

凤凰水库弯道溢洪道流态控制设计

魏明方,宋天文,龚爱民,彭玉林

(云南农业大学水利水电与建筑学院,云南 昆明 650201)

摘要 在凤凰水库溢洪道弯道陡槽段的设计中,综合运用了导流墙和渠底超高措施,有效地调整了弯道控制断面的动量分配,改善了弯道水流流态。实践证明导流墙、渠底超高组合设计方法在凤凰水库陡弯溢洪道水流流态的控制上取得了较好的技术经济效果。

关键词 溢洪道 弯道流态 导流墙 渠底抬高法 凤凰水库

中图分类号 :TV135 ;TV651.1 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2007)S2-0148-03

1 工程概况

凤凰水库位于云南省玉溪市红塔区,水库属小(一)型已建水库,库容 471.71 万 m³,防洪库容 121.71 万 m³,兴利库容 328 万 m³,死库容 40.20 万 m³,其功能以灌溉、防洪为主,并兼顾下游城镇供水。枢纽由大坝(主坝和副坝)、输水涵洞(高涵和低涵)及溢洪道等建筑物组成,主、副坝均为均质土坝,坝顶高程 1 704.0 m,主坝最大坝高 34.5 m,坝轴线长 194 m,副坝最大坝高 15.3 m,坝轴线长 63 m。水库正常蓄水位 1 698.80 m,设计洪水位 1 701.10 m,30 年一遇设计洪水时,下泄流量为 52.41 m³/s,校核洪水位为 1 702.94 m,300 年一遇校核洪水时,最大下泄流量为 96.76 m³/s。

水库始建于 1957 年,大坝安全鉴定结论为三类坝,2005 年进行除险加固,其主要项目为:①对主、副坝进行整体防渗及坝面整修;②封堵输水高、低涵,新建输水隧洞;③新建溢洪道等。本文主要论述新建溢洪道弯道陡槽段的设计方法。

2 溢洪道的布置

2.1 地形地质条件

新建溢洪道在原溢洪道位置上进行布置,原溢洪道全长 245 m,最大泄流量 37.2 m³/s,矩形断面,钢筋混凝土结构,建于主坝左侧,其进口右侧紧靠主坝坝肩,左侧地形相对较陡,开挖边坡高达 30 m。陡槽段左侧为一滑坡体,下段处于崩塌堆积体边缘。地层岩性单一,为泥质板岩、粉砂质板岩,基岩节理裂

隙及风化裂隙发育。

2.2 新建溢洪道布置方案

新建溢洪道总长 204.30 m,堰顶高程为 1 697.30 m。因受地形条件限制,溢洪道布置在主坝左岸山体的埡口处,为避免高边坡开挖以及陡槽段受滑坡体的影响,需在陡槽段设置弯道。其布置方案为:0-69.50~0-23.00 为喇叭口段;0-23.00~0-05.00 为转弯段,宽度 $B=8.0\sim4.0\text{ m}$;0-05.00~0+0.00 为直线调整段,宽度 $B=4.0\text{ m}$;0+0.00~0+07.50 为控制段(驼峰堰),宽度 $B=4.0\text{ m}$;0+07.50~0+106.38 为泄槽段(其中 0+07.50~0+19.70 为泄槽直线段, $i=1/3.28$;0+19.70~0+82.80 为泄槽转弯段,净宽 4.0 m,弯道半径 100 m,转角 $36^{\circ}9'15''$;0+82.80~0+106.38 为泄槽直线段, $i=1/4.11$);0+106.38~0+134.80 为消力池,溢洪道平面布置见图 1。引渠段采用砌石结构,控制段至消力池采用 C25 钢筋混凝土衬砌矩形断面。

溢洪道布置时若将弯道设于泄槽段,一般应布置在纵坡比较平缓的地带,尽量使横断面内单宽流量分布均匀,避免因动能变化产生不利的冲击水流。凤凰水库新建溢洪道泄槽段长 98.88 m,其中 $i=1/4.11$ 的弯道长 63.10 m,急流进入弯段后不可避免地产生冲击波,冲击波及弯道离心力的共同作用导致弯道外侧水面增高,不仅要求有较高的边墙,而且水流流态十分恶劣,给泄槽及下游消能带来不利影响。因此,凤凰水库溢洪道急流弯道水流流态的控制设计十分关键。

作者简介 魏明方(1981—),男,云南曲靖人,硕士研究生,从事水工结构及水工材料研究。E-mail :weimf2000@163.com

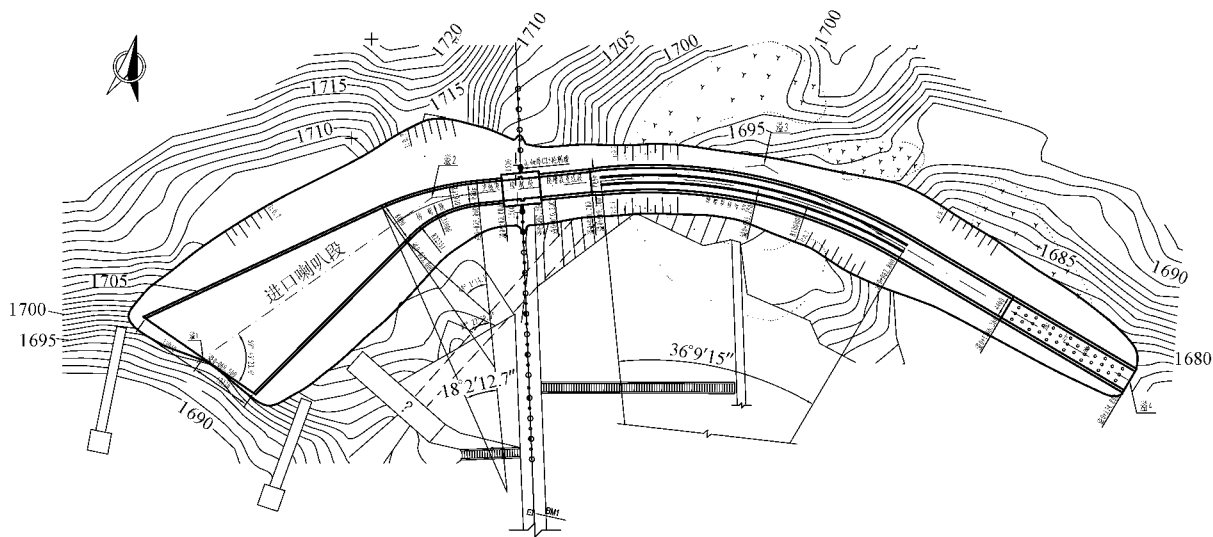


图1 凤凰水库溢洪道平面布置

3 急流弯道体形设计

3.1 冲击波理论

弯道急流与弯道缓流不同,弯道缓流的特点是弯道螺旋流,其水流动能的不平衡作用相对较小,亦不会产生较大的扰动;弯道急流则不然,由于自由表面受菱形交叉冲击波、水流动能的作用,水面变化非常复杂,流态紊乱。设计急流弯道的一个重要任务就是分析计算冲击波,并提出消除或减弱冲击波的措施。

陡槽边墙转向是冲击波产生的条件,当沿一定方向前进的急流遇到边墙偏折的阻碍,水流冲击边墙的同时受到边墙施加的反作用力,迫使其转向,这一扰动引起动量变化,造成水面壅高,由于急流的流速大于波速,因此冲击波受胁迫作用产生横向交叉传播。若以边墙转折点为起点划分扰动区域的斜线称为波前,波前与扰动前流向的夹角称为波角。

产生冲击波后,其水深、流速的变化以及波角的大小,与来流特性及造成扰动的外在条件有关,前者以扰动前佛汝德数 Fr 表示,后者以边墙偏折角 θ 反映。忽略水流的竖向分速,假定沿垂线各点的压力遵循静水压力分布,且不计阻力,则可用动量定律分析问题。泄槽急流弯道段内、外侧横向水位差分别按小扰动冲击波理论及经验公式计算,两结果中取大值^[1]。

工程上采用减小或消除边墙对水流施加的迫使水流转向力,及消减冲击波的方法有渠底超高法^[2]、复曲线法^[3]、导流墙法^[4]、渠底横向扇形抬高法、斜底槛法^[5]、导流墩和糙条法^[6]等。

3.2 体形设计

根据凤凰水库溢洪道的设计参数、地形地质条

件、施工及投资等方面的因素,设计采用渠底超高和导流墙的组合方式。

渠底超高法,即将弯道的渠底设置成外侧高、内侧低的形式,形成一个横向坡度,由此对前进的急流施加一个向心侧力,该力同时作用于同一过水面的所有水流质点,使水流自由转向,减小侧壁的胁迫作用,均衡水流的转向动能,从而平衡水流流态,消除或减弱冲击波。根据冲击波理论,泄槽急流弯道段内外侧横向水位差分别按小扰动冲击波理论($\theta_1 + \theta =$

$$\sqrt{3}\tan^{-1}\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{Fr^2-1}} - \tan^{-1}\frac{1}{\sqrt{Fr^2-1}})$$

及经验公式($\Delta h = K \frac{v^2 b}{g r_0}$)进行计算,其计算方法及公式见《溢洪道设计规范》^[1],计算结果见表1。

表1 溢洪道弯道最大横向水面差 m

水 位	小扰动冲击波理论	经验公式
校核水位	1.86	1.53
设计水位	1.03	0.82

根据计算结果,内外侧横向水位差达 1.86 m。一方面,凤凰水库溢洪道宽 4 m,若渠底超高 1.86 m,其结构的对称性差,考虑基岩节理裂隙及风化裂隙发育的实际情况及滑坡体、崩塌堆积体的侧向影响,溢洪道为对称箱形结构更有利于水流稳定和安全运行;另一方面,渠底超高法的最佳工况是泄槽流量经常小于或接近设计流量,此时可做到完全免除冲击波引起的水面升高,但当实际泄流量大于设计流量时,不能保持弯道水流平衡,而凤凰水库溢洪道下泄设计流量与校核流量相差大,仅采用渠底超高法对凤凰水库溢洪道而言既不经济,且其结构可靠性也差。

导流墙法,即在泄槽转弯段设置导流墙,导流墙将泄槽分为内、外两槽。溢洪道泄流时,在弯道进口

处导流墙将槽内水流基本均匀地分给内、外两槽,特别是当流量较小、槽内水流不漫过导流墙时,两槽内水流互不影响,受弯道的影响,内、外两槽的水流仍出现凹、凸侧水流不均匀的现象,但由于导流墙对凹侧水流的主要作用是槽宽减小,内外水面超高也相应降低,泄槽凹、凸侧水流不均匀的现象较无导流墙的情况有所减弱。

通过渠底超高和导流墙的组合可避免结构的不对称性,同时改善了弯道水流流态。

3.3 急流弯道布置

急流弯道布置设计包括导流墙和渠底超高的平面与横断面布置。设计在弯道泄槽段布置2道导流墙,位置为 $0+19.70\sim 0+82.80$,其布置形式见图1。导流墙的高度一般应通过模型试验确定,墙体过低,导流效果不明显;墙体过高,虽然导流效果好,但增加了工程量,可能是不经济的,一般可按抬高泄槽底高度的 $1.0\sim 1.1$ 倍取值,本设计考虑流量、工程规模及施工的方便,取导流墙高与溢洪道边墙高一致。导流墙采用钢筋混凝土结构,厚度宜薄不宜厚,受施工及墙体刚度的限制设计取 20 cm ,断面采用矩形,为避免水流直冲墩头产生较高的水舌,导流墙上游墩头做成向下游倾斜的圆柱形斜面,下游墩头则做成向上游倾斜的圆柱形斜面。因两道导流墙将溢洪道分割为三槽,故每槽渠底内、外超高均为 0.2 m (见图2)。

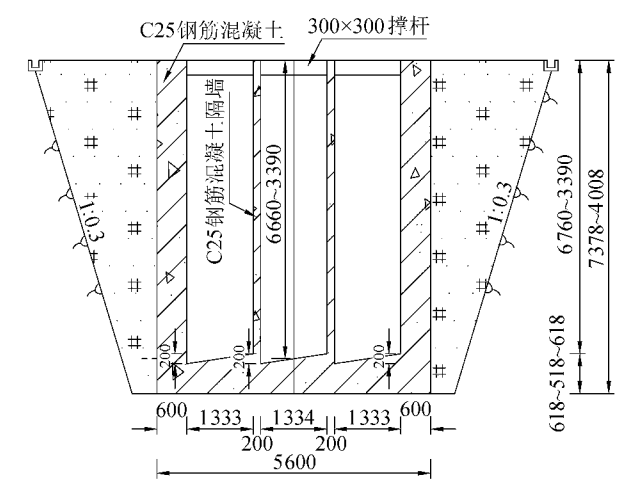


图2 溢洪道弯道横断面结构布置(单位:mm)

4 结 语

在凤凰水库陡弯溢洪道流态控制设计中,采用导流墙和渠底超高组合设计方法。经实际泄流观察可得到以下结论:①导流墙和渠底超高组合,可有效调整、改善弯道控制断面的动量分配,削减冲击波的胁迫作用力;②在较短的过渡段内,可使出弯水流纵向流速分布恢复到正常状态;③可避免采用单一渠

底超高法所带来的结构对称性差的缺点;④对于改善弯道流态与流速分布,导流墙和渠底超高组合是一种十分有效的工程措施。

(本文通讯作者为龚爱民)

参考文献:

- [1] SL253—2000,溢洪道设计规范[S].
- [2] 吴持恭.水力学[M].3版.北京:高等教育出版社,2003:314-318.
- [3] 王世夏.水工设计的理论和方法[M].北京:中国水利水电出版社,2000:98-107.
- [4] 张庆华,刘巍,宋学东,等.溢洪道泄槽弯道设置导流墙试验研究[J].水利水电科技进展,2005,25(5):53-54.
- [5] 张领护.溢洪道弯道急流冲击波消减技术措施研究[D].西北农林科技大学,2004:21-22.
- [6] 孙娟,陈晓梅.导流墩和糙条对溢洪道弯道水流的调整作用[J].新疆水利,2001(6):6-9.

(收稿日期:2007-03-09 编辑:骆超)

(上接第147页)

- [3] 李杰友,吴永强,杨树滩,等.泉水水库溃坝洪水模拟计算[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(6):35-39.
- [4] 谭维炎.计算浅水动力学[M].北京:清华大学出版社,1998:97-103.
- [5] 张小峰,中川一,许全喜.一阶迎风格式的精度问题[J].武汉大学学报,2001,34(1):6-10.
- [6] 谢作涛,张小峰,谈广鸣,等.一维洪水演进数学模型研究及应用[J].武汉大学学报,2005,38(1):69-72.
- [7] 赵以琴,雷晓云,高磊,等.土坝溃坝模型在夹河子水库中的应用[J].水利水电科技进展,2004,24(3):45-46.
- [8] 王丰,孙伟,张原川,等.沟后水库溃坝原因分析及经验教训[J].水利水电科技进展,1997,17(6):40-44.
- [9] GARCIA-NAVARRO P, VARZQUEZ-CENDON M Z. On numerical treatment of the source terms in the shallow water equations[J]. Computers & Fluids,2000(29):951-979.
- [10] BELLOS C V, SAKKAS J G. Experimental investigation of two-dimensional dam-break induced flows[J]. Journal of Hydraulic Research,1992,30(1):47-63.
- [11] LOUAKED M, HANICH L. TVD scheme for the shallow water equations[J]. Journal of Hydraulic Research,1998,36(3):363-378.
- [12] ZHANG Xiao-feng, YU Ming-hui. Numerical simulation of bed deformation dike burst[J]. Journal of Hydrodynamics B, 2001(4):60-64.

(收稿日期:2006-10-26 编辑:骆超)