

水利工程冬季混凝土施工保温措施效果对比与优化

裴巍¹ 李梁¹ 吴康安²

1 江苏省水利机械制造有限公司 2 扬州市勘测设计研究院有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6667

[摘要] 水利工程作为关乎国计民生的核心基础设施,其施工周期往往跨越多个季节,冬季低温环境成为影响混凝土施工质量的关键制约因素。混凝土的水化反应对温度敏感,当环境温度低于5°C时,水化速度显著减缓;温度降至0°C以下时,混凝土内部游离水冻结膨胀,易导致内部孔隙率增加、结构松散,引发强度不足、裂缝等质量病害,严重影响工程承载能力与使用寿命。本文系统分析冬季混凝土施工的核心保温需求,对比主流保温措施的技术特性、适用场景与应用效果,提出针对性优化策略,构建科学高效的冬季混凝土施工保温技术体系,为水利工程冬季施工质量保障提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 水利工程; 冬季混凝土施工; 保温措施; 效果对比; 质量保障

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Comparison and Optimisation of Thermal Insulation Measures for Concrete Construction in Hydraulic Engineering During Winter

Wei Pei¹ Liang Li¹ Kang'an Wu²

1 Jiangsu Hydraulic Machinery Manufacturing Co., Ltd.

2 Yangzhou Survey and Design Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] As core infrastructure vital to national economy and people's livelihood, hydraulic engineering projects often span multiple seasons during construction. Low winter temperatures emerge as a critical constraint affecting concrete construction quality. The hydration reaction of concrete is temperature-sensitive; when ambient temperatures fall below 5°C, the hydration rate slows significantly. When temperatures drop below 0°C, the freezing and expansion of free water within the concrete can lead to increased internal porosity and structural loosening, causing quality defects such as insufficient strength and cracking. These issues severely impact the project's load-bearing capacity and service life. This paper systematically analyses the core thermal insulation requirements for winter concrete construction. By comparing the technical characteristics, applicable scenarios, and performance outcomes of mainstream insulation measures, it proposes targeted optimisation strategies. This establishes a scientifically sound and efficient thermal insulation technology system for winter concrete construction, providing theoretical underpinnings and practical guidance for ensuring quality in winter water conservancy projects.

[Key words] Water Conservancy Projects; Winter Concrete Construction; Thermal Insulation Measures; Performance Comparison; Quality Assurance

引言

冬季低温环境对水利工程混凝土施工质量构成显著挑战,低温易导致混凝土水化反应迟缓、强度发展受阻,甚至引发冻胀破坏,影响工程结构稳定性与耐久性。当前,水利工程冬季混凝土施工中仍存在保温措施选择不当、保温体系协同性差、质量管控不到位等问题,如单一保温措施难以适应严寒地区施工需求、保温材料性能与施工环境不匹配、保温过程缺乏动态调整等,导致混凝土受冻风险增加。基于此,本文立足水利工程冬季

施工实践,深入探讨保温技术优化路径,为提升冬季混凝土施工质量提供系统性解决方案。

1 水利工程冬季混凝土施工保温技术理论基础

混凝土冬季施工保温的理论核心是热力学平衡与水化反应动力学。从热力学角度,保温措施需减少混凝土热量散失,通过蓄热、加热等方式维持体系温度,满足水化反应所需的能量条件;从反应动力学角度,温度升高可加快水化反应速率,提高水泥水化程度,进而提升混凝土强度发展速度与结构致密性。混凝

表 1 主流保温措施对比分析表

保温措施	核心优势	主要局限性	适用环境温度	适用结构类型	保温效率	经济成本	环保性
蓄热法	施工便捷、成本低、能耗小、操作简单	保温效果受环境温度影响大、强度发展慢	≥-10℃	大体积混凝土(堤坝、基础)	中等	低	优
保温层覆盖法	保温效果直接、可控性强、适配性广、可重复利用	密闭性要求高、易受潮失效、棱角部位需加强	≥-15℃	各类结构(薄壁构件、棱角、楼板)	中高	中	良
蒸汽加热法	升温快、保温效果好、强度发展迅速	设备投资大、能耗高、操作复杂、易起砂裂缝	≤-10℃	严寒地区各类混凝土工程	高	高	一般
电加热法	控温精准、施工灵活、适配复杂结构	能耗高、用电安全风险、成本较高	≤-15℃	局部加热、小型构件、薄壁结构	高	高	一般
掺加防冻剂法	施工简便、成本低、普适性强、无需额外设备	掺量控制严格、可能影响后期强度、钢筋锈蚀风险	≥-20℃	各类混凝土工程(无法加热养护场景)	中等	低	良

表 2 不同保温材料性能对比

保温材料类型	导热系数[W/(m·K)]	密度[kg/m³]	耐温范围[℃]	防潮性	阻燃性	重复利用率	适配场景
阻燃保温被	0.035-0.045	180-220	-40~80	良	优	80% 以上	各类混凝土表面覆盖、临时保温
岩棉板	0.038-0.042	100-150	-268~600	一般	优	70% 以上	结构侧面、固定部位保温
挤塑聚苯板	0.028-0.032	25-40	-50~75	优	良	90% 以上	严寒地区、长期保温、基础保温
聚氨酯保温板	0.024-0.028	30-50	-196~120	优	良	85% 以上	高要求保温工程、薄壁结构
塑料薄膜	0.030-0.035	10-20	-30~60	优	一般	50% 以上	防潮密封、配合保温层使用
玻璃棉板	0.039-0.045	80-120	-120~400	一般	优	60% 以上	设备周边、局部保温、通风管道保温

土冻胀破坏的本质是内部游离水结冰产生的体积膨胀对混凝土内部结构的挤压作用。当混凝土强度未达到临界抗冻强度时,冻胀力易导致内部孔隙扩大、微观裂缝产生,最终影响宏观力学性能^[1]。因此,保温措施的核心作用是通过温度控制,确保混凝土在冻结前达到临界抗冻强度,同时减少冻结过程中的温度应力与体积变形。

2 水利工程冬季混凝土施工主流保温措施

2.1 蓄热法

蓄热法是冬季混凝土施工中应用广泛的基础保温措施,其核心原理是利用混凝土水化热、原材料预热量及保温材料蓄热,维持混凝土温度在临界值以上。该方法通过对水泥、骨料、拌合水等原材料进行预热,浇筑后覆盖保温材料减少热量散失,实现自然养护。技术特性方面,蓄热法施工工艺简单、成本较低,无需复杂设备,适用于气温不低于-10℃、结构体积较大的混凝土工程,如堤坝、基础等。其优势在于施工便捷、对环境适应性强,且能减少能源消耗,符合绿色施工理念。但局限性也较为明显,保温效果受环境温度影响显著,在严寒地区或结构体型较小的工程中,易出现热量散失过快、强度发展缓慢等问题,需与其他保温措施协同使用。

2.2 保温层覆盖法

保温层覆盖法是通过在混凝土表面铺设多层保温材料,形成密闭保温体系,减少热量散失与外界低温侵袭。常用保温材料包括阻燃保温被、岩棉板、聚苯板、塑料薄膜等,通常采用塑料薄膜、保温层、防水布的复合结构,兼顾保温与防潮效果。该方法的技术优势在于保温效果直接、可控性强,可根据环境温度调

整保温层厚度与层数,适用于各类混凝土结构,尤其是薄壁结构、构件棱角等易散热部位。保温材料轻便易施工,可灵活适配复杂结构体型,且能重复利用,经济性较好。但需注意保温层的密闭性,若存在缝隙易导致热量散失,同时需避免保温材料受潮结冰,影响保温性能。此外,对于大体积混凝土,单一保温层覆盖法难以完全满足保温需求,需结合蓄热法或加热法使用^[2]。

2.3 加热养护法

加热养护法是通过主动加热方式提升混凝土养护环境温度,确保水化反应持续进行,适用于气温低于-10℃的严寒地区或对强度发展有严格要求的工程。常见加热方式包括蒸汽加热、电加热、热风加热等。蒸汽加热法通过向养护罩内通入蒸汽,维持高温高湿环境,具有升温速度快、保温效果好、能加速混凝土强度发展等优势,适用于冬季严寒地区的混凝土施工。但该方法设备投资大、能耗高,且需严格控制蒸汽温度与湿度,避免混凝土表面起砂、裂缝等问题。电加热法通过在混凝土内部或表面布置电加热元件,直接加热混凝土,具有控温精准、施工灵活等特点,但能耗较高,且需注意用电安全。热风加热法通过热风机向养护环境吹送热风,设备简单、操作便捷,但保温效果受空间密闭性影响较大,适用于小型构件或局部加热。

2.4 掺加防冻剂法

掺加防冻剂法是在混凝土拌制过程中加入适量防冻剂,降低混凝土冰点,抑制游离水冻结,确保水化反应在低温环境下正常进行。防冻剂按成分可分为氯盐类、无氯盐类、复合型防冻剂等,其作用机理是通过降低冰点、改善水化历程、提高混凝土早期强度,增强抗冻能力。该方法的优势在于施工简便、成本较

低, 无需额外增加保温设备, 适用于各类混凝土工程, 尤其适用于无法采用加热养护的场景^[3]。防冻剂能有效提升混凝土的抗冻性能, 加速强度发展, 减少冻胀破坏风险。但需严格控制防冻剂掺量, 过量掺加可能导致混凝土后期强度下降、钢筋锈蚀等问题, 且需根据环境温度与混凝土强度等级选择适配的防冻剂类型。

3 水利工程冬季混凝土施工保温措施优化策略

3.1 保温体系协同优化

单一保温措施难以适应水利工程复杂的施工环境与结构特点, 需构建主动加热、被动保温、材料改性的协同保温体系, 提升保温效果与稳定性。例如, 在严寒地区采用蓄热法、保温层覆盖法、掺加防冻剂的组合方案, 通过原材料预热与水化热蓄热提供基础热量, 保温层覆盖减少热量散失, 防冻剂抑制冻结, 三者协同作用确保混凝土温度稳定。对于大体积混凝土工程, 可采用蒸汽加热与保温层覆盖的协同模式, 通过蒸汽加热快速提升温度, 保温层覆盖维持温度稳定, 减少内外温差; 对于薄壁结构或构件棱角, 采用保温层加厚与局部电加热的组合方案, 重点强化易散热部位的保温效果。同时, 需根据环境温度变化动态调整保温体系, 如降温时增加保温层厚度、升温时适当通风散热, 确保混凝土温度始终处于合理范围。

3.2 保温材料选型优化

保温材料的性能直接影响保温效果, 需根据施工环境温度、混凝土结构类型、保温需求等因素科学选型。优先选用导热系数低、密度小、阻燃防潮、耐久性好的保温材料, 如复合保温被、岩棉板、挤塑聚苯板等。对于严寒地区, 应选择保温性能更强的材料, 如聚氨酯保温板, 或采用多层复合保温结构, 提升保温效果^[4]。在材料使用过程中, 需注意以下要点: 一是确保保温材料的密闭性, 避免出现缝隙导致热量散失, 可采用胶带密封保温层接缝处; 二是防止保温材料受潮, 在保温层外侧铺设防水布, 避免雨雪侵蚀; 三是根据结构部位选择适配材料, 如构件棱角处可采用柔性保温材料, 确保贴合紧密, 薄壁结构可选用轻质高强保温材料, 避免压迫结构, 不同保温材料的性能对比如下表2所示。

3.3 施工工艺适配调整

冬季混凝土施工保温效果的提升, 需与施工工艺紧密结合, 通过优化施工流程与参数, 减少热量散失, 提升保温效率。在混凝土拌制阶段, 应优化配合比设计, 选用早强型水泥, 减少水胶比, 提高混凝土早期强度与抗冻性; 合理掺加粉煤灰、矿渣等掺合料, 改善混凝土工作性与耐久性; 对原材料进行预热, 控制拌合水温度在40~60℃, 骨料温度不低于5℃, 确保混凝土入模温度不低于10℃。在浇筑阶段, 选择正午高温时段进行浇筑, 缩短浇筑时间, 避免混凝土在浇筑过程中受冻; 采用分层浇筑方式, 每层浇筑厚度适中, 确保浇筑连续无缝; 浇筑完成后及时覆盖保

温层, 减少热量散失, 尤其是构件棱角等易散热部位, 应加强保温防护。在养护阶段, 延长保温养护周期, 确保混凝土强度达到设计强度的75%以上方可拆除保温层; 定期监测混凝土内部温度与表面温度, 控制内外温差不超过25℃, 避免温度应力引发裂缝; 若采用加热养护法, 需严格控制升温与降温速度, 升温速度不宜超过10℃/h, 降温速度不宜超过5℃/h, 防止混凝土表面开裂。

3.4 质量管控强化优化

冬季混凝土施工保温的质量管控需贯穿施工全过程, 建立闭环管理体系。事前预防方面, 编制冬季施工专项方案, 明确保温措施、材料选型、施工参数、质量控制要点与应急预案; 加强施工人员培训, 提升冬季施工保温技术水平与质量意识; 对保温材料、防冻剂等原材料进行严格检验, 确保性能符合设计要求。事中控制方面, 建立温度监测制度, 在混凝土内部、表面及养护环境布置测温点, 实时监测温度变化, 及时调整保温措施; 加强施工过程巡查, 检查保温层覆盖是否严密、加热设备运行是否正常、防冻剂掺量是否准确, 发现问题及时整改; 推行三检制, 确保各施工环节质量符合要求。事后评估方面, 对混凝土强度进行抽样检测, 确保强度达标; 检查混凝土表面是否存在裂缝、起砂等质量缺陷, 对发现的问题及时进行修补; 总结冬季施工保温经验, 优化后续施工方案, 持续提升保温技术水平。

4 结束语

水利工程冬季混凝土施工保温是保障工程质量的关键环节, 不同保温措施各具技术特性与适用场景。通过构建协同保温体系、优化保温材料选型、调整施工工艺、强化质量管控等策略, 可有效提升冬季混凝土施工保温效果, 减少冻胀破坏风险, 确保混凝土强度与耐久性符合设计要求。未来, 加强冬季施工技术标准体系建设, 完善保温措施技术规范与质量评价标准, 推动水利工程冬季混凝土施工保温技术向标准化、精细化、绿色化方向发展。

[参考文献]

- [1]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.
- [2]许宁.水利工程混凝土冬季施工技术研究[J].新农村,2024,(15):37-39.
- [3]顾介昌,钟琦.水利工程混凝土冬季施工浇筑及养护技术研究[J].东北水利水电,2024,42(01):11-13+40+71.
- [4]赫兵.水利工程混凝土冬季施工要点探讨[J].中国科技投资,2021,(11):162+166.

作者简介:

裴巍(1974—),男,汉族,江苏人,本科,工程师,从事水利行业。