

寒区盐渍土渠道衬砌地聚物混凝土临冬施工质量控制关键技术研究

朱文正 冯甜甜 杨宗棠

新疆北方建设集团有限公司 新疆 胡杨河 834034

【摘要】：寒区盐渍土地区冬季气温骤降、含盐量高、冻结胀缩强烈，易导致渠道衬砌地聚物混凝土早期开裂与结构失稳。围绕“提升临冬施工耐久性”这一主线，从盐冻耦合作用下的材料强度演化、界面微结构稳定性及早期保温控温措施三个方向展开分析，提出临冬环境中拌和温度调控、增韧活性填料复配、界面致密化养护体系等关键控制技术。研究表明，合理的温控与掺配方案可显著降低盐冻循环引起的孔隙扩展速率，提高衬砌整体抗裂与抗盐蚀能力，为寒区渠道工程在严寒季节实现安全、可控、连续施工提供有效技术路径。

【关键词】：寒区盐渍土；地聚物混凝土；临冬施工；盐冻耦合；质量控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.022

引言

寒区盐渍土渠道在冬季面临多重不利环境，低温、含盐迁移与冻融循环共同作用，使衬砌材料易产生强度衰减与裂缝扩展。工程实践对冬季混凝土施工的要求不断提升，传统水泥基材料在盐冻条件下的耐久不足逐渐显现。地聚物混凝土因其致密结构与化学稳定性受到关注，但在临冬施工中的性能机制与控制策略仍需深入探讨。围绕材料微结构演变与施工环境适应性展开研究，可为寒区渠道衬砌在严冬条件下实现高可靠性提供科学依据。

1 寒区盐渍土渠道衬砌临冬施工面临的主要质量问题

寒区盐渍土渠道在临冬施工阶段承受着低温、含盐迁移和冻融交替的复合作用，材料早期性能极易受到破坏。气温骤降导致拌和料水化或地聚物凝聚反应速度减缓，早期强度增长受阻，若温度继续下探还会出现初凝延迟、微结构成核不完整等现象，使衬砌层在尚未形成稳定骨架时便暴露于严寒环境。同时，盐渍土中硫酸盐、氯盐等可溶盐分在温差推动下产生结晶压力，一旦渗入尚未致密的地聚物体系内部，会促使孔壁扩张、微裂纹萌生，加剧早期性能脆弱性。临冬阶段昼夜温差变化频繁，水分梯度与盐分迁移同步叠加，使衬砌结构面临多源扰动，为后续耐久性埋下隐患。

在冻胀控制方面，盐渍土的孔隙结构复杂，冻结过程伴随的水盐相变极易造成衬砌背面产生不均匀推力，使板体弯曲或产生拉裂。地基土中含盐量变化还可能引起局部膨胀与结构脱空，削弱衬砌底部的整体支撑能力。低温条件下施工人员往往需增加外加剂或提高水胶比以改善可施工性，但这些操作可能导致孔

隙率提升、界面过渡区松散，使材料抵御盐冻循环的能力下降。喷淋、浇筑、振实等工序在低温环境中也易受到影响，例如振实不充分会形成缩孔与夹层，保温薄弱会引发表层冻结，使整体衬砌厚度与密实度出现偏差。

在质量控制层面，临冬施工的监测与管理难度不断升高。施工窗口短、昼夜冻融频繁，使控温、控湿和限时作业受到限制，任何环节偏差都可能扩大材料内部的应力集中。地聚物混凝土虽具有较高耐盐性，但体系需在适宜温度区间内完成凝聚硬化，一旦环境温度失控，早期凝胶结构会出现片状化或网络破碎现象，进而弱化抗裂性能。盐渍土中离子浓度空间分布不均，在冻融作用推动下呈周期性迁移，对衬砌表层产生交替性腐蚀，使表面易出现剥落、麻点或微裂纹扩展。临冬施工中材料、环境与工艺三者之间的协调程度直接影响衬砌服役期的稳定性与安全性。

2 地聚物混凝土在盐冻环境下的关键控制技术路径

地聚物混凝土在盐冻环境中表现出的结构稳定性依赖于其凝胶体系的完整度与孔隙结构的均衡分布。低温会削弱聚合反应速率，使铝硅酸盐溶解不足，从而形成早期凝胶量偏低的现象，使材料在盐分渗透时更易出现微裂纹扩散。因此，临冬条件下需通过提高碱激发剂溶度、优化模数与调整活性粉体级配来增强初期聚合程度，使凝胶网络在较低温度下仍能保持连续性与致密性。针对盐分侵入引起的结晶压力，应在配比中增设增韧矿物掺料，使骨架结构具备更高形变容纳能力，并通过改善界面过渡区的反应活性来增强微结构的抗扰动性能。

在施工阶段，控温措施对于维持聚合体系的稳定

反应尤为关键。拌合环节需确保料温保持在适宜范围,通过加热骨料、保温水或采用外覆式保温拌合方式减少热量流失。浇筑后,地聚物体系仍需一定时间完成凝胶增长过程,低温会显著延长其反应周期,因此外层保温、热源维持与覆盖材料的合理组合直接影响早期结构形成的均衡性。振实体与表层成型过程也需避免在未达到冻点前产生冷缩效应,提升密实度以降低孔隙连通率,使盐水难以形成深层渗透通道,从而减少后续盐冻循环对微结构的破坏力。

在耐久性控制方面,地聚物体系对离子侵入的敏感性使界面致密化处理成为关键环节。通过采用渗透型无机涂层或离子交换型界面剂,可在表层形成稳定的屏障结构,并阻断盐分迁移路径。盐冻环境下反复循环导致的内部微裂纹可通过纳米级补强组分降低扩展速率,使凝胶网络具备自抑制裂纹扩展的能力。配合动态湿度与温度监测系统,可在施工早期掌握内部温度梯度变化,调整保温节奏以减少热胀冷缩带来的应力集中。多项控制技术在材料、环境与工艺间形成协同,可提升地聚物混凝土在盐冻作用下的结构稳定性与耐久特征,使其在寒区渠道衬砌工程中的应用更具可靠性。

3 临冬条件下渠道衬砌施工质量提升的综合措施分析

临冬条件下的渠道衬砌施工受到低温、含盐迁移与冻融循环的共同制约,因此质量提升离不开全过程的协同化调控。材料入场阶段需确保地聚物体系的原料活性稳定,通过筛选粒径级配合合理的骨料与低含水率材料,使拌合后体系的自由水减少,从源头降低冻结风险。气温持续走低时,施工区域应建立封闭式保温空间,利用局部加热、暖棚或红外热源调节环境温度,使拌合、运输与浇筑过程保持在反应需求范围内。渠道底板与边坡基础中的盐分在温差驱动下易向衬砌界面集中,因此在衬砌前需进行表层盐分清理与隔离

层铺设,以减轻盐分对早期凝胶结构的干扰。

在成型与养护阶段,通过增强密实度可显著提高衬砌结构抵抗盐冻破坏的能力。振实过程应借助低温条件下适配的振动频率,使地聚物浆体在未冻结前充分排气与填充空隙,避免形成贯通孔道。成型完成后需迅速覆盖保温层,使表层温降速度保持稳定,减少因骤冷引起的凝胶收缩与开裂。衬砌结构在早期强度增长缓慢,因此采用分时段温控养护方式更利于内部微结构的连续化生成。在盐渍土分布不均的渠段,可通过增加界面增强剂或涂覆防盐渗膜,形成阻滞离子迁移的保护屏障,从而延缓盐晶析出造成的局部剥蚀。

在施工管理层面,通过动态监测体系可及时掌握温度场、湿度场和结构内部的反应进程。设置温度传感线、埋设式湿度计或非破损超声检测装置,有助于判断衬砌内部的凝胶硬化状态与潜在裂纹萌生点,并根据实测数据调整保温覆盖厚度与加热时段。对于连续低温区段,需要合理划分施工节奏,避免在环境极端波动期进行大面积浇筑,使衬砌形成过程保持稳定。冬季盐渍土地基软弱、冻胀差异明显,通过对边坡支护、排水系统及地基处理工序的完善,可防止衬砌背面出现推力不均与结构离缝,从而提升整条渠道在严寒环境下的运行可靠性与材料耐久表现。

4 结语

寒区盐渍土渠道在临冬施工阶段面临低温、盐分迁移与冻融循环叠加的复杂环境,对地聚物混凝土的早期反应、界面稳定性与结构致密度形成多重考验。材料体系、施工工艺与环境控制之间的协同调节,是保障衬砌质量的关键环节。围绕盐冻作用下的材料响应机制,对温控技术、界面防护与养护策略的系统优化,可显著提升衬砌在严寒条件下的结构稳固性与耐久表现,为寒区水利工程的冬季连续施工提供可靠技术路径。

参考文献:

- [1] 王建国.寒区水工结构冻融损伤机理研究[J].水利水电技术,2022,50(4):112-118.
- [2] 刘志刚.地聚物混凝土在低温环境中的力学性能分析[J].混凝土,2020,38(6):45-50.
- [3] 陈海峰.盐渍土地区水利工程耐久性影响因素研究[J].岩土工程技术,2021,39(2):87-93.