水利工程混凝土施工技术应用研究

周溢，胡新刚
江苏淮阴水利建设有限公司，江苏 淮安 223001
DOI:10.61369/ETQM.2026080001

摘　　要： 水利工程混凝土施工对保证工程质量以及使用寿命具有重要意义。在科技不断发展的背景下，新型混凝土材料、自动化施工技术以及智能监控系统等被应用到工程当中，大大提高了工作效率和质量。温控技术、裂缝控制及水泥替代材料使用有助于改善施工中质量控制问题。数字化技术和绿色建材相结合促进水利工程行业向可持续发展目标前进，降低对环境破坏程度。未来，智能化检测与优化技术广泛推广可使水利工程更加安全可靠、经久耐用并且更经济合理。

关 键 词： 水利工程；混凝土施工；自动化施工；新型材料；施工质量

Research on the Application of Concrete Construction Technology in Water Conservancy Engineering

Zhou Yi, Hu Xingang
Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract: Concrete construction in hydraulic engineering plays a pivotal role in ensuring project quality and service life. With continuous technological advancements, innovative concrete materials, automated construction techniques, and intelligent monitoring systems have been widely adopted, significantly enhancing work efficiency and quality standards. Temperature control technologies, crack prevention measures, and cement substitute materials effectively address quality control challenges during construction. The integration of digital technologies with eco-friendly building materials drives the hydraulic engineering industry toward sustainable development goals while minimizing environmental impact. Future widespread adoption of intelligent monitoring and optimization technologies will make hydraulic engineering projects safer, more durable, and cost-effective.

Keywords: hydraulic engineering; concrete construction; automated construction; novel materials; construction quality

引言

水利工程是基础设施建设的重要内容，在促进合理利用水资源、减轻灾害方面发挥重要作用。而混凝土是水利工程中使用最广泛的材料，施工质量决定工程是否安全可靠及寿命长短。伴随着时代进步和技术革新，一些新的材料、机械施工技术和智能监控设备已应用到水利工程混凝土施工当中。这使得施工更加便捷高效的同时也使整体工程质量得到很大提升。但是，在施工过程中如何有效防止温升过高、避免出现裂缝、降低环境污染等问题成为目前亟待解决的问题。研究新的混凝土施工方法不仅可以提高工程建设水平，还可以促进我国水利行业健康发展，保障工程长久稳定运行及经济利益。

一、新型混凝土材料在水利工程中的应用

（一）高性能混凝土的研究进展

高性能混凝土（High Performance Concrete, HPC）近年来被广泛应用于水利工程建设当中尤其是对于大坝、桥梁等重要工程方面。它是以高强、耐久性好、抗渗性优异为主要特点。通过合理选择水泥、骨料及掺合料的比例来提高混凝土的力学性能。目前高性能混凝土的抗压强度可达到50MPa以上甚至可以达到80MPa及以上。利用矿物掺合料（如硅灰、粉煤灰）与化学外加剂（如减水剂、早强剂）改善混凝土的工作性、强度增长和抗渗性。同时在一些恶劣环境中例如海水或者化学腐蚀较为严重的地方应用高性能混凝土可以大大延长建筑物寿命降低维护费用。近年来由于新材料的发展使得超高性能混凝土（UHPC）逐渐开始用于水利工程建设，其抗压强度可达到150MPa以上并且具有很好的不开裂性和耐久性[1]。

（二）环保型混凝土的技术发展

环保型混凝土是以采用可再生资源以及减少有害排放而降低施工过程对环境的影响，近年来由于倡导绿色建筑与低碳生活的理念，在水利工程中得到广泛应用。主要有两种类型：一种是低碳混凝土，即通过减少水泥用量或者用其他材料代替一部分水

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

泥（如高炉矿渣、粉煤灰等）从而达到减排目的；另一种是废弃物利用型混凝土，在水利工程建设中也有一定应用，比如用建筑垃圾、粉煤灰、矿渣作骨料或者掺合料，既可以增强混凝土强度还可以避免大量堆积造成污染。另外，环保型混凝土还可以通过采用创新的添加剂和绿色外加剂，进一步提升其耐久性和抗腐蚀性，适应更复杂的环境条件。环保型混凝土不但有利于保护生态环境而且可以提高水利工程在服役期间内资源利用率。

（三）快硬型混凝土在特殊环境中的应用

快硬型混凝土具有较短的硬化时间以及较高的早期强度，在水利工程中尤为重要，尤其是在不良工况以及较短工期内。这类混凝土添加早强水泥或是加入促凝剂使混凝土较快地获得较高强度以满足施工需要。而在潮湿、炎热或寒冷条件下，快硬型混凝土可有效克服不良天气条件给施工带来的不利影响。如在北方冬季施工时，快硬型混凝土的应用大大增加了施工可能性，特别是在大型水电站混凝土浇筑中可以避免冻害问题。同时，快硬型混凝土也广泛应用于水利工程中的水下施工、紧急抢修等场合，其凝结后强度一般在一天之内就能达到40MPa以上，保证施工快速高效并且安全可靠[2]。

二、自动化施工技术在水利工程中的实践

（一）自动化浇筑技术的实现路径

自动化浇筑技术利用传感器、PLC（可编程逻辑控制器）、智能控制系统进行混凝土输送及浇筑。核心在于自动化控制系统对混凝土流量、温度、坍落度等进行监控并及时作出相应反应改变浇筑速度以及泵送压力保证施工的一致性和材料质量的稳定。目前使用的全自动浇筑机械可以做到 ±5 mm的空间位置精度进行浇筑工作从而大大提高平整度以及整个构筑物的密实度。还有些系统利用人工智能进行浇筑路径规划以及节奏安排尽量避免由于人为的原因造成的问题例如中国水利水电第一工程局研发的一种混凝土智能化浇筑系统，在其承建的导流洞混凝土浇筑过程中，通过对实时数据进行分析然后调整相关参数最终达到对低坍落度混凝土布料均匀性的良好把握并且大大提高了工作效率以及安全性这代表着一种新的发展趋势即由传统的手工操作转向智能化自动控制这对改善工程质量以及满足复杂的几何形状要求具有积极意义[3]。

（二）施工监控与信息化管理技术

施工监控以及信息化管理是自动化施工系统正常运转的重要保障，利用BIM（建筑信息模型）、IoT（物联网）及实时监控平台获取信息并且跟踪质量。BIM三维模型可以详细地反映出施工顺序和各个节点的位置，数字化控制施工进度和质量，避免施工现场发生矛盾造成不必要的损失。智能化监控系统整合光纤温度监测、湿度监测、无人飞机巡查等传感器信息，与现场情况进行比较，然后调整施工参数并发出警报。监控平台展示混凝土浇筑质量、温控情况、材料供应等方面的信息，有利于项目的管理工作。此外，信息化管理平台还支持多种设备和系统的数据共享，增强了不同施工环节之间的协同作用。该系统能够即时分析混凝土泵送设备的工作状况，检测信号刷新时间不超过200 ms，及时发现并解决问题。这些管理手段增加施工过程的可见性和可追溯性，在大坝斜坡这样的复杂地形施工中起着至关重要的作用。

（三）自动化机械在混凝土施工中的应用案例

在实际工程建设过程中，如三峡工程等大型水力枢纽工程使用大量自动化机械设备以及智能化设备提高大规模混凝土施工效率。三峡大坝混凝土浇筑总量约为2800万 m³，在施工旺季一年内可完成近500万 m³混凝土浇筑工作，而自动化机械设备组织又是保证工程按期完工的前提条件。在本工程中使用的塔（顶）带机、胶带输送系统和平仓振捣机械配合使用，使得连续浇筑可以同时进行多个仓面，避免以往人工操作造成的拖延及质量问题；另外，高精度自动定位系统以及自动振捣设备用于大坝重要位置上，保证整体性，减少开裂的可能性[4]。如表1所示。

表1　自动化机械配置与性能指标

机械类型	数量	主要功能	典型性能指标
塔（顶）带机	6台	自动输送与浇筑	输送线总长约3800 m
胶带输送系统	6条	连续混凝土供料	输送节拍与泵送同步
平仓振捣机	多台	自动布料与振实	±5 mm水平控制精度
门塔机 & 缆索起重机	多台	辅助浇筑与现场协调	高负载运行稳定性

三、水利工程混凝土施工中的质量控制技术

（一）混凝土浇筑过程中的温控技术

在水利工程的混凝土施工中，温控是关键技术，在大体积混凝土浇筑中尤为突出。因为混凝土水化放出大量的热量，大量的混凝土浇筑就会产生温差，从而造成开裂等问题。温控就是通过对混凝土的浇筑温度、养护温度以及温差进行有效控制来防止由于温度造成的裂缝。而在实际工程中，采取内、外温控方式，比如温控水、冷却水管、冰水混凝土等方式使混凝土自身的温度保持在一个相对稳定的范围内。如三峡大坝的大体积混凝土施工中使用了冷却水管的方法保证其中心部位的混凝土温度一直不超过25℃，从而减少由于温差大而产生的热裂缝。此外，温度差控制公式如下：

$$\Delta T = T_{max} - T_{min}$$

其中，ΔT为温度差，T_{max}为混凝土最大温度，T_{min}为混凝土最小温度。通过控制温差不超过25℃，有效避免了裂缝的产生。

（二）水泥替代材料在混凝土质量中的作用

水泥替代材料（如粉煤灰、高炉矿渣、硅灰等）的应用不仅可以大大节省混凝土费用而且可以增强混凝土的耐久性和抗渗性以及环保性。而粉煤灰是目前应用最广泛的替代材料一般掺量为15%-30%，研究表明粉煤灰加入混凝土可大幅度降低其水化热从而防止混凝土开裂还可以提升混凝土的抗腐蚀、抗冻性能等。例如，在广东珠江水利枢纽工程中大量使用高掺量粉煤灰混凝土施

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

工完毕之后具有良好的抗渗性和抗侵蚀性尤其是水下部分混凝土耐久性大大提高。采用这种替代材料可以使混凝土强度及耐久性得到改进并且降低水泥生产过程中二氧化碳排放量[5]。

（三）施工过程中的裂缝控制技术

混凝土裂缝是造成水利工程质量问题的主要原因，在混凝土浇筑及养护过程中产生裂缝会使结构强度下降以及使用寿命缩短。裂缝防治主要是从施工组织设计以及裂缝修补两方面进行。一方面，在混凝土配合比设计上选择合适的水胶比（一般为0.4 ~ 0.5），降低水泥含量，防止由于水泥过多造成的收缩裂缝；另一方面，在施工时采取正确的方法进行养护，比如喷洒养护液或者覆盖，防止水分快速流失。例如长江三峡大坝的裂缝治理主要是对混凝土收缩加以控制、合理安排施工时间和养护时间等措施来实现。同时为增强裂缝修补效果，在工程中还应用裂缝自愈技术，在混凝土中加入自愈合材料以及微生物等，在细微裂缝发生之后可以自行进行修复从而大大提升混凝土自身恢复能力[6]。

四、水利工程混凝土施工技术的未来发展趋势

（一）数字化技术与智能化施工的结合

数字化技术和智能化施工是水利工程建设趋势。而采用BIM（建筑信息模型）、物联网（IoT）等技术手段可以大大提高工程施工过程中数据收集、分析及反馈速度。BIM能够提供精确三维模型，使设计师可以在施工之前对整个建筑物进行优化设计以减少后续施工变化以及返工现象，在施工现场利用物联网设备监测混凝土温度、湿度及强度等情况，保证混凝土施工处于良好状态。我国一个大中型水力枢纽工程项目引入BIM与IoT之后，其工期比原计划提前约10%，并且明显提升工程质量，误差不超过±3毫米。它们结合起来可以使整个项目的设计、建造直至运行期间的所有信息得到有效管理，从而加快进度、节约成本并提升质量。

（二）环保和绿色建材的长期应用展望

环保及绿色建材在水工工程行业的发展趋势明显。由于世界范围内日趋严厉的环保政策，采用低碳、可循环利用绿色建筑将是大势所趋。而在混凝土施工方面，利用矿渣、粉煤灰、再生骨料等代替传统水泥不仅能够大大降低由于生产水泥而产生的大量二氧化碳排放量，还可以节约资源。例如，如果加入30%的高炉矿渣进入混凝土中，则可以使其减少大约25%的二氧化碳排放量。今后，在水工工程混凝土施工中，越来越多地使用环保材料是必然趋势，有利于实现资源的有效利用并减轻对于生态环境的压力。同时，伴随着绿色建材的发展，绿色环保高性能混凝土以及自愈合混凝土的研究与发展也将使水工建筑物具有更长寿命，从而节省大量的维修费用[7]。

（三）混凝土施工技术的智能化检测与优化

智能化检测与优化技术将越来越广泛应用于水利工程建设中，在施工过程中利用智能化传感器、无人机巡查以及自动化的监控设备来检测混凝土的质量、结构的安全性和对环境的适应性等。如传感器可以及时地对混凝土的硬化情况进行观测，对其温度、湿度的变化进行分析，从而实现对混凝土浇筑的速度和加固手段进行相应调节，避免因温差过大而导致混凝土出现裂缝等问题。同时，基于人工智能的方法也可以通过对大量数据的学习与挖掘来改善施工方法，在施工前期就发现并解决可能出现的问题。这种智能化检测可以使水利工程施工过程中的质量管理精确到 ±2mm以内，保证工程具有良好的耐久性和稳定性[8]。

五、结语

水利工程混凝土施工技术正向智能化、绿色化方向发展。利用数字技术和智能化施工可以提高施工精度及效率，使用环保材料可减少对环境的影响并且具有较好的耐久性，在未来智能化检测及优化技术的应用将使施工质量更上一个台阶，促进行业的发展。不断进步使得混凝土施工技术更好地服务于水利工程的安全性、环保性和经济性。

参考文献

[1] 刘晓伟，周腾 . 浅谈水利工程大体积混凝土智能通水冷却系统的应用 [J]. 科技与创新，2025,(24):230-232.

[2] 赵可兴，李明 . 水利工程中堤防护岸的工程施工技术应用研究 [J]. 科技与创新，2025,(23):199-201+205.

[3] 张红新 . 绿色施工理念在水利工程建设中的实践与创新 [J]. 中国房地产业，2025,(35):142-145.

[4] 范婧 . 水利工程施工中新型混凝土施工技术的应用研究 [J]. 水上安全，2025,(23):194-196.

[5] 张羽中 . 混凝土防渗墙施工技术在水利工程施工中的应用 [J]. 城市建设理论研究（电子版），2025,(34):152-154.

[6] 靳富勇 . 水利水电工程中碾压混凝土大坝的施工技术 [J]. 城市建设理论研究（电子版），2025,(32):187-189.

[7] 宇文韦 . 水利工程大体积混凝土施工温度裂缝控制技术优化分析 [J]. 河北水利，2025,(10):46-47.

[8] 孔维瑞 . 水利施工技术与水利施工应用分析 [J]. 城市建设，2025,(21):41-43.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.