

# Crack control in concrete pouring construction of water conservancy projects

Bin Lou

Yunnan Energy Investment Group, Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

The pouring of large-volume concrete structures in water conservancy projects is prone to cracking due to factors such as temperature gradients, shrinkage deformation, and improper construction crack treatment, which significantly compromise structural durability and safety. Taking the actual construction of the underground powerhouse concrete at Nuozhadu Hydropower Station as a case study, this paper analyzes the causes of construction cracks and proposes control strategies including optimizing mix proportions, establishing multi-stage temperature control systems, standardizing construction joint treatment, and enhancing early curing. These measures aim to provide technical references and practical experience for similar concrete construction projects in water conservancy engineering.

## Keywords

water conservancy projects; concrete pouring; construction cracks; control

## 水利工程混凝土浇筑施工裂缝控制

娄彬

云南省能源投资集团, 中国·云南昆明 650000

## 摘要

水利工程中大体积混凝土结构的浇筑, 由于受到温度梯度、收缩变形、施工裂缝处理不正确等因素影响, 极易出现裂缝, 使得结构的耐久性和安全性受到影响。基于此, 下文以糯扎渡水电站地下厂房混凝土的实际施工情况为例, 对其施工裂缝产生原因进行分析, 并提出优化配合比、建立多级温控体系、规范施工缝处理和加强早期养护等控制策略, 希望能为同类型水利工程混凝土施工提供相应的技术参考及实践经验。

## 关键词

水利工程; 混凝土浇筑; 施工裂缝; 控制

## 1 引言

通常情况下水利工程中混凝土结构都具有体量大、结构空间受限、硬化过程中产生水化热放能等特征, 因此裂缝控制是其施工质量控制的重点。裂缝的存在不但会降低混凝土的整体密实度、力学性能, 而且会加快结构的耐久劣化速度, 对工程安全造成威胁。糯扎渡水电站地下厂房是典型的大型水电工程大体积混凝土结构, 施工过程中对裂缝的防控尤为重要。

## 2 工程概括

糯扎渡水电站位于澜沧江中下游, 是我国西南地区重要的水利枢纽工程, 其地下厂房结构属于高应力、高围岩变

形环境, 混凝土浇筑体量大、结构复杂, 对裂缝控制要求极高。厂房主体结构采用 C30~C40 等级大体积抗渗混凝土, 结构形式包括主厂房机坑、配电层、排水廊道等, 施工环境温度高、通风散热差。

在施工初期, 地下厂房部分浇筑块段出现收缩裂缝与温度裂缝并存现象, 集中分布于底板与侧墙交接部位、端头施工缝附近及顶拱较厚部位, 部分裂缝贯穿构件截面, 暴露出温控系统、施工缝处理及材料匹配等方面的隐患。

## 3 水利工程混凝土浇筑施工裂缝形成原因

### 3.1 温差应力诱发热裂缝

糯扎渡水电站地下厂房大体积混凝土结构施工期间存在水化放热率高、结构封闭性强、通风散热条件差等特性, 使混凝土内部温度场变化剧烈。在初龄期内水水泥水化反应激烈, 释放大热量, 导致混凝土内部温度升高, 而外部边界因受冷岩体及外界环境温度影响较大, 降温速度要比混凝土内部快得多, 从而使混凝土截面内的内外温差较大, 形成显

【作者简介】娄彬 (1983-), 男, 中国云南石林人, 本科, 高级工程师, 从事地下硐室群开挖、支护、衬砌及大坝研究。

著的温度梯度。在这种情况下,由于混凝土结构的约束作用,混凝土内的温度梯度转变成混凝土内的内应力,并且随着温差继续加大,其内应力也随之增加,超过混凝土早期抗拉强度,易造成混凝土表面或表面附近的开裂。

例如厂房底板,块段厚度超过 2.5m,在一次性整体浇筑的情况下,内部温度峰值往往会超过 60℃,因为表层以及边缘部分降温较快,可以快速降低温度到 30℃以下,这样一来就会形成局部温度差达 30℃以上的情况。因为底部有坚硬的岩体加上表层收缩变形不均,容易产生热裂缝,出现纵向贯通且多呈条带状分布在冷却管布设处或结构薄弱点附近。另外,地下厂房结构中混凝土和钢筋或锚固件本身会发生热胀冷缩的现象,会使温控失衡导致热裂缝更加严重。

### 3.2 约束条件复杂引发收缩裂缝

糯扎渡水电站地下厂房混凝土结构在施工过程中所处的空间形态封闭、几何构造复杂,构件间连接刚度高,形成多向刚性约束体系,显著限制了混凝土的自由变形能力。该区域底板与侧墙、端墙、顶拱之间形成连续性整体结构,局部交接节点集中存在应力突变与应变约束双重影响,导致收缩应力难以释放,成为裂缝诱发的敏感区域。

在混凝土早期硬化阶段,随内部水分蒸发与自收缩作用增强,体积收缩行为逐步显现。当该收缩受邻近已硬化结构或岩体界面所阻碍,即产生较强的界面拉应力<sup>[1]</sup>。地下厂房结构中,墙角、牛腿、钢筋锚固区以及开孔构件处等均属于局部约束强化区域,尤其在施工缝交界面,因新旧混凝土模量差异及水化进度不同,极易出现应力集中现象,促使裂缝产生。此外,大体积结构中长期徐变引起的附加收缩变形进一步强化了这种不均匀应力场的累积效应。施工过程中,为适应施工进度安排,混凝土往往采取分层跳仓方式浇筑,层间施工缝及留缝部位形成垂直与水平交叉约束关系,混凝土在收缩时无法实现一致方向变形,导致内力不平衡。若此时配筋率配置不足或钢筋未合理分布于应力路径上,则更易形成微裂缝扩展通道,诱导显性收缩裂缝产生。该类裂缝常沿构件长向、交角处或边缘部位扩展,具有裂口细微但长度较长、深度不一的典型特征。

### 3.3 施工缝处理不当诱发界面裂缝

糯扎渡水电站地下厂房混凝土结构采用分块分层顺序施工方式,在高强度施工组织与大体积混凝土浇筑并行推进的背景下,不可避免地形成大量施工缝界面。这些界面处于结构应力传递路径上,若未实施规范化处理工艺,极易成为混凝土整体性薄弱点,诱发界面裂缝。由于地下厂房结构构件厚度大、浇筑周期长,部分施工缝滞后时间超过设计限定,混凝土强度及弹模差异扩大,加剧新旧混凝土间的不均匀变形,造成界面处拉剪应力集中。部分施工缝在后续施工中存在凿毛处理不彻底、界面浮浆未清理、施工缝面附着灰层或湿度不足等问题,致使界面结合性能下降,无法形成有效整

体。特别是在顶拱、侧墙交界区域,界面竖向荷载作用与自重产生的剪应力共同作用于施工缝,使原本应承载一体的结构面发生位移滑移,形成初始微裂缝。该类裂缝在后续结构加载过程中,极易沿缝扩展,演化为贯穿性或界面剥离型裂缝。

## 4 水利工程混凝土浇筑施工裂缝控制策略

### 4.1 优化配合比,降低水化热

要想防止混凝土在硬化初期产生的内部热量积聚,可以采取优化配合比设计降低水泥水化放热速率、调节整体水热耦合效应的方式来实现<sup>[2]</sup>。首先,采用中低热硅酸盐水泥作为主要胶凝材料掺合原料,发挥其 C<sub>3</sub>S 与 C<sub>3</sub>A 含量低、水化热释放速度慢等理化特征,在确保混凝土早期强度达标的基础上减少整体水化热。同时辅助使用活性较高的矿物掺合料,如粉煤灰、粒化高炉矿渣等通过潜在火山反应替代部分熟料组分以延缓放热高峰出现的时间和降低核心部位的升温速率、温差值。其次,考虑泵送和抗裂稳定的需要,可以采取 0.42 以下的水胶比方案,降低水耗,不但能够限制自由水挥发而引起的干缩,又避免毛细孔隙率高造成的开裂,从而提高结构密实度。再者,控制砂率在 38%~44% 区间,同时结合骨料级配来进行动态调节,确保骨浆界面均相包覆,体积稳定协同达到最优比值。此外,外加剂体系采用缓凝型高性能聚羧酸类减水剂与缓释型引气剂相结合,将水化启动时间延后,让水化过程更加均匀,避免出现温升集中的现象。最后,材料进场温度、拌和用水温度均须纳控,结合低温储料、冷水拌和、片冰掺入等方式,

确保初始投料温控闭环,为后续冷却降温措施预留调节余地,在源头上抑制热裂缝的出现。

### 4.2 构建多级温控体系,降低内外温差

在混凝土浇筑施工温度控制上,可搭建起事前—事—事后控温的分阶段、多因素、全闭合循环的温度控制体系,并将其应用于整个混凝土浇筑前/中/后的每个过程,保障混凝土内、外温度场演变过程稳定,减小由于热梯度效应造成的结构应力集中和裂缝产生。首先,事前控温以事前削弱为主,即采用优化施工组织设计,分层分块浇筑的方式代替原本的大体积块段成型,从而避免形成大面积的热场聚集。同时,掺入中低热水泥,加大掺入量矿物掺和料来平滑水泥水化热量释放的曲线,并且严格控制原材料入仓温度 ≤20℃,配合低温骨料及冷水拌和以降低混凝土投料时的初始温度。其次,事中控温以动态调温为手段,在各大体积构件中预埋闭环式的不锈钢冷却水管,并根据施工热力学参数分阶段对钢管进行通水冷却,使混凝土核心部位温升值控制在不大于 25℃。并且根据施工块体体积、形状的变化及时调整布置温控测点,保证每一块体测点覆盖率达 85% 以上,并建立温度的实时检测与实时反馈信息。工作人员根据测温数据实时调整通水流速与通水时间,依据热场仿真模拟

结果来确定高温时段通水流速和通水时间。此外,事后控制把重点放在温降缓释上,采取从外表面开始经过多层保温体系过渡到中间层和最里面一层的方式降温,采用工业棉毡加上一层塑料薄膜包覆的方式,配合表层人工定时洒水、高温养护措施来维持混凝土包面温湿度的稳定,避免表层冷却过快,以缓解表层和内部临界拉应力和压应力叠加导致的临界裂缝的形成。三个温控阶段形成前节限热、中段降温、末端缓冷的温度控制闭环,在复杂环境下起到控制热应力变化的作用,提高对整个浇筑区温度控制适应能力<sup>[1]</sup>。

#### 4.3 强化施工缝及结构接缝处理

针对糯扎渡水电站地下厂房混凝土结构施工缝、结构接缝处可能出现的界面裂缝,工作人员需全方位开展细致化处理工作,保证界面整体性与力学连续性。第一,要求工作人员切实根据规范要求,应用机械冲击式凿毛工艺处理施工缝,以凿毛后剩余凹凸深度刚好可以见到粗骨料表面为宜,让主界面结构表面既具有足够粗糙度又能够起到机械咬合的作用,提高后浇混凝土的界面锚固性能。在凿毛后立即采用高压水喷头将施工缝全程无死角冲洗干净,冲洗掉剩余附着在接触面上的浮浆以及浮土和油污。同时在浇筑前保持缝面湿润至饱和和表面干燥状态(SSD),防止吸水过快导致界面脱粘。第二,二次浇筑前应将施工缝两侧10cm范围内用PU高性能界面粘结剂或稠水泥浆均匀涂抹一遍,界面材料要具有良好的润湿性和较高粘结强度,并能形成有效化学键合层,使得新、旧混凝土间剪切、抗拉粘结强度提高。在厂房结构中出现的温差变形集中区域或构件交汇处,可在部件接缝处增加设置PVC可塑性止水带,以起到缓冲应力的作用。在接缝区域通过柔性可压缩止水带吸收由于热胀冷缩、干湿交替引起的微尺度变形差异,以减缓拉剪应力集中趋势,避免界面上出现因干缩导致的T型裂缝。

#### 4.4 优化施工节奏,控制浇筑速度与热累积

为了有效地控制大体积结构早龄期热量集聚导致的温度梯度应力及开裂问题,在施工组织上要进行施工组织节奏及浇筑工序节拍的科学统筹安排。底板和厚处要分层浇筑,层层限厚为1.5~2.0m,以控制热量释放速度,防止浇筑过厚出现深层的热滞效应;施工节奏采取“对称跳仓”的办法,即将施工段沿横向或纵向上做交错对称布置,避免同一时间、同一地点持续集中浇筑造成的结构内部温度场不均匀;尽量避免在高温下进行高强度施工,尽可能将时间错开安排在凌晨或晚上,并且调整上班时间避开日温高的时间

段,必要时根据情况可以调整工作班次实施昼夜错峰生产;各单元体体积大小应根据冷却设施的能力及外界环境温度情况相协调,保证其有充足的时间消散多余的热量。在连续施工时,应严格控制入仓时间间隔,避免不同的施工单元间因热传导不均而导致局部形成高热点。同时应对混凝土从运输到浇筑的全过程采取调温措施,避免因混凝土长时间的泵送和堆置出现的混凝土温度差异。

#### 4.5 加强早期养护与裂缝监测

在混凝土初凝时开始采取覆盖保温养护措施,利用多层复合的工业棉毡、塑料薄膜等对浇筑面进行包裹,并尽可能地控制水分蒸发的速度,以及控制混凝土表面温度的变化幅度,保证混凝土内部的水化反应能在一个比较好的环境中进行,养护时间不能少于14天。此外,在工程结构的转角节点处、施工缝以及应力集中部位设置保温围护,在局部形成一个小环境来抵消温度变化对温度的影响,在一定程度上能够预防温度变化产生的裂缝。与此同时,在结构关键受力点及疑似易裂区设置高灵敏度埋设式温度传感器与应变计以动态监测并连续采集混凝土内部温度与应变情况。经由有线或者是无线的方式将采集的数据信息传输到中控台上,依据动态的数据信息来进行调节养护参数的改动,如湿度补给频率、覆盖材料更换时机及冷却水流量分配,确保温湿场协调发展。该监测与养护闭环系统配合精细化管理措施,强化早期水化热控制及体积变形协调,降低微裂缝形成概率,提升混凝土整体耐久性和结构稳定性。

### 5 结语

水利工程混凝土施工裂缝控制是一项系统工程,需从材料配比、施工工艺及养护管理等多个层面同步推进。结合糯扎渡工程实践经验,建立温控体系、精细处理施工缝和开展动态监测,能有效缓解温差应力、收缩应力等问题,提高混凝土结构整体性能、使用安全性能。今后应不断完善裂缝预防技术,发展智能监控以及反馈调节等,保障水利工程质量与安全运行。

#### 参考文献

- [1] 朗正泽.水利工程施工中混凝土抗裂性能优化措施分析[J].工程技术研究,2025(9).
- [2] 尤晓烽,张晔,顾静艳,等.水利工程施工中混凝土裂缝防治的对策研究[J].工程设计与施工,2023,5(6):44-46.
- [3] 张亚孟,薛新鹏,张晓璐.水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].中国地名,2024(9):0151-0153.