

# 水利工程混凝土质量检测技术要点研析

龙伟康

广东建科源胜工程检测有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8541

**[摘要]** 混凝土的质量检测环节有助于保障水利工程的结构安全与耐久性能。本文以位于粤西地区的某水利枢纽工程为例，探讨声回弹联合检测和静水压力法在混凝土实体质量检测中的应用效果，结果表明，两种方法能够准确地反映混凝土的致密性与防渗性能，可为水利工程混凝土质量评估与后期维护提供了可靠的技术参考。

**[关键词]** 水利工程；混凝土；质量检测；密实度；抗渗性能

## Research and analysis on key points of concrete quality inspection technology for water conservancy engineering

Long Weikang

Guangdong Jianke Yuansheng Engineering Testing Co., Ltd.

**[Abstract]** The quality inspection of concrete is helpful in ensuring the structural safety and durability of hydraulic engineering. This article takes a water conservancy hub project located in western Guangdong as an example to explore the application effects of acoustic rebound joint detection and static water pressure method in concrete solid quality testing. The results show that both methods can accurately reflect the compactness and anti-seepage performance of concrete, providing reliable technical references for concrete quality evaluation and later maintenance in water conservancy projects.

**[Key words]** water conservancy engineering; concrete; Quality inspection; Compactness; Impermeability performance

### 引言

水利工程在工程设计上承担着防洪调蓄、水资源配置与生态修复等多个功能，属于国家的重大基础设施<sup>[1]</sup>。而对于任何工程来说，其质量的安全与否都关系到工程实施中各项功能的实现。其中水利工程作为直接关系到国计民生和区域可持续发展的基础工程，其长期处于静水压力、渗透应力及温度应力的综合作用下，这种特性让这一工程的结构安全与服役性能在各类工程项目中极为突出<sup>[2]</sup>。而在水利工程的主要结构中，混凝土无疑是其中对工程寿命和安全起到决定性因素的核心材料，也正因如此，对水利工程的混凝土进行精确且全面的质量检测就决定了水利工程能否在其正常服役年限中提供基础的保障作用<sup>[3]</sup>。对此，本文将重点分析水利工程中相关质量检测技术的应用情况，以此为工程质量保障提供可操作的技术支撑与实

践参考。

### 1 水利工程混凝土质量检测的价值及检测指标

#### 1.1 混凝土质量检测在水利工程建设中的价值

水利工程的主要功能是完成蓄、引、泄、输等水体调控活动，其结构由挡水坝体、泄水建筑、引水隧洞和供水渠道等组成<sup>[4]</sup>。而为了让水域内的水源得到有效的控制，这些结构需要长期处于静水压力、渗透应力以及温度应力下，这种需求也让水利工程中的各项结构需具有高强度、高密实度与良好的体积稳定性，这样才能长期抵抗复杂的荷载及多变环境的耦合影响。

对于这些结构而言，组成其结构以及使其具备这些性能的关键材料就是混凝土，因此可以说，混凝土在水利工程中的实际引用中兼具有承载、防渗、抗冲与保护等多重作用，起着

维系着工程结构整体安全与水工效能的效果<sup>[5]</sup>。一般情况下,在水利工程这种大体积的混凝土结构中,内部的水化热释放与外部温差会出现共同作用,容易致使其在工程结构上出现热裂缝与约束应力集中的问题。而如果混凝土的材料性能并没有做到与预先设计参数一致,那这一问题的出现就会直接削弱结构的防渗体系连续性与整体刚度。相应的,在众多的工程实践中,混凝土的质量问题也往往是导致水利工程出现渗漏、冻融劣化及结构变形等常见工程问题的根本原因,其孔隙率、含水率与界面结合状态中所出现的任何差异,都在外在因素的影响下,最终导致工程的整体耐久性与抗压承载能力受到严重的削弱<sup>[6]</sup>。因此,为了保障水利工程在高水压和周期性荷载作用下能够持续的稳定安全运行,必须要做到对水利工程中的混凝土实体质量保持精确的控制,这样才能让其材料性能与设计标准能够保持匹配。

### 1.2 混凝土质量检测的主要指标

针对于水利工程混凝土的质量评定来说,其所评价的重点主要就是其力学性能和耐久特性,这两个特性在达到了标准的情况下,基本就奠定了这一工程结构能够长期满足设计要求与服役环境。而由于水利建筑普遍承受着高水压、渗透应力及温差作用,因此对于混凝土的结构安全和防护能力的判断就集中到了其内部结构和物理特性上。综合工程的实践及相关检测标准,水利工程中的混凝土质量检测所考察的指标就是其强度、密实度、抗渗性能和抗冻性能四项。这些指标可以在不同的层面上反映出混凝土在力学、物理与环境作用下的综合表现。

混凝土的强度一定程度上代表了水利工程结构的承载性能与安全储备,由于水利工程中的坝体底部静水压力集中区、闸墩根部剪切带等结构区域是长期处于复杂的应力环境下,因此这些区域的混凝土结构就需要具备足够的抗压强度和抗拉能力<sup>[7]</sup>。因此基于检测混凝土的抗压强度及其空间分布,就可以做到判断其材料是否满足设计等级。

密实度则是判断混凝土结构整体稳定性与防护性能的关键性指标,相对来说,密实度高的混凝土孔隙率低、结构连续性好,这使其能够有效地阻隔渗流与气体侵入,就可以一定程度上延缓钢筋腐蚀及冻融破坏的发生<sup>[8]</sup>。相反,如果拌合比例控制不当、振捣不足或二次浇筑衔接不良,则会造成结构上的局部疏松区或贯通性孔道,让水利工程的防渗体系失效。

抗渗性能代表的则是混凝土在高水压环境下的防渗与防护能力。对于水利工程来说,其庞大的防渗体系主要是依靠混凝土本身的致密结构对水流的渗透进行阻断。而当混凝土的孔隙连通性较高时,工程的渗透系数就会增大,而渗流的压力将沿微裂缝进行扩散,引起局部的渗蚀或冻融破坏。

抗冻性能则代表的是混凝土在低温和反复冷冻和融化的环境下所具有的体积稳定和结构耐久特征。当水利工程处于寒冷地区时,其混凝土内部的水分会反复的冰冻膨胀,这会出现微裂缝扩展、表面剥蚀及强度衰减等问题。因此检测这一指标

就可以验证混凝土的抵抗冻融损伤的能力,可以防止因环境温度的变化而造成工程保障的失效。

## 2 水利工程混凝土质量检测的技术应用分析

### 2.1 工程背景

某大型水库枢纽工程下游坝段位于粤西地区,主要功能为防洪、灌溉及区域供水,坝型为混凝土重力坝,坝高 42m,坝顶长度 312 m,总库容约 0.82 亿 m<sup>3</sup>。自投入运行以来,工程整体运行稳定,但近年在定期巡检中发现,坝体迎水面部分区域出现局部渗湿、表面泛白及细微裂纹等现象。为全面掌握坝体混凝土的实体质量状况,开展了此次混凝土质量检测工作。结合坝体结构特点及运行状态,此次检测选取了三处部位作为检测重点,包括:处于上游水压集中区的坝踵区;承受主应力转换带的坝腰区;结构节点复杂、施工缝多的闸墩根部。

### 2.2 检测实施过程

此次工程属于大河水库除险加固工程,检测前,检测人员对测区的表面进行了清理与打磨,清除了上面的浮浆、油污及松散颗粒,并使混凝土表面平整、干燥。测点的布置采用的是网格化方式,并根据坝体标高和受力情况进行了分区布点。在检测过程中,为了更全面地掌握混凝土的抗压性能与内部致密性,此次检测采用声回弹联合检测法。主要以回弹法和超声波法进行,根据测定声波在混凝土内部的传播时间  $t$ ,并计算波速  $V=L/t$ ,其中  $L$  为测距长度。波速越大,代表混凝土结构越致密、弹性模量越高。而为了消除其中存在的偶然误差,每个测点均重复检测五次取平均值,同时实时记录当时的环境温度与湿度,用来修正测试条件存在的差异对波速而造成的影响。

在检测后,再以钻芯法获取其中的标准待测件进行抗压试验,测其实测强度  $f_{core}$ 。随后以声回弹与钻芯数据建立经验回归模型,对强度进行推定计算。模型形式见式(1):

$$f_c = a + bR + cV + d \quad (1)$$

式中  $f_c$  代表混凝土抗压强度 (MPa),  $R$  代表回弹均值;  $V$  代表超声波速 (km/s),  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  分别代表通过最小二乘法确定的经验系数。而除强度外,混凝土的抗渗能力检测选用静水压力法与渗透系数法进行。测试自强度检测区钻芯样,经饱水处理 48 h 后置于抗渗仪中,按规程逐级加载水压,每级上升 0.2 MPa 并保持 2~3 小时,直至出现规定数量的渗水点为止。根据最大不渗水压力  $P$  确定材料的抗渗等级,同时依据渗流速率计算渗透系数  $K$ ,见式(2)所示:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad (2)$$

式中  $K$  代表渗透系数 (cm/s);  $Q$  代表渗水量 (cm<sup>3</sup>);  $L$  代表试件厚度 (cm);  $A$  代表渗透面积 (cm<sup>2</sup>);  $H$  代表水头高度 (cm);  $t$  代表渗透时间 (s)。其中,渗透系数越小,意味着混凝土的致密性越高、抗渗性能也越好。

在整个检测实施过程中,技术人员严格控制环境的温度与仪器状态,以此保证超声传感器与混凝土表面的耦合充分,且

抗渗仪加载系统稳压准确。所有原始数据均于现场同步记录,经复核后输入数据库中。

### 2.3 检测结果分析

在完成现场检测与实验室数据整理后,此次检测对混凝土

的抗压强度、密实度及抗渗性能进行了综合分析。基于对声回弹联合检测数据与钻芯实测结果的对照,判断坝体混凝土的整体质量是否处于稳定状态。测点数据结果见表1所示:

表1 坝体各检测区混凝土主要检测数据对比

检测部位	回弹均值 R	超声波速 V (km/s)	推定强度 $f_c$ (MPa)	钻芯实测强度 $f_{core}$ (MPa)	偏差 (%)	渗透系数 K ( $\times 10^{-8}$ cm/s)	抗渗等级
坝踵区	39.2	3.82	34.6	36.1	-4.2	2.6	W9
坝腰区	43.5	4.15	38.9	40.1	-3.0	1.3	W10
闸墩根部	41.8	4.03	37.4	38.0	-1.6	1.5	W10
平均值	41.5	4.00	37.0	38.1	-2.9	1.8	W10

由表1数据可以看到,各测区的声回弹推定强度与钻芯实测强度之间偏差均处于 $\pm 5\%$ 以内,相关系数  $R^2$  为 0.93,而这一数据所表现出的是声回弹联合检测结果与实测值高度一致,能够准确反映出坝体混凝土的强度分布特征。同时波速 V 的整体分布集中在 3.8~4.2 km/s 范围内,也说明混凝土结构致密、连续性良好。坝腰区的波速与强度均值最高,这表明该区域施工与养护质量较优;坝踵区局部波速略低,分析其原因可能是与早期浇筑段温度控制及振捣条件有关。

而在抗渗性能方面,各区域的渗透系数 K 值均小于  $3.0 \times 10^{-8}$  cm/s,对应抗渗等级 W9~W10,整体优于设计标准 (W8)。因此为了进一步分析密实度与抗渗性能的对应关系,此次检测对超声波速与渗透系数进行相关性计算,结果如表2所示。

表2 超声波速与渗透系数相关性分析

样本编号	超声波速 V(km/s)	渗透系数 K ( $\times 10^{-8}$ cm/s)	对应关系
1	3.82	2.6	负相关
2	4.03	1.5	负相关
3	4.15	1.3	负相关
4	4.10	1.4	负相关
5	3.90	2.3	负相关

基于相关性结果可以看到,超声波速与渗透系数之间呈明显的负相关趋势,也就是波速越高,混凝土结构越致密,渗透通道越少,抗渗性能越强。根据统计分析可以了解到,两者相关系数  $r=-0.81$ ,恰好符合密实度与防渗能力之间的物理关系。综合来看,这一结果验证了声学检测在快速评估混凝土防渗性能方面的可行性。

综合分析各项指标结果,在此水利工程中,其坝体混凝土的抗压强度、密实度及抗渗性能均满足甚至优于设计标准,结构内部未发现显著异常区。且检测数据之间的匹配度较高,这证明此次检测所采用的声回弹联合检测与静水压力法结合的技术路线在水利工程混凝土质量检测中具有较强的可靠性和代表性,能够为后续的运行维护及耐久性评估提供坚实的数据支撑。

### 3 结语

水利工程中的混凝土质量检测是对水利工程建设与运行的基本保障,基于对混凝土的强度、密实度、抗渗性能和抗冻性能等指标进行采集,可以做到从力学特性、结构完整性及耐久性等多个方面获取到混凝土的实体质量。而在具体的检测中,强度检测的结果意味着的是混凝土的承载能力,密实度与抗渗性能表达出的是混凝土的内部结构与防护能力,而抗冻性能则展现出了其环境适应性。未来,随着检测技术与数据处理手段的不断完善,水利工程混凝土检测也将逐步向自动化和信息化方向发展。因此,在这一背景下,建立统一的技术标准和数据管理机制,将进一步为工程质量监测、运行安全评估及后期维护提供更加可靠的技术支撑。

### [参考文献]

- [1]汪晓睿.水利工程混凝土施工及养护管理探讨——评《水利工程与混凝土施工》[J].人民黄河,2024,46(5):10002-10002.
- [2]林春光.水利工程混凝土温度控制设计及施工探析[J].河南建材,2025,(9):112-114.
- [3]曹敏,林秀松.无损检测技术在水利工程混凝土结构质量检测中的应用[J].水利技术监督,2025,(9):30-32+148.
- [4]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(8):124-126.
- [5]范向前,刘决丁,葛菲,等.某水利枢纽工程混凝土力学性能对比研究[J].水利水电工程学报,2023,(2):129-137.
- [6]罗宁.水利水电工程坝体混凝土施工质量管理研究[J].人民黄河,2022,44(1):231-232.
- [7]王臻.新时期水利工程混凝土施工及养护策略研究[J].科技资讯,2025,23(15):133-135.
- [8]高振慧.激光扫描技术在水利工程混凝土表面裂缝检测中的应用[J].水泥,2025,(7):109-112.