水工结构大体积混凝土施工温控管理措施研究

祝健康
河北省水利工程局集团有限公司　河北　石家庄　050000

摘　要：水工大体积混凝土施工易受环境与结构特性影响，温度应力失衡极易引发结构损伤，影响水工构筑物的成型质量与服役稳定性。本文结合水工施工临水露天的复杂工况，系统梳理混凝土温度生成、集聚与消散的动态规律，剖析温度形变的作用特征与阶段性温控特点。依托多类温控技术搭建全流程管控架构，布设分阶段管理制度与动态监测机制，从工艺适配、流程细化、场景拓展、体系迭代多个维度优化管控模式，可为水工大体积混凝土施工质量管控提供稳定的技术与管理支撑。

关键词：水工结构；大体积混凝土；水化热；温控技术；施工管理

引言：大体积混凝土是现代水工枢纽、闸站、坝体等核心构筑物的主要施工材料，结构整体稳定性直接决定水利工程的运行质量。水工施工场景环境复杂，温湿度波动、临水换热等外界条件，极易造成混凝土内部热量集聚不均，诱发温差形变与微裂隙发育。传统粗放的施工管控模式难以适配精细化温控施工要求，无法妥善处理多场景下的温度失衡问题。完善温控技术体系、搭建系统化管理模式，能够有效规范混凝土硬化全过程温度状态，提升水工结构施工的整体稳定性。

1 水工大体积混凝土温度变化规律与温控特征

1.1 大体积混凝土温度产生与释放机制

水工结构所用混凝土具备胶凝材料用量大、整体浇筑体量高的固有特点，材料内部胶凝组分发生水化反应的过程中，会持续释放热能。热量会在混凝土结构内部逐步集聚，形成稳定的升温趋势。厚重的结构体表层可以与外界空气、施工环境发生热交换，实现热量的自然散失。结构深层区域处于相对密闭状态，散热通道狭窄，热量难以快速向外扩散。内外散热条件的不均衡状态，让大体积混凝土形成独特的温升与温降节奏。内部热量长期滞留会拉高整体基体温度，外部环境持续带走表层热量，让结构体形成明显的温度梯度分布[1]。梳理热量产生、集聚、传导与散失的完整过程，可以精准把握大体积混凝土温度演变的底层规律，为后续温控工作提供理论支撑。

1.2 水工结构混凝土温度形变影响特征

混凝土材料会随温度波动产生对应的膨胀与收缩行为，温度变化幅度的不同，会让结构形变状态呈现明显差异。水工大体积混凝土结构厚度大、整体性强，内部与表层的温度变化速率存在明显差距，内外温差会催生不均匀形变状态。形变发展过程会在结构内部形成持续的温度应力，应力会随温度波动不断积累。结构内部应力数值达到材料耐受限度后，会诱发基体错位、微裂隙发育等结构性损伤。这类细微损伤会持续破坏混凝土结构的整体性，逐步削弱结构密实度与稳定性。厘清温度波动、结构形变与应力累积的内在联系，能够清晰认知温控干预在水工混凝土施工中的重要价值。

1.3 施工全周期温度变化动态规律

大体积混凝土从浇筑成型到完全硬化的完整进程，可依据结构状态划分为多个独立阶段。浇筑初期水化反应活跃度高，热量生成速度快，结构整体温度会快速攀升。凝固中期水化反应速率逐步放缓，产热总量持续下降，结构进入缓慢降温阶段。硬化后期水化反应基本终止，结构产热行为消失，整体温度逐步趋近于周边环境温度。施工场地的气候条件、结构设计体量、原材料物理属性，都会对各阶段温度变化速率产生不同程度的干预。不同施工阶段的温度演变特征具备显著差异，阶段性温度变化特点构成了混凝土全周期温度演变的完整体系。

1.4 水工场景温控管理专属特征

水工混凝土结构多布置于临水区域，长期处于水体与露天环境的双重作用下，施工与服役场景相较于普通建筑工程更为复杂。水域环境具备稳定的换热能力，水体温度会持续对混凝土表层温度产生调节作用。露天工况下的气温波动、湿度变化、风力作用，也会持续干扰结构表层的散热效率。多重环境因素的叠加影响，让水工大体积混凝土的温度场变化更具不确定性。水工结构整体体量庞大、浇筑连续性强，温度集聚效应更为突出，温控管控的难度与标准远超常规混凝土工程。这些特殊工况条件，构成了水工场景温控管理的独有特点，也对施工温控工作提出更高的管控标准。

2 水工大体积混凝土施工温控关键技术体系

2.1 原材料温控适配处理技术

混凝土拌合原料的初始温度状态，会直接干扰水化反应的产热效率，是影响整体结构温度变化的前置因素。该项技术针对胶凝材料、粗细骨料、拌合用水等核心原料开展专项温控管控。对各类原料存放空间进行规整处理，隔绝外界极端温度带来的干扰，维持原料相对稳定的初始温度状态。结合不同材料的热学特性选用对应的预处理方式，调整原料入机前的温度状态。合理排布各类材料的拌合时序，弱化不同原料温度差异带来的拌合温度波动[2]。通过多维度的源头管控，缓解水化反应集中放热现象，削弱结构内部热量快速堆积的问题，为后续施工温控创造稳定的基础条件。

2.2 拌合与浇筑过程温控调控技术

拌合阶段的工艺参数把控，能够有效稳定混凝土出料温度，减少前期温度异常隐患。优化拌合时长与拌合节奏，规范施工场地作业环境，调整各类物料的投料次序，规避单一物料集中投入引发的拌合温度波动。稳定成品混凝土的整体温度状态，保障出料温度维持在合理区间。结合水工大体积结构的施工特性，优化分层、分块的浇筑施工模式。科学排布各区块的浇筑间隔时长，理顺整体施工推进节奏，分散单次作业的浇筑体量。这类工艺调整可以规避大面积连续作业引发的热量聚集问题，让结构内部热量生成更加平缓，降低瞬时温升带来的温控压力。

2.3 结构内部散热导温技术

大体积混凝土内部空间密闭，自然散热效率偏低，热量长期滞留会造成内部温度居高不下。内部散热导温技术通过预埋输水管道、内置散热构件等方式，在结构深层搭建规整的散热通路。结合水工结构实际厚度与整体体量形态，规划散热构件的布设密度与布设位置，适配不同区域的蓄热特点。人工搭建的传导路径可以引导内部蓄积热量有序向外输送，加快深层热量的释放速度。持续疏导结构内部高温区域的热量，逐步缩小结构体内部与表层的温度差距，平衡整体温度场的分布格局，减少温差应力持续积聚的情况。

2.4 外部保温蓄温防护技术

水工施工现场长期处于临水、露天的复杂环境，外界气候波动会持续扰动混凝土表层温度。外部保温蓄温防护技术可以适配多变的施工环境，针对性开展表层温度防护。选用适配水工场景的保温材料完成表层覆盖封闭，阻隔外界气流、干湿交替带来的温度冲击。通过现场围挡、局部封闭等防护手段，弱化极端气温波动对结构表层的影响速率。缓慢降低表层热量散失速度，让结构表层温降过程更加平缓。稳定的表层温度状态可以缩减内外结构的温度梯度，减少温差形变产生的结构应力，保障混凝土结构在硬化成型阶段的整体稳定性。

3 水工大体积混凝土温控施工管理体系构建

3.1 全流程温控管理总体架构

水工大体积混凝土温度变化贯穿施工全部阶段，单一环节的管控手段无法满足整体结构的温控需求。依托工程施工完整运转链路，搭建覆盖前期筹备、现场施工、后期养护的一体化温控管理架构。梳理温度管控涉及的各项作业内容，规整各环节的实施逻辑与推进脉络。架构搭建跳出局部管控的单一思维，对温控资源、作业流程与管控方式进行整体统筹。完整的管理框架可以串联各个施工节点，填补阶段衔接中容易出现的管控空白，让温度管控工作形成连续、完整的实施体系，为精细化温控作业提供稳定的框架支撑[3]。

3.2 分阶段温控管理制度布设

混凝土在浇筑、凝固、硬化的不同阶段，水化反应活跃度与温度演变节奏存在明显区别。按照各阶段温度变化的固有规律，设置针对性的管控制度与作业细则。梳理不同施工阶段的温控核心要点，明确各阶段需要重点把控的施工环节与温度状态。细化各工序对应的操作规范与执行标准，对阶段内的施工行为形成有效约束。分层细化的管理制度，可以适配温度动态演变的实际特征，规避统一管控模式带来的适配性不足问题，让温度管控举措匹配结构硬化的真实进程，实现全周期精准管控。

3.3 温控监测与动态管控机制

稳定的监测体系是掌握结构温度状态、落实精准温控的重要基础。结合水工结构体量特征与临水施工环境，布设科学合理的温度监测点位，覆盖结构表层、内部核心及应力集中区域。规范现场数据采集频次与信息归集方式，持续捕捉结构温度的动态变化情况。依托实时更新的监测数据，判别当前温度场的分布状态与温升降幅趋势。根据结构温度波动情况调整对应的温控手段与防护方式，灵活优化施工管控策略。整套运行模式可以实现温度状态的实时把控与动态调整，形成闭环式温控管理运行机制。

3.4 多维度施工协同管理模式

大体积混凝土温控工作涉及多个施工板块，单一维度的管理方式难以覆盖全部作业内容。整合材料管控、现场施工、养护防护、监测运维等关键作业板块，构建多维度协同管理模式。梳理不同作业板块的温控作业流程，理顺板块之间的工序衔接关系，完善各环节的过渡管控内容。统一现场温控作业的执行标准，规范各岗位

对应的管控职责。消除工序交接过程中容易出现的管理脱节与流程断层问题，强化整体施工体系的温控执行能力，保障各类温控措施可以稳定、连贯地落地实施。

4 水工大体积混凝土温控管理优化与提升路径

4.1 温控工艺适配性优化路径

水工施工现场环境复杂多变，传统固定模式的温控工艺难以适配各类特殊工况的施工要求，容易出现温控措施落地效果不佳的情况。针对原材料处理、现场浇筑、内部散热、外部保温等关键施工环节，开展专项工艺优化调整。结合水工结构不同体量规格、不同结构形态以及场地环境差异，改动各类温控工艺的实施细节。根据厚大结构、异形结构、狭长结构的施工特点，调整散热布设方式与保温防护强度。针对露天风沙、水域换热、昼夜温差较大的特殊施工环境，优化原料预处理方式与现场浇筑管控流程[4]。通过针对性的工艺调整，化解传统温控工艺通用性过强、针对性不足的问题，逐步提升各类温控手段对水工复杂施工场景的适配能力，让工艺措施可以精准匹配现场施工的实际工况。

4.2 温控管理流程精细化优化

传统温控管理模式偏向粗放化管控，流程划分较为笼统，作业细节把控不足，容易滋生管控漏洞。对混凝土施工全周期温控管理流程进行细化梳理，逐项排查工序衔接阶段存在的短板问题与管理盲区。重新规整各施工环节的作业时序，明确每一项温控作业的操作标准与执行流程。细化温度监测的布设细则与数据管控要求，规范工艺调整的触发条件与实施步骤，完善养护阶段的分级管控内容。细化落地每一处管控细节，压缩粗放式管理带来的管控偏差，补齐流程运行中的薄弱环节。逐步转变传统粗放的管理模式，构建标准化、细节化的温控管理运行模式，提升整体管控的严谨程度与实施质量。

4.3 多场景温控管控模式拓展

现有温控管理体系多针对常规水工施工场景搭建，对特殊结构、特殊场地的覆盖能力有限。在成熟温控体系的基础上，推进管控模式的场景化拓展，适配多样化水工结构的施工需求。结合坝体、闸室、泵站基础等不同大体积水工结构的构造特点，调整温控管控的侧重点与实施方式。根据结构厚度差异、受力特征、硬化规律制定差异化的管控方案。针对临水潮湿、高空通风、露天暴晒等不同施工环境，调整监测布设密度、散热节奏与保温防护形式。丰富温控体系的管控手段，补齐特殊场景的管控短板，扩大温控管理体系的适用范围，满足现代水工工程多样化的施工管控需求。

4.4 温控管理体系长效完善方式

水工工程施工工况、场地环境、结构设计会随项目推进持续产生变化，固定不变的管控体系难以长期适配工程建设需求。依据施工现场动态变化的实际特征，持续更新温控作业的执行标准与工艺规范，适配全新的施工条件与结构特性。吸纳行业精细化施工与智能化管控的先进思路，改造传统温控监测与调控方式。优化现有管理架构的运行机制，调整各作业板块的管理衔接流程，补齐体系运行中的滞后环节。持续迭代温控管控模式，完善监测、调控、养护、管理全链条运行体系，让整套温控管理架构始终适配行业发展趋势与工程建设标准，实现管控体系的持续性升级与长效稳定运行。

结束语

水工大体积混凝土温度变化具备明显的阶段性与场景化特征，复杂的施工环境进一步增加温控施工的管控难度。通过梳理混凝土温度演变规律与水工专属温控特点，整合源头处理、浇筑调控、内外散热防护等多项温控技术，搭建全周期、多协同的温控施工管理体系。持续优化温控工艺适配性与管理精细化程度，拓宽管控场景覆盖范围并迭代完善管理机制，能够有效改善混凝土温控施工质量，保障水工结构施工成型后的整体性与稳定性。

参考文献

[1]王立坤.水工大体积混凝土温度场分析与温控防裂措施研究[J].浙江水利水电学院学报,2026,38(2):52-58.

[2]赵飞,方禹.水工结构大体积混凝土温度监测及浇筑施工技术分析[J].工程与建设,2023,37(2):739-742,775.

[3]田浩,张琪,王腾飞.基于智能温控系统的水利工程大体积混凝土施工温控防裂技术优化[J].水泥,2026(6):108-110.

[4]黄贤斌.水工构筑物大体积混凝土施工温控措施[J].中国水运,2023(4):140-142.