

水利水电工程中智能监测与自动控制技术的应用

张山山 412727199101194519

摘要

随着我国水利水电工程建设规模不断扩大，工程运行安全与运维效率的要求持续提升，智能监测与自动控制技术凭借其实时性、精准性与智能化特征，逐步成为水利水电工程管理的核心支撑技术。本文梳理了智能监测与自动控制技术的核心构成，分析了其在大坝安全监测、水电站运行控制、河道防洪调度等典型场景的应用路径，总结了当前技术应用存在的兼容性不足、数据安全风险等问题，提出了优化技术融合与完善安全体系的发展方向，为水利水电工程的智能化升级提供参考。

关键词：水利水电工程；智能监测；自动控制；工程应用

一、引言

水利水电工程是我国重要的基础设施，承担着防洪减灾、发电供水、生态调节等多重功能，其运行稳定性直接关系到区域经济发展与人民生命财产安全。传统水利水电工程的监测与控制多依赖人工巡检与人工操作，不仅存在数据采集滞后、误差较大等问题，在面对复杂工况与极端天气时，也难以快速做出响应调整。近年来，物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与传统水利工程深度融合，智能监测与自动控制技术逐步成熟，能够实现工程运行数据的实时采集、智能分析与自动调控，大幅提升了水利水电工程的管理水平与运行效率。在此背景下，探讨智能监测与自动控制技术在水利水电工程中的具体应用，对推动水利行业智能化转型具有重要现实意义。

二、智能监测与自动控制技术的核心构成

2.1 智能监测技术体系

智能监测技术以多源传感器为基础，结合物联网通信与数据处理技术构建完成。传感器是数据采集的核心单元，针对水利水电工程不同监测需求，可部署渗压计、位移计、应力计、水位计、流量计等多种类型传感器，实时捕捉大坝变形、

结构应力、河道水位、水流流速等核心参数。物联网通信技术则实现了监测数据的实时传输，当前 5G、低功耗广域网（LPWAN）等技术的应用，解决了偏远水利站点通信覆盖不足的问题，能够保障监测数据稳定、低延迟传输至后台管理平台。数据处理环节则依托人工智能算法对采集到的多源数据进行清洗、融合与分析，能够自动识别数据异常，预判工程结构的潜在风险，相较于传统人工分析，大幅提升了风险识别的效率与精准度。

2.2 自动控制技术体系

自动控制技术以智能监测数据为输入，依托预设控制逻辑与智能决策算法，实现对水利水电工程设备与设施的自动调控。当前主流的自动控制系统采用分层递阶结构，分为现场控制层、集中监控层与调度管理层三个层级：现场控制层直接对接闸门、水轮机、阀门等执行设备，接收上层指令完成具体调控动作；集中监控层负责对区域内多个控制单元进行集中管理，汇总现场运行数据，下发控制指令；调度管理层则结合流域水文信息、工程运行目标，生成最优控制策略，实现全流域或者全工程的协同调控。随着模糊控制、模型预测控制等智能控制算法的发展，自动控制系统能够适应水利水电工程工况复杂多变的特征，根据实时数据动态调整控制参数，提升调控的精准性。

三、智能监测与自动控制技术在水利水电工程中的典型应用

3.1 大坝安全监测与风险预警

大坝是水利水电工程的核心构筑物，其结构安全是工程运行的首要前提。传统大坝安全监测依靠人工定期测量，不仅监测频率低，而且难以捕捉微小变形与渗流变化的发展趋势，容易遗漏风险隐患。应用智能监测技术后，可在大坝坝体、坝基、边坡等关键位置部署大量分布式传感器，对大坝的水平位移、垂直沉降、渗流压力、结构应力等参数进行 24 小时不间断监测，监测数据实时传输至安全监控平台。平台通过建立大坝结构安全的智能分析模型，能够自动识别参数的异常变化，当参数超过预设安全阈值时，自动发出风险预警，甚至可以结合变形趋势预判风险的发展方向，为运维人员开展隐患排查提供精准指引。例如，某大型水电站在大坝智能化改造中，部署了超过 1200 个智能监测点，实现了大坝全结构的实时监测，风险识别准确率提升至 95%以上，有效保障了大坝的运行安全。

3.2 水电站运行自动控制

水电站的核心功能是发电，其运行控制的目标是在保障电网稳定的前提下，

提升发电效率，降低设备损耗。应用自动控制技术后，水电站可以实现水轮发电机组、闸门调压设备等核心设施的自动调控。智能监测系统实时采集上下游水位、机组振动、电网负荷等数据，自动控制系统根据电网调度需求与当前水文条件，自动调整水轮机的开度与机组出力，匹配电网的负荷变化需求。相较于传统人工调节，自动控制能够更精准地跟踪负荷变化，减少机组的频繁启停，降低设备损耗，同时提升水能利用率，增加发电量。

3.3 流域防洪与闸坝群自动调度

在汛期，流域防洪调度是水利水电工程的重要任务，调度决策的时效性直接影响防洪安全。传统防洪调度依赖人工汇总水文数据、制定调度方案，决策周期长，难以应对快速变化的汛情。融合智能监测与自动控制技术后，可在流域范围内的河道、水库、闸坝部署智能水位、流量监测点，实时采集降水、水位、流量等水文数据，结合气象预报信息，通过智能水文预报模型快速预测洪水的发展过程，自动生成闸坝群的调度方案，控制系统自动调整各个闸坝的开度，实现错峰调洪，降低下游的防洪压力。

四、当前应用存在的问题与发展方向

当前智能监测与自动控制技术在水利水电工程中的应用已经取得了显著成效，但仍存在一些需要完善的问题：一是不同厂商的设备与系统存在兼容性不足的问题，早期建设的水利工程加装智能监测设备时，容易出现数据格式不统一、系统对接困难的问题，形成数据孤岛；二是智能监测系统依赖网络与数据传输，存在数据泄露与网络攻击的安全风险，一旦控制系统被攻击，可能影响工程运行安全；三是极端环境下传感器的可靠性有待提升，在高水位、低温、强腐蚀等环境下，部分传感器容易出现故障，影响监测数据的连续性。

针对上述问题，未来水利水电工程智能监测与自动控制技术的发展可以从三个方向推进：一是完善技术标准体系，统一数据接口与数据格式，推动不同厂商设备与系统的互联互通，实现多源数据的融合应用；二是完善网络安全防护体系，采用加密传输、权限管理、隔离防护等技术，保障监测数据与控制系统的安全，降低网络安全风险；三是加强核心设备的研发，提升传感器在复杂极端环境下的可靠性与稳定性，降低设备维护成本，扩大技术的应用范围。

五、结语

智能监测与自动控制技术是推动水利水电工程智能化升级的核心技术，其在

大坝安全监测、水电站运行控制、流域防洪调度等场景的应用，大幅提升了水利水电工程的运行安全性与管理效率。虽然当前技术应用仍存在一些不足，但随着技术标准的完善与核心设备研发的推进，智能监测与自动控制技术将会在水利水电工程中得到更广泛的应用，为我国水利事业的高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 李庆斌, 林鹏. 智能大坝的概念与关键技术[J]. 水利学报, 2020, 51(1): 1-11.
- [2] 王浩, 蒋云钟. 智慧水利建设的内涵与技术框架[J]. 中国水利, 2018(1): 1-5.
- [3] 张建云, 刘九夫, 金君良. 智慧水利关键技术与应用[J]. 水科学进展, 2021, 32(4): 505-514.