

水电站水库排沙漏斗排沙措施研究

洪振国, 李建伟

(云南省水利水电勘测设计研究院, 昆明 650021)

摘要: 腊寨水电站具有水头较高, 水库含沙量较大, 冲沙底孔距电站取水口较远, 底孔泄流量较小等特点, 采用目前常规冲沙底孔排沙措施是不可行的。利用导流洞进口天然地形条件, 在大坝上游增设丁坝, 导流隧洞改建成泄洪冲沙洞, 构成了一个完整的排沙流漏斗。通过排沙漏斗理论计算和模型试验, 结果表明: 排沙漏斗纵横坡理论计算值与模型试验值基本接近, 横向坡度比纵向漏斗坡度陡。丁坝顶部高程大于排沙漏斗顶部高程, 丁坝有效地切断上游泥沙。河床上形成直径约为 92 m 的排沙漏斗, 贯穿于库河两岸, 左右岸内的泥沙通道被切断, 泥沙被直接导入漏斗内, 并通过泄洪冲沙洞排放至大坝下游, 保持有效库容, 保证进水口达到“门前清”和电站正常发电。泄洪冲沙洞前流量、泄水流速、孔前淤积厚度、冲刷漏斗纵坡、横坡等指标均基本处于 11 个冲刷漏斗的实测资料范围内。

关键词: 水电站; 泥沙; 排沙漏斗; 排沙措施

中图分类号: TV22

文献标识码: A

Research on the Measures for Sediment Discharge in the Reservoir of Hydropower Station

HONG Zhen-guo, LI Jian-wei

(Yunnan Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Kunming 650021, China)

Abstract: Lazhai Hydropower Station is characterized by high water head, high sediment concentration in the reservoir, a long distance from the intake of the power station and small discharge of the bottom outlet. It is not feasible to adopt the conventional sand-washing bottom outlet to discharge sediment. By using the natural topographic conditions at the entrance of diversion tunnel, a spur dike is added to the upstream of the dam, and the diversion tunnel is rebuilt into a flood-discharge and sediment-scouring tunnel. A complete sediment-discharge funnel is formed. Through theoretical calculation and model experiment of the funnel, the results show that the theoretical calculation value of the longitudinal and transverse slope of the funnel is basically close to the experiment value of the model, and the transverse slope of the funnel is steeper than that of the longitudinal funnel. The height of the top of the spur dike is higher than that of the top of the sand funnel, and the spur dike effectively cuts off the upstream sediment. A funnel with a diameter of about 92 m is formed on the riverbed and runs through the banks of the reservoir. The sediment passage is cut off on the left and right banks. The sediment is directly led into the funnel and discharged into the lower reaches of the dam through the flood-discharge and sand-washing tunnel. The effective storage capacity is maintained to ensure that the intake reaches the “gate clearance” and the normal power generation of the power station. The discharge velocity, siltation thickness in front of the hole, the longitudinal and transverse slope of the scouring funnel are basically within the range of 11 scouring funnels.

Key words: hydropower station; silt; sediment funnel; measures for sediment discharge

漏斗式排沙作为一种高效、节水、经济的泥沙处理技术,已成功用于灌溉、发电、工业及人畜引水等诸多领域的泥沙处理,取得了良好的经济效益、社会效益和环境效益^[1]。排沙漏斗的

工程实践始于 1975 年前苏联的 Salakhov^[2]提出的环流室,此后印度、伊朗、芬兰等多个国家的学者进行了排沙漏斗结构优化研究^[3],1984 年排沙漏斗首次应用于新疆迪那河总干渠工程^[4]。董年虎^[5]、王广月^[6]、王英伟^[7]等通过大量的水电站冲沙底孔的试验,提出了水电站水库冲沙底孔排沙措施理论。但是腊寨水电站具有水头较高,水库含沙量较大,冲沙底孔距电站取水口较远,底孔泄流量较小等特点,采用目前常规冲沙底

收稿日期: 2018-08-28

作者简介: 洪振国(1976-),男,高级工程师,主要从事水工建筑物设计。E-mail: 402897694@qq.com。

孔排沙措施是不可行的。利用导流洞进口天然地形条件,在大坝上游增设丁坝,导流隧洞改建成泄洪冲沙洞,构成了一个完整的排沙流漏斗。通过排沙漏斗理论计算、模型试验论证了排沙漏斗排沙措施的合理性。本文提出了这一种新的排沙措施,对类似水电站工程具有重要的参考价值。

1 工程概况

腊寨水电站位于云南省保山市腾冲县与龙陵县的界河龙江下游河段,为龙江至瑞丽江干流 11 个梯级开发方案中的第 9 级,开发河段为腾龙桥至弄另上游的腊寨之间。坝址位于腾龙桥水文站下游约 4 km 处,厂址位于坝址下游 2 km。腊寨水电站开发任务以发电为单一目标。水库坝址控制径流面积 3 672 km²,设计坝高 68 m,总库容 599.6 万 m³,电站总装机 120 MW,年发电量 6.07 亿 kWh,年利用小时 5 058 h。电站主要由首部枢纽、引水系统、厂区 3 大部分组成^[8]。其中首部枢纽由大坝和泄洪冲沙洞组成,大坝为混凝土重力坝^[9],坝顶高程 1 105.0 m,建基面最低高程 1 037.0 m,坝顶总长度 180.5 m,拦河大坝由挡水坝段、冲沙孔坝段及溢流坝段组成,大坝最大坝高 68 m,坝底最大宽度 54.5 m,共设 9 个坝段。泄洪冲沙洞布置在左岸,为压力圆洞,洞径 8 m,总长 418.29 m。发电引水隧洞布置在右岸,总长 2 057 m,洞径 8 m,进口底板高程 1 070.0 m,隧洞设计流量 240.0 m³/s,底坡 i 为 0.608%。

2 排沙漏斗结构布置

导流洞进口河床左右岸为陡崖地形条件,边坡坡度较陡,地质条件较好,在大坝上游 195 m,导流洞进口下游 45 m 位置增设丁坝,导流洞明渠段加上盖板构成进口明洞段,明渠向河床延长 28 m,构成明渠段。将导流隧洞改建成泄洪冲沙洞,构成了一个完整的排沙漏斗,实施水沙分离技术,一旦排沙漏斗运行,就会产生一个几乎遍及库河两岸的旋流漏斗,具有与“漏斗式水沙分离器”内的水流结构完全相似的流动^[10]。排沙漏斗结构布置见图 1。排沙漏斗由丁坝、泄洪冲沙洞、导流洞进口天然地形条件等组成。

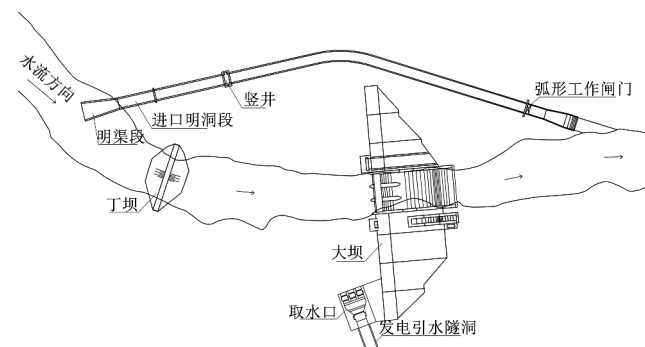


图 1 排沙漏斗平面示意

2.1 丁坝

在大坝上游 195 m,导流洞下游 45 m 位置增设丁坝,丁坝坝顶高程为 1 078.00 m,坝长 54 m,坝高 15 m,坝顶宽 3 m,丁坝横断面为梯形断面,迎水面坡比 1 : 0.6,背水面坝坡比 1 : 0.8,外表采用 40 cm 厚 C30 钢筋混凝土,里面采用 C20 素混凝土。

土。由丁坝、泄洪冲沙洞、导流洞进口天然地形条件等组成排沙漏斗,河流枯期时含沙量较少,关闭泄洪冲沙洞的工作闸门,水流泥沙沉降至排沙漏斗。汛期泥沙含量高,当洪峰流量来临时进行冲沙,将淤满排沙漏斗的泥沙排除。

3.2 泄洪冲沙洞

泄洪冲沙洞由导流洞明渠段加上盖板,明渠向河床延长 28 m 等措施改建而成,泄洪冲沙洞总长 402.29 m,泄洪冲沙洞进口底板高程 1 060.0 m,设计下泄流量 727.0 m³/s,校核下泄流量 729.3 m³/s。进口明渠段为“U”形断面,底宽由 8 m 渐变至 14.57 m,扩散角为 3°,底坡 i 为 0。进口明洞段断面尺寸 8 m × 10.67 m,方形断面,C25 钢筋混凝土,衬砌厚度 0.8 m,底坡 i 为 0。进口明洞段与闸井段之间采用方形隧洞连接,断面尺寸 8 m × 8 m,衬砌厚度 0.8 m,底坡 i 为 0。闸井段竖井高程为 1 105.0 m,底坡 i 为 0,竖井内设 8 m × 8 m 平板闸门一道。闸后为渐变段,由方形 8 m × 8 m 渐变成圆形,钢筋混凝土衬砌,厚度 0.7 m,底坡 i 为 1/33.275。渐变段上游为洞身段,洞径 D 为 8.0 m,底坡 i 为 1/33.275,钢筋混凝土衬砌。洞身段上游为渐变段,由 D 为 8.0 m 圆形渐变为 7 m × 7 m 方形,衬砌厚度 0.9 m,底坡 i 为 1/33.275。出口闸室段为矩形断面,底坡 i 为 0,设 7 m × 7 m 弧形工作闸门一道。出口闸室段前为出口扩散段,底宽由 7 m 扩散至 10 m,扩散角为 9°。扩散段紧接挑流鼻坎段,挑射角 26.146°,半径 22.379 m,齿槽底板深入基岩,底宽 3 m,高程 1 045.00 m。末端为出口海漫段,底坡为 1/50。

3 理论计算

通过长期对水电站水库冲刷漏斗的原型观测和分析,国内外学者提出了大量的计算排沙漏斗的经验公式或曲线关系,这种经验关系基本上代表了原型观测的统计规律,这种经验关系式一般均与流量、孔前流速有关,或者在此基础上引入淤积厚度、孔前平均水深等参数。其中最具有代表是夏毓常^[11]等根据原第十一工程局设计队的原型观测资料建立的冲刷漏斗纵横坡关系,其关系公式为:

$$J = 0.235 - 0.063 \lg \left(\frac{Qv}{v_0^2 z^2} \right) \quad (1)$$

$$J' = 0.31 - 0.063 \lg \left(\frac{Qv}{v_0^2 z^2} \right) \quad (2)$$

式中: J 、 J' 分别为排沙漏斗纵、横向坡降; Q 为孔口流量, m³/s; v 为孔口流速, m/s; v_0 为水深 1 m 时漏斗床面泥沙起动流速, m/s; z 为漏斗外围淤积厚度, m。

由于腊寨水电站排沙漏斗孔口流量 $Q = 727$ m³/s,孔口流速 $v = 8.52$ m/s,漏斗外围淤积厚度 $z = 25$ m,经以上冲刷漏斗纵、横坡公式计算,排沙漏斗纵坡 $J = 1 : 2.8$,横坡 $J' = 1 : 2.3$ 。

4 模型试验

4.1 模型试验参数

腊寨水电站水库正常蓄水位 1 102.5 m,设计洪水位 1 103.42 m,校核洪水 1 103.67 m,泄洪冲沙洞进口底板高程 1 060.0 m,设计下泄流量 727.0 m³/s,校核下泄流量 729.3 m³/s。水电站水库的多年平均悬移质输沙量为 227 万 t,多年平均

推移质输沙量为 45.5 万 t,多年平均悬移质含沙量为 0.454 kg/m^3 。

4.2 模型设计

水电站枢纽泥沙模型试验河床段属于山区河道,边界条件极为复杂,水流受边界条件影响较大,因此模型除满足水流运动和几何相似外,保证泥沙运动相似是极为重要的。按水工模型试验规程相关研究内容的规定以及泥沙模型的要求,水工泥沙整体模型宜采用正态。考虑到水库泥沙淤积的特点,以及动床模型所要解决的电站取水排沙问题主要是推移质泥沙,对多种模型沙的计算比较及以往的试验经验,为使模型满足泥沙运动相似,模型模拟悬移质泥沙采用白矾石。模型使用白矾石与设计沙样基本相当,能够满足相似要求。对冲刷漏斗而言,非汛期拦沙、泥沙淤积模型满足沉降相似,即淤积相似。汛期排沙,淤积物受到冲刷,满足扬动相似,因此模型满足排沙漏斗的相似要求。本模型试验各项相似比尺见表 1。

表 1 模型试验各项相似比尺

相似项目	比尺名称	比尺数量
几何相似	几何比尺	80
	流速比尺	8.94
水流运动相似	流量比尺	57 243
	糙率比尺	2.08
	时间比尺	8.94
	沉降比尺	8.94
悬移质泥沙运动相似	粒径比尺	2.23
	含沙量比尺	1.03
	时间比尺	17.37
推移质泥沙运动相似	粒径比尺	80
	输沙率比尺	716
	时间比尺	17.88

腊寨水电站水工、泥沙整体模型按模型设计的要求制作。模拟库段自电站大坝上游约 3 600 m 起至大坝下游约 1 000 m 止,实际模拟河段全长约 4.6 km。模型共布设有 67 个断面。参考上、下游校核水位情况,上游地形制作高程为 1 110 m,下游为 1 075 m。模型配有独立运行的动力设备及流量控制设备,可较方便地模拟电站的不同运行工况。电站、溢流坝及泄洪冲沙洞等水工结构部分,采用全有机玻璃材料制作。图 2 是试验前模型布置图。图 2 中坝顶、上游坡面铺设红砖为丁坝,丁坝上游左岸布置泄洪冲沙洞,丁坝下游右岸布置进水口,进水口临近大坝。

4.3 试验成果

模型试验结束后,待库内水体排后对水库淤积,尤其是泄洪冲沙洞进口位置排沙漏斗地形,采用全站仪进行详细精密观测。为分析排沙漏斗对电站取水口的保护情况,主要分析了在坝面位置漏斗横向变化及顺水流向的纵坡变化。在正常蓄水位、设计洪水位、校核洪水位中,正常蓄水位水深最小,泄洪冲沙洞过流最少,相应底孔流速最小,形成的冲刷漏斗坡度最陡,所以正常蓄水位为控制工况,正常蓄水位时试验后河床淤积情



图 2 试验前模型布置

况见图 3,冲刷漏斗纵剖面见图 4,坐标零点为泄洪冲沙洞进口位置,上游为正,下游为负。冲刷漏斗横剖面见图 5,坐标零点为泄洪冲沙洞轴线位置,左岸为负,右岸为正。



图 3 试验后河床淤积情况

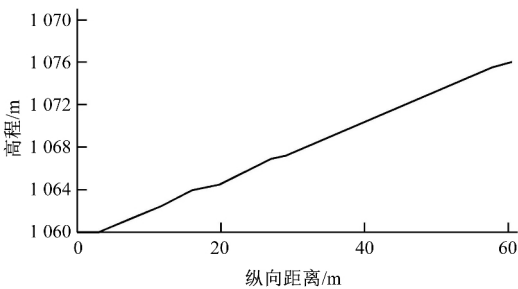


图 4 冲刷漏斗纵剖面

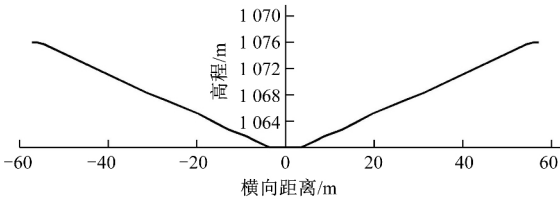


图 5 冲刷漏斗横剖面

从图 3~图 5 可知:①由于腊寨水电站在运行水位较高,水库水面相对较宽,排沙漏斗地形相对开阔,排沙漏斗得至较充分发展,排沙漏斗纵坡 1 : 2.4,纵坡相对较缓形态较为规则。②导流洞明渠加盖并延长,排沙底孔位于水库河床中心,孔前水深较大,左右岸横坡 1 : 2.2,漏斗横向基本对称,但是漏斗横向形态受到两侧边坡的影响,横向坡度比纵向漏斗坡度陡。③排沙漏斗顶部高程为 1 076 m,丁坝顶高程 1 078 m,丁坝顶部

高程大于排沙漏斗顶部高程,丁坝有效地切断上游泥沙,因此丁坝设计是合理的。④利用导流洞进口所在天然地形条件,大坝上游增设丁坝,导流隧洞改建成泄洪冲沙洞,构成了一个完整的排沙流漏斗后,丁坝布置将上游河床水沙因子直接导向竖轴旋涡的外切线方向,河床上形成直径约为 92 m 排沙漏斗,贯穿于库河两岸,床面泥沙会沿丁坝方向竖轴旋涡区内运动,位于左、右岸内的泥沙运行通道被切断,泥沙被直接导入漏斗内,并通过泄洪冲沙洞排放至大坝下游,确保进水口达到“门前清”,有效地保证电站正常发电。

4.4 模型验证情况

水库冲刷漏斗的坡度形成是一个多种因素综合作用结果,包括入库水流条件、入库泥沙量及级配、泥沙粒径及淤积量、库区地形地貌、枢纽泄流规模及布置高程和位置等。因此,每一个水库的冲刷漏斗的坡度都不可能与另一个水库完全相同。但是,可以通过大量水库实测资料的对比分析,对腊寨水电站水库冲刷漏斗模型进行验证。

表 2 为小华山、巴家咀、浍河、汾河、三门峡、盐锅峡等 8 个水库观测得到 11 个冲刷漏斗的实测资料。由表 2 可知:①深孔流量为 0.25~1 041 m³/s,泄水孔流速为 0.57~10.4 m/s,中值粒径为 0.012~0.06 mm,孔前水深为 12~39.7 m,孔前淤积厚度为 1.6~27 m,冲刷漏斗纵坡为 1:36~1:3,横坡为 1:6.7~1:1.2。腊寨水电站水库泄洪冲沙洞前流量 727 m³/s、泄水速度

表 2 冲刷漏斗实测资料

水库	深孔流量/(m ³ ·s ⁻¹)	泄水孔流速/(m·s ⁻¹)	泥沙中值粒径/mm	孔前水深/m	孔前淤积厚度/m	纵向坡度	横向坡度
小华山	0.25	0.89	0.047	12.0	6.0	1:3	1:2.5
巴家咀	6.50	1.16	0.034	12.0	5.5	1:5	1:3.1
浍河	7.50	1.70	0.012	13.5	4.9	1:5	1:3.5
汾河	20.00	0.57	0.026	23.0	6.0	1:5.3	1:3.2
小河口	5.50	0.55	0.035	21.7	7.5	1:4	
三门峡	240.00	6.90	0.060	15.0			1:7
三门峡	1 041.00	10.40	0.060	12.3	5.0	1:36	1:6.7
三门峡	567.00	5.42	0.060	39.7	5.0	1:29	1:6.3
盐锅峡	140.00	1.59	0.035	15.0	11.0	1:6	1:5
葛洲坝	200.00			36.8	11.0	1:14.2 ~1.5.1	1:3.8
葛洲坝	200.00			36.8	28.0	1:6.8 ~7.5	1:4.7 ~6.0

8.52 m/s,孔前淤积厚度 25 m,冲刷漏斗纵坡 1:2.4,横坡 1:2.2 等指标均基本处于表 2 的 11 个漏斗资料范围内,所以验证腊寨水电站水库冲刷漏斗模型试验所得漏斗纵、横坡是合理的。

5 结 论

腊寨水电站水库利用导流洞进口天然地形条件,在大坝上游增设丁坝,导流隧洞改建成泄洪冲沙洞,构成了一个完整的排沙流漏斗,排沙漏斗贯穿于库河两岸,床面泥沙会沿丁坝方向竖轴旋涡区内运动,左右岸内的泥沙运行通道被切断,泥沙被直接导入漏斗内,并通过导流洞排放于大坝下游,确保进水口达到“门前清”,有效地保证电站正常发电,因此排沙漏斗排沙措施是合理的。这种排沙漏斗排沙措施为水电站防沙提供新思路,将来可在灌溉、发电、工业及人畜引水等诸多领域广泛应用。□

参考文献:

- 刘丽生,刘宁. 水工设计手册 [M]. 2 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- Liu Lisheng, Liu Ning. Handbook of hydraulic design (Second Edition) [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2014.
- SALAKHOV F S. Rational designs and methods of hydraulic calculations of load-controlling water intake structures for mountain rivers [J] // Proceeding of 9th congress on irrigation and drainage. Moscow, 1975.
- PAUL T C, SAYAL S K, SAKHUJA V S, et al. Vortexsettling basin design considerations [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(2): 172-189.
- 董年虎. 边界条件对多沙河流电站前漏斗形态的影响 [J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2002, (2).
- 王广月. 坝前冲刷漏斗形态的研究 [J]. 山东工业大学学报, 1996, 26(2): 121-124.
- 王英伟. 坝前冲刷漏斗形态的试验研究 [J]. 水利水电工程设计, 2001, 20(3): 42-43.
- 洪振国. 定期冲洗式沉沙池截沙率应用研究 [J]. 中国农村水利水电, 2013, (3): 107-109.
- 洪振国. 燕子崖电站防沙和排沙设施的选择 [J]. 泥沙研究, 2017, 42(5): 57-62.
- 李建伟,洪振国. 腊寨水电站取水防沙试验研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6): 153-157.
- 夏毓常,张黎明. 水工水力学原型观测与模型试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告