

清河水库工程的泄水建筑物设计

王春梅

贵州鼎弘源工程有限公司

摘要:当前我国水利工程项目建设施工规模正在快速扩张,水库工程作为其中非常重要的组成部分,关系到水利工程各项功能的正常发挥,因此受到了工程建设单位的广泛关注和重视。本文以清河水库工程为例展开分析和研究,结合本次水库工程到设计工作情况,对泄水建筑物的相关设计工作要点进行探索,保证泄水建筑物各环节设计工作的科学性与合理性,充分发挥出泄水建筑物的各项功能,保证水库工程的正常使用,同时为后续类似工作的水利开展提供一定的参考和借鉴。

关键词:水库工程;泄水建筑物;设计;安全

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.15.059

水库泄水建筑物设计包括坝型选择、建筑物布置及主要参数选择,枢纽建筑物的布置与水库的防洪、灌溉、发电、供水、养殖等工程性质直接相关,是整个水库工程设计的重要内容,其设计是否合理将影响到水库的整体功能和他安全。根据有关规定,一般水库坝型有坝高50m以下的坝型为黏土心墙碾压重力坝,也有采用黏土斜墙坝和混凝土面板堆石坝,坝高50m以上的坝型为混凝土面板堆石坝和土石坝。除此之外,还有很多坝型以其较大的优势被广泛应用于中小型水库工程中,如何选择坝型应根据工程建设条件、标准和技术经济条件等具体情况,并结合已有经验进行综合分析。

一、水库泄水建筑物的设计型式

(一) 形地质条件

拟选坝线河谷断面呈基本对称“V”型,局部发育冲、溪沟,河流走向较平直,总体流向为北东向,左岸地形坡角较缓,坡度为15-25°,覆盖层厚度较厚,4.0-8.5m,未见基岩出露;右岸地形坡角较缓,坡度为15-25°,覆盖层厚度较厚,3.5-4.5m,未见基岩出露,右岸岸坡小型冲槽发育,且发育有地势低矮的岩溶洼地^[1]。

(二) 泄洪方案选择

本工程推荐坝型为黏土斜墙坝,则泄洪方案可采用岸边溢洪道或泄洪隧洞过流。若采用泄洪隧洞,施工相对复杂,且工程投资较大;采用开敞式溢洪道具有较好的出流和归槽条件,因此,本阶段推荐采用开敞式溢洪道方案泄洪。根据地形条件及河道走线,开敞式溢洪道方案泄洪有左、右岸坡溢洪道两种方案,但由于右岸岸坡小型冲槽发育,且发育有地势低矮的岩溶洼地,覆盖层较厚,地形地质条件较差,若布置溢洪道开挖量大或需置回填砾量较大,工程量均较大,不宜布置溢洪道,因此,本工程推荐左岸开敞式溢洪道方案,将溢洪

道紧贴左坝肩布置,左岸地形较缓,施工方便,且覆盖层深,为结合大坝趾墙基础开挖,将岸坡溢洪道布置于大坝左岸,同时可以节省大坝填筑量,溢洪道与大坝之间用导墙隔开。溢洪道主要由进口引水渠、控制段、泄槽、消能工及出水明渠段五部分组成。

(三) 溢流堰堰型比选

开敞式溢洪道堰型常选用宽顶堰、实用堰、驼峰堰等。本工程溢流堰为高堰,宽顶堰泄流能力低于驼峰堰和实用堰。驼峰堰与实用堰中,驼峰堰和实用堰工程投资基本相当,但驼峰堰的水流流态较实用堰差,在溢洪道同等宽度的情况下,采用实用堰时校核洪水位比驼峰堰要低,坝体填筑量及投资也少。综合考虑,溢洪道堰型采用WES型实用堰。

(四) 消能型式选择

坝线处河谷断面呈基本对称“V”型,局部发育冲、溪沟,河流走向较平直,总体流向为北东向,无深潭、跌坎发育,工程总体布置采用溢洪道布置于左岸岸坡。校核洪水时最大泄量 $32.8\text{m}^3/\text{s}$,结合河谷地形条件,泄洪建筑物泄洪净宽度6.0m,最大下泄单宽流量 $5.47\text{m}^3/\text{s}$,覆盖层为0-3.5m,抗冲刷岩体以泥灰岩、泥岩、灰岩为主,属软质岩,岩体强风化厚度一般为4-6m,裂隙较发育,抗冲系数为 $K=1.4$,岩体能满足抗冲刷要求。本工程溢洪道为岸边开敞式无闸溢洪道,工程可采用的消能方式有挑流消能、底流消能等,本工程采用底流消能方式^[2]。

二、水库工程的泄水建筑物设计工作要点

(一) 泄水建筑物结构布置

泄水建筑物是枢纽的重要组成部分,是保障枢纽工程安全的关键性建筑物。清河水库为IV等小(1)型工程,泄水建筑物为4级建筑物,设计洪水为30年一遇($P=3.33\%$),相应下泄流量为 $20.8\text{m}^3/\text{s}$,校核洪水为300年一遇($P=0.333\%$),相应下泄流量为 $32.8\text{m}^3/\text{s}$,消能防冲建筑物设计洪水为20年一遇($P=5\%$),相应下泄流量为 $18.8\text{m}^3/\text{s}$ 。本工程推荐坝型为黏土斜墙坝,溢洪道布置于左岸,紧贴左坝肩,采用正槽式无闸溢洪道,由进口引水渠、控制段、泄槽、消能工及出水明渠段五部分组成。1)进口引水渠:引水渠段平均长度为50.0m,渠底平均宽度25.0m,底板高程为2337.0m,设计引水段导墙顶高程为2341.50m。溢洪道桩号0+050.00~桩号0+000.00边墙采用1.0m厚C15埋石混凝土浇筑,设计墙高5.0m,引水渠底板喷0.1m厚C20混凝土,边墙坝顶高程以上采用挂网喷C20混凝土保护,喷护C20砼厚度为10cm。2)溢流堰:溢流堰设计为实用

堰,设计堰顶高程2339.0m,溢流堰为单孔,溢流前缘净宽6.0m,溢洪道总宽8.0m,两侧边墩厚1.0m,堰顶设置6.0m宽交通桥。溢流堰为WES型实用堰,由上游面曲线、下游面曲线、泄槽段、底流消能等组成。3)溢流面区:钢筋混凝土溢流面厚0.4m,混凝土强度等级采用C30抗冲磨砼,设计容重为24kN/m³,抗渗等级W6,抗冻等级F150^[3]。

(二) 基础处理

1. 基础开挖

溢洪道布置于左岸坝肩处,溢洪道长231.5m(不含进水渠及末端明渠段),其中消力池长22m,溢洪道泄槽段长154.96m,通过地段为第四系残坡积层(Qed1)黏土、碎石土覆盖,厚度4.5-6.0m;下伏基岩为石炭系下统大塘组旧司段C1d1泥灰岩与泥岩互层夹灰岩,岩石风化层厚5.0-6.5m,地形坡度15-20°,为斜向坡,自然坡体稳定,无不良物理地质现象、痕迹存在,开挖边坡为斜向边坡,施工开挖应自上而下进行,且应加强支护,并避免切脚开挖。泄槽段基础置于强风化基岩之上,消力池基础置于强风化基岩之上。溢洪道开挖采用自上而下的全断面开挖方式,对溢洪道基础预留保护层,覆盖层开挖坡比为1:1.25,强、弱风化层开挖坡比为1:0.75,同时考虑8m设一级2.0m宽的马道。

2. 基础处理

根据溢洪道的组成形式划分为四段,进水渠及控制段基础置于弱风化基岩中部、泄槽段基础置于弱风化基岩上部及强风化基岩中下部、消力池基础置于强风化基岩中下部。

①进水渠段溢0-050.00-溢0+000.00,该段基础为石炭系下统大塘组旧司段C1d1泥灰岩与泥岩互层夹灰岩,基础置于弱风化中下部,进水渠底板喷0.1m厚C20混凝土。

②控制段溢0+000.00-溢0+08.04,该段基础为石炭系下统大塘组旧司段C1d1泥灰岩与泥岩互层夹灰岩,基础置于弱风化中下部,溢流堰基础设固结灌浆孔,按梅花型布置,孔、排距均为2m,深入基岩8.0m。

③泄槽段溢0+08.04-溢0+163.00,该段基础为石炭系下统大塘组旧司段C1d1泥灰岩与泥岩互层夹灰岩,基础置于弱风化上部,部分基础置于强风化中下部,泄槽段坡度较陡,水力坡降大,泄槽底板采用0.4m厚C30钢筋混凝土浇筑,每隔10m设横向伸缩缝,采用铜片止水,泄水槽底板下设置纵横0.2m×0.2m排水盲沟,每隔10m设沉降缝,缝宽20mm,泄水槽底板设4.5m长Φ25锚杆,间排距为1.5m×1.5m^[4]。

④出口底流消能0+163.00-0+185.00段,该段基础为石炭系下统大塘组旧司段C1d1泥灰岩与泥岩互层夹灰岩,基础置于强风化中上部,消力池底板采用C30钢筋混凝土浇筑防渗,其中前段厚1.0m,后段厚0.5m,消力池底板设5.0m长Φ25锚杆,间排距为1.5m×1.5m。

三、泄水建筑物的设计和计算

(一) WES堰泄流能力计算

1. 溢流堰面曲线设计

堰顶上游段堰头采用三圆弧曲线,下游为幂曲线。堰面曲线定型设计水头,按高堰计算时,取Hd=(0.75~0.95)Hmax,Hmax=1.87m,Hd=1.776m。由于上游堰面为铅直面,为便于与溢流堰面平顺连接,采用三圆弧曲线。其圆弧结果见下表1。

表1 上游堰头曲线成果表 单位m

x1	x2	x3	R1	R2	R3
0.311	0.490	0.501	0.888	0.355	0.071

堰顶原点下游堰面曲线采用规范推荐的WES幂曲线,按下式计算 $x^n = kH_d^{n-1}y$; 式中: Hd—堰面曲线定型设计水头(m); x、y—原点下游堰面曲线横、纵坐标(m); n—与上游堰坡有关的指数(查规范附录A表A.1.1);

k—当P1/Hd>1.0时;当P1/Hd≤1.0时,k=2.0~2.2。

因此堰面曲线方程为: y=0.307x1.85

2. 溢流堰泄流能力计算

溢流堰型为WES为堰,堰顶高程与正常水位齐平,即堰顶高程为2339.0m,溢流堰为单孔,净宽6.0m,开敞式幂曲线实用堰的泄流能力,按下式计算。

$$Q = cm\epsilon\sigma_m B\sqrt{2g}H_0^{3/2}$$

$$\epsilon = 1 - 0.2 \left[\xi_k + (n-1)\xi_0 \right] \frac{H_0}{nb}$$

式中: Q—下泄流量(m³/s); B—溢流堰前沿总净宽(m); 计算采用6m; b—溢流堰单孔宽度(m); 计算采用6m; n—闸孔数目; H0—计入行近流速的堰顶水头(m),设计水头为 $H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}$; V0—行近流速(m/s),α0—动能修正系数,近似取为1.0; H—堰上水头(m); g—重力加速度(m/s²),g=9.81 m/s²; m—流量系数; WES实用堰流量系数查表求得; c—上游堰坡影响系数(上游堰面为铅直面,c=1.0); ε—闸墩侧收缩系数; ξk—边墩形状系数,取为0.70; σm—

表2 特征水位时流量系数、侧收缩系数及下泄流量计算成果表

工况	频率P	上游水位(m)	流量系数m	闸墩侧收缩系数ε	淹没系数σm	上游堰坡影响系数c	堰上总水头H0	溢流堰前沿总净宽B	下泄流量(m ³ /s)
校核水位	0.33%	2340.87	0.504	0.979	1.0	1.0	1.87	6.0	32.8
设计水位	3.33%	2340.41	0.484	0.980	1.0	1.0	1.41	6.0	20.8
消能防冲	5.0%	2340.32	0.471	0.987	1.0	1.0	1.32	6.0	18.8

淹没系数，不淹没时 $\sigma_m = 1.0$ 。溢洪道特征水位流量系数 m 、侧收缩系数及下泄流量计算成果见表2。

经以上计算，在校核洪水位、设计洪水位工况及消能防冲工况，溢洪道泄流能力能满足水文计算下泄能力，故设计要求满足。

(二) 溢洪道泄槽水面线计算

1. 临界水深计算

泄槽水流为非均匀渐变流，根据能量方程，用分段求和法计算。由于本工程溢流堰为实用堰，泄槽起始断面的水深 h_1 按《溢洪道设计规范》(SL253-2018) A.3 中公式计算，具体如下：

$$h_1 = \frac{q}{\phi \sqrt{2 \times (H_0 - h_1 \cos \theta)}}; \text{式中: } h_1 \text{—临界水深, m;}$$

H_0 —泄槽起点以上总水头, m; q —泄槽单宽流量, m^3/s ; θ —泄槽底板与水平面的夹角; ϕ —考虑从进口到泄槽起点间沿程和局部阻力损失的流速系数, 本工程考虑取 $\phi = 0.95$ 。由计算公式知, 公式前后均含有 h_1 , 经试算法计算得临界水深 h_1 结果如下表3。

表3 临界水深计算成果表

序号	工况	单宽流量 (m^3/s)	临界水深 h_1 (m)
1	校核情况 (P=0.33%)	5.47	1.45
2	设计情况 (P=3.33%)	3.47	1.07
3	消能防冲 (P=5.0%)	3.13	1.01

2. 溢洪道水面线计算

溢洪道泄水槽导水墙高度根据300年一遇 (P=0.333%) 的下泄洪水水面线加安全超高确定, 根据《溢洪道设计规范》(SL253-2018), 泄水槽安全超高值取1.3m~1.2m, 泄水槽300年一遇 (P=0.333%) 的下泄洪水水面线根据能量方程, 用分段求和法计算, 计算公式如下:

$$\Delta L_{1-2} = \frac{\left(h_2 \cos \theta + \frac{a_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(h_1 \cos \theta + \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right)}{i - \bar{J}}$$

$$\bar{J} = \frac{n^2 \bar{v}^2}{R^4}$$

式中: ΔL_{1-2} ——分段长度, m; h_1 、 h_2 ——分段始、末断面水深, m; v_1 、 v_2 ——分段始、末断面平均流速, m/s; a_1 、 a_2 ——流速分布不均匀系数, 取1.05; θ ——泄水槽底坡角度 ($^\circ$) i ——泄水槽底坡, $i = \sin \theta$; \bar{J} ——分段内平均摩阻坡降; n ——泄水槽槽身糙率系数, 取 $n = 0.017$; \bar{v} ——分段平均流速; $\bar{v} = (v_1 + v_2) / 2$, m/s \bar{R} ——分段平均水力半径, $\bar{R} = (R_1 + R_2) / 2$, m。

(三) 消能防冲计算

本工程泄水建筑物消能方式采用底流消能, 按《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL252-2000规定, 消

能防冲标准按P=20%洪水标准设计, 根据水库调洪计算成果, 20年一遇 (P=20%) 下泄洪水流量 $18.80 \text{m}^3/\text{s}$, 相应的上游水位高程为2340.32m。

1. 基本参数

上游底部高程: 2339.00 (m); 下游底部高程: 2304.50 (m); 消力池首端宽度: 6.00 (m); 消力池末端宽度: 6.00 (m); 消力池出流流速系数: 0.95; 水跃淹没系数: 1.05; 自由水跃跃长计算系数: 6.90; 水跃长度校正系数: 0.75; 消力池底板的饱和重度: $25.00 (\text{kN}/\text{m}^3)$ 。

2. 计算过程

判断是否需要建消能工流速水头公式: $V = q/T$; 其中: q —单宽流量 (m^2/s), T —上游水头 (m)。计算收缩断面水深公式: $hc^3 - T_0 * hc^2 + \alpha * q^2 / (2 * g * \phi^2) = 0$

其中: hc —收缩断面水深 (m), T_0 —消力池底部以上的总水头 (m), ϕ —流速系数。

计算跃后水深公式 (矩形断面扩散渠槽自由水跃):

$$hc' = hc / 2 * (\text{sqrt}(1 + (8 * \alpha * q^2) / (g * hc^3)) - 1) * (b_1 / b_2)^{0.25}$$

其中: hc' —跃后水深 (m), b_1 —消力池首端宽度 (m), b_2 —消力池末端宽度 (m)。

三、结语

通过对本次清河水库工程泄水建筑物的设计之后, 明确了泄水建筑物的具体形式以及相关设计计算参数, 保证泄水建筑物在后续的使用过程中, 可以发挥出正常的功能和作用, 保证水库工程的安全使用。

参考文献

[1] 洪流. 某水库工程挡水建筑物及泄水建筑物设计研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5 (01): 66-69.

[2] 贾刚. 水库泄水建筑物结构型式的设计研究[J]. 建材与装饰, 2020 (10): 58-59.

[3] 王代江. 清沙河水库供水工程泄水建筑物的设计优化分析[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46 (11): 70-72.

[4] 江超, 盛金保, 朱沁夏. 我国水库深孔泄水建筑物统计与闸门前堆积物现状调研分析[J]. 中国水利, 2018 (12): 37-39.

[5] 向鑫, 傅汝强. 水利工程中泄水建筑物设计原则及其方案选择[J]. 陕西水利, 2016 (S1): 29-30.

[6] 徐唐锦, 李蘅, 马永锋. 坝体度汛及导流泄水建筑物洪水标准研究与探讨[J]. 人民长江, 2011, 42 (16): 69-72.

作者简介: 王春梅, 1989.03.20, 女, 布依族, 贵州省六盘水市六枝特区, 大学本科, 中级工程师, 从事的工作方向: 水工设计。