水利工程冬季低温混凝土施工养护管控技术探析

王　浩[1]　丁晓艳[1]　漆冠军[2]　顾婷婷[1]
1. 淮安市水润建设工程有限公司　江苏　淮安　223300
2. 淮安市淮阴区张福河船闸管理所　江苏　淮安　223300

摘　要：冬季低温气候会从物料拌合、浇筑成型、结构固化等多个维度干扰水利工程混凝土施工质量，各类养护疏漏也会持续诱发结构冻害与裂缝缺陷。本文系统梳理冬季施工阶段存在的拌合适配不足、成型难度偏大、结构发育不良及环境干扰突出等各类问题，总结保温保湿、温控调控、周期管控等养护环节常见隐患，配套适配低温工况的施工与养护专项技术，搭建覆盖施工全流程的标准化管控模式，可为低温环境下混凝土施工质量提升提供参考。

关键词：水利工程；低温环境；混凝土施工；养护技术；质量管控

引言：水利工程大多处于露天施工环境，冬季低温、霜冻及大风天气会大幅增加混凝土施工的质量管控难度。低温气候会抑制水泥水化反应，打乱混凝土成型与固化节奏，容易引发表层破损、内部疏松、结构开裂等病害。施工养护措施落实不到位、温控体系不完善，会进一步放大低温对结构的负面影响。规范冬季施工工艺、优化养护手段、健全全过程管控机制，能够有效抵御低温环境干扰，保障水工混凝土结构成型质量与服役稳定性。

1 水利工程冬季低温混凝土施工固有问题

1.1 低温环境下混凝土拌合适配问题

冬季低温气候会直接改变混凝土各类原材料的物理状态，露天堆放的骨料温度持续走低，拌合用水温度达不到施工常规要求，各类物料自身活性会出现明显衰减。低温条件下物料融合效率大幅下降，搅拌作业过程中粉料、骨料与水体无法充分交融。混凝土混合料的和易性与保水性能持续下降，整体拌合均匀度难以达到施工标准。常规拌合工艺无法适配低温施工工况，混合料内部极易出现组分分布不均、局部干料聚集、浆料包裹不充分的情况[1]。这类拌合缺陷不会在物料出料阶段直观显现，会潜藏于混凝土结构内部，给后续浇筑成型、固化硬化作业埋下不可逆的质量隐患。

1.2 低温浇筑成型施工难题

露天低温工况会压缩混凝土有效施工窗口期，拌合完成的混合料转运至作业面后，温度会快速散失衰减。表层浆料固化速度加快，过早出现初凝结壳现象，干扰正常浇筑作业推进。大面积分层浇筑施工中，上下浇筑层间隔时间难以精准把控，下层浆料固化后再开展上层浇筑，会造成层间结合松散、粘结强度不足的问题，破坏混凝土结构整体完整性。低温环境会提升振捣作业的操作难度，人工振捣作业难以把控深度与频次，局部区域振捣不到位会留存大量内部空隙与疏松夹层，让混凝土成型质量存在明显缺陷。

1.3 低温固化结构发育弊端

混凝土结构强度生成完全依托内部水化反应推进，环境温度持续走低会大幅抑制水化反应推进速度。整体固化进程出现明显滞后，结构强度增长速率持续放缓，固化成型所需周期大幅延长。施工完成后的混凝土构件，短期内无法形成稳定的承载能力，无法满足工序衔接的施工要求。低温长期作用下，混凝土内部水化产物生成无序、排布杂乱，结构内部密实度大幅降低。微观层面会滋生大量细微裂隙，这类裂隙会持续拓展延伸，逐步降低混凝土结构的整体性与稳定性，影响水工构筑物长期服役质量。

1.4 冬季施工环境干扰问题

水利工程多为露天作业，冬季施工常会遭遇大风、霜冻、雨雪等复杂天气影响。低温气流持续冲刷作业面，会加速表层混凝土水分蒸发与冻结速度，表层结构固化状态与内部结构形成明显差异。施工场地气温波动幅度较大，昼夜温差变化无规律，无法为混凝土固化提供稳定的环境条件。天气因素会持续干扰浇筑、振捣、固化全流程施工环节，让混凝土成型质量出现不规则波动，大幅提升水工混凝土施工质量失控的风险。

2 冬季低温混凝土施工养护常见隐患

2.1 保温养护措施落实疏漏

冬季混凝土保温养护作业普遍存在覆盖范围不完整的问题，施工人员多重点覆盖构件平面主体区域，对边角、拼接接缝、竖向立面等特殊薄弱部位重视程度不足。这类位置暴露在外的面积较小，却极易受低温气流侵蚀，成为保温防护的空白区域。保温材料铺设作业较

为粗放，材料之间搭接长度不足，层间留存大量空隙，材料表层破损、松脱问题得不到及时处理。封闭保温防护体系难以有效成型，外部低温气流能够持续侵入结构表层。多数施工现场未固化保温防护时间标准，混凝土浇筑收尾后，防护作业存在延迟滞后的情况[2]。裸露结构表层温度快速下降，低温冻害会直接损伤未完全硬化的混凝土结构表层。

2.2 保湿养护作业不规范

低温环境下的混凝土保湿养护有着特殊工况要求，常规常温养护模式无法适配冬季施工条件。现场保湿作业节奏缺乏科学规划，洒水养护的水体温度未根据环境温度进行调整，喷洒间隔时长没有结合气温变化合理调控。水量补给过多会在结构表面积聚积水，低温环境下凝结成冰层，干扰结构正常硬化进程。水量补给不足则会加速表层水分流失，引发混凝土表层起皮、干裂等质量问题。养护采用的覆盖材料储水、保水性能有限，露天大风天气会加速表层水分挥发。结构表层水化反应得不到充足水分支撑，硬化成型效果不均匀，慢慢形成表层松散、细微龟裂等永久性病害。

2.3 温控养护动态管控缺失

混凝土养护阶段的温度监测工作存在明显短板，温度巡查多采取间断式抽查模式，无法全程追踪结构内部与表层的温度变化趋势。现场养护方式长期保持固定模式，不会根据昼夜温差起伏、雨雪天气更替及时调整管控手段。结构内部水化放热、表层低温散热形成明显温差，温度失衡问题长期得不到处置。结构降温阶段缺少精细化管控手段，降温过程放任自流，温度下降速度无法受控。突发降温、寒潮天气会造成结构温度骤变，混凝土内部产生不均匀温度应力。应力持续累积会突破结构表层抗拉极限，逐步生成贯通性细微裂缝，破坏结构完整性。

2.4 养护周期工序管控漏洞

冬季混凝土养护工序执行缺乏严格约束，整体作业开展主观性较强。部分施工班组为压缩工期，提前终止养护作业，或是相邻养护工序间隔时间过长，中断结构固化的连续条件。不同浇筑批次、不同结构部位的养护标准没有针对性区分，部分薄弱结构养护时长达不到施工要求。养护全过程缺少配套防护手段，风雪侵袭、人为扰动、杂物堆积等外界干扰无法有效规避。结构固化成型的稳定环境遭到破坏，强度生长节奏紊乱，最终拉低整体施工成型质量，留存多项隐蔽性结构隐患。

3 冬季低温混凝土专项施工与养护技术

3.1 低温拌合预处理技术

冬季低温环境会大幅降低混凝土原材料活性，物料初始温度不足会直接影响拌合质量。施工前期需针对骨料、拌合水开展专项预处理作业，通过科学温控手段提升物料整体温度，唤醒原材料物理活性。结合冬季施工工况调整传统拌合流程，重新规划物料投放顺序，适度调整整体拌合时长。让粉料、骨料与水体能够充分交融渗透，消除混合料局部干料聚集、组分分散的问题。科学的预处理工艺可以有效改善低温状态下混合料的和易性与稳定性，减少物料离析、结块等常见问题，为后续浇筑、振捣及固化成型作业提供优质物料基础，从源头规避拌合缺陷引发的施工隐患[3]。

3.2 低温浇筑精细化施工技术

冬季户外气温波动复杂，需结合每日气温变化规划浇筑施工时段，优先选择温度相对稳定的时间段开展作业，规避极端低温、强风及雨雪天气带来的施工干扰。落实分层浇筑、分层振捣的精细化施工标准，严格把控每一层浇筑厚度，划定规范振捣作业范围。消除振捣盲区，保障上下浇筑层粘结紧密、成型连贯。优化现场物料转运与输送工艺，缩短物料露天转运时长，减少拌合料热量流失。维持浇筑作业过程中的物料温度稳定，保障混凝土入模状态达标，助力结构整体成型密实、形态规整，筑牢低温施工阶段的结构成型质量基础。

3.3 分区保温保湿养护技术

水工混凝土构件形态复杂，不同结构区域受环境影响程度存在差异，统一养护模式无法适配冬季施工需求。可依据构件结构样式、作业面位置、露天暴露条件划分养护区域，推行差异化养护方案。针对平面板面、竖向立面、边角节点等易受冻害的特殊部位，针对性铺设保温保湿材料，彻底消除养护覆盖盲区。结合低温气候特征调整保湿作业模式，合理规划补水方式与作业频次，规避低温洒水结冰风险。稳定维持混凝土表层湿度环境，保障结构内部水化反应持续推进，避免表层失水干裂、固化不均等养护病害出现。

3.4 温度梯度可控养护技术

混凝土固化阶段的温差变化是诱发结构裂缝的核心因素，需针对性落实温差管控养护手段。持续监测结构内部与表层温度变化，精准把控升温、降温全过程节奏。通过增减保温覆盖层数、调节局部通风条件等方式干预结构温度变化状态，平缓整体温度梯度。削弱温差产生的结构应力，减少应力集中带来的结构损伤。严控养护后期降温节奏，放缓整体降温速度，保持结构温度平稳回落。杜绝温度骤升骤降引发的微观裂隙与表层裂缝，让混凝土结构能够平稳完成固化发育过程，维持结构整体完整性与稳定性。

4 冬季低温混凝土施工养护全过程管控体系

4.1 施工前置筹备管控

冬季低温施工正式启动前，需要完成专项施工方案的细化优化工作。充分结合场地冬季气候变化规律、现场施工工况，细化拌合处理、浇筑作业、后期养护等各施工环节的专项技术要求。提前统筹调配冬季施工所需的保温、保湿、测温各类设备与耗材，全面排查施工场地防寒、防风、防冻配套设施的完好状态。针对一线作业人员开展专项技术交底工作，清晰传递低温环境下施工与养护的作业标准、操作重点与管控要点[4]。从施工源头规范作业行为，提前规避低温环境易产生的各类施工隐患，为现场标准化施工筑牢前置保障条件。

4.2 施工过程动态管控

冬季施工现场环境始终处于动态变化状态，固定管控模式难以适配复杂低温工况。需针对混凝土拌合、物料输送、现场浇筑等全施工流程落实低温专项管控举措，持续约束现场作业行为。重点关注低温环境下易出现质量问题的施工环节，及时整改现场粗放作业、工序衔接拖沓、工艺落实不到位等不规范施工行为。结合每日气温波动、大风雨雪等天气变化灵活调整施工推进节奏，合理调整工序排布方式。让各项施工作业模式适配当下低温环境特征，弱化气候波动对混凝土拌合状态、入模温度、浇筑成型的不利影响。持续稳定现场施工状态，减少外界环境干扰带来的质量波动，维持混凝土成型质量的稳定性。

4.3 养护阶段专项管控

养护阶段是低温混凝土结构稳定固化的关键阶段，常态化巡查管控能够及时排查各类养护漏洞。建立常态化现场巡查机制，对保温布设、湿度维持、温度调控等养护工作开展持续性监督。定期检查结构表层保温覆盖完整程度、作业区域温湿度稳定状态以及养护工序开展的连续程度。发现保温材料破损、覆盖空缺、保湿效果不足等问题及时开展修补作业，结合昼夜气温变化灵活调整养护作业节奏与频次。根据构件结构形态、浇筑施工批次、露天暴露环境的差异区分养护重点，推行针对性管控模式。杜绝局部养护缺位、工序落实不到位引发的表层冻害、结构开裂、强度不足等质量缺陷。

4.4 施工养护工艺标准化管控

梳理冬季混凝土施工与养护全流程作业内容，建立统一规范的成套工艺执行标准，规整各工序的实操流程与作业细则。汇总低温施工场景下高频出现的质量问题，针对工艺短板与作业漏洞开展细节优化，彻底摒弃传统粗放式的施工模式。细化温度监测、保湿养护、防寒防护等关键工序的操作尺度，减少人为操作失误带来的施工偏差[5]。通过规范化的工艺约束，搭建适配冬季低温工况的成熟作业体系，稳定提升低温环境下混凝土施工养护的整体质量水平。

结束语

低温环境对混凝土拌合、浇筑、固化及养护环节均存在明显负面影响，养护措施粗放、温控管理缺失、工序管控不严都会产生各类结构性隐患。针对性运用低温拌合预处理、精细化浇筑、分区养护及梯度温控技术，能够有效化解冬季施工存在的质量短板。完善前置筹备、过程监督、养护专项管控的标准化体系，可以规范现场作业行为，减少低温病害滋生，持续提升水利工程冬季混凝土施工的整体品质。

参考文献

[1]李鹏.水利工程冬季混凝土施工的质量控制方法分析[J].建材发展导向,2026,24(8):31-33.

[2]何庆辉.高抗冻早强混凝土在水利工程冬季施工中的配制技术与性能研究[J].工程与建设,2026,40(2):358-360,364.

[3]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.

[4]徐盼盼,姜凤群,赵珂.水利工程冬季施工技术难点与应对措施[J].水上安全,2026(1):175-177.

[5]孙路文,范志坤,刘鹏,等.高寒地区水利工程冬季施工关键技术探究[J].价值工程,2026,45(12):96-98.