

悬移质泥沙在线监测新技术的应用与展望

张楠 郭强

黄河水利委员会水文局

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6279

[摘要] 悬移质泥沙在线监测新技术通过结合传感器、物联网、大数据和人工智能等先进技术,实现对水体中含沙量、颗粒级配及输沙规律的实时监控,该技术在水资源管理、水电站运行、河道治理和生态保护中具有重要应用价值。未来随着智能化监测、实时动态预警和多源数据融合的深入发展,悬移质泥沙在线监测系统将更加精准、高效,推动水利行业向智能化、自动化和可持续发展方向迈进。

[关键词] 悬移质泥沙; 在线监测; 监测技术

中图分类号: X924.2 **文献标识码:** A

Application and Prospect of new technology for on-line monitoring of suspended sediment

Nan Zhang Qiang Guo

Hydrology Bureau of Yellow River Conservancy Commission

[Abstract] the new technology of suspended sediment on-line monitoring realizes the real-time monitoring of sediment concentration, particle size distribution and sediment transport law in water by combining advanced technologies such as sensors, Internet of things, big data and artificial intelligence. This technology has important application value in water resources management, hydropower station operation, river management and ecological protection. In the future, with the further development of intelligent monitoring, real-time dynamic early warning and multi-source data fusion, the suspended sediment on-line monitoring system will be more accurate and efficient, and promote the intelligent, automated and sustainable development of the water conservancy industry.

[Key words] suspended sediment; Online monitoring; monitoring technology

引言

悬移质泥沙在线监测新技术的发展对水利工程、生态环境保护及河流治理具有重要意义,传统监测方法存在实时性差、精度有限等问题,而新技术依托物联网、遥感、大数据及人工智能实现了含沙量、颗粒级配等参数的高精度、自动化监测,随着传感器技术的进步与数据分析手段的优化,在线监测系统逐步向高频、智能、广域覆盖方向发展,为水资源管理和防灾减灾提供了有力支撑,具有广阔的应用前景。

1 悬移质泥沙的概念

悬移质泥沙是指在水流作用下悬浮于水体中随流体运动的细颗粒泥沙,其运动主要受水流紊动影响,不与河床表面保持持续接触,它通常包括黏土、粉砂和细砂等颗粒较小的泥沙颗粒,在水流中呈悬浮状态,被输送至下游,悬移质泥沙的浓度受流速、流量、水深、来沙量等因素影响,广泛存在于河流、湖泊、水库及海洋等水体环境中,其输移过程对河道演变、水库淤积、水质环境及生态系统具有重要影响,过量的悬移质泥沙可能导致水体浑浊度上升,造成水库淤积、河床抬升、河道变迁等,影

响水生生物生存,并加剧河口及海岸侵蚀,因此对其监测与治理具有重要意义^[1]。

2 悬移质泥沙在线监测的重要意义

悬移质泥沙在线监测在水利工程、河流治理及生态环境保护等领域具有重要意义,河流中的悬移质泥沙直接影响水动力过程、河床演变及水库淤积,长期以来泥沙淤积是影响水库调节能力和使用寿命的主要问题之一,而悬移质泥沙的实时监测可以为水库调度提供科学依据,优化排沙方案,延缓库区淤积速度,同时,泥沙输移过程直接影响河道的过流能力,在线监测系统可以实时获取水体含沙量变化过程,为水文部门及水利工程管理部门提供及时的数据支持,降低洪水及泥石流等灾害的风险,含沙量监测有助于水电站的安全运行,过高的含沙量导致机组磨损,加剧设备损坏,因此准确把握含沙量动态变化对水电站的运行维护具有重要作用^[2]。悬移质泥沙在线监测对环境保护和水质管理具有深远影响,泥沙的过量输移可能导致河湖水体浑浊度增加,影响水生生物的生长环境,例如阻碍光合作用,降低水体溶氧量,从而影响鱼类、底栖生物及水生植物的生存,此

外悬移质泥沙往往与污染物结合影响水质安全,甚至引发水华等生态问题,通过在线监测技术可以实时掌握泥沙浓度及其携带的污染物变化情况,为水环境治理提供科学数据支持,现代在线监测技术结合物联网、大数据及人工智能不仅提高了监测精度和实时性,也为流域生态修复、跨区域水资源调度及水污染防治提供了技术保障,因此发展和应用悬移质泥沙在线监测技术对优化水资源管理、保障水生态健康、促进可持续发展具有重要意义。

3 悬移质泥沙在线监测新技术的应用分析

3.1 河道冲淤分析

河道冲淤变化直接影响河道稳定性、水流形态及防洪、航运等功能,悬移质泥沙在线监测新技术在河道冲淤分析中发挥着重要作用,传统的河道冲淤监测方法依赖定期人工测量,周期长、精度有限,难以捕捉短时间内的泥沙输移变化,而在线监测技术依托光学、声学、多频超声波等传感器能够实时监测河道不同断面的含沙量、颗粒级配及输沙速率,为河道冲刷和淤积过程提供高频、高精度的数据支持,结合无人船等载体可对大范围河道进行动态监测,精确分析河道形态演变及局部冲刷或淤积区域,有助于优化河道治理方案,提高管理效率,此外在线监测系统还能增强河道防洪能力,降低泥沙淤积带来的灾害风险。在洪水期间,大量泥沙可能导致河床剧烈冲刷或淤积,影响行洪能力,甚至引发堤防失稳,利用在线监测技术可实时掌握洪水期含沙量变化动态,预测河道可能发生的冲淤变化,为防洪调度提供科学依据,通过结合水动力模型和大数据分析,可模拟不同水文条件下的冲淤变化趋势,优化河道整治和清淤工程设计,减少人为干预的不确定性,因此悬移质泥沙在线监测技术不仅提高了河道冲淤分析的精度和实时性,还为流域综合治理、生态修复及防灾减灾提供了强有力的技术支撑。

3.2 水库淤积监测

水库淤积是影响水库运行效率和使用寿命的重要问题,悬移质泥沙在线监测技术在水库淤积监测方面发挥着关键作用,传统的泥沙监测方法依赖人工取样和实验室分析,存在时效性差、监测点有限等问题,而在线监测技术能够实现实时、连续的数据采集,对水库泥沙输移及淤积过程进行动态监测,通过布设高精度光学、声学或激光传感器可实时监测含沙量变化、颗粒级配及输沙规律,从而准确评估水库淤积速率及空间分布变化,结合遥测技术和数据传输系统,监测数据可即时上传至管理平台,为水库调度提供科学依据,优化排沙调度方案,延长水库使用寿命,此外悬移质泥沙在线监测技术还能够提高水库的防灾减灾能力^[3]。在汛期或极端天气条件下,含沙量剧增可能影响水库泄洪能力,甚至威胁大坝安全,在线监测系统可实现24小时不间断监测,当含沙量异常升高时系统可自动预警,提醒管理人员采取应对措施,如调整泄洪方式或启动排沙设施,降低淤积风险,同时结合大数据分析 with 人工智能技术可对不同来水、来沙条件下的水库泥沙输移趋势进行预测,为长期水库管理和维护提供决策支持,因此悬移质泥沙在线监测技术在水库淤积监测中具

有重要的应用价值,不仅提升了监测效率和精度,还为水资源的可持续利用提供了技术保障。

3.3 水电站泥沙预警

水电站的稳定运行受到含沙量的直接影响,特别是高含沙量时可能导致机组磨损、通流部件堵塞,甚至影响发电效率和设备寿命,悬移质泥沙在线监测新技术在水电站泥沙预警方面具有重要应用价值,传统的泥沙监测方式主要依靠人工取样和定期检测,数据获取滞后,难以及时反映含沙量变化,而现代在线监测技术采用光学、声学、超声波等传感器能够对进水口、压力管道及尾水区的含沙量变化、颗粒级配进行实时监测,并结合流速测量分析泥沙输移趋势。通过数据无线传输和智能预警系统,管理人员可以随时掌握水电站进出水的泥沙动态,及时采取措施,如调整取水方式、优化运行工况或启动排沙设施,以降低泥沙对机组的损害。

4 悬移质泥沙在线监测新技术的未来应用展望

4.1 智能化监测系统

智能化监测系统是悬移质泥沙在线监测技术未来发展的方向之一,随着物联网、人工智能和自动化控制技术的不断进步,传统的泥沙监测方式将逐步升级为智能化、无人化系统,未来的智能监测系统将集成高精度传感器、无线数据传输及云计算技术,实现对含沙量、颗粒级配及输沙规律等关键参数的实时自动监测,并结合水文、气象等数据进行综合分析,系统通过边缘计算与人工智能算法可以自动识别异常泥沙变化情况,提高监测的准确性和响应速度,减少人工干预的需求,同时智能化监测系统将具备自学习能力,能够根据历史数据不断优化监测策略,提高泥沙监测的精准度和适应性,此外智能化监测系统将在水利工程、水文水资源、生态保护、防灾减灾等多个领域发挥重要作用,未来的系统将不仅局限于单一监测站点,而是通过多节点协同监测,构建覆盖整个流域的智能监测网络,实现跨区域数据共享与动态联动分析^[4]。

结合5G通信技术和卫星遥感,监测系统可以在极端天气或突发事件时提供快速预警,为防洪调度、泥沙治理、水库管理等提供科学支持,同时智能化监测系统还可以与自动化调度系统相结合实现水库、水电站、航道等工程的智能调控,优化排沙策略,降低泥沙淤积对工程设施的影响,因此智能化监测系统的发展将大幅提升悬移质泥沙在线监测的精准度、自动化水平和决策支持能力,为水资源管理和生态保护提供更加智能、高效的技术支撑。

4.2 多源数据融合

多源数据融合也是悬移质泥沙在线监测新技术未来发展的关键方向之一,当前的监测技术主要依赖单一传感器或有限的测点,容易受局部环境因素影响,难以全面反映泥沙输移过程,未来随着遥感技术、无人机监测、物联网传感器及水下探测设备的快速发展,多源数据融合将成为提升监测精度和覆盖范围的重要手段,通过整合光学传感器、超声波测量、激光雷达及卫星影像数据构建立体化的泥沙监测体系,实现多尺度、多时空的

含沙量变化、颗粒级配及输沙规律监测,同时系统结合流速、流量、降雨、水位、断面地形等相关水文数据可以进行更精准的泥沙输移建模,提升监测的综合性和科学性,未来的多源数据融合系统还将广泛应用于水资源管理、防洪减灾及生态环境保护等领域^[5]。通过人工智能与大数据分析,融合不同数据源的信息,建立泥沙输移的动态预测模型,提高预警的准确度,例如在洪水期通过实时获取卫星遥感数据和水下传感器数据,系统可以精准评估河流或水库含沙量的剧增情况,并预测可能出现的冲刷或淤积趋势,此外多源数据融合还将促进跨区域联动监测,实现上下游河段、支流及水库的协同管理,优化泥沙调控方案,减轻水利工程的淤积问题,因此随着多源数据融合技术的发展,悬移质泥沙监测将进入更加精准、高效、智能的新时代,为水文水资源管理、流域治理和水生态保护提供更加全面的技术支撑。

4.3 实时动态预警

实时动态预警是悬移质泥沙在线监测技术未来发展的重要应用方向,随着智能化监测技术的发展,实时动态预警将成为泥沙监测系统中的核心功能,通过高精度的在线传感器、物联网技术以及大数据分析,系统可以对水体中的含沙量、颗粒级配及输沙规律进行实时监控,一旦监测到含沙量异常变化,或者在汛期出现短时间内泥沙暴增的情况,系统可以自动发出预警信号,与传统的定期检测不同,实时动态预警能够及时识别突发的泥沙变化,为防灾减灾提供宝贵的时间窗口,例如在水库和水电站中,当含沙量达到设定的阈值时预警系统可以通知操作人员提前调整取水口、优化水轮机调度,减少泥沙对设备的损害,保障电站的安全运行,此外实时动态预警技术的应用将极大提高河流和水库的管理效率,特别是在防洪、排沙及河道治理方面。通过持续监测与实时数据处理,系统能够自动识别出潜在的泥沙灾害风险,并依据历史数据和预测模型提前做出反应,优化水利设施的调度,洪水期间若系统检测到含沙量剧增或泥沙带来水流阻

塞的风险,预警系统可以自动推送应急预案,提醒管理人员及时采取有效措施,如调整水库的泄洪模式或开启排沙设备,避免泥沙对设施的破坏,此外预警系统结合人工智能和大数据分析还能够为含沙量动态变化提供长时间趋势预测,帮助决策者做出科学合理的预防措施,因此实时动态预警技术的应用将大大提升悬移质泥沙在线监测系统的实效性、智能化程度及响应速度,为水资源管理与生态保护提供强有力的技术保障。

5 结语

悬移质泥沙在线监测新技术的不断发展将为水文水资源管理、水利工程建设及水生态保护提供更精确、高效的支持,通过智能化监测、实时预警和多源数据融合等技术的应用能够有效提高泥沙输移过程的监控精度,优化水利设施运行与维护,保障生态系统的可持续发展,随着技术的不断创新,未来的悬移质泥沙在线监测将更加智能化、自动化,推动水利行业向更加精准、环保和高效的方向发展。

[参考文献]

- [1]胡兴艺,姬日业,李旭光.泥沙在线监测及远程智能采集系统研发与应用技术[J].人民珠江,2021,42(S01):95-98.
- [2]杨俊,周露尘.量子点光谱泥沙监测系统在水文泥沙监测中的应用[J].四川水利,2024,45(1):87-91.
- [3]张释今,苏敏.TES-91泥沙在线监测系统在宜昌水文站的试验研究[J].水资源研究,2024,13(4):414-423.
- [4]张天予,李茜,冯镜洁,等.结合粒径分布测量的悬移质泥沙沉降速度试验探究[J].四川水力发电,2023,42(S02):1-8.
- [5]郑少萍.量子点光谱测沙技术在深圳河水文测验应用浅析[J].长江工程职业技术学院学报,2024,41(2):11-15.

作者简介:

张楠(1986-),女,汉族,河南巩义人,本科,从事研究水文水资源监测新技术相关领域。