

制在 60-80℃，并设置水温和环境温度联动调节装置，当环境温度每下降 5℃时，自动提高水温。在投料中，先投入预热骨料形成初始热核，再分次加水避免温度骤降，最后掺入外加剂确保均匀分散。采用带蒸汽加热功能的混凝土运输车，罐体包裹特定厚度的聚苯乙烯板，罐口设置可调节式保温罩。在运输路径规划方面，应遵循最短距离和避风路线相结合的原则，尽量压缩运输时间，以保障混凝土入模温度。充分利用温度监测系统，在搅拌站出料口、运输车罐体及泵送管道关键节点布设温度传感器，对温度条件保持有效监测，若监测发现温度异常，则应及时启动补偿加热程序，采取有效技术措施予以处置应对。

### 5.1.3 浇筑与养护工艺

分层分段浇筑技术，每层浇筑厚度控制在 300-400mm，浇筑间隔时间 ≤2h。设置纵向施工缝时，预埋止水钢板并涂刷界面剂，确保接缝处抗渗等级符合技术要求<sup>[4]</sup>。构建模块化装配式暖棚，棚内设置蒸汽管网与红外线加热器复合供热系统。通过 CFD 模拟优化热源布局，提高棚内温度均匀性，并保持湿度控制效果。设置可调节式通风口，每小时换气次数控制在 1-2 次，避免冷凝水积聚。结合 BIM 模型开发养护决策系统，当测温点温度低于特定数值时自动启动加热装置，调整通风量。基于同条件养护试块强度与温度积分曲线确定拆模时机，当混凝土表面温度与环境温度差 ≤15℃，且强度达到设计值的 75% 时方可拆模。拆模后立即覆盖电热毯与岩棉复合保温层，持续养护时间应满足要求，确保抗冻临界强度达标。

## 5.2 土方工程防冻胀技术

### 5.2.1 开挖与回填控制

在开挖前采用电热毯与蒸汽管道联合加热法，对表层冻土进行解冻。对于深度超过 2m 的基坑，采用分层解冻工艺，控制每层解冻厚度，避免因温度梯度过大导致土体结构性损伤。挖掘机铲斗加装高频振动装置，采用螺旋钻机与冲击式破碎锤协同作业，减少纯机械挖掘的能耗与设备损耗。在基坑边坡布设光纤光栅应变传感器，设置相应监测频率，当应变值超出过大时，触发预警并启动边坡加固程序。回填材料优先选用砂砾石、碎石等非冻胀性材料，粒径级配控制在 5-40mm。对于必须使用黏性土的情况，掺入生石灰进行改良，降低土体塑性指数和自由膨胀率。采用振动平板夯与冲击夯组合工艺，通过现场试验确定夯实遍数，在狭窄区域采用人工木夯配合电热毯加热，确保回填密实度。

### 5.2.2 基坑排水与保温

在基坑底部设置主盲沟与支盲沟组成的降排水系统，填充级配碎石，外包土工布反滤层，确保排水顺畅。排水管道外壁缠绕自限温电伴热带，以维持管内水温，并在管道转弯处设置温度传感器，及时调节温度，防止管道冻结堵塞。

集水井采用双层钢板焊接结构，内壁填充聚氨酯泡沫板，井口设置可调节式保温盖板，盖板材料选用硅酸铝纤维毡，并在井内设置潜水泵与液位控制器联动装置，实现自动排水。采用覆盖式保温层，在基坑表面铺设双层保温材料，保证保温层具有足够的搭接宽度，并采用热熔焊接工艺固定，防止冷空气侵入。对于深度超过 3m 的基坑，在保温层下设置蒸汽盘管加热系统，其盘管间距控制在 50cm，蒸汽压力维持在 0.2-0.3MPa<sup>[5]</sup>。

## 5.3 砌筑工程防冻措施

在冬季施工中，砌筑工程的砂浆凝结缓慢，砖体吸水率变化显著，结构整体性下降。对此，可配制防冻型砂浆，选用硝酸钙与亚硝酸钠复合型，使砂浆在 -10℃ 环境下仍保持正温凝结。早强剂选用氯化钙，提高砂浆早期强度发展速率；减水剂则采用木质素磺酸钙，降低水灰比，减少游离水含量。砂料使用前需过筛，控制含泥量，避免细颗粒吸水后冻结膨胀。对于吸水率较高的黏土砖，砌筑喷水湿润，控制表面含水率，防止因砖体吸水过快导致砂浆失水开裂。根据环境温度动态调整砂浆配合比，当气温 ≤5℃ 时，适当提高水泥用量，同时掺入引气剂，形成独立气孔缓冲冻胀应力。采用分层分段砌筑方法，控制每日砌筑高度和相邻两段砌体高差。设置纵向施工缝时，预埋连接钢筋，并涂刷界面剂，确保接缝处形成足够的抗剪强度。

## 6 结语

综上所述，水利工程泵站的冬季施工是一项复杂的系统工程，对施工技术与施工管理具有较高要求。因此，技术人员应将前瞻性的施工组织设计、精细化的技术准备与充足的物资保障相结合，将温度控制贯穿混凝土制备养护、土方开挖、设备维护等全过程，以有效抵御低温的不利影响。随着新材料、新设备与智能监控技术的不断发展，水利泵站的冬季施工技术同样应引入新技术与新方法，推动施工工作朝着更加精准、高效与绿色的方向演进，为建设优质水利工程提供更为坚实的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 柏亭鑫.中小型泵站冬季施工的关键保温技术探究[J].全面腐蚀控制,2024,38(10):109-112.
- [2] 宁亚光,吕山杉.寒区水利工程冬季施工防冻抗裂技术研究与应用[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(9)[2025-08-15].
- [3] 苗久龙.灌区泵站冬季输水管路防冻技术研究[J].江西农业,2025,(17):122-124.
- [4] 周君丹.探究水利工程冬季混凝土施工的质量控制措施[J].科学技术创新,2024,(20):189-192.
- [5] 王世亮,苏永军,陈警,等.基于正交试验的冬季施工大体积混凝土性能研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(05):1-4+18.

# Application of Concrete Construction Detection Technology in Water Conservancy and Hydropower Construction

Yan Yu

Xinjiang Bohui Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 843000, China

## Abstract

To enhance the full lifecycle management capabilities of water conservancy and hydropower projects and achieve integrated, systematic, and standardized construction quality and cost control, this paper employs literature review and other research methods to summarize the value and role of concrete construction testing technologies in such projects. Through systematic analysis, it outlines the application scenarios of testing technologies, focusing on dimensions such as raw material quality inspection, mechanical property testing, and structural strength evaluation. The study aims to refine testing objectives, improve standards, detail technical application points, and innovate testing methodologies, ultimately establishing a comprehensive concrete construction testing system that meets the requirements of modern water conservancy and hydropower construction.

## Keywords

hydraulic engineering; project construction; concrete; testing technology; application strategy

## 混凝土施工检测技术在水利水电施工中的应用

于燕

新疆博汇工程质量检测有限公司, 中国·新疆阿克苏 843000

## 摘要

为强化水利水电全生命周期管理能力, 实现施工质量、建设成本的综合化、体系化、规范化, 文章借助文献资料研究等方法, 总结混凝土施工检测技术在水利水电项目中的价值与作用, 运用系统性思维, 梳理检测技术应用场景, 尝试从原材料质量检测、力学性能检测、结构强度检测等维度出发, 细化检测目标, 完善检测标准, 细化技术应用要点, 创新检测技术应用方法, 旨在形成完善的混凝土施工检测体系, 契合新时期水利水电施工要求。

## 关键词

水利工程; 项目施工; 混凝土; 检测技术; 应用策略

## 1 引言

水利水电工程作为区域基础设施的重要组成, 在区域防洪、灌溉等方面发挥着关键作用, 具有技术复杂、建设周期长、施工要求高等特点<sup>[1]</sup>。施工团队在水利水电工程施工环节, 坚持技术驱动, 通过检测体系的构建, 丰富混凝土检测场景, 完善混凝土检测要点, 推动水利水电施工管理的体系化。

## 2 混凝土施工检测技术在水利水电施工中的应用意义

### 2.1 提升水利水电项目质量的可控性

混凝土施工检测技术通过对施工全流程关键节点的精准监测、数据采集与分析, 能够及时识别混凝土原材料不合

格、配合比偏差、施工工艺不规范等潜在质量问题, 实现质量隐患的早发现、早整改, 打破传统“事后验收”的被动管理模式, 将质量管控贯穿于施工准备、施工实施、成品养护全阶段, 能够显著提升水利水电项目混凝土施工质量的可控性与稳定性, 为工程长期安全稳定运行提供技术支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.2 推动水利水电项目管理的有效性

混凝土施工检测技术的系统化应用, 能够构建标准化、规范化的检测流程, 形成完整的检测数据台账, 为施工管理决策提供科学、精准的数据支撑, 助力施工团队优化施工方案、调整资源配置、规范施工流程, 逐步消除质量管控盲区, 解决数据传递不及时、管理效率低下等问题<sup>[3]</sup>。同时, 通过检测数据的动态分析, 实现对施工进度、施工质量、施工成本的协同管控, 减少因质量不合格导致的返工、耗材浪费等问题, 提升施工资源利用效率, 推动水利水电项目管理向精细化、体系化、科学化转型, 实现施工质量与建设效益的双重提升。

【作者简介】于燕(1981-), 女, 中国新疆阿克苏人, 本科, 从事水利工程检测研究。

### 3 混凝土施工检测技术在水利水电施工中的应用路径

#### 3.1 混凝土原材料质量检测技术的应用

施工人员需要着眼混凝土原材料构成,调整思路,采取有效举措,形成全方位、多层次的检测体系。具体来看,针对水泥,重点检测其强度等级、安定性、凝结时间、细度等核心指标,其中水利水电工程常用P.O 42.5级或P.O 52.5级普通硅酸盐水泥,安定性采用沸煮法检测,沸煮温度控制在 $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、沸煮时间为4h,合格标准为试饼无崩裂、弯曲现象<sup>[3]</sup>。凝结时间检测中,初凝时间需 $\geq 45\text{min}$ 、终凝时间 $\leq 10\text{h}$ ,确保符合GB 175-2007《通用硅酸盐水泥》标准。采用负压筛法检测水泥细度,负压控制在 $4000\pm 200\text{Pa}$ , $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余质量分数需 $\leq 10.0\%$ ,在温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 95\%$ 的标准养护环境下,进行检测,28d后测定强度,确保水泥抗压强度达到对应等级标准,杜绝安定性不合格水泥投入使用。针对骨料,检测其级配、含泥量、针片状颗粒含量、压碎值等指标,其中粗骨料选用5-31.5mm连续级配,级配曲线需契合GB/T 14685-2011《建设用卵石、碎石》要求,含泥量需严格控制在 $\leq 1.0\%$ ,针片状颗粒含量 $\leq 15\%$ ,压碎值指标 $\leq 16\%$ ,避免因骨料杂质过多影响混凝土粘结力。针对外加剂,根据工程施工需求选用高效减水剂或缓凝高效减水剂,检测其减水率 $\geq 20\%$ 、缓凝时间延长2-8h,引气性指标控制在含气量3.0%-5.0%,确保外加剂与水泥、骨料的相容性,混合后混凝土泌水率 $\leq 2.0\%$ ,避免因外加剂使用不当导致混凝土出现离析、开裂等问题。同时,对拌合用水的pH值检测需 $\geq 6.5$ 、杂质含量中氯化物 $\leq 200\text{mg/L}$ 、硫酸盐 $\leq 270\text{mg/L}$ ,杜绝不合格用水影响混凝土性能,通过全流程原材料检测,从源头保障混凝土施工质量。

#### 3.2 混凝土力学性能检测技术的应用

水利水电工程混凝土结构承受水流冲击力、自身重量、外部荷载等多种作用力,为精准掌握混凝土受力情况,施工企业可以采用立方体抗压强度试验检测混凝土抗压性能,选取 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 标准尺寸试件,经过温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 95\%$ 的标准养护后,通过压力试验机以 $0.3\text{--}0.5\text{MPa/s}$ 的加载速率测定其抗压强度,确保检测结果契合工程设计强度等级要求,其中大坝主体混凝土强度等级多为C25-C40,抗压强度标准值分别为25.0MPa、30.0MPa、35.0MPa、40.0MPa<sup>[4]</sup>。采用轴心抗拉强度试验检测混凝土抗拉性能,试件选用 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 500\text{mm}$ 棱柱体,加载速率控制在 $0.05\text{--}0.10\text{MPa/s}$ ,针对水利水电工程防渗、抗裂需求,重点做好混凝土轴心抗拉强度,C25-C40混凝土轴心抗拉强度标准值为1.78-2.74MPa,避免因抗拉性能不足导致结构出现裂缝。采用抗折强度试验检测混凝土抗弯性能,试件选用 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ 小梁,跨距为300mm,加载速率为 $0.02\text{--}0.05\text{MPa/s}$ ,适用于大坝、溢洪道

等受弯构件的检测,确保构件能够承受设计荷载,C25-C40混凝土抗折强度标准值为 $3.7\text{--}5.5\text{MPa}$ <sup>[5]</sup>。同时,结合水利水电工程施工特点,采用现场原位检测技术,抽样频率不低于每 $100\text{m}^3$ 混凝土1组、每工作班不少于1组,对已浇筑混凝土构件的力学性能进行随机抽检,弥补实验室检测的局限性,确保混凝土力学性能满足工程施工与运行要求。

#### 3.3 混凝土耐久性检测技术的应用

水利水电工程混凝土结构长期处于水下、潮湿环境,容易受水侵蚀、冻融循环、化学腐蚀等因素影响,导致结构老化、性能下降,因此混凝土耐久性检测是保障工程长期稳定运行的关键。工作人员采用抗渗试验检测混凝土抗渗性能,选用顶面直径175mm、底面直径185mm、高度150mm的圆台体试件,通过逐级加压法测定混凝土渗透系数,逐级加压0.1MPa、恒压24h,直至试件出现渗水现象,水利水电工程混凝土抗渗等级需达到P6及以上,确保混凝土结构能够抵御地下水、地表水的渗透,避免出现渗漏隐患<sup>[6]</sup>。采用抗冻试验检测混凝土抗冻性能,针对寒冷地区水利水电工程,采用慢冻法检测,试件标准养护28d后,在 $-15^{\circ}\text{C}$ 环境下冻结4h、在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中融化4h为一个冻融循环,要求达到F50及以上抗冻等级,确保混凝土在低温环境下不出现冻胀、开裂等损坏。采用抗化学腐蚀试验检测混凝土抵抗硫酸盐、氯离子等腐蚀介质的能力,重点检测混凝土中氯离子含量 $\leq 0.06\%$ ,在硫酸盐侵蚀试验中,将试件浸泡在5%硫酸钠溶液中,养护6个月后,抗压强度损失率 $\leq 10\%$ ,避免因化学腐蚀导致混凝土强度下降、结构破损。同时,结合工程实际环境,针对性开展耐久性专项检测,制定个性化防护措施,提升混凝土结构的耐久性与使用寿命,确保水下混凝土结构设计使用年限不低于50年。

#### 3.4 混凝土结构强度检测技术的应用

在水利水电项目混凝土结构强度检测环节,工作人员可以采用回弹法进行现场快速检测,选用ZC3-A型回弹仪(示值误差 $\leq \pm 1.0$ ),按照操作手册要求,确定检测位置,开展检测工作,如图1所示。

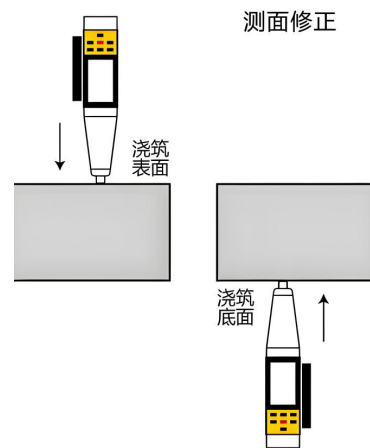


图1 回弹法检测示意图