

文章编号:1671-6833(2023)02-0038-08

# 郑州“7·20”特大暴雨内涝成因及灾害防控

刘家宏<sup>1,2,3</sup>, 裴羽佳<sup>1,2</sup>, 梅超<sup>1,3</sup>, 刘昌军<sup>1,3</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100038; 2. 北京工业大学 城市建设学部,北京 100124; 3. 水利部数字孪生流域重点实验室(筹),北京 100038)

**摘要:**当前全球气候变化导致洪涝灾害频繁发生,尤其一些高强度、极端性的城市降水洪涝事件更是严重损害了人民群众的生命财产安全。郑州“7·20”特大暴雨内涝灾害是新中国成立以来最严重的城市内涝灾害,国内外专家学者对暴雨的特性及成因、内涝形成机理与防治途径等开展了大量研究。系统回顾郑州“7·20”特大暴雨城市内涝灾害,梳理了近年来城市内涝及郑州“7·20”特大暴雨内涝灾害的相关研究和主要成果,解析了郑州“7·20”特大暴雨的重现期、时空分布、形成机理等特性;分析了内涝形成机理与防治途径以及城市排水防涝基础设施、洪涝应急指挥、风险管理和城市规划中存在的主要问题。“7·20”特大暴雨具有极端性和难预测性的特点,其中单日和累积降水均超过历史极值。台风、地形以及“雨岛效应”的耦合影响造成了此次强降水天气过程。“7·20”特大暴雨城市内涝灾害暴露出郑州城区排水防涝基础设施、建设存在明显短板,河道防御体系存在瓶颈,应急设施和管理能力不足等问题。基于上述问题,应适当调整内涝防治标准,增强洪涝风险管理与规划建设管控措施,建设外洪内涝同防控的工程体系,加强城市洪涝智慧调度与应急指挥决策等方面的能力。

**关键词:**郑州“7·20”特大暴雨;内涝灾害;应急管理;洪涝协同防控;风险管理

中图分类号:TU992

文献标志码:A

doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2023.02.019

全球气候变化引发的极端天气气候事件在近年来越来越频繁、强烈,对社会经济系统和人民群众的生命财产安全造成了严重的危害和损失。在2021年7月17—23日,河南省遭遇历史罕见特大暴雨,引发了极为严重的城市内涝灾害,其中以7月20日突发的郑州市“7·20”城市内涝灾害最为极端突出。此次灾害致使郑州市380人死亡、失踪,占全省95.5%;直接经济损失高达409亿元、占全省34.1%<sup>[1]</sup>,为历史罕见的重大人员伤亡和财产损失。降水造成郑州市金水河、贾鲁河等多处河道发生漫溢,且市区郑州大学第一附属院、阜外华中心血管病医院、地铁五号线、京广北路隧道等多处积水严重。暴雨洪涝及其诱发的次生灾害是造成人员伤亡的元凶。2022年7月16日,四川绵阳北川县突发山洪,造成6人死亡、12人失联;8月13日,彭州龙漕沟又发生山洪,造成7人死亡、8人受伤,近期接连发生的洪涝灾害事件引起研究者关注。

本文拟系统梳理近年来城市内涝及郑州“7·20”特大暴雨内涝灾害的相关研究和主要成果,解

析“7·20”特大暴雨洪涝特征和可预报性,摸清洪涝成因与防洪排涝设施现状,从洪涝防治标准、洪涝风险管理、外洪内涝协同防控、洪涝指挥调度和应急指挥决策等方面,提出城市外洪内涝防治的思路建议,为城市应对超标降雨提供决策参考。

## 1 暴雨特性及其可预报性研究

### 1.1 暴雨重现期

2021年7月17日8时—23日8时,郑州市大部分地区降水量在400 mm以上<sup>[2]</sup>,过程累计雨量接近或超过年平均降雨总量。国务院调查组完成的郑州“7·20”洪涝分析专题报告显示,全市平均过程累计降雨量534 mm,达到郑州国家气象站年平均降雨量(640.8 mm)的83%。日、小时降雨强度突破历史极值,郑州国家气象站19—21日累计降雨量787.9 mm,超过3 d累计雨量历史极值218.0 mm,郑州国家气象站最大日降雨量624.1 mm,为建站以来最大日降雨量的3.5倍。郑州国家气象站最大小时降雨量达201.9 mm,突破中国大陆气象观测记录

收稿日期:2022-10-17;修订日期:2022-11-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51739011,52192671);国家重点实验室基金项目(SKL2022TS11)

作者简介:刘家宏(1977—),男,湖北钟祥人,正高级工程师,主要从事城市水文学研究,E-mail:liujh@iwahr.com。

引用本文:刘家宏,裴羽佳,梅超,等.郑州“7·20”特大暴雨内涝成因及灾害防控[J].郑州大学学报(工学版),2023,44(2):38-45.(LIU J H, PEI Y J, MEI C, et al. Waterlogging cause and disaster prevention and control of “7·20” torrential rain in Zhengzhou [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023,44(2):38-45.)

历史极值。强降雨集中,雨强突然增加,本次极强降雨集中于 19—20 日,其中 20 日 15—18 时雨强猛增,迅速突破历史极值。综上所述,本轮降雨是郑州有气象观测记录以来影响范围最大、极值雨强最强的一次特大暴雨过程,暴雨持续时间长、累计雨量大、短时降雨极强。

依据 P-III 型分布曲线模型,1 h 降雨重现期最大点出现在郑州国家气象站,降雨量达 201.9 mm,约为 300 a 一遇。

### 1.2 暴雨时空分布特征

从河南全省范围看,17—18 日降雨先在北部(焦作、新乡、鹤壁、安阳)出现,局部地区降雨达到大暴雨量级,19—20 日降雨加强,暴雨中心南移,在郑州发生长时间、高强度的特大暴雨,21—22 日暴雨中心再次北移至河南北部(新乡、鹤壁、安阳),23 日降雨逐渐减弱。

从郑州市范围看,郑州市降雨时段为 17—22 日,此次降水过程呈现显著的多峰结构<sup>[2]</sup>。最强降雨时段为 19 日下午—21 日凌晨。17—18 日出现分散性弱降雨,18 日下午到夜里,强降雨首先出现在郑州西部的巩义、登封市。19 日上午减弱(图 1(a)),19 日下午到夜间,巩义、荥阳、登封、新密等市的降雨再次加强(图 1(b))。20 日凌晨降水从郑州西部开始,暴雨中心逐步向东移动加强,20 日中午后强降雨向城市中心区及新密市北部汇集,降雨强

度激增,20 日 14—15 时,郑州城区最大降水量出现在中原区(图 1(c)),20 日 15—16 时,城区最大降水量出现在中原区和二七区(图 1(d)),16—17 时,郑州国家气象站出现 201.9 mm 的极强降雨,16—18 时,有 18 站次小时降雨量超过 100 mm,21 日凌晨降雨减弱。21 日白天—22 日上午,郑州市再次受分散性强降雨影响。郑州西部 20 日凌晨到上午开始出现山洪灾害,郑州市辖区下午开始出现严重内涝,与暴雨中心的发展过程吻合。

郑州市区是此次暴雨下受灾最严重的区域之一。城市中心的高楼大厦和人类活动导致热量排放增加,引起或加强城区地表及近地面的气温高于周边郊区,所以城市中心热岛效应显著。另一方面,城市上空凝结核多于郊区,再加上城市热岛环流导致的气流辐合上升,城市降水增强,造成“雨岛效应”<sup>[3]</sup>。研究表明,郑州市中心城区雨岛效应在 1960—2020 年期间呈年际增强趋势,增强趋势自 2020 年起会持续至未来 4 到 10 年<sup>[4]</sup>。这与此次降雨中,降雨量由郊区向市中心递增(图 2),20 日最大降水出现在中心城区(图 1(d)),且 24 h 降雨大于 500 mm 的区域集中于郑州市中心城区(图 2)相呼应。

### 1.3 暴雨形成机理与可预报性

(1)暴雨形成机理。针对“7·20”郑州极端暴雨事件,专家学者从多个角度进行了细致的研究梳理。

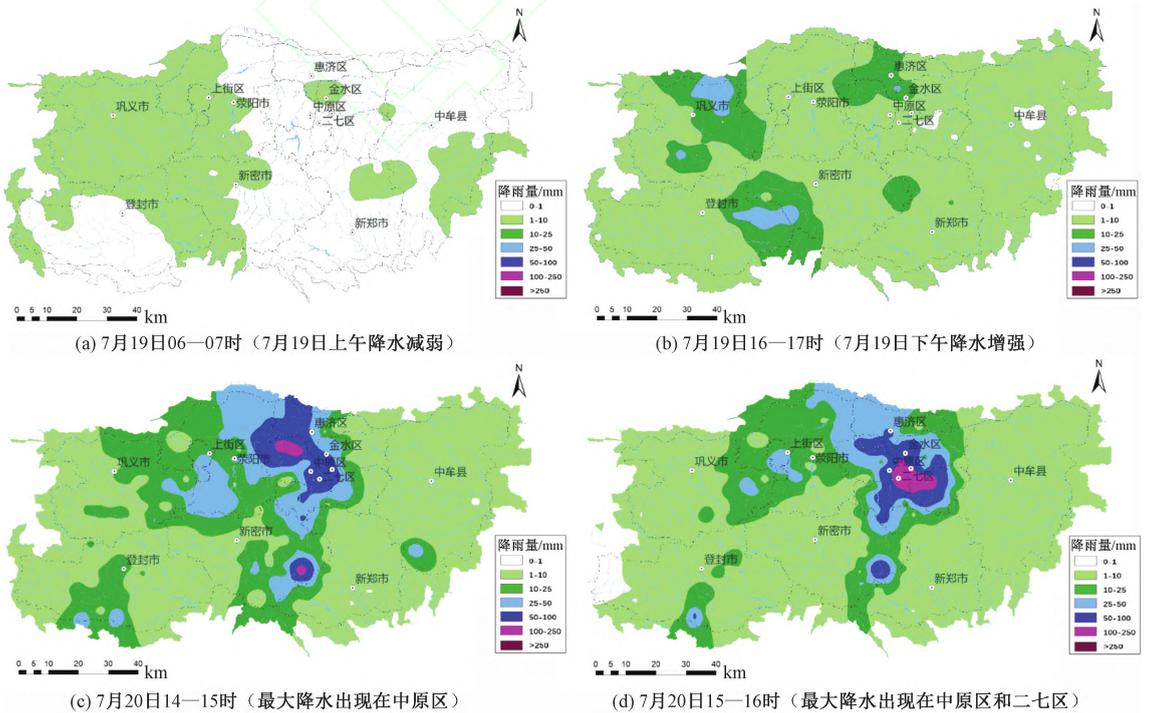


图 1 郑州市 7 月 19—20 日降水过程图

Figure 1 Precipitation process diagram of Zhengzhou from July 19 to 20



图2 郑州“7·20”暴雨各区县24 h累计雨量排序图和24 h大于500 mm的范围

Figure 2 Distribution of 24 h accumulated rainfall in Zhengzhou “7·20” rainstorm and the area with high daily precipitation of more than 500 mm

如使用遥感数据光流场、WRF模式、动力学、统计学等多种手段和方式,分析此次暴雨特征和过程<sup>[5-7]</sup>。主要分析结果如下:本轮降水受“烟花”、“查帕卡”双台风共同作用,在异常偏北偏强西太平洋副热带高压的挤压下,形成了强劲稳定的水汽西送通道,又遭受太行山、伏牛山的抬升效应和偏北偏强大陆高压的迎头拦挡<sup>[8]</sup>,加上不同时空尺度上的天气系统耦合作用叠加地形影响,造成了此次极端强降水天气过程<sup>[7]</sup>。

(2)可预报性。近年来,虽然天气预报的精度和准确率随着数值模式的发展不断提升,但是数值预报方法在强降水和极端暴雨的预报方面仍有一些可提升的空间。截至目前,极端暴雨的精准预报仍是世界性难题,有报道认为中国24 h晴雨预报准确率可达到88%,但这只是定性的晴雨预报。暴雨数值预报的准确率一直不高,即使是在美国等发达国家,24 h的暴雨预报准确率也仅在22%~23%。预报结果,特别是极端特大暴雨预报的不确定性增加了预警决策的难度。郑州“7·20”极端暴雨事件后,也有研究人员利用WRF-SWMM气象水文耦合预报模型对郑州市城区降水和洪峰进行了“预报”<sup>[9]</sup>,但该研究仍属于事后模拟推演,其“预报”精度如何尚难验证。总之,极端特大暴雨的预报仍是世界性难题。

## 2 城市内涝原因

喻海军等<sup>[10]</sup>和章卫军等<sup>[11]</sup>通过模型手段对郑州市暴雨洪水过程进行复盘,模拟分析了城区洪涝过程。总体看来,城市中心极端强暴雨在城区形成大面积快速坡面汇流,远超城市排水防涝设施能力和城市河道防洪标准,是导致城市内涝的主要因素。本次内涝灾害暴露出郑州市的城市排水防涝和管理

体系仍然存在诸多短板。

### 2.1 排水防涝基础设施短板

(1)排水管网建设发展不平衡。2014—2020年底郑州市新增排水干管长度700.7 km,2020年底总长度2456.8 km,新增干管主要集中在主城区。2014—2020年,老城区现状排水管网仅完成预定改造目标的38.9%,改造长度仅35.3 km。尽管新建管网增加,但是老城区管网升级改造严重滞后。

(2)雨水调蓄规划与建设运行脱节。截至2020年,郑州市已建成雨水调蓄设施31处,总调蓄能力307.9万 $m^3$ 。仅铁路苗圃公园、净秀公园2处雨水调蓄设施属于《郑州都市区排水(雨水)防涝综合规划(2015—2030年)》中的规划项目,共增加调蓄能力1.3万 $m^3$ 。其他调蓄设施均与规划不符,且规划外建设项目布局不尽合理,对实现规划范围内蓄排平衡的目标明显无效果。郑州龙湖本来规划为城市雨水调蓄设施,但建设时北侧雨水管道均反向排入魏河,增加了魏河的排涝压力,实际运行中没有发挥应有的雨水调蓄作用。

(3)行泄通道建设和泵站能力未达标。郑州是中国最大的铁路/公路交通枢纽,京广铁路、京广高铁、连霍高速公路、京港澳高速公路、陇海铁路等线状设施将城市排水区分割得“支离破碎”,跨越线状设施一般靠暗涵和泵站,超标排涝能力不足。目前主城区已运行立交排涝泵站有40%不达标。道路超标雨水行泄通道建设迟缓,至2020年,主城区道路行泄通道的建设数量、长度及设计过流能力,均未达到规划的预定目标。2020年,主城区的明沟综合治理总长8.6 km,远未达到规划治理总长41.1 km的预定目标。

### 2.2 河道防御体系存在瓶颈卡口

郑州市主城区现有的贾鲁河、金水河、东风渠等10条排涝河道,基本情况见表1,除贾鲁河外其他河道实际排涝能力仅为10~50 a一遇,远低于50~100 a一遇的规划标准(图3)。贾鲁河上中游段虽然治理达标,但中牟以下段尚未治理完成,且陇海铁路桥至大王庄弯道段规划治理标准仅20 a一遇,排水不畅,部分河段有顶托现象,影响郑东新区东部排涝效果,本次“7·20”暴雨期间本段有3处漫溢或决口(图3)。

河道内的阻水建筑物、瓶颈卡口部位较多,如金水河内的帝湖下游出口处、大学北路桥处、北闸口铁路桥处和大塘水上餐厅4处瓶颈卡口等,贾鲁河内的新魏河(魏河改线)出口下游200 m处的漫水桥、京广铁路桥桥下河段淤积等,这些瓶颈卡口的存

在雍高了河道水位,降低了河道的排涝能力。

表 1 郑州河道情况

Table 1 River channel in Zhengzhou

河道名称	长度/ km	最大过流 能力/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	现状防洪标准 (重现期/a)	治理目标 (重现期/a)
贾鲁河	137.0	1 087	20~100	50~100
金水河	28.2	131	5~20	50
熊耳河	19.1	176	50	50
东风渠	19.7	405	50	50
新魏河	27.6	66	50	50
魏河故道	9.3	32	5~50	50
十七里河	23.7	374	50	50
十八里河	24.8	546	50	50
七里河	22.1	994	20~50	50
潮河	35.5	572	20~50	50



图 3 主城区河道现状排涝能力及贾鲁河下游决口位置示意图  
Figure 3 Schematic diagram of current drainage capacity of river channels in the urban area and the location of the breach in the lower reaches of Jialu River

### 2.3 应急设施和管理能力不足

(1)城市洪涝应急设施能力不足。郑州“7·20”暴雨强度大、产流快、积水涨势猛,主城区的内涝灾害呈多点爆发式出现,现有临时抢险救援能力难以应对超标洪水。管网排水能力整体较低<sup>[12]</sup>,郑州市区当时的总应急抽排能力约为 74 410 m<sup>3</sup>/h。“7·20”暴雨使小区地下空间累计淹水量约为 3 000 万 m<sup>3</sup>,即使外围排水通道通畅,且全部设备投入小区地下空间排涝,排空地下空间积水需 405 h (约 16.9 d),凸显了郑州市应急排涝能力的不足。

(2)郑州排涝工程管理体系复杂,统筹协调不足。郑州市城市河道管理机构分 3 级,包括河道管理处、管理科(管理所)和管养公司(或施工单位)。郑州市城区 10 条河道分属不同部门和单位管理,河道管理结构及分段管理图见图 4 和图 5。同一条河流上下游分属 2~3 个部门管理,沟通协调层级多、难度大。例如东风渠就涉及市水利局、市城管局、郑东新区水务局 2 个主管部门,4 个二级单位,8 家管养公司。部门和管理单位之间相互独立,全市没有统一管理河道的部门。城市防汛指挥部仅在防汛期

间发挥作用,日常沟通演练不足,战时统筹协调难度大。

城市管网、明沟等市政排水防涝设施管理工作由城市管理局牵头,涉及 18 个主管单位和 22 个管理责任单位。郑州市雨水管道管理单位多,“碎片化”问题严重。

(3)城市防汛应急预案有待完善。2021 年度《郑州市城市防汛预案》中预警信息发布范围为相关部门管理层、现场执行层,未明确规定要向社会公众发布预警信息。现有的预案在早期风险感知等方面明显不足,多以出现严重后果为启动条件。例如《郑州市防汛应急预案》规定启动 I 级响应的条件之一为“常庄水库发生重大险情,或位置重要的中小型水库发生垮坝”,垮坝是低概率高损失事件<sup>[13]</sup>,一旦发生将造成严重的不良影响。这样的启动条件设置往往导致应急响应启动偏晚,错失灾害链阻断和主动避险的良机。此外,不少区级城市防汛预案与本区实际情况结合不密切,部分水管单位存在防汛预案不具体、可操作性不强等问题。

## 3 城市内涝治理

### 3.1 内涝防治标准

城市排水防涝及防洪主要包括 3 个系统:市政排水管网、内涝防治系统和河道行洪系统。其中,市政排水管网属于市政部门,内涝防治系统属于住建或城管部门,河流行洪系统属于水利部门。3 个系统规划建设衔接不畅,忽略了 3 者的整体性,彼此之间标准不一致<sup>[14]</sup>。市政排水侧重于管网建设,以《室外排水设计标准》为依据,针对城区一般市政道路上形成的地表产流进行快速排除;内涝防治系统针对城市标准内暴雨问题,以《城镇内涝防治技术规范》为依据;水利防洪排涝侧重于城市内河水系建设,以《防洪标准》、《治涝标准》为依据,解决城市内河水系防洪排涝问题。城市市政排水管网、内涝防治系统与河道行洪系统是密不可分的,前两者的功能发挥是建立在河道行洪安全的前提下。随着城市面积的扩大,管网、内涝、外洪 3 者“互动”越来越频繁,3 者互为边界条件,协调联动的重要性不可忽视。

城市排水防涝防洪规划要以设计暴雨条件下市政排水和水利防洪排涝系统达标为目的,即暴雨过程中,既要提升城市“不积水”“不内涝”阈值<sup>[15]</sup>,又要保证城市上游流域河堤防洪安全。在衔接 3 种系统标准时,需要遵循“流量衔接”和“水位衔接”原则。“流量衔接”即河道行洪流量的设计标准要与

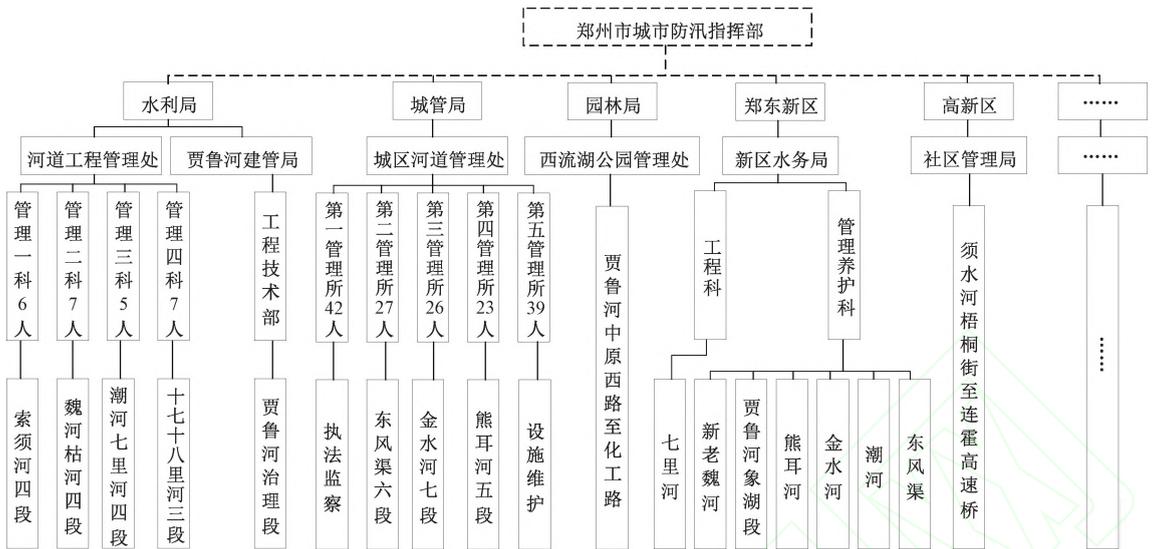


图4 河道管理单位组织结构图

Figure 4 Organizational chart of river course management unit

图,也可以为城市暴雨洪涝风险管理提供决策依据。

(2)规划建设管控。水域空间管控:过去30年来,建设用地由13.43%增加到58.50%,水系格局因此发生改变,郑州城市空间规划中,应形成河流与绿地串联的景观格局,在利用现有林地和水面促进河流生态保护的同时,保持河网稳定性<sup>[16]</sup>。确定城市安全底线:须优化城市空间布局规划,准确识别洪涝风险区域和等级,将空间区域划分为安全区、低风险区、中风险区、高风险区和极高风险区,从土地利用策略的角度,确定不同洪涝风险等级的空间对应的开发强度和防治措施,明确防洪排涝基础设施的空间布局 and 规模<sup>[17]</sup>。城市洪涝韧性提升:落实洪涝风险管理理念,打造洪涝韧性城市,实现洪涝风险可控,要点是在城市规划建设的过程中,针对洪涝潜在风险区域进行生命线等基础设施的主动防护,开展规划和重大建设项目洪涝安全评估工作、全面推进城市竖向高程规划,做好竖向高程系统与防洪排涝系统的衔接<sup>[18]</sup>。

### 3.3 外洪内涝协同防控工程体系

内涝一般是指主城区内部因暴雨形成的涝水;外洪一般是指城区上游流域产生的洪水。针对超标降雨,城市排水防涝系统能力难以满足需求,须从整个流域的尺度范围,全面疏截城外洪水并调蓄城内涝水,从而避免形成内涝外洪相互叠加的不利局面。流域洪涝共治须遵循“上游洪水拦截、城区涝水蓄滞、下游洪涝排泄”的系统雨洪疏解思路<sup>[18]</sup>。

(1)上游洪水拦截举措。应尽量提高上游水库的防洪能力,同时优化水库的调度方式,深入挖掘水库的防洪潜力;方法上采用错峰缓洪,以避免上游洪

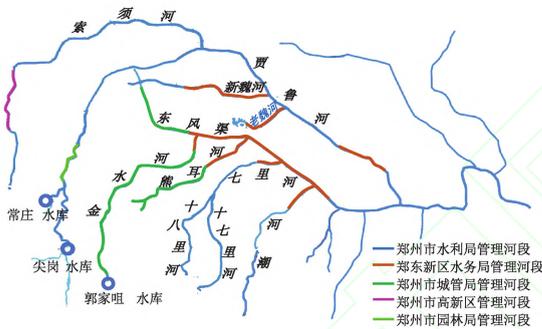


图5 郑州市城市防汛分段管理示意图

Figure 5 River sections of management units in Zhengzhou

上流来水流量和“城市管网+超标雨水排放通道”的总流量匹配,而不是各自分别匹配;“水位衔接”即城市管网和排水明沟与河道连接点的设计水位应该是对应暴雨情景下的河道洪水位,而不应简单假定为河道正常运行水位。只有满足“流量衔接”和“水位衔接”要求,才能避免设计工况下的“河道顶托”现象,保证设计排涝能力即为实际运行时的排涝能力。

### 3.2 洪涝风险管理与规划建设管控

(1)洪涝风险管理。洪涝风险管理首先要识别不同洪涝灾害类型及其风险区范围;其次要感知临近的危险,并及时发布预警,使公众认识到危险发生的紧迫性与严重性;第三,城市防洪排涝措施是暴雨洪涝事件之中的关键承灾体,隐患排查与除险加固,是优化洪涝风险管理的关键性措施之一;第四,增强供电、供气、供油、交通、通讯、互连网络等生命线系统的韧性,保障灾害场景下能够快速修复受损的系统<sup>[7]</sup>。构建暴雨洪涝灾害模型,编制城市洪涝风险

水与城区内涝的叠加风险。对于郑州市,主要可采取建设截洪沟方式,将上游区间的洪水分流至贾鲁河,从而分散和缓解城区内河的防洪压力。

(2)城区涝水蓄滞举措。在城区有限的空间内新增雨洪调蓄池较为困难。因此,应充分发挥城区现有的调蓄空间,如公园、绿地、水生态等,打通与地面积水之间的连接通道,从而延长城区内部的雨洪蓄滞存留路径,降低雨洪转移至城市内河及下游地区的速度,从而有效削弱防洪压力。

(3)下游洪涝排泄举措。此举措主要针对河道内洪水,郑州市应尽量疏导城区行洪河道的卡口,从而提高金水河、七里河与贾鲁河汇合口的过流能力,进而增加贾鲁河主城区下游河段在郑州市主城区区间的行洪能力,保障行洪顺畅<sup>[18]</sup>。

### 3.4 城市洪涝智慧调度与应急指挥决策

智慧化手段是未来城市洪涝调度的发展趋势,对于精细化和科学化应对灾害十分必要。洪涝多发地区已经将人工智能、大数据、“互联网+”等核心技术引入城市洪涝的信息化建设中来<sup>[19]</sup>。随着城市洪涝模型的精细化程度和精度不断提高<sup>[20]</sup>,城市洪涝智慧调度水平也不断提高<sup>[21]</sup>。深圳市基于城市洪涝模型和智慧城市大数据平台,设计了洪涝预警调度业务系统<sup>[22]</sup>。在气候变化背景下,郑州等北方城市也应参照南方洪涝频发城市的做法,加强城市洪涝智能预警与智慧调度系统建设。

河南“7·20”灾害由极端天气引发,同时在应急指挥行动上存在一定的问题和不足,既是“天灾”,又有“人祸”。在应急指挥决策的行动中,应融合先进技术提升预警精度和预见期,建立多手段监测系统,避免监测失灵现象,充分重视预警的作用,明确规定预警信号级别及对应的应急行动措施,避免出现应急响应严重滞后、应对部署不及时的现象。整合应急主体响应程序,让所有应急主体协调参与应急响应,明确各应急主体的防汛责任,并落实各方责任,做到联防联控,及时阻断洪涝灾害链,分散化解洪涝风险。此外,要防患未然,落实防汛应急演练,提前进行物资储备、明确转移路线<sup>[23]</sup>。

## 4 结论和建议

郑州“7·20”特大暴雨内涝灾害是新中国成立以来最严重的城市内涝灾害,本文系统梳理了郑州“7·20”特大暴雨内涝灾害的暴雨特性及其可预报性、城市内涝原因和城市内涝治理等方面的研究成果和主要观点,形成结论和建议如下。

(1)“烟花”“查帕卡”双台风共同作用,叠加异

常偏北偏强西太平洋副热带高压和太行山、伏牛山的抬升效应影响,造成郑州“7·20”特大暴雨远超历史记录,1 h降雨最大重现期约为300 a一遇,出现在郑州国家气象站;本次降水的城市“雨岛效应”显著,24 h降雨大于500 mm的区域主要集中于郑州市的中原区、金水区和二七区。

(2)本次内涝灾害暴露出郑州市的城市排水防涝和管理体系仍然存在诸多短板,包括:排水防涝基础设施规划建设脱节、河道防御体系存在瓶颈卡口、应急设施和管理能力不足等。

(3)建议健全完善城市排水管网、雨水调蓄、行洪通道等排水防涝基础设施建设,协调城市内涝、外洪防治标准,做到“流量衔接”和“水位衔接”;强化城市洪涝风险管理与规划建设管控,编制城市洪涝风险图,严格落实规划管控指标和评估机制;构建外洪内涝协调防控工程体系,完善城市排涝工程管理体系,建立高效、有序、协调、统一的防汛应急管理机制;以城市洪涝模型为核心,将城市洪涝智慧调度系统和信息技术相结合,建设城市洪涝联防联控应急指挥决策智能化系统,破解监测预警失灵、洪涝防治脱节等技术难题。

### 参考文献:

- [1] 新华社.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告公布[J].中国防汛抗旱,2022,32(2):5.  
Xinhua News Agency. Investigation report on "7·20" torrential rain disaster in Zhengzhou, Henan province [J]. China Flood Control and Drought Relief, 2022, 32(2): 5.
- [2] 王振亚,姚成,董俊玲,等.郑州“7·20”特大暴雨降水特征及其内涝影响[J].河海大学学报(自然科学版),2022,50(3):17-22.  
WANG Z Y, YAO C, DONG J L, et al. Precipitation characteristic and urban flooding influence of "7·20" extreme rainstorm in Zhengzhou [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(3): 17-22.
- [3] 罗鑫珺,陈明星.城镇化对气候变化影响的研究进展[J].地球科学进展,2019,34(9):984-997.  
LUO X Y, CHEN M X. Research progress on the impact of urbanization on climate change [J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(9): 984-997.
- [4] 胡彩虹,刘成帅,李想,等.雨岛效应多方法集成评估及其量化研究[J/OL].水资源保护:1-15.  
HU C H, LIU C S, LI X, et al. Study on evaluation method system of rain island effect and its application [J/OL]. Water Resources Protection: 1-15.
- [5] 冉令坤,李舒文,周玉淑,等.2021年河南“7·20”极端暴雨动、热力和水汽特征观测分析[J].大气科学,

- 2021,45(6):1366-1383.
- RAN L K, LI S W, ZHOU Y S, et al. Observational analysis of the dynamic, thermal, and water vapor characteristics of the "7.20" extreme rainstorm event in Henan province, 2021 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 45(6):1366-1383.
- [6] YIN J F, GU H D, LIANG X D, et al. A possible dynamic mechanism for rapid production of the extreme hourly rainfall in Zhengzhou city on 20 July [J]. Journal of Meteorological Research, 2022, 36:6-25.
- [7] 任宏昌, 张恒德. 郑州“7·20”暴雨的精细化特征及主要成因分析 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(5):1-9.
- REN H C, ZHANG H D. Refined features and main causes of "7·20" rainstorms in Zhengzhou [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(5):1-9.
- [8] 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.
- CHENG X T, LIU C J, LI C Z, et al. Evolution characteristics of flood risk under changing environment and strategy of urban resilience improvement [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2022, 53(7):757-768.
- [9] WANG H L, HU Y X, et al. Urban flood forecasting based on the coupling of numerical weather model and stormwater mode: A case study of Zhengzhou city [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2022, 39:123-135.
- [10] 喻海军, 陈小兰, 刘昌军, 等. 郑州中心城区 2021 年“7·20”特大暴雨洪涝复盘模拟分析 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(5):11-15.
- YU H J, CHEN X L, LIU C J, et al. Retrospective simulation and analysis on "7·20" extreme rainstorm and flood in central urban area of Zhengzhou city [J]. China Flood & Drought Management, 2022, 32(5):11-15.
- [11] 章卫军, 廖青桃, 杨森, 等. 从郑州“2021.7.20”水灾模型推演看城市洪涝风险管理 [J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(9):1-4.
- ZHANG W J, LIAO Q T, YANG S, et al. Thoughts and inspirations: urban flood risk management inferred from Zhengzhou "2021.7.20" flood model [J]. China Flood & Drought Management, 2021, 31(9):1-4.
- [12] 张金萍, 张朝阳, 左其亭, 等. 极端暴雨下城市内涝模拟与应急响应能力评估 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, (44)2:30-37.
- ZHANG J P, ZHANG Z Y, ZUO Q T. Urban waterlogging simulation and emergency response capacity evaluation under extreme rainstorms [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, (44)2:30-37.
- [13] 葛巍, 焦余铁, 洪辛茜, 等. 基于 AHP-BN 法的溃坝生命损失风险评价 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2021, 42(3):8-12.
- GE W, JIAO Y T, HONG X Q, et al. Risk assessment of life loss caused by dam breach based on AHP-BN method [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2021, 42(3):8-12.
- [14] 刘曙光, 郑伟强, 周正正, 等. 极端暴雨下城市地下空间洪涝风险及灾害防控 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(2):22-29.
- LIU S G, ZHENG W Q, ZHOU Z Z, et al. Flood risk and control in urban underground spaces under extreme rainfall. [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, (44)2:22-29.
- [15] 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.
- LIU J H, MEI C, SHAO W W, et al. Three thresholds for the bearing capacity of urban drainage and flood control infrastructures [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2022, 53(7):789-797.
- [16] WANG H X, HUANG L T, HU J W, et al. Effect of urbanization on the river network structure in Zhengzhou city, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(4):1-15.
- [17] WANG K, WU Y, FAN D Q. Construction of rainstorm security pattern based on waterlogging prevention and control: A case study on Zhengzhou city [J]. Alexandria Engineering Journal, 2022(61):8911-8918.
- [18] 邝敏毅, 邓兴栋, 朱理铭, 等. 洪涝风险管控从空间总体规划向控规传导——广州的实践与探索 [J]. 水利学报, 2022, 53(7):779-788, 797.
- KUANG M Y, DENG X D, ZHU L M, et al. Flood risk management transmission from spatial master planning to regulatory planning——practice and exploration in Guangzhou. Journal of Hydraulic Engineering [J]. 2022, 53(7):779-788, 797.
- [19] 万海斌, 杨昆, 杨名亮. “互联网+”背景下我国防汛抗旱信息化的发展方向 [J]. 中国防汛抗旱, 2016, 26(3):1-3, 11.
- WAN H B, YANG K, YANG M L, et al. Development direction of flood control and drought information under the background of "Internet+" [J]. China Flood & Drought Management, 2016, 26(3):1-3, 11.
- [20] SUN Y, LIU C S, DU X, et al. Urban storm flood simulation using improved SWMM based on k-means clustering of parameter samples [EB/OL]. (2022-06-15) [2022-08-13]. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12826>.
- [21] HU C, XIA J, SHE D X, et al. A new urban hydrological

model considering various land covers for flood simulation [J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 603, 126833.

[22] 韩刚,王常效,刘业森,等. 深圳市洪涝预警调度系统建设方案及实现[J]. *中国防汛抗旱*, 2020, 30(11): 14-19, 42.

HAN G, WANG C X, LIU Y S, et al. Construction plan and implementation of flood early warning and dispatching system in Shenzhen city [J]. *China Flood & Drought Management*, 2020, 30(11): 14-19, 42.

[23] 湛舟颖,孔锋. 河南郑州“7·20”特大暴雨洪涝灾害应急管理碎片化及综合治理研究[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2022, 53(8): 1-14.

CHEN Z Y, KONG F. Study on fragmentation of emergency management during "7·20" extreme rainstorm flood disaster in Zhengzhou of Henan province and relevant comprehensive treatment [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2022, 53(8): 1-14.

## Waterlogging Cause and Disaster Prevention and Control of “7·20” Torrential Rain in Zhengzhou

LIU Jiahong<sup>1,2,3</sup>, PEI Yujia<sup>1,2</sup>, MEI Chao<sup>1,3</sup>, LIU Changjun<sup>1,3</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, China; 2. Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 3. Key Laboratory of River Basin Digital Twinning of Ministry of Water Resources, Beijing 100038)

**Abstract:** Recently, the global climate has changed sharply, which led to frequent floods. The specific high-intensity and extreme rainfall, and the consequent flood events occurred in the urban areas have damaged the safety and property of residents seriously. There was a torrential rainfall event happened in Zhengzhou on July 20th, 2021, which caused the most serious urban pluvial flood disaster since 1949 in China. Many studies have been done to explore the cause and mechanism of formation as well as the characteristics of the serious rainstorm, in order to improve the urban flood prevention and control. This study systematically reviewed the urban flooding disaster of “7·20” in Zhengzhou, analyzed the research and main results of urban waterlogging in recent years and focused on the Zhengzhou “7·20” torrential rain waterlogging disaster, analyzed the return period, spatial-temporal distribution and formation mechanism of the storm event. This study analyzed the mechanism of flood formation and prevention, as well as the main problems in urban drainage and flood prevention infrastructure, flood emergency command, risk management and urban planning. The results showed that the “7·20” torrential rain in Zhengzhou had the characteristics of extreme and difficult to predict, and the single-day and cumulative precipitation both exceeded the historical extreme values. The coupling and comprehensive influence of typhoon, topography and “rain island effect”, the heavy precipitation weather process was caused. “7·20” heavy rainfall urban flooding disaster exposed the obvious shortcomings of drainage and waterlogging infrastructure and construction in Zhengzhou city. There were bottlenecks in the river defense system. and inadequate emergency facilities and management capacity. Based on the above problems, it was necessary to adjust the waterlogging prevention and control standards appropriately, to strengthen the flood risk management and planning and construction control measures, build the engineering system of external flood waterlogging and prevention and control, and to strengthen the intelligent dispatching and emergency command and decision-making ability of urban flood.

**Keywords:** Zhengzhou “7·20” torrential rain; waterlogging disaster; emergency management; coordinated flood prevention and control; risk management