

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2022474

张冠宇,王丽晶,钟永华,等.密云水库高水位运行下洪水预报调度探究[J].中国防汛抗旱,2023,33(6):62-66.ZHANG Guanyu,WANG Lijing,ZHONG Yonghua,et al.Research on flood operation based on forecasting under high water level of Miyun Reservoir[J].China Flood & Drought Management,2023,33(6):62-66.(in Chinese)

密云水库高水位运行下洪水预报调度探究

张冠宇¹ 王丽晶² 钟永华¹ 段波¹ 王云海³ 周星²

(1.北京市密云水库管理处,北京101512;2.北京市水科学技术研究院,北京100048;

3.北京市北运河管理处,北京101100)

摘要:水库预报调度是水库防洪调度的重要方式之一,能够提高水库流域洪涝灾害防御能力。创造新蓄水纪录的密云水库长期处于中高水位运行与水库下游河道行洪能力受限都增加了水库洪涝灾害防御压力。为有效解决水库上下游“蓄、泄”两难的实际问题,通过分析密云水库运行情况、洪水预报开展情况、水库上下游淹没影响范围、预报调度实例等内容,得出基于分布式水文模型 EasyDHM 的密云水库洪水预报系统能够很好地适应密云水库流域洪水模拟,同时洪水预报结果能够很好地支撑水库预泄调度。

关键词:密云水库;洪水预报;预报调度;水库调度

中图分类号:P333.2

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2023)06-62-05

0 引言

密云水库是北京重要的地表饮用水源地,具有重要的战略地位。2021年,受流域降雨来水影响,密云水库水位持续上升,8月23日突破历史最高水位153.98 m,10月1日库水位达155.30 m,相应蓄水量35.793亿m³,创造了新的蓄水量纪录^[1],作为南水北调的调蓄库、北京市水资源战略储备基地,城市供水保证率不断提高。但是密云水库长期处于中高水位运行,这无疑增大了水库的洪涝灾害防御压力,水库上下游“蓄”“泄”两难的问题日益凸显。

近年来,随着密云水库雨水情遥测系统的增建,雨水情遥测站点由最初的9个增至42个,水库上游流域雨水情监测能力大幅提升;2015年投入运行了采用中国水利水电科学研究院自主研发的分布式水文模型 EasyDHM (Easy Distributed Hydrological Model) 的洪水预报系统,为密云水

库提供了较为精准的洪水预报,经百余次预报结果统计,合格率达85%以上^[2]。因此,如何利用降雨洪水预报信息来提高水库调度水平,保证水库工程安全,最大限度减小水库上下游淹没灾害损失,增加水库的防洪效益,是目前值得认真研究的课题^[3]。

1 水库流域概况

密云水库由潮白河上游潮河、白河两大支流汇流而成,水库控制流域面积15 788 km²,为华北第一大水库,最大库容为43.75亿m³,其中防洪库容9.27亿m³,兴利库容35.45亿m³,正常蓄水位157.5 m,汛限水位152.0 m,死水位为126.0 m。多年平均入库径流量为9.05亿m³,100年一遇、1 000年一遇和最大可能洪水洪峰流量分别为15 800 m³/s、22 600 m³/s和23 300 m³/s。水库始建于1958年,1959年拦洪,1960年基本建成。水库经过数次改扩建后,现在主要建筑物包括2座主坝、5座副坝、7条隧洞、3座溢洪道、1座电

收稿日期:2022-11-17

第一作者信息:张冠宇,男,工程师,E-mail:zgytom@126.com。

站,1座调节池。水库建成之初,主要进行年调节,若逢连续枯水年,常在中低水位运行。20世纪80年代以来,水库基本不向农业供水,也不向天津、河北供水。尽量减少下泄量并将来水存在水库中作多年调节。密云水库流域及水文站、雨量站分布示意图见图1。



图1 密云水库流域示意图

2 洪水风险

2.1 “蓄”的风险——库区淹没

密云水库库区征地高程为155.0 m。2021年9月9日至10月15日,密云水库水位超过155.0 m,其中10月1日水位最高达到155.3 m。校核洪水水位158.5 m以下淹没影响范围涉及密云区溪翁庄、石城、冯家峪、不老屯、高岭、太师屯、穆家峪7个镇、23个行政村、2 961人,见表1。

表1 158.5 m以下库区淹没情况统计表

序号	淹没高程/m	房屋/间	人口/人	土地面积/km ²
1	155.0以下	152	67	
2	155.0~156.0	627	248	4.12
3	156.0~157.5	1 328	579	7.57
4	157.5~158.5	3 830.5	2 067	3.00
合计		5 937.5	2 961	14.69

2.2 “泄”的风险——下游淹没

根据北京市水务局水旱灾害风险普查项目,模拟密云水库按200 m³/s、300 m³/s、480 m³/s、600 m³/s、1 550 m³/s开展洪水调度时水库下游淹没风险,涉及密云境内6个行政村,房屋、人口及其重要基础设施^[4],如表2所示。

表2 158.5 m以下库区淹没情况统计表

序号	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	行政村	房屋/间	重要基础设施
1	200	碱厂	120	2口农业用水井
2	300	碱厂	120	3口农业用水井
3	480	碱厂	120	3口农业用水井
4		庄头峪	100	2口生活用水井,1口农业用水井
5		碱厂	280	3口农业用水井,北碱厂井房
6	600	庄头峪	100	3口生活用水井,1口农业用水井
7		辛安庄	72	邓家湾井房、村污水处理站
8		碱厂	360	北碱厂、南碱厂井房,3口农业灌溉井
9	1 550	庄头峪	100	4口生活用水井,1口农业用水井,2座村污水处理站
10		娄子峪	100	2口村生活用水井,1口农业用水井
11		辛安庄	75	邓家湾井房、村污水处理站
12		荆子峪		村西生活用水井井房

3 水库洪水预报系统应用情况

3.1 洪水预报系统介绍

2015年,由中国水利水电科学研究院研发的基于分布式水文模型EasyDHM的洪水预报系统正式上线。在EasyDHM模型中为了体现模型参数在空间上的变异性,采用了参数分区拓扑式率定方法^[5]。基于数字高程模型(DEM)提取的数字流域基础上确定出每个水文站和水库的控制范围,进而划分出6个参数分区和1个水库分区,见图2。基于模型模拟技术和计算机仿真模拟技术的密云水库洪水预报系统,能够依据实时雨、水、工情信息和天气预测,在计算机上快速精细化逐时滚动式进行洪水预报,提高了流域中主要断面及水库入库的洪水预报精度。

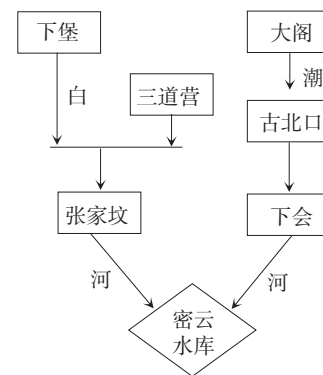


图2 密云水库参数分区拓扑关系图

3.2 洪水预报系统运行情况

密云水库洪水预报系统上线运行以来,针对汛期流域平均降雨量超 20 mm 的场次降雨,进行了实时洪水预报。预报成果包括洪峰、峰现时间、3 d 洪量、7 d 洪量、15 d 洪量等,在上百次预报结果中,合格率 85% 以上,良好以上 50%。密云水库及上游控制分区洪水预报见表 3。由表 3 可知,除大阁、三道营控制站外,其他分区控制站均给出 15 场以上的洪水预报结果。在下堡、三道营、张家坟、大阁、古北口、下会及密云水库的洪水评价中,预报精度等级均为乙级以上,说明分布式水文模型 EasyDHM 能较好地适应密云水库洪水模拟,可用于密云水库流域短期洪水预报中。

利用密云水库洪水预报系统分别模拟了流域 24 h 降雨量 50 mm、70 mm、100 mm、150 mm、200 mm、250 mm、300 mm 的来水预报;同时针对“2012.7.21”房山大暴雨、“2021.7.20”郑州特大暴雨、“2021.10.5”山西暴雨等降雨过程开展了降雨移植模拟分析,见表 4、表 5。

表 3 密云水库上游分区控制点洪水预报结果

序号	分区控着点	模拟洪水场次	合格场次	合格率(%)	评价等
1	下堡	21	16	76	乙
2	三道营	13	9	69	乙
3	张家坟	31	26	86	乙
4	大阁	10	8	80	乙
5	古北口	26	22	85	甲
6	下会	28	22	79	乙
7	密云水库	17	13	76	乙

表 4 密云水库流域不同降雨量来水预报成果表

项目	24 h 降雨量/mm						
	300	250	200	150	100	70	50
洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	9 400	7 500	5 200	2 200	1 200	800	300
7 d 洪量/亿 m^3	19.20	15.60	11.40	4.70	1.98	0.95	0.48
15 d 洪量/亿 m^3	24.86	20.42	15.20	6.68	2.56	1.22	0.56
30 d 洪量/亿 m^3	33.56	29.54	19.85	9.60	3.02	1.48	0.60
洪水重现期/a	100	50	20	5	低于 5	低于 5	低于 5

表 6 密云水库泄水建筑物安全泄流能力统计表

项目	白河发电隧洞	第三溢洪道	第二溢洪道	第一溢洪道	潮河人防隧洞	潮河输水隧洞
最大行洪流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	123	6 790	4 250	4 690	924	208
相应水位/m	152.00	158.50	158.50	158.50	158.50	158.50

表 5 密云水库流域移植模拟极端降雨洪水预报成果表

序号	名称	降雨量/mm	降雨历时/h	来水量/亿 m^3	重现期/a
1	“2012.7.21”房山大暴雨	281.1	24	34.62	100
2	“2016.7.20”北京大暴雨	210.7	53	18.96	小于 20
3	“2021.10.5”山西暴雨	119.5	108	9.43	小于 5
4	“2021.7.20”郑州特大暴雨	534.0	144	50.58	1 000

4 水库调度规程

4.1 调度规程

根据国家防汛抗旱总指挥部批复的《北三河洪水调度方案》^[6]及《密云水库洪水调度方案》(2022年)^[7],6月1日至8月10日水库限制水位为 152.00 m,相应库容 30.37 亿 m^3 。8月11日至9月30日水库限制水位为 154.00 m,相应库容 33.61 亿 m^3 。其中,8月11—20日为过渡期,将库水位控制在 152.00 ~ 154.00 m,在过渡期内逐步抬高。密云水库主汛期现行洪水调度方案如下:

(1)当库水位未达到 152.00 m 时,不泄洪。

(2)当水库水位已达到或超过汛限水位 152.00 m 但低于 154.32 m 时,水库控泄流量 600 m^3/s (包含京密引水渠引水流量 50 m^3/s)。

(3)当水库水位达到 154.32 m 但不超过 157.50 m 时,水库控泄流量 1 550 m^3/s (包含京密引水渠引水流量 50 m^3/s)。

(4)当水库水位超过 157.50 m 时,输、泄水建筑物闸门全部开启,不控泄。

4.2 调度措施

当水库发生标准内洪水时,密云水库泄洪建筑物使用次序为:白河发电隧洞、第三溢洪道、第二溢洪道、第一溢洪道、潮河人防隧洞和潮河输水隧洞。在洪水调度过程中,根据水库水位、反推入库流量和泄洪建筑物使用次序选择泄洪建筑物泄洪。密云水库下泄途径为:白河地区泄洪、潮河地区泄洪。密云水库泄水建筑物安全泄流能力统计见表 6。

白河地区泄洪：主要通过白河发电隧洞将洪水下泄至密云水库调节池，再由调节池泄洪闸进入白河河道。根据白河发电隧洞泄水能力，最大行洪流量为123 m³/s。潮河地区泄洪：主要通过潮河泄洪建筑物将洪水下泄至潮河河道。潮河地区3座溢洪道及输泄水建筑物下游至万岭断面约1.3 km河段内有果树、村民建有鱼池、房屋等设施，河道内建有跨河桥梁、漫水桥等阻水建筑物，河道行洪能力不足。

4.3 调洪计算

1960—2021年，密云水库拦蓄了全部入库洪水^[8]，其中洪峰流量超过1 000 m³/s洪水40次，使下游耕地免遭水灾面积达228.6万hm²。密云水库防洪库容较大，影响洪水调度的主要因素是洪水总量。以7 d洪量作为判别条件，自1960年水库建成运行以来，尚未发生大于10年一遇的洪水，其中，相当于10年一遇的洪水1次（1974年，7 d洪量7.14亿m³），介于5年一遇到10年一遇的有2次（1964年、1973年），相当于5年一遇的有1次（1994年），其余洪水均小于5年一遇。相对水库的设计洪水标准（1 000年一遇）而言，建库以来所发生的洪水都是小洪水。

因此，综合考虑密云水库历史洪水情况、水库高水位运行情况、水库下游河道行洪能力等约束条件，以主汛期5年一遇设计洪水，下泄流量分别为100 m³/s为例，进行调洪计算，见图3。按照152.00 m为起调水位，对5年一遇的设计洪水，下泄流量分别为200 m³/s、300 m³/s进行调洪计算；对10年一遇的设计洪水，下泄流量分别为300 m³/s、400 m³/s进行调洪计算，结果见表7。

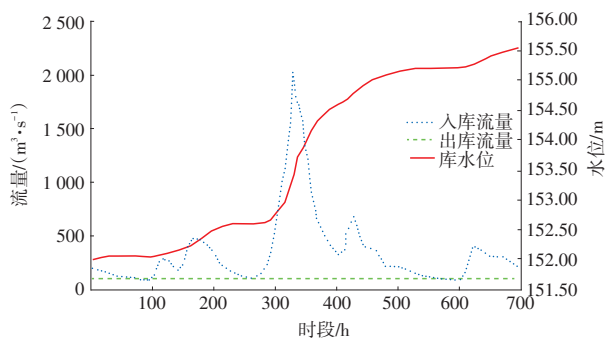


图3 5年一遇洪水(下泄流量100 m³/s)调度图

表7 密云水库调洪成果表

洪水重现期/a	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	最大下泄流量/(m ³ ·s ⁻¹)	最高水位/m	超汛限水位持续时间/d	开启泄水建筑物及流量/(m ³ ·s ⁻¹)
5	2 020	100	155.59	29	白河发电隧洞 100
		200	154.11	19	白河发电隧洞 100 第三溢洪道 100
		300	153.07	10	白河发电隧洞 100 第三溢洪道 200
10	3 480	300	156.38	22	白河发电隧洞 100 第三溢洪道 200
		400	155.17	17	白河发电隧洞 100 第三溢洪道 300

5 密云水库预报调度实例

准确、及时的洪水预报是水利工程调度的关键，也是确定工程实时调度的基础。采用中、短期水文气象预报结合模型向前滚动预报校正、人工经验预报相结合，有效地延长洪水预见期、提高预报精度，给水工程调度赢得科学的决策时间^[9-10]。

2021年7月11—13日，受流域强降雨影响（流域平均降水量87.9 mm），密云水库水位由147.48 m（7月11日）迅速上涨至150.90 m（7月26日），距汛限水位152.00 m差1.10 m，可蓄水1.724亿m³（水库建成安全运行至今，有10 a蓄水水位超过150.00 m，其中有5 a超过汛限水位152.00 m）。根据7月26日气象预报会商结果，密云水库组织开展了洪水预报作业，并以此为依据实施了下泄流量为45 m³/s预报调度，为下游河道生态补水。至8月1日10时，共预泄水量0.158亿m³，使密云水库水位一直维持在汛限水位以下，充分发挥了密云水库拦洪、削峰、错峰作用，为下游河道行洪、水库错峰创造更有利的条件，确保水库下游潮、白河道行洪安全。

如果执行密云水库常规调度，汛限水位以下不泄洪。水库水位于8月1日到达汛限水位152.00 m，随即按规程控泄600 m³/s实施调度。结果必然给水库下游带来淹没损失。预报调度与常规调度库水位变化对比表，见表8。

6 结论

(1) 水库预报调度是水库防洪调度的重要方式之一，通过预报对入库洪水有比较准确的判断，一方面可采取预泄方式，提前腾出库容，增加水库的防洪能力，减少库区淹

表8 预报调度与常规调度库水位变化对比表

时间 (月-日)	日均入库流 量/(m ³ ·s ⁻¹)	预泄流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	预泄后 库水位/m	常规调度泄 量/(m ³ ·s ⁻¹)	常规调度 库水位/m
07-26	300	45	150.86		150.90
07-27	604	45	151.02		151.05
07-28	315	45	151.33		151.37
07-29	262	45	151.48		151.52
07-30	242	45	151.60		151.65
07-31	221	45	151.72		151.78
08-01	170	45	151.83	170	152.00
08-02	147		151.92	147	152.00

没风险;另一方面,对水库下游的防护对象,增加削峰、错峰能力,有效缓解密云水库“蓄、泄”两难的问题。

(2)水库的预报调度与规程调度相比,要求水库所在流域有较为完善的雨情、水情监测网络,通信网络,并建立了较为可靠的洪水预报系统;充分利用洪水预报成果,在洪水来临前提前泄出一部分水库水量,使水库水位消落到汛限水位以下,以利用这部分预先腾出的库容调蓄预报的洪水,来提高水库的防洪能力。同时可以减小水库最大下泄流量,减小下游防护区的淹没损失。

密云水库洪水预报系统上线运行以来,经过上百场次的洪水预报,合格率在85%以上,说明基于分布式水文模型EasyDHM的密云水库洪水预报系统能够很好地适应密云水库流域洪水模拟,预报结果可以为密云水库预报调度

提供重要数据支撑。

参考文献

- [1] 李春喜. 密云水库强降雨及高水位运行安全保障措施[J]. 北京水务, 2022(4):1-3.
- [2] 王泽勇, 钟永华, 廖卫红, 等. 密云水库洪水预报模型及预报成果分析[J]. 海河水利, 2022(3):15-19, 49.
- [3] 陈卫, 温天福, 冯平. 水库防洪预报预泄调度的风险分析[J]. 天津大学学报, 2008(9):1068-1072.
- [4] 北京市密云水库管理处. 北京市密云水库库区及下游河道淹没风险手册[R]. 2022.
- [5] 黄启有, 黄文衡. 流域洪水预报调度通用平台研究与实践[J]. 人民长江, 2022, 53(9):227-231, 239.
- [6] 国家防汛抗旱总指挥部. 关于北三河洪水调度方案的批复(国汛〔2011〕8号)[R]. 2011.
- [7] 北京市密云水库管理处. 北京市密云水库洪水调度方案[R]. 2022.
- [8] 北京市密云水库管理处. 北京市密云水库超标洪水防御预案[R]. 2022:11-13, 36.
- [9] 詹新焕, 王宗志, 王立辉, 等. 基于净雨预报信息的水库防洪调度方式研究[J]. 水力发电学报, 2020, 39(9):57-66.
- [10] 程海云. 洪水预报系统及其在工程调度中的作用[J]. 中国水利, 2020(17):11-13.

Research on flood operation based on forecasting under high water level of Miyun Reservoir

ZHANG Guanyu¹, WANG Lijing², ZHONG Yonghua¹, DUAN Bo¹, WANG Yunhai³, ZHOU Xing²

(1. Beijing Miyun Reservoir Management Office, Beijing 101512; 2. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048;

3. Beijing North Canal Management Office, Beijing 101100)

Abstract: Reservoir operation based on forecasting is one of the important ways of flood operation of reservoir and can improve the flood prevention ability of reservoir basin. Miyun Reservoir, which has set a new water storage record, will operate at a medium and high water level for a long time and the flood discharge capacity of the downstream river of the reservoir is limited, which increases the flood defense pressure of the reservoir. In order to effectively solve the dilemma of "storage and discharge" in the upstream and downstream of the reservoir, this paper analyzes the operation of the Miyun Reservoir, the development of flood forecasting, the impact range of flooding in the upper and lower reaches of the reservoir, and the example of operation based on forecasting. It is concluded that the flood forecast system of Miyun Reservoir based on the distributed hydrological model EasyDHM can well adapt to the flood simulation in the basin of Miyun Reservoir. The flood forecast results can support the pre-discharge operation of reservoir well.

Keywords: Miyun Reservoir; flood forecast; forecast scheduling; reservoir operation

责任编辑 马 啸