

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2023.02.009

浮子水位、雷达水位双备份观测系统设计

李冠宇, 邱文博, 胡轶群, 王亚丁

(国家海洋技术中心, 天津 300111)

摘 要: 珠江口水文信息系统的水文观测站都是无人站, 采用的均是浮子式水位计, 且数量逐年增多, 发生故障后, 修复时间长, 造成数据缺测。为了解决这个问题, 本文提出使用浮子水位、雷达水位双备份观测方式, 数据中心可以通过人工干预或系统自动智能诊断方式分时间段分别从浮子水位、雷达水位中挑选数据作为该站点的实际连续观测数据。本文阐述浮子水位和雷达水位双备份观测的实时数据传输系统组成及工作原理, 并通过对浮子水位、雷达水位观测数据的对比分析, 验证数据中心通过这种分时间段组合挑选的数据具有连续性、有效性, 可作为观测站的实际观测数据, 浮子水位、雷达水位双备份观测系统可以应用在珠江口水文信息系统或类似观测领域。

关键词: 浮子水位; 雷达水位; 对比分析; 分时间断组合挑选; 双备份观测

中图分类号: TP29; TP39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2023) 02-0069-08

为了实现对珠江口主航道潮位数据的信息化管理, 保障船舶航行安全, 为海洋经济建设、防灾减灾、应急管理和国防安全等提供服务保障和数据支持, 广州海事局于 2002 年提出了建设珠江口水文信息系统的构想, 实时监控珠江口的潮位数据^[1]。2004 年, 珠江口水文信息系统开始建设, 随着观测站点的逐年增加, 目前观测站点数量已扩展至 30 余个。这些观测站点都是无人站, 很多位于海岛边缘, 有的甚至建在孤岛之上, 交通、通信十分不便。

2020 年以前, 珠江口水文信息系统的潮位站潮位观测设备全部采用浮子式水位计, 浮子式水位计是机械式结构, 受杂物干扰容易卡住浮子, 从而影响水位计的正常观测。发生故障后需要人员到现场维修, 修复故障一般需要 1 天甚至几天时间, 造成了数据的严重缺失。

目前, 欧美发达国家的潮位观测多采用空气声

学潮位仪 (多用作主机), 或是采用压力式潮位仪 (包括装设在水下的压力传感器和气泡式潮位计, 前者多用作副机, 后者在冰冻地区当主机用), 或是采用绝对轴角编码器的浮子式潮位仪。日本潮位观测多采用浮子式潮位仪, 或是声学潮位仪、雷达潮位仪。目前我国自然资源部辖属的潮位自动观测站均采用浮子水位计进行潮位观测。海事部门、港务部门和涉海大型企业辖属的潮位观测采用浮子水位计, 或是声学水位计、压力水位计。国内外的潮位观测, 一个观测点一般采用一种观测设备进行观测, 当单一观测设备发生故障后, 造成该观测站潮位数据的缺失。

针对珠江口水文信息系统遇到的实际问题和国内外潮位观测现状, 本文设计了浮子水位、雷达水位双备份观测系统, 提出采用浮子水位和雷达水位双备份冗余观测方式, 数据中心通过人工干预或系统自动智能诊断的方式选取浮子水位或雷达水位作为

收稿日期: 2022-06-22

基金项目: 自然资源部业务化项目 (92000YJ10)

作者简介: 李冠宇 (1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋观测技术研究。E-mail: 37259631@qq.com

通讯作者: 邱文博 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋观测技术研究。E-mail: qiuwenbo86@163.com

该潮位站的实际潮位数据,实际潮位数据可以全部从浮子水位选取,也可以全部从雷达水位选取,还可以分时间段分别由浮子水位、雷达水位中组合选取。系统自动智能诊断和分时间段组合选取的方式保证了浮子水位和雷达水位在单一设备发生故障时,该潮位站潮位数据的完整性。通过对观测数据的对比分析,验证了分时间段组合挑选的数据具有连续

性、有效性,可作为观测站的实际观测数据使用。

1 双备份观测的实时数据传输系统组成

珠江口浮子水位和雷达水位双备份观测的实时数据传输系统由观测仪器、数据中心、传输网络三部分组成,系统组成如图1所示^[2-4]。

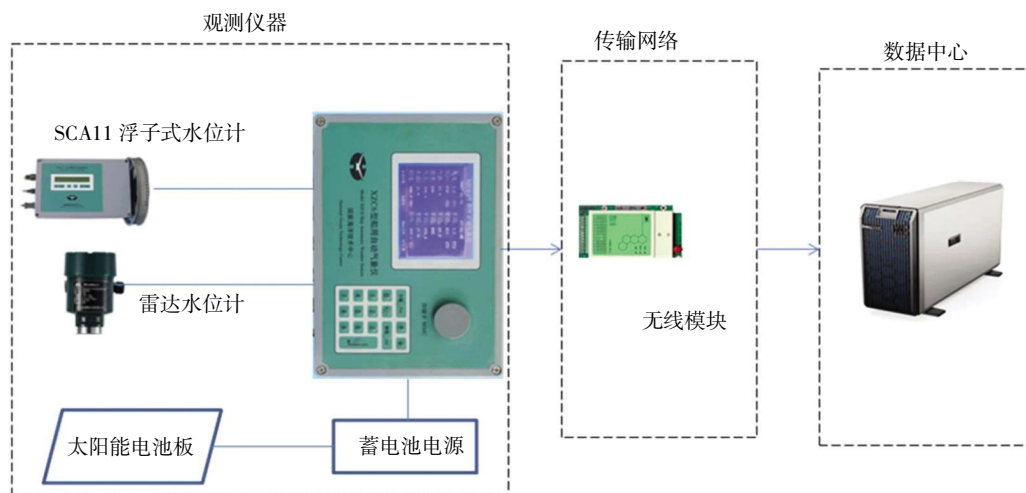


图1 珠江口水文信息系统组成

1.1 观测仪器

观测仪器由浮子水位、雷达水位、数据采集器、供电电源等组成,数据采集器每分钟主动传输一次观测数据给数据中心。

1.1.1 浮子水位计

浮子水位计由浮子、重锤、绳轮、传动变速机构、轴角编码器、采集控制板等组成,可安装在海岸、海岛、海上平台、防波堤、码头、水库、河流等地。按照《海洋观测规范第2部分:海滨观测》(GB/T 14914.2—2019)规定,自动连续监测水位数据,测量精度为 ± 1 cm,结构如图2所示。

(1) 浮子和重锤

浮子在验潮井内随水位变化而上下浮动,重锤用以平衡浮子,两者分别悬挂在浮子绳轮和平衡绳轮上。

(2) 绳轮

包括浮子绳轮和平衡绳轮两个部分,两者直径比为4:1。绳轮通过传动、变速机构的主轴带动轴角编码器转动,编码器输出与水位线性相关的信号。

(3) 传动、变速机构

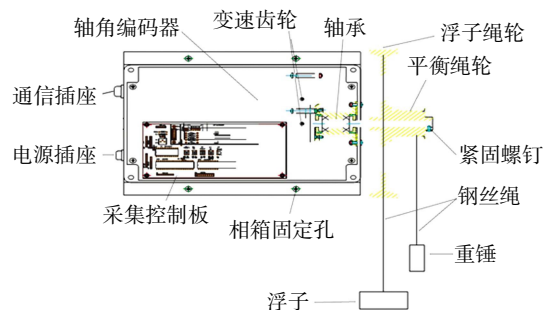


图2 浮子水位计结构

传动变速机构由主轴和两个齿轮组成。大齿轮固定主轴上,小齿轮固定在轴角编码器的转轴上,变速比为3:1。

(4) 轴角编码器

轴角编码器对转角位移量进行编码,其输出信号接入采集器控制板。

(5) 采集控制板

采集控制板采集并处理轴角编码器的编码输出,并通过串口向数据采集器输出数据。

1.1.2 雷达水位计

各种雷达水位计的具体用途和结构不尽相同,

但基本形式是一致的,包括微处理器、电子部件、天线系统等,其安装示意图如图3所示。

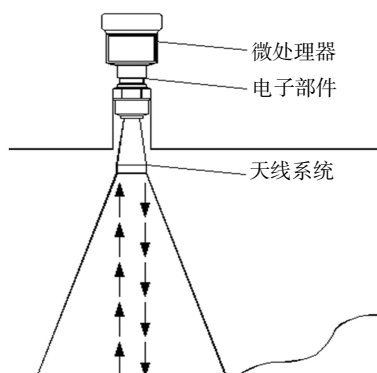


图3 雷达水位计安装示意图

雷达水位计主要测量原理是从雷达水位传感天线发射雷达脉冲,天线接收从水面反射回来的脉冲,并记录时间 T ,由于电磁波的传播速度 C 是个常数,从而得出到水面的距离 D 。利用这种雷达技术,加上节能、非接触式的测量技术,使得雷达水位计在测量时不受温度梯度、水中污染物及沉淀物的影响,因而可以获取精确的测量结果^[5-6],本文采用的雷达水位计量程小于15 m时,测量精度为 ± 5 mm;量程大于15 m时,测量精度为 $5\text{ mm} \pm 0.05\%$ 测量值。

1.1.3 数据采集器

数据采集器的原理框图如图4所示。数据采集器由接口单元、中央处理单元、数据存储单元、通讯单元、键盘显示单元等组成。数据采集器对数据的采集、处理、存储满足海洋水文仪器相关规定的要求^[7-8],接口单元可以灵活地接入浮子水位、雷达水位等众多水文气象传感器。中央处理单元完成海洋水文仪器相关规范所规定的取样、滤波、计算、校准等,同时将数据存储到SD(Secure Digital)数据存储卡,并通过传输网络把数据传输给数据中心。

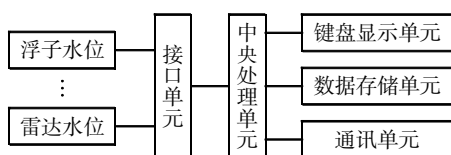


图4 数据采集器的原理框图

1.1.4 供电电源

供电电源采用太阳能供电,太阳能供电电源将

太阳能转换为电能,由太阳能电池组件、太阳能控制器、蓄电池(组)组成。为了保证观测设备连续、稳定地工作,特别遇到连续的阴雨天气,在太阳能不能充电的情况下,由两块100 Ah蓄电池供电,蓄电池组容量能够保证对采集器不少于72 h的供电时间。

1.2 数据中心

观测系统设备满足《海洋水文观测仪器通用技术条件》(GB/T 13972—1992)和《海洋站自动化观测通用技术要求》(HY/T 059—2002)要求,数据中心软件是按照《海洋观测规范第2部分:海滨观测》(GB/T 14914.2—2019)的要求对数据进行处理和存储的,生成的月报文件满足《海洋观测规范第2部分:海滨观测》(GB/T 14914.2—2019)的要求,水位按规范要求测量精度为 ± 1 cm。

数据中心接收观测仪器传来的数据,对数据进行分析、质量检测^[9-10]、数据选取,对因通讯原因造成的缺测数据,系统自动补录或人工操作数据录入界面补录,对浮子水位、雷达水位、实际潮位分别存储和管理,用实际潮位数据生成用户所需的实时报文和月报表。实际潮位数据可以全部从浮子水位选取,也可以全部从雷达水位选取,还可以分时间段分别由浮子水位、雷达水位中组合选取。实际潮位数据来源可以通过人工干预或系统自动智能诊断方式设置。分时间段组合选取的方式保证了浮子水位和雷达水位在单一发生故障时,该水位站潮位数据的完整性。

1.2.1 实际潮位选取流程

对于每个观测站建立一个站点信息表,站点信息表包含站点基本信息、通讯状态和实际潮位数据来源。多个站组成站点信息链表。实际潮位数据来源可以在站点设置里设置默认数据来源,在软件启动时或系统设置更改后,创建站点信息链表。

通过站点信息链表实现对每个站点的管理和实际潮位选取。软件在接收到浮子水位、雷达水位数据后,先数据解析并分别存储,然后判断站点信息表中的实际潮位数据来源,如果实际潮位数据来源是浮子水位,则浮子水位数据存储到实际潮位数据库,否则雷达水位数据存储到实际潮位数据库。实际潮位选取流程见图5。

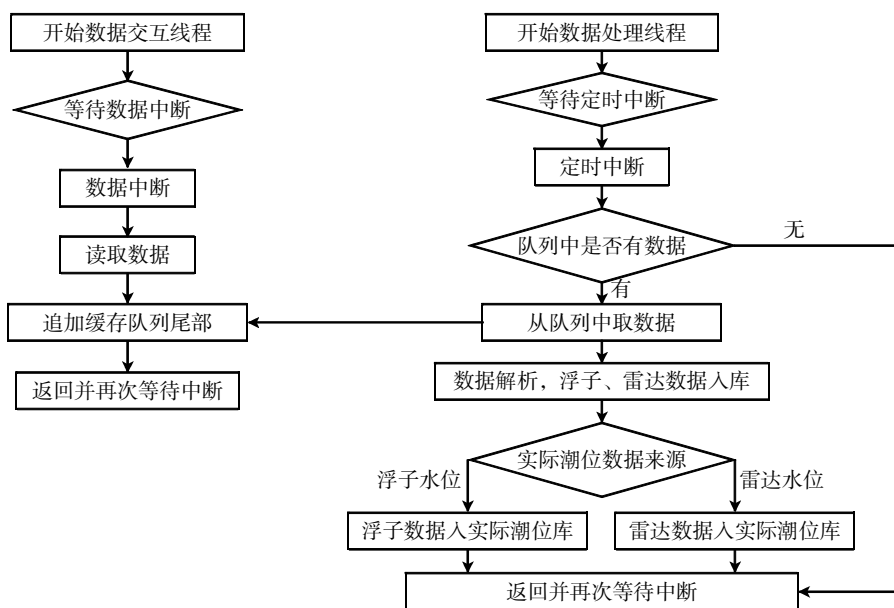


图5 实际潮位选取流程

1.2.2 系统自动智能诊断更新实际潮位数据来源流程

定时对每个站点的浮子水位、雷达水位数据质量检测，检测方法包括范围检验和连续性检验。其中范围检验包括极值范围检验、仪器量程范围检验、莱因达准则和格拉布斯准则；连续性检验包括梯度检验、剑锋检验、恒定检验。通过对浮子水位、雷达水位的范围检验和连续性检验，判断出观测浮子水位、雷达水位是否异常。如果该站的浮子

水位异常，系统把该站的站点信息表的实际潮位数据来源设定为雷达水位，如果该站的雷达水位异常，系统把该站的站点信息表的实际潮位数据来源设定为浮子水位。系统自动智能诊断更新实际潮位数据来源流程如图6所示。

1.2.3 浮子水位、雷达水位缺测数据检验

数据中心软件在发生数据通信中断的情况时，尤其是无线通信由于天气、通信系统维护升级或受

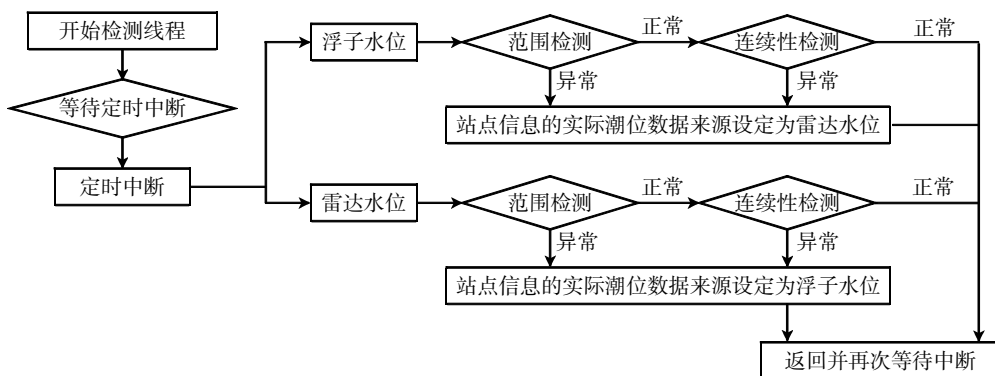


图6 系统自动智能诊断更新实际潮位数据来源流程

到干扰等，数据可能发生缺收的情况。数据中心软件除提供人工数据补录的功能外，还提供软件自动补录功能。

软件通过数据标记、自动轮巡和数据流控制等技术，实现对浮子水位、雷达水位的原始数据、整点数据和极值数据软件后台自动补录。在通信系统

正常后，数据中心软件不需要人工干预，可实现无缝衔接的数据自动调取。

1.2.4 系统校时

由于数据采集器是电子时钟，在长期工作中，会出现时间漂移的现象。因此，数据中心软件提供了值班计算机远程校时的功能，即用计算机的时间

为远程的数据采集器进行校时。此功能分为自动校时和人工校时两种,由用户自行选择。

1.3 传输网络

传输网络是观测系统和数据中心传输数据网络,本系统采用无线数据传输方式^[11-13],通过移动通信将观测数据传输数据中心,支持2G、3G、4G、5G全网通电信网络。

2 观测仪器使用及数据资料情况

2.1 观测设备使用

2020年3月,观测仪器安装在泥洲头海洋站的验潮井中,在观测仪器正式使用前和每月的设备定时巡检时,分别对浮子水位和雷达水位校准,使雷达水位和浮子水位实时观测值与井外水尺相一致,误差不超过 ± 1 cm。观测仪器现场安装如图7所示,井外水尺如图8所示。



图7 观测仪器现场安装图



图8 井外水尺

2.2 数据资料情况

浮子水位和雷达水位在泥洲头海洋站安装以来,实现自动连续采集水位数据,每分钟将采集的实测数据传输到数据中心,由数据中心将数据分别存储。双备份观测的实时数据传输系统有数据补录功能,即使由于数据传输问题造成数据缺失,也可以在系统通讯正常的情况下,把缺测数据补录回来。

工作人员每月对设备进行定时巡检时,同时开展浮子水位、雷达水位与井外水尺的人工比测,比测时间为4 h,每半小时比测一次,每次巡检共进行8次人工比测,获得的比测数据可进行对比分析。

3 观测数据对比分析

3.1 浮子水位、雷达水位分钟数据

选取浮子水位、雷达水位从2020年5月1日到5月31日的分钟观测数据,各记录了44 640组数据,浮子水位与雷达水位做差,对绝对误差进行统计(表1)。

表1 绝对误差统计

差值范围/cm	< -1	-1	0	1	> 1
个数/次	0	30	21 264	23 222	124

通过计算,浮子水位与雷达水位绝对误差等于-1 cm数量为30次,占比0.07%,绝对误差等于0 cm数量为21 264次,占比47.63%,绝对误差等于1 cm数量为23 222次,占比52.02%,绝对误差大于1 cm数量为124次,占比0.28%,且在 ± 1 cm以内(包含 ± 1 cm)的数据占比为99.72%。绝对误差大于1 cm的对比数据,其数值都小于3 cm。通过分析,其成因可能是浮子水位、雷达水位虽然都安装在一个井筒内,但观测位置存在20 cm左右的差异。在明确了问题的原因后,认为绝对误差大于1 cm的对比数据占比较小,且数值都小于3 cm,超过规范误差不大,不影响连续的数据观测,连续观测的数据有效。

3.2 浮子水位、雷达水位整点数据

选取浮子水位、雷达水位从2020年5月1日到5月31日的整点观测数据,符合条件的数据各有744组,以此进行相应的计算分析。

3.2.1 相关性分析

以同一时间雷达水位观测数据为纵坐标, 浮子水位观测数据为横坐标, 建立相关分析图, 散点图见图9^[4]。经计算得出, 浮子-雷达关系线的斜率为 $k=1.000\ 0$, $R^2=0.999\ 85$ ^[15-16]。计算结果表明, 浮子水位和雷达水位的观测数据相关性非常好, 该站浮子水位和雷达水位观测数据可以互相代替使用。

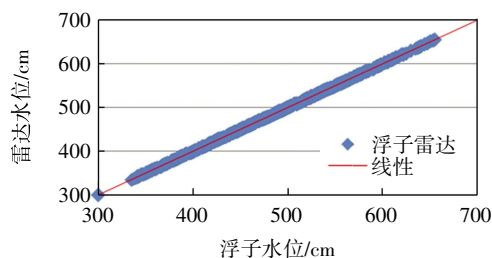


图9 浮子-雷达散点图

3.2.2 绝对误差

通过对浮子水位、雷达水位 744 组整点值计算发现, 绝对误差都在 $0 \sim 1\text{ cm}$, 以雷达、浮子的观

测数据为纵坐标, 比对次数为横坐标, 做数据对比曲线, 数据对比曲线见图10。

由数据对比曲线可直观地发现, 浮子水位、雷

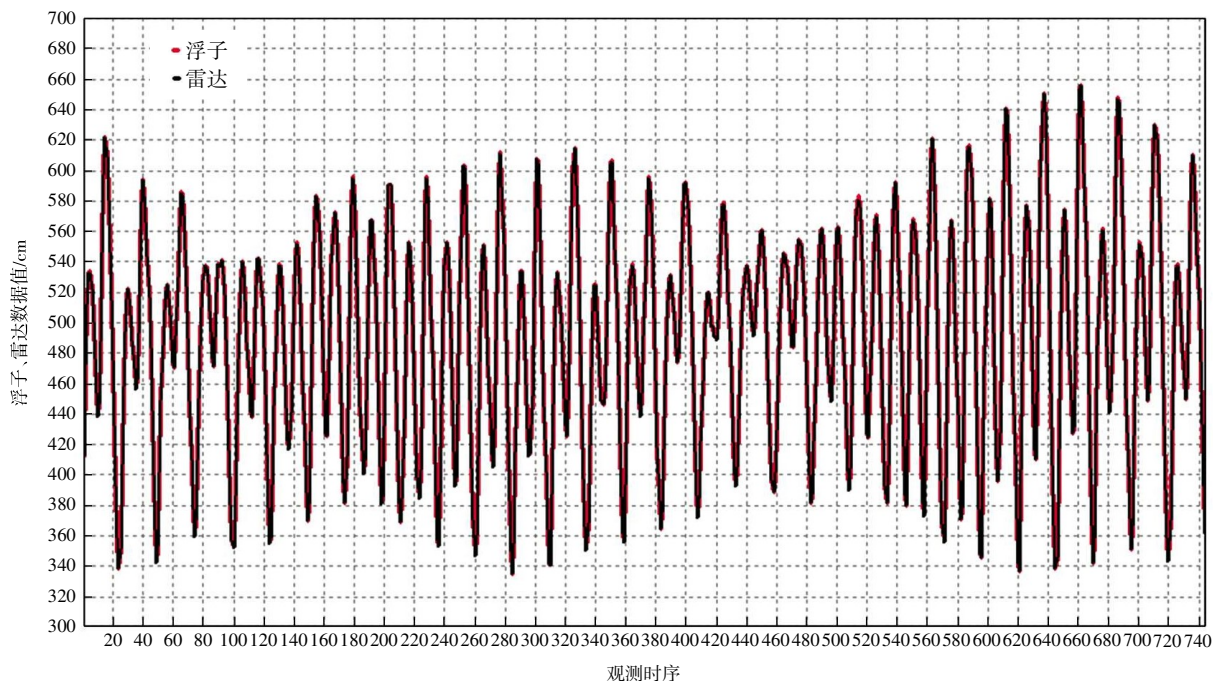


图10 浮子-雷达数据对比曲线

达水位采集数值同步性非常好, 关系十分密切, 趋势基本一致, 甚至重合, 具有较好的相关性, 绝对误差最大值为 1 cm 。

3.3 浮子水位、雷达水位系统误差及不确定度计算分析

选取人工观测、浮子水位和雷达水位从 2020 年 5 月到 7 月的观测数据, 符合条件的数据各有 24 组, 以此进行相应的计算分析。

根据《水位观测标准》(GB/T 50138—2010)^[17]规定, 采用自动监测设备监测水位时, 其不确定度应

按下列方法估算, 计算结果见表 2。

系统不确定度应按式(1)计算。

$$X_y'' = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{yi} - P_i)}{N} \quad (1)$$

式中, P_{yi} 为自动监测水位; P_i 为人工观测水位; N 为观测次数。

随机不确定度应按式(2)计算。

$$X_y' = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{yi} - P_i - X_y'')^2}{N - 1}} \quad (2)$$

表2 不确定度计算结果表

单位: cm

设备类型	系统不确定度	随机不确定度	综合不确定度	规范要求综合不确定度	系统误差	规范要求系统误差	计算结果评定
浮子水位	0.32	0.75	0.82	≤ 3	0.32	± 1	合格
雷达水位	-0.56	0.68	0.88	≤ 3	-0.56	± 1	合格

综合不确定度按式(3)计算。

$$X_z = \sqrt{X_y'^2 + X_y''^2} \quad (3)$$

由表2可以看出,浮子水位、雷达水位均符合规范要求,浮子水位、雷达水位的观测数据都可以作为该站点的实际观测数据,可以互相替换。通过分时间段从浮子水位、雷达水位的观测数据中挑选数据作为该站点的实际观测数据方法可行,数据有效,挑选的数据可以反映该站的实际潮位数据。

4 结 论

浮子水位和雷达水位观测数据相关性好,数据

对比曲线基本一致,甚至重合,两种观测设备的观测精度均符合规范的要求,数据有效。浮子水位和雷达水位可以作为冗余设备互相代替使用,数据中心可以通过分时间段分别从浮子水位、雷达水位观测数据中挑选数据作为该站点的实际连续观测数据。双备份观测系统在珠江口水文信息系统中已成功应用,可保证数据的连续性和有效性,为保障船舶航行安全、海洋经济建设、防灾减灾、应急管理和国防安全等提供服务保障和数据支持。该系统可广泛应用于我国自然资源部辖属的潮位自动观测站,以及海事部门、港务部门和涉海大型企业辖属的潮位观测站及相关领域。

参考文献:

- [1] 洪四雄,俞成明,游宗庭.珠江口水文信息系统研究与应用[C]//海洋测绘综合性学术研讨会.江西九江:中国测绘学会,2007:359-363.
- [2] 李玉涛,史潇,陈景丽.基于5G的气象数据备份传输及监控告警系统的设计与实现[J].气象科技,2021,49(2):297-302.
- [3] 董鹏琳,覃团发,潘成举.基站蓄电池监控系统设计[J].现代电子技术,2018,41(18):109-112,116.
- [4] 赵世颖,张雪芬,陶法,等.超大城市观测数据系统平台设计与实现[J].气象科技,2022,50(5):646-652.
- [5] 张磊,李德银.导波雷达液位计在福清核电的应用及改进[J].自动化仪表,2019,40(6):16-19.
- [6] 李桂彬,哈谦,邱文博,等.导波式雷达水位计在潮位观测中的应用[J].海洋技术学报,2018,37(2):19-23.
- [7] 全国海洋标准化技术委员会.海洋水文仪器通用技术条件:GB/T 13972—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [8] 国家海洋标准计量中心.海洋站自动化观测通用技术要求:HY/T 059—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [9] 蒋华,武尧,王鑫,等.改进K均值聚类的海洋数据异常检测算法研究[J].计算机科学,2019,46(7):211-216.
- [10] 张琪,胡宇鹏,嵇存,等.边缘计算应用:传感数据异常实时检测算法[J].计算机研究与发展,2018,55(3):524-536.
- [11] 何方城,甄国涌,单彦虎.基于北斗通信的小型无线信标机设计[J].电子器件,2020,43(1):15-19.
- [12] 倪小康,宋晓莉,许静,等.基于铱星系统的南极冰下湖采样与观测远程通信设计与实现[J].工业控制计算机,2021,34(8):26-28,30.
- [13] 夏广浩,马万太.基于GPS/北斗和GPRS的车载监控系统设计与开发[J].机械制造与自动化,2018,47(3):205-207.
- [14] 王莹莹,杨天燕,孟玮,等.中国沿海龙头鱼群体多变量形态特征的比较[J].中国水产科学,2020,27(10):1234-1242.
- [15] 吴国富.实用数据分析方法[M].北京:中国统计出版社,1992.
- [16] 梅长林,范金城.数据分析方法[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [17] 中华人民共和国水利部.水位观测标准:GB/T 50138—2010[S].北京:人民出版社,2010.

Design of Double Backup Observation System for Float Water Level and Radar Water Level

LI Guanyu, QIU Wenbo, HU Yiqun, WANG Yading

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300111, China)

Abstract: The hydro-logical observation stations of the Pearl River Estuary are unmanned stations, using float water level meters to observe. After system failure, lead to upgrading repairing time, and also resulting in the lack of data measurement. In order to solve this problem, the use of float water level and radar water level double complementary observation method is proposed, and the data center can select the data from float water level and radar water level respectively by dividing the time period as the actual continuous observation data of the station. In this paper, it describes the composition of a real-time data transmission system for double backup observation of float water level and radar water level, through the comparative analysis of the float water level and radar water level observation data, it is verified that the data center has the continuity and validity of the data selected by this combination of dividing the time period. The data can be used as the actual observation data of the site. The float water level and radar water level double backup observation system can be applied to the hydrological information system of the Pearl River Estuary or similar observation fields.

Key words: float water level; radar water level; comparative analysis; combination of dividing the time period; double backup observation