

水利工程混凝土强度检测技术研究

彭治都

(四川南充水利电力建筑勘察设计研究院, 四川 南充 637500)

摘要 水利工程体量与结构复杂度持续提升, 对混凝土强度检测技术的系统性、精准性和时效性提出了更高要求。本文梳理了混凝土强度检测在水利工程中的重要意义, 系统介绍了回弹法和钻芯取样法检测技术的原理与适用特点, 并从标准体系建设、多技术综合运用、设备维护管理及引入智能化技术四个维度提出优化对策, 旨在为水利工程混凝土检测提供更系统、更精准的技术方案, 助力提升检测技术水平, 从源头把控工程质量, 为我国水利工程的安全运行和高质量发展提供坚实的保障。

关键词 水利工程; 混凝土强度; 检测技术; 回弹法; 钻芯取样法

中图分类号: TV41

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.021

0 引言

随着我国水利建设向高质量迈进, 对混凝土强度检测的技术要求日趋严格。准确评估在役及新建工程混凝土的实体强度, 既是验收把关的刚性要求, 也是运行期安全监测的重要内容。因此, 开展水利工程混凝土强度检测技术研究, 优化检测方法, 可为工程质量评定提供科学依据, 对推动水利工程高质量发展具有重要意义。

1 混凝土强度检测在水利工程中的重要性

1.1 混凝土强度直接决定水利工程结构安全与稳定

水利工程长期受到水压、渗流、冻融、地基沉降等多方面荷载的共同影响, 结构所处的受力环境比一般的建筑工程要复杂得多。混凝土抗压强度属于结构承受复合荷载的保证参数, 是工程设计承载力计算的主要依据, 也是判定结构能否在极端工况下保持完整性的基本指标。以混凝土重力坝为例, 坝体要同时承受库区静水压力、地震动荷载、温度应力, 三者叠加形成的复合受力状态对混凝土强度提出了很高的要求, 任何一个局部区域的强度不足, 都会造成裂缝的萌生和蔓延, 进而引发整体失稳的连锁风险。风险不是线性累积的, 在强度薄弱的地方会出现突然性的破坏, 一旦达到临界值就无法逆转, 这是强度检测不可替代的原因。强度检测的价值在于, 对实体混凝土强度进行量化评价, 为结构承载力验算提供可靠的依据, 从而判断工程是否满足设计要求, 保证安全评价有据可依。忽略检测或者检测数据失准, 会造成工程安全评价主观

化, 结构隐患不能被提前发现, 风险没有预警就持续累积起来, 最后变成不可控的安全威胁。因此, 将强度检测纳入工程建设、运维全过程, 不是程序上的安排, 而是保证水利工程结构安全的第一道实质性防线。

1.2 强度检测是保障水利工程长期运行质量的关键

水利工程的服役年限一般为几十年甚至上百年, 混凝土在长期使用过程中由于碳化、硫酸盐侵蚀、碱骨料反应等劣化作用而使强度不断下降, 这个过程是不可避免的物理化学规律, 只是劣化速度的快慢和分布的均匀程度不同而已。因此, 竣工验收时所取的强度数据只能体现工程初始阶段的性能水平, 随着时间的推移, 这种数据同结构实际状态之间的差别会越来越明显, 依靠这个数据来进行安全判定, 其可信度将会逐年降低。定期开展强度检测, 可及时掌握混凝土性能变化的趋势, 在劣化程度还没有达到危险阈值的时候发现异常区域, 为养护加固方案的制定提供有针对性的数据支撑, 进而将被动应急处置转变为主动预防管理。特别是对建成年代早、设计标准低的老旧水利工程来说, 原始设计所依据的规范已经远远低于现在的标准, 材料性能在长期使用过程中也发生了不可忽视的退化, 系统强度检测是进行安全风险评价、制定除险加固方案的前提条件, 没有可靠的检测数据, 加固方案的针对性和经济性都难以保证。可以说强度检测贯穿于工程的全生命周期, 是保证水利工程持续安全运行、实现精细化管理的基础性工作, 其重要性不会因为工程建成而减弱, 反而会随着运行年限的增加而更加明显^[1]。

作者简介: 彭治都 (1988-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程检测。

1.3 提升检测技术水平是推动水利建设高质量发展的必然要求

目前,水利工程建设正处在由规模扩张向质量提升转变的关键阶段,国家对全过程质量控制的要求也越来越严格,检测技术是质量保证体系的重要组成,检测技术水平的好坏直接影响到工程质量评价的准确性、可信度。检测数据是工程质量判定的根基,如果检测手段自身存在精度欠缺或者适用范围受限的情况,那么质量评定就无法得到可靠的依据,再好的管理流程也无法弥补这种根本性的缺失。传统的检测方法一直以回弹法、取芯法为主,在条件规范的环境下可以满足基本的需求,但是对于复杂工况、异形结构、大规模施工现场等实际情况来说,检测精度低、适用范围窄、检测效率低等问题会集中暴露出来,不能覆盖大体量结构的全部检测部位,也不能及时准确地识别出局部薄弱区域。这些技术局限性在工程体量小、结构简单的建设阶段可能还可以接受,但是当大型水利枢纽、引调水工程大量兴建时,成为制约工程质量控制水平提高的明显短板。推进检测技术系统性更新,采用综合检测手段和智能技术相结合的方式,才是破解以上难题的出路。只有将技术创新成果转化为检测能力的实质性提高,才能从根本上保证工程质量可靠,推动水利建设高质量发展。提高检测技术水准既是行业自身发展的内在需求,也是国家水利建设战略部署的现实要求^[2]。

2 水利工程混凝土强度检测的主要技术类别

2.1 回弹法检测技术的基本原理

回弹法是目前水利工程现场检测中使用最广的无损检测方法之一。基本原理就是用弹击锤以一定的初速度冲击混凝土表面,测量锤体自由回弹时的回弹值,以此间接推算混凝土表面的硬度指标,再根据事先建立起来的经验回归相关关系,换算出混凝土抗压强度的估算值。回弹仪自身结构紧凑、操作过程简单快捷、设备轻巧便于随身携带,整个测试过程对被测结构不会造成任何物理损伤,特别适合大面积、大体量构件的普查性初步检测筛查工作。检测人员在短时间内就可以得到大量的测点强度分布数据信息,为工程整体质量状况的宏观评价和初步判断提供重要的参考依据。但是回弹法自身存在的不足也不能忽视,回弹法检测结果只能反映混凝土表层约30 mm深度范围内质量状况和力学性能,当混凝土表层出现碳化加深、冻融循环破坏、表面受潮或者施工振捣不均造成质量差异较大等情况时,回弹值与混凝土内部实际强度的相关性就会明显下降,检测精度也会受到影响^[3]。

2.2 钻芯取样法检测技术的操作流程

钻芯取样法是目前工程界公认的获得混凝土实体强度最直接、结果最可靠的方法。其具体操作过程就是用配备金刚石薄壁钻头的专用钻芯机在选定的检测部位垂直钻取一定直径的圆柱形混凝土芯样,然后将芯样送到具有资质的试验室中,经过切割端面、研磨整平等工序加工成符合规范要求的标准试件,再按照规定的加载速率进行单轴抗压试验,从而直接测定并得到混凝土的实际抗压强度数值。该方法最突出的优点是试验结果不受混凝土表层碳化深度、含水饱和状态、表面处理工艺等外界因素的影响,可以真实、客观地反映混凝土内部整体的力学性能,其准确度和可信度比依靠间接推算的各类无损检测方法要高得多。水利工程中对关键承重部位的强度复检验证、质量事故原因调查分析、结构加固补强方案的制定论证等工作环节,钻芯取样法始终是不能取代的最后的验证手段和仲裁方法。其主要缺点就是操作过程中不可避免地会对被检测结构造成一定程度的局部破坏,因此钻孔数量和布置位置受到严格的限制,使得检测的覆盖范围小、代表性差,后期还需要对每一个取芯孔用高强度材料认真细致地修补封堵^[4]。

3 水利工程混凝土强度检测技术的优化对策

3.1 建立健全检测标准体系,确保各类方法规范有效执行

检测工作是否规范直接关系到数据是否有法律效力以及工程应用价值。目前,水利工程混凝土检测涉及国标、行业标准和地方规程,条文之间存在交叉甚至冲突,部分操作细节的规定不明确,对一线检测人员造成理解与执行上的困难。关键之处在于促使形成层次分明、彼此衔接的标准体系,即以行业技术规范为主导,确定各个检测办法的适用情况、操作流程、数据处理准则以及成果表达要求,削减模糊之处。对水利工程特有的环境(水下结构、高湿环境、大体积混凝土)进行专门的技术规定,以弥补通用标准在水工方面适用性不强的缺陷。还应建立相应的检测人员资质管理及岗位培训制度,将标准学习、操作规范作为上岗考试内容,从执行层面上保证标准真正落实,而不能只停留在文件层面。操作人员可以构建“普查、复核、验证”的梯次检测逻辑,先采用回弹法或超声波法开展大范围构件检测,快速完成全面排查,精准锁定强度异常区域。对工程关键控制点以及综合检测结果存在争议的部位,实施钻芯取样检测,以实测强度数据作为最终判定依据。

3.2 推进多种检测技术综合运用,提升检测结果准确性

单一检测方法的不足已经通过工程实践得到证实,采用多种技术综合使用的方式是提高检测结论可靠性的主要途径。不同的方法可以互相检验,当结果有明显差异时,要查找原因并扩大抽检范围,防止局部问题被忽略。多技术综合运用不是简单地叠加,而是在工程特点的基础上进行有机整合,在检测方案的设计阶段就应加以统筹考虑,形成完整的检测逻辑链^[5]。操作人员要严格落实设备定期校准制度,按照检定周期将仪器送至法定计量机构开展检定,每次检测作业前进行现场率定,及时发现并修正设备参数偏差,保障设备处于有效运行状态。将超声仪探头耦合剂使用、回弹仪钢砧率定等细节操作纳入标准作业规程,要求操作人员严格遵照执行,规范操作流程。

3.3 强化检测设备的日常维护与定期校准保障数据可靠

检测数据的准确性以设备良好的状态为前提,而这一基础性的前提常常被忽视。回弹仪的弹击能量、超声仪的探头频率、测距精度等重要参数一旦出现漂移,就会造成检测数据出现系统性的失真,操作人员如果缺少识别的能力,这样的误差很难被察觉到。优化设备管理首先要建立日常保养制度,规范仪器的存储、运输、使用条件,防止仪器受到碰撞、受潮等物理损伤;其次要落实定期校准要求,按照检定周期送法定计量机构检定,在每次使用前进行现场率定,保证设备处于有效状态。操作人员可以对超声仪探头的耦合剂使用、回弹仪的钢砧率定等细节操作要纳入标准作业规程,并严格遵守。另外,检测机构要建立设备档案,对每台仪器的使用情况、维修记录、历次校准数据进行详细的记载,从而为数据质量的可追溯提供依据。仪器设备精细化管理,就是把规范标准变成高质量的检测数据的最后一道保障。

3.4 加大智能化检测技术引入力度,提升检测效率与精度

数字图像分析、机器学习、无人机搭载检测等新兴技术已经在土木工程检测中显示出巨大的应用前景,将它们应用于水利工程混凝土强度检测,是打破传统检测方法瓶颈的一种方式。用机器学习对大量的历史检测数据进行训练,可以得到更加精确的数据驱动型强度预测模型,克服传统测强曲线泛化能力差的缺点。无人机搭载回弹仪或者图像采集装置,可以对大坝坝

面、溢洪道边墙等人工无法到达的地方进行高效的检测,很好地解决了高空、水上构件检测作业的安全风险高、效率低的问题。在数据处理方面,操作人员应加入自动报告生成系统、检测数据管理平台,减少人工录入错误,实现检测信息及时汇总分析的目的,支持工程质量动态控制。智能化技术的加入并不是对传统方法的全面取代,而是在关键环节上起到增强和补充的作用,从而整体提高水利工程混凝土强度检测的效率和精度。操作人员可以依托无人机搭载回弹仪或图像采集装置,开展大坝坝面、溢洪道边墙等高空、水上构件检测作业,有效降低人工检测的安全风险,大幅提升检测效率。搭建检测数据管理平台,引入自动报告生成系统,减少人工录入环节,降低数据录入错误率,实现检测信息的实时汇总、分析与共享,为工程质量动态控制提供数据支撑。结合工程实际需求,合理整合智能化技术与传统检测方法,在关键检测环节发挥智能化技术的补充增强作用,全面提升水利工程混凝土强度检测的效率与精度。

4 结束语

混凝土强度检测是水利工程质量管理体系中不可或缺的技术支撑。回弹法和钻芯取样法各有其适用场景与技术边界,工程实践中应根据现场条件灵活选用,在多技术的协同运用中取长补短,形成完整可靠的检测结论链。面向水利建设高质量发展的目标,操作人员需持续深化检测技术,为工程结构安全的全生命周期保障打下更坚实的技术基础。

参考文献:

- [1] 涂文斌,陈雯,吴骞.水利工程混凝土强度检测中超声回弹综合法运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2026(06):208-210.
- [2] 陈雯,涂文斌,吴骞.基于钻芯法的水利工程预制薄壁构件混凝土强度检测技术[J].城市建设理论研究(电子版),2026(03):220-222.
- [3] 张飞,张世豪,马亮.基于回弹法的输水工程混凝土质量检测研究[J].工程技术研究,2025,10(22):151-153.
- [4] 田延翔,吴帅峰,骆亚生.回弹法在水利工程混凝土强度检测中的优化与应用研究[J].水利建设与管理,2025,45(06):35-41,34.
- [5] 何远鹏,颜少莲,古今用.钻孔取芯法在水库工程实体质量检测中的应用研究[J].水上安全,2025(04):127-129.