

泗阳闸水力学模型出流能力的分析验证

马余良, 赵天昌, 许攀, 马悦, 张前进

(江苏省骆运水利工程管理处, 江苏 宿迁 223800)

摘要:依据新建泗阳闸的相关设计数据,建立水力学模型进行试验,对闸门全开、闸门部分开启运行时的出流能力进行模拟研究,为泗阳闸的新建提供技术支持。同时,利用该闸实际控制运行中的实测流量成果,分析率定该闸出流能力,并与模型出流能力进行对比,分析水力学模型出流能力试验研究成果的准确性。

关键词:水闸; 模型; 出流能力; 分析验证

中图分类号:TV131

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)04-0025-0004

Analysis and verification of outflow capacity of hydraulic model of Siyang Gate

MA Yuliang, ZHAO Tianchang, XU Pan, MA Yue, ZHANG Qianjin

(Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

Abstract: According to the relevant design data of the newly built Siyang Gate, a hydraulic model is established for testing, and the outflow capacity when the gate is fully opened and partially opened is simulated and studied, so as to provide technical support for the new construction of the Siyang Gate. At the same time, using the measured flow results in the actual control operation of the gate, the outflow capacity of the gate is analyzed and calibrated, and compared with the model outflow capacity, the accuracy of the experimental research results of the hydraulic model outflow capacity is analyzed.

Key words: sluice; water-saving society; model; outflow capacity; Analysis and verification

1 工程概况

原泗阳闸建成于1960年,共17孔,闸孔净宽4.0 m,设计流量1 000 m³/s,属沂沭泗水系,通过中运河串联骆马湖、洪泽湖,实现淮沂互调互济,为中运河上重要的水工控制建筑物。主要功能有排洪和节制水位,排洪主要是排泄骆马湖下泄的洪水及黄墩湖地区、中运河沿岸的涝水;节制水位主要是保证中运河沿线灌溉、航运及城镇用水的需要。该闸经过多年的运行,虽然历经多次的除险加固,但工程仍然存在严重的安全隐患,经安全鉴定为四类闸,于2012年拆除,并在原泗阳闸下游约50 m处进

行新建。

新建的泗阳闸共7孔,闸孔净宽10.0 m,弧形钢闸门^[1],采用圆角梯形堰,堰顶高程为11.50 m,上游堰高3.0 m。按50年一遇标准设计,100年一遇标准校核,设计流量仍为1 000 m³/s,闸一侧设2孔3 m净宽的小水电孔,共2台机组,每台装机容量160 kW,发电总装机容量为320 kW,设计流量10.0 m³/s。

2 水力学模型出流能力试验

新建的泗阳闸采用圆角梯形堰,建设单位委托河海大学建立该闸水力学试验模型,研究新型圆角梯形堰在堰流、孔流方式下的泄流能力,为工程运

收稿日期:2022-01-19

作者简介:马余良(1968—),男,高级工程师,本科,主要从事水文水资源监测管理分析工作。E-mail:359292822@qq.com

行管理及优化控制运行提供科学依据。

试验模型的断面采用2孔闸孔宽度进行模拟,上游模拟至闸上游约130 m处,下游模拟至闸下游约150 m处,模型全长约20 m^[2]。

2.1 闸门全部开启运行时的出流能力

当闸门全部开启运行时,闸孔出流水流为淹没式堰流,试验中通过对模型的上、下游水位进行调节,分别测得不同水位组合情况下的闸孔出流流量,淹没式堰流计算式为

$$Q = mB\sqrt{2g}H^{1.5} \quad (1)$$

式中: m 为流量系数; H 为上游水头,m; B 为闸孔净宽,m; Q 为过闸流量,m³/s。

根据试验所测得的流量及上、下游水位等数据,利用式(1)可以计算出公式中的流量系数 m ,由试验结果可知,流量系数 m 与相对淹没度 h_s/H 的相关关系从整体上来看关系较好。

2.2 闸门部分开启运行时的出流能力

当闸门部分开启运行时,由于下游水位的变化会影响闸孔出流能力,闸孔出流又可分为自由式孔流和淹没式孔流2种流态。

自由式孔流流量计算式为

$$Q = \mu Be\sqrt{2gH} \quad (2)$$

式中: μ 为流量系数; e 为闸门开启高度,m。

根据试验所测得的闸孔流量、水位等数据,利用式(2)可以计算出流量系数 μ ,试验数据结果表明,流量系数 μ 与 e/H 的相关关系良好。

为了工程控制运用的方便,将流量系数 μ 与 e/H 关系曲线拟合为以下公式:

$$\mu = 0.8205 - 0.3007 \frac{e}{H} \quad (3)$$

淹没式孔流流量计算式为

$$Q = C_s B h_s \sqrt{2gH(H - h_s)} \quad (4)$$

式中: C_s 为流量系数。

同样,根据试验所测得相关数据,可以计算出流量系数 C_s ,流量系数 C_s 与 h_s/e 具有良好的相关关系。

利用回归分析将流量系数 C_s 与 h_s/e 关系曲线进行分析便于工程控制时使用,通过拟合最终可以得到:

$$C_s = 0.9579 \left(\frac{h_s}{e} \right)^{-1.2118} \quad (5)$$

3 现状工程出流能力分析

泗阳闸水文站于2020年1月由水位站升级为水文站,在2020—2021年泗阳闸行洪期间,对该闸过闸流量进行了实测率定。测流断面位于闸下游440 m处,为基本水尺断面处,流量测验方式采用缆道ADCP法^[3],闸上、下游水位观测均采用遥测水位,闸孔出流流态为人工现场目测,共施测自由式孔流7次,淹没式孔流9次,小水电未运行,实测的流量为闸孔过流流量,采用逐步图解法分别对自由式孔流、淹没式孔流出流能力进行率定^[4]。

3.1 自由式孔流流量

自由式孔流流量计算式^[5]为

$$Q = M_b B e^\alpha H^\beta \quad (6)$$

式中: M_b 为流量系数; α 、 β 为指数,通常 β 取值0.5。

根据现场所测得相关数据,利用式(6)计算出 $Q/BH^{0.5}$,在双对数纸上点绘出 $e \sim Q/BH^{0.5}$ 关系曲线,具有良好的相关关系。

根据 $e \sim Q/BH^{0.5}$ 相关关系图可以推求出系数 M_b ,指数 α ,拟合的出流公式如下:

$$Q = 3.34 B e^{1.15} H^{0.5} \quad (7)$$

自由式孔流出流能力率定分析数据见表1。

表1 自由式孔流出流能力率定分析数据

测次	日期	上游水位/m	下游水位/m	上游水头/m	闸孔开宽/ m	开高/m	实测流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	计算流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	误差/%
1	2020-06-17	16.04	11.46	4.54	40	0.53	134.0	137	-2.31
2	2020-06-18	15.50	12.03	4.00	30	0.70	136.0	133	2.28
3	2020-06-29	16.07	12.23	4.57	70	0.31	131.0	130	0.79
4	2020-06-30	15.75	12.35	4.25	70	0.47	197.0	202	-2.61
5	2020-07-01	15.85	12.35	4.35	30	0.40	73.8	73	1.29
6	2020-07-13	15.30	12.58	3.80	70	0.87	387	388	-0.34
7	2020-07-15	15.70	12.08	4.20	70	0.40	164	167	-1.82

由表1可知,自由式孔流实测出流能力率定线系统误差为-0.39%,标准差为2.15%,置信水平95%的随机不确定度为4.30%,

3.2 淹没式孔流流量

淹没式孔流流量计算式为

$$Q = M_c B e^\alpha \Delta Z^\beta \quad (8)$$

式中: M_c 为流量系数; α 、 β 为指数,通常 β 取值0.5; ΔZ 为闸上下游水位差,m。

根据现场实测数据,利用公式(8)计算出

$Q/B\Delta Z^{0.5}$,在双对数纸上点绘出 $e \sim Q/B\Delta Z^{0.5}$ 关系曲线,具有良好的相关关系。

根据 $e \sim Q/B\Delta Z^{0.5}$ 相关关系图可以推求出系数 M_b ,指数 α ,拟合的出流公式如下:

$$Q = 3.46 B e^{1.06} \Delta Z^{0.50} \quad (9)$$

淹没式孔流出流能力率定分析数据见表2。

由表2可知,淹没式孔流实测出流能力率定线系统误差为0.08%,标准差为2.94%,置信水平95%的随机不确定度为5.88%。

表2 淹没式孔流出流能力率定分析数据

测次	日期	上游水位/m	下游水位/m	水位差/m	闸孔开宽/ m	开高/m	实测流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	误差/%
1	2020-07-28	15.81	12.98	2.83	70	0.59	235.0	233.0	0.90
2	2020-07-30	15.90	12.83	3.07	50	0.34	95.3	96.6	-1.35
3	2020-07-31	15.82	12.77	3.05	60	0.42	146.0	145.0	1.00
4	2020-08-02	15.84	12.74	3.10	40	0.32	73.8	72.8	1.34
5	2020-08-10	15.82	12.72	3.10	20	0.36	39.4	41.3	-4.49
6	2021-07-15	15.89	12.74	3.15	60	0.27	91.0	92.0	-1.05
7	2021-07-17	15.69	13.22	2.47	70	0.58	208.0	214.0	-2.66
8	2021-08-25	15.87	12.90	2.97	50	0.54	159.0	155.0	2.48
9	2021-09-10	16.09	12.65	3.44	20	0.32	40.1	38.4	4.54

4 现状工程与水力学模型出流能力对比

2020—2021年实测流量期间,该闸未出现淹没式堰流,故本文未对此流态下的水力学模型出流能力与实测率定出流能力做对比分析,仅对自由式孔流和淹没式孔流2种流态的出流能力对比分析,成果分别见表3、表4。

由表3、表4的实测流量与水力学模型泄流能力对比分析可以看出,泗阳闸在自由式孔流出流的情况下,试验研究水力学模型计算流量与该闸运行中

的实测流量误差在-3.85%~1.46%之间,平均误差为1.17%;在淹没式孔流出流的情况下,试验研究模型计算流量与该闸运行中的实测流量误差在-4.02%~3.87%之间,平均误差为0.35%。

5 结 论

通过泗阳闸模型计算的出流能力与实测率定出流能力比较分析,泗阳闸水力学模型试验研究数据可靠,建成后的实际过流能力也达到预期目标,与水力学模型出流能力基本一致,符合水力学模型设计要求。

表3 自由式孔流出流能力对比

测次	日期	上游水位/m	下游水位/m	闸孔开宽/ m	闸门开高/ m	实测率定流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	模型计算流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	误差/%
1	2020-06-17	16.04	11.46	40	0.53	137	139.0	1.46
2	2020-06-18	15.50	12.03	30	0.70	133	133.0	0.00
3	2020-06-29	16.07	12.23	70	0.31	130	125.0	-3.85
4	2020-06-30	15.75	12.35	70	0.47	202	201.0	-0.50
5	2020-07-01	15.85	12.35	30	0.40	73	71.8	-1.64
6	2020-07-13	15.30	12.58	70	0.87	388	383.0	-1.29
7	2020-07-15	15.70	12.08	70	0.40	167	163.0	-2.40

表4 淹没式孔流出流能力对比

测次	日期	上游水位/m	下游水位/m	闸孔开宽/ m	闸门开高/ m	实测率定流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	模型计算流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	误差/%
1	2020-07-28	15.81	12.98	70	0.59	233.0	242.0	3.86
2	2020-07-30	15.90	12.83	50	0.34	96.6	94.6	-2.07
3	2020-07-31	15.82	12.77	60	0.42	145.0	148.0	2.07
4	2020-08-02	15.84	12.74	40	0.32	72.8	71.7	-1.51
5	2020-08-10	15.82	12.72	20	0.36	41.3	41.5	0.48
6	2021-07-15	15.89	12.74	60	0.27	92.0	88.3	-4.02
7	2021-07-17	15.69	13.22	70	0.58	214.0	215.0	0.47
8	2021-08-25	15.87	12.90	50	0.54	155.0	161.0	3.87
9	2021-09-10	16.09	12.65	20	0.32	38.4	38.4	0.00

参考文献:

[1] 刘须朋,王卫,刘厚爱,等. 泗阳节制闸闸门启闭卡阻原因分析[J]. 山西水利科技,2013(4):21-23.

[2] 泗阳闸水力模型试验计算研究报告[R]. 南京:河海大学,2015.

[3] 吴志勇,徐梁,唐忆忆,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.

[4] 李江艳,王成,王江,等.图解分析法在芒稻闸流量资料整编中的应用[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(5):148-151.

[5] 中华人民共和国水利部. SL/T247—2020 水文资料整编规范[S]. 2020.

(上接第24页)

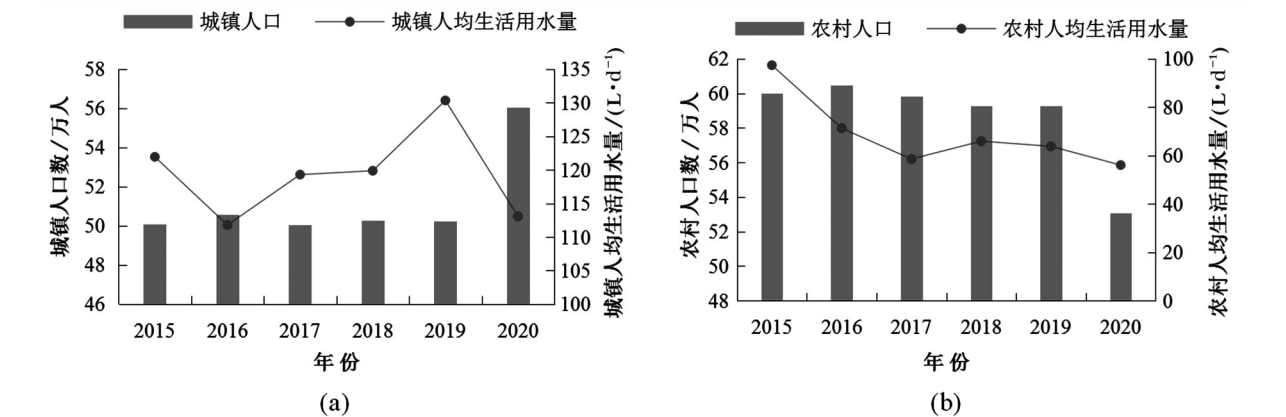


图3 泗洪县2015—2020年生活用水效率趋势

最严格水资源管理制度和水资源高效利用工程体系,加速工业质态优化,优化产业结构。根据泗洪经济发展、用水情况、水资源利用效率指标,结果表明泗洪“十三五”期间工业、农业、生活和综合用水效率总体呈增加趋势,节水型社会建设初显成效。但泗洪县在微小企业和工业节水型载体创建,社会资本参与节水建设,非常规水资源开发利用,高效节水灌溉技术推广等方面还存在不足。因此,“十四五”期间泗洪县将以重点行业节水载体创建,高效灌溉技术和非常规水源推广,节水技改和科研资金投入为重点,深入推进节水型社会建设,实现人

水和谐共生的发展方式。

参考文献:

[1] 王亚华. 我国建设节水型社会的框架、途径和机制[J]. 中国水利,2003(19):15-18.

[2] 张志章,孙淑云,董四方,等. 节水型社会评价标准(试行)评价与完善建议[J]. 中国水利,2020(23):4.

[3] 宋序彤. 我国城市用水发展和用水效率分析[J]. 中国水利,2005(13):4.

[4] 钱文婧,贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(2):7.