

软弱土层中浅埋暗挖地道坍塌冒顶处理方案

杨守臻, 谭英明

(杭州市市政工程集团有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要: 本文重点介绍了杭州市某人行过街地道浅埋暗挖过程中的冒顶塌方情况, 分析了地道冒顶的原因, 提出了相应的冒顶处理方案, 并探讨了方案的实施效果, 对施工中的经验教训进行了归纳总结, 提出一些看法和建议。为工程实践提供参考。

关键词: 浅埋暗挖; 人行地道; 坍塌冒顶; 原因分析; 处理方案

中图分类号: TU42 文献标识码: A 文章编号: 2096-7195(2019)03-0020-09

作者简介: 杨守臻(1983-), 男, 山东寿光人, 硕士, 高级工程师, 主要从事隧道与地下工程设计工作。E-mail: 93741189@qq.com。

Treatment for collapse and roof cave-in of pedestrian underpass of underground excavation with shallow overburden in soft soil layer

YANG Shou-zhen, TAN Ying-ming

(Hangzhou Municipal Engineering Group Co., Ltd. Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper has introduced and analysed the conditions of collapse and roof cave-in of one pedestrian underpass with shallow overburden in Hangzhou. It has proposed the treatment measures and discussed the effects of each measure's implementation. Hence, the paper has summarized the construction experiences and lessons and put forward the suggestions to be adopted and used as references for engineering practices.

Key words: underground excavation with shallow overburden; pedestrian underpass; collapse and roof cave-in; cause analysis; treatment scheme

0 引 言

浅埋暗挖法是近二十多年发展起来的一种新方法, 该方法在城市地铁、市政地下管网及地下空间的其他浅埋地下结构物的工程设计与施工中广泛应用。该方法多应用于第四纪软弱地层, 开挖方法有正台阶法、单侧壁导洞法、中隔墙法(也称 CD 法和 CRD 法)、双侧壁导洞法(眼镜工法)等。该方法具有灵活多变, 对地面建筑、道路和地下管网影响不大, 拆迁占地少, 不扰民, 不污染城市环境等优点, 是目前较先进的施工方法^[1]。

本文通过阐述杭州市某人行过街地道坍塌冒顶的主要原因、处理方案及其实施效果, 分析冒顶原因, 提出市政道路软弱土层中浅埋暗挖过街地道施工必须遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”十八字方针^[1]的原则。通过总结坍塌冒顶处理经验, 为同类市政道路人行过街地道

冒顶施工提供参考。

1 地道工程概况

1.1 地道概况

杭州市某人行过街地道自 2014 年 5 月 30 日正式进入浅埋暗挖施工, 暗挖作业过程中于 6 月 9 日及 6 月 22 日两次发生冒顶涌水坍塌。

地道下穿市政道路采用浅埋暗挖法施工, 占地总长约为 177.3 m; 浅埋暗挖主通道平面总体呈“L”型, 总长约为 68.1 m, 见图 1。地道的覆土约 6.6 m, 结构总宽 7.7 m, 侧墙 0.6 m, 结构净宽 6.5 m, 底板 0.6 m, 顶板 0.6 m, 见图 2。地道设置两个出入口, 一个管理房, 西北角 1 号出入口位于文一路苏宁电器前, 东南角 2 号出入口位于文一路规划人行道上。

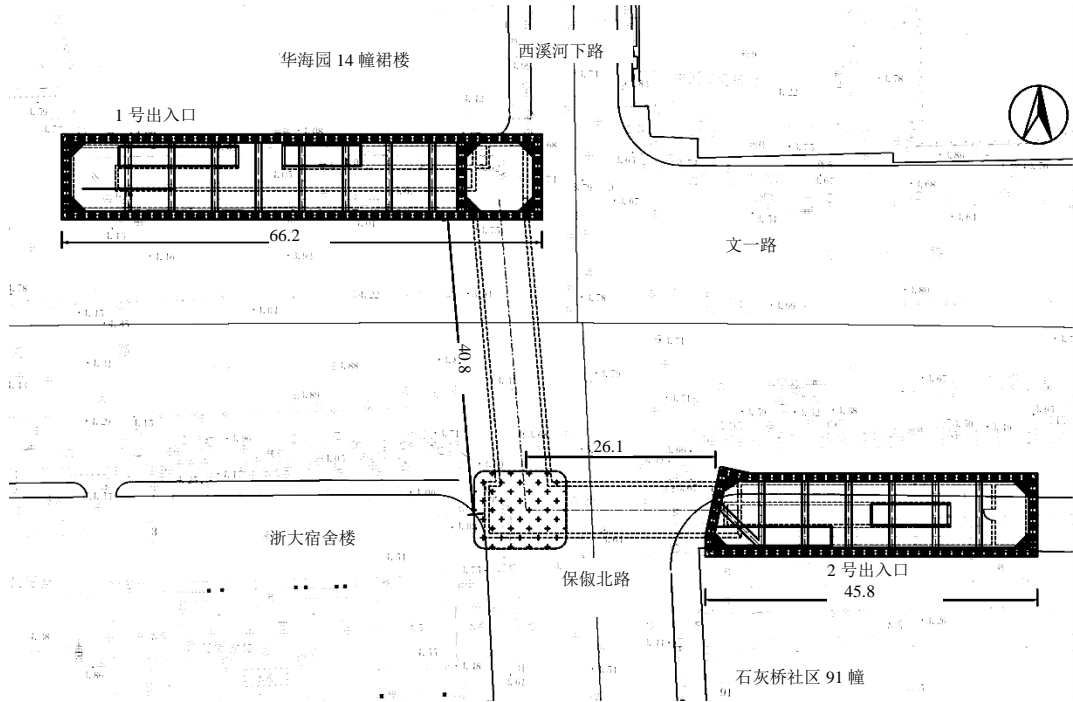


图 1 地道平面布置图

Figure 1 Layout plan of the pedestrian underpass

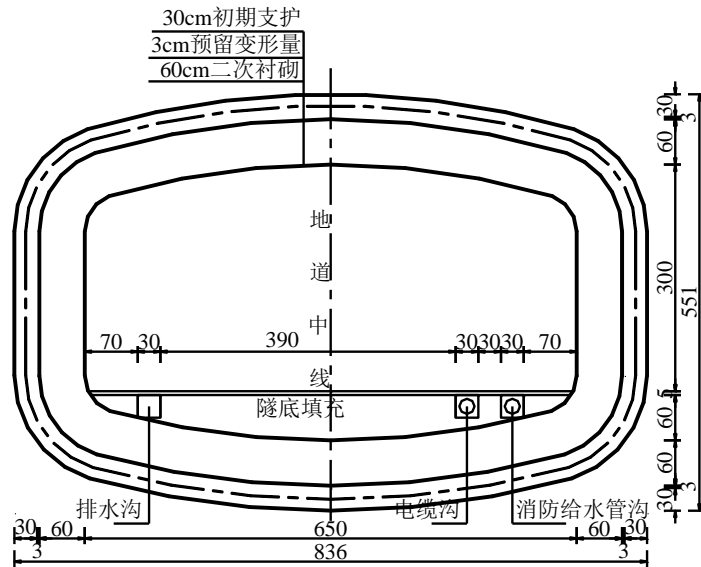


图 2 过街地道横断面布置图

Figure 2 Horizontal section of the pedestrian underpass

现状市政道路下方现状管线较多, 分别有现状雨水管、污水管、给水管、电力管、通信管、燃气管、热力管等七种管径。其中较重要的管线有 D1000 的三污干管五号次干管, DN1200 供下沙用水给水主干管, 30 孔杭州市电信八局出线。地道周边建筑物主要为邻近明挖竖井段的华海园及石灰桥社区居民楼, 以及位于东南角的浙大宿舍楼 (距离暗挖地道约 5.9 m)。

暗挖地道内净空为 6.0 m×2.5 m, 结构断面采用了直墙拱顶的形式, 通道开挖尺寸为 8.4 m×5.6 m。

通道暗挖按新奥法原理设计, 复合式衬砌, 初期支护采用大管棚+超前注浆加固土体 (大管棚注浆+WSS 工法超前注浆+TSS 小导管超前及全断面注浆)+间格栅钢架+C20 网喷混凝土, 二次衬砌采用 60 cm 厚 C30 防水钢筋混凝土结构。

1.2 地质概况

工程前期, 由于交通制约等各种因素的影响, 原地质详勘未对暗挖通道正上方土体进行勘察作业, 冒顶坍塌发生后, 经建设各方协调得以对通道上方进行补勘。补勘以鉴别孔为主, 结合完成的出

入口的地质资料对暗挖地道区域工程地质情况评价如下。

拟建过街设施过街地道主体埋深为 6.27~12.98 m, 拟采用新奥法浅埋暗挖施工。暗挖段所处地层条件较为复杂, 其中临近 1 号出入口部的隧道(主通道)主体位于②₁ 粘土、③₁ 淤泥、③₂ 淤泥质粉质粘土、⑤₁ 淤泥质粉质粘土夹粉土层; 临近 2 号出入口的隧道(次通道)主体主要位于①填土、③₁ 淤泥、③₂ 淤泥质粉质粘土、⑤₁ 淤泥质粉质粘土夹粉土层, 见图 3。拟建地道围岩周边环境复杂, 地道底部土与侧壁土以③淤泥及淤泥质粉质粘土层为主, 地道顶部土层以①填土、②₁ 粘土、③₁ 淤泥为主, 见图 4。

①填土层渗透性较好, 自稳性差, 且拟建场地潜水埋深浅; ②₁ 粘土性质一般, ③₁ 淤泥、③₂ 淤泥质粉质粘土、⑤₁ 淤泥质粉质粘土夹粉土层性质差, 变形模量小, 在应力作用下变形大。地道开挖时易产生侧向变形、涌水、流土及坑底土隆起, 故应采取可靠的支护措施。

2 坍塌冒顶概况

2.1 第一次坍塌情况

2014年6月5日, 在次通道暗挖开挖施工中, 通道掌子面上方出现地下不明水流, 影响浅埋暗挖施工正常进行。考虑到带水作业对暗挖施工影响巨大, 经各方协调, 明确对该水流进行注浆封堵处理, 施工单位落实注浆止水措施后, 洞内无明显渗漏水, 继续暗挖施工。6月9日凌晨5点左右, 现场施工人员上班之后发现暗挖掌子面土体坍塌入竖井基坑内部, 同时地道工程东南角人行道位置出现一处空洞, 面积约 3 m², 见图 5、图 6。发现空洞后, 项目部立即上报上级单位, 建设、监理、设计、监测及施工方迅速采取应急措施, 及时封闭人行道及非机动车道, 对空洞区域进行灌注素混凝土回填及加固处理。截止当天下午3点, 完成孔洞回填及坑内加固, 险情基本排除。

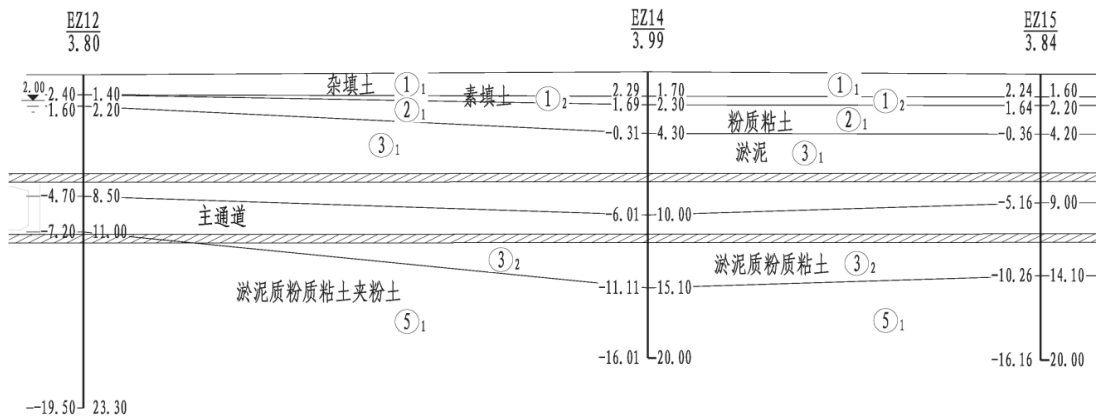


图 3 地道主通道地质纵断面图

Figure 3 Geological profile of main passage of the pedestrian underpass

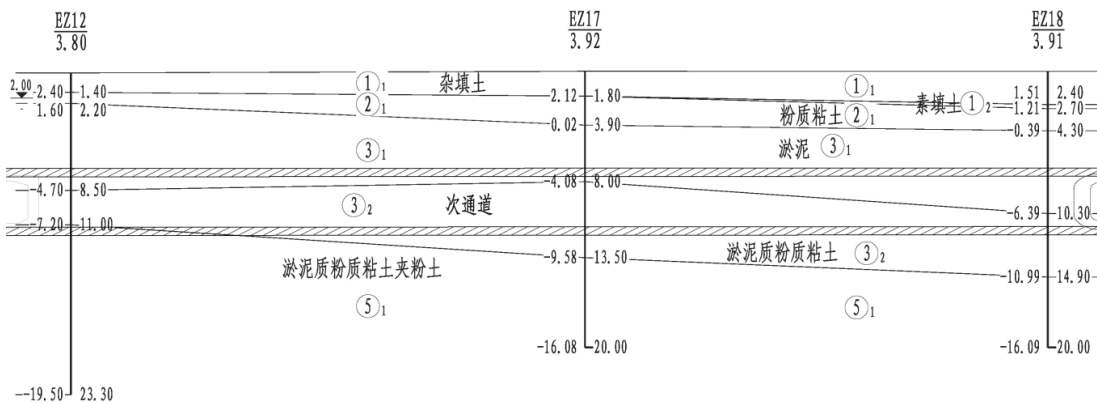


图 4 地道次通道地质纵断面图

Figure 4 Geological profile of secondary passage of the pedestrian underpass

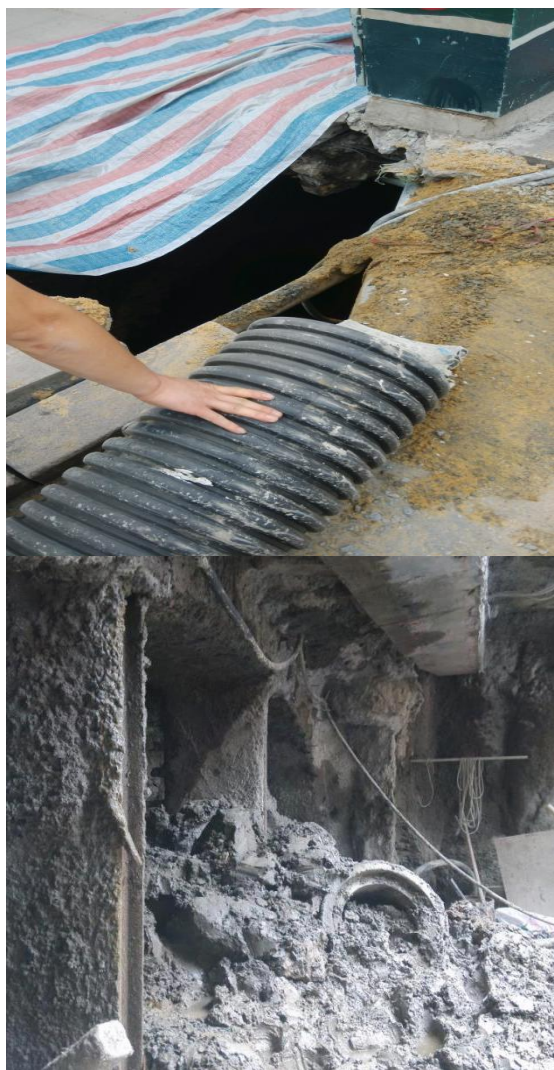


图 5 冒顶坍塌地表空洞及洞口堆积示意图

Figure 5 Schematic diagram of Surface cavity and mound after roof cave-in and collapse



图 6 地道暗挖坍塌后明挖竖井堆积示意图

Figure 6 Schematic diagram of Mound in the shaft after cave-in of the pedestrian underpass

2.2 第二次坍塌情况

2014 年 6 月 16 日, 建设各方相关人员对现场落实第一次坍塌专家咨询会意见措施验收后同意继续开展暗挖施工。6 月 22 日晚 23:00 左右, 一号导洞施工至 10.5 m 时掌子面再次发现渗水, 渗水在较短时间内发展成为流水, 水流逐渐增大, 引起掌子面土体涌出, 见图 7。现场立即停止施工, 并组织施工人员迅速撤离, 及时封堵土体, 同时, 封闭地面机动车道, 在地表进行竖向注双液浆进行回填, 截止第二天上午 5 点, 完成注浆回填, 险情基本排除。



图 7 二次坍塌后掌子面实况

Figure 7 Live scene of excavating face after secondary cave-in

3 紧急抢险处理

3.1 第一次坍塌处理

2014 年 6 月 9 日下午, 建设单位组织行业专家、勘察、设计、监理、监测及施工方相关人员针对第一次坍塌情况召开了专题咨询会, 经充分讨论, 达成如下共识:

(1) 空洞区域坑内回填处理至原人行道标高, 回填采用低标号素混凝土及砂石混合料;

(2) 对基坑内导洞进行注浆封闭处理, 注浆采用双液注浆;

(3) 坍塌部位周边进行注浆, 确保空洞内土体完全密实, 力争在当天晚上 10 点前完成。

(4) 应急人员及物资现场到位, 随时待命。安排人员对现场进行 24 小时巡查。备足各种应急物资, 如堵漏水材料, 粉土、砂石料及钢板等。

(5) 加强现场监测工作, 在 24 小时内加强对空洞区域周边地面、地下管线及建筑物等的监测。

(6) 险情排除后, 在下步暗挖施工前, 明确在竖井基坑与次通道接头处南北两侧扇形区域进行竖向注普通水泥+水玻璃双液浆, 加固深度地表下 1~6 m, 扇形半径 8 m, 以形成止水帷幕, 隔断

地下水流。

(7) 险情排除后, 针对暗挖施工现场实际情况, 应加强二次注浆补强工作; 及时施作超前小导管并注浆; 加快工序衔接, 缩短开挖与初支时间间隔, 及时架立临时型钢支撑, 及时封闭掌子面。在暗挖掘进前, 施工超前钻孔, 探明前方地质、水文情况等, 确保暗挖施工安全。

会后, 施工方按专家咨询会精神进行现场落实, 对地下管线逐一进行排查, 并未发现有管道破损、渗漏现象; 也未发现西溪河及白荡海水面有明显变化。同时对竖井基坑西北角及西南角处扇形区域采取竖向注双液浆进行加固, 并对一号导洞掌子面进行水平注浆补强, 对二、三号边导洞进行斜孔注浆补强后, 洞内无明显渗漏水, 见图 8。

3.2 第二次塌陷处理过程

2014年6月23日下午, 建设单位组织行业专家、勘察、设计、监理、监测及施工方相关人员针对第二次塌陷情况召开了专题咨询会, 经充分讨论, 达成如下共识:

(1) 结合第一次坍塌事件以来现场调查情况, 从通道上方地下废弃管线、房屋基础及地质情况分析, 导致此次事件发生的不明水流与6月9日坍塌冒顶水流应为同一股水源。

(2) 继续实施路面注浆回填工作, 确保路面下无空洞死角, 保证地面交通的安全。

(3) 聘请专业第三方单位进行地下水流探查, 确定不明水源来历, 务必查清其源头。

(4) 勘察单位对通道上方土体进行加密补勘, 对场地地质情况进行更细致的调查。

(5) 施工单位再进一步对通道上方废弃管线进行探挖, 对现状地下管线进行逐一排查。

会后, 施工方按专家咨询会精神进行现场落实, 继续实施路面注浆回填工作, 同时对地下管线逐一进行排查, 仍未发现有管道破损、渗漏现象; 勘察方会同施工方与交警协调后, 于当晚进场进行暗挖通道地质补勘, 同时配合相关第三方专业技术人员对场区不明水流进行探查, 见图 9。

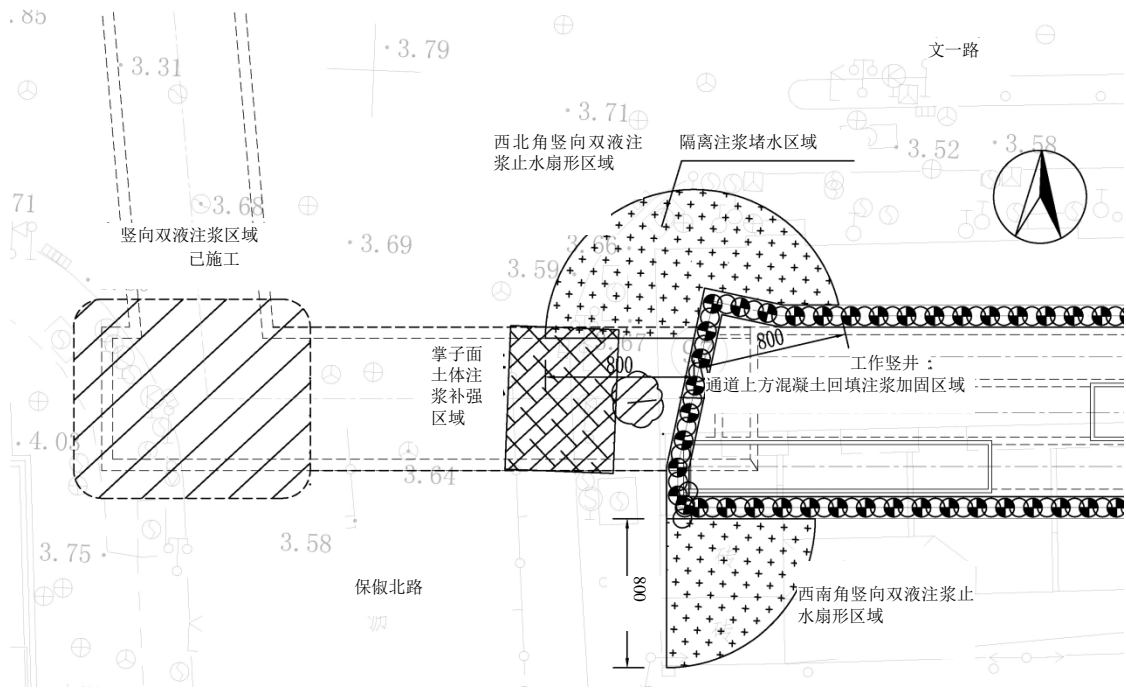


图 8 地道第一次暗挖坍塌后处理平面图
Figure 8 Layout plan of treatment after first cave-in

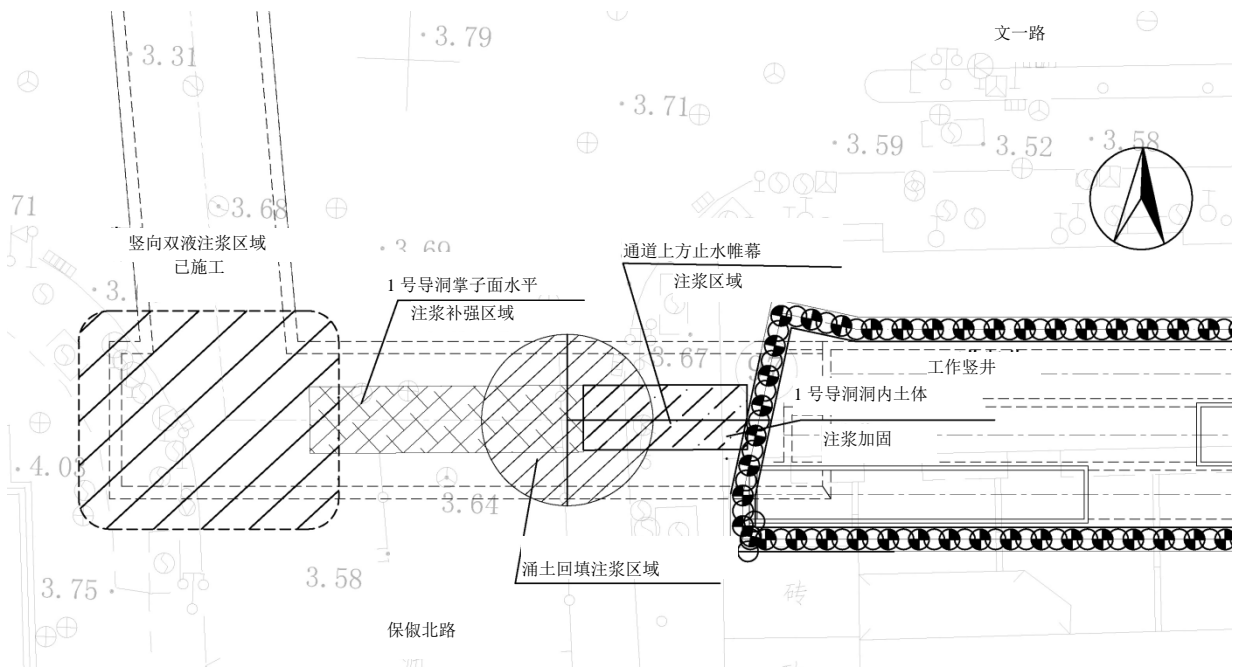


图9 地道第二次暗挖坍塌后处理平面图

Figure 9 Layout plan of treatment after secondary cave-in

4 坍塌冒顶原因

结合冒顶坍塌以来现场情况调查,暗挖施工过程中两次出现不明水流渗透现象,对工程造成极大的安全隐患。经咨询专家意见以及建设各方多次会审,明确须对工程区域地下水进行测试,探明渗漏水来源与走向。判断渗漏水是否来源于自来水管道、污水管道、河水、池塘等补给源,同时评价地下水量及其对工程的影响。

第三方专业技术人员针对现场工程状况,布置了14个渗流探测孔,并在孔中进行了水位监测、流速测试、流向测试、垂向流测试、全孔透水性测试工作,并在通道周边降水井工作前后进行了对比测试。

测试工作持续20天左右,先后在14个钻孔中完成了相关测试内容,并对测试结果进行多次重复测试。经测试,测试区域所有钻孔流速均为上大下小的分布形式,浅层流速较大,而深部(5 m以下)流速要比浅层小一到二个数量级以上。孔中测试结果显示,局部最大的流速为 10^{-3} cm/s数量级, 10^{-4} cm/s数量级以上的较大流速在不同孔中呈现不规则分布。靠近灌浆防渗加固区的钻孔渗透性相对较差,而远离灌浆区的部分钻孔在距离地面较小深度也存在较大流速。另外,受工程开挖影响,测试区域所有钻孔流向主要指向开挖区域,大部分位置由西、南向向基坑位置补给。D9号钻孔由于位置紧贴基坑,渗流方向几乎垂直于基坑向坑内补给。

综上所述,经施工方对现场地下管线进行排查、勘察单位进行实地补堪及第三方专业技术人员现场监测地下水流流向、流水等数据后,并咨询权威专家组论证后,分析坍塌原因如下:

- (1) 两次涌水坍塌是由地下水渗流引起的,与周边管线联系不大;
- (2) 两次涌水坍塌是由浅层地下水向下渗漏引起,与深层承压水关系不大;
- (3) 场地地下水主要由西溪河以及降水补给,补给流量较大,补给方向主要由西、南向入渗;
- (4) 通道位置有埋深2~5 m碎石含水层,层内存在由西溪河西向东经老白荡海河塘水道水流,流量较大。
- (5) 根据目前现状,后期治水建议采取排水和堵水相结合方式进行处理;排水采取杂填土层井点降水措施进行排水;堵水采用地表竖向双液注浆封堵抗渗加固。

5 坍塌冒顶处理方案

针对地道上方较厚富水性好的填土层范围和周边环境情况,地道暗挖施工加固处理按照以“水的处理”为主的原则,提出应立足以地面竖向双液注浆加固为主,结合地表降水为辅的综合治水方案。2014年7月24日,建设单位组织召开了某浅埋暗挖人行过街地道加固处理方案专家咨询论证会,明确最终加固方案如下:

处理技术按照以“水的处理”为主的原则，地表采用竖向双液注浆加固结合地道两侧地表降水截水，即土体加固与降水截水并重的方案，同步加强暗挖施工期间监测。

5.1 地表双液注浆抗渗加固

为了阻止地道上方富水填土层中的水进入地道，影响后续加固施工，注浆加固区域为暗挖通道正上方及开挖轮廓外 3 m 范围，采用竖向注普通水泥+水玻璃双液浆方式，加固深度为地表下 1~4 m。与前期隧道开挖轮廓线外 3 m 区域实施的超细水泥+水玻璃双液浆土体预加固共同作用，地道拱部形成厚度约为 5~6 m 的加固土止水壳体，对暗挖开挖轮廓线进行保护，见图 10。

在注浆加固过程中，一定要控制好各层压力。上层地表附近地下管线较多，且上层地下水较少，压力可以小些；下层地道拱顶附近填土层地下水较

丰富，且没有地下管线，压力可以大些，以提高注浆搭接部位的止水抗渗作用。总的原则是既要注浆加固好，又要防止地表压力过大造成隆沉，破坏管线。

5.2 地表降水

为了使地道暗挖施工处于少水甚至于无水状态，在竖向注浆区域附近施作降水井进行降水，以期在暗挖地道周边形成一道截水帷幕，控制外来水源进入暗挖施工作业区域。降水井沿主、次通道两侧布设，其间距为 3~5 m。竖向注浆加固施工完成后，在注浆加固区域外（不小于 1 m 距离）设置地表疏干井，对被隔离在止水加固区域外的地下水流进行疏排，降水井深度为地面下 6 m，主要对杂填土层及碎石层内的地下水进行疏排，共 36 口疏干井，其中次通道两侧区域设置 20 口疏干井，主通道两侧区域设置 16 个疏干井，见图 11。

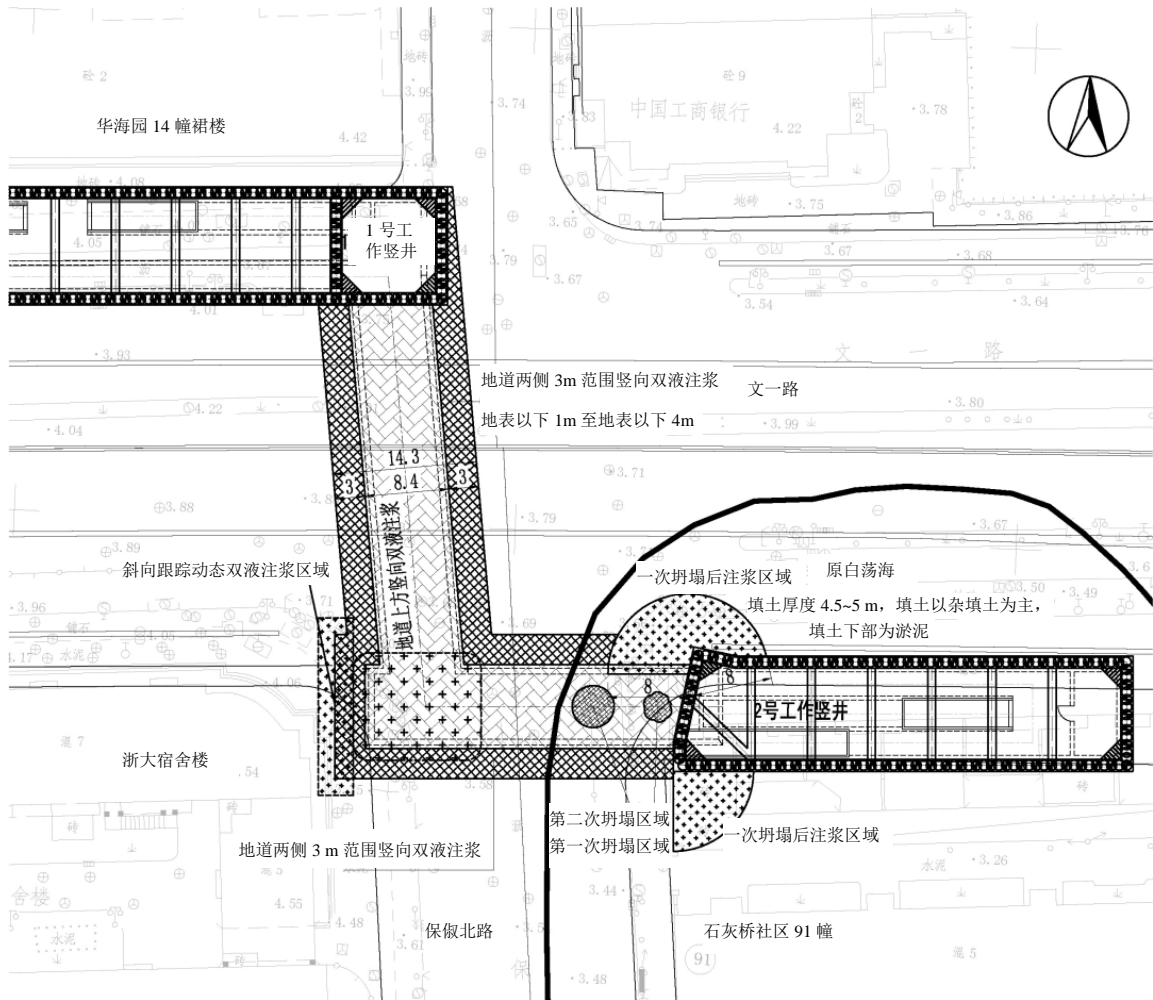


图 10 地道上方地表竖向双液注浆加固平面布置示意图

Figure 10 Layout plan of double-fluid grouting reinforcement above the pedestrian underpass

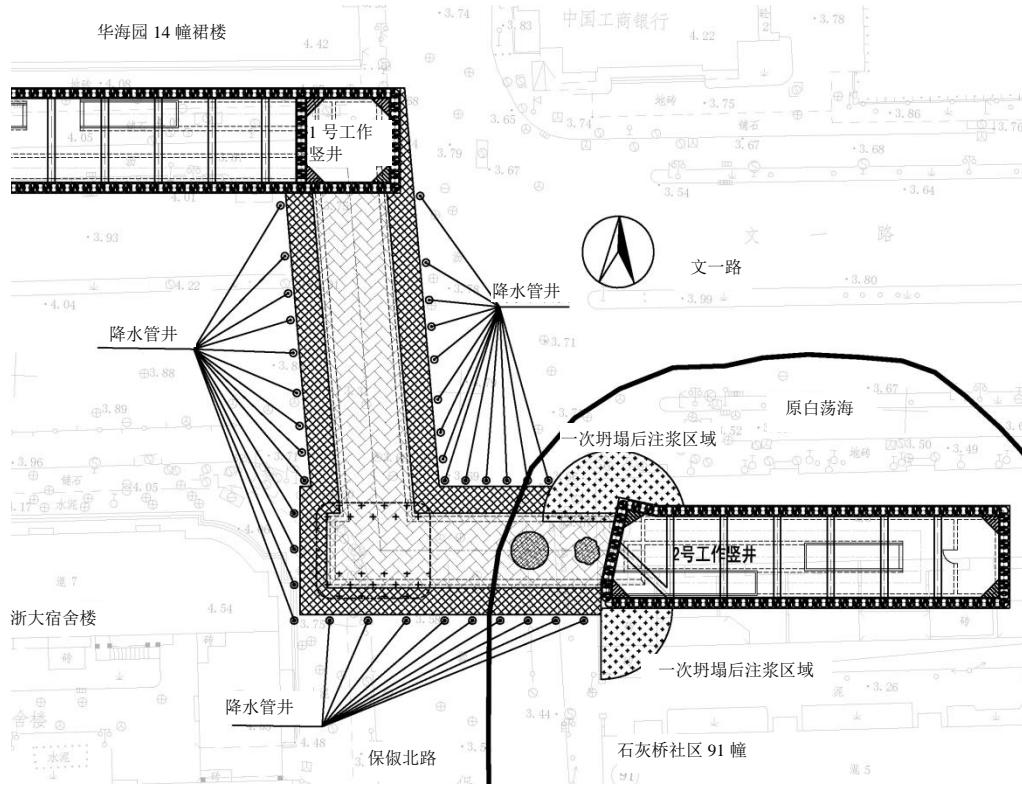


图 11 地道周边地表疏干降水井平面布置示意图

Figure 11 Layout plan of dewatering well around the pedestrian underpass

5.3 加强监测

结合两次坍塌事件以来地道周边环境变形情况, 应实际工程需要, 明确监测单位在原设计监测内容基础上加强加密监测, 主要包含: ①在暗挖通道上方及洞内加密监测断面, 由原 5 m 一个监测断面加强为 2.5 m 一个监测断面, 必要位置再行加密; ②在通道两侧增设深层土体位移监测孔、地下水位监测孔、周边分层沉降监测孔, 见图 12。以更及时、更细致的监控暗挖通道及周边环境的变形情况。

具体监测项目设置如下:

(1) 地表沉降量测: 暗挖通道上方每 2.5 m 布置一个地表沉降监测断面, 每个断面设 3 个地表沉降监测点, 必要位置再行加密。在第一次坍塌区域上方增加布设 12 个地表点, 呈扇形布置。共计 90 点。

(2) 拱顶下沉量测: 暗挖通道拱顶每 2.5 m 设一个断面, 每个断面设 3 个拱顶下沉测点。暗挖次通道第一次坍塌区域加密布设一个断面。共计 78 点。

(3) 水平净空量测: 暗挖通道侧壁每 2.5 m 设一个断面, 每个断面设 6 个水平净空收敛测点。暗挖次通道第一次坍塌区域加密布设一个断面。共计 156 点。

(4) 拱底下沉量测: 暗挖通道仰拱每 2.5 m 设一个断面, 每个断面设 3 个拱底下沉测点。暗挖次通道第一次坍塌区域加密布设一个断面。共计 78 点。

(5) 暗挖通道深层土体水平位移量测: 沿暗挖通道边线部位布置测孔, 其中暗挖次通道布置 2 个断面共 4 个测点, 2 号加固区布置 1 个测点, 暗挖主通道布置 3 个断面共 6 个测点, 合计共 11 个土体深层水平位移监测点, 测斜管埋深为 16 m。

(6) 暗挖通道周边地下水位量测: 沿暗挖通道边线部位布置测孔, 其中暗挖次通道布置 2 个断面共 4 个测点, 2 号加固区布置 1 个测点, 暗挖主通道布置 3 个断面共 6 个测点, 地下水汇流方向区布置 1 个测点, 合计共 12 个暗挖通道周边地下水位监测点, 水位管埋深为 16 m。

(7) 暗挖通道周边分层沉降量测: 沿暗挖通道边线部位布置测孔, 其中暗挖次通道布置 2 个断面共 4 个测点, 2 号加固区布置 1 个测点, 暗挖主通道布置 3 个断面共 6 个测点, 共 11 个暗挖通道周边分层沉降监测点, 孔深为 16 m, 孔内每间隔 2 m 埋设分层沉降磁环。

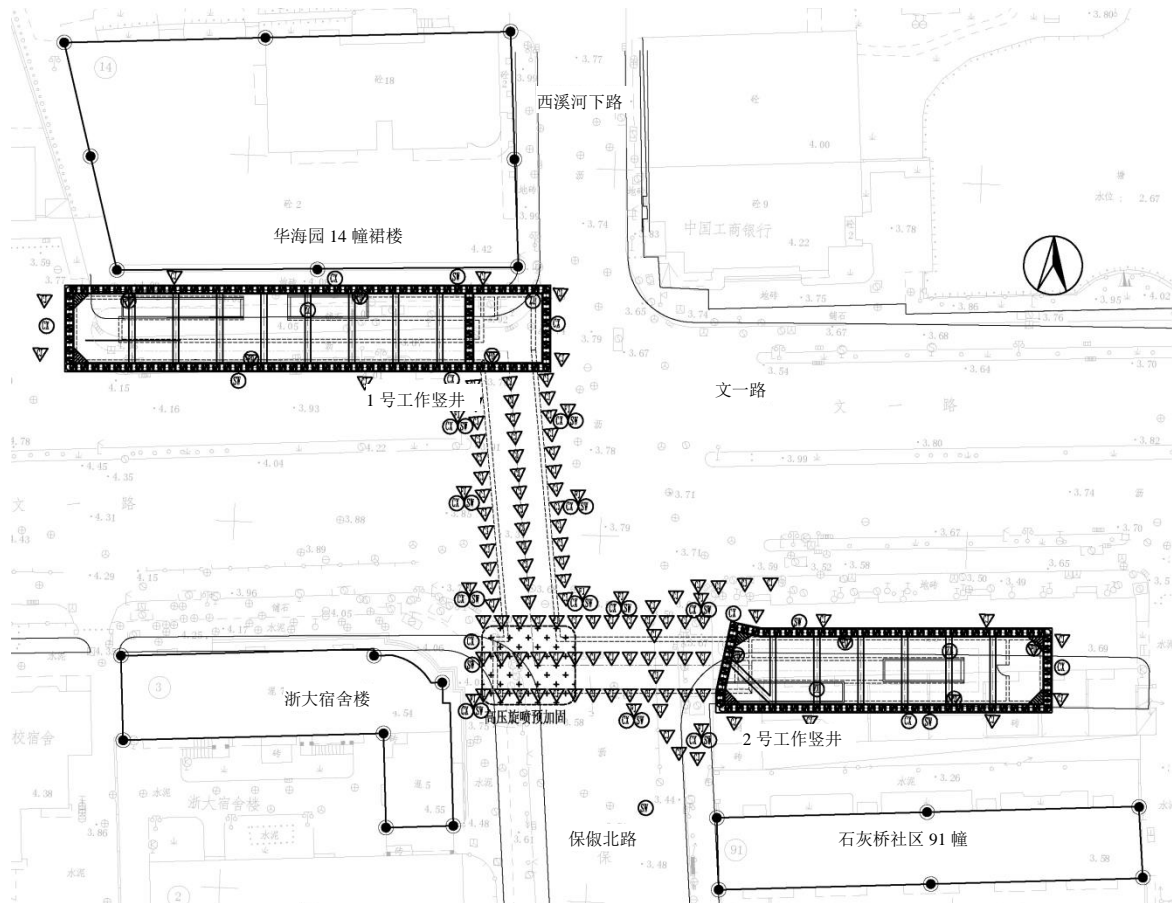


图 12 地道周边环境监测平面布置示意图

Figure 12 Layout plan of monitoring points of surrounding environment of the pedestrian underpass

6 实施效果

本工程过街地道于 2015 年 7 月正式交付验收, 至今地道已建成运营 4 年多, 通过对该地道进行多次监测调查可知, 地道运营良好, 地道坍塌冒顶处理取得了良好的效果。

(1) 坍塌冒顶段地道二次衬砌无裂纹, 不渗漏, 未发现一般隧道病害, 地道功能完好。

(2) 通过对地道内和地道上方车行道埋设的沉降观测点的观测发现, 建成后地道基本没有沉降, 冒顶回填处沉降极小。

7 结 语

长三角地区滨海相沉积淤泥质软土地层中浅埋暗挖技术应用还相对处于浅尝辄止的阶段, 随着上海、杭州和南京等城市暗挖地铁的建设, 该技术势必还会有更广泛的市场。本文仅对软弱土层中较小断面浅埋暗挖冒顶坍塌处理进行了简述, 随着地下建设工程项目的进一步扩大, 该技术今后仍需在预防地面冒顶坍塌方面进行更深层次的探索。

(1) 塌方是地下工程施工中的常见地质灾害。地道发生塌方后, 应全面调查塌方的范围、形状, 分析塌方原因, 查明塌方处地下水的活动情况和岩土性状、岩体结构等, 为制定合理有效的治理方案提供依据^[2]。

(2) 地道塌方治理应将坍塌冒顶段地表及塌坑处理、洞内处治统一起来, 采取合理有效的施工方法及工序进行综合处治。在治理的过程中应重视水的处理, 加强洞内防、排水措施, 使土体保持干燥, 提高土体的稳定性。

(3) 市政道路软弱土层中浅埋暗挖施工应严格遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”十八字方针的施工要点, 这是经验教训的总结, 必须认真执行^[1]。

参考文献:

- [1] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论[M]. 合肥: 安徽教育出版社. 2004.
- [2] JTG 3370.1-2018 公路隧道设计规范第一册土建工程[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司. 2019.