

水利施工中水泥质量检测流程与应用分析

陈姝瑶

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830013

摘要: 水泥作为水利工程中最核心、用量最大的胶凝材料,其质量直接决定了混凝土结构的强度、耐久性及整体工程的安全性。本文系统阐述水利施工中水泥质量检测的完整流程,对进场验收、取样制样、物理及化学性能关键指标的检测方法进行详细论述。深入分析了当前检测技术在实际应用中存在的问题,如标准滞后、人员素质参差、设备维护不足及信息化程度低等。最后,结合现代科技发展趋势,提出了优化检测流程、提升检测效能的具体策略,包括引入智能化检测设备、构建全过程质量追溯体系以及强化人员专业培训。研究表明,建立一套科学、严谨、高效的水泥质量检测体系,是保障水利工程质量、延长工程寿命、确保国家水安全战略实施的基石。

关键词: 水利工程; 水泥质量; 质量检测; 检测流程; 应用分析; 质量控制

引言

水利工程关乎国计民生,承担防洪、水资源调配、发电等多重功能。其结构体积庞大,服役环境严酷,对建筑材料性能要求极高。水泥混凝土因力学性能优异、成本低廉,成为构筑水工建筑物的主体材料。水泥作为混凝土关键成分,其品质直接影响混凝土性能。劣质水泥会引发混凝土开裂、强度不足、耐久性降低等问题,增加工程运维成本,严重时可导致结构失效,引发安全事故,造成灾难性后果。历史上,水泥质量问题引发的工程事故频发,教训深刻。因此,在水利工程施工中,严格、科学、系统地检测与控制水泥质量至关重要。然而,当前水利施工一线水泥质量检测面临挑战:部分施工单位“重施工、轻检测”;检测技术、设备及人员专业素养参差不齐。如何构建科学、规范、可追溯的水泥质量检测体系,并与智慧工地融合,是当前亟待解决的现实问题。本文将系统梳理水利施工中水泥质量检测的标准流程,剖析应用现状与问题,提出优化路径,为提升水利工程建设质量提供理论参考与实践指导。

1 水利工程对水泥的特殊要求

与普通建筑工程相比,水利工程对水泥有着更为严苛和特殊的要求,这主要源于其独特的服役环境和功能需求。

1.1 高耐久性要求

水利工程结构长期处于水环境中,易遭受硫酸盐侵蚀、碱骨料反应、冻融破坏等多种劣化作用。因此,要求水泥具有低水化热、高抗硫酸盐侵蚀能力、良好的体积稳定性以及优异的抗渗性能。例如,大体积混凝土坝体常选用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥,以减少水化热引起的温度裂缝。

1.2 体积稳定性要求

水工结构物尺寸巨大,一旦出现不均匀收缩或膨胀,极易产生贯穿性裂缝,严重影响结构的整体性和防渗性能。因此,对水泥的安定性(即硬化后体积变化的均匀性)要求极高,必须严格控制游离氧化钙($f\text{-CaO}$)和氧化镁(MgO)的含量,防止后期膨胀破坏。

1.3 长期强度发展要求

水利工程的设计使用年限通常长达数十年甚至上百年,要求混凝土不仅要有足够的早期强度以满足施工进度,更要有持续、稳定的后期强度增长,以保证结构在整个生命周期内的承载能力^[1]。这要求水泥的矿物组成合理,水化过程稳定可控。

1.4 环保与可持续性要求

随着绿色发展理念的深入人心,水利工程也日益注重环保。这要求在保证性能的前提下,尽可能使用掺合料(如粉煤灰、矿渣粉)替代部分水泥熟料,以降低碳排放。但这也要求检测环节增加水泥与掺合料相容性等指标,进一步完善绿色水工材料检测体系。

这些特殊要求决定了水利施工中的水泥质量检测不能简单套用通用标准,而必须紧密结合工程特点,有针对性地选择检测项目和判定标准。

2 水利施工中水泥质量检测的核心流程

一个完整的水泥质量检测流程是确保检测结果准确、可靠的前提。该流程通常包括以下几个关键阶段:

2.1 进场验收与资料核查

水泥运抵施工现场后,首先由监理工程师、施工单位材料员及供应商代表共同进行外观检查和资料核查。检查包装是否完好、标识是否清晰(应包含执行标准、水泥品种、强度等级、生产者名称、生产许可证标志及编号、

出厂编号、包装日期、净含量等), 有无受潮、结块现象。核对随货同行的质量证明文件(出厂检验报告), 确认其内容完整、数据真实, 并与实物标识信息一致。重点核查关键指标(如强度、安定性、凝结时间)是否符合合同及设计要求。

2.2 规范取样与样品制备

取样是整个检测流程的基础, 其代表性直接决定后续检测结果的有效性。依据国家标准《水泥取样方法》(GB/T 12573), 遵循“随机、分层、等量”的原则。对于袋装水泥, 从不少于20袋中随机抽取; 对于散装水泥, 则从不少于3个车罐中抽取^[2]。总取样量通用水泥是12kg, 抗硫酸盐水泥是14kg。将取得的原始样品通过四分法或分样器缩分为两份, 一份用于试验, 另一份作为封存样(保存期不少于90天), 以备复检或争议仲裁之用。样品应储存在密封、干燥、洁净的容器中, 避免受潮和污染。

2.3 关键物理性能检测

物理性能是评价水泥在水利工程施工与服役过程中适用性的核心依据, 直接决定混凝土的工作性、强度发展、体积稳定性及长期耐久性。根据国家标准和水利工程实践, 主要检测细度、凝结时间、安定性和胶砂强度四项关键指标。

2.3.1 细度

水泥颗粒越细, 比表面积越大, 水化反应越快, 早期强度发展迅速, 但同时水化热释放集中, 易导致大体积混凝土产生温度裂缝。因此, 水利工程常对细度提出针对性要求。检测方法包括45 μ m方孔筛筛余法(GB/T 1345-2023)以及比表面积法(勃氏法, GB/T 8074-2023)。抗硫酸盐硅酸盐水泥的现行国家标准(GB/T 748-2023)以45 μ m筛余控制细度, 要求筛余不大于10.0%, 未强制规定比表面积限值。但在大体积混凝土等温控敏感工程中, 常根据设计要求将比表面积控制在350 m²/kg以下, 以降低水化热、减少温度裂缝风险。

2.3.2 凝结时间

初凝时间影响施工操作窗口, 终凝时间关系到模板拆除与后续工序安排。采用标准稠度用水量配合维卡仪按GB/T 1346测定。规范要求硅酸盐水泥初凝不得早于45分钟, 终凝不得迟于390分钟。在夏季高温或长距离泵送施工中, 若凝结过快易造成冷缝; 而凝结过慢则延误工期。因此, 现场常结合外加剂调整, 并通过检测验证水泥本体凝结特性是否稳定。

2.3.3 安定性

反映水泥硬化后体积变化的均匀性, 是判定水泥是否“安全可用”的强制性指标。安定性不良主要由游离

氧化钙(f-CaO)、氧化镁(MgO)等后期水化膨胀导致, 可导致结构开裂甚至崩坏。检测采用雷氏夹法(标准法): 试件煮沸后, 两指针尖端距离增量 ≤ 5.0 mm为合格; 试饼法作为辅助手段, 观察表面是否出现弯曲、龟裂或溃散。任何安定性不合格的水泥必须作废品处理, 严禁用于水利工程。

2.3.4 胶砂强度

是水泥质量分级和混凝土配合比设计的根本依据。按GB/T 17671(ISO法), 将水泥、标准砂与水按1:3:0.5比例搅拌均匀成型40mm $\times$ 40mm $\times$ 160mm棱柱体, 在标准养护室(20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C, 湿度 $\geq 90\%$)中分别养护至3天和28天, 测试抗折与抗压强度。水利工程因服役周期长(通常50-100年), 尤其重视28天强度及其稳定性, 部分重要部位(如坝体、闸墩)还要求提供90天强度数据, 以评估长期性能潜力。

2.4 关键化学性能检测

化学性能反映水泥的组成纯度与潜在风险, 主要包括三氧化硫(含量过高会导致体积膨胀, 引起混凝土开裂)、氯离子(引发钢筋锈蚀, 严重影响结构耐久性)、烧失量、不溶物(反映水泥煅烧程度与杂质含量)等指标, 用以辅助判断安定性、钢筋锈蚀风险及煅烧质量, 通常作为物理性能异常时的溯源依据。

3 水泥质量检测在水利施工中的应用分析

3.1 应用价值与核心作用

水泥质量检测在水利施工中扮演着“守门人”和“预警器”的双重角色。一是源头控制: 通过对每一批次进场水泥的强制性检测, 可以从源头上杜绝不合格材料进入工地, 防止“先天不足”。二是配合比验证: 检测得到的真实强度数据是验证和调整混凝土施工配合比的唯一可靠依据。实验室配合比是基于理想水泥得出的, 实际水泥的波动必须通过检测来修正, 以确保现场混凝土达到设计强度^[3]。三是质量追溯: 完整的检测记录和封存样构成了质量追溯体系的核心。一旦工程出现质量问题, 可以通过回溯水泥检测报告和复检封存样, 快速锁定责任环节。四是指导施工决策: 凝结时间、需水量等检测数据可以直接指导现场施工组织, 如确定浇筑间隔、拆模时间等。

3.2 当前应用中存在的主要问题

水利工程多为大体积、长周期、恶劣环境施工, 水泥检测结果直接影响温控防裂、配合比设计与结构长期耐久性, 与一般工民建检测存在显著差异。尽管水泥检测的重要性已成共识, 但在实际应用层面仍存在诸多痛点。(1) 检测标准与工程需求脱节: 现行国家标准虽然

全面,但多为通用性条款。针对特定水利工程(如高寒地区的抗冻要求、近海工程的抗氯离子渗透要求)的专项检测指南尚不完善,导致检测项目的选择有时缺乏针对性。(2)检测人员专业素养不足:部分中小型施工单位或偏远地区项目的试验员,未经系统培训,对标准理解不深,操作不规范(如胶砂搅拌不均匀、试件成型振捣不实、养护条件失控),导致检测数据失真。更有甚者,存在伪造数据的违规行为。(3)检测设备陈旧与维护缺失:一些工地试验室设备老化,精度无法保证,且缺乏定期的计量检定和日常维护。例如,压力机未校准、养护箱温湿度失控等问题,都会直接影响强度和安定性等关键指标的准确性。(4)检测时效性与信息化滞后:部分项目存在进场检测与施工进度衔接不紧密、28天强度报告尚未出具即开展混凝土浇筑的风险,存在质量管控漏洞。工地试验室管理不规范,养护条件不达标。检测数据纸质化、孤岛化,无法实现实时预警。

4 优化水泥质量检测体系的策略与展望

为应对上述挑战,提升水利施工中水泥质量检测的科学性和有效性,未来应从以下几个方面着力优化:

4.1 推动检测技术的智能化与自动化

一是引入智能检测设备:推广使用全自动水泥胶砂搅拌机、自动振实台、智能恒温恒湿养护室以及带数据自动采集和上传功能的压力试验机。这些设备能最大限度减少人为误差,提高检测效率和数据可靠性。二是探索快速/无损检测技术:研究和应用基于电学、声学或热学原理的快速强度预测技术(如电阻率法、超声波法),可在数小时内对28天强度做出较准确的预判,为施工提供及时反馈。虽然目前尚不能完全替代标准法,但可作为辅助决策工具。

4.2 构建全过程数字化质量追溯体系

一是建立“一物一码”制度:为每一批次水泥赋予唯一的二维码或RFID电子标签,从出厂、运输、进场验收到检测、使用,所有信息(包括检测报告、影像资料)均实时上传至云端数据库^[4]。二是与智慧工地平台深度融合:将水泥检测数据流无缝接入智慧工地管理系统。当检测数据异常时,系统可自动预警,并联动暂停相关部位的混凝土浇筑指令,实现“检测-预警-处置”的闭环管理。管理者可通过移动终端随时调阅任何一批材料的质量档案,实现穿透式监管。

4.3 强化人员培训与行业自律

一是建立常态化培训机制:由行业协会或大型施工企业牵头,定期组织针对水利工程项目试验员的专项培训和技能考核,内容应涵盖最新标准、规范操作、设备维护及职业道德教育。二是推广第三方检测与飞检制度:对于国家重点水利工程,应强制引入具备CMA/CNAS资质的独立第三方检测机构进行平行检测或飞行抽检,形成对施工单位自检的有效监督和制衡,提升检测结果的公信力。

4.4 完善标准体系与规范引导

一是制定水利工程专用指南:建议由水利部牵头,联合相关科研院所和龙头企业,编制《水利工程施工用水泥质量检测技术指南》,明确不同类型水利工程(如重力坝、拱坝、堤防、灌区)对水泥检测项目的差异化要求和判定阈值。二是加强新材料、新工艺的配套研究:随着新型低碳胶凝材料(如硫铝酸盐水泥、碱激发材料)在水利工程中的探索应用,应及时开展其配套检测方法的研究,填补标准空白。

5 结语

水泥质量是水利工程质量的生命线。本文系统梳理了从进场验收到物理、化学性能检测的全流程,并深入剖析了当前应用中存在的标准、人员、设备及信息化等方面的短板。研究表明,传统的、孤立的、依赖人工的检测模式已难以满足现代高质量水利工程建设的需求。未来的方向在于构建一个“智能化、数字化、标准化、专业化”的新型水泥质量检测体系。通过引入先进设备提升检测精度与效率,利用信息技术打通数据壁垒实现全过程追溯,依靠严格的人员培训和第三方监督保障检测公正性,并不断完善贴合工程实际的标准规范。唯有如此,才能将水泥质量这一关键变量牢牢掌控在手中,为每一座大坝、每一条水渠、每一个水利枢纽构筑起坚实可靠的质量基石,从而真正保障国家水安全战略的顺利实施和人民生命财产的安全。

参考文献

- [1]吴育学,吴建东.混凝土质量评价检测技术在某水利工程的综合应用[J].水利技术监督,2021,(05):18-21+72.
- [2]刘艳洲.水利工程建设中混凝土试验检测及其质量控制[J].内蒙古水利,2023,(02):71-72.
- [3]赵旗,祁凤坤,王焱,等.水电工程特种水泥检测及质量管控关键技术研究[J].中国水泥,2025,(S1):222-225.
- [4]昌文芳,刘洪波,矫明,等.预拌混凝土原材料风险研究及快速检测方法研究与分析[J].混凝土,2023,(02):119-124.