

冻结法施工技术在地铁联络通道中的应用

吴克龙

中铁十八局集团第一工程有限公司 河北涿州 072750

摘 要：冻结法加固土体技术，因其卓越的安全性与环境友好性，在地铁隧道联络通道的复杂地层施工中备受青睐，特别是在处理含水软土与风化岩等地层时成效显著。本文基于既有研究成果，结合广州地铁某项目的实际案例，深入分析冻结法的施工步骤与细节，旨在提炼出联络通道冻结施工中的关键注意事项与实用建议，以期为该技术的进一步优化与应用提供有力参考。

关键词：冻结法；施工技术；地铁联络通道；应用

1. 引言

人工地层冻结法，又称冻结法，是岩土工程施工中的一项创新技术。该技术通过在地层中预先钻孔并埋设钢管，借助人工制冷技术，在钢管内循环导入人工冷却液，将地层中的水冻结，使原本松散的含水土壤转化为坚硬的冻土。这一过程不仅显著提升了地层的稳定性和强度，还有效隔绝了地下水，构筑起一道坚实的冻土墙。这道冻土墙围绕在预期开挖区域的外围，有效地切断了地下水与施工区域的联系，为在冻土壁的保护下进行开挖衬砌施工提供了有力保障，极大地确保了施工的安全与顺利进行。

2. 工程概述

广州地铁某盾构区间联络通道施工，采用了冻结法来加固地层，将地层冻结成具有高稳定性和强度的冻结帷幕。在此基础上，采用矿山法开挖通道，完成初支和二次衬砌作业。与此同时，盾构机同步推进作业，两者交叉施工存在一定相互影响。施工区域的土层主要为固结淤泥质粉质黏土，地下水水位较高，上覆有黏性土或淤泥质土，这些因素对施工带来了挑战，但冻结法有效提升了施工的安全性和效率。

3. 冻结法施工工法及流程

3.1 施工工法

联络通道施工采用了一套创新的方案，即在通道内部运用冷冻技术加固地层。该方法首先通过冷冻法将联络通道和周边的土体冻结，整个冻结区域形成一个坚硬的冻土层，随后在冻土层的保护下，采用矿山法进行开挖初支和二衬施工。为确保地层稳定，防止冻融引起的变形，融冻过程需实

施融沉注浆。冻结法的显著优点在于，它能构建高强度、高稳定性的冻结壁，与隧道管片结合紧密，有效隔绝地下水，确保施工安全可靠。

3.2 施工流程

冻结法联络通道施工主要包括施工冻结孔、冻结土体、通道开挖与二衬作业，以及融沉注浆等环节。

4. 冻结法施工要点

4.1 冻结孔施工

依据施工现场的实际情况与施工规划，我们将冻结孔的主面开孔位置选定在左线联络通道。联络通道内的水平冻结孔采用 $\phi 89 \times 8\text{mm}$ 低碳无缝钢管，透孔则选用 $\phi 108 \times 8\text{mm}$ 低碳无缝钢管。冻结孔按水平、上扬、下倾三种角度进行布置，分别是从左、右线隧道打孔，共计打 90 个孔（左线打 49 个，右线打 35 个，透孔打 6 个）。开工前，我们核对了隧道的实际标高与左右线实际高差，并根据设计图纸进行孔位放样。考虑到隧道为圆弧面，每个孔位在管片上的位置均通过换算成各点相对于中心线的弦长或弧长来精确放样。具体立面透视见图 1。

4.1.1 孔口管安装

在安装孔口管前，需检查钻孔格仓的密封性能。孔口管需安装至钢隔仓的底部，并使用焊接方式将其固定在管片上，焊接位置应距离孔口管插入端 200mm 处。

钻孔格仓的底部及周围需涂抹遇水膨胀止水胶。同时，钻孔格仓及其相邻格仓内应填充 C45、P12 硫铝酸盐微膨胀水泥，确保其与钢管片的内表面保持齐平状态。

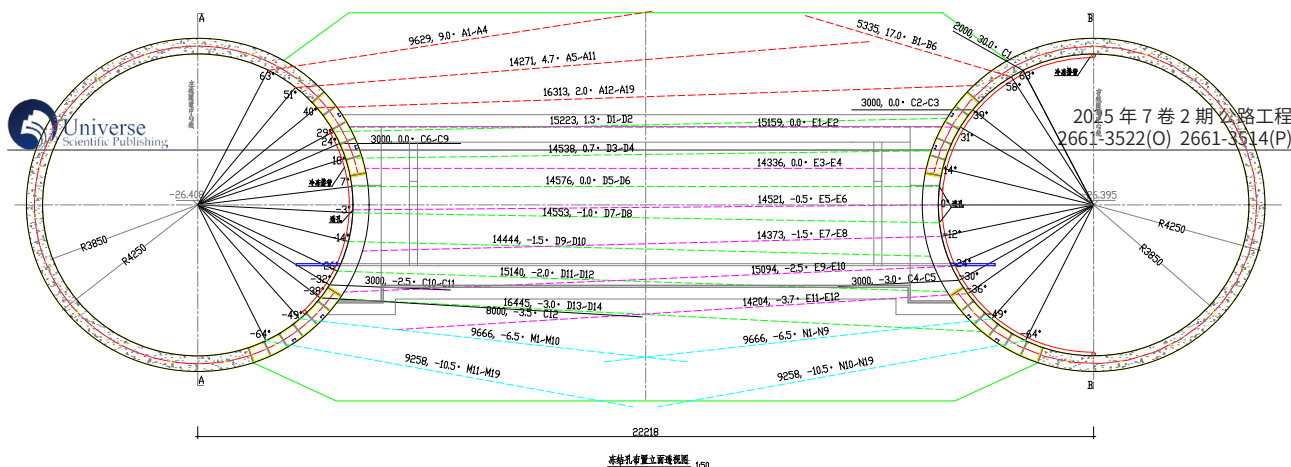


图 1 联络通道冻结孔立面透视图

4.1.2 冻结管钻进

为确保开孔位置的准确性，需借助精密仪器来确定孔位，并固定钻机、调整钻进方向以提升定位精度。钻进前 2m 时，使用精密罗盘检测并校正冻结管方向。发现偏斜需及时调整钻机位置。冻结管焊接后需静置 8 分钟，严禁立即钻进。

钻进施工时，务必安装孔口密封压紧装置。若钻孔中发生泥水流失，钻孔完成后需立即对地层实施补偿注浆，以确保地层稳定。

4.1.3 冻结孔成孔处理

冻结管钻孔完成后，需通过旁通阀对孔口管与冻结管间的环形空间注浆，注浆量不小于 0.3m^3 ，以满足地层沉降控制需求，注浆压力需符合设计要求且不超过水土压力的 2 倍。注浆后，需长时间察看孔口管法兰与旁通阀是否有漏浆，确保没有漏浆后再将球阀和压紧装置拆除。

冻结管与孔口管之间采用厚度为 8mm、内径 92mm、外径 150mm、宽度 40mm 的环形钢板进行封堵，并确保焊缝高度达到 8mm，以增强其封堵效果。

在距离冻结设计范围边界外 1 米的隧道管片内侧，需铺设一层保温层，以保证冷冻效果。

4.1.3.4 测温孔施工方法同冻结孔施工方法。

4.2 冻结器安装

4.2.1 冻结孔成孔质量合格后，进行冻结器安装。

4.2.2 截去部分露出孔口管的冻结管，外露 15 ~ 20cm。

在冻结管内安装聚乙烯管作为供液管，并将其底端与支架相连，随后装上供液与回路的羊角装置，最后封闭冻结管的端盖。

4.3 冻结制冷系统安装及冻结

根据施工现场情况，冻站被设置在盾构井底部，采用 YSLG16F-M 型冷冻机组，其电机功率达 125kw。在额定参

数范围正常运行条件下，单台机组的最大制冷量可达 8 万 kcal/h。冷冻系统安装完成后，联络通道的供液由冷冻站通过 $\Phi 160 \times 9.5\text{mmPE}$ 管盐水干管输送，右线水平冻结孔的盐水则通过洞内水平透孔供应。盐水系统需进行试运转，并确保工作面盐水系统压力不低于 0.45MPa，这段时间不运行清水系统。冷冻机需在停机状态下运转 12 小时，察看液面高度没有变化后才能确认制冷系统密封完好无漏液。

盐水系统试漏合格后，需检查电路与冷却水循环系统的参数，确认一切正常后方可启动冷冻机。启动后，先让冷冻机空转 2 小时，并逐步调控温度、压力、能量及电机负荷等各项参变量，确保其运行技术参变量均符合设备运行标准要求，保持平稳顺畅运行。

冷冻站持续运行 7 天后，盐水温度需降到 -16°C 以下，半个月后应达到 -25°C 以下。在冻结初期，需检查各冻结器的盐水流量，发现流量不足时，需及时增大盐水泵泵量或使用控制阀门调节至设计值。期间，需巡查冻结器是否渗漏盐水，一旦发现渗漏应立即关闭阀门并采取应对措施。冻结期间，还需每日监测盐水温度、冷却水温度和盐水箱液位的变化，以及冻结器头部结霜情况，确保无异常溶化现象。

每天需观察冻结情况，并根据测温数据深入分析冻结壁的扩展进度与范围。通过科学推算，预估冻结壁何时能达到设计的范围，以确保冻结施工的顺利进行。

4.4 开挖和二衬施工

联络通道开挖初支和二衬施工流程包括：在冻结运行的同时搭设工作平台和做准备工作，随后预应力支撑安装、防护门安装，开管片，开洞门并支护，进行通道开挖、钢架和喷锚支护，敷设防水层，拆除防护门，施工通道钢筋砼衬砌，最后进行跟踪注浆。

洞口支护结束后，需根据冻结壁状况、洞口支护变形及冻结系统运行情况等综合考虑，确定拆除防护门及对侧管

片的时间。实施时,需采取主要技术措施以确保安全。

开挖前需准备好水电供应、作业场地、提升运输设备及隧道内工作平台。

在联络通道冻结壁交圈前,需在通道开口处安装 4 榀隧道支撑(左右两线各设 2 榀),以降低联络通道开挖与二衬施工对隧道造成的负面影响。

被开管片需用钢梁和钢管片固定,两端各安装一台千斤顶,通过顶推钢梁推拉钢管片。同时,用 6t 葫芦一端钩住待拆管片,另一端固定对面隧道管片上,水平向外拉出管片。

开挖时,需先施工侧喇叭口导洞并进行支护,随后进入通道开挖并及时按步距支护。对侧喇叭口开挖支护完成后,再施工冷冻站侧的喇叭口。开挖进尺需控制在 0.5 ~ 0.6m 内,中心线偏差小于 10mm,超挖小于 30mm。冻结壁暴露时间需控制在 12 小时内,且暴露面收敛位移小于 15mm。

初期支护采用型钢支架搭配挂网喷射砼,相邻钢架间设连接筋,环向间距 0.8m,且钢架内外缘交错布置并焊接牢固。随后使用 PZ-7 型喷混凝土机进行喷射砼支护,喷射砼强度为 C25,厚度达到 300mm。

敷设自粘防水卷材时,需规划好顺序与方向,确保纵向搭接缝宽为 40 ~ 50mm,并顺直搭接缝。敷设时,一边揭除隔离纸,一边用滚筒压实卷材表面以排出空气,保证初始粘结强度和卷材间的牢固粘接。

联络通道衬砌采用 C45 防水商品砼,该砼具有高流态特性,满足泵送工艺需求,确保衬砌砼的质量达到最优。

停止冻结 3 日后,开始进行充填注浆。通过预留注浆孔均匀注入单液水泥浆,注浆压力控制在 0.3 ~ 0.5Mpa,通道部位的注浆压力需小于静水压力。注浆在衬砌砼强度达到

设计强度的 70% 以上时开始,至冻结停止 1 个月后结束。

4.5 融沉注浆

融沉补偿注浆采取时间控制和沉降控制双控原则。

在解冻的过程中,对地表变形数据、冻土的温度、以及冻结壳后水土压力的数据监测需加强。停止冷冻后,根据监测数据结果选择融沉注浆的合适时机,注浆持续 3 至 4 个月,以单液浆为主,双液浆为辅。当冻结壁完全融化,且地表沉降速率连续两次在 15 天内小于 0.5mm 时,方可停止注浆。若 4 个月内地面沉降速率大于 0.5mm/d,则需进行融沉补偿注浆。

6. 结语

本文结合工程实践,系统阐述了冻结法施工的工艺及注意事项。冻结法作为一种成熟的施工方法,具有适应性强、加固范围灵活、强度高、防水效果好、安全环保等优点,应用广泛,具备良好的社会效益和发展潜力。

参考文献:

- [1] 杨壮志. 北京地区盾构区间泵房设计及施工的若干建议 [J]. 隧道建设, 2015, 35 (10).
- [2] 王力功. 复杂地质环境下地铁联络通道冷冻加固技术研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(06).
- [3] 邢明全. 复杂条件下联络通道施工方法及风险控制措施 [J]. 科技信息, 2012, (04).
- [4] 桂林 1 张雯超 2 王飞 1 褚溢华 3. “水平冻结 + 钢套筒”接收技术在富水地层盾构中的应用 [J]. 勘察科学技术, 2024, (06).
- [5] 王洪涛, 朱海军. 基于长远距离制冷冻结的富水砂层地铁联络通道施工技术 [J]. 施工技术, 2018, 47 (13).