

风化砂砾地层地铁冻结施工引起的沉降分析与加固控制技术

莫云波

(浙江省建投交通基础建设集团有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 全风化与强风化砂砾岩地层的矿物成分基本风化, 遇水易崩解, 土体强度低, 是地铁联络通道冻结施工的重要风险点。本文以杭州地铁3号线某区间联络通道为背景, 开展了砂砾岩冻结加固控制和冻结施工引起的地表沉降研究。结果表明, 采用砂砾岩体冻结加固技术主要包含了冻结壁设计、冻结孔布置、测温孔、泄压孔和冷排管布设, 正常段和喇叭口段冻结壁厚度需差异化设计, 监测数据显示冻结施工累计地表沉降为-13.9mm, 累计地表沉降速率为-4.60mm, 控制效果较好, 可为杭州地铁类似工程设计和施工提供重要参考。

关键词: 冻结法; 地铁联络通道; 风化砂砾地层; 地表沉降; 加固技术

中图分类号: U231+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 06—0138—03

穿越全风化与强风化砂砾岩地层是杭州市地铁盾构施工经常碰到的一类典型地质, 在全风化与强风化砂砾岩地层以下, 还往往蕴藏着孔隙潜水和基岩裂隙水等。在区间冻结加固施工中, 打设的冻结孔将穿越全风化与强风化砂砾岩, 钻孔时钻进难度大、涌水事故概率高, 风险较大, 是地铁冻结施工的棘手的问题。国内外有关学者就穿越全风化和强风化砂砾岩层冻结技术开展了大量的工作, 如王书磊等^[1]研究了复杂工况下超长联络通道冻结法设计与施工; 尚忠升学者^[2]研究了联络通道冻结法施工对盾构隧道影响研究; 姚燕明等^[3]对宁波轨道交通4号线盾构隧道联络通道多种工法实践进行了研究。任辉等^[4]对超浅埋暗挖隧道管幕冻结法积极冻结方案试验进行了研究。Kang Yongshui^[5]等研究了软土地基海滨城市隧道冻封联合新管顶施工方法。目前缺乏针对杭州风化砂砾地层冻结施工引起的沉降分析与加固控制技术方面的研究。

因此, 本文以杭州地铁某号线某区间联络通道为背景, 对穿越全风化与强风化砂砾岩, 冻结施工过程引起的地表沉降进行分析, 提出杭州穿越全风化与强风化砂砾岩冻结加固控制技术, 对杭州同类项目的建设具有一定的借鉴意义。

1 工程概况

杭州地铁3号线某区间右线设计范围右K9+752.125~右K10+499.395, 右线全长747.270m; 左线设计范围左K9+752.125~左K10+499.395, 短链4.597m, 左线全长742.673m。区间隧道埋深11.1~18.8m。为了满足区间紧急疏散和给排水的要求,

设置一座联络通道及泵站(见图1)。工程位于杭州市余杭区仓前街道, 场区周边为农田、空地、竹林、鱼塘, 周边无其他建(构)筑物, 现有地坪标高约1.25~4.98m, 地势较平坦, 属滨海平原区——湖沼积平原业区地貌单元。联络通道影响范围内未发现地下管线等障碍物, 距离5号线隧道最小平面净距约为14m, 竖向净距约为2m。联络通道及泵站右线中心里程右K10+033.777, 隧道中心标高-17.977m, 左线中心里程左K10+031.705, 隧道中心标高-17.970m, 埋深约18.8m; 联络通道位于右线直线段、左线R=450m圆曲线段, 线间距14.1m; 联络通道与泵站合建, 泵站设计有效容积不小于15m³。联络通道及泵站处土层自上而下依次为: ②0b-1全风化砂砾岩, ②0b-2强风化砂砾岩。②0b-1全风化砂砾岩紫红色、棕红色, 矿物成分已基本风化, 呈砂土, 局部孔段夹强风化岩块, 遇水易崩解, 手捏易碎, 局部夹强, 中风化硬块, 干钻可进尺。②0b-2强风化砂砾岩紫红色、棕红色, 原岩结构较清晰, 砂砾状或泥质结构, 矿物成分已大部分风化, 大部岩芯呈砂砾状、碎块状, 局部少量呈短柱状, 敲击声闷, 可掰断, 轻击易碎, 遇水与崩解, 软化, 局部夹中风化硬块。联络通道采用洞内水平冻结法加固, 后矿山法开挖施工。通道结构层底部埋设DN200mm不锈钢管连接隧道与集水井。初期支护层厚度为220mm, 采用I20a型钢架结合素喷C25混凝土。二次衬砌为厚度450mm现浇钢筋混凝土, 混凝土强度等级为C35, 抗渗等级为P10。初期支护层和结构层之间安装EVA防水层。



图1 联络通道周边位置图

2 砂砾岩冻结加固控制技术

冻结法设计,采用“隧道内钻取孔眼,冻结土体临时加强稳固土体,再用矿山法暗挖施工”的技术施工方案。

2.1 冻结壁设计

(1) 冻土强度设计指标可以选用:单轴抗压设计大于等于 3.6MPa,弯折抗拉大于等于 2.0MPa,抗剪大于等于 1.5MPa (-10°C)。

(2) 冻结壁的有效厚度:通道正常段冻结壁厚度 2.1m,喇叭口位置冻结壁厚度为 1.8m,冻结壁平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 。冻结壁与管片交界面平均温度 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 冻结孔布置

依照冻结法的设计和联络通道的主体结构,联络通道的冻结孔洞按角度可分为三种,分别是上仰、水平、下俯,分别布置在联络通道和泵站的附近四周。联络通道及泵站一共布置了 76 个冻结孔数,单侧布置冻结站,其中冻结站侧 52 个、冻结站对侧 20 个,4 个透孔。见图 2 ~ 图 4。

2.3 测温孔、泄压孔及冷排管布置

可根据掌握的资料,依照冻结温度场的变化情况,在联络通道和泵站的隧道里部一共设置 12 个测温孔,以准确掌握冻结温度场的变化。用来记录冻结壁厚度、冻结壁平均温度、冻结壁与隧道管片接触面温度改变以及开挖区域附近地层土体的冻结状态。依照现场冻结法设计及联络通道的结构的实际情况,联络通道与泵站侧面,沿外通道冻结壁布置 6 排冻结管,间距设置为 400mm。冻结管采用 45 根无缝钢管,安装在隧道管片附近。为了防止土层水土冻胀压力的释放,在与通道相接的隧道内的没有被冻结的部位,在联络通道和泵站放置 4 个泄压孔,以保证精确控制冻结壁是否能够交圈。

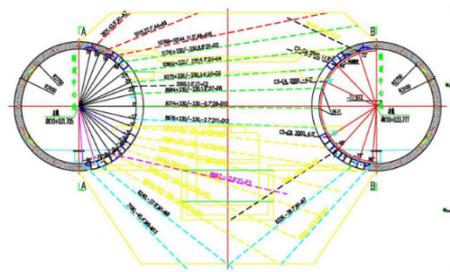


图2 位于联络通道内冻结孔布设立面透视图

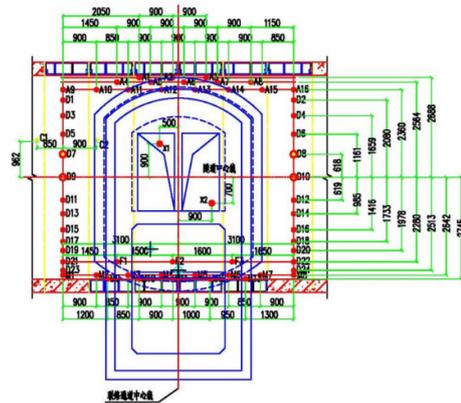


图3 联络通道冻结站侧冻结孔布置平面图(A-A)

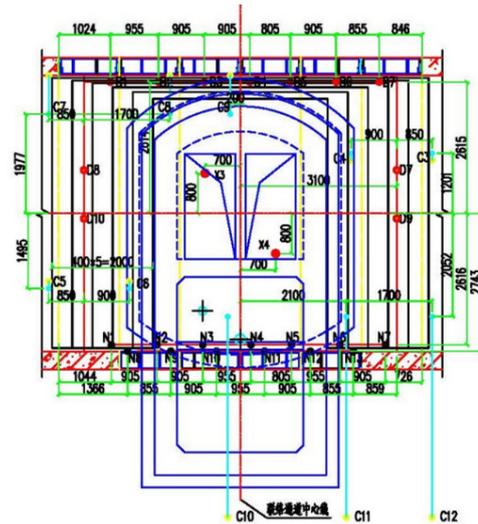


图4 联络通道冻结站对侧冻结孔平面布置图(B-B)

2.4 冻结加固施工技术要求

(1) 普通冻结孔的开孔位置,误差应不超过 50 mm,特别构造如钢管片肋片等,钻孔位置,误差应该不超过 100 mm,孔距偏差不得超过 150 mm。最大允许的冻结孔偏斜为 150 mm。

(2) 冷冻孔的有效深度不低于设计的冻结孔的深度。冻结管不能再循环盐水的管头,管头的长度不能超过 150mm。

(3) 冻结管道安装完毕后,应进行试压,其测试压力应为冻结工作面盐压的 2.0 倍,确保不得低于 0.8 MPa。在测试压力 30 min 内,压力降低不大于 0.05

MPa。

(4) 在施工中, 冻结孔内的土壤流失不能超过冻结孔的体积, 必须及时注浆, 防止地层塌陷沉降。

(5) 在冻结启动之前, 在冻结墙附近的隧道管片内侧铺设一层隔热材料, 并将其覆盖到设计冻结壁的边缘 1 米处。

(6) 设计积极冻结期设定为 50 天, 积极冷冻 7 天, 盐水温度下降到 -18°C 及以下; 冷冻 15 天, 盐水温度下降到 -24°C 以下, 施工过程中盐水温度下降到 -28°C , 去、回路盐水温差不能超过 2°C 。

(7) 主动冻结时, 冻结区周围 200 米范围内不能进行降水, 冻结区土层中也不能有集中水流。在开挖区域周边冻结孔的布置圈, 其上部冻结壁和隧道管片的交界处, 平均温度应保持 -5°C 以下; 在其他区域, 平均温度在 -10°C 以下。

3 冻结施工引起的地表沉降分析

联络通道段隧道地面沉降的变化情况见图 5。从图 5 可以看出, 在平均水平上, 隧道地面沉降的平均值为 -0.30mm , 平均沉降得到了很好的控制, 但是累计地表沉降为 -13.9mm , 最大隆起值为 -2.3mm 。联络通道区间的地面沉降率见图 6。从图 6 可以看出, 在平均 -0.10mm 的情况下, 地面平均沉降率得到了很好的控制, 但累积的地面沉降率只有 -4.60mm 。在点号 DBC3-8 累计最大变化量为 -15.00mm , 隧道收敛在点号 GGJSR10 最大变化量为 -2.3mm , 在点号 GGJSL1 累计最大变化量为 -2.5mm 。隧道沉降在点号 LGGC10 最大变化量为 -1.4mm , 在点号 RGGC9 累计最大变化量为 -2.4mm 。

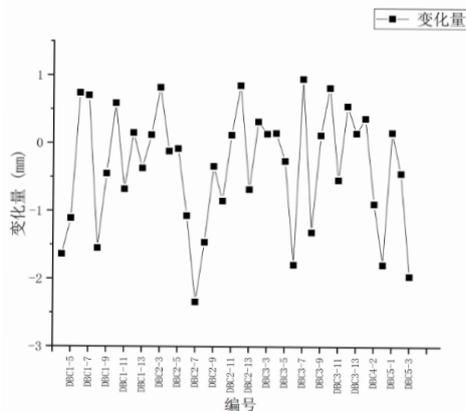


图 5 地表沉降变化量

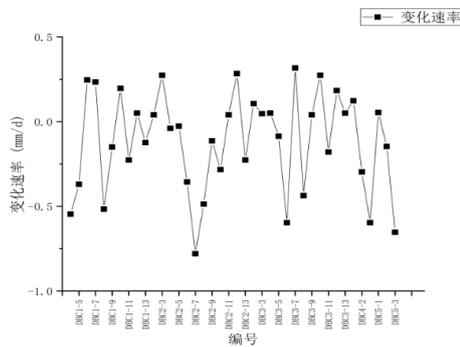


图 6 地表变化速率

4 结论

(1) 联络通道穿越全风化与强风化砂砾岩冻结加固技术施工中, 地表沉降变化量平均值为 -0.30mm , 累计地表沉降为 -13.9mm , 最大隆起值为 -2.3mm ; 联络通道区间隧道地表沉降变化速率平均值为 -0.10mm , 累计地表沉降速率为 -4.60mm 。

(2) 砂砾岩体冻结加固技术主要有冻结壁设计、冻结孔布置、温度测温孔、泄压孔、冷排管布置等。本项目设计冻结孔数共计 76 个, 其中冻结站侧 52 个、冻结站对侧 20 个、透孔 4 个, 冻结壁有效厚度设计时重点区分正常段和喇叭口位置冻结壁厚度的差异化设计, 冻结壁与管片交界面平均温度是一项重要的控制技术。

(3) 常规冻结孔的开孔位置偏差不超过 50mm , 冻结孔最大偏差 150mm , 冻结管布置完成后的测试压力不低于 0.8MPa , 积极冻结 15 天盐水温度下降到 -24°C 以下, 开挖时盐水温度降至 -28°C 以下, 去、回路盐水温差不能大于 2°C 。

参考文献:

- [1] 王书磊, 丁国胜, 吴强. 2021. 复杂工况下超长联络通道冻结法设计与施工 [J]. 地下空间与工程学报. 17(06): 1894-1905.
- [2] 尚忠升. 2019. 联络通道冻结法施工对盾构隧道影响研究 [J]. 铁道建筑技术. (10): 125-128.
- [3] 姚燕明, 黄毅, 周俊宏, 等. 2021. 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). 41(06): 1007-1014.
- [4] 任辉, 胡向东, 洪泽群, 等. 2019. 超浅埋暗挖隧道管幕冻结法积极冻结方案试验研究 [J]. 岩土工程学报. 41(02): 320-328.
- [5] Kang Y S, Liu Q S, Cheng Y, et al. 2016. Combined freeze-sealing and New Tubular Roof construction methods for seaside urban tunnel in soft ground[J]. TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY. 58: 1-10.