

承压水层长间距联络通道冻结法施工探讨

赵金金

杭州市建设工程质量安全监督总站 浙江杭州 310000

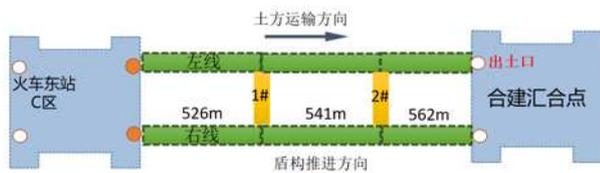
摘要: 地铁作为一个现代化城市的标志,越来越多的走进了城市的生活,联络通道作为地铁工程不可或缺的一部分,也走进了工程人员的视野。如何保障联络通道施工安全,特别是不良地质条件下高难度联络通道施工安全,是工程技术人员关注的重点。本文结合杭州地铁某区间项目联络通道顺利实施,对承压水层长间距联络通道采用冻结法施工进行了探讨。

关键词: 联络通道;承压水层;长间距;冻结法施工

一、工程概况

1. 工程简述

杭州地铁某标段火车东站站~合建汇合点的盾构区间,起终点里程为:右线 K31+868.675 ~ K33+787.778,左线 K31+868.675 ~ K33+787.722。本区间设置联络通道 2 座,其中 1# 联络通道兼泵房,设置于 K32+674.515 处。联络通道处于 12-2 含砾中砂及 12-4 圆砾层中,联络通道轨面标高 -34.331m,中心距 25.413m,埋深约 36m。管片厚度 400mm,隧道内径 6100mm。联络通道计划采用冷冻法开挖施工。



2. 周边环境

1# 联络通道兼泵房,位于东宁路旁边官河下,环站南路北侧,离最近建筑为明月嘉苑三区居民建筑 18 层,距离 19.752m,房屋基础采用 PHC 管桩基础,有效桩长 40m,区间联络通道管线分布如下表所示。

联络通道管线表

序号	管线名称	管线材质	规格	标高
1	天然气	钢	DN159	6.003m
2	路灯 (0.38kv)	铜	80	6.089m
3	饮用水	铸铁	DN300	6.062m

3. 工程地质与水文地质

本项目联络通道所涉及的土层特性如下:

⑦ 1 粉质粘土:褐黄色、灰青色,硬可塑,含氧化质,

局部夹薄层粉土。实测标准贯入试验锤击数 $N=12.0 \sim 20.0$ 击,平均值为 15.6 击。本层部分分布,层厚 0.7 ~ 6.1m,层顶埋深 17.5 ~ 25.5m,层顶标高 -19.98 ~ -11.38m。

⑦ 2 粉质粘土夹粉土:灰黄、褐黄色,软可塑为主,局部软塑,含铁锰质斑点,夹粉土薄层,层厚约为 0.1~0.5cm。实测标准贯入试验锤击数 $N=7.0 \sim 16.0$ 击,平均值为 13.0 击。本层部分分布,层厚 0.9 ~ 8m,层顶埋深 19.5 ~ 27.8m,层顶标高 -21.58 ~ -13.22m。

⑫ 2 含砾中砂:浅灰绿色、灰黄色,中密,饱和,厚层状,分选性一般,见少量贝壳碎片,偶见腐殖质碎屑,局部夹少量砾石,砾石粒径 0.5 ~ 2cm,含量 5% ~ 30% 不等,局部呈砾砂状。实测标准贯入试验锤击数 $N=19.0 \sim 33.0$ 击,平均值为 24.0 击。本层部分分布,层厚 0.9 ~ 22.6m,层顶埋深 20.4 ~ 43.9m,层顶标高 -37.75 ~ -14.28m。

⑫ 4 圆砾:灰、灰黄色,中密,圆砾含量约 60 ~ 70%,粒径一般以 0.5 ~ 2.0cm 为主,2.0 ~ 6.0cm 少量,最大粒径 25cm 以上,实测重型圆锥动探锤击数 $N_{63.5}=12.0 \sim 50.0$ 击/10cm,平均值 $N_{63.5}=26.2$ 击/10cm。本层全场分布,层厚 1.9 ~ 17.1m,层顶埋深 34.1 ~ 48.1m,层顶标高 -41.8 ~ -28.59m。

1# 联络通道浅层地下水属孔隙性潜水,主要赋存于表层填土、③ 2 砂质粉土、③ 3 粉砂、③ 4 砂质粉土、③ 5 砂质粉土夹粉砂、③ 6 粉砂、③ 7 砂质粉土、⑥ 1 淤泥质粉质粘土、⑥ 2 淤泥质粉质粘土中。详勘期间测得的水位一般为 0.60 ~ 4.70m,对应高程为 1.36 ~ 6.08m。空隙承压水主要分布于⑫ 2 含砾中砂、⑫ 4 圆砾层中,水量较大,隔水层为上部的⑦ 2 粉质粘土夹粉土和⑦ 1 粉质粘土层,水量补给主

要为大气降水的渗入补给。承压水水位为埋深 5.60m, 对应高程 0.64m。

二、施工难度分析

1.1# 联络通道及泵房正上方是官河, 既有地铁 6 号线附近, 埋深大 (约地下 36m), 腰线以下位于承压水砂层内, 给冷冻冻结孔钻孔施工带来极大困难, 对钻孔施工的各个工序要求严格。

2. 施工周边地面环境较复杂, 临近建筑物, 施工期间地面建筑物、管线变形控制要求高。

3. 为方便后续施工工序推进, 减少拆除冻结站对工期影响, 冻结站计划设置在渡线段端头井内, 铺设盐水干管进隧道, 从而造成冷冻管线长, 冷量损失较大, 对设备工作压力较大。

三、施工措施

1. 冷冻设计

(1) 冷冻管设计

联络通道因埋深较大, 设计两排冻结孔。1# 联络通道兼泵房线间距 25.413m, 设计最长冻结孔达 22.760m, 设置冻结孔共 128 个, 测温孔 9 个。顶部及底部自左右线隧道各打设三排冻结孔, 侧墙 2 排冻结孔。

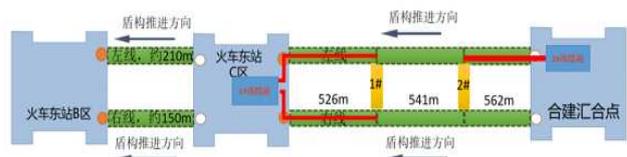
由于联络通道线间距长, 且通道底板以下为 12-4 圆砾地层, 圆砾粒径大。在该类地层中施工长钻孔设计一般采用直径和壁厚较大的 $\phi 108 \times 10$ 冻结管, 考虑到实际施工中成孔精度难以保证, 本项目冷冻管设计优化调整了侧墙下部圆砾层部位的长冻结孔 (D11~D22), 修改为两侧隧道内对打的方式, 以减少单根冻结管的长度, 提高钻孔成孔精度和冻结效果。

为了加强辅面管片处冷量, 在其保温层内设计增加敷设每边 3 排密贴管片的冷冻排管, 排管间距不大于 50cm。

(2) 冻结制冷系统设计

1# 联络通道兼泵房冷冻站布置于火车东站 C 区车站负四层中板上。经计算得 1# 联络通道兼泵房管路长度取 2400m (左右线各 1200m 管路), 冷量损失为 $2.74 \times 104 \text{ kcal/h}$, 1# 联络通道总需冷量为 19.34 万 kcal/h, 冷冻站布置 4 台 170WDEDD 冷冻机组, 其中配置 2 台主运转冷冻机, 2 台备用冷冻机, 冷冻机组电机功率为 136kw, 单台冷冻机组低温工况最大制冷量约为 11.4 万 kcal/h, 2 台主运转冷冻机可以产生制冷量 $2 \times 11.4 = 22.8 \text{ kcal/h}$, 大于联络通道总需冷量。

盐水干管自冷冻站向两条隧道内引入 1# 联络通道工作面, 单侧盐水干管管路长度约 1200m。冻结器采用串联连接, 施工中, 1# 联络通道兼泵房冻结孔每组 50m 左右, 冻结孔每 5~7 个孔连接为一组, 冻结孔分为 28 组。



2. 施工工艺

(1) 孔口管安装

根据施工现场实际情况及施工筹划, 冻结孔主面开口位置设置在左线联络通道处。

孔口管安装前由技术人员检查钻孔格仓密封性, 孔口管安装至管片底部, 校核好孔口管放置角度后与钢管片之间焊接固定。孔口管采用 3 根直径 $\phi 14 \text{ mm}$ 的钢筋焊接固定在钢管片上。焊接位置距离孔口管插入端端部 15cm 处, 如遇孔口管与钢管片肋板临近, 可直接与钢管片肋板焊接。

采用 C30 微膨胀砼充填钻孔格仓及相邻格仓, 充填砼面与钢管片内表面齐平。孔口管外露部分采用 6 根直径 $\phi 14 \text{ mm}$ 的钢筋与钢管片格仓焊接固定, 钢筋两端搭接长度为 40mm。

(2) 钻孔施工

孔口管安装完成后, 安装球阀, 对于直径 89mm 的冻结管, 采用开孔钻机配 $\phi 94 \text{ mm}$ 的钻头在孔口管内将管片开透, 取出芯块, 撤出钻头和水钻; 对于直径 108mm 的冻结管, 采用 $\phi 116 \text{ mm}$ 的钻头。安装好压紧装置, 开始冻结管钻进。压紧孔口密封装置, 打开孔口阀门, 开始钻进。施工时应严格安装孔口密封压紧装置, 一旦在钻孔时出现泥土流失, 待钻孔完毕后, 应及时对地层进行补偿注浆。开孔段施工好坏直接影响钻进精度, 应而需严格控制开孔段施工。钻孔前 2m 钻进时, 每进尺 50cm 校核一次冻结管方向, 发现有偏差及时对钻机位置调整, 检测冻结管方向角度符合设计要求方可继续钻进, 且施工过程中冻结管连接处焊接完成后静置 5min 后才能继续钻进, 严禁焊接完成后立即进行钻进。

(3) 冻结孔成孔处理

冻结管钻孔完成后, 通过孔口管预留的旁通阀往孔口管与冻结管环形空间内进行单液浆注浆, 注浆标准为注浆压力与注浆量均满足要求; 其中注浆压力为开孔处水土压力的

2 倍, 注浆浆液采用水泥浆, 水灰比 0.8:1, 注浆量不小于 0.2m³; 注浆结束后, 对旁通阀及孔口管渗漏观察 14 小时, 均未出现渗漏情况, 安排作业人员拆除球阀及压紧装置。

冻结管与孔口管之间应焊接厚度不小于 6mm、内径 91mm、外径 151mm、环宽 30mm 的环形钢板进行封堵, 环形钢板与法兰搭接不小于 10mm 且环形钢板不得覆盖法兰孔, 环形钢板与冻结管外壁及孔口管法兰均需焊接, 焊缝高度 6mm。

积极冻结前, 非钻孔格仓充填保温材料并覆盖保温板, 保温材料导热系数不大于 0.04W/m², 充填体积比不小于 80%。管片隧道内侧保温紧贴管片铺设, 覆盖范围不小于设计冻结壁范围外 1m。

管片保温覆盖范围不小于设计冻结壁范围外 1m。

测温孔施工方法同冻结孔施工方法。

(4) 冻结孔质量验收

①冻结孔测斜: 钻好冻结管后, 采用电子经纬仪灯光测斜法进行冻结孔测斜, 在测斜的同时对冻结孔深度进行复测。

②冻结管试压、渗漏检测: 采用 0.9MPa 压力对冻结管进行试压, 试验方法和标准按《旁通道冻结法技术规程》DG/TJ 08-902-2016。

(5) 冻结器安装

冻结孔成孔质量合格后, 进行冻结器安装。截去部分露出孔口管的冻结管, 外露 15~20cm。在冻结管内下入供液管, 供液管底端连接不小于 15cm 长的支架, 然后安装去、回路羊角和冻结管端盖。

(6) 冻结站安装

为方便后续施工工序安排, 区间内不能设置冻结站, 考虑将冻结站设在火车东站 C 端头井位置, 由冷冻站位置引出盐水干管至冻结面输送盐水, 冷冻站内设备主要包括冷冻机组 2 台套、盐水箱、盐水泵、清水泵、配电柜等。冻结站各设备连接及安装按常规连接。

(7) 冷冻管路连接与保温防护

管路连接均采用法兰连接, 管路沿盾构区间轴线固定在盾构管片上。经试压、清洗好的盐水管路用 50mm 厚的聚苯乙烯泡沫塑料保温, 外侧包扎塑料薄膜。集配液圈与冻结器去回路羊角的连接用高压胶管, 高压胶管需能够耐压 1.6MPa。冻结孔冷冻管采取间隔串联。所选盐水泵额定流量

为 187m³/h, 满足透孔及每组流量、辅面冻结孔及冷排管需冷量符合设计要求。

(8) 盐水制备

1# 联络通道设置盐水箱容积约 6m³, 先往盐水箱灌注 1.5m³ 左右自来水, 打开循环泵后逐步加入水和无水氯化钙, 直至充满盐水箱及管道。盐水比重控制在 1.25kg/L 左右, 盐水中氯化钙用量按《旁通道冻结法技术规程》DG/TJ 08-902-2016 中规定计算确定。

(9) 隧道管片保温

隧道管片保温涉及钢管片和砼管片, 联络通道处钢管片有 6 环, 在冷冻前先对所有钢管片进行钢格仓微膨胀砼充填。对钢管片及砼管片(延联络通道两侧各 4 环)敷 50mm 阻燃保温板保温层。为了加强辅面管片处冷量, 在其保温层内敷设每边 3 排密贴管片的冷冻排管, 排管间距不大于 500mm。

为加强洞门处保温效果, 联络通道开挖时在导洞部位采取保温措施, 导洞环向木背板后敷 2 排冷冻排管。

(10) 冻结施工

全部冷冻系统安装完成后, 进行设备调试和试运转, 确认设备运行良好后进行积极冻结。积极冻结期间每天进行巡检设备系统参数, 检查内容如下: ①去、回路干管盐水温度、冻结器回路盐水温度、冷却水温度; ②盐水箱液位; ③冻结器头部、胶管结霜是否均匀, 有无异常融化; ④土体内测温孔温度; ⑤冷冻设备运转情况: 电流、电压、冷冻机油温、排气压力、吸气压力等。考虑到本联络通道处于承压水层, 冻结期间盐水去路温度比一般要求低 1 度, 保持在 -29 度。期间除了观测去路温度外, 对回路温度也进行同步观测, 温度是否在 -27 度左右(与去路温差 不大于 2 度), 若超出则分析原因。

(11) 停止冻结及冻结孔处理

联络通道二衬混凝土浇筑完成后, 最后一次砼强度达到拆模条件时, 停止冷冻, 拆除冷冻管路及冷冻设备、对冻结孔进行封孔处理。

冻结孔处理: 观察孔口无渗漏后, 割除孔口管、冻结管至钢管片深度不小于 10cm。压缩空气彻底吹干管内盐水后, 先用 C30 砼对遗弃在地层中的冻结管进行充填, 后对孔口段充填快干水泥。采用 10mm 厚钢板对孔口管割除部位进行焊接封堵, 延焊缝涂抹一圈遇水膨胀止水胶, 在孔内的

空挡部位对称打设 M14 膨胀螺栓 2 根, 并与孔口管残留部分焊接连接。采用 C30 微膨胀砼充填钢管片格仓与表面齐平; 钢管片表面焊接 12mm 厚钢板, 焊缝高度 8mm, 钢板应覆盖钻孔格仓, 并与格仓肋板搭接不小于 50mm。取出非钻孔格仓内的防火保温材料, 然后在格仓内挂网, 挂网应采用直径 8mm 圆钢、间距 100mm, 圆钢净保护层厚度大于 20mm, 圆钢与钢管片点焊可靠连接; 采用 C30 微膨胀混凝土进行充填、找平。

四、结语

项目已经顺利实施完成, 从 2022.1.3 联络通道开始开挖至 2022.2.10 泵房二衬完成, 历时一个多月, 开挖期间掌子面、底板、侧墙等均保持着良好冻结效果。对于软土地层联络通道施工一般采用冷冻法施工比较多, 冷冻效果的好坏直接关系到施工成败。而对于承压水层的冷冻来说, 冷冻控制更难, 冷冻措施更为重要。本项目联络通道位于承压水层, 加上区间线间距长达 25m 多, 施工时间长, 期间顺利实施得益于以下措施:

1. 冷冻管设计左右线隧道各打设三排冻结孔, 侧墙 2

排冻结孔; 侧墙下部圆砾层部位的长冻结孔 (D11~D22), 修改为两侧隧道内对打的方式, 以减少单根冻结管的长度, 提高钻孔成孔精度和冻结效果, 从冷冻设计上确保了冷冻效果。

2. 为了确保开挖期间的冷冻效果, 加强辅面管片处冷量, 在其保温层内设计增加敷设每边 3 排密贴管片的冷冻排管, 排管间距不大于 500mm。

3. 考虑到本联络通道施工周期长, 为防止导洞口人员进出以及与隧道相交热散发太快, 为加强洞门处保温效果, 联络通道开挖时在导洞部位采取加强保温措施: 导洞环向木背板后敷设了 2 排冷冻排管。

4. 冷冻机具选择充分以及施工工艺措施的精准控制。

参考文献

- [1] 旁通道冻结法技术规程 .DG TJ08-902-2016
- [2] 隧道联络通道冻结法施工及验收规范 .NB/T10222-2019
- [3] 煤矿井巷工程施工规范 .GB 50511-2010