

# 航电工程质量检测与混凝土试验技术

张桂源

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 湖南 长沙 410014

**摘要:** 本文围绕航电工程质量检测与混凝土试验技术展开研究,结合航电工程混凝土结构特点,系统梳理检测标准、依据及关键指标。阐述常规试验方法、新型无损检测技术及数字化试验技术构成的完整体系,其中无损检测涵盖超声波、雷达等多种技术及联合检测模式。分析施工前、中、后全流程检测要点,提出时序优化、资源整合、数字化管控等流程优化策略。完善的检测标准、多元试验技术及闭环流程管控,能有效保障航电混凝土结构安全性与耐久性,为航电工程质量管控提供技术支撑,助力行业数字化质量管控转型。

**关键词:** 航电工程;质量检测;混凝土试验;无损检测技术

引言:航电工程作为水利水电与航运枢纽核心设施,混凝土结构质量直接决定工程通航、发电、防洪综合效能。其混凝土结构工况复杂,长期承受水压力、冻融循环及泥沙磨损,对耐久性、强度等指标要求严苛。当前,传统检测技术与流程已难以适配工程高精度、高效率管控需求。基于此,本文聚焦航电工程混凝土质量检测与试验技术,系统分析检测标准、技术体系及全流程要点,探索优化路径,旨在完善检测技术应用方案,解决隐蔽缺陷识别、数据精准度等难题,为航电工程高质量建设提供理论与实践参考。

## 1 航电工程混凝土质量检测标准与要求

### 1.1 航电工程混凝土结构特点

航电工程混凝土结构兼具承重、防渗、抗冲磨及抗腐蚀等多重功能,工况条件复杂且对安全性要求极高。其结构多处于水下、干湿交替或强水流冲击环境,常见形式包括闸室、桥墩、消力池、防渗墙等,构件尺寸庞大且施工工艺复杂,部分结构需承受长期水压力、温度应力及荷载作用。与普通土建工程相比,航电混凝土结构对耐久性、抗渗性及强度均匀性要求更为严苛,需抵御水体侵蚀、冻融循环及泥沙磨损等不利因素<sup>[1]</sup>。结构整体性直接影响航电工程的通航、发电及防洪功能,一旦出现质量缺陷易引发连锁安全隐患,因此需结合结构特点制定针对性检测方案,保障结构长期稳定运行。

### 1.2 质量检测依据

航电工程混凝土质量检测依据以国家、行业标准为核心,兼顾工程设计文件及合同要求形成完善体系。核心依据包括《水利水电工程混凝土施工规范》《混凝土结构工程施工质量验收规范》等国家标准,以及《航电枢纽工程施工质量检验与评定规程》等行业专项标准。设计文件明确的混凝土强度等级、抗渗等级、抗冻等级及耐久性指

标,是检测的核心技术参数。同时,施工组织设计、专项施工方案及原材料进场检验报告,作为过程检测的重要依据,需与现场施工实际精准对应。另外,第三方检测机构资质标准、试验方法标准及数据评定标准,规范检测行为及结果判定,确保检测数据合法有效、具有可追溯性,为质量评定及验收提供权威依据。

### 1.3 关键检测指标

航电工程混凝土质量关键检测指标涵盖力学性能、耐久性及外观质量三大类,直接决定结构安全及使用寿命。力学性能指标核心为立方体抗压强度,需满足设计承载力要求,同时检测轴心抗压强度、抗拉强度等辅助指标。耐久性指标包括抗渗等级、抗冻等级、抗冲磨强度及抗腐蚀性能,针对航电工程水环境特点,重点检测混凝土渗透系数、冻融循环后的强度损失率及表面磨损量。外观质量指标涉及构件尺寸偏差、表面平整度、裂缝宽度及深度,其中裂缝控制尤为关键,需严格把控受力和非受力裂缝的限值。混凝土配合比合理性、钢筋保护层厚度及密实度等指标,作为隐性关键指标,直接影响结构整体性能,需纳入全面检测范围。

## 2 航电工程混凝土试验技术体系

### 2.1 常规试验方法

航电工程混凝土常规试验方法是质量检测的基础手段,涵盖原材料检验、配合比设计及实体强度检测等环节。原材料试验包括水泥强度、细度、安定性检测,砂石骨料级配、含泥量及压碎值测定,外加剂性能及掺量适配性试验,确保原材料符合质量标准。混凝土拌合物试验需检测坍落度、扩展度、凝结时间及和易性,保障施工可行性。实体强度检测以钻芯法为基准,通过钻取混凝土芯样进行抗压试验,精准反映实体强度。同时,结合标准养护试件及同条件养护试件的抗压试验,对比

分析实体质量与设计要求的差异<sup>[2]</sup>。常规试验方法成熟可靠、数据精准，是航电工程混凝土质量验收的核心依据，适用于各类结构的基础质量检测。

## 2.2 新型无损检测技术

### 2.2.1 超声波检测

超声波检测作为主流无损检测技术，在航电工程混凝土检测中应用广泛，核心原理是通过发射超声波穿透混凝土，根据声波传播速度、振幅及波形变化判定内部质量。检测时将超声换能器对称布置于构件表面，声波在密实混凝土中传播速度快、衰减小，若存在空洞、裂缝、疏松等缺陷，声波传播路径改变，速度降低且衰减加剧。该技术可检测混凝土内部缺陷位置、大小及分布范围，同时能推算混凝土抗压强度，适用于闸室、桥墩等大体积混凝土结构。其优势为操作简便、检测速度快、对结构无损伤，可实现大面积普查，缺点是对缺陷定性精度依赖操作人员经验，需结合其他技术验证结果。

### 2.2.2 雷达检测

雷达检测基于电磁波反射原理，通过发射高频电磁波穿透混凝土结构，电磁波遇到不同介质界面时发生反射，根据反射波的传播时间、幅值及频率特性分析内部质量。该技术适用于检测混凝土内部钢筋分布、保护层厚度、空洞、裂缝及分层现象，尤其适合厚度较大的航电混凝土构件，如防渗墙、消力池等。检测时雷达天线沿构件表面移动，实时采集反射信号并转化为图像数据，通过数据解析定位缺陷位置及尺寸。雷达检测具有非接触、高效快捷、分辨率高的特点，可实现连续检测及数据可视化，但易受钢筋密集程度、混凝土含水率影响，需在检测前进行参数校准，确保检测精度。

### 2.2.3 红外热成像

红外热成像技术利用混凝土内部缺陷与正常区域的热传导差异，通过红外热像仪捕捉表面温度场分布，识别内部隐蔽缺陷。混凝土内部存在空洞、裂缝、疏松等缺陷时，热量传递速度与密实区域不同，导致表面出现温度异常区域，热像仪可将温度差异转化为可视化热图像。该技术适用于检测航电混凝土结构表面及近表面缺陷，如表层裂缝、内部空洞、渗漏通道等，尤其适合大面积结构的快速筛查，如闸室墙体、桥墩表面等。其优势为非接触、检测范围广、实时成像，可发现肉眼难以识别的隐蔽缺陷，缺点是对深层缺陷检测精度有限，易受环境温度、日照、风速等外界因素干扰，需在适宜环境条件下开展检测。

### 2.2.4 回弹法-钻芯法联合检测

回弹法-钻芯法联合检测结合两种方法优势，弥补

单一检测技术不足，是航电工程混凝土实体强度检测的常用组合技术。回弹法通过回弹仪检测混凝土表面硬度，推算抗压强度，具有操作简便、快速无损的特点，可实现大面积初步检测，但受表面碳化、含水率、骨料品种影响较大。钻芯法通过钻取芯样进行抗压试验，数据精准可靠，作为强度评定的基准方法，但对结构有轻微损伤，检测效率较低。联合检测时，先采用回弹法普查，对强度异常区域针对性钻芯验证，通过芯样强度修正回弹法检测结果，既保证检测精度，又减少对结构的损伤。该方法适用于航电工程大体积混凝土结构强度检测，兼顾效率与准确性，满足质量评定需求。

## 2.3 数字化试验技术

数字化试验技术依托大数据、物联网、人工智能等技术，实现航电工程混凝土试验全流程智能化、精准化管控。核心应用包括试验数据数字化采集，通过智能传感器、自动试验设备实时采集试件力学性能、耐久性等数据，避免人工记录误差，确保数据可追溯<sup>[3]</sup>。借助物联网技术实现试验过程远程监控，实时掌握养护环境温度湿度、试验设备运行状态，保障试验条件符合标准。利用大数据分析平台对试验数据进行整合分析，建立混凝土性能预测模型，为配合比优化、施工参数调整提供数据支撑。数字化技术实现试验报告自动生成、数据云端存储及共享，提升检测效率与管理水平，适配航电工程大规模、高精度的试验检测需求，推动质量管控向数字化转型。

## 3 航电工程混凝土质量检测流程与优化

### 3.1 施工前检测

航电工程混凝土施工前检测是质量管控的前置环节，核心目标为排查施工准备阶段的质量隐患，为后续施工奠定基础。检测内容涵盖原材料进场检验，对水泥、砂石骨料、外加剂、掺合料等逐一进行性能检测，核对产品合格证、出厂检验报告，确保原材料符合设计及标准要求，不合格材料严禁进场。同时，开展配合比适配试验，结合航电工程工况特点，优化混凝土配合比，验证强度、抗渗、抗冻等指标是否达标，确定最优施工配合比。另外，检测施工设备性能，包括搅拌设备、运输设备、振捣设备及检测仪器的校准与调试，确保设备运行正常、检测仪器精准。对施工场地、养护设施进行检查，落实养护方案及质量管控措施，同步完成检测方案编制与技术交底，保障施工前各项准备工作符合质量要求。

### 3.2 施工中检测

施工中检测作为航电工程混凝土质量动态管控的核

心环节,其重要性不言而喻。它贯穿于搅拌、运输、浇筑、振捣、养护的全流程,犹如一双“慧眼”,实时监控并纠正施工偏差。在搅拌过程中,检测人员需严格检测混凝土拌合物的坍落度、和易性以及配合比计量精度,每批次都进行抽样检测,确保拌合物性能稳定,为后续施工奠定坚实基础。运输环节同样不容忽视,需密切监测运输时间、卸料温度,防止混凝土离析、初凝,从而保障浇筑质量。浇筑振捣时,检测振捣密实度是关键,避免漏振、过振导致的疏松、蜂窝、麻面等缺陷,同时详细记录浇筑顺序、分层厚度。养护阶段则重点检测养护环境温湿度,对大体积混凝土更要监测内部温度,严格控制温差在允许范围内,防止温度裂缝的产生。此外,对钢筋保护层厚度、预埋件位置进行抽样检测,及时发现并整改偏差,同步做好检测记录,实现施工过程质量可追溯,确保每一环节都符合质量要求。

### 3.3 施工后检测

施工后检测聚焦于混凝土实体质量验收,是全面评估结构性能是否符合设计及验收标准的关键步骤,为工程交付提供有力依据。检测内容丰富多样,包括实体强度检测,采用钻芯法、回弹法等组合技术,抽样检测构件强度,确保满足承载力要求,为结构安全保驾护航。开展外观质量检测,细致排查构件表面裂缝、蜂窝、孔洞、露筋等缺陷,对裂缝宽度、深度进行量化检测,准确判定是否需要处理,保障结构外观质量。针对航电工程特性,还需进行耐久性指标复检,包括抗渗、抗冻、抗冲磨性能检测,验证其长期使用可靠性,确保工程持久耐用。对结构尺寸偏差、轴线位置、标高进行全面检测,核对是否符合设计图纸要求。检测完成后,整理检测数据,出具详细检测报告,对不合格项制定整改方案,整改后重新检测,直至满足要求,确保工程质量达标后方可进入后续工序或验收,为工程顺利交付奠定坚实基础。

### 3.4 检测流程优化

航电工程混凝土施工质量检测流程优化旨在提质增效、精准管控,需结合工程特点及技术发展,对流程环节进行优化、管控机制进行完善。优化检测时序是重

要一环,将部分施工后检测项目前置,如在养护中期开展无损检测,能够提前发现隐蔽缺陷,有效减少后期整改成本,提高工程效率。整合检测资源同样关键,建立“一站式”检测管控体系,统筹原材料检测、过程检测、实体检测,避免重复检测,提升检测效率,实现资源的高效利用<sup>[4]</sup>。引入数字化管控手段,搭建检测数据共享平台,实现检测数据实时上传、自动分析,缩短报告出具周期,同时强化数据追溯,为质量管控提供有力支持。完善抽样方案,根据结构重要性分级制定抽样比例,重点部位加密检测,普通部位优化抽样频次,兼顾检测精度与经济性。建立检测与施工联动机制,检测结果及时反馈至施工班组,快速调整施工参数,形成“检测-反馈-整改-复核”的闭环管控,提升整体质量管控水平,确保航电工程混凝土施工质量达到最优。

### 结束语

航电工程混凝土施工质量检测与试验技术是保障工程安全稳定运行的核心支撑,本文构建的检测标准体系、多元试验技术及优化流程,为行业实践提供有效路径。新型无损检测与数字化技术的融合应用,突破传统检测局限,提升质量管控的精准度与效率。未来,需进一步深化数字化技术与检测工艺的融合,结合工程实际优化技术参数,加强跨学科技术创新。同时,持续完善检测标准规范,推动技术标准化、流程规范化发展,助力航电工程实现更高质量、更具耐久性的建设目标,为水利航运事业高质量发展提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]杨国梁,毕京九,董智文,等.基于数字图像相关技术的混杂纤维混凝土动态抗拉性能试验研究[J].材料导报,2023,37(21):293-301.
- [2]张东平.钢筋混凝土管检测试验检测技术研究[J].实验室检测,2025,3(17):101-103.
- [3]刘国栋.混凝土灌浆套筒连接质量检测试验技术[J].水泥,2025(10):128-130.
- [4]余振鹏,黄侨,李富荣,等.混凝土剪切多轴加载试验技术与验证[J].建筑材料学报,2020,23(2):460-465.