

# 大体积混凝土水利坝体温控防裂施工措施

劳晓婷

桐乡市经纬水利工程有限公司 浙江 嘉兴 314500

**摘要：**大体积混凝土水利坝体因水化热积聚易产生温度裂缝，威胁结构安全。本文系统研究了温度应力形成机理，提出了涵盖原材料优选、配合比优化、施工期温控及应急处置的综合防裂技术体系。重点阐述了通水冷却、表面保温养护及全过程监测反馈等关键技术，旨在通过“控温、减应力、强抗裂”的协同作用，有效预防裂缝产生，为类似工程提供技术参考。

**关键词：**大体积混凝土；水利坝体；温度应力；温控防裂；施工措施

引言：大体积混凝土在水利坝体施工中广泛应用，但其内部水化热难以散发，易导致显著的温度梯度与应力，进而引发裂缝。这些裂缝不仅损害坝体的完整性与耐久性，还可能影响其防渗与承载功能。因此，探究温度裂缝的形成机理，并采取科学有效的温控防裂措施，是确保大体积混凝土坝体施工质量与长期安全运行的核心课题，具有重要的工程实践意义。

## 1 大体积混凝土温度裂缝形成机理

### 1.1 温度应力产生原因

大体积混凝土温度应力的产生，核心是混凝土浇筑后内部水化热释放与表面散热速率失衡，以及约束条件下温度变形无法自由释放。混凝土浇筑后，水泥水化反应会持续释放大量热量，由于坝体体积庞大、导热性能较差，热量难以快速散发，导致内部温度快速升高，形成高温区；而表面直接与空气接触，受环境温度、风速、湿度等影响，散热较快，温度上升缓慢，进而在混凝土内部与表面形成较大温度梯度<sup>[1]</sup>。同时，混凝土硬化过程中会产生体积收缩，且坝体底部与基岩连接、侧面受相邻结构约束，这种约束会限制混凝土因温度变化产生的伸缩变形，当变形受到的阻力超过混凝土自身抗拉强度时，就会产生温度应力，成为裂缝产生的根本动力。

### 1.2 温控防裂的核心问题

大体积混凝土温控防裂的核心问题，是控制混凝土温度梯度、减少温度应力，确保混凝土在硬化过程中变形自由，同时提升混凝土自身抗裂性能，实现“控温、减应力、强抗裂”的协同。首先，需控制混凝土内部最高温度与表面温度差，避免因温差过大产生过大温度应力，这是防止早期表面裂缝的关键；其次，要控制混凝土降温速率，避免降温过快导致体积收缩过快，产生收缩应力，防止裂缝延伸扩展；再者，需优化混凝土自身性能，提升其抗拉强度、韧性和抗裂性，增强其抵御温

度应力的能力；另外，建立完善的监测与反馈机制，实时掌握混凝土温度变化和应力分布，及时调整温控措施，避免裂缝产生和发展。核心目标是将温度应力控制在混凝土抗拉强度允许范围内，从根本上杜绝贯穿性裂缝，减少表面裂缝，保障坝体结构完整性和安全性。

## 2 水利坝体大体积混凝土温控防裂技术体系

### 2.1 原材料选择与配合比优化

原材料选择与配合比优化是温控防裂的基础，核心是降低水泥水化热、提升混凝土工作性能和抗裂能力。原材料选择上，优先选用低热矿渣水泥、火山灰质硅酸盐水泥等低热型水泥，减少水泥用量，从源头降低水化热释放；粗骨料选用级配良好、导热性能佳的碎石，细骨料选用洁净中砂，控制含泥量不超过规范要求，避免影响混凝土强度和抗裂性；掺加优质粉煤灰、矿渣粉等掺合料，替代部分水泥，不仅能降低水化热，还能改善混凝土和易性、密实度，提升抗渗和抗裂性能；选用高效缓凝型减水剂，延长混凝土凝结时间，减少坍落度损失，便于施工浇筑，同时延缓水化热释放速度，降低内部最高温度。配合比优化需兼顾强度、工作性和温控需求，合理确定水胶比、胶凝材料用量、骨料级配，在满足设计强度的前提下，最大限度降低水泥用量和水化热，确保混凝土具有良好的抗裂性能和耐久性。

### 2.2 施工期温度控制措施

施工期温度控制是温控防裂的关键环节，核心是控制混凝土出机、入仓、浇筑及硬化过程中的温度，减少温度梯度。首先，优化浇筑时间，避开高温时段，选择夜间或气温较低时段浇筑，降低环境温度对混凝土的影响；其次，对原材料进行预冷处理，对粗骨料进行洒水降温、遮阳覆盖，对拌合水进行制冷，必要时对水泥、掺合料进行降温，控制混凝土出机温度符合规范要求；入仓后采用分层浇筑、薄层浇筑，每层厚度控制在30-

50cm, 加快散热速度, 避免热量集中; 浇筑过程中采用平仓、振捣密实, 减少混凝土内部空隙, 提升导热性能; 浇筑完成后及时覆盖保温材料, 减少表面散热, 延缓降温速度, 控制内外温差不超过25℃。同时, 合理安排施工进度, 避免相邻浇筑块温差过大, 减少约束应力, 防止裂缝产生<sup>[2]</sup>。

### 2.3 监测与反馈系统

监测与反馈系统是温控防裂的重要保障, 核心是实时掌握混凝土温度变化、应力分布及变形情况, 为温控措施调整提供科学依据。监测内容主要包括混凝土内部温度、表面温度、环境温度、混凝土应变、裂缝发展情况等, 监测点布置需结合坝体结构、浇筑块大小和施工进度, 在浇筑块中心、表面、边缘及基岩接触面等关键部位合理布置, 确保监测数据全面、准确。采用自动化监测设备, 实现数据实时采集、传输和分析, 及时发现温度异常、应力超标等问题; 建立监测反馈机制, 安排专业人员对监测数据进行定期分析, 结合混凝土硬化进度和环境变化, 判断温控措施的有效性, 若出现温差过大、应力超标等情况, 及时调整保温养护、通水冷却等措施, 将温度和应力控制在允许范围内, 实现“监测-分析-反馈-调整”的闭环管理, 防止裂缝产生和发展。

### 2.4 应急处理措施

应急处理措施主要针对施工过程中突发的温度异常、裂缝萌生等情况, 核心是快速响应、及时处置, 防止裂缝进一步发展扩大, 保障坝体安全。当监测发现混凝土内外温差超标、降温速率过快时, 立即加强表面保温措施, 增加保温层厚度或覆盖层数, 减缓散热速度, 调整通水冷却参数, 降低降温速率; 若发现表面裂缝, 及时清理裂缝表面杂物、浮浆, 采用环氧砂浆、聚合物砂浆等材料进行封闭处理, 防止水分侵入; 若裂缝发展较快、深度较大, 及时采用压力灌浆、嵌缝封堵等措施, 填充裂缝, 恢复混凝土整体性和抗渗性。建立应急处置小组, 明确职责分工, 制定应急处置预案, 配备充足的应急物资和设备, 定期开展应急演练, 确保突发情况发生时能够快速、有效处置, 最大限度降低裂缝对坝体的危害。

## 3 坝体施工全过程温控防裂关键技术

### 3.1 混凝土出机口与入仓温度控制

混凝土出机口与入仓温度控制是温控防裂的事前关键环节, 核心是从源头控制混凝土温度, 为后续温控工作奠定基础。出机口温度控制主要通过原材料预冷和拌合工艺优化实现, 对骨料采用遮阳、洒水、通风降温, 必要时采用风冷、水冷方式, 将骨料温度控制在规

定范围; 拌合水采用制冷设备降温, 可加入碎冰降低水温, 确保拌合水温度符合要求; 水泥、掺合料储存于阴凉通风仓库, 避免阳光直射升温。拌合过程中, 合理安排拌合顺序, 延长拌合时间, 确保混凝土拌合均匀, 减少温度波动<sup>[3]</sup>。入仓温度控制重点是减少运输和浇筑过程中的温度回升, 运输车辆采用保温车厢, 避免阳光直射和风吹日晒; 浇筑现场搭设遮阳棚, 减少环境高温对混凝土的影响; 入仓前对浇筑仓面进行洒水降温, 降低仓面温度, 入仓后及时平仓振捣, 缩短混凝土暴露时间, 确保入仓温度不超过设计限值, 从源头减少温度应力产生的可能性。

### 3.2 科学分层分块与浇筑工艺

科学分层分块与浇筑工艺是控制混凝土内部热量散发、减少温度梯度的关键, 核心是通过合理划分浇筑块和分层厚度, 加快散热, 避免热量集中。分层分块需结合坝体结构尺寸、施工设备能力和温控要求, 采用“分层浇筑、分层碾压、逐层上升”的方式, 浇筑块尺寸不宜过大, 一般控制在10-15m, 分层厚度控制在30-50cm, 确保混凝土热量能够快速散发, 减少内部高温积聚。浇筑工艺上, 采用平仓机平仓、插入式振捣器振捣, 振捣要密实, 避免出现蜂窝、麻面等缺陷, 同时减少振捣过程中产生的热量; 相邻浇筑块之间设置施工缝, 施工缝处理要规范, 清除表面浮浆、杂物, 铺设水泥浆或界面剂, 确保结合紧密, 减少约束应力。

### 3.3 通水冷却降温技术

通水冷却降温技术是大体积混凝土温控防裂的核心措施, 核心是通过在混凝土内部铺设冷却水管, 通入冷却水, 强制带走混凝土内部水化热, 控制内部最高温度, 减少内外温差和降温速率。冷却水管采用耐高温、耐腐蚀的塑料或钢管, 按梅花形或矩形布置, 布置密度根据浇筑块尺寸、温控要求确定, 确保冷却均匀。通水冷却分为初期、中期和后期三个阶段: 初期通水主要是降低混凝土内部最高温度, 通水时间从浇筑完成后12-24小时开始, 持续3-7天, 控制冷却水温度与混凝土内部温度差不超过25℃; 中期通水主要是控制降温速率, 避免降温过快产生收缩应力, 持续10-15天, 逐步降低冷却水温度; 后期通水主要是使混凝土温度缓慢降至环境温度, 确保温度稳定, 避免温度反弹。通水过程中, 实时监测冷却水进出口温度和混凝土内部温度, 及时调整通水流量和水温, 确保降温效果, 实现温度精准控制。

### 3.4 表面保温与养护

表面保温与养护是防止混凝土表面降温过快、产生表面裂缝的关键措施, 核心是减少混凝土表面散热, 维

持表面温度稳定,缩小内外温差,同时促进混凝土强度增长和水化反应充分进行。混凝土浇筑完成后,及时覆盖保温材料,优先选用保温性能好、吸水率低、便于施工的材料,如保温被、岩棉被、塑料薄膜等,覆盖要严密,避免出现漏盖、空鼓等情况,确保表面温度缓慢下降。养护过程中,控制环境湿度,定期洒水保湿,避免混凝土表面干燥开裂,养护时间不少于14天,对于大体积混凝土,养护时间可延长至28天以上。同时,根据环境温度变化调整保温措施,高温天气适当减少保温层厚度,低温天气增加保温层厚度,避免表面温度骤升骤降,确保混凝土内外温差控制在 $25^{\circ}\text{C}$ 以内,防止表面裂缝萌生和延伸。

#### 4 温控防裂施工管理措施

##### 4.1 组织管理

组织管理是温控防裂工作有序开展保障,核心是建立健全管理体系,明确职责分工,确保各项温控措施落实到位。成立温控防裂专项管理小组,由项目经理担任组长,技术负责人、质量负责人、施工班组长为成员,明确各成员职责:项目经理统筹全局,负责温控工作的整体部署和资源调配;技术负责人负责制定温控方案、技术交底和现场指导;质量负责人负责温控措施的质量检查和监测数据审核;施工班组长负责现场温控措施的具体实施。建立完善的管理制度,包括温控技术交底制度、监测管理制度、质量检查制度、应急处置制度等,定期召开温控工作会议,分析监测数据,解决施工过程中出现的问题。加强人员培训,对施工人员进行温控技术和操作规范培训,提高专业能力,确保各项温控措施规范执行。

##### 4.2 质量控制

质量控制是温控防裂的核心要求,核心是对原材料、配合比、施工过程、监测数据等进行全过程管控,确保温控措施有效落实。原材料质量控制方面,严格检验水泥、骨料、掺合料、外加剂等原材料的性能指标,不合格材料严禁进场;配合比控制方面,严格按照优化后的配合比进行拌合,定期检测混凝土坍落度、出机温度、入仓温度,确保符合设计要求;施工过程控制方面,严格控制分层分块尺寸、浇筑厚度、振捣质量和保温养护措施,加强施工缝处理质量检查,避免出现施工

缺陷;监测数据控制方面,定期校准监测设备,确保监测数据准确可靠,对异常数据及时分析处理,调整温控措施<sup>[4]</sup>。同时建立质量追溯体系,对每一批次混凝土、每一个浇筑块的温控情况进行记录,便于后续检查和追溯,确保温控质量符合规范要求。

##### 4.3 风险管理

风险管理是温控防裂工作的重要组成部分,核心是识别施工过程中的温控风险,制定防范措施,降低风险损失。首先,进行风险识别,结合坝体结构、施工环境、温控措施等,识别可能出现的风险,主要包括温度应力超标、裂缝萌生、监测数据异常、应急处置不及时等;其次,进行风险评估,分析各类风险的发生概率和影响程度,划分风险等级,重点关注高风险环节;然后,制定风险防范措施,针对不同等级的风险,制定相应的防范方案,如加强原材料质量控制、优化温控措施、完善监测系统、加强人员培训等,降低风险发生概率;最后,建立风险预警和处置机制,对监测数据进行实时监控,当出现风险预警信号时,及时启动应急处置措施,快速处置风险,最大限度降低风险对坝体温控防裂的影响,确保施工安全和坝体质量。

##### 结束语

综上所述,大体积混凝土水利坝体的温控防裂是一项涉及材料、工艺、监测与管理的系统性工程。通过优化配合比、实施科学的通水冷却与保温养护、建立实时监测反馈机制,能有效控制温度应力,预防裂缝产生。严格的施工管理与风险管控是措施落实的保障。只有全过程协同控制,才能确保坝体结构的完整性与安全性。

##### 参考文献

- [1]李柯.重力坝大体积混凝土温控防裂施工技术研究[J].水泥,2025(7):140-142.
- [2]王南,周怿阳,程伟科,等.寒冷地区抽水蓄能电站混凝土重力坝温控防裂研究[J].水电能源科学,2025,43(10):129-134.
- [3]刘天鹏,赵宇江,刘佳,等.大藤峡水利枢纽大坝混凝土温控参数敏感性分析[J].水利科技与经济,2023,29(4):130-134.
- [4]谷振东.黄金峡水利枢纽表孔坝段混凝土温控仿真分析[J].水利规划与设计,2021(12):113-117.