

瀑布沟水电站放空洞设计

张娅琴

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘要:在介绍放空洞建筑物设计标准、研究思路和实施措施的基础上,通过对瀑布沟水电站放空洞进行优化设计和研究,讨论了工程设计中的关键技术问题。对放空洞进行水力计算和结构计算,为防止泄洪冲刷,提出了一系列防护措施。认为有必要根据冲刷、雾化的不同影响程度,采取必要的工程措施,对岸坡和建筑物进行保护。

关键词:放空洞;泄洪冲刷;雾化;瀑布沟水电站

中图分类号:TV551.1+2

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2013)S1-0067-03

1 工程概况

1.1 地形、地质条件

瀑布沟水电站工程是国家西部大开发的标志工程,工程规模巨大、技术复杂,在工程建设的各阶段有很多关键技术问题亟待解决。瀑布沟水电站枢纽位于大渡河由北向南急转向东流的“L”形河弯地段。右岸为河流凹岸(侵蚀岸),主河床偏向右岸,谷坡坡度一般 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$;左岸为河流凸岸,谷坡坡度一般大于 40° 。东西向岸坡相对较陡,平均坡度大于 60° ,基岩裸露,常形成几乎直立岩壁,河流右岸下游约1.0km处有尼日河汇入。

枢纽区地层岩性主要由前震旦系浅变质玄武岩和震旦系下统苏雄组凝灰岩及流纹斑岩和澄江期花岗岩和第四系松散堆积层组成。右岸受 F_2 、 F_7 及 F_1 断层的切割或交汇,风化卸荷较深,由于尼日河和卡尔沟切割,山顶面相对较低,山体单薄,谷坡坡度多在 45° 以上。左岸地表无深切沟状水系切割,山顶面较高,山体雄厚,利用凸岸裁弯取直可以缩短引水、泄水线路;出露岩体为中粗粒花岗岩,没有大的地质构造,岩石较新鲜完整。坝址物理地质作用主要为风化、卸荷,两岸岩体风化、卸荷发育程度的水平深度与岩性和岸坡高程有关。大坝上游右岸约540m处有一古拉裂体,下游左岸约1km处有一基岩崩塌(滑)体。

1.2 设计标准

拦河坝为土石坝,采用设计洪水频率 $P=0.2\%$,重

现期为500年一遇,相应洪峰流量为 $9460\text{ m}^3/\text{s}$,设计洪水位848.31m;校核洪水采用可能最大洪水(PMF),相应洪峰流量为 $15250\text{ m}^3/\text{s}$,校核洪水位为853.78m。泄洪建筑物按重现期500年洪水设计、最大可能洪水校核。河流两岸护坡按100年一遇洪水设计。

2 放空洞设计

2.1 放空洞的作用

根据施工进度计划安排,在封堵第1条导流洞时,必须在高程730.00m左右处设置1条中期导流洞以满足防洪度汛的要求,将导流洞与放空洞结合使用,同时该放空洞还承担在下闸蓄水期间为下游供水的任务。放空洞的主要作用如下:①满足中期导流的要求;②满足坝体检修要求;③瀑布沟水电站的水库总库容有 53.9 亿 m^3 ,下游有龚嘴、铜街子两个大型水电站及四川省重要城市乐山市,因此有必要设置放空建筑物,在特殊情况下,预先将水库水位降至安全水位;④将水库水位降至低于电站进水口的高程,以检修进水口;⑤宣泄非常洪水,确保枢纽及大坝的安全。

2.2 放空洞的布置

放空洞布置于右岸,布置在距离坝轴线上游300m处的岸坡下部,谷坡坡度 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$,天然边坡高度在450m左右,洞身通过的岩性以浅变质玄武岩为主,围岩以II、III类为主,IV、V类次之。

进水口底高程为730.00m,工程开挖边坡最大

高度为 110 m。设竖井式事故检修闸门井,检修闸门为平板门,孔口尺寸为 7.0 m×9.0 m(宽×高)。

根据枢纽建筑物的布置,工作闸门前为有压洞,洞径为 9 m,平面上布置两个转弯,转角分别为 41°2'42.83"和 45°14'35.18",转弯半径为 100 m。工作闸门后接陡槽无压隧洞,断面为城门洞形式。放空洞最大泄量约为 1 431 m³/s(对应库水位为 805 m),工作闸门前有压洞洞内最大平均流速约为 22.5 m/s,工作闸门后的无压洞洞内最大平均流速约为 25~34 m/s。出口布置鼻坎挑流,挑角为 30°,坎顶高程为 678.341 m,坎上流速为 30.636 m/s,水流直接进入大渡河,最大挑距为 76.53 m。

2.3 放空洞水力计算

放空洞的工作闸门承受 125.00 m 左右的水头,为减小闸门开启难度,水库水位降低至 805.00 m 时开启放空洞,实际工作水头 77 m 左右,工作闸门上游段为有压流,下游为无压流,其泄洪能力受闸门孔口控制,孔口尺寸 6.5 m×8.0 m(宽×高),对应库水位为 805.00 m 时,闸门全开,最大泄量为 1 431.16 m³/s。泄洪能力按有压洞长管自由出流公式计算,计算结果见表 1。

表 1 放空洞泄流计算结果

水库水位/m	下泄流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水库水位/m	下泄流量/(m ³ ·s ⁻¹)
745.00	514.240	790.00	1 271.650
750.00	651.184	800.00	1 383.964
770.00	1 010.231	805.00	1 431.160

工作闸门前有压段洞径为 9.00 m,当放空洞在库水位 805.00 m 时开启,泄放 1 431.16 m³/s 流量时,洞内平均流速为 22.5 m/s。工作闸门后的无压段计算水深为 6.57~8.00 m,计算结果见表 2。

表 2 放空洞无压段 Q=1 431.16 m³/s 水面线计算结果

桩号/m	平均流速/(m·s ⁻¹)	计算水深/m
0+478.574	25.556	8.00
0+614.662	27.629	7.40
0+678.514	28.396	7.20
0+757.091	29.207	7.00
0+803.856	29.631	6.90
1+114.422	31.138	6.57

水库放空过程分为两级,由于深孔泄洪洞高程高,放空洞参加一级放空的末段及全部的二级放空过程。一级放空:将水库水位从正常蓄水位 850.00 m 降至死水位 790.00 m;二级放空:将水库水位从 790.00 m 放至 745.00 m。参加一级放空的泄水建筑物有溢洪道、深孔泄洪洞及 4 台机组。末期水位降至 805.00 m 时,放空洞参与泄流;参加二级放空的建筑物仅有放空洞。根据水库库容曲线,当水库水位由 850.00 m 降至 745.00 m 时,放空库容为

49.74 亿 m³,占整个库容的 98.2%。此时,大坝出露高度为 113.00 m,占最大高度的 60.1%。根据水文系列资料,选取丰、中、枯水代表年径流量及各泄水建筑物的泄流能力,进行了放空过程分析,计算成果见表 3。可供检修的时间为 119~136 d,满足检修时间的要求。

表 3 水库放空计算结果

代表年	一级放空		二级放空		可供检修时间/d
	起止日期	历时/d	起止日期	历时/d	
丰水年	11月6—20日	13.6	11月20日—次年1月2日	43.4	119
中水年	11月1—13日	13.2	11月13日—12月27日	39.4	124
枯水年	11月1—12日	12.4	11月12日—12月15日	31.5	136

2.4 放空洞结构计算

钢筋混凝土衬砌段衬砌计算按结构力学法进行,结构设计基本原则按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计,短暂状况(运行工况):内水压力+衬砌自重+山岩压力;持久状况(放空工况):衬砌自重+山岩压力+外水压力。

圆形有压段结构设计控制工况为持久状况(放空工况),考虑外水压力的作用,对于各类围岩洞段衬砌,为减少外水压力,对洞壁进行固结灌浆处理,并对 IV 类、V 类围岩采用双层钢筋混凝土衬砌。

城门洞型无压段结构设计控制工况为持久状况(放空工况),为降低外水压力,在顶拱设置排水孔,并对洞壁进行固结灌浆处理,结构计算时从安全角度出发,考虑 50% 的排水孔失效,采用对 IV、V 类围岩双层钢筋混凝土衬砌。

3 泄洪冲刷、雾化区防护

3.1 下游河谷的地形地质条件

坝址下游河道两岸岸坡陡峻,河谷呈“V”形。放空洞出口冲刷区位于尼日河入大渡河口附近大渡河河床,该处河面宽 120~140 m,水深 6~12 m,河床覆盖层厚 60~65 m,主要由卵砾石层(Q₄¹⁻¹)、漂卵石层(Q₄¹⁻²)、漂(块)卵石层(Q₄²)组成。左岸谷坡为花岗岩,上覆盖古崩塌堆积体平面上呈扇形,上窄下宽,后缘高程达 1 000 m 左右,前缘直伸河床,上下游方向平面分布宽 300~400 m,堆积厚度 20~65 m,共约 100 余万 m³。右岸谷坡为流纹斑岩,岩体以弱微风化为主,自然边坡稳定性好;在距尼日河汇口下游 500~1 000 m 河段 750 m 高程以下岸坡上覆有覆盖层及弃碴堆积体。

3.2 泄洪冲刷及雾化的影响

瀑布沟工程泄洪水头高,流量大且河谷狭窄。放

空洞运行时,大坝上、下游水位差约为 120 m,最大泄水流量为 $1431 \text{ m}^3/\text{s}$,最大泄洪功率达 1680 MW。在宣泄洪水时,高能量水体跌入河道,冲击水垫及河床,产生激烈的紊动水流,形成冲坑,并淘刷两岸岸坡基脚,威胁岸坡(特别两岸覆盖层或堆积体边坡)稳定。

放空洞采用挑流消能,挑射水舌表面掺气、边界层发展,特别是水舌入水的激溅作用,导致雾化,在泄水建筑物出口下游形成雾化区。就物理过程而言,泄洪雾化实际上是一个非常复杂的水气多相流物理现象,其影响因素众多,包括泄水建筑物的体型及泄洪方式、上下游水位差、流量、入水流速与角度、下游水垫深度、下游地形、气候条件等。采用“七五”攻关专题研究提出的高水头、大流量、窄河谷的枢纽工程泄洪雾化范围估算式进行计算,成果见表 4,表中 H 表示坝高。

3.3 泄洪冲刷、雾化影响区防护

a. 防护的必要性。瀑布沟枢纽泄水建筑物包括溢洪道、泄洪洞和作为水库放空运用的放空洞。泄水冲刷区、雾化区位于尼日河汇口以下约 1500 m 河段,泄水建筑物泄洪时,高速水流的冲刷和雾化,对下游岸坡的稳定,坝区交通、电厂输变线路及坝址区建筑物的安全等均构成一定的威胁与影响,尤其是高水头、大流量的水电工程,其泄洪雾化的规模与危害十分惊人。泄洪在坝下形成较严重的溅水雾化现象,水舌风、暴雨、飞石将对水电站的正常运行造成严重影响。瀑布沟工程泄洪水头高,流量大,泄洪总功率达 17100 MW,且河谷狭窄,因此有必要根据冲刷、雾化的不同影响程度,采取必要的工程措施,对岸坡和建筑物进行保护。

表 4 泄洪雾化估算成果

影响范围	纵向范围	横向范围	高度
浓雾	$(2.2 \sim 3.4)H$	$(1.5 \sim 2.0)H$	$(0.8 \sim 1.4)H$
暴雨区	409 ~ 632 m	297 ~ 372 m	149 ~ 260 m
薄雾区	$(5.0 \sim 7.5)H$	$(2.5 \sim 4.0)H$	$(1.5 \sim 2.5)H$
	930 ~ 1395 m	465 ~ 744 m	279 ~ 465 m

b. 防护原则。①通过模型试验研究和数值分析,借鉴二滩、小湾等工程的分析计算及实测经验,优化挑流鼻坎体型,使各泄水建筑物在各种泄洪工况下的挑射水舌尽可能归槽,避免回流产生或降低回流流速。②根据上述冲刷区、雾化区的地形地质条件和建筑物分布情况,重点保护两岸边坡、右岸成昆铁路及车站、尾水洞出口、右岸改线公路等建筑物。

c. 防护措施。根据不同分区和不同地质条件初步拟定防护措施:①清除雾化区内的不稳定体,合理设置排水系统;②对强溅水区进行系统的混凝土

衬砌保护,对强暴雨区根据边坡地质条件采用混凝土衬砌与喷锚结合处理,对雾流降雨区根据边坡地质条件和植被状况进行有针对性的处理;③左岸古崩塌堆积体设置混凝土防冲墙,以保护其前缘基脚不被淘刷。同时对部分危岩予以清除或锚固;④采用明涵洞保护成昆铁路的安全运营,对于尼日车站将根据雾化专题研究成果确定其保护办法;⑤加强右岸改线公路路基和边坡保护;⑥清除或处理河道岸边的不稳定体、堆碴等,以防其崩塌,淤阻河道。

4 结 语

瀑布沟工程泄洪水头高,流量大且河谷狭窄。泄水建筑物的研究和优化设计至关重要。在介绍放空洞建筑物设计标准、研究思路和实施措施的基础上,通过对瀑布沟水电站放空洞的优化设计和研究,讨论了工程设计中的关键技术问题。水库蓄水期间,放空洞投入运行多次,运行效果良好,为电站的安全运行提供了保证。

参考文献:

- [1] 清华大学水力学教研室. 水力学[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [2] 杨家卫,薛之龙,马麟. 小湾水电站泄洪建筑物布置优化研究[J]. 水力发电,2004,30(10):24-26.

(收稿日期:2013-02-20 编辑:骆超)

(上接第 52 页)

参考文献:

- [1] 华东水利学院水文系. 水文预报[M]. 北京:中国工业出版社,1961.
- [2] 葛守西. 现代洪水预报技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [3] 华东水利学院. 中国湿润地区洪水预报方法[M]. 北京:水利水电出版社,1978.
- [4] 刘宏才. 系统辨识与参数估计[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [5] 阿包特 M B. 计算水力学[M]. 北京:海洋出版社,1985.

(收稿日期:2012-09-21 编辑:骆超)

