

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固 工程(杭州市段)项目对既有轨道交通 设施影响安全预评估报告

(报批稿)



中国中铁

中铁第六勘察设计院集团有限公司

CHINA RAILWAY GROUP CO.,LTD.



二〇二四年三月·杭州

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固 工程(杭州市段)项目对既有轨道交 通设施影响安全预评估报告

编 写：马耀仁、孙 浩

校 核：高延昌

项目负责：吴 超

审 核：于加云

审 定：翟 可



中国中铁

中铁第六勘察设计院集团有限公司

CHINA RAILWAY GROUP CO., LTD.



二〇二四年三月·杭州

目录

1 项目概况	18
1.1 工程概况	18
1.2 杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站概况	23
1.3 相对位置关系	25
1.4 工作由来	26
1.5 评估范围	27
1.6 评估依据	28
1.6.1 依据资料	28
1.6.2 依据规范	28
2 工程及水文地质	30
2.1 项目地勘土层分布	30
1.2 场地不良地质及稳定性	31
2.2.1 不良地质	31
2.2.2 特殊性岩土	32
2.2.3 构造破碎带	33
1.3 水文地质条件	33
2.3.1 地表水	33
2.3.2 地下水	33
1.4 土层参数表	34
3 地铁结构现状评价	36
3.1 高架区间现状调查	36
3.1.1 高架区间概况	36
3.1.2 高级区间现状检测	38
3.2 高架区间监测数据	38
3.3 高架区间现状评价	46
4 地铁结构变形控制标准	47
4.1 国家行业标准	47
4.2 上海地铁变形控制标准	48
4.3 北京地铁变形控制标准	48
4.4 深圳地铁变形控制标准	49
4.5 市域(郊)铁路设计规范 TB10624-2020	49
4.6 浙江省轨道交通设施保护相关规定	50
4.6.1 城市轨道交通结构安全保护技术规程	50
4.6.2 城际铁路变形控制的具体要求	54
4.6.3 外部基坑工程的安全保护等级	55
5 风险评估	57
5.1 风险分析步骤	57
5.2 常用风险评估方法	57
5.2.1 层次分析法	57
5.2.2 模糊综合评价	58
5.2.3 专家打分法	58
5.2.4 风险树分析法(RTA 或 ETA)	59

5.3 风险评价标准	59
5.3.1 风险事故概率等级	59
5.3.2 风险事故损失分级	60
5.3.3 风险评估矩阵	61
5.3.4 风险接受准则	61
5.4 本项目设计方案风险分析	61
5.4.1 设计条件适应性风险	62
5.4.2 边坡护坡设计风险	62
5.4.3 监控量测的风险	63
5.4.4 施工管理分析	64
5.5 风险小结与影响等级判定	64
6 机理分析及同类工程类比	65
6.1 一侧开挖影响分析	65
6.1.1 引起地铁设施变形的外力因素分析	65
6.1.2 一侧开挖引起地铁设施变形特征分析	66
6.2 正上方卸载影响分析	67
6.3 类似案例	68
6.3.1 上海某道路下穿沪杭高铁高架	68
6.3.2 上海北虹路地道工程下穿高架桥	70
6.3.3 上海 12 号线龙漕路车站基坑工程下穿高架区间	73
7 边坡稳定性计算校核、桩基承载力计算	76
7.1 边坡稳定性计算	76
7.2 桩基承载力计算	78
8 三维有限元计算及分析	79
8.1 计算软件	79
8.2 计算本构模型	80
8.3 计算参数	80
8.4 计算模型	81
8.5 计算结果及分析	82
8.6 计算小结	92
9 结论、建议及应急措施	93
9.1 评估结论	93
9.2 评估建议	94
9.3 应急措施	97
10 附图	98

工程咨询证书

工程咨询单位资信证书

单位名称： 中铁第六勘察设计院集团有限公司
住 所： 天津自贸试验区（空港经济区）中环西路
36号
统一社会信用代码： 91120116300543322T
法定代表人： 辛兵
技术负责人： 张美琴
资信等级： 甲级
资信类别： 专业资信
业 务： 铁路、城市轨道交通， 市政公用工程
证书编号： 甲022021010232
有 效 期： 2022年01月21日至2025年01月20日



发证单位： 中国工程咨询协会



说明

本报告的技术成果仅限于合同指定的项目使用，未经知识产权拥有者书面授权，不得翻印、摘录、传播或他用，对于侵权行为将保留追究其法律责任的权力。

中铁第六勘察设计院集团有限公司

2024 年3月

专家意见及回复

1、进一步核实桥梁控制标准值。

回复：已核实高架区间桥梁控制标准值按照轨道交通结构安全状况 I 级控制，详见 4.6.2 节。

2、灌注桩距离本台边不小于 10m。

回复：按照专家意见，经综合比选高架区间桥墩区域已调整为钻孔灌注桩护坡方案，已与设计核实调整承台处双排灌注桩范围，控制灌注桩与桥梁墩台边距不小于 5m，满足保护规程要求，详见 1.3 节与报告附图。

3、核实桥墩落水管排水位置，防止抛石堵塞。

回复：已核实桥墩落水管排水位置，在施工建议 9.2 节中补充施工过程中和完成后保证桥墩落水管排水通畅。

4、堤顶道路应设置限高杆，防止应急设备运输撞碰桥梁。

回复：已在 9.2 节评估建议中补充堤顶道路应设置限高杆，防止应急设备运输撞碰桥梁等结构。

5、施工期间应考虑洪水位的影响。

回复：已在评估建议 9.2 节中补充施工期间考虑洪水位的影响，同时加强同上游水利部门联系，防止洪水不利影响。

6、抛石与灌注桩方案进一步比较。

回复：按照专家意见，经抛石固脚方案与灌注桩方案进一步比选，对高架区间桥墩区域采用双排灌注桩护坡方案，本次地铁 16 号线高架 115#桥墩位置采用双排灌注桩护坡设计。

同德市政设计院 李国栋

轨道交通保护区外部作业技术审核意见及回复

1、进一步核实影响范围内地铁高架桥梁结构变形控制标准。

回复：已核实高架区间桥梁控制标准值按照轨道交通结构安全状况 I 级控制，详见 4.6.2 节。

2、灌注桩距离承台边应不小于 10m。

回复：按照专家意见，经综合比选高架区间桥墩区域已调整为钻孔灌注桩护坡方案，已与设计核实调整承台处双排灌注桩范围，控制灌注桩与桥梁墩台边距不小于 5m，满足保护规程要求，详见 1.3 节与报告附图。

3、核实桥墩落水管排水位置，防止抛石堵塞。

回复：已核实桥墩落水管排水位置，在施工建议 9.2 节中补充施工过程中和完成后保证桥墩落水管排水通畅。

4、堤顶道路应设置限高杆，防止应急设备运输撞碰桥梁。

回复：已在 9.2 节评估建议中补充堤顶道路应设置限高杆，防止应急设备运输撞碰桥梁等结构。

5、补充实施过程中洪水位影响。

回复：已在评估建议 9.2 节中补充施工期间考虑洪水位的影响，同时加强同上游水利部门联系，防止洪水不利影响。

6、进一步比较抛石与灌注桩方案。

回复：经抛石固脚方案与灌注桩方案进一步比选，对高架区间桥墩区域采用双排灌注桩护坡方案，本次地铁 16 号线高架 115#桥墩位置采用双排灌注桩护坡设计。

7、完善现状调查，补充地铁桥墩、承台、桥桩等设施受力验算。

回复：已在 3.1 节和 9 节中完善地铁现状调查，已在 7.2 节与 8.5 节三维计算中补充桥墩、墩台、地铁桥桩的受力验算。

8、补充地铁保护风险源及针对性的保护措施。

回复：已在 9 节补充地铁保护风险源概况，已在 9.2 节评估建议中补充针对性保护措施。

9、补充机械(吊机、桩机)防倾覆要求及对桥墩的保护要求。

回复：已在 9.2 节评估建议(3)施工建议第 10 条中补充机械防倾覆要求对桥墩的保护要求。

10、补充应急要求，补充各参建单位，仔细核对文本报告，无关内容应删除。

回复：已在 9.3 节补充应急措施要求；已在 1.4 节中补充相关参建单位；已核对报告文本，删去无关内容。

11、本工程影响范围内地铁设施结构安全控制指标，高架区间结构水平位移、竖向位移 $<\pm 5.0\text{mm}$ ，相邻柱基沉降差 $<0.0003L\text{mm}$ ，裂缝宽度 $<0.2\text{mm}$ 。(注：L 为相邻柱两点间距离)。

回复：已按照意见将 4.6.2 节控制指标调整为水平位移、竖向位移 $<\pm 5.0\text{mm}$ ，相邻柱基沉降差 $<0.0003L\text{mm}$ ，裂缝宽度 $<0.2\text{mm}$ 。(注：L 为相邻柱两点间距离)。

轨道交通保护区外部作业技术审核意见单

编号: DB-L16-2024-001-SJ-001

项目名称	东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目
主题	预评估报告技术审核意见
主送	杭州余杭林业水利投资有限公司
抄送	杭州市轨道交通运行和公用事业保障中心、临安区城管局、中铁第六勘察设计院集团有限公司
审核意见	
<p>一、工程概况</p> <p>拟建项目位于余杭区青山湖街道,杭州绕城高速西复线和南苕溪南岸交叉口东侧,主要为岸坡堤防加固,施工内容包括抛石固脚、桩基和边坡、堤顶道路施工等。本次中桥塘堤防工程桩号Z0+520处涉及杭州地铁16号线青山湖科技城-南峰站高架区间,与区间交叉。</p> <p>堤防工程施工:堤防加固距离地铁高架桩基10m范围外采用$\phi 800\text{mm}$双排灌注桩+迎水侧坡植草护坡,双排桩采用灌注桩,靠近河道一排桩长10m,远离河道一排桩为10.7m,桩型为端承桩;地铁高架桩基10m范围内沿河堤防工程为二级放坡,一级迎水坡坡度为1:2.5,坡面采用C20素砼垫层厚100mm,下铺碎石垫层厚200mm,二级迎水坡坡度为1:2,采用合金钢网兜抛石固脚,抛石固脚区域东西长约35m,南北宽约31m,抛石施工采用人工堆砌,</p>	

抛石最大厚度为 2.65m，最小为 1.41m。一级迎水坡区域设置砼框格。项目与地铁设施位置关系见附件 1。

堤防工程双排灌注桩距地铁高架区间桩基最近约 10m，距承台边线约 8m，抛石固脚区域布置于桥墩四周。抛石边坡堤顶道路距上部高架桥梁最近约 9.6m。项目影响范围内 16 号线高架区间桥墩桩基位于中风化泥质砂岩。

本项目抛石固脚、侧方桩基施工、边坡开挖、回筑、施工材料吊装等内容存在引起既有高架桥墩、高架结构变形风险。

二、根据《杭州市城市轨道交通管理条例》，该项目已进入地铁保护区范围内，按照对已运营地铁周边项目审核的要求，该项目预评估报告于 2024 年 1 月 10 日完成了专家评审工作，评审意见详见附件 2。

三、针对该项目及预评估报告的具体意见如下：

- 1、进一步核实影响范围内地铁高架桥梁结构变形控制标准。
- 2、灌注桩距离承台边应不小于 10m。
- 3、核实桥墩落水管排水位置，防止抛石堵塞。
- 4、堤顶道路应设置限高杆，防止应急设备运输碰撞桥梁。
- 5、补充实施过程中洪水位影响。
- 6、进一步比较抛石与灌注桩方案。
- 7、完善现状调查，补充地铁桥墩、承台、桥桩等设施受力验算。
- 8、补充地铁保护风险源及针对性的保护措施。

9、补充机械（吊机、桩机）防倾覆要求及对桥墩的保护要求。

10、补充应急要求，补充各参建单位；仔细核对文本报告，无关内容应删除。

11、本工程影响范围内地铁设施结构安全控制指标：高架区间结构水平位移、竖向位移 $\leq \pm 5.0\text{mm}$ ，相邻柱基沉降差 $\leq 0.0003L\text{mm}$ ，裂缝宽度 $\leq 0.2\text{mm}$ 。（注：L为相邻柱两点间距离）

四、请建设单位会同设计单位、评估单位修改落实专家意见及上述意见，并将修改完善后的评估报告送市地铁集团审核备案。工程后续的地铁保护专项施工方案及监测方案等应落实上述安全评估要求的保护性措施。

五、本项目后续施工图设计、地铁保护专项施工方案及监测方案应经市地铁集团审核同意，与市地铁集团签订安全协议后方可实施。

附件：1. 相对位置关系图

2. 专家意见及会议签到表

杭州市地铁集团有限责任公司

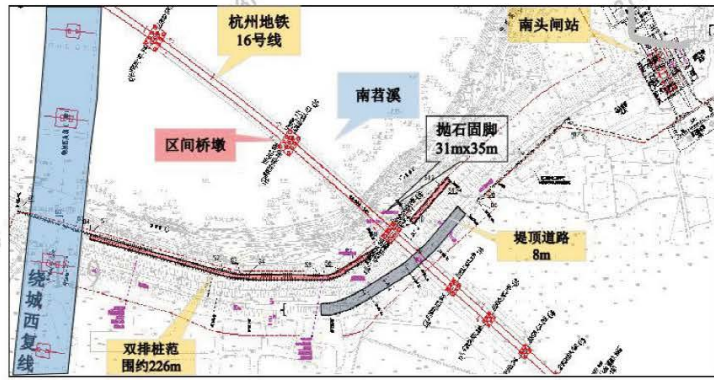
2024年1月19日

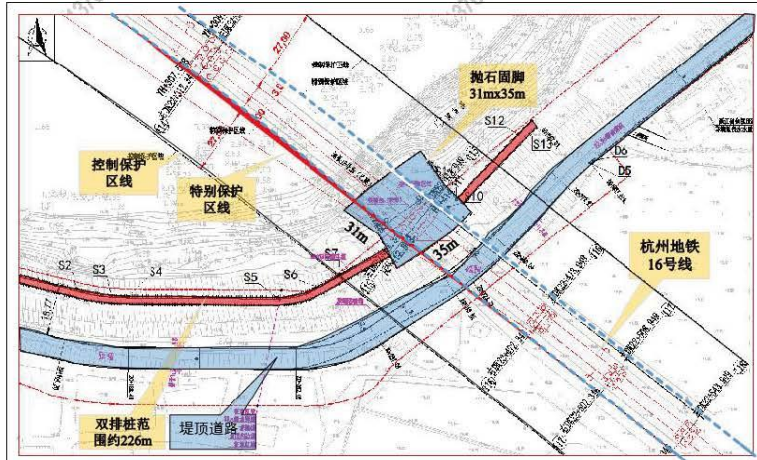
（联系人：张文涛，电话：86000771）

附件：1. 相对位置关系图

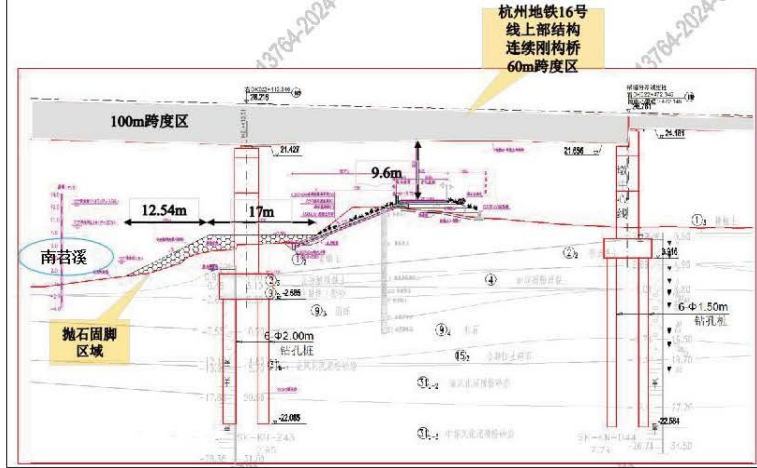


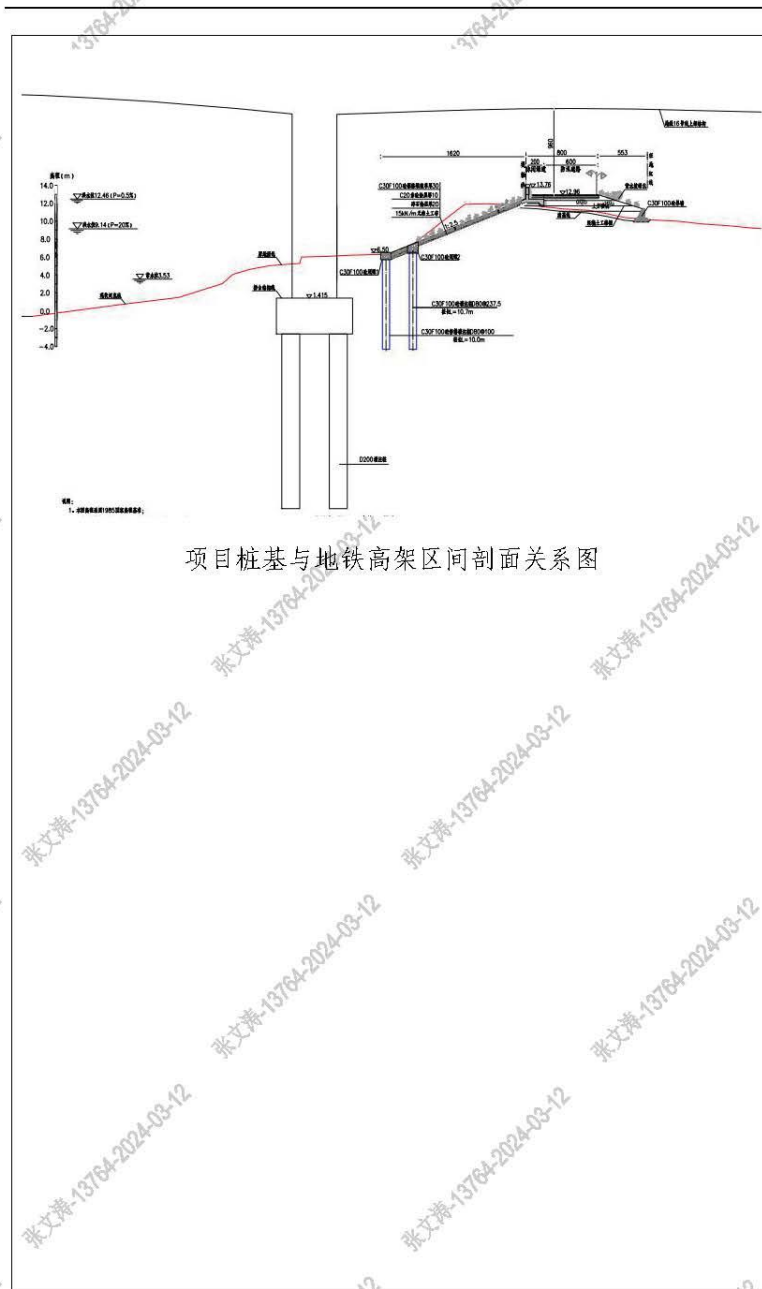
项目场地周边环境图





项目边坡基坑与地铁高架区间平面位置关系图





附件：2. 专家意见及会议签到表

专家论证意见书

2024年1月10日下午，由杭州地铁集团中安所组织对杭州地铁集团设计研究院有限公司编制的《东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(项目)对既有轨道交通设施影响安全预评估报告》进行论证审查。与会专家听取了编制单位的介绍，经询问、讨论后形成以下论证意见：

一、总体评价

评估报告编制内容完整，技术路线正确，方法合理，结论：通过评审。

二、存在问题

1. 大塘加固工程与既有内环线站外描述不够清楚；
2. 个别数据对桥墩的维护要求应具体。

三、对应建议

1. 进一步核实桥墩冲刷数据；
2. 灌注桩桩顶标高应不小于10m；
3. 桥墩桥墩排水管排水位置，防止桩顶堵塞；
4. 填筑道渣时应设置沉降高标，防止桥墩沉降数据不准确；
5. 桩顶加固应考虑洪水水位的影响；
6. 桩顶加固方案应进一步复核。

专家组签字：

贺恩怀 罗仕恒 陈赞 周奇辉 刘福生

专家：贺恩怀、罗仕恒、陈赞、周奇辉、刘福生

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

会议签到表				
会议名称	东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告专家评审会			2024年1月10日
	姓名	职称(职务)	单位(部门)	联系方式
专家	隋明华	正高	市地铁集团	13157119160
	刘凯	高工	市地铁集团	15529205828
	罗红艳	高工	设计院	13446204261
	朱莹	正高	湖大校	13957115823
	王春明	正高	电建中铁	1885717289
城管局	楼国兴	科长	余杭区综合行政执法局	13336028976
地铁集团相关部门	张文清		市地铁集团	86000771
	黄佳佳		市地铁集团	17725181111
	王旭		运营维保部	1785276560
其他相关单位	罗敏		杭州余杭水利投资有限公司	1572011595
	陈永祥		浙江水利勘测设计院有限公司	18816857148
	陈西华		江苏扬农·浙江·江南	15022833345
	刘雪强		浙江水利勘测设计院有限公司	1825712281
	曹建峰		中铁快信	18267150528
	刘亮		杭州余杭水利投资有限公司	13757194483

1 项目概况

1.1 工程概况

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程（杭州市段）位于杭州市余杭区，南起汪家埠泵站，北至余杭德清分界处，涉及堤防总长 49.90 公里。工程任务以防洪排涝为主，防洪标准为 200 年一遇，兼顾区域水生态、景观文化等需求。工程防洪标准为 200 年一遇，上南湖区块排涝标准为 50 年一遇 24 小时降雨 24 小时。

本次中桥塘的设计主要内容为达标加固中桥塘堤防长约 5.3km (桩号范围 Z0+000~ Z5+252.85)。本次中桥塘堤防工程项目西起汪家埠泵站，杭州绕城西复线处里程桩号 Z0+000.00，东至南头闸站，此段堤防工程总长度约 687m。在桩号 Z0+325 左右与杭州地铁 16 号线高架区间相交叉。

本次中桥塘堤防初步设计批复方案：“堤防在老堤基础上加高加固，堤顶宽 8.00 米，堤顶高程 11.15~12.97 米，防浪墙高 0.80 米。迎水侧坡比 1:2.5，采用植草护坡，局部设密排混凝土灌注桩及抛石固脚。背水侧坡比 1:3.0，采用草皮护坡，堤脚设混凝土界墙”。

本次中桥塘堤防工程施工图方案：从西 S0+000.000 至 S0+267.81，采用 $\phi 800\text{mm}$ 双排灌注桩加固坡顶，双排桩采用灌注桩、靠近河道一排桩长 10m，间距 1000mm，远离河道一排桩为 10.7m，间距为 2375mm，桩型为端承桩，桩顶设置 C30 砼冠梁，冠梁尺寸为 1.2 (b) x 0.8m (h)，冠梁顶标高为 7.00m；沿河堤防工程为一级放坡，堤顶道路宽 8m，堤顶道路顶标高 12.96m，一级迎水坡坡度为 1:2.5，C30F100 砼框格梁植草厚 30cm，坡面采用 C20 素砼垫层厚 100mm，下铺碎石垫层厚 200mm，下铺 15kN/m 无纺土工布，迎水坡最大挖方为 1.74m。迎水坡砼垫层与砼框格总厚度约为 0.75m；本边坡背水坡基本为土方填筑段，填方厚度最大约为 1.75m。

背水坡、迎水坡大部分为土方填筑，一级迎水坡局部为挖方工程。一级迎水坡区域设置砼框格，框格尺寸约为 5.8m*3m，砼框格梁尺寸为 200mmx300mm。

按照专家意见，经综合比选，高架区间桥墩区域采用双排灌注桩护坡方案。

中桥塘堤防工程位置、平剖面图如下所示。

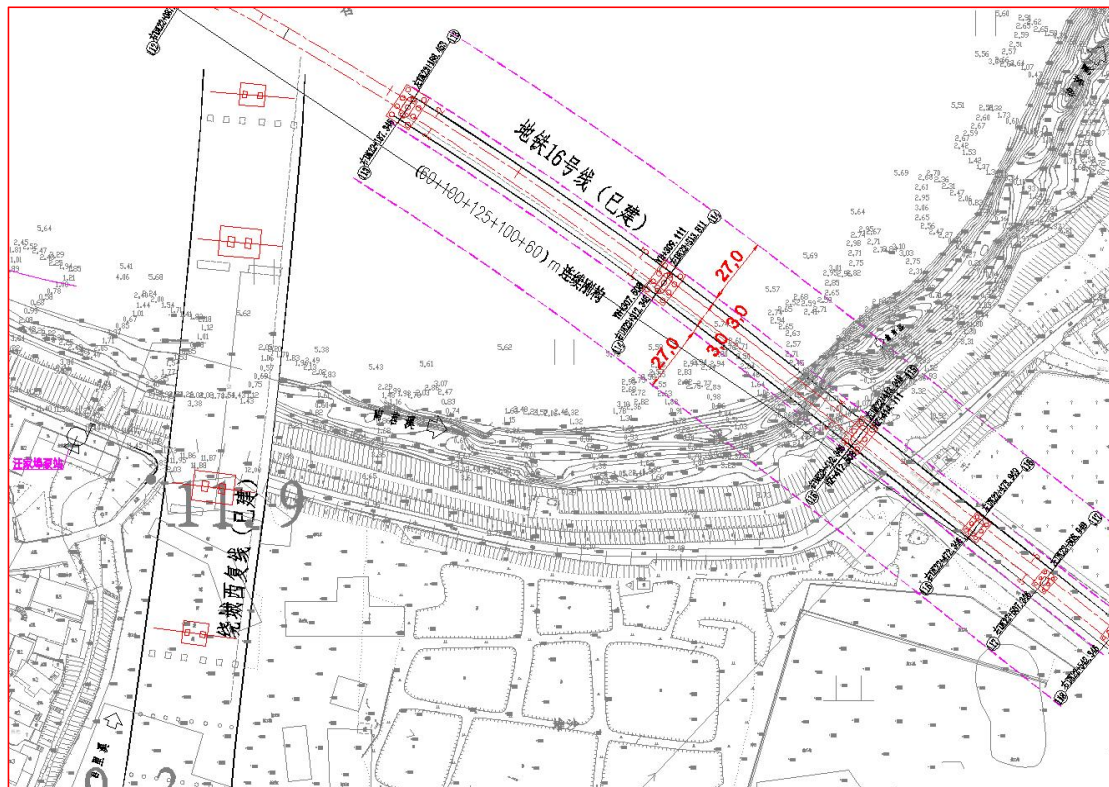


图 1.1 场地周边原布置图

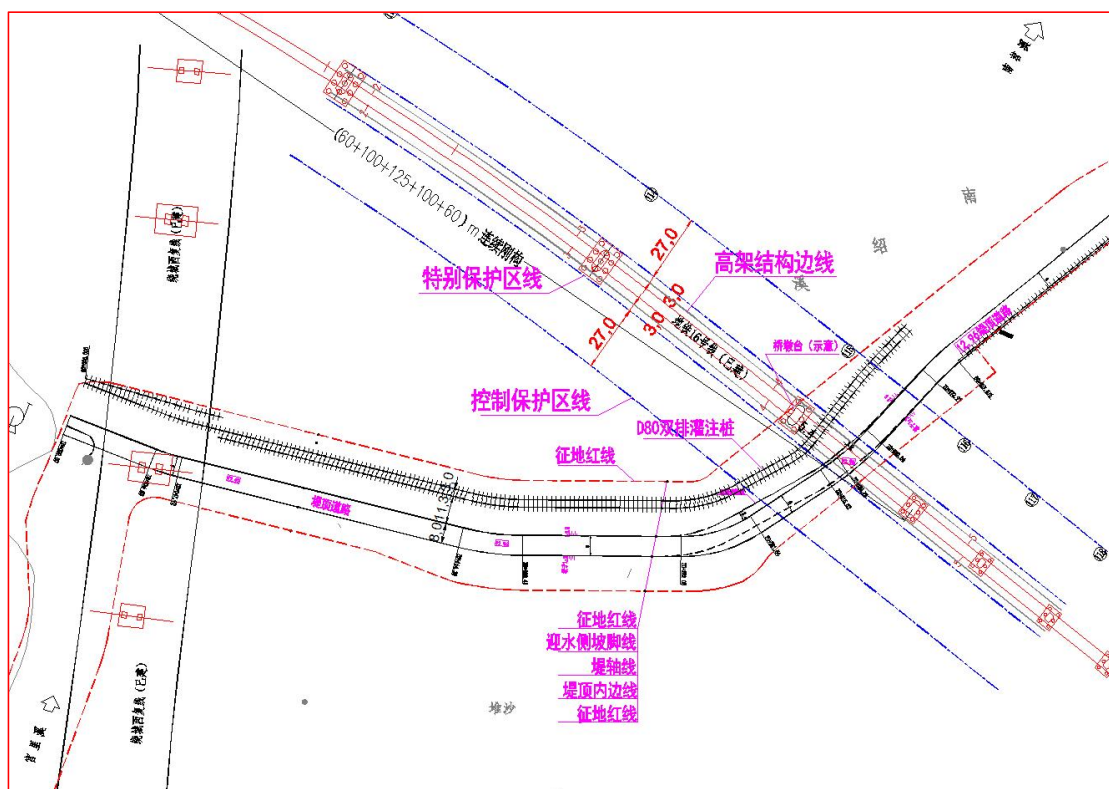


图 1.2 中桥塘堤防工程平面布置图 (详见附件)

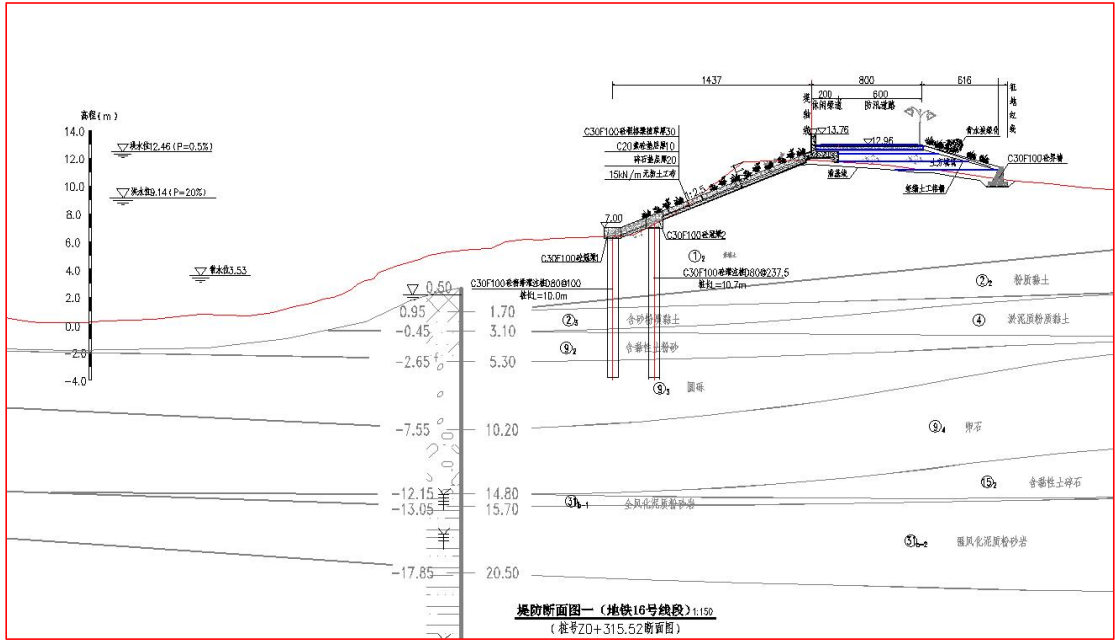


图 1.3 堤防断面图一

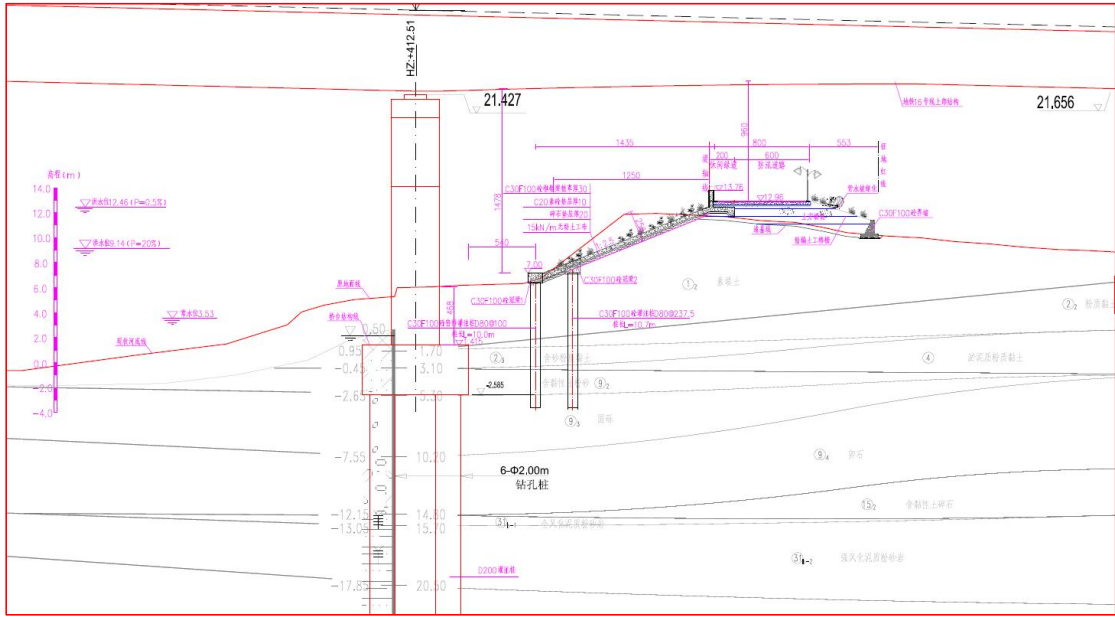


图 1.4 堤防断面图二（靠近高架桥 115#墩位置）

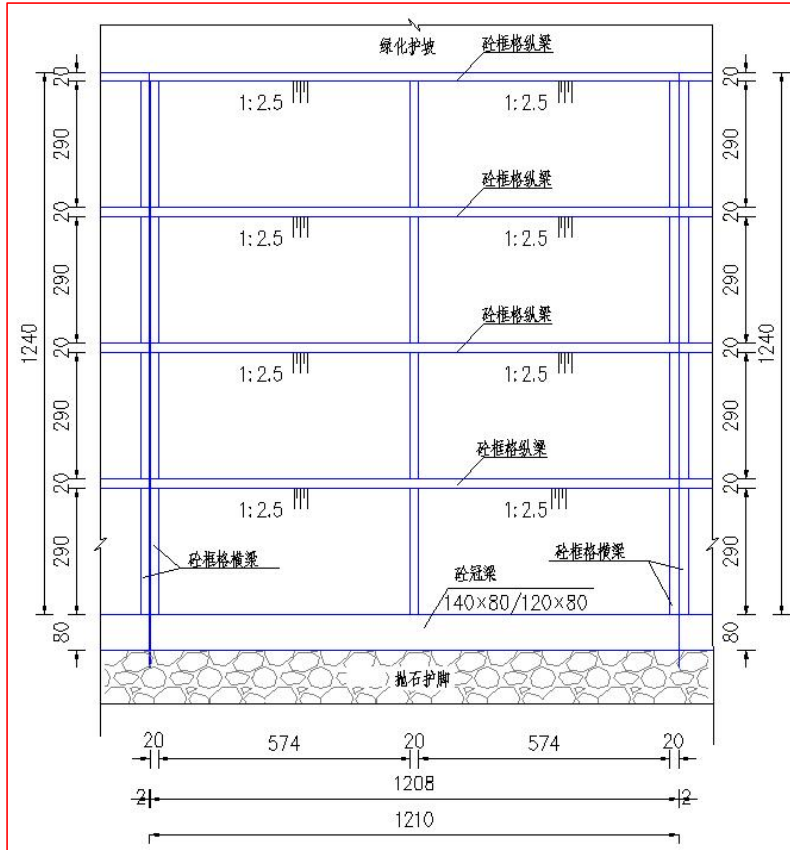


图 1.5 砼框格梁平面布置图

本次中桥塘堤防工程的主要的施工工序如下：第一步进行双排桩施工，第二步进行边坡削坡与边坡护坡面施工，第三步进行边坡回填、堤顶道路施工。

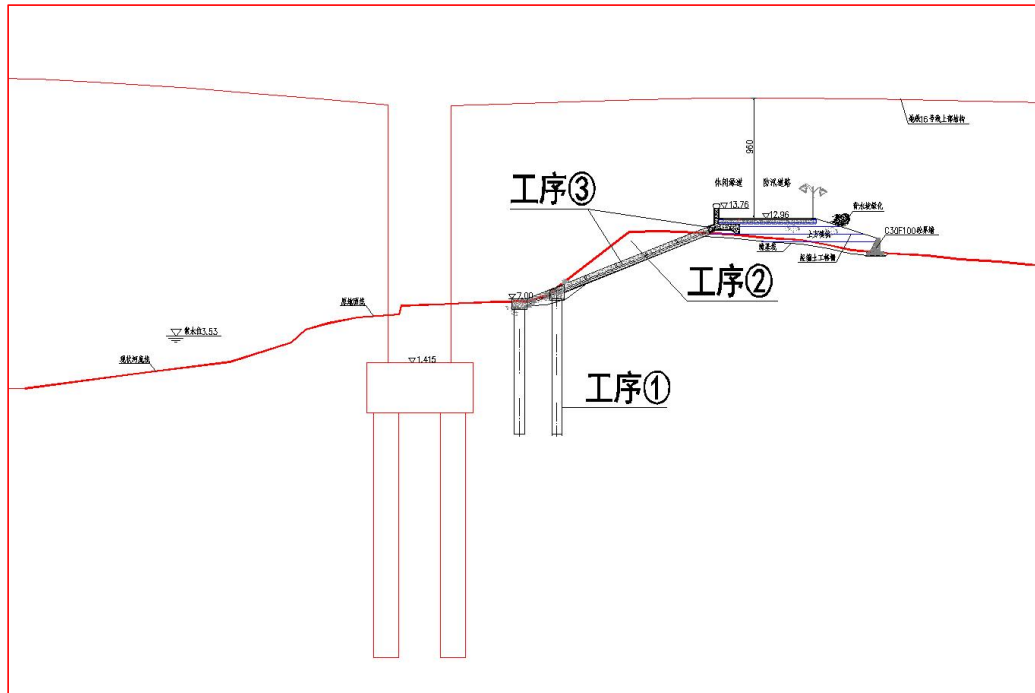


图 1.6 堤防工程施工工序图

中桥塘堤防工程位置周边环境如下描述：

环境①：杭州地铁 16 号线青山湖科技城站～南峰站高架区间，线间距 4.6m，此区域高架桥为（60+100+125+100+60）连续钢构桥，轨面高度为 28.216m，桥墩高度为 20m，其中 115#桥梁墩基础为 6 根直径 2m 的桩基础，桩长 19.5m，桩伸入中等风化泥质粉砂岩层。

环境②：南苕溪，河底绝对标高 0.000m，常水位绝对标高 3.53m；洪水位 9.14（P=20%）；河宽度约 36m～60m。

环境③：杭州绕城高速西复线；为高速公路，双向 6 车道，高速宽度为 40m 左右，其跨南苕溪桥梁为桩基础。



图 1.7 中桥塘堤防项目位置卫星云图



图 1.8 杭州地铁 16 号线青山湖科技城站～南峰站高架区间

1.2 杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站概况

杭州地铁 16 号线，工程建设名为“杭州至临安城际铁路”，杭州地铁 16 号线线路起于临安市九州街锦南新城站，终于绿汀路站。线路总长约 35.12km，其中地下线约 20.34km，共设车站 12 座，其中地下站共 8 座。线路临安市境内长度 20.72km，设站 6 座（地下站 4 座）；余杭区境内长度 14.4km，设站 6 座（地下站 4 座）。

杭州地铁 16 号线线路起于临安区九州街锦南新城站，向东主要经由九州街→万马路南延线→万马路→苕溪北路→科技大道→02 省道→东西大道→水乡北路，终于绿汀路站，与杭州地铁 3 号线双岛四线同站台换乘，与杭州地铁 5 号线垂直换乘，线路在锦南新城站预留西延条件。

其中中桥塘堤防断面加固工程，涉及杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站区间，青山湖科技城站-南峰站区间（88#-136#墩），里程范围为右 DK21+077.346~右 DK23+177.660，线路总长度为 2100.314m。以科技大道与东环路交叉口为界，线位前半部分位于科技大道中央分隔带上，后半部分绕出科技大道进入农地，先后两次跨越南苕溪，在南峰站与 S10 省道并行。桥址范围地势平坦，交通发达，水系发育。本桥跨越的主要道路有东环路、绕城高速西复线、舟南线；跨越的主要河流为南苕溪（现状 VI 级，规划 IV 级航道）。本线于 2016 年 1 月 4 日开工建设，于 2020 年 4 月 23 日开通运营全线。

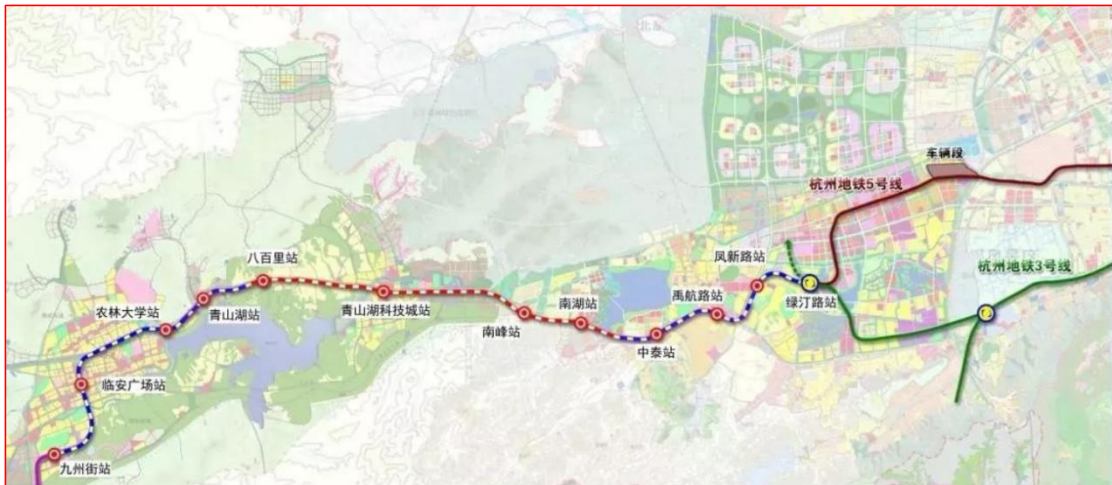


图 1.9 杭州地铁 16 号线线路走向图

本区间的设计行车速度为 120Km/h，线间距为 4.6m~15m；设计使用年限为 100 年。轨道类型为长轨枕整体道床型式，为中等减震地段。区间两侧声屏障为

4m 高直立式声屏障。

青山湖科技城站-南峰站高架区间跨绕城西复线和南苕溪采用 (60+100+125+100+60) m 连续刚构桥, 桥梁基础采用钻孔灌注桩基础, 桩直径 2m, 桩长 19.5m, 伸入 (35) b-3 层中等风化泥质粉砂岩, 最小嵌岩深度不小于 2 倍桩径。桥承台尺寸为 13.2m \times 8.5m \times 4m, 桥墩采用八边型截面实体墩。连续钢构桥采用 C55 混凝土, 桥墩、承台、桩基础采用 C40 混凝土。连续钢构桥采用挂篮悬臂浇筑法施工。



图 1.10 (60+100+125+100+60) 连续钢构桥梁现场照片 (114#、115#桥墩)



图 1.11 (60+100+125+100+60) 连续钢构桥梁现场照片 (116#、117#桥墩)

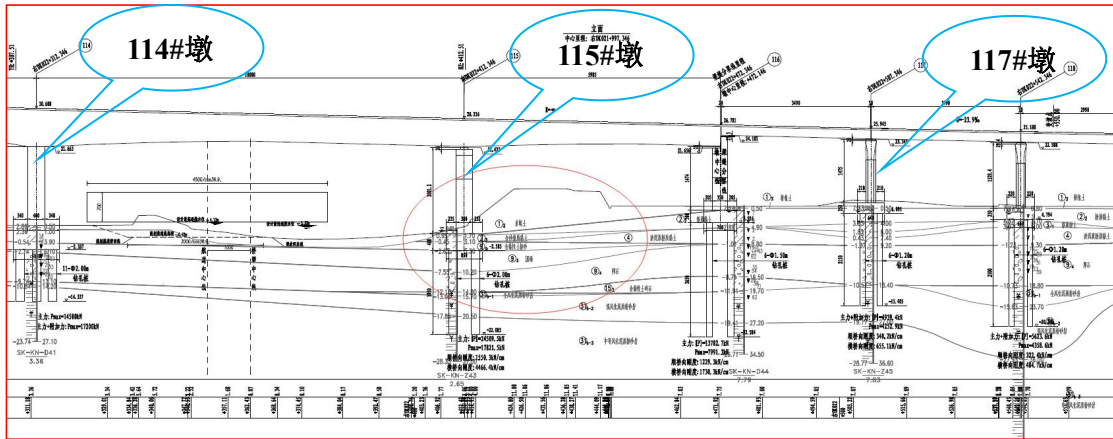


图 1.12 (60+100+125+100+60) 连续钢构桥梁地质纵断面图

1.3 相对位置关系

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)位于杭州市余杭区，其中中桥塘提防工程桩号 Z0+325 处涉及杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站区间，与地铁 16 号线高架区间交叉。边坡的堤顶道路距离青山湖科技城站-南峰站桥梁上部结构最近距离为 9.6m，边坡的双排桩支护距离青山湖科技城站-南峰站桥梁墩台最近距离为 5.0m，其中南苕溪双排桩施工区域位于杭州地铁 16 号线特别保护区与控制保护区范围。杭州地铁 16 号线已于 2020 年 4 月 23 日开通运营全线，地铁 16 号线运营时间从早晨 6:10-23:00。

本工程中桥塘断面边坡加固工程计划 2024 年 2 月底开始施工，2024 年 6 月底之前完成后全部边坡施工。

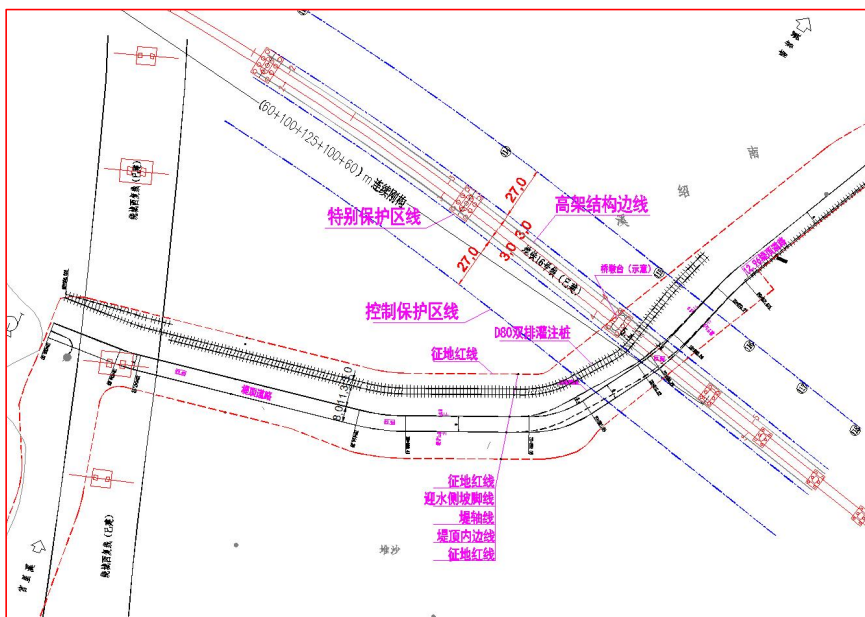


图 1.13 中桥塘提防工程与 16 号线青山湖科技城-南峰站区间平面位置关系图

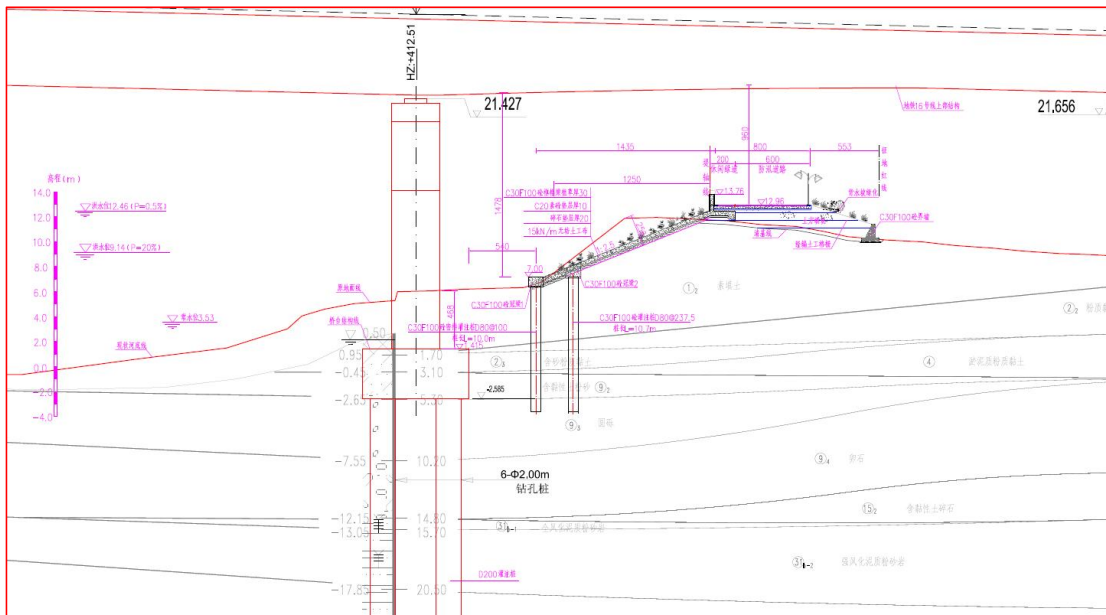


图 1.14 中桥塘堤防工程与高架区间剖面位置关系图（靠近高架桥墩位置）

1.4 工作由来

(1) 《杭州市城市轨道交通管理条例》

第三章保护区管理第二十四条规定，控制保护区范围如下：地下车站与隧道结构外边线外侧 50m 内、地面车站、高架车站以及线路轨道结构外边线外侧 30m 内、出入口/通风亭/变电所等建（构）筑物结构外边线外侧 10m 内为控制保护区；高架车站及高架线路工程结构水平投影外侧 3m 内为特别保护区。

作业单位在城市轨道交通控制保护区内进行作业时，应当制定城市轨道交通保护专项方案，在征得运营单位同意并依法办理有关行政许可手续后方可按方案施工。

(2) 《城市轨道交通结构安全保护技术规范 CJJT 202-2013》

4.3.4 当外部作业紧邻城市轨道交通高架结构基础时，实施前应评估其对高架结构基础的安全影响。

(3) 《城市轨道交通结构安全保护技术规程》（DB33/T1139-2017）浙江省工程建设标准

轨道交通控制保护区的设置范围应综合考虑工程和水文地质条件、轨道交通结构安全状况、外部作业影响程度等因素。

控制保护区：地面车站、高架车站和区间结构外边线外侧 30m 内。

特别保护区：地下车站主体结构与区间结构外边线外侧 5m 内，其余结构外

边线外侧 3m 内。

外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，应针对外部作业对轨道交通结构的影响及保护，进行安全评估。外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 B 级，轨道交通结构安全状况为 I 类、II 类时，应进行安全评估；轨道交通结构安全状况为 III 类、IV 类时，宜进行安全评估。

受杭州余杭林业水利投资有限公司委托，我院对东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响做安全预评估工作。本项目

参建单位如下：

地铁建设单位：杭州杭临轨道交通有限公司；

地铁项目管理单位：杭州市地铁集团有限责任公司；

地铁设计总体单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司；

地铁工点设计院：中铁第四勘察设计院集团有限公司；

地铁勘察单位：浙江省工程勘察院

建设方单位：杭州余杭林业水利投资有限公司

本工程设计单位：浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司

安全评估单位：中铁第六勘察设计院集团有限公司

1.5 评估范围

本报告主要分析东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有杭州地铁 16 号线轨道交通设施影响。

根据拟建东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程和既有杭州地铁 16 号线隧道的相对关系，本项目的影响源与影响对象如下：

(1) 主要影响源

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程双排灌注桩施工、边坡削坡及回筑、及坡顶道路挖方与回筑、堤顶道路施工等施工。

(2) 影响对象

杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站高架区间结构，影响范围桩号为右 DK22+312.346~右 DK22+507.346（114#、115#、116#、117#桥墩），此区域为连续钢构桥（60+100+125+100+60m 连续刚构）。

1.6 评估依据

1.6.1 依据资料

- 1、东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程施工图（浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司 2023.01 月、2023.12 月）
- 2、东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程详勘资料（浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司（2022.09））
- 3、杭州地铁 16 号线工程青山湖科技城站～南峰站施工图（中铁第四勘察设计院集团有限公司（2018.04））
- 4、杭州地铁 16 号线工程勘察II标（青山湖站【不含】～绿汀路站【含】）青山湖科技城站～南峰站岩土工程勘察报告（补勘报告）（2018.02）
- 5、省发展改革委关于东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程（杭州市段）初步设计批复的函（2022.11）
- 6、委托单位提供的其他资料和要求。

1.6.2 依据规范

- 1、浙江省工程建设标准《城市轨道交通设施结构安全保护技术规程》（DB33/T1139-2017）；
- 2、浙江省标准《建筑基坑工程技术规程》（DB33/T1096-2014）；
- 3、《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497-2019）；
- 4、《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB50652-2011）；
- 5、《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）（2015 版）；
- 6、《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）；
- 7、《杭州市城市轨道交通运营管理办法》；
- 8、《杭州市城市轨道交通管理条例》；
- 9、《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）；
- 10、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）；
- 11、《地铁设计规范》（GB50157-2013）；
- 12、《地铁限界标准》（CJJ96-2003）；
- 13、《盾构法隧道施工及验收规范》（GB50446-2017）；

- 14、《铁路隧道风险评估与管理暂行规定》(铁建设[2007]200号);
- 15、《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T202-2013);
- 16、上海市工程建设标准《盾构法隧道结构服役性能鉴定规范》(DG/T08-2123-2013);
- 17、《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》;
- 18、《铁路线路维修规则》(铁运[2006]146号);
- 19、浙江省工程建设标准《城市轨道交通结构监测技术规程》(DB33/T1224-2020);
- 20、其它有关设计计算规范、规程及图集;
- 21、其他国家和浙江省相关规范、规程。

2 工程及水文地质

本工程涉及地勘报告分为中桥塘堤防地勘与杭州地铁 16 号线高架区间详勘。浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司于 2022 年 9 月出具了《东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程地质勘察报告（详细勘察）》，浙江省工程勘察院于 2018 年 02 月出具了《杭州地铁 16 号线工程勘察II标（青山湖站【不含】～绿汀路站【含】）青山湖科技城站～南峰站岩土工程勘察报告》补充勘察报告。

2.1 项目地勘土层分布

根据地铁详勘阶段的勘察报告：勘探孔揭露的地层结构、岩性特征、埋藏条件及物理力学性质，勘探深度以内可分为 11 个大层，细划为 23 个亚层和 1 条构造破碎带。各地基土分层特征如下表。分布规律详见工程地质剖面图。

表 2.1-1 场地地基岩土划分及其特征表

层序	岩土名称	层顶板 标高 (m)	厚度 (m)	岩土特征简述
① ₀	填筑土	10.62~ 14.17	0.60~5.50	灰黄色，稍密，主要由黏性土、碎石回填而成，粒径 3~30cm 不等，质不均。该层主要分布临安境内科技大道中间的绿化带中
① ₁	杂填土	7.09~10.02	0.70~2.90	杂灰色，松散~致密，主要由混凝土路面及沿线局部分布的建筑垃圾、碎块石组成，偶见有少量的生活垃圾。
① ₂	素填土	2.65~10.72	0.50~4.30	杂灰色，软可塑，主要成份为黏性土，局部夹有少量的粉砂及碎、块石。
① ₃	耕植土	6.12~10.12	0.40~1.60	灰色，软塑，主要成份为黏性土，局部夹有粉砂。
① ₄	淤泥或暗塘土	5.85	2.00	灰黑色，稍密，岩性以黏性土、砂混碎石为主，夹有少量的腐植物，砾石约占 10~20%，零星分布。
② ₂	粉质黏土	3.85~9.52	0.80~6.00	黄灰，褐灰色，含氧化铁和铁锰质斑点，软可塑状态，土质均匀。
② ₃	含砂粉质黏土	0.95~5.31	1.40~6.30	黄灰色，软可塑，土质不均，砂分布不均，局部以黏性土为主，黏塑性较差。
③ ₁	黏质粉土	1.83~4.37	1.30~1.40	灰色，稍密，厚层状，夹有黏性土条带，分布连续性较差，少部分勘探点有揭露。
④	淤泥质 粉质黏土	0.43~5.59	1.80~8.80	灰色，流塑，厚层或鳞片状，见有腐殖质和炭化物。
⑧ ₂	粉质黏土	-0.76~ -0.18	1.10~2.30	灰色，软塑，厚层状，局部呈淤泥质粉质黏土状，呈零星分布。
⑨ ₁	粉质黏土	-0.61~2.95	1.00~1.80	灰黄色，硬可塑，厚层状，黏塑性一般，分布规律较差，局部分布。
⑨ ₂	含黏性土粉砂	-4.38~2.62	0.60~4.80	灰黄色，黄灰色，饱和，中密，含云母及贝壳屑，局部夹少量粉质黏土层。
⑨ ₃	圆砾	-5.78~1.75	0.70~7.30	灰黄色、浅灰色，中密~密实，磨圆度较好，呈亚圆形，砾径 0.2~2cm，少量大于 5cm，均匀性

层序	岩土名称	层顶板 标高 (m)	厚度 (m)	岩土特征简述
				较差, 含量 50%~60%, 胶结性较差。
⑨ ₄	卵石	-8.68~ -0.41	2.70~10.00	灰黄色、浅灰色, 中密~密实, 磨圆度较好, 呈亚圆形, 砾径 2~5cm, 少量大于 10cm, 均匀性较差, 含量 50%~70%, 胶结性较差。
⑪ ₂	粉质黏土	-1.62~ --0.19	1.30~3.50	灰色, 软塑, 厚层状, 土质较均, 黏塑性较好, 局部为淤泥质粉质黏土。
⑮ ₁	含砾粉质黏土	-5.23	3.10	黄褐、棕红色, 可塑至硬塑, 含 10-15%角砾或亚圆形砾, 砾石呈全~强风化状。
⑮ ₂	含黏性土碎石	-8.71~ -1.79	2.90~7.90	棕黄色, 局部灰色, 中密, 厚层状, 碎石多为块状砂岩、石英岩、灰岩。
(31) _{b-1}	全风化 泥质粉砂岩	-12.15~ -8.33	0.60~4.90	灰黄色, 原岩结构大部被风化, 岩芯呈黏性土状, 局部夹有强风化状的岩块, 岩质较软, 泡水易软化。
(31) _{b-2}	强风化 泥质粉砂岩	-15.63~ -8.68	0.50~12.3	灰黄色, 青灰色, 泥质结构, 泥质胶结, 局部呈泥岩状, 节理裂隙发育, 差异风化较大, 局部岩芯被风化呈黏性土
(31) _{b-3}	中等风化 泥质粉砂岩	-27.93~ -10.42	未揭穿	青灰色, 泥质粉砂结构, 泥质胶结, 局部呈泥岩状, 节理裂隙发育, 岩芯大部分呈柱状
(34) _{c-2}	强风化灰岩	-13.00~ -10.34	0.90~32.2	灰色, 粉晶质结构, 钙质胶结, 局部以粉砂质泥岩为主, 节理裂隙较发育, 岩芯呈短柱状与碎块状, 差异风化较大。
(34) _{c-3}	中等风化灰岩	-24.88~ -12.14	未揭穿	灰色, 粉晶质结构, 钙质胶结, 泥岩含量较高, 节理裂隙较发育, 岩芯呈柱状, 柱长约 5~10cm 不等, 差异风化较大。
(35) _{b-3}	中等风化灰岩	-23.37	未揭穿	灰色, 灰黑色, 粉晶质结构, 局部为隐晶质结构, 岩芯完整性较好, 局部与粉砂岩互层。
F1	构造破碎带	-12.78~ -11.30	12.10~ 42.10	灰色, 青灰, 岩性以灰岩、砂岩、泥岩为主, 碎裂结构, 角砾状构造, 泥质胶结, 风化强烈, 岩芯多呈碎块状, 差异风化较大, 局部以中风化或全风化为主。岩质软, 手能捏碎, 泡水易软化。

1.2 场地不良地质及稳定性

据现场地质调查, 沿线场地浅部主要为冲湖积平原地貌, 本场区地势较平坦, 未发现滑坡、泥石流、崩塌等不良地质作用。场地内有灰岩分布, 本次勘察未揭露岩溶。因此本场地内不良地质作用主要为局部可能存在的少量浅层有害气体。特殊性岩土为浅部填土、软土、风化基岩; 受区域地质构造作用场地内有一条构造破碎带分布。

2.2.1 不良地质

本场地岩性为海相-陆相交互环境的湖沼积、海积地层, 淤泥质土中有机质含量高, 有机质丰度一般在 0.4%以上, 硫酸盐在海相沉积物中是一种主要的

盐分,其孔隙水中的较高浓度的硫酸盐水溶液有利于大量生成的甲烷气保存下来,在全新世早、中、晚期气候主要为温暖湿润—温热湿润—温暖湿润的转化,有利于甲烷气的生成。

据相邻工点勘探点的沼气含量检测结果显示,未发现明显沼气溢出,究其原因是在沿线地层没有良好的含气层,气源层淤泥质土分布比较均匀,未夹大量含粉土、粉砂夹层,囊状赋存上下多为氧化环境的黏性土层,储存和运移条件差,其次沼气探测时清洗孔壁夹有泥皮、沼气气量小和气压低等因素未达到沼气溢出或仪器检测反应。基本可判定沿线不存在富含沼气段,但不排除局部存在有低压力浅层沼气,以囊状小气量、小气压气包状存在。

2.2.2 特殊性岩土

场地内特殊性岩土为浅部填土、软土、风化基岩。

(1)人工填土

本场地沿线为了修建道路,受人工活动的影响,大部分已回填。表层回填有①₀筑填土、①₁杂填土、①₂素填土、①₃耕植土及局部分布的①₄层淤泥或暗塘土层,回填土厚度变化较大,最达5.5m。填土层层主要分布于表层,一般不均匀,欠密实,渗透性差异大,自稳性相对较差。在该类土质中基坑开挖时易出现塌方,当采用摩擦桩设计时应考虑人工填筑土的负摩阻力。

(2)软土

场地内局部分布有④层淤泥质土,呈流塑状,是本工程的第二类特殊岩土。该类土层具低强度、高压缩性,故有较明显的蠕变、触变特性。呈零星分布,土质均匀性较差,层厚变化较大,最大厚度达8.80m,分布广泛。在该类土质中基坑开挖时易出现塌方,在周边堆载是容易出现负摩阻力。

(3)风化基岩

不同的气候条件和不同岩性具有不同的的风化特征,本场地位于湿润气候区,以化学风化为主;受区域地质构造的影响,岩体节理裂隙发育差异较大,大部分岩体沿节理裂隙风化,同时岩性的不均匀,沿线岩体风化厚度变化较大。全风化岩体保持原岩结构和构造,尚能辨认,有残余结构强度。拟建场地下部的风化基岩,岩性主要为灰岩、泥质粉砂岩,全场分布,其水理性质差,遇水易崩解,岩石的软化特殊可造成岩体强度变化,强度的降低,同时岩石与水作用后,由于吸

水使体积膨胀，从而降低了颗粒间的粘结力，使岩石产生崩解，长时间暴露遇水后将产生软化崩解。

由于沿线风化层厚度变化较大，岩体差异风化较大，对于本工程主要拟采用桩基，桩基施工时对桩端是否进入持力层的判断难度较大。

2.2.3 构造破碎带

受区域地质构造作用的影响，在本场地内揭露有一条构造破碎带分布，破碎带内岩性以灰岩、砂岩、泥岩为主，呈浅灰色，岩体呈碎裂结构，泥质胶结，岩质软，手能捏碎，泡水易软化。风化强烈，差异风化较大，局部以中风化或全风化为主。该破碎带宽度约 36.0m，呈北西向，向西南方向倾斜。场地周边的断裂均为晚更新世以来不活动的断裂，该破碎带对工程的稳定性影响不大。

1.3 水文地质条件

2.3.1 地表水

本场地工程地表水属东苕溪水系，场地地貌单位为冲湖积平原，受地形地势的影响，对场地起影响性作用的地表水体主要为南苕溪内的河水。

南苕溪内河水位和流速受青山湖水库放水影响，放水期间水流急、水位深，对河床底部以冲刷作用为主，勘察期间最低水深约 0.5~1.0m，最大水深约 4.5~5.0m，河床底部堆填有大量的块石。

表 2.3-1 线路经过河道、水域情况一览表（单位：m）

名称	右线位置	河床标高	河床宽度	水深	淤泥层厚度	备注
南苕溪	DK21+610 ~ DK21+665	1.31 ~ 5.56	52.0 ~ 54.0	0.5-5.0	0.5-1.0	水深受青山水库放水影响
南苕溪	DK22+344 ~ DK22+417	0.10 ~ 5.72	74.0	0.5-5.0	0.3-0.8	

2.3.2 地下水

地下水因含水介质、水动力特征及其赋存条件的不同，其补、径、排作用和水化学特征均各不同，根据本次及详勘钻探揭露：勘探深度范围内地下水类型主要可分为松散岩类孔隙潜水（以下简称潜水）、孔隙承压水、基岩裂隙水。

(1) 潜水

场地潜水主要赋存于浅部填土层、粉质黏土、含砂粉质黏土、黏质粉土层及

靠近青山湖科技城站一带的⑨₂含黏性土粉砂、⑨₃圆砾、⑨₄卵石中，其富水性和透水性具有各向异性，受沉积层理影响，一般透水性水平向大于垂直向。勘察期间实测地下水位埋深为0.20~6.40m，相应标高为1.42~10.13m。水位大部分区域位于填土层中，由于填土层粒组成分极不均一，富水性和连通性呈明显的各向异性，水位受岩性的变化、地形地势、周边环境影响较大，水位埋深变化幅度大。孔隙潜水受大气降水竖向入渗补给及地表水体下渗补给为主，径流缓慢，以蒸发方式排泄和向附近河塘侧向径流排泄为主，水位随季节气候动态变化明显，与地表水体具一定的水力联系，地下水位埋深和变化幅度受季节和大气降水的影响，动态变化大，水位变幅1.0~4.0m，由粗颗粒组成的区域变幅可能达5.0m以上。

(2) 承压水

孔隙承压水主要赋存于DK21+100以东一带下部的⑨₂含黏性土粉砂、⑨₃圆砾、⑨₄卵石、⑮₂含黏性土碎石层中，勘察调查可知，其上部的②₂层粉质黏土、④层淤泥质粉质黏土、⑦₁层粉质黏土、⑨₁层粉质黏土联合构成相对隔水层。含水层厚度6.40~12.3m左右，透水性良好，为南苕溪古河道，受上游侧向径流补给，水量充沛，具有明显污染少、水量一般的特点，根据本工点的初勘阶段的抽水试验实测地下水位为4.46，相对标高3.13m。该含水层对成桩影响较大，易出现漏浆、塌孔等现象。

(3) 基岩裂隙水

基岩裂隙水主要赋存于下部基岩风化裂隙内，含水层透水性受岩石的风化程度、裂隙的发育程度、裂隙贯通性等控制，鉴于基岩岩性是硅泥质胶结的含砾砂岩、粉砂岩的特点，具泥质含量较高、矿物风化剧烈、透水性弱的特点。基岩裂隙水水量微弱，主要受侧向补给和上部承压含水层下渗补给，径流缓慢，向下游排泄，基岩裂隙水水量微弱，对本工程意义不大。

1.4 土层参数表

层号	岩土名称	重度 γ kN/m ³	孔隙比 e	液限 W _L %	塑限 W _p %	塑性指数 I _p %	液性指数 I _L	压 缩		固结快剪(峰值)	
								压缩系数 a ₁₋₂ MPa ⁻¹	压缩模量 E _s MPa	固快 C kPa	固快 Φ o
① ₁	杂填土	17.2								6.5	18.5

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

① ₂	素填土	18.0	1.022	34.7	19.8	14.9	0.91	0.46	4.4	12.5	13.5
① ₃	耕植土	17.2								9.5	12.5
① ₄	淤泥或暗塘土	16.8								7.5	7.5
② ₂	粉质黏土	19.2	0.810	34.5	20.0	14.5	0.50	0.31	5.9	18.5	13.2
② ₃	含砂粉质黏土	19.0	0.838	32.3	20.2	12.1	0.68	0.32	5.8	13.5	15.5
③ ₁	黏质粉土	18.9	0.893	29.7	21.3	8.4	1.27	0.28	6.8	8.5	23.5
④	淤泥质粉质黏土	17.9	1.190	39.4	22.6	16.8	1.25	0.81	2.7	11.5	8.5
⑦ ₁	粉质黏土	19.3	0.794	36.2	20.7	15.5	0.39	0.26	6.9	31.0	15.0
⑦ ₂	含砂粉质黏土	18.8	0.805					0.28	6.4	14.5	15.5
⑧ ₂	粉质黏土	18.8	0.994	40.5	24.3	16.2	0.83	0.60	3.3	14.5	12.5
⑨ ₁	粉质黏土	19.3	0.789	33.7	19.4	14.3	0.50	0.29	6.1	31.0	15.5
⑨ ₂	含黏性土粉砂	19.4	0.683					0.22	7.5	5.0	31.5
⑨ ₃	圆砾	20.2							15.0	3.0	33.5
⑨ ₄	卵石	20.5							25.0	3.0	34.0
⑪ ₂	粉质黏土	18.5	0.986	38.5	22.6	15.9	0.85	0.64	3.1	16.5	10.5
⑮ ₂	含黏性土碎石	20.2	0.312						25	32.0	13.5
31-b-2	强风化泥质粉砂岩	20.0	-						25	50.0	25.0
31-b-3	中等风化泥质粉砂岩	20.0	-						62.5	200	35.0

3 地铁结构现状评价

要分析施工对轨道交通设施的影响，首先要调研轨道交通设施的结构型式、运营监测等，在此基础上进行有针对性的保护。

3.1 高架区间现状调查

3.1.1 高架区间概况

杭州地铁 16 号线线路起于临安市九州街锦南新城站，终于绿汀路站。线路总长约 35.12km，其中地下线约 20.34km，共设车站 12 座，其中地下站共 8 座。线路临安市境内长度 20.72km，设站 6 座(地下站 4 座)；余杭区境内长度 14.4km，设站 6 座(地下站 4 座)。线路起于临安市九州街锦南新城站，向东主要经由九州街→万马路南延线→万马路→苕溪北路→科技大道→02 省道→东西大道→水乡北路，终于绿汀路站，与杭州地铁 3 号线双岛四线同站台换乘，与杭州地铁 5 号线垂直换乘。线路在锦南新城站预留西延条件。

其中青山湖科技城站-南峰站区间(88#-136#墩)，里程范围为右 DK21+077.346~右 DK23+177.660，线路总长度为 2100.314m。本线于 2016 年 1 月 4 日开工建设，于 2020 年 4 月 23 日开通运营全线。

杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站高架区间结构，影响范围桩号为右 DK22+312.346~右 DK22+507.346(114#、115#、116#、117#桥墩)，影响长度约 195m。其中 114#号墩承台宽度 15.2x10.8x4.5m，承台下设置 11 根直径 2m 灌注桩，桩长 12.0m，桩底标高为-14.337m，桥墩高为 19.50m，墩身底宽为 3.8m，桥墩顶标高为 21.663m；115#号墩承台宽度 13.2x8.5x4m，承台下设置 6 根直径 2m 灌注桩，桩长 19.50m，桩底标高为-22.085m，桥墩高为 20.01m，墩身底宽为 3.8m，桥墩顶标高为 21.427m；116#号墩承台宽度 9.6x7.6x3m，承台下设置 6 根直径 1.5m 灌注桩，桩长 19.50m，桩底标高为-22.584m，桥墩高为 14.74m，桥墩底宽 3.5m，桥墩顶标高为 24.181m；117#号墩承台宽度 8.4x6.4x2.5m，承台下设置 6 根直径 1.2m 灌注桩，桩长 21.50m，桩底标高为-15.405 m，桥墩高为 14.75m，桥墩底宽 3.5m，桥墩顶标高为 23.345m。

(60+100+125+100+60m)连续钢构桥采用 C55 混凝土浇筑，桥墩采用 C40 混凝土，垫石采用 C50 混凝土，伸缩缝采用弹性体伸缩缝，支座采用由住建部

正式批准的《城市轨道交通桥梁球形钢支座（CJ/t482-2015）》。

轨道类型为长轨枕式整体道床形式，轨道结构高度为 560mm，本段为中等减震地段。声屏障为 4m 高直立式声屏障。



图 3.1 青山湖科技城站~南峰站高架区间 114#、115#墩现状照片



图 3.2 青山湖科技城~南峰站高架区间 116#、117#墩现状照片

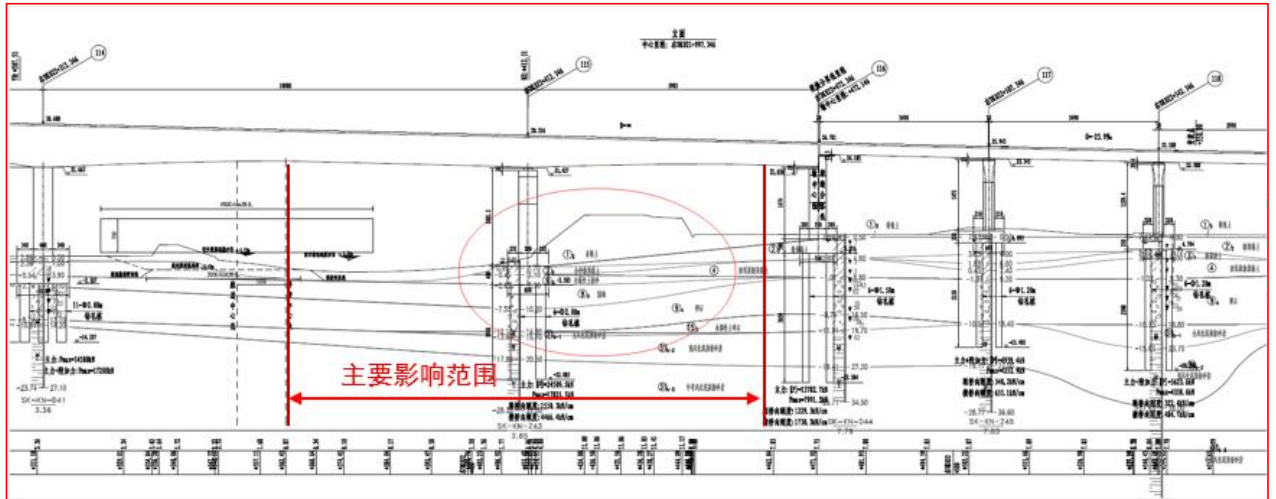


图 3.3 中桥塘堤防工程主要影响范围

3.1.2 高级区间现状检测

1、检测内容

外观检查:外观检查和裂缝调查,检查桥梁损坏情况,判断损坏原因,进行桥梁技术状况评定。

2、检测结果

通过对 16 号线高架区间(114#~116#墩)的外观质量检查结果描述如下:

1) 支座

高架区间采用桥梁球形钢支座,经检查,钢支座表面存在轻微锈蚀现象。

2) 桥面系

伸缩缝采用弹性体伸缩缝,经检查,桥墩伸缩缝隙存在少量渗水现象。

3) 上部结构

上部结构采用混凝土箱梁,箱梁整体情况良好,表面均涂层覆盖,未发现明显裂缝、破损、露筋等病害。

4) 下部结构

高架区间桥墩为方柱(四周倒圆角)。下部基础采用钻孔灌注桩,桥墩整体情况良好,未见大面积蜂窝、麻面、剥落、空洞、砼腐蚀及网裂和结构裂缝。

3.2 高架区间监测数据

1、青山湖科技城站~南峰站区间道床沉降监测数据成果表

1) 青山湖科技城站~南峰站区间上行线道床沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

青山湖科技城站~南峰站上行道床沉降

委托单位：杭州地铁运营有限公司

监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司

合同号：YY-FW-023-032

本次监测起止日期：2023/06/16 至 2023/07/30

本次/累计观测时间:44/1435

天气：晴

作业仪器：DNA03

仪器编号：338968/346204

报表编号：KJNF001

监测点号	2019/8/2	2023/6/16	2023/7/30	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置(里程、点 位)		曲率半 径变化	备注
	初始高 程(m)	上次高程 (m)	本次高程 (m)				里程	点位		
D16-KJNF-DCC-R603	33.9514	33.9505	33.9518	1.3	0.03	0.4	K22+027	603	14121	
D16-KJNF-DCC-R604	34.0100	34.0060	34.0072	1.2	0.03	-2.8	K22+034	604	8513	
D16-KJNF-DCC-R605	34.0635	34.0593	34.0589	-0.4	-0.01	-4.6	K22+040	605	16822	
D16-KJNF-DCC-R606	34.1155	34.1114	34.1112	-0.2	0.00	-4.3	K22+046	606	23077	
D16-KJNF-DCC-R607	34.1485	34.1439	34.1430	-0.9	-0.02	-5.5	K22+052	607	8824	
D16-KJNF-DCC-R608	34.1792	34.1747	34.1765	1.8	0.04	-2.7	K22+058	608	5581	
D16-KJNF-DCC-R609	34.2082	34.2035	34.2019	-1.6	-0.04	-6.3	K22+064	609	8126	
D16-KJNF-DCC-R610	34.2349	34.2296	34.2294	-0.2	0.00	-5.5	K22+070	610	35644	
D16-KJNF-DCC-R611	34.2499	34.2444	34.2442	-0.2	0.00	-5.7	K22+076	611	67925	
D16-KJNF-DCC-R612	34.2591	34.2534	34.2537	0.3	0.01	-5.4	K22+082	612	32727	
D16-KJNF-DCC-R613	34.2802	34.2745	34.2756	1.1	0.02	-4.6	K22+088	613	21557	
D16-KJNF-DCC-R614	34.2837	34.2783	34.2782	-0.1	0.00	-5.5	K22+094	614	14938	
D16-KJNF-DCC-R615	34.2758	34.2697	34.2688	-0.9	-0.02	-7.0	K22+100	615	23226	
D16-KJNF-DCC-R616	34.2541	34.2467	34.2471	0.4	0.01	-7.0	K22+106	616	19459	
D16-KJNF-DCC-R617	34.2553	34.2464	34.2465	0.1	0.00	-8.8	K22+112	617	10256	
D16-KJNF-DCC-R618	34.2423	34.2319	34.2318	-0.1	0.00	-10.5	K22+118	618	13846	
D16-KJNF-DCC-R619	34.2084	34.1967	34.1970	0.3	0.01	-11.4	K22+124	619	16364	
D16-KJNF-DCC-R620	34.1811	34.1680	34.1684	0.4	0.01	-12.7	K22+130	620	22500	
D16-KJNF-DCC-R621	34.1412	34.1277	34.1282	0.5	0.01	-13.0	K22+136	621	120000	
D16-KJNF-DCC-R622	34.1087	34.0954	34.0957	0.3	0.01	-13.0	K22+142	622	45000	
D16-KJNF-DCC-R623	34.0669	34.0545	34.0547	0.2	0.00	-12.2	K22+148	623	24000	
D16-KJNF-DCC-R624	34.0089	33.9977	33.9974	-0.3	-0.01	-11.5	K22+154	624	21176	
D16-KJNF-DCC-R625	33.9582	33.9477	33.9477	0.0	0.00	-10.5	K22+160	625	16364	
D16-KJNF-DCC-R626	33.8987	33.8900	33.8894	-0.6	-0.01	-9.3	K22+166	626	13333	
D16-KJNF-DCC-R627	33.8311	33.8238	33.8233	-0.5	-0.01	-7.8	K22+172	627	14400	
D16-KJNF-DCC-R628	33.7605	33.7544	33.7537	-0.7	-0.02	-6.8	K22+178	628	22500	
D16-KJNF-DCC-R629	33.6793	33.6744	33.6731	-1.3	-0.03	-6.2	K22+184	629	36000	
D16-KJNF-DCC-R630	33.5893	33.5835	33.5835	0.0	0.00	-5.8	K22+190	630	36000	
D16-KJNF-DCC-R631	33.5059	33.4999	33.5007	0.8	0.02	-5.2	K22+196	631	51429	
D16-KJNF-DCC-R632	33.4158	33.4101	33.4105	0.4	0.01	-5.3	K22+202	632	90000	
D16-KJNF-DCC-R633	33.3127	33.3061	33.3071	1.0	0.02	-5.6	K22+208	633	24000	
D16-KJNF-DCC-R634	33.1929	33.1847	33.1861	1.4	0.03	-6.8	K22+214	634	13333	
D16-KJNF-DCC-R635	33.0878	33.0776	33.0795	1.9	0.04	-8.3	K22+220	635	10588	
D16-KJNF-DCC-R636	32.9653	32.9540	32.9551	1.1	0.03	-10.2	K22+226	636	9231	
D16-KJNF-DCC-R637	32.8502	32.8372	32.8380	0.8	0.02	-12.2	K22+232	637	11613	

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

D16-KJNF-DCC-R638	32.7187	32.7040	32.7054	1.4	0.03	-13.3	K22+238	638	14400	
D16-KJNF-DCC-R639	32.5841	32.5677	32.5694	1.7	0.04	-14.7	K22+244	639	12000	
D16-KJNF-DCC-R640	32.4475	32.4285	32.4312	2.7	0.06	-16.3	K22+250	640	17143	
D16-KJNF-DCC-R641	32.2911	32.2721	32.2743	2.2	0.05	-16.8	K22+256	641	27692	
D16-KJNF-DCC-R642	32.1614	32.1416	32.1438	2.2	0.05	-17.6	K22+262	642	36000	
D16-KJNF-DCC-R643	32.0289	32.0087	32.0111	2.4	0.05	-17.8	K22+268	643	36000	
D16-KJNF-DCC-R644	31.8924	31.8726	31.8754	2.8	0.06	-17.0	K22+274	644	16364	
D16-KJNF-DCC-R645	31.7639	31.7458	31.7483	2.5	0.06	-15.6	K22+280	645	10313	
D16-KJNF-DCC-R646	31.6277	31.6114	31.6136	2.2	0.05	-14.1	K22+285	646	10417	
D16-KJNF-DCC-R647	31.4961	31.4815	31.4829	1.4	0.03	-13.2	K22+290	647	8333	
D16-KJNF-DCC-R648	31.3480	31.3359	31.3369	1.0	0.02	-11.1	K22+295	648	6757	
D16-KJNF-DCC-R649	31.2140	31.2038	31.2045	0.7	0.02	-9.5	K22+300	649	6944	
D16-KJNF-DCC-R650	31.0741	31.0659	31.0666	0.7	0.02	-7.5	K22+305	650	10417	
D16-KJNF-DCC-R651	30.9405	30.9319	30.9326	0.7	0.02	-7.9	K22+310	651	22297	
D16-KJNF-DCC-R652	30.8125	30.8044	30.8056	1.2	0.03	-6.9	K22+316	652	24000	
D16-KJNF-DCC-R653	30.6950	30.6880	30.6886	0.6	0.01	-6.4	K22+322	653	60000	
D16-KJNF-DCC-R654	30.5473	30.5405	30.5408	0.3	0.01	-6.5	K22+328	654	180000	
D16-KJNF-DCC-R655	30.4102	30.4027	30.4036	0.9	0.02	-6.6	K22+334	655	18000	
D16-KJNF-DCC-R656	30.2802	30.2717	30.2717	0.0	0.00	-8.5	K22+340	656	13846	
D16-KJNF-DCC-R657	30.1393	30.1296	30.1301	0.5	0.01	-9.2	K22+346	657	13846	
D16-KJNF-DCC-R658	30.0060	29.9949	29.9949	0.0	0.00	-11.1	K22+352	658	11250	
D16-KJNF-DCC-R659	29.8680	29.8553	29.8556	0.3	0.01	-12.4	K22+358	659	13846	
D16-KJNF-DCC-R660	29.7251	29.7109	29.7114	0.5	0.01	-13.7	K22+364	660	12857	
D16-KJNF-DCC-R661	29.6004	29.5847	29.5852	0.5	0.01	-15.2	K22+370	661	13846	
D16-KJNF-DCC-R662	29.4399	29.4233	29.4236	0.3	0.01	-16.3	K22+376	662	15652	
D16-KJNF-DCC-R663	29.3020	29.2844	29.2845	0.1	0.00	-17.5	K22+382	663	25000	
D16-KJNF-DCC-R664	29.1640	29.1461	29.1466	0.5	0.01	-17.4	K22+387	664	62500	
D16-KJNF-DCC-R665	29.0278	29.0102	29.0107	0.5	0.01	-17.1	K22+392	665	35714	
D16-KJNF-DCC-R666	28.8947	28.8781	28.8780	-0.1	0.00	-16.7	K22+397	666	8621	
D16-KJNF-DCC-R667	28.7561	28.7414	28.7419	0.5	0.01	-14.2	K22+402	667	5952	
D16-KJNF-DCC-R668	28.6194	28.6065	28.6069	0.4	0.01	-12.5	K22+407	668	5682	
D16-KJNF-DCC-R669	28.4627	28.4522	28.4529	0.7	0.02	-9.8	K22+412	669	5208	
D16-KJNF-DCC-R670	28.3293	28.3215	28.3216	0.1	0.00	-7.7	K22+417	670	5814	
D16-KJNF-DCC-R671	28.1933	28.1885	28.1878	-0.7	-0.02	-5.5	K22+422	671	6944	
D16-KJNF-DCC-R672	28.0669	28.0623	28.0628	0.5	0.01	-4.1	K22+427	672	10417	
D16-KJNF-DCC-R673	27.9144	27.9107	27.9113	0.6	0.01	-3.1	K22+432	673	19231	
D16-KJNF-DCC-R674	27.7809	27.7778	27.7781	0.3	0.01	-2.8	K22+437	674	27778	
D16-KJNF-DCC-R675	27.6490	27.6464	27.6468	0.4	0.01	-2.2	K22+442	675	20833	
D16-KJNF-DCC-R676	27.4974	27.4953	27.4958	0.5	0.01	-1.6	K22+447	676	31250	
D16-KJNF-DCC-R677	27.3635	27.3614	27.3617	0.3	0.01	-1.8	K22+452	677	125000	
D16-KJNF-DCC-R678	27.2297	27.2280	27.2279	-0.1	0.00	-1.8	K22+457	678	250000	
D16-KJNF-DCC-R679	27.0972	27.0953	27.0955	0.2	0.00	-1.7	K22+462	679	35714	
D16-KJNF-DCC-R680	26.9649	26.9625	26.9626	0.1	0.00	-2.3	K22+467	680	22727	

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

D16-KJNF-DCC-R681	26.8399	26.8364	26.8371	0.7	0.02	-2.8	K22+472	681	24231	
D16-KJNF-DCC-R682	26.6968	26.6950	26.6923	-2.7	-0.06	-4.5	K22+481	682	9310	
D16-KJNF-DCC-R683	26.4636	26.4685	26.4661	-2.4	-0.05	2.5	K22+490	683	8710	
D16-KJNF-DCC-R684	26.2642	26.2714	26.2690	-2.4	-0.05	4.8	K22+499	684	17239	
D16-KJNF-DCC-R685	26.0554	26.0606	26.0583	-2.3	-0.05	2.9	K22+507	685	8106	

2) 青山湖科技城站~南峰站区间下行线道床沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表

青山湖科技城站~南峰站下行道床沉降

委托单位：杭州地铁运营有限公司

监测单位：上海勘察设计院研究院（集团）有限公司

合同号：YY-FW-023-032

本次监测迄止日期：2023/06/16 至 2023/07/16

本次/累计观测时间:30/1423

天气：晴

作业仪器：DNA03

仪器编号：338968/346204

报表编号：KJNF002

监测点号	2019/8/23	2023/6/16	2023/7/16	本次变 量(mm)	本次速率 (mm/d)	累计变 量(mm)	所在位置（里程、点位）		曲率半 径变化	备注
	初始高程 (m)	上次高程 (m)	本次高程 (m)				里程	点位		
D16-KJNF-DCC-L603	33.9404	33.9409	33.9400	-0.9	-0.03	-0.4	K22+027	603	6432	
D16-KJNF-DCC-L604	34.0106	34.0079	34.0070	-0.9	-0.03	-3.6	K22+034	604	12892	
D16-KJNF-DCC-L605	34.0725	34.0692	34.0687	-0.5	-0.02	-3.9	K22+040	605	56618	
D16-KJNF-DCC-L606	34.1189	34.1159	34.1147	-1.2	-0.04	-4.2	K22+046	606	49315	
D16-KJNF-DCC-L607	34.1518	34.1486	34.1481	-0.6	-0.02	-3.8	K22+052	607	56250	
D16-KJNF-DCC-L608	34.1928	34.1897	34.1888	-0.9	-0.03	-4.0	K22+058	608	52490	
D16-KJNF-DCC-L609	34.2156	34.2120	34.2112	-0.8	-0.03	-4.5	K22+064	609	60419	
D16-KJNF-DCC-L610	34.2422	34.2382	34.2376	-0.6	-0.02	-4.6	K22+070	610	52490	
D16-KJNF-DCC-L611	34.2616	34.2572	34.2565	-0.7	-0.02	-5.2	K22+076	611	46753	
D16-KJNF-DCC-L612	34.2781	34.2734	34.2732	-0.2	-0.01	-4.9	K22+082	612	62069	
D16-KJNF-DCC-L613	34.2918	34.2858	34.2865	0.7	0.02	-5.3	K22+088	613	67546	
D16-KJNF-DCC-L614	34.2903	34.2856	34.2852	-0.4	-0.01	-5.1	K22+094	614	31360	
D16-KJNF-DCC-L615	34.2848	34.2795	34.2788	-0.7	-0.02	-6.1	K22+100	615	16816	
D16-KJNF-DCC-L616	34.2812	34.2747	34.2740	-0.7	-0.02	-7.2	K22+106	616	10857	
D16-KJNF-DCC-L617	34.2658	34.2576	34.2564	-1.2	-0.04	-9.4	K22+112	617	10068	
D16-KJNF-DCC-L618	34.2472	34.2379	34.2363	-1.6	-0.05	-10.8	K22+118	618	11898	
D16-KJNF-DCC-L619	34.2303	34.2195	34.2179	-1.6	-0.05	-12.4	K22+124	619	13868	
D16-KJNF-DCC-L620	34.1973	34.1859	34.1839	-2.0	-0.07	-13.4	K22+130	620	15346	
D16-KJNF-DCC-L621	34.1609	34.1490	34.1461	-2.9	-0.10	-14.7	K22+136	621	25000	
D16-KJNF-DCC-L622	34.1186	34.1068	34.1040	-2.8	-0.09	-14.6	K22+142	622	126689	
D16-KJNF-DCC-L623	34.0784	34.0671	34.0640	-3.2	-0.11	-14.5	K22+148	623	19416	
D16-KJNF-DCC-L624	34.0317	34.0219	34.0189	-3.0	-0.10	-12.8	K22+154	624	15830	
D16-KJNF-DCC-L625	33.9688	33.9596	33.9567	-2.9	-0.10	-12.2	K22+160	625	17109	
D16-KJNF-DCC-L626	33.9094	33.9023	33.8987	-3.6	-0.12	-10.7	K22+166	626	12236	
D16-KJNF-DCC-L627	33.8400	33.8336	33.8307	-2.9	-0.10	-9.2	K22+172	627	13249	
D16-KJNF-DCC-L628	33.7688	33.7638	33.7608	-3.0	-0.10	-8.0	K22+178	628	17568	
D16-KJNF-DCC-L629	33.6908	33.6865	33.6836	-2.9	-0.10	-7.2	K22+184	629	17525	
D16-KJNF-DCC-L630	33.6014	33.5975	33.5954	-2.1	-0.07	-5.9	K22+190	630	20523	

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对既有轨道交通设施影响安全预评估报告

D16-KJNF-DCC-L631	33.5154	33.5118	33.5100	-1.8	-0.06	-5.4	K22+196	631	25457	
D16-KJNF-DCC-L632	33.4242	33.4206	33.4197	-0.9	-0.03	-4.5	K22+202	632	26087	
D16-KJNF-DCC-L633	33.3196	33.3147	33.3146	-0.1	0.00	-4.9	K22+208	633	30616	
D16-KJNF-DCC-L634	33.2018	33.1958	33.1961	0.3	0.01	-5.7	K22+214	634	18128	
D16-KJNF-DCC-L635	33.0909	33.0824	33.0840	1.6	0.05	-6.9	K22+220	635	18128	
D16-KJNF-DCC-L636	32.9677	32.9582	32.9600	1.8	0.06	-7.7	K22+226	636	12221	
D16-KJNF-DCC-L637	32.8434	32.8322	32.8335	1.3	0.04	-9.9	K22+232	637	11328	
D16-KJNF-DCC-L638	32.7164	32.7037	32.7056	1.9	0.06	-10.8	K22+238	638	14982	
D16-KJNF-DCC-L639	32.5827	32.5684	32.5705	2.1	0.07	-12.3	K22+244	639	13231	
D16-KJNF-DCC-L640	32.4439	32.4282	32.4303	2.1	0.07	-13.6	K22+250	640	16030	
D16-KJNF-DCC-L641	32.2887	32.2718	32.2742	2.4	0.08	-14.5	K22+256	641	27568	
D16-KJNF-DCC-L642	32.1527	32.1354	32.1379	2.5	0.08	-14.9	K22+262	642	24899	
D16-KJNF-DCC-L643	32.0128	31.9961	31.9969	0.8	0.03	-16.0	K22+268	643	14938	
D16-KJNF-DCC-L644	31.8858	31.8690	31.8712	2.2	0.07	-14.7	K22+274	644	14669	
D16-KJNF-DCC-L645	31.7542	31.7392	31.7407	1.5	0.05	-13.5	K22+280	645	10896	
D16-KJNF-DCC-L646	31.6126	31.5988	31.6006	1.8	0.06	-11.9	K22+285	646	12906	
D16-KJNF-DCC-L647	31.4818	31.4694	31.4702	0.8	0.03	-11.6	K22+290	647	7982	
D16-KJNF-DCC-L648	31.3365	31.3266	31.3277	1.1	0.04	-8.8	K22+295	648	5925	
D16-KJNF-DCC-L649	31.1973	31.1892	31.1899	0.7	0.02	-7.4	K22+300	649	9110	
D16-KJNF-DCC-L650	31.0750	31.0685	31.0690	0.5	0.02	-6.1	K22+305	650	13556	
D16-KJNF-DCC-L651	30.9355	30.9302	30.9300	-0.2	-0.01	-5.5	K22+310	651	19135	
D16-KJNF-DCC-L652	30.8097	30.8055	30.8052	-0.3	-0.01	-4.4	K22+316	652	25352	
D16-KJNF-DCC-L653	30.6762	30.6723	30.6714	-0.9	-0.03	-4.8	K22+322	653	27568	
D16-KJNF-DCC-L654	30.5438	30.5401	30.5380	-2.1	-0.07	-5.8	K22+328	654	24899	
D16-KJNF-DCC-L655	30.3889	30.3845	30.3827	-1.8	-0.06	-6.3	K22+334	655	21649	
D16-KJNF-DCC-L656	30.2597	30.2546	30.2523	-2.3	-0.08	-7.4	K22+340	656	11909	
D16-KJNF-DCC-L657	30.1199	30.1130	30.1106	-2.4	-0.08	-9.3	K22+346	657	10298	
D16-KJNF-DCC-L658	29.9877	29.9791	29.9768	-2.3	-0.08	-10.9	K22+352	658	9956	
D16-KJNF-DCC-L659	29.8511	29.8414	29.8382	-3.2	-0.11	-12.9	K22+358	659	10387	
D16-KJNF-DCC-L660	29.7128	29.7009	29.6984	-2.5	-0.08	-14.4	K22+364	660	10387	
D16-KJNF-DCC-L661	29.5750	29.5615	29.5587	-2.8	-0.09	-16.4	K22+370	661	13354	
D16-KJNF-DCC-L662	29.4202	29.4063	29.4032	-3.1	-0.10	-17.1	K22+376	662	25977	
D16-KJNF-DCC-L663	29.2849	29.2700	29.2672	-2.8	-0.09	-17.7	K22+382	663	37739	
D16-KJNF-DCC-L664	29.1438	29.1290	29.1263	-2.8	-0.09	-17.6	K22+387	664	145240	
D16-KJNF-DCC-L665	29.0109	28.9960	28.9933	-2.7	-0.09	-17.6	K22+392	665	17276	
D16-KJNF-DCC-L666	28.8753	28.8617	28.8592	-2.5	-0.08	-16.1	K22+397	666	7864	
D16-KJNF-DCC-L667	28.7385	28.7264	28.7241	-2.3	-0.08	-14.4	K22+402	667	5638	
D16-KJNF-DCC-L668	28.5918	28.5818	28.5801	-1.7	-0.06	-11.7	K22+407	668	4813	
D16-KJNF-DCC-L669	28.4437	28.4360	28.4345	-1.5	-0.05	-9.2	K22+412	669	4956	
D16-KJNF-DCC-L670	28.3127	28.3079	28.3060	-1.9	-0.06	-6.6	K22+417	670	5755	
D16-KJNF-DCC-L671	28.1720	28.1680	28.1672	-0.8	-0.03	-4.9	K22+422	671	6453	
D16-KJNF-DCC-L672	28.0313	28.0289	28.0285	-0.4	-0.01	-2.8	K22+427	672	9077	
D16-KJNF-DCC-L673	27.8976	27.8960	27.8955	-0.5	-0.02	-2.1	K22+432	673	12412	

D16-KJNF-DCC-L674	27.7622	27.7617	27.7614	-0.3	-0.01	-0.8	K22+437	674	16621	
D16-KJNF-DCC-L675	27.6214	27.6212	27.6208	-0.4	-0.01	-0.6	K22+442	675	13758	
D16-KJNF-DCC-L676	27.4713	27.4722	27.4724	0.2	0.01	1.1	K22+447	676	13242	
D16-KJNF-DCC-L677	27.3386	27.3393	27.3395	0.2	0.01	0.8	K22+452	677	87719	
D16-KJNF-DCC-L678	27.2045	27.2054	27.2054	0.0	0.00	0.9	K22+457	678	41667	
D16-KJNF-DCC-L679	27.0723	27.0728	27.0726	-0.2	-0.01	0.3	K22+462	679	22405	
D16-KJNF-DCC-L680	26.9386	26.9384	26.9384	0.0	0.00	-0.2	K22+467	680	13399	
D16-KJNF-DCC-L681	26.8073	26.8060	26.8058	-0.2	-0.01	-1.5	K22+472	681	25627	
D16-KJNF-DCC-L682	26.6729	26.6717	26.6715	-0.2	-0.01	-1.4	K22+481	682	13056	
D16-KJNF-DCC-L683	26.4374	26.4428	26.4421	-0.7	-0.02	4.7	K22+490	683	8650	
D16-KJNF-DCC-L684	26.2508	26.2581	26.2588	0.7	0.02	8.0	K22+499	684	13419	
D16-KJNF-DCC-L685	26.0346	26.0404	26.0404	0.0	0.00	5.8	K22+507	685	8766	

2、青山湖科技城站~南峰站区间伸缩缝沉降监测数据成果表

1) 青山湖科技城站~南峰站区间上行线伸缩缝沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表		
青山湖科技城站~南峰站上行伸缩缝沉降		
委托单位：杭州地铁运营有限公司	监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司	合同号：YY-FW-023-032
本次监测迄止日期：2023/05/10 至 2023/07/30	本次/累计观测时间：81/1435	天气：晴
作业仪器：DNA03	仪器编号：338968/346204	报表编号：KJNF003

监测点号	2019/8/25	2023/5/10	2023/7/30	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置(里程、环号)		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-SSF-R086	33.6781	33.6794	33.6801	0.7	0.01	2.0	K21+998	600	
D16-KJNF-SSF-R087	34.0278	34.0151	34.0154	0.3	0.00	-12.4	K22+028	604	
D16-KJNF-SSF-R088	26.6427	26.6725	26.6732	0.7	0.01	30.5	K22+473	682	
D16-KJNF-SSF-R089	25.8036	25.8249	25.8243	-0.6	-0.01	20.7	K22+508	686	

2) 青山湖科技城站~南峰站区间下行线伸缩缝沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表		
青山湖科技城站~南峰站下行伸缩缝沉降		
委托单位：杭州地铁运营有限公司	监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司	合同号：YY-FW-023-032
本次监测迄止日期：2023/05/10 至 2023/07/16	本次/累计观测时间：67/1423	天气：晴
作业仪器：DNA03	仪器编号：338968/346204	报表编号：KJNF004

监测点号	2019/8/23	2023/5/10	2023/7/16	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置(里程、环号)		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-SSF-L084	33.6737	33.6735	33.6735	0.0	0.00	-0.2	K21+998	600	
D16-KJNF-SSF-L085	34.0234	34.0237	34.024	0.3	0.00	0.6	K22+028	604	
D16-KJNF-SSF-L086	26.6390	26.6384	26.638	-0.4	-0.01	-1.0	K22+473	682	

监测点号	2019/8/23	2023/5/10	2023/7/16	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置(里程、环号)		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-SSF-L087	25.7998	25.8008	25.8013	0.5	0.01	1.5	K22+508	686	

3、青山湖科技城站~南峰站区间跨中沉降监测数据成果表

1) 青山湖科技城站~南峰站区间上行线跨中沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表 青山湖科技城站~南峰站上行跨中沉降									
委托单位：杭州地铁运营有限公司			监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司			合同号：YY-FW-023-032			
本次监测迄止日期：2023/05/10 至 2023/07/30			本次/累计观测时间：81/1331			天气：晴			
作业仪器：DNA03			仪器编号：338968/346204			报表编号：KJNF005			

监测点号	2019/12/7	2023/5/10	2023/7/30	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-KZC-R109	33.5542	33.5580	33.5585	0.5	0.01	4.3	K22+013	110	
D16-KJNF-KZC-R110	33.9297	33.9305	33.9316	1.1	0.01	1.9	K22+058	111	
D16-KJNF-KZC-R111	33.7959	33.7797	33.7812	1.5	0.02	-14.7	K22+137	112	
D16-KJNF-KZC-R112	31.6814	31.6744	31.6745	0.1	0.00	-6.9	K22+250	113	
D16-KJNF-KZC-R113	29.0852	29.0661	29.0663	0.2	0.00	-18.9	K22+363	114	
D16-KJNF-KZC-R114	27.1497	27.1520	27.1523	0.3	0.00	2.6	K22+443	115	
D16-KJNF-KZC-R115	26.0252	26.0344	26.0341	-0.3	0.00	8.9	K22+471	116	
D16-KJNF-KZC-R116	25.2163	25.2187	25.2193	0.6	0.01	3.0	K22+490	117	
D16-KJNF-KZC-R117	24.5720	24.5751	24.5764	1.3	0.02	4.4	K22+525	118	

2) 青山湖科技城站~南峰站区间下行线跨中沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表 青山湖科技城站~南峰站下行跨中沉降									
委托单位：杭州地铁运营有限公司			监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司			合同号：YY-FW-023-032			
本次监测迄止日期：2022/04/07 至 2023/05/10			本次/累计观测时间：398/1250			天气：晴			
作业仪器：DNA03			仪器编号：338968/346204			报表编号：KJNF006			

监测点号	2019/12/7	2023/5/10	2023/7/16	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-KZC-L110	33.5337	33.5396	33.5403	0.7	0.01	6.6	K22+013	111	
D16-KJNF-KZC-L111	33.9512	33.9547	33.9556	0.9	0.01	4.4	K22+058	112	
D16-KJNF-KZC-L112	33.7783	33.7657	33.7665	0.8	0.01	-11.8	K22+137	113	
D16-KJNF-KZC-L113	31.6926	31.6884	31.6878	-0.6	-0.01	-4.8	K22+250	114	
D16-KJNF-KZC-L114	29.0730	29.0588	29.0574	-1.4	-0.02	-15.6	K22+363	115	
D16-KJNF-KZC-L115	27.1493	27.1552	27.1552	0.0	0.00	5.9	K22+443	116	

监测点号	2019/12/7	2023/5/10	2023/7/16	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置		备注
	初始高程(m)	上次高程(m)	本次高程(m)				里程	环号	
D16-KJNF-KZC-L116	26.0482	26.0608	26.0605	-0.3	0.00	12.3	K22+471	117	
D16-KJNF-KZC-L117	25.1891	25.1959	25.1958	-0.1	0.00	6.7	K22+490	118	
D16-KJNF-KZC-L118	24.5617	24.5708	24.5701	-0.7	-0.01	8.4	K22+525	119	

4、青山湖科技城站~南峰站区间桥墩沉降监测数据成果表

1) 青山湖科技城站~南峰站区间右侧桥墩沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表									
青山湖科技城站~南峰站右侧桥墩沉降									
委托单位：杭州地铁运营有限公司			监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司			合同号：YY-FW-023-032			
本次监测迄止日期：2023/05/10 至 2023/07/23			本次/累计观测时间：74/1129			天气：晴			
作业仪器：DNA03			仪器编号：338968/346204			报表编号：KJNF007			
监测点号	2019/11/4	2023/5/10	2023/7/23	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置		备注
	初始测量值(m)	上次测量值(m)	本次测量值(m)				里程	点号	
D16-KJNF-QDC-R111	9.5615	12.7292	12.7289	-0.3	0.00	-2.7	K22+027	111	
D16-KJNF-QDC-R112	9.1275	11.8883	11.8880	-0.3	0.00	-1.1	K22+087	112	
D16-KJNF-QDC-R113	5.6259	10.2561	10.2566	0.5	0.01	-3.4	K22+187	113	
D16-KJNF-QDC-R114	4.9545	9.9450	9.9452	0.2	0.00	-4.5	K22+312	114	
D16-KJNF-QDC-R115	6.7218						K22+412	115	遮挡
D16-KJNF-QDC-R116	9.3131	11.0942	11.0927	-1.5	-0.02	-1.2	K22+472	116	
D16-KJNF-QDC-R117	9.1939	12.3129	12.3133	0.4	0.01	-1.4	K22+507	117	

2) 青山湖科技城站~南峰站区间左侧桥墩沉降监测数据成果表

杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果表									
青山湖科技城站~南峰站左侧桥墩沉降									
委托单位：杭州地铁运营有限公司			监测单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司			合同号：YY-FW-023-032			
本次监测迄止日期：2023/05/10 至 2023/07/23			本次/累计观测时间：74/1129			天气：晴			
作业仪器：DNA03			仪器编号：338968/346204			报表编号：KJNF008			
监测点号	2020/6/19	2023/5/10	2023/7/23	本次变量 (mm)	本次速率 (mm/d)	累计变量 (mm)	所在位置		备注
	初始测量值(m)	上次测量值(m)	本次测量值(m)				里程	点号	
D16-KJNF-QDC-L111	12.4378	12.4355	12.4375	2.0	0.03	-0.3	K22+027	111	
D16-KJNF-QDC-L112	11.5076	11.5057	11.5076	1.9	0.03	0.0	K22+087	112	
D16-KJNF-QDC-L113	10.3881	10.3861	10.3862	0.1	0.00	-1.9	K22+187	113	
D16-KJNF-QDC-L114	10.0814	10.0780	10.0772	-0.8	-0.01	-4.2	K22+312	114	
D16-KJNF-QDC-L115	6.3097						K22+412	115	遮挡
D16-KJNF-QDC-L116	10.5667	10.5687	10.5696	0.9	0.01	2.9	K22+472	116	
D16-KJNF-QDC-L117	12.1986	12.2012	12.2032	2.0	0.03	4.6	K22+507	117	

3.3 高架区间现状评价

根据杭州地铁 16 号线结构长期变形监测成果数据可知, 青山湖科技城站~南峰站上行道床沉降最大值为-17.8mm, 变形速率为 0.05 mm/d, 所在里程桩号 K22+268; 下行道床沉降最大值为-16mm, 变形速率为 0.03 mm/d, 所在里程桩号 K22+268;

青山湖科技城站~南峰站上行伸缩缝沉降最大值为 30.5mm, 变形速率为 0.01mm/d, 所在里程桩号 K22+473; 下行伸缩缝沉降最大值为-1.0 mm, 变形速率为-0.01mm/d, 所在里程桩号 K22+473 (116#墩位置)。

青山湖科技城站~南峰站上行跨中沉降最大值为-18.9mm, 变形速率为 -0.0025mm/d, 所在里程桩号为 K22+363; 下行跨中沉降最大值为-15.6mm, 变形速率为-0.02mm/d, 所在里程桩号为 K22+363;

青山湖科技城站~南峰站区间右侧桥墩沉降最大值为-4.5mm, 变形速率为 0.0025mm/d, (114#墩, 所在里程桩号为 K22+312), 左侧桥墩沉降最大值为 4.6mm 变形速率为-0.01mm/d, (117#墩, 所在里程桩号为 K22+507)。

可认定杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站高架区间变形已基本稳定, 并结合现状调查判定该区段轨道交通结构安全状况为III类。

4 地铁结构变形控制标准

为保证轨道交通隧道结构的安全，对轨道交通隧道的变形要求极为严格，其容许变形量与隧道的直径、管片结构及连接方式等密切相关。在已建和运营中的轨道交通隧道，隧道结构位移可能产生轨道偏差从而影响线路平顺性，严重时会影响列车的运行安全，隧道容许变形量往往要求更严格。目前关于轨道交通隧道结构容许变形量研究较少，国内不同城市结合当地的建设工程经验给出了不同的标准。

4.1 国家行业标准

《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T 202-2013）是目前最新的技术标准。规范中对城市轨道交通结构安全控制指标值作出了具体要求，可作为确定隧道的容许变量依据。

表 4.1-1 城市轨道交通结构安全控制指标

序号	安全控制标准	预警值（mm）	控制值（mm）
1	轨道横向高差	<2mm	<4mm
2	轨向高差（矢度值）	<2mm	<4mm
3	轨间距	>-2mm <+3mm	>-4mm <+6mm
4	道床脱空量	≤3mm	≤5mm
5	振动速度	-	≤2.5cm /s
6	隧道结构外壁附加荷载	-	≤20kPa

《地铁设计规范》（GB50157-2013）：

条文 10.1.11 跨度小于等于 40m 的简支梁和跨度小于等于 40m 的连续梁相邻桥墩，其工后沉降量之差应符合下列规定：

- 1 有砟桥面不应超过 20mm，无砟桥面不应超过 10mm。
- 2 对于外静不定结构，其相邻墩台不均匀沉降量之差的容许值还应根据沉降对结构产生的附加影响确定。

条文 10.2.6 区间桥梁墩顶弹性水平位移应符合下列规定

顺桥方向： $\Delta \leq 5\sqrt{L}$

横桥方向： $\Delta \leq 4\sqrt{L}$

式中：L-桥梁跨度（m），当为不等跨时采用相邻跨中的较小跨度，当 $<25m$ 时，按照25m计；

Δ -墩顶顺桥或者横桥方向水平位移（mm），包括由于墩身和基础的弹性变形及地基弹性变形的影响。

4.2 上海地铁变形控制标准

《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》中规定如下：

由于深基坑高楼桩基、降水、堆载等各种卸载和加载的建筑活动对地铁工程设施的综合影响限度，必须符合以下标准：

- ①在地铁工程(外边线)两侧的邻近3m范围内不能进行任何工程。
- ②地铁结构设施绝对沉降量及水平位移量 $\leq 20mm$ (包括各种加载和卸载的最终位移量)。
- ③隧道变形曲线的曲率半径 $R \geq 15000m$ 。
- ④相对变曲 $\leq 1/2500$ 。
- ⑤由于建筑物垂直荷载（包括基础地下室）及降水、注浆等施工因素而引起的地铁隧道外壁附加荷载 $\leq 20kPa$ 。
- ⑥由于打桩振动、爆炸产生的震动对隧道引起的峰值速度 $\leq 2.5cm/s$ 。

4.3 北京地铁变形控制标准

《北京地铁线路维修规则》规定整体道床线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值须满足下表的限定值。

表 4.3-1 整体道床线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值（北京）

项目	综合维修（mm）		经常保养（mm）		
	正线	其他线	正线	其他线	
轨距	+4、-2	+5、-2	+6、-3	+7、-3	
水平	4	5	6	8	
高低	4	5	6	8	
轨向（直线）	4	5	6	8	
三角坑	缓和曲线	4	5	6	8

	直线和圆曲线	4	5	6	8
--	--------	---	---	---	---

4.4 深圳地铁变形控制标准

《深圳市地铁集团有限公司 轨道交通运营安全保护区和建设规划控制区工程管理办法》第十三章技术要求，第七十五条地铁设施安全控制指标中规定地铁设施安全控制指标须满足表 4.4-1 所示：

地铁结构的水平位移、竖向位移、径向收敛、变形缝差异变形、隧道轴线变形曲率半径、隧道变形相对变曲、车站及隧道结构外壁附加荷载、结构振动速度等指标的控制值按下式确定： $r_i = K_i \cdot R_i$

其中： r_i —项目允许值；

K_i —安全控制系数， $K_i \leq 1$ ，具体值根据结构健康度和评估报告等综合确定；

R_i —控制值（具体数值参见表 4.4-1）。

表 4.4-1 深圳地铁安全控制指标表

安全控制指标	控制值 R_i
地下车站及隧道结构水平位移	$\leq 10\text{mm}$
地下车站及隧道结构竖向位移	$\leq 10\text{mm}$
地下车站及隧道结构径向收敛	$\leq 10\text{mm}$
高架结构水平位移	$\leq 5\text{mm}$
高架结构竖向位移	$\leq 5\text{mm}$
变形缝差异变形	$\leq 5\text{mm}$
隧道轴线变形曲率半径	$\geq 15000\text{m}$
隧道变形相对变曲	$\leq 1 / 2500$
车站及隧道结构外壁附加荷载 ^①	$\leq 10\text{kPa}$
车站及隧道振动速度 ^②	$\leq 12\text{mm} / \text{s}$
盾构管片接缝张开量	$< 2\text{mm}$
盾构管片裂缝宽度	$< 0.2\text{mm}$
其它混凝土构建裂缝宽度	$< 0.3\text{mm}$

4.5 市域(郊)铁路设计规范 TB10624-2020

11.3.10 墩台基础的沉降应按照恒载计算，其工后沉降量不应大于下表 11.3.10 规定

的限值。墩台基础的沉降计算值不应含区域沉降。

表 11.3.10 静定结构墩台基础工后沉降限值

桥上轨道类型	沉降类型	限值(mm)
有砟轨道	墩台均匀沉降	80
	相邻墩台沉降差	40
无砟轨道	墩台均匀沉降	20
	相邻墩台沉降差	10

注:超静定结构相邻墩台沉降量之差除应满足上述规定外,尚应根据沉降差对结构产生的附加应力的影响确定。

4.6 浙江省轨道交通设施保护相关规定

4.6.1 城市轨道交通结构安全保护技术规程

浙江省工程建设标准《城市轨道交通结构安全保护技术规程》(DB33/T1139-2017)对轨道交通结构变形控制标准有关规定如下(《规定》中原文 3.0.1~3.0.18 及附录):

3.0.1 需要保护的城市轨道交通结构应包括下列内容:

- 1 地下车站和区间结构;
- 2 高架车站和区间结构;
- 3 地面车站和区间结构;
- 4 车站附属结构,包括出入口、风亭、冷却塔等;
- 5 其他结构,包括联络通道、区间风井、出入段线(场)、车辆段(停车场)、控制中心、主变电所、外线高压电缆管沟等。

3.0.2 轨道交通控制保护区的设置范围应综合考虑工程和水文地质条件、轨道交通结构安全状况、外部作业影响程度等因素,并符合下列规定:

- 1 地下车站主体结构与区间结构外边线外侧 50m 内;
- 2 地面车站、高架车站和区间结构外边线外侧 30m 内;
- 3 过江、过河隧道结构外边线 100m 内;
- 4 车站附属结构及其他结构外边线外侧 20m 内。

当轨道交通控制保护区遇特殊的工程和水文地质或特殊的外部作业时,应适当扩大控制保护区范围。

3.0.3 下列范围应作为轨道交通特别保护区:

- 1 地下车站主体结构及区间结构外边线外侧 5m 内；
- 2 其余结构外边线外侧 3m 内。

3.0.4 轨道交通控制保护区内进行外部作业，应制定安全可靠的作业方案、轨道交通结构安全保护措施和安全应急预案；外部作业不得影响轨道交通结构的承载能力、正常使用功能、耐久性和其他特殊功能。

3.0.5 外部作业前，应收集下列资料：

- 1 工程和水文地质资料；
- 2 需要保护的轨道交通结构资料，掌握轨道交通结构安全状况和保护要求；
- 3 外部作业和轨道交通结构的周边环境资料，包括邻近建（构）筑物、地下管线等等。

3.0.6 轨道交通结构安全状况，根据其变形和结构损伤情况，分为 I 类、II 类、III 类、IV 类等四个类别，并应符合表 3.0.6 的要求。

表 3.0.6 轨道交通结构安全状况分类

轨道交通结构安全状况	轨道交通结构变形或结构损伤情况
I 类	变形大或结构损伤严重
II 类	变形较大或结构损伤较为严重
III 类	除 I 类、II 类、IV 类以外的情况
IV 类	未铺轨运营、变形较小且结构性能好

3.0.7 根据轨道交通结构安全状况、工程和水文地质条件、外部作业影响程度等因素，外部作业的轨道交通结构安全保护等级分为 A 级、B 级和 C 级等三级，保护等级的划分应符合表 3.0.7 及本规程第 4、5、6 章的相关要求。

表 3.0.7 轨道交通设施的保护等级

外部作业的轨道交通结构安全保护要求	安全保护等级
高	A 级
较高	B 级
一般	C 级

3.0.8 轨道交通结构安全控制指标值应结合轨道交通结构安全状况、外部作业对轨道交通结构的主要响应特征及安全保护技术要求合理选用，并符

合本规程附录 A 的要求；当存在时空相近的多项外部作业时，应综合考虑其影响的叠加效应，分配结构安全控制指标。

3.0.9 外部作业引起的轨道交通结构附加荷载及变形不得超过轨道交通结构安全控制指标值，轨道结构变形不得影响运营安全。

3.0.10 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，应根据第 7 章的要求，针对外部作业对轨道交通结构的影响及保护，进行安全评估。

外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 B 级，轨道交通结构安全状况为 I 类、II 类时，应进行安全评估；轨道交通结构安全状况为 III 类、IV 类时，宜进行安全评估。

3.0.11 外部作业净距控制值宜符合表 3.0.11 的规定。

表 3.0.11 外部作业净距控制值

轨道交通结构外部作业		地下结构		地面结构	高架结构
		盾构法	其他		
围护桩、地下连续墙△		≥7m	≥5m	≥5m	≥5m
工程桩△	非挤土桩	≥4m	≥3m	≥3m	≥3m
	挤土桩	≥30m	≥20m	≥15m	≥10m
土体加固△	深层搅拌法	≥6m	≥5m	≥5m	≥5m
	高压喷射注浆法	≥20m	≥15m	≥6m	≥6m
锚杆、锚索、土钉（末端）		≥15m	≥10m	≥10m	≥6m
上方基坑*		≥2m	-	-	-
穿越隧道*		≥2m	-	-	-
钻探孔、监测孔△		≥3m		≥3m	≥3m
起重、吊装设备		——		≥6m	≥6m
搭设棚架及宣传标志		——		≥6m	≥6m
存放易燃物料		——		≥6m	≥6m
浅孔爆破△		≥15m		≥15m	≥15m
深孔爆破△		≥50m		≥50m	≥50m

注：1) △指外部作业与轨道交通结构外边线之间的水平投影净距，*指外部作业与轨道交通结构外边线之间的竖向净距；

- 2) 当灌注桩采用冲孔、振动工艺时，按挤土桩考虑；
- 3) 当地下结构采用矿山法、顶管法等工艺建成时，按盾构法要求控制；
- 4) 当地基土体以淤泥、淤泥质土为主时，表中的净距控制管理值宜适当调整，并从严控制。

3.0.12 勘探完成后应采取注浆、灌浆等措施封堵勘察孔。

3.0.13 过水段轨道交通结构控制保护区内不应进行采砂、抛锚或拖锚等水

下作业，水下清淤疏浚作业应保证轨道交通结构上方覆土厚度不小于设计要求。

3.0.14 轨道交通结构邻近高边坡、高挡墙时，外部作业应保证高边坡、高挡墙及其基础的安全。

3.0.15 与轨道交通结构交叉的市政道路应设置限高标志和防护、防撞设施。

3.0.16 轨道交通控制保护区内地下水作业，应符合下列规定：

1 应采用合适的排水、降水、截水或回灌等地下水控制技术，有效控制轨道交通结构周边地层的水位变化幅度；

2 地下水作业过程及结束后应采取避免措施避免因流砂、管涌而导致轨道交通结构受损；

3 应评估地下水作业引起的地基和结构变形，并根据监测数据指导施工；地下水作业；对轨道交通结构影响较大时，地下水作业空间周边宜设置封闭的截水帷幕；

4 对含有承压水的地层，应验算外部作业过程土体突涌稳定性和地下结构的抗浮安全系数；

5 岩溶、土洞较发育地区的地下水作业，应避免降水诱发地层塌陷。

3.0.18 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为A级、B级时，应在外部作业实施前，建立针对轨道交通结构安全保护的监测系统，外部作业过程应对轨道交通结构进行监测。……

附录A 轨道交通结构安全控制指标值

A.0.1 轨道交通结构安全控制指标值应符合表A.0.1-a~A.0.1-c的要求：

表 A.0.1-a 盾构法或顶管法地下结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况			
	I	II	III	IV
水平位移 (mm)	<5	<8	<14	<20
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
相对收敛 (mm)	<5	<8	<14	<20
车站与区间交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16
变形曲率半径 (m)	>15000	>15000	>15000	>15000
变形相对曲率	<1/2500	<1/2500	<1/2500	<1/2500
管片接缝张开量 (mm)	<1	<1	<2	<2
外壁附加荷载 (kPa)	≤10	≤15	≤20	≤20

裂缝宽度 (mm)	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.2
-----------	------	------	------	------

表 A.0.1-b 明挖法地下结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况			
	I	II	III	IV
水平位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
车站与附属结构交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16
裂缝宽度 (mm)	迎水面	≤0.1	≤0.1	≤0.2
	背水面	≤0.2	≤0.2	≤0.3

表A.0.1-c 高架及地面结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况			
	I	II	III	IV
水平位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
车站与附属结构交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16
相邻柱基沉降差 (mm)	<0.0003L	<0.0005L	<0.001L	<0.0015L
裂缝宽度 (mm)	≤0.2	≤0.2	≤0.3	≤0.3

注：L为相邻柱基的中心距离 (mm)。

A.0.2 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为A级时，结构安全控制指标值应根据轨道交通结构现状评估结果确定。

外部作业的轨道交通结构安全保护等级为B级，轨道交通结构安全状况为I类、II类时，结构安全控制指标值应根据轨道交通结构现状评估结果确定；轨道交通结构安全状况为III类、IV类时，结构安全控制指标值宜根据轨道交通结构现状评估结果确定。

……（以上节选自《城市轨道交通结构安全保护技术规程》）

4.6.2 城际铁路变形控制的具体要求

从保护技术规程可以看出，轨道交通结构的保护范围分 2 个等级：特别保护区和控制保护区。本项目边坡与杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站高架区间隧道平面距离 0m-138m。故本工程边坡位于杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站区间的特别控制保护区、控制保护区范围。

杭州地铁 16 号线于 2016 年 1 月 4 日开工建设，于 2020 年 4 月 23 日开通运营全线，根据浙江省工程建设标准《城市轨道交通设施结构安全保护技术规程》及现状调查（详见第 3 章）情况，确定轨道交通结构安全状况为III类。

综合考虑类似工程影响量经验值及本项目模拟计算结果(详见第 6、7 章节)，

同时考虑到是运营线路、且非岩石地层，地层灵敏性高等不利因素，确定控制指标按照安全状况II类选取。

高架桥墩的累计变形控制值取水平位移±5mm，竖向位移±5mm，相邻柱基沉降差为0.0003Lmm（L为相邻柱基的中心距离），裂缝宽度<0.2mm。轨道横向高差4mm，轨向高差（矢度值）4mm，轨间距（+6mm，-4mm），道床脱空量5mm。本评估以此作为评估依据。

4.6.3 外部基坑工程的安全保护等级

根据浙江省工程建设标准《城市轨道交通设施结构安全保护技术规程》，本工程边坡与杭临城铁青山湖科技城站-南峰站高架区间的位置关系分2种情况：上跨边坡护坡和旁侧边坡护坡。

上跨边坡护坡段：

附录 C 隧道上方卸荷比、增荷比计算

C.0.1 隧道上方卸荷比 v_1 可根据上方基坑与隧道的空间关系，选取最不利断面按式（C.0.1）计算：

$$v_1 = S_1 / S \quad (C.0.1)$$

式中： S_1 ——隧道上方主要覆土区的基坑最大断面面积（图 C.0.1 中阴影部分面积， m^2 ）

S ——隧道上方主要覆土区的断面面积（ m^2 ）

φ ——隧道顶部以上土体的加权平均内摩擦角（°）

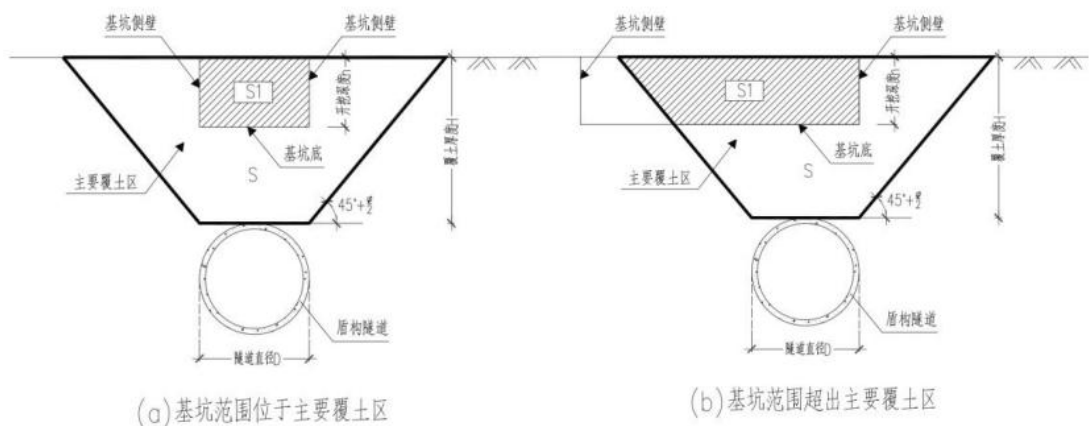


图 C.0.1 隧道上方卸荷比计算简图

土层信息	土层厚度 (m)	内摩擦角 (φ)
------	----------	--------------------

边坡挖方、填方	1.75	18.5
---------	------	------

内摩擦角 $45^{\circ}+18.5^{\circ}=63.5^{\circ}$

隧道上方增荷比 $v_1=S_1/S=304.8/855.15=0.356$

上跨边坡护坡段,轨道交通结构安全状况等级为III类,增荷比 0.356 大于 0.11,保护等级为 A 级。

旁侧边坡护坡段,护坡的开挖深度小于 5m,基坑地面放坡坡顶线与轨道交通结构最小水平距离为 0m 小于 10m,保护等级为 A 级。

综上所述可知,边坡基坑的保护等级为 A 级。后续监测方案实施需满足保护保护规程中 A 级要求。

5 风险评估

5.1 风险分析步骤

风险分析包括以下三个必不可少的主要步骤：

(1)采集数据

首先必需采集与所要分析的风险相关的各种数据，这些数据可以从国内外过去类似项目的历史记录中获得。所采集的数据必需是客观的、可统计的。

(2)完成不确定性模型

以已经得到的有关风险的信息为基础，对风险发生的可能性和可能的结果给以明确的定量化。通常用概率来表示风险发生的可能性。

(3)对风险影响进行评价

在不同风险事件的不确定性已经模型化后，就要评价这些风险的全面影响。通过评价把不确定性与可能结果结合起来。

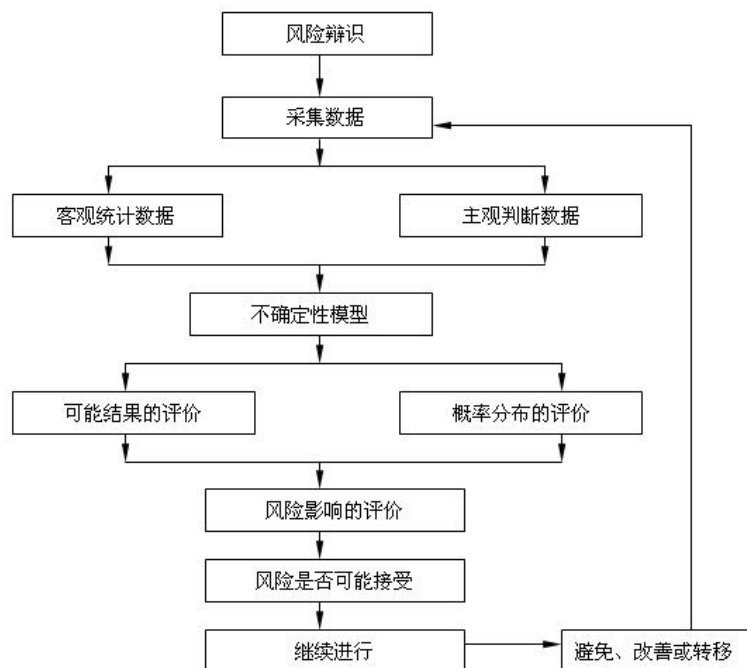


图 5.1-1 风险分析过程示意图

5.2 常用风险评估方法

5.2.1 层次分析法

层次分析法即“AHP 法”（Analytic Hierarchy Process）是对一些较为复杂、较为模糊的问题作出决策的简易方法，特别适用于那些难于完全定量分析的问题。

它是美国运筹学家 T.L.Saaty 教授于 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法。

(1) 层次分析法的步骤

层次分析法是以量化的思想定性地估计风险问题，其操作过程大体上可分为以下四个步骤：

- ①建立递阶层次结构模型；
- ②构造出各层次中的所有判断矩阵；
- ③验证判断矩阵一致性；
- ④根据判断矩阵得出相对重要度排序的结论。

(2) 层次分析的特点：

①结果主要基于主观判断，对风险的发生概率和发生后果的判断主要依靠专家的主观思考；

②得出结果的相对性，运用层次分析法进行风险评估不能得出各种风险因素的绝对风险指标，结果只能以本项目风险系统中各因素相对重要程度表示的。

5.2.2 模糊综合评价

模糊综合评价法是模糊数学在实际工作中的一种应用方式。其中，评价就是指按照指定的评价条件对评价对象的优劣进行评比、判断，综合是指评价条件包含多个因素。综合评价就是对受到多个因素影响的评价对象做出全面的评价。采用模糊综合评价法进行风险评价的基本思路是：综合考虑所有风险因素的影响程度，并设置权重区别各因素的重要性，通过构建数学模型，推算出风险的各种可能性程度，其中可能性程度值高者为风险水平的最终确定值。其具体步骤是：

- ①选定评价因素，构成评价因素集。
- ②根据评价的目标要求，划分等级，建立评价集。
- ③对各风险要素进行独立评价，建立判断矩阵。
- ④根据各风险要素影响程度，确定其相应的权重。
- ⑤运用模糊数学运算方法，确定综合评价结果。
- ⑥根据计算结果，确定项目风险水平。

5.2.3 专家打分法

专家打分法是一种常用、简单且易于实行的风险估计方法。它能最大程度的

发挥专家们的集体智慧、避免个人的认识偏差对风险估计结果产生错误影响。进行专家打分法首先要通过风险辨识将项目的所有风险列出，设计风险调查表，然后利用专家经验，对风险因素的重要性进行评估，再综合成整个项目的风险。具体实施步骤如下：

①成立专家打分法分析、预测小组，根据项目管理者对专家的信赖程度，赋予每个专家一个权重值；

②确定每个风险事件的权重，表示其对整个项目风险的影响程度；

③确定每个风险事件的等级值，例如可以对很大、较大、中、较小和小五个等级分别给予 1.0、0.8、0.6、0.4 和 0.2 的分值；

④将每个风险事件的权重、等级和专家等级相乘，求出该风险事件的得分，再将各风险因素得分求和，求出工程项目整个风险过程的总分，总分越高说明风险越大。

专家打分法特别适用于项目决策前期，这个时期往往缺乏具体的数据资料，只能依据专家的经验 and 决策者的意向，得出的结论也是一个大致的程度值，只能作为进一步分析参考的基础。

5.2.4 风险树分析法(RTA 或 ETA)

风险树分析是一种演绎的风险分析法。一般用来专门研究系统特定的不希望发生的事件（即顶事件），通过分析造成顶事件的各种可能的因素及因果关系，画出逻辑关系图（即风险树）。

风险分析的步骤和顺序如下：1）熟悉系统的设计资料；2）熟悉系统结构、功能和工作模式；3）确定顶事件；4）建造风险树；5）求风险树最小割集，确定系统的风险模式；6）用最小割集的结构函数求顶事件的发生概率。

5.3 风险评价标准

一般在对风险进行分析后，要对各风险因素的风险水平进行定级评价，目前国际上通用的定级方法为根据 R （风险等级）= P （风险概率等级） \times C （事故后果等级）定级，我国铁路隧道风险评估及城市轨道交通工程风险评估均采用此方法。

5.3.1 风险事故概率等级

事故发生概率分为五级，具体详见表5.3-1。

表 5.3-1 事故发生概率等级标准

概率范围	中心值	概率等级描述	概率等
------	-----	--------	-----

			级
>0.3	1	很可能	E
0.03~0.3	0.1	可能	D
0.03~0.003	0.01	偶然	C
0.0003~0.003	0.001	不可能	B
<0.0003	0.00001	很不可能	A

5.3.2 风险事故损失分级

本工程施工过程中,一旦发生风险事故,就会对工程项目及第三方造成经济、人员伤亡、工期延误或周边环境影晌等方面的损失。考虑不同损失程度,建立风险事故损失等级标准。

表 5.3-2 经济损失等级标准

后果定型描述	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
后果等级	5	4	3	2	1
经济损失(万元)	>1000	>300~1000	>100~300	>30~100	<30

注:“~”含义为包括上限值而不包括下限值,以下表同

表 5.3-3 人员伤亡等级标准

后果定型描述	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
后果等级	5	4	3	2	1
人员伤亡数量	F>9	2<F≤9 或 SI>0	1≤F≤2 或 1<SI≤10	SI=1 或者 1<MI≤10	MI=1

注: F=死亡人数, SI=重伤人数, MI=轻伤人数。

表 5.3-4 工期延误等级标准

后果定型描述	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
后果等级	5	4	3	2	1
延误时间 1(控制工期工程)(月/单一事故)	>10	1~10	0.1~1	0.01~0.1	<0.01
延误时间 2(非控制工期工程)(月/单一事故)	>24	6~24	2~6	0.5~2	<0.5

表 5.3-5 环境等级影响标准

后果定型描述	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
后果等级	5	4	3	2	1
环境影响描述	永久的,且严重的	永久的,但轻微的	长期的	临时的,但严重的	临时的,且轻微的

注:“临时的”含义为施工工期以内可以消除;“长期的”含义为在施工工期以内不能消除,但不会是永久的;“永久的”含义为不可逆转或不可恢复。

5.3.3 风险评估矩阵

根据事故发生的概率等级和后果等级，建立风险等级评价矩阵，将风险等级分为四级，即低度、中度、高度和极高四级，并为了使风险评估的结果更直观，与之对应分别采用绿色、黄色、橙色和红色的颜色标识不同的风险等级。风险评价矩阵如表5.3-6。

表 5.3-6 风险等级评价矩阵

后果等级 C		轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的
		1	2	3	4	5
很可能	E	1E	2E	3E	4E	5E
可能	D	1D	2D	3D	4D	5D
偶然	C	1C	2C	3C	4C	5C
不可能	B	1B	2B	3B	4B	5B
很不可能	A	1A	2A	3A	4A	5A
风险等级	低度	1A、1B、2A				
	中度	1C、1D、2B、2C、3A、3B、4A				
	高度	1E、2D、2E、3C、3D、4B、4C、5A、5B				
	极高	3E、4D、4E、5C、5D、5E				

5.3.4 风险接受准则

不同的风险需采用不同的风险接受准则和控制措施，如表5.3-7。

表 5.3-7 风险接受准则

风险等级	接受准则	接受准则	措施	建议应对部门
四	低度	可忽略	此类风险小，不需要采取风险处理措施和监测，可实施风险管理，进行日常监督。	设计、监理、施工单位
三	中度	可接受	此类风险次之，可采取风险处理措施，但需加强监测，宜进行风险管理。	设计、监理、施工单位
二	高度	不愿接受	此类风险较大，必须采取风险措施降低风险并加强监测，且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失。应进行风险管理。	设计、监理、施工单位、业主及政府部门
一	极高	不可接受	此类风险大，必须高度重视并规避，否则要不惜代价将风险至少降低到不期望的程度。必须进行风险管理。	设计、监理、施工单位、业主及政府部门

5.4 本项目设计方案风险分析

从设计角度看，本项目设计方案对轨道交通结构而言，面临的风险主要涉及

条件适应性风险、边坡设计风险、监控量测风险及施工管理风险。

5.4.1 设计条件适应性风险

(1) 风险辨识

边坡设计要综合考虑所处的地形、地质、水文及周边高架区间等周边建(构)筑物的空间位置、结构特点等条件,这些条件直接影响着本工程施工方案的选择。

(2) 风险分析

工程所处地质分层与轨道交通惯用地质分层编号及命名均有不同,容易造成误解。采用本项目详勘报告基础上,应与轨道交通惯用地质分层逐层对应,重新编号命名,正确选用参数进行设计复核,关系到轨道交通结构的安全。

(3) 风险评估

根据以上对设计条件进行综合汇总分析,并采用专家打分法和层次分析法对其等级进行评定,最后得出本项目设计适应性的风险事故发生概率P为C,事故后果等级为4,风险等级为二级(高度),不愿接受风险,此类风险较大,必须采取风险措施降低风险并加强监测,且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失,应进行风险管理。

(4) 风险控制措施

加强对设计选用基础资料的复核、审查,避免选用基础资料失误。

5.4.2 边坡护坡设计风险

(1) 风险辨识

本次中桥塘堤防工程从西 S0+000.000 至 S0+267.81,采用直径 800mm 双排灌注桩加固坡顶,第一排桩长为 10.0m,第二排桩长为 10.7m,沿河堤防为放坡,迎水坡坡度为 1:2.5,坡面采用 C30F100 砼框格梁植草厚 300mm, C20 素砼垫层厚 100mm,下铺碎石垫层厚 200mm,边坡底设置 15kN/m 无纺土工布,堤顶道路宽 8m,顶标高 12.96m,迎水坡为土方挖方,最大挖方深度为 1.74m;背水坡为土方填筑,最深填筑为 1.75m,对高架桥墩 115#墩区域采用直径 800mm 双排桩支护护坡。

可能的风险源包括:一、边坡降水引起周边土体发生沉降,轨道交通结构范围内土体发生位移,进而影响轨道交通结构安全;二、边坡开挖过程中边坡滑坡风险;三、双排灌注桩施工对周边地层的挤压效应引起周边土体变形,进而影响

轨道交通桥墩、上部结构稳定；三、双排桩施工时造成高架桥墩沉降变形；四、施工管理、决策、操作不当引起地层变形过大。

(2) 风险分析

本工程轨道交通高架桥墩承台下部位②3于含砂粉质黏土，边坡开挖范围主要为①2素填土。土层力学性质差，具有较强透水性。边坡护坡降水、挖方施工、护坡开挖、道路土方填筑及双排灌注桩施工等作业中轨道交通结构侧方土体经历先卸载后加载的过程，致承台上方、侧方土体发生位移，该不利影响传递到轨道交通周边土体，进而使承台、桥墩产生位移变形。

(3) 风险评估

根据以上综合分析，并采用专家打分法和层次分析法对其等级进行评定，最后得出基坑施工引起轨道交通结构变形较大的风险事故发生概率P为C，事故后果等级为4，风险等级为二级（高度），不愿接受风险，此类风险较大，必须采取风险措施降低风险并加强监测，且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失。应进行风险管理。

5.4.3 监控量测的风险

(1) 风险辨识

根据工程地质及环境情况，本项目施工监控量测中对轨道交通结构而言存在的风险源主要为：侧向系统（包括基准点、控制点的选取）出现工作失误；量测器材的精度及布置的合理性；量测频率是否满足要求；

监测项目是否复合规范及设计要求；监控量测制度是否合理；信息反馈及处理的机制是否及时、有效、完善。

(2) 风险分析

上述存在的监控量测风险源，可能导致的风险后果就是引起监控量测的结果不能及时有效的指导安全施工，可能隧道隆沉量或平移量过大，隧道的曲率半径过小，或相对弯曲半径过大。

(3) 风险评估

根据以上综合分析，并采用专家打分法和层次分析法对其等级进行评定，最后得出监控量测的风险事故发生概率P为B，事故后果等级为3，风险等级为三级，为可接受的风险，可采取降低风险的措施，并加强监控。

(4) 风险控制措施

加强监控量测的施工管理，保证监控仪器的精度。

5.4.4 施工管理分析

(1) 风险辨识

施工管理中存在的风险源主要有：施工人员是否经过培训；施工应急预案是否完善；施工管理人员是否具有施工经验及管理能力和能力；施工队伍的整体水平等。

(2) 风险分析

施工管理的好坏，对控制施工事故，提高施工治理具有重要的作用。

(3) 风险评估

根据以上综合分析，并采用专家打分法对其等级进行评定，最后得出本项目施工管理风险事故发生概率P为C，事故后果等级为3，风险等级为二级，为不可接受的风险，此类风险较大，必须采取风险措施降低风险并加强监测，且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失。应进行风险管理。

(4) 风险控制措施

加强施工人员配备及培训，提高施工管理水平，加强施工安全教育。

5.5 风险小结与影响等级判定

经过上述分析，本边坡护坡实施对高架区间的风险如表5.5-1所示。边坡护坡施工对其影响而言总的风险为二级，是不愿接受风险，必须采用风险处理措施降低风险并加强监控量测。根据国内外同类工程的案例分析，在采取措施后，该风险可降为三级，不会发生不可克服的风险。

表 5.5-1 本项目设计与施工风险评价

序号	风险事故		发生概率	事故后果	风险等级
1	设计 风险	设计条件适应性风险	C	4	二级
2		边坡设计风险	C	4	二级
3	施工 风险	监控量测的风险	B	3	三级
4		施工管理的风险	C	3	二级

根据中华人民共和国行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T202-2013）判定边坡施工作业对既有高桥区间的影响等级。经综合分析旁侧段与高架区间位置关系、上跨段位置卸荷量，判定本项目实施对城铁高架区间结构的外部作业影响等级为二级。

6 机理分析及同类工程类比

地铁作为现代城市的交通命脉，是整个城市的生命线工程，其安全性极为重要。

近年来，随着城市建设的高速发展，不少建设工程距离地铁较近，其实施将会对地铁产生一定影响。由于地铁设施变形控制极为严格，如何采取有效措施控制隧道的变形，又保证工程建设项目的实施是值得摸索和研究的课题。

6.1 一侧开挖影响分析

6.1.1 引起地铁设施变形的的外力因素分析

既有地铁设施发生变形，有很多原因如外力所造成的，材质劣化造成的，漏水造成的，同时，设计施工条件和方法也会产生一定程度的影响。为了区分基坑开挖引起的隧道变形与其他外力因素引起的隧道变形，下面介绍四种比较常见的外力引起的地铁设施变形特征。

1、松弛地压引起的地铁设施变形

松弛地压指的是由于围岩发生自然松弛，不能承受自重而施加在地铁设施结构上的荷载，主要压力是垂直压力。以隧道为例在拱顶处常常出现张性的开裂，这主要是主动区域范围的开裂特征：在隧道的被动区域即拱的两肩处沿隧道纵向主要产生斜向的张性开裂以及龟甲状的开裂。

2、偏压引起的地铁设施变形

产生偏压状态主要原因是作用在地铁设施结构上的地压显著不对称，这种情况多出现在斜坡地形处。偏压导致的既有地铁变形特征主要是：作用在结构上的土压左右是不一样的，一侧拱肩附近是主动土压力作用区域，这样会使另一侧的拱肩附近的断面出现上抬的现象，从而会形成被动土压。另外当地铁隧道拱肩有接缝时，会产生错台的现象。主动土压作用区域的隧道拱肩通常会产生产生纵向的张性开裂，而被动土压区域的拱肩多会产生压缩性的开裂以及斜向开裂。这样会使拱顶到拱肩断面上抬的部分出现局部的压溃的情况。而偏压作用的端部附近区域将会有斜向开裂以及环状开裂的特征，拱和墙接缝处通常会出现错台的情况。

3、膨胀性围压引起的地铁设施变形

当地铁设施断面净空缩小，挤出的围岩会产生施加在隧道上的土压，这种土压我们一般定义为膨胀性围压。膨胀性围压主要特点是围压的位移和土压随时间增长而相应的增长，最终会使衬砌和支护结构破损，可想而知，最终产生的围压是相当大的。这种围压引起隧道的变形特征是：当围岩和衬砌背面有面外剪力时候，通常会产生水平方向的较复杂的开裂特征，它多发生在隧道的左右两侧；隧道断面从左右两边挤出，拱顶通常会上台，此区域将会变成被动区域。如若拱顶背后出现空洞、或者围岩软弱时，拱顶很有可能会产生局部压溃。当然，拱顶出现被动反压力作用时，就不会使拱顶上抬，这样会使拱两肩出现剪力，从而产生水平开裂，也有可能还会出现错台的特点。

4、承载力不足引起的地铁设施变形

当地铁设施出现土压增加，围岩劣化，塑性区扩展到边墙正下方，围岩含水量上升等因素时，这些均会导致承载力不足或降低。承载力引起隧道开裂主要有以下特征：当隧道纵向发生不均匀沉降时，隧道边墙的接地部分通常会发生垂直开裂，并且逐渐出现环形开裂；下沉区域和不下沉区域的接触边界通常会在拱顶出现垂直开裂，逐渐发展成环形开裂，或者出现斜向开裂的情况。

6.1.2 一侧开挖引起地铁设施变形特征分析

既有地铁设施周边荷载变化引起隧道变形，其内里分布、变形特征和影响因素非常复杂。现在也没有一个比较成熟的理论来阐述这种变形，在现在的研究这类问题上，隧道变形和受力分析方面也只是一个比较粗略的探讨，现在通过阅读文献和统计工程实例的基础上，按照隧道空间位置的不同将隧道变形特征归结为两类：

1、隧道位于开挖一侧的变形特征

在空间上，隧道主要产生斜向坑底的变形，隧道横截面主要表现为横鸭蛋形。隧道移动总体表现是以水平为主，即水平方向上的移动量远大于竖直方向的移动量。由于卸荷，隧道衬砌结构靠近基坑部分主要以沉降为主，远离基坑部分主要以上浮为主。随着基坑开挖深度的逐渐增大，隧道横断面沉降和收敛变形呈现逐渐增大的趋势，两者关系一般近似线性比例。引起方面衬砌结构基本是以受压为主，未出现较大拉应力。

2、隧道位于深基坑底下的变形特征

隧道的变形以刚体变形为主，主要出现竖向上抬的特点。下卧隧道随着土体的回弹而产生隆起变形，并近似为正态曲线分布，隧道最大隆起点接近于基坑的开挖中心，并由此向两侧延伸，到支护结构处隆起量变小，越过后隆起略微有增加的趋势。隧道的断面净空一般在纵向上增大，在横向上会变小。隧道断面上变形比较大的一般位置是拱顶。基坑开挖时，下卧隧道的初支结构的变形通常是以受拉为主，并且拱顶部位一般会出现较大的受拉应力。

6.2 正上方卸载影响分析

基坑开挖是一种卸载过程，土体被开挖后基坑底部的土体初始应力场就会改变。土体的应力该变量即为卸载应力，卸载应力引起土体产生向上的隆起变形。土体隆起变形计算的方法可采用残余应力法进行计算。为研究基坑土体开挖卸载引起的隧道隆起变形，假定：（1）土体为成层分布的均质土体；（2）土体具有流变特性；（3）不考虑基坑围护结构和加固措施的影响。

隧道结构局部结构刚度与土体相比较，但相当长一段隧道的整体变形刚度较小，接近于影响土层的刚度，基本上随着周围土体位移的变化而变化，在小位移变形的情况下，经过大量实践、现场实测，发现隧道变形和土体位移基本一致。因此，可以用开挖卸荷与加载时土体的位移变化来计算小变形隧道的上抬与下沉位移。

土体是典型的弹塑性材料，在很小的加荷应力下即进入塑性状态，而卸荷时土体应变呈现瞬时弹性变化，根据弹塑性力学，加荷再卸荷后土体中存在有残余应力，为了更好地描述土体中的残余应力，引进残余应力系数的概念。

残余应力系数 α =残余应力/卸荷应力；

实测发现， α 值与基坑开挖深度 H 、上覆土厚度 h 以及土性有密切的关系。这说明残余应力系数是反映土体的初始应力状态、应力历史、卸荷应力路径、土性等因素的综合性参数。

对于某一开挖深度， α 值随着上覆土层的厚度 h 的增大逐渐增大，到达某一深度后，其值趋向于极限 1.0，这说明这一深度以下土体中没有卸荷应力，处于初始应力状态。为了方便，将 $\alpha=0.95$ 对应的 h 称为残余应力影响深度，用 h_r 表示，见下图。

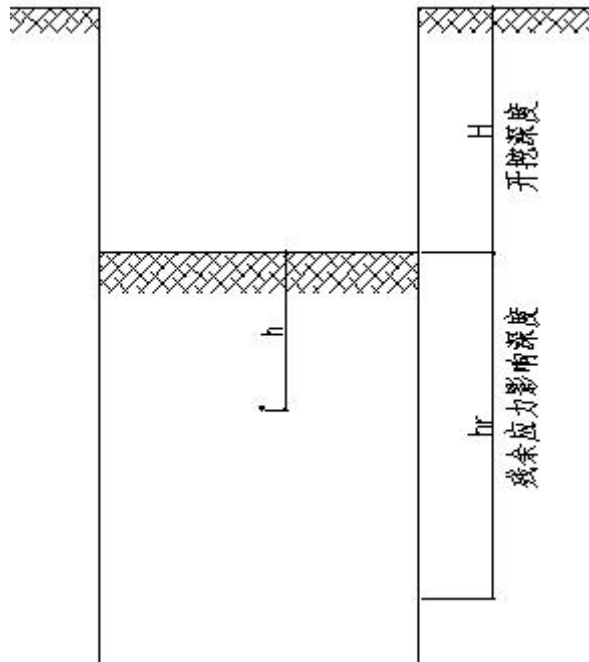


图 6.2-1 残余应力影响深度示意图

根据同济大学刘国彬教授对上海、杭州等软土地区的工程监测数据的整理分析， h_r 与基坑开挖深度 H 可用经验公式表示。

$$h_r = f(H) = \frac{H}{0.0612H + 0.19} = 5 / (0.0612 \times 5 + 0.19) = 10.081\text{m}.$$

对东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程（杭州市段）工程，边坡基坑开挖深度为地面以下 2.7m，可计算得 $h_r = 7.6\text{m}$ 。本项目边坡上跨段杭州地铁 16 号线区间承台底距离边坡底深度约为 8.7m，在残余应力影响范围之外，可认为上部边坡基坑开挖对隧道影响相对较小。

6.3 类似案例

6.3.1 上海某道路下穿沪杭高铁高架

一、工程概况

该道路下穿工程为东西向城市次干道，道路设计全长 506.498m，拓宽道路宽度为 30m。由东至西分别下穿沪杭高铁高架桥、沪昆铁路及在建嘉闵高架桥等构筑物，由 U 型槽、下穿沪昆铁路顶进框架、嘉闵高架公路框架等组成。下穿沪杭高铁 U 型槽位于沪杭高铁 37、38 号桥墩之间，U 型槽基坑宽 32.68m，长 15.09m，开挖深度 6.79 m，U 型槽侧墙距 37 号桥墩 9.5m，距 38 号桥墩 3.5m；下穿沪昆铁路为在既有框架两侧各新建 1 孔 6m 宽框架（框架净宽度为 6m）。共

有 12 节 U 型槽，其中 U6、7 为顶进框架连体 U 型槽，U4、5 位于顶进工作坑内。下穿沪昆铁路新建框架采用工作坑为预制顶施工，U 型槽采用明挖顺做法施工。工程平面图如图 6.3-1 所示，沪杭高铁桥墩断面及尺寸如图 6.3-2 所示。

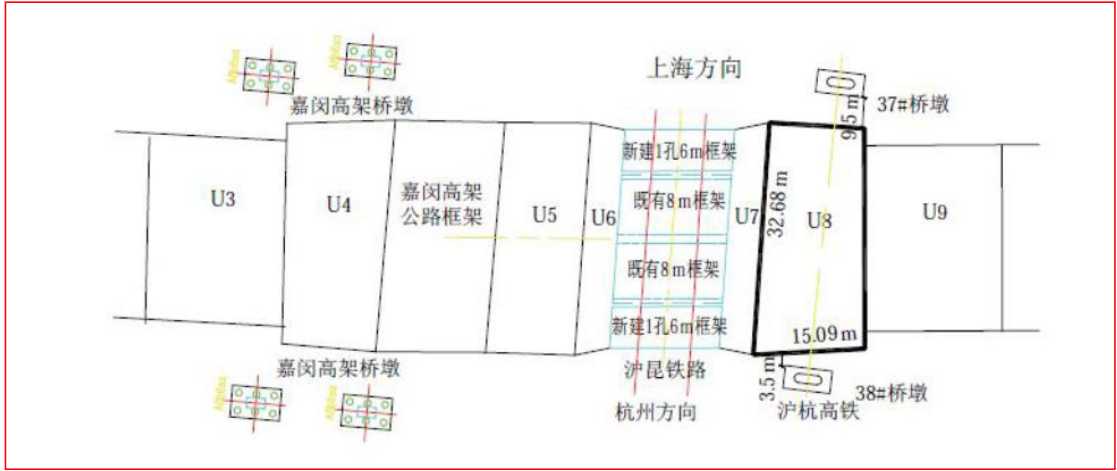


图 6.3-1 工程平面位置关系图

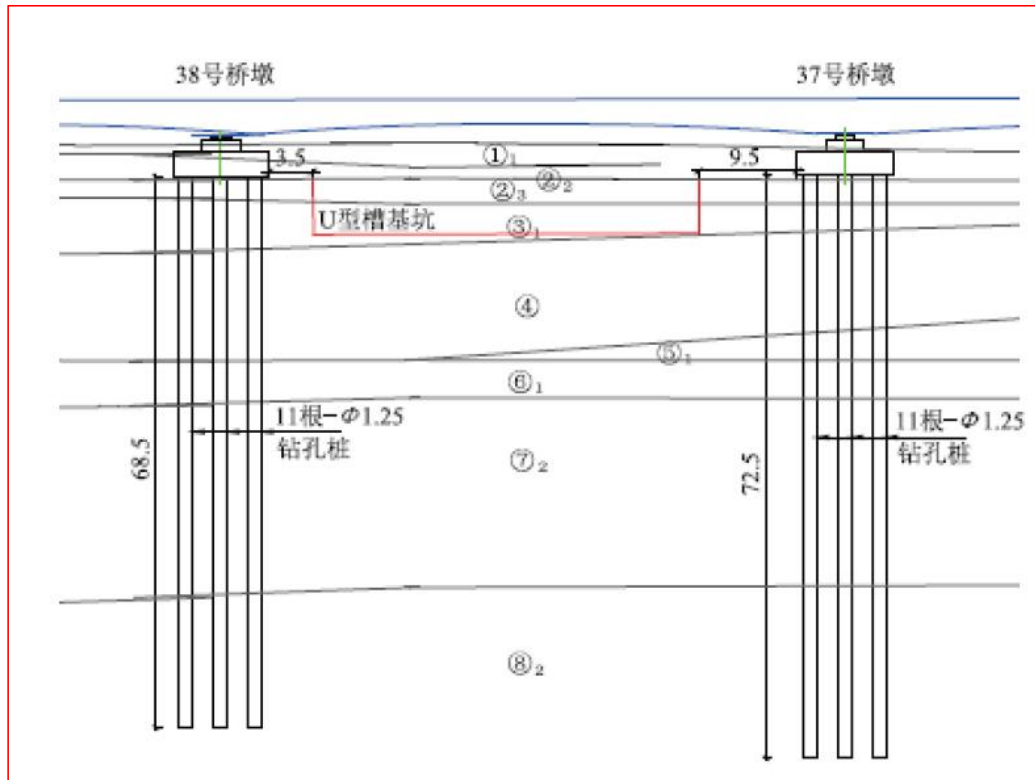


图 6.3-2 沪杭高铁 37、38 桥墩示意图

二、基坑开挖施工方案

下穿沪杭高铁 U 型槽基坑开挖深度为 6.79 m，宽度 32.68 m，长度 15.09 m,该基坑安全等级为一级基坑。基坑围护采用小 1000mm 间距 1150 mm 钻孔桩+双排

600 mm 间距 500 mm 高压旋喷桩，钻孔桩桩长 20 m，高压旋喷桩桩长 16m。围护桩桩顶设置圈梁，采用中 609mm 钢管支撑，支撑间距 4m，中间设置格构柱。基坑围护结构与沪杭高铁同步施工完成，即本次施工从凿除桩头，施工圈梁开始。基坑设置 1 道钢支撑，并将钢支撑与格构柱连接，钢支撑施加预应力后进行土方开挖。根据基坑开挖空间效应特点，基坑采用分层分块开挖，以减小基坑开挖对邻近高铁桥墩的影响。基坑每层开挖深度为 2m，当开挖至距基坑设计标高 0.3m 时，采用人工挖土的方法平整基坑，不得超挖与扰动基底土，挖到设计标高后，及时浇注混凝土垫层以减少坑底土体回弹，并随之尽快施工底板，完成基坑封底。

表1 土体主要物理力学参数

地层代号	岩土名称	重度 γ /kN/m ³	粘聚力 c_m /kPa	内摩擦角 φ_m /°	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ /MPa
①	填土	18.50	5.0	5.0	5.70
② ₁	粉质黏土	18.20	17.0	15.0	3.94
② ₃	砂质粉土	19.00	5.0	31.0	11.50
③	淤泥质粉质黏土	17.50	8.0	14.0	3.01
⑤ ₁₋₁	黏土	17.70	14.0	16.0	3.13
⑤ ₁₋₂	粉质黏土	18.20	27.0	21.3	5.23
⑤ ₁₋₄	粉质黏土夹粘质粉土	19.30	32.0	22.5	6.19
⑥	粉质黏土	19.60	45.0	23.5	6.55
⑦ ₁	砂质粉土	18.80	7.0	32.0	10.95
⑦ ₂	粉砂	19.00	4.0	34.0	15.47

三、计算结果

基坑施工全过程引起邻近高铁桥墩产生的总位移分别为:38 号桥墩顺桥向水平位移 2.9 mm，竖向位移-2.2mm;37 号桥墩顺桥向水平位移 0.9 mm，竖向位移 -1.5 mm。即，基坑边界距高铁桥墩距离近，基坑施工对其产生的影响大。围护桩最大水平位移为 8mm。

四、变形监测数据

基坑开挖至坑底时 38 号桥墩实测竖向位移-1.9 mm，实测水平位移 0.3 mm,37 号桥墩实测竖向位移-0.8 mm，实测水平位移 0.3 mm，数值与实测较为接近，浇筑完成板底拆除钢支撑后桥墩数据位移有微小回弹。

6.3.2 上海北虹路地道工程下穿高架桥

一、工程概况

北虹路地道工程位于长宁区,从威宁路进入地下,延虹许路穿过虹桥路和延安西路高架桥重要交叉 E 后,至古羊路回到地面。地道在延安西路与虹许路交叉口两高架桥墩之间穿过,与高架桥形成 89° 夹角。中环线为双向 8 车道,地道宽 34m,采用围护结构结合大开挖的方法进行施工。延安西路高架是连接虹桥机场和市中心的重要城市主干道,在其下面施工宽 34m、深 11.2m 的大型基坑工程,势必对高架桥的保护成为重要的课题和难点。经调查,延安西路高架桥上部结构为 48m 钢一混凝土叠合梁,下部结构为矩形双立柱,基础为 $10\text{ m}\times 7\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ 承台。每承台下均有 35 根 $450\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ 方桩,桩长 35 m,该类桩抗压强度高,但抗弯能力较低。桥墩承台与地道围护结构平面位置示意图 6.3-3。从图中可以看出承台距离下立交内部结构最小距离:东侧为 1.5 m,西侧 2.3 m。该处基坑开挖最大深度为 11.12 m。



图 6.3-3 北虹路地道与高架桥位置关系图

二、基坑围护结构体系设计

1) 基坑安全等级为“一级基坑”,地表最大沉降量 $\leq 0.1\%h$ (h 为基坑开挖深度),速率 $\leq 2\text{ mm}/12\text{ h}$ 。围护结构最大水平位移 $\leq 0.14\%h$ (为基坑开挖深度),速率 $2\text{ mm}/12\text{ h}$ 。

2) 地质条件。该区域内的土层自上而下分别为:①人工填土、②褐黄色黏土、

③灰色淤泥质粉质黏土、④灰色淤泥质黏土、⑤n 灰色黏土、⑤灰色粉砂，本层土为微承压水层，⑤灰色粉质黏土、⑤4 灰色绿色黏土、⑦灰色粉砂，承压水层：⑧灰色黏土。

3) 基坑宽 34m，平均开挖深度 10.66m，围护采用 p800@900 mm 钻孔灌注桩,桩长 28m，外侧以 g700@500 mm 高压旋喷桩为止水帷幕,两端封堵墙为 4850SMW 工法。支撑体系为:竖向设三道 44609 mm×16 钢管支撑，平面上将两道支撑并在一起设“井”字型支撑，水平方向间距达 8 m，为土方开挖创造了操作空间。支撑体系设置合理，不仅为土方开挖创造条件，而且对控制基坑围护的位移变形和高架桥墩保护提供有力保证。

4) 地基加固。原设计时考虑在高架桥承台四周实施高压旋喷桩土体加固，后经科技委有关专家指出：认为桥墩承台周围原有土体稳定状态不宜去破坏，建议实施跟踪压密注浆加固。在坑内采取裙边 5m 范围高压旋喷桩加固，加固深度为坑底以下 4m 至坑底以上 1 m。加固土体 28d 无侧限抗压强度 ≥ 1.2 MPa。

5) 基坑降水。坑内采取深井井点降水，按照平均每 200 m² 设置一口井，共设潜水井 5 口，深度 16m，靠基坑中央梅花型布置。该区域⑤z 微承压水层面标高为一 15.68 m，距离基坑开挖面 9.02 m，通过计算，覆土重量能压住微承压水应力，不需降微承压水水头。

三、基坑施工

土方开挖按照“时空效应”的理论，分层分段施工，并要“随挖随撑”。支撑施工按“先撑后挖、开槽支撑”的原则进行。

四、监测数据

施工影响范围内延安路高架的 6 个承台共 12 个立柱的沉降量很小，最大沉降量为 $G5=-1.66$ mm。表 1 统计了各立柱的初始测量日期变化量、最后一次测量日期、累积变化量。可以看出，各测点的沉降量均小于高架主管单位规定的 4 mm。距离基坑最近的 2 个承台的 4 个立柱测点的沉降量历时曲线图见图 2。可以看出:各测点的沉降速率均很小，没有超过 2 mm / 24 h。根据工况划分，在坑外高压旋喷止水帷幕施工期间，立柱表现为隆起，最大隆起量为 $G9=+3.32$ mm;坑外施工完毕后，坑内加固和降水期间。立柱表现为下沉，累积沉降量最大值为

G9=-1.32m; 基坑开挖后, 立柱又有少量的隆起, 隆起量最大值为 G10=+2.99 mm; 浇好底板后, 立柱开始缓慢下沉, 最终沉降量均比较小, 最终沉降量最大值为 G5=-1.66mm。

表 6.3.2-1 高架桥立柱沉降、位移测点累计变化量

沉降点号	最终累积变化量/mm	位移点号	最终累积位移量/mm
G1	-0.39	GW1	0.0
G2	0.68	GW2	-0.5
G3	-0.45	GW3	0.5
G4	-0.97	GW4	0.0
G5	-1.66	GW5	0.5
G6	-0.72	GW6	0.0
G7	-0.84	GW7	0.0
G8	-1.44	GW8	0.5
G9	-1.03	GW9	0.5
G10	-0.36	GW10	0.5
G11	0.59	GW11	0.0
G12	-0.37	GW12	0.5

6.3.3 上海 12 号线龙漕路车站基坑工程下穿高架区间

一、工程概况

上海轨道交通 12 号线龙漕路车站基坑位于龙漕路龙吴路交叉口西侧, 车站主体与附属基坑均下穿 3 号线高架区间, 与 3 号线龙漕路站垂直相交。其中车站主体基坑北侧 3 号线桥墩承台距基坑围护地下连续墙仅约 1.3 m, 车站南侧 3 号线桥墩位于 12 号线车站附属基坑内, 承台距主体基坑围护仅约 1.2 m; 附属基坑南侧紧靠 3 号线龙漕路车站, 围护桩距高架车站桥墩仅 1.2m。基坑平面图如图 6.3-4。

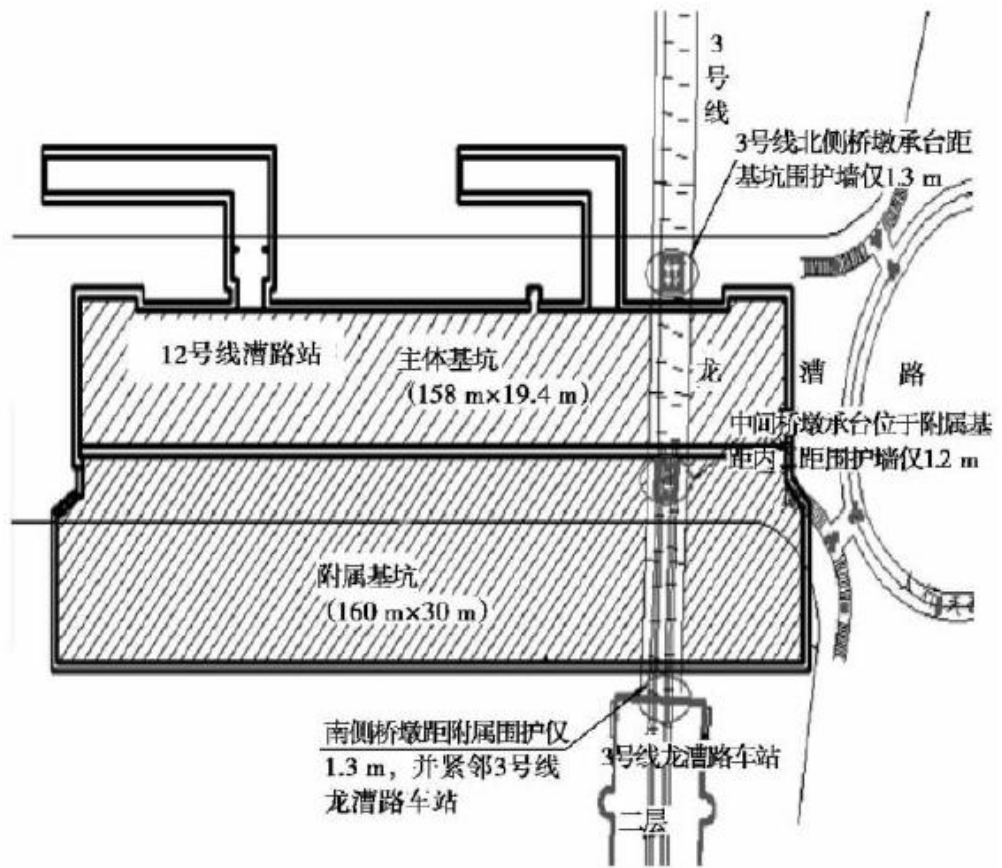


图 6.3-4 基坑与高架区间位置关系图

车站主体基坑开挖深度为 16.5~19.1 m,外包长度 158m,标准段宽度 19.4 m,围护结构采用 800 mm 地下墙,标准段地墙深 29 m,西端头井墙深 32 m,东端头井墙深 38m。下穿轻轨段围护采用中 1000 mm 钻孔桩+MJS 止水帷幕,桩深 36 m,止水帷幕深 34 m。

附属基坑开挖深度 10m 左右,基坑外包长度为 160m,最大宽度为 30m,划分为 F1、F2、F3、F4 四个基坑。F1~F3 基坑围护为 D1000 mm 钻孔灌注桩,桩长 23 m,止水帷幕为搅拌桩,桩长 20.5 m; F4 基坑为中 800 mm 钻孔灌注桩,桩长 20.5 m,止水帷幕为搅拌桩,桩长 16.5 m。

3 号线高架梁为简支梁,立柱高 5m,除附属基坑南侧桥墩承台外,原承台尺寸为 5.4m×4.8 m×2 m,桩基为 8 根 PHC 桩,桩径 0.6 m,桩长 50 m。南侧桥墩承台为扩展承台。

场地地层从上之下依次为:第①层填土、第②层褐黄~灰黄色粘土、第③层灰色淤泥质粉质粘土和第④1 层灰色淤泥质粘土、第⑤层砂质或粉质粘土,第⑦2 层灰色粉砂。

二、高架保护方案

考虑到 3 号线施工期间仍将正常运营，施工中若产生桩基沉降超标，两相邻承台立柱差异沉降不得大于 $0.25\%L$ (L 为相邻两跨的距离，即 7.5 mm)，将严重威胁 3 号线安全运营。因此针对性的采用如下保护控制措施：

- (1)分段、分层、对称开挖；
- (2)主体基坑两侧承台桩基施作桩基托换，增大承台体积和桩基数量；
- (3)主体及南侧附属(F1 基坑)下穿 3 号线段采用 MIS 工法桩分层加固；
- (4)主体及南侧附属(F1 基坑)下穿 3 号线段采用盖挖逆筑法施工；
- (5) 附属基坑内桥墩周围采用 MIS 桩全周加固。

三、计算结果

基坑开挖过程中三桥墩竖向位移表现出紧邻基坑开挖时上抬，而较远处基坑开挖时则下沉或者无位移的规律。其中 A、B 桥墩至主三基坑开挖结束时位移规律相似，而在附属小基坑开挖时 A 桥墩小幅下沉，而 B 桥墩继续上抬；C 桥墩主要位移发生在附属 F1 基坑开挖阶段。开挖结束时，三桥墩均发生一定程度的上抬，附属基坑中 B 桥墩上抬量最大，达 7.5 mm，其次为 C 桥墩，达 4.62 mm 左右，A 桥墩上抬 3.77 mm 左右。8，三桥墩水平位移均比较小，最大为 2mm 左右，主要发生在相邻基坑开挖阶段。

四、实测数据

监测结果表明在距离基坑较远的主一、主二及附属 F4 基坑开挖时，桥墩几乎无位移，在整个开挖阶段桥墩水平位移较小，说明基坑开挖对高架桥墩的影响范围在 $1.5H$ 左右。主要竖向位移发生在高架下段主三、附属 F1 和 F2/F3 基坑开挖阶段，开挖阶段引起的竖向位移约为 14mm。

7 边坡稳定性计算校核、桩基承载力计算

7.1 边坡稳定性计算

边坡的稳定性复核计算采用“同济启明星 frws8.2 深基坑支挡结构软件”进行计算，计算时考虑坡顶车道荷载等对围护结构内力与变形的影响。砂性土地层、粘性土地层分别按水土分算、合算原则计算侧向水土压力。

中桥塘边坡护坡设计总高度 12.0m，安全等级按照二级，选用《国家行业标准—建筑基坑支护技术规程(JGJ120-2012)》进行设计计算，基坑周边荷载按照地面超载 20.0kPa，地下水位埋深：0.50m。放坡设计第 1 级放坡设计：坡面尺寸：坡高 5.50m；坡宽 12.50m；台宽 17.00m；第 2 级放坡设计：坡面尺寸：坡高 6.50m；坡宽 12.94m；台宽 17.00m。

表 7.1 土层参数如下

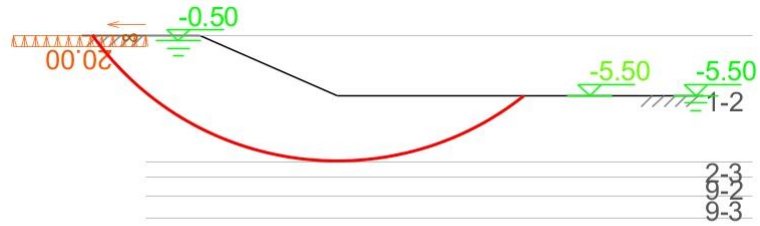
序号	土层名称	厚度 (m)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ' (°)	分算 / 合算
1	1-2	11.50	18.0	12.50	13.50	0.00	0.00	分算
2	2-3	1.40	19.0	13.50	15.50	0.00	0.00	分算
3	9-2	1.80	19.4	5.00	31.50	0.00	0.00	分算
4	9-3	2.00	20.2	3.00	33.50	0.00	0.00	分算
5	31-b	19.50	20.0	50.00	25.00	0.00	0.00	分算

边坡方案如图：



整体稳定计算结果如下：

1) 开挖至-5.50m(深5.50m)



滑弧：圆心(12.44m,-15.91m)，半径：27.38m，起点(-9.84m,0.00m)，终点(29.50m,5.50m)，拱高比0.430；

下滑力：753.09kN/m；

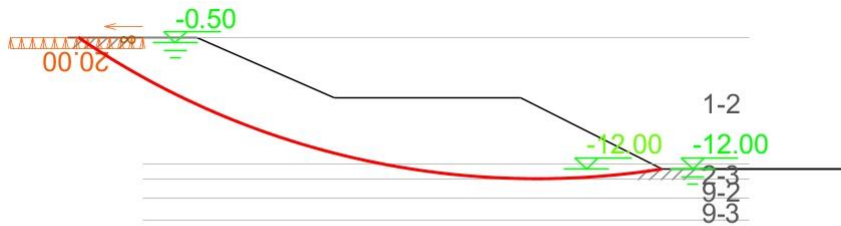
土体(若有则包括搅拌桩和坑底加固土)抗滑力：1449.05kN/m；

土钉/锚杆抗滑力：0.00kN/m；

桩墙的抗滑力：0.00kN/m；

安全系数：1.92。

2) 开挖至-12.00m(深12.00m)



滑弧：圆心(31.03m,-61.40m)，半径：74.28m，起点(-10.78m,0.00m)，终点(42.44m,12.00m)，拱高比0.190；

下滑力：1058.10kN/m；

土体(若有则包括搅拌桩和坑底加固土)抗滑力：1986.02kN/m；

土钉/锚杆抗滑力：0.00kN/m；

桩墙的抗滑力：0.00kN/m；

安全系数：1.88。

河道放坡段开挖，基坑整体稳定性系数 >1.3 ，满足二级基坑的安全控制要求。

7.2 桩基承载力计算

单桩承载力计算:

高架桥桩SK-KN-Z43							
已知:	桩长	19.5	m	混凝土:	C40	19.1	N/mm ²
	桩径	2	m	桩顶绝对标高m		-2.585	
				桩底绝对标高m		-22.085	
桩截面面积:		3.142592					
桩周长		6.283					
土层分布:							
土层	土层厚度(m)	土层重度	压缩模量ES	f _s (KPa)	f _p (KPa)	桩摩阻力	桩端阻力
1-③3	4.96	20.2	15	100		3116.37	
2-④4	4.6	20.5	25	120		3468.22	
3-(31) b-1	0.9	20		60		339.28	
4-(31) b-2	4.8	20		115		3468.22	
5-(31) b-3	4.23	20		190		2525.70	
5-(31) b-3	0			45	6200	0.00	19484.07
桩长	19.49						
单桩承载力摩阻力R _{sk}						12917.78	
单桩承载力端阻力R _{pk}						19484.07	
端阻比						0.601	
	端阻比ρ	0.05	0.1	0.601			
	r _p	1.02	1.05	1.351			
	r _s	1.64	1.7	2.302			
R _{sk}	r _s	r _{Re}	R _{pk}	r _p	单桩承载力设计值		
12917.78319	2.302	0.8	19484.0704	1.351	20036.69		

本次115#桥墩承台下桩基为6根钻孔灌注桩，入岩深度为2m；单桩竖向承载力设计值为20000KN；本次115#桥墩[P]=24509.5KN；P_{max}=17821.5KN。

本次边坡工程在115#桥墩承台上方进行边坡护坡工程，115#桩基顶部侧上方增加荷载最大为0.75m护坡回填，预计增加总重量为0.75m×2500kg/m³ × 100m² × sin45° × 9.8N/kg = 1299KN。荷载总数为17821.5+1299=19120.5KN < [P]=24509.5KN。原杭州地铁16号线115#桥墩桩基承载力满足中桥塘堤防护坡施工荷载变化要求。

8 三维有限元计算及分析

8.1 计算软件

数值分析方法是把基坑开挖施工过程和邻近建（构）筑物作为一个相互作用的整体来分析，可以用来分析基坑开挖各阶段邻近建（构）筑物的反应性状，通常借助于大型商业有限元软件，采用整体数值分析方法进行分析计算，其能够比较合理地模拟基坑开挖复杂的施工过程，以及基坑开挖引起周围土体介质的位移特性和隧道与基坑的相互作用。

MIDAS GTS NX主要针对岩土隧道领域的结构分析所需要的功能直接开发的程序，是通用有限元程序与岩土及隧道专业技术的完美结合。其全新的操作界面和三维分析功能，为岩土和隧道工程师提供了强有力的解决方案。MIDAS GTS NX分析类型包括：① 静力分析、线性静力分析、非线性静力分析；② 施工阶段分析；③ 渗流分析：包括稳态渗流和瞬态渗流；④ 固结分析：饱和和非饱和土体的固结分析；⑤ 边坡稳定；⑥ 动力分析：包括特征值分析、时程分析、反应谱分析。通过GTS NX为用户提供的以上几种分析类型，用户可以实现对隧道、基坑、边坡、土石坝等等岩土和隧道结构的计算和分析。在岩土结构中，除过需要考虑岩土自身的作用外，同样也需要考虑结构部分对岩土部分的作用。MIDAS GTS NX为用户提供了各种结构单元来模拟结构部分的作用，包括：桁架单元、梁单元、桩单元、只受拉单元、只受压单元、板单元以及平面应力单元等结构单元。通过这些单元的设置，可以模拟各种岩土分析中的结构部分。通过使用MIDAS GTS NX，用户可以实现岩土和结构的协同作用，实现对支护结构的受力分析。

岩土的数值分析离不开岩土材料的本构关系，岩土问题的数值分析的精度在很大程度上取决于所采用的本构模型的实用性和合理性。可以说，本构模型的选择对计算结果的影响作用是显而易见的，本构模型选择正确与否，将关系到模型基本假设是否恰当。目前主流的岩土的本构理论有摩尔·库仑（M.C）模型、修正的莫尔-库仑（Modified Mohr-Coulomb）模型、德鲁克·普拉格（Drucker.Prager）模型、（修正）剑桥模型、邓肯·张模型等。

8.2 计算本构模型

根据本项目结构形式、基坑支护形式及工程地质特点，本构模型采用修正的莫尔-库伦模型。

修正的莫尔-库伦本构是在莫尔-库伦本构基础上改善的本构模型，适用于各种类型的地基，特别适用于象沙土或混凝土那样具有摩擦特性的材料。修正的莫尔-库伦本构用于模拟具有幂率关系的非线性弹性模型和弹塑性模型的组合模型。如图8.2-1所示，修正的莫尔-库伦本构的剪切屈服面与莫尔-库伦本构的屈服面相同，压缩屈服面为椭圆形的帽子本构。另外，修正的莫尔-库伦本构的剪切屈服面与压缩屈服面是独立的，在剪切方向和压缩方向采用了双硬化模型（Double Hardening）。

莫尔-库伦本构的偏平面形状为六边形，在计算顶点的塑应变方向时需要采用特别的数值计算方法。但是如图8.2-1所示，修正的莫尔-库伦本构为了消除分析过程中的不稳定因素，偏平面采用了圆角处理，使计算的收敛性更好。修正的莫尔-库伦本构在 p - q 平面上采用了相关流动法则，在偏平面上采用了非关联流动法则(Non-associated Flow Rule)。另外，如图8.2-2所示，使用 Δp 值，移动剪切屈服面可以反映莫尔-库伦本构的粘聚力效果。

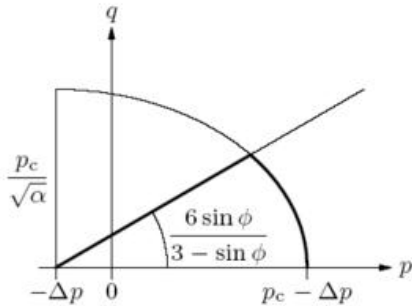


图 8.2-1 在 p - q 平面图

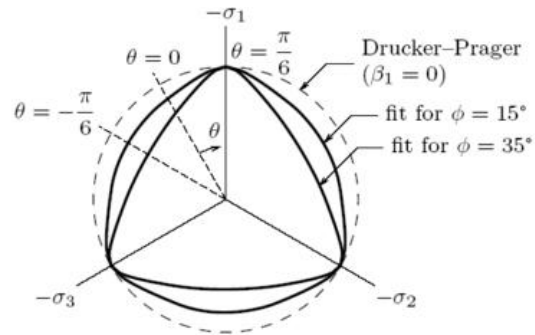


图 8.2-2 在偏平面

8.3 计算参数

土体采用实体单元，承台、桥墩采用3D实体单元，桩基采用1D植入式梁单元，地面超载取20kPa，水压取40kPa，桥梁及上部荷载作用于桥墩位置，荷载大小按设计荷载考虑。

本模型地层土体 E_{50} 、 E_{oed} 及 E_{ur} 无法从地勘直接获取，地勘中提供各层土体 E_s 值。根据计算经验，模型参数表见表8.3-1。

表 8.3-1 计算模型参数表

层号	岩土名称	重度 γ	压缩 模量 E_s	孔隙率 e	固结快剪 (峰值)		割线模 量 E_{50ref}	压缩模 量 E_{oedref}	卸荷再 加载模 量 E_{urref}
					固快 C	固快 Φ			
					kPa	o			
① ₂	素填土	18.0	4400	1.02	12.5	13.5	8250	5500	35062
② ₃	含砂粉质黏土	19.0	5800	0.84	15.5	17.5	10875	7250	46218
⑨ ₂	含黏性土粉砂	19.4	7500	0.68	5.0	31.5	14062	9375	59765
⑨ ₃	圆砾	20.2	15000	-	3.0	33.5	28125	18750	119531
15-2	含黏性土碎石	20.2	20000	0.31	32.0	13.5	37500	25000	159375
31-b-2	强风化泥质粉 砂岩	20.0	20000	-	50.0	25.0	37500	25000	159375
31-b-3	中等风化泥质 粉砂岩	20.0	50000	-	200	35.0	93750	62500	398437

8.4 计算模型

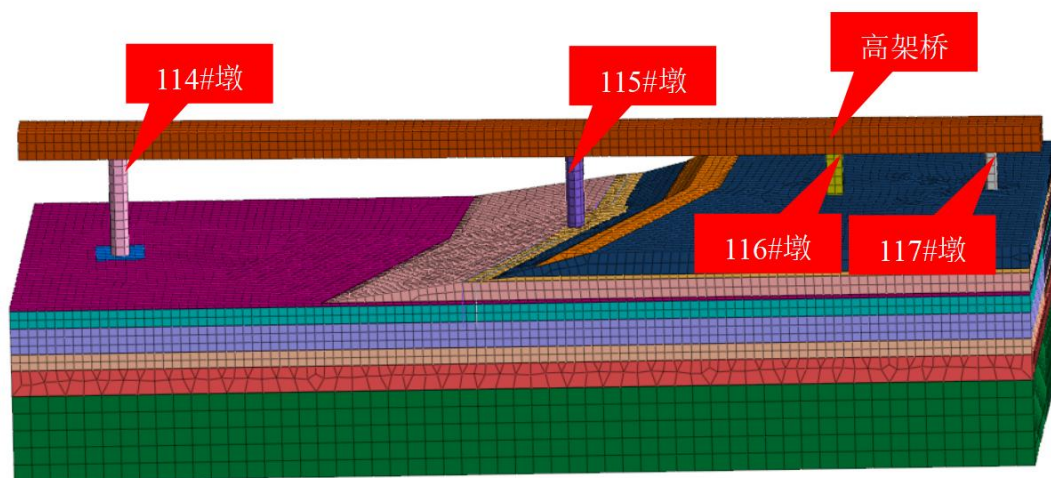


图8.4.1 三维有限元计算模型

总体网格尺寸为：250m×110m×40m（长*宽*高）



图 8.4.2 高架桩基位置示意图

8.5 计算结果及分析

本项目施工过程中各计算工况下：

表 8.5-1 计算工况表

工序	计算工况	计算项目
1	双排桩施工完成	高架结构（围护桩/承台、桥墩）总位移/水平位移/竖向位移/桩身弯矩
2	削坡施工完成	高架结构（围护桩/承台、桥墩）总位移/水平位移/竖向位移/桩身弯矩
3	边坡回填完成	高架结构（围护桩/承台、桥墩）总位移/水平位移/竖向位移/桩身弯矩

根据本项目数值模拟的计算结果，杭州临安轻轨铁路（16 号线）高架区间地层、围护桩/承台、桥墩结构变形结果如下：

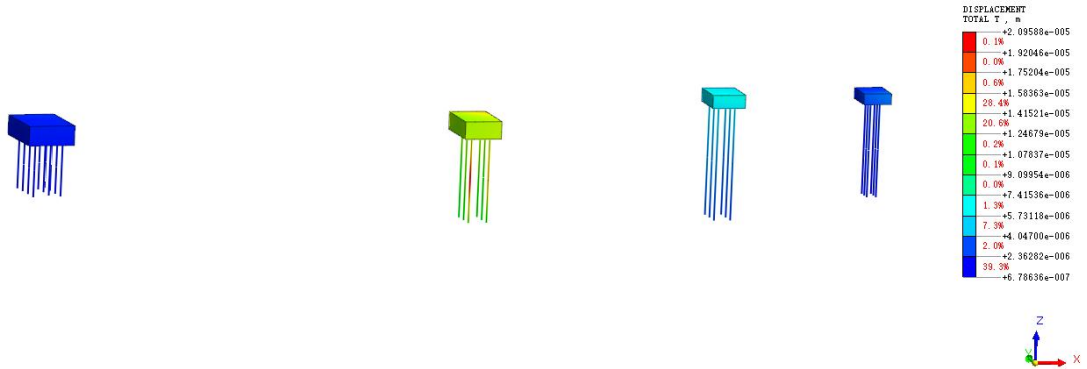


图 8.5-1 双排桩施工完成，高架结构围护桩/承台总位移云图

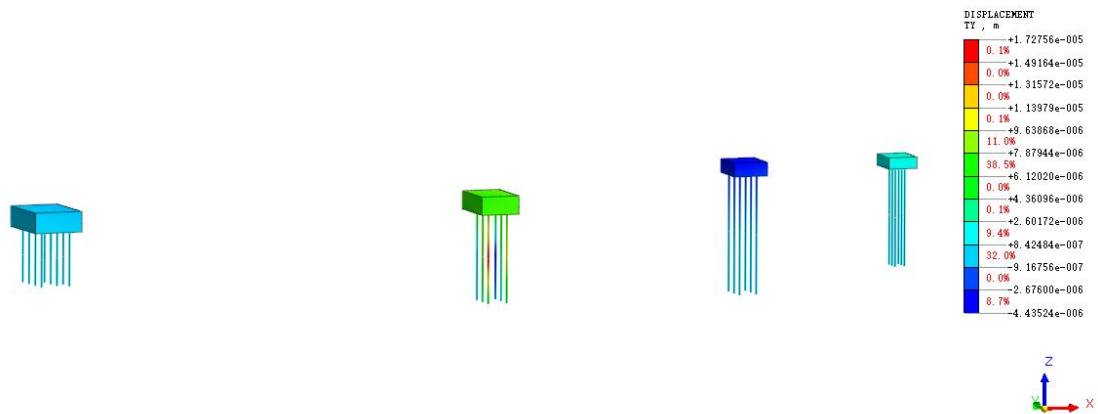


图 8.5-2 双排桩施工完成，高架结构围护桩/承台水平位移云图（横桥向）

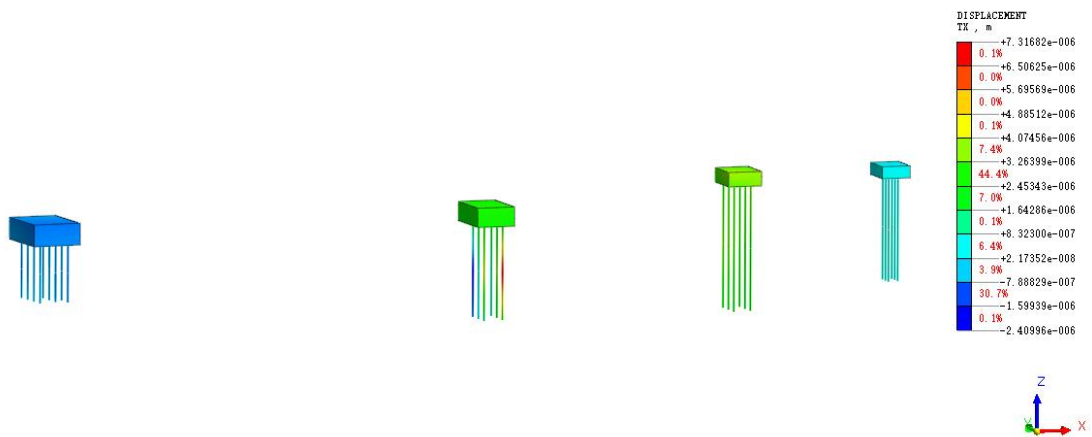


图 8.5-3 双排桩施工完成，高架结构围护桩/承台水平位移云图（顺桥向）

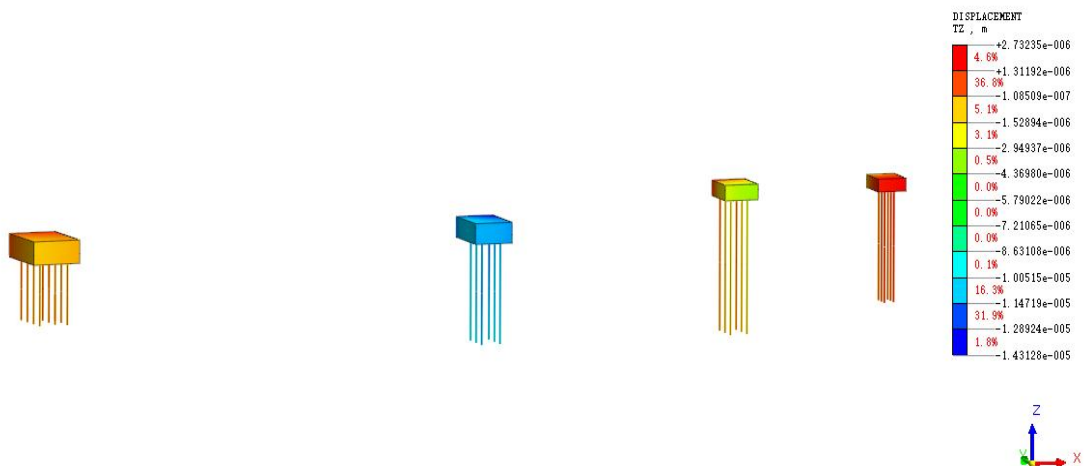


图 8.5-4 双排桩施工完成，高架结构围护桩/承台竖向位移云图

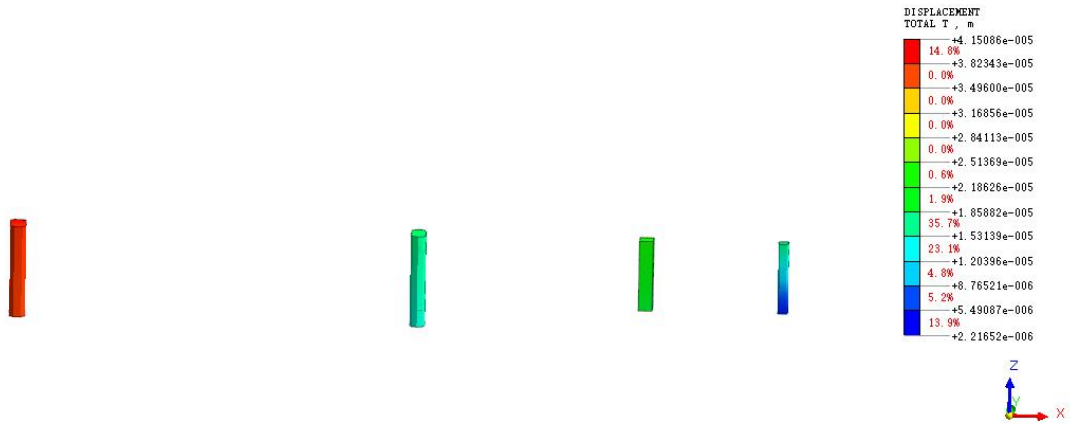


图 8.5-5 双排桩施工完成，高架结构桥墩总位移云图

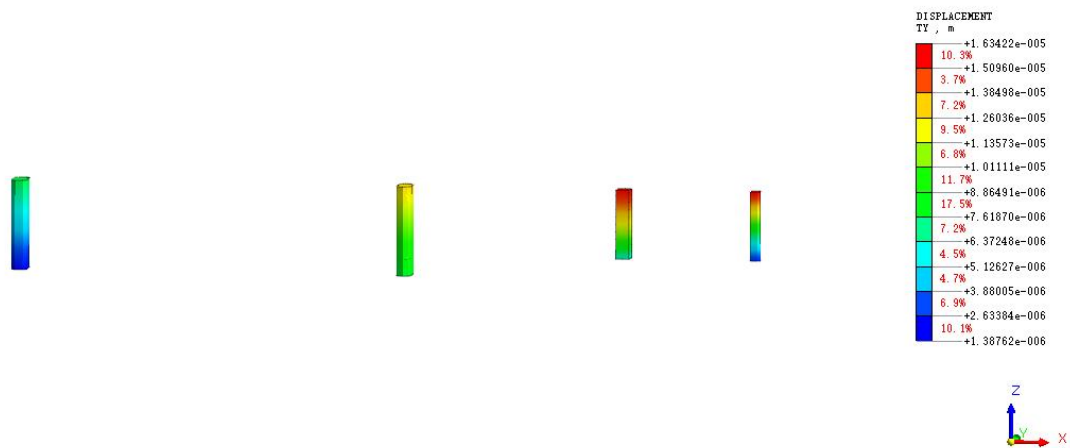


图 8.5-6 双排桩施工完成，高架结构桥墩水平位移云图（横桥向）

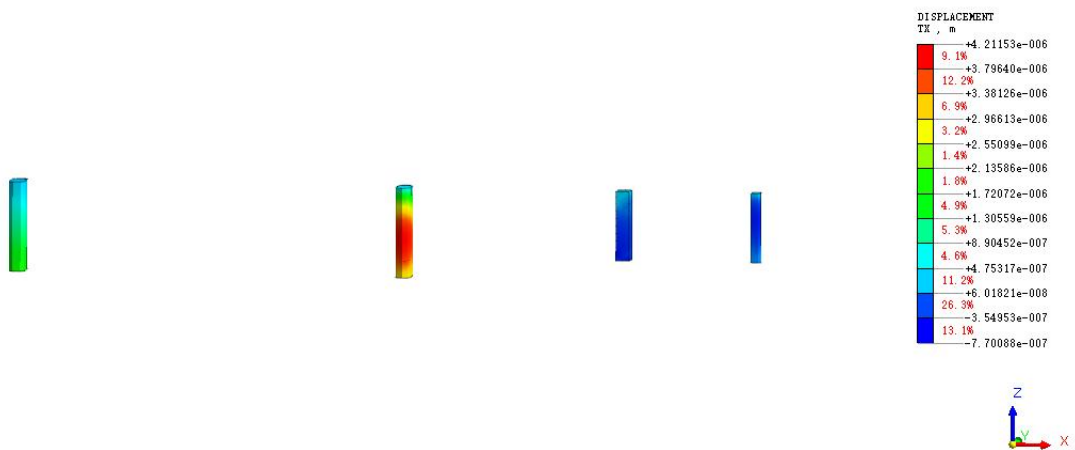


图 8.5-7 双排桩施工完成，高架结构桥墩水平位移云图（顺桥向）

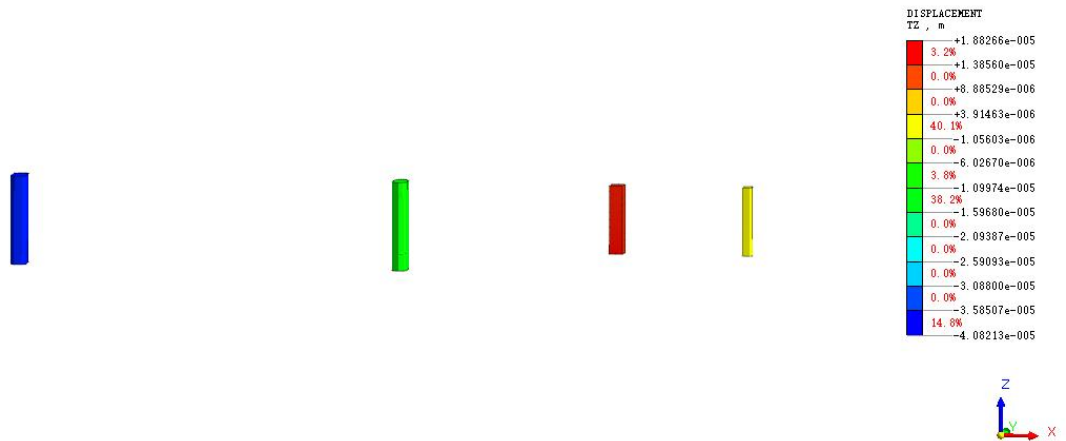


图 8.5-8 双排桩施工完成，高架结构围护桩/承台竖向位移云图

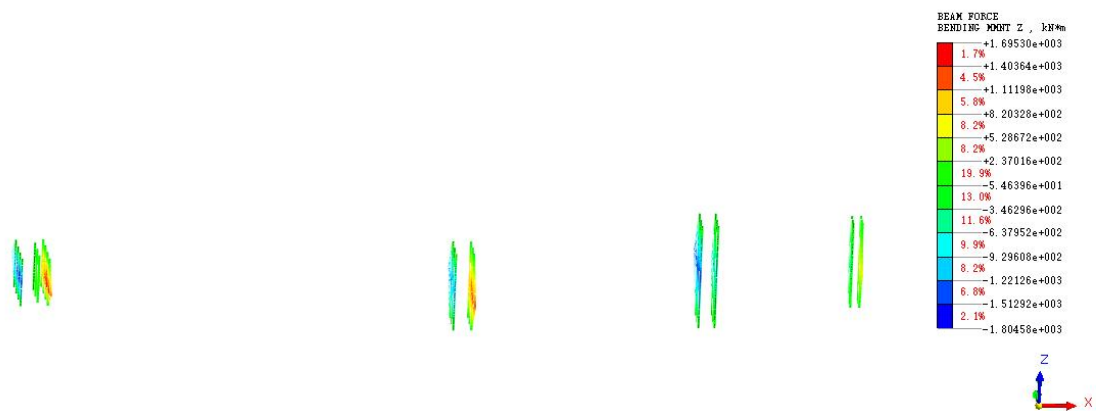


图 8.5-9 双排桩施工完成，高架结构桩身弯矩图

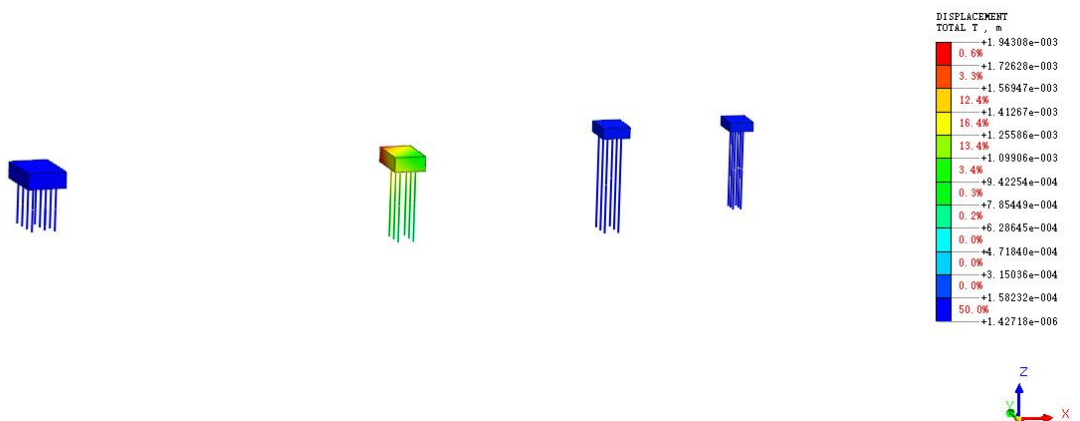


图 8.5-10 削坡施工完成，高架结构围护桩/承台总位移云图

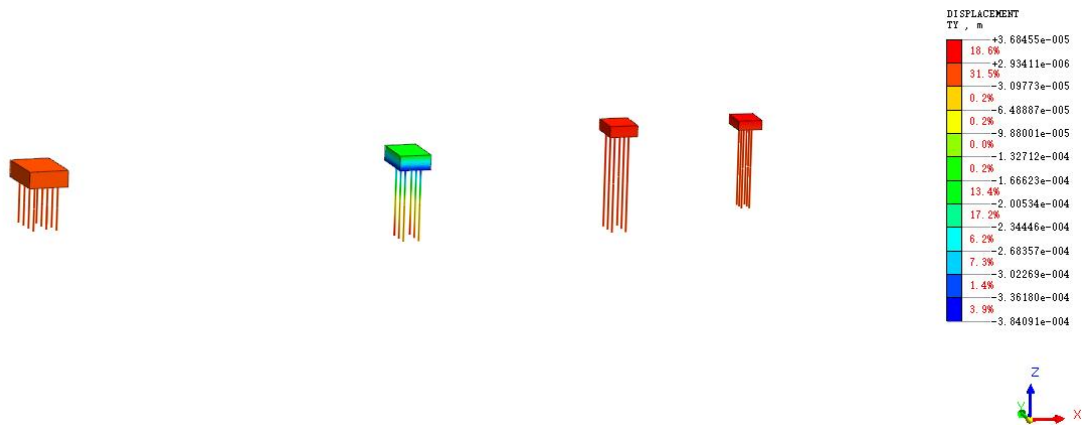


图 8.5-11 削坡施工完成, 高架结构围护桩/承台水平位移云图 (横桥向)

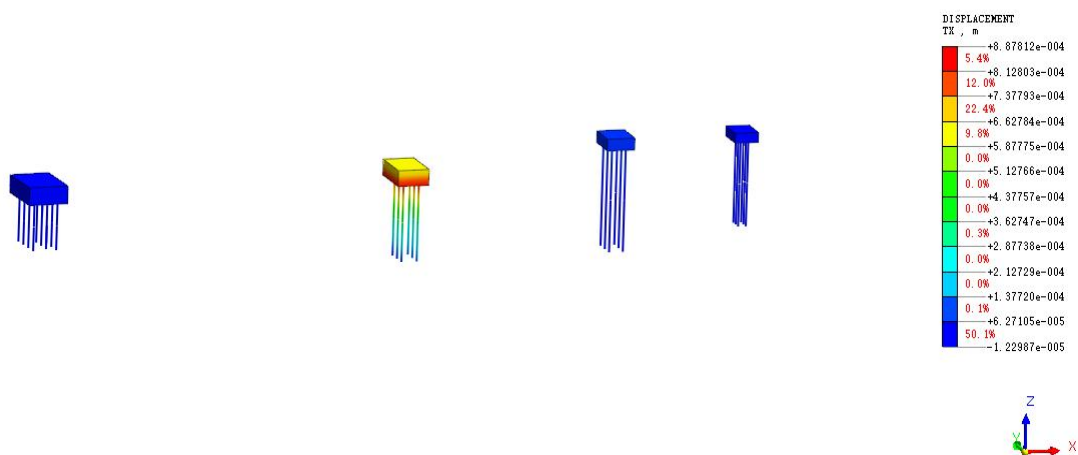


图 8.5-12 削坡施工完成, 高架结构围护桩/承台水平位移云图 (顺桥向)

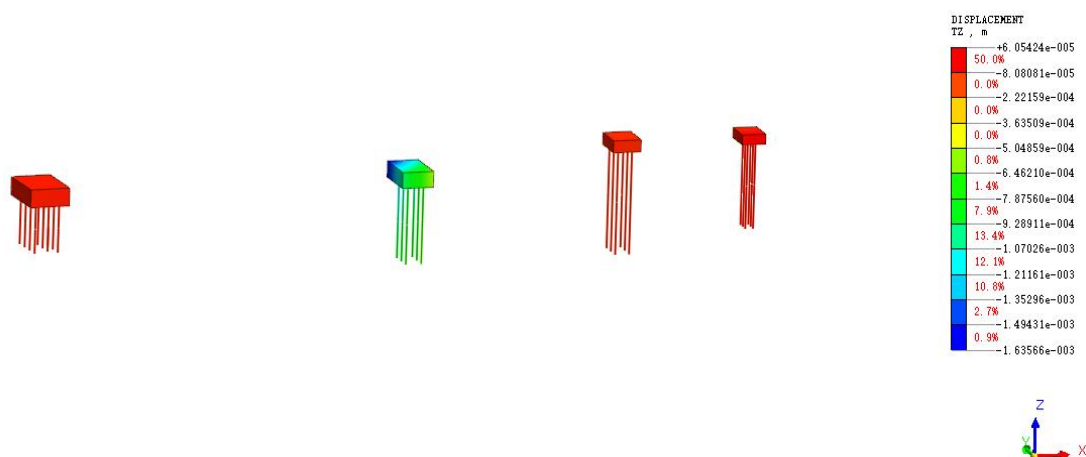


图 8.5-13 削坡施工完成, 高架结构围护桩/承台竖向位移云图

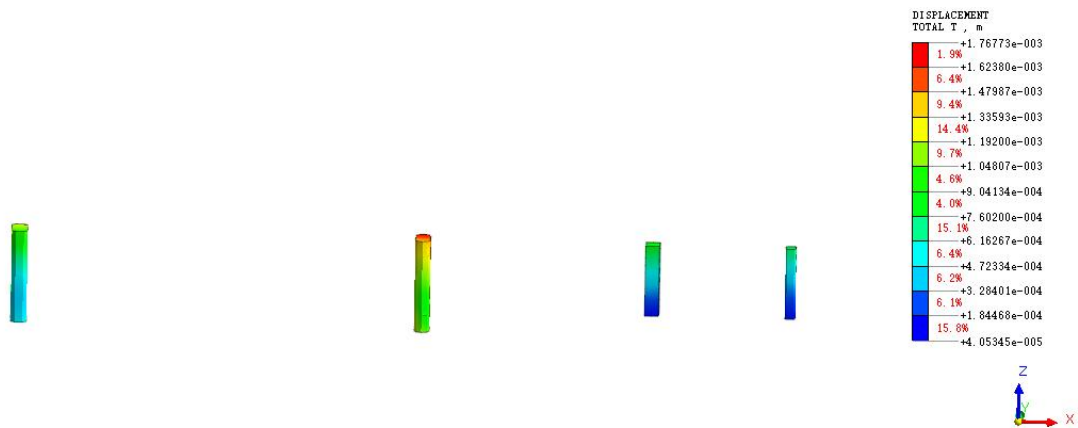


图 8.5-14 削坡施工完成，高架结构桥墩总位移云图

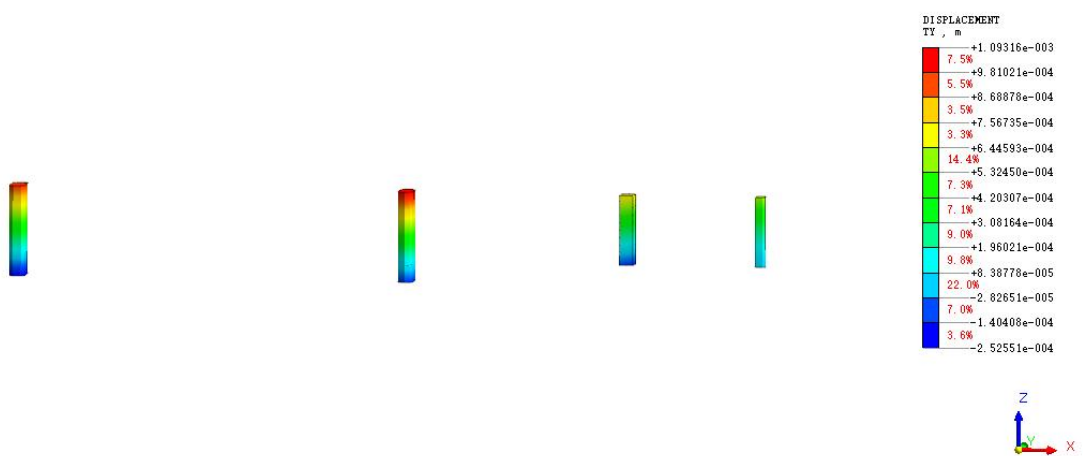


图 8.5-15 削坡施工完成，高架结构桥墩水平位移云图（横桥向）

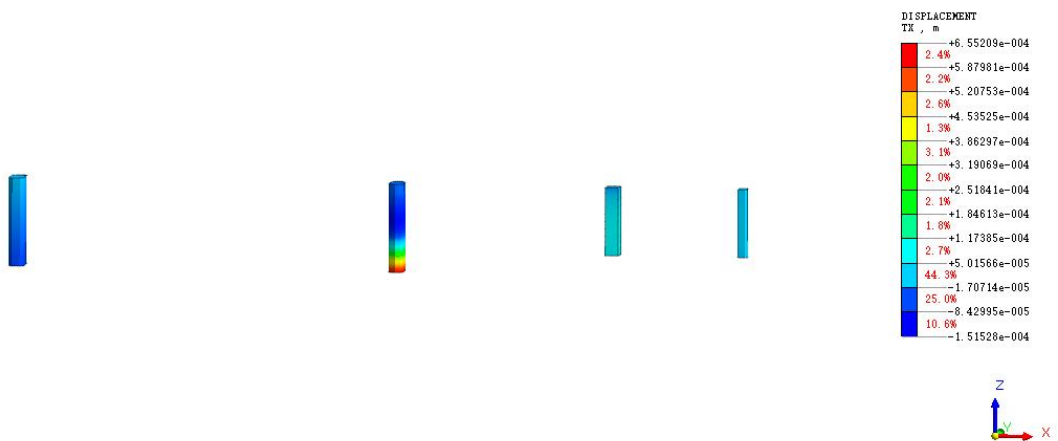


图 8.5-16 削坡施工完成，高架结构桥墩水平位移云图（顺桥向）

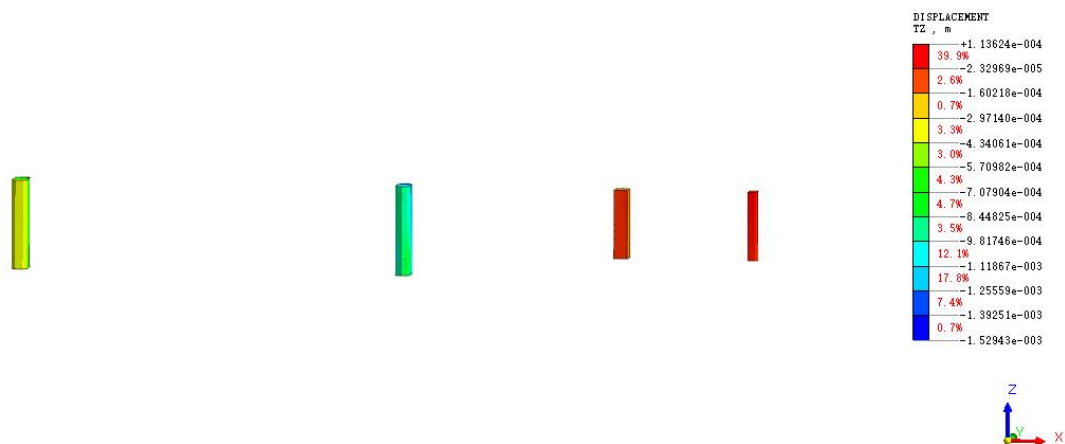


图 8.5-17 削坡施工完成，高架结构围护桩/承台竖向位移云图

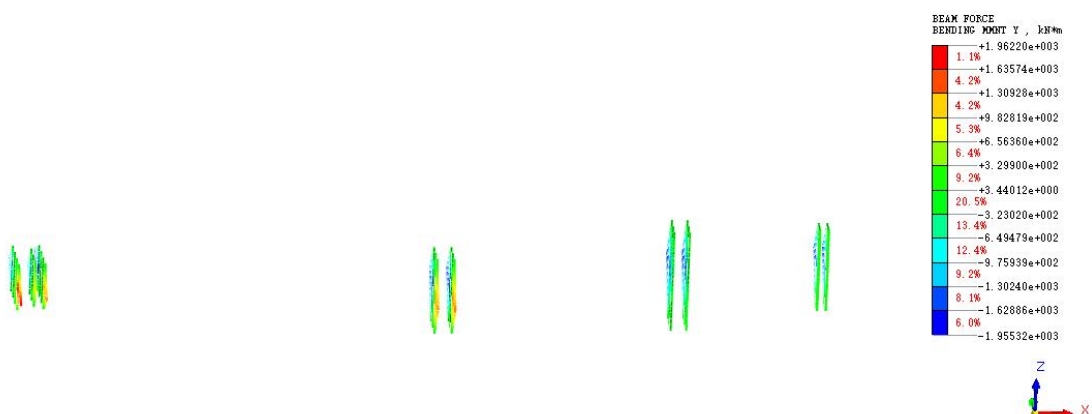


图 8.5-18 削坡施工完成，高架结构桩身弯矩图

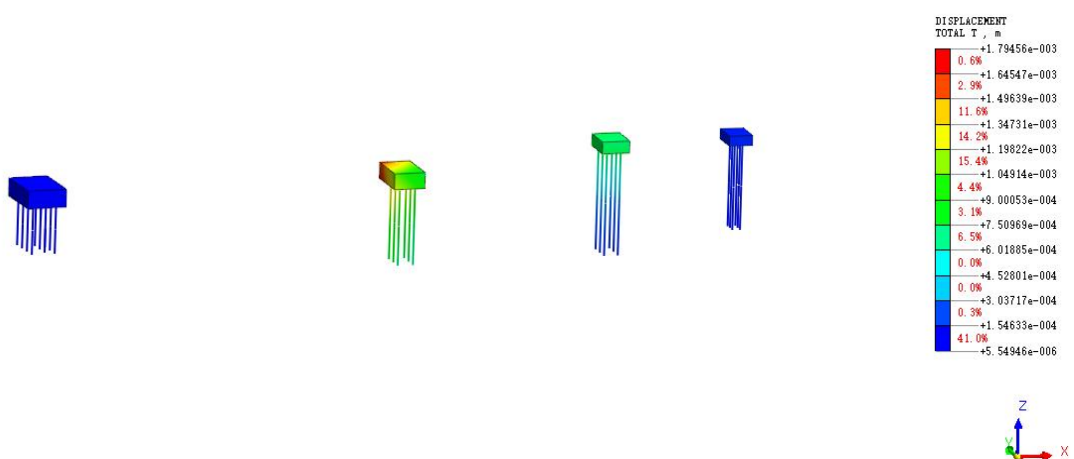


图 8.5-19 边坡回填完成，高架结构围护桩/承台总位移云图

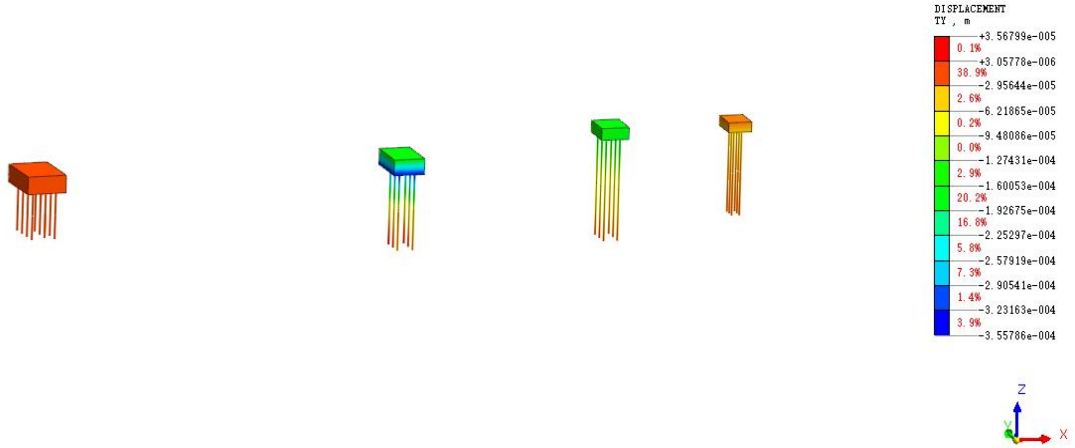


图 8.5-20 边坡回填完成，高架结构围护桩/承台水平位移云图（横桥向）

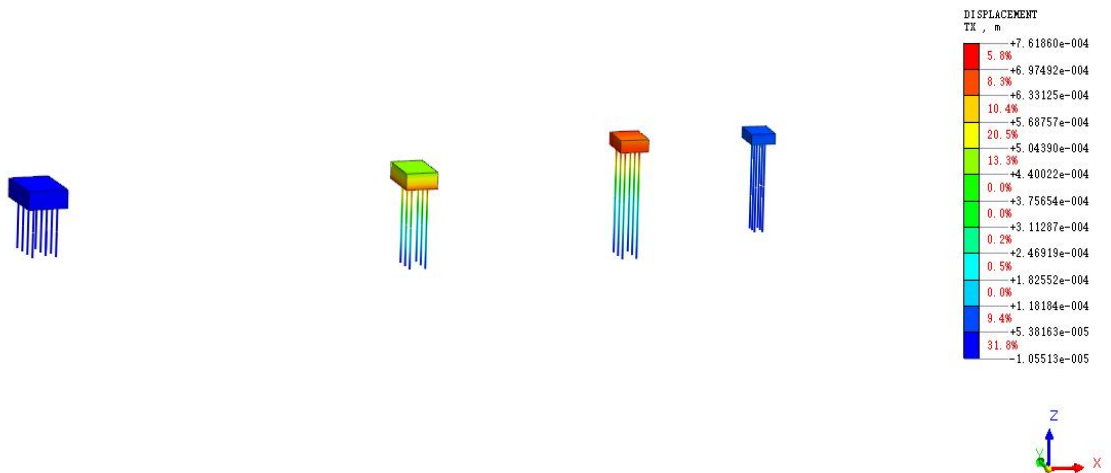


图 8.5-21 边坡回填完成，高架结构围护桩/承台水平位移云图（顺桥向）

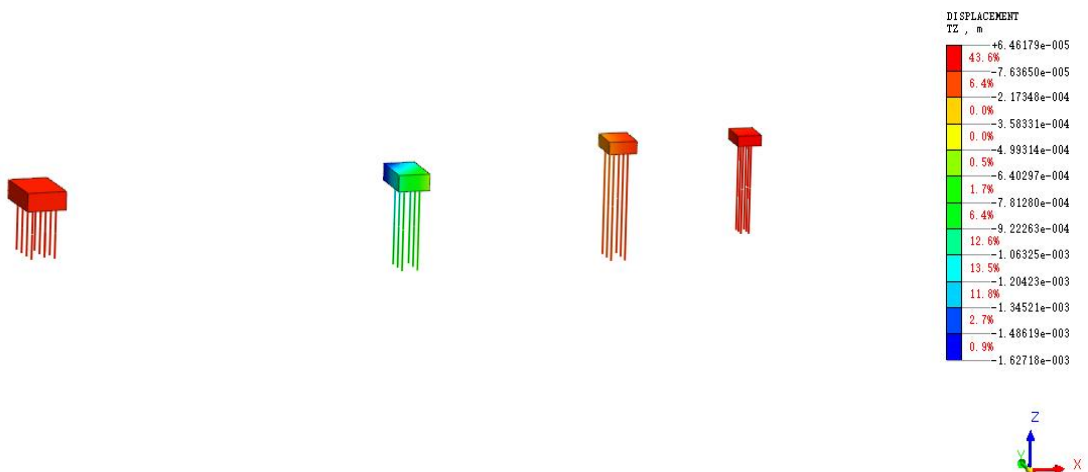


图 8.5-22 边坡回填完成，高架结构围护桩/承台竖向位移云图

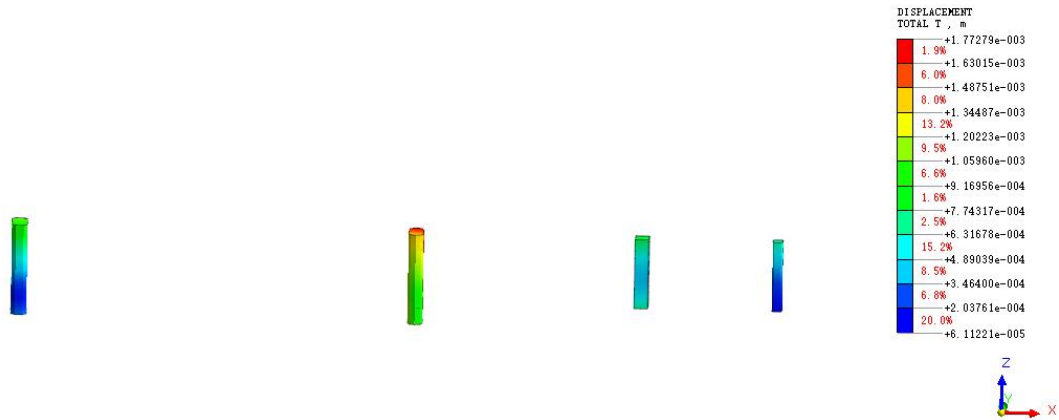


图 8.5-23 边坡回填完成，高架结构桥墩总位移云图

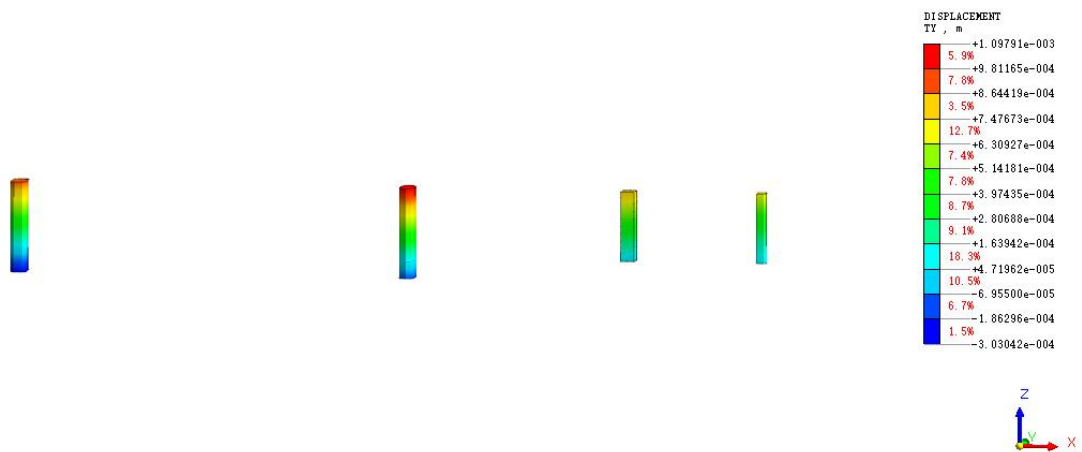


图 8.5-24 边坡回填完成，高架结构桥墩水平位移云图（横桥向）

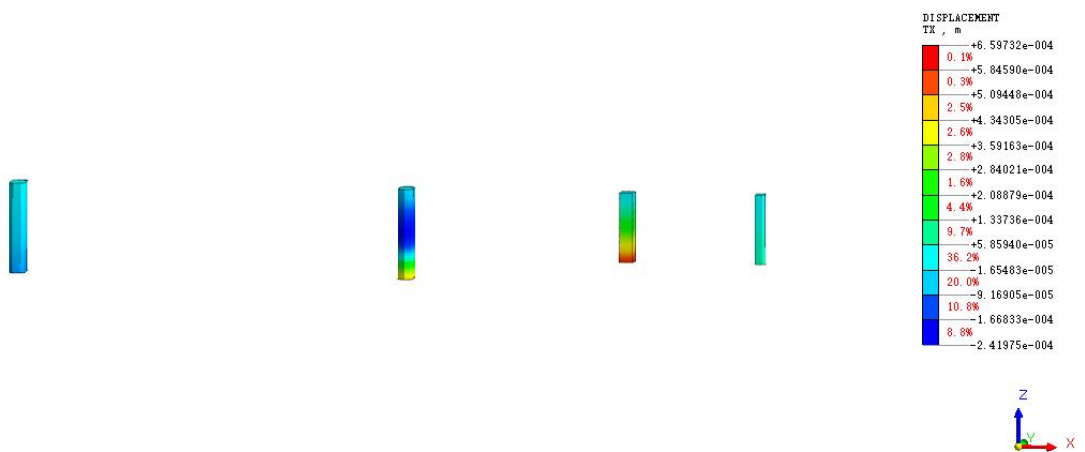


图 8.5-25 边坡回填完成，高架结构桥墩水平位移云图（顺桥向）

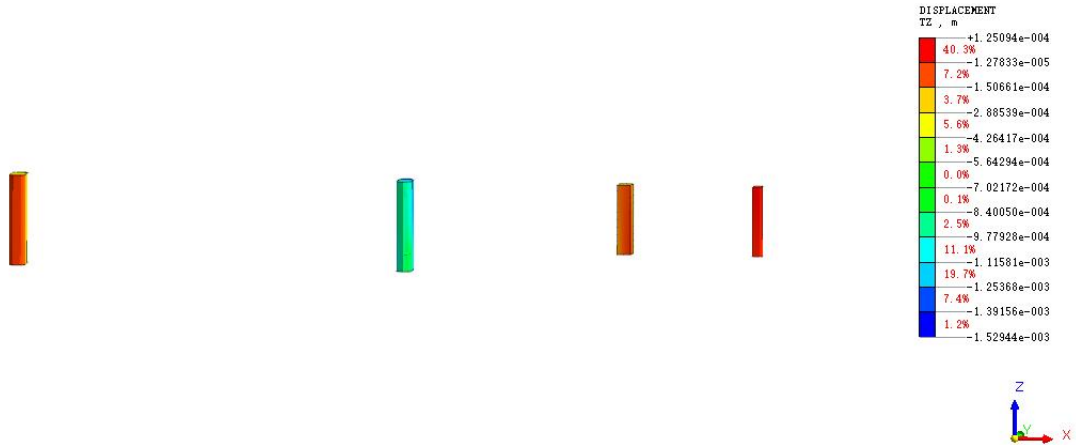


图 8.5-26 边坡回填完成，高架结构围护桩/承台竖向位移云图

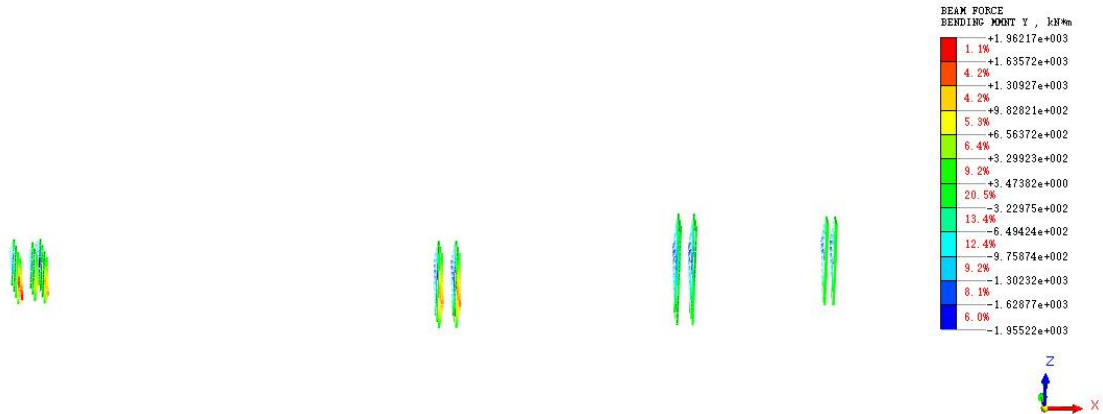


图 8.5-27 边坡回填完成，高架结构桩身弯矩图

计算结果及变形统计表如下：

表 8.5.2-1 高架区间结构各工况变形统计表

位置	影响项	工况		
		双排桩施工完成	削坡施工完成	边坡回填完成
桩、承台	总位移/mm	+0.0209	+1.9431	+1.7945
	水平位移（横桥向）/mm	+0.0172	-0.0384	-0.0356
	水平位移（顺桥向）/mm	+0.0071	+0.0878	+0.0762
	竖向位移/mm	-0.0143	-1.6356	-1.6271
	桩身弯矩 kN.m	1804.57	1962.20	1962.17
桥墩	总位移/mm	+0.042	+1.767	+1.773
	水平位移（横桥向）/mm	+0.016	+1.093	+1.097
	水平位移（顺桥向）/mm	+0.0042	+0.655	+0.659
	竖向位移/mm	-0.041	-1.529	-1.529

表 8.5.2-2 相邻桥墩变形差统计表

编号	距离(m)	沉降差 (mm)	限值 (mm)	是否满足
----	-------	----------	---------	------

114#~115#桥墩	100	1.35	0.0005L=50.00	满足
115#~116#桥墩	59.8	1.29	0.0005L=29.9	满足
116#~117#桥墩	34.9	0.13	0.0005L=17.5	满足

由以上计算结果可知：中桥塘堤防工程在临近杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站高架区域的整个施工过程中，影响最大的为 115#桥桩，桩、承台最大总位移为+1.9431mm，桩、承台横桥向最大水平位移-0.0384mm，桩、承台顺桥向最大水平位移+0.0878mm，桩、承台最大竖向位移-1.6384mm，桩、承台变形最大的工况为削坡完成工况；变形最大的桥墩为 116#桥墩，在边坡回填完成工况下，桥墩最大总位移为+1.773mm，桥墩横桥向最大水平位移为+1.097mm，桥墩顺桥向最大水平位移为+0.659mm，桥墩最大竖向位移-1.529mm。

中桥塘边坡护坡整个施工过程中，杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站 114#~117#高架桥结构变形及相邻桥墩变形差较小，均满足变形控制要求，整体可控。

8.6 计算小结

东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程(杭州市段)项目对杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站高架区间结构影响计算结果的深入分析可知：东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程施工过程引起临近杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站高架 115#桥桩处变形量最大，削坡施工完成，桥桩、承台变形量达到峰值，此外，边坡回填时对 116#桥墩影响较大。

本项目施工过程引起杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站高架区间 115#桥桩的变形最大，但变形量绝对值较小，故可判定本工程施工过程对杭州地铁 16 号线青山湖科技城站~南峰站高架区间变形的影响满足变形控制要求，风险整体可控。

9 结论、建议及应急措施

本项目**影响源**为东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程（杭州市段）的中桥塘堤防护坡工程。护坡体系为 $\phi 800@1000\text{mm}$ 双排围护桩+砼护坡型式，沿河堤防工程为一级放坡，堤顶道路宽8m，一级迎水坡坡度为1:2.5，C30F100砼框格梁植草厚30cm，坡面采用C20素砼垫层厚100mm，下铺碎石垫层厚200mm，最下层为15kN/m无纺土工布，迎水坡最大挖方为1.74m。背水坡为土方填筑段，填方厚度为1.75m。

保护对象为杭州地铁16号线青山湖科技城站-南峰站高架区间结构段，影响范围桩号为右DK22+312.346~右DK22+507.346（114#、115#、116#、117#桥墩），此区域为连续钢构桥（60+100+125+100+60m连续刚构），桥梁基础为 $\phi 1.5\text{m}$ 与2m的桩基础。

地铁现状及保护等级:

① 安全状况与保护等级：安全状况为“III类”，安全保护等级为“A级；

② 长期运营数据：

桥墩沉降最大值为-4.5mm，变形速率为0.0025mm/d，（114#墩），左侧桥墩沉降最大值为4.6mm变形速率为-0.01mm/d，（117#墩）。

③ 地铁设施现状调查

桥面系情况：伸缩缝渗水；排水设施:排水孔无堵塞。

④ 照明、标志:照明及标志完好，未见照明设施缺失损坏，未见标志脱落缺失及污损。

⑤ 上部结构:箱梁整体现状良好，表面涂层覆盖。

⑥ 下部结构：桥墩整体现状的良好，伸缩缝位置均存在水侵害现象，防撞设施1处变形。

⑦ 支座：钢支座均存在表面轻微锈蚀现象。

9.1 评估结论

1) 因东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程项目实施对周边土体加卸荷效应显著，在土体变形传递效应的影响下，杭州地铁16号线青山湖科技城站~南峰站高架区间桥墩/桩产生一定的变形。中桥塘堤防工程在临近杭州地铁16号线青山湖科技城站~南峰站高架结构的整个施工过程中，影响最大的为115#桥桩，桩、

承台最大总位移为+1.9431mm，桩、承台横桥向最大水平位移-0.0384mm，桩、承台顺桥向最大水平位移+0.0878mm，桩、承台最大竖向位移-1.6384mm，桩、承台变形最大的工况为削坡完成工况；变形最大的桥墩为116#桥墩，在边坡回填完成工况下，桥墩最大总位移为+1.773mm，桥墩横桥向最大水平位移为+1.097mm，桥墩顺桥向最大水平位移为+0.659mm，桥墩最大竖向位移-1.529mm。

各项变形指标数值均处在变形控制标准之内，符合相应的评估标准，工程可行。在进一步补充加强保护措施及精心施工管理的情况下，可保证轨道交通结构设施的安全。

2) 若实施方案与目前方案存在重大变化或实际施工所揭露的地层与详勘报告存在较大出入时，需重新进行评估。

9.2 评估建议

考虑到施工过程中的风险因素，确保轨道交通结构设施受力和变形可控，保证轨道交通结构安全，提出以下建议：

(1) 项目管理建议

1、作业单位和个人在保护区内作业前，应当与城市轨道交通管理单位签订安全生产管理协议，落实城市轨道交通专项防护方案中各作业分项的责任单位、责任人及专项费用；

2、建议制定本工程建设单位、设计单位、监测单位和轨道交通管理部门等的联动机制，制定应急预案，准备应急物资和人员；

3、加强现场管理。边坡护坡开挖、道路土方填筑及双排灌注桩施工期间，严格管控桥墩位置正上方区域不得停放重型机械设备，特别保护区及控制保护区范围不得作为材料堆放场地，合理规划大型机械行走路径。

4、项目实施期间加强对周边环境巡查，避免其他同期实施的项目对轨道交通结构产生变形叠加影响，提前沟通以明确责任划分。

(2) 设计建议

1、建议设计单位进一步核实轨道交通结构资料、既有管线、规划管路、建筑物资料及地下障碍物情况，确保位置关系准确，边坡方案具备可实施性，注重对周边建筑物、周边管线保护，避免如管线破坏等对轨道交通设施的二次影响；

2、项目设计图中应补充完善轨道交通结构相对位置关系（如高架桥墩 114#、

115#、116#、117#号墩位置)；

3、建议细化明确提防工程实施工序，明确施工降水要求、双排桩施工要求、边坡开挖阶段、边坡削坡与回筑应遵循分层、分段、对称开挖、回填的原则，并明确桥墩位置的双排桩区域实施的保护要求。

4、115#高架桥墩处或其上下游堤顶道路位置应设置限高装置，避免车辆、机械等设备运营期间触碰桥墩、上部结构。

(3) 施工建议

1、边坡地面超载对边坡稳定及桥墩变形有较大影响，特别是长时间的堆载影响。施工单位应合理布置场地，桥墩下及承台区域特别保护区及控制保护区范围禁止作为施工材料机具堆放场地，开挖土方应随挖随运，禁止堆放在保护区内堆放土方、材料等；

2、由于本工程河道狭长，河道区域开挖及河道内土方开挖应按照“分层、分段、对称开挖”的原则，每区段开挖长度不应超过 15m，单次开挖分层厚度不应超过 1.5m，施工期间坑边超载不应超过 20kpa；

3、高桥区间结构下方区域内禁止停放大型机械，施工时尽量选用轻型低震施工器械，减小震动对轨道交通结构影响；

4、坡底的双排桩钻孔灌注桩的施工应按照由近轨道侧向远轨道侧的顺序进行分段跳打施工。

5、考虑到桥墩上方双排灌注桩施工对桥桩桩基影响，建议对 115#号桥墩柱周边施工前先进行保护，施工过程中加强柱墩监测。本次双排钻孔桩距离城市轨道交通结构较近，可采用减少桩径、提高泥浆护壁质量、间隔跳开施工等措施提高成桩质量，采用钢护筒等方式减少孔壁坍塌等不利影响，同时减小挤土效应对桩基承台影响。

6、高架桥墩周边 3m 范围内设置醒目标志，同时堤顶道路位置设置限高、防护、防撞等装置，机械等施工设备禁止施工过程中触碰桥墩、上部结构。

7、施工降水需按需降水，不超降，满足施工条件即可。同时坡顶采取合适的排水措施减小对边坡护坡的影响。

8、施工单位施工前应核查高架区间桥墩落水管等排水设施位置，施工过程与施工结束后确保排水设施通畅。

9、施工期间应考虑上游水库泄洪等不利洪水水位的影响，同时加强同上游水利部门的联系，防止施工期间洪水的不利影响。

10、机械(吊机、桩机)防倾覆要求及措施：吊机、桩机等施工机械的施工场地应平坦坚实，当地基承载力不足时，应在履带下铺设路基板或钢板，或将软弱土层换填坚实土并夯实，防止机械倾覆影响地铁结构安全；起重吊装作业时，严格控制吊臂伸出长度，不得超载运行；起重吊装作业要严格执行试吊程序；机械作业前仔细核查作业半径，防止施工过程中触碰桥墩、桥梁结构。桩基施工机械高度不应超过绝对标高+18.000。遇有雷雨，大雾和大风等恶劣天气时，吊机，桩机应停止地铁保护区范围内各种作业。

11、建议施工单位按《城市轨道交通结构安全保护技术规范 CJJT 202-2013》及《浙江省工程建设标准《城市轨道交通结构安全保护技术规程》等文件要求，编制轨道交通保护专项施工方案，并按流程评审报批。

(4) 监测建议

1、施工应聘请专业的监测单位对边坡及周边构筑物、管线进行监测及巡查，相应点位布置、布置方式及监测频率等应满足设计及相关规范要求，监测方案应另行专篇编制并经专家评审后实施。

2、本工程施工过程中，应对受影响的杭临城铁青山湖科技城站~南峰站高架区间结构进行不同程度的实时监测，监测内容包括桥墩/桥面水平位移、竖向位移、结构倾斜（高架墩柱）、相邻柱基沉降差、裂缝宽度、（道床）水平位移、（道床）竖向位移等。监测布点间距及频率应不低于浙江省《城市轨道交通结构安全保护技术规程》**A级**及《城市轨道交通结构监测技术规程》**二级**要求。

3、监测频率根据施工阶段不同，频率划分建议如下表：

施工阶段	桥墩上方开挖	桥墩周边 15m 范围内灌注桩施工区域	其他区域钻孔灌注桩打设	边坡结构回筑	工后监测
高架区间	2 次/d	2 次/d	1 次/d	1 次/2d	1 次/7d

注：监测单位可根据实际施工进度，适当调整监测频率，但不应低于表格中频率。一旦发现变形过大或速率过快，及时加密监测频率。

4、本工程施工主要影响高架区间里程：**杭州地铁 16 号线青山湖科技城站-南峰站高架区间结构，影响范围桩号为右 DK22+312.346~右 DK22+507.346**

(114#、115#、116#、117#桥墩)，此区域为连续钢构桥（60+100+125+100+60m连续刚构）。

5、高架区间监测预警值、报警值、控制值

监测项目	预警值	控制值
水平位移（mm）	±3	±5
竖向位移（mm）	±3	±5
相邻柱基沉降差（mm）	0.00018L	0.0003L
裂缝宽度（mm）	0.12	≤0.2
道床脱空量	3	5
轨道横向高差	2	4
轨向高差（矢度值）	2	4

6、根据《盾构法隧道施工及验收规范 GB 50446-2017》条文说明 15.2.5，最后 100d 内盾构区间沉降速率小于 0.01mm/d~0.04mm/d，且与长期监测变形频率相吻合，认为隧道已稳定，可停止监测。

7、轨道交通结构保护监测应结合轨道交通结构原有监测点、监测数据及轨道交通结构实际情况综合分析、确定有效且具备可实施性的监测方案，监测数据应及时有效传递至有关各方（含城铁集团），建议建立专项工作微信群或 QQ 群，确保信息传递通畅、落实到人、应急联动。

9.3 应急措施

(1) 轨道交通高架区间

①轨道变形过大：施工过程中一旦发现轨道偏差超标，应立即停止施工，及时与杭州地铁公司联系，协调解决方案。

②高架区间隧道差异沉降过大：高架桥墩发生差异沉降将同时对轨道线路平顺性和桥梁结构内力产生影响。一旦差异沉降量超标，应立即停止施工，可采取背后注浆纠偏等方法进行控制。同时对轨道进行调整，加强监测。

③具体轨道变形控制量、盾构差异沉控制量应与城铁公司运营部门根据届时线路运营参数进一步确定。

④桥桩变形较大时可采取对桥桩周边土体微扰动注浆，控制桥梁桩基变形。

⑤现场预备一定数量的压重（如钢锭），如桥梁、承台变形过大，在轨交设施部位进行反压。

(2) 边坡工程

①对上部先变形挤压下部滑动的推动式滑坡，采取卸荷减重的方法，在滑坡

体上消去一部分土体，并加强排水，一面减轻自重，另一面在坡脚施工木桩抵御坡体滑动，达到平衡。

②对于局部加深区域放坡开挖时，如果出现下部滑动，上部失去支撑而引起的牵引式滑坡，可采用上部卸荷，下部支挡的办法来处理，如插打木桩、混凝土桩、钢板桩等。

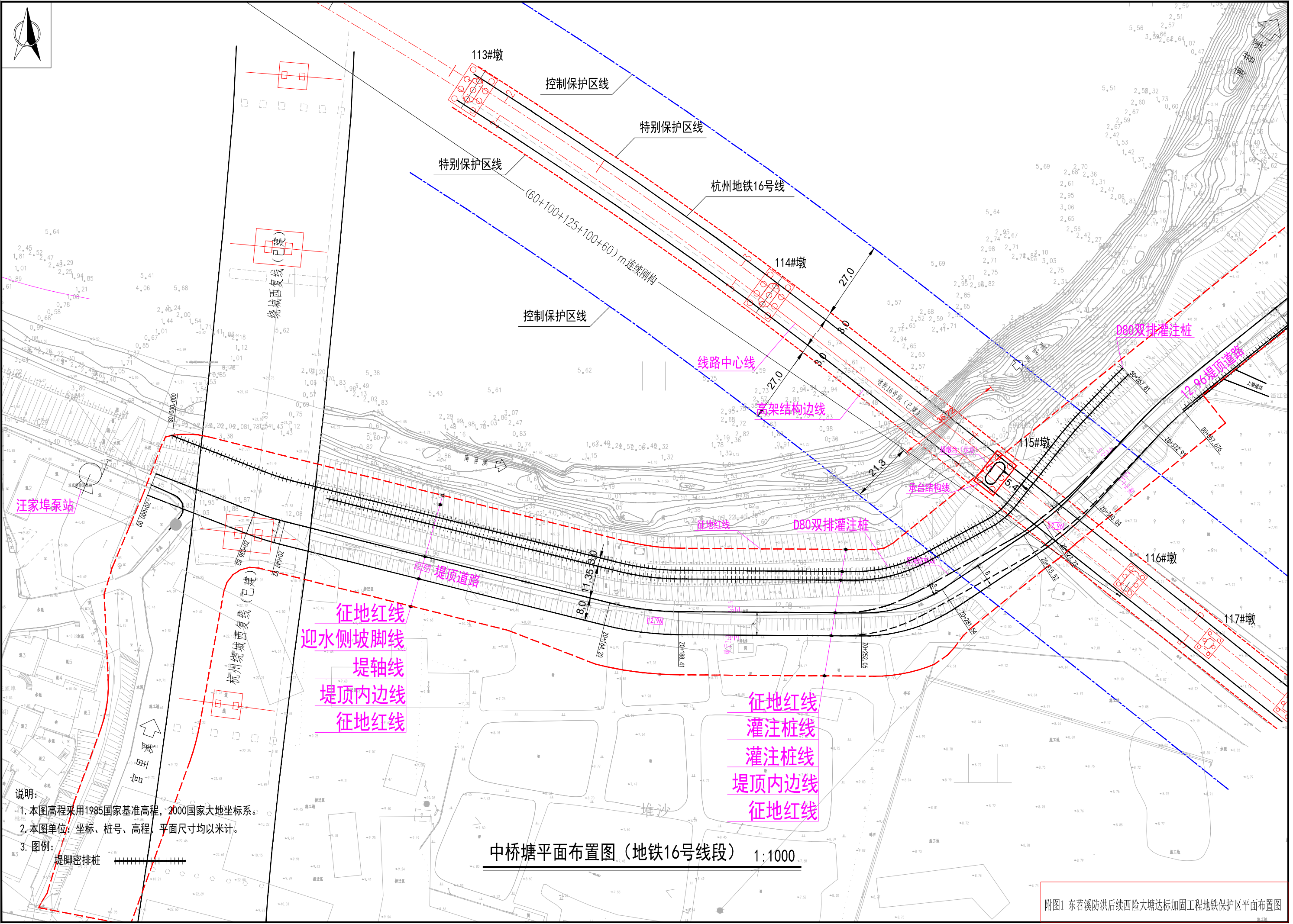
10 附图

附图 1：东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程地铁保护区平面布置图

附图 2：堤防断面图一

附图 3：堤防断面图二

（其它未详之处详见与本项目相对应的边坡施工设计图纸。）

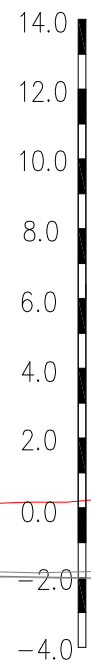


说明:
 1. 本图高程采用1985国家基准高程, 2000国家大地坐标系。
 2. 本图单位: 坐标、桩号、高程、平面尺寸均以米计。
 3. 图例:
 堤脚密排桩

中桥塘平面布置图 (地铁16号线段) 1:1000

附图1 东苕溪防洪后续西险大塘达标加固工程地铁保护区平面布置图

高程 (m)



▽ 洪水位12.46 (P=0.5%)

▽ 洪水位9.14 (P=20%)

▽ 常水位3.53

▽ 0.50

0.95

-0.45

-2.65

-7.55

-12.15

-13.05

-17.85

-28.35

C30F100 砼冠梁1

C30F100 砼冠梁2

C30F100 砼灌注桩D80@237.5

C30F100 砼灌注桩D80@100

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

桩长=10.0m

桩长=10.7m

1437

800

616

堤轴

线

▽13.76

▽12.96

清基线

上方填筑

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

征
地
红
线

背水坡绿化

上方填筑

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

经编土工格栅

C30F100 砼框格梁植草厚30
 C20 素砼垫层厚10
 碎石垫层厚20
 15kN/m 无纺土工布

7.00

C30F100 砼冠梁1

C30F100 砼冠梁2

①₂ 素填土

C30F100 砼灌注桩D80@237.5

桩长=10.7m

②₂ 粉质黏土

②₃

含砂粉质黏土

④

淤泥质粉质黏土

⑨₂

含黏性土粉砂

⑨₃

圆砾

⑨₄

卵石

⑮₂

含黏性土碎石

③_{b-1}

全风化泥质粉砂岩

③_{b-2}

强风化泥质粉砂岩

③_{b-3}

中等风化泥质粉砂岩

堤防断面图一 (地铁16号线段) 1:150

(桩号Z0+315.52断面图)

SK-KN-Z43

2.65

-28.35

31.00

说明:

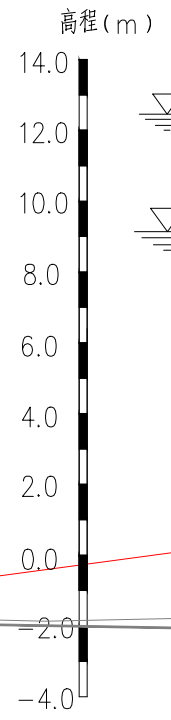
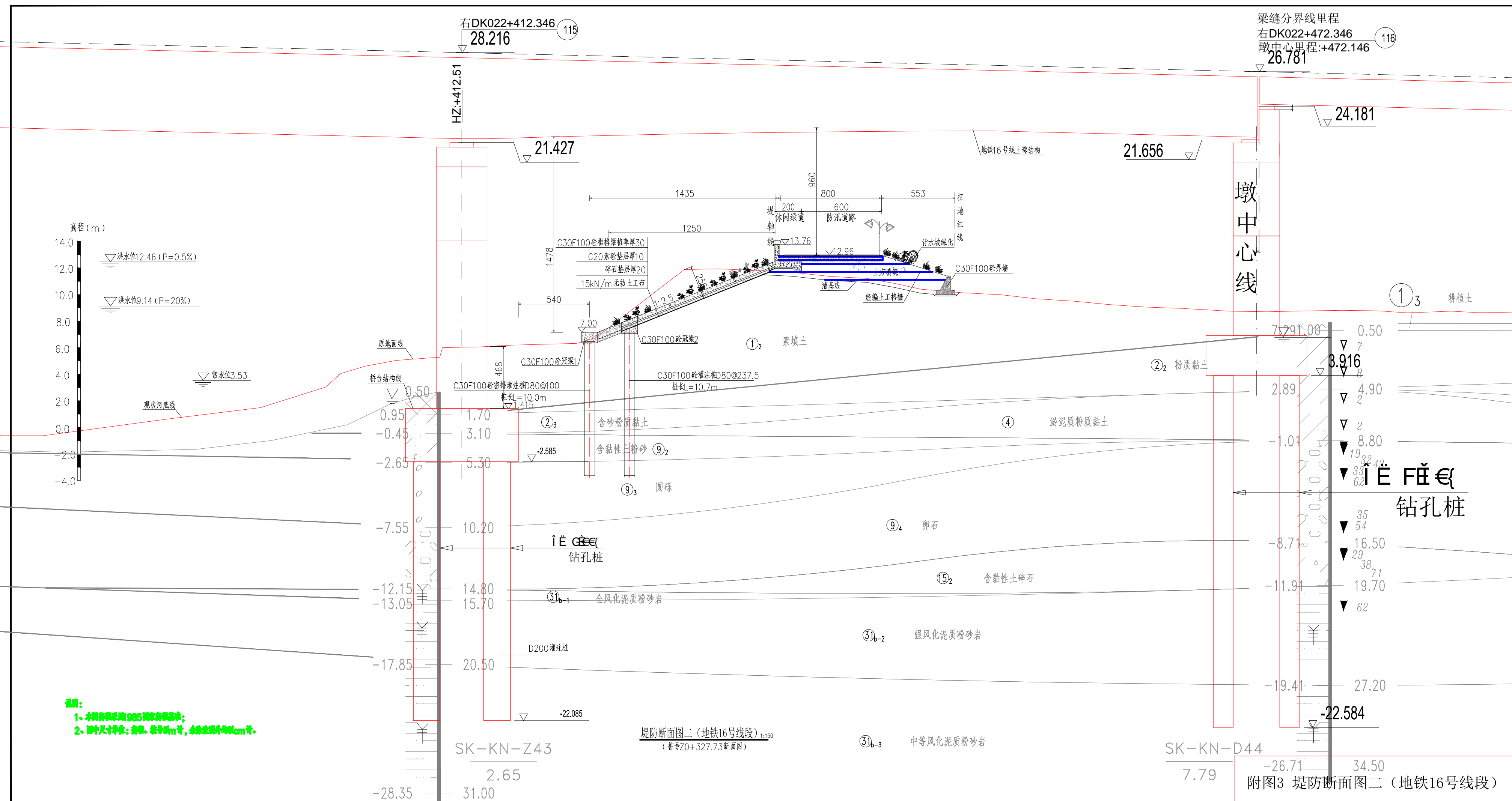
1. 本图高程采用1985国家高程基准;

2. 图中尺寸单位: 高程、桩号以m计, 余以cm计。

附图2 堤防断面图一

右DK022+412.346
28.216

梁缝分界线里程
右DK022+472.346
墩中心里程:+472.146
26.781



堤防断面图二(地铁16号线段) 1:150
(桩号Z0+327.73断面图)

附图3 堤防断面图二(地铁16号线段)

说明:
 1. 本图高程采用1985国家高程基准;
 2. 图中尺寸单位: 高程、桩号以m计, 其余注现外地均以cm计。