

水利工程混凝土施工质量问题及处理技术分析

刘苓君

淮安市淮安区水利建筑工程公司 江苏 淮安 223200

摘要：水利工程混凝土施工质量直接决定工程安全稳定性与使用寿命，其施工受原材料、工艺、环境等多因素影响，易出现强度不达标、裂缝、抗渗抗冻不足及蜂窝麻面等问题。本文结合水利混凝土特性与施工流程，分析各类质量问题的表现形式及成因，针对性提出表面补强、压力灌浆、渗透结晶修补等处理技术，明确各技术的适用场景与操作要点，为水利工程混凝土施工质量控制、问题整改提供实用参考，助力提升工程施工质量与耐久性。

关键词：水利工程；混凝土施工；质量问题；处理技术

引言：水利工程作为民生与基础设施建设的核心，承担挡水、蓄水、泄水等重要功能，混凝土作为主要施工材料，其质量直接关系工程运行安全。当前，水利工程施工环境复杂，水下、露天等工况对混凝土抗渗、抗冻、抗冲刷性能要求极高，但实际施工中常因管控不当引发各类质量隐患。因此，深入分析混凝土施工质量问题及成因，探索科学有效的处理技术，对规范施工流程、规避安全风险、保障水利工程长期稳定运行具有重要现实意义。

1 水利工程混凝土施工相关理论基础

1.1 水利工程混凝土的特性与施工要求

(1) 水利混凝土的核心特性：抗渗性是水利混凝土的关键特性，需抵御地下水、地表水的渗透，防止工程内部渗水损坏结构；抗冻性要求混凝土在反复冻融循环中不出现开裂、剥落，适配水利工程露天、低温环境；抗冲刷性需满足水流长期冲刷下的结构稳定性，尤其适用于河道、大坝等部位；强度要求需结合工程荷载，确保混凝土能承受水压、自重等作用，保障工程安全运行。(2) 水利混凝土施工的特殊要求：需严格遵循水利工程专属施工规范，针对水下施工场景，采取导管浇筑、振捣密实等措施，避免出现蜂窝、麻面；露天施工需做好防晒、防雨措施，减少温度裂缝；高压工况下，需优化混凝土配合比，提升其抗压、抗剪能力，同时严格控制施工精度，确保结构密封性。

1.2 水利工程混凝土施工的核心流程

(1) 施工准备阶段：对水泥、砂石、外加剂等原材料进行严格检验，确保各项指标符合规范；根据工程工况设计合理的混凝土配合比，兼顾强度与耐久性；编制详细施工方案，明确施工流程、技术参数及安全措施，保障施工有序开展。(2) 现场施工阶段：搅拌环节严格控制原材料用量、搅拌时间，确保混凝土均匀性；运输过程中做好保温、保湿，避免离析；浇筑时按规范分层

进行，搭配插入式振捣器振捣密实，消除气泡；养护阶段及时覆盖保湿材料，控制养护温度与时间，促进混凝土强度增长。(3) 施工验收阶段：重点检测混凝土强度、抗渗性、抗冻性等指标，采用试块检测、现场回弹等方式确认质量；按照水利工程验收标准，依次完成分项、分部工程验收，明确验收流程，确保工程质量符合设计要求^[1]。

1.3 水利工程混凝土施工质量控制的核心原则

(1) 预防为主原则：提前排查原材料质量隐患、施工工艺漏洞，针对可能出现的裂缝、渗水等问题，制定预防措施，从源头规避质量问题，减少后期整改成本。(2) 全过程管控原则：贯穿施工全流程，从原材料进场检验、配合比设计，到现场施工各环节，再到竣工验收，每一步都落实管控责任，确保质量可控。(3) 技术适配原则：结合工程规模、水文地质条件、工况要求，选择适配的施工技术与处理方案，避免盲目套用工艺，确保施工技术与工程实际需求匹配，提升施工质量与效率。

2 水利工程混凝土施工中常见质量问题及成因分析

2.1 混凝土强度不达标问题

(1) 表现形式：核心表现为混凝土实测强度低于设计规定标准，无法承受工程所需荷载；部分区域强度分布不均匀，同一批次、同一部位混凝土强度差值超出规范允许范围；还有部分混凝土前期强度增长正常，后期增长缓慢，甚至出现强度停滞现象，影响工程整体稳定性。(2) 成因分析：原材料质量不达标是首要原因，水泥强度等级不足、砂石含泥量过高或级配不良，都会直接降低混凝土强度；配合比设计不合理，水泥用量不足、水胶比过大，导致混凝土密实度不够；搅拌振捣不规范，搅拌时间不足使原材料混合不均，振捣不密实或过度振捣造成离析，影响强度形成；养护不到位，养护时间不足、温湿度控制不当，导致混凝土水化反应不充分，后期强度无法正常增长。

2.2 混凝土裂缝问题

(1) 表现形式: 分为表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝三类。表面裂缝多为细微裂缝, 深度不超过5mm, 主要影响外观和耐久性; 深层裂缝深度可达5~50mm, 会削弱混凝土结构承载力; 贯穿裂缝贯穿整个混凝土截面, 会导致渗水, 严重时破坏结构整体性, 引发安全隐患。(2) 成因分析: 温度应力是主要诱因, 混凝土浇筑后水化热释放集中, 内外温差过大产生应力, 导致裂缝产生; 混凝土硬化过程中收缩变形, 若约束过强, 易产生收缩裂缝; 施工工艺缺陷, 如浇筑分层过厚、振捣不当, 会引发裂缝; 后期荷载作用超出混凝土承受范围, 以及露天环境下的冷热交替、冻融循环等环境因素, 也会加剧裂缝产生和扩展^[2]。

2.3 混凝土抗渗、抗冻性能不足问题

(1) 表现形式: 抗渗性能不足会出现结构渗水、漏水现象, 严重时形成渗漏通道; 抗冻性能不足在冻融循环后, 会出现表面起砂、剥落、疏松, 甚至出现酥裂、破损, 影响混凝土结构的耐久性和使用寿命, 无法适配水利工程水下、露天的复杂工况。(2) 成因分析: 原材料选择不当, 未选用抗渗、抗冻型水泥, 砂石级配不合理, 未添加适配的外加剂; 配合比设计不合理, 水胶比过大、骨料用量不当, 导致混凝土内部孔隙过多; 施工振捣不密实, 形成蜂窝、孔隙等缺陷, 降低抗渗、抗冻能力; 养护工艺不符合要求, 养护不及时、保湿不足, 导致混凝土内部结构不密实, 抗渗抗冻性能下降。

2.4 其他常见质量问题

(1) 蜂窝、麻面、孔洞: 表现形式为混凝土表面出现蜂窝状空隙、麻点, 孔洞则是局部出现较大空洞, 深度和宽度超出规范允许范围。成因主要是振捣不密实, 气泡未及时排出; 模板缝隙过大或拼接不严密, 导致水泥浆漏浆; 原材料级配不良, 骨料过大或杂质过多, 也会引发此类问题。(2) 露筋、缺棱掉角: 表现形式为钢筋外露于混凝土表面, 无保护层覆盖; 混凝土构件棱角破损、缺失, 影响外观和结构完整性。成因主要是钢筋保护层厚度不足, 浇筑时钢筋移位; 模板拆除过早, 混凝土强度未达到规定要求, 棱角易被碰损; 施工过程中碰撞、撞击构件, 也会导致缺棱掉角。

3 水利工程混凝土施工质量问题的处理技术

3.1 混凝土强度不达标问题的处理技术

(1) 轻度强度不足: 采用表面补强技术, 适用于实测强度略低于设计要求、无结构性安全隐患的部位。施工前需彻底清理混凝土表面, 清除浮灰、松散层、油污及杂物, 保证基层平整、坚实且干燥。若用水泥砂浆抹

面, 选用强度等级高于原混凝土一个等级的砂浆, 分层抹压, 厚度控制在20~30mm, 完成后及时覆盖保湿养护, 防止开裂; 若用环氧砂浆修补, 按规范调配后均匀涂抹、压实抹平, 增强表面强度和耐久性, 适配露天、轻度接触水的水利工程部位。(2) 中度及重度强度不足: 采用加固处理技术, 适用于强度差距较大、影响结构承载力的关键部位。外包混凝土加固时, 先剔除原混凝土松散破损层, 绑扎设计要求的钢筋骨架, 浇筑高强度混凝土, 确保新旧混凝土紧密结合、整体受力; 粘贴碳纤维加固, 清理基层后涂刷专用底胶, 粘贴碳纤维布并压实, 胶层固化后与原混凝土协同受力, 提升结构强度和抗裂能力; 植筋加固需在指定位置钻孔、清孔, 植入规格钢筋并注入高强度植筋胶, 胶层固化后完成, 适用于需大幅提升承载力的部位^[3]。(3) 处理后的质量检测与验收标准: 处理完成后, 采用回弹法、钻芯法结合检测, 实测强度需达设计要求的95%以上, 且同一部位强度分布均匀、无明显波动; 检查加固部位外观, 无裂缝、空鼓、脱落等缺陷, 新旧混凝土结合处无松动; 严格遵循水利工程施工质量验收规范, 提交完整处理记录、检测报告, 验收合格后方可进入下一工序, 确保加固效果满足工程安全运行需求。

3.2 混凝土裂缝问题的处理技术

(1) 表面裂缝处理: 针对深度小于5mm、无渗水的表面裂缝, 采用封缝法或涂抹法处理。封缝法需清理裂缝表面杂物、浮灰, 用专用密封材料填充裂缝, 压实抹平, 形成密封层, 防止水分渗入加剧裂缝扩展; 涂抹法可选用环氧涂料或聚合物砂浆, 清理基层至坚实平整后, 均匀涂刷2~3遍环氧涂料, 或铺设聚合物砂浆, 厚度控制在1~3mm, 确保完全覆盖裂缝, 增强表面密封性和抗渗性, 适配露天、无严重渗水的表面裂缝处理。(2) 深层及贯穿裂缝处理: 针对深度大于5mm的深层裂缝及贯穿裂缝, 采用压力灌浆法或嵌缝封堵法, 优先选用压力灌浆法恢复结构整体性。压力灌浆法根据裂缝宽度、渗水情况, 选用水泥灌浆或环氧灌浆材料, 清理裂缝后埋设灌浆嘴, 采用高压灌浆设备将灌浆材料缓慢注入裂缝内部, 直至浆液饱满溢出, 待浆液固化后, 彻底填充裂缝缝隙; 嵌缝封堵法需沿裂缝开凿V型槽, 清理干净后填入嵌缝密封材料, 压实密封, 可搭配压力灌浆法使用, 提升封堵效果, 适用于渗水严重的贯穿裂缝处理^[4]。(3) 裂缝处理后的养护与质量管控: 处理完成后, 及时对处理部位进行保湿养护, 保持基层湿润, 避免温度骤变产生新的裂缝, 养护时间不少于7天; 定期巡查处理部位, 观察是否出现新的裂缝、渗水现象, 及时处理隐患; 采用超声波检测裂缝填充密实度, 确保浆液无空隙、填充到

位,同时做好养护记录和检测记录,保障处理效果长期稳定。

3.3 混凝土抗渗、抗冻性能不足的处理技术

(1) 表面防渗抗冻处理:适用于表面性能不足、无深层缺陷的水利工程部位。涂刷防渗涂料前,彻底清理混凝土表面,去除松散层、油污和浮尘,确保基层干燥平整,选用适配水下、露天工况的抗渗抗冻专用涂料,均匀涂刷2~3遍,形成连续、无破损的防渗抗冻层;铺设防渗层可采用防水卷材或防渗砂浆,铺设前做好基层找平处理,确保铺设平整、搭接严密,无破损、起鼓现象,有效提升混凝土表面抗渗抗冻能力。(2) 内部加固处理:针对内部密实度不足、抗渗抗冻性能较差的部位,采用渗透结晶型材料修补或注浆加固。渗透结晶型材料加水调配成糊状,涂刷或喷洒于混凝土表面,材料可渗透至混凝土内部,与水泥水化产物反应形成结晶,堵塞内部孔隙和微裂缝,从表面到内部提升抗渗抗冻性能;注浆加固需在混凝土表面钻孔至内部缺陷部位,注入高强度注浆材料,填充内部孔隙和微裂缝,提升混凝土整体密实度,从根本上改善抗渗抗冻性能,适配水下、高压工况。(3) 处理后的性能检测方法:采用抗渗试验检测混凝土抗渗性能,确保渗透系数符合设计及规范要求,无渗漏现象;采用冻融循环试验检测抗冻性能,经规范规定次数冻融循环后,混凝土无起砂、剥落、酥裂现象,强度下降幅度控制在允许范围内;现场直观检测处理部位表面,无渗水、裂缝、起砂等缺陷,提交完整的性能检测报告,确保处理后的混凝土满足水利工程复杂工况要求^[5]。

3.4 蜂窝、麻面、露筋等问题的处理技术

(1) 蜂窝、麻面修补:遵循“清理-基层处理-填补-养护”的流程,先对缺陷部位进行彻底清理,铲除松散混凝土、浮浆及杂质,直至露出坚实的混凝土基层,用清水反复冲洗干净,晾干后涂刷界面剂,增强填补材料与原混凝土的结合力;若缺陷较浅,采用水泥砂浆分层

填补、抹压,确保与原混凝土表面平齐;若缺陷较深,采用细石混凝土填补,振捣密实,表面抹平,填补完成后及时覆盖保湿材料养护,防止出现新的裂缝,确保修补部位外观和强度达标。(2) 露筋、缺棱掉角修补:露筋修补时,先清除外露钢筋表面的铁锈、油污,用防锈涂料均匀涂刷钢筋表面,防止钢筋锈蚀;然后根据缺陷尺寸支护模板,选用高强度混凝土或环氧砂浆进行填补,填补过程中确保钢筋保护层厚度符合设计要求,振捣密实、表面抹平;缺棱掉角修补时,先清理破损部位,将破损边缘切割规整,清理干净后支护模板,采用高强度环氧砂浆或细石混凝土填补,压实抹平,养护至规定强度,恢复混凝土构件的棱角完整性和结构稳定性。

结束语

水利工程混凝土施工质量管控是一项系统性工程,需贯穿施工全流程,坚守预防为主、全过程管控、技术适配原则。本文梳理的各类质量问题及对应处理技术,贴合工程实际需求,可有效解决施工中的常见隐患。后续施工中,需强化原材料管控、优化施工工艺、严格落实养护与验收要求,结合工程工况灵活选用处理技术,持续提升施工质量,推动水利工程高质量发展,更好发挥其民生保障与生态调节作用。

参考文献

- [1] 武志高.水利工程施工中混凝土裂缝的防治技术[J].数码设计(下),2021,10(3):67-69.
- [2] 周述平.水利工程混凝土施工技术研究[J].中国战略新兴产业,2021,(4):196-198.
- [3] 崔成.关于水利工程大体积混凝土施工技术的探讨[J].中国房地产业,2021,(1):223-226.
- [4] 黄一城.水利工程混凝土施工及养护模式研究[J].科学技术创新,2026,(5):144-147.
- [5] 张炳辉.水利工程混凝土施工质量隐患识别与应对措施探讨[J].低碳世界,2025,15(08):124-126.