

# 潘口水电站引水发电系统的优化设计

游志纯

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖北 宜昌 443002)

**摘要:**在潘口水电站施工详图设计阶段,本着技术可行、施工便利、经济合理的原则,对工程引水发电系统进行了一系列优化设计,包括进水口引水渠布置优化、引水隧洞断面及支护方式优化、厂房布置优化等,取得了较好的经济效益。

**关键词:**引水发电系统;结构设计;优化设计;潘口水电站

中图分类号:TV7;TV222

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)01-0095-03

## 1 概述

潘口水电站位于湖北省十堰市竹山县境内堵河干流上游河段,为湖北省近几年修建的最大的水电站。潘口水电站引水发电系统主要由进水口、压力引水隧洞、发电厂房、户外开关站、进厂交通洞及尾水渠等建筑物组成。笔者论述了引水发电系统建筑物结构的优化设计。

岸塔式进水口布置在左岸坝前1#冲沟处,共设2孔,并排对称布置,单管单机引水。进水口底板顶面高程为309 m,进水塔高55 m。进水口引水渠渠底高程为307 m,靠山体侧长120 m,沿①号机轴线长71 m。两孔进水口中心线间距34 m,孔口设3个中墩与2个边墩,4孔拦污栅,1孔检修闸门和1孔事故闸门。进水口顶部平台与左岸上坝公路之间采用预应力钢筋混凝土空心板桥连接。

两条引水隧洞平行布置于左岸。根据实际工程地质条件,引水隧洞采用钢筋混凝土衬砌与钢板衬砌两种型式。两条引水隧洞自渐变段至蜗壳进口段总长度分别为462.714 m和398.278 m,其中钢筋混凝土衬砌段(内径9.5 m)长度分别为317.743 m和276.443 m,钢板衬砌段(内径8.5 m)长度分别为144.971 m和121.285 m;钢筋混凝土衬砌段衬厚0.7 m,钢板素混凝土衬砌段衬厚0.6 m。隧洞设计额定引用流量为 $339.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大净水头为91.92 m,最大HD(水击作用下)为 $1100 \text{ m}^2$ 。

厂房为I级建筑物,抗震设防烈度为7度,抗震概率水准采用50 a超越概率0.05,基岩水平加速度峰值0.134 g。主厂房尺寸为 $94.3 \text{ m} \times 31.1$

$\text{m} \times 59 \text{ m}$ (长×宽×高),厂内安装2台单机容量为2 500 MW的水轮发电机组,机组间距26 m,安装高程258.1 m。两台机组段间及机组段与安装场间均设20 mm宽的永久缝。主厂房水轮机层以上为框架结构,以下为钢筋混凝土墙体结构。

## 2 主要设计优化及取得的成效

### 2.1 进水渠布置优化

根据枢纽区地形地质条件和水位线高程,原设计方案将进水口布置于库区左岸坝前1#冲沟处。受1#冲沟影响,引水渠左侧边坡为顺向坡,进水口左侧边坡为反向坡。施工详图阶段,为减少顺向坡开挖、避免开挖扰动形成新的边坡问题,设计人员结合现场开挖揭露情况进行了以下两方面优化:(1)调整了引水渠布置,取消了进水口前50 m长的引水渠直线段,引水渠转角相应由 $17^\circ$ 调整为 $45^\circ$ ,沿①号机轴线长度由近150 m缩短至71 m,基础面积由 $8670 \text{ m}^2$ 减少为 $3270 \text{ m}^2$ ,减少了62%(图1、2)。(2)取消了引水渠60 cm厚混凝土底板衬护。进水渠经过优化,较好地解决了顺向坡开挖问题,减少了开挖支护工程量,节省工程投资150多万元。

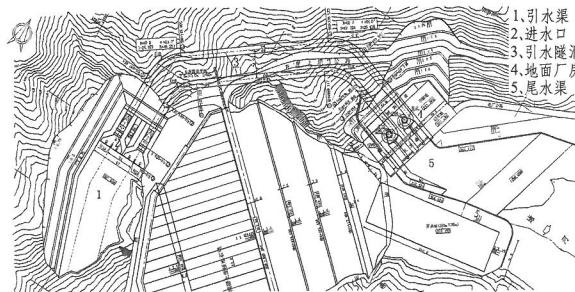


图1 设计阶段引水发电系统平面布置图(优化前)

收稿日期:2016-10-10



图2 施工详图阶段的引水发电系统平面布置图(优化后)

## 2.2 引水隧洞优化

### (1) 压力钢管段隧洞断面的优化。

在前期设计阶段,压力钢管管径采用与混凝土衬砌段相同洞径的9.5 m,而蜗壳进口断面直径为6.9 m,两者相差较大,故在施工详图阶段对其进行了专项分析,研究了压力钢管管径减小的可能性。经计算分析,将压力钢管直径优化为8.5 m。经模拟分析,优化后的引水道末端压力升高、蜗壳最大动水压力、机组转速上升和尾水管内真空度等在相应工况下均能满足规范要求。压力钢管段隧洞断面的优化,既减少了隧洞施工设备的投入、缓解了隧洞施工压力,同时也降低了压力钢管制安的难度和工程量,大幅降低了投资,节省投资2 526万元(表1)。

表1 引水隧洞优化前后主要工程量及投资对比表

序号	项目名称	单位	前期阶段	施工详图阶段
1	洞身石方开挖	m <sup>3</sup>	90 700	76 930
2	引水隧洞洞身系统锚杆(M30, φ28/25, L=4.5 m/3.5 m)	根	3 433	1 390
	引水隧洞洞身随机锚杆(M30, φ25, L=4.5 m)	根		现场随机
3	洞身段钢筋网(φ4, 100 mm × 100 mm)	t	87	—
	挂网喷护混凝土钢筋网(φ6.5@200 mm × 200 mm)	t	—	6.47
	洞身段挂网喷混凝土(C20, 厚15 cm)	m <sup>3</sup>	995	787
4	钢支撑(工字钢,I18)	t	200	21
5	洞身段回填灌浆	m <sup>2</sup>	11 136	6 800
6	洞身段固结灌浆	m	18 738	16 324
7	钢管段接触灌浆	m <sup>2</sup>	7 937	7 746
8	洞身段衬砌C25钢筋混凝土	m <sup>3</sup>	22 514	17 210
9	钢管段回填C20混凝土	m <sup>3</sup>	6 130	2 910
10	钢筋制安	t	2 391	1 820
11	钢材	t	2 892	1 751
12	静态投资	万元	7 813	5 287

注:表中仅列出引水隧洞优化调整引起的主要工程量及对应的静态投资。

### (2) 支护方式的调整。

两条引水隧洞工程地质条件基本相同,上平段置于弱风化~微风化的白云母石英片岩夹云母片岩中,下平段深埋于微风化~新鲜的灰绿色绿泥钠长片岩中。引水隧洞段洞轴与岩层走向夹角为60°~90°(除出口段夹角为32°外)。引水隧洞进出口岩体类别为IV~Ⅲ2类,洞身段为Ⅲ1类。工程实施过程中,隧洞支护方式由原系统设计调整为动态设计。根据引水隧洞开挖揭露的地质条件及采集到的监测数据,除上平段采用系统锚杆+挂网喷护(进口处采用钢拱架及喷混凝土支护)外,其余洞段仅对节理发育段进行随机支护,

并取消了围岩较完整洞段的支护。动态支护设计的采用,不但体现了设计服务于工程实际的原则,而且在减少工程问题的同时加快了施工进度。

## 2.3 厂房布置优化

坝后岸边式地面厂房基础座落于新鲜岩体上,基岩主要为绿泥钠长片岩。厂房纵轴线方向为NE17°,岸坡自然坡角为40°~45°,厂房后边坡岩层弱风化埋深为5~20 m。左岸边坡存在影响其稳定的3组节理:(1) NE40°~60°,SE,∠40°~85°;(2) NW280°~300°,NW,∠50°~80°;(3) NW330°~350°,NE,∠40°~80°。

前期设计阶段,厂房后边坡最大开挖高度近

120 m,受左岸边坡3组节理影响,边坡稳定情况不容乐观。施工详图阶段,为避免开挖形成高边坡,将厂房沿横轴线向河床方向平移了17 m;同时,为使引水隧洞总长不增加,又将厂房沿纵轴线向坝址方向平移了7.6 m(图1、2)。经调整后,

厂房后边坡最大开挖高度由近120 m降至72 m,减少了大量的边坡开挖支护工程量及相应的投资,初估节省投资1 052万元(表2),同时也加快了施工进度,减少了对周围环境的影响。

### 3 结语

表2 厂房优化前后主要工程量及投资对比表

序号	项目名称	单位	前期阶段	施工详图阶段
1	土方明挖	万m <sup>3</sup>	6.1	2.9
2	石方明挖	万m <sup>3</sup>	45.2	20.6
3	锚杆(M30,φ28,L=7.5 m)	根	5 152	597
	锚杆(M25,φ28,L=6.5 m)	根		664
	锚杆(M25,φ28,L=9 m)	根		209
4	预应力锚索(7φj15.2/7φ5,1 180 kN/束,L=6 m)	10 kN·m	—	10 080
5	机编镀锌钢丝网(φ4 @ 100 mm × 100 mm)	m <sup>2</sup>	32 700	2 780
6	挂网喷混凝土钢筋网(φ6.5 @ 200 mm × 200 mm)	t	—	23.48
7	边坡挂网喷混凝土(C20,厚15 cm)	m <sup>2</sup>	3 334	2 780
8	锚桩(332根,L=25 m,孔径130 mm)	根	150	70
9	锚桩(M30,φ28,L=12.65 m,入岩12 m)	根	—	12
10	静态投资	万元	1 984	932

注:表中仅列出因厂房优化引起的主要项目的工程量及对应投资。

根据潘口水电站工程特点,在施工详图设计阶段,设计人员结合现场实际,对引水发电系统进行了一系列优化设计,在确保结构安全、加快施工进度的同时,节省工程投资3 700多万元,占引水发电工程静态投资的14%,取得了较好的经济效益。该工程实例说明:在项目实施过程中,可深入现场收集资料、做出符合工程实际的设计优化工作,对缩短项目建设工期、节省工程投资具有现实的技术经济价值。

(上接第74页)

### 5 结语

针对该工程,笔者提出了运行期电站各重点保护对象的控制标准,最终确定的最大单响药量取值为64.9 kg。“948 m交通隧道”爆破施工中,实际最大单响药量为52.5 kg,小于64.9 kg,满足最大安全单响药量控制标准。

某水电站各保护对象质点振动速度均小于各自的允许安全控制标准。从质点振动速度这一直接定量安全判据看:拉林铁路巴玉隧道出口交通隧道爆破施工并未影响到该水电站的安全运营。

最终的监测成果亦验证了试验成果的有效

### 参考文献:

- [1] 丁家仁,王宗敏,张雪峰.设计优化对马尼拉供水工程项目实施的重要性[J].水利水电技术,2012,43(2):42~45.
- [2] 何强,陈贵强.芙蓉江清溪水电站发电引水系统设计及施工优化[J].贵州水力发电,2011,25(6):24~27.
- [3] 李水泷,姜新忠.白水坑水电站发电引水系统优化设计[J].浙江水利科技,2006,34(3):37~38.

### 作者简介:

游志纯(1978-),女,江西南城人,高级工程师,工程硕士,从事水电工程水工结构设计工作。  
(责任编辑:李燕辉)

性。同时,通过对该电站进行的安全监测(变形、渗流、扬压力等)取得的资料表明:该水电站的爆破安全控制标准是合适的。

### 参考文献:

- [1] DL/T5333-2005,水电水利工程爆破安全监测规程[S].
- [2] GB6722-2011,爆破安全规程[S].
- [3] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.

### 作者简介:

刘志辉(1976-),男,湖南新化人,副室主任,高级工程师,硕士,从事水电工程物探检测技术工作。  
(责任编辑:李燕辉)