

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230147

白洋淀双泄洪工程分流比及其泄流能力研究

任泉超¹, 郑茜², 任艳粉^{3,4,5}, 潘丽^{3,4,5}, 王明^{3,4,5}

(1. 中国雄安集团生态建设投资有限公司, 河北 保定 071700; 2. 天津仁爱学院, 天津 301636;
3. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 4. 水利部黄河下游河道与河口治理重点实验室,
河南 郑州 450003; 5. 河南省黄河流域生态环境保护与修复重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要: 以白洋淀分汊河流双泄水建筑物为例, 通过模型试验先单独确定泄洪闸、溢流堰不考虑相互影响下的水位—泄量关系, 再通过数值模拟考虑二者之间的相互影响, 确定二者相互影响下能否达到设计效果, 探索出模型试验与数值模拟相结合确定分汊河道分流比及泄流能力的方法。通过这种方法, 得到了泄洪闸溢流堰的分流比及闸下、堰下水位, 并与设计值进行比较, 发现其差异很小, 差异均在6%以内, 表明泄洪闸、溢流堰设计泄流能力基本满足要求。

关键词: 双泄洪工程; 模型试验; 数值模拟; 分流比; 泄流能力

中图分类号: TV66

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)11-0057-03

1 工程概况

白洋淀某水利枢纽工程是一座调节白洋淀水位并发挥调洪、蓄水灌溉和航运等综合效益的重要工程。该工程有两座泄水建筑物——泄洪闸和溢流堰, 其中泄洪闸规模为32孔泄洪闸+6孔节制闸, 总净宽为384.0 m+72.0 m; 溢流堰全长605 m, 堰顶高程为7.5 m, 堰顶宽6.5 m, 建筑物工程等级均为二级。工程设计洪水标准为100年一遇。根据目前的研究成果, 该工程中两座泄水建筑物泄洪闸、溢流堰“一”字型布置, 且相隔距离较远, 下游的分汊河道又有相当长一段距离才能汇合。目前对单个闸坝泄流能力的研究较多, 研究成果主要依据两种研究手段进行, 一种是模型试验方法, 即按重力相似准则, 建立物理模型, 通过不同方案的对比试验, 分析闸坝工程的泄流能力, 优化工程体型设计^[1], 或通过模型试验对泄流能力的影响因素开展研究^[2]; 另一种是数值模拟方法, 即建立二维模型或一二维耦合模型^[3]、三维水动力模型^[4], 模拟分析单个闸坝的泄流能力及影响泄流能力的因素。单个闸坝的泄流能力与下

游水跃位置有关, 下游水流为自由出流时, 泄流能力与下游水位无关; 下游水流为淹没出流时, 泄流能力受下游水位的影响。对于河道闸坝群联合泄洪时, 单个泄水建筑物淹没出流时泄量受其下游水位的影响, 反过来下游水位又受其泄量的影响; 其中一个建筑物的下游水位又受另一个建筑物的泄量影响。因此, 闸坝群中各个建筑物泄流能力研究不仅要研究建筑物之间的分流比, 还要研究单个建筑物下游水位对泄量的影响。为此, 本文以白洋淀分汊河流双泄水建筑物——泄洪闸和溢流堰为例, 通过模型试验先单独确定泄洪闸、溢流堰不考虑相互影响下的水位—泄量关系, 再通过数值模拟考虑二者之间的相互影响, 既解决了分汊河道分流比的问题, 又验证了两泄水建筑物的泄流能力, 为枣林庄枢纽改扩建工程设计计算提供了技术支撑。

2 模型设计及试验方案

2.1 模型设计

遵循重力相似准则^[5-6], 按几何相似进行模型设计, 模型设计为正态, 考虑试验精度要求、场地

收稿日期: 2023-01-07, **修回日期:** 2023-02-28

基金项目: 河南省重大公益专项(201300311600); 黄河水利科学研究院推广转化基金(HKY-YF-2022-03)

作者简介: 任泉超(1990-), 男, 硕士、工程师, 研究方向为水利工程设计及相关管理, E-mail: 15926405031@163.com

通讯作者: 任艳粉(1980-), 女, 硕士、正高级工程师, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: 709951370@qq.com

等综合因素影响,构建了以下三个物理模型:①模型 1。泄洪闸单河道模型, $L_r=80$ 。上游模拟长 0.6 km、宽 2 km 河段,下游模拟长 1 km、宽 2 km 河段。②模型 2。溢流堰单河道模型, $L_r=80$ 。上游模拟长 0.6 km、宽 1 km 河段,下游模拟长 1.3 km、宽 1 km 河段。③模型 3。溢流堰断面模型, $L_r=20$ 。该模型在试验玻璃水槽(长 50 m、宽 0.6 m)中进行,模拟溢流堰宽度为 12 m。

2.2 数学模型计算条件

利用黄河水利委员会黄河水利科学研究院自主研发的“黄河数学模型系统”中平面二维水流—泥沙数学模型开展计算。计算河段总长约 13 km,进口为闸下 50 m 和堰下 50 m,出口位于河道交汇口以下约 5.1 km;出口采用水位流量关系边界控制,水位流量关系按照《某工程可行性研究报告》中下游河道某水文站各级洪水位,根据沿程比降向上推进得到。计算范围见图 1。



图 1 数学模型计算范围图

Fig. 1 Calculation range diagram of mathematical model

2.3 试验方案

泄洪闸和溢流堰均属于低水头水利工程,上下游水头差很小,尤其是溢流堰,上下游水头差仅有 0.01~0.03 m,为满足试验精度要求,建立了大比例尺的溢流堰断面模型。不考虑两者相互影响的水位—泄量关系试验是在泄洪闸单河道模型和溢流堰断面模型上进行的。

首先通过模型试验得到不考虑两者相互影响的下游水位—泄量关系,然后将此关系作为控制条件嵌入至“黄河数学模型系统”,通过河道边界条件初步估计闸堰分流比,分别作为闸和堰下游河道的进口流量,进而模拟计算得到闸下和堰下水位,再与物理模型试验得到的泄流曲线进行比较,若不满足泄流曲线,则调整分流比,再次进行计算,如此循环多次,直到数学模型计算得到的水位,与泄流曲线一致。最终得到了该工程不同洪水频率条件下分流比及闸下、堰下水位,通过与设计值相比,得出泄洪闸、溢流堰设计泄流能力能否满足要求。

2.4 模型验证

保持泄洪闸和溢流堰闸下、堰下相同位置 50 m 处的水位相同,泄洪闸和溢流堰单河道模型模型试验和数学模型同时得到下游河道水面线,两者对比结果见图 2、3。由图 2、3 可知,两者水面线吻合较好,模型试验值与数模计算值相互验证,结果合理、可靠。

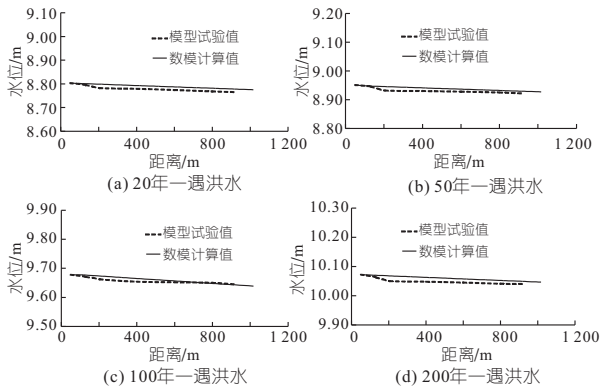


图 2 泄洪闸下游河道水面线对比图

Fig. 2 Comparison of water surface of profile of sluice gate

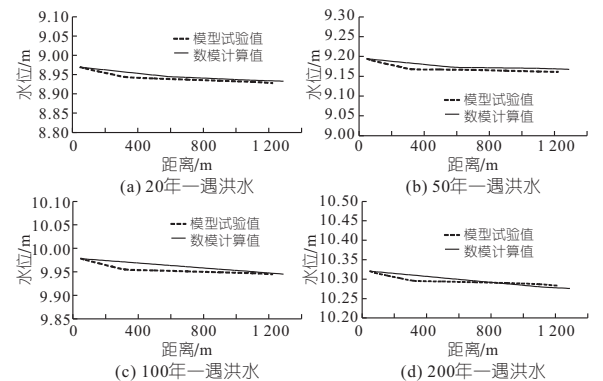


图 3 溢流堰下游河道水面线对比图

Fig. 3 Comparison of water surface of profile of overflow weir

3 结果与分析

3.1 下游水位—泄量关系量测

表 1 为设计单位计算得到的水位—泄量关系。通过模型试验,分别得到不同洪水频率下闸上、堰上为设计水位时的下游水位—泄量关系(图 4),并嵌入至“黄河数学模型系统”。

表 1 不同洪水频率下水位—泄量表

Tab. 1 Correlation between water lever and flow under different design flood frequencies

频率	总泄量	闸上	闸下	堰上	堰下	过闸流量	过堰流量
		水位 /m	水位 /m	水位 /m	水位 /m		
20 年一遇	3 700	8.85	8.75	8.99	8.98	3 200	500
50 年一遇	4 160	9.08	8.97	9.22	9.21	3 560	600
100 年一遇	5 860	9.85	9.70	10.00	9.98	4 710	1 150
200 年一遇	6 680	10.21	10.07	10.35	10.32	5 080	1 600

注:总泄量、过闸流量、过堰流量单位均为 m^3/s 。

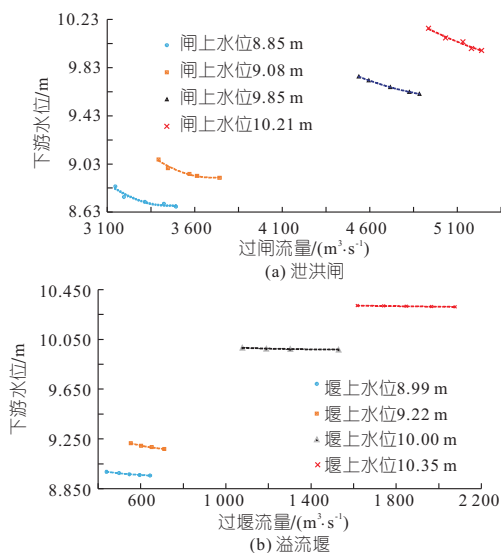


图 4 泄洪闸、溢流堰下游水位—泄量关系图

Fig. 4 The graph of relation of downstream water level and discharge capacity of sluice gate and overflow weir

3.2 数学模型计算结果

通过数值模拟发现,不同洪水频率条件下过闸、过堰流量及闸下、堰下水位数值计算值与设计值差异很小(表 2),差异均在 6% 以内,表明泄洪闸、溢流堰设计泄流能力基本满足要求。

4 结论

本文采用基于模型试验和数值模拟相结合的方法,对双泄洪工程进行了分流比及泄流能力研究。综合分析比较了不同洪水频率下过闸、过堰流量及闸下、堰下水位数值计算值与设计值的差异。结果表明,泄洪闸、溢流堰设计泄流能力基本满足要求。研究结果为白洋淀双泄洪工程设计计算提供了技术支撑。

表 2 不同洪水频率条件下数值计算结果

Tab. 2 Calculated value under different design flood frequencies

洪水频率	项目	泄洪闸		溢流堰	
		流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	闸下水 位/m	流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	堰下水 位/m
20 年设计值		3 200	8.75	500	8.98
一遇数值计算值		3 170	8.803	530	8.969
	流量相差百分数	-0.9%	0.053	6%	-0.011
	/水位相差值				
50 年设计值		3 560	8.97	600	9.21
一遇数值计算值		3 550	8.951	610	9.194
	流量相差百分数	-0.3%	-0.019	1.7%	-0.016
	/水位相差值				
100 年设计值		3 560	8.97	600	9.21
一遇数值计算值		3 550	8.951	610	9.194
	流量相差百分数	-0.3%	-0.019	1.7%	-0.016
	/水位相差值				
200 年设计值		5 080	10.07	1 600	10.32
一遇数值计算值		5 055	10.072	1 625	10.320 4
	流量相差百分数	-0.5%	-0.002	1.6%	0.000 4
	/水位相差值				

注:流量相差百分数=(数值计算值-设计值)/设计值×100%;水位相差值=数值计算值-设计值。

参考文献:

- [1] 赵雪萍,李宜伦,赵玉良,等. 前坪水库泄洪洞泄流能力及冲刷消能试验研究[J]. 人民黄河,2021,43(4):134-136.
- [2] 吴英卓,姜伯乐,何勇. 大淹没度低堰泄流能力研究[J]. 长江科学院院报,2013,30(8):21-24.
- [3] 薛联青,成诚,汪露,等. 洪泽湖中低水位下泄流能力数值模拟[J]. 水资源保护,2022,38(5):32-38.
- [4] 宋剑鹏,易平. 高坝溢流边表孔体型优化研究[J]. 中国农村水利水电,2017(6):138-141.
- [5] 中华人民共和国水利部. 水工(常规)模型试验规程:SL155-2012[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [6] 中华人民共和国水利部. 河工模型试验规程:SL99-2012[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

Study on Diversion Ratio and Discharge Capacity of Baiyangdian Double-discharge Project

REN Quan-chao¹, ZHENG Qian², REN Yan-fen^{3,4,5}, PAN Li^{3,4,5}, WANG Ming^{3,4,5}

(1. China Xiongan Group Ecological Construction Investment Co. LTD., Baoding 071700, China; 2. Tianjin Ren'ai College, Tianjin 301636, China; 3. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 4. Key Laboratory of Lower Yellow River Channel and Estuary Regulation of the Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China; 5. Henan Key Laboratory of Ecological Environment Protection and Restoration in the Yellow River Basin, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Taking double-discharge building in branching stream of Baiyang Lake as an example, the relationship between water level and discharge capacity of only spillway gate and overflow weir was determined by model test, and then the mutual influence between them was determined by numerical simulation. The method of combined model test and numerical simulation to determine the diversion ratio and discharge capacity were explored. Through this method, the diversion ratio of the spillway gate and the overflow weir and the water level under the gate and weir were obtained. Compared with the design value, the difference is very small within 6%. The results show that the discharge capacity of the spillway gate and overflow weir mainly meet the requirements.

Key words: double-discharge project; model test; numerical simulation; diversion ratio; discharge capacity