

注浆法在富水砂卵石地层城市轨道交通 联络通道暗挖施工中的应用

李乔斌¹ 张哲宁² 钟久安¹ 臧鹏¹ 陈晓东¹

(1. 四川共拓岩土科技股份有限公司, 610073, 成都; 2. 成都轨道建设管理有限公司, 610213, 成都)

摘要 [目的] 成都地铁19号线二期工程九江北站—龙桥路站区间1#联络通道处于富水砂卵石地层, 受周边建(构)筑物位置所限, 不宜采用常规方法进行施工, 为此需采用不降水法为该联络通道暗挖施工提供无水条件。[方法] 根据1#联络通道的工程特点, 在对比分析冻结法和顶管法等常规方案的基础上, 采用注浆法为该联络通道暗挖提供无水条件。根据富水砂卵石地层的特点, 同时受周边建(构)筑物布局的限制, 19号线主线隧道内决定采用水平注浆法施工。详细阐述了1#联络通道注浆法施工方案, 针对动水条件下砂卵石地层涌水、涌砂, 成孔困难, 串冒浆等难点, 提出相应对策。从可靠性、造价、变形控制及运营维护等方面总结了水平注浆法的优势。[结果及结论] 1#联络通道施工完成后, 经测试检查孔每米出水量不大于0.13 L/min, 达到预期止水要求, 满足该联络通道暗挖的无水条件; 开挖过程揭示, 开挖面基本无渗水, 1#联络通道安全贯通。

关键词 城市轨道交通; 联络通道; 暗挖施工; 注浆法; 富水砂卵石地层

中图分类号 TU472.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.059

Application of Grouting Method for Underground Excavation Construction of Urban Rail Transit Connecting Passage in Water-rich Sandy Cobble Stratum

LI Qiaobin¹, ZHANG Zhening², ZHONG Jiuan¹, ZANG Peng¹, CHEN Xiaodong¹

(1. Sichuan Gotone Geotechnical Technology Co., Ltd., 610073, Chengdu, China; 2. Chengdu Rail Construction Management Co., Ltd., 610213, Chengdu, China)

Abstract [Objective] Connecting Passage 1 in the interval of Jiujiang North Station and Longqiao Road Station of Chengdu Metro Line 19 Phase II is located in water-rich sandy cobble stratum. Limited by the location of the surrounding buildings (structures), it is not suitable to adopt conventional method for the construction. Therefore, the non-precipitation method is required to provide a water-free condition for the underground

excavation construction of this connecting passage. [Method] According to the engineering characteristics of Connecting Passage 1, and based on a comparative analysis of conventional schemes such as freezing method and pipe-jacking method, the grouting method is adopted to provide a water-free condition for the underground excavation of this connecting passage. According to the characteristics of water-rich sandy cobble stratum and limited by the layout of the surrounding buildings (structures), it is decided to adopt the horizontal grouting method for Line 19 main line tunnel construction. The construction scheme of Connecting Passage 1 grouting method is elaborated in detail. In view of the difficulties such as water gushing and sand gushing in the sandy cobble stratum, hole forming difficulty, slurry leakage and spillover under dynamic water conditions, corresponding countermeasures are proposed. The advantages of the horizontal grouting method are summarized from the aspects of reliability, cost, deformation control, operation and maintenance. [Result & Conclusion] After completing the construction of Connecting Passage 1, water output per meter of the inspection hole is not more than 0.13 L/min after testing, achieving the expected water-stop requirement and meeting the water-free condition for the underground excavation of this passage. The excavation process shows that there is basically no water seepage on the excavation surface, and Connecting Passage 1 is safely connected.

Key words urban rail transit; connecting passage; underground excavation construction; grouting method; water-rich sandy cobble stratum

目前,城市轨道交通区间隧道通常采用盾构法施工,对于不适宜盾构法施工的联络通道和附属地下通道,大多通过降水形成无水条件后采用明挖法或矿山法施工。而针对不具备降水条件、降水效果不佳的特殊地层,或降水敏感区域的城市轨道交通联络通道,可采用冻结法、顶管法施工,微型盾构机也有应用^[1-5]。受周边构(建)筑物位置所限,处于

富水砂卵石地层的成都某地铁联络通道不宜采用此类常规方法进行不降水暗挖。为此,本文尝试在成都某地铁联络通道内采用洞内水平注浆帷幕进行止水,为联络通道暗挖提供无水条件。

1 工程概况

成都地铁 19 号线(以下简称“19 号线”)二期工程九江北站—龙桥路站区间(以下简称“九龙区间”)主线隧道位于成新蒲快速路下方,与成蒲铁路桥并行,水平间距约 24 m。九龙区间 1[#]联络通道采用“弧形顶拱+直墙”断面,其宽度为 3.600 m,直墙高度为 3.950 m,弧形顶拱高度为 0.488 m。该联络通道采用复合衬砌。1[#]联络通道总长为 27.6 m,拱顶埋深约 20.9 m,水平向距离九江北站 493.0 m,水平向距离成蒲铁路桥约 32.9 m,竖向距离上方在营成都地铁 17 号线(以下简称“17 号线”)约 8.2 m。九龙区间 1[#]联络通道位置示意图见图 1。

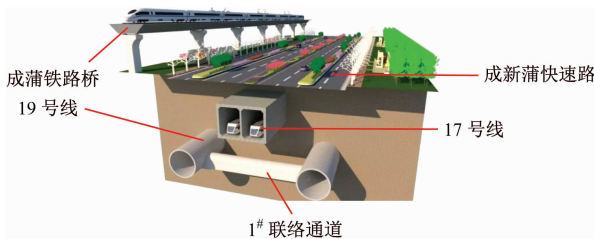


图 1 九龙区间 1[#]联络通道位置示意图

Fig. 1 Location schematic diagram of Connecting Passage 1 between Jiujiang North Station and Longqiao Road Station

1[#]联络通道所处地层为(5-8-3)卵石层,卵石间

的孔隙由细砂充填,并存在砂层透镜体,厚约 1~2 m;原岩为花岗岩、灰岩及石英砂岩,且原岩多为中等风化,少量为强风化。卵石体积分数为 50%~84%,直径为 2~20 cm,最大直径可达 45 cm;渗透系数约 25 m/d,具有强透水性;地下水位埋深为 3.10 m。

2 施工方案对比

2.1 工程特点

1[#]联络通道暗挖工程具有以下特点:

1) 1[#]联络通道水平向距离成蒲铁路较近,仅 32.9 m。按照《铁路安全管理条例》,铁路区域 200 m 范围内不允许降水,因此 1[#]联络通道所处位置不允许降水。

2) 1[#]联络通道竖向距离上方在营 17 号线约 8.2 m,17 号线上部为成新蒲快速路,因此 17 号线轨道允许最大变形量仅 8 mm。

3) 常规降水作业将影响 17 号线的正常运营,且降水井的实施影响成新蒲快速路的正常通行。

4) 1[#]联络通道地层位于砂卵石覆盖层且含砂层较厚,同时包含粉细砂透镜体,且地下水极丰富。

5) 1[#]联络通道净长度达 27.6 m,此长度在国内少有。

2.2 方案比选

针对富水砂卵石地层的地下通道开挖,目前国内有冻结法、顶管法等成功案例。1[#]联络通道周边建筑物布局较为复杂。针对该项目禁止降水的要求,提出冻结法、顶管法、注浆法等暗挖施工方法^[1-5]。1[#]联络通道开挖方案对比如表 1 所示。

表 1 1[#]联络通道开挖方案对比

Tab. 1 Comparison of Connecting Passage 1 excavation plans

方案	工期/d	造价/万元	特点	优点	缺点	备注
注浆法	120	796	加固地层	1. 帷幕止水效果好; 2. 有持久加固效果	1. 浆液实际扩散半径未知,开挖中可能需补充注浆; 2. 部分时段存在与隧道主体交叉施工	造价约 182 万元,包含联络通道开挖和二次衬砌费用,开挖工期 60 d
冻结法	165	995	冻结地层	1. 冻结止水效果好; 2. 冻结期可加固地层	1. 设备占地面积大,主线隧道双线贯通后实施; 2. 造价偏高,工期长; 3. 冻胀融沉的影响未知,且难快速消除	
顶管法	43	1 510	顶管成洞支撑地层	1. 施工效率高,工期短; 2. 安全系数高	1. 现有掘进设备不适用,定制周期 6 个月,造价高; 2. 切割环形管片至少 1 个月; 3. 隧道中线盾构掘进成形后底板高程不能直接安装顶管机	顶管机定制费用 1 250 万元

注:工期和造价根据项目实际工况与设备厂家咨询意见进行测算。

由表1可知:顶管法的工期与冻结法和注浆法相比较长,造价冻结法和注浆法相比较。由此可见,注浆法相比冻结法在工期、造价、综合防治及后期运营等方面具有一定优势,因此确定采用注浆法施工。

3 注浆法方案

3.1 注浆方式的选择

富水砂卵石地层是城市轨道交通项目常见地层,其结构松散、胶结能力差、自稳能力弱、颗粒间的空隙大、渗透性强,是典型的力学不稳定地层,一旦失稳会造成一定程度的破坏性。因此,一般工程都需要对此地层进行注浆加固,以提升地层的均质性、防渗性。

富水砂卵石地层的注浆方法主要有小导管注浆、管棚注浆、水平旋喷注浆及超前深孔注浆。常规城市轨道交通项目遇到富水砂卵石地层采用的注浆方式以管棚、袖阀管注浆较多。例如:北京地铁昌平线砂卵石地层采用常规超前深孔注浆,北京地铁10号线(以下简称“10号线”)苏州站、长沙轨道交通4号线(以下简称“4号线”)月亮岛西站等的砂卵石地层采用袖阀管注浆。北京地铁6号线(以下简称“6号线”)花园桥站邻近桥桩的砂卵石地层采用袖阀管注浆,6号线下穿北京地铁3号线(以下简称“3号线”)马鞍山北站的砂卵石地层采用超长管棚加固方案^[6-9]。

1#联络通道上方为在营17号线,该线路上方为成新蒲快速路。1#联络通道受周边构(建)筑物布局的限制,不能采用地表注浆和袖阀管注浆。同时受盾构管片尺寸、富水砂卵石地层突水涌砂,以及上部运营线路等因素的影响,1#联络通道亦不便采

用超长导管注浆。经研究论证,19号线主线隧道内决定采用水平注浆方式。

3.2 施工方案

在该项目之前,成都富水砂卵石地层城市轨道交通联络通道的注浆暂无水平注浆的案例借鉴。对此复杂布局而言,采用水平注浆法有实际难度。因此,可通过工艺性试验探索制定施工方案。

1) 开挖方式:左、右线隧道两侧联络通道采取双向施工。先施工右线,后施工左线,分两阶段施作止水帷幕。两侧止水帷幕施工完成并检查合格后,对联络通道进行开挖。

2) 施工流程:施作帷幕→检查孔查验→左、右线循环开挖→预留安全帷幕体→补强→开挖贯通。

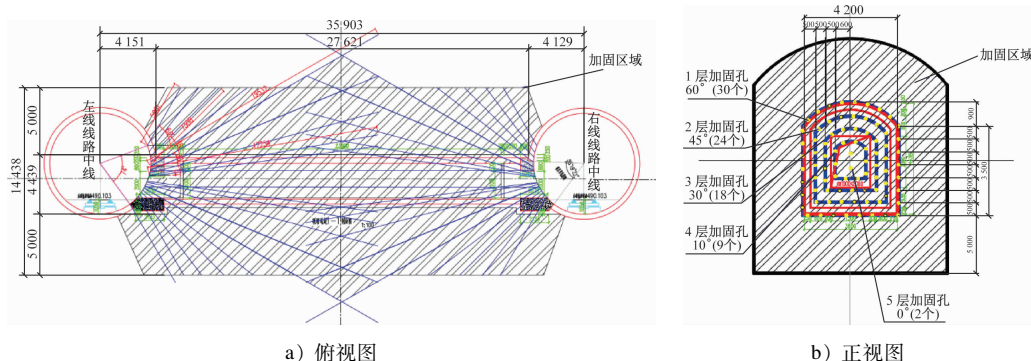
3) 注浆孔位布置:两阶段止水帷幕开孔分布均为3层;右线注浆洞长为16.8 m,左线注浆洞长为14.0 m,注浆加固范围为1#联络通道开挖轮廓线外扩5.0 m;注浆孔角度为 $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$,孔长为6.5~17.5 m,相邻孔孔底端间距约1.5 m,具体根据实际情况进行优化调整,保证孔间密实。注浆布孔示意图见图2。

4) 注浆压力:0.3~1.5 MPa,采用限压器控制。

5) 注浆材料:双快浆液(硫铝酸盐水泥+GL型超注浆液制备剂),用于对砂卵石地层的加固和填充;GX型改性硅灌浆料,用于对砂层和砂层透镜体渗透性的加固。

6) 防突水涌砂措施:钻孔阶段安装防喷涌的膜袋和锁孔装置,开挖阶段安装防喷涌的防淹门。

7) 帷幕质量检查:每米探孔的涌水量不大于0.13 L/min,检查点位于开挖面及开挖面外扩2 m位置。



单位:mm
图2 注浆布孔示意图

Fig.2 Schematic diagram of grouting hole arrangement

3.3 施工难点及对策

1) 涌水、涌砂对策。钻孔完成后立即加设止浆塞封水,将涌水、涌砂时间控制在十几分钟内,减少涌水、涌砂量;采用全断面法施作止砂墙,将砂层固结,减少涌砂量;缩短浆液的凝结时间,从而缩短砂体固结时间;增加改性硅注浆材料在砂层中的扩散范围和固化效果。

2) 成孔困难对策。在防涌水、涌砂措施的基础上,钻孔完成后立即注入改性硅材料护壁;采用大功率设备增加钻孔效率;采用跟管钻孔法,使用套管护壁,成孔后将注浆管插入护壁套管中,再拔出套管,通过注浆管注浆。

3) 串冒浆对策。分上、中、下三层施工,每层配备专门机械设备。其中:上层进尺最长,下层次之,中层最短。先同时施工上、下两层,后施工中层。利用进尺深度差抵消浆液串浆扩散半径,为两台钻机同时钻孔提供条件;孔后 1 m 内加孔口套管,防止管片壁后窜浆。

4 水平注浆法止水效果

4.1 注浆止水效果

注浆完成后在 1[#]联络通道开挖轮廓线、掌子面施工检查孔。检查孔每米出水量不大于 0.13 L/min,达到预期止水要求,满足联络通道暗挖的无水条件。开挖过程揭示,开挖面基本无渗水,联络通道安全贯通。

4.2 水平注浆法的优势

注浆法在城市轨道交通处理不良地质工况中有较多应用,但在城市轨道交通附属通道开挖中却很少采用。通过水平注浆法完成了 1[#]联络通道的开挖,总结其优势如下:

1) 可靠性:开挖前,水平注浆法的渗透扩散半径、加固效果未知,通过信息法施工,考虑地层的多样性和复杂性适时优化调整,能使地层充填效果满足无水开挖条件需求。

2) 造价:水平注浆法是隐蔽工程,受主客观条件以及地质因素的影响,项目及其方案不同时,工程造价差异也较大。在砂卵石地层使用化学注浆材料,一定程度上增加了工程造价,但整体而言其造价、工期低于冻结法。

3) 变形控制:由于城市建筑物分布密集,水平注浆法在施工过程中可能诱发变形破坏,此时灌浆压力非常关键。通过限压自动化装置控制灌浆压

力,灌浆压力超限时自动停机。

4) 运营维护:顶管法、冻结法等仅可以解决建设期的施工问题,而水平注浆法可使不良地质与地下水得到治理,达到抗渗防漏,运营期地层加固持久的效果。

5 结语

1) 在富水砂卵石地层中采用水平注浆法形成了止水帷幕,同时对地层进行了有效加固,实现了无水环境下的暗挖作业。

2) 水泥和溶液型注浆材料的综合运用能够有效处理砂卵石地层,处理过程中,前期以置换、充填为主,中期以劈裂为主,后期以渗透加固为主。GX 型改性硅灌浆料对砂层进行固结止水是经济、有效、可行的。

3) 开挖过程需严格按照轻扰动、早支护、超前探孔、强化补浆、及时封闭的原则进行。

4) 联络通道采用水平注浆止水帷幕暗挖施工工法,有利于成本和工期控制。

5) 采用水平注浆法处理附属地下通道,可满足不降水暗挖法需求,在工期、造价、复杂地质适应性及极端工况处理上具有一定的优势,对类似工程具有参考借鉴和推广价值。

参考文献

- [1] 庞建勇,姚韦靖. 松散富水砂卵石层注浆模拟试验及其工程应用[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(4): 1156.
PANG Jianyong, YAO Weijing. Grouting simulation test in sandy gravels with loose and water-rich and its engineering application [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(4): 1156.
- [2] 姚燕明,黄毅,周俊宏,等. 宁波轨道交通 4 号线盾构隧道联络通道多种工法实践研究[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(6): 1007.
YAO Yanming, HUANG Yi, ZHOU Junhong, et al. Construction methods for connecting passages in shield tunnel of Ningbo Rail Transit Line 4[J]. Tunnel Construction, 2021, 41(6): 1007.
- [3] 朱泽萱,刘红伟,吴永哲,等. 60 m 级超长联络通道冻结法设计施工技术——以福州地铁 2 号线紫阳站—五里亭站区间联络通道工程为例[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(6): 1053.
ZHU Zexuan, LIU Hongwei, WU Yongzhe, et al. Design and construction techniques of freezing method of ultra-long connecting gallery between Ziyang Station and Wuliting Station of Fuzhou Metro Line 2[J]. Tunnel Construction, 2022, 42(6): 1053.

(下转第 340 页)

- ring between rail transit and Xiamen North High-speed Rail Station[J]. Railway Construction Technology, 2017(4): 36.
- [2] 王华伟. 北京地铁黄庄换乘车站施工[J]. 现代城市轨道交通, 2006(1): 41.
- WANG Huawei. Construction of Huangzhuang metro exchange station in Beijing[J]. Modern Urban Transit, 2006(1): 41.
- [3] 周立新, 李英, 缪和平. 城市轨道交通系统的换乘研究[J]. 城市轨道交通研究, 2001, 4(4): 35.
- ZHOU Lixin, LI Ying, MIAO Heping. Research on the passenger transfer of urban mass transit[J]. Urban Mass Transit, 2001, 4(4): 35.
- [4] 王其升. 既有地铁车站运营期间换乘改造施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2021(7): 116.
- WANG Qisheng. Transfer reconstruction technology of existing subway station during operation[J]. Railway Construction Technology, 2021(7): 116.
- [5] 边振来. 成都地铁东坡路站换乘改造方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(7): 125.
- BIAN Zhenlai. Study on the interchange transformation scheme of Chengdu Metro Dongpo Road Station[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(7): 125.
- [6] 储强锋. 杭州地铁市民中心站换乘改造实例[J]. 都市快轨交通, 2016, 29(5): 60.
- CHU Qiangfeng. Add transfer node to achieve convenient transfer-taking Hangzhou citizen center station reconstruction as a case study[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016, 29(5): 60.
- [7] 邱蓉. 新建线路与既有线换乘方案研究[J]. 铁道建筑技术, 2013(6): 54.
- QIU Rong. On transfer plans for new and existing subway lines[J]. Railway Construction Technology, 2013(6): 54.
- [8] 石广银. 北京地铁远期双线换乘站换乘形式分析[J]. 隧道建设, 2014, 34(1): 24.
- SHI Guangyin. Analysis on transfer modes between existing double-track metro stations of Beijing Metro with long-term metro stations[J]. Tunnel Construction, 2014, 34(1): 24.
- [9] 张彤松. 设置小交路的 T 型地铁换乘站方案研究[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(7): 1011.
- ZHANG Tongsong. Study on scheme of T-shaped metro transfer station with part route[J]. Tunnel Construction, 2020, 40(7): 1011.
- [10] 李阿萌. 西安地铁双寨站既有高架站与新建地下站换乘方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(7): 102.
- LI Ameng. Transfer scheme between the existing Shuangzhai elevated station and new underground station in Xi'an Metro[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(7): 102.
- [11] 宋冰晶. 对地铁标准站进行换乘改造的思考[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(6): 140.
- SONG Bingjing. An approach to upgrading of standard subway station to transfer station[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(6): 140.
- 收稿日期:2022-03-29 修回日期:2022-05-05 出版日期:2024-08-10
Received:2022-03-29 Revised:2022-05-05 Published:2024-08-10
• 第一作者:叶新丰,正高级工程师,yexf2000@163.com
通信作者:张志恩,博士研究生,2550398151@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 334 页)

- [4] 陈雪莹, 谭忠盛, 袁杰, 等. 富水圆砾地层盾构隧道联络通道加固技术研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(增刊1): 105.
- CHEN Xueying, TAN Zhongsheng, YUAN Jie, et al. Case study on soil reinforcement method for the cross-passage construction of shield tunnel in water-rich round gravel stratum[J]. China Civil Engineering Journal, 2017, 50(S1): 105.
- [5] 王喆. 富水砂层地铁联络通道泵房注浆加固施工技术[J]. 价值工程, 2019, 38(11): 129.
- WANG Zhe. Grouting reinforcement construction technology for pumping station of water-rich sand layer subway communication channel[J]. Value Engineering, 2019, 38(11): 129.
- [6] 于海莹, 彭玉林, 张立艳, 等. 城市地铁施工期事故统计分析[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(增刊2): 852.
- YU Haiying, PENG Yulin, ZHANG Liyan, et al. Statistical analysis on urban metro accidents during construction period[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S2): 852.
- [7] 李享松, 覃娟, 罗概, 等. 富水砂卵石地层注浆参数优化研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(3): 469.
- LI Xiangsong, QIN Juan, LUO Gai, et al. Study on optimization of grouting parameters in water-soaked sand and cobble stratum[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2016, 13(3): 469.
- [8] 周瑶. 富水砂卵石地层新型注浆材料研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2021.
- ZHOU Yao. Research on new grouting material for water-rich sandy gravel stratum[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2021.
- [9] 贾军. 富水砂卵石地层地铁车站袖阀管注浆加固技术[J]. 施工技术, 2016, 45(增刊2): 206.
- JIA Jun. Grouting reinforcement technology of sleeve valve pipe of subway station in water rich sand and gravel stratum[J]. Construction Technology, 2016, 45(S2): 206.
- 收稿日期:2023-02-21 修回日期:2023-03-24 出版日期:2024-08-10
Received:2023-02-21 Revised:2023-03-24 Published:2024-08-10
• 第一作者:李乔斌,高级工程师,654955041@qq.com
通信作者:臧鹏,工程师,285028868@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license