

水利工程混凝土浇筑施工工艺优化与防裂措施

袁 涛

杭州亿嘉建设咨询有限公司 浙江杭州 310000

摘要: 水利工程施工中, 混凝土浇筑质量直接影响工程的整体性能与使用寿命。本文聚焦水利工程混凝土浇筑, 通过对现有施工工艺的分析, 提出优化措施, 包括配合比设计、浇筑流程、振捣方法等。同时, 深入探讨混凝土裂缝产生的原因, 并针对性地给出防裂措施, 旨在提高水利工程混凝土浇筑质量, 确保水利工程的安全稳定运行。

关键词: 水利工程; 混凝土浇筑; 施工工艺优化; 防裂措施; 质量控制

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于防洪、灌溉、发电等具有不可替代的作用。混凝土作为水利工程中最主要的建筑材料, 其浇筑施工质量的优劣直接关系到水利工程的安全性和耐久性。然而, 在实际施工过程中, 混凝土浇筑工艺存在一些不足之处, 容易导致裂缝等质量问题的出现。这些裂缝不仅会影响混凝土的外观质量, 还会降低混凝土结构的强度和抗渗性, 严重威胁水利工程的安全运行。因此, 对水利工程混凝土浇筑施工工艺进行优化, 并采取有效的防裂措施具有重要的现实意义。

一、水利工程混凝土浇筑施工工艺的现状分析

(一) 配合比设计缺乏科学性与合理性

部分水利工程在混凝土配合比设计过程中, 未能充分结合工程所在地的实际气候条件、地质特征以及混凝土结构的特定功能要求, 导致最终确定的配合比存在显著不合理之处。例如, 水泥用量偏高不仅会增加材料成本, 还会加剧混凝土的水化热效应, 从而显著提高温度裂缝产生的风险; 与此同时, 若骨料的级配设计不科学, 则会直接影响混凝土拌合物的和易性, 降低其施工性能, 并进一步损害硬化后混凝土的整体密实性与耐久性。

(二) 混凝土浇筑流程存在明显操作缺陷

在实际施工过程中, 某些施工单位未能严格按照既定的技术规程与标准操作程序执行混凝土的浇筑作业。例如, 浇筑顺序安排不当可能导致混凝土在模板内出现不均匀分布, 进而引发分层或离析等问题, 严重影响结构的整体性与均匀性; 此外, 若浇筑速度控制不当, 尤其速度过快时, 混凝土内部的空气难以顺利排出, 易形成蜂窝、麻面等质量缺陷, 最终削弱结构的承载能力和使用寿命。

(三) 振捣施工方法不规范

振捣作为确保混凝土达到预期密实度的重要工序, 在实际操作中却普遍存在规范执行不到位的情况。如果振捣时间不足或振捣棒插入深度不够, 混凝土内部容易残留气泡与空隙, 从而导致其实际密实度低于设计要求; 相反, 若振捣过度, 则易使水泥浆体大量上浮, 在混凝土表面形成薄弱层, 不仅影响外观质量, 还会降低其整体力学性能与表面耐磨性。

(四) 混凝土养护措施未落实到位

混凝土在浇筑完毕后的养护阶段对其长期性能和耐久性具有决定性影响, 然而部分施工单位对此环节重视不足, 常常出现养护时间缩短、方法不当等问题。如果混凝土在关键硬化期未能得到充分保湿与温度控制, 表面水分将迅速蒸发, 导致塑性收缩和干缩裂缝的过早产生, 严重影响结构的完整性和使用寿命。

二、水利工程混凝土浇筑施工工艺的优化与提升措施

(一) 科学设计混凝土的配合比

1. 合理选择水泥品种与质量控制

必须依据工程实际需求及施工环境特点, 科学选择适宜的水泥类型。例如, 在大体积混凝土工程中, 为有效控制温升, 应优先选用低热或中热水泥, 以降低水化热引起的温度应力。同时, 须对水泥的物理和化学性能进行严格检测, 确保其安定性、细度、凝结时间及强度等级等指标均满足国家与行业标准。

2. 严格把控骨料质量与级配

骨料作为混凝土的主要组成材料, 其品质与级配直接影响混凝土的工作性、强度及耐久性。粗骨料宜选用硬度高、颗粒形状良好、级配连续的碎石或卵石, 最大粒径须同时满足结构尺寸与钢筋间距的限制要求。细骨料则应优先选用颗粒较粗、含泥量低的中粗砂, 其泥块

含量和有害物质含量必须严格控制在规范允许范围内。

3. 合理应用混凝土外加剂

在配合比设计中,适当参加高效外加剂可显著改善混凝土的综合性能。例如,掺入减水剂能在保持工作性不变的前提下降低用水量,从而提高混凝土的强度和抗渗性能;而在高温季节或大体积混凝土施工中,通过使用缓凝剂可有效延缓凝结时间,避免施工冷缝的产生,并有助于散热控制。

(二) 规范并优化混凝土浇筑流程

1. 制定科学合理的浇筑顺序

应结合具体结构形式与施工条件,明确混凝土的浇筑顺序与分层厚度。对于大体积混凝土,宜采取分层、分块浇筑方式,每层厚度一般不宜超过500毫米,以利于水化热的散发和温度控制。对于常规结构,则应遵循从低处到高处、由远及近的浇筑原则,确保混凝土的整体性与连续性。

2. 严格控制浇筑速度

浇筑速度应做到均匀适中,与振捣能力相匹配。速度过快易导致气泡滞留和缺陷形成,速度过慢则可能引起下层混凝土已初凝而产生冷缝。实际施工时,需综合考虑混凝土坍落度、结构类型、振捣设备性能及环境条件等因素,科学设定浇筑速率。

(三) 系统改进振捣施工工艺

1. 合理选用振捣设备

应根据混凝土浇筑部位的尺寸、钢筋密度及浇筑层厚度等因素,选用合适的振捣机具。对于大面积薄壁结构,可采用平板振捣器进行表面振实;而对于较深的柱、墙及基础等部位,则宜使用插入式振捣器,以保证振捣效果传递至混凝土深部。

2. 严格执行规范振捣操作

振捣操作应做到“快插慢拔”,振捣棒需保持垂直插入,并深入至已浇下层混凝土内50-100毫米,以确保层间良好结合。振捣时间应以混凝土表面呈现均匀水泥浆、无明显气泡逸出且不再显著下沉为判断标准,避免欠振或过振。

(四) 全面加强混凝土养护管理

1. 明确合理的养护持续时间

养护时间须根据水泥种类、配合比设计、环境温湿度等条件综合确定。对于采用普通硅酸盐水泥的混凝土,保湿养护时间不应少于7天;对于掺加缓凝剂或具有较高抗渗要求的混凝土,则应适当延长养护期,一般不宜少于14天,以确保水泥充分水化。

2. 选用科学有效的养护方法

应结合不同构件类型及现场条件采取有针对性的养护措施。对水平构件如板、路面等,可采取覆盖保湿材料并定期洒水的方式;对于垂直构件,则可采用喷淋、挂设保水覆盖物或涂刷养护剂等方法,确保混凝土在关键期内处于适宜的温湿度环境。对于垂直结构的混凝土,可采用喷涂养护剂的方法,这种养护剂能够在混凝土表面形成一层致密的薄膜,有效阻止水分蒸发,保持混凝土内部湿度,从而确保水泥充分水化,提高混凝土的耐久性和抗裂性能。

三、水利工程混凝土裂缝产生的原因分析

(一) 温度变化

混凝土在硬化过程中由于水泥水化反应会释放大量热量,导致混凝土内部温度显著升高,形成温度梯度。当混凝土内外温差过大时,会产生较大的温度应力,若该应力超过混凝土当时的抗拉强度,便会引发裂缝的产生。此外,在施工过程中,若环境温度发生剧烈变化,如昼夜温差过大或季节交替,混凝土因热胀冷缩效应会产生额外的温度变形,当这种变形受到约束时,也极易引发开裂。

(二) 收缩变形

1. 塑性收缩

混凝土在浇筑完毕后的塑性阶段,若表面水分蒸发速率过快,而内部水分未能及时补充,会导致表层体积收缩,产生拉应力。此时混凝土强度尚未发展,抗拉能力极低,因而形成细密的网状裂缝,这类裂缝多分布于混凝土表面,深度较浅。

2. 干燥收缩

随着混凝土的硬化和养护结束,内部自由水逐渐蒸发,胶凝材料持续水化,引起混凝土体积减小,即干燥收缩。这种收缩受到内部约束和外部约束时,会产生拉应力,当应力超过混凝土抗拉强度时,便会形成干燥收缩裂缝。此类裂缝通常细而长,分布范围较广,可能贯穿整个构件。

(三) 结构荷载

若水利工程中的混凝土结构在施工期或运行期所承受的实际荷载超出其设计承载能力,例如在未达到规定强度时过早施加荷载、施工机具或材料堆放过于集中、或者使用阶段遭遇超设计标准的洪水压力、土压力等,均会使混凝土内部应力超过其极限抗拉强度,从而引起结构性裂缝。这类裂缝通常宽度较大,延伸较长,且方向多与主拉应力方向垂直。

(四) 基础不均匀沉降

水利工程构筑物对地基要求较高,若地基处理不当,

如存在软弱下卧层、压实度不足，或在使用过程中因地下水位变化、地震、冲刷等外部因素影响，导致地基产生不均匀沉降。这种沉降差会使上部混凝土结构产生附加内力，特别是弯矩和剪力，当这些附加应力超过混凝土的抗拉或抗剪强度时，便会引发裂缝，这类裂缝多为斜向或纵向，且通常出现在应力集中部位。

四、水利工程混凝土防裂措施

(一) 温度控制

1. 降低水化热

优先选用水化热较低的中热或低热水泥，并通过掺加粉煤灰、矿渣粉等活性掺合料部分替代水泥，以减少胶凝材料总量，从而从源头上降低水化热。此外，在混凝土中掺入适量的缓凝型减水剂，延缓水泥水化速率，使水化热平缓释放，避免内部温升过快过高。

2. 控制入模温度

在高温季节施工时，应采取综合措施降低混凝土原材料温度及拌合物出机温度。例如对粗、细骨料堆场设置遮阳棚、喷淋水降温；使用冷却水或加冰拌和；缩短运输时间，避免拌合物在运输过程中吸热升温。严格控制混凝土的入模温度，一般不宜超过30℃。

3. 加强温度监测

在大体积混凝土或重要结构部位浇筑时，应预埋温度传感器，对混凝土内部、表面及环境温度进行实时监测和数据采集。根据监测结果，动态调整保温保湿养护方案，确保混凝土内外温差、表层与环境温差均控制在规范允许范围内（通常要求不大于25℃），有效防范温度裂缝。

(二) 收缩控制

1. 优化配合比设计

在保证混凝土工作性和强度的前提下，尽可能降低水胶比，减少单位用水量，这是控制收缩的关键。同时，优化骨料级配，选用粒径适中、级配良好的骨料，并适当提高砂率，以增加混凝土的密实度，减少孔隙率，从而降低收缩值。

2. 加强养护

混凝土浇筑后应及时覆盖保湿，采用洒水、覆盖湿麻袋或土工布、蓄水等方式进行充分湿润养护，养护时间应满足规范要求（一般不少于14天）。良好的养护能保证水泥持续水化所需水分，显著减少塑性收缩和干燥收缩，是防止收缩裂缝最直接有效的措施。

(三) 结构设计优化

1. 合理设置伸缩缝

根据结构物的长度、厚度、约束条件以及当地温度变化情况，经计算分析后合理确定伸缩缝的间距和位置。

通过设置伸缩缝将大体积混凝土分割成较小的区块，允许每个区块自由地收缩和膨胀，从而释放大部分温度应力和收缩应力，避免应力积聚导致开裂。

2. 增加构造配筋

在易产生应力集中的部位，如孔洞周围、结构断面突变处、板角、墙柱连接处等，增设抵抗温度应力和收缩应力的构造钢筋（如温度筋、分布筋、抗裂钢筋网片等）。通过配筋来承受拉应力，限制裂缝的宽度，甚至防止裂缝的出现。

(四) 基础处理与监测

1. 加强基础处理

施工前必须进行详细的地质勘察，根据地基土的性质和承载力要求，选择合适的地基处理方案。对于软弱地基，可采用换填垫层、强夯、预压、桩基础或复合地基等方法进行加固处理，提高地基的承载力和均匀性，减小后期沉降差。

2. 加强基础监测

在施工期间及工程运行初期，应在基础及上部结构关键部位设置沉降观测点，定期进行沉降观测。一旦发现不均匀沉降迹象或沉降量超过预警值，应立即分析原因，并采取如注浆加固、调整荷载分布等补救措施，以防止裂缝进一步扩展，确保结构安全。

结论

水利工程混凝土浇筑施工工艺的优化和防裂措施是确保水利工程质量的关键。通过科学设计混凝土配合比、规范浇筑流程、改进振捣方法、加强养护措施等，可以提高混凝土浇筑施工工艺的水平；通过温度控制、收缩控制、结构设计优化和基础处理与监测等防裂措施，可以有效降低混凝土裂缝的产生概率。在实际工程中，应根据具体情况，综合运用这些优化措施和防裂技术，不断提高水利工程混凝土的施工质量和耐久性，为水利工程的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 林飞, 陶磊. 水利工程混凝土施工技术研究[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(2): 34-38.
- [2] 周翰林, 孙健. 大体积混凝土裂缝控制技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [3] 章龙, 周海宁. 混凝土结构耐久性设计与施工指南[J]. 建筑科学, 2019, 35(11): 123-128.
- [4] 徐鹏, 庆飞. 水利工程基础处理技术[J]. 水利水电技术, 2022, 53(3): 78-82.