

拉哇水电站工程截流方案和实施

练新军, 李洪林

(中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310004)

摘要:拉哇水电站位于金沙江上游, 坝址区总体为高山峡谷地形, 河流深切呈“V”字型, 枯期流量较大, 增加了工程截流的难度。针对这种情况, 在截流前根据截流时段、截流标准、堰址地形地貌和水文地质特征参数进行截流水力学计算, 并通过水力模型试验成果优化确定截流方案, 按期实现大江截流, 为类似水电工程截流提供借鉴。

关键词:拉哇水电站; 截流; 方案确定; 方案实施

中图分类号: [TM622]; TV551.2; TV551.1+6

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)03-0055-05

Scheme and Fulfillment of River Closure in Lawa Hydropower Station

LIAN Xinjun, LI Honglin

(Sinohydro Bureau 12 Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang, 310004)

Abstract: Lawa Hydropower Station is located in the upper reaches of the Jinsha River. The dam site area is generally alpine and canyon terrain. The river is deeply incised in the shape of V, and the flow during dry season is relatively large, which increase the difficulty of closure. In view of this situation, closure hydraulics are calculated according to the closure period, closure standard, topography and hydrogeological characteristics of the weir site, and the closure scheme is optimized and determined through hydraulic model test. River closure is realized on schedule and this paper provides reference for similar hydropower projects in terms of river closure.

Key words: Lawa Hydropower Station; closure; determination of scheme; fulfillment of scheme

1 概述

拉哇水电站位于金沙江上游, 为一等大(I)型工程, 坝址控制流域面积 17.6 万 km^2 , 多年平均流量 861 m^3/s 。枢纽采用河床布置混凝土面板堆石坝, 坝顶高程 2 709 m, 坝顶长度 398 m, 坝顶宽 15 m, 最大坝高 239 m。电站装 4 台 500 MW 机组, 多年平均年发电量 83.24~90.89 亿 kWh。

坝址区总体为高山峡谷地形, 河流深切呈“V”型, 枯期流量较大。根据坝址地形地质条件和河流洪峰流量特点, 采用导流隧洞分流、围堰一次拦断河床、从左向右单向进占、单戽立堵截流方式。其中, 右岸 2 条导流隧洞轴线间距 35 m, ①、②导流隧洞断面尺寸分别为 17 m×19 m(宽×高)、7.5 m×8 m(宽×高), 进口高程分别为 2 540 m 和 2 544 m。通过水力学计算成果分析

论证和工程截流模型试验成果验证, 优化选择了合理的截流方案, 按期实现大江截流。

2 截流方案确定

2.1 工程截流水力学计算及模型试验成果比较

根据多年水文观测资料统计分析^[1], 坝址处多年平均流量为 861 m^3/s , 枯期各月多年平均流量及年内分配见表 1。

坝址年平均流量、枯水期(12 月~次年 4 月)平均流量各频率计算成果见表 2。

工程截流前, 经过水力学计算成果分析论证, 并委托中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司进行了工程截流动床模型试验验证。除平均最大流速外, 截流水力学计算出的戽堤上下游水位最大落差、最大单宽功率等龙口主要水力学指标(见表 3)均比模型试验成果要小。为确保截流安全, 截流设计采用截流动床模型试验成果。

收稿日期: 2022-05-11

表1 枯期各月平均流量及年内分配表

项目	11月	12月	1月	2月	3月	4月	年
平均流量 / $m^3 \cdot s^{-1}$	507	296	231	212	219	330	861
百分比 / %	4.84	2.92	2.28	1.89	2.16	3.15	100

表2 坝址年平均流量、枯水期平均流量频率计算成果表/ $m^3 \cdot s^{-1}$

项目	均值	Cv	Cs/Cv	频率 / %						
				2	5	10	20	50	75	90
年	861	0.23	2	1 310	1 210	1 120	1 020	846	720	619
枯水期	258	0.16	2	350	329	312	292	256	229	207

表3 龙口主要水力学指标

序号	项目	单位	计算值	水力模型试验成果			实际值	
				成果值	部位	测值	部位	
1	龙口设计流量	m^3/s	639	639	围堰上游	434	围堰上游	
2	上下游水位最大落差	m	7.24	9.41	围堰上下游	6.69	戽堤上下游 100 m 范围	
3	戽堤轴线部位平均最大流速	m/s	5.55	5.4	戽堤轴线部位	7.08	戽堤轴线部位	
4	龙口部位最大流速	m/s	—	11.91	戽堤下游坡脚	7.57	戽堤轴线下游 22 m 处	
5	最大单宽功率	t. m/s. m	29.53	62.95	龙口部位	—	—	

2.2 截流时段和标准

根据总体施工安排及导流洞分流安排,工程截流时段选在 11 月下旬,截流标准采用 11 月 10 a 一遇月平均流量 $639 m^3/s$ 。

2.3 截流方式

根据堰址地形和截流料源、现场施工道路布置条件,采用从左向右单向进占、单戽立堵截流方式。

2.4 戽堤平面及戽堤断面布置

围堰截流戽堤在防渗墙轴线下游,平面布置见图 1。戽堤与围堰堰体结合、垂直于主河床布置,距离导流洞进口下游侧翼墙头部约 210 m,与上游防渗墙平行,相距 72.5 m,与围堰轴线平行,相距约 75 m。为雍高龙口水位、改变流态、降低龙口流速,在戽堤轴线下游 140 m 部位自左向右抛填约 5 m 长丁坝。

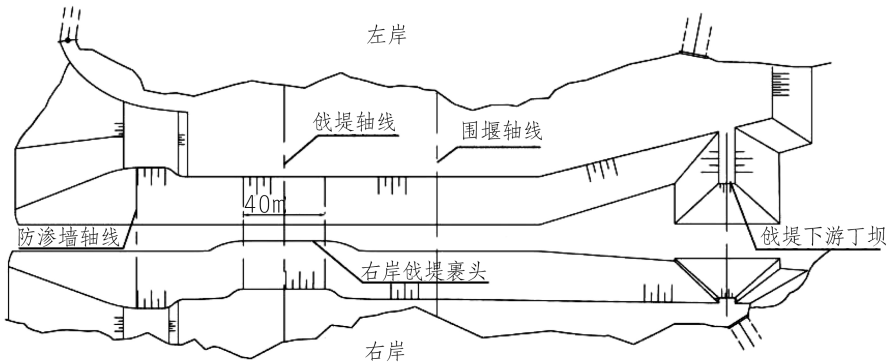


图1 平面布置示意图

根据截流床模型试验成果^[2],11月下旬截流后 $Q=639 m^3/s$ 流量对应上游水位 2 548.193 m 和下游水位约 2 540.936 m。考虑安全超高等因素,确定戽堤顶高程为 2 550 m。考虑满足 3~4 辆 32 t ($16 m^3$) 自卸汽车同时卸料,截流戽堤顶宽设计为 20 m,戽堤断面为梯形,上下边坡由进

占抛投料自然形成(约 1 : 1.5)。龙口戽堤受水流淘刷导致坍塌,纵向迎水面抛投自然坡比约 1 : 2。为满足龙口段戽堤高强度抛填、减少戽堤透水及固坡,龙口截流戽堤抛填时上、下游 10 m 范围同步抛填 $D \leq 200 mm$ 、 $D \leq 800 mm$ 石渣料进行培厚。截流戽堤设计断面见图 2。

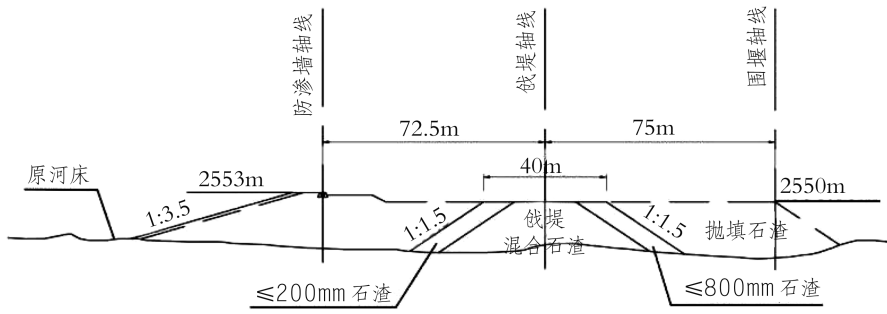


图 2 截流钱堤断面示意图

2.5 龙口布置

截流钱堤布置在上游围堰内,堰址主河床位于右岸,且截流前右岸留有一条宽约 8 m 供导流洞进口施工的道路 10 号-2。结合截流水力学计算及截流动床模型试验成果,综合考虑截流钱堤备料、施工道路、后续防渗墙施工、监测仪器埋设

等综合因素,龙口设置在河床右岸 S0+065~S0+125 范围。

2.6 龙口分区及抛投材料

龙口合龙施工时,首先对右岸钱堤进行裹头保护,然后从左向右单向进占、立堵截流。龙口合龙钱堤进占分区见图 3。

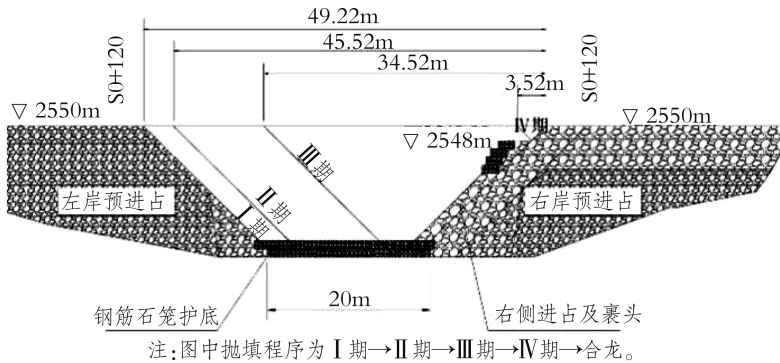


图 3 龙口合龙钱堤进占分区示意图

影响截流抛投材料量的主要因素包括钱堤实际抛投断面、抛投流失量、覆盖层冲刷量以及备料堆存和运输损耗量等^[3]。截流抛投材料主要包括混合石渣(粒径 ≤ 0.8 m)、大块石(粒径 > 0.8 m)、钢筋石笼、合金网兜、块石串、混凝土四面体

等。根据工程截流特点及模型试验成果,钢筋石笼备料系数取 1.3,混合石渣、大块石、块石串、合金网兜备料系数取 1.8。钢筋石笼、块石串、合金网兜抛、混凝土四面体等特殊抛投材料均提前堆存在钱堤附近,截流钱堤合龙备料见表 4。

表 4 截流钱堤合龙备料表

分区	部位	混合石渣 /m ³	混凝土四面体 /只	大块石 /m ³	合金网兜 /m ³	钢筋石笼 /m ³	大块石串 /m ³
围堰下游丁坝		5 400	—	3 600	—	—	—
龙口护底	S0-090~S0-030	—	—	1 260	—	2 400	—
右岸裹头	高程 2 544 m 以下	—	—	2 520	—	—	—
	高程 2 544~2 548 m	—	—	—	—	910	—
龙口钱堤	上挑角、中部及下挑角	22 676	16	17 136	2 422	1 612	1 026
	合计	28 076	16	24 516	2 422	4 922	1 026

3 截流方案的实施

3.1 截流程序

工程截流施工程序为:围堰左岸全断面预进占至 S0+065、形成 2 544.5 m 高程作业平台→

右岸⑩-2道路戽堤部位补抛、形成2544.5 m高程作业平台→左、右岸戽堤抛填大块石护脚→右岸戽堤2544.5 m以下裹头采用大块石保护→龙口护底钢筋石笼吊装→右岸戽堤2544.5 m以上补抛、迎水面摆砌钢筋石笼裹头保护→左岸戽堤立堵抛投、向右进占→龙口合龙。

3.2 截流准备

工程截流前,成立了工程截流指挥部和技术保障组、设备物资保障组、应急保障组、后勤保障组、宣传报道组、现场指挥组,编制了工程截流施工手册,明确了工作职责和施工程序、应急预案,提前组织分项及合成演练,检验和优化了截流施工组织流程和资源配置,使截流组织更合理、截流实施更有保障。同时,修筑完成各料源点至戽堤运输道路、划定车辆行驶路线,并组织80余台套反铲挖掘机、自卸汽车、装载机、推土机、吊机、平板拖车等全程演练,确保各作业人员提前熟悉操作流程、配合默契,以减少截流过程中的施工干扰、提高截流抛投强度。

3.3 预进占与护底施工

3.3.1 预进占填筑

工程截流戽堤2550 m高程轴线长约124.173 m。为减少戽堤龙口合龙工程量,降低龙口抛填强度^[4],提前组织戽堤预进占,形成顶宽60 m的龙口。在截流戽堤预进占的同时,上游侧防渗墙施工作业平台过渡料和碎石土料及下游侧抛填石渣料也跟进填筑。

预进占采用反铲挖掘机挖装、自卸汽车运输、进占法卸料、推土机分层摊铺,水面1 m以上抛填石渣采用26 t振动碾分层碾压密实。

3.3.2 龙口护底及裹头保护

围堰堰址河床覆盖层厚近70 m,表层 Q^{al-5} 层砂卵石层厚仅1~8 m,下部为超40 m厚的 Q^{l-3} 、 Q^{l-2} 堰塞湖相沉积岩,河床在高速水流下容易淘蚀。

为减轻河床冲刷和龙口抛投量,缩短截流时间和减轻戽堤坍塌^[5],戽堤合龙前采用了大块石、钢筋石笼等进行护脚护底。护底采用两层 $2\text{ m}\times 1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 钢筋石笼,护脚采用块径0.8 m以上的大块石,护脚护底范围为戽堤上游25 m~戽堤下游35 m区域。

护脚大块石利用自卸汽车运输和反铲挖掘机

进行抛填。护底钢筋石笼采用自卸汽车运输和人工配合起重机从下游向上游分层安放,采用拉标尺线的方法进行精确放样和定位。

3.4 右岸裹头防护

为减轻合龙过程冲刷,戽堤右岸裹头不同高程分别采用大块石和钢筋石笼进行防护。2544 m以下采用大块石进行防护,利用自卸汽车运输、卸料至堤顶,采用反铲挖掘机辅助抛填。2544~2548 m范围采用厚度2 m的钢筋石笼防护,钢筋石笼采用“一丁一顺”摆砌,石笼间采用C22 mm钢筋串接成整体,随裹头抛填石渣同步上升,同时施工。

3.5 合龙抛填

3.5.1 戽堤截流分区进占材料及进占方式

戽堤预进占阶段采用全断面进占施工,截流材料采用粒径0.3 m以下及连续级配石渣,裹头采用粒径0.4~0.75 m大块石进行保护。戽堤合龙时,凸出上游挑角法施工,上挑角 $45^\circ\sim 60^\circ$ 超前进占,堤身及下挑角采用连续级配石渣紧跟抛投,并采用合金网兜、块石串、大块石、钢筋石笼等保护。截流分区进占材料及进占方式见表5。

3.5.2 戽堤挑角抛填

龙口戽堤挑角部位是戽堤截流的薄弱部位,流速大、易淘刷,上挑角 45° 方向主要抛填四面体、合金网兜、钢筋石笼、大块石串、大块石等特殊料。上挑角特殊料抛填顺序采用四面体→合金网兜→钢筋石笼→大块石串→大块石,控制进占方向 $30^\circ\sim 45^\circ$ 范围。各型抛填材料施工工艺如下:

(1)四面体抛填。左岸截流戽堤进占至困难段,在戽堤上游抛填2只四面体对上挑角进行护脚。两只四面体采用人工配合起重机吊运至截流戽堤上挑角部位,采用 $\phi 16\text{ mm}$ 钢丝绳串联后利用推土机推运。

(2)合金网兜抛填。合金网兜采用人工配合起重机吊装、自卸汽车运输到堤头卸料,采用推土机或装载机铲推。

(3)钢筋石笼抛填。钢筋石笼采用人工配合起重机吊装自卸汽车运输到堤头卸料,采用推土机或装载机铲推。钢筋石笼装车时,石笼沿车厢纵向摆放,每辆自卸汽车装4只 $1\text{ m}\times 1\text{ m}\times 2\text{ m}$ 钢筋石笼。卸车前,采用 $\phi 14\text{ mm}$ 钢丝绳将钢筋

表 5 截流分区进占材料及进占方式

分 区	龙口顶宽	材料类型及规格	进占方式
预进占段	124.17~54.17 m	采用粒径 0.3 m 的石渣进占。龙口宽 60m 时,戽堤轴线上游侧堤头采用粒径不小于 0.4 m 的块石保护,戽堤轴线下游侧堤头采用不少于两层的大块石保护,戽堤左侧裹头采用粒径 0.5 m 的块石保护;右侧裹头 2 548 m 以下采用粒径 0.75 m 大块石保护,2 548 m 以上及钢筋石笼保护。	全断面进占
龙口 I 区	54.17~42.17 m	上挑角采用粒径 0.6 m 的中块石抛投,堤身及下挑角采用粒径 0.3 m 的石渣抛投。	
龙口 II-1 区	42.17~31.17 m	采用粒径 0.6 m 的中块石抛投,左岸戽堤上挑角采用合金网兜、块石串及 0.85 m 以上大块石保护。	
龙口 II-2 区	31.17~27.17 m	首先在上挑角 45°~60°采用四面体镇脚,合金网兜、块石串、钢筋石笼超前进占,然后用粒径 0.85 m 的大石抛投 0°~45°上挑角、下挑角,最后在堤身抛投粒径 0.6 m 的中块石;上游面采用石渣培厚。	凸出上游挑角法,上挑角 45°~60°超前进占
龙口 III 区	27.17~6.17 m	首先在上挑角 45°~60°采用合金网兜超前进占,然后用粒径 0.85 m 的大石抛投 0°~45°上挑角、下挑角,最后在堤身抛投粒径 0.6 m 的中块石;上游面采用石渣培厚。	
龙口 IV 区	6.17~0 m	采用粒径 0.85 m 的大块石抛投上挑角,中块石抛投其他部位;上游面采用石渣培厚。	全断面进占

石笼环绕串联。

(4)大块石串抛填。抛填前先采用 $\varphi 14$ mm 钢丝绳将 5~6 只大块石串成整体,块石串采用起重机吊装、自卸汽车运输至堤头上挑角部位,采用推土机或装载机推运入水。

(5)大块石抛填。截流戽堤大块石采用自卸汽车运输至指定部位、卸车,采用推土机或装载机推运入水。

3.5.3 戽堤矾头填筑

截流戽堤矾头主要抛填混合石渣料,抛填滞后上下游挑角 2~3 m,采用自卸汽车运输至堤头卸料,利推土机或装载机推填。矾头填筑时,自卸汽车卸料位置距离堤头约 2 m,推填坡度不陡于 20%,堤头距离水面高度至少 0.5 m。

4 结 语

工程于 2021 年 11 月 27 日上午 10 时正式开始大江截流抛投,2021 年 11 月 29 日 10 时顺利合龙。截流时戽堤上游水位 2 547.02 m,流量 434 m³/s,实测最大流速 7.57 m/s、位于戽堤轴线下游 22 m 处。受戽堤下游左岸丁坝影响,截流期间下游水位雍高约 3 m,截流戽堤上下游实测水位最大落差 6.69 m。

工程成功截流,证明截流戽堤设计参数合

理,大流速、高落差、深厚软弱堰基采用钢筋石笼护底可行,戽堤下游适当位置设置丁坝对截流有利。截流过程未出现塌堤、河床淘蚀严重等情况,采用钢筋石笼、合金网兜、块石串、四面体、大块石等特殊料联合抛投、快速通过截流困难区段,抛投技术和施工方法得当。可为类似水电工程截流提供借鉴。

参考文献:

- [1] 金沙江上游拉哇水电站截流规划设计专题报告[R]. 湖南长沙:中南勘测设计研究院有限公司,2021.
- [2] 曾少岳,杨晨.金沙江上游拉哇水电站截流模型试验报告(施工图阶段)[R]. 湖南长沙:中南勘测设计研究院有限公司,2021.
- [3] 蔡莹,黄国兵,车清权,等.降低截流难度及江河护堤抛投材料研究[J].长江科学院院报,2011,28(6):20-24.
- [4] 张超然,戴会超.三峡水利枢纽工程建设概况和若干关键技术问题[J].水力发电,1998,(1):16-19.
- [5] 郭红民,宁晶,蒋文秀,等.大型水利工程截流龙口护(垫)底的试验研究及工程实践[J].三峡大学学报(自然科学版),2007,29(6):481-485.

作者简介:

练新军(1968-),男,浙江象山人,高级工程师,本科,主要从事项目管理工;

李洪林(1972-),男,四川南江人,正高级工程师,本科,主要从事项目施工技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)