

基于光电测沙仪的 实时泥沙在线监测系统应用

李心月¹, 周绍阳², 曾 瑞²

(1. 江苏省地质资料馆, 江苏 南京 210012; 2. 长江水利委员会水文局长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京 210011)

摘要:在分析光电测沙原理的基础上, 开发了实时泥沙在线监测系统, 介绍了实时泥沙在线监测系统的整体框架、野外监测点组成、测点含沙量数据采集方法、数据传输技术、泥沙监测中心以及应用情况。系统的开发极大提高了河流泥沙监测密度, 降低了人工测沙的工作强度, 并可自动捕获沙峰过程, 为长期实时监测河流含沙量提供了有效的手段。

关键词:光电测沙仪; 实时监测; 河流含沙量

中图分类号: TV142

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)10-0032-0004

Application of real-time online sediment monitoring system based on photoelectricity sediment concentration meter

LI Xinyue¹, ZHOU Shaoyang², ZENG Rui²

(1. Geological Data Archives of Jiangsu Province, Nanjing 210012, China;

2. China Lower Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Nanjing 210011, China)

Abstract: Based on the analysis of the principle of photoelectric sediment concentration meter, a real-time online sediment monitoring system is developed, the overall framework of a real-time sediment online monitoring system, the composition of field monitoring points, the method of collecting sediment concentration data at measurement points, data transmission technology, sediment monitoring center and applications are introduced. The development of the system greatly improves the monitoring density of river sediment, reduces the workload of manual sediment measurement, and can automatically capture sediment peak processes, providing an effective means for long-term real-time monitoring of river sediment concentration.

Key words: photoelectricity sediment concentration meter; real-time sediment monitoring; river sediment concentration

近年来,随着水文测验项目在线测流系统的逐步推广,在线监测比例已有所提升^[1-2],水文测站水位、降水等实现了自动测报^[3-5],而如何实现泥沙(含沙量)在线监测一直是困扰水文工作者的主要问题之一。为满足水文现代化建设的需求,进一步提升

水文监测能力,解决悬移质泥沙含沙量自动测报的难题,有必要开发实时泥沙在线监测系统^[6-7]。

实时泥沙在线监测系统是现代传感技术、自动测量技术、自动控制技术、计算机应用技术以及相关的专用分析软件和通信网络所组成的一个综合

收稿日期: 2024-05-06

作者简介: 李心月(1991—),女,工程师,主要从事地质矿产技术管理工作。E-mail: 3024461033@qq.com

通信作者: 周绍阳(1991—),男,工程师,本科,主要从事水文技术管理工作。E-mail: 1132146127@qq.com

性体系^[8]。系统主要由泥沙数据自动采集、通信和数据处理分析3部分组成。为推进水文新技术、新设备应用,明确了光学悬移质泥沙技术可应用于悬移质泥沙在线监测工作。因长江下游泥沙含沙量较小,泥沙颗粒粒径较为稳定^[9],本研究采用光电测沙仪监测悬移质含沙量。

1 光电测沙原理

平行光线穿过浑浊的液体时,经过一段距离后光强度会发生一定程度的衰减。衰减的主要原因是光线在浑浊液体中被吸收、反射或散射,从而偏离了原来的方向。通过比较测得的光线强度和初始发射光线强度,并考虑传输距离等影响因素,就可以计算出液体的浊度^[10]。

天然水体中,泥沙含量是影响水浊度的最重要因素^[11]。在很多场合,泥沙含量甚至是决定浊度的唯一因素^[12]。如果泥沙含量和浊度之间有稳定的关系,就可以通过测量浊度来估算含沙量。光电测沙仪就是利用光强度的衰减测量浊度,从而测得水中含沙量。

光线强度在水中的衰减与光程、吸收系数、含沙量、泥沙粒径、泥沙容重等因素有关^[13]。光线强度可用光通量表示,光透过介质时,其光通量的变化可以用式(1)估算。

$$\Phi = \Phi_0 e^{-3KLd/2\gamma} \quad (1)$$

式中: Φ 为透过介质后的光通量,lm; Φ_0 为透过介质前的原光通量,lm; L 为光程,表示光线在液体介质中通过的路程,m; K 为吸收系数,表示某种介质相对于光线的特性; C 为含沙量,表示水中悬移质含沙量, kg/m^3 ; d 为悬移质平均粒径,mm; γ 为悬移质密度, kg/m^3 。

对式(1)进行整理可得式(2),式(2)中各符号含义同式(1)。

$$C = -\frac{2\gamma d}{3KL} \ln \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (2)$$

由式(2)可见,只需测得光通量 Φ 后,由已知的 Φ_0 、 L 、 γ ,再根据实际率定所得的 K 和 d ,既可计算出含沙量。

在实际应用中,光电测沙仪制造时通常根据式(1)、式(2)标定光强度的衰减与浊度的关系,以便直接测量浊度。用户通过实测率定分析,确定含沙量与浊度的关系,从而得到含沙量计算式为式(3)。

$$C = aT + b \quad (3)$$

式中: C 为含沙量, kg/m^3 ; T 为浊度; a 、 b 为率定系数。

2 野外监测点组成

野外监测站点测沙设施主要由光电测沙仪、电源以及基础设施3部分组成(图1)。光电测沙仪主要包含浊度传感器、遥测终端(RTU)以及通信模块。浊度传感器主要用于实时采集测点浊度,遥测终端(RTU)采用RS485接口与浊度传感器连接。遥测终端(RTU)是野外监测站点的核心,主要用于控制浊度传感器的测量时间,本地存储实时测量数据,并与通信传输模块进行数据信息交换以及控制电源等。通信传输部分主要是实现野外监测站点与数据处理中心之间数据传输和信息交换,电源部分主要包括蓄电池、充电控制器、太阳能板等。基础设施用于保护和支撑传感器、控制器、通信传输和电源,主要包括设备安装基座、支架、避雷地网等。

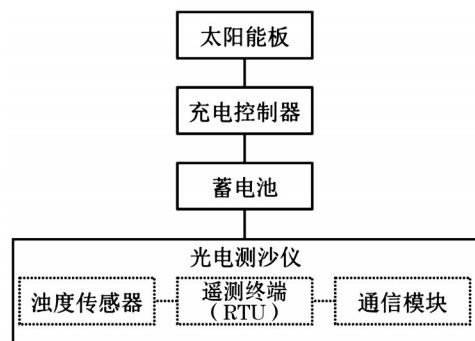


图1 野外监测点组成

3 测点含沙量数据获取

光电测沙仪可以选择在水工建筑物、船载或浮体上安装,在安装时应保证光电测沙仪探头垂直入水,深度范围为0.5~1.5 m,并且确保传感器探头朝下且周围没有遮挡物,同时要求有4G信号覆盖和无强电磁干扰,浮标船安装示意图2。测点含沙量数据的采集由RTU控制完成,现场操作人员可通



图2 浮标船安装示意

过手机 APP 蓝牙连接光电测沙仪进行配置和监测。在进行河流断面测沙时,应根据断面特性选择具有代表性的测沙点,并与流量监测同步进行,以便准确计算输沙率。

4 数据传输过程

在泥沙在线监测过程中,大量数据需要传输至后台数据接收中心,这一过程通过通信传输部分以无线方式完成(图3)。系统采用4G或LoRa的无线传输方式,并内置蓝牙模块。4G技术是基于IP协议的宽带无线接入方式,其特点包括高速数据传输、低延迟、广泛覆盖、大容量和高安全性^[14]。LoRa作为低功耗广域网的典型技术,具备超长距离传输和低功耗等特点^[15]。在4G网络信号覆盖的区域,系统采用4G通信方式;而在无4G覆盖的偏远地区,则采用LoRa无线传输。

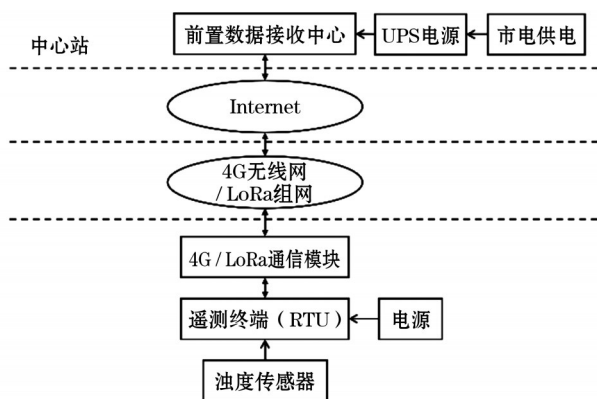


图3 野外监测点的数据传输

功能可不断拓展,对于新的浊度等传感设备,只要掌握其接口协议,便可接入本系统中,系统的主要特点如下:

- (1)能够处理各类浊度传感器监测的信息。
- (2)可同时接受多个测站监测的数据,每个测站支持多个不同类型的传感器。
- (3)对不同传感器可配置相应的浊度与含沙量关系进行含沙量计算,灵活性强。
- (4)可实时显示监测数据,并展示浊度或含沙量过程线图。
- (5)具有设备地图显示功能。
- (6)具有警戒阈值提醒功能。
- (7)支持网络自动校时或服务器校时。
- (8)方便的数据导出功能,支持远程数据导出。
- (9)支持远程维护、调节参数、升级等功能。

5.2 组成模块

系统软件可分为3个模块,分别是首页、数据查询及远程控制模块。系统软件结构见图4。

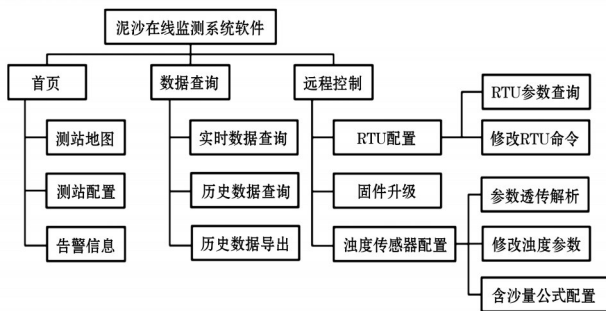


图4 泥沙在线监测系统软件结构

5 泥沙监测中心

泥沙监测中心主要分为2个部分,包括前置数据接收软件和泥沙在线监测处理软件。前置数据接收软件的主要功能是实时接收测点含沙量数据,并将数据写入本机自定义文件。同时,还具备远程设置野外监测点参数、校正设备时间等功能。通过同步数据采集时间,可确保实时地反映测点含沙量情况。泥沙在线监测处理软件的主要功能是将野外监测站点监测的浊度信息,通过浊度含沙量关系进行转换,从而得出测点含沙量。若测点代表性良好,可配置测点含沙量(浊度)与断面平均含沙量关系,计算出断面平均含沙量。

5.1 主要特点

泥沙在线监测系统是一个开放的应用平台,其

5.3 系统功能

(1)测站管理。本系统软件可同时处理多个测站的泥沙数据,通过测站配置可完成测站信息的更新及测站的增加与删减,便于系统维护。

(2)警报功能。通过设置浊度或含沙量阈值,提醒用户注意仪器运行状态以及沙峰过程等。

(3)数据采集管理。可远程控制设置遥测终端(RTU)采集历时、长传间隔等。

(4)含沙量公式管理。针对具体测站,添加、删除、修改浊度与含沙量关系。

(5)泥沙在线监测。将浊度传感器在线监测的浊度信息,通过率定的浊度与含沙量关系转换为测点含沙量,并保存在数据库中。

(6)数据查询。系统可查询原始信息及成果信息,以数据图表的方式显示,并可查询结果导出。

6 应用情况

实时泥沙在线监测系统可在天然河道上进行长期实时的悬移质含沙量在线监测。实际应用过程中,应加强人工监测数据与实时在线监测成果比对分析,修正实时在线监测浊度与含沙量的关系,提高测量精度。

以南京水文实验站为例,选取2个在线测流浮标船并布置2套光电测沙仪,起点距1 115 m和1 595 m处分别为1号和2号在线测沙仪,具体位置见图5。考虑到泥沙脉动及横式采样器取样具有瞬时性,在线测沙仪采用6组数据滑动平均,横式采样器每点采样3次计算平均值。断面含沙量采用7线21点选点法取水。2023年3—8月同步比测了18组数据,分析计算出浮标船上2个在线测沙仪与断面平均含沙量关系,随机不确定度为16.4%,系统误差0.4%,满足《河流悬移质泥沙测验规范》中一类精度站要求。

7 结 语

本文详细阐述了光电测沙原理、泥沙在线监测系统及应用,该系统适用于低含沙量、较稳定的泥沙粒径的水体。通过分析南京水文实验站人工与在线测沙数据,证明该系统可满足精度需求,但因天然水体泥沙脉动以及横式采样器取样具有瞬时性,仍需加强比测并长期验证浊度与含沙量的关系,进一步提升悬移质含沙量在线测验精度。该系统的使用可大大提高河流悬移质含沙量监测密度,降低人工测沙的工作强度,并自动捕获沙峰过程,为河流泥沙长期实时监测提供了有效的手段。

参考文献:

- [1] 赵昕,贾志伟,吴琼,等. 水位流量关系单值化方法的研究历程和展望[J]. 人民长江,2024,55(3):89-96.
- [2] 周绍阳,谢雅蕾,蒋建平. 基于代表性垂线流速的在线

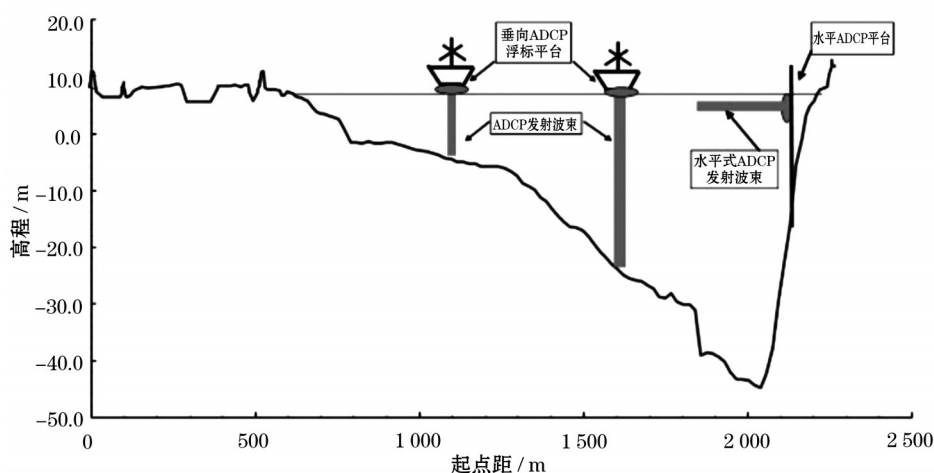


图5 在线测沙、测流位置

- [3] 林祚顶,朱金峰,王琨. 推动长江经济带高质量发展的水文实践与思考[J]. 水利发展研究,2024,24(2):16-21.
- [4] 程海云. 推进新时代长江水文高质量发展体系建设构想[J]. 人民长江,2023,54(1):88-97.
- [5] 吴志勇,徐梁,唐运忆,等. 水文站流量在线监测方法研究进展[J]. 水资源保护,2020,36(4):1-7.
- [6] 王步杰. TES系统在犁市站悬移质泥沙测验中的应用初探[J]. 长江技术经济,2023,7(3):92-97.
- [7] 程海云,熊明,冯宝飞,等. 长江现代水文水资源监测预报预警体系[J]. 水利水电快报,2023,44(7):6-7.
- [8] 李德贵,罗珺,陈莉红,等. 河流含沙量在线测验技术对比研究[J]. 人民黄河,2014,36(10):16-19.
- [9] 许全喜,袁晶,董炳江. 长江泥沙变化及河床冲淤研究

- [J]. 长江技术经济,2019,3(3):58-68.
- [10] 王娅娜,蔡辉,马洪蛟,等. 红外实时测沙仪研制及其应用[J]. 海洋工程,2007(3):132-135.
- [11] 张永平,牛长喜,李德贵,等. 强场极测沙仪原型机试验研究[J]. 人民黄河,2018,40(12):9-13.
- [12] 郑庆涛,曾淳灏,常博,等. 基于红外光技术的悬移质泥沙在线监测系统及应用[J]. 人民珠江,2017,38(11):94-98.
- [13] 赵昕,田岳明,徐汉光,等. 激光类测沙仪在长江泥沙测验中的应用[J]. 水文,2011,31(增刊1):117-120.
- [14] 张胜,王永军,王瑞军,等. 基于4G-RTU的水体 γ 放射性在线监测系统研制[J]. 核技术,2024,47(1):80-90.
- [15] 史东华,李然. 基于LoRa技术的水文遥测数据传输方式研究[J]. 水利水电快报,2021,42(2):68-72.