

# 浅析老挝南欧江四级水电站采用的施工导流方案

卫继鑫, 王婷

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:**因老挝南欧江四级水电站导流建筑物数量较多,导流程序复杂,施工干扰较大且没有条件设置导流底孔,施工导流采取三期明渠导流方式。介绍了南欧江四级水电站施工期采用的施工导流方案。

**关键词:**南欧江四级水电站;施工期;分期导流

**中图分类号:**TV7;TV52;TV22

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2019)增1-0071-03

## 1 工程概述

南欧江四级水电站位于老挝丰沙里省境内的南欧江中游河段,为南欧江干流七级开发方案中的第四级(自下而上),以发电为主,总装机容量为132 MW,总库容为 $1.416 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。正常蓄水位高程386 m,相应库容 $1.145 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该工程属II等大(2)型工程,枢纽建筑物主要由左岸非溢流坝段、左岸发电建筑物、右岸泄水建筑物、右岸非溢流坝段等建筑物组成。泄洪闸、引水发电建筑物、两岸非溢流坝等主要建筑物级别为2级,次要建筑物级别为3级,临时建筑级别为4级。

南欧江流域为老挝北部高原热带雨林山区,植被良好。流域洪水主要由暴雨形成,多发生于6~9月,尤以7、8两月最为频繁。洪水历时较长,涨落缓慢,一次洪水过程一般为5~7 d,以单峰型为主。根据孟威水文站1987~2013年日平均流量统计的历年最大流量中,最大日平均流量为 $9\,290 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最小日平均流量为 $1\,620 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

南欧江四级水电站坝址位于孟夸县城上游约3 km,河段长度约1.2 km,水深一般为2~6 m,最深约13 m,江面落差为0.6 m,两岸河谷呈“V”字型,地形坡度约为 $30^\circ \sim 46^\circ$ 。在坝线附近右岸江边分布有一规模较大的基岩滩地,仅在枯水期出露,两岸分布有规模较小的不完整I级阶地,坝址区冲沟较发育,沟口附近常形成洪积扇。

坝基部位岩层走向与河水流向呈小角度相交,倾向左岸,为顺向谷坝基,未见有I、II、III级结构面发育,IV级结构面表现为小断层及顺层挤压面(带),V级结构面主要发育顺层面节理、板理

和陡倾角节理。坝基开挖后,中下部建基面主要位于弱风化岩体中,中部~坝顶部位建基面位于全、强风化岩体中。坝基岩性以砂质板岩为主,岩性较均一,属中硬岩~坚硬岩,岩体变形模量较低,中下部建基面岩体类别以III2类岩体为主,中部以上建基面岩体类别为IV2类及V类岩体。

坝址枯期河水面高程约355.8 m,河面宽约40~50 m,右岸江边分布有一规模较大的基岩漫滩,高程约356~358 m,长约160~260 m,宽约80~90 m,枯水期滩地高出河水面约1~3 m,溢流坝段设置于滩地之上。

## 2 施工期采用的导流方式

根据工程的地形特点、水文条件以及施工进度计划安排,工程主要利用横向围堰、纵向围堰、束窄河床和泄洪闸进行三期导流。一期导流由纵向围堰和一期上下游围堰挡水,左岸河床过流,进行右岸坝段施工(溢流堰未施工);二期导流由二期围堰挡水,已完成的右岸3#~5#三孔泄洪闸泄流;三期导流由右岸三期围堰挡水,1#、2#泄洪闸过流,进行3#~5#泄洪闸溢流堰施工及闸门的安装。

## 3 导流标准及导流程序

导流标准:汛期按规范中相应挡水标准的高限选取,枯期时段按低限选取。各期施工导流标准见表1。

(1)一期导流(201604—201711)。

2016年5月1日至12月1日,完成一期枯期纵向围堰的填筑。2016年12月17日开始纵向混凝土围堰底板垫层混凝土浇筑,随即展开溢流堰、闸墩和消力池部位中隔墙混凝土施工,2017

表1 施工导流标准表及流量表

项 目	时 段	设计标准 $P / \%$	设计流量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
一期	枯期围堰挡水	2016年12月~2017年4月	20(12月~次年4月)
	全年围堰挡水	2017年5月~2017年11月	5
二期	枯期围堰挡水	2017年12月~2018年4月	10(12月~次年4月)
	全年围堰挡水	2018年5月~2019年11月	5
三期	枯期围堰挡水	2019年12月~2020年3月	10(12月~次年4月)
	二期围堰截流	2017年12月	10(月平均)
	三期围堰截流	2019年12月	10(月平均)

年4月底一期横向围堰填筑完成,纵向混凝土围堰、中隔墙已浇筑至汛期防洪高程,5月底枯期围堰拆除。2017年5~11月,由纵向全年围堰和一期横向全年围堰挡水,左岸束窄河床过流;11月,右岸3#~5#泄洪闸闸墩及右岸非溢流坝段浇筑至高程380.5 m以上,达到挡水条件,未完建的右岸3#~5#泄洪闸浇筑至358 m高程,具备过流条件。11月拆除一期上、下游横向全年围堰。

(2)二期导流(2017年12月—2019年10月)。

2017年12月6日,大江截流。截流后,上游围堰填筑至高程366 m、下游围堰填筑至高程361.5 m时进行围堰防渗墙施工。2017年12月~2018年11月,由二期横向围堰及纵向围堰挡水,右岸3#~5#三孔泄洪闸泄流(未完成),期间进行左岸厂房、1#~2#泄洪闸及左岸非溢流坝段施工。2019年10月底,除3#~5#泄洪闸溢流堰外,坝体全部浇筑到顶,厂房进水口及尾水闸门安装完成。10月31日,厂房进出口闸门下闸,具备挡水条件。2019年11月底,拆除二期上、下游横向全年围堰。

(3)三期导流(2019年11月—2020年10月)。

2019年11~12月,完成三期围堰填筑,2019年12月~2020年3月,左侧1#~2#泄洪闸过流,进行3#~5#泄洪闸溢流堰浇筑及闸门的安装。

2020年3月底泄洪闸下闸蓄水,4月底首台机组发电。

#### 4 导流建筑物的组成

工程导流建筑物由导流明渠、枯期施工围堰、一期上下游横向围堰、上下游全年纵向CSG围堰、二期上下游横向围堰、三期上下游横向枯期围堰组成。除一期枯期纵向围堰为5级临时建筑物外,其它围堰均为4级临时建筑物。

(1)导流明渠。导流明渠布置在右岸,过流段与3#~5#泄洪闸坝段结合。上游导流明渠布置在3#~5#泄洪闸坝段上游,由右岸原地形和上游纵向CSG围堰右岸侧边墙形成,对边坡不考虑进行支护。下游导流明渠布置在右岸消力池尾坎下游,由左岸完建的护岸和下游纵向CSG围堰右岸侧边墙形成,底板高程为356 m。

(2)一期枯期施工围堰。

枯期施工围堰堰前水头较低,最大处约为7 m,为碾压土石混合料围堰,堰顶高程359.5 m,堰顶宽度为5 m,两侧坡比均为1:1.5。围堰采用土石混合料,具备防渗能力。枯期施工围堰使用期为5个月,2017年汛前拆除。

(3)一期全年横向围堰。

一期上游横向围堰布置在距离坝轴线约62 m处,一期下游横向围堰布置在距离坝轴线约160 m处。上、下游横向围堰采用全年挡水标准,为粘土心墙土石围堰,堰顶高程分别为370.5 m和369 m,高度分别为17 m和13 m,堰顶宽度均为8 m,两侧坡比均为1:1.7。堰体防渗采用粘土心墙型式,堰基防渗采用粘土截水墙型式。一期上、下游横向围堰在2017年主河床截流前拆除。

(4)二期全年横向围堰。

二期采用上、下游土石围堰一次断流,布置在左岸束窄主河床范围内,二期上游横向围堰布置在距离坝轴线约93 m处,二期下游横向围堰布置在距离坝轴线约160 m处,右岸3#~5#泄洪孔进行泄流的全年导流。堰基防渗采用高压旋喷防渗墙,堰体防渗采用粘土心墙。

上游围堰堰顶高程为380.5 m,最大堰高30.5 m,围堰顶宽10 m。围堰366 m高程以上为粘土心墙防渗、以下为混凝土防渗墙防渗。围堰366 m高程以上坡比为1:1.7,366 m高程以下

坡比为 1 : 1.5。

下游围堰堰顶高程为 369 m, 最大堰高 19 m, 围堰顶宽 8 m。围堰 361.5 m 高程以上为粘土心墙防渗、以下为高压旋喷防渗墙防渗。围堰 361.5 m 高程以上坡比为 1 : 1.7, 361.5 m 高程以下坡比为 1 : 1.5。

2019 年 11 月底, 将二期上游横向围堰拆除至泄洪闸溢流堰顶高程, 二期下游横向围堰拆除。

#### (5) 三期枯期横向围堰的布置。

三期上游横向围堰布置在距离坝轴线约 62 m 处, 三期下游横向围堰布置在距离坝轴线约 161 m 处。下游横向围堰本阶段均采用土石混合料土石围堰的结构型式。

三期上游围堰堰顶高程为 377 m; 围堰顶宽 8 m, 围堰最大高度约 22.5 m, 迎水面坡比为 1 : 2, 背水面坡比为 1 : 1.5。三期下游围堰堰顶高程为 362 m, 围堰顶宽 5 m, 围堰最大高度约 6 m, 迎水面坡与背水面坡比均为 1 : 1.5。

2020 年下闸蓄水前, 三期上、下游横向围堰拆除。

#### (6) 纵向 CSG 围堰的布置。

上、下游纵向 CSG 围堰结合 7 # 中隔墙坝段、消力池中隔墙布置, 与中隔墙衔接段采用 C15 常态混凝土, 其余为 CSG 围堰。

上游纵向全年围堰堰顶高程为 380.5 m, 围堰顶宽 5 m, 围堰最大高度约 29 m。围堰底板常态混凝土垫层厚度为 1 m; 一期迎水面综合坡比为 1 : 0.55, 二期迎水面综合坡比为 1 : 0.3。迎水面防渗抗冲层厚度为 1 m, 建基面开挖至弱风化下大部分至 351.5 m 高程。

下游纵向全年围堰堰顶高程为 372 m, 围堰顶宽 5 m, 围堰最大高度约 20 m。围堰底板常态混凝土垫层厚度为 1 m; 一期迎水面综合坡比为 1 : 0.55, 二期迎水面综合坡比为 1 : 0.3。迎水面防渗抗冲层厚度为 1 m, 建基面开挖至弱风化下大部分至 352 m 高程。

2020 年下闸蓄水前, 将上游纵向围堰拆除至泄洪闸溢流堰顶高程, 下游纵向围堰全部拆除。

## 5 截流措施

根据水文特性及施工总进度安排, 两次主河床截流分别安排在 2017 年和 2019 年 12 月上旬, 截流设计标准均采用 10 年重现期 12 月的平均流

量  $Q=244 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2017 年 12 月 6 日, 二期截流完成。

一期上下游围堰拆除于 2017 年 11 月底完成, 二期采用上、下游土石围堰一次断流, 右岸 3 # ~ 5 # 泄洪孔进行泄流的全年导流方式。截流戗堤龙口段采用全断面推进和凸出上游挑角两种进占方式, 堤头抛投采用直接抛投、集中推运抛投两种方式, 分 3 个区段抛填。

三期截流采用上游围堰单截流戗堤由右岸向左岸单向进占, 戗堤顶高程为 373 m, 戗堤顶宽均为 15 m, 梯形断面设计, 上下游边坡均为 1 : 1.5。

## 6 导流施工中遇到的重、难点问题

(1) 由于二期基坑内厂房坝段的施工要求, 原设计的围堰防渗形式为防渗墙加粘土心墙防渗方案, 但上游围堰混凝土防渗墙的施工周期最短为 97 d, 截流后直至 2018 年 4 月初才能施工完防渗墙、为围堰后期加高提供工作面; 加上上部围堰结构填筑和纵向围堰 CSG 上部施工, 2018 年 4 月底达到防洪度汛面貌要求极为困难, 风险大。

在施工过程中, 经过论证比较, 采用了“将混凝土防渗墙修改为高压旋喷加局部帷幕灌浆防渗”的方案, 缩短工期至 1 个月左右, 成功地在 4 月份完成了二期上下游土石围堰的施工, 确保了实现 2018 年的防洪度汛面貌要求。

(2) 该工程二期围堰建基面地质条件差, 河床部位为卵砾石和粉细砂冲积层, 围堰左岸边坡为全~强风化岩体, 围堰右岸所处的江边基岩滩地为强风化砂质板岩, 透水性均较强, 厚度较大, 因此, 堰体防渗为二期围堰施工的重点。

解决措施: 二期上下游横向围堰堰基防渗采用高压旋喷防渗墙, 二期防渗墙为单排, 孔距为 1 m。防渗墙深入弱风化基岩 0.5 m。二期高压旋喷防渗墙钻孔量为 1 810 m; 围堰部分的防渗采用帷幕灌浆, 孔距为 0.8 m, 孔深为深入弱风化基岩 0.5 m。上游帷幕灌浆区域轴线长度为 21.1 m, 下游帷幕灌浆区域轴线长度为 14.8 m, 经过一年半时间的使用, 围堰渗水量平均为 8 L/s, 渗水量可控, 满足施工要求。

(3) 由于四级水电站闸坝式枢纽没有条件设置底孔, 三期导流要将堰前水位壅高到溢流表孔堰顶高程才能形成过流, 导致三期截流的上下游

(下转第 83 页)

边顶拱混凝土浇筑单元的施工程序为:测量放线→台车轨道安装→钢筋台车就位→边顶拱测量放样→边顶拱钢筋绑扎→钢筋台车移至下一段→钢模台车就位(2 h)→台车模板调整固定及测量复核(2 h)→端头模板及预埋件安装(4 h)→混凝土浇筑(12 h)→混凝土等强及端头模板拆除(12 h)→松动台车模板及对模板进行清理并刷脱模剂(4 h)→移动钢模台车至下一段→混凝土养护及缺陷处理。

从施工流程可以看出,除钢模台车的使用外,其它各工序与浇筑普通混凝土方法均相同,此处不再赘述。

#### 4.2 施工强度

##### (1) 底板混凝土施工强度。

出口工作面底板混凝土衬砌桩号为 0+923.328~0+504.7,总长 418.628 m,共 35 段,自 2016 年 10 月 4 日开始施工,2016 年 12 月 4 日结束,共计 61 d,平均 1.7 d/段(12 m/段,混凝土工程量 93 m<sup>3</sup>/段);进口工作面底板混凝土衬砌桩号为 0+20~0+504.7,总长 484.7 m,共 41 段,自 2016 年 10 月 20 日开始施工,2017 年 1 月 2 日结束,共计 74 d,平均 1.8 d/段;根据统计数据,施工过程中的最快速度为 24 h/段。

##### (2) 边顶拱混凝土施工强度。

出口工作面底板混凝土衬砌桩号为 0+923.328~0+463.3,总长 460.028 m,共 39 段,自 2016 年 12 月 11 日开始施工,2017 年 2 月 19 日结束,共计 71 d,平均 1.8 d/段(12 m/段,混凝土

工程量 211 m<sup>3</sup>/段);进口工作面底板混凝土衬砌桩号为 0+20~0+463.3,总长 443.3 m,共 37 段,自 2016 年 12 月 11 日开始施工,2017 年 2 月 22 日结束,共计 74 d,平均 2 d/段。根据统计数据,施工过程中最快衬砌速度为 24.5 h/段,排除施工干扰时间因素,平均为 35.2 h/段。

#### 5 结 语

南俄 3 水电站导流洞混凝土衬砌施工经验表明,对于大断面圆形隧洞,通过分上、下两部分进行衬砌且底板先于边顶拱衬砌,可有效缩短施工工期。通过合理配置资源、合理组织、灵活调整各施工工序,使单段钢筋制安循环时间小于钢模台车的循环时间,隧洞混凝土衬砌工期只受钢模台车循环时间控制;在施工过程中抓紧钢模台车每个工序之间的衔接,缩短钢模台车循环时间,提高施工速度。钢模台车在南俄 3 水电站导流洞混凝土快速衬砌中的应用提高了混凝土施工效率,创下了单段衬砌时间 24.5 h、单头衬砌速度 240 m/月的记录,使导流洞边顶拱衬砌在 2.5 个月时间内完成,为南俄 3 水电站按时截流创造了有利条件,同时也为类似工程施工积累了一定经验。

##### 作者简介:

白云猛(1985-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

谢力(1980-),男,四川三台人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

邓作文(1980-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 73 页)

水位差将达到约 12 m 以上,流速较二期截流大,截流难度增加。

解决方案:总结二期截流的经验,在相对困难的龙口 II 区抛投石渣、中石、大块石和钢筋石笼,堤头处抛投钢筋石笼以保护堤头不塌落。对于困难区抛填钢筋石笼可考虑采用钢丝绳连接,大块石考虑用钢筋串连的方式。另外,尽量选择流量最小时截流,必要时将申请上游水库控制出库流量。

#### 7 结 语

项目部根据实际情况进行了认真分析后确定老挝南欧江四级水电站施工导流采取三期明渠导

流方式,有序开展了导流施工并优化了二期围堰形式,为后续类似工程施工提供了经验。目前,四级水电站二期基坑内厂房坝段的施工及导流建筑物施工已基本完成,二期围堰运行良好,为三期截流奠定了基础。目前三期截流策划正在积极进行之中。

##### 参考文献:

[1] 水电工程施工组织设计规范,DL/T5397-2007[S].

[2] 水电水利工程施工导流设计导则,DL/T 5114-2000[S].

##### 作者简介:

卫继鑫(1986-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

王婷(1988-),女,四川成都人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)