



金鸡滩二线船闸工程原型观测方法

江木春, 袁 锐, 张文欢

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

摘要: 水利枢纽船闸改扩建是内河航道整治工程中的控制性工程, 以右江金鸡滩水利枢纽二线船闸工程原型观测实践为例, 对船闸改扩建原型观测的方法进行分析和总结, 主要包括比降观测、表面流速流向测量、断面流量和流速流向观测、泥沙测验和底质取样等5个观测方法。通过现场实践生产, 在枢纽上下游多维度同步观测和采样, 并对观测成果进行统计、分析和研究, 为枢纽船闸改扩建的规划、设计和施工等建设技术方案提供水文基础资料, 为模型试验、航道整治工程提供准确的工程实施数据, 值得类似项目借鉴和应用。

关键词: 原型观测; 比降观测; 断面流量; 流速流向观测; 泥沙测验; 底质取样

中图分类号: U64

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0164-06

Prototype observation method for Jinjitan second line ship lock project

JIANG Muchun, YUAN Rui, ZHANG Wenhuan

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430060, China)

Abstract: The renovation and expansion of the ship lock of the water conservancy hub is a control project in the inland waterway regulation project. Taking the prototype observation practice of the second line ship lock project of the Youjiang Jinjitan hydro-junction as an example, this paper analyzes and summarizes the methods of prototype observation for ship lock renovation and expansion, mainly including five observation methods, such as gradient observation, surface velocity direction measurement, cross-sectional flow and flow velocity direction observation, sediment testing, and sediment sampling. Through on-site practical production, multi-dimensional synchronize observation and sampling are carried out in the upstream and downstream of the hub, and the observation results are statistically analyzed and studied to provide hydrological basic data for the planning, design, and construction technical schemes for the hub ship lock expansion and renovation, providing accurate engineering implementation data for model testing and waterway regulation project. It is worth learning and applying in similar projects.

Keywords: prototype observation; gradient observation; cross-sectional flow rate; flow velocity and direction observation; sediment testing; sediment sampling

水利枢纽包括发电站、大坝和水库等, 主要承担防洪、灌溉 (或供水)、水力发电和航运等重要功能^[1]。在内河山区河流开发中, 水利枢纽对航运发展有着积极的影响。我国大部分内河航运通过建设梯级水利枢纽系统, 使河道变宽变深,

提升航道等级和通行能力, 极大地改善了航运条件, 不但可以通行吃水更深、载质量更大的船只, 而且减少了季节对航运的影响。水利枢纽可以调节不同季节水资源的不均衡分布, 从而调节航运。通过关闭或开启闸板, 确保洪水季下游航道不受

收稿日期: 2023-10-16

作者简介: 江木春 (1971—), 男, 教授级高工, 从事公路、桥梁、港口和航道等工程测量工作。

洪水肆虐,枯水季避免航运船舶搁浅,保障航运安全。梯级水利枢纽的建设投资大、周期长,内河航运发展不再受天然河道的限制,而是受船闸或升船机通行能力的制约。近年来随着内河航道整治工程的加快建设,更多更大的现代化船只不断出现,针对交通需求的急剧增加,现有船闸通行能力不足等问题,对现有船闸进行升级改造是内河航道整治工程的关键。

目前国内关于内河航道整治工程中,以水利枢纽船闸改扩建为关键点原型观测研究较少。本文以右江金鸡滩水利枢纽二线船闸工程原型观测为例,对内河航道整治工程水利枢纽段船闸改扩建工程原型观测方法进行分析,包括枯水期和中水期,观测内容和方法一致,不涉及相关控制测量和水陆域地形测量等相关专题,旨在为船闸改扩建工程模型试验研究、论证、设计等提供原型观测专题成果。

1 工程概况

金鸡滩水利枢纽位于广西壮族自治区南宁市隆安县,在县城上游 8 km 处的右江河段金鸡滩上,是以发电、航运为主的综合性枢纽工程,于 2010 年 2 月通过竣工验收。一线船闸为Ⅲ级船闸,位于枢纽左侧^[2],闸室净宽 12 m、长 190 m,直线段全长 997 m,设计船队尺寸长 160 m、宽 10.8 m、吃水深 2.0 m。一线船闸设计双向通过能力约为 636 万 t/a,单向 390 万 t/a(下行),船闸通过能力不及上下游已改扩建的鱼梁、老口船闸的一半。拟建金鸡滩水利枢纽二线船闸工程按Ⅱ级标准建设,位于已建一线船闸左侧,通过裁弯取直,由枢纽左侧山体进行开挖形成,闸室尺寸 250 m×34 m×5.8 m(长度×宽度×门槛水深),设计代表船型为尺寸 74 m×15.6 m×3.6 m(长×宽×吃水)的 2 000 吨级货船^[3]。枢纽结合右江两岸地形地貌、边界条件、运营条件和项目投资等因素,对左岸及右岸的工程选址进行综合比选,拟建船闸位于

右江左岸,二线船闸与一线船闸轴线间夹角约 33°,采用分散布置方式,新建船闸上闸首与一线船闸轴线垂直距离 497 m,与一线上闸首间距 534 m,船闸上闸首及两侧接头坝高程与金鸡滩水利枢纽坝顶高程相同,拟建二线船闸位置见图 1。

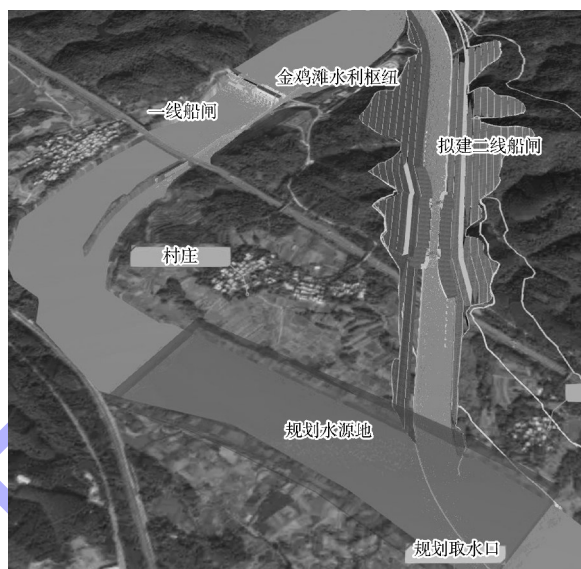


图1 拟建二线船闸位置

2 表面流速流向测量

2.1 新型表面流速流向测量浮标

表面流速流向是确定内河航道整治方案、检验航道整治效果的重要手段,受地形、水位、比降、复杂流态、风力风向、波浪、来往船舶和水流障碍物等综合影响,呈现出复杂多样的特殊形态,同一河段不同时期,不同水位和自然气候,其形态呈现不同的特征。常规测量方法是通过跟踪顺水流淌的浮标,并测定浮标在同一时间间隔下的平面坐标,主要包括 GNSS 浮标跟踪法和前方交会法等。新型表面流速流向测量浮标(图 2)集成了差分定位和数据传输功能,采用 RTK(实时动态定位)自动定位,平面定位精度可达厘米级,并将定位数据通过网络发送到服务器。在复杂水域顺水流淌,间隔固定时间自动定位,极大地提高了在复杂水流中的观测效率和测量精度,将表面流速流向测量定位精度由亚米级提升至厘米级,有效保障了作业安全。



图2 新型表面流速流向测量浮标

2.2 表面流速流向测量系统

表面流速流向测量系统由千寻 CORS、移动端、云服务器端、监控端 4 部分组成，系统内采用 5G 无线网络通讯，见图 3。新型浮标的定位模块通过 CORS 服务中心获取差分数据进行差分定位，并将定位数据传至云服务器；监控端（监控平台和配套程序）可监控所有浮标的工作状态及轨迹；云服务器端（云服务器和配套程序）是浮标和监控端的信息中转平台和数据存储中心，数据可安全存放在云服务器中，并通过云服务器的数据共享功能实现多线作业或协同作业。监控端软件基于 Windows 系统的 PC 平台，监控端软件具备

浮标的实时轨迹展示界面和功能，不同作业组可共享浮标流动轨迹，避免重复施测。通过监控端软件，可向浮标发送指令，对各移动端的数据采样间隔、记录状态等信息进行设置。现场作业中在起始断面处浮标均匀施放，枢纽上下游均施测 3 条流速流向线，浮标漏出水面较短，顺水流淌，受风浪影响较小，覆盖整个区域，在复杂水流区域作业效率高。将航道边线、金鸡滩水利枢纽、测量范围和其他重要建筑物标注在监控平台上，并在测船上放置定位系统，监控平台可以监控到每个浮标与地物和测船的相对关系，实时跟踪每个浮标测量状态，避免浮标遗失。

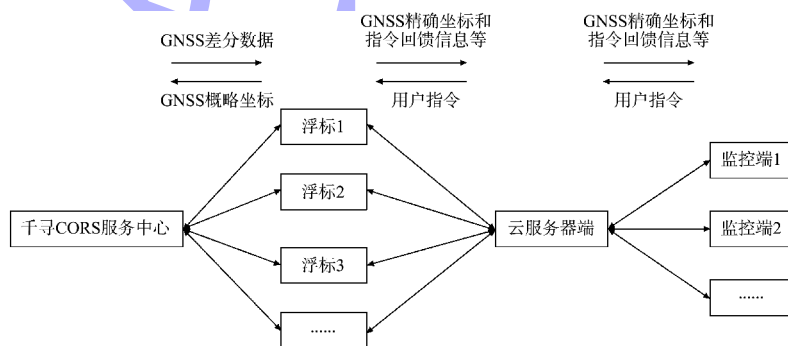


图3 表面流速流向测量系统

将表面流速流向线标绘在地形图上，测点间方向表示流向，线上数值为流速，统计测量时间、测时水位、风力风向、最大/最小流速以及平均流

速等，2023-03-29 枢纽下游枯水期表面流速流向见表 1，航道中心流速大于两侧流速，枢纽下游段大于右江大桥段。

表 1 枢纽下游枯水期表面流速流向

位置	水位/m	风力	风向/级	最大流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	最小流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	平均流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
左岸				0.85	0.53	0.68
航道中心	75.91~76.07	西北	1~2	0.96	0.78	0.86
右岸				0.82	0.61	0.70

3 水位比降观测

比降是水面的纵向坡度，是河流上、下游断面水位差与断面间距离的比值。在河流上沿水流方向隔一定距离布设水尺，进行一定时长的同步水位观测，并选择其中 1 组或几组数据计算纵比降。相邻水尺河段须顺直，河岸和河床稳定，断面均匀一致，避免支流汇入或临河建筑物对水流造成明显干扰。当上、下游比降断面间的水流出现明显转折时，在支流汇入或河流较长的情况下，纵比降在不同的河段比值不同，需增加比降水尺进行分段观测。沿右江航道两侧布设水尺 11 个，金鸡滩枢纽上游 3 个，下游 8 个，见图 4。

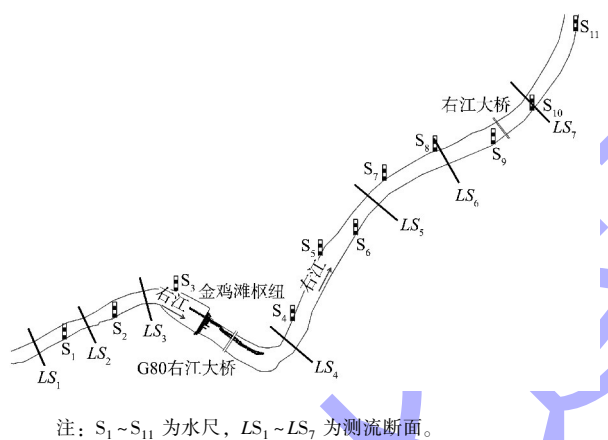


图 4 水文测验布置

采用自动水位记录仪观测和记录，观测前精确校准北京时间，误差宜小于 1 min，并通过人工观测对自动观测成果进行验证，在整个原型观测期间不间断观测，每小时观测 1 次，将观测水位列表统计。选择观测期间流量、水位较为稳定的 1 组水位数据进行比降计算，枯水期选择 2023-03-29T10:00:00，中水期选择 2023-08-04T12:00:00，通过各水尺站点的水位差和各站点间航道中线水尺间距，进行比降计算(以万分率表示)，其中枯水期水位及比降见表 2。根据表 1 成果绘制比降图，枢纽上下游水位差约 12 m，比降图需分开绘制，枢纽下游枯水期水位及比降成果见图 5。

表 2 2023-03-29T10:00:00 枯水期水位及比降

水尺	水尺间距/m	水位/m	水位差/m	比降/‰	备注
S ₁		88.402			
S ₂	743	88.382	0.020	0.269	枢纽上游
S ₃	842	88.363	0.019	0.226	
S ₄	2 054		—	—	
S ₅	916	76.069	0.036	0.393	枢纽下游
S ₆	485	76.033	0.031	0.639	
S ₇	668	76.002	0.058	0.868	
S ₈	837	75.944	0.014	0.167	
S ₉	735	75.93	0.009	0.122	
S ₁₀	624	75.921	0.003	0.048	
S ₁₁	1 150	75.918	0.007	0.061	
		75.911			

注：1985 国家高程基准。

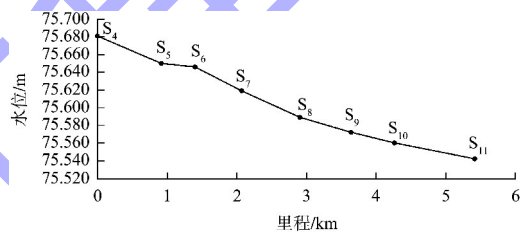


图 5 金鸡滩枢纽下游枯水期比降

4 水文断面测量

采用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)施测断面流量，设备数据采样率高，将断面分成若干子断面(测流垂线)，通过分层测得每个子断面水深和多点流速，分别计算垂线上的流速向量积和垂线平均流速，汇总断面流量等成果^[4]。

共布置 7 个水文断面，3 个断面位于枢纽上游，4 个位于枢纽下游，见图 4。设置 ADCP 相关参数，并同步观测水位，在 GNSS-RTK 实时导航下按设计的断面线行驶，保持慢车且匀速行驶，ADCP 连续向水体及河底发射声脉冲，以从左岸至右岸、右岸至左岸施测为 1 个测回，测回流量闭合差宜小于 5%，流量闭合差超标需及时重测，以往返测断面流量的平均值作为实测流量值，并对施测过程中各种相关数据进行记录^[5]。

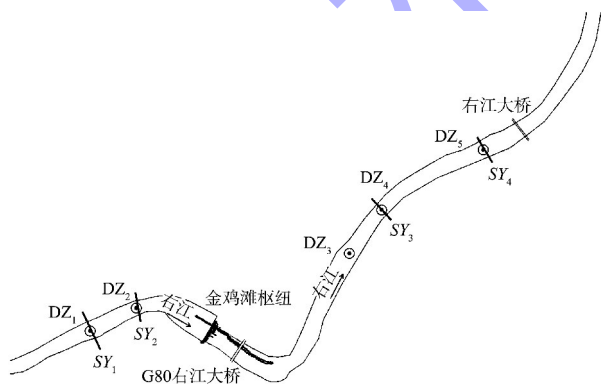
水文断面流量数据处理采用 WinRiver II 软件，

每条测流断面取值垂线间距 20 m, 共设 62 条测流取值垂线。对断面顶层、底层盲区处理采用幂指数法进行估算, 岸边流量根据实测的大断面图形采用 0.3~0.9 系数进行处理, 按坡度缓陡程度充分拟合流量, 提高断面流量观测精度, 每条垂线分层参照 JTS 132—2015《水运工程水文观测规范》^[6]第 7 章的规定。

部分测点流向偏角大于 10°进行余弦改正数据处理, 将断面流量、水位、断面面积、水面宽度、断面平均流速、断面最大流速、平均水深、最大水深等编制成相应的图和表。

5 悬移质测验

悬移质取样每份水样不少于 500 mL。水样采集层数与表 2 基本一致, 悬移质取样位置见图 6。共 4 条采样断面 SY₁~SY₄, 坝上坝下各 2 条, 每条断面相同间距分别取左、中、右 3 个点位, GNSS-RTK 实测采样点坐标。在水样采集时需防止铅鱼对水体的扰动, 特别是采用五点法时, 底层为 -0.8 m, 为避免河底泥沙扰动的影响, 需在铅鱼到底后等待 10 s 再采集, 将水样装入容器, 并对容器进行登记编号, 包括采样位置、时间、层数等信息^[7]。



注: SY₁~SY₄ 为悬移质取样断面; DZ₁~DZ₅ 为河床质取样点。

图 6 悬移质和底质取样位置

悬移质含沙量采用烘干过滤法, 需用纯净水洗 3~4 次处理, 烘干并剔除泥沙其他杂质, 用万分之一精度的电子天平称重。主要流程为: 1) 折叠滤纸并给滤纸唯一编码; 2) 烘干滤纸并称重;

3) 沉淀浓缩水样; 4) 过滤泥沙; 5) 烘干沙包 (滤纸和泥沙) 并称重; 6) 计算统计并编制含沙量表。滤纸或沙包在温度 100~105 ℃ 的电热鼓风干燥箱中烘 2 h, 然后移入盛有变色硅胶的干燥器内, 加盖冷却至室温, 逐个称重、记录, 采用下式计算各测点水样的含沙量:

$$C_s = \frac{1\,000(W_2 - W_1)}{V_s} \quad (1)$$

式中: C_s 为某水样的含沙量, kg/m³; W_2 为纸沙质量, g; W_1 为滤纸质量, g; V_s 为水样体积, mL。

采用 BETTER 2000 激光粒度仪分析悬移质颗粒, 根据测量样品的特点, 对每个样品的粒径级别百分比分布进行分析统计, 求出中值粒径 D_{50} , 并绘制颗粒级配曲线, 最终编制包括含沙量表、悬移质含沙量表、悬移质颗粒级配表等在内的悬移质颗粒成分表, 该站最大含沙量见表 3。

表 3 最大含沙量统计

测量时段	各点最大含沙量/(g·L ⁻¹)			
	SY ₁	SY ₂	SY ₃	SY ₄
枯水期	0.033	0.017	0.022	0.026
中水期	0.075	0.064	0.045	0.046

6 河床质取样与分析

河床质取样共 5 处, 在水利枢纽上游取 2 处, 下游取 3 处, 取样点位置见图 6, GNSS-RTK 实测采样点坐标。河床质沉积物样品的取样采用抓斗式采样器, 对所取样品进行封装标记, 每份样品不少于 500 g^[8]。

对每个样品的粒径等级按筛分法分析统计百分比, 计算中值粒径 D_{50} , 根据含量绘制颗粒级配图。进行烘干、过磅、分级过筛 (水洗法) 以及粒径小于 0.062 mm 的测试等。根据采样点河床质粒径分布曲线计算中值粒径, 见表 4。

表 4 河床质中值粒径成果

点名	枯水期中值粒径/mm	中水期中值粒径/mm
DZ ₁	0.005	0.004
DZ ₂	0.004	0.003
DZ ₃	28.839	9.800
DZ ₄	17.057	0.072
DZ ₅	1.893	17.554

注: DZ₁、DZ₂ 为坝上, DZ₃~DZ₅ 为坝下。

由表4可知,枯水期河床质坝上、坝下中值粒径变化大于中水期,变化规律基本一致,中值粒径坝下大于坝上,大坝上游取样点泥沙分布较细,下游沙石含量较多,编制颗粒分析成果和河床质颗粒级配分析表等。

7 结语

1) 新型表面流速流向测量浮标可以完成在复杂水流中表面流速流向测量,数据采集率和测量精度高,保障了作业安全;表面流速流向测量系统可实时有效监控多个浮标测量状态,采用无线网络进行数据传输,降低外业劳动强度,数据存储在云端,提高了数据的安全性。云端数据共享,多组多线协同作业,提高工作效率。

2) 金鸡滩水利枢纽坝上坝下水位同步观测 27 h,两次观测期间,水位变化小于 0.3 m,由于坝上坝下水位落差约 12.3 m,比降需分别计算,总体坝上比降小于坝下比降,也存在局部不一致的情况,坝下比降也逐步减小。坝上表面流速小于坝下表面流速,流向基本与航道方向一致,上游枢纽附近受发电和船闸影响。

3) ADCP 大断面流量测量坝上坝下同步观测,受枢纽发电和不同季节库容调节影响,结果各不相同,存在下游流量小于上游流量和局部岸边倒流的情况,下游流速大于上游流速。

4) 中水期和枯水期枢纽上下游水质清澈,含

沙量小;两次底质采样坝上、坝下颗粒直径变化规律基本一致,大坝上游取样点多泥沙,颗粒较细,下游沙石含量较多,颗粒较大,是冲刷和淤积形成的结果。

参考文献:

- [1] 侯瑞宁. 策勒县奴尔水利枢纽工程设计浅析[J]. 陕西水利, 2019(2): 194-195.
- [2] 农云峰, 杜小东. 浅谈分段关闭闸组在隆安金鸡滩水利枢纽工程调速系统的应用[J]. 沿海企业与科技, 2008(9): 159-160.
- [3] 陈树强, 赵烜. 大藤峡水利枢纽工程船闸岩溶处理[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(35): 2883-2884.
- [4] 高怡. ADCP 在太湖流域平原河网地区的应用[J]. 水利水电自动化, 2005(3): 26-27.
- [5] 王槐军. ADCP 技术在水文测验中的应用[J]. 能源与节能, 2017(8): 165-166, 179.
- [6] 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津水运工程勘察设计院, 中交天津港航勘察设计院有限公司. 水运工程水文观测规范: JTS 132—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [7] 梁向棋, 舒晓明, 曹树青, 等. 长江下游黑沙洲水道原型观测技术实施[J]. 中国水运(上半月), 2014(9): 60-61.
- [8] 王珊珊, 潘存鸿, 李宏, 等. 杭州湾泥沙中重金属元素的分布及影响因素[J]. 中国环境科学, 2017, 37(12): 4701-4709.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 147 页)

- [8] 长江航道规划设计研究院. 长江干线武汉至安庆段 6 米水深航道整治工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院 2018.
- [9] 交通运输部办公厅. 水运建设项目经济评价方法与参数(2009 年修订)[S]. 北京: 交通运输部, 2009.
- [10] 交通运输部长江航务管理局. 2022 长江航运发展报告[R]. 北京: 武汉理工大学出版社, 2023.
- [11] 刘敬贤, 刘聪, 赵振, 等. 基于船种聚类的航道通过能力量化方法[J]. 交通信息与安全, 2017, 35(6): 46-53.
- [12] 长江航道规划设计研究院. 长江干线武汉至安庆段航

道整治工程完工后经济社会效益评估分析报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2022.

- [13] 殷兆进, 袁洪春. 水网地区航道货运量的预测方法[J]. 水运工程, 2011(7): 147-152.
- [14] 龙浩, 李文杰, 杨胜发, 等. 长江朝涪段航道建设工程经济效益分析研究[J]. 人民珠江, 2019, 40(7): 110-114, 127.
- [15] 郭青松. 荆江航道整治工程航道尺度方案优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.

(本文编辑 赵娟)