

水利工程现场原材料试验检测探究

王高翔

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：水利工程作为国家基础设施建设的关键领域，其质量直接关乎人民生命财产安全、社会经济的稳定运行以及生态环境的可持续发展。原材料作为水利工程建设的基础要素，其质量优劣对工程整体性能起着决定性作用。本文通过系统剖析水利工程现场原材料试验检测的必要性，结合水泥、钢筋、骨料等关键材料的检测标准与详细方法，深入探讨检测过程中的技术要点、常见问题及应对策略，并提出完善检测体系、强化动态管理、推动技术创新等优化路径，旨在为提升水利工程质量管理水平提供全面、深入的理论支持与实践指导。

关键词：水利工程；原材料检测；试验方法；质量管控；动态监测；技术创新

1 引言

水利工程具有施工周期长、投资规模大、技术复杂等特点，其建设质量受地质条件、气候环境、材料性能等多重因素影响。其中，原材料质量是工程安全的根本保障。据统计，我国近十年水利工程事故中，因原材料质量不达标引发的结构失效占比达32%，这一数据直观地揭示了现场试验检测的极端重要性。随着《水利工程质量管理规定》《水工混凝土施工规范》等法规的持续完善，原材料检测已从单一指标检验向全生命周期管控转变，对检测技术的精准性、系统性提出了更高要求。这种转变不仅体现了行业对质量管控的深化认识，也倒逼检测技术向智能化、信息化方向升级。

2 水利工程现场原材料检测的必要性

2.1 保障工程结构安全的核心作用

水利工程需长期承受水压、冲刷、冻融等复杂荷载，原材料的力学性能直接决定结构耐久性。以水泥为例，其强度不足会导致混凝土内部应力分布失衡，进而引发开裂；钢筋抗拉强度不达标则可能使结构在极端荷载下发生脆性破坏^[1]。某大型水库的溃坝事故调查显示，事故直接原因是混凝土中水泥氯离子含量超标，导致钢筋锈蚀膨胀，最终引发连锁式结构失效。这一案例深刻表明，原材料质量检测是预防工程灾难的第一道防线。

2.2 控制施工成本与进度的关键环节

原材料质量不合格往往导致返工、停工等连锁反应。某跨流域调水工程中，因砂石含泥量超标，混凝土强度达不到设计要求，不得不拆除已浇筑的300米渠道，造成1200万元直接经济损失和3个月工期延误。系统化的检测体系能通过事前管控降低质量风险，例如通过动态监测水泥强度发展趋势，可提前调整配合比设计，避免后期加固处理的高昂成本。

2.3 满足法规与技术标准的刚性要求

《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》明确规定，水泥、钢筋等主材需按批次进行物理、化学性能检测，并建立可追溯的质量档案。以钢筋检测为例，每60吨需检测屈服强度、抗拉强度等指标，检测报告需经监理单位签字确认后方可使用。这种严格的制度设计，既是对工程质量的法律保障，也是规避建设主体法律风险的重要手段。

3 关键原材料的检测标准与方法

3.1 水泥检测的精细化管控

依据《通用硅酸盐水泥》（GB175-2023），水泥检测需建立“批次管理-指标控制-时效监控”的全流程体系。在批次划分上，袋装水泥以200吨为检测单元，散装水泥以500吨为单元，确保样本代表性。对于不同批次的水泥，需分别进行检测，避免因批次混合导致检测结果不准确。检测指标涵盖物理、化学两大维度：物理性能包括细度（比表面积控制在300-400m²/kg）、凝结时间（初凝 ≥ 45min，终凝 ≤ 600min）、安定性（沸煮法检验游离氧化钙）和强度（28天抗压强度 ≥ 42.5MPa）。细度会影响水泥的水化速度和强度发展，凝结时间则关系到施工操作的便利性和工程进度，安定性不合格会导致混凝土开裂，强度是衡量水泥质量的重要指标。化学性能重点控制氧化镁（≤ 5.0%）、三氧化硫（≤ 3.5%）和氯离子（≤ 0.06%）含量。氧化镁和三氧化硫含量过高会影响水泥的体积安定性，氯离子则会加速钢筋锈蚀。储存时效管理同样关键，散装水泥在筒仓中的有效期为3个月，硅酸盐水泥因水化活性高，有效期缩短至1个月，超期水泥需重新检测合格后方可使用。在储存过程中，水泥会逐渐吸收空气中的水分而发生水化反应，导致强度下降，因此必须严格控制储存时间和环境条件。

3.2 钢筋检测的力学与工艺双控

钢筋检测需同时验证其力学性能和工艺性能。力学性能检测采用万能试验机进行拉伸试验,加载速率控制在6-60MPa/s,重点记录屈服荷载(对应屈服强度)和最大荷载(对应抗拉强度),并计算伸长率(标距5d时 $\geq 16\%$)。屈服强度反映了钢筋开始产生塑性变形时的应力,抗拉强度表示钢筋所能承受的最大应力,伸长率则体现了钢筋的塑性变形能力。工艺性能检测包括弯曲试验(180° 弯心直径 $D=4a$, a 为钢筋直径)和反向弯曲试验(先正向弯曲 90° ,再反向弯曲 20°),观察弯心处裂纹情况^[2]。弯曲试验用于检验钢筋的冷弯性能,反向弯曲试验则能更严格地考核钢筋在反复弯曲下的性能,确保钢筋在实际使用中不会因弯曲而产生裂纹和断裂。化学成分分析通过光谱仪检测碳(0.21%-0.26%)、硫($\leq 0.045\%$)、磷($\leq 0.045\%$)等元素含量,防止因成分偏析导致脆性断裂。碳含量过高会降低钢筋的塑性和韧性,硫和磷是有害元素,会导致钢筋热脆性和冷脆性增加。某泵站工程中,通过增加反向弯曲试验,发现某批次钢筋存在冷加工硬化缺陷,及时更换供应商避免了质量事故。

3.3 骨料检测的级配与杂质控制

骨料检测需建立“颗粒级配-杂质含量-力学性能”的三维控制体系。颗粒级配通过标准方孔筛(方孔尺寸4.75mm-90mm)进行筛分试验,细骨料细度模数控制在2.3-3.0,粗骨料按5-10mm、10-20mm、16-31.5mm分级堆放。合理的颗粒级配能使骨料在混凝土中形成紧密堆积,减少孔隙率,提高混凝土的密实性和强度。杂质控制重点检测含泥量(洗砂法,细骨料 $\leq 3.0\%$)、泥块含量(手工搓洗法,细骨料 $\leq 1.0\%$)和针片状颗粒含量(游标卡尺法,粗骨料 $\leq 15\%$)。含泥量和泥块含量过高会降低混凝土的强度和耐久性,针片状颗粒含量过多会影响混凝土的工作性和强度。力学性能检测包括压碎指标(细骨料 $\leq 30\%$,粗骨料 $\leq 16\%$)和坚固性(硫酸钠溶液法,质量损失率 $\leq 8\%$)。压碎指标反映了骨料的抗压能力,坚固性则体现了骨料在恶劣环境下的抗风化能力。某水库大坝工程中,通过优化骨料级配(将连续级配调整为间断级配),使混凝土工作性显著提升,同时降低水泥用量12%,取得了良好的经济效益和环境效益。

4 检测过程中的技术要点与常见问题

4.1 抽样方法的科学性提升

抽样是检测工作的基础,需遵循“分层-随机-代表”的原则。分层抽样按材料来源(如不同矿点)、生产批次(如不同生产日期)、堆放位置(如不同深度)进行

分层,确保各层样本比例与总体一致。例如,对于从多个矿点采购的砂石,应按矿点进行分层,分别从每个矿点的砂石堆中抽取样本,以准确反映不同矿点材料的质量状况。随机取样需使用随机数表或抽样模板,避免人为选择偏差。在抽取样本时,应确保每个可能被抽到的个体都有相同的机会被选中,不能根据主观判断选择样本。某渠道工程中,因仅从表面取样,未检测底层含水率超标的砂石,导致混凝土离析。后续改进中,采用“分层随机取样法”,在堆体上、中、下三层按3:5:2比例取样,有效解决了样本偏差问题,提高了检测结果的准确性。

4.2 检测设备的精度保障体系

设备精度直接影响检测结果可靠性。压力试验机需定期校准,示值误差不得超过 $\pm 1\%$,加载速率稳定性需符合《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》(GB/T228.1-2021)要求。如果压力试验机的示值误差过大,会导致检测出的水泥强度、钢筋强度等指标不准确,从而影响对原材料质量的判断。环境控制同样关键,水泥检测需在温度 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 50\%$ 的恒温恒湿室中进行,温度波动会导致水泥水化速率变化,湿度不足则影响标准稠度用水量测定。例如,在高温环境下,水泥的水化反应会加快,导致凝结时间缩短,强度发展异常;在湿度过低的环境中,水泥会吸收空气中的水分,使标准稠度用水量测定结果不准确^[3]。某泵站工程中,因烘箱温度偏差导致砂石含水率检测误差达3%,后续通过安装高精度温控仪,将温度波动范围控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内,显著提升了检测精度,确保了检测数据的可靠性。

4.3 检测数据的动态分析应用

动态数据分析能实现质量风险的提前预警。建立检测数据数据库,对水泥强度、钢筋屈服比等关键指标进行趋势分析,当连续3批次检测值呈下降趋势时,触发质量预警机制。通过对历史检测数据的分析,可以发现原材料质量的变化规律,及时采取措施进行调整,避免质量事故的发生。异常值处理需结合格拉布斯检验法(Grubbs'test)和狄克逊检验法(Dixon'sQtest),对可疑数据进行复检验证。在检测过程中,可能会出现一些与正常值偏差较大的数据,这些数据可能是由于检测误差、原材料质量波动等原因引起的。通过使用异常值检验方法,可以判断这些数据是否为异常值,并决定是否需要进行复检,以确保检测结果的准确性。某水库工程中,通过动态监测发现某批次水泥28天强度较前批次下降8%,经复检确认强度不达标后,立即终止使用该批次水泥,避免了大面积质量事故,体现了动态数据分析在

质量控制中的重要作用。

5 水利工程现场原材料检测的优化策略

5.1 检测体系的标准化与协同化

构建“三级检测+全流程追溯”的管控体系：施工单位自检执行“首件检验+过程抽检”，在每一批原材料进场时进行首件检验，确保原材料符合质量要求；在施工过程中，按照一定比例进行过程抽检，及时发现质量问题并采取措施进行整改。监理单位按10%比例平行检验，对施工单位的检测结果进行独立验证，确保检测数据的真实性和准确性。第三方检测机构进行飞检（不定期抽检），对施工单位和监理单位的检测工作进行监督和补充，提高检测的公正性和权威性。建立检测数据云平台，实现检测报告电子化、检测记录可追溯化。通过云平台，建设单位、施工单位、监理单位和监管部门可以实时共享检测数据，方便对原材料质量进行监控和管理。同时，检测记录的可追溯化可以为工程质量事故的调查和处理提供依据，明确各方的责任。某流域治理工程中，通过引入第三方检测机构，将材料合格率从85%提升至98%，同时检测周期缩短40%，取得了显著的效果。

5.2 人员能力的专业化与持续化

实施“持证上岗+定期轮训”制度，检测人员需取得水利工程质量检测员资格证书，每3年进行继续教育。持证上岗可以确保检测人员具备相应的专业知识和技能，能够准确地进行原材料检测和质量判断。定期轮训可以使检测人员及时了解行业最新动态和技术发展，不断更新知识结构，提高业务水平。建立“理论考核+实操比武”的考评机制，某省水利厅通过开展“检测技能大比武”，将检测人员操作合格率从72%提升至95%，人为误差率降低至3%以下^[4]。理论考核可以检验检测人员对专业知识的掌握程度，实操比武则可以考察检测人员的实际操作能力和解决问题的能力。通过这种考评机制，可以激发检测人员的学习积极性和工作热情，提高检测队伍的整体素质。

5.3 技术应用的智能化与信息化

推广“物联网+大数据”技术，在骨料堆场安装温湿度传感器，实时监测材料存储环境；利用无人机巡检技术，实现砂石料场远程监控；开发AI辅助判读系统，自动识别水泥胶砂试件裂缝、钢筋弯曲裂纹等缺陷。物联网技术可以实现原材料存储环境的实时监测和预警，确保原材料在适宜的环境中储存，避免因环境因素导致质量下降。无人机巡检技术可以提高检测效率，减少人工巡检的工作量和安全风险。AI辅助判读系统可以提高缺陷识别的准确性和效率，减少人为误差。某大型灌区工程中，通过部署智能检测系统，使检测效率提升30%，数据准确性提高至99.2%。智能检测系统可以实现对原材料检测过程的自动化控制和数据采集，减少人为干预，提高检测的准确性和可靠性。同时，系统还可以对检测数据进行分析 and 处理，为质量管理提供决策支持。

结语

水利工程现场原材料试验检测是保障工程质量的核心环节。通过完善检测标准、优化检测方法、强化动态管理，可显著提升材料质量管控水平。未来，随着BIM技术、区块链等新兴技术的应用，原材料检测将向“全生命周期追溯”“智能预警”方向发展。例如，通过区块链技术建立不可篡改的检测数据链，实现从原材料生产到工程退役的全过程质量追溯；利用数字孪生技术构建虚拟检测模型，提前预测材料性能演变趋势。这些技术创新将为水利工程高质量发展提供更坚实的技术支撑，推动行业向智能化、精细化方向转型升级。

参考文献

- [1]屈鑫平.水利工程现场原材料试验检测方法研究[J].水上安全,2025,(10):139-141.
- [2]闫沛甜.水利工程现场原材料试验检测方法研究[J].水上安全,2025,(07):163-165.
- [3]李凯奇.水利工程现场原材料试验检测探究[J].中华建设,2025,(01):147-149.
- [4]张凤娇.水利工程现场原材料试验检测探究[J].居业,2022,(06):185-187.