

镇朔湖拦洪库行洪风险分析与超标准洪水防御措施研究

王兴海¹, 杨东旭^{2*}, 李涛^{3,4}, 俞彦^{3,4}, 李雯芸⁵

¹宁夏吴忠市青铜峡市水务局, 宁夏 吴忠

²宁夏回族自治区水旱灾害防御中心, 宁夏 银川

³黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州

⁴河南省智慧水利工程技术研究中心, 河南 郑州

⁵中国南水北调集团水网水务投资有限公司, 北京

收稿日期: 2025年11月24日; 录用日期: 2025年12月2日; 发布日期: 2025年12月26日

摘要

我国流域超标准洪水应对问题突出, 在气候变化、人类活动等影响下, 面临规律重新认知、技术亟需提升和措施体系亟待完善等重大挑战。本文以宁夏石嘴山市平罗县镇朔湖拦洪库为例, 基于宁夏回族自治区水旱灾害防御中心提供的基础研究数据, 采用瞬时单位线法、水力学原理和比降面积法等方法, 对研究区各沟道和拦洪库的行洪能力和防洪标准进行计算, 并得出: 镇朔湖的设计防洪标准为20年一遇, 洪峰流量为773 m³/s, 校核标准为100年一遇, 洪峰流量1350 m³/s; 小水沟现状基本可满足100年一遇洪水过流能力, 北大闸沟桥桥位断面设计洪水采用小水沟及其南侧小沟沟口汇合后设计洪水, 其100年一遇的设计洪峰流量为637 m³/s, 能满足镇朔湖拦洪库的进口断面过流能力的需求; 结合研究区危险点调研, 为镇朔湖拦洪库提出“上拦蓄, 下分洪”的山洪防御措施, 以此来缓解超标准洪水对拦洪库和危险区人民的危害。该研究提供了超标准洪水致灾风险分析方法, 对于防御水库超标准洪水提供了技术支撑。

关键词

超标准洪水, 瞬时单位线法, 水力学原理, 比降面积法

Research on Flood Discharge Risk Analysis and Super-Standard Flood Protection Measures for Zhenshuo Lake Flood Detention Reservoir

Xinghai Wang¹, Dongxu Yang^{2*}, Tao Li^{3,4}, Yan Yu^{3,4}, Wenyun Li⁵

*通讯作者简介: 杨东旭(1987-), 男, 宁夏银川人, 硕士研究生, 工程师, 从事水利工程规划设计、建设、运行管理及防汛抗旱工作方面的研究, Email: 31970086@qq.com

文章引用: 王兴海, 杨东旭, 李涛, 俞彦, 李雯芸. 镇朔湖拦洪库行洪风险分析与超标准洪水防御措施研究[J]. 水资源研究, 2025, 14(6): 565-576. DOI: 10.12677/jwrr.2025.146062

¹Qingtongxia Water Bureau, Wuzhong Ningxia

²Flood Control and Drought Relief Headquarters Center of Ningxia, Yinchuan Ningxia

³Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou Henan

⁴Henan Engineering Research Center of Smart Water Conservancy, Zhengzhou Henan

⁵China South to North Water Diversion Group Water Network Water Investment Co., Ltd., Beijing

Received: November 24, 2025; accepted: December 2, 2025; published: December 26, 2025

Abstract

The problem of coping with super-standard floods in China's river basins is prominent. Under the influence of climate change, human activities, China is faced with major challenges such as re-recognition of laws, and urgent to improve technology and the measure system. Taking the flood detention reservoir of Zhenshuo Lake in Pingluo County, Shizuishan City, Ningxia as an example, based on the fundamental research data provided by the Water and Drought Disaster Defense Center of Ningxia Hui Autonomous Region, this paper calculates the flood carrying capacity and flood control standard of each channel and reservoir in the study area using instantaneous unit hydrograph method, hydraulics principle and gradient area method. It is concluded that the design flood control standard of Zhenshuo Lake is once every 20 years, and the peak flow is 773 m³/s. The check standard is 100-year return period, with peak discharge of 1350 m³/s; The current situation of the small ditches can basically meet the 100-year flood discharge capacity. The design flood of the bridge section of the Beida Zhagou Bridge is the design flood after the confluence of the small ditches and the south side of the small ditches. The 100-year flood peak flow is 637 m³/s, which can meet the demand of the inlet fault surface discharge capacity of Zhenshuo Lake flood detention reservoir; In combination with the research on the vulnerable points in the study area, the mountain flood prevention measures of "upper retaining and lower flood diversion" are proposed for Zhenshuo Lake flood detention reservoir, so as to mitigate the harm of the super standard flood to the flood detention reservoir and the people in the area. This study provides an analysis method of disaster risk caused by super standard flood, which has important guiding significance for flood management under super standard flood conditions.

Keywords

Super-Standard Flood, Instantaneous Unit Hydrograph Method, Principles of Hydraulics, Slope-Area Method

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大多数经济发达国家在确定河流的防洪标准时，考虑了其防洪保护对象的类型、级别和重要性[1]。城市的防洪标准一般为50~200年一遇，一些国家规定特别重要城市可达到500~1000年一遇防洪标准。肖义[2]等建议我国把基于风险分析的设计洪水标准作为防洪标准规范的使用参考。洪水灾害风险可定义为不同强度洪水发生的概率及其可能造成的洪水灾害损失。洪水灾害风险分析的主要工作是风险识别和风险估计[1]。目前，研究较多、理论体系相对健全的防洪标准确定方法主要有经济分析方法、风险分析方法和综合评价模型法[3]；由于我国山洪灾害防治任务的复杂性和艰巨性，目前山洪灾害防治工作整体上还处于初级阶段，防汛方面存在的风险主要包括五方面：遇超标洪水或标准内洪水，堤防仍有发生漫顶和溃决的可能；中小水库尤其是病险水库失事

风险较大[4],本研究通过总结反思,按照“尊重自然,顺应自然规律,与自然和谐相处”的要求[5],提高应对镇朔湖拦洪库超标准洪水致灾风险分析的能力,实现最终防御。

贺兰山是宁夏青铜峡灌区的天然屏障,既可以阻止西部寒流及风沙对灌区的侵袭,又能拦截东麓暖湿空气,并使其抬升形成局地暴雨。降雨(暴雨)形成的地面径流多以洪水形式出现,具有干旱、半干旱区暴雨洪水的一般特性:季节性特点较强;暴雨历时不长,大强度暴雨持续时间短;笼罩面积不大,点面折减快。镇朔湖拦洪库位于宁夏回族自治区石嘴山市平罗县崇岗镇境内,是宁夏贺兰山东麓防洪工程体系的重要组成部分,镇朔湖拦洪库建成于1974年,成功抵御了“2016.8.21”“2018.7.22”等区域暴雨洪水过程,有效发挥滞洪调峰作用,确保了区域防洪安全。2019年实施了镇朔湖拦洪库改造修复工程,工程建成后,有效提升了水库拦蓄洪水、错峰调节的能力。镇朔湖拦洪库防洪标准为20年一遇,总库容1857万立方米,防洪库容1152万立方米。

镇朔湖拦洪库超标准洪水致灾风险分析与防御措施研究分析了镇朔湖拦洪库上游大西伏沟、小西伏沟、桃箕沟、大水沟、和小水沟等山洪沟发生洪水超标准洪水的致灾风险,提出了超标准洪水防御措施,强化了超标准洪水情况下防汛调度决策理论技术支持,对于保护区第二农场渠、包兰铁路、银石线等交通、灌溉设施及平罗县崇岗镇、国营前进农场约2.3万人生命财产安全和8万亩农田的防洪安全有积极作用。同时,镇朔湖拦洪库超标准洪水致灾风险分析与防御措施研究,对于镇朔湖拦洪库区域防洪工程规划建设,完善贺兰山东麓防洪工程体系也具有积极作用。

2. 资料和研究方法

2.1. 研究区工程体系布置情况

镇朔湖库防洪体系如图1所示,由导洪工程、行洪沟道工程(调洪库)、镇朔湖拦洪库、泄洪沟(闸)工程组成。贺兰山自大西伏沟至大水沟、小水沟间沟道洪水,出山后经贺兰山坡地部分沟道导洪堤、自然沟道、调洪库下泄至110国道,拦洪再经南大闸、一号、二号、北大闸沟四条行洪沟道归入镇朔湖拦洪库。洪水经拦蓄后,由退水沟、泄水闸进入三二支沟、金色河入翰泉海,最后经典农河(第三排水沟)排入黄河。

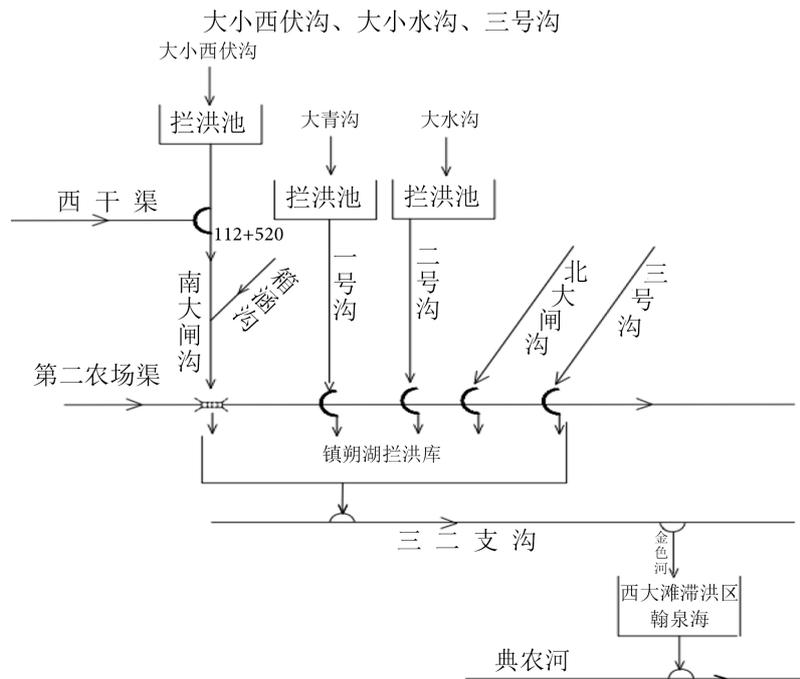


图1. 研究区工程体系布置图

2.2. 研究方法

根据地区水文特性, 利用实测资料和《宁夏暴雨洪水图集》对镇朔湖拦洪库坝址以上流域的设计暴雨进行分析, 推求镇朔湖拦洪库坝址以上集水区域的设计面暴雨过程, 进而利用产流方案推求设计净雨过程, 再由设计净雨过程求得设计洪水过程。

汇流计算将采用纳希瞬时单位线法, 一般来讲, 单位线在物理上具有 5 个特征, 超渗降雨在有效时间内强度恒定; 超渗降雨均匀分布在整个汇水区; 给定持续时间的超渗降雨造成的直接径流持续时间是恒定的; 所有直接径流持续时间随时间增加, 每个单位线的直接径流总量成正比增加; 在一个汇区内, 给定一个超渗降雨产生的汇水区径流特征不变, 上述特征能够反映所关注的汇水区降水径流特征[6]。镇朔湖拦洪库坝址以上流域一般为超渗产流, 洪水过程涨落迅速, 该地区均采用纳希瞬时单位线法进行汇流推算[7]。

2.2.1. 产汇流计算

拦洪库所在流域洪水多为超渗产流, 历时短, 洪峰高。根据该区域暴雨特性及下垫面条件采用扣损法计算产流过程, 其产流计算公式如式(1)所示。

$$R_i = H_i - f_i \quad (1)$$

式中: R_i 为产流期某时段净雨, mm; H_i 为产流期某时段面雨量, mm; f_i 为产流期某时段损失雨量, mm。

汇流计算是根据推求的设计净雨过程 R_i 推求流域出口断面的洪水流量过程。按瞬时单位线原理, 就是净雨历时趋于零的极小时段内产生的一个单位净雨(1 mm 净雨深)在出口处所形成的流量过程线, 其公式为:

$$u(t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} \quad (2)$$

式中: t 为时段变量; $u(t)$ 为 t 时瞬时单位线纵坐标; n 、 K 为瞬时单位线形状参数; $\Gamma(n)$ 为伽马函数。

根据上式可导出时段单位线方程式为:

$$q(\Delta t \cdot t) = \frac{F}{3.6\Delta t} \left[\int_0^t \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} dt - \int_0^{t-\Delta t} \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t-\Delta t}{K}\right)^{n-1} e^{-(t-\Delta t)/K} dt \right] \quad (3)$$

式中: $q(\Delta t \cdot t)$ 表示面积为 F 的流域上 t 时段内净雨量为 1 mm 的单位线在 t 时段的纵坐标, m^3/s ; Δt 为计算时段长, h;

$\frac{F}{3.6\Delta t}$ 为换算系数; $\int_0^t \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} dt$ 为纳希瞬时单位的累积曲线, 又称 $S(t)$ 曲线;

$\int_0^{t-\Delta t} \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t-\Delta t}{K}\right)^{n-1} e^{-(t-\Delta t)/K} dt$ 为 $S(t)$ 曲线在时间坐标轴上错后 Δt 时间, 用 $S(t-\Delta t)$ 表示。

2.2.2. 调洪计算

1) 水库调洪计算原理

水库调洪计算原理为水量平衡[8], 计算公式如下:

$$\bar{Q} - \bar{q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} - \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} \quad (4)$$

式中: Q_1 、 Q_2 表示计算时段初、末的入库流量, m^3/s ; \bar{Q} 表示计算时段中的平均入库流量, m^3/s ; q_1 、 q_2 为计算时段初、末的下泄流量, m^3/s ; \bar{q} 为计算时段中的平均下泄流量, m^3/s ; V_1 、 V_2 为计算时段初、末的库存水量, m^3 ; Δt 为计算时段, 取 $\Delta t = 3600$ s。

2) 泄洪闸泄流计算公式

t 泄洪闸泄流计算参考《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)中的涵洞(隧洞)水力计算方法, 计算公式如下:

$$Q = \begin{cases} mB\sqrt{2gH_0^{3/2}}, & \text{无压流}(h_1/D \leq 1.1) \\ m_1A\sqrt{2g(H_0 - \beta_1D)}, & \text{半压力流}(1.1 \leq h_1/D \leq 1.5) \\ m_2A\sqrt{2g(H_0 + iL - \beta_2D)}, & \text{有压流}(h_1/D > 1.5) \end{cases} \quad (5)$$

式中: Q 为涵洞设计流量, m^3/s ; m 为无压流时的流量系数, $m = 0.385$; m_1 为半压力流时的流量系数, 八字墙进口, $m_1 = 0.670$; m_2 为压力流时的流量系数, $m_2 = 1/\sqrt{1 + \sum \zeta + (2gL/C^2R)}$; $\sum \zeta$ 为局部水头损失系数, 进口为渐变段, 取 $\sum \zeta = 0.5$; C 为谢才系数, $C = R^{1/6}/n$; B 为涵洞底宽, m ; A 为涵洞断面面积, m^2 ; L 为涵洞长度, m ; R 为涵洞水力半径; n 为涵洞糙率; i 为涵洞底部坡降; β_1 、 β_2 位修正系数, 根据相关规范, 取 $\beta_1 = 0.740$, $\beta_2 = 0.850$; D 为涵洞高度, m ; h_1 为洞前水深, m ; H_0 为行进流速水头的洞前进口水头, m 。

3) 溢洪道泄流计算

水库溢洪道的泄流量按宽顶堰流按下式进行计算:

$$q = \varepsilon \sigma m b \sqrt{2gH_0^{1.5}} \quad (6)$$

式中: ε 为侧收缩系数, 对溢流堰取 $\varepsilon = 0.90$; σ 为淹没系数; m 为流量系数, 取 0.385 ; b 为堰顶宽度, m ; H_0 包括行近流速的水头, 近似取为上游水头, m 。

2.2.3. 导洪堤过流能力和冲深计算

导洪堤过流能力主要根据水力学原理, 采用比降面积法, 按照洪水调查规范要求, 调查计算出所需参数, 计算不同水深对应流量的一种方法[9]。具体采用如下公式计算导洪堤不同部位的过流能力(本次仅计算最大过流能力), 即:

$$V_i = \frac{1}{n_i} R_i^{2/3} J^{1/2} \quad (7)$$

$$Q_i = \frac{1}{n_i} B_i R_i^{2/3} J^{1/2} \quad (8)$$

式中: i 为导洪堤不同断面位置; V 为各断面平均流速, m/s ; Q 为流量, m^3/s ; R 为水力半径, m ; J 为水面比降; B 为断面平均宽度面积, m^2 。

导洪堤的冲刷按照《水力计算手册》中岸坡冲深公式计算[10], 即:

$$\Delta h_p = \frac{23 \tan \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+m^2}} \times \frac{v_j^2}{g} - 30d \quad (9)$$

式中: Δh_p 为从沟底算起的局部冲深, m ; α 为水流流向与岸坡交角, 度; m 为导洪堤迎水面边坡系数; d 为坡脚处泥沙计算粒径, m ; v_j 为局部冲沙流速, 本次计算采用设计流量值除以过水断面面积, m/s 。

3. 现状防洪工程体系行洪能力复核

3.1. 产汇流及调洪计算结果

在计算瞬时单位线, 进行洪水演进时, 须求得参数 n 、 K 和滞时 M , 将依据宁夏回族自治区水旱灾害防御中心提供的镇朔湖拦洪库相关基础数据进行推求, 其计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 n &= 0.77L^{0.31} \\
 K &= M_{li}/n \\
 M_{li} &= 0.135L^{0.864i-0.093}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

式中： i 为产流区平均净雨强度，mm/h； L 为概化长度，km。据此求得镇朔湖拦洪库设计洪水计算成果见表 1 和图 2。

表 1. 镇朔湖拦洪库设计洪水成果表

拦洪库名称	类别	设计频率 P (%)				
		1	2	3.33	5	10
镇朔湖拦洪库	洪峰流量(m ³ /s)	1350	1120	920	773	453
	洪水总量(m ³)	1470	1200	974	805	471

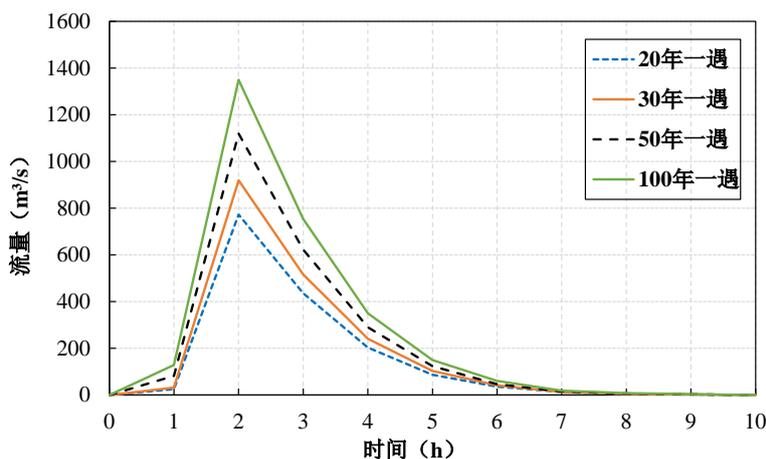


图 2. 镇朔湖拦洪库设计洪水过程线

根据《平罗县镇朔湖拦洪库调度运行计划》，水库汛期最低水位主要受三二支沟控制，水库段三二支沟现状沟底高程 1096.1~1096.00 m，汛期正常水位 1098.21~1097.95 m，水库调洪计算时采用三二支沟汛期平均正常水位 1098.2 m 作为水库最低水位。

根据水文计算成果，本次镇朔湖拦洪库设计洪水标准 20 年一遇，校核洪水标准 100 年一遇。设计 20 年一遇洪水总量 805 万 m³，100 年一遇洪水总量 1470 万 m³。计算镇朔湖拦洪库泥沙入库年淤积量约 23.5 万 m³，本次淤积以 30 年计，总淤积量约 705 万 m³。受三二支沟水位顶托作用，拦洪库死水位高程为 1098.10 m，淤积库容以上形成 325 万 m³，死库容。镇朔湖拦洪库设计洪水标准下库容为 1835 万 m³，与此对应的设计洪水水位为 1099.15 m；校核洪水标准下库容为 2500 万 m³，与此对应的校核洪水水位为 1100.05 m。有效防洪库容 1470 万 m³，加上淤积库容与死库容后，设计总库容为 2500 万 m³。

3.2. 行洪能力复核

3.2.1. 上游工程体系

在上游防洪体系中，跨山洪沟道以桥梁为控制性断面计算，涉及到的控制性桥梁断面为五分沟桥、三号沟桥、北大沟桥、大水沟一号沟南桥和北桥、大水沟二号沟南桥和北桥、箱涵沟桥和平贺桥，五分沟桥不受沟道洪水直接影响，因此不进行桥位设计洪水计算。汇流计算面积采用 Google 卫星图量算和航拍勘查综合确定，坡地面积按 50% 折减，并结合各控制性断面的测绘结果、集水区域面积(分为山地面积和坡地面积)、概化长度以

及沟道上游来流情况，以北大闸沟桥为例，进行水文计算和行洪复核。

1) 水文计算

北大闸沟桥选取各沟道沟口位置和桥位所在位置作为设计洪水计算断面，上游的集水区域和沟道相关测量值如表 2 所示。其断面的具体位置为小水沟导洪工程出山口和原 110 国道过水路面上游 200 m 处(见图 3)。

表 2. 小水沟及其南侧小沟计算面积表

沟道名称	山地面积(km ²)	坡地面积(km ²)	计算面积(km ²)	概化长度(km)
小水沟	69.85		73	15.8
小水沟附近小沟	8	6.31	9.51	3.7



图 3. 北大闸沟桥来水流路及控制断面位置选取

小水沟沟口及其南侧小沟的设计洪水计算成果见表 3。

表 3. 小水沟沟口及其南侧小沟设计洪水计算成果表

沟道	计算断面	设计洪水	洪水频率 P (%)		
			5	2	1
小水沟	沟口 1#	洪峰流量(m ³ /s)	257	377	465
		洪水总量(万 m ³)	180	263	325
小水沟南侧小沟	沟口 2#	洪峰流量(m ³ /s)	40.7	60.4	76.8
		洪水总量(万 m ³)	17.1	25.4	32.2
小水沟及南侧小沟坡面	原 G110 国道	洪峰流量(m ³ /s)	13.5	20.0	25.4
		洪水总量(万 m ³)	5.4	8.0	10.2

根据宁夏水文中心在小水沟沟口的洪水调查断面,连续洪水调查资料系列为 1979~2018 年,并有 1955 年、1975 年历史调查资料,据此,采用 P-III 型曲线进行适线计算,将历年调查洪水进行频率计算,其相应的计算成果如表 4 所示。

表 4. 小水沟沟口调查洪水频率计算成果表

沟道	计算断面	设计洪水	洪水频率 P (%)		
			5	2	1
小水沟	沟口	洪峰流量(m ³ /s)	310	450	560

两种算法成果进行对比分析,考虑工程的安全,两者采用较大值,即小水沟沟口设计洪水采用洪水调查资料频率计算的成果。根据小水沟导洪堤选取的分析断面位置,原 110 国道过水路面上游 200 m 洪水按照沟口和小水沟南侧小沟的设计洪水叠加计算,其百年一遇设计频率洪峰流量为 637 m³/s。

2) 行洪复核

根据小水沟区域的两个控制断面和水位 - 流量关系曲线(见图 4、图 5),以 100 年重现期的频率洪水开展行洪复核计算,由于原 110 国道过水路面上游 200 m 断面处沟道较深,本次不计算其冲深。小水沟导洪堤各不同断面位置的过流能力及冲深计算成果见表 5。

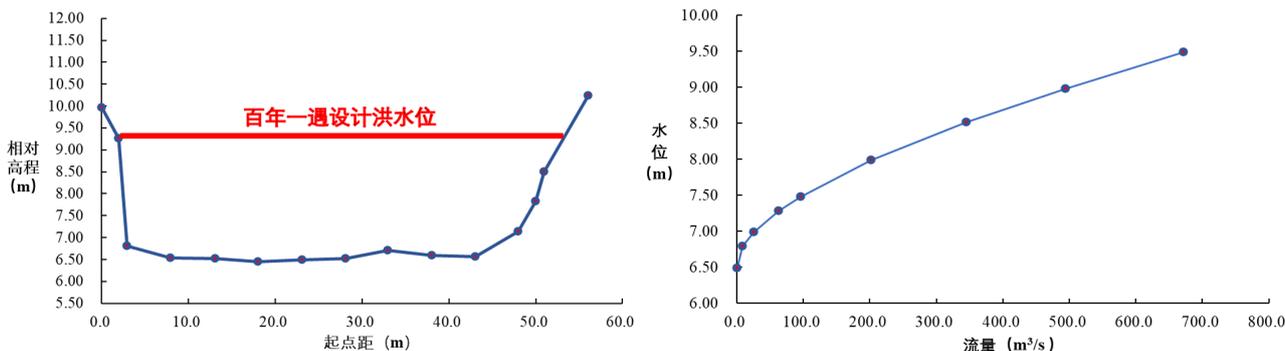


图 4. 小水沟导洪堤沟口实测大断面图及水位 - 流量关系

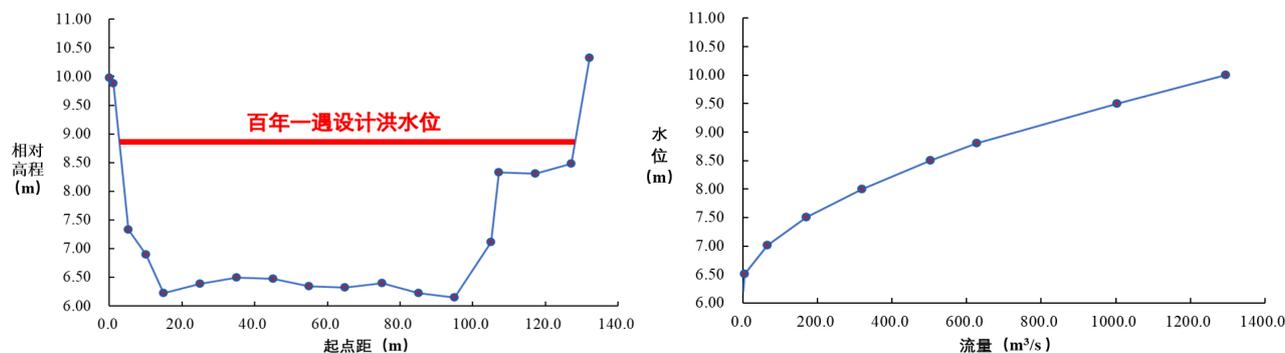


图 5. 小水沟导洪堤原 110 国道上游 200 m 实测大断面图及水位 - 流量关系

表 5. 小水沟沟口调查洪水频率计算成果表

序号	沟道	断面名称	设计洪水(m ³ /s)	漫堤流量(m ³ /s)	冲深(m)
1	小水沟	沟口断面	560	671	0.92
2		原 110 国道过水路面上游 200 m	637	1295	-

由表 5 可得,小水沟发生 100 年一遇洪水时,沟口断面和原 110 国道过水路面上游 200 m 断面的设计流量分别为 $560 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $637 \text{ m}^3/\text{s}$,均小于这两个断面的漫堤流量($671 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1295 \text{ m}^3/\text{s}$),可通过标准内洪水;小水沟沟口断面处在 100 年一遇洪水时,冲深为 0.92 m ,小于导洪堤基础埋深 2 m ,则小水沟导洪堤现状基本满足 100 年一遇洪水过流。

经上述分析,小水沟现状基本可满足 100 年一遇洪水过流,则小水沟洪水出沟口后归拢下泄,不会串流至附近其他沟道。小水沟及其南侧小沟的洪水出沟口沿着导洪堤下泄至北大闸沟桥,在此过程中洪峰流量会消减坦化,本次考虑小水沟沟口与桥梁区间增加的坡积洪水与消减坦化的洪水相抵消,故北大闸沟桥桥位断面设计洪水直接采用小水沟及其南侧小沟沟口汇合后设计洪水。北大闸沟桥 100 年一遇设计洪峰流量为 $637 \text{ m}^3/\text{s}$,具体见表 6。

表 6. 北大闸沟桥桥位断面设计洪水计算成果

沟道	计算断面	洪峰流量(m^3/s)		
		洪水频率 P (%)		
		5	2	1
小水沟	沟口	310	450	560
小水沟南侧小沟		40.7	60.4	76.8
-	北大闸沟桥	351	510	637

3.2.2. 下游工程体系

研究区内的下游退水工事主要由三二支沟承担,该支沟为人工修建的泄洪沟道,假设该过程为均匀流,根据现状沟道的流量、比降及断面尺寸,采用谢才公式和曼宁公式可计算出桩号 0+000~7+357 段不同分段水深,计算结果如表 7 所示。由表 7 可知,根据现状沟道沟深在 $3.0\sim 4.0 \text{ m}$ 左右,则断面满足镇朔湖泄洪($8 \text{ m}^3/\text{s}$)和现状农田排水($6.67 \text{ m}^3/\text{s}$)共 $14.67 \text{ m}^3/\text{s}$ 的过流能力需求。

表 7. 三二支沟各沟道段的过流能力计算成果

桩号 (km + m)	流量(m^3/s)	底宽(m)	水深(m)	比降	边坡	糙率	流速(m/s)	过水面积 (km^2)
0+000~2+150	6.67	12	1.16	6500	2	0.03	0.403	16.539
2+150~3+000	14.67	30	1.09	6500	2	0.03	0.416	35.246
3+000~7+150	14.67	30	1.06	6000	2	0.03	0.426	34.365
7+150~7+357	14.67	30	1.30	6000	2	0.03	0.479	30.60

4. 超标准洪水应对措施

通过本文研究分析,镇朔湖拦洪库自身具有较大调蓄空间,标准内洪水通过水库泄洪设施退泄洪水。水库上游沟道普遍发生超标准洪水情况,仅通过水库泄洪设施难以有序退泄洪水,采取破堤分洪的方式应对超标准洪水。

4.1. 危险区基本情况

根据 2016 年《平罗县山洪灾害普查危险区划定报告》和 2019 年《平罗县山洪灾害调查及预警指标复核》,危险区内主要有学校、企业、养殖场等,按行政村及重要场所将平罗县危险区划分为 8 处,危险区分区见图 6,

其山洪灾害危险区基本情况见表 8。根据各危险区的房屋数和危险区人口，从水库下游进行应对措施分析。

表 8. 平罗县山洪灾害危险区基本情况表

序号	乡镇	危险区地点	家庭户数(户)	危险区人口(人)	房屋数(座)
1		崇岗村银汝路	20	70	20
2		崇岗村 4 队	50	211	50
3		崇岗村姚汝路	1	3	1
4		崇岗村 2 队	6	21	6
5		崇岗村汝箕沟	100	237	100
6		崇岗村中耀路	28	116	28
7		崇富村 1 队(小水沟)	13	19	13
8		下庙 10 队	46	194	46
9		下庙 1 队	20	72	20
10		下庙村 2 队	52	215	52
11		常青村 1 队	42	170	42
12		下庙 6、9 队(二)	24	106	24
13		下庙 5 队	51	220	51
14	崇岗镇	下庙 3 队(一)	33	134	52
15		下庙 6、9 队(一)	22	81	22
16		下庙 4 队	33	136	33
17		下庙 3 队(二)	11	23	11
18		常青村 4 队	56	224	56
19		常青 5 队(一)	41	165	41
20		常青村 6 队	24	55	24
21		常青 2、7 队(二)	28	112	28
22		常青 2、7 队(一)	59	238	59
23		常青村 8 队(一)	19	50	19
24		常青村 8 队(二)	33	135	33
25		常青 3 队	93	356	93
26		常青 5 队(二)	23	79	23
27		常青 2 队	4	6	4
28		王家沟村 4 队	49	189	49
29	红崖子乡	王家沟村 3 队	55	244	55
30		王家沟村 2 队	58	245	58

4.2. 下游应对方案

利用镇朔湖拦洪库泄洪闸分洪，在退水闸和溢洪道处设置紧急开口，超标准洪水时打开开口进行泄洪。在

三二支沟和沙湖公路及包银铁路之间的区域形成非常洪水淹没区，面积约为 19 km²，分洪区地面高程 1098.10~1101.8 m 之间，见图 6，该区域地形具备分洪条件，可采取相应工程措施，预估库容 1000 万 m³。根据超标准洪水设定分洪和不分洪方案，得出各方案灾损情况如表 9 所示。

表 9. 不同方案灾损情况

是否采取非常措施	淹没面积(km ²)	淹没居民地面积(万 m ²)	淹没公路(km)	受影响人口(万人)	淹没农业面积(公顷)	受影响 GDP(万元)	直接经济损失(万元)
否	3.586	14.658	6.041	0.3231	5.32	1561.758	161.491
是	1.738	5.231	4.251	0.0148	1.27	1007.227	56.589

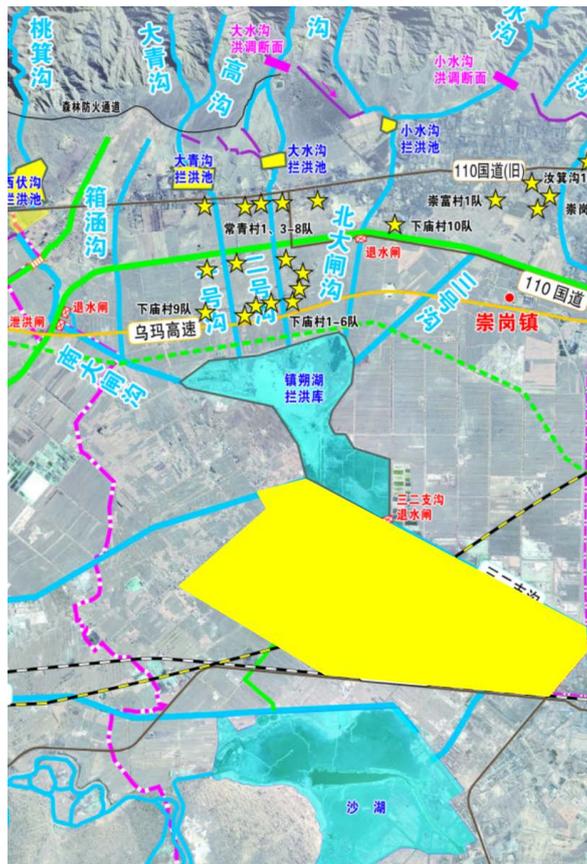


图 6. 分洪区示意图

5. 结论

镇朔湖拦洪库防洪体系通过多年的建设，现已初步形成了“导引、滞蓄、控制排泄”的防洪体系，在防洪调度、保障生命财产安全方面发挥了重大作用。但由于工程体系不完善，防洪标准低，应对超标准洪水和突发事件的能力不足，通过分析研究主要结论如下：

1) 以小水沟为例，开展水文计算和行洪能力复核得出：小水沟现状基本可满足 100 年一遇洪水过流，在出沟口后可归拢下泄，在经过导洪堤的消减、坦化之后，与小水沟沟口到桥梁之间的区间汇流相互抵消，故北大闸沟桥位断面设计洪水直接采用小水沟及其南侧小沟沟口汇合后设计洪水，则其 100 年一遇的设计洪峰流量为 637 m³/s。

2) 结合现场调研和资料收集工作,对平罗县行政范围内的山洪危险区进行分析,并据此对超标准洪水条件下,为镇朔湖拦洪库上、下游提出“上拦蓄,下分洪”的山洪防御措施,以此来缓解超标准洪水对拦洪库和危险区人民的危害。

基金项目

本研究由国家重点研发计划项目(2023YFC3209305、2023YFC3209303)、黄河水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(HKY-JBYW-2024-12、HKY-YF-2024-05、HKY-JBYW-2025-08)等资助。

参考文献

- [1] 姚迟,李守通.中小河流治理防洪控制标准评估方法研究[J].广东水利水电,2021(10):26-31.
- [2] 肖义,郭生练,周芬,等.基于风险分析的大坝设计洪水标准研究[J].水力发电,2003(11):6-9.
- [3] 孙东亚.新时期全国山洪灾害防治项目建设若干思考[J].中国防汛抗旱,2020,30(Z1):18-21.
- [4] 陈卫宾,曹廷立,武见.国内外防洪标准及确定方法研究[J].人民黄河,2011,33(7):24-26.
- [5] 李谢辉,王磊.河南省洪灾风险危险性区划研究[J].人民黄河,2013(1):10-13.
- [6] 王志飞,吉喜林,张家铨,等.单位线法在推求洪水中的应用[J].长江技术经济,2024,8(6):30-37.
- [7] 暴雨洪水分析计算工作协调小组办公室.编制全国《暴雨径流查算图表》技术报告及各省(市、区)主要成果(产流汇流计算部分)[R].北京:暴雨洪水分析计算工作协调小组办公室,1984.
- [8] 孙瑜婕.半图解法在计算小型水库调洪库容中的运用[J].甘肃水利水电技术,2016,52(6):37-40.
- [9] 姜跃良,王美敬,李然,等.生态水力学原理在城市河流保护及修复中的应用[J].水利学报,2003(8):75-78.
- [10] 江崇安,高华,范守伟,等.对渠道渗漏量计算方法的探讨[J].节水灌溉,2005(5):28-29+32.