

# 苏洼龙水电站截流设计与施工

薛宝臣, 王剑涛, 赵万青, 何竹叶, 郭兴

(中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024)

**摘要:**苏洼龙水电站是金沙江上游第一个实施截流的电站,具有截流流量大、龙口水力学指标高、导流洞分流条件差、截流边界条件复杂、抛投强度高特点,通过精心的截流规划设计和有序的截流施工组织,成功实现了大江截流,为金沙江上游后续梯级电站等类似工程截流设计与施工积累了宝贵的经验。

**关键词:**苏洼龙水电站;截流特点;截流设计;截流施工

**中图分类号:**[TM622];TV551.2;TV52

**文献标识码:**C

**文章编号:**1001-2184(2018)06-0122-03

## 1 工程概况

苏洼龙水电站是金沙江上游河段13个规划梯级电站的第10级,工程枢纽主要由沥青混凝土心墙堆石坝、右岸溢洪道、右岸泄放空洞、左岸引水系统、左岸地面厂房等组成。

工程施工导流采用围堰一次拦断河流、导流隧洞与永久泄放空洞联合泄流、基坑全年施工的导流方式。导流隧洞布置在右岸,洞身为城门洞型,断面尺寸为15 m×19 m(宽×高),洞长896.53 m。上、下游围堰采用土石围堰,上游围堰最大高度50 m,下游围堰最大高度15 m,均采用塑性混凝土防渗墙+土工膜防渗。

苏洼龙水电站导流隧洞于2015年11月开工,2017年11月21日大江截流,计划2020年10月底下闸蓄水,2020年12月底首台机组投产发电。

## 2 截流特点

### 2.1 截流水力学指标高

苏洼龙水电站设计截流流量 $693 \text{ m}^3/\text{s}$ ,根据截流水力学计算及模型试验成果,截流最大落差5.48 m,最大平均流速 $5.13 \text{ m/s}$ ,局部最大流速 $7 \sim 8 \text{ m/s}$ ,属大落差、高流速截流,截流难度大。

### 2.2 导流洞分流条件差

导流洞进口与戽堤之间河床段地形为陡坡,导流洞进口明渠内部分弃渣侵占了过流断面,造成导流洞分流比增长缓慢,导流洞分流条件差。

### 2.3 龙口处流速分布复杂

截流前龙口处河道主流方向与戽堤轴线呈约

$60^\circ$ 角,随着戽堤进占的不断推进,主流与戽堤轴线夹角逐渐由 $60^\circ$ 向 $90^\circ$ 靠近,左、右戽堤边坡、上坡角、下坡角的流速分布复杂,需针对性的选择进占方式和抛投材料。

### 2.4 河床覆盖层深厚 抗冲能力较低

苏洼龙电站坝址区河床覆盖层深厚,最深达85 m,主要由六个大层及三个透镜体构成,其中第二层为低液限粘土层,抗冲能力差,一旦河床在截流过程中冲坑深度达到该层,会大大增加截流的难度。

### 2.5 抛投强度高

截流戽堤设计抛投量为 $6.59 \text{ 万 m}^3$ ,小时最大抛投强度约 $1277 \text{ m}^3/\text{h}$ 。与国内同等规模工程相比,截流施工强度较高,需制定详细、有效的截流施工规划方案。

## 3 截流设计

### 3.1 截流时段选择

苏洼龙水电站采用11月上旬、11月中旬、11月下旬3个时段按 $P=10\%$ 旬平均流量,以单戽堤立堵截流为代表,进行截流时段选择。考虑导流隧洞进口围堰存在拆除不彻底的可能性,截流水力学计算时分别对导流隧洞进口围堰完全拆除和围堰残余2 m高岩埂两种工况下进行计算。

根据截流水力学计算成果,并考虑截流难度及截流后上游围堰施工进度计划,截流时段选择在11月中旬,截流标准采用旬平均 $P=10\%$ ,相应设计流量为 $693 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

### 3.2 截流方式

根据水力学指标、截流备料场地和施工道路

收稿日期:2018-10-17

条件,并考虑上、下游围堰之间河床段坡降较大,下游围堰布置下戗堤对降低截流水力学指标的效果不明显,本工程采用从左岸向右岸进占的单戗堤立堵截流方式。

### 3.3 戗堤布置与设计

#### 3.3.1 戗堤位置选择

综合考虑围堰的地形、交通条件,截流戗堤中心线与上游围堰轴线平行布置,戗堤布置于防渗墙下游侧,距离防渗墙轴线40 m。

#### 3.3.2 戗堤断面设计

戗堤顶高程按 $Q=693\text{ m}^3/\text{s}$ (11月中旬10年一遇旬平均流量)进行设计,截流闭气后堰前水位为2 389.81 m,戗堤顶高程为2 392.00 m。戗堤按梯形断面设计,上、下游坡比为1:1.5,端头

坡比为1:1.3。考虑满足3~4辆20 t自卸汽车同时抛投作业,戗堤顶宽为25 m。

#### 3.3.3 龙口位置及宽度选择

考虑本工程截流备料场地和截流施工道路均位于右岸,戗堤附近天然河道流速主流集中在左岸等因素,龙口布置在河床左岸。预进占选择在11月上旬进行,采用11月上旬10年一遇旬平均流量 $Q=845\text{ m}^3/\text{s}$ 设计。根据截流水力学模型试验量测的流量 $Q=845\text{ m}^3/\text{s}$ 下戗堤处天然河道流速分布,左岸预进占长度13 m时,堤头流速约3.15 m/s,确定左岸预进占长度13 m。右岸预进占长度以右岸预进占堤头流速不超过3 m/s控制,根据截流水力学计算和模型试验成果,右戗堤预进占95.21 m,确定龙口宽度83 m。

表1 龙口段特征水力参数

龙口宽度/m	83	73	63	53	43	33	23	13	0
上游水位/m	2 387.23	2 387.33	2 387.52	2 387.85	2 388.46	2 388.95	2 389.39	2 389.75	2 389.81
导流洞分流量/ $\text{m}^3$	121.27	136.48	166.90	225.13	350.25	464.25	577.66	675.85	693.00
龙口分流量/ $\text{m}^3$	571.73	556.52	526.10	467.87	342.75	228.75	115.34	17.15	0.00
下游水位/m	2 386.93	2 386.88	2 386.78	2 386.60	2 386.06	2 385.37	2 384.33	2 384.33	2 384.33
龙口底高程/m	2 381.00	2 381.00	2 381.29	2 381.91	2 383.04	2 384.13	2 384.78	2 387.00	/
龙口流态	淹没出流	淹没出流	淹没出流	淹没出流	自由出流	自由出流	自由出流	自由出流	/
龙口平均流速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2.02	2.46	3.16	4.10	5.13	4.86	4.52	3.16	/
龙口单宽流量/ $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	12.00	14.50	17.34	19.23	17.87	14.96	14.01	6.46	/
龙口单宽功率/ $\text{t}\cdot\text{m}/(\text{s}\cdot\text{m})$	3.63	6.54	12.82	24.04	42.88	53.49	61.95	30.89	/
截流落差/m	0.30	0.45	0.74	1.25	2.40	3.57	5.06	5.42	5.48

### 3.4 龙口分区设计

根据合龙过程中不同宽度龙口的流速、落差及单宽功率等水力学指标,本工程龙口段进占共划分为3个区,以便于施工时控制抛投材料及采用适当的抛投技术。

#### 3.4.1 I区(龙口宽度83 m~53 m)

进占难度整体不大,龙口平均流速2.02 m/s~4.10 m/s,进占料以石渣料、中石为主。

#### 3.4.2 II区(龙口宽度53 m~13 m)

进占困难阶段,采用沿 $30^\circ\sim 45^\circ$ 上挑角抛投方法进占,钢筋石笼和石笼串在右堤头上坡角处推进,当抛投料形成上挑角,在其下游堤头流速减小时,及时填补进占。在龙口宽度接近43 m时,平均流速最大,达5.13 m/s。

#### 3.4.3 III区(龙口宽度13 m~0 m)

龙口合龙阶段,此时龙口水位落差大,但泄流量小,进占料以石渣料、中石为主。

### 3.5 截流备料

#### 3.5.1 截流抛投料选择

依据截流水力学计算和模型试验成果对抛投料的粒径进行计算,确定抛投料粒径范围为0.2 m~2.21 m。抛投料物主要为石渣料(粒径0.5~40 cm)、中石(粒径0.4~0.7 m)、大石(粒径0.7~1 m)、特大石(粒径大于1 m)、钢筋石笼( $2\times 1\times 1\text{ m}$ )和钢筋石笼(特大石)串。本工程坝址区岩性以花岗岩为主,因此,前期的导流洞、溢洪道开挖料均可以作为截流抛投料,并充分考虑以开挖的大石料串替代钢筋石笼,以降低投资。

#### 3.5.2 截流备料

根据《水电工程施工导流设计规范》(NB/

T35041-2014)相关规定,本工程预进占非龙口段和龙口段备料系数分别取1.3、1.5,其中龙口段抛投大块石、钢筋石笼等特殊抛投材料备料系数取2.0。截流备料量约9.59万 $m^3$ ,其中预进占区备料量约3.65万 $m^3$ ,龙口区备料量约5.94万 $m^3$ 。

## 4 截流施工

### 4.1 预进占施工

预进占在上游围堰戽堤右岸单向进占,于2017年11月上旬启动。预进占主要利用右岸溢洪道边坡开挖料,自卸汽车运输至戽堤右端,端进法卸料,推土机推进。左岸原设计预进占13 m,现场实施时,考虑左岸地形较陡,由大块石堆积组成,结构密实,最大粒径达5 m以上,整体抗冲能力较强,取消了左岸预进占,仅采用抛投四面体防护。预进占期间根据上游来流量及堤头冲刷情况,增加了右岸预进占长度,最终形成龙口宽度60 m。

### 4.2 龙口截流

龙口进占自2017年11月18日8:00开始,上游来流量622 $m^3/s$ ,戽堤上游水位2 385.82 m,龙口分流量496 $m^3/s$ ,龙口平均流速3.3 $m/s$ ,导流洞分流量126 $m^3/s$ ,分流比20.26%。龙口采取全断面进占方式,抛投料以石渣及中石为主。

11月19日8:00,累积进占19 m,龙口宽度41 m,戽堤上游水位2 386.86 m,龙口平均流速为4.7 $m/s$ 。导流洞分流增长非常缓慢,分流比仅增长至29.56%。此后,龙口进入截流困难时段,中石抛投后难以自稳。经现场会商,改用大块石凸出上挑脚进占,中石及石渣混合料在戽堤中部抛投,并根据情况在上挑脚采用四面体护脚。由于龙口未采用护底措施,龙口段长时间冲刷,底部覆盖层流失严重,截至11月19日18:00,龙口进占7 m,龙口宽度34 m,戽堤上游水位2 388.15 m,龙口平均流速4.8 $m/s$ ,导流洞分流量增长缓慢,分流比增长到47.61%。此后龙口进入截流最困难阶段,单个四面体已不能自稳,采用连续的特大石串或四面体串凸出上挑脚进占,至当日22:00,龙口仅进占2 m,但导流洞分流比超过60%,随着龙口流量减少,龙口流速开始下降,龙口平均流速降到4.4 $m/s$ 。

11月20日1:30左右,进占速度开始加快,根据堤头水流情况判断,龙口已形成三角自由出流状态,至11月20日8:00,龙口平均流速3.5 $m/s$ ,导流洞分流比77.34%,龙口进入合拢阶段,至11月20日14:00,基本完成了龙口合拢。

龙口截流共历时54小时,截流过程中实测龙口最大平均流速5.0 $m/s$ ,最大落差4.55 m。

## 5 结语

(1)苏洼龙水电站是金沙江上游第一个实施截流的电站,具有截流流量大,龙口水力学指标高、导流洞分流条件差、截流边界条件复杂、抛投强度高、截流风险大等特点,通过精心的截流规划和有序的截流施工组织,成功实现了大江截流,为金沙江上游后续梯级等类似工程截流设计施工积累了宝贵的经验。

(2)西南高山峡谷地区导流洞进出口围堰的拆除效果存在不确定性,截流设计时应考虑残留岩梗的影响。截流施工期间,截流备料和抛投强度对截流顺利实施至关重要,应充分做好截流准备工作。

### 参考文献:

- [1] 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,苏洼龙水电站可行性研究报告施工组织设计篇[R].北京:中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,2015.
- [2] 南京水利科学研究院,苏洼龙水电站工程施工截流水力学模型试验报告[R].南京:南京水利科学研究院,2017.

### 作者简介:

薛宝臣(1962-),男,山东济宁人,教授级高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程技术与管理工作;

王剑涛(1984-),男,河北藁城人,高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程技术与管理工作;

赵万青(1968-),男,河南汝州人,教授级高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程技术与管理工作;

何竹叶(1984-),女,河北邯郸人,高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程技术与管理工作;

郭兴(1979-),男,湖北公安人,高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程技术与管理工作。

(责任编辑:卓政昌)