

巴山水电站导流隧洞的优化设计

陈义军

(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要: 巴山水电站导流隧洞由于前期开挖占用工期较多, 导致后期衬砌工期紧张; 根据导流隧洞上层贯通后揭露的实际地质条件, 对导流隧洞的衬砌设计进行了优化, 保证了河床截流的目标进度。

关键词: 导流隧洞; 衬砌优化; 施工进度; 截流; 巴山水电站

中图分类号: TV7; TV554; TV222

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)04-0082-04

1 概述

巴山水电站系汉江支流任河干流梯级开发规划中确定的控制性骨干梯级电站, 坝址位于重庆市城口县巴山镇上游约 1 km 处, 厂址位于巴山下游任河左岸雷打石。工程以发电为主, 兼有旅游和改善生态环境等综合利用功能。电站由拦河坝、溢洪道、引水系统、发电厂房等建筑物组成。

拦河坝为钢筋混凝土面板堆石坝, 坝顶高程 685 m, 最大坝高 155 m, 坝顶长 477 m, 坝顶宽 10

m。溢洪道位于右坝头, 溢流堰堰顶高程为 667.5 m。引水发电系统采用一洞二机布置, 全长约 2 455 m, 厂房为地面厂房, 装设两台机组, 总装机容量为 2×70 MW。

大坝施工采用围堰断流、隧洞导流方式。工程枢纽平面布置见图 1。

2 优化设计的必要性

巴山水电站导流隧洞工程于 2005 年 12 月 1

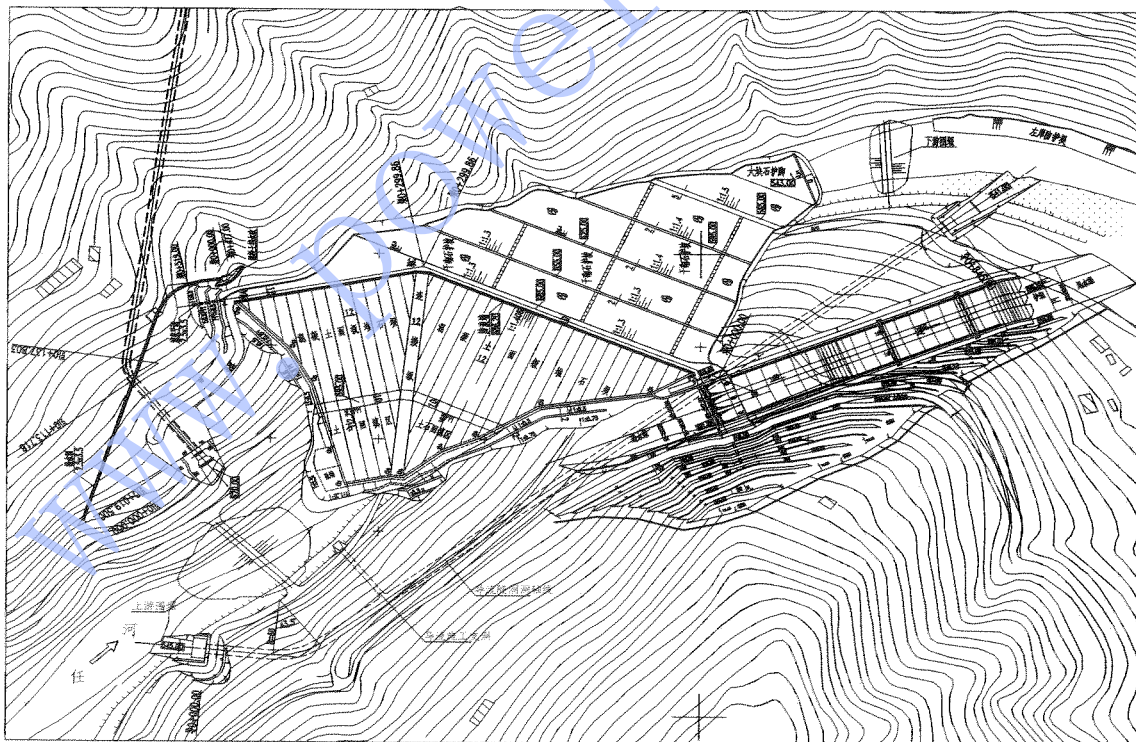


图1 工程枢纽平面布置图

收稿日期: 2014-04-07

日开工建设, 2006 年 4 月 25 日隧洞上层贯通。

按照招标进度安排,2006年10月18日导流隧洞必须具备过流条件。但是导流隧洞若按招标设计的全断面进行钢筋混凝土衬砌施工,则很难保证截流目标进度的实现。考虑到导流隧洞上层贯通后揭露的实际地质条件比招标阶段预计要好的情况,我们对导流隧洞的衬砌设计进行了优化,确保了2006年10月18日截流的目标进度。

3 导流隧洞的设计

根据施工导流规划,该工程导流共分为五个阶段,各阶段设计标准见表1。导流隧洞断面为

城门洞形,衬砌后尺寸为10 m×13 m(宽×高)。导流隧洞总长度为845 m,其中直线段长约799.4 m,转弯段长45.6 m,平面转弯半径为60 m,转角为43.5°,进口底板高程为545 m,出口底板高程为541 m,底坡 $i=0.4734\%$,对于隧洞进口段、出口段及洞身局部地质条件较差的Ⅲ~Ⅳ类及以上围岩地段采用钢筋混凝土全断面衬砌,衬砌厚度为2.5~0.5 m,其余部分不作受力衬砌。但为了减小糙率,提高泄流能力,采用锚杆混凝土薄衬,衬砌厚度为0.35 m。

表1 招标阶段施工导流及度汛设计标准表

导流阶段	泄流建筑物	挡水建筑物	导流及度汛标准	设计流量 /m ³ ·s ⁻¹	上游水位高程 /m	下游水位高程 /m
2006年10月至2007年5月	导流隧洞	上、下游围堰	10~次年5月时段 $P=10\%$	1 570	570.7	547.28
2007年6月,大坝临时断面 填筑至610 m高程	导流隧洞	大坝临时断面	10~次年6月时段 $P=2\%$	2 940	596.65	549.23
2007年7月 至2007年9月	导流隧洞	大坝临时断面	全年 $P=2\%$	3 670	603.24	549.46
2007年10月至2008年5月, 大坝填筑至681.6 m高程	导流隧洞	上、下游围堰	10~次年5月时段 $P=10\%$	1 570	570.7	547.28
2008年5月至2008年8月	导流隧洞	大坝临时断面	全年 $P=1\%$	4 060	608.59	549.72
2008年9月至2008年12月	溢洪道	大坝	全年 $P=0.5\%$	4 920	682.06	552.4

4 衬砌优化设计

导流隧洞施工阶段实际的洞身围岩分类比较情况见表2。

4.1 地质条件

表2 施工阶段导流隧洞洞身实际围岩分类表

序号	桩号 /m	围岩分类	序号	桩号 /m	围岩分类
1	0+000~0+030	Ⅲ ₂	7	0+472~0+605	Ⅲ ₁
2	0+030~0+250	Ⅲ ₂	8	0+605~0+620	Ⅲ ₂
3	0+250~0+290	Ⅲ ₁	9	0+620~0+705	Ⅲ ₁
4	0+290~0+360	Ⅲ ₂	10	0+705~0+735	Ⅱ
5	0+360~0+370	Ⅲ ₁	11	0+735~0+845	Ⅲ ₂
6	0+370~0+472	Ⅲ ₂			

4.2 衬砌优化情况

根据实际揭露的地质情况,结合实际施工进度要求,我们对洞身中间段的Ⅱ、Ⅲ类围岩洞段的衬砌进行了优化,可优化洞段总长度约550 m。各洞段优化设计情况见表3,导流隧洞典型衬砌情况见图2。

4.3 衬砌优化对各导流阶段上游水位的影响

在完成导流隧洞衬砌优化设计后,因泄流能力减少,围堰及大坝临时断面挡水上游水位有所抬高。各导流阶段上游水位计算成果见表4,导流隧洞不同标准下泄流量及流速见表5。

根据水力学计算结果,优化方案的上游围堰

挡水位及坝体度汛水位均超过招标阶段的设计度汛水位。

导流隧洞衬砌优化方案的上游围堰挡水水位为高程575.11 m,较招标阶段导流隧洞钢筋混凝土衬砌方案的上游围堰挡水水位高程570.7 m高出4.41 m,相应衬砌优化方案上游围堰应相应抬高4.4 m,上游围堰填筑量增加约44 010 m³。

根据水力学计算结果,导流隧洞优化方案对下游围堰挡水水位影响甚微,可保持原堰顶高程不变。

在2007年汛期大坝临时挡水阶段($P=$

表3 导流隧洞优化设计汇总表

序号	桩号 /m	围岩分类	原方案			主要优化设计内容
			桩号 /m	长度 /m	衬砌厚度 /m	
1	0+000~0+030	III ₂	0+000~0+030	30	2.5	按原设计方案
			0+030~0+036	6	2.5	按原设计方案
			0+036~0+096	60	1.2	按原设计方案
			0+096~0+144	48	0.35	按原设计方案
2	0+030~0+250	III ₂	0+144~0+168	24	0.35	顶拱15cm厚喷钢纤维混凝土,边墙底板按原设计方案
			0+168~0+204	36	0.35	按原设计方案
			0+204~0+250	46	0.35	顶拱15cm厚喷钢纤维混凝土,边墙底板按原设计方案
3	0+250~0+290	III ₁	0+250~0+290	40	0.35	顶拱15cm厚喷钢纤维混凝土,边墙底板按原设计方案
			0+290~0+335	45	0.35	顶拱15cm厚喷钢纤维混凝土,边墙底板按原设计方案
4	0+290~0+360	III ₂	0+335~0+360	25	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
			0+360~0+370	10	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
6	0+370~0+472	III ₂	0+370~0+472	102	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
7	0+472~0+605	III ₁	0+472~0+605	133	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
8	0+605~0+620	III ₂	0+605~0+620	15	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
9	0+620~0+705	III ₁	0+620~0+624	4	0.35	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
10	0+620~0+705	III ₁	0+624~0+705	81	0.5	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
11	0+705~0+735	II	0+705~0+730	25	0.5	顶拱15cm、边墙12cm厚喷钢纤维混凝土,底板按原设计方案
			0+730~0+735	5	0.5	按原设计方案
			0+735~0+774	39	0.5	按原设计方案
12	0+735~0+845	III ₂	0+774~0+821	47	0.35	按原设计方案
			0+821~0+845	24	1.2	按原设计方案
13		总长		845		

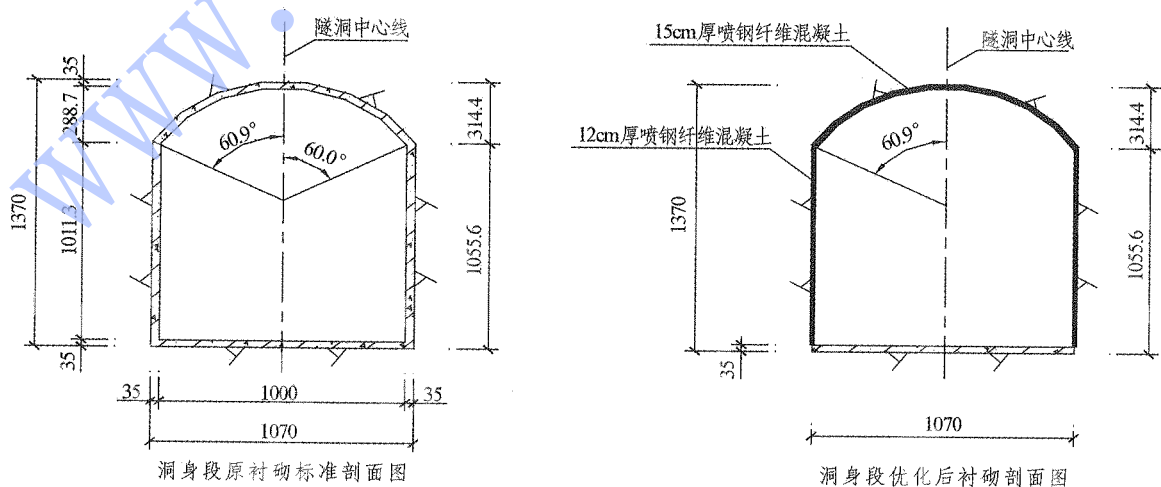


图2 洞身段典型衬砌示意图

表4 导流隧洞衬砌优化后各导流阶段上游水位计算表

导流阶段	泄流建筑物	挡水建筑物	导流及度汛标准	设计流量 /m ³ ·s ⁻¹	上游水位 高程/m	下游水位 高程/m
2006年10月至2007年5月	导流隧洞	上、下游围堰	10~次年5月时段 P=10%	1 570	575.11	547.2
2007年6月,大坝临时断面填筑至610 m高程	导流隧洞	大坝临时断面	10~次年6月时段 P=2%	2 940	603.99	548.86
2007年7月至2007年9月	导流隧洞	大坝临时断面	全年P=2%	3 670	608.32	549.06
2007年10月至2008年5月,大坝填筑至681.6 m高程	导流隧洞	上、下游围堰	10~次年5月时段 P=10%	1 570	575.11	547.2
2008年5月至2008年8月	导流隧洞	大坝临时断面	全年P=1%	4 060	614.08	549.3

表5 不同标准下泄流量及流速表

项 目	10月~次年5月	10月~次年6月	全年	全年
导流标准	P=10%	P=2%	P=2%	P=1%
设计流量/m ³ ·s ⁻¹	1 570	2 940	3 670	4 060
导流隧洞下泄流量/m ³ ·s ⁻¹	1 502	2 254	2 346	2 464
洞内平均流速/m·s ⁻¹	12.35	18.53	19.29	20.26

2%)，导流隧洞优化方案的上游水位为高程608.32 m，比原钢筋混凝土衬砌方案的上游水位高程603.24 m高出5.08 m。大坝度汛临时挡水断面汛前需填筑至610 m高程以上，比原度汛高程增加约5 m。

4.4 优化方案与招标方案的技术经济比较

从巴山水电站导流隧洞结构安全、对上游围堰和大坝临时挡水断面的影响以及投资等方面对原衬砌方案和优化方案进行分析比较如下：

(1) 导流隧洞结构安全。

根据优化方案水力学计算成果，导流隧洞在2007年、2008年汛期洞内流速较大，已超过喷混凝土允许承受的安全流速【见《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB50086-2001)第4.4.17条：“采用锚喷支护的永久过水隧洞允许的水流流速不宜超过8 m/s；临时过水隧洞允许的水流流速不宜超过12 m/s”】，存在一定的风险。但考虑到围岩完整性总体较好，在加强系统锚喷支护的前提下出现大规模洞室失稳的可能性不大，且本工程洪峰历时较短，根据类似工程经验，若遇设计洪水，短期的有压、较高流速水流对隧洞的影响可能是在隧洞周边出现局部气蚀、剥落、掉岩块等现象，而不至于对隧洞的整体结构造成灾难性破坏影响主体工程的施工安全和施工总体目标进度的实现。反之，采用减少全衬范围代之以加强锚喷支护的优化方案有利于减轻施工压力，有利于工程按时截流，对于当时的工程进度有明显的好处，也符合工程总体利益最大化的要求。

(2) 对上游围堰高度及大坝挡水度汛断面的影响。

根据水力学计算成果，在枯水期P=10%频率情况下，上游围堰挡水位较招标阶段水位抬高4.41 m，需加高上游围堰4.4 m；在全年P=2%的频率情况下，大坝2007年汛期临时挡水阶段上游水位较招标阶段水位抬高5.08 cm，大坝挡水高程亦相应抬高，大坝临时挡水度汛断面汛前需填筑至610 m高程以上。

(3) 经济效益。

导流隧洞优化后，减少了导流隧洞衬砌混凝土5 774 m³、钢筋312 t；增加喷钢纤维混凝土2 049 m³和上游围堰填筑量约44 010 m³；合计减少投资158.73万元。如计入洞内增加的锚杆量，衬砌优化后与招标设计阶段衬砌方案的可比投资相近。

5 结 语

施工阶段对导流隧洞衬砌进行优化后，可比投资与招标设计阶段较接近。虽然抬高了上游围堰挡水水位和坝体临时度汛水位，但考虑到实际揭露的导流隧洞工程地质条件相对较好，洪峰历时较短，在加强系统锚喷支护的前提下，出现大规模洞室失稳的可能性不大；导流隧洞衬砌优化后既保证了隧洞运行安全，又方便了施工，加快了导流隧洞的施工进度，保证了2006年10月18日的按期截流，符合工程总体利益最大化的要求。

参考文献：

- [1] 水工隧洞设计规范, DL/T 5195-2004[S].
- [2] 锚杆喷射混凝土支护技术规范, GB50086-2001[S].

作者简介：

陈义军(1974-),男,内蒙古乌兰察布人,高级工程师,学士,从事水电工程施工组织设计工作。(责任编辑:李燕辉)