

水利工程泵站施工的冬季施工措施

程会旗¹ 董元华² 杨靖³ 朱浩⁴ 徐狄⁴

1. 扬州市江都区农村环境整治指导中心 江苏扬州 225100
2. 常熟市水利工程质量监督站 江苏常熟 15500
3. 江苏汉汶生态科技有限公司 江苏扬州 225100
4. 扬州市勘测设计研究院有限公司 江苏扬州 225100

摘要: 水利工程泵站作为调水、排水、灌溉等水资源调配系统的核心节点,其建设质量与运行效率直接关系到区域水安全与农业发展。冬季施工对水利工程泵站建设质量与运行效率影响显著,低温环境易使混凝土性能劣化、土方工程难度增加及设备故障率上升,成为制约施工安全与进度的显著挑战。本文围绕水利工程泵站冬季施工的特殊性,分析了施工的总体部署与准备工作要求,并结合相关实践经验,分别从多个方面提出了具体可行的冬季施工措施,以期为水利工程泵站施工提供借鉴与参考。

关键词: 水利工程; 泵站施工; 冬季施工; 技术措施

引言:

水利工程泵站的传统常温施工工艺与管理模式难以适应冬季特殊环境,若处置不当,极易引发混凝土冻胀、结构开裂、地基失稳等质量问题。因此,探讨并建立一套科学、严谨且高效的泵站冬季施工技术与管理体制,对于突破季节限制、保障工程质量、推动水利事业高质量发展具有至关重要现实意义。

1 水利工程泵站冬季施工特点

泵站作为水工建筑物,其进水渠道、泵室、墩墙等主体结构通常为大体积或薄壁混凝土,其质量优劣直接关系到整个工程的安全与耐久性。在冬季,新浇筑的混凝土其强度和耐久性的形成过程会因低温而显著减缓甚至停滞。若混凝土在达到抗冻临界强度之前受冻,其内部自由水会结冰膨胀,产生高达9%的体积胀率,该种冰晶压力会永久性地破坏水泥石内部刚刚形成的凝胶结构,形成不可逆的微裂纹,构成永久性的质量缺陷和安全隐患^[1]。不仅如此,与常温施工依赖自然条件不同,冬季施工是一个动态对抗自然环境的过程,具有显著的环境依赖性,施工效率、资源消耗和成本投入等均应充分考量保温加热措施,任何环节的保温失效或温度失控,均有可能导致工程施工前功尽弃。此外,冬季条件极大地改变了施工条件,对施工过程带来了更多更多不确定性和安全风险,尤其是严寒、风雪、冰冻等恶劣天气频发,使有

效的户外作业时间大幅缩短,施工进度管理面临巨大压力。

2 低温环境对施工的直接影响

2.1 混凝土性能劣化

冬季低温对混凝土性能的破坏具有显著的系统性特征。水的反膨胀特性与低温环境下的物理化学变化密切相关,当环境温度降至4℃以下时,水密度开始增大,0℃时液态水凝固为冰,体积膨胀约9%,进而容易在混凝土内部引发冻胀应力,形成结构细部破坏。实验表明,当孔隙水完全冻结时,产生的冻胀应力可达20-30MPa,远超普通混凝土的抗拉强度(约2-3MPa)^[2]。同时,水泥水化反应是混凝土强度增长的关键所在,但低温会显著抑制其活性,降低其反应速率,改变水化产物形态,对早强剂的依赖性增强。

2.2 土方工程难度增加

冻结的土壤其强度和硬度成倍增加,普通的挖掘机铲斗难以切入,往往需要采用爆破法或先用松土机、重型裂土机进行破碎预处理。同时,当土壤中的水分冻结时,可对正在施工的基坑构成严重安全隐患,尤其是基坑边坡在冻胀力的作用下会失稳滑塌,且已开挖至设计标高的基坑底板,若未及时采取保温或封底措施,会因基底土冻胀而隆起变形,破坏地基平整度和承载力。此外,冻结的土块在回填中无法被有效压实,容易形成空洞和软弱夹层,若将冻土直接回填,待其融化后会产生显著沉降。

2.3 设备故障率上升

低温环境同样对施工机械、车辆和仪器设备的可靠性提出了严峻考验。一方面,机械设备的工作流体和金属材料性能在低温下更趋恶化,液压系统的油液粘度增加,流动性变差,使传动效率降低、动作迟缓,甚至堵塞滤油器和管路,引发系统压力异常和部件损坏。另一方面,钢筋等金属材料在低温下会表现出“冷脆性”,其韧性和塑性降低,在受到冲击或荷载时,易发生脆性断裂,对起重吊装、钢筋加工等作业构成了严重安全隐患,需要在施工过程中予以重点控制。

3 水利泵站冬季施工总体部署与准备工作

3.1 施工组织设计

施工组织设计作为指导整个冬季施工阶段的重要依据,关键在于将低温环境带来的不利影响转化为具体可行的行动预案。对此,应在入冬前,组织技术、施工、安全、物资等部门成立冬季施工专项小组,对既定总体施工进度计划进行系统性复审与优化,细化大体积混凝土浇筑等对低温极为敏感的分部分项工程的技术要求。对于无法规避的关键性混凝土工程,则必须在资源上予以绝对倾斜,在时间上预留足够的养护周期。编制《冬季施工专项方案》,基于当地气象台站的十年极端低温数据与预报,确定施工期间的可能最低温度、大风及降雪频率,并据此划分不同的温度工况,分别进行精确的热工计算。

3.2 技术准备

对于项目技术人员,应组织深度学习《建筑工程冬期施工规程》等规范,重点剖析水泥水化动力学在低温下的变化规律、防冻剂的化学机理及其与水泥的适应性,以及各类热工计算模型的原理与应用。对于施工班组,则需开展沉浸式的实操培训,模拟低温环境下如何正确覆盖保温材料、如何规范使用测温仪器、以及如何在暖棚内安全作业等。基于热工计算与结构特征,明确划定采用综合蓄热法、暖棚法或电加热法的构件范围及转换临界条件。规定详细的《测温作业指导书》,明确测温点的布置原则、监测频率以及记录格式等,且所有测温数据必须实时录入电子表格,自动生成温度曲线,并与同条件养护试块的强度发展曲线进行比对。

3.3 物资与设施准备

对外加剂关键材料进行科学选型与性能验证,严禁直接套用常温施工的外加剂。根据预期最低气温,选择具有明确质检报告和合格证的防冻剂,其性能指标除规定的凝结

时间差、抗压强度比外,还应重点关注其对混凝土耐久性的影响,并需在进场前,使用相应的水泥和骨料进行适应性复试,验证其在实际配合比下的效果。保温材料的准备应基于热工计算确定的总散热量,计算所需的传热系数K值,进而选定保温材料的种类、厚度及层数。编制详尽的《冬季施工物资需求计划表》,将每一项物资的规格、数量、到场时间、验收标准责任到人。对于保温材料等易耗品,现场库存量应不少于三日正常施工消耗量。

4 泵站冬季施工关键技术措施

4.1 混凝土工程抗冻技术

4.1.1 原材料选择与配比优化

根据水利工程泵站施工条件,优先选用低热水泥并控制其碱含量在0.6%以内,以减少低温下水化产物结晶缺陷。实验表明,当水泥比表面积 $\geq 350\text{m}^2/\text{kg}$ 时,其7d水化热较普通水泥提高18%,可有效补偿低温环境下的反应速率衰减。采用5-25mm连续级配碎石,控制含泥量,避免细颗粒过多导致冻胀应力集中。防冻剂选用硝酸钙与亚硝酸钠复合型,控制其掺量比例,使混凝土在低温环境下仍保持正温养护条件。基于热工计算建立温度、配合比动态模型。当环境温度 $\leq 5^\circ\text{C}$ 时,将粉煤灰掺量从20%降至10%,同时提高水泥用量5%-8%,确保混凝土入模温度 $\geq 10^\circ\text{C}$ ^[3]。基于热工计算建立温度、配合比动态模型,辅助提高混凝土抗压强度,满足抗冻等级要求。

4.1.2 搅拌与运输控制

采用蒸汽加热与电伴热复合系统,将搅拌用水温度控制在 $60\text{--}80^\circ\text{C}$,并设置水温和环境温度联动调节装置,当环境温度每下降 5°C 时,自动提高水温。在投料中,先投入预热骨料形成初始热核,再分次加水避免温度骤降,最后掺入外加剂确保均匀分散。采用带蒸汽加热功能的混凝土运输车,罐体包裹特定厚度的聚苯乙烯板,罐口设置可调节式保温罩。在运输路径规划方面,应遵循最短距离和避风路线相结合的原则,尽量压缩运输时间,以保障混凝土入模温度。充分利用温度监测系统,在搅拌站出料口、运输车罐体及泵送管道关键节点布设温度传感器,对温度条件保持有效监测,若监测发现温度异常,则应及时启动补偿加热程序,采取有效技术措施予以处置应对。

4.1.3 浇筑与养护工艺

分层分段浇筑技术,每层浇筑厚度控制在300-

400mm, 浇筑间隔时间 ≤ 2 h。设置纵向施工缝时, 预埋止水钢板并涂刷界面剂, 确保接缝处抗渗等级符合技术要求^[4]。构建模块化装配式暖棚, 棚内设置蒸汽管网与红外线加热器复合供热系统。通过CFD模拟优化热源布局, 提高棚内温度均匀性, 并保持湿度控制效果。设置可调节式通风口, 每小时换气次数控制在1~2次, 避免冷凝水积聚。结合BIM模型开发养护决策系统, 当测温点温度低于特定数值时自动启动加热装置, 调整通风量。基于同条件养护试块强度与温度积分曲线确定拆模时机, 当混凝土表面温度与环境温度差 $\leq 15^{\circ}\text{C}$, 且强度达到设计值的75%时方可拆模。拆模后立即覆盖电热毯与岩棉复合保温层, 持续养护时间应满足要求, 确保抗冻临界强度达标。

4.2 土方工程防冻胀技术

4.2.1 开挖与回填控制

在开挖前采用电热毯与蒸汽管道联合加热法, 对表层冻土进行解冻。对于深度超过2m的基坑, 采用分层解冻工艺, 控制每层解冻厚度, 避免因温度梯度过大导致土体结构性损伤。挖掘机铲斗加装高频振动装置, 采用螺旋钻机与冲击式破碎锤协同作业, 减少纯机械挖掘的能耗与设备损耗。在基坑边坡布设光纤光栅应变传感器, 设置相应监测频率, 当应变值超出过大时, 触发预警并启动边坡加固程序。回填材料优先选用砂砾石、碎石等非冻胀性材料, 粒径级配控制在5~40mm。对于必须使用黏性土的情况, 掺入生石灰进行改良, 降低土体塑性指数降和自由膨胀率。采用振动平板夯与冲击夯组合工艺, 通过现场试验确定夯实遍数, 在狭窄区域采用人工木夯配合电热毯加热, 确保回填密实度。

4.2.2 基坑排水与保温

在基坑底部设置主盲沟与支盲沟组成的降排水系统, 填充级配碎石, 外包土工布反滤层, 确保排水顺畅。排水管道外壁缠绕自限温电热带, 以维持管内水温, 并在管道转弯处设置温度传感器, 及时调节温度, 防止管道冻结堵塞。集水井采用双层钢板焊接结构, 内壁填充聚氨酯泡沫板, 井口设置可调节式保温盖板, 盖板材料选用硅酸铝纤维毡, 并在井内设置潜水泵与液位控制器联动装置, 实现自动排水。采用覆盖式保温层, 在基坑表面铺设双层保温材料, 保证保温层具有足够的搭接宽度, 并采用热熔焊接工艺固定, 防止冷空气侵入。对于深度超过3m的基坑, 在保温层下设置蒸汽盘管加热系统, 其盘管间距控制在50cm, 蒸汽压力维持

在0.2~0.3MPa^[5]。

4.3 砌筑工程防冻措施

在冬季施工中, 砌筑工程的砂浆凝结缓慢, 砖体吸水率变化显著, 结构整体性下降。对此, 可配制防冻型砂浆, 选用硝酸钙与亚硝酸钠复合型, 使砂浆在 -10°C 环境下仍保持正温凝结。早强剂选用氯化钙, 提高砂浆早期强度发展速率; 减水剂则采用木质素磺酸钙, 降低水灰比, 减少游离水含量。砂料使用前需过筛, 控制含泥量, 避免细颗粒吸水后冻结膨胀。对于吸水率较高的黏土砖, 砌筑喷水湿润, 控制表面含水率, 防止因砖体吸水过快导致砂浆失水开裂。根据环境温度动态调整砂浆配合比, 当气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 时, 适当提高水泥用量, 同时掺入引气剂, 形成独立气孔缓冲冻胀应力。采用分层分段砌筑方法, 控制每日砌筑高度和相邻两段砌体高差。设置纵向施工缝时, 预埋连接钢筋, 并涂刷界面剂, 确保接缝处形成足够的抗剪强度。

4.4 机械设备适应性改造

机械设备是水利工程泵站施工的关键所在, 冬季低温环境对施工机械的液压系统、金属材料及动力装置的影响相对显著, 应及时进行适应性改造。一方面, 选用低温液压油, 并在油箱内设置电加热棒, 以维持油温, 降低油液粘度, 确保传动效率。采用双级滤油系统, 在滤油器前后设置压差传感器, 及时预警压差, 防止因杂质堵塞导致系统压力异常。另一方面, 对起重机吊臂、钢筋加工设备的关键结构件进行表面渗碳处理, 在焊缝等应力集中部位粘贴碳纤维增强复合材料, 提高抗冲击性能。采用锂基润滑脂, 在轴承、齿轮等摩擦部位设置自动润滑装置, 定时注油, 保持润滑膜完整性。

5 结语

综上所述, 水利工程泵站的冬季施工是一项复杂的系统工程, 对施工技术与施工管理具有较高要求。因此, 技术人员应将前瞻性的施工组织设计、精细化的技术准备与充足的物资保障相结合, 将温度控制贯穿混凝土制备养护、土方开挖、设备维护等全过程, 以有效抵御低温的不利影响。随着新材料、新设备与智能监控技术的不断发展, 水利泵站的冬季施工技术同样应引入新技术与新方法, 推动施工工作朝着更加精准、高效与绿色的方向演进, 为建设优质水利工程提供更为坚实的技术支撑。

参考文献

[1] 柏亭鑫. 中小型泵站冬季施工的关键保温技术探究

[J]. 全面腐蚀控制,2024,38(10):109-112.

[2] 宁亚光,吕山杉.寒区水利工程冬季施工防冻抗裂技术研究与应用[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(9)[2025-08-15].

[3] 苗久龙.灌区泵站冬季输水管路防冻技术研究[J].江西农业,2025,(17):122-124.

[4] 周君丹.探究水利工程冬季混凝土施工的质量控制

措施[J].科学技术创新,2024,(20):189-192.

[5] 王世亮,苏永军,陈警,等.基于正交试验的冬季施工大体积混凝土性能研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(05):1-4+18.

作者简介:程会旗(1989-10),女,汉族,籍贯山东济宁,现就职于:扬州市江都区农村环境整治指导中心,工程师,研究生,研究方向:农田水利。