

水利工程混凝土施工质量智能监测系统的设计与应用

张海滨

山东省聊城市冠县店子镇人民政府，山东省聊城市冠县店子镇，252522；

摘要：随着水利工程规模与复杂性不断提升，传统混凝土施工质量监测手段已难以满足工程需求。本文基于物联网、大数据、人工智能等先进技术，设计了一套水利工程混凝土施工质量智能监测系统。详细阐述系统设计原理，涵盖设计目标、原则与架构；深入研究多源异构数据采集、传输处理、智能预警等关键技术；通过实际应用案例展示系统部署实施过程与应用效果，并针对现存问题提出优化方向，展望未来发展趋势。该系统的应用可实现混凝土施工质量的实时、精准监测，有效提升水利工程建设质量与管理水平，为水利工程行业高质量发展提供有力支撑。

关键词：水利工程；混凝土施工；智能监测系统；多源异构数据；智能预警

DOI：10.69979/3060-8767.25.06.030

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，在防洪、灌溉、供水、发电等领域发挥着关键作用。混凝土因具有高强度、耐久性好等特性，成为水利工程中最主要的建筑材料之一。然而，混凝土施工过程复杂，受原材料质量、配合比、浇筑工艺、养护条件等多种因素影响，易出现裂缝、强度不足、蜂窝麻面等质量问题。这些问题若未能及时发现与处理，将严重威胁水利工程的安全性及耐久性，甚至引发重大安全事故，造成巨大的经济损失和社会影响。

1 水利工程混凝土施工质量智能监测系统设计理念

1.1 系统设计目标

系统设计旨在构建一套覆盖水利工程混凝土施工全过程的智能监测体系。通过实时采集混凝土施工各环节数据，包括原材料进场检验数据、混凝土配合比数据、搅拌过程数据、运输过程数据、浇筑过程数据以及养护过程数据等，实现对混凝土施工质量的全方位、动态化监测。利用先进的数据处理与分析技术，及时发现施工过程中的质量隐患，并自动触发预警机制，为施工管理人员提供准确、有效的决策支持，确保混凝土施工质量符合设计与规范要求，降低质量事故发生概率，提高水利工程建设的安全性及可靠性。同时，系统应具备数据存储、查询、统计分析等功能，为工程质量追溯和后期维护提供数据支撑。

1.2 系统设计原则

先进性：采用物联网、大数据、人工智能、云计算

等前沿技术，确保系统在技术架构、功能实现等方面处于行业领先水平，具备较强的技术竞争力和适应性。

可靠性：选用高可靠性的硬件设备和成熟稳定的软件系统，建立完善的系统备份与恢复机制，保障系统在复杂施工环境下能够稳定运行，确保监测数据的准确性和完整性。

实时性：实现施工数据的实时采集、传输与处理，确保施工管理人员能够及时获取最新的施工质量信息，以便快速做出决策，及时处理质量问题。

开放性与扩展性：系统采用开放式架构设计，具备良好的兼容性和扩展性，能够方便地与其他相关系统（如项目管理系统、BIM 系统等）进行集成，同时可根据工程实际需求灵活添加或删除监测模块和功能。

易用性：设计简洁、直观的用户界面，操作流程简单易懂，降低施工管理人员的使用难度，提高系统的易用性和实用性。

1.3 系统架构设计

水利工程混凝土施工质量智能监测系统采用分层架构设计，主要包括感知层、网络层、平台层和应用层。

感知层：感知层是系统的数据采集源头，由各类传感器和数据采集设备组成。例如，在原材料存储区安装温湿度传感器、重量传感器，实时监测原材料的存储环境和存量；在混凝土搅拌站设置搅拌机转速传感器、物料计量传感器，获取搅拌过程中的参数；在运输车辆上安装 GPS 定位传感器、混凝土坍落度传感器，监测运输过程中的位置和混凝土性能变化；在浇筑现场布置压力传感器、温度传感器、位移传感器，实时采集浇筑压力、混凝土温度和结构变形数据；在养护区域安装温湿

度传感器、喷淋控制传感器，监测养护环境和养护措施执行情况。这些传感器将物理量转化为电信号或数字信号，为系统提供原始数据。

网络层：网络层负责将感知层采集的数据传输至平台层。根据施工现场的实际情况，可采用多种通信方式，如 4G/5G 无线网络、光纤网络、LoRa 无线通信等。对于距离较近、数据传输量较大的设备，优先选用光纤网络，以保证数据传输的稳定性和高速性；对于分布较分散、布线困难的传感器，采用 4G/5G 无线网络或 LoRa 无线通信技术，实现数据的远程传输。同时，在网络层部署数据加密和安全防护措施，防止数据在传输过程中被窃取或篡改。

平台层：平台层是系统的核心，承担数据存储、处理、分析和管理等功能。采用大数据存储技术，构建分布式数据库，实现海量监测数据的高效存储和管理。运用数据清洗、数据融合等技术，对多源异构数据进行预处理，提高数据质量。基于人工智能算法和机器学习模型，对处理后的数据进行深度分析，挖掘数据背后的潜在信息，如混凝土强度发展规律、裂缝产生原因等。此外，平台层还提供统一的接口和服务，便于与其他系统进行集成和数据共享。

应用层：应用层面向施工管理人员、质量监督人员等不同用户群体，提供多样化的应用功能。通过 Web 端和移动端应用程序，用户可以实时查看混凝土施工各环节的监测数据、图表和分析报告；接收系统发出的质量预警信息，并进行处理反馈；查询历史数据，进行质量追溯和统计分析；利用系统提供的决策支持功能，制定科学合理的施工方案和质量控制措施。

2 系统关键技术研究

2.1 多源异构数据采集技术

水利工程混凝土施工涉及多种类型的数据，包括传感器采集的实时数据、实验室检测数据、施工记录数据等，这些数据具有来源广泛、格式多样、结构复杂等特点。为实现多源异构数据的有效采集，采用标准化的数据采集协议和接口，确保不同类型传感器和设备的数据能够顺利接入系统。例如，对于智能传感器，遵循 Modbus、MQTT 等通信协议；对于传统检测设备，开发专用的数据采集软件，实现数据的自动读取和转换。同时，建立数据采集管理机制，对数据采集的频率、时间、范围等进行统一配置和管理，确保采集到的数据能够准确反映施工过程的实际情况。

针对施工现场复杂的环境，设计自适应的数据采集

策略。当施工环境发生变化（如高温、暴雨、强电磁干扰等）时，系统能够自动调整传感器的工作模式和数据采集频率，保证数据采集的稳定性和可靠性。此外，引入边缘计算技术，在感知层设备端对数据进行初步处理和筛选，减少无效数据的传输，降低网络负载，提高数据传输效率。

2.2 数据传输与处理技术

在数据传输方面，为确保数据的实时性和准确性，采用混合通信网络架构。结合 4G/5G 无线网络的灵活性和光纤网络的高速稳定性，构建“无线 + 有线”的复合传输网络。在施工区域内设置无线基站和光纤汇聚点，传感器采集的数据先通过无线网络传输至附近的基站，再由基站通过光纤网络传输至数据中心。同时，采用数据压缩技术，对传输数据进行压缩处理，减少数据传输量，降低网络带宽需求。为保障数据传输安全，采用 SSL/TLS 加密协议对数据进行加密传输，防止数据泄露和被篡改。

2.3 智能预警与决策支持技术

智能预警是系统的重要功能之一。基于对历史数据的分析和质量标准要求，建立科学合理的预警模型。采用阈值预警、趋势预警和关联预警相结合的方式，实现对混凝土施工质量隐患的精准预警。当监测数据超过预设阈值时，系统立即发出阈值预警；通过对数据变化趋势的分析，预测可能出现的质量问题，并提前发出趋势预警；利用数据关联分析，当发现多个相关因素出现异常时，触发关联预警。

3 系统应用实践

3.1 应用案例选择

选择某大型水利枢纽工程作为应用案例。该工程混凝土浇筑总量大、施工工艺复杂、质量要求高，施工过程中面临诸多挑战，如大体积混凝土温控难度大、混凝土外观质量控制要求严格等。将水利工程混凝土施工质量智能监测系统应用于该工程的混凝土施工过程中，对原材料质量、混凝土搅拌、运输、浇筑和养护等环节进行全面监测，验证系统的可行性和有效性。

3.2 系统部署与实施

在工程施工现场，根据不同的施工区域和监测需求，合理布置传感器和数据采集设备。在混凝土搅拌站安装物料计量传感器、搅拌机转速传感器、温度传感器等；在运输车辆上安装 GPS 定位传感器和混凝土性能监测传感器；在浇筑仓面布置压力传感器、温度传感器、位

移传感器；在养护区域安装温湿度传感器和喷淋控制设备。同时，搭建施工现场的网络通信基础设施，确保数据能够顺利传输至数据中心。

在数据中心部署系统的平台层和应用层软件，完成系统的安装、调试和配置工作。对施工管理人员和操作人员系统使用培训，使其熟悉系统的操作流程和功能，能够熟练使用系统进行数据查看、预警处理和决策支持。

3.3 应用效果分析

系统应用后，实现了对混凝土施工全过程的实时监测，施工管理人员能够及时获取施工各环节的数据信息，提高了施工管理的效率和准确性。通过智能预警功能，提前发现并处理了多起质量隐患，如混凝土浇筑温度过高、养护湿度不达标等，有效避免了质量事故的发生。

在大体积混凝土温控方面，系统通过实时监测混凝土内部温度和表面温度，结合智能分析算法，为温控措施的调整提供科学依据。根据系统的建议，优化了冷却水管的布置和通水流量，将混凝土内部温差控制在合理范围内，有效防止了温度裂缝的产生。

在混凝土外观质量控制方面，通过对浇筑过程数据的分析，发现振捣时间和振捣方式对混凝土外观质量有显著影响。系统根据分析结果，为施工人员提供了最佳的振捣参数，提高了混凝土表面的平整度和光洁度，减少了蜂窝麻面等外观缺陷的出现。

此外，系统还为工程质量追溯和后期维护提供了完整的数据记录，方便管理人员对工程质量进行评估和分析，为类似工程的施工提供了宝贵的经验参考。

4 系统优化与发展展望

4.1 系统存在问题与优化方向

尽管系统在实际应用中取得了一定的成效，但仍存在一些问题需要解决。在数据采集方面，部分传感器的精度和稳定性有待提高，尤其是在恶劣环境下，传感器的性能容易受到影响，导致数据误差较大。在数据处理方面，随着数据量的不断增加，系统的数据处理速度和解析能力面临挑战，一些复杂的数据分析任务需要较长时间才能完成。此外，系统的智能预警模型和决策支持功能还需要进一步完善，以提高预警的准确性和决策的科学性。

针对以上问题，优化方向包括：研发新型高精度、高稳定性的传感器，提高数据采集的准确性和可靠性；

采用更先进的大数据处理技术和人工智能算法，提升系统的数据处理和分析能力；结合更多的工程实际案例和专家经验，对预警模型和决策支持系统进行优化和完善，提高系统的智能化水平。

4.2 未来发展趋势与研究方向

随着信息技术的不断发展，水利工程混凝土施工质量智能监测系统朝着更加智能化、集成化和协同化的方向发展。未来，人工智能技术将更加深入地应用于系统中，如利用深度学习算法实现混凝土质量问题的自动识别和诊断，提高质量检测的效率和准确性。同时，系统将建筑信息模型（BIM）技术深度融合，实现施工过程的三维可视化管理和模拟分析，为施工决策提供更直观、更全面的支持。

在数据共享与协同方面，建立水利工程质量监测数据共享平台，实现不同工程、不同参建单位之间的数据共享和协同工作，促进整个行业的质量提升和管理创新。此外，还将加强对物联网设备的安全防护研究，保障系统和数据的安全，防止网络攻击和数据泄露事件的发生。

5 结论

本文设计并研究了水利工程混凝土施工质量智能监测系统，通过明确系统设计目标和原则，构建合理的系统架构，深入研究多源异构数据采集、传输处理、智能预警等关键技术，并在实际工程中进行应用实践。结果表明，该系统能够实现对混凝土施工全过程的实时、精准监测，及时发现质量隐患，为施工决策提供科学依据，有效提高了水利工程混凝土施工质量和管理水平。同时，针对系统存在的问题提出了优化方向，并对未来发展趋势进行了展望。随着技术的不断进步和完善，水利工程混凝土施工质量智能监测系统将在水利工程建设中发挥更加重要的作用，推动水利工程行业向智能化、高质量发展。

参考文献

- [1] 水利工程混凝土施工质量控制要点分析[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(5): 45-49.
- [2] 物联网技术在建筑施工监测中的应用研究[J]. 计算机应用, 2021, 41(3): 78-83.
- [3] 人工智能在混凝土质量检测中的应用[J]. 建筑材料学报, 2022, 25(2): 234-240.
- [4]. BIM 技术与物联网的集成应用研究[J]. 土木工程学报, 2021, 54(4): 112-118.