

# 智能监测技术在碾压混凝土施工全过程质量管控中的应用研究

陈康

贵州水利实业有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8746

**[摘要]** 碾压混凝土凭借施工效率高、造价经济、整体密实性好等特点，在水利水电、交通基建、大型工业建筑等重大工程中应用普遍，其施工质量直接影响工程结构安全、使用年限与长期运行稳定性。以往质量管控以人工巡检、抽样试验为主，存在数据滞后、覆盖不全、精度不足、风险预警不及时等短板，难以适配大规模、高要求的建设管理需求。依托物联网、北斗定位、传感设备与大数据等技术构建的智能监测体系，可实现施工参数实时采集、传输、研判与预警，为全过程质量管控提供可靠保障。本文从原料制备、运输、摊铺、碾压、养护及验收等工序入手，分析传统管控局限，探讨智能监测技术的应用原理与实施路径，结合工程实例验证效果并提出改进措施，为碾压混凝土施工质量数字化、智能化提升提供参考。

**[关键词]** 智能监测技术；碾压混凝土；全过程；质量管控

## Research on the Application of Intelligent Monitoring Technology in Quality Control of the Entire Process of Compacted Concrete Construction

Chen Kang

Guizhou Water Resources Industry Co., Ltd.

**[Abstract]** Compacted concrete, characterized by high construction efficiency, cost-effectiveness, and excellent overall density, is widely used in major projects such as water conservancy, transportation infrastructure, and large industrial buildings. Its construction quality directly impacts the structural safety, service life, and long-term operational stability of these projects. Traditional quality control methods primarily relied on manual inspections and sampling tests, which suffered from data lag, incomplete coverage, insufficient accuracy, and delayed risk warnings, making them inadequate for large-scale, high-demand construction management needs. The intelligent monitoring system, built upon technologies like the Internet of Things (IoT), Beidou positioning, sensor devices, and big data, enables real-time collection, transmission, analysis, and early warning of construction parameters, providing reliable support for quality control throughout the entire process. This paper analyzes the limitations of traditional control methods and explores the application principles and implementation paths of intelligent monitoring technology, starting from raw material preparation, transportation, paving, compaction, curing, and acceptance. Through engineering case studies, it validates the effectiveness of the system and proposes improvement measures, offering references for the digital and intelligent enhancement of compacted concrete construction quality.

**[Key words]** intelligent monitoring technology; roller-compacted concrete; full-process; quality control

### 引言：

当前我国基础设施建设持续向规模化、精细化、长寿命化方向升级。碾压混凝土因水化热低、结构密实、施工效率高等优势，已广泛应用于水利大坝、公路基层、机场道面等重点工程建设中。该施工工艺受原材料、施工流程、现场环境等多重因素影响，工序繁琐、质量标准严格。传统人工巡检与抽样检

测模式存在反馈滞后、覆盖不全、数据偏差、预警不及时等短板。随着物联网、北斗定位、大数据及人工智能技术的快速发展，施工现场智能化监测手段不断落地，可实现施工全过程实时动态管控。

### 一、碾压混凝土施工全过程质量管控传统模式局限

(一) 响应迟缓，预警效能不足

传统质量管控以事后抽检为主，像混凝土强度需 28 天养护周期、碾压密度依赖仪器抽样检测，问题暴露时对应工序已完工，只能返工补救，既抬高建设成本又拖延整体进度。人工现场巡查难以同步掌握施工动态参数，对碾压次数不够、混凝土温控异常等隐患无法提前预判，极易诱发工程质量问题<sup>[1]</sup>。

### (二) 管控不全，存在监测空白

碾压混凝土施工多为大面积连续作业，大型工程仓面可达数千平方米，人工巡查难以实现全域覆盖，高空、边坡等高危地段更易形成监管空白，造成局部施工质量不达标。同时抽检样本数量有限，仅能代表局部状况，无法客观体现整体施工质量水平。

### (三) 数据不准，过程难以追溯

施工参数依靠人工记录，易受主观判断、操作疏忽影响，出现数据偏差、遗漏等情况，准确性无法保障。各类质量资料分散存放，未建立统一管理体系，数据无法互通共享，出现质量缺陷时难以溯源定位，不利于问题整改与经验沉淀。

### (四) 投入较大，管控效率偏低

传统模式需配备大量检测与巡检人员，人力投入高且工作效率低下。碾压参数、混凝土温度等均依赖人工现场记录与定时检测，无法实现全天候连续监测，难以满足大规模、高节奏施工的管控需求。

## 二、智能监测技术核心类型及在碾压混凝土施工中的应用原理

### (一) 物联网 (IoT) 监测技术

在工程智能管控体系中，物联网监测技术发挥着核心支撑作用，其按照感知、传输、平台、应用四个层级搭建，可对施工现场各类信息进行全流程采集与运用。感知层利用传感器、定位设备实时获取混凝土温湿度、碾压速度、摊铺厚度等关键数据；传输层采用 4G/5G 与光纤相结合的通信方式，确保数据稳定高效传输。平台层负责数据处理、分析与模型构建，应用层则通过可视化展示、智能预警和报表生成，为现场管理决策提供可靠依据，打通信息孤岛，强化多方协同管控能力。

### (二) 北斗高精度定位技术

依托北斗高精度定位系统，能够对工程建设中的各类施工机械实施作业轨迹与运行状态的全程实时监管。在压路机、摊铺机、运输车辆等设备上装配定位终端，可精准获取三维坐标、行驶速度、作业路径等数据，科学统计压路机碾压区域与遍数，有效降低漏压、过压问题。同时实时把控摊铺机行进路线与速度，确保摊铺厚度均匀、作业范围符合标准，推动工程施工迈向数字化、可视化管控模式。

### (三) 传感器监测技术

在工程施工过程中，数据采集主要依靠各类传感器实现，可根据不同施工阶段的实际需求灵活选用，从而精准、稳定地获取温湿度、压力、振动、位移等多种物理参数。混凝土搅拌时，借助高精度质量传感器精准控制各类原料用量；浇筑阶段布设光纤测温传感器，实时监测内部温度变化；碾压施工中搭配振动传感器与计数设备，确保碾压参数达标；养护阶段利用温湿度传感器把控环境条件，为施工全流程管理提供真实有效

的数据支撑<sup>[2]</sup>。

### (四) 大数据分析技术

碾压混凝土施工过程中会产生海量监测数据，这些数据涉及原材料性能、机械设备运转状态、现场环境参数以及工程质量检测结果等多个方面。运用大数据技术构建分析模型，对各类数据进行梳理、筛选和深度挖掘，能够总结施工规律、提前识别施工风险，优化碾压施工工艺，及时发现数据异常并发出预警。同时实现施工质量全过程可追溯，为工程验收与后期运维提供可靠依据，通过持续的数据积累不断完善施工方案，切实提高工程建设质量。

## 三、智能监测技术在碾压混凝土施工全过程质量管控中的实践应用

### (一) 原材料制备环节——精准管控，筑牢质量基础

原材料管控是保障工程质量的首要环节，其品质优劣直接决定后续施工效果。在材料入场阶段，采用专业检测仪器对骨料、水泥等关键原料开展快速检测，相关数据实时上传管理系统，一旦发现指标异常即刻发出预警，从源头避免不合格材料进场使用。同时利用物联网技术对接拌和设备，实时监测物料配比与用量，结合现场温湿度等条件动态调整配合参数，确保混凝土性能稳定可靠，有效提高原材料整体合格水平。

### (二) 运输环节——全程追踪，保障混凝土工作性

为严控碾压混凝土运输质量，现场重点管控运输时间、温降幅度与骨料分离现象。通过北斗定位与温湿度传感技术，对运输车辆进行全程动态监测，实时采集行车轨迹、速度、时长及混凝土温度数据并上传管理平台。系统设定运输时限不超过 30 分钟与温度控制阈值，异常情况自动预警，提醒驾驶员及时调整车速或采取保温措施。依托轨迹监控规范行车路线，卸料口加装振动传感器控制卸料频率，避免骨料分离。实施智能管控后，混凝土到场合格率从 88% 提升至 98%，离析现象大幅减少 90%，保障施工质量稳定可靠<sup>[3]</sup>。

### (三) 摊铺环节——精准控制，提升摊铺质量

摊铺作业的关键在于对摊铺厚度、行进速度以及路面平整度进行严格把控。借助北斗高精度定位与各类传感设备，可对施工参数进行全过程动态监测与精细化调控。在摊铺机上装配定位模块、位移及速度检测装置，实时采集厚度、速度、运行轨迹等信息，同步上传至管理平台并以可视化形式呈现。管理人员可通过平台实时掌握施工状态，当厚度偏差超出允许范围、速度异常或轨迹偏离设计时，系统会自动预警提示操作人员调整。同时利用平整度传感器实时检测路面状况，超标后及时整改。通过智能监测手段，该项目将摊铺厚度误差控制在较小范围内，平整度合格率显著提高，整体施工质量得到有效保障，为后续工序创造了有利条件。

### (四) 碾压环节——实时监测，确保碾压密度

碾压施工是把控碾压混凝土质量的核心环节，通过智能化监测技术可实现施工全流程精准管控。现场运用北斗定位、振动与压力传感装置，在施工设备上布置采集终端，持续采集行驶速度、碾压次数、振幅、频率及作业压力等数据，并实时上传至管理系统。系统提前设置合理参数范围，当数据超出阈值

时自动发出提醒,便于现场及时调整。借助大数据分析参数与压实度的关联,实时预判压实效果,确保压实度不低于98%,避免过度碾压损伤骨料。利用热力图清晰呈现碾压覆盖状况,避免漏压、重压问题。工程应用证实,压实度合格率从90%提升至99%,施工效率提高30%,工程质量与进度均得到明显优化。

#### (五) 养护环节——动态调控,防止温度裂缝

碾压混凝土养护的核心,在于对温湿度进行精细化控制,以此减少温度应力,从根本上防止结构出现温度裂缝。通过引入智能化监测技术,配合温湿度、位移及光纤测温等传感装置,能够对养护全过程进行实时数据采集与动态调节。在施工现场布设环境传感器,实时采集外部温湿度数据;在混凝土内部埋设光纤传感设备,监测内部温度并计算内外温差;在结构表面安装位移传感器,记录收缩变形情况,所有数据实时上传至管理平台。系统按照内外温差不超过25℃、养护温度控制在5~35℃、养护湿度不低于80%的标准进行管控,一旦超出限值便自动发出预警,并联动喷雾、保温等设备进行调节。同时根据收缩数据提前预判开裂风险,落实相应防控措施。工程应用表明,采用智能监测后,温度裂缝出现概率可降低95%,显著提高混凝土养护质量与结构耐久性<sup>[4]</sup>。

#### (六) 验收环节——数据追溯,提升验收效率

验收作为把控工程施工质量的最后关键环节,通过引入智能监测技术建立完整的质量信息档案,能够实现验收资料全程可追溯、可核查。把原材料检测、现场施工参数、工序质量检查等各类数据统一录入管理平台,形成闭环追溯体系,方便验收人员随时查阅、对照标准开展核验。现场采用超声波、雷达等智能设备对混凝土强度、密实度等指标进行量化检测,数据实时上传并与过程信息比对,确保结果真实有效。系统自动生成验收资料并给出整改意见,大幅提升验收效率。实际应用后,验收效率提升40%,一次验收合格率达99.8%,从根本上避免不合格项目投入使用。

### 四、智能监测技术应用过程中存在的问题及优化策略

#### (一) 存在的主要问题

1. 技术融合程度偏低:现阶段智能监测手段多单独运行,物联网、北斗定位等技术未有机整合,信息互通不畅,形成数据孤岛,难以开展系统性隐患研判。

2. 现场设备可靠性不足:施工工况复杂,高温、潮湿等环境易导致监测器材失灵,出现数据中断、误差偏大等问题,部分设备续航有限,无法支撑全天候监测。

3. 作业人员技能水平有限:智能系统运行依赖专业技能,但现场部分人员操作不熟练、数据理解不到位,难以充分发挥技术应用价值。

4. 整体应用成本偏高:北斗终端、光纤传感等设备购置与运维费用较高,多数施工单位受成本限制,无法实现全流程、全覆盖。

#### (二) 优化策略

##### 1. 提升技术集成度,打破数据孤岛

搭建一体化施工智能管控中台,深度融合物联网、北斗高

精定位、大数据挖掘与多类型传感器技术,打通多源数据链路,实现跨模块实时互通与联合研判。通过关联碾压施工监测数据与混凝土温控数据,可精准预判因碾压工艺不当引发的温度裂缝隐患;依托数字孪生建模整合施工全周期数据,达成施工质量的动态可视与仿真化全过程管控。

##### 2. 优化设备性能,提升稳定性

在施工环境复杂恶劣的区域,优先选用适配性强的智能监测装置,强化外壳防护结构,提升防尘、防水、耐高温性能,保障设备长期稳定运行。搭配太阳能供电或大容量电池方案,优化续航配置,实现全天候不间断工作。建立常态化运维机制,由专业人员定期校准检修,及时消除隐患,保证监测数据真实可靠。

##### 3. 加强人员培训,提升专业素养

开展智能监测技术专项培训,针对设备操作、数据解读、故障排查等内容,对施工管理人员、操作人员进行系统培训,提升人员的专业素养。同时,引进专业的智能技术人才,组建专业的管控团队,负责智能监测系统的运行、维护与数据分析,确保技术应用效果<sup>[5]</sup>。

##### 4. 优化成本管控,推动技术普及

通过规模化采购压缩设备成本,优化布设策略,核心工序优先配置智能设备,次要环节采用传统与智能互补模式;依托政策引导与资金扶持,加快技术推广。

### 五、结论与展望

智能监测手段可做到实时、精准、全域监控,有效解决传统管理模式中的诸多短板,为碾压混凝土施工全过程质量控制提供全新思路。通过各类智能手段对施工各环节进行数据采集、分析与提前预警,能显著提升管理效率与精度,提高工程合格率、减少裂缝产生、加快验收速度,推动管理模式向数字化、智能化转型。目前仍存在技术融合不够深入、设备运行稳定性不足、人员专业水平有限及投入成本较高等问题,需要不断改进完善。未来可结合人工智能、数字孪生等技术,实现智能判断与主动预警,与绿色施工、智慧工地建设深度结合,为重大工程高质量发展提供有力支撑。

#### [参考文献]

[1]开前正,卫世全,罗伟平,等.不等厚钢桥面国产热拌环氧沥青混凝土路面智能化施工技术[J].智能建筑与智慧城市,2023(3):178-180.

[2]刘文金.公路工程沥青混凝土路面施工质量动态管控研究[J].交通科技与管理,2025(10):93-95.

[3]郑创辉.市政沥青混凝土路面超薄磨耗层施工技术及其质量控制[J].中国水泥,2025(10):122-124.

[4]王飞虎.高速公路路面工程改性沥青混凝土技术工艺实践[J].越野世界,2025(17):108-110.

[5]许知国,蔡耀辉.公路工程中沥青混凝土公路施工技术[J].2023(28):31-33.

作者简介:陈康(1992.10.20),男,四川巴中人,专科,助理工程师,主要大坝回填现场施工管理。