

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20180458

# 抽水式含沙量在线测量系统的方案设计

邢杰炜<sup>1</sup>, 水江涛<sup>1</sup>, 李艳波<sup>2</sup>

(1.河南省洛阳水文水资源勘测局,河南 洛阳 471000;2.洛阳拖拉机研究所有限公司,河南 洛阳 471000)

**摘要:**现有的悬移质含沙量测验采用人工外业采样和实验室分析的方法,工作周期长,效率低,不能实时测量。目前研制的测沙仪器均设置在河流中,采集的信号会受到水温、流速和水深、压力等因素干扰,造成测量系统运行失稳。其中泥沙测验规范推荐的测沙仪器为同位素密度计,但其有一定的放射性,对环境和人体有潜在影响。设计采用含沙量比重置换法测量原理,将仪器模块安装到岸上以减少干扰仪器因素,通过潜水泵定时抽取水样到差压式在线密度计实时测量含沙量。经过对密度计进行科学合理的安装,使其工作环境接近于实验室静压状态,保障其测验精度,为含沙量测验提供一种新的解决方案。

**关键词:**抽水式;含沙量;在线测量;系统设计

**中图分类号:** P335

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2020)03-0046-05

悬移质含沙量是指单位体积内浑水中所含泥沙的质量,其数值能一定程度反映某一区域自然资源破坏情况和水土流失现状,对河流多年含沙量变化特征的研究有重大意义。现阶段含沙量测量需要外业采样和实验室分析两个主要过程<sup>[1]</sup>。外业采样方式多为多点取样和累计混合两种方式。实验室分析的常用方法为过滤法和比重瓶置换法<sup>[2]</sup>。过滤法需要水样沉淀 24h 以上,再过滤、烘干、称重、计算,最短时间需要 2d 以上,比较费时费力。比重瓶置换法采用测量水样密度的方法,直接计算出含沙量,实验分析时间较短。但由于水样密度测量精度受环境温度影响较大,适合含沙量高的水样测定。由此可知,比重瓶置换法是比较简便快捷的。

水文监测中的水位流量都已实现在线测量,只有含沙量不能实时测量。含沙量人工采样是比较危险的工作,需要吊箱或船来取样,不能满足水文现代化的要求。此外,现有的含沙量检测仪器、传感器直接插入河流水体,采集的信号会受到水温、流速和水深压力等因素影响和干扰,造成测量系统运行失稳,未能进入实际应用<sup>[3-5]</sup>。因此,急需研究一种能实时自动测量河流或水库中悬移质含沙量,并能减少外部环境对水样测定

精度影响的系统,提升工作效率并节约人力成本。

## 1 基本原理

设计采用含沙量比重置换法测量原理,将在线监测传感器和控制模块直接放置到河道或水库的岸边的方法,减少自然水体中各种影响因素对仪器设备的直接干扰,以此来提高测验精度,实现在线测量含沙量。

含沙量在线测量方式设计:方式一为静态测量,即采用人工采样的方式,将在线密度计放置在实验室,将泥沙水样直接人工倒入仪器,进行含沙量数据测定、储存。方式二为动态远程测量,即采用污泥潜水泵不间断或定时抽取河流或水库的水样到在线密度计模块中,通过液体在线密度计测量水样密度并计算出含沙量,将数据存储到数据库,并通过 GPRS 短信或卫星通讯模块实时传输到中心站,以实现在线监测悬移质含沙量(见图 1)<sup>[6]</sup>。

在线密度计是用于连续在线测量静止或流动液体密度的精密仪器,其产品已经在化工和食品领域有着成熟的运用<sup>[7]</sup>。目前常用的在线密度计有音频式、同位素铯 137(射源式)和差压式等<sup>[8]</sup>。泥沙测验规范推荐的测沙仪器为同位素密度计,但同位素有一定的放射

收稿日期:2019-01-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0404504)

作者简介:邢杰炜(1974-),男,山西稷山人,高级工程师,主要从事水文测验工作。E-mail:845102689@qq.com

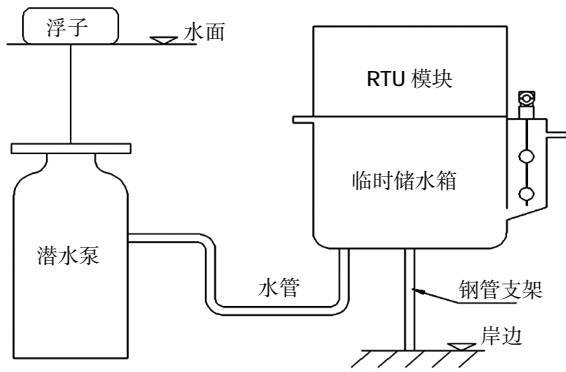


图1 抽水式含沙量在线测量仪器设施原理

Fig.1 The online measuring instrument for pumping sediment content

性,对环境和人体有潜在影响,未能推广应用。根据孙长春试验数据<sup>[9]</sup>,可知差压式密度计测量值与人工取样测量值平均相对误差在0.44%,精度高于同位素密度计(见表1)。因此选用差压式在线密度计作为核心部件,监测洪水过程泥沙密度连续变化的过程。

表1 石灰石乳浆液密度计实验数据统计<sup>[9]</sup>

Table1 The experimental statistics for limestone emulsion densitometer<sup>[9]</sup>

实验室化验值 /kg·m <sup>-3</sup>	射源型密度计 相对误差/%	差压式密度计 相对误差/%
1175	0.68	0.34
1177	0.59	0.51
1170	0.51	0.09
1179	0.76	0.93
1179	1.02	0.51
1172	0.34	0.26
1174	1.70	0.26
1177	1.53	0.51
1186	1.01	0.67
1193	0.59	0.34
1188	0.84	0.51
1182	0.51	0.59
1195	0.84	0.50
1191	0.17	0.34
1197	0.42	0.17
1187	0.76	0.51
平均相对误差/%	0.77	0.44

差压式在线密度计的工作原理是:根据泥沙水样在一定垂直距离上的压力差值计算出其密度值,即 $\rho = \frac{P}{gh}$ 。同时,在两个压力传感器中间安装有温度传感器,可以自动进行温度测量和密度补偿,减少温度对液体密度测量的影响。采用二线制电路转换器,根据水



图2 差压式在线密度计

Fig.2 Online densitometer

样密度的大小产生相应的电路信号,直接将测量数据转换成数字通信,便于测量数据远程传输与监测。它是一种测量精度高、运行稳定可靠的液体密度在线测量设备(见图2)<sup>[10]</sup>。

选用0.2等级准确度的差压式在线密度计,其测量指标:密度量程0~2000kg/m<sup>3</sup>,其最大量程远大于黄河最大实测含沙量920kg/m<sup>3</sup>(1977年)的测量量需求<sup>[11]</sup>。差压式密度计的最小分辨率0.5kg/m<sup>3</sup>,可以满足含沙量>0.5kg/m<sup>3</sup>的测量精度要求(见表2)。温度量程0~100℃,精度:0.2℃。适应环境温度:-10~60℃。

表2 0.2等级差压式在线密度计计量检定

Table2 The 0.2 level measuring verification of on-line densitometer

标定值	上行程/g·cm <sup>-3</sup>		标定值	下行程/g·cm <sup>-3</sup>		平均相对误差±%
	电压/mA	检测值		电压/mA	检测值	
0.0	4.002	0.0003	0.0	4.001	0.0001	0.20
0.5	7.995	0.4994	0.5	7.990	0.4987	0.10
1.0	11.992	0.9988	1.0	11.994	0.9992	0.10
1.5	15.994	1.4993	1.5	16.002	1.5002	0.07
2.0	20.000	2.0000	2.0	20.000	0	0.00

当河流水样实际含沙量低于0.5kg/m<sup>3</sup>时和仪器安装使用初期,采用人工拟合的方法,将人工测量值C<sub>人</sub>与仪器测量值C<sub>仪</sub>建立函数关系,再由控制软件根据C<sub>人</sub>-C<sub>仪</sub>函数关系进行插补推定含沙量数据,以此来提高低数值含沙量测验精度。由此可见,差压式密度计的各项仪器测量参数基本满足含沙量测验精度及水文仪器设备野外测验环境的要求。

## 2 设计方案

### 2.1 静态测量方案

核心部件为差压式在线密度计,其他部件有水平可调节三角底座、带刻度玻璃量筒连通器、密度计、小电子显示屏、存储器、排水阀和电源。

将泥沙水样从上部倒入量杯,水样通过连通器淹没密度计的两个压力中继传感器后,密度计开始工作。测量的时段含沙量数据自动存储到存储模块并显示到显示屏上。每次测定含沙量后,打开下部水阀排

放已经测定过的水样,并对密度计传感器用净水冲洗,准备下次测量。

## 2.2 动态测量方案

### 2.2.1 抽水模块

抽水设备采用自动控制开关控制微型污泥潜水泵,抽取水样后通过软管传送到在线密度测量仪模块。为了保障测验精度,可在水管外部加装保温棉,尽量缩短水管长度。污泥潜水泵用浮子悬吊在水面以下,并用钢缆绳固定在岸边。其设置位置应根据水文测站特性,按照“固定—线水面—点法”含沙量测验方法的要求进行确定和布置。抽取水样测次根据《河流悬移质泥沙测验规范》单样含沙量测验要求<sup>[2]</sup>,每次洪水测次不少于8次。可将污泥潜水泵控制开关固定设置为20min抽水一次。或通过远程视频监控,根据洪水涨落情况随时加密单样含沙量测次。

测量稳定状态出现时间及密度计测量起始时抽水时间计算:当潜水泵抽取水样到达临时储水箱时,储水箱出现紊流状态,直至在临时储水箱和连通器水箱都出现稳定溢流时,可初步判定仪器开始进入测量稳定状态。临时储水箱和连通器设计为圆柱形,水箱直径0.6m,连通器直径0.2m,高度1m,则临时总储水体积为0.41m<sup>3</sup>。以两种污水泵参数额定流量7m<sup>3</sup>/h、扬程15m、功率1.1kw和额定流量15m<sup>3</sup>/h、扬程30m、功率3kw为例,分别计算测量稳定状态出现时间为(储水箱体积+连通器体积)/额定抽水流量×60min,即3.5min和1.6min。

为最大限度地减少上次泥沙或清水冲洗残留水样对本次泥沙测验水样的影响,将潜水泵抽水时间延长为测量稳定时间的2倍即7min和3.2min以后,密度计再开始测量泥沙水样。

### 2.2.2 在线密度测量仪安装方式

首先由于受差压式在线密度计工作原理的限制,应将其安装在流速低、压力平稳、气泡少的位置,通常应将水样流速控制在0.4m/s以下。而微型污泥潜水泵抽水时水流速度一般为1.2m/s~1.5m/s。为此要在密度计安装位置处设置一个临时储水箱,用连通管将密度

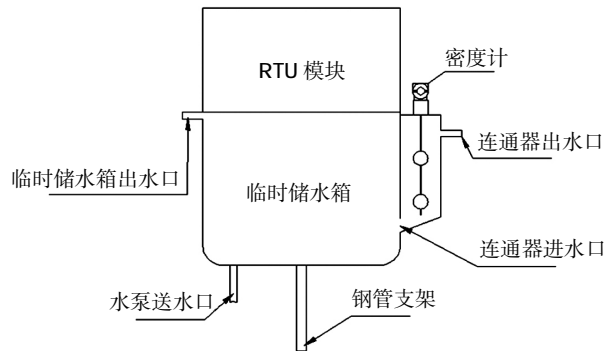


图3 差压式在线密度计安装示意图

Fig.3 Installation of on-line densimeter

计安装在临时储水箱的旁侧。将连通器进水管直径设为≤潜水泵出水口管径1/2,则可以让水样流速<0.4m/s,使设备工作状态接近于实验室静压状态,来提高测验精度。为使储水箱和连通管之间水流干扰较小,在连通管上部独立设置其出水口(见图3)<sup>[12]</sup>。

其次差压式密度计主要靠两个传感器在固定垂直距离上的压力差计算出密度值。所以必须将密度计安装竖直,保证其与地面垂直度误差角度不大于5°。在安装时,要利用其上部的水平仪,把气泡调到中心,保证传感器连接杆与地面垂直,降低测量偏差。

最后密度计在测验水样时,要让泥沙水样从下部传感器之下进入,在上部传感器的上面排出。水样进口距离下部传感器至少30cm的缓冲距离,尽量减少水流对传感器的冲击力度。在仪器箱附近加装避雷针及接地装置,减少雷电对仪器设备的干扰和破坏<sup>[13]</sup>。为了减少外部环境对仪器测验精度的影响,必要时在设备箱外部加装一层保温棉。

综上所述,可以确定抽水式含沙量在线测量系统设计的各项参数(见表3)。将含沙量在线密度测量模块固定安装在河流的岸边,用钢管支架将其抬升到历史最高洪水位以上位置。在密度计与临时储水箱的外部安装设备箱形成双层壳体,在夹层中间装上保温棉,减少外部环境温度对在线密度计测量的影响。在具备条件时,应给予仪器模块设立专用设备房,以保障测量环境恒温恒湿。

表3 抽水式含沙量在线测量系统设计参数

Table3 The design parameters of online pumping measurement system for sediment content

河流适用测验方法	量程 / kg·m <sup>-3</sup>	测量精度	测量稳定状态出现时间	适用水深	适用环境
固定—线水面—点法	0.5-2000	2‰	1.6~3.5min	>0.5m <30m	高含沙河流 低沙河流洪水期 水库调水调沙期

### 2.2.3 控制开关及数据存储、传输模块

本模块主要由潜水泵电源自动控制开关、数据存储模块、GPRS 通信模块、远程控制、视频监控、电源适配器等组成。将其固定并连接在泥浆在线密度测量计设备箱的上部<sup>[14]</sup>。

潜水泵电源自动控制开关采用可远程控制微电脑控制开关,设置为定时开关,同时根据洪水涨落情况,需要加密测次时,可以远程控制开关启动和关闭。所有在线监测数据存储到存储器,同时将数据传送到中心站。

选用应用成熟的水文水利遥测终端机,其 RTU 模块是一款低功耗的 GPRS 通信和数据存储模块,采集周期、通信周期可以根据悬移质泥沙测验要求自行配置,适用于各种分布式的水文、水利数据采集系统,可以实现野外环境的数据采集和远程组网、远程测控的目的<sup>[15]</sup>。

### 2.2.4 使用方式

将污水潜水泵电源自动控制开关设置为 20min 启动一次,启动 15min 后关闭。污水泵抽取泥沙水样,从下部进入到临时储水箱,临时储水箱水满后自动溢出到河里。当水样淹没密度计的两个压力中继传感器后,且当抽水时间达到测量稳定状态出现时间的 2 倍后,密度计开始工作,并自动补偿温度变化对水样密度的影响。存储数据时,选用泥沙测验规范规定的水样测量系统误差 2~4% 以内的连续数据序列的平均值作为单次测验数据,保障测验数据不受临时储水箱上次测验含沙量残留水样的影响。含沙量数据自动存储到存储模块,将时段加权平均后的数据发送到中心站。当潜水泵电源关闭后,临时储水箱的泥沙水样在重力作用下,由进水口直接排到河里。此时即可以进入下次含沙量测验准备状态。洪水过后要对密度计传感器用净水冲洗,保障传感器灵敏度和测量精度。

## 3 结论

此方案设计的悬移质含沙量在线测量装置,将密度压力传感器、数据采集、计算机网络、数据库和信息分析等现代技术与水文泥沙测验需求紧密结合,组合成一套高效可靠、自动化程度高的水文泥沙测报设备,可有效地提高含沙量信息采集、传输、处理、分析的时效性及可靠性。今后,要加强仪器测验与人工测验的数据对比,重点分析研究抽水设备对河流悬移质泥沙扰动性和环境温度及其他对仪器测量精度影响因素,不断改进其不足之处。同时研究在密度计连通管出水口

增加在线粒径计或颗分仪,进行泥沙颗粒分析,使之成为完整的泥沙分析系统。

### 参考文献:

- [1] 邢杰炜. 一种在线悬移质泥沙测量装置[P]. 中国专利,201820975787.7, 2018. (XING Jiewei. An Online Suspension Sediment Measuring Device [P]. China Patent: 201820975787.7, 2018. (in Chinese))
- [2] GB 50159-92, 河流悬移质泥沙测验规范[S]. (GB 50159-92, River Suspended Sediment Test Specification [S]. (in Chinese))
- [3] 刘明堂,张成才,田壮壮,等. 基于 RBF 神经网络的黄河含沙量测量数据融合研究[J]. 水利水电技术, 2015,46(1):126-130. (LIU Mingtang, ZHANG Chengcai, TIAN Zhuangzhuang, et al. RBF neural networks based-study on data fusion for measurement of sediment concentration of Yellow River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015,46(1):126-130. (in Chinese))
- [4] 赵洪旭,陈迪. 差压密度计在测井中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011,13(1):110-112. (ZHAO Hongxu, CHEN Di. Application of gradiomanometer in well logging [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011,13(1):110-112. (in Chinese))
- [5] 吴新生,廖小永,黄卫东. 新型在线泥沙粒度与含沙量测控系统设计[J]. 人民长江, 2011,42(23):51-53. (WU Xinsheng, LIAO Xiaoyong, HUANG Weidong. Design of a new on-line automatic monitoring and controlling system for particle size and sediment concentration [J]. Yangtze River, 2011,42(23):51-53. (in Chinese))
- [6] 张建云,唐镇松,姚永熙,等. 水文自动测报系统应用技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005. (ZHANG Jianyun, TANG Zhensong, YAO Yongxi, et al. Application Technology of Hydrological Automatic Measurement System [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 付立彬,刘明堂,刘雪梅. 基于 PLC 的含沙量多量程在线监测系统[J]. 人民黄河, 2011,33(9):28-30. (FU Libin, LIU Mingtang, LIU Xuemei. Online system for sediment detection based on PLC [J]. Yellow River, 2011,33(9):28-30. (in Chinese))
- [8] JJG 882-2004, 压力变送器计量检定规程[S]. (JJG 882-2004, Pressure Transmitter[S]. (in Chinese))
- [9] 孙长春. 压力密度计的设计和应用[J]. 热力发电, 2009,38(6):95-98. (SUN Changchun. Design and application of pressure densitometer [J]. Thermal Power Generation, 2009,38(6):95-98. (in Chinese))
- [10] 胡博,田增国,金广锋,等. 超声波测沙仪的设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2005,(4):43-45. (HU Bo, TIAN Zengguo, JIN Guangfeng, et al. Design of ultrasonic instrument for prospecting sands [J]. Automation and Instrumentation, 2005,(4):43-45. (in Chinese))
- [11] 杜振宝,路迈西,涂照妹,等. 浅谈选煤用密度计[J]. 矿山机械, 2010,38(19):35-37. (DU Zhenbao, LU Maixi, TU Zhaomei, et al. Comment on the density meter in coal preparation [J]. Mining & Processing Equipment, 2010,38(19):35-37. (in Chinese))
- [12] 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. (LI Degui, LUO Jun, CHEN Li-

- hong, et al. A comparative study of online monitoring technology on river sediment content [J]. *Yellow River*, 2014,36(10):16-19. (in Chinese)
- [13] 刘玉洁. 悬移质泥沙自动监测仪设计[J]. *电子测试*, 2017,24(7):29-30. (LIU Yujie. Design of suspended sediment automatic monitor [J]. *Electronic Test*, 2017,24(7):29-30. (in Chinese))
- [14] 王海申. 在线实时含沙量观测系统构建及其应用 [J]. *中国水运*, 2018,18(1):91-95. (WANG Haishen. Construction and application of online real-time sediment content observation system [J]. *China Water Transport*, 2018,18(1):91-95. (in Chinese))
- [15] 杨惠丽, 罗惠先, 于爽. 利用 ADCP 回波强度估算河流悬移质含沙量的应用研究[J]. *水利水电技术*, 2017,48(1):106-110. (YANG Huili, LUO Huixian, YU Shuang. Study on application of echo amplitude of ADCP to estimation on sediment concentration of river suspended load [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2017,48(1):106-110. (in Chinese))

## Scheme Design for Pumped On-line Measurement System of Silt Content

XING Jiewei<sup>1</sup>, SHUI Jiangtao<sup>1</sup>, LI Yanbo<sup>2</sup>

(1. Luoyang Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Luoyang 471000, China;  
2. Luoyang Tractor Research Institute Co., Ltd., Luoyang 471000, China)

**Abstract:** The existing methods of sediment content test adopt the methods of artificial sampling and laboratory analysis. The long working period makes it cannot be measured in real time. At present, all of the sand measuring instruments are set up in rivers. The collected signal is interfered by water temperature, velocity, water depth, pressure and other factors, as a result, the measurement system operation is unstable. Among them, isotope densitometer are proposed by the specification of sediment test. But it has radioactivity and potential impacts on the environment and the human body. This paper adopted the principle of sediment specific gravity displacement method, installed the instrument module to the shore to reduce the disturbance instrument factor, and took the water sample to the differential pressure on-line densitometer to measure the sediment content in real time. Through the scientific and reasonable installation of the densitometer, the working environment of the densitometer is close to the static state of the laboratory, the accuracy of the test is guaranteed, and a new solution is provided for the sediment content test of the suspended mass.

**Key words:** pumping type; sediment content; online measurement; system design

(上接第 23 页)

## Advances on Flood Forecasting of Small-Medium Rivers

LI Hongxia<sup>1,2</sup>, WANG Ruimin<sup>2</sup>, HUANG Qi<sup>2</sup>, XIANG Junyan<sup>2</sup>, QIN Guanghua<sup>1,2</sup>

(1.State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;  
2.College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The flood forecasting of small-medium rivers is one of the most important scientific issues in the international hydrological sciences. The small-medium rivers feature wide distribution, strong spatial heterogeneity of precipitation and underlying surface, short time of runoff generation and routing and ungauged hydrological data, which lead to the low forecasting precision, short forecasting lead time and high forecasting difficulty. This paper presented the progress and issues in flood forecasting of small-medium rivers including the flood mechanism, flood forecasting models, parameters estimation for ungauged catchments, and precipitation forecasting. Efficient fusion of multi-source precipitation, precise flood simulation and high-precision precipitation forecasting are suggested for further study.

**Key words:** small-medium rivers; flood; forecasting