

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2023332

刘家宏,梅超,王佳,等.北京市门头沟流域“23·7”特大暴雨洪水过程分析[J].中国防汛抗旱,2023,33(9):50-55.LIU Jiahong, MEI Chao, WANG Jia, et al.Flood survey of “23·7” heavy rain in Mentougou Watershed of Beijing[J].China Flood & Drought Management, 2023, 33(9):50-55.(in Chinese)

# 北京市门头沟流域“23·7”特大暴雨洪水过程分析

刘家宏<sup>1,2</sup> 梅超<sup>1,2</sup> 王佳<sup>1,2</sup> 王东<sup>1</sup> 王浩<sup>1</sup>

(1.流域水循环模拟与调控国家重点实验室 中国水利水电科学研究院,北京100038;

2.水利部数字孪生流域重点实验室(筹),北京100038)

**摘要:**2023年7月,京津冀地区发生历史罕见特大暴雨,造成北京门头沟区等地出现特大山洪和城市内涝灾害。门头沟流域面积仅37 km<sup>2</sup>,无常设水文监测站,给洪水分析和灾害复盘带来挑战。结合关键断面的洪水视频监控数据,通过灾后现场调查、测量,结合数字流域模型模拟等,推算得到门头沟流域7月31日最大洪峰流量为512.6 m<sup>3</sup>/s。洪峰通过期间,控制流域面积90%的中昂时代广场西北跨河桥三孔箱涵的过流能力为215.0~308.9 m<sup>3</sup>/s,远低于断面最大洪峰流量。建议下一步灾害重建时全面复核北京门头沟、房山等城区山洪沟跨沟桥梁的设计过流能力,考虑极端暴雨洪涝风险,适当提高跨沟桥涵的过流能力,避免因洪水溢流蔓延而造成严重损失。

**关键词:**海河“23·7”流域性特大洪水;特大暴雨;洪水分析;数字流域模型;门头沟流域;北京市

中图法分类号:TV122.1

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2023)09-50-06

## 0 引言

极端暴雨洪涝问题是当前世界各国面临的巨大挑战<sup>[1-2]</sup>,降水阈值屡屡突破工程防御能力的上限<sup>[3]</sup>,进一步加剧了流域和城市的洪涝风险<sup>[4]</sup>。2023年7月29日至8月2日,京津冀地区遭遇历史罕见特大暴雨,发生严重洪涝灾害,特别是7月31日北京门头沟区、房山区,以及河北涿州市等太行山前平原城市遭遇山洪内涝叠加灾害,遭受重大人员伤亡和财产损失。8月12日,水利部根据最新洪水调查和实测成果,经综合分析研判,确定海河流域子牙河发生大洪水,大清河、永定河发生特大洪水。依据水利部印发的《全国流域性洪水划分规定(试行)》,本次洪水判定为流域性特大洪水,并正式命名为海河“23·7”流域性特大洪水。

本轮极端强降雨过程,北京市、河北省有14个国家气象观测站日降雨量突破历史极值。北京市平均降雨量331 mm,超过“1963.8”7 d平均降雨量250 mm和2012年“7·21”2 d平均降雨量192 mm,为1951年以来最大值;北京市最大点降雨量出现在昌平王家园水库站744.8 mm,超过“1963.8”最大点降雨量588 mm和2012年“7·21”最大点降雨量541 mm,为1951年以来最大值。受极端强降雨影响,海河流域发生流域性特大洪水。永定河卢沟桥站洪峰流量仅2 h就从1 000 m<sup>3</sup>/s上升为峰值4 650 m<sup>3</sup>/s,是1925年以来的最大洪峰。大石河漫水桥站最大洪峰流量5 300 m<sup>3</sup>/s,列有实测资料以来的第1位;拒马河张坊站最大洪峰流量6 200 m<sup>3</sup>/s,列有实测资料以来的第2位,上述两河断面洪量分别相当于2012年“7·21”强降雨的9倍和4倍。如此大的暴雨和洪水在源头及支流上是如何形成的,对于大多数

收稿日期:2023-08-23

第一作者信息:刘家宏,男,正高级工程师,E-mail:liujh@iwhr.com。

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3090600);国家自然科学基金项目(52192671);国家重点实验室基金(SK12022TS11);中国水利水电科学研究院基  
本科研业务费项目(WR110145B0022022)。

无测站的小流域仍是一个未知数。开展城市洪涝场景的模拟和推演对灾后重建和未来洪涝风险预警、防控十分必要<sup>[5]</sup>。洪涝模拟<sup>[6]</sup>、预警<sup>[7]</sup>、推演<sup>[8-9]</sup>、联防联控<sup>[10]</sup>等方面已经形成一套相对完整的技术体系<sup>[11]</sup>，但在资料稀缺的城市小流域洪涝快速、精准模拟方面仍存一定困难<sup>[12]</sup>。本文选择北京市雨量大、洪水猛、受灾严重的门头沟流域作为研究对象，分析其在“23·7”特大暴雨中的洪水过程，为小流域极端超强降雨灾害防治提供基础支撑。

## 1 流域概况

门头沟，又称玉河、黑河沟、黑水河等，是北京市九龙山与南大梁之间的一条天然季节性河沟。源头西起横岭，向东经天桥浮、圈门、东辛房、河滩至城子注入永定河。因跨沟修建了一座“圈门过街楼”，形似城门而得名。据老北京著名民俗学者金受申先生讲述，门头沟就是“圈门前头有条沟”的意思。门头沟属于永定河右岸支流，位于门头沟新城北部，汇流面积约37 km<sup>2</sup>。流域内的圈门、永定楼等是“一线四矿”



图1 北京市门头沟流域鸟瞰图(红色为流域边界)

(“一线”指门大线，“四矿”指沿门大线依次分布的王平、大台、木城涧和千军台4座煤矿)门大线的起点、京西文化旅游和绿色创新产业培育的重要承载地。根据《门头沟新城控制性详细规划(街区层面)(2020—2035)》，流域内规划街区总用地面积约7.47 km<sup>2</sup>。

门头沟采煤历史悠久，本来有一个优美的名字——玉河，因沟两侧煤矿排出的废水注入，使得河水变黑，玉河成为了黑河沟。2006年，流域内的矿井正式关闭，转入对废弃矿山的恢复治理阶段。现在门头沟流域从“一盆火”变成了“一片绿”，植被覆盖率达到75%以上，成为北京市西部生态涵养区。

流域内最高点位于九龙山最高峰刺茅花坨，海拔990 m(图1)，最低点位于沟道入永定河口处，海拔87 m，流域最大落差超900 m。主沟长度约8.5 km(永定河沟口—玉河古道天梯)，平均纵坡降3.5%，沟口段纵坡降较小，约为1.2%。流域源头段为高山陡坡，从海拔超900 m下降到300 m，平均距离仅有1.5 km，山坡平均坡降达40%(图2)。

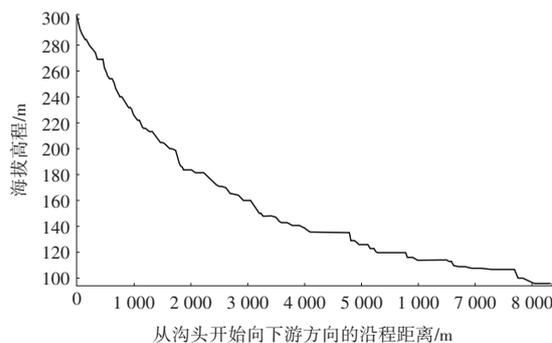


图2 北京市门头沟流域纵剖面图

## 2 “23·7”特大暴雨洪水分析

### 2.1 暴雨灾害情况概述

21世纪以来，北京市暴雨洪涝呈显著增加趋势<sup>[13]</sup>，据8月1日微信公众号“北京门头沟”发布的《致全区人民的一封信》的信息，自7月29日20时开始，受2305号台风“杜苏芮”影响，门头沟区遭遇历史罕见的连续强降雨天气。截至8月1日，全区累计平均降雨量远超2012年“7·21”水平，达到471.1 mm，最大点降雨量达723 mm，是该区有气象记录以来的历史最高值。另据新闻报道，29日20时至31日12时，门头沟区平均降雨量达到320.8 mm，为降雨最为集

中的时段，受极端超强降雨袭击，门头沟区全区河湖水位暴涨、多处遭遇险情，并于7月31日诱发山洪，给人民的生命财产安全带来了巨大损失。其中，本文研究的门头沟流域灾情尤为严重，暴雨山洪与城市内涝叠加，致使河水漫溢，冲出河道，加之山区坡面突发暴雨产流，沿下山道路快速下泄，形成顺街行洪现象，冲走大量停在路边的汽车，甚至有少量在路上行驶的汽车被突发洪水冲走。

### 2.2 流域降雨数据

本研究在中国气象科学研究院等单位的帮助下收集了距门头沟流域最近的门头沟国家气象观测站(编号54505，位置见图1)的降雨监测数据(图3)。国家站的观测统计时段

为当日20时至次日20时,通过2023年7月27日20时至8月3日20时7 d降雨量的统计数据可以看出,最大24 h降雨量为348.3 mm,综合新闻报道信息“29日20时至31日12时,门头沟平均降雨量达到320.8 mm”,可以看出门头沟流域40 h的平均降雨强度达8 mm/h。长历时、高强度的降雨,加上快速汇流、支流层层叠加的流域地形条件,最终导致了这次特大暴雨洪涝灾害。门头沟流域7月30日20时至7月31日20时(最大24 h降雨)降雨总量为1 288.7万 $\text{m}^3$ 。

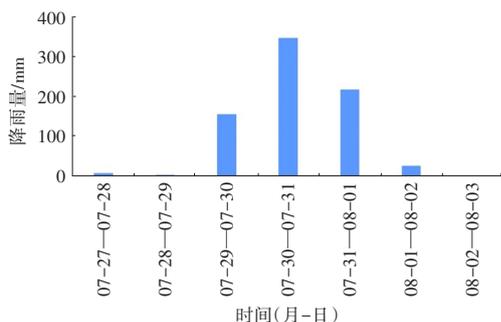


图3 门头沟站2023年7月27日20时至8月3日20时7日降雨量

### 2.3 流域产汇流分析

门头沟流域面积虽然不大,仅有37 $\text{km}^2$ ,但是流域呈“西南—东北”向的长条状(图4),汇流方向和本次降雨的移动方向大体一致,造就了极为不利的洪水组合形式。首先,流域上游先降雨,产流后快速流向下游;接着,下游出现降雨产流,上游的产流经沟道传播延时后正好与下游稍后的降雨产流叠加,形成极为不利的“峰峰叠加”效应,推高了洪峰流量。从图4可以看出,门头沟的水系支沟较多,左岸有6条支沟汇入,右岸有2条支沟汇入,每一条支沟的汇入,对主沟的洪峰就是一次助推,自上而下“层层助推”,就形成了下游沟口极高的洪峰流量。

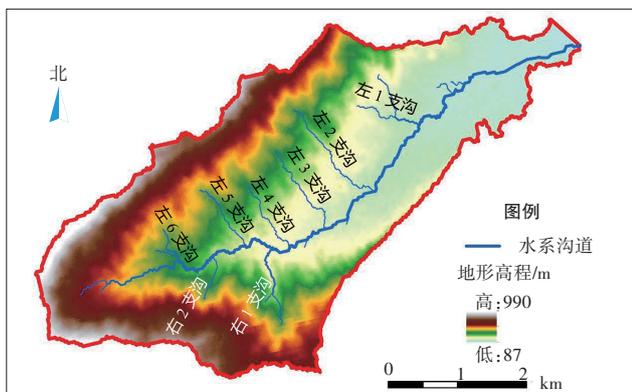


图4 北京市门头沟流域汇流范围及主要支沟图

本次“23·7”特大暴雨洪水中,门头沟的洪峰出现在7月31日11:00—15:00,由于沟道内没有常设的水文站,其最大流量没有准确的监测数据。并且,由于洪峰过境时,洪水已经漫出河岸,呈现散流状态,即使有监测设施,也无法测得准确的洪峰流量。本文基于距离门头沟入永定河口1.5 km的中昂时代广场附近的视频截图(图5(a)),推算本次洪水过程中门头沟流域的洪峰流量。通过图4的流域地形分析,门头沟中昂时代广场桥断面控制了流域面积的90%,其洪峰流量基本可以代表整个流域的洪峰流量。中昂时代广场西北跨河桥灾害前有汉白玉栏杆,栏杆的横杆相对高度为0.9 m,立柱顶端相对高度1.4 m,从7月31日中昂时代广场附近的视频截图可见,洪峰过境时汉白玉栏杆和立柱被全部冲毁(图5(b))。



(a)7月31日中昂时代附近视频截图



(b)中昂时代西北跨河桥灾后情景

图5 距离门头沟入永定河口1.5 km的中昂时代西北跨河桥

通过灾后残留在明黄色弧形金属支撑拱上的洪痕调查,结合7月31日视频截图,测得洪峰最高水位漫过桥面约0.9 m,漫水总宽度约70 m(包括河道两侧的道路)。同样,通过现场调查得到该桥下为3孔7.0 m $\times$ 3.0 m的箱涵。

结合流域概况分析可得该河段的纵坡降为1.2%。本过流断面可简化为图6形式:3孔满流箱涵(7.0 m×3.0 m)加上顶部0.9 m×70 m的宽浅“河道”(图6)。

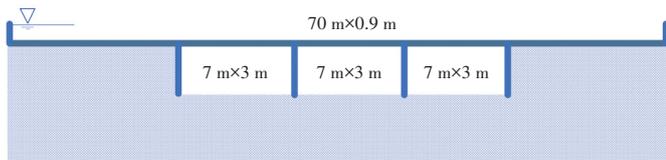


图6 中昂时代广场西北跨河桥洪峰时段过流断面概化图

根据曼宁公式计算暴雨洪峰流量(表1):

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

式中: $Q$ 为断面流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $n$ 为糙率;  $A$ 为过流断面面积,  $\text{m}^2$ ;  $R$ 为水力半径,  $\text{m}$ ;  $J$ 为河道纵坡降。

表1 门头沟流域“23·7”特大暴雨洪峰流量推算表

断面	$n$	$A/\text{m}^2$	$R/\text{m}$	$J$	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
桥面/路面	0.02 ~ 0.03	63	0.88	0.012	211.3 ~ 316.9
左岸箱涵	0.025 ~ 0.035	21	1.05	0.012	67.9 ~ 95.1
中间箱涵	0.02 ~ 0.03	21	1.05	0.012	79.2 ~ 118.8
右岸箱涵	0.025 ~ 0.035	21	1.05	0.012	67.9 ~ 95.1
左、中、右箱涵					215.0 ~ 309.0
合计					426.3 ~ 625.9

## 2.4 流域洪水过程模拟

门头沟流域属于山区小流域,水库和调蓄工程少,可不考虑水利工程调度对洪水过程的影响。本研究采用数字流域模型<sup>[14-15]</sup>,通过输入2023年7月27日20时至8月3日20时的逐日降雨数据,快速模拟了门头沟小流域的洪水过程。数字流域模型通过内置的降雨时空处理模块,将日降雨量随机展布到每一个计算时段,从而满足洪水过程的模拟时间分辨率要求,具体处理时根据雨量站的空间坐标位置匹配当地的降雨雨型。数字流域模型的水文模块可以较为细致地描绘水文循环中的截留、蒸发、入渗、地表产流、壤中流及河道汇流等过程,模型参数较多,其中地表入渗速率、表层土水平渗透速率、表层土孔隙率、中层土孔隙率等参数对洪水过程模拟结果比较敏感。针对门头沟地区的植被、土地利用、土壤分层等下垫面特征,根据模型推荐值和相关应用文献<sup>[16]</sup>,选定了适用于门头沟所在的华北土石山区的主要参数,如表2所示。

表2 门头沟数字流域模型关键参数及取值

序号	参数名	物理意义	参数值
1	PKV0	地表下渗透率	$8.0 \times 10^{-4} \text{ m/h}$
2	PKH1	表层土水平渗透速率	$9.6 \times 10^{-3} \text{ m/h}$
3	UTHETA1	表层土孔隙率(田间持水量)	0.16
4	UTHETA2	表层土孔隙率(自由含水量)	0.35
5	MTHETA1	中层土孔隙率(田间持水量)	0.18
6	MTHETA2	中层土孔隙率(自由含水量)	0.32

数字流域模型将门头沟流域划分为145个沟道单元,每个沟道单元对应左坡面和右坡面,源头单元还有源坡面,总计划分为326个产流计算小区,平均每个小区的面积约为 $0.11 \text{ km}^2$ ,相当于 $340 \text{ m} \times 340 \text{ m}$ 的街区单元,基本可以反映流域垫面的空间不均匀性。对于流域内占比20%的城区单元,采用综合径流系数法计算暴雨径流,特大暴雨径流系数取0.95。通过模型运行,得到门头沟流域出口断面的洪水过程如图7所示。

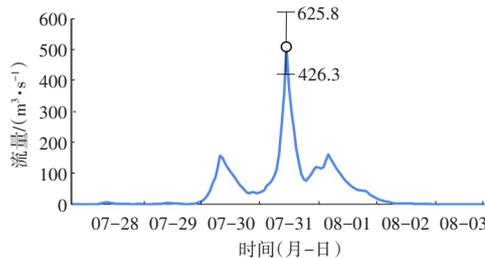


图7 门头沟流域出口断面的洪水过程模拟结果

从图7中可以看出,本轮降雨过程中,门头沟出现了3次洪峰过程,第1次出现在7月30日,第2次出现在7月31日,第3次出现在8月1日。7月31日的洪峰流量最高,模拟值为 $512.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,位于调查值 $426.3 \sim 625.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 范围内,上下偏差分别为22.1%和-16.8%,基本满足洪水预报值20%的精度要求。

为进一步验证模型计算结果的合理性,本文选择中昂时代西北跨河桥上游的龙门安全街桥进行了过流分析计算。2023年8月13日灾后调查发现,该桥栏杆完好,桥下洪痕显示最高水位时对应的水深约为 $3.00 \text{ m}$ ,桥梁过流断面如图8所示,由两孔和左岸的三角断面组成。此外,由于下游中昂时代西北跨河桥的阻滞作用,该段的纵坡降较缓,约为0.005,计算得到该过流断面的洪峰流量为 $423.9 \sim 635.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (表3),与下游中昂时代西北跨河桥的调查结果

吻合,该段面没有漫溢,因此计算的洪峰流量基本可信。

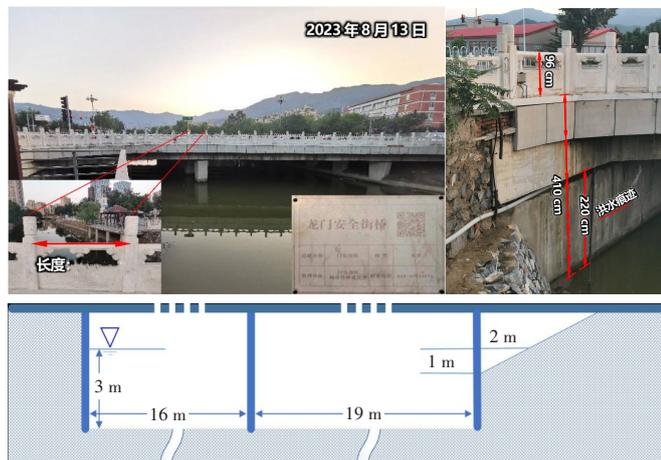


图8 龙门安全街桥断面及主要尺寸(灾后调查)

表3 龙门安全街桥洪峰流量推算表

断面	$n$	$A/m^2$	$R/m$	$J$	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$
右岸桥洞	0.02 ~ 0.03	48	2.18	0.005	190.3 ~ 285.5
左岸桥洞	0.02 ~ 0.03	57	2.28	0.005	232.7 ~ 349.1
左岸三角断面	0.025 ~ 0.035	1	0.31	0.005	0.9 ~ 1.3
合计					423.9 ~ 635.9

### 3 结 语

本次门头沟洪涝主要由极端强降雨导致,流域地形及支沟汇流结构助推了“峰峰叠加”效应,多种因素不利组合造成了这次特大灾害事件。基于2023年7月27日至8月3日降雨数据,应用数字流域模型模拟了门头沟流域出口断面洪水过程,洪峰流量与现场洪痕调查推算得到的峰值流量基本一致。本次门头沟37 km<sup>2</sup>的流域面积出现了512.6 m<sup>3</sup>/s的洪峰流量,十分罕见。在中昂时代西北跨河桥现场调查发现,其3孔桥涵的实际过流能力为215.0~308.9 m<sup>3</sup>/s,远低于流域洪峰流量,因此出现了漫溢现象。调查还发现,位于其上游的龙门安全街桥和下游的新桥大街桥均未出现桥栏杆被冲毁的现象,说明中昂时代西北跨河桥所处的河道过流能力不足以应对本次特大暴雨洪水,建议下一步灾害重建时全面复核北京门头沟、房山等城区山洪沟跨沟桥梁的设计过流能力,考虑极端暴雨洪涝风险,适当提高跨沟桥涵的过流能力,避免因洪水溢流蔓延造成严重损失。

### 参考文献

[1] 张建云,王银堂,贺瑞敏,等.中国城市洪涝问题及成因分析[J].水利

学进展,201,27(4):485-491.

- [2] Kreibich H, Van Loon A F, Schröter K, et al. The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management[J]. Nature, 2022,608(7921):80-86.
- [3] 刘家宏,梅超,邵薇薇,等.城市排水防涝基础设施应对能力的三个阈值[J].水利学报,2022,53(7):789-797.
- [4] 程晓陶,刘昌军,李昌志,等.变化环境下洪涝风险演变特征与城市韧性提升策略[J].水利学报,2022,53(7):757-768,778.
- [5] 张红萍,李敏,贺瑞敏,等.城市洪涝模拟应用场景及相应技术策略[J].水科学进展,2022,33(3):452-461.
- [6] 黄玄,刘国庆,刘思恩,等.平原河网城市极端暴雨洪涝风险数值模拟方法研究[J].中国防汛抗旱,2023,33(7):21-27,33.
- [7] 李皓轩,梅松军,周康.广州市沙涌流域内涝预警系统的构建与应用[J].中国防汛抗旱,2023,33(5):23-27,34.
- [8] 叶陈雷,徐宗学.城市洪涝数字孪生系统构建与应用:以福州市为例[J].中国防汛抗旱,2022,32(7):5-11,29.
- [9] 陈升.上海模拟重演郑州“7·20”特大暴雨情景分析[J].中国防汛抗旱,2022,32(9):56-59,86.
- [10] 刘家宏,梅超,刘宏伟,等.特大城市外洪内涝灾害链联防联控关键技术问题[J].水科学进展,2023,34(2):172-179,181.
- [11] Piadeh F, Behzadian K, Alani A M. A critical review of real-time modelling of flood forecasting in urban drainage systems[J]. Journal of Hydrology, 2022,607:127476.
- [12] Lin L, Tang C Q, Liang Q H, et al. Rapid urban flood risk mapping for data-scarce environments using social sensing and region-stable deep neural network[J]. Journal of Hydrology, 2023,617:128758.
- [13] 宋晓猛,张建云,贺瑞敏,等.北京城市洪涝问题与成因分析[J].水科学进展,2019,30(2):153-165.
- [14] 王晨洋,傅旭东,张生,等.黄土高原植被作用下黄河数字流域模型坡面侵蚀模块改进[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(12):1953-1963.
- [15] 刘家宏,王光谦,李铁键.黄河数字流域模型的建立和应用[J].水科学进展,2006,17(2):186-195.
- [16] Shi H Y, Li T J. Estimating hydrological parameters based on rain-fall patterns in river basins with no long-term historical observations[J]. Journal of Hydrology, 2017,553:651-661.

## Flood survey of “23·7” heavy rain in Mentougou Watershed of Beijing

LIU Jiahong<sup>1,2</sup>, MEI Chao<sup>1,2</sup>, WANG Jia<sup>1,2</sup>, WANG Dong<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038; 2. Key Laboratory of River Basin Digital Twinning of Ministry of Water Resources, Beijing 100038)

**Abstract:** In July 2023, a rare heavy rainstorm occurred in the Beijing–Tianjin–Hebei region, which caused heavy flash floods and urban waterlogging disasters in Mentougou and other districts in Beijing. The Mentougou watershed has an area of only 37 km<sup>2</sup>, and there is no available hydrological monitoring station, which brings challenges to flood analysis and simulation. By using the surveillance video of flood processes in key sections, as well as hydrological simulation based on digital watershed model through post-disaster on-site investigation and measurement, the maximum peak discharge of Mentougou watershed was estimated as 512.6 m<sup>3</sup>/s occurred on July the 31st. During the flood peak process, the discharge under the Northwest Cross River bridge with three hole box culvert near Zhong’ang Times Square, which controls 90% of the watershed area, was between 215.0 m<sup>3</sup>/s and 308.9 m<sup>3</sup>/s, which was far lower than this maximum peak discharge of the section. For the future recovery and reconstruction of the disaster, the design flood discharge of the bridges in Mentougou and Fangshan districts should be comprehensively reviewed, and the flood water passage in the section of the bridges should be enlarged so that the extreme rainstorm–flood could pass safely.

**Keywords:** “23·7” extreme flood in Haihe River; heavy rainstorm; flood analysis; digital watershed model; Mentougou Watershed; Beijing

责任编辑 姚力玮

(上接第24页)

## Analysis of flood situation in Futuan River Basin based on the transplantation of the “7·20” extreme rainstorm in Zhengzhou City

WANG Fan<sup>1,2</sup>, WANG Xiaotong<sup>3</sup>, ZHUANG Ling<sup>3</sup>, WANG Weiqi<sup>1,2</sup>, FENG Xinzhen<sup>1,2</sup>, ZHANG Dawei<sup>1,2</sup>

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038; 2. Research Center on Flood & Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038; 3. Shuifa Planning and Design Co., Ltd, Jinan 250000)

**Abstract:** Given the context of climate change and rapid urbanization expansion, China is facing an increasing risk of extreme rainstorm and flood disasters. The “7·20” extreme rainstorm disaster in Zhengzhou City of Henan Province, resulted in significant loss of life and property, revealing many problems such as inadequate awareness and preparation for major disasters, weak prevention organizations, and improper emergency response measures. In this paper, the techniques of rainstorm transplantation and flood simulation are employed, and the distributed hydrological model and 2-D hydrodynamic model are utilized to analyze the flood situation in the Futuan River Basin of Rizhao City under the “7·20” extreme rainstorm scenario. The two schemes that the rainstorm center is located in Sanzhuang Town in the upper reaches of the Futuan River and Rizhao street of the downtown area in the lower reaches are proposed. A comparison and analysis of the flood impact of two schemes is provided. According to the findings of this study, both Rizhao Reservoir and Maling Reservoir in the watershed experienced inflow flood peaks that exceeded their historical maximums under the two schemes. The overall disaster area of downstream social–economic zone was 151.96 km<sup>2</sup> and 166.02 km<sup>2</sup> respectively. When the center of the rainstorm was situated in the urban area, there was an increase in average submerged depth of the downstream area from 0.46 m to 0.73 m, resulting in a rise of 9.3 percent in damage area within the social–economic zone. Under the current engineering conditions, in the event of an extreme rainstorm in the Futuan River of Rizhao City, floods will pose a significant threat to numerous residential areas, critical institutions and infrastructure. Therefore, it is imperative to develop emergency plans and conduct pre-flood drills based on scenario analysis for such extreme rainstorm events.

**Keywords:** “7·20” extreme rainstorm; rainstorm transplantation; Futuan River Basin; flood simulation; flood risk map

责任编辑 姚力玮 张心怡