

Drainage structure of a reservoir based on hydraulic model test Optimization design research

Hongquan Jia

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Carry out hydraulic model tests to verify the rationality of the design and the safety of operation of the spillway structure of a certain project. Through model tests, the discharge capacity of the spillway structure, water depth and flow pattern distribution were investigated, with the aim of optimizing the design scheme. The results show that the discharge capacity of the spillway structure meets the design requirements. The original design featured significant lateral circulation within the curve dissipating basin and the outflow channel, and severe water overflow from the side walls. After design optimization, the hydraulic performance of the dissipating basin and the discharge channel has been significantly improved. The research results can provide useful references for verifying the design outcomes of similar spillway structures.condition.

Keywords

Discharge structure; Model test; Dissipation Basin; Optimization

基于水工模型试验的某水库泄水建筑物优化设计研究

贾洪全

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

开展水工模型试验研究以验证某工程泄水建筑物设计的合理性和运行的安全性。通过模型试验, 探究泄水建筑物的泄流能力、水深和流态分布等, 以此优化设计方案。结果表明: 泄水建筑物的泄流能力满足设计要求; 原设计方案曲线消力池和退水渠内横向环流明显, 边墙翻水严重; 经设计优化后, 消力池和退水渠的水力学性能显著改善。研究结果可为类似泄水建筑物设计成果校验提供有益参考。

关键词

泄水建筑物; 模型试验; 消力池; 优化

1 工程概况

某水库为Ⅳ等小(1)型工程(见图1), 工程主要由非溢流坝段、溢流坝段、泄洪排沙洞、灌溉放水管等组成, 均为4级建筑物。水库正常蓄水位和设计洪水位1711.00m, 相应库容874万 m^3 , 校核洪水位1712.20m, 水库总库容964万 m^3 。设计和校核洪水标准分别为50年和500年一遇, 相应洪峰流量分别为683 m^3/s 和1332 m^3/s 。泄水建筑物消能防冲洪水标准为20年一遇, 相应洪峰流量454 m^3 。

溢流坝段布置在泄洪排沙放空洞左侧, 包括坝身控制段、泄槽段、联合消力池段、退水渠段, 设计和校核洪水工况泄量分别为237 m^3/s 和874 m^3/s 。控制段为开敞式WES堰, 单孔, 堰宽12.0m, 堰顶高程1702.00m。上游堰面铅

直, 下游段堰面曲线采用幂曲线, 方程为 $Y=0.085378x^{1.85}$ 。泄槽由陡坡段和反弧段组成, 宽度同堰宽。消力池为异形转弯贴坡消力池, 宽25m, 长75m, 底板高程1670.00m, 宽25~31.94m, 边墙垂直高度16m, 尾坎高6m, 消力池末端衔接退水渠。退水渠长23.86m, 底板高程1677.00m, 底宽31.94~45.20m, 边墙垂直高度10m, 退水渠末端设置深7.5m的防冲齿墙, 与下游原河道衔接。

泄洪排沙放空洞由进口闸井段、陡槽段、联合消力池段和退水渠段组成, 设计和校核洪水工况泄量分别为446 m^3/s 和458 m^3/s 。进口闸井底板高程1682m, 工作弧门尺寸(宽×高)5m×5m。陡槽与闸底板以渥奇曲线相接, 长9.273m, 渥奇曲线后接坡度1:2.2的直线段, 长度为10.323m; 后接反弧与消力池底板相接。陡槽段底宽从5m渐扩为8m。灌溉放水管进口闸井布置在泄洪排沙放空洞进口闸井右侧, 在运行期用于下游生态和灌溉放水。

【作者简介】贾洪全(1993-), 男, 中国四川南充人, 硕士, 工程师, 从事水利水电工程勘察设计研究。

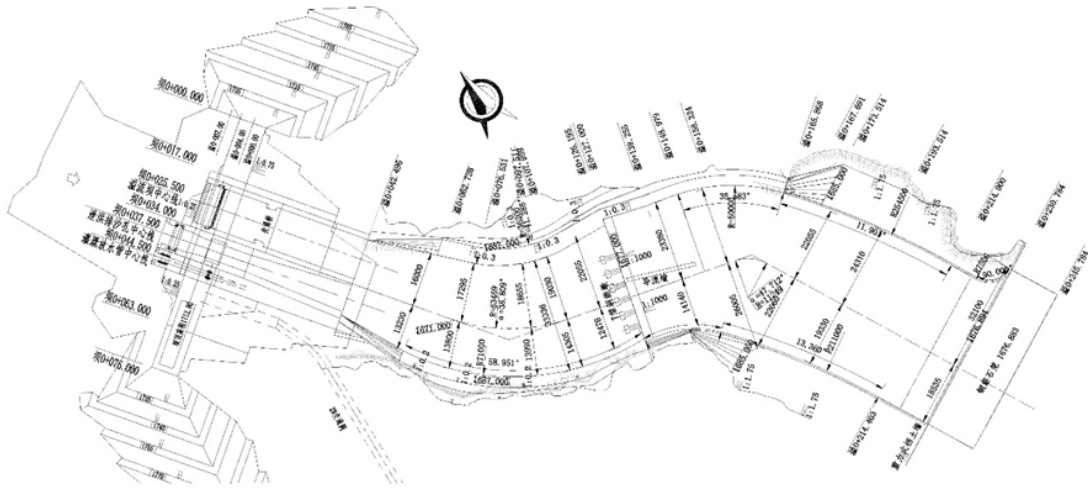


图1 工程平面布置图

2 试验设计

水工模型试验遵循重力相似准则^[1], 模型试验比尺见表1。模型试验糙率 $n_m=0.0085$, 建筑物模型高程允许误差为 $\pm 0.3\text{mm}$, 地形高程允许误差为 $\pm 2\text{mm}$, 平面距离允许误差为 $\pm 10\text{mm}$; 水准基点和测针零点允许误差为 $\pm 0.3\text{mm}$ 。水位量测采用水位测针、钢板尺及水准仪等, 流量量测采用矩形薄壁堰。

2.1 原方案试验设计

根据工程运行情况, 泄水建筑物运行工况见表2。泄水建筑物原设计方案测量断面布置见图2。

2.2 优化方案试验设计

优化溢流坝段的 WES 堰面曲线和反弧段、泄洪排沙洞的渥奇曲线和反弧段, 缩短总长度, 中隔墩桩号由溢/泄 0+054.0m 前移至溢/泄 0+042.496m。同时在联合消力池末

端等间距布置6个长3.4m、高1.1m的T型墩。溢流坝与泄洪排沙洞联合消力池沿程共布置41个测量断面(见图3)。

表1 水工模型试验特征比尺

特征参数	换算关系	相似比尺
长度比尺	λ_l	40
流量比尺	$\lambda_Q = \lambda l^3$	10119.289
流速比尺	$\lambda_v = \lambda l^{1/2}$	6.325
压强比尺	$\lambda_p = \lambda_l$	40
时间比尺	$\lambda_t = \lambda l^{1/2}$	6.325
糙率比尺	$\lambda_n = \lambda l^{1/6}$	1.849
泥沙粒径比尺	$\lambda_{vs} = \lambda_l$	40

表2 水工模型试验测定工况

工况	设计方案	运行方式	控制水位与流量	
			水位 (m)	出口流量 (m ³ /s)
1	原设计方案	溢流坝段局开 + 泄洪排沙洞敞泄 (设计工况)	1711 (设计洪水水位)	683
2		溢流坝段敞泄 + 泄洪排沙洞敞泄 (校核流量工况)	/	1332 (校核流量)
3		溢流坝段敞泄 + 泄洪排沙洞敞泄 (校核洪水水位工况)	1712.2 (校核洪水水位)	/
4	优化设计方案	泄洪排沙洞局开 + 溢流坝全关 (消能防冲标准工况)	1711 (正常蓄水位)	454
5		溢流坝段局开 + 泄洪排沙洞敞泄 (设计工况)	1711 (设计洪水水位)	/
6		溢流坝段敞泄 + 泄洪排沙洞敞泄 (校核洪水水位工况)	1712.2 (校核洪水水位)	/

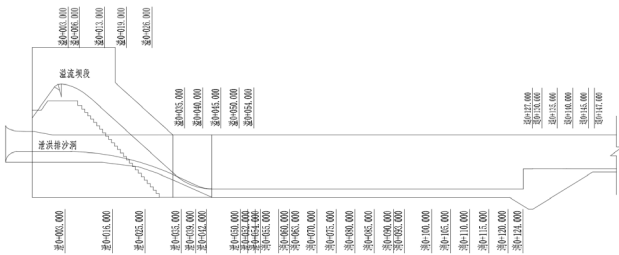


图2 原设计方案泄水建筑物测点布置图

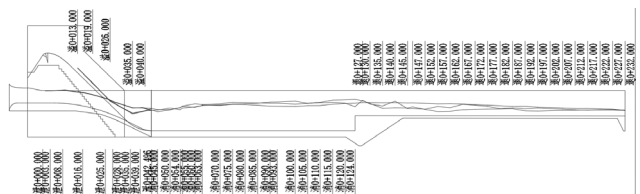


图3 优化方案泄水建筑物测点布置图

3 结果与分析

3.1 泄流能力

设计工况下,通过溢流坝段闸门开启程度控制总泄量,泄流能力无需验证。校核工况下,泄流能力结果见表3。由表3可知,总泄量达到校核流量时,原设计和与优化设计方案的实际库水位分别为1711.88m和1711.48m,低于校核洪水水位0.32m和0.72m。校核洪水水位工况下,原设计方案和与优化设计方案的总泄量分别为1357.05m³/s和1370.95m³/s,超泄25.05m³/s和38.95m³/s。由此可知,校核洪水工况下,泄流能力满足泄洪要求。方案优化后,校核流量下的水位和校核洪水水位下的泄量分别降低0.4m和增加13.9m³/s,泄流能力明显增加。

表3 校核工况下泄水建筑物泄流能力统计表

工况类型	控制参数	项目	数值		
			原方案	优化方案	设计值
校核工况	出口流量 1332m ³ /s	库水位 (m)	原方案	1711.88	1712.2
			优化方案	1711.48	1712.2
	库水位 1712.2m	流量 (m ³ /s)	原方案	1357.05	1332
			优化方案	1370.95	1332

3.2 水深和流态

原设计方案各工况下泄水建筑物的水面线见图4-6。由图可知,设计工况下消力池沿程最大水深发生在消0+93.0m右岸,为11.7m,低于边墙高度(16.0)4.3m。校核流量工况最大水深发生在消0+100.0m右岸处,为18.77m,翻水高度2.77m;校核洪水水位工况最大水深发生在消0+90.0m处右岸处,为19.67m,翻水高度3.67m。设计工况,左右岸最大水位差为3.21m,校核流量工况下,左右岸最大水位差为6.60m,较设计工况增加3.55m;校核洪水水位工况下,左右岸最大水位差为11.74m,较设计工况增加8.69m。

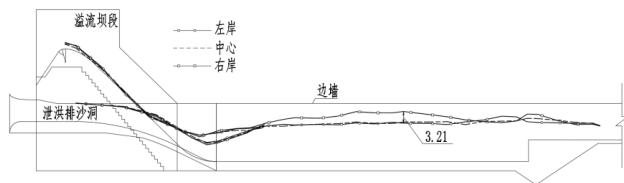


图4 原设计方案设计洪水工况水面线

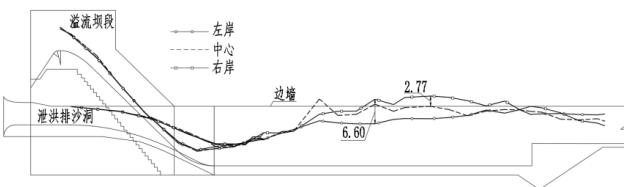


图5 原设计方案校核流量工况水面线

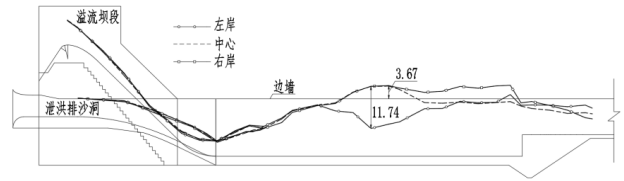


图6 原设计方案校核洪水水位工况水面线

设计工况下,池内两岸水深差相对较小,未出现边墙翻水现象。而校核流量和校核洪水水位工况下,池内产生横向环流明显,左右岸水位差增加,导致消力池右岸中后段出现翻水现象。不良水力现象产生的原因:受现场地形限制,消力池采用曲线形,直线下泄水流由于受到曲面边墙的约束,产生弯道离心效应,导致水流流速分布不均,凹岸流速大于凸岸,产生逆时针横向环流。同时因为弯道离心效应导致水流向凹岸聚集,所以右岸水深普遍大于左岸,且泄量越大左右岸水位差越大。

综上所述,各工况下联合消力池和退水渠内均存在不同程度的横向环流,导致较大的水位差,需要优化泄水建筑物设计改善水力学性能。本工程通过优化泄水建筑物体型和在消力池增设辅助消能设施的方式来优化其水力学性能^[2-4]。

3.3 优化后泄水建筑物的水力学特性

优化方案各工况下泄水建筑物的水面线见图4-9。由图可知,3种工况下优化方案的消力池和退水渠的沿程最大水深均出现右岸,分别为11.52m、12.51m、17.91和5.58m、6.12m、9.09m,仅校核洪水工况下消力池右岸出现翻水。消力池右岸边坡岩性为白云岩,弱风化饱和抗压强度45.5MPa,临时性局部翻水不会影响边坡稳定和结构运行安全。设计和校核洪水工况,消力池左右岸的最大水位差分别为2.13m和3.96m,较原设计方案分别减小1.08m(3.21m)和7.78m(11.74m),退水渠左右岸的最大水位差分别为2.16m和2.97m,较原设计方案分别减小0.05m(2.21m)和0.54m(3.51m)。各工况下联合消力池的横向环流和退水渠的折冲波现象大幅减弱,这与消力池和退水渠左右岸水位差减小相对应。由此可见,溢流坝段和泄洪排沙洞的设计优化效果显著,成功消弱了消力池的横向环流,水力学改善效果明显。



图7 优化方案消能防冲工况水面线

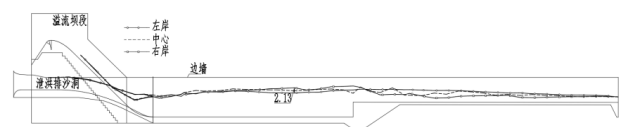


图8 优化方案设计洪水工况水面线

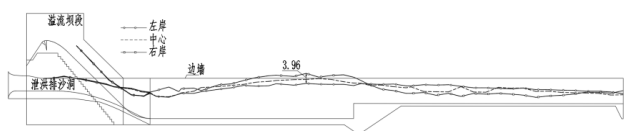


图9 优化方案校核洪水工况水面线

4 结语

通过水工模型试验,从水面线和流态等方面,成功验证了各工况下泄水建筑物的水力学特性和设计方案合理性,为设计方案优化提供了可靠依据。根据模型试验结果,通过优化泄水建筑物体型、在曲线形消力池末端设置T型消能

墩和退水渠设置导流墩等方式,成功改善了消力池和退水渠的水深、流态等,优化设计效果显著。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 胡欣, 邱勇. 曲线形底流消能工设计应用[J]. 水利科技与经济, 2016, 22(3): 6-9.
- [3] 贾洪全. 基于水工模型试验的某水库溢洪道优化设计[J]. 水利技术监督, 2024(6): 150-154.
- [4] 罗昌辉. 表孔溢洪道水工模型试验研究[J]. 吉林水利, 2024(6): 11-15.