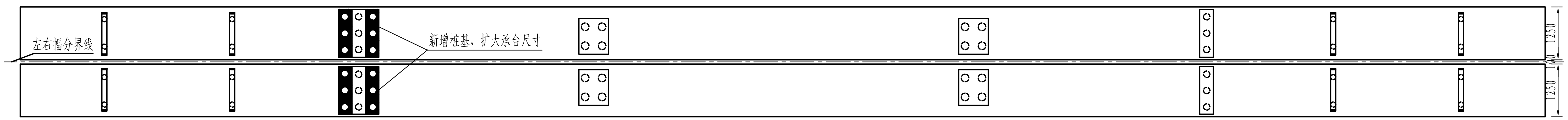
序号	项目	项目		单位	工程量
1	旋喷桩	C35混凝土		m^3	1630.6
2		水泥浆（普通硅酸盐水泥P·042.5）		m^3	1025.6
3		HRB400	ϕ16	kg	59895.62
4			ϕ20	kg	7564.39
5			ϕ28	kg	225273.8
6	支撑纠偏装置	Q355B		kg	14329.9
7		焊缝1.5%		kg	214.9
8		粘钢胶		m^2	10.6
9		ϕ16自扩底锚栓（锚固深度13cm）		颗	264
10		ϕ18钻孔		个	264
11		四氟板滑块（50cm×30cm×5cm）		个	12
12	地表卸载	挖除土方		m^3	3787.28
13		浆砌片石		m^3	130.14
14		砂砾垫层		m^3	57.14
15		缝内填充沥青料		m^3	0.34
16	增厚墩柱截面	C40混凝土		m^3	170.76
17		HRB400	ϕ16钢筋	kg	12602.2
18			ϕ28钢筋	kg	25670.2
19		ϕ16植筋		个	832
20		ϕ28植筋		个	376
21		植筋胶		m^3	0.256
22		界面剂		m^2	356
23		表面凿毛		m^2	356
24	增设桩基	C30混凝土		m^3	1156.56
25		HRB400	ϕ32钢筋	kg	113967.6
26			ϕ28钢筋	kg	6621.2
27			ϕ16钢筋	kg	1125.6
28		HPB300	ϕ8钢筋	kg	5918.4

序号	项目	项目		单位	工程量
29	检测管	80×10钢板		kg	18.12
30		ϕ70×6.5钢管		kg	87.96
31		ϕ57×6.5钢管		kg	9183.24
32	增设承台	基坑开挖		m^3	698.32
33		C40混凝土		m^3	507.84
34		C20封底混凝土		m^3	161.28
35		HRB400	ϕ28钢筋	kg	56354.86
36			ϕ25钢筋	kg	12679.94
37			ϕ22钢筋	kg	3664.22
38			ϕ16钢筋	kg	10224.56
39		ϕ16植筋钻孔		个	1060
40		ϕ28植筋钻孔		个	296
41		植筋胶		m^3	0.108
42		界面剂		m^2	138.8
43		表面凿毛		m^2	138.8
44	垫石处理更换8#墩支座	C40混凝土		m^3	507.84
45		HRB400	ϕ16钢筋	kg	89.16
46			ϕ12钢筋	kg	244.56
47		ϕ16植筋钻孔		个	120
48		植筋胶		m^3	0.004
49		主桥GPZ4000		个	4
50		300×550×47（四氟板支座）		个	8
51	更换8#墩顶伸缩缝	D160型，L=11.5m		个	2
52		C55钢纤维混凝土		m^3	6.9
53	混凝土缺陷	破损及缺陷修复等		m^3	553
54	铺装层缺陷	封缝胶灌缝		m	435
55	其他	补充钻探		m	70

正面图



立面图



注:

1、本图尺寸均以cm为单位。

2、根据目前的检测结果，该桥的主要病害有以下几个方面:

1）8#墩左右幅引桥共有3个支座挤出失效，其他支座均存在较大超限纵向滑移。

2）8#墩左右幅主桥盆式支座上钢板螺栓已发生明显的剪切变形，其最大位移量已到极限。

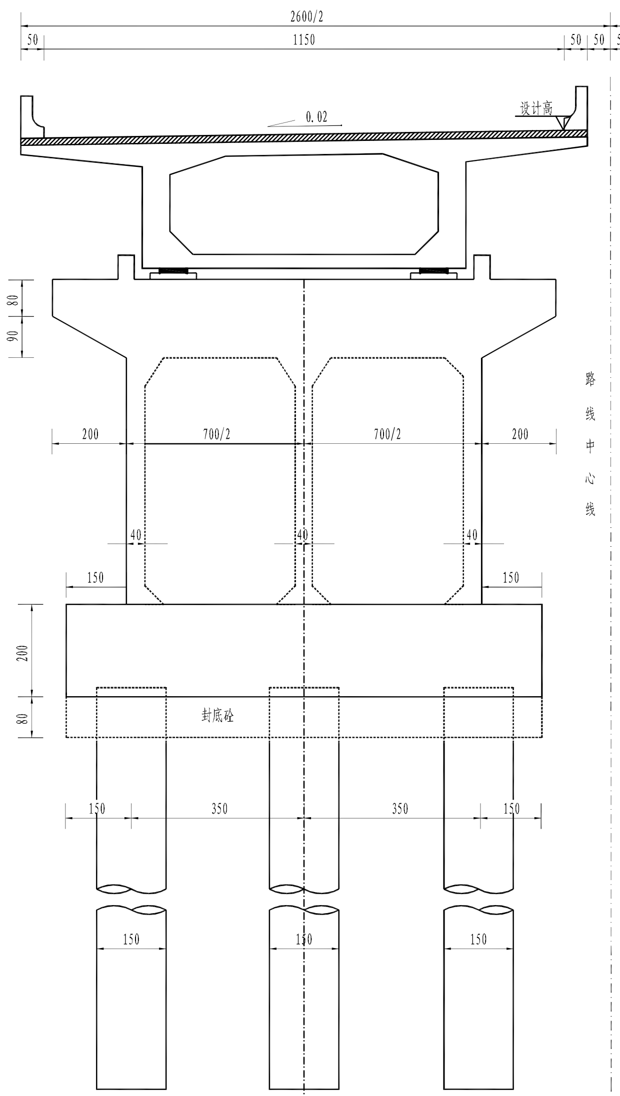
3）左右幅8#墩柱均产生较大的纵向偏位（往引桥侧偏），左幅8#墩顶纵向倾斜达13.8cm，右幅8#墩顶纵向倾斜达12.6cm，均远超规范控制值。

4）左幅8#墩顶伸缩缝两侧钢条出现1cm的高差（引桥侧钢条下沉）。

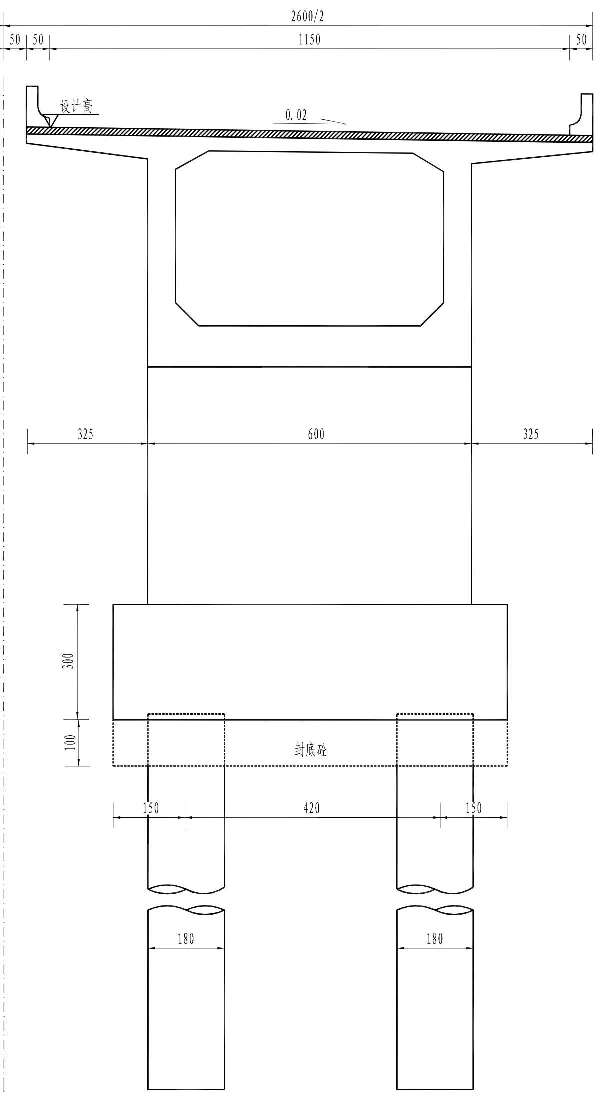
3、本次维修加固的内容有: 左右幅8#墩基础加固，增大承台尺寸、8#墩主桥侧增大墩身截面、场区堆填土卸载、8#墩处支座更换、8#墩顶重做伸缩缝、全桥耐久性病害的维修等。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	桥型布置图	设计		复核		审核		图号	ST-02	日期	2022.07

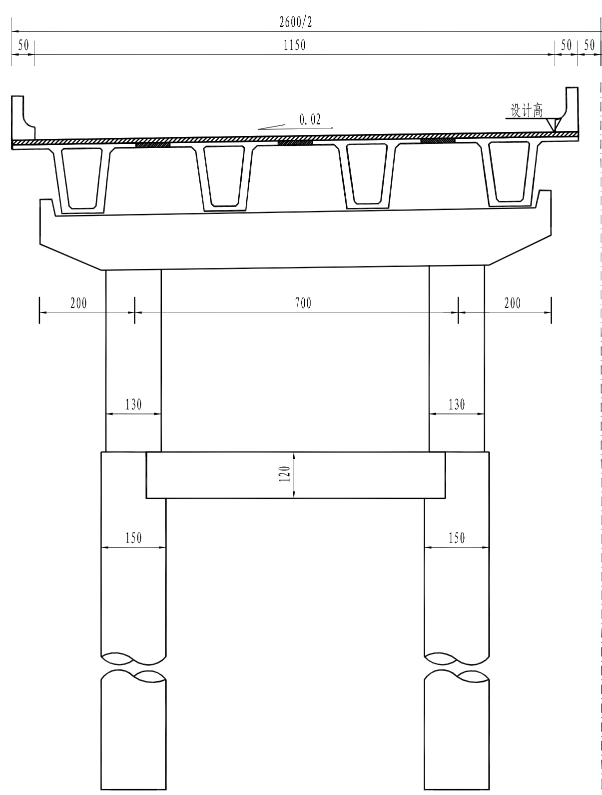
主桥边跨断面



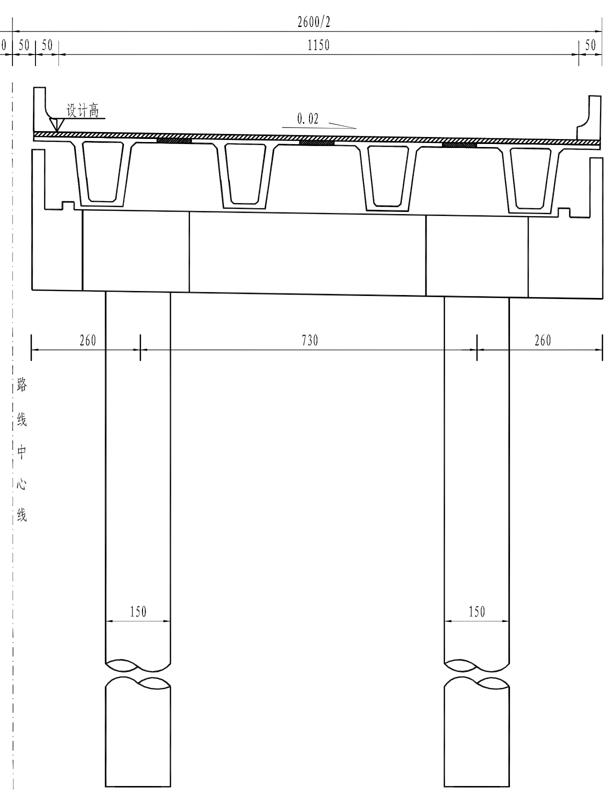
主桥中跨断面



引桥断面



桥台处断面



注:

1、本图尺寸均以cm为单位。

2、设计荷载:公路-I级。

3、桥面全宽与路基宽度一致为26m, 按分高式双幅设计。

4、主桥通航宽度55m ，通航净空高8.0m,5级航道。

5、桥型为连续刚构干预应力混凝土箱梁，主桥过渡墩采用薄壁空心墩， 主墩采用双支薄壁墩:
全桥跨径组合: 8x30m+52m+90m+52m+8x30m ;全桥基础为钻孔灌注桩基础。

6、设计洪水频率1/100.

7、灌注桩基混凝土时，桩底沉淀层厚度要求小于5厘米。

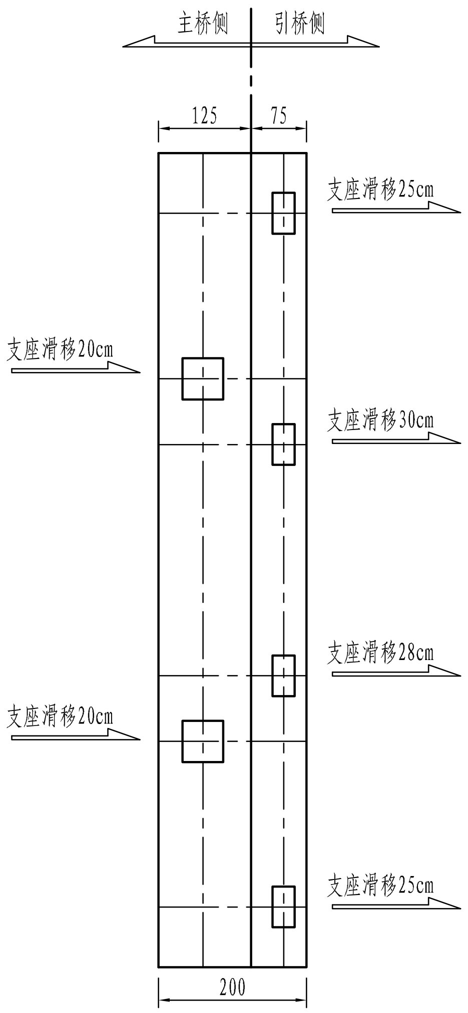
8、边跨桥墩单桩桩顶承载力为7500KN，过渡墩单桩桩项承载力不小于12000KN

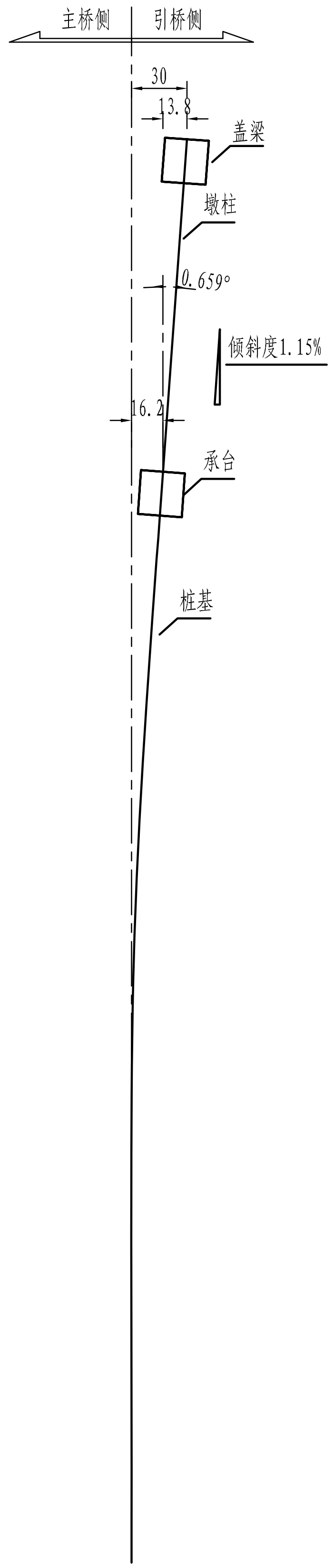
中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	桥梁断面图	设计		复核		审核		图号	ST-02	日期	2022.07

左幅桥8#墩支座滑移示意图

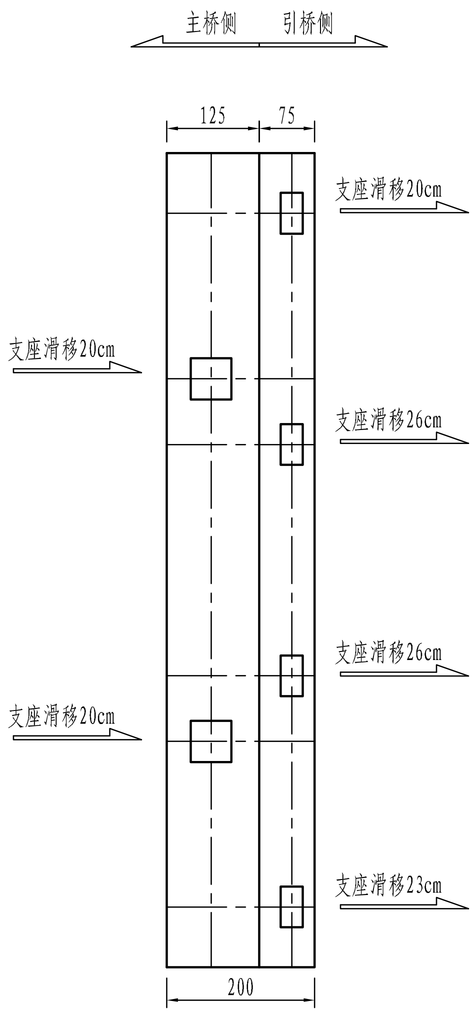
右幅桥8#墩偏位示意图

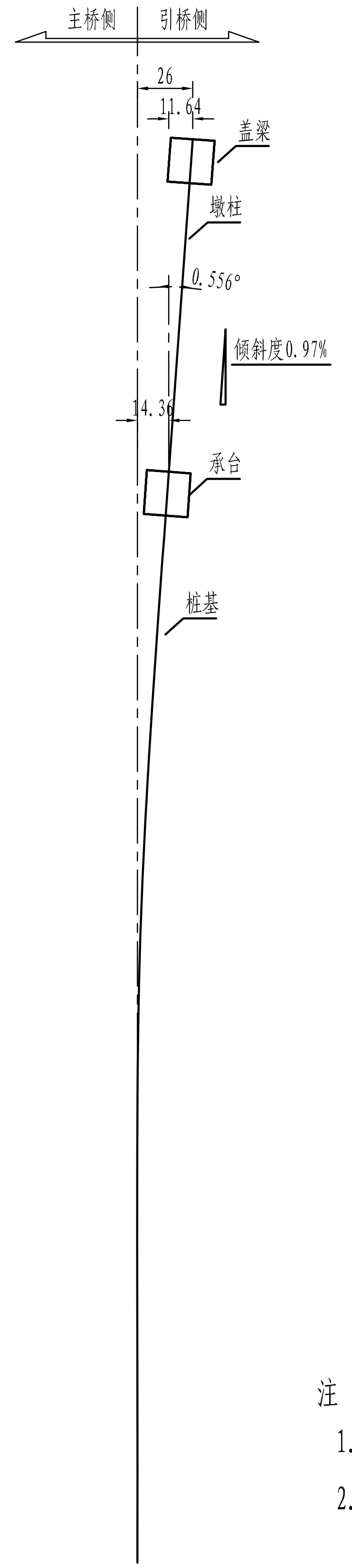
右幅桥8#墩支座滑移示意图





左幅桥8#墩偏位示意图



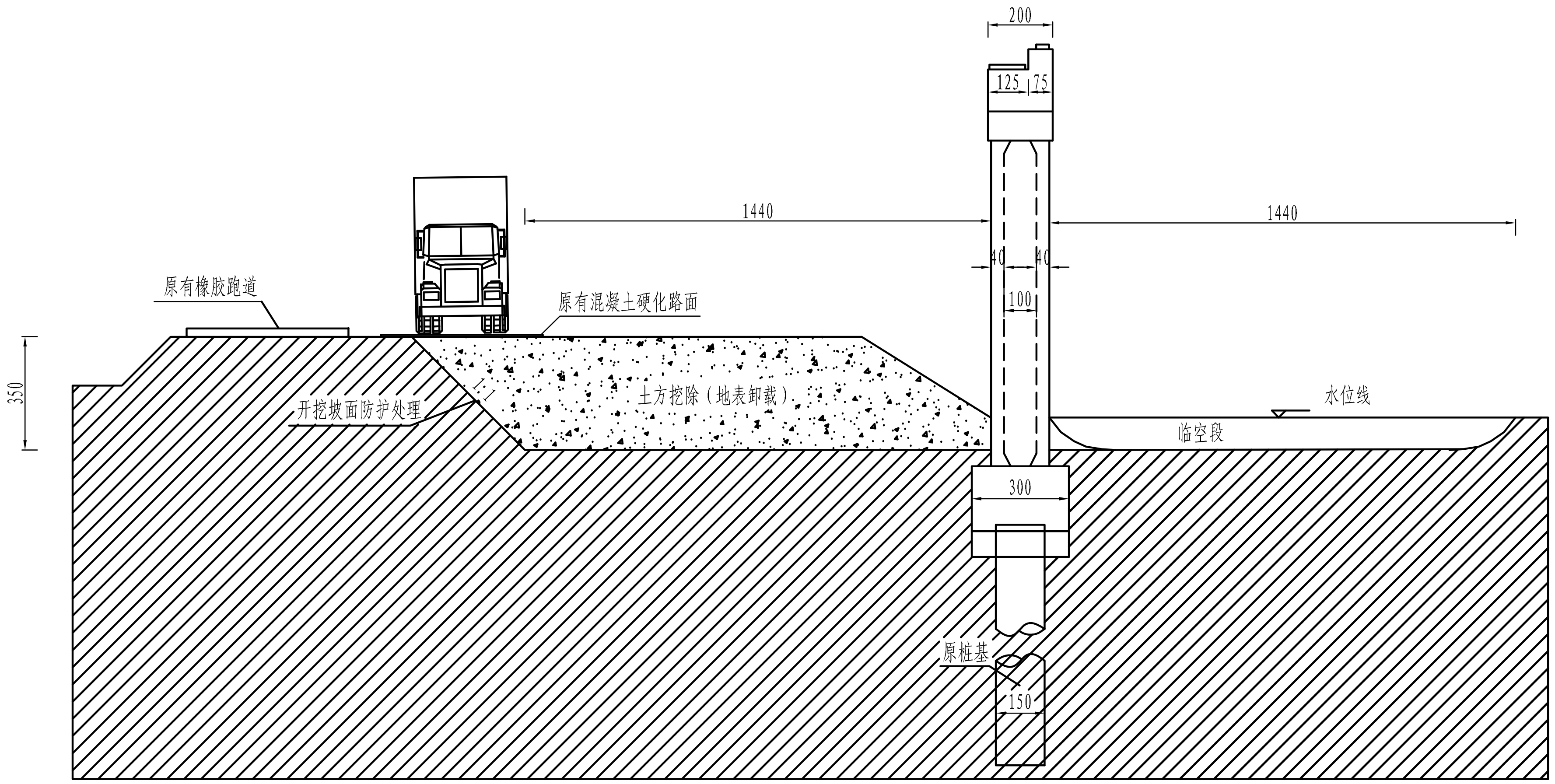


注

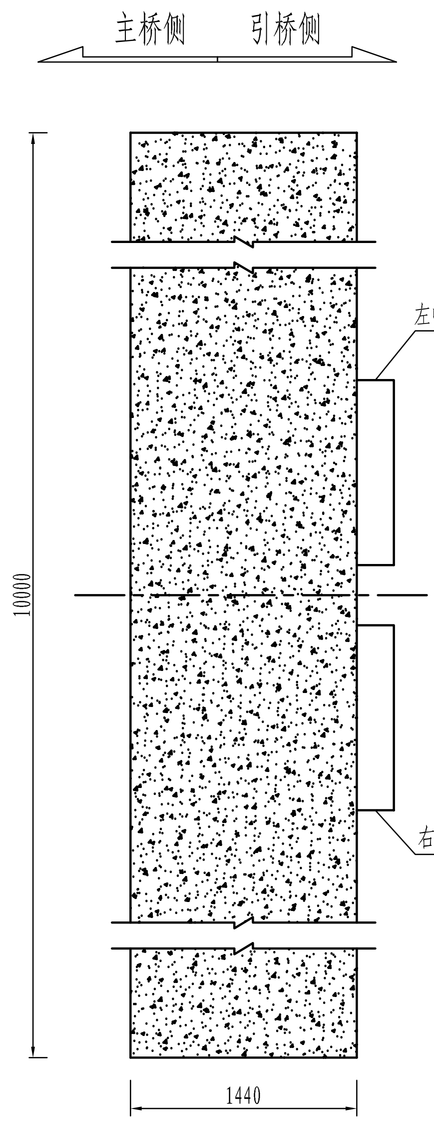
1. 图中尺寸均以cm计。
2. 本图适用于左右幅8号墩。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	左右幅8#墩墩偏示意图	设计		复核		审核		图号	ST-03	日期	2022.07

土方开挖示意图



土方范围示意图



一处桥墩工程数量表

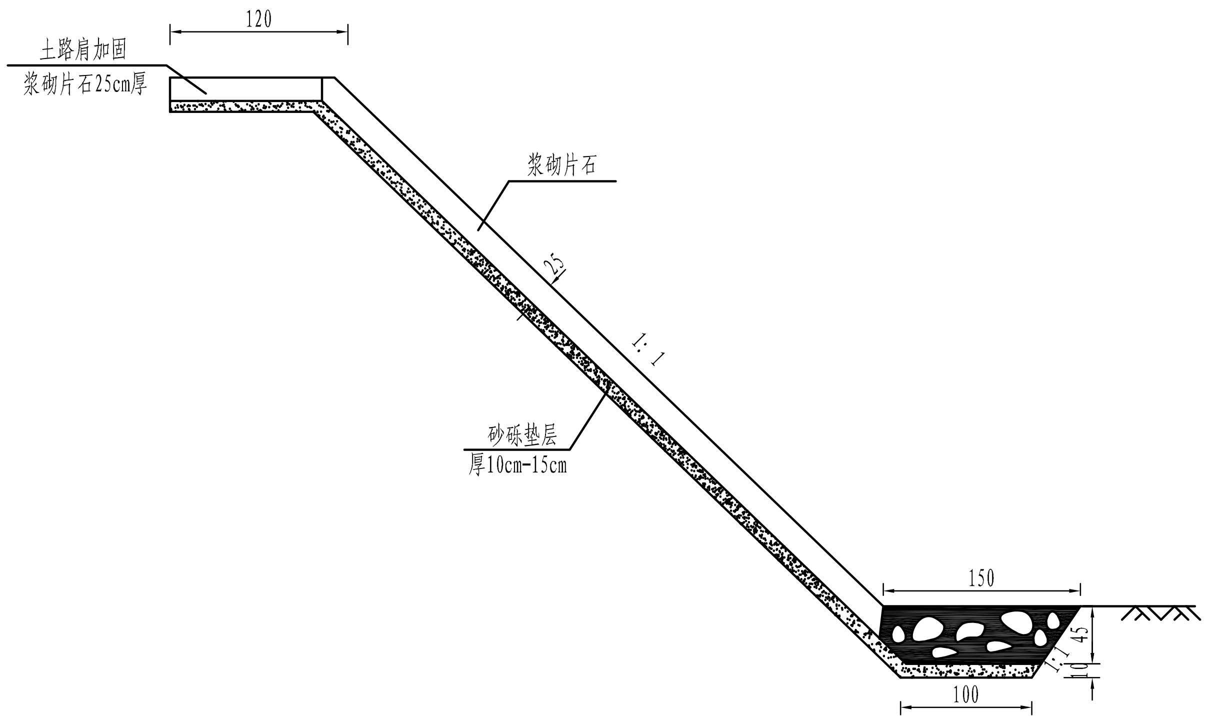
项目	单位	数量
地表卸载土方开挖	m	1068.03

注:

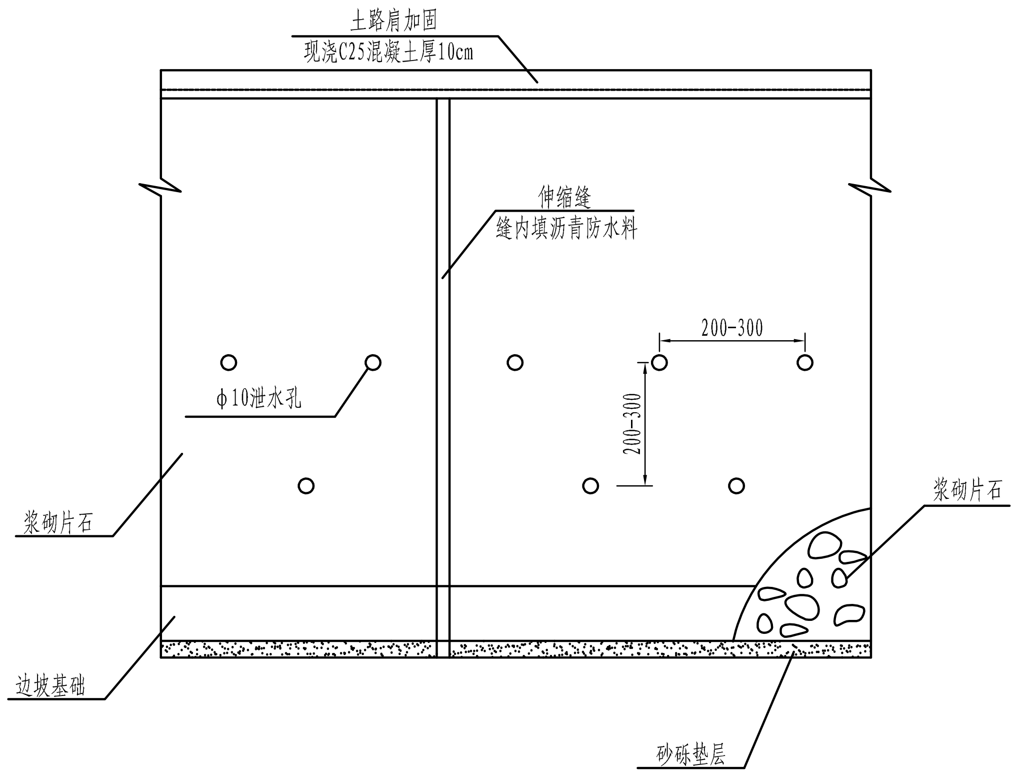
1.本图尺寸以厘米计;

2.土体开挖时不得损伤桥梁结构。

开挖坡面防护横断面图



开挖坡面防护立面图



边坡防护工程数量表

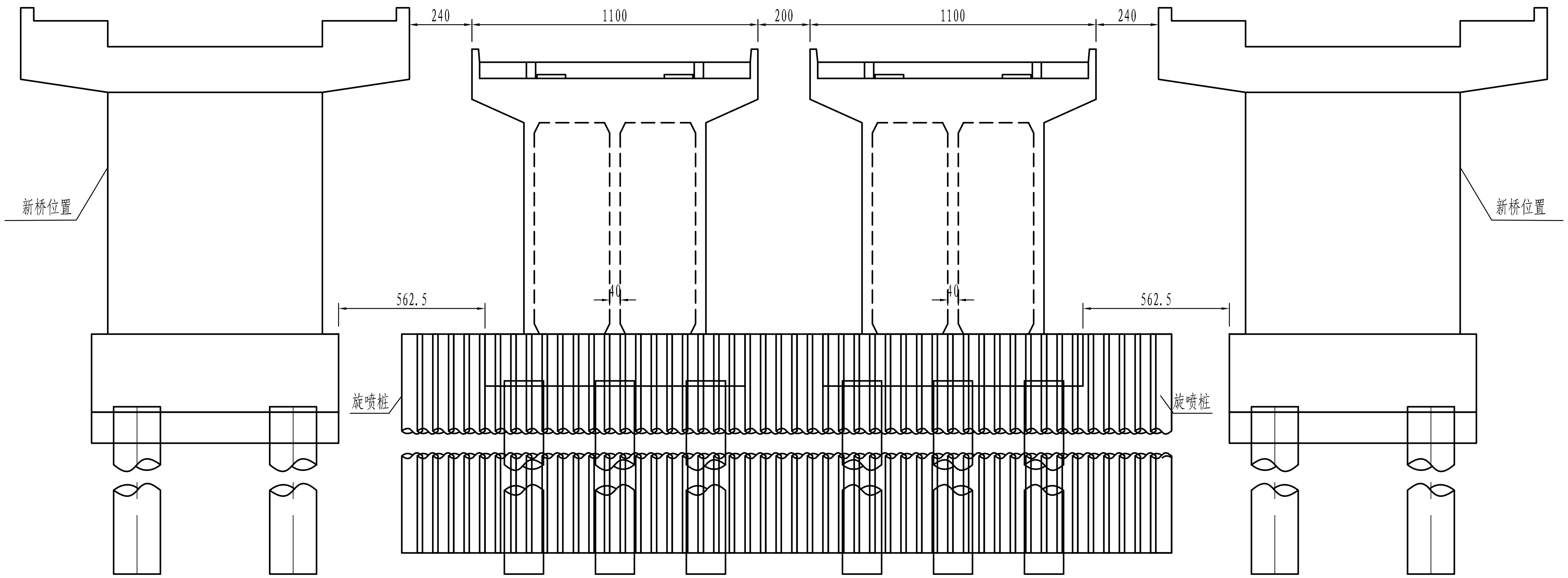
项目 \ 材料	浆砌片石（m^3）	砂砾垫层（m^3）	挖基土方（m^3）	其他材料
护坡（m^3）	70.63	39.68	110.31	缝内填沥青防水料 0.34m^3
基础（m^3）	43.64	7.94	51.58	
土路肩加固（m^3）	15.87	9.52	25.39	
合计（m^3）	130.14	57.14	187.28	

注：

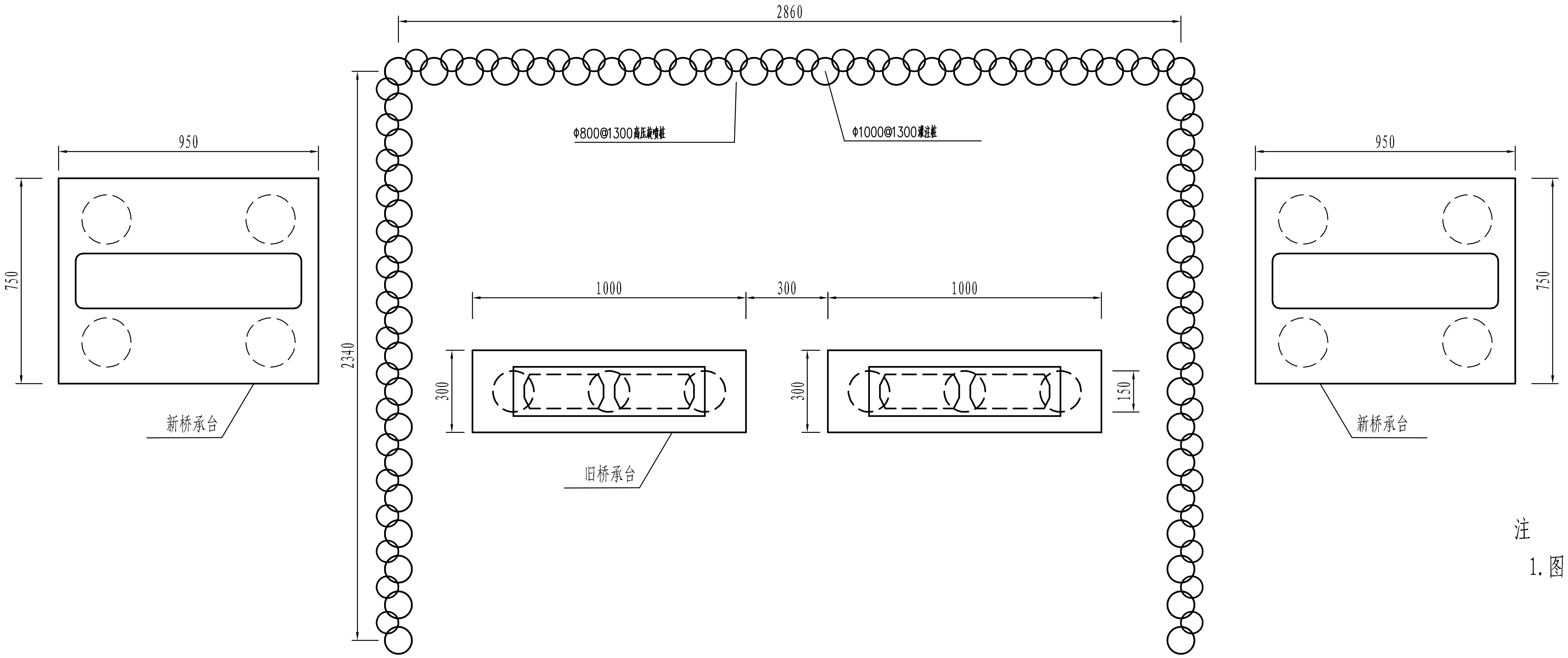
1、本图尺寸均以厘米计；

2、每隔10-15m设置2cm宽伸缩缝，在土基土质变化处还应设置沉降缝。

新、旧桥横桥向平面位置图



新、旧桥横桥向俯视图

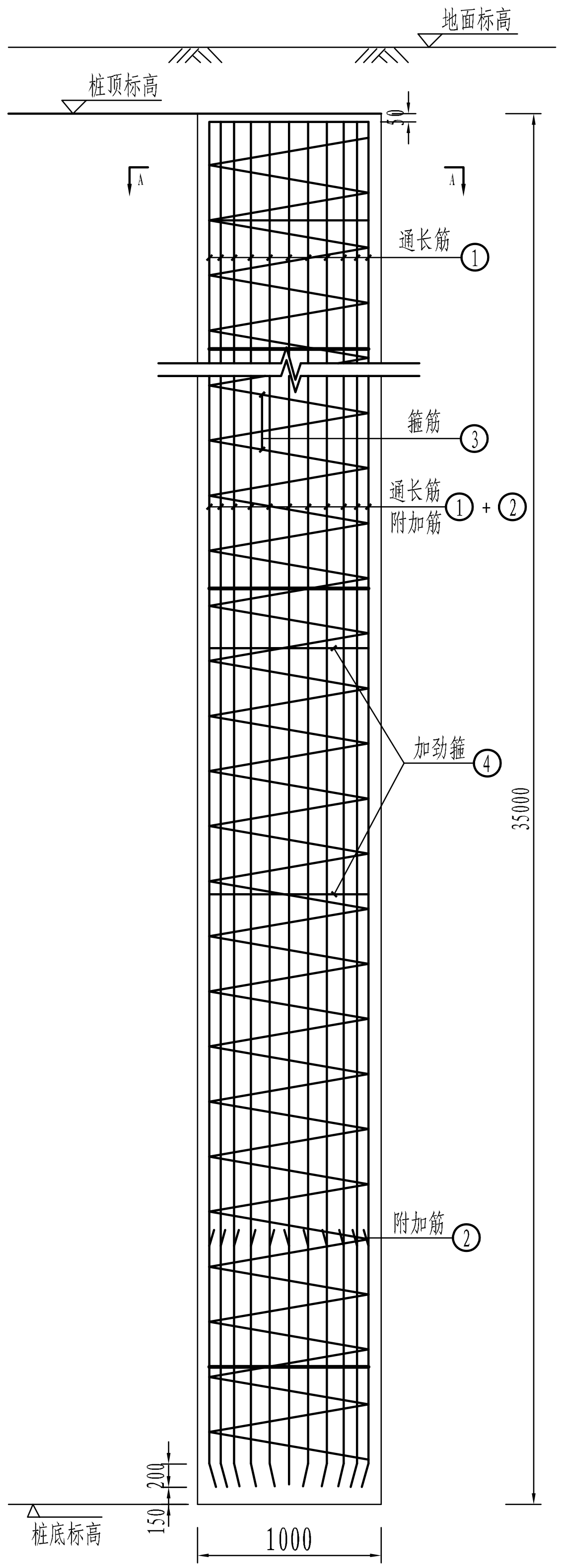


注

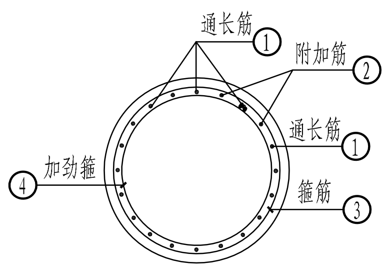
1.图中尺寸均以cm计。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	旋喷桩设置	设计		复核		审核		图号	ST-05	日期	2022.07

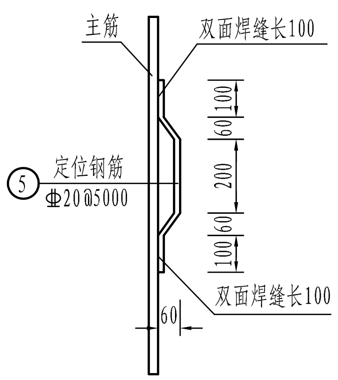
二序桩配筋图

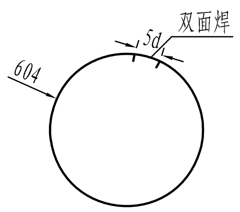


A-A

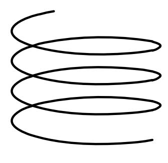


定位钢筋大样图



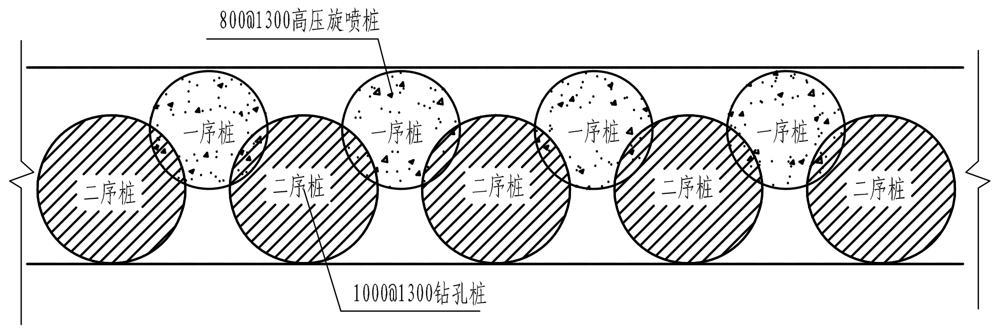


④



③

旋喷桩截面布置示意



桩材料表(每根)

桩型	钢筋编号	钢筋描述	型 式	钢筋配置	直径	根数	长度 (mm)	总长 (m)	重量 (kg)	桩数量 (根)	合计 (kg)
二序桩	①	通长筋	400 34600 206	10Φ28	Φ28	14	35206	492.9	2385.56	59	225273.8
	②	附加筋	29600	10Φ28	Φ28	10	29600	296.00	1432.64		
	③	箍筋	见大样	Φ16@150	Φ16	230	2776	476.56	1015.18		59895.62
	④	加劲箍	见大样	Φ20@2000	Φ20	18	1997	35.95	88.79		7564.39
	⑤	定位钢筋	100 85 200 85 100 45°	4Φ20@5000	Φ20	28	570	15.96	39.42		
	C35混凝土(m^3):27.637,共59根桩，合计混凝土1630.6m^3										
一序桩	水泥浆(m^3):17.687,共58根桩，合计水泥浆1025.9m^3										

注:

1.本图尺寸以mm计.

2.本图为钻孔桩+高压旋喷桩大样，一序桩为高压旋喷桩，二序桩为钻孔桩，桩长设置相同。

3.施工原理为：完成两个二序桩，紧跟着施工二序桩中间的一序桩。。

5.图中定位钢筋按竖向5m一个，在水平向钢筋笼四周设置四个，使主筋保护层厚度不小于70mm。

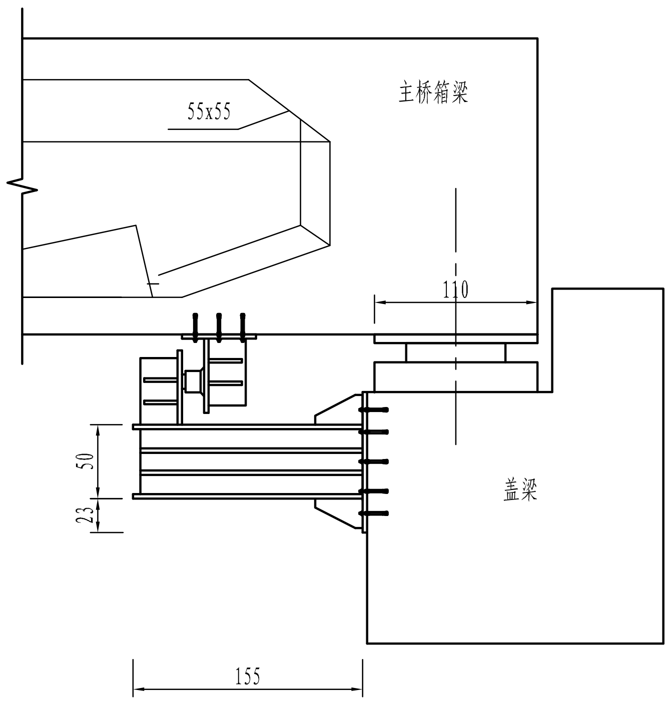
6.桩钢筋笼主筋沿周边均匀布置，主筋宜采用搭接焊，且同一断面接头面积不应大于50%，并应间隔错开。

7.图中钢筋应按实放样,钢筋表仅供参考;

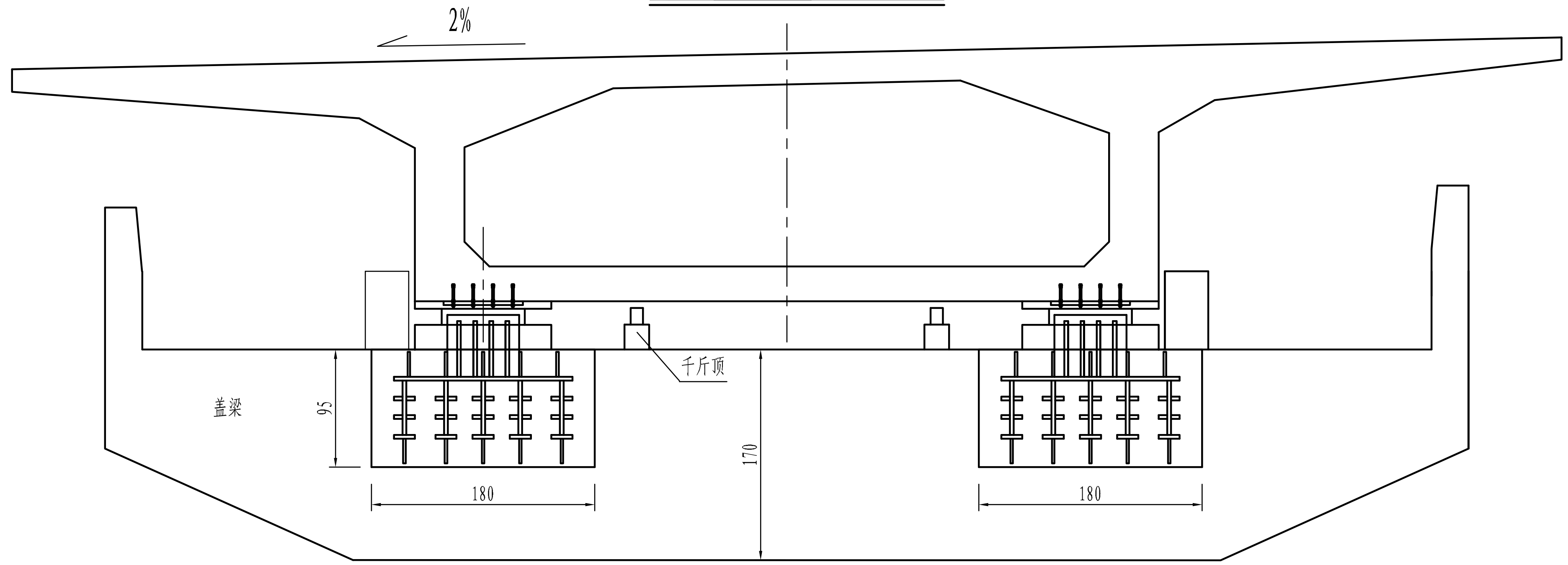
8.本图未详之处,请参见相关设计图及规范规定办理.

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	旋喷桩设置	设计		复核		审核		图号	ST-05	日期	2022.07

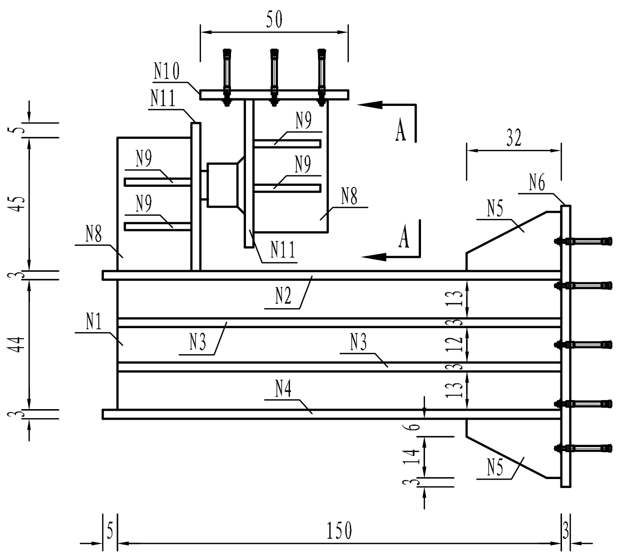
A-A



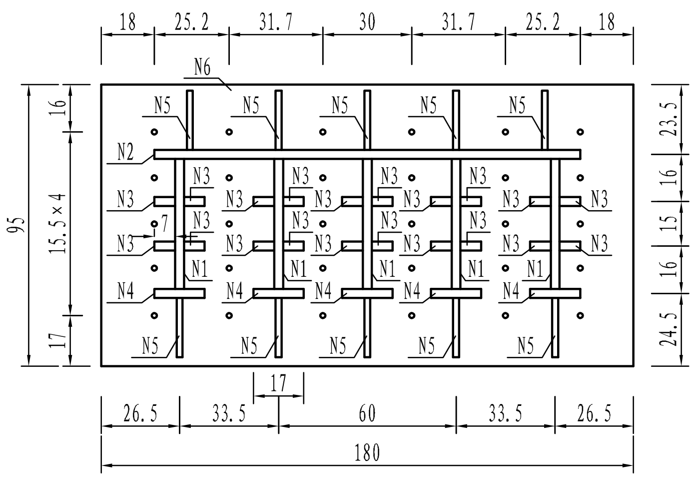
支撑纠偏装置平面图



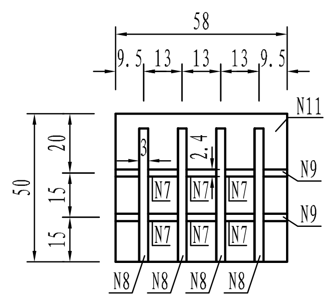
支撑纠偏装置侧面图



支撑纠偏装置螺栓布置



A-A



注

1.本图尺寸以cm计，适用于左右幅8号墩。

2.本图相邻钢板间焊接均要求采用熔透韩。

3. 锚栓采用M16模扩底锚栓，M16锚栓植入原结构有效深度为16cm,锚固钢板上的钻孔位置需与现场原结构钻孔放

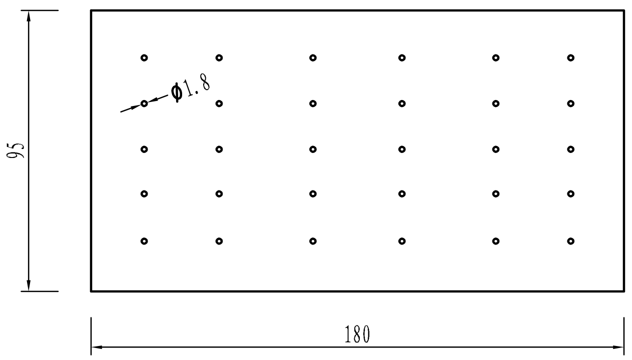
4.混凝土结构钻孔前，应探测内部钢筋、钢束位置，钻孔时应适当调整孔位避免损伤原结构钢筋、钢束,如有问题应及时与设计确认后方可实施。

6.设计图中竖向千斤顶布置仅为示意,施工单位可进行自主设计，具体实施方案需报监理及设计单位进行认可后方可实施;

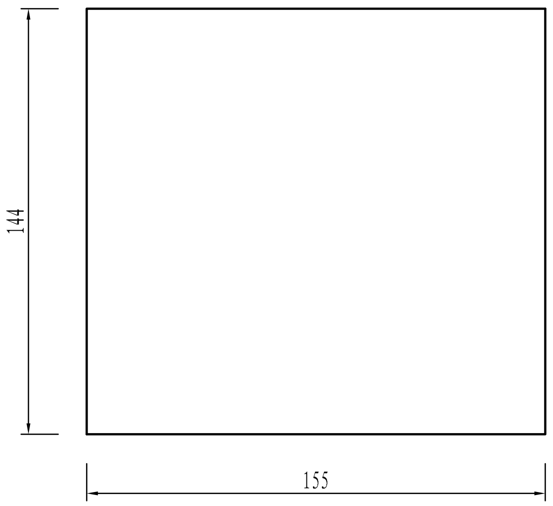
5.施工流程：a、安装钢牛腿；b、竖向千斤顶顶升；c、拆除过渡墩支座；d、换装临时支座；e、纵向纠偏作业；

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	主桥侧支撑纠偏装置	设计		复核		审核		图号	ST-06	日期	2022.07		

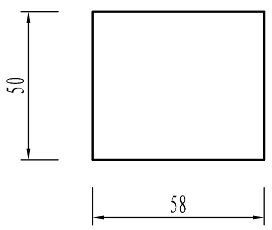
N6大样图



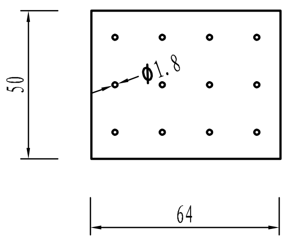
N2大样图



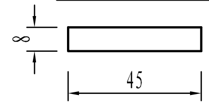
N11大样图



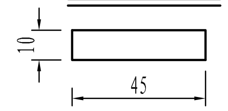
N10大样图



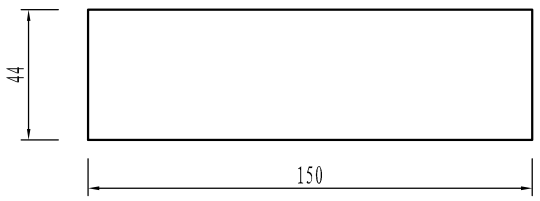
N9大样图



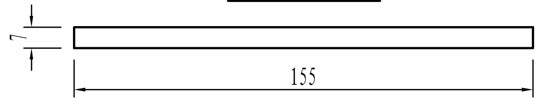
N7大样图



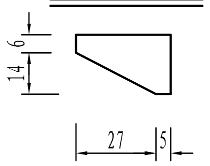
N1大样图



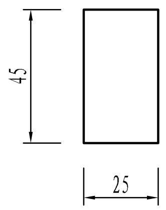
N3大样图



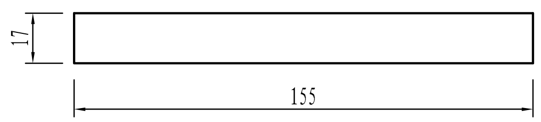
N5大样图



N8大样图



N4大样图



材料数量表

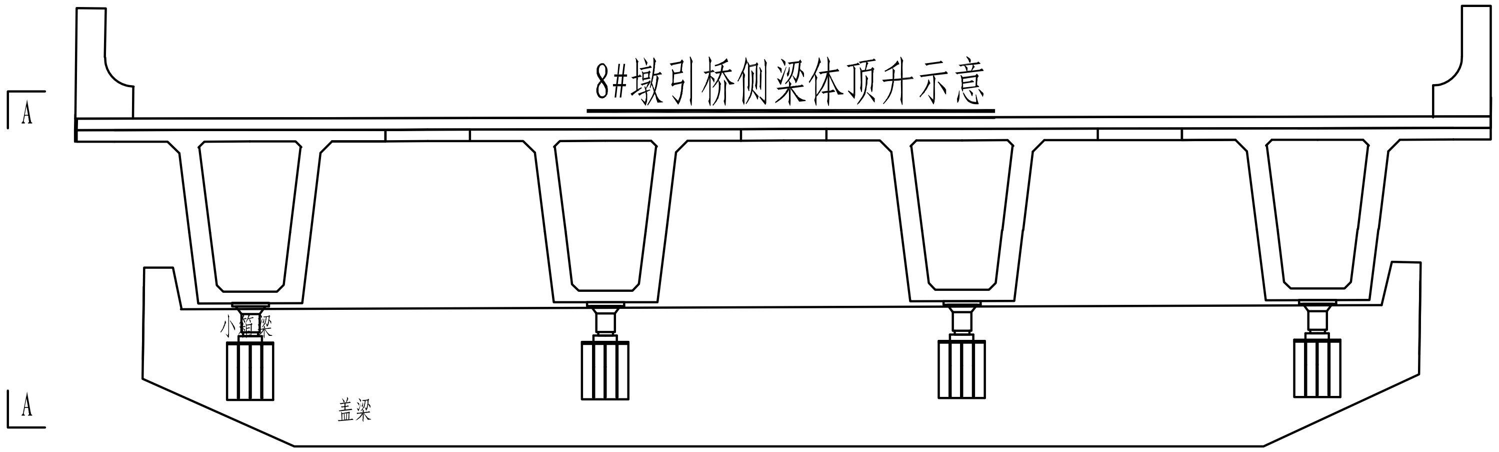
编号	规格（mm）	数量	材料	单重（kg）	总重（kg）	全桥合计（共4套）
N1	1500×440×30	5	Q355B	155.4	777.2	3108.6
N2	1550×1440×30	1	Q355B	525.6	525.6	2102.5
N3	1550×70×30	20	Q355B	25.6	511.0	2044.1
N4	1550×170×30	5	Q355B	62.1	310.3	1241.1
N5	见大样，t=20mm	10	Q355B	6.5	65.3	261.2
N6	1800×950×30	1	Q355B	402.7	402.7	1610.8
N7	450×100×24	12	Q355B	8.5	101.7	406.9
N8	450×250×30	8	Q355B	26.5	212.0	847.8
N9	450×80×24	8	Q355B	6.8	54.3	217.0
N10	640×500×30	1	Q355B	75.4	75.4	301.4
N11	580×500×30	2	Q355B	68.3	136.6	546.4
M16重型自扩底后锚固械锚栓（套）					42	168
φ18钻孔（个）					42	168
焊缝1.5%（kg）					47.6	190.3
粘钢胶（m2）					2.03	8.12
500mm×350mm×47mm四氟板滑块（个）						4

注

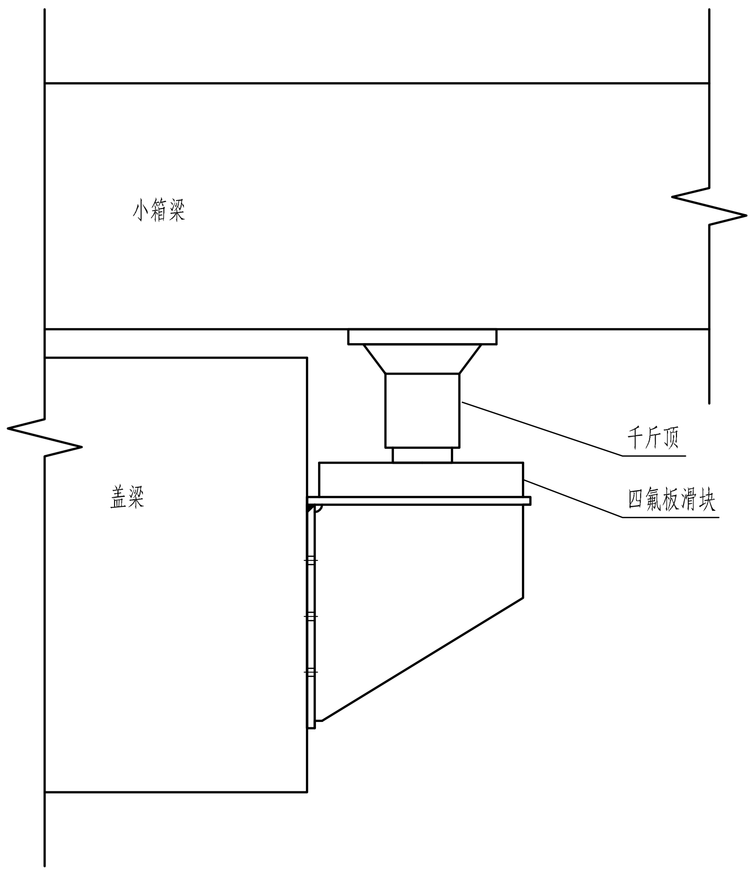
1. 本图标注尺寸以cm计，适用于左右幅8号墩。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	主桥侧支撑纠偏装置	设计		复核		审核		图号	ST-06	日期	2022.07

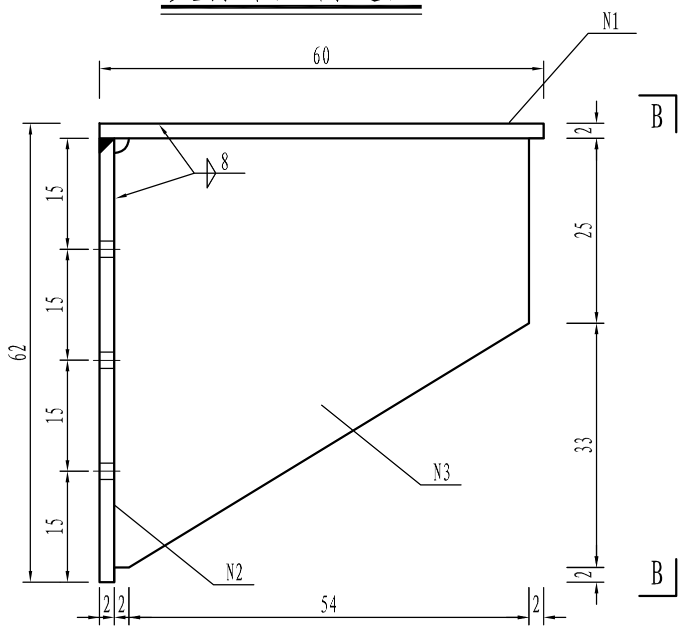
8#墩引桥侧梁体顶升示意



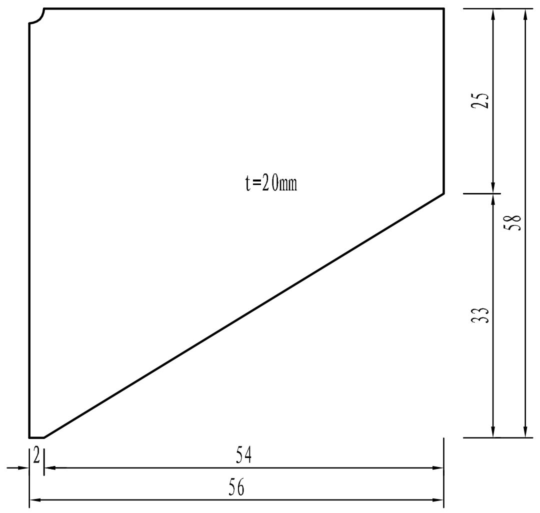
A-A



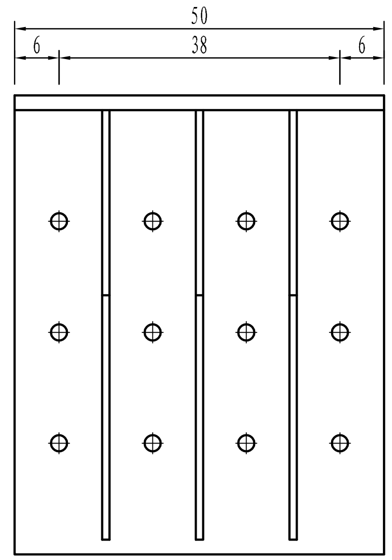
支撑牛腿构造图



N3大样图



B-B



材料数量表

编号	规格（mm）	数量	材料	单重（kg）	总重（kg）	全桥合计（共4套）
N1	600×500×20	1	Q355B	47.1	47.1	376.8
N2	620×500×20	1	Q355B	48.7	48.7	389.4
N3	见大样，t=20mm	3	Q355B	36.5	109.5	875.7
M16重型自扩底后锚固械锚栓（套）					12	96
ϕ18钻孔（个）					12	96
焊缝1.5%（kg）					3.1	24.6
粘钢胶（m2）					0.31	2.48
500mm×350mm×47mm四氟板滑块（个）						8

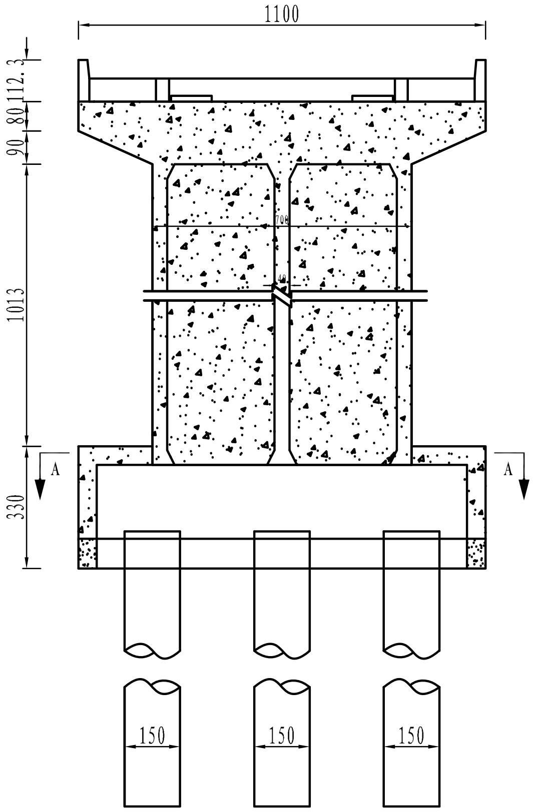
注：

1.本图尺寸除特别说明外以cm计。

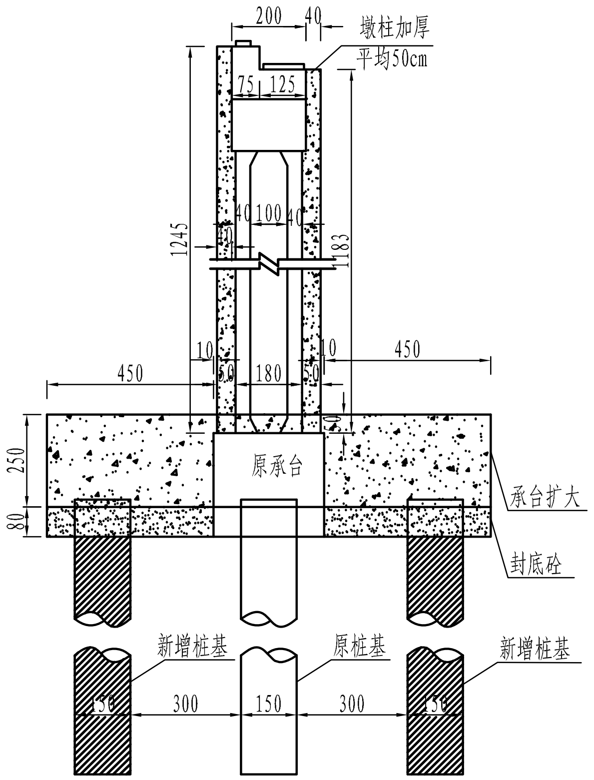
2.纵向纠偏前安装完毕，加固过程中，竖向千斤顶一直处于顶升状态，上方四氟板滑块能够沿钢板面纵向滑动。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	引桥侧梁体顶升	设计		复核		审核		图号	ST-07	日期	2022.07

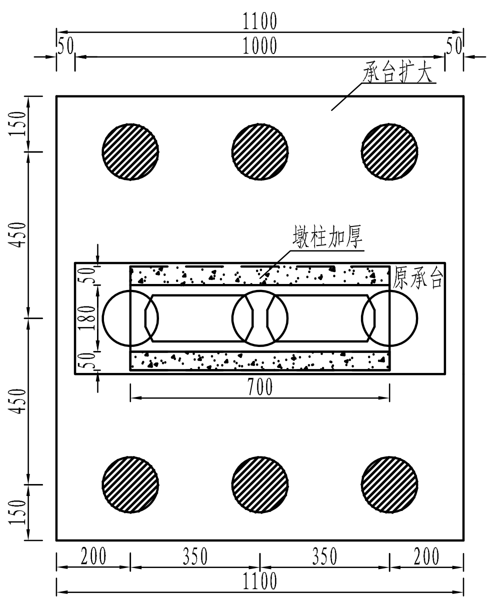
桥墩加固立面布置图



桥墩加固侧面布置图



A-A



注:

1.本图尺寸以cm计。

2.基础加固流程如下,务必按本流程进行施工:

(1).根据桥下施工净空情况决定柱基施工是否需要开挖及开挖深度,施工时开挖深度应尽可能控制在最小。

(2).施工新建桩基,钢护筒跟进施工,钢护筒需穿越淤泥层,(钢护筒内径=设计桩径+ 10cm,壁厚8mm)计量;施I采用回旋钻,不得采用冲孔施工,避免新桩基施工对原结构扰动。

(3).钻孔完成后应尽快放置钢筋笼浇筑桩基混凝土,为保证原桥桩基安全,新桩基应钻完一根桩浇筑一根。

(4).待所有柱基施工完成之后,开挖或填土至新建承台底设计标高,平整压实并在新增承台底面设15cm厚C20封底混凝土;保证新建承台与原结构混凝土连接的可靠性,须严格控制承台混凝土凝固过程中相对沉降,要求如下:A.则浇筑前必须夯实至密实度不小于95%.B.承台混凝土凝固过程中不得受到扰动。

(5).按墩柱植筋顺序对原桥墩与新建承台连接部分进行植筋和表面处理;承台钢筋布设应在不影响植筋操作的前提下尽可能同时进行。混凝土标号:桩基、承台C40。

(6).浇筑承台混凝土,待混凝土强度达到设计值90%且龄期不小于7天后拆除模板进行基坑回填。

3.施工过程中,须对原结构变位进行连续监测,如发现异常,应立刻停止施工,通知相关单位同时采取有效措施保证结构安全。

4.新建桩基采用钻(挖)孔灌注桩,按嵌岩柱设计,浇筑桩基砼前桩基沉渣厚度要求不大于5cm.

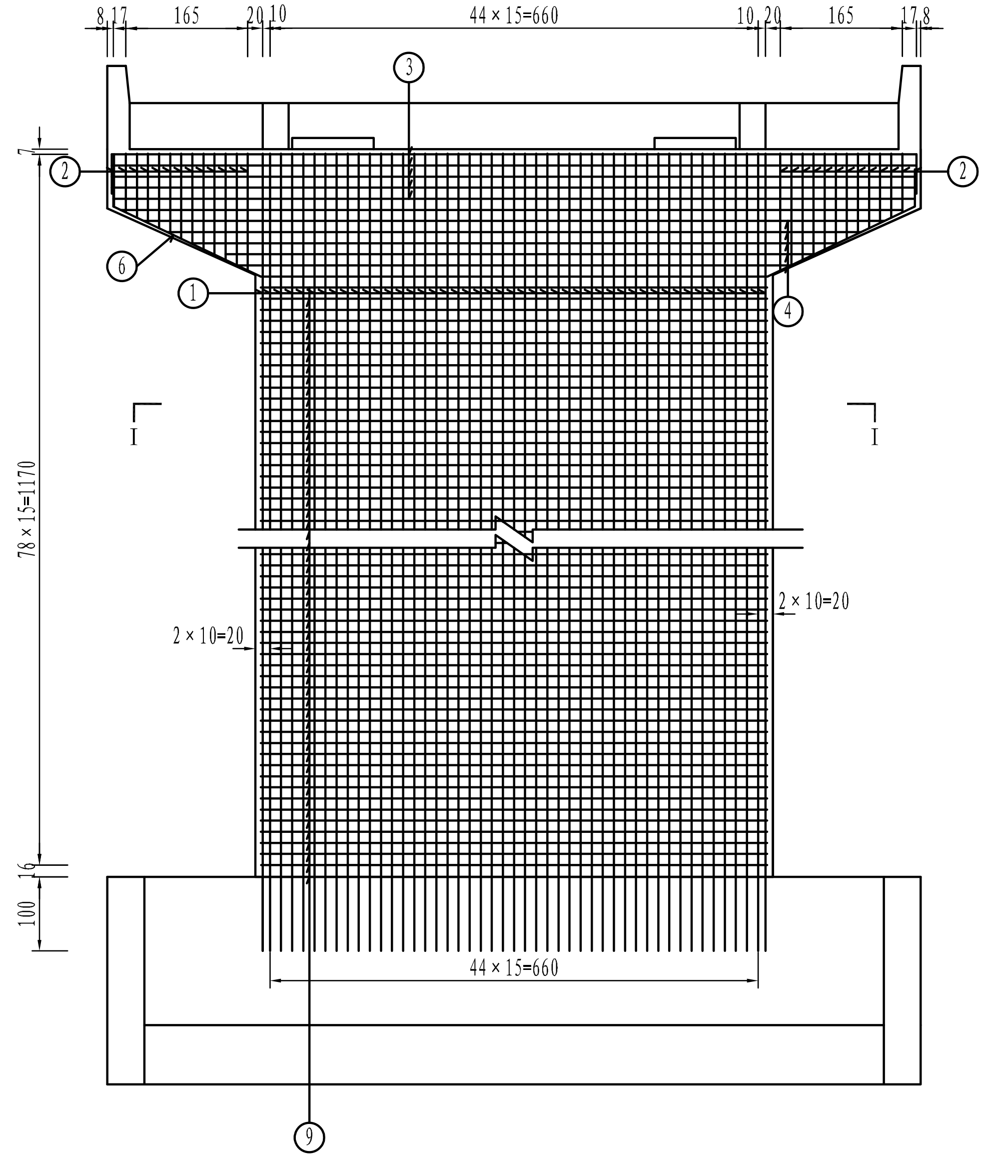
5.施工前应复测,核对原结构尺寸及高程,如与本图有出入应及时通知设计单位进行处理。

6.建议施工前逐桩钻探以确定柱底标高,如发现地质情况与设计参考钻孔出入较大时,应及时与设计单位联系。

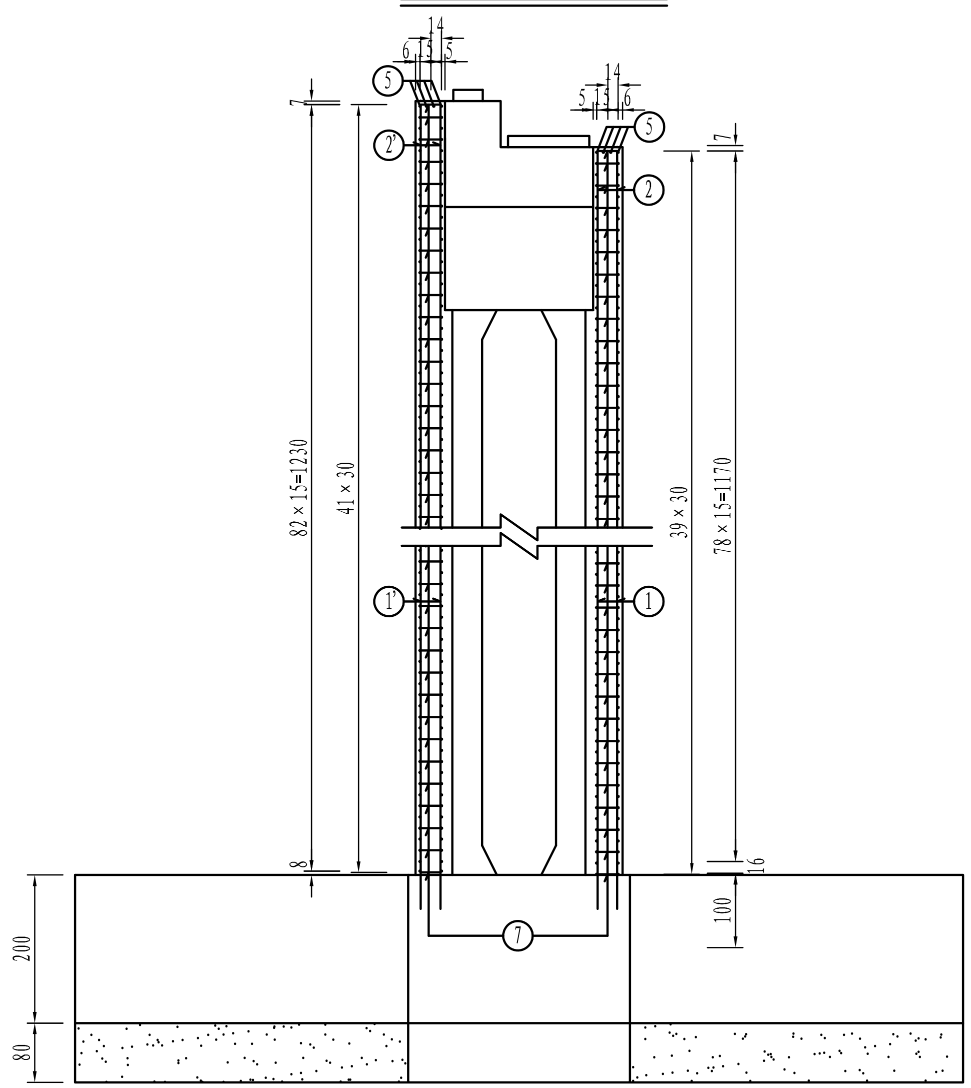
7.本图适用于左右幅8号墩。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	墩身增大截面	设计		复核		审核		图号	ST-08	日期	2022.07

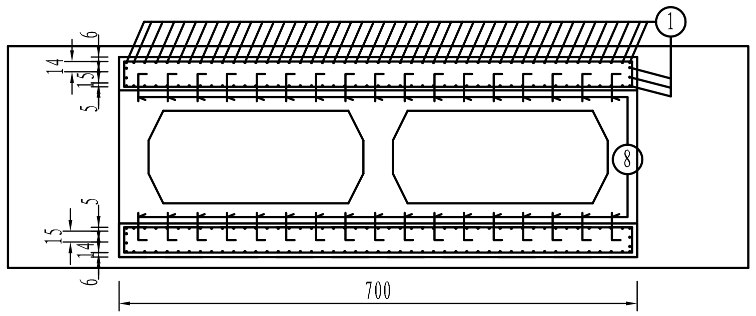
立面钢筋布置图



侧面钢筋布置图



I—I剖面图



注:

(1) 本图尺寸以厘米计;

(2) 本图适用于8#桥墩增厚加固;

(3) 施工时若钢筋相互干扰，可适当调整钢筋间距，但不得任意截断钢筋;

(4) N1钢筋长度可根据现场墩高实际进行适当调整，以满足构造要求，N1伸入原承台部分按植筋植入;

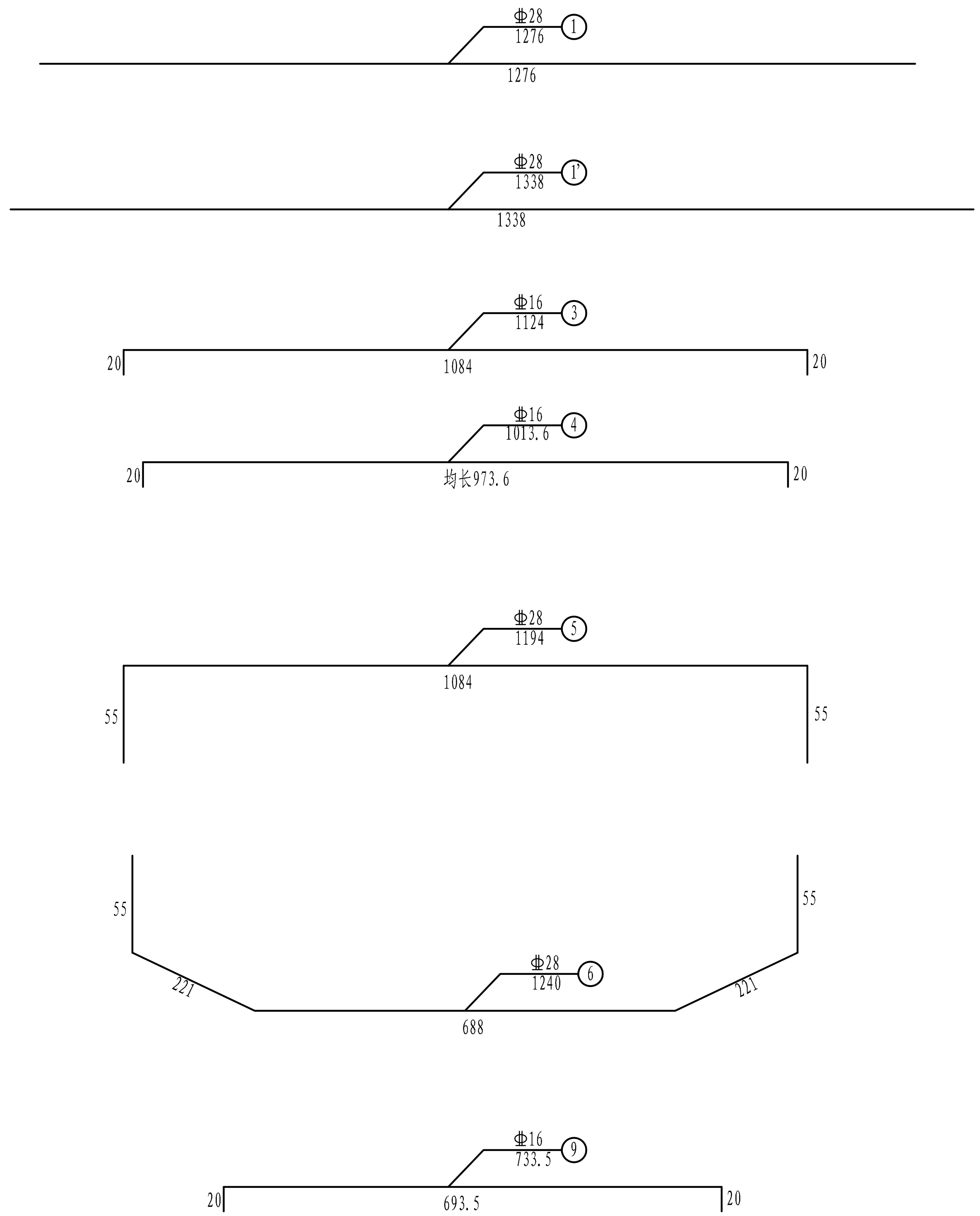
(5) 植筋施工有关工艺按照相关规范进行;

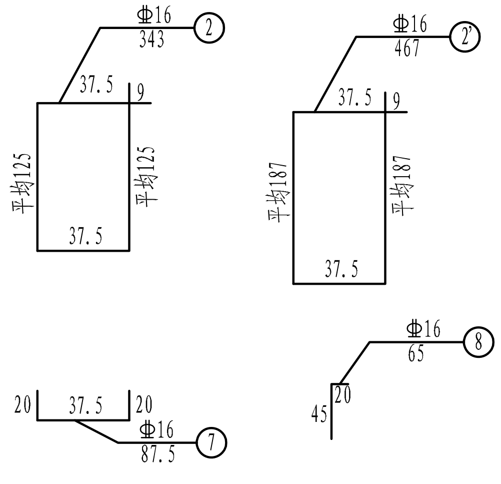
(6) N8钢筋沿墩高方向40cm间距梅花形布置，植筋深度为20cm;

(7) 新老混凝土结合处，应将原混凝土表面凿成凹凸差不小于6mm的粗糙面。

(8) 钢筋需要接长时，应按照相关规范进行搭接。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	墩身增大截面	设计		复核		审核		图号	ST-08	日期	2022.07



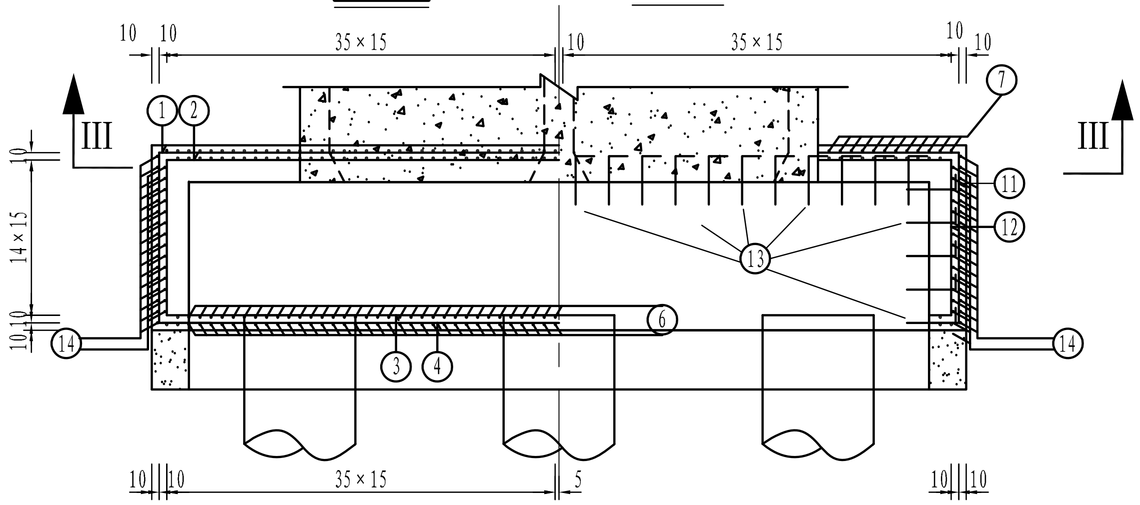


一个桥墩维修工程数量表

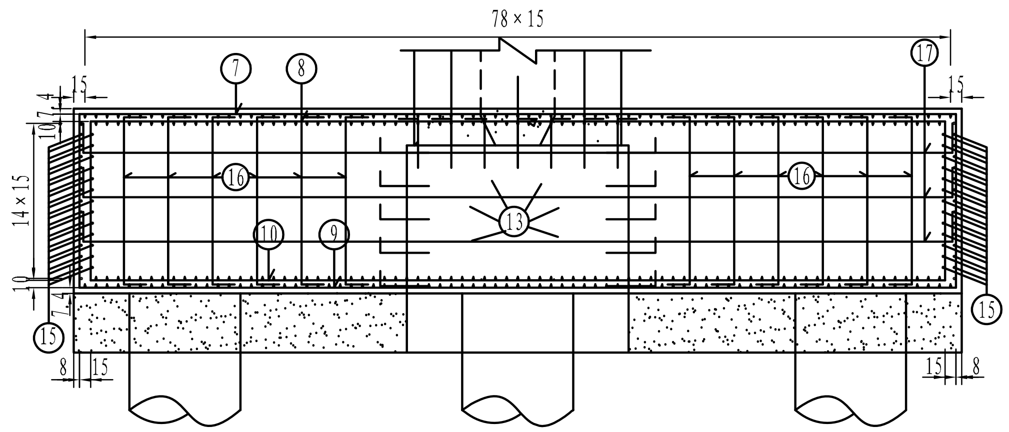
编号	直径 (mm)	单根长(cm)	根数	共长 (m)	单位重 (kg/m)	共重 (kg)	合计 (kg)	
1	Φ28	1276	94	1199.44	4.84	5805.29	Φ28	12835.11
2	Φ16	343	26	89.18	1.59	141.80		
1'	Φ28	1338	94	1257.72	4.84	6087.37	Φ16	6301.13
2'	Φ16	467	26	121.42	1.59	193.06		
3	Φ16	1124	20	224.8	1.59	357.44	C40混凝土(m^3)	85.382
4	Φ16	1013.26	20	202.652	1.59	322.22		
5	Φ28	1194	8	95.52	4.84	462.32	16植筋（深度20cm）根数	416
6	Φ28	1240	8	99.2	4.84	480.13		
7	Φ16	87.5	164	143.5	1.59	228.17	28植筋（深度100cm）根数	188
8	Φ16	65	832	540.8	1.59	859.88		
9	Φ16	733.5	360	2640.6	1.59	4198.56		

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	墩身增大截面	设计		复核		审核		图号	ST-08	日期	2022.07

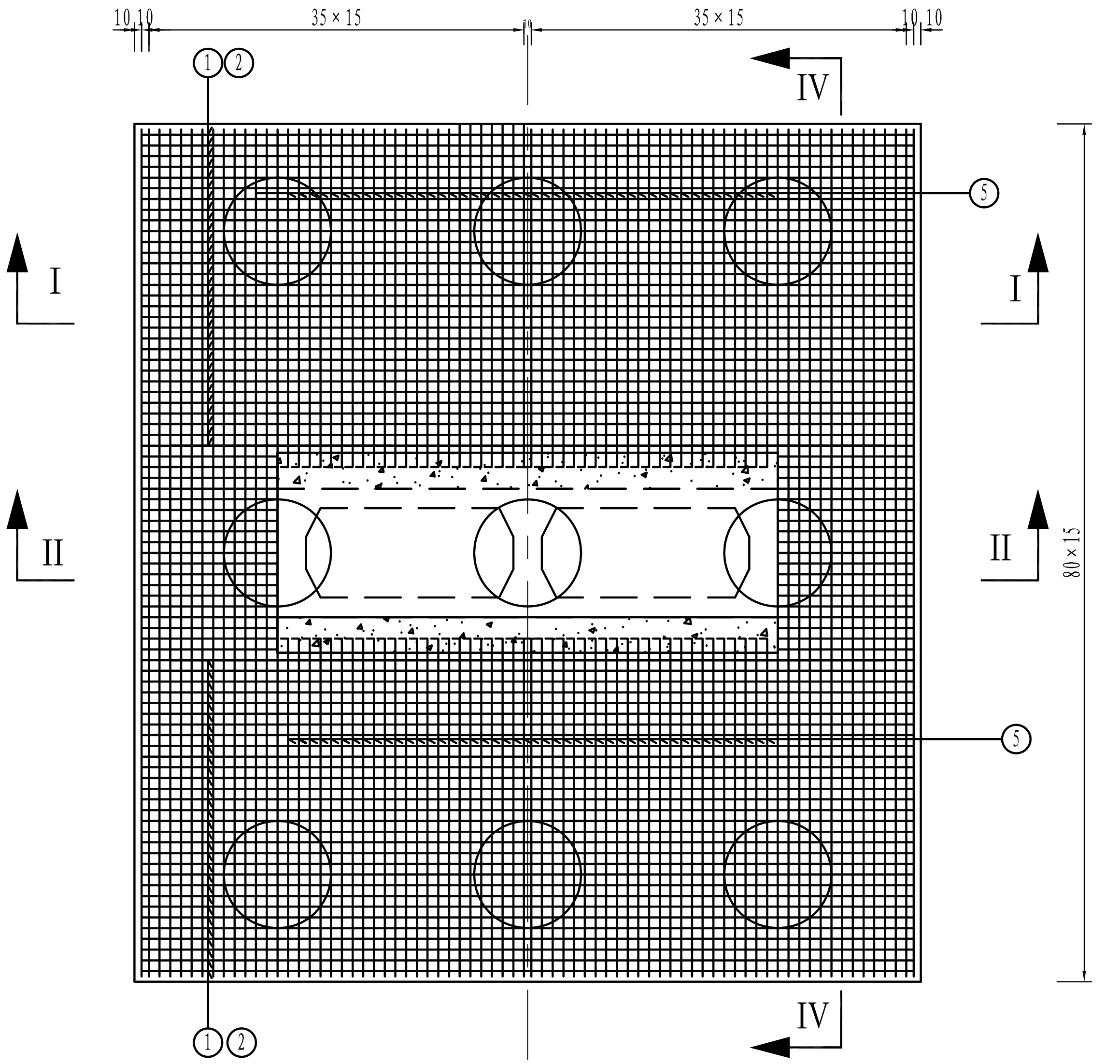
I－I　II－II



IV-IV



III-III



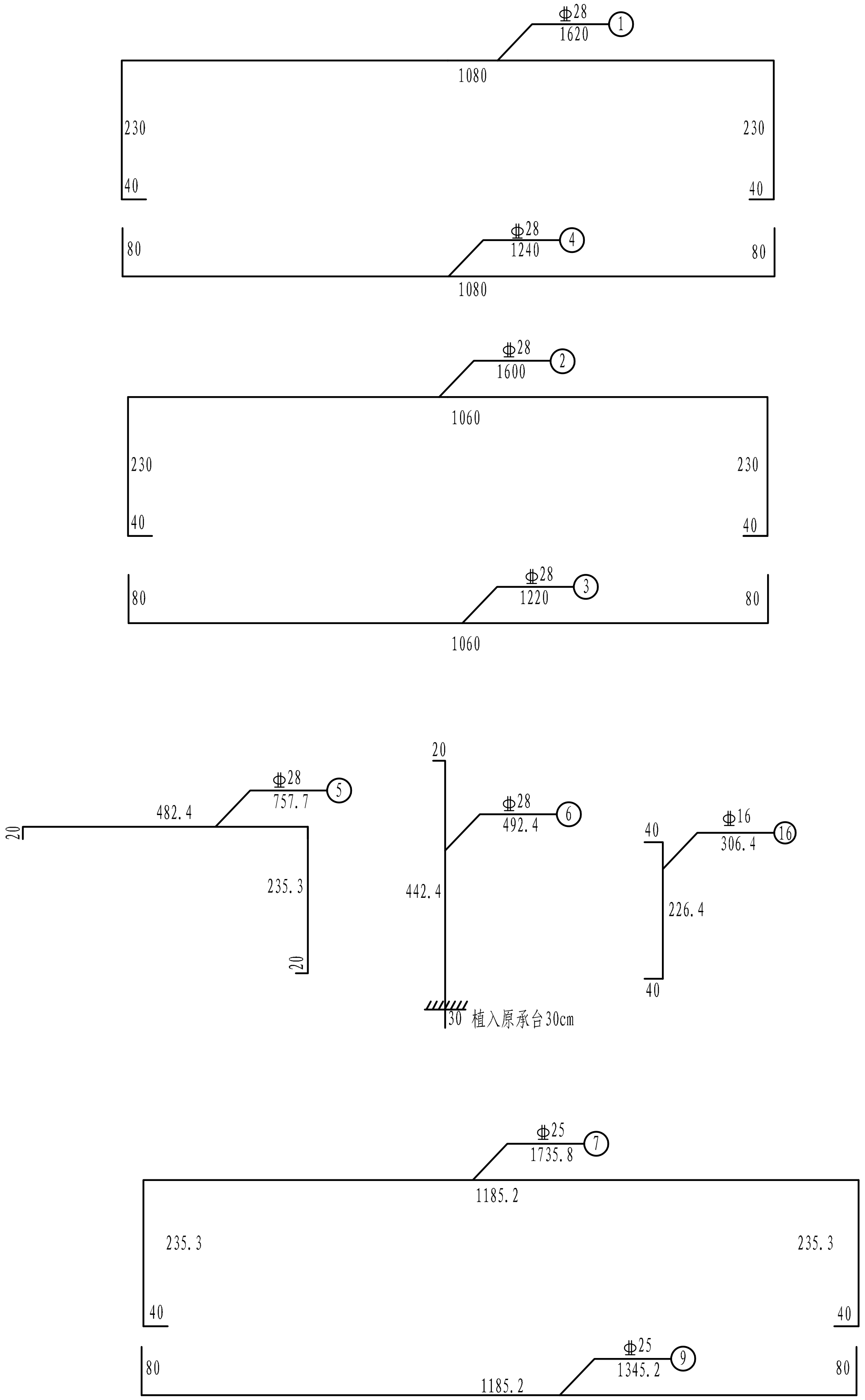
一个承台维修工程数量表

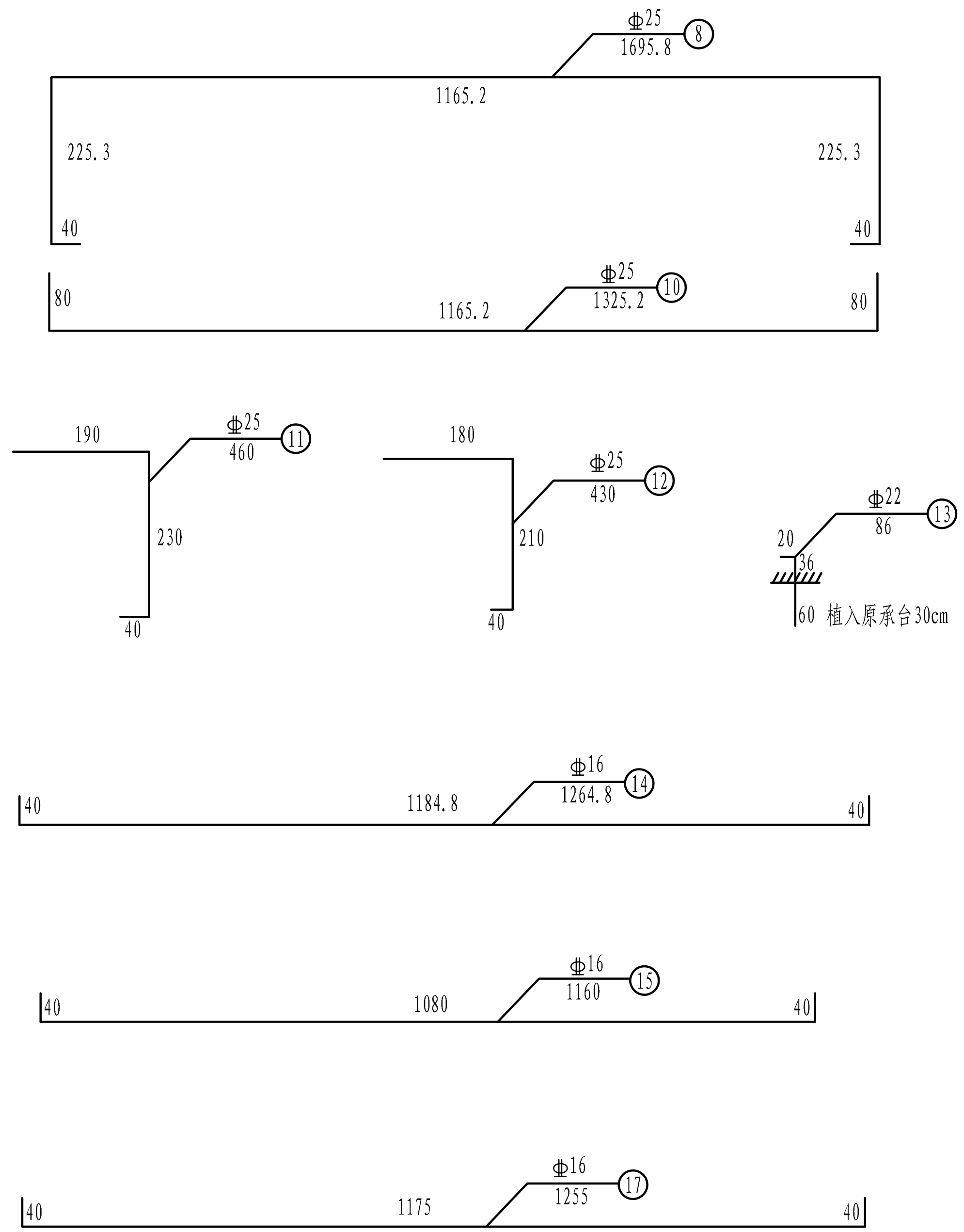
编号	直径（mm）	单根长(cm)	根数	共长(m)	单位重（kg/m）	共重（kg）	合计（kg）	
1	Φ28	1620	62	1004.40	4.84	4861.30	28	28177.43
2	Φ28	1600	62	992.00	4.84	4801.28		
3	Φ28	1220	62	756.40	4.84	3660.98	25	6339.97
4	Φ28	1240	62	768.80	4.84	3720.99		
5	Φ28	757.7	184	1394.17	4.84	6747.77	16	5112.28
6	Φ28	492.4	184	906.02	4.84	4385.12		
7	Φ25	1735.8	24	416.59	3.86	1608.05	22	1832.11
8	Φ25	1695.8	24	406.99	3.86	1570.99		
9	Φ25	1345.2	24	322.85	3.86	1246.19	C40混凝土（m³）	253.92
10	Φ25	1325.2	24	318.05	3.86	1227.67		
11	Φ25	460	20	92.00	3.86	355.12	C20封底混凝土（m³）	80.64
12	Φ25	430	20	86.00	3.86	331.96		
13	Φ22	116	530	614.8	2.98	1832.11	16植筋（深度30cm）根数	530
14	Φ16	1264.8	60	758.88	1.58	1199.03		
15	Φ16	1160	60	696.00	1.58	1099.68	28植筋（深度30cm）根数	184
16	Φ16	306.4	360	1103.04	1.58	1742.80		
17	Φ16	1255	54	677.70	1.58	1070.77	基础开挖	349.16

注:

1、本图尺寸均以厘米计;
2、施工时注意预埋墩身修复钢筋;
3、施工时应复核现场尺寸及本图钢筋尺寸，发现问题及时与设计方沟通;
4、钢筋需要接长时采用焊接方式，焊接技术要求应符合相关规范;
5、新老混凝土结合处，应将原混凝土表面凿成凹凸差不小于6mm的粗糙面。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	增大承台尺寸	设计		复核		审核		图号	ST-09	日期	2022.07





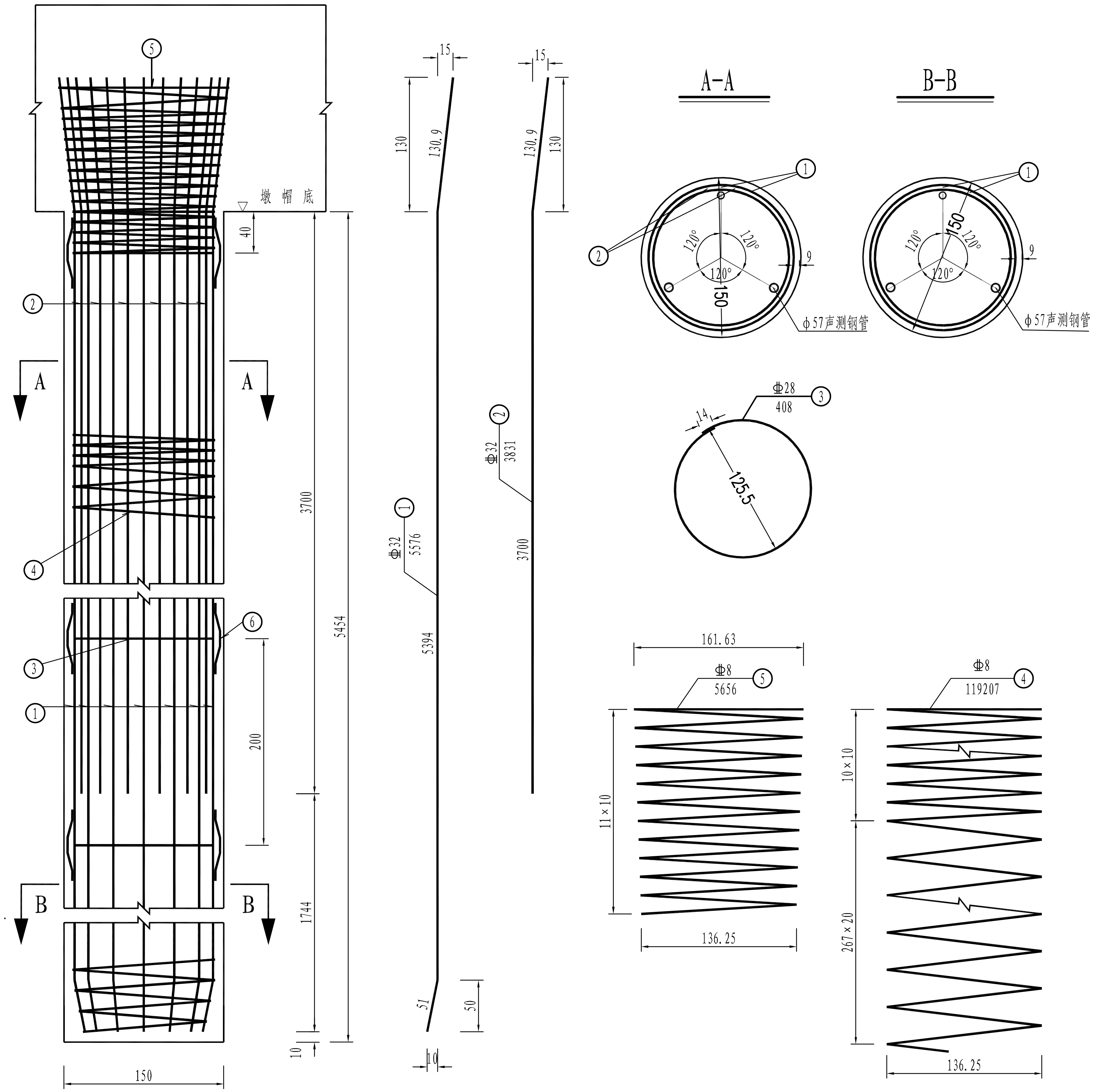
注:

1、本图尺寸均以厘米计;

2、N13钢筋沿承台高方向45cm间距梅花形布置，植筋深度为60cm；；

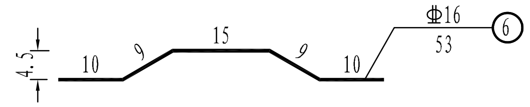
3、施工时若钢筋相互干扰，可适当调整钢筋间距，但不得任意截断钢筋。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	增大承台尺寸	设计		复核		审核		图号	ST-09	日期	2022.07



一排桩基材料数量表

编号	直径 (mm)	单根长度 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	总重 (kg)
1	Φ32	5576	48	2676.48	16888.59	28491.9
2	Φ32	3831	48	1838.88	11603.33	
3	Φ28	408	84	342.72	1655.34	1655.3
4	Φ8	119207	3	3576.21	1412.60	1479.6
5	Φ8	5656	3	169.68	67.02	
6	Φ16	53	336	178.08	281.37	281.4
25号混凝土(m^3)					289.14	

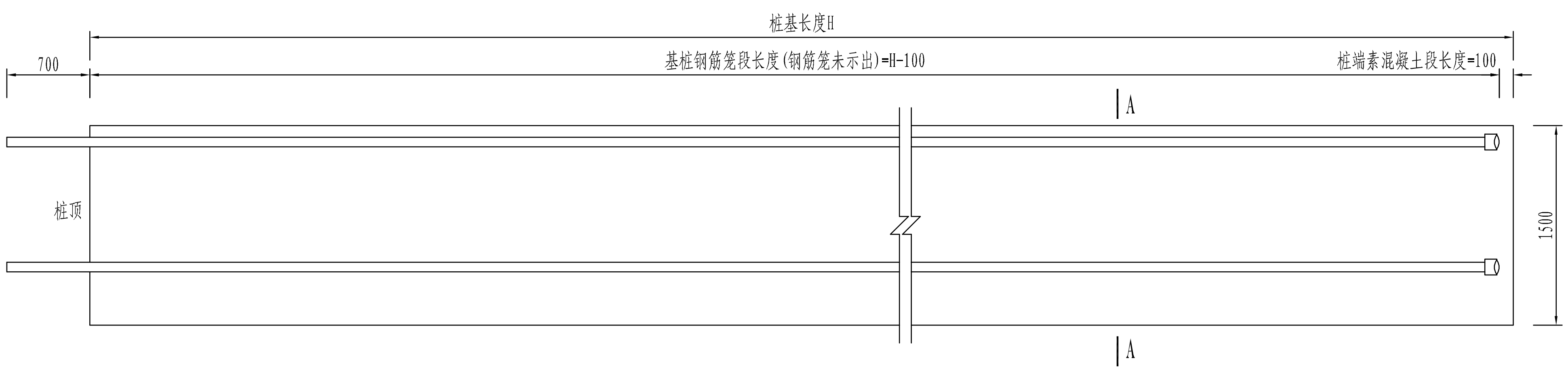


注:

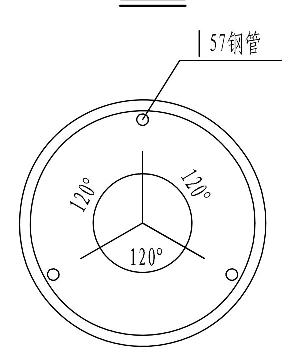
1、图中尺寸除钢筋直径以毫米计，余均以厘米为单位。
2、桩基加强筋N3设在主筋内侧，每2米一道，自身搭接部分采用双面焊。
3、桩基钢筋笼分段插入桩孔中，各段主筋须采用焊接，钢筋接头应按规范要求错开布置。
4、定位钢筋N6每隔2m设一组，每组4根均匀设于桩基加强筋N3四周。
5、施工时，若实际地质情况与本设计采用的质料不符，应变更基桩设计。
6、桩底、桩顶高程详见相应图纸。
7、每根桩设有3根声测管，声测管的布置、尺寸及数量见声测管布置图和数量表。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	增设桩基	设计		复核		审核		图号	ST-10	日期 2022.07

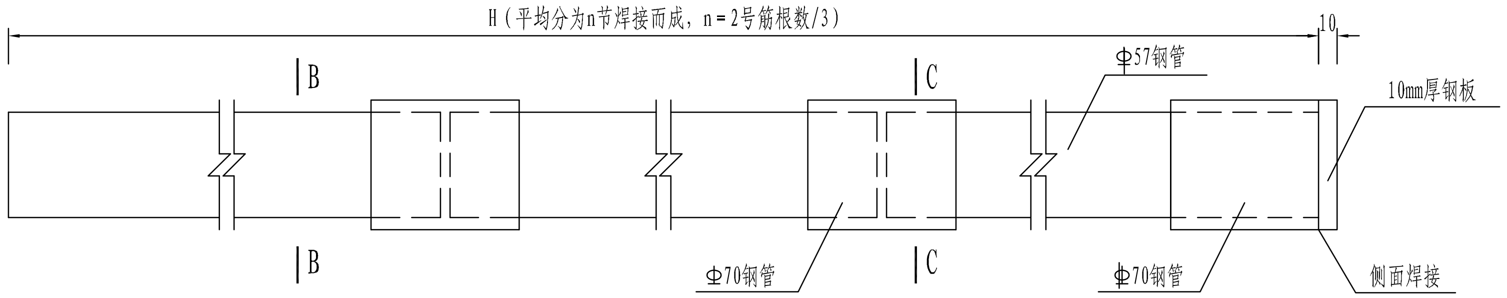
灌注桩内超声波检测管布置图



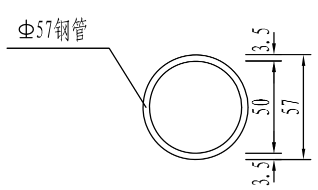
A-A



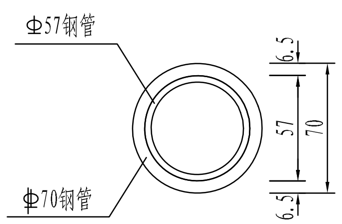
超声波检测管示意图



B-B



C-C



桥墩灌注桩超声波检测管材料数量表

编号	直径(mm)	单根长度(mm)	根数	共长(m)	共重(kg)	桥墩合计(kg)
1	80×10钢板	80	3	0.24	1.51	18.12
2	Φ70×6.5钢管	80	9	0.72	7.33	87.96
3	Φ57×3.5钢管	55240	3	165.72	765.27	9183.24

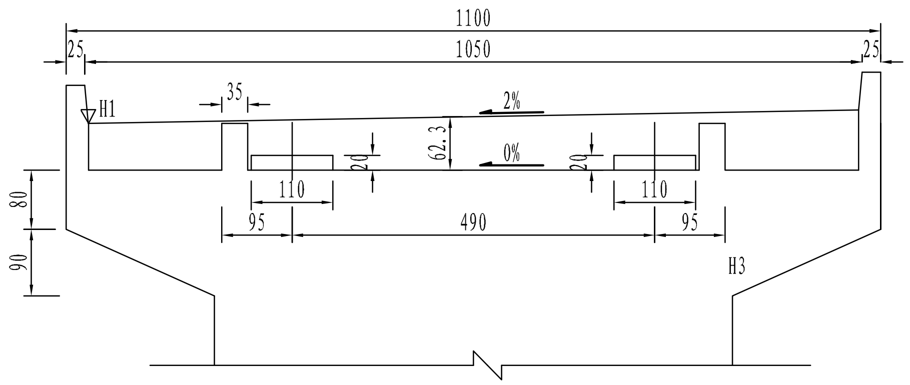
注：本次桥墩桩长54.54米，桥墩共需检测桩基12根。

注：

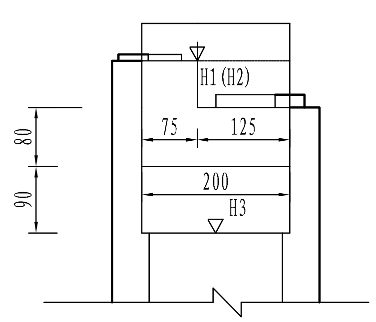
1、图中尺寸均以mm为单位。
2、施工时注意，检测管上端高出基桩顶面不小于50cm，其接头处用 70的套管螺纹连接，下端用钢板封底焊牢。
3、每根基桩内设3根 57钢管检测混凝土质量，3根检测管平面夹角为120度。
4、检测管接头及底部应密封好，顶部用木塞封闭，不可漏水，浇筑混凝土前，将其灌满水，上口加盖，防止砂浆、杂物堵塞管道。检测完毕后用C35水泥砂浆灌满。
5、桩基钢筋构造另见桩基设计详图，在桩基钢筋笼段，检测管由桩基加强筋绑扎固定在内侧。

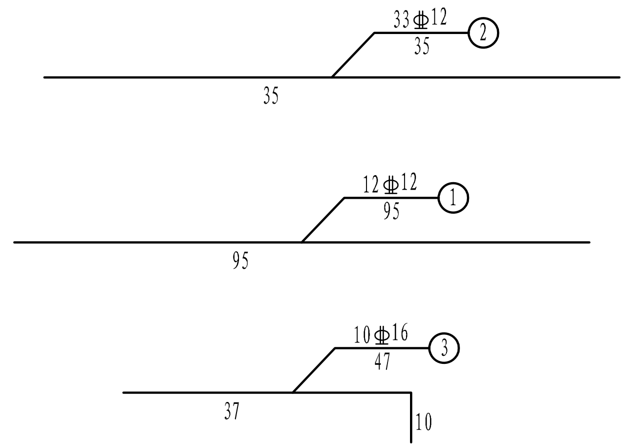
中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	灌注桩超声波检测管构造图	设计		复核		审核		图号	ST-11	日期	2022.07

立 面

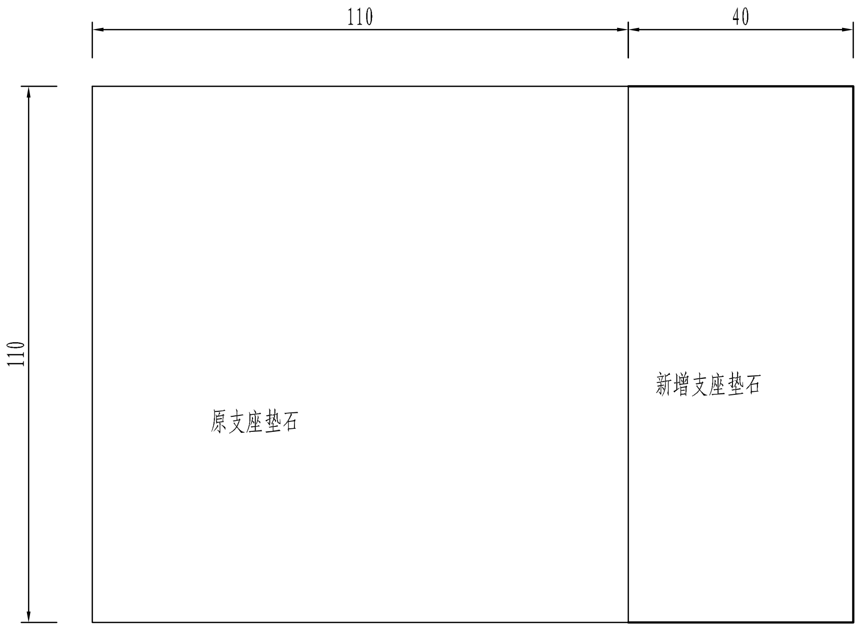


侧 面

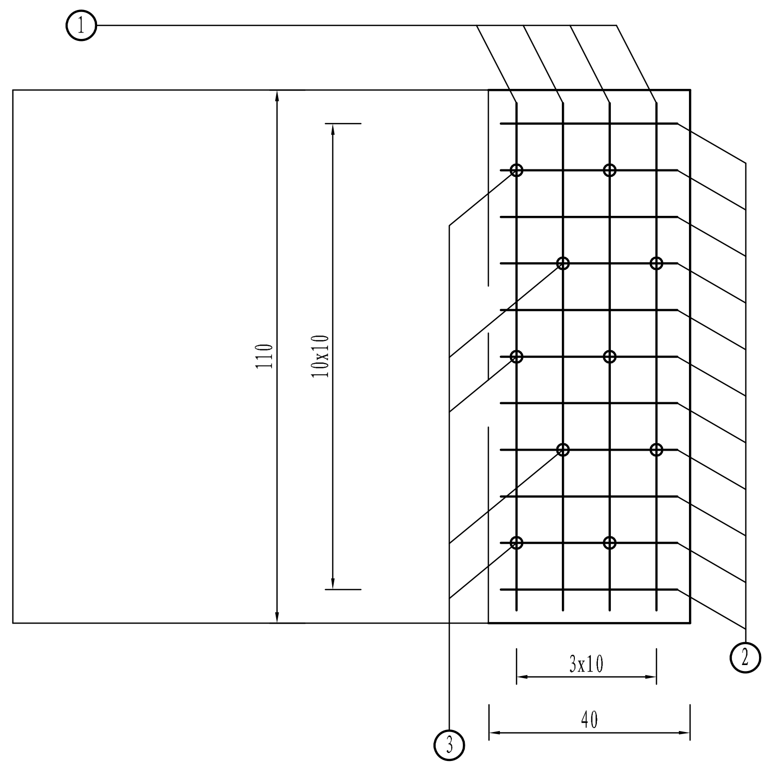




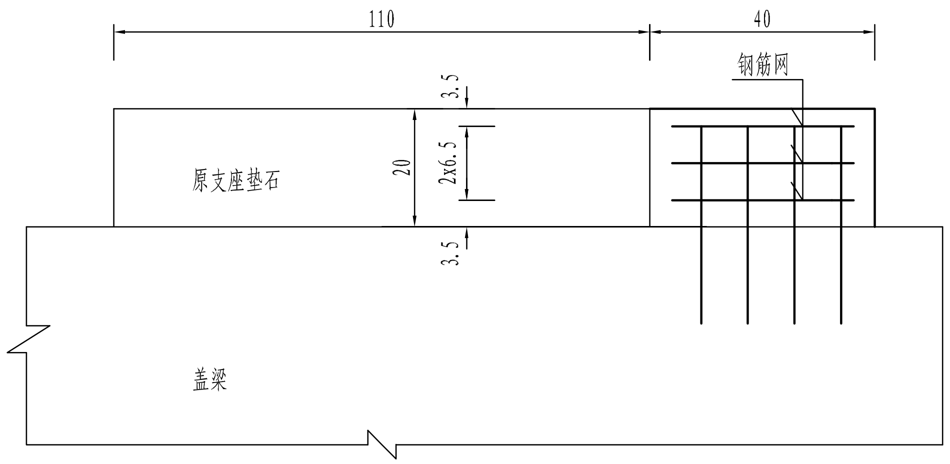
新增垫石平面



垫石一钢筋网平面布置



垫石一钢筋网立面布置



一块新增垫石工程数量表

编号	直径(mm)	单根长(cm)	根数	共长(m)	单位重(kg/m)	共重(kg)
1	Φ12	95	12	11.4	0.888	10.12
2	Φ12	35	33	11.55	0.888	10.26
3	Φ16	47	10	4.7	1.58	7.43
16植筋（深度20cm）根数						10
C40混凝土(m^3)						0.088

注:

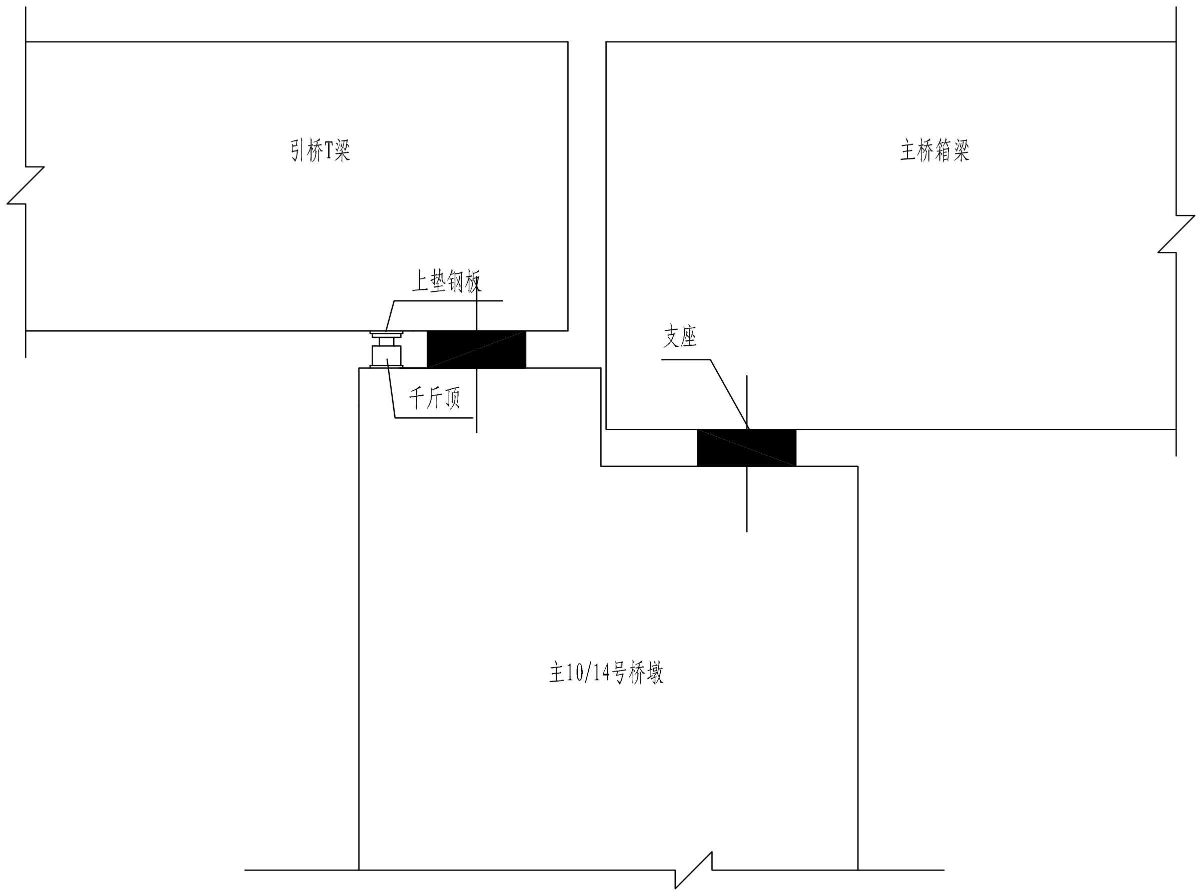
1.本图尺寸以cm计.

2.种植钢筋需保证植入深度不小于10倍钢筋外径。

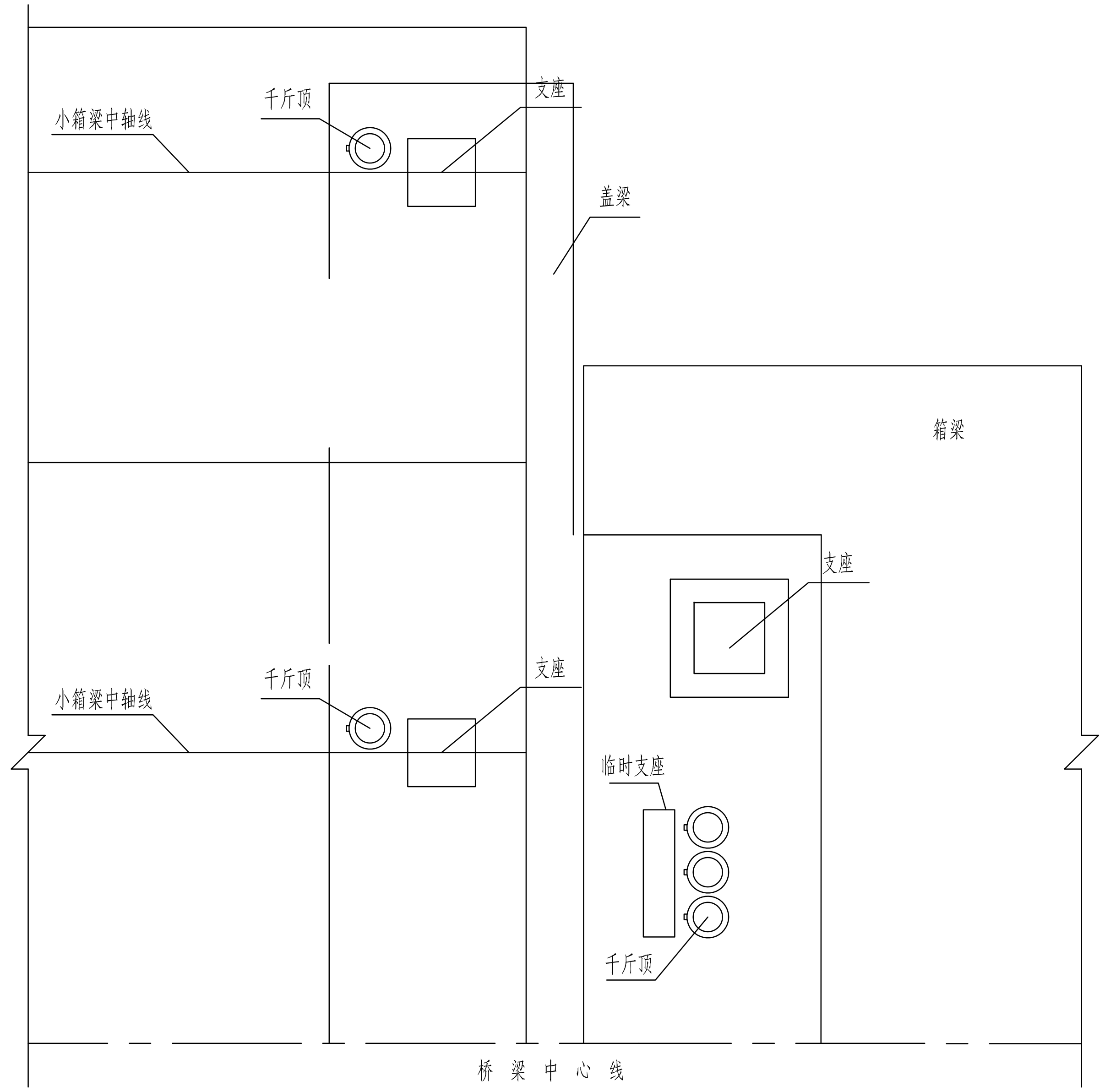
3.种植钢筋钻孔时，先探测原结构钢束位置，如钻孔与原结构钢束发生冲突,应适当挪动钻孔位置。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	支座垫石构造图	设计		复核		审核		图号	ST-12	日期	2022.07

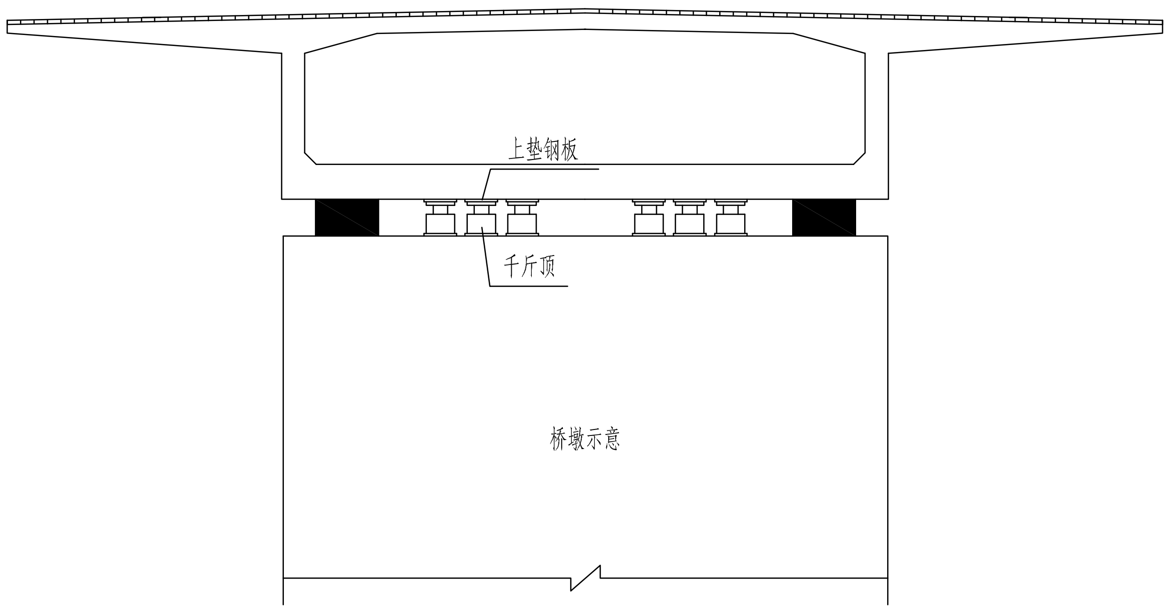
立面



平面



箱梁横断面示意图



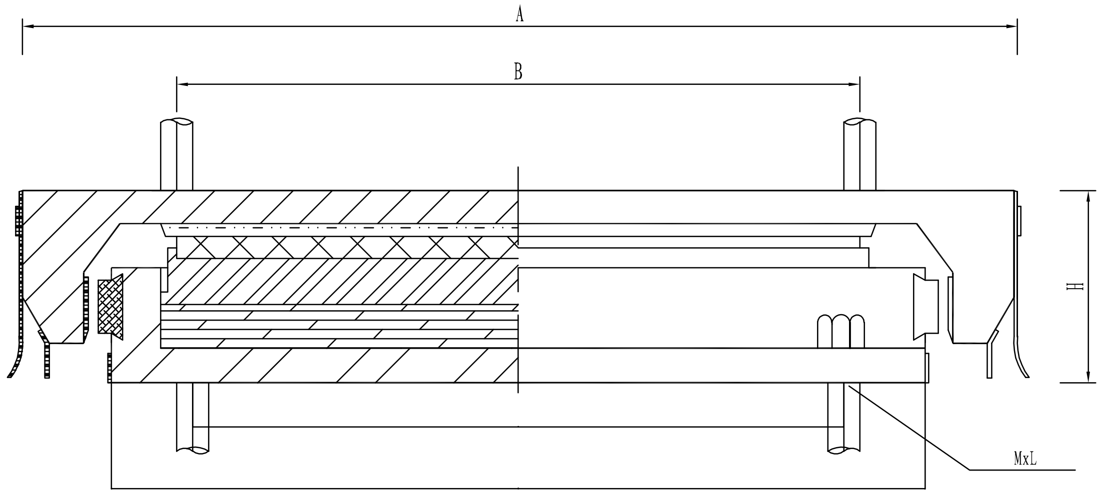
支座更换类型一览表

墩台号	原支座类型	新支座类型	单位	合计
8#墩	GPZ4000DX	GPZ4000DX	个	2
	GPZ4000DSX	GPZ4000SX	个	2
	普通板式橡胶支座（300x550x47mm）	普通板式橡胶支座（300x550x47mm）	个	8

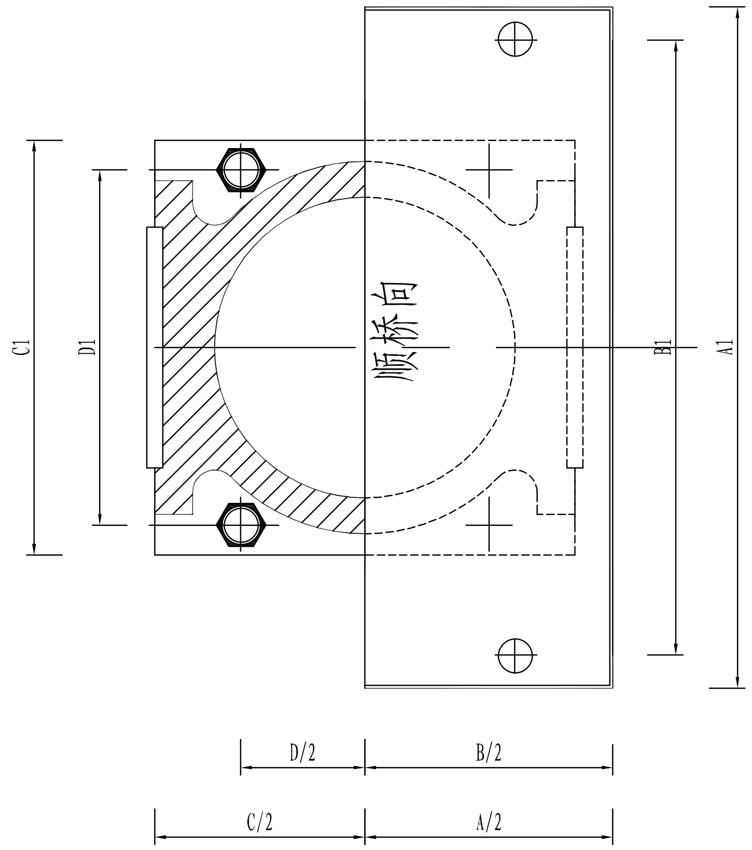
注

1. 本图适用于过渡墩梁体顶升施工，梁体顶升采用盖梁上设置扁平千斤顶的方式进行顶升，更换位置及数量详见支座更换数量表；
2. 设计图中千斤顶布置仅为示意，施工单位可进行自主设计，具体实施方案需报监理及设计单位进 行认可后方可实施；
3. 梁体顶升主要用于支座更换、支座调整、支座垫石维修等施工中，为施工提供操作空间；
4. 梁体顶升时应采用同幅同墩的梁片同步顶升的方式进行操作；
5. 进行支座更换时，同一墩顶支座宜同时进行更换。

立面图



平面图



GPZ系列盆式支座构造尺寸表

单位:mm

型　号	A	B	C	D	C1	D1	A1	B1	H	MxL
GPZ4000DX	670	495	550	400	560	480	920	830	130	M20x300
GPZ4000SX	590	460	590	460	590	460	920	830	130	M20x300

注:

1.本图表格尺寸均以mm计。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	主桥支座示意图	设计		复核		审核		图号	ST-14	日期	2022.07

植筋施工技术要点

一、施工工艺流程

主要工艺流程如下：放样定位->钻孔、清孔->注胶、植筋->固化、养护->质量检验;

二、主要施工步骤

1.植筋定位、钻孔

(1)钻孔前用钢筋探测仪探测桥梁构件植筋部位预应力钢束，钢筋位置，若植筋孔位处存在钢筋，则应适当调整钻孔位置。

(2)钻孔施工遇到钢筋或预埋件时应立即停钻，并适当移动钻孔孔位；若移动值太大，应及时通知设计单位予以处理。

2.清洁孔壁、钢筋

清洁孔壁，钢筋可采用如下方法:

(1)先将喷嘴伸入成孔底部并吹入洁净无油的压缩空气，向外拉出喷嘴，反复3次;

(2)将硬毛刷插入孔中，往返旋转清刷3次;

(3)再将喷嘴伸入钻孔底部吹气，向外拉出喷嘴，反复3次;

(4)对要植入钢筋上的锈迹、油污进行除锈与清理;

(5)植筋前用丙酮或工业用酒精擦拭孔壁、孔底和植入钢筋

3.植筋

(1)植筋用胶黏剂应采用专用灌注器或注射器进行灌注，灌注量一般为孔深的2/3,并应保证在植入钢筋后有少许胶黏剂溢出;

(2)注入胶黏剂后应立即单向旋转插入钢筋，直至达到设计的深度，并保证植入钢筋与孔壁间的间隙基本均匀，校正钢筋的位置和垂直度。

4.静置固化

胶黏剂完全固化前，不得触动或振动已植钢筋，以免影响其黏结性能。

三、施工质量检验

1.钻孔要求

钻孔直径应满足表1的要求，直径允许偏差为+2mm,-1mm;钻孔深度，垂直度和位置的允许偏差应满足表2的要求。

2.植筋要求

(1)铺孔内胶黏剂应饱满，不得有未固结现象

(2)植入钢筋不得有松动，表面不应有损伤，钢筋不得弯曲90° 以上

3.锚固承载力检验

锚固承载力检验按《混凝土结构后锚固技术规程》（JGJ145-2013)附录C检验方法进行。

四、施工注意事项

(1)植筋必须采用专门配制的胶粘剂,禁止使用现场混合配置和含乙二胺的胶粘剂,安全性能指标满足表3要求,建议采用进口优质品牌;严禁采用将胶黏剂直接涂抹在钢筋上植入孔中的植筋方式。

(2)废孔处理:施工中钻出的废孔,应采用高于构件混凝土一个强度等级的水泥砂浆、聚合物水泥砂浆或锚固胶黏剂进行填实,插入钢筋。

(3)植筋应上下层之间交错分批进行,每钻完一批孔后立即进行植筋,并应待植筋胶强度大于原结构混凝土强度后再进入下一批植筋。

(4)植筋时,其钢筋宜先焊后种植;若有困难而必须后焊,其焊点距基材混凝土表面应大于15d,且应采用冰水浸渍的湿毛巾包裹植筋外露部分的根部。严禁对一根钢筋连续焊接,应采用循环焊接施工的方法,即对一批焊接钢筋逐点、逐根焊接。

(5)植筋过程中应加强监控,如发现任何异常,应立刻停止施工并通知设计单位,采取必要措施确保原结构安全。

表1 植筋钻孔直径

钢筋公称直径(mm)	钻孔直径(mm)	钢筋公称直径(mm)	钻孔直径(mm)
6	10	18	22
8	12	20	25
10	14	22	28
12	16	25	32
14	18	28	35
16	20	32	40

表2 植筋钻孔深度、垂直度和位置允许偏差

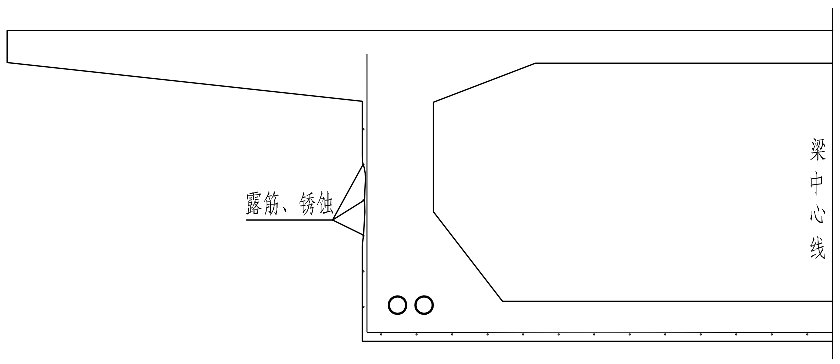
植筋位置	钻孔深度允许偏差(mm)	钻孔垂直度允许偏差	位置允许偏差(mm)
上、下部结构	+10,0	3°	5
承台与基础	+20,0	5°	10
连接节点	+5,0	2°	5

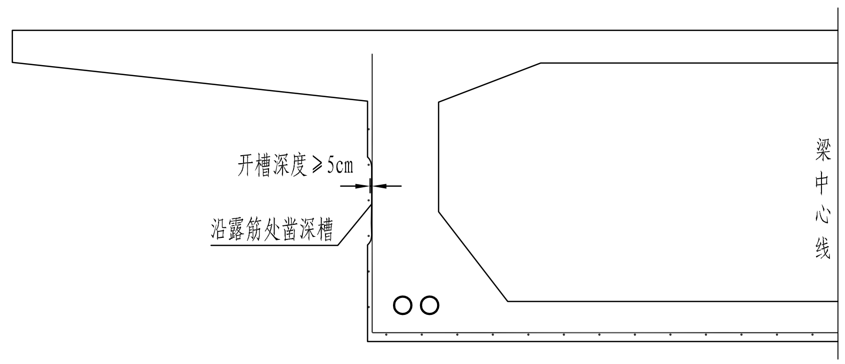
表2 植筋钻孔深度、垂直度和位置允许偏差

性能项目			性能要求
			A级胶
胶体本能	劈裂抗拉强度(MPa)		≥8.5
	抗弯强度(MPa)		≥50
	抗压强度(MPa)		≥60
粘结能力	钢-钢(钢套筒法)拉伸抗剪强度标准值(MPa)		≥16
	约束拉拔条件下带肋钢筋与混凝土的粘结强度(MPa)	C30 25 |=150mm	≥11
		C60 25 |=125mm	≥17
不挥发物含量(固体含量)(%)			≥99

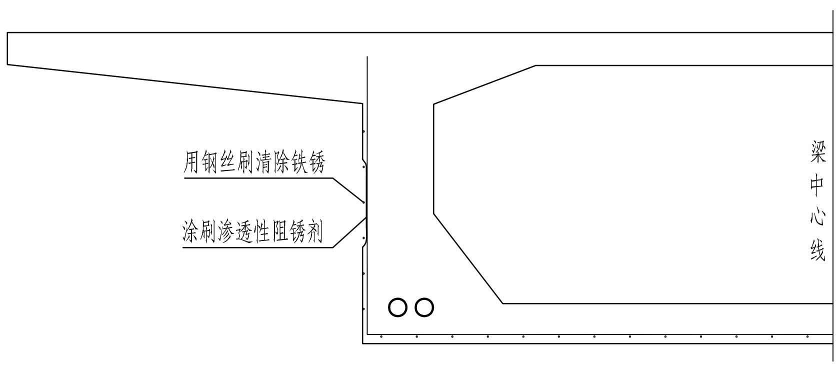
中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	植筋施工技术要求	设计		复核		审核		图号	ST-15	日期	2022.07

混凝土露筋锈蚀修复示意图

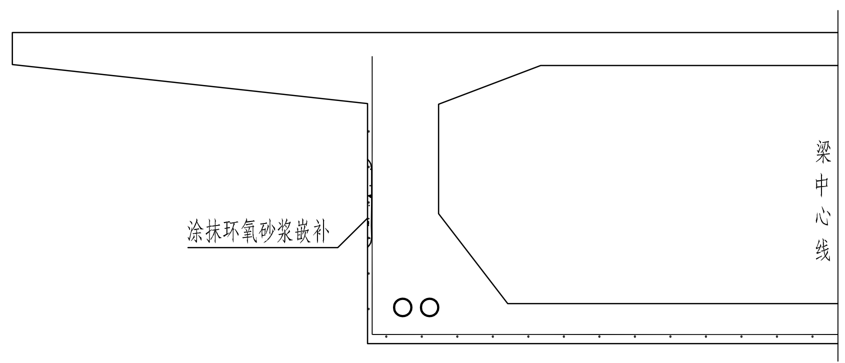




第一步：采用人工凿除的方法清除桥梁表面因钢筋锈蚀而损坏的混凝土，使钢筋锈蚀段完全露出。



第二步：用钢丝刷等工具清除掉钢筋上的铁锈，对凿除面进行清理并用工业酒精清洗，之后在修补范围及其周边涂刷渗透型阻锈剂。



第三步：采用环氧砂浆涂抹嵌补病害部位。

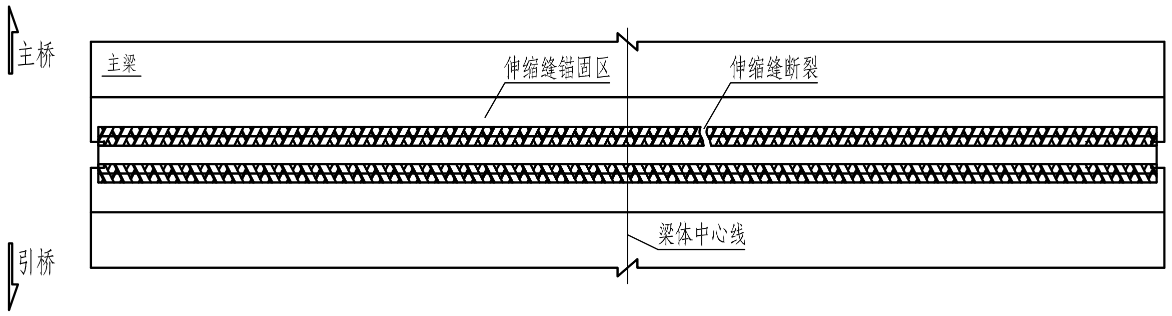
工程数量表（每100m2凿除面）

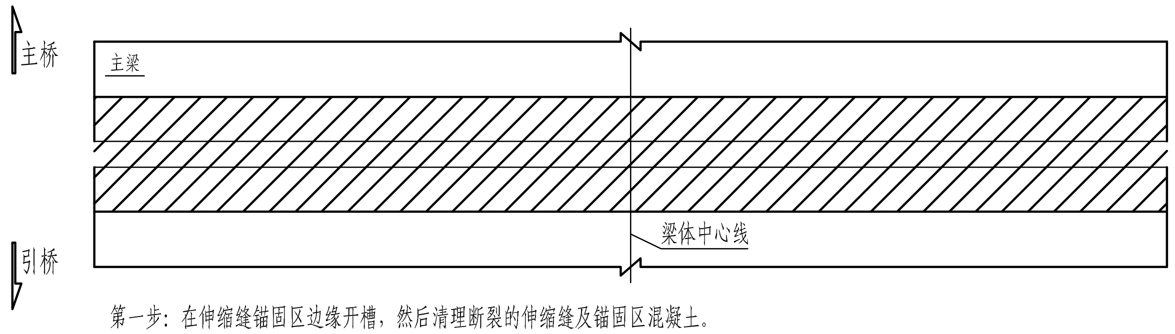
项目	单位	数量	备注
混凝土凿除	m3	4	环氧砂浆嵌补厚度按4cm计，除锈为预估，实际工程量以现场情况确定。
钢筋除锈	m2	10	
浇筑环氧混凝土	m2	100	

注:

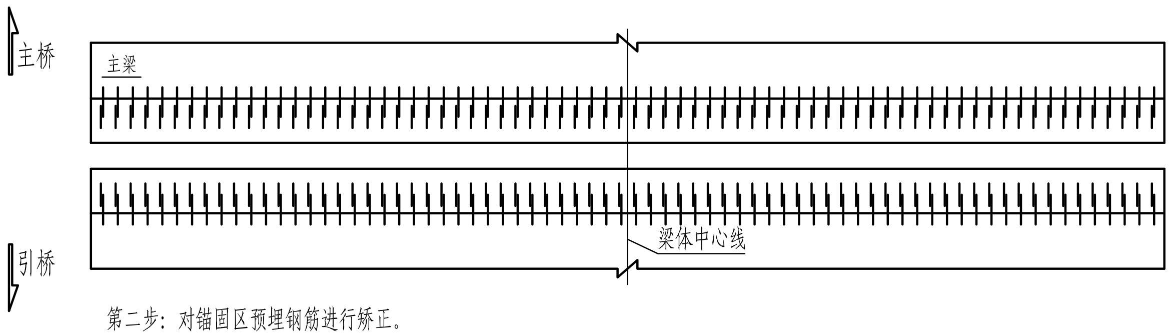
1. 对于露筋锈蚀病害，采用人工凿除的方法清除桥梁表面因钢筋锈蚀而损坏的混凝土，使钢筋锈蚀段完全露出，凿除时应避免破坏原结构钢筋和预应力管道；
2. 凿除时，应沿裂缝、锈蚀钢筋或露筋面开凿深槽，开凿深度约5cm，剥离掉已损混凝土，用钢刷清除浮动的混凝土碎片；之后用工业酒精刷洗至表面浮渣、粉尘、油污；
3. 用钢丝刷等工具清除掉钢筋上的铁锈，在修补范围及其周边涂刷渗透型阻锈剂；
4. 最后在槽面涂以改性环氧树脂基液等界面剂，涂抹改性环氧砂浆嵌补，环氧砂浆中加入掺入型阻锈剂；

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	混凝土露筋锈蚀修复	设计		复核		审核		图号	ST-16	日期	2022.07

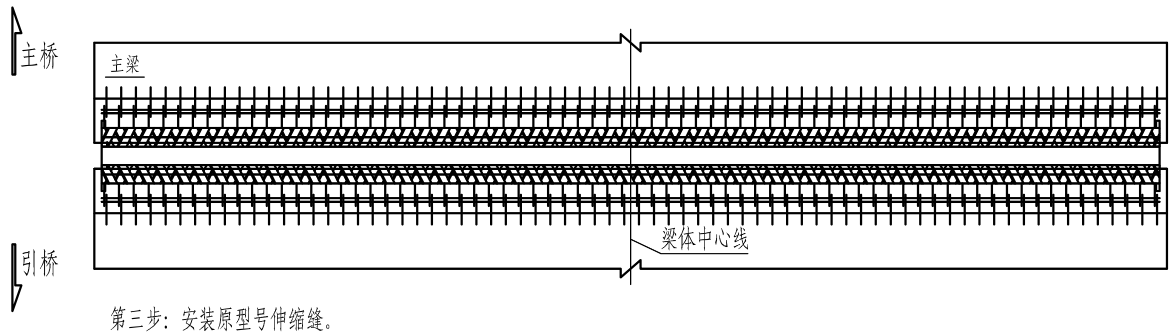




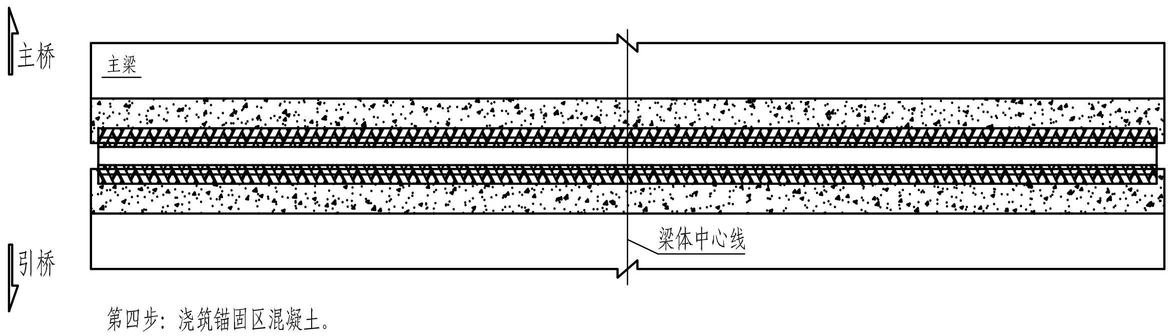
第一步：在伸缩缝锚固区边缘开槽，然后清理断裂的伸缩缝及锚固区混凝土。
要　求：1、缝内的杂物需全部清理彻底，清理出的杂物不得倒在边坡及桥头处，避免堵塞排水系统。



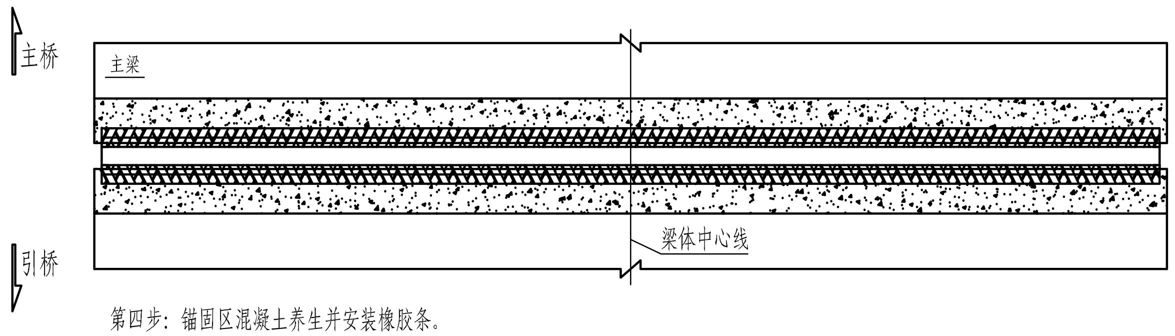
第二步：对锚固区预埋钢筋进行矫正。
要　求：1、在钢筋矫正过程中不得采用气割等损坏预埋钢筋的措施。
2、对于缺少或损坏的预埋钢筋应进行植筋，植筋采用专用植筋胶，并进行拉拔检验。



第三步：安装原型号伸缩缝。
要　求：1、型钢的顺直度应控制在3mm以内。
2、型钢顶面与路面高度应控制在1.5mm以内。
3、伸缩缝定位宽度误差为±2mm，要求误差为统一符号，不允许一条缝不同位置上同时出现正负误差。
4、安装时伸缩缝的中心线与梁体中心线重合。
5、伸缩装置上的锚固板钢筋与梁体锚固区钢筋采用搭接焊，焊接长度不小于10d。
6、缝宽应根据安装温度、分联长度进行校核。

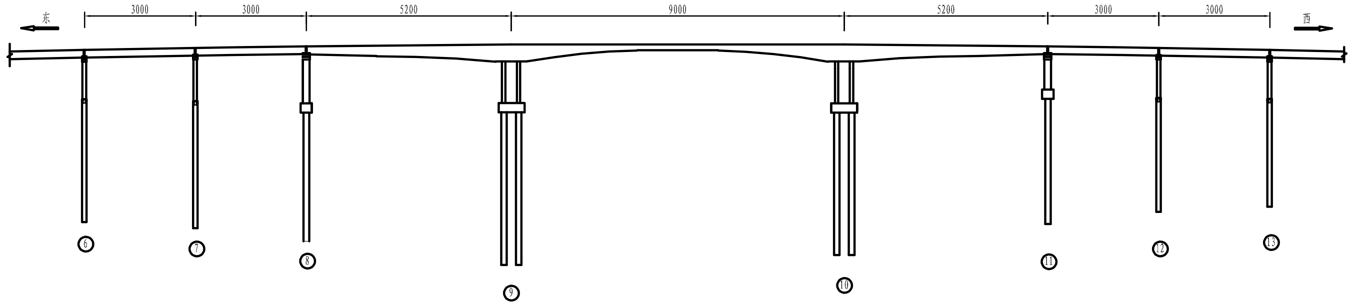
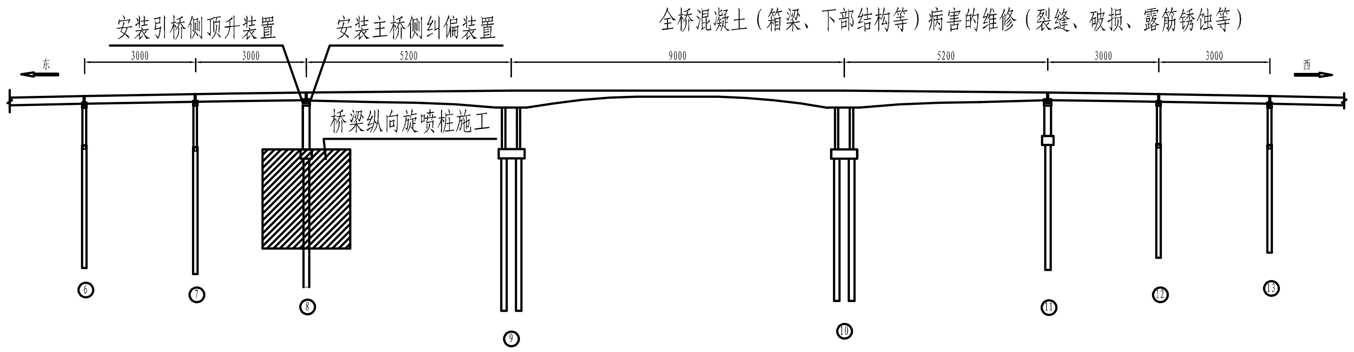
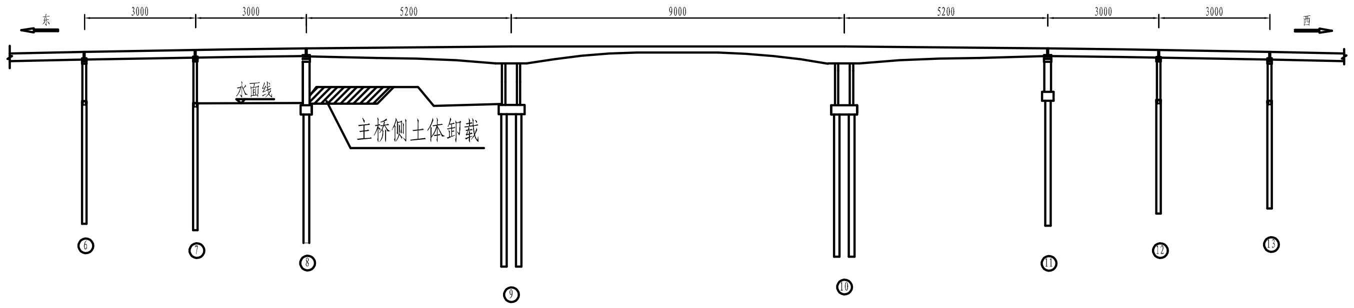
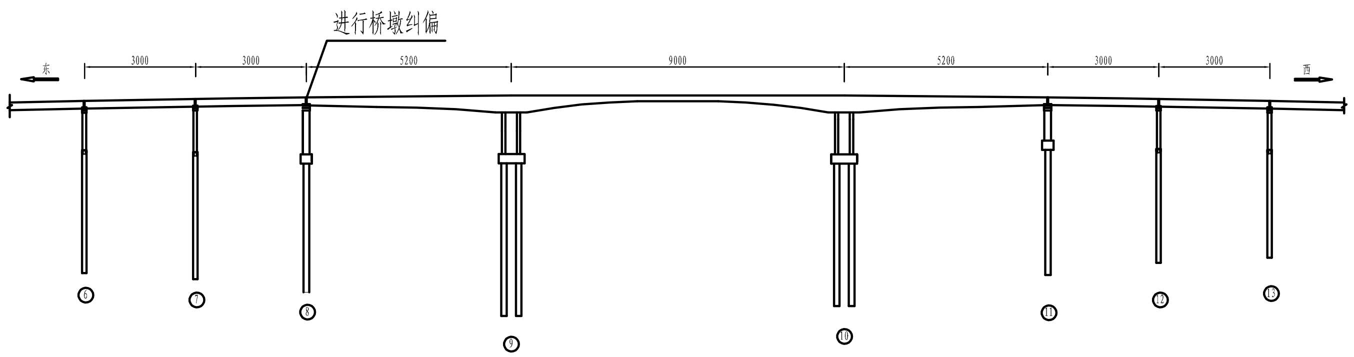


第四步：浇筑锚固区混凝土。
要　求：1、模板应顺直、牢固、严密，能在砼振捣时不出现位移，并能防止砼浆液流入伸缩缝内，以免影响伸缩。
2、为防止砼从上部缝口进入型钢内侧沟槽内，型钢的上面必须要用胶布缝好。
3、型钢定位锚固后，需二次清理槽内垃圾并用水冲洗。
4、混凝土运输及浇筑过程中应防止污染沥青路面。
5、应特别注意平整度，砼面比沥青路面顶面略低1~2mm为宜，过高或过低都会造成跳车现象。
6、浇筑时间安排要合理，为便于平整度控制，收面工作应安排的白天进行。
7、操作人员随时对平整度和标高进行检查，并及时修整。横向平整度＜3mm（3m直尺），纵坡允许偏差±0.2%。



第四步：锚固区混凝土养生并安装橡胶条。
要　求：1、混凝土初凝后应在其表面洒水并覆盖土工布并加盖塑料薄膜，严格洒水养生，养生期不少于7天。
2、在施工桥梁两端和前后开口部设置明显的警示标志对交通进行管制，防止车辆误入。
3、经过养生的混凝土达到设计强度50%后，方可安装橡胶条。
4、车辆临时通过应设置过桥板。

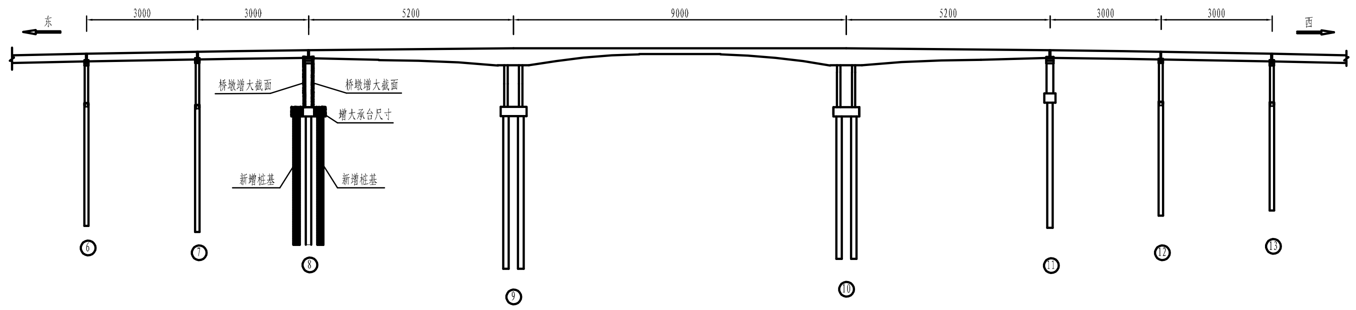
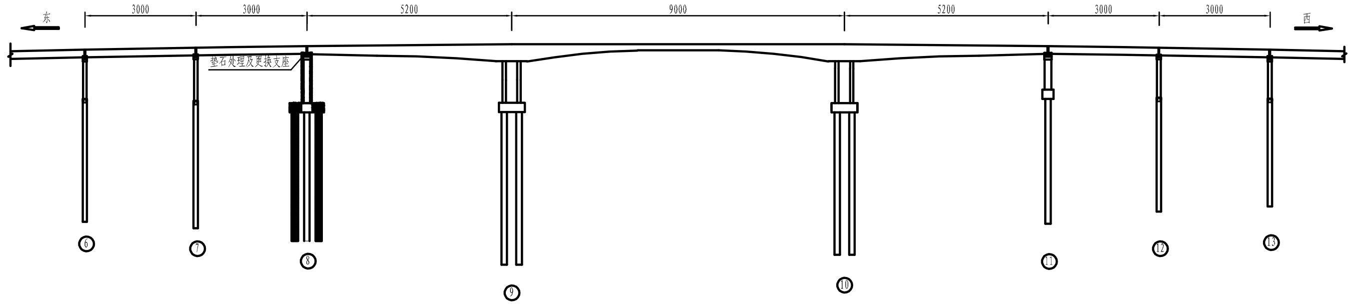
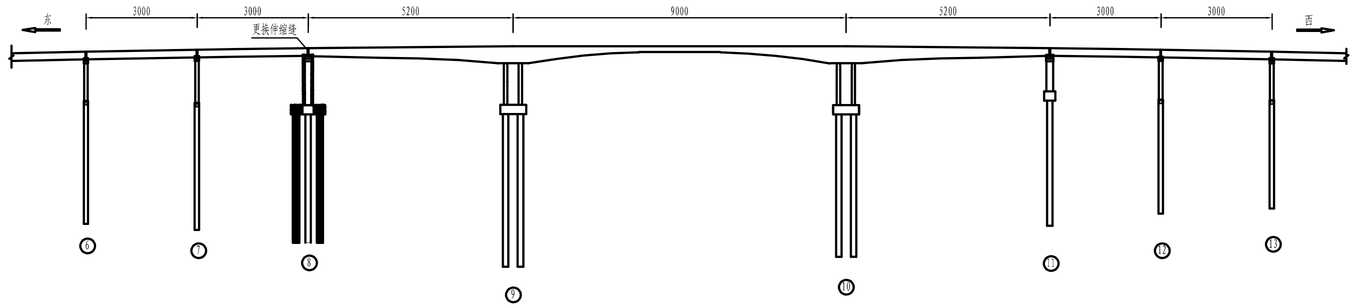
中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	伸缩缝更换示意图	设计		复核		审核		图号	ST-17	日期	2022.07

施工阶段	工作内容图示	工作内容
步骤一		1。工作场地规划布置; 2.施工材料机械的准备; 3.施工运输通道的架设; 4.施工区域安全防护装置的安装;
步骤二		1.混凝土结构破损、裂缝类病害处理; 2.施工8#墩纵桥向的2道旋喷桩（横桥向设置的旋喷桩暂不施工），隔绝新旧桥间的影响; 3.主桥侧8#墩上纠偏装置就位，引桥侧及墩顶顶升装置就位;
步骤三		待2道纵向设置的搅拌桩施工完成后，对8#墩上梁体进行顶升，并开始进行土体卸载，由于竖向千斤顶与梁体接触部位安装有滑动面，使得在土体卸载的过程中，墩顶在纵向上存在向主桥侧移动的可能性;
步骤四		土体卸载完后，启动主桥侧的纵向千斤顶进行桥梁纠偏;

注

在竖向顶升、纠偏、复位、新增桩基、新增承台、外包混凝土、支座更换等施工环节一旦出现主梁、桥墩等结构开裂或异常变形现象，在确保施工安全的情况下，应立即停止相关作业，并采取措施应急处治，并报告相关单位。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	加固维修流程图	设计		复核		审核		图号	ST-18	日期	2022.07

施工阶段	工作内容图示	工作内容
步骤五		1. 8#墩新增桩基施工，应先施工引桥侧，后施工主桥侧； 2. 8#墩承台增大截面施工； 3. 8#墩墩身增大截面施工；
步骤六		1. 8#墩处垫石处理及墩顶支座的更换； 2.施工主桥侧横桥向旋喷桩，与两侧纵向施工完成的旋喷桩连接为一个整体； 3.拆除顶升设备及支撑纠偏装置。
步骤七		1.更换8#墩顶桥面伸缩缝； 2.维修完成，维修效果检验。

注

在竖向顶升、纠偏、复位、新增桩基、新增承台、外包混凝土、支座更换等施工环节一旦出现主梁、桥墩等结构开裂或异常变形现象，在确保施工安全的情况下，应立即停止相关作业，并采取措施应急处治，并报告相关单位。

中交公路规划设计院有限公司	江门市江海区省道S384线礼东大桥维修加固工程	加固维修流程图	设计		复核		审核		图号	ST-18	日期 2022.07