

消力池内悬栅辅助消能工优化试验

吴战营^{1,2}, 牧振伟¹

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:针对新疆迪那河五一水库溢洪洞消力池原设计方案不能满足正常宣泄洪水的问题,对消力池内梯形墩和T形墩的位置、数量和尾坎高度等进行调整,设计了17种消力池修改方案,并采用悬栅与梯形墩联合运用的综合式消力池,通过对悬栅优化方案的比选和悬栅高度的合理性验证,最终确定了溢洪洞消力池悬栅消能工的最佳方案进行优化。试验结果表明:悬栅消能工的设置解决了原设计方案水流溢出池外、不能形成淹没水跃的问题;消力池池长由原设计方案的83 m缩短至70 m,避免了工程投资的增加。

关键词:悬栅;梯形墩;T形墩;淹没水跃;消力池;消能工

中图分类号:TV653 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)01-0027-05

An experimental study on optimization of suspended grid auxiliary energy dissipator in stilling basin//WU Zhanying^{1,2}, MU Zhenwei¹ (1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Water Conservancy and Electricity Survey and Designing Institute, Urumqi 830000, China)

Abstract: The original design of a stilling basin of a spillway tunnel in the Wuyi Reservoir on the Dina River in Xinjiang cannot meet the requirement of normal discharge. In order to solve this problem, the position and number of a trapezoidal pier and a T-shaped pier and the height of an end sill were adjusted, and a modification scheme for the stilling basin was designed. A comprehensive stilling pool was constructed through integrated use of the suspended grid and trapezoidal pier. Through comparison of the suspended grid optimization schemes and rationality verification of the height of the suspended grid, the preferred scheme for the suspended grid energy dissipator in the stilling basin of the spillway tunnel was ultimately determined. Experimental results show that the suspended grid energy dissipator overcame the problem of the water overflowing the stilling basin and could not form the submerged hydraulic jump. Compared with the original design scheme, the length of the stilling basin decreased from 83 m to 70 m, avoiding the increase of project investment.

Key words: suspended grid; trapezoidal pier; T-shaped pier; submerged hydraulic jump; stilling basin; energy dissipator

消力池是一种常见底流消能形式^[1-5],但其消能效率通常较低,工程量较大,因此通常需设置各种形式的辅助消能工^[6-9]。近年来,我国学者对辅助消能工的水力特性研究较多,并取得了一些研究成果。悬栅消能工是一种消能率较高的新型辅助消能工^[10],在消力池内利用水跃和悬栅共同消能,但不同于设置悬栅的泄水陡槽。悬栅消能工和其他辅助消能工联合运用的情况未见报道,深入研究悬栅消能工与其他辅助消能工联合运用的形式对改善消力池内水流流态和优化悬栅辅助消能工结构具有重要的现实意义。本文以新疆迪那河五一水库溢洪洞消力池水力学模型为例,采用试验方法研究梯形墩、T

形墩、悬栅等辅助消能工联合运用情况下的水力特性和消能效率。

1 工程概况

迪那河五一水库枢纽工程位于新疆巴音郭楞蒙古自治州轮台县群巴克乡境内,距轮台县以北40 km,是迪那河干流上的控制性工程,具有供水、防洪、灌溉等综合效益,由大坝、溢洪洞、导流兼泄洪冲砂洞、发电引水隧洞和压力管道等主要建筑物组成。水库正常蓄水位1 370.00 m,最大坝高102.5 m,设计洪水位1 370.69 m,校核洪水位1 373.17 m,初期导流最高水位1 321.29 m,后期导流最高水位1 334.26 m,溢洪洞

基金项目:水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放研究基金(sklhse-2013-B-01)

作者简介:吴战营(1986—),男,河南许昌人,硕士研究生,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:wzy312328548@sina.cn

通信作者:牧振伟(1973—),男(回族),河南南阳人,教授,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:xjnmzw@163.com

设计流量 $1351.97\text{ m}^3/\text{s}$,校核流量 $1767.16\text{ m}^3/\text{s}$ 。溢洪洞布置在左岸导流兼泄洪冲砂洞的外侧,其轴线与坝轴线的夹角为 68° ,由进口引渠段、控制段、洞身段、陡坡段、消力池段及出口明槽段组成。进口引渠为复式梯形断面,长 426.106 m ,底板高程 1353.50 m ,底板宽度 15 m 。控制段为开敞式进口,采用 WES 堰型,堰顶高程 1358.00 m ,堰宽 15 m 。控制段设平板检修门、弧形工作门各 1 道。洞身纵坡为 0.05 ,采用城门洞形断面。消力池长 83 m ,底宽 18 m ,墙高 23 m ,底板高程 1274.70 m ,坎顶高程 1281.00 m ,墙顶高程 1297.70 m ,消力池内末端布置 T 形墩消能工。出口明槽段长 30 m ,宽 18 m 。溢洪洞消力池原设计方案结构布置如图 1 所示。

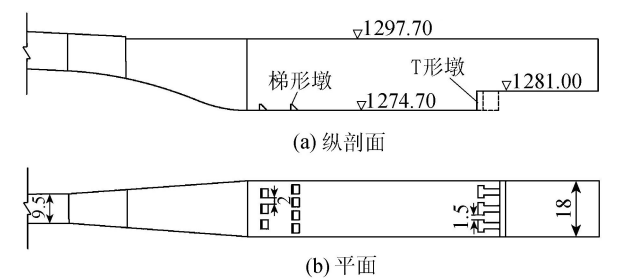


图 1 溢洪洞消力池原设计方案结构布置示意图(单位:m)

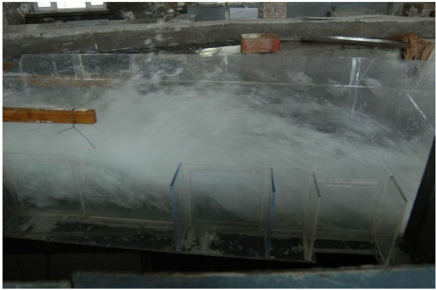
2 模型设计

模型按照重力相似准则设计,根据试验内容以及供水、场地等条件,再考虑溢洪洞模型有机玻璃板的标准尺寸问题,模型几何比尺为 54.167 ,模型模拟长度为 1340 m ,其中模拟坝轴线上游 460 m ,采用定床模型;模拟坝轴线下游 880 m ,导流洞出口末端以后采用动床模型。模型总长 25 m ,坝轴线上游平均宽度为 6 m ,下游平均宽度为 2 m 。模型设计采用的几何比尺、流量比尺、流速比尺、糙率比尺、时间比尺分别是 54.167 、 7 、 7.36 、 1.945 、 7.36 。

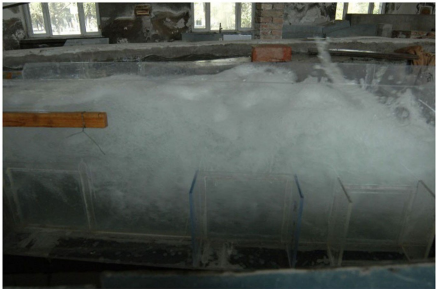
3 原设计方案试验

溢洪洞的城门洞出口断面($0+574.635$)在设计流量及校核流量运行工况的平均流速分别为 25.88 m/s 和 29.11 m/s 。在设计流量时,由于水跃的跃前断面流速较大,梯形墩位于城门洞出口反弧段末端附近,高速水流直接击打梯形墩的迎水面,水流受到梯形墩的阻挡被挑射到空中,造成消力池内水花飞溅,流态紊乱。在校核流量时,由于消力池内 T 形墩的阻击作用增强,池内水深明显增加,翻滚的水流回流到跃前断面,抑制了池内飞溅的水花,但池内水面翻滚,波动仍较大,消力池的中后部水深偏大, $0+680.522$ 断面处最大涌浪高 25.4 m 。溢洪洞消力池原设计方案消力池内水流流态如图 2 所示。

试验结果表明:原设计方案的消力池深度、边墙高度等结构尺寸以及梯形墩、T 形墩的位置和数量均不能满足正常宣泄洪水的要求,因此需对溢洪洞消力池的结构尺寸和辅助消能工的位置、数量进行优化试验。



(a) 设计流量



(b) 校核流量

图 2 原设计方案试验池内水流流态

4 修改方案试验

4.1 修改方案

对梯形墩和 T 形墩的位置、数量和尾坎高度等进行调整,制定了 17 种方案进行消力池优化方案试验,将有代表性的 8 种修改方案列入表 1。

4.2 修改方案流态观测

a. 修改方案 1。由于梯形墩的阻水作用产生强迫水跃,破坏了消力池内原有水跃的结构形态,为了充分观察原消力池内的水跃形态,将位于消力池前部的梯形墩去掉,T 形墩的位置、数量和尾坎高度仍同原设计方案。试验结果表明:在设计流量时,水跃明显后移,跃前断面位于 $0+652.236$ 处,跃后断面位于尾坎后明渠段,消力池内不能形成淹没水跃。尾坎处水深已达到消力池边墙高度,明渠段末端($0+745.236$)流速为 11.92 m/s 。

b. 修改方案 2。由于原设计方案在设计流量时梯形墩首部流速过大,水流被挑射到空中,将梯形墩后移 20 m ,T 形墩位置、数量和尾坎高度仍同原设计方案。在设计流量时,发现消力池内仍不能形成淹没水跃,梯形墩前水流受到阻挡被挑射到空中,流态紊乱。明渠段末端流速为 11.83 m/s ,池内总体流态与原设计方案相似。

表 1 消力池修改方案

方案	池长/m	池深/m	梯形墩				T形墩		尾坎	
			位置	前排个数	后排个数	墩距/m	位置	个数	位置	高度/m
1	83	6.3					0+713.236	3	0+713.236	6.3
2	83	6.3	0+656.405	3	4	10	0+713.236	3	0+713.236	6.3
3	83	8.3	0+663.405	3	4	10	0+713.236	3	0+713.236	8.3
4	83	8.3	0+653.405	3	4	10	0+713.236	3	0+713.236	8.3
5	83	8.3	0+663.405	3	4	20	0+713.236	3	0+713.236	8.3
6	83	8.3	0+653.405	2	3	10	0+713.236	2	0+713.236	8.3
7	76	8.3	0+653.405	2	3	10			0+706.236	8.3
8	70	8.3	0+648.405	2	3	10			0+700.236	8.3

c. 修改方案 3。由方案 1、2 可知,原设计方案的消力池深度明显不够,不能在池中形成淹没水跃,需加大消力池深度。查阅梯形墩辅助消能工的相关文献资料得知梯形墩前流速不宜大于 15 m/s,将梯形墩后移 27 m,尾坎加高 2 m。在设计流量时,跃前断面位于圆弧段末端(0+632.236),消力池前部水深偏低,中部及尾坎处涌浪较高,水深偏大,偶尔水花溅出池外,水面波动较大,翻滚剧烈,明渠段末端流速为 10.36 m/s。

d. 修改方案 4。考虑到梯形墩位置对消力池流态的影响,将梯形墩后移 17 m,尾坎加高 2 m。在设计流量时,消力池的中后部水深较高,水面相对平稳,水花溅出池外相对较少,明渠段末端流速为 10.26 m/s。在校核流量时,消力池的中后部水深较高,水面涌浪较高,水花偶尔溅出池外,明渠段末端流速为 10.85 m/s。

e. 修改方案 5。为了研究梯形墩的间距对消力池消能效果及流态的影响,将梯形墩后移 27 m,墩间距加大 10 m,尾坎加高 2 m。在设计流量时,消力池内前部水深较低,水花飞溅跳跃,中部水深涌浪较高,偶尔水花溅出池外,明渠段末端流速为 10.75 m/s。在校核流量时,由于流量增加,水跃的跃前断面明显后移,位于圆弧段末端(0+632.236)处,消力池的前部水流翻滚更加剧烈,中后部水深偏大,中部最大水深基本与边墙持平,明渠段末端流速为 10.93 m/s。

f. 修改方案 6。改变梯形墩的位置、间距和尾坎高度后消力池内水流流态有所改善,将梯形墩后移 17 m,并改变梯形墩和 T 形墩的数量,尾坎加高 2 m,观察池内水流流态的变化。在设计流量时,跃前断面位于 0+628.522 处,消力池前部水面波动较大,水花较大,偶尔水花溅出池外,中部涌浪较高,但水面相对平稳,明渠段末端流速为 10.62 m/s。在校核流量时,跃前断面位于 0+626.522 处,消力池前部水面波动加剧,中部最大水深基本与边墙持平,明渠段末端流速为 10.92 m/s。

g. 修改方案 7。由试验现象观察得知位于消力

池尾坎处的 T 形墩消能效果不明显,在其前部不能形成强迫水跃,将梯形墩后移 17 m,去掉 T 形墩,尾坎加高 2 m,池长缩短 7 m。在设计流量时,消力池前部水深偏低,水花较大,偶尔水花溅出池外,中后部及尾坎处涌浪较高,水深偏高,但水面相对平稳,明渠段末端流速为 11.03 m/s。

h. 修改方案 8。为了减小消力池内最大水深,降低尾坎处涌浪高度,将梯形墩后移 12 m,去掉 T 形墩,池深加深 2 m,缩短池长 13 m,尾坎通过 1:8 变坡后与消力池平坡明渠相接。在设计流量时,消力池内水面波动较大,前部水深偏低,但翻滚、波动较大,偶尔溅起水花,中部水深由于受到梯形墩的阻水作用,水深明显加大,消力池内最大水面壅高达 23.73 m。溢洪洞出口消力池末端冲刷坑最大深度达 12.58 m,冲坑的最低点距消力池末端水平距离为 25.46 m。校核流量下,随着流量的增大,跃前断面后移,高速水流直接击打到梯形墩上,水流受到阻挡被挑射到空中,造成水花溅出池外,不能形成淹没水跃,消力池内流态紊乱。

5 悬栅优化方案试验

5.1 悬栅优化方案 1

通过修改消力池的结构尺寸及 T 形墩和梯形墩的位置、数量和尾坎高度,消力池内流态仍不是很理想,经过对比修改方案的试验结果,初拟在修改方案 8 的基础上,加设 13 根悬栅条,栅条间距 5 m,栅条高度距池底 9 m,悬栅优化方案 1 的布置见图 3。

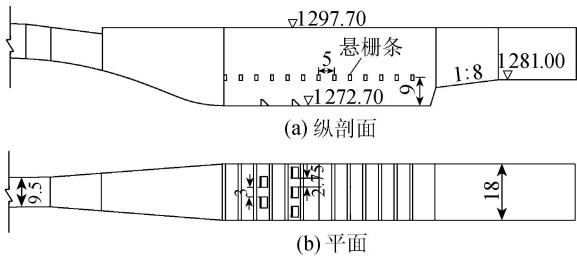


图 3 悬栅优化方案 1 布置示意图(单位:m)

在设计流量时,与无悬栅消力池相比,悬栅消力

池池内水深明显下降,其中后部水面平稳,明显低于设计边墙高度,消力池内最大水深 22 m,但水跃跃前断面的表面漩滚区水深较大,偶尔水花溅出池外,设计流量时悬栅优化方案 1 池内水流流态见图 4。



图 4 设计流量时悬栅优化方案 1 池内水流流态

5.2 悬栅优化方案 2

为了解决跃前断面水花飞溅的问题,在圆弧段末端(0+632.236)前部加设 3 根悬栅条,后部加设 13 根栅条,栅条间距 5 m,前部 3 根悬栅条距池底分别为 6.43 m、7.97 m 和 8.8 m,后部 13 根栅条距池底 9 m,悬栅优化方案 2 的布置见图 5。

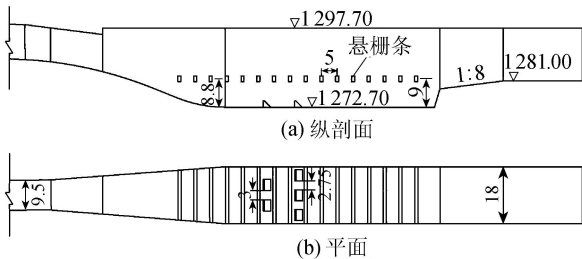


图 5 悬栅优化方案 2 布置示意图(单位:m)

试验结果表明:在设计流量时,消力池内水面平稳,最大水深发生在 0+698.496 处,其值为 21.13 m,较悬栅优化方案 1 的 22 m 有所下降。跃前断面的水面翻滚减弱,水面相对平稳,消力池 0+738.194 处的断面平均流速为 9.58 m/s,悬栅消力池消能率为 76.77%。在校核流量时,悬栅的置入破坏了水跃的结构,增强了池内水流强烈的混掺、碰撞,另外悬栅对梯形墩挑起的水流有一定的削减抑制作用,导致水流在池内的能量得到削减,水深较设计流量时有所增大,最大水深发生在 0+698.496 处,其值为 22.48 m,消力池内不仅能形成淹没水跃,而且水流流态较其他方案明显改善,消力池末端断面 0+738.194 处的平均流速为 10.59 m/s,悬栅消力池消能率为 77.55%。不同流量时悬栅优化方案 2 池内水流流态见图 6。

5.3 悬栅高度的合理性验证

为了避免在不同流量时跃前断面水深刚好与悬栅同高或是稍高于悬栅,水流直接击打到悬栅上,造成水花飞溅,分别以 200 m³/s、400 m³/s、600 m³/s、



(a) 设计流量



(b) 校核流量

图 6 不同流量时悬栅优化方案 2 池内水流流态

800 m³/s、1000 m³/s 等不同流量对悬栅消力池方案 2 的悬栅安装高度进行合理性验证。试验结果表明:在各级流量时悬栅消力池内都可以形成淹没水跃,悬栅都处于水面以下,没有发生水流直接拍打悬栅造成水花飞溅的现象。随着流量的增加,池内水深也在不断增大,悬栅的消能及稳定水流的作用逐渐明显。悬栅的设置破坏了水跃的结构,增强了池内水流混掺、碰撞,解决了梯形墩消力池内水面波动较大、水流溅出池外的问题,可见悬栅对增强池内能量耗散、稳定水面效果显著。

6 结 论

a. 新疆迪那河五一水库溢洪洞消力池原设计方案的消力池深度、边墙高度等结构尺寸以及梯形墩、T 形墩的位置、数量和尾坎高度等条件不能满足宣泄洪水的要求,特别是在校核流量时,入池的高速水流直接被底部梯形墩挑射到空中,消力池内流态紊乱,不能形成淹没水跃。

b. 将悬栅和梯形墩两种辅助消能工联合运用组成综合式消力池,使消力池内水面平稳,波动较小,水流流态得到明显改善,解决了水流溢出池外、不能形成淹没水跃的问题,同时避免了因增大消力池深度、长度、边墙高度而导致工程投资增加的问题。

c. 通过对悬栅优化方案的比选和悬栅高度的合理性验证,确定了溢洪洞消力池悬栅消能工的最佳方案,在溢洪洞消力池内悬栅和梯形墩辅助消能工联合运用,使消力池池长由原设计方案的 83 m 缩短至 70 m。

参考文献:

[1] 韩守都,刘韩生,吴宝琴. 布仑口水电站消力池尾坎位置模型试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(1):62-64. (HAN Shoudu, LIU Hansheng, WU Baoqin. Model test on position of end sill of stilling basin of Bulunkol Hydropower Station [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(1):62-64. (in Chinese))

[2] 万继伟,牛争鸣,李鲁,等. 小挑角跌坎加浅水垫消力池水力特性试验[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(3):300-306. (WAN Jiwei, NIU Zhengming, LI Lu, et al. Experimental study of hydraulic characteristics of small-trajectory angle drop sill combined with stilling basin with shallow-water cushion [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(3):300-306. (in Chinese))

[3] 王胜,李连侠,孙炯,等. 多级连续消力池水跃的水力特性模型试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(4):23-28. (WANG Sheng, LI Lianxia, SUN Jiong, et al. An experimental study on characteristics of hydraulic jumps in multiple continuous stilling basins [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(4):23-28. (in Chinese))

[4] 夏继红,严忠民. 面向对象技术在消力池优化设计专家系统中的应用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2003,31(5):526-529. (XIA Jihong, YAN Zhongmin. Application of object-oriented technique to stilling basin optimal design expert system [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2003, 31(5):526-529. (in Chinese))

[5] 孙永娟,孙双科. 高水头大单宽流量底流消能技术研究成果综述[J]. 水力发电,2005,31(8):70-72. (SUN Yongjuan, SUN Shuangke. Summary on research results of underflow energy dissipation technology with high head and large unit-width discharge [J]. Hydroelectric Engineering, 2005, 31(8):70-72. (in Chinese))

[6] 陆杨,刘焕芳,金瑾,等. T形墩消力池消能率的计算及优化设计试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(6):42-45. (LU Yang, LIU Huanfang, JIN Jin, et al. Study on calculation of energy dissipation ratio and optimal design test of stilling basin with T-shape baffle [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(6):42-45. (in Chinese))

[7] 尹志刚,左战军,刘春友,等. 若干拱网消能工与普通消力池工程实例的经济分析[J]. 水利经济,2008,26(2):30-32. (YIN Zhigang, ZUO Zhanjun, LIU Chunyou, et al. Economic analysis of several arch net-floor stilling ponds and ordinary stilling basins [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2008, 26(2):30-32. (in Chinese))

[8] 何飞,涂兴怀. 辅助消能工在小型水电工程中的应用[J]. 甘肃水利水电技术,2009,45(5):22-23. (HE Fei, TU Xinghuai. The application of auxiliary energy dissipater in small hydropower engineering [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2009, 45(5):22-23. (in Chinese))

[9] 刘沛清,冬俊瑞. 消力池及辅助消能工设计的探讨[J]. 水利学报,1996(6):48-56. (LIU Peiqing, DONG Junrui. Study on stilling pool and auxiliary energy dissipater design [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996(6):48-56. (in Chinese))

[10] 邱秀云,侯杰,王锬. 无压隧洞洞内消能试验研究[J]. 新疆农业大学学报,2004,27(3):62-65. (QIU Xiuyun, HOU Jie, WANG Kun. The experimental research of energy dissipation in free-flow tunnel [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2004, 27(3):62-65. (in Chinese))

(收稿日期:2013-02-26 编辑:周红梅)

· 简讯 ·

水文水资源与水利工程科学国家重点实验室被评为优秀类国家重点实验室

近期科技部发布了《2013 年材料领域与工程领域国家重点实验室评估报告》,水文水资源与水利工程科学国家重点实验室(河海大学·南京水利科学研究院)被评为优秀类国家重点实验室。

2013 年科技部委托国家自然科学基金委员会对材料领域与工程领域 64 个国家重点实验室进行了评估。工程领域中有 11 个实验室被评为优秀类实验室,28 个实验室被评为良好类实验室。科技部将依据评估结果,对优秀类国家重点实验室加大支持力度,同时实行末位淘汰制。

水文水资源与水利工程科学国家重点实验室在本评估期内面向国家重大需求,瞄准科学技术发展前沿,开展了大量创新性研究,取得了显著的研究成果。该实验室已成为我国在水文水资源、水利工程、水环境、水生态等领域开展创新性应用基础研究、解决重大工程关键技术问题、培养高层次人才以及进行高水平学术交流的重要基地。

(本刊编辑部供稿)