

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2020.01-08

某水库溢洪道优化设计模型试验研究

徐高瑞

(新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州昌吉市努尔加水库建设管理处, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 泄流消能设施的合理设计对保证水利工程的安全运行具有重要意义。本文采用模型试验的方法对某水库溢洪道结构设计进行优化研究。试验结果显示, 溢洪道原设计方案的泄流能力不能满足设计要求, 一级泄槽和二级泄槽段边墙高度较低, 富余度明显不足, 迷宫堰的背坡面部位存在比较明显的负压区。针对原设计方案, 提出了增加迷宫堰的总宽度, 缩短泄槽段长度, 增加溢洪道泄槽段边墙高度, 减小泄槽进口的宽度以及增加挑流鼻坎长度的优化方案。优化方案条件下的过流能力和边墙高度满足过流要求, 沿程基本无负压, 空化影响可以忽略不计, 下游冲刷不会对工程运行造成比较明显的负面影响, 基本满足设计要求, 建议在工程设计中采用。

关键词: 溢洪道; 优化设计; 模型试验

中图分类号: TV131.61 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2020)01-0051-06

1 工程概况

某新建水库的主要任务是城市供水, 同时兼具防洪和下游农业灌溉条件的改善, 设计库容为 1.6 亿 m^3 , 工程等级为 II 等。水库的永久性建筑物主要包括大坝、副坝、溢洪道和输水设施, 水库大坝为混凝土重力坝, 最大坝高 51.60m, 设计洪水为百年一遇, 校核洪水为千年一遇。水库预计 2018 年开工建设, 2020 年 10 月全部完工。溢洪道设计在大坝右岸, 全长 663.53m, 主要由引渠段、控制段、泄槽段、挑坎段和出水渠段组成, 其工

程布置图如图 1 所示。其中, 溢洪道进口为三段弧门控制, 控制段为迷宫堰设计, 泄槽段分为两级, 每级由渐变段和等宽段两部分组成, 挑流段采用圆弧曲线, 挑角 27° 。

2 模型制作

试验中依据重力相似准则进行试验模型设计, 比尺为 1:60^[1]。模型的制作范围包括高程 680.00m (黄海高程, 下同) 以下库区地形, 溢洪道所在的大坝右岸 645.00m 高程以下, 左岸 625.00m 高程以下的河道地

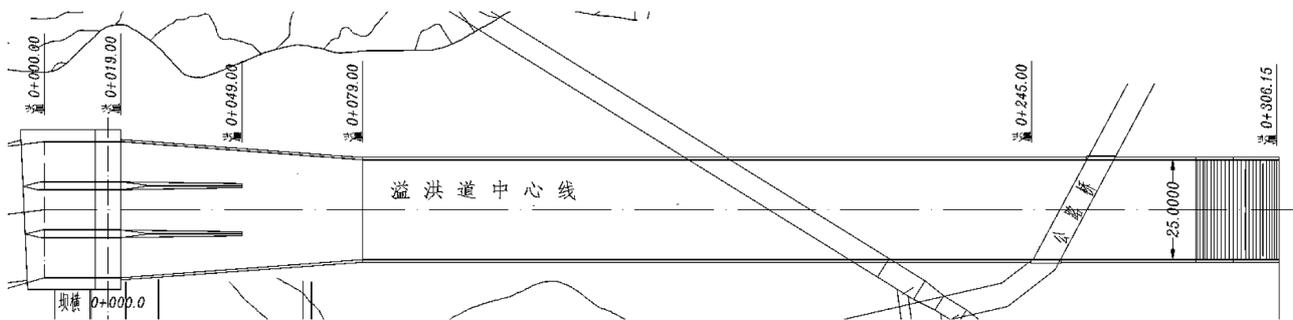


图 1 溢洪道工程布置简图

收稿日期: 2019-09-30

作者简介: 徐高瑞(1981-), 男, 大学本科, 工程师。

形。为了拟合混凝土糙率,溢洪道的引渠段、控制段、泄槽段和挑坎段均采用有机玻璃制作,误差不超过1%^[2],其余部分均采用PVC板材制作,误差不超过2%^[3]。在溢洪道的出口挑坎段的护坦末端设置长度为65.00m的矩形冲坑。

试验过程中使用刻度尺测量水深,压强使用ZY-31测压管测量,流量则采用宽薄壁量水堰测量,试验流速采用毕托管测量。在溢洪道的控制段、泄槽段以及挑坎段设置71个测压孔^[4]。

根据水库设计资料,本次模型试验的工况如表1所示。

表1 试验工况设计补上溢洪道消能工况的试验数据

编号	工况1	工况2
洪水频率	1%	0.1%
洪水特征	设计洪水	校核洪水
洪峰流量/(m ³ /s)	1 015	1 540
洪水位/m	674.23	675.75
下泄流量/(m ³ /s)	955.57	1 430.38

研究过程中按照上述设计制作好溢洪道试验模型,并在模型上布置好压强和流速测点,然后在不同工

况下展开模型试验,并测量和记录相关参数^[5]。

3 设计方案试验结果与优化

3.1 设计方案试验结果

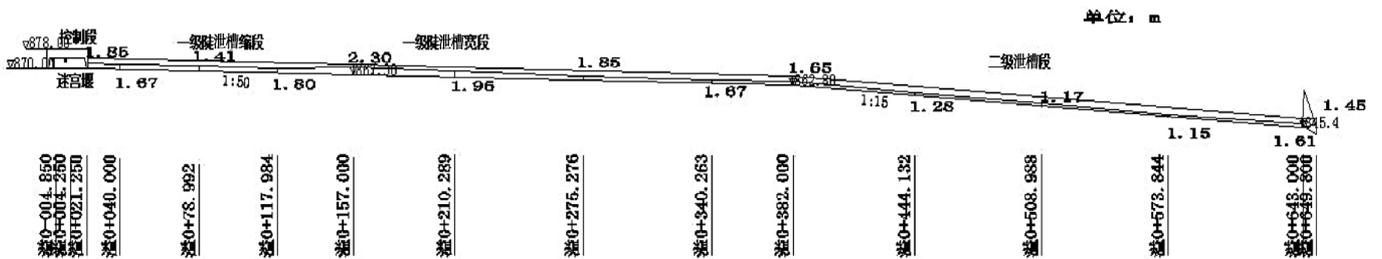
利用模型试验的方法对原设计方案下的溢洪道泄流能力、水流的流速、流态和压强等水力特征进行试验,结果显示:

原设计方案的溢洪道泄流能力不能满足设计要求,在设计水位条件下,实测流量为259.95m³/s,比设计值356.11m³/s小27.00%;在校核洪水条件下,试验实测值为627.92m³/s,比设计值821.47m³/s小23.56%。

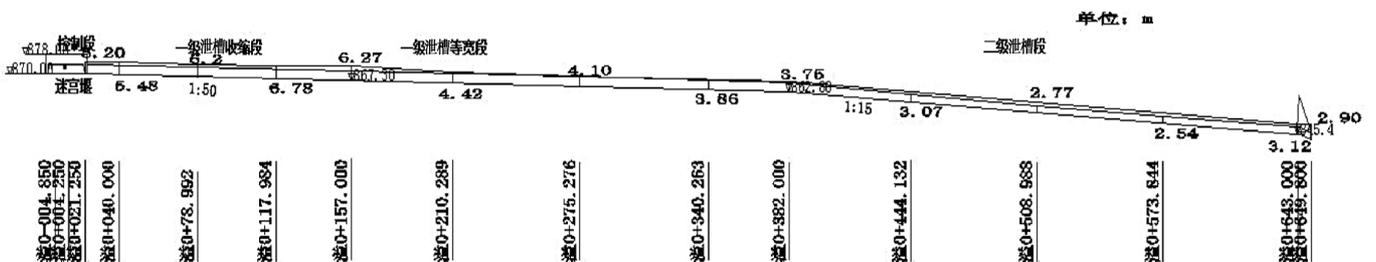
由图2所示的设计方案溢洪道水面线图可知,溢洪道泄槽段的一级泄槽和二级泄槽桩号0+381.057~0+456.112段边墙高度较低,在设计洪水条件下富余度明显不足,在校核洪水条件下甚至有部分区域存在水流溢出,说明边墙高度不能满足过流要求。

原设计方案的溢洪道流速在各种工况下均呈现出沿程增加的特点,且变化比较平缓,最大流速出现在挑坎部位,最大流速为19.28m/s,在迷宫堰的下游宫室部位存在较小的负流速现象,其余部位流速均为正值。

从底板压强来看,在迷宫堰的背坡面部位存在比较明显的负压区,由于负压区的存在,会诱发严重的水



(a) 设计工况溢洪道水面线图



(b) 校核洪水流量溢洪道水面线图

图2 设计方案溢洪道水面线图

流空化现象,不利于堰面的安全稳定^[6]。溢洪道其余部分的压强均为正值,但是压强的起伏变化比较显著。

3.2 原方案优化设计

针对模型试验中暴露出的溢洪道原设计方案的缺陷与不足,结合工程的具体特点以及相关工程经验和研究成果,对原设计方案进行如下优化改进^[7-8]:增加迷宫堰的总宽度,由原来的 46.00m 增加至 52.00m;延长陡坡段的一级泄槽末端的长度,由原来的 187.00mm 增加到 200.00m,其余结构桩号顺延;增加溢洪道泄槽段的一级泄槽和二级泄槽桩号 0+381.057~0+456.112 段边墙高度,由原来的 4.00m 增加至 6.00m;减小泄槽进口的宽度,由原来的 52.00m 收窄至 46.00m;挑流段的挑流鼻坎长度由原方案的 5.00m 增加至 10.00m。

4 优化设计方案试验结果与分析

4.1 库水位与泄流量之间的关系

按照优化方案重新制作模型并在不同工况下进行试验,获得如表 2 所示的试验值与设计值。由表中的结果可知,在溢洪道结构设计优化之后,由于堰宽的增加,过流能力明显提高,在不同工况下试验流量值均大于设计值,说明溢洪道结构优化后的过流能力完全满足设计要求。

4.2 水流流态

表 2 优化方案库水位与泄流量试验结果

试验工况	工况 1	工况 2
设计流量/(m ³ /s)	356.11	821.47
试验流量/(m ³ /s)	360.24	828.96
流量增大百分数	0.28	0.91

模型试验过程中观察不同工况下的溢洪道各部位水流流态,当库水位高于堰顶的 674.00m 高程时,水流通过溢洪道引水渠沿着控制段迷宫堰下泄,在下游宫室内受到侧堰水流收缩、碰撞,产生紊动流向下游泄槽段,并以成股交错的急流状态经过一级和二级泄槽,在二级泄槽下游由挑流坎挑射出去,在库水位为 674.83m,下泄流量大于 177.58m³/s 时,挑流坎水流开始起挑,并且随着水库泄流量的增加,水流的挑射逐渐增加。试验过程中测定,在工况 1,即设计洪水条件下,挑射水流的最大挑距为 26.65m,在校核水位工况下,挑射水流的最大挑距为 48.08m。当水库以小流量泄洪时,出水渠段水流均匀,流态平稳,当大流量高水位泄洪时,水流紊动比较明显,挑距较长,因此将大量泥沙冲刷至出水渠外。

4.3 沿程水深

在试验过程中测量了溢洪道在两种不同工况下的

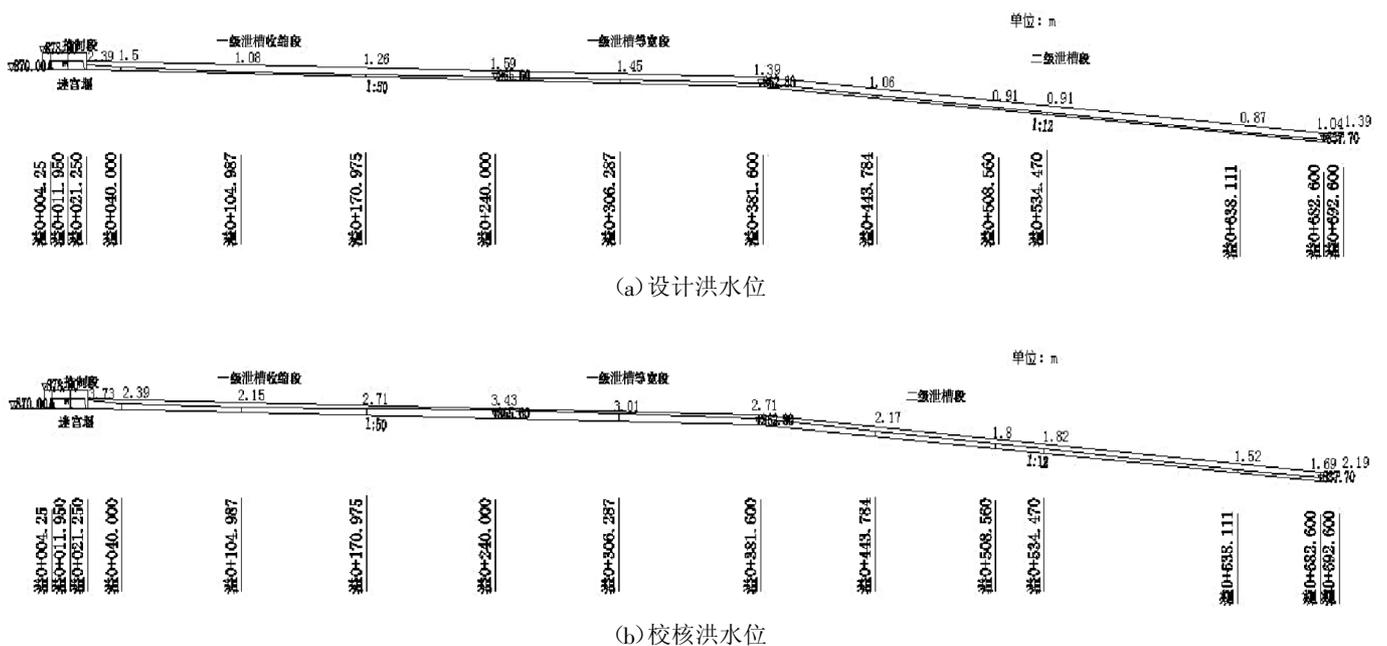


图 3 优化设计方案溢洪道水面线图

沿程水深，获得如图3所示的优化设计方案的水面线图。从实测结果来看，各断面的实测最大水深均明显小于对应部位的边墙高度，说明边墙高度满足过流要求。

4.4 底板压强

利用模型上布置的测压孔，对优化方案条件下的溢洪道各部位压强进行测试，根据实测数据绘制出图4

所示的溢洪道各部位压强分布图。由图可知，在各工况下，仅有迷宫堰部位的一个测压孔出现负值，为下泄水流的交错碰撞产生。由于负压的数值较小，不会对迷宫堰的堰面产生明显的不利影响。其余部分沿程压强均为正压，除了二级泄槽与挑流坎衔接部位由于水流受到明显的向心作用而产生压强突变之外，其余部位

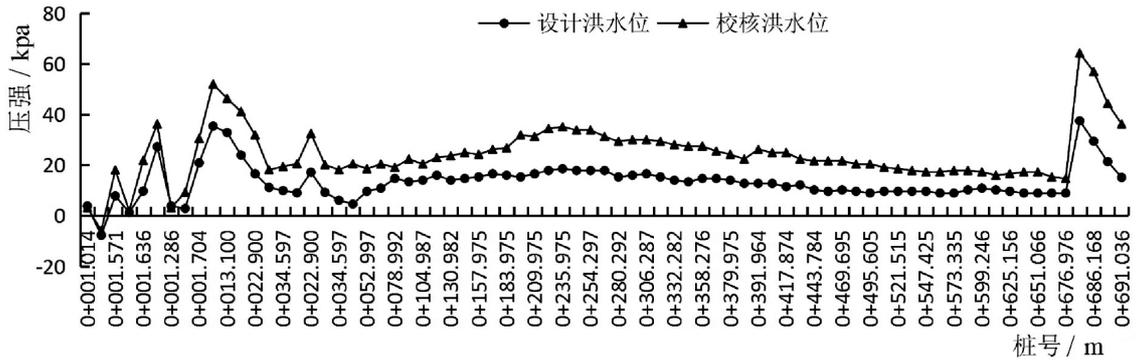


图4 溢洪道各部位压强分布图

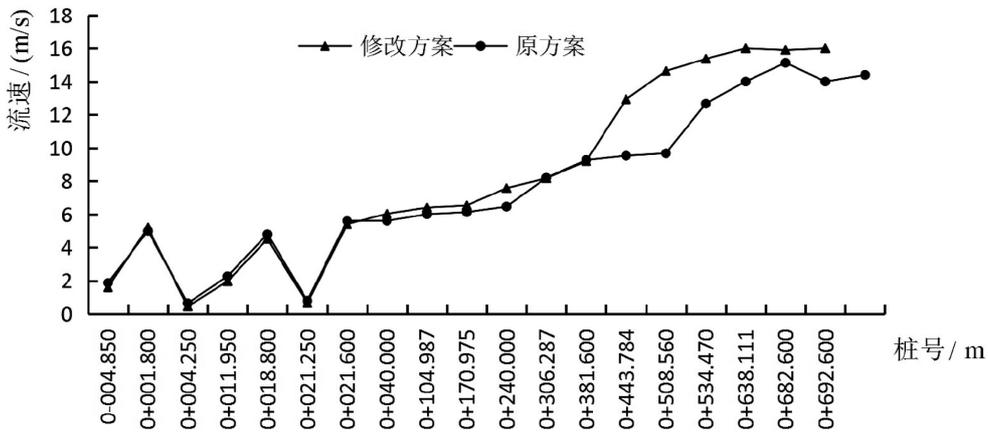


图5 设计工况溢洪道各段流速对比

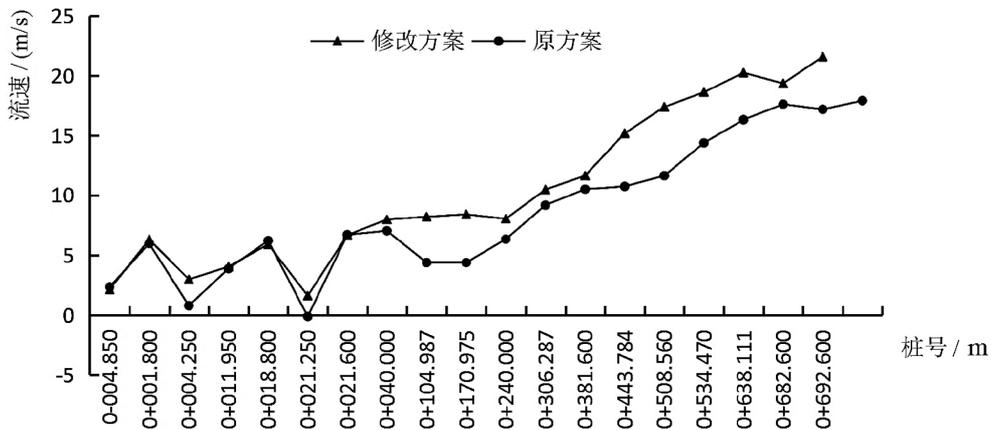


图6 校核工况溢洪道各段流速对比

压强的变化十分平稳。

4.5 流速分布

在模型试验过程中, 对不同工况下的沿程流速进行测定, 根据测定结果绘制出如图 5 和图 6 所示的不

表 3 泄槽段水流空化数估算结果

断面编号	桩号	高程/m	水流空化数	
			工况 1	工况 2
046	0+455.630	655.427	1.56	2.05
047	0+468.585	654.348	1.45	0.99
048	0+481.540	653.268	1.39	0.81
049	0+494.595	652.189	1.29	0.71
050	0+507.450	651.109	1.21	0.73
051	0+520.405	650.029	1.20	0.82
052	0+533.360	648.950	1.27	0.75
053	0+546.315	647.870	1.12	0.66
054	0+559.270	646.791	1.13	0.54
055	0+573.335	645.711	1.14	0.52
056	0+586.290	644.632	1.19	0.55
057	0+599.246	643.552	1.00	0.57
058	0+612.201	642.472	1.11	0.54
059	0+625.156	641.393	1.18	0.53
060	0+638.111	640.313	2.13	1.56
061	0+651.066	639.234	2.14	1.64
062	0+663.038	638.236	2.18	1.68
063	0+676.976	637.074	1.16	0.54

同工况下沿程流速的优化方案与原方案的对比结果。由图可知, 两种不同工况下, 迷宫堰段的最大流速为 6.0m/s, 一级泄槽和二级泄槽的断面最大流速分别为 10.0m/s 和 18.0m/s 左右, 流速最大的部位为挑坎段, 其断面最大流速在 20.0m/s 左右。总体而言, 优化方案和原设计方案相比, 溢洪道各段的流速值相差不大, 根据相关研究成果和工程经验, 该流速不会对溢洪道结构造成明显的不利影响。

4.6 空化数估算结果分析

根据相关研究成果和工程经验, 溢洪道陡坡段是最容易发生空化空蚀破坏的部位, 因此, 研究中针对优化设计, 利用实测数据对不同工况下的溢洪道容易发生空化的二级泄槽段和挑坎段的水流空化数进行估算, 估算方法利用的是《水力计算手册》中给出的方法, 估算结果如表 3 所示。由计算结果可知, 水流空化数呈现出沿泄槽不断减小的趋势, 二级泄槽段水流空化数较小。因此, 在施工过程中应该加强工程质量管理, 保证施工平整度, 降低泄槽段遭受空化水流的破坏作用。

4.7 下游冲刷试验

为了进一步研究挑流消能效果, 观测了挑流坎下游的冲刷情况, 结果如表 4 所示。由表中的结果和下游冲刷形态可知, 冲刷最深点与出水渠进口有相对富裕的位置使挑射水流全部落入冲刷坑而不淘刷出水渠进口位置底部, 不会对工程的稳定运行造成明显的不利影响。

5 结 语

(1) 某水库溢洪道原设计方案的下泄流量较设计

表 4 最深冲点特征值

位置	设计洪水位	校核洪水位	
挑坎末端齿墙	最低冲刷高程/m	635.24	635.20
	低于出水渠进口深度/m	-7.08	-7.04
	最低冲刷高程	628.93	614.89
下游河道最深点	低于出水渠进口深度/m	-0.77	1.33
	距离护坦末端距离/m	11.70	55.25

数值严重偏小,不能满足泄洪要求;泄槽段部分边墙高度较低,不能满足过流要求;在迷宫堰的背坡面部位存在比较明显的负压区,不利于堰面的安全稳定。

(2) 针对模型试验中暴露出的溢洪道原设计方案的缺陷与不足,结合工程的具体特点以及相关工程经验和研究成果,对原设计方案进行优化,并根据优化方案重新制作模型进行试验。

(3) 优化方案条件下,溢洪道水流流态明显改善,溢洪道的过流能力和边墙高度满足过流要求,沿程基本无负压,水流空化数均在0.5以上,空化影响可以忽略不计,故优化后的方案完全满足设计要求,建议在工程设计中采用。

(4) 在优化方案下,各种工况的下泄水流均可以在挑流坎后形成挑射水流,且全部进入冲刷坑,不会对工程运行造成不利影响;鉴于下游水流流速较大,仍旧会对下游河床造成一定冲刷,建议在工程设计中加强挑流鼻坎出口段河床的防护。

参考文献:

- [1] 耿敬,马世领,李刚,等. 龙头桥水库溢洪道流场数值模拟及优化研究[J]. 水力发电学报,2017,36(10):74-83.
- [2] 周苏芬,邵仁建,陈斌. 某水库台阶式溢洪道优化试验研究[J]. 人民珠江,2017,38(10):12-16.
- [3] 朱翠民,皇甫泽华,皇甫明夏,等. 基于水工模型试验的前坪水库溢洪道优化设计研究[J]. 水力发电学报,2019,38(01):111-120.
- [4] 周苏芬,郭年华,黄志文,等. 寒山水库岸边式溢洪道进水渠道墙体型优化试验研究[J]. 中国农村水利水电,2019(08):150-152+157.
- [5] 于沐,陈祖煜,杨小川,等. 淤地坝柔性溢洪道泄流模型试验研究[J]. 水利学报,2019,50(05):612-620.
- [6] 夏明月. 鱼嘴坳水电站溢洪道复合消能设计及物理模型试验研究[J]. 水利规划与设计,2019(05):72-75.
- [7] 简鸿福,吕辉,唐波华,等. 军民水库溢洪道堰面水动力特性试验研究[J]. 水利与建筑工程学报,2018,16(05):213-218.
- [8] 马欣,邱勇,焦萱,等. 峡谷型水库溢洪道迷宫堰过流能力数值模拟[J]. 水电能源科学,2018,36(09):107-109+166.

编辑:张绍付

Model test of spillway optimization design for a reservoir

XU Gaorui

(Nurga Reservoir Construction Management Office of Changji City, Changji Hui Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Changji 831100, Xinjiang)

Abstract: The reasonable design of discharge and energy dissipation facilities is of great significance to ensure the safe operation of water conservancy projects. According to the design data of a reservoir, the hydraulic test model is made, and the structural design of spillway is optimized by the method of model test. The research results show that the discharge capacity of the original design scheme of the spillway can not meet the design requirements, the height of the side walls of the first and second stage steep slopes is low, the margin is obviously insufficient, and there is a relatively obvious negative pressure area on the back slope face of the labyrinth weir. According to the original design scheme, the optimization scheme is proposed to increase the total width of labyrinth weir, shorten the length of steep slope section, increase the height of side wall of steep slope section of spillway, reduce the width of chute inlet and increase the length of flip bucket. The model test results show that the flow capacity and the height of the side wall under the condition of the optimized scheme meet the flow requirements, there is basically no negative pressure along the way, the cavitation effect can be ignored, and the downstream scouring will not have a significant negative impact on the operation of the project, fully meeting the design requirements, which is recommended to be used in the engineering design.

Key words: spillway; optimal design; model test

翻译:徐高瑞