

石梁河水库泄洪闸闸下冲刷试验研究

周春天¹, 宁 勇²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 淮委规划设计研究院, 安徽蚌埠 233001)

摘要 通过局部动床模型试验, 研究了石梁河水库新老泄洪闸闸下河床冲刷特性, 分析了枢纽运行方式、出池水流的流速流态等因素对闸下冲刷的影响, 提出了新老闸联合运行的减冲运行方式和消力池采用扭曲边墙以及在二级陡坡上加设马蹄形消力墩等减冲工程措施。

关键词 消力池 海漫 冲坑形态 运行方式

中图分类号: TV663 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2000)02-0113-04

石梁河水库原有泄洪闸(以下简称老闸)已不能满足泄洪要求, 经多方案比较确定, 采用加固老闸并在老闸右侧另建新泄洪闸(以下简称新闸)的方案, 可满足泄洪要求。枢纽平面布置见图 1。

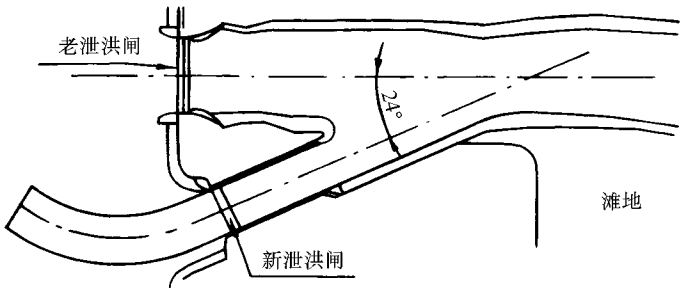


图 1 枢纽平面布置

Fig.1 Plane layout of project

根据定床试验结果, 枢纽不同运行方式闸下流态差别显著。因此, 通过局部动床试验, 研究闸下冲刷的主要影响因素, 分析冲淤形态, 研究减冲措施是非常必要的。

1 枢纽水流特点及模型设计

1.1 闸下水流特点

该枢纽布置是水库扩大泄量工程中常见的布置形式之一。其老闸出闸水流顺河道下泄, 新闸出闸水流与河道成 24° 交角, 两闸入闸水流分别控制, 出闸水流在下游河道中交汇后沿河道下泄, 或单闸直接泄入河道。不同的运行方式将对枢纽下游水流条件产生不同的影响。

单闸运行时, 枢纽下游水流条件较差。首先, 由于单闸泄流时下游河道仅通过单闸流量, 相应水位较低, 出闸水深较小, 因此出闸流速大, 消力池后出现二次跌落、人字形波状水跃等不良流态, 将加剧闸下冲刷。其次, 由于单闸出流, 下游关闭闸一侧将形成较强的回流区, 恶化了交汇口水流条件。同时回流压缩主流, 使得运行闸出闸水流进一步集中, 并偏向运行闸侧, 出闸流速进一步加大, 运行闸一侧闸下冲刷将更为严重, 而关闭闸闸下由于回流作用可能会发生局部淤积。

两闸同步联合运行时, 两闸出闸水流在下游斜交。由于交角合理, 两股出闸水流能平顺交汇, 流态相对单闸运行为好。同时由于两闸同时泄洪, 下游河道流量为两闸泄量之和, 水位相对于单闸运行显著增高, 出闸水深较大, 流速降低, 下游冲刷较单闸运行方式将显著减少。

1.2 模型设计

试验利用原有枢纽整体定床模型进行局部改建,几何比尺 $\lambda_L=60$.试验主要目的是研究海漫附近的冲刷情况,因此,动床模拟平面范围从新老闸海漫末端起向下游延伸 300~500 m,将两闸出流交汇口包括在内.

老闸下游河床表层覆盖的粉质壤土和细沙,其抗冲流速小于 1.0 m/s,而老闸海漫末端各工况垂线平均流速均大于 2.0 m/s,认为覆盖层可能全部冲蚀,下层强风化片麻岩全部出露.试验中仅模拟强风化片麻岩层.

根据地质资料和定床水流试验资料分析,试验中以起动流速和抗冲流速基本相近为控制条件选择模型沙.强风化片麻岩允许抗冲流速为 3.5 m/s,相应模型抗冲流速为 0.452 m/s.模型沙的起动流速用下式计算^[1].

$$V_k = \alpha \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d^{3/10} h^{1/5}}$$

式中: V_k ——起动流速, m/s; α ——系数,当 $d \geq 0.24$ mm 时, $\alpha=1$; ρ_s ——沙粒密度; ρ ——水的密度; g ——重力加速度; d ——模型沙的中值粒径, mm; h ——模型水深, mm.

选取中值粒径为 2.9 mm 的天然沙作模型沙,按上式计算各工况的起动流速.主要试验工况及起动流速见表 1、表 2.

表 1 主要试验工况
Table 1 Main operation mode

工况	库水位 /m	泄流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)			下游水位/m		
		新闸	老闸	枢纽	新闸运行	老闸运行	联合运行
I	24.00	2 500	2 500	5 000	11.914	11.914	14.034
II	26.08	3 500	2 500	6 000	12.944	11.914	14.650
III	26.81	4 000	3 000	7 000	13.338	12.504	15.205

表 2 各工况起动流速
Table 2 Initial velocity of various operation mode

工况	模型沙起动流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	新闸联合运行	老闸联合运行	新闸单独运行	老闸单独运行
I	0.437	0.446	0.399	0.412
II	0.446	0.454	0.419	0.413
III	0.453	0.460	0.426	0.422

从表 2 数据可以看出,各工况新老闸下模型沙起动流速和抗冲流速(0.452 m/s)基本相同,说明模型沙的选择是合适的.

2 试验成果分析

各工况试验时间均为 6.5 h,相当于原型 50.3 h,闸下冲刷已趋于稳定.

2.1 新老闸联合运行闸下冲刷形态

新老闸联合运行时,闸下水深较大,出闸水流流速相对较小,平面流态平稳,总体而言冲刷较轻.但由于流速流态的差异,新老闸海漫附近冲刷情况有所不同.老闸工况 I、II 和工况 III 海漫末端的垂线平均流速均低于模型沙的起动流速,加之试验中已去掉表面覆盖层,海漫后水深加大,流速进一步降低,因此,3 种工况老闸海漫附近的强风化岩顶面未发生冲刷.

工况 I 新闸防冲槽末端流速略低于模型沙的起动流速,因此未出现明显的冲刷.随着新闸单宽流量的增加,出闸流速加大,工况 II、III 海漫后有明显的冲坑出现,但冲刷深度较浅,冲坑面积较小.

冲坑总体上呈半椭圆形,中间向下游伸展,冲坑后形成堆积沙丘.各工况冲坑特征值列于表 3.

表 3 各工况海漫末端平均流速与冲坑形态特征值

Table 3 Mean velocity at the end of apron & characteristic value of scouring shape for various operation modes							
运行方式	工况	海漫末 平均流速 /m·s ⁻¹	8.0 m 高程以 下冲坑长 /m	5.0 m 高程以 下冲坑长 /m	左侧冲 坑深 /m	中心线 冲坑深 /m	右侧冲 坑深 /m
联合运行	Ⅱ	4.09	75	20	4.1	3.85	4.2
	Ⅲ	4.70	110	55	5.4	5.1	6.0
单闸运行	Ⅰ	5.05	150	60	6.5	6.34	9.7
	Ⅱ	6.52	182	110	7.78	7.86	> 10.0

2.2 新闸单闸运行闸下冲刷形态

枢纽单闸运行时,下泄同一流量相应的下游水位较联合运行低,海漫末端流速加大,且流态不良,海漫后冲刷坑深度和平面范围与两闸联合运行相比有显著增加。

工况Ⅰ联合运行时不发生冲刷,而新闸单独运行时 8 m 高程以下冲坑顺流向已长达 150 m,5 m 高程以下冲坑顺流向长 60 m。海漫末端附近,右侧最大冲深 9.7 m 以上,深度超过防冲齿墙,冲刷程度较为严重。各工况冲坑特征值见表 3。

2.3 单闸运行的允许泄量

由于新老闸水流特点和防护标准各异,试验测得单闸运行时闸下不发生显著冲刷的允许泄量分别为:老闸 1 250 m³/s,新闸 1 500 m³/s。这明显低于联合运行的允许泄量(联合运行工况Ⅰ新老闸泄量均为 2 500 m³/s,而闸下无明显冲坑出现)。

2.4 影响闸下冲刷的主要因素

分析试验结果可知,影响闸下冲刷的主要因素有:(a)流速。各工况冲刷区域均发生在闸下高流速区内,海漫末端流速越大,冲坑长度越长,最大冲深也越大。从冲坑形状上看,各工况冲坑平面形状均大致呈半椭圆形,与海漫末端流速分布类似,流速大处冲坑长度大,反之冲坑长度小,各工况海漫末端流速平面上右侧大于左侧,其冲坑深度也是右侧大于左侧。各工况海漫末端平均流速与冲坑形态特征值列于表 3。(b)运行方式。联合运行方式下游水深大,出闸流速较低,平面流态平顺,闸下冲刷较轻。而单闸运行方式下游水深小,出闸流速大,平面流态差,闸下冲刷严重。以新闸为例,工况Ⅰ联合运行时新闸泄量为 2 500 m³/s(相应两闸总泄量为 5 000 m³/s),闸下不发生冲刷。而新闸单独运行时允许泄量仅为 1 500 m³/s,两者相差近 1 倍,而新闸单独泄放相同流量(2 500 m³/s)时,其出闸流速较联合运行增加了 1.5 倍左右,冲坑最大长度 150 m,最大冲深达 9.7 m。工况Ⅱ联合运行时新闸泄量为 3 500 m³/s(相应两闸总泄量为 6 000 m³/s),冲坑最大长度为 75 m,最大冲深为 4.2 m,而当新闸单独运行时,虽然其泄量仍为 3 500 m³/s,但冲坑最大长度和深度均为联合运行的 2.5 倍左右(表 3)。可见运行方式对闸下冲刷影响非常之大,单闸运行对下游防冲极为不利。(c)出闸局部流态。由于消力池出口是矩形断面,而下游河道为梯形断面,出池水流与下游河道衔接不顺,在两侧形成局部回流,局部区域存在较大的流速梯度,加强了水流的局部冲刷作用,因而在海漫末端两侧出现局部深坑。(d)池后余能。出池水流余能大,平面、立面上流速分布不均会加剧闸下冲刷,反之可减少闸下冲刷。

3 减冲工程措施

试验研究表明,新闸联合运行除工况Ⅰ外,其它各工况均发生明显的冲刷,单独运行时更为严重,可能危及工程安全。因此,应考虑相应的防冲减冲措施。

分析试验结果可知,引起闸下冲刷的主要原因,除运行方式外,还有:(a)流速过大;(b)流速分布不均;(c)消力池出口两侧与岸坡衔接不平顺。当运行方式确定之后,下游水位是给定的,海漫末端断面平均流速不易改变,只有从均化流速分布和改善出流边界衔接两方面采取措施,才能有效减少闸下冲刷。

试验表明,将消力池两侧直立墙改为扭曲墙,边界衔接较好,能有效消除消力池后两侧的回流,减小海漫末端两侧的冲刷深度。在二级陡坡上加设马蹄墩,每个马蹄墩将其作用范围内的水流挤向两侧,同时将部分水流挑起,形成三股水流。这三股水流下泄过程中相互碰撞、掺混,增加了能量消耗。墩后各股水流水深流速各有差异,入池后除产生垂向旋滚外,增加了平面上各股水流之间的相互作用。因此,提高了消能效果,使得

出池水流余能明显减小,出池流速分布也进一步均化,因而闸下冲刷减少.采用上述工程措施,8 m和5 m高程以下冲坑范围显著缩小,海漫末端两侧最大冲深也明显减小.采取工程措施前后减冲效果对比见图2.

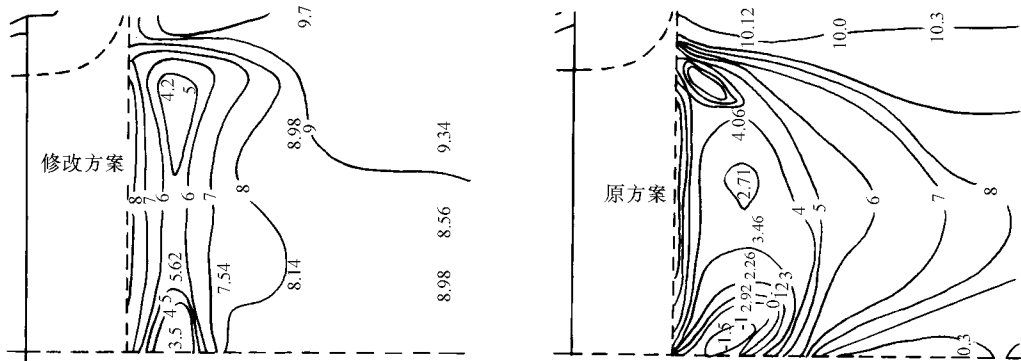


图2 工况Ⅰ新闸单独运行闸下冲刷形态
Fig.2 Case I Scouring shape under the new gate operating alone

4 结 语

在原泄洪闸一侧建新闸来扩大水库的泄洪能力,是常见的一种措施,有利于充分发挥原泄洪闸的作用,减少工程投资.但这种枢纽布置形式在不同运行方式下水流特点各异,其运行方式对闸下冲刷影响显著.在联合运行方式下合理分配两闸的泄量,可有效减轻闸下冲刷.单闸运行方式有加剧闸下冲刷的作用,在实际运行管理中应充分注意.改善出流的边界衔接条件,加设辅助消能工,提高消能效果,也可减少闸下冲刷.

参考文献:

[1] 左东启.模型试验的理论和方法[M].北京:水利电力出版社,1984.114.

Test of Scour under Sluice Gates of Shilianghe Reservoir

ZHOU Chun-tian¹, NING Yong²

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2. Research Institute of Planning and Design, Huaihe River Resources Committee, Bengbu 233001, China)

Abstract Through local dynamic-bed model test, the scour characteristics are studied of river bed under the new and old sluice gates of Shilianghe Reservoir, main factors are analyzed such as the operation mode of the project that influence the scour under the sluice gates; reasonable scour lessening mode of united operation of the new and old sluice gates is suggested, and efficient engineering measurements are proposed for lessening scour, such as distorting side-wall in the stilling basin and baffle blocks of horseshoe shape on the secondary dropoff.

Key words stilling basin; apron; scour-pit shape; operation mode