

紫江砌石拱坝设计

李宗樾

(贵州省大坝安全监测中心, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 紫江水电站拦河坝原设计的重力坝方案存在地质缺陷, 经补充地勘工作及综合比较, 对大坝设计进行复核调整, 推选出混凝土砌石拱坝为施工图设计方案。设计大坝为 C15 混凝土砌石抛物线变厚双曲拱坝, 其对地形条件适应性好, 有效解决了坝体应力及稳定问题; 采用坝体自防渗, 降低施工难度、缩短施工工期; 为提前发电, 采取分期蓄水。取得了良好的经济效益及社会效益。

关键词: 砌石拱坝; 抛物线; 自防渗; 分期蓄水; 紫江水电站

中图分类号: TV641.3⁺1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)03-0070-07

1 工程概况

紫江水电站位于贵州省开阳县鱼梁河下游河段, 属鱼梁河梯级开发的第 2 级水电站。工程开发目的以发电为主, 兼顾旅游。坝址以上集水面积为 1 006 km², 水库总库容为 898 万 m³, 电站装机容量为 12 MW。

紫江水电站工程可行性研究(代预可研)阶段审查推荐的工程枢纽布置为下坝线混凝土重力坝 + 左岸发电引水系统 + 左岸岸边地面厂房。转入招标设计和施工图设计阶段, 在修建场内公路、清除两岸灌木植被后, 本着对工程负责和实事求是的原则, 为做到“技

术可行、经济合理”的设计原则, 按照可行性研究技术审查的要求, 进一步开展了工程地质复核工作。针对下坝线新揭示的工程地质问题和地质复核成果, 对大坝设计进行了复核。并且在原坝线上游 65 m 处另新选一条坝线, 补做了大量的地勘工作, 同时开展坝线、坝型技术经济等综合比较, 最终推荐并选定了上坝线混凝土砌石拱坝为施工图设计方案, 形成《贵州省开阳县紫江水电站大坝设计复核调整报告》, 该报告已通过工程原审批单位审批。施工图设计即按照批复意见进行。

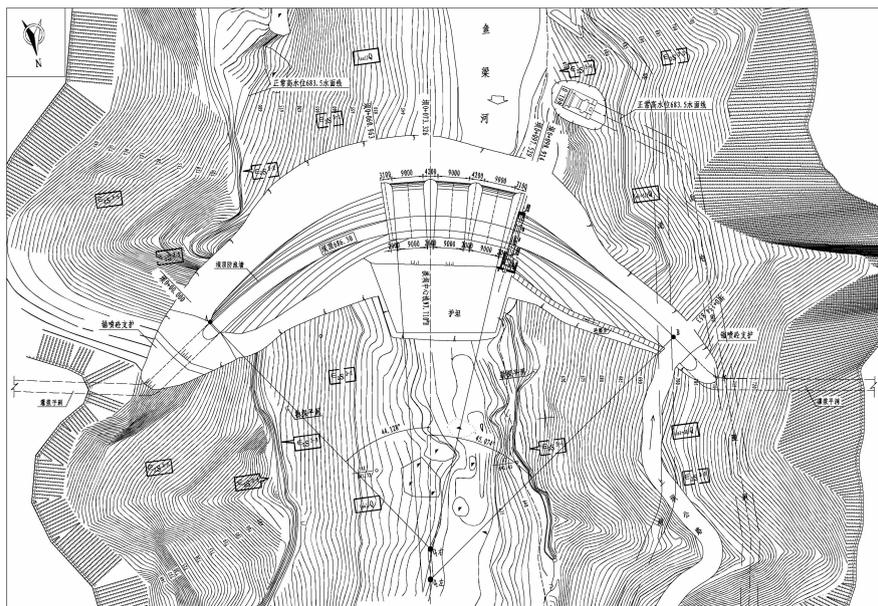


图 1 大坝枢纽平面布置

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-02-15

作者简介: 李宗樾(1982), 男, 工程师, 从事水工建筑物设计及大坝安全评价研究。

工程枢纽由砌石拱坝、表孔溢洪道、放空兼冲沙底孔、发电引水系统、厂房及开关站等组成。拦河坝为C15混凝土砌石抛物线变厚双曲拱坝,坝顶高程为686.30 m,最大坝高为63.80 m。

工程区地处黔中高原深切峡谷,河流切深400 m左右,坝址河床高程约为630~633 m。坝址处为岩溶中切峡谷地形,河谷为走向谷,呈不对称“V”字形,正常蓄水位为683.5 m高程河谷宽高比约为2:1。左岸为634.0~656.0 m、762 m以上高程地形近乎直立,656.0 m~762.0 m高程地形坡度为35°~45°;右岸为634.0~662.0 m、700.0~742.0 m高程地形坡度为30°~40°,662.0~700.0 m、742.0 m以上高程地形为悬崖。坝区基岩为寒武系中统石冷水组($\epsilon 2s3$),岩性为灰、深灰色中厚至厚层状含泥质灰岩、薄层泥质灰岩、薄至中厚层泥灰岩等。受河床中部顺河床断层影响,两岸岩层产状略有差异,左岸为N20°~40°E/NW(5°~15°,略倾下游;右岸为N10°~20°E/SES8°~15°,略倾上游。坝区构造裂隙较发育,均为陡倾角短小裂隙,裂面平直粗糙,为方解石充填。坝区两岸岩体强风化层基本缺失。

工程于2008年8月动工修建。为提前发电,水库分两期蓄水,第一期蓄水至663.0 m高程,已于2010年1月通过蓄水安全鉴定;第二期蓄水至正常蓄水位683.5 m高程,已于2012年8月通过蓄水安全鉴定及下闸蓄水验收。

2 拱坝体形设计

拱坝体形由拱冠梁和拱圈截面共同决定,两者均可用体形参数来进行表述。拱坝体形合理性的判断标准主要是应力和稳定。由于本工程坝高中等,拱坝的应力条件相对容易满足设计要求,而坝址地质条件相对较复杂,故坝肩稳定成为了控制拱坝体形的关键因素。紫江拱坝体形设计在满足坝体应力要求的前提下,合理布置水平拱圈平面形状与位置,尽量使拱端的推力指向山体内部,以改善坝肩稳定条件,提高拱坝对地形地质条件的适应能力。

2.1 拱冠梁剖面

拱冠梁剖面可决定拱坝垂直曲率和自重应力。拱冠梁剖面设计为沿垂直方向在坝体底部向上游坝面回缩倒悬,在中上部开始倒向下游,即中下部前倾、中上部后仰,不仅能改善坝体应力(降低坝踵处拉应力、减少下游竖向拉应力),加大中上部主要受力线上拱中心角,更使竖向构件从悬臂梁转为垂直拱,使拱坝设计更趋近于壳体理论,可节省工程量,增强坝体整

体性。因坝体材料为混凝土砌石,倒悬度需进行控制,一般控制在0.3以内。先参照双曲拱坝拱冠梁经验断面公式拟定基本断面,再根据应力计算结果进行调整,最终确定的拱冠梁剖面见图2。

2.2 水平拱圈

坝址处河床断面呈不对称“V”字形,河床宽高比为2:1,适宜修建非圆弧拱坝^[1],可弥补上部河谷宽度变化带来的地形上的不足。另外,坝址右岸山体地形上略显单薄,抗滑体下部受卸荷裂隙影响形成较小的负地形,使得坝肩稳定问题成为该拱坝设计的关键性问题。基于上述因素,设计采用非圆弧的抛物线拱圈,可减小中心角,拱圈的曲率半径较大,与岸坡交角增大,有利于坝肩稳定;同时,采用变厚的抛物线拱,能更好的适应坝体应力变化。

2.2.1 拱圈线型

拱圈中心线的线型为抛物线,抛物线方程如下:

$$y = y_0 + \frac{x^2}{2R_c}$$

式中 y_0 为抛物线顶点的 y 坐标; R_c 为抛物线顶点曲率半径。

2.2.2 中心角

通常拱圈最大主拉应力发生在1/3~1/2坝高之间,在进行拱坝布置时在坝高的中间部位采用较大的中心角,以减少拱圈主拉应力。同时,本工程采用表孔溢洪,坝体上部的中心角时稍小于中部,可减少拱坝表孔对坝体应力的影响。拱圈轴线上任一点 m 的中心角 φ_m 定义为抛物线上 m 点的法线与抛物线顶点法线之间的夹角,过 m 点作法线,令切线与 X 轴的夹角为 φ ,根据几何关系可得:

$$\tan \varphi_m = -\tan \varphi = \frac{x}{R_c}$$

抛物线上任意一点 $m(x, y)$ 的曲率半径 R 为:

$$R = \frac{R_c}{\cos^3 \varphi}$$

2.2.3 抛物线上任意点 m 至抛物线顶点的弧长

可采用对抛物线微小线段求积分的方法,得抛物线上任意一点 m 至抛物线顶点的弧长 L ,计算公式如下:

$$L = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{x^2}{R_c^2} + 1} + \frac{R_c}{2} \ln \left(\frac{x}{R_c} + \sqrt{\frac{x^2}{R_c^2} + 1} \right)$$

2.2.4 拱圈上、下游曲线的参数方程

$$x = x_0 \pm \frac{T_c}{2 \sin \varphi} \quad y = y_0 \pm \frac{T_c}{2 \cos \varphi}$$

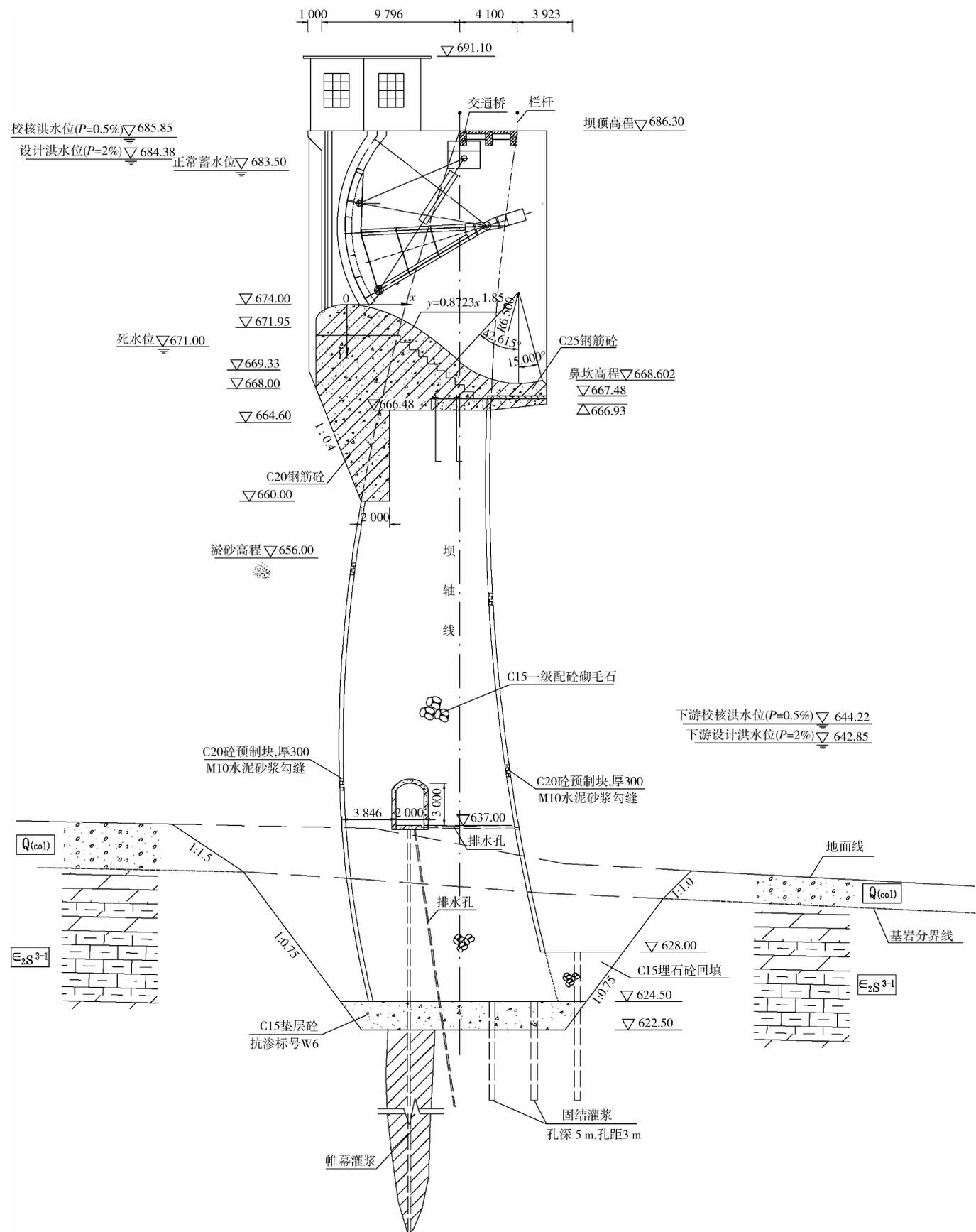


图2 拱冠梁剖面(单位: 高程 m; 长度 mm)

式中 x_0 、 y_0 为拱中心线坐标; φ 为半中心角。

2.2.5 拱圈下游曲线的直角坐标系参数方程

抛物线拱是由拱冠到拱端中间加厚, 其变化是连续的, 拱圈厚度的变化公式为:

$$T = T_c + (T_a - T_c) \left(\frac{S_c}{S_a} \right)^2$$

式中 T 为任一点拱厚; T_a 为拱端厚度; T_c 为拱冠厚

度; S_c 为拱中心线上一点至拱冠的弧长; S_a 为拱端至拱冠的拱轴线弧长。

结合本工程坝址处的地形、地质条件, 按照抛物线的有关公式, 经优化得出的紫江变厚抛物线拱坝的体形见表1。

表1 紫江拱坝体形控制参数

高程/m	拱冠上游面坐标/m	拱冠厚度/m	拱端厚度/m		拱冠曲率半径/m		半中心角/°	
			左岸	右岸	左岸	右岸	左岸	右岸
686.3	0.000	4.110	4.311	4.311	69.556	62.916	45.074	44.128
680.0	2.044	5.295	5.604	5.604	62.970	61.155	45.861	45.406
670.0	4.864	7.237	7.959	7.959	53.638	56.155	47.304	47.262
660.0	7.005	9.135	10.382	10.382	45.875	52.116	48.581	48.545
650.0	8.290	10.851	12.523	12.523	40.295	48.898	48.981	48.834
640.0	8.540	12.247	14.035	14.035	37.514	46.362	47.499	47.595
630.0	7.578	13.187	14.569	14.569	38.151	44.368	43.089	43.929
624.5	6.670	13.460	14.320	14.320	40.180	43.453	39.217	40.153

由上表可知, 最终确定的紫江拱坝坝高为 63.8 m, 最大中心角为 97.815° 及最大半中心角为 48.981° (高程为 650.0 m); 坝顶中心弧长为 151.60 m, 顶拱中心角为 89.202°; 坝顶宽度为 4.11 m, 拱冠梁底宽为 13.46 m, 拱冠梁厚高比为 0.211。

3 坝体应力分析

3.1 基本资料

3.1.1 基岩材料参数

坝基(肩)岩体为寒武系中统石冷水组第三段第1至5层 ($\epsilon_2 s^{3-1 \sim 5}$), 基岩弹性模量取 8 ~ 10 GPa, $\epsilon_2 s^{3-3}$ 软弱层弹性模量取 5 GPa; 泊松比 0.27 ~ 0.28。

3.1.2 坝体材料参数

坝体材料为 C15 一级配混凝土砌石, 其中毛石比例为 70%、块石比例为 30%, 根据有关规范^[1]及工程类比, 取坝体弹性模量 $E_c = 6.5$ GPa; 泊松比 $\mu = 0.23$; 重度 $\gamma_c = 23$ kN/m³; 线胀系数 $\alpha = 7 \times 10^{-6}$ / °C。

3.1.3 水库特征水位及淤沙高程

坝顶高程为 686.30 m, 起拱高程为 624.50 m, 堰顶高程为 674.00 m; 水库正常蓄水位为 683.50 m, 死水位为 671.00 m。

校核洪水上游水位为 685.75 m, 相应下游水位为 644.14 m;

设计洪水上游水位为 683.69 m, 相应下游水位为 642.77 m。

淤沙高程为 656.0 m, 浮容重为 8 kN/m³, 内摩擦角为 12.0°。

3.1.4 温度荷载参数

根据当地气象历年气候资料统计: 多年平均气温为 14.1 °C, 最冷月 1 月平均气温为 3.4 °C, 最热月 7 月平均气温为 23.7 °C。因此, 温度荷载参数如下:

多年平均气温: 14.1 °C;

气温年变幅(温降): 12.7 °C; 气温年变幅(温升): 11.6 °C;

日照对年平均气温影响: 2.0 °C; 日照对气温年变幅影响: 2.0 °C;

库水表面多年平均温度(考虑日照影响后): 16.1 °C;

库水表面水温年变幅: 10.15 °C; 库底水温: 10.5 °C;

下游水垫塘水温: 13.0 °C。

封拱温度按多年平均温度, 取 14.1 °C。

3.2 计算工况

坝体应力分析计算工况分基本组合和特殊组合^[2]。

①基本荷载组合

A. 正常蓄水位 + 泥沙压力 + 设计温降 + 自重(以下简称正常 + 温降)

B. 设计洪水位 + 泥沙压力 + 设计温升 + 自重(以下简称设计 + 温升)

C. 死水位 + 泥沙压力 + 设计温升 + 自重(以下简称死水位 + 温升)

②特殊荷载组合

校核洪水位 + 泥沙压力 + 设计温升 + 自重(以下简称校核 + 温升)

3.3 应力控制标准

坝体材料为 C15 一级配混凝土砌毛石, 胶凝材料采用 C15 一级配混凝土, 采用毛石比例占 70%、块石比例占 30% 的砌石体, 毛石饱和抗压强度大于 35 MPa。坝体主压应力和主拉应力控制标准根据《砌石坝设计规范》(SL25-2006) 的规定确定, 见表 2。

表 3 不同工况下上下游面最大主应力 (MPa)

计算荷载组合		上游面		下游面		
		拉应力	压应力	拉应力	压应力	
基本组合	正常 + 温降	应力值/MPa	-1.07	1.49	-0.56	2.98
		位置(高程)/m	670.0RT	660.0CR	624.5RT	660.0RT
	设计 + 温升	应力值/MPa	-1.01	1.21	-0.50	3.07
		位置(高程)/m	660.0RT	674.0CR	624.5RT	660.0RT
特殊组合	死水位 + 温升	应力值/MPa	-0.52	1.48	-0.47	1.85
		位置(高程)/m	640.0RT	630.0LF	624.5RT	624.5CR
	校核 + 温升	应力值/MPa	-1.11	1.36	-0.51	3.28
		位置(高程)/m	660.0RT	674.0CR	624.5RT	660.0RT

注: 拉应力为负, 压应力为正; LF 表示左拱端, RT 表示右拱端, CR 表示拱冠梁。

由表 3 可知, 坝体应力以特殊荷载组合工况控制, 最大拉应力为 1.11 MPa(660.0 m 高程右拱端上游), 最大压应力为 3.28 MPa(660.0 m 高程右拱端下游); 基本组合荷载坝体最大拉应力为 1.07 MPa(670.0 m 高程右拱端上游), 最大压应力为 3.07 MPa(660.0 m 高程右端下游), 坝体应力满足规范控制标准要求, 应力分布均匀, 符合常规。除 ϵ_2s^{3-3} 层软弱岩层外, 其它各高程拱端应力均小于相应位置基础承载力。两坝肩 ϵ_2s^{3-3} 层软弱岩层均已采取扩大拱座开挖、加大嵌深 2 m、回填 C20 混凝土置换并在外层铺设 $\phi 25$ 钢筋网处理, 经处理后亦能满足基础承载力要求。

4 坝肩稳定分析^[3]

坝肩岩体主要为寒武系中统石冷水组第三段 (ϵ_2s^3) 含泥质灰岩、泥质灰岩。坝址处岩层倾角平缓, 左岸岩层略倾下游, 右岸岩层倾略倾上游。左岸主要发育 4 组裂隙, 右岸主要发育 3 组裂隙。岩体中裂隙均为陡倾角短小裂隙, 未发现缓倾角结构面。通过坝基开挖揭露, 裂隙闭合较好。

在拱坝坝肩稳定分析时, 滑动体的边界是根据地质勘察资料提供的实际裂隙面, 两坝肩均通过最不利

表 2 大坝允许应力

工 况	主拉应力/MPa		压应力/MPa
	拱坝周边	其他部位	
基本组合	1.5	1.4	3.5
特殊组合	1.5	1.4	4.1

3.4 计算方法及成果

坝体应力计算采用中国水利水电科学研究院结构所编制的《ADASO 拱坝体形优化程序》, 计算方法为拱梁分载法, 划分为 7 拱 15 梁。各种荷载组合下坝体最大主拉、主压应力统计见表 3。

结构面及其组合进行抗滑岩体分析计算。

4.1 计算方法

拱坝坝肩稳定分析采用刚体极限平衡法, 考虑到紫江拱坝坝肩无复杂的滑裂面, 故按平面分层抗滑稳定进行计算^[4-5]。计算中作如下简化:

①坝基岩石缓倾, 取岩石层面为底滑面, 以陡倾角裂隙面为侧滑面, 以通过各拱端上游面的陡倾裂隙面和断层为滑块上游拉脱面。

②本工程两坝肩基岩裸露, 自然边坡较陡, 强风化层基本缺失, 但需考虑坝肩岩体卸荷裂隙带的影响, 右坝肩计算抗滑岩体向山内平移 4~5 m; 左坝肩下游裂隙较为发育, 660 m 高程以下计算抗滑岩体向山内平移 10 m, 660 m 高程以上计算抗滑岩体向山内平移 5 m, 不计入受卸荷裂隙影响的岩体的抗滑力及该部分岩体自身重量。

③本工程设置有帷幕灌浆及排水孔, 为安全计, 计算中不考虑设置帷幕灌浆及排水孔后的渗透压力折减作用, 仅作为工程安全储备。

④裂隙面呈不连续的雁形排列, 因裂隙延伸一般不长, 岩体结构面并非完全贯通, 结构面之间存在岩

桥作用。开挖至弱风化中下部时, 裂隙基本闭合, 或被方解石充填。本工程两坝肩嵌深至弱风化中下部, 在抗剪断计算中考虑了岩桥作用。根据拱端嵌深、高程不同相应岩体风化程度和裂隙发育程度均不同, 根据地质勘察统计和岩石的风化程度, 裂隙连通率按80%~30%计。若连通率大于60%, 计算中不考虑岩桥作用。

4.2 计算公式

拱座抗滑稳定安全系数按下式计算^[2]:

$$K' = \frac{\sum(Nf' + c'A)}{\sum T}$$

式中 K' 为抗剪断抗滑稳定安全系数; N 为滑移体总合力在滑裂面法向的分力; T 为滑移体总合力在滑移方向的分力; A 为计算滑裂面的面积; f' 为抗剪断摩擦系数; c' 为抗剪断凝聚力。

4.3 计算结果

经计算, 右坝肩650 m高程在基本荷载组合下抗滑稳定安全系数 $K = 2.86$, 不满足规范要求, 其余各高程抗滑稳定安全系数均满足规范要求。因右坝肩650 m高程(该部位为软弱岩层)已进行了基础置换处理, 并加大嵌深2 m, 考虑该因素后, 右坝肩650 m高程抗滑稳定安全系数为 $K = 3.14$, 也能满足规范要求。

5 大坝构造设计

坝体采用C15一级配混凝土砌毛石。砌体中毛石比例为70%, 块石比例为30%。大坝上、下游坝面设0.3 m厚C20混凝土预制块, 表面采用M10砂浆勾凹缝。河床基础部位设2.0 m厚C15混凝土垫层, 两岸坡基础部位设1.5 m厚C15混凝土垫层。

坝体浆砌石采用自防渗, 抗渗强度等级为W6。为确保防渗效果, 每砌筑上升4.0 m即进行钻孔压水检查, 孔深深入下层0.5 m, 对防渗指标(小于1.0 Lu)达不到要求的部位进行水泥灌浆。防渗检查孔采用水泥净浆封孔。

拱坝不设横缝, 砌体采用分块施工, 逐层全面连续上升, 相邻砌体高差控制在1.5 m以内, 按石料规格砌成阶梯形。

溢洪表孔布置在坝顶河床段, 共设3孔, 孔口尺寸为9 m×9.5 m(宽×高), 设置3扇9 m×10 m(宽×高)的弧形钢闸门控制。

放空兼冲沙底孔布置在大坝左坝段, 孔身为Φ1 000 mm钢管, 外包0.5 m厚C20混凝土, 出口设置Φ1 000的检修阀、工作阀各1套。

6 基础处理设计

1) 坝基开挖及处理

本工程按中坝要求, 河床坝基以嵌入弱风化中部岩体作持力层, 两岸基本以弱风化中下部岩体作持力层; 堰顶高程以上拱向作用减弱, 可以弱风化中上部岩体作持力层。对局部软弱岩层及软弱夹层进行混凝土嵌槽处理, 对左岸 $\epsilon_2 s^{3-3}$ 软弱带设置传力兼抗剪平洞, 以满足抗滑、抗变形要求。

对于基础表面宽度大于0.3 m的断层, 在进行挖槽后作混凝土塞处理, 刻槽深度为1.5倍断层宽度, 两侧边坡坡度不大于60°, 上下游方向的槽长要求延伸至坝基外2.5 m, 断层挖槽后布设钢筋网(Φ25@200)及锚杆(Φ25, 长5 m, 露出岩面1 m), 再回填C20混凝土塞处理。

原设计大坝建基面高程为621.0 m。施工中坝基开挖至高程622.4~623.7 m时, 揭示岩石较新鲜、完整性好, 风化程度较弱, 岩体波速平均大于4 500 m/s, 岩体完整性系数0.75以上, 基面岩体的承载力和其他力学指标能满足设计建坝要求。因此, 将建基面高程由621.0 m抬高至622.5 m。

2) 坝基固结灌浆

为加强拱坝基础整体性和刚度, 对坝基进行全面固结灌浆。固结灌浆孔孔、排距均为3 m, 呈梅花形布置, 孔深为5 m。

3) 坝基帷幕灌浆

坝址处地层为弱至中等透水性岩组, 无隔水层作防渗依托, 坝基及两坝肩采用悬挂式帷幕防渗。帷幕线垂直岸坡及河床布置, 河床帷幕以压水试验连续3段透水率 $\leq 3Lu$ 作为帷幕底界; 两岸防渗帷幕底界深入地下水位以下20 m。河床段及左岸帷幕布置单排孔, 孔距为3 m; 右岸及河床断层附近帷幕为单排孔, 孔距为2 m。

7 大坝施工质量控制

1) 本工程大坝所用石料为寒武系石冷水组泥质灰岩、泥灰岩, 经施工期检测, 坝体砌石饱和抗压强度为62.4~104.1 MPa, 满足设计要求。高应力区要求严格采用混凝土砌块石砌筑。

2) 因大坝砌体为自防渗, 施工中对坝体砌筑密实度采用风钻钻孔压水试验进行检测, 压水试验共实施407孔, 坝体吸水率在0.01~1.06 Lu之间, 且大于1.0 Lu的压水段仅有1段(为1.06 Lu), 坝体吸水率基本满足设计要求的1Lu。

3) 为了解大坝砌体容重, 在坝体643.00 m高程

布置两个试坑,经检测,砌体湿容重、干容重、埋石率和空隙率等指标均符合规范及设计要求。

8 大坝安全监测

本工程大坝为4级建筑物,坝型为砌石拱坝,设置的安全监测项目如下:

- 1) 变形监测,包含坝体位移、坝肩接缝变化等;
- 2) 渗流渗压监测,包含坝基扬压力及堵头段孔隙水压力监测;
- 3) 混凝土温度监测。

施工期观测资料整编分析^[7]主要结论如下:

1) 渗压计实测资料表明,位于帷幕后的 P_3 、 P_4 测点测值在蓄水后略有增加,实测渗压系数分别为0.23 MPa、0.07 MPa;导流洞堵头段渗压计 P_6 实测最大压力为0.07 MPa。

2) 裂缝计实测资料表明,635.0 m高程两坝肩最大裂缝开度为0.82 mm,发生在右坝肩下游 K_2 测点,其余测点开度在0 mm~0.3 mm之间,测值呈稳定趋势。

3) 温度计实测资料表明,温度计在埋设时受气温和混凝土入仓温度的影响,不同时间和高程温度变化情况并不完全一致,但变化趋势是一致的,坝体上部主要受环境温度影响较大。截止2012年10月12日,实测高程624.0 m、635.0 m、655.0 m、667.0 m平均温度分别为10.7℃、13.3℃、19.4℃、20.3℃;坝体总平均温度为15.9℃,比当地气象站资料统计多年平均气温14.1℃高出1.8℃。

4) 经水库一期蓄水两年来的运行情况,坝体运行正常,未见异常变形、裂缝及渗漏等情况,两坝

肩及近坝边坡也未见异常;大坝内部观测成果无异常。

综上所述,目前坝体工况正常。

9 结语

1) 根据工程地形、地质条件,紫江水电站大坝由混凝土重力坝调整为混凝土砌石拱坝是合理的。

2) 拱坝是一种应力条件复杂、受地形地质条件制约较大的空间结构壳体,对其体形进行优化设计是拱坝的关键技术和重要内容。采用抛物线变厚拱坝,能较好地适应地形条件,有利于坝肩稳定;且抛物线拱坝体形几何参数少,便于施工。

3) 坝体不设专门的防渗层,靠C15混凝土砌体自身防渗,可降低施工难度、缩短施工工期,可在中小型拱坝工程中推广使用。

参考文献:

- [1] 朱柏松. 非圆弧拱坝设计[M]. 1992.
- [2] 砌石坝设计规范(SL25-2006)[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [3] 李瓚,陈兴华,郑建波,等. 混凝土拱坝设计[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [4] 黎展眉. 水工建筑物设计丛书——拱坝[M]. 北京:水利电力出版社,1982.
- [5] 李宗樾,庞先明. 观音岩水库拱坝应力计算及坝肩稳定复核[J]. 广东水利水电,2009(6):17-21.
- [6] 刘晓乐,徐培. 某小型砌石拱坝的结构安全分析[J]. 广东水利水电,2010(7):60-63.
- [7] 贵州金水大坝安全工程咨询有限公司. 紫江水电站工程大坝监测系统报告[R]. 2009.

(本文责任编辑 马克俊)

Design of Zijiang Masonry Arch Dam

LI Zongyue

(Guizhou Provincial Dam Safety Monitoring Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: Geohological defects exist in the original design of growing dam project for Zijiang hydropowes station. After geological exploration work and comprehensine comparison, adjustment to the design has been made, finally masonry arch has been recommanded to be the construction scheme. Because of Zijiang hydropower station of C15 concrete masonry parabolic thick double - curvature arch dam, stress and stability problems of dam body seepage prevention has been effectively solved, construction difficult reduced, the construction period shortened; for the earlier generation, impounding in phases. Achieved good economic and social benefits.

Key words: masonry arch dam; anti - seepage; by - stage impoundment; Zijiang Hydropower Station