

雅砻江锦屏二级水电站大江截流设计与施工

王 继 敏, 杨 安 林

(二滩水电开发有限责任公司,四川 成都 610051)

摘要:雅砻江流域位于川西高原,具有干湿季节分明的气候特征:雨季时,雨水较多,因而流域的径流量较大;干旱季节由于雨水少而使流域的径流量也相应较小。建于该流域的锦屏二级水电站,采用单戽立堵截流方案。但由于施工场地狭窄,戽堤上下游水位落差大,流速高,分流条件受到限制,导致施工难度较大。然而,经过科学决策,精心组织,使截流施工进展顺利,并获得了成功。对该工程截流设计方案及施工状况作了介绍,总结了该工程的截流实施经验,可为类似工程的设计施工提供参考。

关键词:截流设计;截流施工;戽堤;锦屏二级水电站

中图分类号:TV551.1 文献标志码:A

1 工程概况

锦屏二级水电站位于四川省凉山彝族自治州木里、盐源、冕宁三县交界处的雅砻江干流锦屏大河湾上,电站总装机容量为4 800 MW。工程枢纽主要由首部低闸、引水系统、尾部地下厂房等永久性建筑物组成,为一低闸、长隧洞、大容量引水式水电站。工程首部包括一座拦河闸坝,一条右岸导流隧洞和上、下游围堰。拦河闸坝的施工导流采用枯水期断流围堰、隧洞导流的方式,汛期采用导流隧洞和基坑联合泄流。闸坝的上、下游围堰为土石过水围堰结构形式,堰体及基础部分采用厚为0.8 m的塑性混凝土防渗墙防渗。闸址处河谷狭窄,河谷呈“V”型,两岸岸坡较陡,基岩裸露。在枯水期,水面宽为110 m左右,河床坡降大,最枯时水深为9~15 m,覆盖层厚23~43 m。

锦屏二级水电站已于2007年1月30日正式开工,2012年首台机组发电,预计2015年工程完工。根据工程总进度计划和水文状况,2008年11月30日,已成功实施大江截流。

2 截流设计

2.1 截流标准及时段

雅砻江流域属川西高原气候区,干湿季节分明。

每年5~10月为雨季,此时,河水流量较大;11月至次年4月为干季,此时的河水流量较小。根据该流域水文特点,结合施工进度,认为河床截流宜安排在11、12月进行^[1-2]。表1为11月和12月的旬平均流量频率分析成果。

表1 11月和12月旬平均流量频率分析成果 m³/s

月份	旬	频率			
		50%	20%	10%	5%
11月	上旬	929	1110	1210	1300
	中旬	761	890	967	1040
	下旬	641	746	809	866
12月	上旬	551	637	686	730
	中旬	473	549	595	636
	下旬	412	476	514	546

由表1可见,汛后,11月上旬流量最大,之后逐渐减小。考虑到闸坝工程施工不占锦屏二级水电站工程施工的直线工期,且闸址处在枯水期流量相对较稳定,故选择截流标准为5 a一遇的旬平均流量。根据对最不利工况(5 a一遇旬平均流量)下进行的模型试验结果,11月下旬、12月上旬截流龙口最大单宽功率分别为103.85、70.84 t·m/(s·m)^[1]。从截流水力指标来看,2个截流时间方案在技术上均可行,但考虑到闸坝在河流干枯期间施工工期紧张,最终选择在11月下

旬截流,相应 5 a 一遇旬平均流量为 746 m³/s。

2.2 截流方案

由于该工程处于高山峡谷地区,两岸岸坡陡峻,施工场地狭窄,立堵截流不需要修建栈桥或浮桥,因此,具有施工方法简单、施工准备工程量小和费用较低等优点。而且,根据单戗立堵截流模型试验结果,截流水力指标虽然较高,采用单戗立堵截流方案会有一些的难度,但是只要组织得当,仍可获得成功。故该工程采用单戗立堵截流方案。

2.3 截流戗堤设计

2.3.1 戗堤布置

将截流戗堤轴线选在上游围堰的上趾处,戗堤轴线与围堰轴线相距为 36.75 m,戗堤顶宽设计为 18.00 m。截流设计流量为 746 m³/s,导流隧洞进口围堰有 2 m 残留岩埂时,合龙后的最高水位为 1 635.14 m。考虑安全超高,截流戗堤顶高程设计为 1 636.00 m,戗堤顶长为 162 m;戗堤上游边坡约为 1:1.3,下游边坡约为 1:1.0,戗堤进占端头边坡约为 1:1.0。

2.3.2 龙口位置选择

根据该工程的地形、地质条件和模型试验结果,将龙口位置布置在靠近中部偏右岸的河床处,即采用右岸非龙口段预进占 35 m。进占戗堤采用单戗立堵,主要是从左向右、单向进占的截流方式,龙口初始宽度确定为 50 m,水面宽度为 37 m。

2.3.3 截流水力学计算

该工程只有一条右岸导流洞分流,而且一般导流洞进出口围堰不易完全拆除,这将影响导流洞的分流。因此,预先考虑了导流洞进口存在 2 m 岩埂、截流流量为 746 m³/s 的工况,其龙口段主要水力学指标见表 2 和图 1^[1]。图 1 中, n 为龙口的平均单宽功率; Z 为戗堤落差; q 为龙口的平均单宽流量; V 为龙口的平均流速。

2.3.4 龙口护底和裹头保护

龙口位于砂卵石覆盖层上,根据最不利工况下的局部动床模型试验结果,截流时,龙口戗堤头部最大垂线平均流速为 7.37 m³/s,河床覆盖层最大冲刷厚度为 2 m 左右。因此,不需要专门进行龙口护底,但是需要对裹头实施保护,以防止裹头的坡脚被淘刷而发生塌滑。

2.3.5 截流进占分区及抛投料设计

根据龙口水力学指标,将龙口分为 4 个区,编号分别为龙 I、龙 II、龙 III 和龙 IV。每区的宽度分别为 10 m,10 m,10 m 和 20 m。见图 2。

表 2 截流龙口段水力学主要参数(流量为 746 m³/s)

口门宽/m	水面宽/m	戗堤上游水位/m	戗堤落差/m	导流洞分流流量/(m ³ ·s ⁻¹)	龙口流量/(m ³ ·s ⁻¹)	戗堤渗流量/(m ³ ·s ⁻¹)	最大流速/(m·s ⁻¹)	
							左	右
50	37	1631.37	0.6	319	404	23	3.05	3.03
40	26	1631.83	1.07	354	356	36	4.28	4.17
30	18	1633.03	2.37	448	233	65	6.49	6.49
20	13	1634.30	3.66	540	111	95	7.37	7.37
0	0	1635.14	4.59	620	0	126	0	0

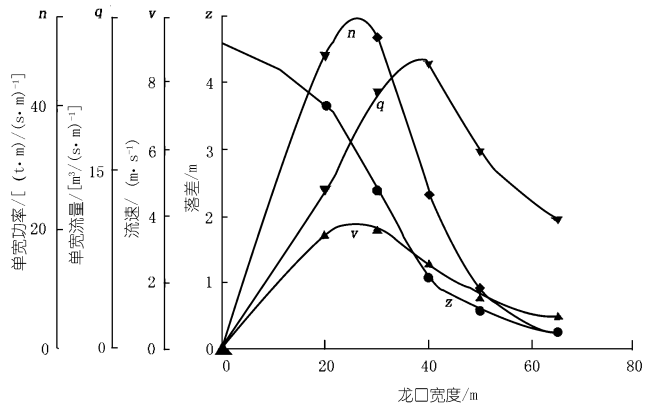


图 1 截流龙口段水力学参数特性

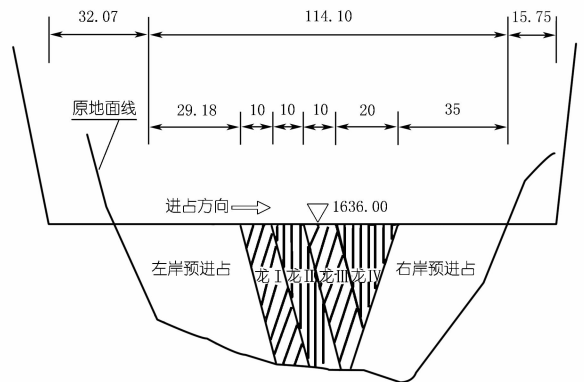


图 2 戗堤截流龙口分区示意(单位:m)

(1) 龙 I 区(B 为 50 ~ 40 m)。龙口的平均流速为 2.57m/s,最大流速为 4.28 m/s;抛投料为含有 20% 以上的大石石渣和一般石渣。

(2) 龙 II 区前半段(B 为 40 ~ 35 m)。龙口的平均流速为 3.58 m/s,最大流速为 6.49 m/s;在上挑角抛投大石、特大石,跟进抛投含有 20% 以上的大石石渣。

(3) 龙 II 区后半段和龙 III 区(B 为 35 ~ 20 m)。戗堤上下游落差为 3.66 m,试验测定的最大流速 7.37 m/s 和龙口的最大单宽功率皆出现在该区段。该区段为施工困难区段,为确保万无一失,准备了重量为 20 t 的大块石串、钢筋石笼串和混凝土四面体等特殊抛投

料,在戗堤上、下游角抛投,中间则跟进抛投大块石和含 20% 以上的大石石渣。

(4) 龙 IV 区 (B 为 20 ~ 0 m)。龙口水流收缩较大,流量及流速有较大回落,落差却有较大的增长,因此,继续抛投特大块石料、钢筋石笼和含 20% 以上的大石石渣,加大抛投强度,以使龙口尽快合龙。

2.4 截流备料

该工程戗堤附近无备料场地,备料场地至戗堤的施工道路长度大约为 3.5 km。考虑到流失量、损耗等因素,备料系数取 1.2 ~ 1.8。具体备料工程量见表 3。

表 3 截流备料工程量

项目	粒径为	粒径	重为 20t	1.2m ×	体积为
	0.1 ~ 0.4 m	>0.7 m	的大块	1.2m × 2m	2.5 m ³
	的石渣/ m ³	的大块 石/m ³	石串 /串	的钢筋 石笼/个	的混凝土 四面体/个
预进占段	36544			90	6
龙口段	12713	5176	700	900	15
合计	43853/ 19070*	9317**	700	990	21

注:* 为备料在 1.2/1.5 时的石渣用量;** 为备料在 1.8 时的石渣用量。

3 截流准备及施工

3.1 准备

根据该工程的场地条件和交通条件,结合截流备料量和抛投强度,成立了截流组织机构,统一指挥、组织、协调、检查和落实各项截流准备工作;编制了截流工作手册,对截流道路、料源及料场、截流设备配备及布置、抛投料方式及顺序等进行了统一规划;设置了水情工作组,负责观测和传递截流过程中的水情信息,以使截流材料能正确抛投。另外,为检查截流施工组织和人员、设备、材料等的落实情况,保证截流工作按计划有序地推进,专门进行了截流演习,为成功截流做好了充分的准备。

3.2 施工

3.2.1 合龙施工

该工程在导流洞分流前后完成了左右岸的预进占及右岸钢筋石笼裹头施工,预留龙口宽度为 50 m。在截流合龙进占施工过程中,主要采取了如下措施。

(1) 采用全断面推进和凸出上游挑角两种进占方式。在龙 I 区,采用全断面推进方式进占;在龙 II 区、龙 III 区和龙 IV 区,采用凸出上游挑角方式进占,即根据水流状况,将大块石、大块石串、钢筋石笼串分别自堤头前上游角抛入水中,挑出一部分,从而使堤头下侧形成回流缓流区,再抛投中小石块及石渣料进占。特

别是在龙 III 区,在进占施工时,在凸出上游挑角进占时,下游角同时跟进凸出进占,挑开急流,形成戗端缓流区,以保护堤头跟进抛填的石渣料。

(2) 采用直接抛投、集中推运抛投的方法。在龙 I 区,采用自卸汽车直接抛投石渣料进占;在龙 II 区、龙 III 区和龙 IV 区,采用集中推运抛投的方法,即采用自卸汽车在堤头集中卸料,推土机赶料抛投的方法。

(3) 在部分龙口段采用高强度进占抛投。即在截流合龙施工过程中,根据龙口宽约 25 m 时的实测龙口流速、戗上下游落差状况,及时将左戗堤向上游拓展 7 m 宽,形成宽约 25 m 的堤头和 4 车道的抛投点,以加大龙 III 区和龙 IV 区的抛投强度。

(4) 戗堤龙口进占时按一定的坡度缓降,水位上涨过程中,及时加高到戗堤顶设计高程。该措施可推进进占速度,并尽量使块石料落到坡底压脚。

(5) 由于导流洞分流条件受到限制,截流水力学指标高,河床冲刷严重,截流过程中大块石串和钢筋石笼的流失量大,因此,施工组织方及时组织施工力量赶制大块石串和钢筋石笼,确保了上、下游挑角方式进占顺利进行。

3.2.2 水情观测

为便于决策预进占和截流合龙时机、截流进占方式以及抛投料的粒径,截流前,及时对 11 月和 12 月的来水量进行了滚动预报;截流过程中,及时对龙口流量、平均流速、最大流速、戗堤上游水位、戗堤上下游水位落差、龙口宽度等进行了测验,并与模型试验结果进行对比分析,以便为截流领导小组做出正确决策提供依据。

4 结语

锦屏二级水电站截流场地狭窄,分流条件受到限制,围堰防渗墙位于戗堤的下游,根据实测的水文资料,截流合龙流量为 750 ~ 679 m³/s,截流合龙过程中的最大表面流速为 6.9 m/s,戗堤上下游水位落差为 4.42 m,截流历时 36 h,总抛投量约为 3.8 万 m³,截流难度较大。但是,经过科学决策,精心组织,使截流施工进展顺利,取得了成功。该次施工过程中所积累的成功截流经验,可为类似工程施工提供借鉴。

(1) 根据《水利水电工程施工组织设计规范》,“截流流量大且落差大于 3.5 m 时,宜选择双戗或多戗立堵截流”。该工程采用立堵单戗截流方案,截流流量较大,落差大于 3.5 m,突破了规范的规定。

(2) 在开展截流模型试验时,需考虑截流过程中

式中, ρ_d 为土压实后的干密度, g/cm^3 ; $\rho_{d_{\max}}$ 为土的标准干密度, g/cm^3 。

(4) 对步骤 2 及步骤 3 中的土样进行 CBR 试验, 得到不同压实含水率、压实度下土样的 CBR 值, 采用线性插值的方法进一步得到满足 CBR 值等于 3 的压实度与含水率关系标准曲线。

2.2 压缩试验

(1) 分别制备压实度为 86%、88%、90%、93% 的土样, 每种压实度对应的含水率不少于 2 个(对应工况条件下自密沉降量不同时大于或小于 30 mm)。

(2) 进行固结试验, 根据试验结果, 计算每种压实度所对应的压缩系数, 并画出 $e-p$ 压缩曲线。

(3) 采用分层总和法计算不同工况条件、不同压实度、不同含水率情况下的路堤填土的自密沉降量。

(4) 若计算自密沉降量不同时大于或小于 30 mm, 调整压实含水率, 并重复步骤(1)、(2)、(3)。

(5) 采用线性插值的方法得到不同工况条件下, 满足自密沉降等于 30 mm 的压实度与压实含水率关系标准曲线。

2.3 成果整理

将上述试验成果绘制在压实含水率-压实度降低幅值坐标上, 得到图 1 所示的关系曲线。

由图 1 可以看出: ① 高液限土用于路堤填筑时, 压实度降低的幅值与压实含水率及填筑高度有关。② 压实度降低幅值曲线由两类相交的标准曲线组成, 其中一类曲线为 CBR 等于 3 的压实度降低幅值与含水率关系标准曲线, 该曲线与土本身的性质有关, 与填筑高度无关; 另一类曲线为自密沉降等于 30 mm 的压实

度降低幅值与压实含水率关系标准曲线, 该曲线随填筑高度的变化而变化。

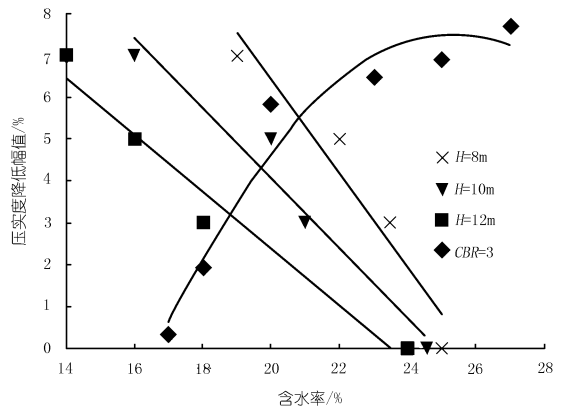


图 1 高液限土压实度降低幅值与含水率关系标准曲线

通过压实度降低幅值标准曲线图还能够动态判断现场含水率条件下, 高液限土能否直接用于路堤填筑, 以及满足强度及沉降要求的压实度的最大降低幅值, 对指导施工及质量检测具有重要作用。

3 结语

用高液限土填筑路堤时, 压实度降低幅值与压实含水率、路堤填筑高度有关。高液限土压实度降低幅值的确定, 应考虑现场压实含水率及路堤填筑高度情况。采用与压实含水率及填筑高度有关的压实度降低幅值标准曲线, 能够动态掌握现场填筑含水率下压实度的最低要求, 而且操作简单, 对指导施工及质量检测具有重要作用。

(编辑: 郑毅)

(上接第 91 页)

可能会出现的最不利工况, 截流设计流量需有一定的富裕度, 应考虑到由于导流洞存在一定高度的岩埂而将影响分流的因素。同时, 事前需要对龙口覆盖层的冲刷状况进行模拟。

(3) 在高山峡谷、截流场地受到限制的情况下, 如果采用单戽立堵截流的方案, 那么戽堤顶部需保证有一定的宽度, 以确保截流时有足够的抛投强度。

(4) 在截流备料过程中, 对块石串和钢筋石笼的备料系数需适当加大。

参考文献:

- [1] 周宜红, 郭红民. 雅砻江锦屏二级水电站截流模型(动床)试验研究[R]. 宜昌: 三峡大学, 2008.
- [2] 李军, 周永. 雅砻江锦屏二级水电站可行性研究报告[R]. 杭州: 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 2005.

(编辑: 赵秋云)