

芹山电站面板堆石坝施工期坝体过水渡汛设计

吴云鑫

(浙江省水利厅建设处, 浙江 杭州 310009)

摘要:介绍福建芹山水电站工程混凝土面板堆石坝施工期坝体过水保护设计情况,根据工程实际情况及特点采用双层钢筋网对临时坝体下游坝坡进行防护;采用钢筋石笼结合大块石对临时坝顶进行防护.对设计过程中河道水面曲线的推求、下游坝坡水力计算及保护钢筋网结构计算方法进行了总结,就堆石坝施工期过水保护方案的选择,推荐采用钢筋网对下游坝坡进行保护的方案.

关键词:混凝土面板堆石坝;过水保护;钢筋网保护;水力计算

中图分类号:TV551.3+6;TV641.4+3 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-7647(2002)05-0055-03

芹山电站是穆阳溪第一级水电站.穆阳溪位于福建省东北部,全长132 km,坝址以上流域面积453 km²,该电站位于周宁县泗桥乡芹山村附近.水库总库容为2.65亿 m³,电站装机容量7万 kW.

芹山电站工程由混凝土面板堆石坝、岸边式溢洪道、引水系统、地面式厂房及升压开关站等组成.拦河坝最大坝高122 m,坝顶长286.5 m,上、下游坝坡分别为1:1.4和1:1.35.坝体堆石填筑量249.35万 m³.

1 导流(渡汛)方式与标准

由于流域内受台风雨的影响较大,年内水量分配不均,多年平均流量18.0 m³/s,多年平均径流量为5.68亿 m³.每年3~9月降水量占全年降水量的82.4%.

芹山电站采用“非汛期土石围堰一次拦断河流挡水,导流隧洞泄流;第二年汛期,基坑充水,坝体过水渡汛;第三年汛期,基坑充水,坝体临时断面挡水”的导流方式.

导流建筑物为Ⅳ级,土石围堰的洪水标准10年一遇,其相应流量为355 m³/s.第二年汛前,坝体须填至661 m高程,其相应库容小于1000万 m³,该水位时,导流隧洞泄流量为360 m³/s,坝体施工期临时断面渡汛标准为20年一遇,其相应流量为2230 m³/s.第三年汛前,坝体须填至720 m高程,其相应库容远大于1000万 m³,该水位时,导流隧洞泄流量为895 m³/s,坝体施工期临时渡汛标准为50年一遇^[1],其相应流量为2850 m³/s.

2 施工期坝体过水保护措施

根据工程地形条件,大坝填筑道路布置较为困难,使前期填筑强度限制在15万 m³/月以下,而根据施工进度安排,汛前填筑时间只有3个月左右,分析山区河流洪水特点,临时坝体汛期过水可能性较大,必须采用过水围堰,并对临时坝体采取适当的过水保护措施.

2.1 过水围堰设计

根据使用期长短和恢复难易程度,仅上游围堰采用过水型式,下游围堰为一般土石围堰.上游围堰顶宽13.5 m,最大堰高16.2 m,迎水侧、背水侧边坡分别为1:2和1:1.75,堰体采用堆石,防渗体为粘土结合土工膜,防渗体下设砂砾料垫层,迎水坡外侧为块石护面及堆石护脚.堰顶为厚40 cm混凝土盖顶,围堰顶部设高1.9 m的自溃堰.背水坡采用双层钢筋网护面,内层钢筋网采用 $\Phi 8$ 钢筋,双向间距为10 cm;外层钢筋网采用 $\Phi 22$ 钢筋,斜向主筋间距50 cm,横向主筋间距为120 cm.由 $\Phi 22$ 锚筋接0.4 m $\times$ 0.4 m $\times$ 0.6 m混凝土锚定块(埋于堆石体中,下同)锚固,锚筋水平间距为150 cm,竖向间距为240 cm.下游堰脚处设宽4 m、厚50 cm的混凝土压脚,将内层钢筋网与其固定;为防止扬压力对混凝土压脚的抬动,设置 $L=1.5$ m、间距为1 m $\times$ 1.5 m的排水孔,孔径为45 mm.

2.2 临时坝体的过水保护措施

a. 下游边坡部位.坝体临时断面下游坡保护体结构型式基本同上游围堰背水坡采用的方式,仅根

据受力计算结果和防止坝体及内层钢筋网的隆起,将斜向、横向主筋间距分别减至 30 cm 和 60 cm,锚筋水平、竖向间距分别减至 90 cm 和 120 cm,同时采用砂浆锚杆将横向主筋与岸坡山体锚固。

b. 垫层区、过渡层区。汛前及坝体临时断面的砂浆固坡工作,根据水文气象预报及水情分析,在围堰过水前由预埋在围堰内涵管放水充注基坑,形成水垫。

c. 坝顶区域。在坝顶上游侧 20 m 区域范围内放置 4 m、直径 800 mm 的铅丝石笼形成压顶,同时在下游侧 20 m 区域范围内放置 2 m×1 m×1 m 的填石钢筋笼,坝顶其它部位,在碾压密实后,采用大块石进行保护,块石块径大于 0.4 m。

3 过水水力计算

坝体临时断面过水时,洪水流量将通过三种途径泄流,即分为过坝流量 Q_1 ,导流洞泄流量 Q_2 ,坝体渗流量 Q_3 。下面介绍过流设计洪水时各流量的计算方法。

3.1 过坝流量 Q_1 的确定

根据 $S/H > 10$,河道天然水流流态可近似看做明渠非均匀流。通过假定临时断面坝顶过流为 Q_1 ,采用分段求和法自下游控制断面 1—1 起往上游推算渠道非均匀流水面曲线,求得断面 6—6(见图 1,图中 h_k 为临界水深)的水深 h_s ,再按宽顶堰溢流公式求得的 Q_1 ,复核假定值,若两者一致,即为所求(计算方法见文献[2])。上述方法是在缺乏详细河道地形资料情况下采用的,与河道水力计算成果相比偏安全。

经一系列计算得水面曲线结果,见表 1。

表 1 水面曲线计算结果

部 位	h/m	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$q/(\text{m}^3\cdot(\text{s}\cdot\text{m})^{-1})$	$Q_1/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$
上游端(6—6)	5.70	4.80	27.4	1690
下游端(1—1)	3.50	5.80	20.3	1690

3.2 导流洞泄流量 Q_2 的确定

根据上游围堰堰前水位计算求得导流洞泄流量 $Q_2 = 466 \text{ m}^3/\text{s}$ (计算方法见文献[2])。

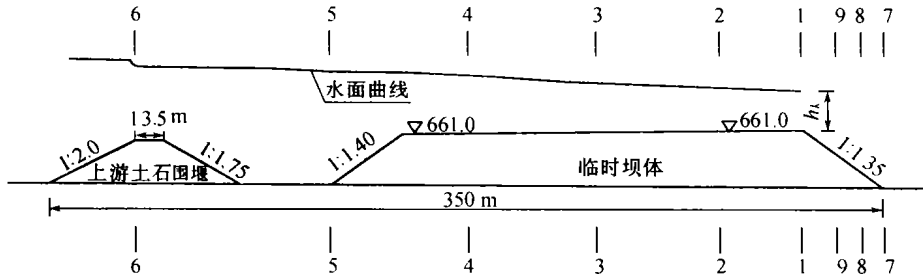


图 1 河道水面线推算断面选择示意图

3.3 坝体渗流量确定

因坝体上游面采用砂浆护面,按只考虑垂直入渗进行计算^[3]:

$$K_s = n(20 - A/D) \sqrt{D} \tag{1}$$

$$W_0 = K_s(h_1^2 - h_2^2)/L^2 \tag{2}$$

$$Q_3 = W_0 B \tag{3}$$

式中: K_s 为渗透系数; n 为堆石体孔隙率; A 为材料特征系数,取 $A = 5$; D 为堆石材料换算成圆球的半径,cm; W_0 为单位宽度的入渗流量, $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$; B 为过流堆石体平均宽度,m; L 为平均渗径长度。求得 $Q_3 = 74 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2230 \text{ m}^3/\text{s}$,与设计洪水流量一致。

3.4 下游坝坡过水水力计算

鉴于下游陡坡很短,坡面水流接近非均匀急变流,计算时近似为缓流计算,陡坡末端按淹没水跃考虑。具体计算方法同过坝流量的计算。

陡坡起始处水深 h_1 按 $0.7h_k$ 计算,结果如下:陡坡末端水深 $h_7 = 1.45 \text{ m}$,末端流速 $v_7 = 14.5 \text{ m/s}$,末端单宽流量 $q_7 = 21.0 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。

水力计算表明:①坝顶下游端水流流速较大,必须作为防护的重点;②过流时的坝体高度不仅对防护面积有影响,而且对坡面流速也有相当影响。

4 保护结构受力计算

4.1 外层钢筋网计算

钢筋网承受荷载按单位面积外层堆石体进行分析。单位堆石体的渗透力计算^[4]:

$$\tau = 0.035^2 v^2 / h^{1/3} \tag{4}$$

式中: v 为平均流速, m/s ; h 为溢流面上水深,m。

单位表面积的拖曳力计算^[4]:

$$F = \gamma_w j \tag{5}$$

式中: γ_w 为水容重, kN/m^3 ; j 为水力坡降。

但加筋堆石体结构设计理论尚不够成熟,只能近似进行估算,这里采用司特芬逊(D.Stephenson)图解法^[5](见图 2),求得钢筋网水平向荷载。图中: G 为单位面积外层石块重量(浮重); F_y 为水流拖曳力和渗透力的合力; F 为钢筋网所受荷载; t 为浅层滑

动阻力; θ 为下游边坡角度; φ 为堆石体内摩擦角。

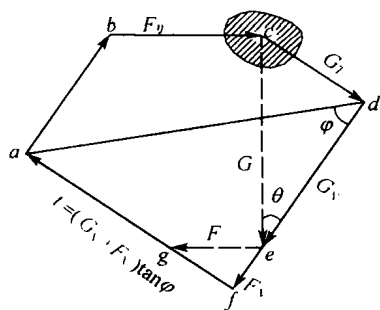


图2 钢筋网荷载计算图解法

4.2 水平向主锚筋计算

水平向主锚筋一端与钢筋网焊接,另一端必须锚固于坝体稳定安全系数最小的滑动圆弧范围之外.采用修正的毕肖甫(A. W. Bishop)圆弧法分析^[6],选取合理 K 值(一般不小于 1.2,这里取 $K = 1.4$),按式(6)反算求得水平锚筋的锚固力 T .

$$K = \frac{\tan \varphi}{\sum (W - Tb) \sin \alpha} \sum \left[\frac{W(1 - e)}{(1 + \tan \varphi \tan \alpha / K) \cos \alpha} \right] \quad (6)$$

式中: T 为水平主锚筋的锚固应力, kPa; b 为单元堆石体宽度, m; W 为单元土条的重量, kN; α 为土条底边切线与水平面的夹角, ($^{\circ}$); φ 为堆石体材料的内摩擦角, ($^{\circ}$); e 为孔隙水压力比.

4.3 水平锚筋配置的计算

在确定最不利工况时,按照威尔金斯(J. K. Wilkins)的试验与建议,堆石体最不利工况是坝体刚过水,而下游水位较低时,因为此时的孔隙水压力最大.采用 H. H. 罗赞诺夫推荐的 B. B. 阿里斯托夫斯基的方法,确定最危险滑动圆弧位置.关于水平锚筋配置的计算,采用斯派克斯方法^[5]:

$$\sum Tb \tan \alpha = c \gamma_s h^2 \quad (7)$$

式中: h 为堆石体高度, m; γ_s 为堆石体容重, kN/m³; c 为系数; b 为钢筋上下层间距, m.

边坡稳定计算表明:①坝体下游边坡 1/3 ~ 1/2 高度内锚筋长度需较长;②水平锚筋的配置,在底部应较密,顶部可适当稀些.

5 结 语

芹山水电站混凝土堆石坝于 1998 年 1 月 12 日,从 640m 高程起填,月填筑量设计 10 万 m³,保护措施在具体实施中加大了下游混凝土护脚的形体,并作了局部修改.1998 年 5 月 14 日,第一次洪水,洪峰总量为 450 m³/s,过坝流量 80 m³/s,洪水历时约 7h,坝体基本无损,只在右岸下部岸坡形成宽 2.5m 的冲坑.6 月 22 日,第二次洪水,洪峰流量 720 m³/s,

过坝流量 310 m³/s,历时 19h,其中 1—1 断面流速为 3.75 m/s,水舌深 1.5 m,水面宽 48 m,坝体未造成任何损坏,实现安全渡汛.

本文介绍的水力计算,在缺乏水工模型试验条件下,较好地解决了施工期大坝过水时水面曲线推算及下游坝脚水流流速的计算,为采取相应的保护措施提供了依据.但对弯道水流可能形成环流及横向水位差等未能进行分析,计算结果存在一定误差.本文推荐的双层钢筋网对堆石坝临时坝体下游坝坡防护可减小护面块石尺寸,坝坡溢流面坡度也可较陡,在经济上大大优于混凝土溢流面板,与常规的单层钢筋网保护相比可减少钢筋用量,并增加了防护的安全性.但施工程序和工艺较单层钢筋网防护复杂.

参考文献:

- [1] SDJ338—89,水利水电施工组织设计规范[S].
- [2] 武汉水利电力学院水力学教研室.水力计算手册[M].北京:水利出版社,1980.
- [3] 蒋国澄,傅志安,凤家骥.混凝土面板坝工程[M].武汉:湖北科学技术出版社,1997.
- [4] 水利电力部水利水电总局.水利水电工程施工组织设计手册(第一卷)[M].北京:中国水利水电出版社,1996.
- [5] 左兼金.水利水电工程施工管理与系统分析[M].北京:水利电力出版社,1986.
- [6] 华东水利学院.水工设计手册(第一卷)[M].北京:水利电力出版社,1983.

(收稿日期:2001-09-04 编辑:熊水斌)

欢迎订阅

《水电自动化与大坝监测》

《水电自动化与大坝监测》(双月刊)是水电自动化与大坝监测领域国内外公开发行的专业性技术期刊,是中国科技核心期刊,每双月 20 日出版.该刊由国家电力公司主管,电力自动化研究院主办,全国水电厂自动化技术信息网、全国大坝安全监测技术信息网协办,电力系统自动化杂志社编辑出版.

本刊专业范围为:水电厂、抽水蓄能电站、梯级水电站及泵站自动化;大坝安全监测与资料分析;水情测报与水调自动化;水资源实时监控与调度;防汛决策指挥系统;各类仪器仪表、信息技术在水电自动化及大坝监测领域中的应用.

本刊读者对象为:水电自动化、大坝监测及相关专业从事科研、设计、运行、管理、试验、制造和营销的专业人员、产品用户和大专院校师生等.

2003 年每期定价 6 元,全年 6 期共计 36 元.

邮发代号:28-39,全国各地邮局(所)均可订阅.

通信地址:南京市幕家巷 24 号电力系统自动化杂志社
邮编:210003
电话:(025)3429900-20053(社长)/20055(编辑部)
20057(广告部)/20051(发行部)
传真:(025)3421949
E-mail:hedm@nari-china.com

欢迎刊登广告

欢迎投稿