

轨道交通工程勘察钻孔封孔水泥浆离析与下沉试验研究

陈春明

(江苏苏州地质工程勘察院, 江苏 苏州 215129)

摘要: 分析了钻孔封孔的必要性, 总结了常用的钻孔封孔方法。以无锡至江阴城际轨道交通工程勘察 02 标为研究背景, 通过对区域地质背景和研究区岩土层的分析发现, 该地区上覆土以第四系粘性土为主, 下伏基岩, 具有较明显的地区特征。同时, 参考了无锡地铁 1~4 号线封孔经验、因封孔质量引发的工程事故, 发现目前采用的封孔工艺随意性较大, 无法定量执行并有效监督, 从而保障封孔质量。通过理论分析、现场试验和室内对比实验, 有针对性地开展钻孔封孔水泥浆离析与下沉试验, 对水泥浆参数进行了深入研究与优化, 并制定量化的封孔流程。结果表明当水灰比为 0.499 时, 收缩比为 1.01%, 注浆效果较好, 满足钻孔封孔质量要求; 制度量化封孔流程可执行性强, 便于监督。研究结果可为该区域开展工程勘察钻孔封孔提供方法借鉴。

关键词: 轨道交通; 工程勘察; 钻孔封孔; 水泥浆; 下沉试验

中图分类号: U21

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 07—0148—04

近年来, 我国城市轨道交通建设进入高速发展时期。国务院《中国交通运输发展》白皮书中指出, “十三五”期间我国要建设现代高效的城际城市交通, 新增城市轨道交通运营里程逾 3000 公里。到 2020 年, 通车里程还将保持年均 13.9% 左右的增长率。工程勘察作为工程基本建设程序中的先导性工作, 把好勘察安全关、质量关, 对于推进轨道交通高质量发展至关重要^[1]。

钻探是工程勘察中获取地质资料最直观、最重要的

方法之一。通过钻探分回次钻进取芯, 进行标准贯入试验, 采取不扰动土样及扰动土样, 获得岩土体物理力学参数。钻孔封孔作为钻探施工的最后一个环节, 是钻孔质量的重要组成部分, 封孔效果好坏直接影响到后续土建施工的安危^[2]。

目前, 对钻孔封孔材料、材料用量的研究较少。本文分析了钻孔封孔的必要性, 总结了常用的钻孔封孔方法。以无锡至江阴城际轨道交通工程勘察 02 标为研究

道建设, 2017, 37(09): 1063—1075.

[2] 刘泉声, 黄兴, 时凯, 朱元广. 深部挤压性地层 TBM 掘进卡机孕育致灾机理 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(S1): 75—82.

[3] 陈卫忠, 肖正龙, 田洪铭. 深埋高地应力 TBM 隧道挤压大变形及其控制技术研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 34(11): 2215—2226.

[4] 张伟峰, 王海平, 赵鑫 [J]. 调水总干渠引水隧洞复杂地质条件下 TBM 卡机分析及脱困技术研究. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(06): 160—164.

[5] 袁艳斌, 陈维. 降低大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段卡机风险的对策研究 [J]. 四川水力发电, 2019, 38(02): 51—53.

[6] 苏珊, 曹海. 新疆某隧洞开挖 TBM 卡机原因及脱困处理措施 [J]. 水利水电技术, 2018, 49(02): 77—85.

[7] 温森, 杨圣奇, 董正方, 赵丽敏. 深埋隧道 TBM 卡

机机理及控制措施研究 [J]. 岩土工程学报, 2015, 37(07): 1271—1277.

[8] 袁艳斌, 陈维. 大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段卡机风险的对策研究 [J]. 四川水力发电, 2019, 38(02): 51—53.

[9] 赵海雷, 陈馈, 周建军, 等. 引松供水 4 标 TBM 连续穿越灰岩的施工技术研究 [J]. 隧道建设, 2017, 37(03): 354—362.

[10] 张国. 厄瓜多尔 CCS 项目双护盾 TBM 通过断层破碎带施工技术研究及实施 [J]. 水利建设与管理, 2018, 38(06): 1—6.

[11] 董泗龙. 敞开式 TBM 断层破碎带脱困技术 [J]. 隧道建设, 2016, 36(03): 326—330.

[12] 杨晓迎, 翟建华, 谷世发, 等. TBM 在深埋超长隧洞断层破碎带卡机后脱困施工技术 [J]. 水利水电技术, 2010, 41(09): 68—71.

背景，在分析区域地质背景和研究区岩土层的基础上，通过理论分析、现场试验和室内对比实验，有针对性地开展钻孔封孔水泥浆离析与下沉试验，对水泥浆参数进行了深入研究与优化。结果表明当水灰比为 0.499 时，收缩比为 1.01%，注浆效果较好，满足钻孔封孔质量要求；定量化封孔流程可执行性强，便于监督。为该区域开展工程勘察钻孔封孔提供方法借鉴。

1 钻孔封孔的必要性及常用封孔方法

1.1 钻孔封孔的必要性

(1) 避免人员受伤，保护地质和生态环境。为了满足勘探取样、试验要求，工程钻机钻探孔径通常为开孔 168mm，终孔 91mm。这样的钻孔结构，如果不及时封孔，极易发生行人腿脚陷入孔中，或自行车车轮打滑，造成路人的扭伤、摔伤事故。在特殊性土地区，回填要求更为严格。

(2) 避免工程事故、保证安全施工。对于轨道交通工程，当存在承压含水层时，钻孔在隔水层中形成通道，若钻孔未及时封孔或封孔深度不够，尤其是承压水顶板封孔深度短，开挖过程中，地下水在失去上覆地层压力的条件下极易引发突水事故。

1.2 常用钻孔封孔方法

《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJT87-2012) 13.0.1 条对钻孔回填材料及方法做了详细规定，详见表 1。

表 1 钻孔回填材料及方法^[3]

回填材料	回填方法
原土	每0.5m分层夯实
直径20mm左右黏土球	均匀回填，每0.5m~1m分层捣实
水泥、膨润土(4:1)制成浆液或水泥浆	泥浆泵送入孔底，逐步向上灌溉
素混凝土	分层捣实
灰土	每0.3m分层夯实

采用何种回填材料及方法，需根据场地具体情况选用。当采用水泥浆封孔时，对水灰比规范上没有明确规定。

水灰比即加水量和水泥用量之比。不合理的水灰比配置出来的水泥浆液，因水泥浆的离析与下沉作用，其凝固前后体积变化差异较大，在钻孔封孔上表现为水泥浆凝固后，在孔口水泥柱体下沉量过大，形成凹坑；在孔内水泥柱体呈松散散体状，强度降低。

因此，对于水泥浆封孔，确定合理的水灰比，可以最大限度降低因水泥浆的离析与下沉作用导致的封孔质量问题。

1.3 常用钻孔封孔流程

根据经验，目前钻孔封孔一般按钻孔孔径调节水泥用量，一般直径 108mm 钻孔按每包水泥封 4m，直径 91mm 钻孔按每包水泥封 5m 设计，其加水量、工具无固定要求，封孔质量难以定量控制。

2 研究区地质背景

2.1 区域地层岩性

无锡至江阴城际轨道交通工程勘察 02 标包含江阴高铁站~南闸站(2 站 1 区间)、出入段线、车辆段，总长约 8.5km。根据区域地质资料，本区域构造简单，上覆土和下伏岩石稳定，属地壳稳定区域。研究区内地层包含前第四纪地层、第四纪地层。

2.1.1 前第四纪地层

研究区前第四纪地层隶属于扬子地层区江南地层小区。区内前第四纪地层发育比较齐全，志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系，第三系均有分布。

江阴高铁站—南闸站区间(花山区域)一带有基岩出露，主要为志留系茅山组(S_2m)、泥盆系五通组(D_{3w})砂岩、粉砂岩，除此之外，均被第四系覆盖。花山区域段为基底隆起区，基岩面埋深可小于 5m，揭露岩性为志留系茅山组(S_2m)石英砂岩、泥质砂岩。其它区段基岩面埋深均大于 80m。

2.1.2 第四纪地层

研究区自第四纪以来，地壳升降不平衡，山区间歇性振荡上升，接受构造剥蚀；平原区则持续缓慢下降，接受古长江所携带的大量泥沙沉积。此外，区内新构造活动频繁，引起海岸的迁徙，海水的多次进退，其间堆积和侵蚀作用互为演变，加之第四纪气候冷暖交替，冰期和间冰期相互更迭频繁，造成了区内第四纪极为复杂的沉积环境。

第四纪地层发育，沉积相以河流、河湖相为主，厚度变化在 0 ~ 160m 之间。

根据无锡地区区域地质资料，结合上述分析，本研究区(江阴)地层分布与无锡市区岩土层分布具有极高的一致性。根据无锡地区轨道交通工程勘察经验，适宜采用水泥浆作为钻孔封孔材料。

2.2 场地岩土层

根据钻探资料,本场地 105m 以浅地基土主要为第四系全新统至下更新统下段沉积地层,江阴高铁站、花山及周边区域地段揭示下伏基岩为志留系上统茅山组石英砂岩,江阴南站出入线附近第四系覆盖层以下揭示三叠系青龙组灰岩。本标段岩土层按其成因类型、岩性和工程特性可划分 18 个工程地质层,36 个工程地质亚层。限于篇幅,以江阴高铁站~南闸站区间部分钻孔为例,各岩土层分布情况详见工程地质剖面图 1。

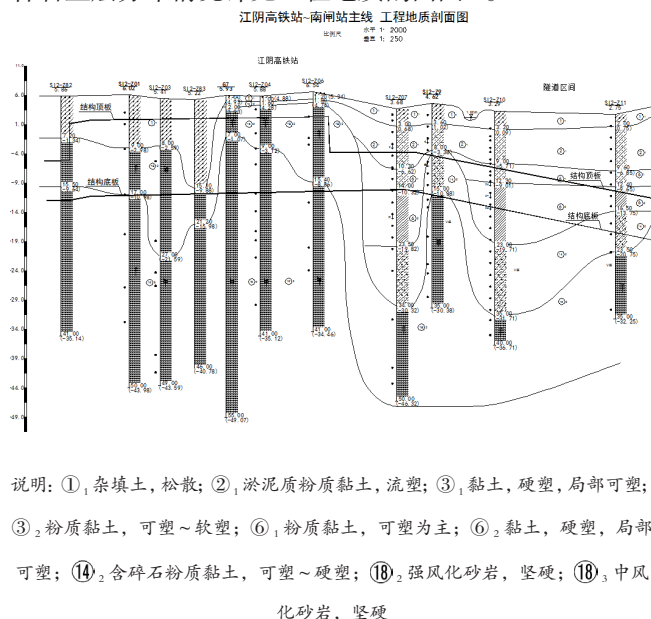


图 1 江阴高铁站~南闸站工程地质剖面图

从工程地质剖面图上可以看出,本研究区地层分布以黏性土为主,在局部区域(花山)地形起伏较大,岩土分布稍有变化。浅部填土层受人类活动影响分布厚度变化较大,其余岩土层分布相对稳定,局部受古地理环境及水动力作用的影响,有缺失或有起伏。总体而言地层层序较完整,各土层分布总体具沉积韵律的特征,岩土类型为软弱土~软质岩石。

由于水泥颗粒呈粉末状,需要在与水充分拌和的条件下,才能溶解并与水分进行化合、凝结。水灰比过高或者过低都不利于水泥与水分的化合与凝结。研究区岩土类型为软弱土~软质岩石,根据苏锡地区轨道交通工程勘察经验,钻孔封孔推荐使用 0.5 的水灰比。水灰比高于 0.5 时,水泥长期不凝固,强度降低;水灰比低于 0.5 时,水泥不能完全水化,强度不能完全发挥。

3 试验研究

通过对区域地质背景和研究区岩土层的分析,结合

无锡地区轨道交通工程勘察经验,钻孔封孔推荐使用 0.5 的水灰比。通过开展水泥浆离析与下沉试验,对该结论进行验证。为了使验证结果更充分,同时进行了现场试验和室内对比实验。

3.1 现场试验

现场试验使用水、水泥、标准泥浆桶,采用称重法进行。选用水泥标号 32.5 的硅酸盐水泥,重量 50kg/包;标准泥浆桶直径 D (内径 0.52m)、高度 H (桶内净高 0.90m)。

试验过程如下:

(1) 向标准泥浆桶内注水至高度 0.47m,此时水的质量为 99.76kg;

(2) 向标准泥浆桶内倒入 4 包水泥并搅拌均匀,此时水泥的质量为 200.00kg;

(3) 充分搅拌完成后,测量水泥浆液面到桶口的距离 $h_0=19.40\text{cm}$;

(4) 将含水泥浆的标准泥浆桶,静置 24 小时后,测量水泥浆液面到桶口的距离 $h_n=20.11\text{cm}$;

(5) 根据试验数据计算水灰比、收缩比 $a=(h_n-h_0)/(H-h_0)$ 。

试验过程中相关计算参数量测见图 2~图 5。

试验数据计算分析:

经计算本次试验用水 99.76kg,水泥 200.00kg,水灰比为 0.499;充分搅拌完成后的水泥浆液面到桶口为 19.4cm,静置 24 小时后,水泥浆液面到桶口的距离为 20.11cm,收缩比为 1.01%。



图 2 标准泥浆桶内径 D



图 3 标准泥浆桶净高 H



图 4 搅拌完成后 h_0



图 5 凝固 24 小时后 h_n

3.2 室内对比试验



为了对现场水泥浆离析与下沉试验效果进行验证，同步进行了室内对比实验。

室内对比试验采用玻璃试管代替标准泥浆桶，试管体积 1000ml，实验过程同现场试验。经计算，水灰比为 0.5，收缩比小于 1%。结果表明室内实验结果与现场试验基本一致。

4 定量封孔流程

为保障封孔质量，避免人为失误，封孔使用统一度量化工具，按如下规程执行：

(1) 封孔前需将水泥一次性放至孔位处，喷漆标识，确保全部使用完毕，并防止偷工减料；

(2) 采用标准桶（直径 0.5m，高度 1m）进行水泥拌和，桶内水位高度为 0.47m（在该高度红漆标注，确保水量满足要求。其它直径标准桶另行计算加水高度并红漆标注）。每桶 4 包水泥，并确保搅拌均匀。

(3) 钻杆放至勘探孔底，排出孔内泥浆至特定泥浆收集桶，后期统一运走；输送水泥浆至孔内，边输送边上拔钻杆及套管，直至孔口返浆。

(4) 以上步骤均需拍照存档保留。

5 结论

本文在分析区域地质背景和研究区岩土层的基础上，通过理论分析、现场试验和室内对比实验，得到了以下结论：

(1) 钻孔封孔作为钻探施工的最后一个环节，是钻孔质量的重要组成部分，对其进行封孔是非常重要和

必要的；

(2) 研究区地层层序较完整，各土层分布总体具沉积韵律的特征，岩土类型为软弱土~软质岩石；

(3) 根据无锡地区区域地质资料，本研究区地层分布无锡地区岩土层分布具有极高的一致性。根据无锡地区轨道交通工程勘察经验，适宜采用水泥浆作为钻孔封孔材料；

(4) 通过现场试验和室内对比实验表明，使用 0.499 的水灰比，收缩比为 1.01%。该水灰比对应的收缩比情况下，现场施工设计深度为 50m 的机钻孔理论累计沉降为 0.5m，设计深度为 90m 的机钻孔理论累计沉降为 0.9m，满足实际施工风险控制要求。

(5) 封孔时采用标准器具进行水泥浆制作，同时各步骤均拍照保留，确保封孔质量并便于复查。

(6) 在农田区域上部按规范使用黏性土回填、道路区域使用沥青等回填辅助措施，可以满足一次性封孔要求。

参考文献：

[1] 马洪伟. 天津地铁钻孔封孔方法探讨 [J]. 铁道勘察, 2015, (1): 73~74.

[2] 叶竞雄, 丁月双, 杨笑男等. 谈工程勘察钻孔回填的方式与方法 [J]. 山西建筑, 2015, 41(2): 64~65.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJT87-2012, 建筑工程地质勘探与取样技术规程 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

