

富水含砂不良地层下地铁区间联络通道冻结法施工技术

江仙华

中铁十局集团第七工程有限公司 陕西 西安 710065

摘 要：本文以联络通道冷冻法施工技术为研究对象，详细介绍了该技术的施工原理、施工特点、施工方法、冷冻系统安装调试、冻土帷幕形成维护、技术难点及解决方案。研究成果对地下工程的冷冻施工具有重要意义，为实际应用提供有用的指导。

关键词：富水含砂地层；冻结法；施工技术

1 引言

为了满足现代建设发展的需求，地下工程的建设日益增多。在地下工程中，联络通道作为区间左、右线重要的连接部分，起到了人员安全疏散、防火消防以及隧道排水等功能的作用。本文以西安地铁八号线施工总承包3标段新桃园站-延平门站盾构区间联络兼废水泵房为研究背景，通过对区间工程地质和水文条件下实施冷冻法过程中的施工方法及过程中数据记录分析，重点对联络通道冷冻法施工中冷冻系统的安装和调试，冻土帷幕的形成和维护，进行了全面的研究和总结。通过深入分析和探讨，本文旨在为联络通道的冷冻施工提供参考和指导，推动地下工程冷冻技术的发展和运用，以满足现代建设发展的需求。

2 工程概况

新桃园站~延平门站区间联络通道（兼废水泵房）位于盾构隧道内，采用矿山法施工，长度7.5m，拱顶覆土约27.2m，通道底部埋深32m，泵房底部埋深34.9m。联络通道开挖断面尺寸3.7m（宽）×4.97m（高），采用上下台阶法，初支厚250mm，开挖前采用全断面水平深孔注浆对土体进行加固，并辅以坑外降水。原设计采用地表管井降水+洞内水平深孔注浆止水加固措施。按照原设计方案持续降水近1个月，地下水位仍在拱顶以上4.3-5.3m范围，洞门探孔出现股状夹砂压力水，施工中易发生涌水涌砂风险，无法保障通道自身施工、已完成盾构隧道及周边环境的安全，并影响后续工序节点工期，变更为冷冻法施工^[1]。

3 冷冻法施工方案

3.1 冻结系统布置

联络通道冷冻法施工技术的施工原理是通过降低土壤温度从而实现冻结土体的目的，多用于不稳定地层或含水丰富的裂隙岩层施工。冷冻设计需要综合考虑冻土帷幕的形成要求、施工环境条件和冷冻系统的技术指标

等方面的因素。新桃园站-延平门站盾构区间联络通道拟采用洞内双向水平冻结法，冷冻系统所需的设备和材料，选择适合的冷藏机组、冷却剂和内外部围护材料，冻结站设置在新桃园站-延平门站盾构区间始发站新桃园站大里程端盾构出土孔南侧，冷冻站主要设置冷冻机、盐水箱、盐水泵以及清水冷却系统。为避免冻结进水、回水管路对区间右线行车影响，冻结施工去、回路盐水干管计划布置于区间左线疏散平台上方，右线冷冻管盐水管通过掌子面透孔进行盐水管供液。联络通道（兼废水泵房）共设冻结孔109个（图1），两侧隧道沿通道外围冻结帷幕敷设5~6排冷冻排管（图2），排管间距为450mm，冷冻排管采用 $\varnothing 45 \times 3$ 无缝钢管加工，排管敷设应密贴隧道管片。

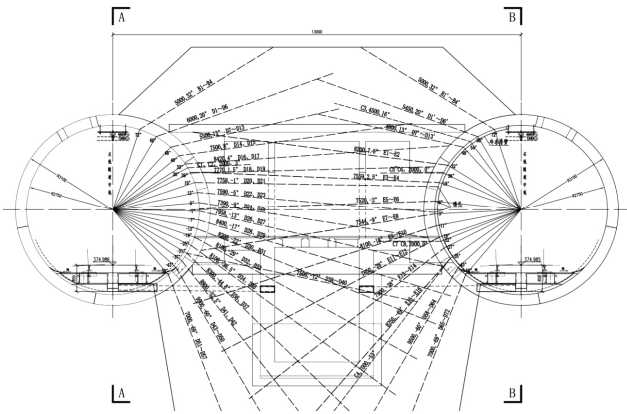


图1 冻结孔布置立体透视图

3.2 冻结施工工艺

按照冻结站布置图，将冷冻机组就位后，将机组启动柜可靠布置在机组旁边，利于操作方便的位置。冷冻机组属于压力容器机械设备，要保证机组的密封性能可靠，否则造成机组漏氟，制冷效率下降，达不到理想的制冷效果。清水管路和盐水干管采用焊接，在需要调整的地方采用法兰连接。隧道内的盐水管用管架敷设在隧道管片斜坡上，用法兰连接。在盐水管路和冷却水循环

管路上要设置阀门和压力表、测温仪测试组件等。盐水管路经试漏、清洗后用保温板保温,保温厚度为30mm,保温层的外面用塑料薄膜包扎^[2]。

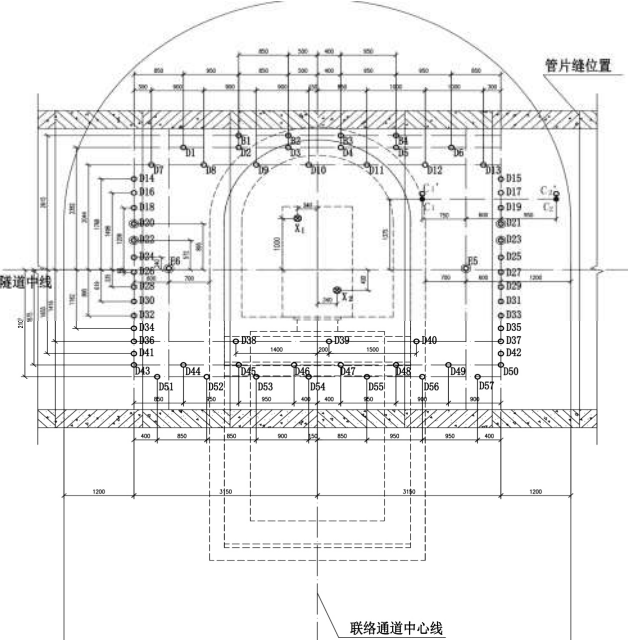


图2 单侧冻结孔开孔位置图

区间隧道现状为左、右线均已铺轨完成且右线已开始热滑行车,冷冻设计隧道支撑无法实施,可采用既有支撑且数量不少于冷冻设计要求,相邻支撑用20#槽钢连接固定以防冻胀及联络通道开挖破坏管片。施工联络通道时要做好隧道变形监测,收敛变形过大应加强支撑。型钢支撑体系安装方法环向支撑用20a槽钢,上部在注浆孔处螺栓固定,每隔1m设肋板;立柱支撑用工20a型钢,上部连环向支撑、下部连纵向H型钢梁,纵向H型钢梁支撑于钢板牛腿;水平支撑用工20a型钢,两端分别连立柱与环向支撑;H型钢梁与钢板牛腿焊接或用钢板+螺栓连接,钢板牛腿斜边钢板固定于临近环向螺栓孔处;立柱及环向支撑间用10槽钢纵向连接,钢支撑与盾构管片接触面要密实,有空隙用模板或方木垫实。为确保通道开挖安全,开挖前须安装应急防护门。在开洞管片位置沿着防护门门框基础四周打入20*20的膨胀螺丝,用于固定防护门。垫板与隧道管片直接用环氧树脂填充密实,所有连接焊缝采用连续焊缝,焊缝高度为10mm。密封硅橡胶板突起线条采用胶粘在硅胶板上,突起高度10mm,防护门门框焊接于门框四周的钢垫板上,根据拉开洞门的位置适当调整门框位置。正常施工情况下安全门打开,联络通道开挖一旦发生涌水涌砂或其他险情立即关闭安全门,并采取紧急支撑措施,在安全门外侧上、中、下各安装一道支撑,每道支撑为4根工20均匀布置。

在冷冻系统启动之后,需要对系统进行调试和优化,以确保系统的正常运行和性能稳定。调试过程中,需要对冷却剂的流量、温度、压力等参数进行监测和调整,并根据实际情况进行系统参数的优化。冻结孔施工前对实际推通隧道联络通道中心线位置里程及高程进行测量复核,冻结孔开孔参数根据实际隧道施工误差进行调整,冻结孔开孔位置误差不大于设计值100mm,应避免管片接缝、螺栓、主筋。冻结管及透孔均采用 $\varnothing 89 \times 8 \text{mm}$ 低碳钢无缝钢管,冻结管接头采用螺纹+对焊连接,冻结管长度不得小于设计长度,冻结管深度和偏斜合格后进行打压试漏,压力控制在0.8MPa,前30分钟压力损失小于0.05MPa,后15分钟压力稳定无变化者为试压合格。试压不合格的,在旁边进行重新钻孔。

在冷冻法施工过程中,冻土帷幕的形成主要是靠冻结漏土和渗水的方式实现的,需要通过多次的循环冻结和化冻来逐步形成一层坚固、结实的冻土帷幕,以保障施工的安全和高效性。联络通道冻结时间为40~45天,要求冻结孔单孔流量不小于 $5 \text{m}^3/\text{h}$;联络通道共布置8个测温孔,冷冻站一侧4个,对侧4个,测温孔选用 $\varnothing 89 \times 8 \text{mm}$ 无缝钢管,冻结7天盐水温度降至 -18°C 以下;冻结15天盐水温度降至 -24°C 以下;开挖时,去、回路盐水温差不大于 2°C ,盐水温度降至 -28°C 以下。在冻土帷幕的形成过程中,需要保证冷冻帷幕的密实性和均匀性,在冻土帷幕施工过程中,不断调整冻结条件,例如冻结剂的配比、冻结的温度、冻结周期等,以达到更好的施工效果。冻结过程的监控与管理是非常关键的一环,需要对冷冻系统进行实时监测,包括监测冷冻剂的温度、流量和压力等参数,以确保系统正常运行。其次,需要对冻土帷幕的形成过程进行监测,包括监测冻结帷幕的厚度、形状和均匀性,以确保帷幕能够满足设计要求。冻结过程监控与管理是联络通道冷冻法施工中不可或缺的一部分,它直接关系到施工质量和安全。通过严格的监控和有效的管理,可以最大程度地减少施工风险,保障工程的顺利进行。

施工前为确保开挖安全,为检验地层加固冷冻效果,在开挖范围以内采用超前水平钻打设5个探孔,单孔深度3m;根据探孔内无持续的泥水流出、冷冻范围、温度、土体强度、单孔水流量判定冻结效果。积极冻结完成并检测合格后,切割并破除通道侧开口环的管片,直接向上扩挖进洞施工,进洞段(长度2m)采用台阶法施工,进洞后一次性开挖至联络通道标准高度,架设钢架并喷射混凝土。根据现场作业条件,满足全断面作业开挖条件后,切割洞门下部管片,开挖下台阶并进行下台

阶初期支护,封闭成环,后续采用全断面法开挖施工。联络通道初支贯通后,开挖废水泵房,采用倒挂井壁法向下开挖,开挖至设计标高后封底。施作防火门门框墙以及铺底等内部结构;拆除内支撑及应急防护门。

3.3 冻结维护

维护冻结是进行地下工程施工的需要,对冷冻系统进行有效的监控和维护,及时处理冷冻系统中出现的故障或问题,在两侧隧道管片上增设冷冻板,冷冻板排管外设置橡塑保温材料,确保隧道与联络通道交接处的完好冻结状态,并对冷冻土体的温度、厚度等参数进行实时监测(设计冻结壁有效厚度2.5m,平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$),当达到冻结帷幕要求,对冻结面进行探孔检测,持续观察24小时后,探孔出水、流沙逐渐减少,直至完全消失,尚为具备开挖条件。开挖时,盐水温度降至 -28°C 以下,如盐水温度和盐水流量达不到设计要求,应适当延长积极冻结时间。开挖区外围冻结孔布置圈上冻结帷幕与隧道管片交界面处平均温度不高于 -5°C ,其它部位设计冻结帷幕平均温度小于等于 -10°C 。如在开挖期间突然停电,立即停止掘进,把暴露的土体用保温材料完全覆盖,进行保温。在冻结帷幕附近隧道管片内侧敷设保温层,敷设范围至设计冻结帷幕边界外2m。保温层采用阻燃(或难燃)的软质塑料泡沫软板,厚度不小于40mm,导热系数不大于 0.04W/mk ,最大程度降低冻结帷幕附近热量损失,从而达到预期的冷冻效果,确保联络通道安全顺利施工。

3.4 解除冻结

联络通道开挖后初支施作完成,持续维护冻结,待二次衬砌施工完成,强度达到设计强度,即可停止冻

结,土体在融化过程中会发生沉降,因此要在解冻前及时进行衬砌回填注浆,用于填充空隙控制土体沉降,冻结孔封孔应在冻结壁解冻前进行,冻结孔停冻和封孔宜分区分块间隔进行,确保封孔安全。冻结施工结束后应割除隧道管片上的孔口管和冻结管,隧道管片上割除孔口管深度要求进入管片不得小于60mm。同时进行注浆管预埋工作,注浆要控制浆液比例、注浆流量、最大注浆压力的控制,遵循先下部后上部,先底部后两帮,最后是拱顶的原则,当连续半个月地面日沉降量保持在0.5mm以内,累计沉降量小于1mm时,可结束注浆。充填注浆结束后,应配合解冻进行补偿注浆,保证整体解冻及注浆质量^[3]。

4 结论

通过冷冻法在联络通道施工中的应用,冷冻法所形成的冻土帷幕效果较好,安全可靠的实现了暗挖、支护体系及衬砌结构的建立。随着城市地下空间利用需求的增加,地下工程的规模和复杂度也在不断提升,冷冻技术作为一种高效、环保的地下工程施工方法,可以在隧道、地铁、水利工程等领域得到更广泛的应用,为地下工程的施工提供更多选择和解决方案。

参考文献

- [1]高承压水粉细砂层中隧道联络通道冷冻法施工工艺应用研究[J].工程技术研究,2023.
- [2]北京新机场线一期工程富水砂卵石地层联络通道冻结法施工技术[J].工程技术研究,2022.
- [3]地铁隧道联络通道工程地层冻结法施工技术[J].工程机械与维修,2022.