

# 水利工程混凝土质量检测技术要点与控制策略

刘宗杰

广东建科源胜工程检测有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8691

**[摘要]** 混凝土是水利工程的核心建筑材料,其质量直接关乎工程的结构稳定性、抗渗抗冻特性以及服役时长。伴随水利工程建设向高参数、长周期方向发展,传统的混凝土质量检测手段已无法满足精细化、全周期管控的需要。本文着眼于水利工程混凝土质量检测的核心技术要点,对当前检测工作中技术和管理层面的问题进行梳理,针对问题提出协同控制策略,意在打造一个“检测—分析—反馈—优化”的闭环质量管控体系,为提升水利工程混凝土质量提供理论支持。

**[关键词]** 水利工程;混凝土质量;无损检测;质量控制;技术要点

## Key points and control strategies for quality inspection of concrete in hydraulic engineering

Liu Zongjie

Guangdong Jianke Yuansheng Engineering Testing Co., Ltd.

**[Abstract]** Concrete is the core building material of hydraulic engineering, and its quality directly affects the structural stability, impermeability, frost resistance, and service life of the project. With the development of water conservancy engineering construction towards high parameters and long cycles, traditional concrete quality inspection methods can no longer meet the needs of refined and full cycle control. This article focuses on the core technical points of concrete quality inspection in water conservancy engineering, sorts out the technical and management issues in current inspection work, proposes collaborative control strategies for the problems, and aims to create a closed-loop quality control system of "detection analysis feedback optimization", providing theoretical support for improving the quality of concrete in water conservancy engineering.

**[Key words]** water conservancy engineering; Concrete quality; Non destructive testing; Quality Control; Technical Points

## 引言

水利工程是牵涉国计民生的基础性工程,具有防洪、灌溉、供水、发电等多种功能。混凝土材料凭借强度高、可塑性强、耐久性良好等优势,成为大坝、溢洪道、输水隧洞等核心建筑的首选材料。混凝土若存在质量缺陷,不仅会降低工程的结构承载能力,还可能引发渗漏、冻融破坏、碱骨料反应等病害,严重时甚至会威胁工程的安全运行。质量检测是把控混凝土质量的关键环节,其主要目标是借助科学方法精准识别混凝土的性能参数和内部缺陷,为工程质量核查提供依据。随着材料科学及检测技术的创新发展,混凝土质量检测已从传统的破坏性检测,向无损检测、微观检测方向拓展,由单一性能检测向全生命周期性能监测过渡。然而在实际应用阶段,检测技术的适配性、检测流程的规范性、检测结果的精准度等方面依旧存在诸多不足。本文全面剖析水利工程混凝土质量检测的技术要领,结合现存问题提出针对性的控制策略,以期助力水利工程

混凝土质量管控水平提升。

### 1. 水利工程混凝土质量检测核心技术要点

水利工程混凝土质量检测应将“原材料—拌合料—浇筑成型—服役期”全流程纳入检测范围,检测内容涵盖力学性能、耐久性能及内部缺陷等维度,不同检测阶段对应差异化的核心技术要点。

#### 1.1 原材料性能检测技术要点

混凝土原材料的质量水平是决定最终成品性能的基础,检测需聚焦水泥、骨料、外加剂、掺合料等关键组分的核心指标,注重检测方法的精准性与时效性。

水泥性能检测需重点关注强度等级、凝结时间、安定性以及水化热等指标。强度检测需严格遵守标准养护条件,确保试件的成型、振捣、养护符合规范,杜绝操作误差干扰强度判定结果;采用雷氏夹法进行安定性检测时,应精准把控沸煮的温度和时间,避免因游离氧化钙、氧化镁含量过高导致混凝土体

积不稳定<sup>[1]</sup>。骨料检测的核心是级配、含泥量、泥块含量与碱活性，骨料级配检测需通过筛分试验确定颗粒分布曲线，实现骨料间隙率最小化；碱活性检测需采用砂浆长度法或快速砂浆棒法，排查潜在的碱—硅酸反应和碱—碳酸盐反应隐患，防止骨料与水泥水化产物发生化学反应引发混凝土开裂。

外加剂与掺合料检测需着重关注兼容性与改性效果。外加剂检测需留意减水率、凝结时间差、抗压强度比等指标，尤其要重视与水泥的适配性检测，避免因外加剂与水泥矿物成分不匹配造成坍落度经时损失过大；粉煤灰、矿粉等掺合料的检测，需重点测定活性指数、需水量比，确保其能有效改善混凝土的工作性能及耐久性能。

### 1.2 拌合料工作性能检测技术要点

混凝土拌合料工作性能直接关乎浇筑施工质量，其检测核心聚焦于坍落度、扩展度、表观密度和凝结时间，检测环节应注重时效性与代表性。

坍落度与扩展度检测需在拌合料出机后 15 分钟内完成，取样时需保证拌合料均匀，避免出现离析现象；检测时要严格按照规范坍落度筒装料、振捣以及提筒操作，确保测量数据精准可靠。涉及泵送混凝土时，应额外检测扩展度指标，确认其具备良好的流动性及黏聚性能。表观密度检测需采用容量筒法，通过对比拌合料实际密度与理论密度的差值，评定拌合料的密实程度，避免因拌合料密度不足引发混凝土孔隙率过高问题<sup>[2]</sup>。

凝结时间检测需采用贯入阻力仪法，分别测定初凝与终凝时间，其检测结果直接指导浇筑施工的振捣和拆模时间。针对大体积混凝土，必须重点关注初凝时长，防止初凝过快产生施工冷缝。

### 1.3 硬化混凝土性能与缺陷检测技术要点

硬化混凝土检测是质量控制的核心环节，包含力学性能、耐久性能以及内部缺陷检测三个范畴，检测技术呈现“无损、精细、智能”的发展趋势。

力学性能检测分为破坏性检测与无损检测两类。立方体抗压强度检测是破坏性检测的代表，试件需在标准养护条件下养护至规定龄期，加载过程中要均匀控制速率，确保强度数据真实反映混凝土的承载能力；劈裂抗拉强度检测需留意试件尺寸精度与加载位置，避免应力集中造成测试误差。无损检测技术因不破坏结构本体，成为水利工程混凝土质量检测的主流方法，其核心要点如下：一是超声回弹综合法，借助超声波传播速度与回弹值进行耦合分析，实现混凝土强度的精准评价，检测时需避开钢筋密集区域，减少钢筋对超声波传播的干扰；二是红外热成像技术，依据混凝土表面温度场分布差异识别内部缺陷，适用于检测裂缝、孔洞、脱空等问题，检测过程中应控制环境温度与检测时间节点，避免阳光直射等外界因素干扰温度场分布；三是电磁感应法，通过测量混凝土中钢筋的电磁响应，鉴别钢筋保护层厚度及锈蚀程度，检测时需校准仪器参数，

确保与钢筋直径、混凝土电阻率相匹配<sup>[3]</sup>。

耐久性检测是水利工程混凝土检测的关键要点，需结合水利工程的实际服役环境，重点开展抗渗性、抗冻性、抗碳化性能检测。抗渗性检测采用逐级加压法，通过测定混凝土的渗水高度确定抗渗等级，检测时需保证试件密封良好，杜绝水分从侧面渗透；抗冻性检测采用快冻法，依据反复冻融循环后混凝土的质量损失率与强度损失率评定抗冻等级，适用于寒冷地区的水利工程；抗碳化性能检测采用喷洒酚酞试剂法，通过测量碳化深度判断混凝土的抗碳化能力，检测时需保证钻孔深度均匀，避免因凿孔操作不规范造成深度测量误差。

## 2. 水利工程混凝土质量检测现存问题

目前水利工程混凝土质量检测工作已构建起较为完善的技术体系，但在技术应用、流程管理、结果转化等方面依旧存在诸多问题，且这些问题与检测技术要点存在对应性关联。

### 2.1 原材料检测环节：标准执行不严，适配性检测缺失

原材料检测是质量把控的第一道关卡，但实际检测中存在两大核心问题。一是检测标准落实到位，部分检测机构为缩短检测周期，简化骨料筛分、水泥安定性等关键检测环节，导致原材料质量隐患未能及时发现；二是原材料适配性检测缺失，多数工程仅单独检测水泥、外加剂、掺合料的性能指标，未开展复合体系下的适配性试验，致使外加剂与水泥不协调、掺合料与骨料发生反应等问题在拌合阶段才暴露，增加了施工调整的成本。

### 2.2 拌合料检测环节：时效性不足，代表性偏差

拌合料工作性能检测对时效性要求极高，但现场施工中，常因检测滞后导致数据失真。部分项目在拌合料出机后未及时取样，待拌合料运输至浇筑现场后才进行坍落度检测，此时拌合料已出现坍落度下降，检测结果无法反映实际工作性能。取样代表性不足的问题也十分突出，检测人员采集试样时，未严格遵循“随机取样、多点混合”原则，而是选取表层或局部拌合料进行检测，导致检测数据难以体现整体拌合料的实际质量。

### 2.3 硬化混凝土检测环节：技术适配性差，精准度不足

硬化混凝土检测面临技术选择与工程需求不匹配的难题，无损检测技术的实际应用存在局限。部分工程盲目追求先进技术，在钢筋密集区域采用超声回弹综合法检测强度，受钢筋干扰影响，检测结果偏差较大；微观检测技术的普及度较低，针对混凝土孔结构、水化产物等微观性能的检测，仅在科研项目中应用，实际工程中缺乏常态化检测手段，难以从微观层面探究混凝土耐久性衰减的机理。同时，检测人员专业水平参差不齐，对无损检测仪器的操作未遵循标准规范，数据解读能力不足，进而导致检测结果精准度大幅下降。

### 2.4 全流程管控环节：检测数据割裂，闭环体系未形成

当前混凝土质量检测呈现“碎片化”状态，原材料检测数

据、拌合料检测数据与硬化混凝土检测数据相互孤立，未搭建统一的数据管理平台。检测结果仅用于单一阶段的质量评定，未能及时反馈至前端的原材料选配、配合比设计环节，造成“检测—分析—优化”的闭环管控体系缺失。例如，当硬化混凝土出现强度不足问题时，无法快速追溯是原材料质量问题还是拌合浇筑工艺问题，提高了质量问题整改的难度<sup>[4]</sup>。

### 3. 水利工程混凝土质量协同控制策略

针对上述检测环节的弊病，需从“技术—管理—体系”三个维度出发，构建与检测技术要点精准匹配的控制策略，实现混凝土质量的全程、精细化管控。

#### 3.1 强化原材料源头管控，完善适配性检测机制

针对原材料检测标准执行不严、适配性缺失的问题，需从检测规范、试验体系两方面入手。一是严格落实原材料检测标准，推行“双盲检测”制度，检测机构与施工单位各自独立取样送检，避免人为干预影响检测结果；加强对检测流程的监督管理，对水泥安定性、骨料碱活性等关键指标实行“必检+复检”双重管控机制，确保原材料质量符合既定标准。二是构建原材料适配性复合试验体系，工程正式开工前，开展水泥、外加剂、掺合料与骨料的适配性试验，测定不同配合比拌合料的坍落度经时损失、水化热释放规律等指标，筛选出最优的原材料组合方案；建立原材料质量数据库，对每批次原材料检测数据进行归档，实现原材料质量的可追溯管控。

#### 3.2 优化拌合料检测流程，提升检测及时性 & 代表性

为解决拌合料检测时效性不足、代表性偏差的难题，需从取样规范与检测机制两方面优化。一是规范现场取样流程，明确拌合料取样的时间节点（出机后 5—10 分钟内）、取样数量及取样方式，要求检测人员在拌合站卸料口进行多点组合式取样，避免选取离析或表层拌合料；配备便携式检测设备，在拌合站现场完成坍落度、扩展度等指标检测，确保检测数据能实时指导拌合料配合比调整。二是建立拌合料质量动态调节体系，根据检测结果快速优化拌合工艺，若出现坍落度损失过快现象，及时调整外加剂掺入量或拌合时长；若出现表观密度不足情况，优化骨料颗粒级配或增加胶凝材料用量，实现对拌合料工作性能的精准调控。

#### 3.3 精准匹配检测技术，提高硬化混凝土检测精准度

针对硬化混凝土检测技术适配性差、精准度不足的问题，需从技术选型、人员培训以及技术创新三方面采取措施。一是制定检测技术适配性选型体系，根据工程结构类型、实际服役环境与检测目标，制定针对性检测方案：大体积混凝土内部缺陷检测优先采用超声波透射法，寒冷地区工程重点开展抗冻性快冻法检测，钢筋密集区域采用电磁感应法测量钢筋保护层厚度，避免检测技术滥用造成检测偏差。二是推进检测人员专业培训，构建“理论+实操”双轨制培训体系，邀请行业专家开

展无损检测技术与微观检测技术的理论授课，并组织现场实操演练，考核合格后方可上岗；定期开展技术交流研讨活动，分享检测实操经验与数据解读要点，提升检测人员的专业综合素养。三是推动检测技术创新与普及，鼓励在实际工程中应用扫描电镜、X 射线衍射等微观检测技术，探究混凝土水化产物成分与孔结构特征，从微观层面优化混凝土配合比设计；引入无人机搭载红外热成像技术，实现对大坝、隧洞等大型构筑物的大面积、高效率缺陷检测，提升检测工作的智能化水平<sup>[5]</sup>。

3.4 搭建全流程数据管控体系，实现检测—反馈—优化闭环为破解检测数据割裂的困境，需借助信息化技术搭建统一的质量管控架构。一是构建混凝土质量大数据管理系统，整合原材料、拌合料和硬化混凝土检测的全维度数据，为每个工程项目建立专属数据库，实现检测数据的实时上传、查询及追溯；运用大数据分析技术，探究检测数据间的关联特征，例如分析水泥强度与硬化混凝土强度的相关性、骨料级配与混凝土抗渗性的关联性，为配合比优化提供数据支撑。二是建立“检测—反馈—优化”闭环管控体系，若检测发现质量问题，系统自动启动预警机制，并将预警推送至原材料选配、拌合浇筑、养护等相关环节负责人，督促技术人员排查原因并提出针对性整改措施；整改完成后再次进行检测校验，确保质量问题闭环解决。例如，当硬化混凝土抗渗等级不达标时，通过数据库追溯原材料检测结果，若骨料含泥量超出合格范围，则更换骨料并重新开展拌合料和硬化混凝土检测，直至指标达标。

### 结束语

水利工程混凝土质量检测是管控工程质量的核心要点，其技术要点覆盖从原材料到拌合料再到硬化混凝土的全流程，检测技术的合理运用直接决定质量评定的科学性。随着人工智能、物联网等技术与混凝土检测技术的深度融合，混凝土质量检测将向“实时化、智能化、全周期化”方向发展。搭建“检测技术—质量控制—工程服役”协同体系，将成为提升水利工程混凝土质量、保障工程长期稳定运行的关键路径。

### [参考文献]

- [1]程有锋, 陈攀峰. 水利工程混凝土施工过程中的技术要点与质量控制方法研究[J]. 水上安全, 2025(19): 160-162.
- [2]王帅. 水利工程材料质量检测技术与控制策略分析[J]. 水上安全, 2025(6): 160-162.
- [3]李松涛. 水利工程混凝土施工技术及其质量控制的策略[J]. 水上安全, 2025(1): 94-96.
- [4]陈珍洁. 混凝土结构强度检测技术在建筑工程中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(4): 078-081.
- [5]屈鑫平. 水利工程中混凝土检测试验及其质量标准化控制的措施[J]. 大众标准化, 2025(14): 108-109 112.