

文章编号:1001-4179(2015)21-0065-03

西藏拉洛水利枢纽德罗电站前池泄槽水力设计

陈志康,夏叶青,郑光俊

(长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北 武汉 430010)

摘要:西藏拉洛水利枢纽工程位于西藏自治区南部日喀则地区。德罗电站前池溢流堰采用开敞式平底宽顶堰,沿山脊布置下游泄槽,最大落差达230余米,泄槽底坡变化大、线路曲折,全长2 297.20 m。针对泄槽复杂多变的弯道及坡度的水力设计难点,设计提出泄槽采用沿程设置台阶、中部间隔加设整流池及末端设置消力池的综合解决方案,有效地适应了弯道、底坡变化大的自然条件,且成功解决了高水头、高速水流的消能难题。其工程经验可供同类工程参考。

关键词:台阶泄槽设计;拉洛水利枢纽;德罗水电站;西藏

中图法分类号:TV22

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.016

1 工程概况

西藏拉洛水利枢纽及配套灌区工程位于西藏自治区日喀则市西部、雅鲁藏布江以南的萨迦县,是雅鲁藏布江一级支流夏布曲上的控制性工程。主要任务为“灌溉,兼顾供水、发电和防洪,并促进改善区域生态环境”。拉洛水利枢纽水库总库容2.917亿 m^3 ,为大(二)型水利工程。枢纽工程主要建筑物包括大坝、泄洪建筑物、鱼道、德罗引水隧洞和两座电站。枢纽布置为:河床布置沥青混凝土心墙砂砾石坝,右岸布置多功能泄洪隧洞,左岸坝肩布置开敞式溢洪道,拉洛电站厂房位于大坝坝脚下游右岸,德罗隧洞进水口(灌溉取水口)布置在坝轴线上游约6.2 km库区右岸的加木扎处,鱼道布置于右岸山坡。

大坝为沥青混凝土心墙土石坝,最大坝高61.5 m。拉洛电站装机2 MW,主要是利用电站下泄生态流量发电。德罗电站装机40 MW,主要是利用灌溉流量及引水水头发电,电站尾水进入灌区引水渠。配套灌区由申格孜、扯休、曲美、聂日雄等4大灌区组成,设计灌溉面积3.03万 hm^2 。设计灌溉引用流量为19.4 m^3/s ,最大灌溉引用流量为23.4 m^3/s 。

工程于2014年6月8日正式开工建设,它的建成对实现地区水资源优化配置,改善边区农牧民生产生

活条件,全力打造西藏生态屏障,保障国家生态安全,促进西藏地区经济社会可持续发展,增进民族团结和社会安定具有十分重要的政治意义。

2 德罗电站前池泄槽的特点

德罗电站前池泄槽所处位置海拔4 283~4 050 m,电站利用灌区灌溉引水和拉洛水库至灌区总干渠进口之间的落差发电,发电的尾水流入灌区总干渠。德罗电站引水建筑物由进水口、引水隧洞、前池、压力钢管、侧堰及泄槽等组成,压力前池右侧设置侧堰,侧堰后接泄槽。

侧堰及泄槽应用条件为:当灌溉引用流量大于电站发电流量或当电站机组检修停机时,灌溉用水即通过前池侧堰溢出,并经由泄槽进入总干渠灌溉。因此侧堰及泄槽按德罗电站全部停机时最大灌溉引用流量23.4 m^3/s 设计。

侧堰采用开敞式平底宽顶堰,堰顶高程4 283.0 m(略高于设计流量下前池水面高程),水流出堰后进入泄槽。根据地形条件和节省工程投资需要,泄槽布置在与压力钢管轴线基本平行的山脊上,并从两山脊间冲沟源头绕过。因此泄槽线路曲折多变,底坡坡度变化大,泄槽全长2 297.20 m,高差达230 m。

高海拔输水以及输水线路复杂多变的弯道、坡度

收稿日期:2015-09-13

作者简介:陈志康,男,高级工程师,主任工程师,主要从事大中型水电工程设计工作。E-mail:chenzhikang@cjwsjy.com.cn

及高水头消能等问题是设计面临的技术难题。
侧堰及泄槽线路平面布置及轴线纵剖面见图 1。

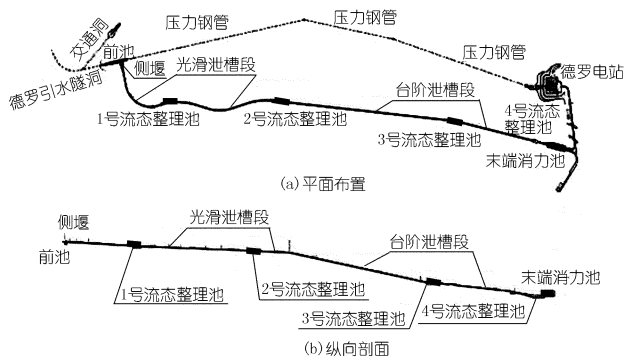


图 1 侧堰及泄槽线路平面布置与轴线纵剖面

根据泄槽线路长、高差大、弯道多,但泄槽最大单宽流量仅 $7.8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ 的水力特点,设计提出以沿程消能为主、末端消杀剩余能量的基本构想,即整个泄槽底板设置台阶沿程消能、末端设置底流消力池的布置型式。针对复杂多变的弯道及坡度的水力设计,设计提出在弯道及坡度变化大的节点分段设置流态整理池的解决方案,即利用流态整理池进行复杂水流的过渡与衔接,以达到消除不良流态的目的。

3 泄槽布置与水力设计

3.1 泄槽结构布置

侧堰为平底开敞式宽顶堰,堰顶高程 $4\,283.0\text{ m}$,堰前缘宽 12 m ,在堰面 15.5 m 后接长 30 m 的侧向收缩渐变段,宽度由 12 m 逐渐收缩至 3 m 后接泄槽。

泄槽标准断面 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$ (高 \times 宽),泄槽沿山脊布置前段弯道多,后段基本顺直,底坡前缓后陡,泄槽出口灌区总干渠渠底高程 $4\,050.42\text{ m}$ 。泄槽前部缓坡段坡度为 $1:60$ 、 $1:30$ 、 $1:20$,无台阶明渠。其余部位顺山坡按 $1:5$ 、 $1:10$ 和 $1:4$ 均设置台阶跌坎,跌坎高度 50 cm 。泄槽为整体式“U”型混凝土结构,泄槽侧墙高度根据设计灌溉流量确定,按最大灌溉引用流量控制侧墙安全超高,并考虑高海拔地区气压影响。边墙和底板厚均为 50 cm ,过水表面设置防裂钢筋网。

沿程共设置 4 个流态整理水池,1 号与 2 号流态整理池长 35 m 、宽 6 m 、深 3.5 m ;3 号流态整理池长 38.15 m 、宽 6 m 、深 3 m ;4 号流态整理池长 20 m 、宽 6 m 、深 2.8 m 。

为消减下游明渠内水面波动,在泄槽尾部设二级消力池消除剩余能量后将水流导入总干渠。一、二级消力池长分别为 50 m 和 32.6 m ,一级池为下沉式,池深 2 m ,二级池尾部加坎,坎高 1 m ,一级消力池宽 8 m ,二级池宽度进口为 8 m ,出口为 10.3 m 。消力池出

口与总干渠交汇处平面上采用圆弧喇叭口连接,圆弧转弯半径 12.5 m 。

流态整理池和消力池均为钢筋混凝土整体槽结构,墙顶厚 50 cm ,墙底和底板厚 150 cm 。

3.2 泄槽台阶设计

由于整个泄槽长达 $2\,297.20\text{ m}$,高差达 230 m ,泄槽沿程坡度变化大,由 $1:60$ 变为 $1:4$ 。因此,沿程消能是最直接且最简单的消能方式。台阶消能是利用台阶对水流的阻力,使水流产生强烈紊动,大量掺气沿程消能,可大大减少末端消力池消能的负担,并提高消能效果。

根据文献[1],台阶式溢洪道的坡度较小时 ($5.7^\circ \leq \theta \leq 11.3^\circ$,相当于 $0.1 \leq i \leq 0.2$)、若单宽流量为 $3.16 \sim 35.59\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$,相应的消能率可达 80% 以上。台阶消能最佳流态是泄槽水流产生滑行流流态,如图 2 所示。

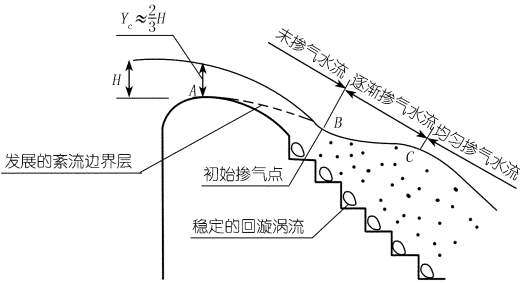


图 2 滑行流典型流态示意

而泄槽水流产生滑行流流态的关键因素是泄槽台阶高度。按照钱桑 (H. Chanson) 的理论,滑行流的临界值为

$$y_{c\text{临}}/h = 1.06 - 0.465\tan\theta \tag{1}$$

式中, $y_{c\text{临}}$ 为水流形成滑面流流态临界水深的临界值; h 为台阶高度; θ 为台阶的坡角。

当 $y_c > y_{c\text{临}}$ 时,水流开始出现滑行流流态。

由于泄槽沿程各段 (6 段) 坡度不同,分别为 $1:60$ 、 $1:30$ 、 $1:20$ 、 $1:5$ 、 $1:10$ 及 $1:4$,而坡度 $1:60$ 、 $1:30$ 、 $1:20$ 三段为泄槽前半段,也是弯道多变段,且水头不大。因此,为减少弯道水流的复杂性,仅在后 3 段设置台阶。

按照泄槽各段底坡坡度,台阶高度按公式 (1) 计算并结合水力学模型试验确定,为方便施工,台阶高度均采用 0.5 m 。

3.3 泄槽流态判别及整理池设计

由于泄槽线路前半部弯道多,进流流态差,而沿程坡度变化大,且处于滚波的临界坡比,致使后半部流态进一步恶化^[2-3]。因此提出在弯道及坡度变化大的节

点分段设置流态整理池的设计思路。

(1) 泄槽各段正常水深及临界水深。按照明渠均匀流计算 $Q = 23.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 时各坡度正常水深,见表 1。

表 1 各段正常水深计算值

底坡坡比	正常水深/m	底坡坡比	正常水深/m
1:60	0.923	1:10	0.507
1:30	0.730	1:5	0.405
1:20	0.637	1:4	0.377

经计算, $Q = 23.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 时的临界水深 $h_k = 1.517 \text{ m}$,泄槽各段临界水深均大于正常水深,故水流为陡坡急流流态。

(2) 泄槽流态判别。文献[1]提出泄槽 $i \geq 0.02$ 或 $x/h \geq 10$ 将产生滚波。因此对泄槽各坡段进行滚波流态判别计算。计算结果表明,泄槽后半部分沿程均为滚波(见表 2)。

表 2 各坡段水流滚波形成判别

底坡坡比	判别条件		底坡坡比	判别条件	
	$i \geq 0.02$	$x/h \geq 10$		$i \geq 0.02$	$x/h \geq 10$
1:60	0.017 不产生	4.5 不产生	1:5	0.050 产生	6.9 不产生
1:30	0.033 产生	5.1 不产生	1:10	0.100 产生	9.7 不产生
1:20	0.200 产生	11.3 产生	1:4	0.250 产生	13.4 产生

试验观测到:水流在泄槽弯道上产生折冲水流,与跌水叠加后产生波源,当坡度变陡、前波叠加、运动加速后,后续波未及,将形成间歇流,并最终发育引发成滚波。

设计解决方案是在弯道及坡度变化大的节点,分段设置流态整理池,不仅可消除部分能量,且可以形成较好的水流衔接。试验证明流态整理池是消除弯道水流、滚波及其他不良流态的有效措施。

(3) 流态整理池设计。整理池长度 L 按下式计算。

$$L = l_1 + l_2 - C \tag{2}$$

式中, l_1 为射流距离, m ; l_2 为池内水跃长度, m ; C 为跌坎斜坡长度, m ; 此处 C 值为零。

流态整理池深度按消力池和冲坑两种方式计算确定,对计算结果进行对比,考虑高海拔区的气压影响,综合确定流态整理池深度。

根据计算结果,在缓坡段中部设置 1 号和 2 号流态整理池,池长 $L = 35.0 \text{ m}$,池深 $d = 3.5 \sim 4.0 \text{ m}$ 。在缓坡段后部设置 3 号和 4 号流态整理池,3 号池长 $L = 38.15 \text{ m}$,池深 $d = 3.0 \text{ m}$,4 号池长 $L = 20.0 \text{ m}$,池深 $d = 2.8 \text{ m}$ 。

3.4 泄槽末端消力池设计

泄槽陡坡末端按照 1:4 斜坡,顺畅连接消力池,采用底流消能。消力池设计为矩形断面,各参数按下式

计算。

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \tag{3}$$

式中, Fr_1 为收缩断面佛汝德数; h_1 为收缩断面水深, m ; h_2 为跃后水深, m ; b_1, b_2 为跃前、跃后断面宽度。水跃长度 L 按下式计算。

$$L = 10(h_2 - h_1)Fr^{-0.16} \tag{4}$$

计算结果为:一级消力池长 $L = 50 \text{ m}$,池深 $d = 2.0 \text{ m}$,池宽 $b = 8.0 \text{ m}$;二级消力池长 $L = 32.6 \text{ m}$,池深 $d = 1.0 \text{ m}$,池宽 $b = 8.0 \text{ m}$ 。

3.5 水工模型验证

2012 年 1 月至 2013 年 5 月,长江科学院进行了比尺 1:30 的侧堰和泄槽水力学模型试验,试验成果表明^[3]:① 泄槽段沿程水流平稳,流态良好,沿程无水体晃荡、溅出等现象,水流消能率高,小流量条件下无间歇性断流现象;② 泄槽末端的消力池入池流速较小,水流佛氏数小于 1.0。下游一级消力池首部最大流速仅 0.68 m/s ,水流佛氏数小于 1.0,未形成水跃衔接流态,基本与消力池内表层水体衔接,产生较大波浪,其波浪峰谷差达 0.38 m ,经二级消力池消能后与总渠交接处水面波动变化幅值仅 0.20 m ,下游与总灌渠交接处水流平缓、流速分布均匀,满足总干渠进水口水流衔接要求;③ 泄槽台阶、流态整理池及末端消力池总体消能率达 98% 以上。

4 结 语

德罗电站利用灌区灌溉用水发电,前池泄槽具有 230 m 落差、顺山脊布置、多弯道及坡度变化大等特点。泄槽在缓坡段采用光滑底坡、在陡坡段沿程设置台阶、中部间隔加设整流池及泄槽末端设置消力池的综合消能方案,有效地适应了弯道、底坡变化大的自然条件,消能效果显著,且成功解决了高水头、高速水流的消能难题,其工程经验值得推广借鉴。

致 谢

本文在撰写过程中得到了长江勘测规划设计研究有限责任公司王小毛教授级高级工程师的悉心指导,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 吴持恭. 水力学(第 4 版)[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [2] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 西藏拉洛水利枢纽及配套灌区工程初步设计报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限公司,2014.
- [3] 长江科学院. 西藏拉洛水利枢纽及配套灌区工程侧堰单体水工模型试验研究报告[R]. 武汉:长江科学院,2013.

(编辑:徐诗银)

固形状为拱形,较为合理的优化面积为 30% ~ 40%。根据加固区域的宽度,可以设置为连环多拱的加固形式。

(2) 有限元计算表明,对比格构加固形式,在控制桩体相同位移下,拱形比格构式能节省更多材料。支护桩传递的推力通过拱体传递到拱脚和周边,避免了应力集中,同时拱侧未加固区并没有出现明显位移。

(3) 相比传统的实腹式,现场试验和有限元均证实拱形加固在有效控制位移的情况下,还可以明显减少材料。

本文进行的研究为基坑设计方案的拟定提供了指导性的理论基础,在今后的研究中还将加入各种影响因素,如拱体半径、拱墩间距、地质条件等,以便设计人员快速地针对不同的基坑制定不同的被动区加固方案。

参考文献:

[1] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册(第2版)[M]. 北京:中国建筑工

业出版社,2009.

- [2] 罗战友,夏建中,刘薇. 基坑内土体加固对悬臂式支护结构的影响分析[J]. 岩土力学,2006,27(增刊2):931-934.
- [3] 张宇捷,李俊才,陈志宁. 软土基坑中被动区加固对周围环境的影响[J]. 施工技术,2009,38(11):91-93.
- [4] 陶宏亮,范士凯,徐光黎. 粉喷桩加固技术在深基坑被动区支护中的应用[J]. 人民长江,2013,44(22):56-59.
- [5] 魏祥,杜金龙,杨敏. 被动区加固对基坑外桩基础的变形影响分析[J]. 岩土工程学报,2008,30(增刊):37-40.
- [6] 刘溢,李镜培,陈伟. 被动区深层搅拌桩加固对超深基坑变形的影响[J]. 岩土工程学报,2012,34(增刊):465-470.
- [7] 郑俊杰,章荣军,丁烈云. 基坑被动区加固的位移控制效果及参数分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(5):1042-1051.
- [8] Eschenauer H A, Olhoff N. Topology optimization of continuum structures: a review[J]. Applied Mechanics Reviews,2001,54(4):331-389.
- [9] 周克民,李俊峰,李霞. 结构拓扑优化研究方法综述[J]. 力学进展,2005,35(1):69-74.

(编辑:郑毅)

Topology optimization and numerical analysis on passive zone reinforcement of foundation pit by arch layout

LIU Xu, YU Chenxiang, LING Fei, ZHANG Yanjun, CHEN Bo

(Wuhan Surveying Geotechnical Research Institute CO., LTD. of MCC, Wuhan 430080, China)

Abstract: The layout forms of solid-web and lattice reinforcement are usually adopted in the reinforcement for the passive zone of foundation pit, while the feasibility of arch layout, a new type of reinforcement form, needs to be verified. We first apply ANSYS software to conduct topology optimization to the reinforcement form, and the result shows that the arch reinforcement is the optimal form. Furthermore, 2D finite element simulation analysis shows that arch structure can save more materials than lattice form under the same pile deformation. Based on a practical case, the simulation and monitoring results confirmed that the multi-arch structure can significantly reduce the construction material for same pile deformation compared with traditional forms, which provides theoretical and practical guidance for arch reinforcement in passive zone of foundation pit.

Key words: foundation pit; passive zone reinforcement; arch layout; topology optimization; numerical analysis

(上接第 67 页)

Hydraulic design of fore bay discharge spillway of Deluo Power Plant of Laluo Hydro-junction in Tibet

CHEN Zhikang, XIA Yeqing, ZHENG Guangjun

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Laluo Hydro-junction is located in Xigaze region of southern Tibet. The open flat-bottom broad crest weir was adopted as the overflow weir of the fore-bay of its Deluo Hydropower Plant and the discharge spillway with full length of 2297.20 m in the downstream is constructed along a slope-varied, tortuous mountain ridge with the largest fall of more than 230 m. Aiming at the difficulties in hydraulic design such as the complicated and varied bend and slope of the discharge spillway, the solution is put forward, which sets steps along the spillway, space interval regulating pool in the middle section and silting basin at the end of the discharge spillway. It suits the natural conditions of varying bend and slope and solves the difficulties of energy dissipation of high-head and high-speed flow.

Key words: discharge spillway with steps; Laluo Hydro-junction; Deluo Power Plant; Tibet