

自动化监测系统在水库大坝安全监测中的应用研究

马文雅 王鑫磊

北京中水科工程集团有限公司 北京 100038

摘要: 自动化监测系统作为水库大坝安全动态监测的智能化体系,由传感器感知、数据传输、数据处理与应用层构成,具实时、高精度、智能化特性。其在大坝变形、坝体渗流、结构应力与环境荷载监测中发挥关键作用。但应用中存在系统稳定性与适应性不足、数据处理与应用能力薄弱、运维管理体系不完善等问题。为此,需强化系统适配性与稳定性设计,优化数据处理与智能化分析能力,完善运维管理与人员能力建设,以提升系统应用效果,保障水库大坝安全稳定运行。

关键词: 自动化监测系统; 水库大坝; 安全监测; 应用研究

引言: 在水库大坝安全保障领域,自动化监测系统意义重大。其作为智能化技术体系,通过整合感知、传输、数据处理等模块,构建起全流程自动化监测闭环,具备实时、高精度、智能化等技术特性。在大坝变形、坝体渗流、结构应力与环境荷载监测等核心应用中发挥关键作用。然而,实际应用中该系统存在稳定性与适应性不足、数据处理与应用能力薄弱、运维管理体系不完善等问题。为提升其应用效果,需从强化系统适配与稳定性设计等多方面着手优化,以更好地守护水库大坝安全。

1 自动化监测系统的核心构成与技术特性

1.1 自动化监测系统的核心构成

自动化监测系统是实现水库大坝安全动态监测的智能化技术体系,其高度集成与协同运作的特性,为大坝安全保障筑牢了坚实的技术根基。该系统通过整合感知、传输、数据处理等核心模块,构建起全流程、自动化的监测闭环。

其核心构成主要分为三层。传感器感知层是数据的源头,在大坝的关键部位,如坝顶、坝基等,科学部署多种类型的传感器,像位移传感器、渗压计等,能精准捕捉大坝各类物理量的细微变化,如位移、渗流等。数据传输层犹如信息高速公路,借助有线或无线通信技术,如光纤通信、4G/5G网络等,确保监测数据高效、稳定地传输至数据处理中心,避免数据丢失或延迟。数据处理与应用层则承担着对海量数据深度挖掘与分析的重任,运用专业的算法模型,从繁杂的数据中提取有价值的信息,为决策提供科学依据^[1]。

1.2 自动化监测系统的技术特性

自动化监测系统的技术特性十分突出。在实时性方面,系统能够24小时不间断地采集监测数据,不放过任何细微变化,及时捕捉大坝状态的动态信息,打破了传

统人工监测在时间上的局限,实现全天候的监测。高精度是其又一优势,采用先进的传感技术与精细的数据校准算法,最大程度降低监测误差,保证数据的准确性与可靠性,为精准评估大坝安全状况提供有力支撑。智能化层面,系统具备数据自动分析、异常预警等功能,可自动识别潜在风险,减少人工干预,大幅提升监测效率与应急响应速度,为大坝安全运行保驾护航。

2 自动化监测系统在水库大坝安全监测中的核心应用

2.1 大坝变形监测

大坝变形状况是衡量其结构安全稳定性的关键核心指标,涵盖沉降、水平位移、倾斜等多个重要方面。这些变形指标的细微变化,都可能预示着大坝结构内部应力状态的改变,进而影响大坝的整体安全性。(1) 自动化监测系统凭借先进的传感器技术与数据传输手段,在大坝变形监测中发挥着至关重要的作用。通过在大坝的关键部位,如坝顶、坝肩、坝基等,科学部署GPS定位系统、激光测距传感器、倾角传感器等高精度设备,能够实时、精准地采集大坝的变形数据。这些数据被实时传输至监控中心后,系统可运用专业的算法模型对其进行动态跟踪与深入分析,清晰呈现大坝的变形趋势。(2) 系统具备智能预警功能。预先设定科学合理的变形阈值,一旦采集到的变形量超出该阈值,系统将自动触发预警信号,及时提醒相关人员。相关人员可依据预警信息,迅速开展排查与处置工作,有效避免因变形持续累积而引发结构破坏等严重后果,为大坝的安全运行提供坚实保障^[2]。

2.2 坝体渗流监测

渗流问题作为影响大坝安全的关键因素,其潜在危害不容小觑。过量渗流犹如隐藏在大坝内部的“隐形杀手”,可能引发坝体渗透破坏,使坝体结构强度降低;还

可能导致地基失稳,让大坝失去稳固的支撑基础,进而威胁到大坝的整体安全与稳定运行。(1)自动化监测系统为应对渗流问题提供了科学有效的手段。通过在大坝的坝体、坝基以及两岸山体等关键部位,精心部署渗压计、渗流量监测仪、水质传感器等先进设备,能够实时、精准地监测渗流水位的高低、渗流量的大小、渗透坡降的变化以及水质的各项指标。(2)系统具备强大的数据建模与分析能力,可依据采集到的海量数据,深入剖析渗流规律,精准识别渗流的异常变化。一旦发现潜在风险,能够及时为坝体防渗加固、排水系统优化等工作提供精准的数据支持,从而有效防范因渗流问题引发的各类安全风险,确保大坝在复杂的水文地质条件下长期安全稳定运行。

2.3 结构应力与环境荷载监测

水库大坝在漫长的运行周期里,时刻承受着多种复杂荷载的共同作用。水压力持续施加,温度在昼夜与季节交替中频繁变化,地震等突发地质活动也可能带来强烈冲击,这些因素极易导致大坝结构应力集中。一旦应力超出材料承受极限,便会引发裂缝、破损等严重问题,威胁大坝安全。(1)自动化监测系统为应对此类挑战提供了全面且精准的解决方案。通过在大坝关键部位科学部署应力传感器、应变片、温度传感器、振动传感器等先进设备,能够实时、精确地监测坝体混凝土、钢筋等结构的应力应变状态,同时获取上下游水位、气温、风速等环境荷载数据。(2)系统借助先进的结构力学模型,对这些海量监测数据进行深度分析,精准剖析荷载作用下大坝的受力特性。基于分析结果,能够提前预判结构损伤风险,为大坝的维护加固工作提供科学合理的依据,也为大坝的运行调度提供精准指导,确保大坝在复杂多变的工况下始终保持安全稳定运行。

3 自动化监测系统中存在的主要问题

3.1 系统稳定性与适应性不足

当下,部分自动化监测系统在稳定性与适应性上暴露出显著问题。在设备选型阶段,未充分考量大坝所处复杂自然环境的严苛要求,使得设备与环境适配程度低。高温环境下,传感器内部元件性能改变,加速老化进程,导致测量数据失真甚至失灵;严寒时,设备部件收缩变形,影响正常运转;高湿条件会腐蚀设备外壳与内部线路,大幅降低设备使用寿命。强电磁干扰也不容忽视,它可能干扰数据传输设备信号,造成信号中断或传输延迟。而且,部分系统抗干扰设计存在缺陷,监测数据易受外界因素干扰而失真,这极大地削弱了数据的可靠性与可用性,给准确判断大坝安全状况带来困难,埋下安

全隐患。

3.2 数据处理与应用能力薄弱

许多自动化监测系统存在“重采集、轻处理”的突出问题,数据处理与应用能力短板明显。(1)在数据处理环节,系统虽具备强大的数据采集功能,可获取海量数据,然而却缺失科学有效的筛选、清洗与整合机制。大量冗余数据如杂乱无章的杂草般混杂其中,不仅大量占用有限的存储资源,增加存储成本与运维难度,更会严重干扰后续分析工作的推进,使得分析效率大幅降低,分析结果的准确性也大打折扣。(2)在数据分析方面,所采用的分析模型过于简单粗陋。多数仅能对数据进行基础的统计运算与趋势呈现,难以深入探寻数据背后潜藏的潜在规律与风险信息,缺乏对风险的精准预判能力。这导致监测数据难以有效转化为对大坝安全评估和决策有实际指导价值的信息,最终形成了“数据堆积如山,有效信息匮乏”的尴尬局面^[9]。

3.3 运维管理体系不完善

自动化监测系统若要长期稳定且高效地运行,完善的运维管理体系必不可少,然而部分项目在此方面存在明显短板。(1)专业运维人员匮乏。现有人员大多未接受过系统全面的技术培训,面对设备故障排查、数据精准校准等专业性较强的问题时,往往力不从心,难以快速且有效地解决。(2)运维流程缺乏规范性。没有建立定期巡检、设备维护、数据校准等标准化流程,使得设备老化、精度降低等问题不能及时发现与处理,为系统稳定运行埋下隐患。(3)运维资金投入欠缺。资金不足致使设备无法及时更新换代,系统也难以进行必要的技术升级,进而导致系统技术水平滞后,难以满足大坝安全监测不断变化的动态需求。

4 提升自动化监测系统应用效果的优化策略

4.1 强化系统适配性与稳定性设计

自动化监测系统要在大坝安全监测中发挥理想效果,前期科学的适配与稳定性设计至关重要。在系统建设初始阶段,必须全面考量大坝所处区域的自然环境、复杂地质条件以及独特的结构特性,以此为依据开展精准的设备选型与系统设计工作。(1)在设备选型上,要优先挑选那些抗干扰能力卓越、环境适应性良好且精度稳定的传感器与传输设备。比如,在雷电多发区域,应选用具备防雷功能的传感器;在潮湿环境下,要选择防水等级高的设备,以此提升系统在恶劣自然条件下的运行稳定性。(2)要加强系统的抗干扰设计。运用先进的屏蔽技术,有效阻隔外界电磁干扰;采用信号加密传输方式,防止数据在传输过程中被窃取或篡改,减少外界因素对

监测数据准确性的影响。(3) 建立完善的系统冗余备份机制不可或缺。对关键设备与传输链路进行备份设置,一旦某个环节出现单点故障,备份系统能迅速接替工作,避免因局部问题导致整个系统瘫痪,切实保障监测工作的连续性与可靠性。

4.2 优化数据处理与智能化分析能力

为充分发挥自动化监测系统在水库大坝安全监测中的作用,优化数据处理与智能化分析能力是关键环节。(1) 要构建一体化数据处理平台,搭建完善的数据处理流程架构。建立严格的数据筛选、清洗、整合与存储机制,运用先进算法对海量监测数据进行细致甄别,去除冗余数据和异常数据,从源头上提升数据质量,为后续分析提供可靠基础。(2) 积极引入大数据分析、机器学习等前沿技术。基于这些技术构建多维度的安全评估模型,该模型能够综合考虑大坝结构、环境因素等多方面信息,对监测数据进行深度挖掘与智能分析。通过分析数据间的潜在关联和变化规律,精准识别安全隐患,还能预判隐患的发展趋势,为提前采取防范措施提供科学依据。(3) 开发可视化数据展示与预警系统。将复杂的监测数据以直观的图表、曲线等形式呈现,方便管理人员快速了解大坝状态。同时,优化预警算法,科学明确不同等级的预警阈值,实现分级预警,使应急响应更具针对性,有效提升应对突发情况的时效性^[4]。

4.3 完善运维管理与人员能力建设

自动化监测系统的长效稳定运行,离不开完善的运维管理与高素质的人员队伍。(1) 在运维管理方面,需建立一套标准化、精细化的运维管理流程。明确规定巡检周期,针对不同设备制定差异化巡检方案,确保及时发现潜在问题;规范设备维护操作,详细记录维护时间、内容与结果;严格数据校准流程,保证监测数据的准确性与可靠性;制定科学合理的故障处置预案,提高故障响应速度与解决效率。通过这些具体要求,形成“定期

巡检—问题排查—整改反馈—效果评估”的闭环管理机制,实现运维工作的全流程管控。(2) 要加大运维资金投入力度。定期对老化设备进行更新换代,避免因设备老化导致监测精度下降或系统故障;紧跟技术发展趋势,对系统进行及时的技术升级,保障系统的技术先进性与运行稳定性。(3) 加强专业人才培养至关重要。通过组织专题培训、开展技术交流等方式,提升运维人员与管理人员的专业技能,使其熟练掌握系统操作、设备维护、数据解读等核心能力,并强化安全责任意识,确保运维工作规范、高效开展。

结束语

自动化监测系统作为水库大坝安全监测的关键技术支撑,虽在核心构成、应用方面成效显著,但在稳定性、数据处理及运维管理等方面仍存在不足。提升其应用效果需多管齐下,强化系统适配性与稳定性设计,优化数据处理与智能化分析能力,完善运维管理与人员能力建设。通过这些优化策略,可有效提升系统的性能与可靠性,使监测数据更精准、分析更智能、运维更高效。未来,随着技术的持续进步与创新,自动化监测系统将不断完善,为水库大坝安全提供更坚实保障,助力水利事业高质量发展。

参考文献

- [1]王霄清.水库大坝安全监测自动化技术在水库安全中的应用[J].河北农机,2022(3):121-123.
- [2]缪淑佳,李满娥.自动化监测系统在水库大坝安全监测中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(02):122-124+128.
- [3]魏昌明.自动化检测系统在大坝安全监测中的应用[J].科技资讯,2024,22(16):128-130.
- [4]徐立君.基于监测数据的施工运营期大坝安全稳定研究[J].水利科技与经济,2024,30(2):167-170.