

水电站混凝土裂缝施工成因及防治措施

付 强

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要:水电站混凝土结构易受材料、施工、环境及设计管理等因素影响产生裂缝,主要分为温度、收缩、沉降及工艺裂缝,集中出现在坝体、附属结构等关键部位。裂缝会破坏结构整体性、降低防渗能力与工程耐久性,严重威胁电站运行安全。本文系统梳理混凝土裂缝类型与分布特征,深入剖析各类裂缝施工成因,针对性提出材料管控、工艺规范、温控养护、全程监管等综合防治措施,为水电站混凝土施工质量防控提供参考。

关键词:水电站;混凝土裂缝;施工成因;防治措施

引言:水电站工程多以大体积混凝土结构为主,施工体量庞大、露天作业多,受温差、施工工艺、环境条件等多重因素影响,混凝土裂缝成为施工阶段最常见的质量病害。裂缝问题不仅影响工程外观质量,还会破坏结构受力体系与防渗体系,缩短工程服役年限,埋下安全隐患。为有效管控施工质量、规避裂缝病害,本文结合水电站施工特点,分析裂缝类型、分布及危害,探究核心成因,并制定科学可行的裂缝防治施工技术与管理措施。

1 水电站混凝土裂缝类型及施工特征

1.1 混凝土裂缝核心分类

(1) 按裂缝形态划分:可分为表面裂缝、深层裂缝、贯穿性裂缝三类,也是水电站施工现场最直观的裂缝分类方式。其中表面裂缝仅存在于混凝土表层,深度浅、范围小,多呈现细微纹路,对结构整体影响较小;深层裂缝延伸至混凝土结构内部,深度和宽度较大,会破坏结构局部完整性;贯穿性裂缝可穿透整个混凝土构件断面,连通性强,是危害性极高的裂缝类型。(2) 按产生机理划分:主要包含温度裂缝、收缩裂缝、沉降裂缝、施工工艺裂缝。温度裂缝由混凝土内外温差过大、温度应力超标引发;收缩裂缝多为混凝土硬化过程中水分蒸发、体积收缩不均匀导致;沉降裂缝源于地基沉降不均、结构受力失衡;施工工艺裂缝则由浇筑、振捣、养护等施工操作不规范造成。

1.2 水电站混凝土裂缝施工分布特征

(1) 大体积坝体裂缝特征:水电站坝体属于大体积混凝土结构,裂缝以温度裂缝为主。裂缝多集中在分层浇筑层、新旧混凝土结合面、基础约束等关键部位,受结构约束和温差应力双重影响,裂缝纵深跨度大,部分易发展为深层甚至贯穿性裂缝,是坝体施工防控的重点。(2) 附属结构裂缝特征:厂房、闸墩、护坡等附属结构体量较小、表面积大,裂缝以干缩裂缝、施工工艺裂缝

为主。大多为表层细微裂缝,分布零散、数量较多,极少出现深层贯穿裂缝,虽即时危害性较低,但大面积分布易影响结构外观及长期耐久性^[1]。

1.3 施工裂缝对水电站工程的危害

(1) 结构安全危害:各类裂缝会直接破坏混凝土结构的整体性和稳定性,割裂结构受力体系,大幅降低坝体、厂房等主体结构的承载能力、抗冲击能力和整体刚度,极端情况下会引发结构变形,威胁工程整体运行安全。(2) 工程防渗危害:裂缝会形成连续渗水通道,打破混凝土自身防渗体系,引发坝体渗漏、绕坝渗水等问题,长期渗水会造成基础淘刷、土体流失,加剧结构隐患,影响水电站防渗控水功能。(3) 耐久性危害:裂缝会让空气、水分及腐蚀性介质侵入混凝土内部,加速混凝土碳化进程,同时引发内部钢筋锈蚀膨胀,进一步扩大裂缝宽度,形成恶性循环,大幅缩短水电站工程的设计服役年限。

2 水电站混凝土裂缝施工成因分析

2.1 原材料材料因素成因

(1) 水泥性能问题:水泥是混凝土核心胶凝材料,其性能优劣直接影响混凝土抗裂性能。若选用的水泥水化热指标过高,大体积混凝土浇筑完成后,内部会持续释放大量的水化热,造成结构内部温度急剧升高,而外部散热速度较快,形成显著内外温差,产生较大温度应力,超出混凝土抗拉强度后便会引发开裂。同时,水泥安定性不达标时,其内部有害成分会导致混凝土硬化过程中体积变形不均匀,诱发不规则裂缝。(2) 骨料质量缺陷:砂石骨料为混凝土骨架材料,施工中若骨料含泥量超标、颗粒级配不合理,会严重影响混凝土品质。泥土杂质会包裹骨料表面,削弱骨料与水泥浆的粘结力,降低混凝土密实度、强度和抗渗透能力,使混凝土整体抗裂性能大幅下降,在硬化变形阶段极易产生开裂问题^[2]。(3) 外加

剂与配合比不合理:混凝土外加剂掺量失衡、配比不当,或工程水胶比过大,是裂缝产生的常见诱因。水胶比过大会增加混凝土内部游离水分,硬化过程中水分蒸发会产生大量收缩变形;外加剂掺量过多或过少,会打乱混凝土凝结硬化节奏,加剧收缩变形,最终导致混凝土表面及内部产生收缩裂缝。

2.2 施工工艺操作因素成因

(1) 浇筑工艺不规范:水电站混凝土浇筑施工中,若分层浇筑厚度超出规范标准,混凝土内部热量难以散发,易积聚温差应力。同时,上下层混凝土浇筑间隔时间过长,先浇筑的混凝土已初步硬化,后续浇筑混凝土无法与其紧密结合,形成施工冷缝,破坏结构整体性,成为永久性裂缝隐患。(2) 振捣工艺缺陷:振捣作业是保障混凝土密实度的关键工序,漏振、过振及振捣不均匀等问题普遍存在。漏振会导致混凝土出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷,结构密实度不足;过振会造成骨料下沉、水泥浆上浮,形成表层砂浆层过厚的问题,引发不均匀收缩,最终造成内部应力集中,诱发裂缝。(3) 拆模与二次处理不当:施工中若拆模时间过早,混凝土强度未达到设计标准,结构无法承受自身荷载及外部约束力,会因受力不均产生变形开裂。此外,混凝土成型后缺陷修补、二次处理工艺不规范,修补材料与原混凝土适配性差、施工流程简化,极易诱发次生裂缝。

2.3 环境与温控养护因素成因

(1) 温度变化影响:水电站多为露天施工,施工期昼夜温差、季节温差波动较大。大体积混凝土体量庞大,内部散热缓慢,外部受环境温度影响快速降温,内外温差远超规范限值,产生极强的温度拉应力,是温度裂缝频发的核心原因。(2) 养护措施缺失:混凝土浇筑成型后,养护工作不到位是干缩裂缝的主要成因。养护时长不足、保温保湿措施不到位,会导致混凝土表面水分快速蒸发,内部水分流失缓慢,内外收缩变形不一致,产生收缩拉应力,进而形成大面积表面干缩裂缝。(3) 恶劣环境干扰:在高温、低温、大风等恶劣天气下施工,会大幅增加混凝土开裂风险。高温天气加速表面水分蒸发,低温易造成混凝土冻胀损伤,大风天气会快速带走表层水分,加剧混凝土不均匀变形,诱发各类裂缝^[3]。

2.4 施工管理与结构设计因素成因

(1) 施工管理疏漏:施工现场质量管控体系不完善,原材料进场检验、工序施工、质量验收等环节管控不严,导致违规施工、用料不合格等问题频发。施工人员操作不规范、质量意识薄弱,未严格执行施工方案,从管理层埋下裂缝隐患。(2) 结构设计约束:部分结构设计

存在不合理性,坝体、闸墩等构件断面突变,结构约束区域设置不当,混凝土硬化收缩、温度变形过程中受到极强约束,无法自由形变,内部积聚大量应力,最终引发约束性应力裂缝。

3 水电站混凝土裂缝施工防治措施

3.1 严控原材料质量,优化配合比设计

(1) 优选原材料:原材料品质是防控混凝土裂缝的基础,施工过程中需针对性优选适配水电站大体积混凝土施工的材料。水泥优先选用低水化热、安定性指标合格的普通硅酸盐水泥,从源头减少水化热积聚引发的温度裂缝。严格筛选砂石骨料,把控骨料颗粒级配,严控含泥量、杂质含量,避免劣质骨料降低混凝土强度与抗裂性能。同时根据施工工况规范外加剂选型,精准匹配缓凝、减水型外加剂,严格按照标准控制掺量,杜绝外加剂使用不当造成的混凝土变形开裂问题。(2) 优化配合比:结合水电站施工现场的温度、湿度及结构施工需求,科学优化混凝土配合比设计。合理调控水胶比,在满足施工和易性的前提下,尽量降低水胶比,减少混凝土硬化过程中的游离水分,抑制收缩变形。同时适量掺加粉煤灰、矿粉等矿物掺合料,替代部分水泥用量,有效降低混凝土整体水化热,改善混凝土内部结构,提升密实度和抗收缩、抗温差变形能力,适配坝体大体积混凝土施工需求^[4]。(3) 进场材料检验:建立完善的原材料进场复检管理制度,落实专人负责材料验收工作。对进场的水泥、骨料、外加剂、掺合料等核心材料,严格核出厂合格证与检测报告,并按规范抽样复检,重点检测水泥安定性、水化热、骨料含泥量等关键指标。坚决杜绝不合格、指标不达标材料进场投入施工,从材料源头筑牢裂缝防控防线,规避原材料缺陷引发的裂缝隐患。

3.2 规范施工工艺,标准化现场作业

(1) 优化浇筑工艺:严格落实标准化混凝土浇筑施工工艺,根据坝体、附属结构的施工规范,严格控制分层浇筑厚度,杜绝超厚浇筑导致内部热量无法散发。精准把控上下层混凝土浇筑间隔时间,在下层混凝土初凝前完成上层浇筑,优先采用连续浇筑作业模式,保证各浇筑层紧密结合,有效杜绝施工冷缝产生,保障混凝土结构的整体性与连续性。(2) 规范振捣作业:振捣作业严格遵循“快插慢拔”的标准化施工工艺,根据混凝土浇筑厚度适配振捣设备,合理控制振捣点位、振捣频率与振捣时长。全面规避漏振、过振、振捣不均匀等问题,漏振易造成混凝土空洞、密实度不足,过振会引发骨料下沉、砂浆上浮,造成结构材质不均、应力集中。均匀规范的振捣作业可保障混凝土整体密实度一致,有效减

少工艺性裂缝产生。(3) 严控拆模工序: 建立混凝土拆模强度核查机制, 严禁凭经验盲目拆模。根据结构受力要求与同条件养护试块强度数据, 待混凝土强度达到设计及规范拆模标准后, 方可开展拆模作业。拆模过程中遵循对称、均匀、缓慢的原则, 规范拆模受力流程, 避免暴力拆模、单侧受力导致混凝土结构变形、表层脱落及应力裂缝, 保障成型混凝土结构完整稳定。

3.3 强化温控养护, 适配施工环境

(1) 全程温控管控: 针对水电站大体积坝体混凝土温度裂缝高发问题, 实施全程温控管控。施工前预埋冷却水管, 浇筑完成后通入循环冷却水, 持续带走混凝土内部积聚的水化热, 加速内部散热。同时严格控制混凝土拌合、浇筑入模温度, 避开高温时段浇筑, 精准把控混凝土内外温差, 将温差控制在规范允许范围内, 从根源抑制温度应力引发的裂缝。(2) 精细化养护作业: 落实混凝土标准化养护制度, 严格执行14天及以上的标准养护周期。混凝土浇筑初凝后及时开展养护作业, 采用土工布、薄膜覆盖保湿、喷淋洒水等综合养护方式, 保持混凝土表层长期湿润, 避免表面水分快速流失。通过精细化养护平衡混凝土内外干湿变形, 有效规避干缩裂缝, 同时保障混凝土强度稳步增长, 提升结构整体抗裂性能^[5]。(3) 适配环境施工: 结合露天施工特点, 合理规避极端天气施工。高温天气搭建遮阳棚、采用降温拌合措施, 降低施工环境温度; 低温天气做好保温覆盖, 防止混凝土冻胀开裂; 大风天气及时封闭作业面, 减少表层水分蒸发。通过适配不同施工环境的防护措施, 削弱恶劣环境对混凝土硬化成型的不利影响, 降低环境因素引发的开裂风险。

3.4 完善管控体系, 优化结构施工方案

(1) 健全质量管理体系: 构建混凝土施工全过程质量管控体系, 严格落实班组自检、工序互检、专项抽检的“三检制”。强化施工前技术交底, 明确裂缝防控施工标准与操作规范, 加强施工现场常态化质量巡查, 及时纠正不规范施工行为。压实各岗位质量责任, 杜绝违

规施工、粗放施工等问题, 以完善的管理制度保障裂缝防控措施落地落实。(2) 优化结构施工细节: 针对水电站结构特点, 优化薄弱部位施工方案, 重点优化结构约束区域、断面突变、新旧混凝土结合等关键部位的施工工艺。根据结构受力特性, 合理增设抗裂钢筋、伸缩缝、后浇带等抗裂构造措施, 缓解混凝土变形约束应力, 避免结构形变受阻引发的应力裂缝, 提升结构整体抗裂稳定性。(3) 裂缝动态监测: 建立施工全过程裂缝动态监测机制, 安排专人定期对坝体、厂房、闸墩等结构进行全面巡查监测, 重点排查表层细微裂缝、结合面隐蔽裂缝。做到微小裂缝早发现、早分析、早处置, 及时采取修补、加固措施, 有效阻断裂缝延伸、扩展, 避免小裂缝发展为深层、贯穿性有害裂缝, 保障工程施工质量与结构安全。

结束语

综上所述, 水电站混凝土裂缝成因复杂, 是材料、工艺、环境、管理多维度因素共同作用的结果, 对工程结构安全、防渗性能和耐久性危害极大。施工过程中需立足源头防控, 严格把控原材料质量、规范标准化施工工艺, 强化温控养护与环境适配作业, 完善全过程质量管控与动态监测体系。通过多措并举落实裂缝防治工作, 可有效降低裂缝发生率, 保障水电站混凝土结构施工质量与长期运行稳定性。

参考文献

- [1] 刘建国, 陈晓峰. 水电站大坝混凝土裂缝成因分析[J]. 水利工程学报, 2023, 45(3): 123-130.
- [2] 高翔, 杨柳. 混凝土结构裂缝修复技术的研究进展[J]. 土木建筑工程学报, 2024, 46(2): 89-95.
- [3] 孙伟, 赵敏. 大坝混凝土裂缝防治与修复技术的应用实例[J]. 水利科技与经济, 2025, 47(1): 45-52.
- [4] 常旭东, 何鑫, 孙西文. 水利工程混凝土裂缝成因机理及控制措施[J]. 水泥, 2025, 10(9): 116-119.
- [5] 杨秀高. 水电站泵送大体积混凝土塑性裂缝及控制措施[J]. 江西建材, 2025, 7(5): 122-124.