

Design flood analysis affected by the upstream reservoir regulation Computational method analysis

Zhen Fang¹ Shai Xiao¹ Xiaoming Xia²

1. Hydrological Bureau of Yichang City, Hubei Province, Yichang, Hubei, 443000, China

2. Hydrological Bureau of Xiaogan City, Hubei Province, Xiaogan, Hubei, 432100, China

Abstract

The Huangbai River basin is very high, and the basin development is mainly concentrated in the eastern branch. Four cascade reservoirs have been built in the upper reaches of the east branch of Huangbai River Basin, namely Xuanmiaoguan Reservoir, Tianfumiao Reservoir, Northwest mouth Reservoir and Shangjiahe Reservoir, among which the northwest mouth is a large (2) reservoir and the rest are medium reservoirs; under the confluence of the east and west branches. This paper takes the Huangbai River basin as an example to study the design flood analysis of the basin outlet section affected by the upstream reservoir regulation. The flow route method is used to analyze the floods of different frequencies under the natural conditions and in the upstream reservoirs, so as to provide hydrological technical support for the construction of the new channel of the three Gorges water transport and the development and utilization of water resources in the Huangbai River basin.

Keywords

flood characteristics; reservoir operation; hydrological analysis; flood peak flow

受上游水库调节影响的设计洪水分析计算方法解析

方桢¹ 肖晒¹ 夏小明²

1. 湖北省宜昌市水文局, 中国 · 湖北 宜昌 443000

2. 湖北省孝感市水文局, 中国 · 湖北 孝感 432100

摘 要

黄柏河流域水利化程度很高, 流域开发主要集中在东支。黄柏河流域东支上游已建四座梯级水库, 依次为玄庙观水库、天福庙水库、西北口水库、尚家河水库, 其中西北口为大(2)型水库, 其余均为中型水库; 在东西支汇合后两河口下建有汤渡河水库。本文以黄柏河流域为例, 研究受上游水库调节影响的流域出口断面设计洪水分析。采用流量途径法分别分析在天然条件下和考虑上游水库调节情况下的黄柏河出口不同频率的洪水, 为三峡水运新通道建设及黄柏河流域水资源的开发利用提供水文技术支撑。

关键词

洪水特征; 水库调度; 水文分析; 洪峰流量

1 流域及站网概况

黄柏河流域是长江中游北岸的一级支流, 流域面积为 1902Km², 河流长度 137.2Km, 流域多年平均降雨量 1156.1mm, 多年平均径流量 8.75 亿 m³。两河口以上分东西两支。东支发源于夷陵区内的黑良山, 河道长 129.4K m, 流域面积 1161.4 平方 K m, 河道平均坡降 6‰; 西支河道长度 76.4K m, 流域面积 566Km², 东西支交汇处以下, 主河道长 31.5K m, 流域面积 174.6Km²。

黄柏河流域于 1958 年开始设站, 先后设有池湾河、分乡、东风渠、小溪塔、雾渡河等水文、水位站, 分布于黄柏河干

流及东西两支流上。本次分析选用了分乡水文站作为参证站。

分乡水文站位于黄柏河东支尚家河水库下游, 控制流域面积 1083Km² 占流域面积的 57%, 是本次黄柏河河段水文计算的主要依据。分乡水文站测验河段顺直, 长约 400m, 左岸有一小溪汇入。测站控制条件较好, 高水时水位流量关系曲线稳定, 呈单一线。

2 黄柏河流域河口设计洪峰流量

本次采用流量途径法分别分析计算天然条件下及考虑上游水库调节情况下黄柏河河口设计洪峰流量。其中天然条件下黄柏河河口设计洪峰流量根据分乡站设计洪峰按照面积比进行计算。玄庙观水库控制流域面积 380km², 调洪库

【作者简介】方桢(1967-), 男, 中国湖北云梦人, 本科, 高级工程师, 从事防汛抗旱、水文水资源管理等研究。

容 324 万 m³，天福庙水库控制流域面积 553.6km²，调洪库容 322 万 m³，西北口水库控制流域面积 862km²，调洪库容 3800 万 m³，尚家河水库、汤渡河水库无闸门控制，为溢流坝。玄庙观水库、天福庙水库调洪库容小，对西北口入库洪水的改变较小，西北口入库洪水不考虑玄庙观、天福庙水库调蓄作用。故分析时仅考虑西北口水库运行调度，黄柏河河口流量采用西北口水库同频率调洪下泄洪水过程与西北口～河口区间发生相应洪水过程叠加 [1]。

2.1 分乡站设计洪水计算

根据分乡 1935、1958—2023 年洪水系列，分析计算分乡站设计洪水。1935 年洪水根据洪水调查，确定为 1826 年以来的首位。1984 年洪峰与 1826、1930 年洪水相当，确定为 1826 年以来的 2~4 位。1958 年洪水排 1826 年以来的第 5 位。其余按连续系列计算，采用数学期望公式计算连续系列的经验频率，用 P-Ⅲ 型频率曲线如下图，适线后，设计洪水成果见表 1。

表 1 分乡站设计洪水成果表

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
洪峰流量 (m³/s)	3860	3180	2320	1700	1120	490
洪量 W _{1d} (亿 m³)	1.52	1.25	0.914	0.671	0.442	0.193
洪量 W _{3d} (亿 m³)	3.22	2.63	1.87	1.33	0.845	0.35

2.2 天然情况下黄柏河河口设计洪水计算

黄柏河河口设计洪水根据分乡站设计洪峰按照面积比进行计算。计算公式如下：

$$Q_{\text{河口}} = \left(\frac{F_{\text{分}}}{F_{\text{河口}}} \right)^n \cdot Q_{\text{分}}$$

式中：Q_{河口}——黄柏河河口洪峰；Q_分——分乡洪峰；F_{河口}——黄柏河河口控制流域面积；F_分——分乡控制流域面积；n——面积指数，取 0.75。

按照上述公式，根据前面推求的分乡站设计洪水过程推求黄柏河河口设计洪峰流量成果见表 2。

表 4 西北口水库不同频率洪水有关参数表

频率 (%)		0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	1	2	5	10	20
下泄流量 (m³/s)	溢洪道	3759	3561	3190	2870	2391	2166	2160	1380	1000	900
	泄洪洞	1316	1254	1104	936	781	704	—	—	—	—
	合计	5075	4815	4228	3806	3172	2870	2160	1380	1000	900
库水位 (m)		328.07	327.45	326.23	325.15	323.37	322.55	322.50	322.46	322.42	322.10
相应库容 (亿 m³)		1.963	1.924	1.849	1.784	1.680	1.634	1.631	1.629	1.627	1.609

表 5 西北口水库调洪计算成果表

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
最大入库流量 (m³/s)	3250	2680	1960	1430	944	413
最高库水位 (m)	322.55	322.23	322.16	322.08	322.03	322.01
最大下泄流量 (m³/s)	2810	2130	1330	935	783	383

表 2 黄柏河河口设计洪峰流量

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
洪峰流量 (m³/s)	5890	4850	3540	2590	1710	748

2.3 上游水库调节情况下黄柏河河口设计洪水计算

2.3.1 西北口入库洪水计算

玄庙观水库、天福庙水库调洪库容小，对西北口入库洪水的改变较小，西北口入库洪水不考虑玄庙观、天福庙水库调蓄作用。采用分乡站设计洪峰流量按照水文比拟法推算西北口水库坝址处各频率设计流量，与西北口水库各阶段设计成果进行对比，结果见表 3，

表 3 西北口入库洪水设计洪峰流量成果表

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
本次计算	3250	2680	1960	1430	944	413

2.3.2 西北口水库调洪计算

依据西北口水库运行调度方案，西北口水库防洪调度原则与方式如下：

防洪调度采用确保水库大坝安全的原则。在确保水库大坝安全的前提下，充分利用水库的调洪库容，最大限度地发挥水库的调蓄作用。当水库泄洪与下游河道防洪发生矛盾时，下游河道行洪必须服从水库安全度汛。正常蓄水位以上，以泄为主，泄洪设施逐步投入。

当水库水位低于正常蓄水位 322.00m 时，可通过发电调节水库水位。当水库水位超过正常蓄水位 322.00m 时，按“来多少泄多少”的原则，逐步开启溢洪道闸门和泄洪洞闸门泄洪，直至闸门全开敞泄 [2]。泄洪设施开启顺序为先溢洪道后泄洪洞运行，参数见表 4。

依据西北口水库运行调度方案，以正常蓄水位 322.00m 为起调水位，参照西北口水库运行调度参数表，对水库 1%、2%、5%、10%、20%、50% 等六种频率的设计洪水进行了调洪计算，求得各种频率洪水对应的最高洪水位和相应最大下泄流量。调洪计算成果见表 5。

2.3.3 黄柏河河口设计洪水计算

黄柏河河口设计洪峰流量采用西北口水库同频率调洪下泄洪水过程与西北口~河口区间发生相应洪水过程叠加。受上游水库调节的黄柏河河口设计洪峰流量成果见表 6。

3 结论

本次采用流量途径推求天然状态下及经水库调度后黄柏河河口处设计洪峰流量。通过选择分乡站作为参证站，分别采用水文比拟法推算天然状态下河口处设计洪峰流量，及

经上游水库调度后河口处设计洪峰流量，最终选取最不利情况即天然状态下河口处不同频率设计洪峰流量成果。

从数据中可以看出，水库调节对黄柏河河口设计洪水的影响显著，有效地削减了洪峰流量，降低了下游地区的洪水风险。在进行水利工程设计和防洪规划时，充分考虑上游水库的调节作用是十分必要的。在实际应用中，还需要进一步加强水文资料的收集和分析，以及对水库运行调度方案的优化和调整，以提高设计洪水计算结果的合理性和可靠性。

表 6 受上游水库调节的黄柏河河口设计洪峰流量成果

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
西北口最大下泄流量（m³/s）	2810	2130	1330	935	783	383
西北口~河口区间流量（m³/s）	2640	2170	1580	1160	765	335
黄柏河河口设计洪峰流量（m³/s）	5450	4300	2910	2095	1548	718

表 7 黄柏河流域河口设计洪峰流量成果

项目	设计频率					
	1%	2%	5%	10%	20%	50%
调洪后洪峰流量（m³/s）	5450	4300	2910	2095	1548	718
天然洪峰流量（m³/s）	5890	4850	3540	2590	1710	748

4 研究不足与展望

①本次计算是按最不利情况考虑，即在西北口水库水位达到正常蓄水位时出现各频率入库设计洪水，实际调度时，最大下泄流量可能小于本次推算最不利的理论结果。

②从黄柏河出口控制站小溪塔水文站，自上游西北口水库建成并开始运行以后，实测 2008—2023 年 16 年实测资料表明，小溪塔控制站实测最大洪峰流量为 825m³/s，未超过 1000m³/s。其次分析河口设计洪水属于概率事件，低位洪水经过上游梯级水库群滞洪、调蓄后，以及水库未达到起调水位时都能起到滞洪作用，减小了下游河口出现洪峰流量大于 1000m³/s 的概率 [3]。

③对于复杂水库群联合调节的研究不够深入，在实际情况中，许多流域存在多个水库联合运行的情况，水库之间的相互影响和协调调度关系复杂。本文黄柏河流域仅需对西

北口水库的调节作用进行分析，对于水库群联合调节对设计洪水的影响研究还不够深入。在多水库联合调度时，各水库的蓄泄决策相互关联，可能会导致下游洪水过程的变化更加复杂，而目前的研究方法在处理这种复杂情况时还存在一定的局限性 [4]。

针对水库群联合调节问题，应加强相关研究，建立更加完善的水库群联合调度模型。通过建立多水库联合调度模型，模拟不同调度方案下的洪水过程，为水库群的科学调度提供决策支持。

参考文献

[1] SL/T 278-2020 水利水电工程水文计算规范.
[2] 水文情报预报规范 (SL 250-2017).
[3] 陈家琦, 张恭肃, 杨小柳. 水文分析与计算 [M]. 中国水利水电出版社, 2006.
[4] 芮孝芳. 水文学原理 [M]. 中国水利水电出版社, 2018.