

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2022140

徐卫红,刘昌军,吕娟,等.郑州主城区2021年“7·20”特大暴雨洪涝特征及应对策略[J].中国防汛抗旱,2022,32(5):5-10.XU Weihong, LIU Changjun, LYU Juan, et al. Characteristics of “7·20” extreme rainstorm and flood-waterlogging and countermeasures of the main urban area of Zhengzhou City[J].China Flood & Drought Management, 2022, 32(5):5-10.(in Chinese)

郑州主城区2021年“7·20”特大暴雨 洪涝特征及应对策略

徐卫红 刘昌军 吕娟 柴福鑫 曲伟

(1. 中国水利水电科学研究院,北京100038;2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心,北京100038)

摘要:2021年7月17-23日,河南省遭遇历史罕见强降雨,形成了严重的洪涝灾害。郑州市受灾最为严重,因灾死亡失踪人数占全省的95.5%,主城区更是发生了地铁5号线亡人事件等造成重大人员伤亡和引发重大社会影响的灾害。在摸清郑州市主城区洪涝来源、防洪排涝现状的基础上,分析了“7·20”特大暴雨、洪水、内涝的特征。以“7·20”特大暴雨灾害暴露的问题为导向,针对郑州市主城区,提出了降低暴雨致灾力、提升工程防灾力、减小承灾体暴露度、增强城市承洪韧性等应对超标准暴雨洪涝的对策与建议。

关键词:“7·20”特大暴雨;暴雨灾害;洪涝特征;城市防洪;郑州市

中图法分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2022)05-05-05

0 引言

联合国《2000-2019年灾害造成的人类损失》^[1]报告显示:全球自然灾害总数在21世纪前20年大幅攀升,其中,洪水仍是发生频次最高的自然灾害事件,占灾害总数的44%,数量上也比20世纪后20年翻了一番。我国幅员辽阔、地形复杂,是洪涝灾害事件发生最多的国家之一。2000-2020年,我国洪涝灾害直接经济损失年均1 724.4亿元,其中,2010年、2013年、2016年最为严重,高达3 745亿元、3 156亿元和3 643亿元^[2]。自1990年以来,我国洪涝灾害直接经济损失呈增加趋势^[3],这与我国社会经济的高速发展、城市化率不断提高息息相关,更与全球极端天气事件的频繁发生密不可分。

2021年7月17-23日,河南省遭遇历史罕见强降雨,覆盖了郑州、新乡、鹤壁、安阳、焦作等地区,全省因灾死亡

失踪398人,形成了严重的洪涝灾害。在此次“7·20”特大暴雨灾害事件中,郑州市灾害最为严重,因灾死亡失踪人数占全省的95.5%,更是发生了地铁5号线亡人事件、京广快速路北隧道亡人事件、郑州郭家咀水库漫坝事件^[4]、荥阳市崔庙镇王宗店村山洪灾害^[5-6]、郑州阜外医院人员被困事件等造成重大人员伤亡和引发重大社会影响的灾害。《河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告》表明:这是一场因极端暴雨导致严重城市内涝、河流洪水、山洪滑坡等多灾并发,造成重大人员伤亡和财产损失的特别重大自然灾害,总体是“天灾”,具体有“人祸”^[7]。

国务院调查组指出:这有极端暴雨防御难度大的原因,有城市发展快、历史欠账多的原因,也暴露出应对部署不紧不实、应急响应严重滞后、应对措施不精准不得力、关键时刻统一指挥缺失、缺少有效的组织动员等问题。此次灾害过程发生的重大人员伤亡和社会影响事件,尤其是发

收稿日期:2022-04-29

第一作者信息:徐卫红,女,高级工程师,E-mail:xuwh@iwhr.com。

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC1510603、2019YFC1510605、2018YFC1508003);水利部水旱灾害防御战略研究人才创新团队项目(WH0145B0420211)。

生在郑州市主城区的地铁5号线亡人事件,集中暴露了城市发展建设、日常风险防范、临近危险感知、应急救援处置中的众多问题,是此次特大暴雨灾害的一个缩影。笔者在摸清郑州市主城区洪涝来源与防洪排涝现状、分析“7·20”特大暴雨洪涝特征的基础上,以问题为导向,从降低洪涝致灾力、提升工程防灾力、减小承灾体暴露度、增强城市承洪韧性几个方面,提出了适用于应对超标准洪涝的策略与建议。

1 郑州市主城区洪涝来源与防治格局

1.1 地势地形与洪涝来源

郑州市地处华北平原南部、黄河下游,地跨黄河、淮河两大流域,区域范围分别占26%和74%。郑州市属北温带大陆性季风气候,境内年均降水量640.8 mm,降水量由南向北递减。全市地势整体由西南到东北倾斜,由山地、丘陵过渡到平原,且山地、丘陵与平原分界明显。主城区位于郑州市中部偏北区域,夹在西南部低山丘陵与北部黄河之间,现辖中原区、二七区、金水区、惠济区、管城区、郑东新区、高新技术开发区以及经济技术开发区。郑州市地形及主城区位置见图1。

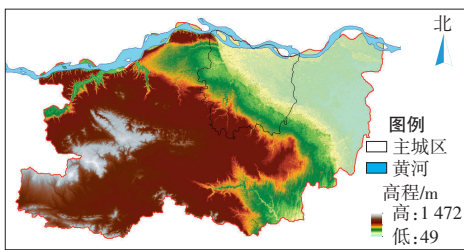


图1 郑州市地形及主城区位置

郑州市境内有大小河流124条,重要的行洪通道包括贾鲁河、双洎河、颍河、枯河、伊洛河、汜水河等。主城区境内有贾鲁河穿城而过,城内有金水河、熊耳河、七里河、魏河、潮河、索须河、东风渠等支流汇入(图2)。这些河流大多发源于西南部的山丘区,河道上游坡降大,洪水流速快;洪水向东北演进出狭谷后,随即进入城市平原区并转向东南,河道坡降变缓,洪水流速变小,水位极易壅高,对主城区内排水管渠等形成顶托。

1.2 防洪排涝格局与能力

目前,郑州市主城区河流上游大多建设了具有防洪功能的水库,包括贾鲁河上游的常庄水库、尖岗水库,金水河上游的郭家咀水库,七里河上游的刘湾水库、苏庄水库,潮

河上游的曹古寺水库、小魏庄水库,索须河上游的河王水库、唐岗水库等(图2)。

主城区主要行洪河道为贾鲁河,城区河段防洪标准达到了50年一遇至100年一遇,但城区下游中牟水文站以下过流能力仅20年一遇。城区内东风渠、魏河、七里河、潮河现状防洪标准为50年一遇。金水河、熊耳河、七里河下游河段、老魏河下游河段防洪标准约20年一遇或不足20年一遇,其中,金水河部分河段存在行洪卡口,过流能力仅5年一遇(图2)。

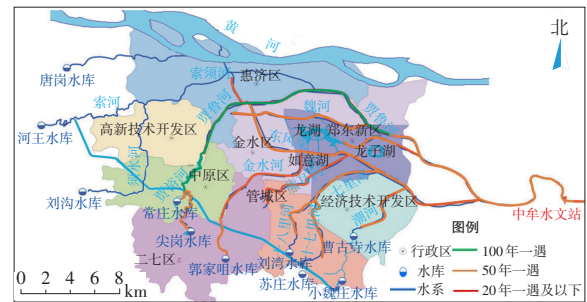


图2 郑州市主城区河流水系及防洪标准

主城区内排水管渠以1年一遇及以下为主,按照重要路段雨水管渠重现期 ≥ 5 a、一般路段重现期 ≥ 3 a,管渠达标率47.95%(摘自《郑州市内涝治理系统化实施方案》)。城区内缺乏针对超标准降雨径流的调蓄空间和排泄通道。

2 郑州“7·20”特大暴雨洪涝特征

2.1 特大暴雨特征

郑州“7·20”特大暴雨持续时间长、覆盖范围广、累计降雨量大、小时雨强强。2021年7月17日8时至23日8时,河南省发生极端暴雨,覆盖了郑州、新乡、鹤壁、安阳、焦作等地区,其中,郑州市27.3%的区域累计降雨量大于600 mm,73.9%的区域累计降雨量大于400 mm,平均累计降雨量高达528 mm,折合水量近40亿 m^3 。7月19日8时至21日8时,郑州市降雨量达到特大暴雨级别(24 h降雨量大于250 mm),最大24 h点雨量高达696.9 mm,超郑州市年平均降雨量(640.8 mm);最大1 h点雨量达到201.9 mm,刷新了我国大陆小时雨强的观测极值(189.5 mm,河南省“75.8”特大暴雨)^[8]。郑州国家气象站“7·20”特大暴雨过程见图3。

郑州市最大24 h点雨量、最大1 h点雨量分别位于主城区上游的尖岗水库地区、主城区境内的二七区。《郑州市市区排水(雨水)防涝综合规划(2012-2030年)》显示,至

2030年,郑州都市区排涝标准达到50年一遇(24 h降雨量199.4 mm)。目前,主城区内38个排涝分区只有1个达到了规划排涝标准,部分分区实际应对降雨能力不足5年一遇。从郑州“7·20”特大暴雨特征来看,无论是日降雨量还是小时降雨量,均远超主城区现有排涝能力和规划排涝标准,呈现超标准降雨的特征。

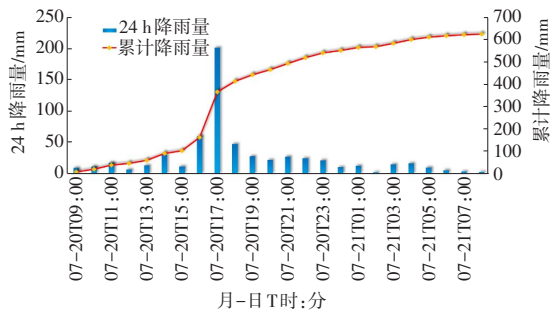


图3 郑州国家气象站“7·20”特大暴雨过程

2.2 河道洪水特征

郑州“7·20”特大暴雨期间,主城区主要行洪通道贾鲁河发生了超保证水位洪水(洪水过程见图4)。贾鲁河中牟水文站洪峰流量608 m³/s,是历史最大流量(245 m³/s)的2.48倍;最高水位79.4 m,超历史最高水位(77.69 m)1.71 m,超警戒水位(77.5 m)1.9 m。面对“7·20”特大暴雨,贾鲁河上游常庄水库、尖岗水库承受了较大的防洪压力,同时,城区也面临上游水库险情的威胁。贾鲁河上游的常庄水库总库容1 708万 m³,“7·20”特大暴雨期间最大3日入库洪量约2 800万 m³,最高库水位131.31 m,超历史最高水位(128.85 m),接近设计洪水位(131.34 m);尖岗水库最高库水位达153.63 m,超历史最高水位(150.39 m)和设计水位(153.01 m)。常庄水库最大入库流量905 m³/s,最大出库流量525 m³/s;尖岗水库最大入库流量1 090 m³/s,出库流量控制在56.4~67.2 m³/s,发挥了拦洪错峰的作用。

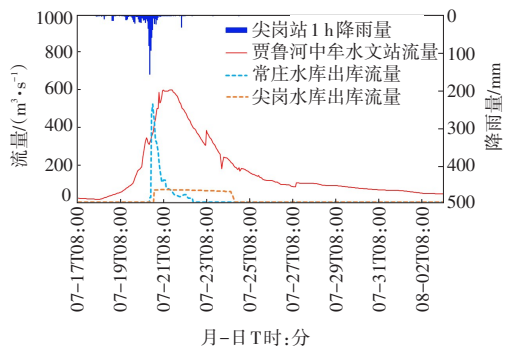


图4 贾鲁河“7·20”特大暴雨期间洪水过程

2.3 城区洪涝特征

郑州“7·20”特大暴雨期间,主城区积滞了大量雨洪。通过分析,7月20日0时至22日0时主城区折合1 010 km²范围内降水总量5.07亿 m³,出境和入境洪量差值1.56亿 m³,城区积滞水量约3.51亿 m³,平均积滞水深0.34 m,主城区内约47.4%的淹没区域在以贾鲁河—南水北调干渠—四环路为界(共377.98 km²)的高度建成区内。大范围的积水造成大量小区地下空间和重要公共设施受淹,多个区域断电断水断网,同时,顺街行洪的涝水形成较高流速,对行人和车辆的安全造成了较大的威胁。

主城区内主要河道多处发生漫溢,形成了洪涝交织的局面。贾鲁河主城区段防洪标准为50年一遇至100年一遇,出主城区后河段过流能力仅20年一遇,上游来水无法安全下泄,部分河段发生漫溢,中牟水文站下游荣庄、付庄、潘店湖3处堤防薄弱段出现溃口,漫溢和溃堤总水量约485万 m³。受行洪卡口、防洪能力不足的影响,金水河航海路至中州大道河段最高水位超出坡顶路面0.66~1.82 m,漫溢水量共计419.3万 m³。老魏河由于河道过流能力不足、入河口行洪不畅,加之受贾鲁河外水的顶托,河道漫溢洪量248.8万 m³。潮河下游由于在建工程施工影响,发生两处漫溢;七里河潮河入汇口上下游河段,由于堤防未达标发生两处漫溢。

3 应对策略与建议

3.1 从流域尺度构建洪涝蓄排格局,降低暴雨致灾力

长期以来,由于防洪与排涝分属不同的部门在管理,行成了“洪归洪、涝归涝”的治理模式。对于城市来说,洪涝是相伴而生的,相互影响、相互作用。面对“日常小雨”,雨水管道、低影响开发设施等“小排水系统”,即可消纳、缓释、排除雨水径流,保障居民宜居性和便利性;针对超过“小排水系统”排水能力的超标准降雨,需要从流域尺度疏截城外洪水、调蓄城内涝水,避免形成洪涝交织的局面。

郑州市主城区的洪水威胁主要来源于西南部山丘区外洪、城内暴雨内涝以及两者的叠加,同时,贾鲁河城区下游河道存在行洪不畅的问题,流域洪涝共治可遵循“拦截上游洪水,蓄滞城区涝水,下游快速泄洪”的雨洪疏解思路。具体来说,进一步提高城区上游尖岗、常庄、郭家咀、刘湾水库的防洪能力,优化水库调度方式,挖掘水库防洪潜力,尽量减少上游山洪的下泄,避免与城区内涝遭遇,减小

城区累积的洪涝风险。水库下游至高密度城区之间的坡面产流,可建设东西向的截洪沟,将部分区间洪水导入贾鲁河,分散、转化城区内河的防洪压力。城区内由于新增雨洪调蓄空间较为困难,可充分发挥龙湖、公园等现有空间,打通地面积水与调蓄空间的连接通道,延长雨洪在城区内部的蓄滞存留,化解雨洪快速转移增加贾鲁河及下游地区防洪压力的困境。针对河道内洪水,需要疏导城区行洪河道卡口,保障金水河、七里河等与贾鲁河汇合口的过流能力,提高贾鲁河主城区下游河段的行洪能力,保障行洪顺畅。

3.2 夯实防洪排涝工程体系,提升工程防灾力

郑州市是国家中心城市、新一线城市。从人口规模来看,第七次全国人口普查结果显示,郑州市人口达到1 260万人,其中,城区常住人口534万人,成为特大城市。根据《防洪标准》(GB 50201-2014),重要城市需达到防御100年一遇至200年一遇洪水的标准,特别重要城市达到防御200年一遇及以上洪水的标准^[9];根据《室外排水设计标准》(GB 50014-2021),特大城市雨水管渠设计重现期为3~5 a,重要地区达到5~10 a^[10];根据《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222-2017),特大城市内涝防治标准为50年一遇至100年一遇^[11]。目前,郑州市主城区的防洪标准、排水标准、内涝防治标准均偏低,需要进一步提升防洪排涝工程的设计标准,使之与城市人口、经济、规模、重要程度相匹配。

水利工程是防洪排涝的基本手段,具有控制洪水危险性的功能,但在暴雨洪涝发生时,水利工程也是首当其冲的承灾体。从成本效益的角度出发,水利工程的设计标准是有限的,加上工程质量不达标、管理维护不到位等问题,面对暴雨洪涝的冲击,工程自身防洪功能可能会失效而成为致灾体。加强防洪排涝工程的建设,保障工程的安全至关重要。可通过以下3方面夯实防洪排涝工程体系:①巩固水利工程的防洪排涝能力,确保有效抵御、排除设计标准内的洪涝。②加强水利工程的日常管理,及时规避风险、消除险情,恢复防洪排涝工程的防灾能力。③提高水利工程的应急抢险水平,通过工程、非工程等手段使其安全或恢复运转。

3.3 提高洪涝风险辨识和预报水平,减小承灾体暴露度

超标准、极端暴雨洪涝是灾害形成的必要条件,但并非唯一条件,另一个重要因素是承灾体。降低洪涝灾害的另一有效途径则是减少致灾范围内与之时空重合的承灾体数量,即降低承灾体的暴露度。造成重大人员伤亡和社

会影响的地铁5号线亡人事件,究其灾害发生原因之一,则是致灾体与承灾体的时空重合。由于在发展建设期间,未统筹停车场及周边的开发规划,导致五龙口停车场处于地势较低位置,“7·20”特大暴雨期间,排水分区内暴雨产生的径流向停车场一带不断汇集;同时,停车场南侧环保路、东侧蓝天路的顺街雨洪不断向道路最低点演进,冲倒了道路最低点旁侧的挡墙(图5),大量涝水涌入五龙口停车场,导致灾害的发生。可通过3个途径实现致灾体与承灾体的时空规避:①在城市发展过程中,超前规避、限制洪涝易发区的开发建设。②在洪涝事件发生前,提前转移可能受威胁的承灾体。③洪涝风险临近时,紧急转移受灾区的生命个体。

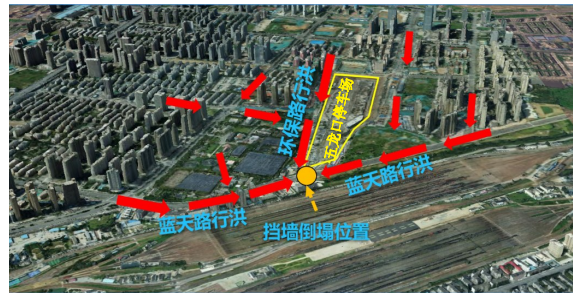


图5 五龙口停车场周边涝水演进示意图

全球气候演变和经济社会的快速发展下,超标准降雨的洪涝风险通常是超出经验与认知范畴的,要降低承灾体的暴露度,需进一步提高以下能力:①加强超标准暴雨洪涝风险的辨识。通过模拟超标准降雨洪涝形成的淹没范围,评估可能造成的直接灾害损失,探究极端灾害连锁性引发的灾害规模,预防城市陷入受灾范围远超受淹范围、损失激增而不可控的险境。②提高承灾体临近危险的实时感知能力。目前,郑州市主要行洪河道水情监测站仅5处,金水河、熊耳河、东风渠等城区内河水情依然靠人工监测,全市435处易涝点监测覆盖率仅15%,需要进一步提高河道薄弱段、重要易涝点监测设备的覆盖率和智能化水平。③提高城市洪涝预报的预见期、精度和效率。目前,郑州市已建设防汛抗旱决策支持系统、城市排涝系统,但预报、预警能力不足,后续可通过构建陆气耦合模型、引入实时校正技术、开发并行计算算法、促进人工智能与模型的深度融合等手段,进一步延长洪涝预见期、提高预报精度,抓住应对、降低特大暴雨洪涝灾害的窗口期。

3.4 增强城市韧性承洪能力,将极端暴雨的影响最小化

面对“7·20”特大暴雨的冲击,灾害的发生不可避免,

减小灾害损失、提高恢复能力至关重要,有效途径是提高承灾体自身的韧性承洪能力。洪涝灾害的承灾体包括生命个体、水利工程、房屋资产以及交通设施、通信设备等。针对交通、通信、供电、供水、供气等生命线系统,可在规划和设计时融入适应洪水的理念,如将重要构筑物悬空挑高等,尽可能避免极端暴雨洪涝发生时生命线系统的失效。同时,制定针对性的应急预案,提高生命线系统的快速修复能力,一旦发生停水、停电、停网等事件,尽快恢复其功能,保持城市的正常运转以及抢险救援的通畅性。

韧性承洪建设既包括基础设施物理层面的,也有应急抢险救援、防灾减灾意识等社会层面的。提升应急救援水平的措施包括:制定完善的超标准洪涝防御预案,制定不同规模险情的应急处置方案,明确紧急转移路径和避难安置场所,提高预警信息的发布和接收能力,加强应急联动响应机制等。针对社会群众,最大限度地公开洪涝风险分布,普及防灾减灾救灾知识,定期开展避险转移演练,对于提升全社会自救与互救能力、减少人员伤亡和财产损失亦至关重要。

此次“7·20”特大暴雨期间,还暴露出了风险防范意识不足的问题,比如郭家咀水库因溢洪道被堵引发漫坝重大险情;五龙口停车场东侧因带状堆土未及时清除、排水明沟加装盖板(图6),增加了停车场周边内涝风险。要维持承灾体的承洪能力,需要进一步落实灾害风险管理,加强对可能加重洪水风险的违法违规行为的监管执法力度。



图6 五龙口排水明沟盖板和西侧堆土位置示意图

4 结 论

为了有效抵御、减轻洪涝灾害,我国组织开展了大规模的工程与非工程措施建设,建立了洪涝灾害防御与管理体制,为保障生命财产安全、减轻社会经济损失发挥了重要作用。随着特大暴雨、超标准洪水的发生频次逐渐升高,

对洪涝灾害防御的要求也随之不断提高。在过去的几十年里,我国经历了“控制洪水”向“洪水管理”的重要转变。基于我国的基本国情,采用的是基于风险的洪水管理模式,这种模式对当前经济社会发展阶段来说是适度的。

随着极端天气发生的频次、强度及不确定性逐渐超乎我们的想象,灾害的连锁性与突发性引发的激增风险,可能会让城市无法承受。国际上洪水管理追求的共同目标是人与洪水的和谐相处,即与洪水为伴。在社会经济高速发展与极端天气频发的现实面前,如何调整洪涝灾害的抵御模式,平衡建设发展与安全保障的互动关系,促进人水关系的良性转变,值得我们深思。郑州“7·20”、北京“7·21”等特大暴雨灾害,给我们带来伤痛和损失的同时,也给我们带来了教训与经验,更为进一步提升城市的抵御能力、应对能力、恢复能力、适应能力带来了契机,这是当前倡导的韧性城市建设追求的目标,亦是现实世界需要面对的挑战。

参考文献

- [1] UNDRR, CRED. The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000 - 2019)[R]. 2020.
- [2] 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害防御公报2020[R].2021.
- [3] 徐卫红,杜晓鹤.我国城市内涝形成机理及防治策略[C]//中国水利学会减灾专业委员会.第十一届防汛抗旱信息化论坛论文集.合肥:中国水利学会减灾专业委员会,2021:263-270.
- [4] 程晓陶.2021年郑州“7·20”特大暴雨洪涝灾害郭家咀水库案例的教训与反思[J].中国防汛抗旱,2022,32(3):32-36.
- [5] 吴泽斌,万海斌.2021年河南郑州山区4市“7·20”特大暴雨灾害简析[J].中国防汛抗旱,2022,32(3):27-31.
- [6] 何秉顺.河南郑州山区4市2021年“7·20”特大暴雨灾害调查的思考与建议[J].中国防汛抗旱,2022,32(3):37-40,51.
- [7] 国务院灾害调查组.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R].2022.
- [8] 刘昌军,吕娟,翟晓燕,等.河南“21·7”暴雨洪水风险模拟及对比分析[J].水利水电快报,2021,42(9):8-14.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.防洪标准:GB 50201-2014[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.室外排水设计标准:GB 50014-2021[S].北京:中国计划出版社,2021.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城镇内涝防治技术规范:GB 51222-2017[S].北京:中国计划出版社,2017.

Characteristics of "7·20" extreme rainstorm and flood-waterlogging and countermeasures of the main urban area of Zhengzhou City

XU Weihong, LIU Changjun, LYU Juan, CHAI Fuxin, QU Wei

(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)

Abstract: From July 17 to 23 in 2021, Henan Province was hit by serious flood-waterlogging disaster during the record extreme rainstorm. Zhengzhou City was the hardest hit, accounting for 95.5% of the deaths and missing persons in the Henan Province. In the main urban area of Zhengzhou City, there are major disasters such as the deaths of Metro Line 5 occurred, causing serious casualties and adverse social consequences. On the basis of finding out the sources of flood-waterlogging and the current situation of flood control and drainage, the characteristics of "7·20" extreme rainstorm, flood and waterlogging are analyzed. In accordance with the problems exposed during the "7·20" major disasters in the main urban area of Zhengzhou, the countermeasures and suggestions to deal with extreme rainstorm are proposed, such as reducing the hazard of rainstorm, improving the disaster prevention capacity of water works, reducing the exposure of bearing body and enhancing the resilience of urban flood defense.

Keywords: "7·20" major disaster; extreme rainstorm; flood-waterlogging characteristics; urban flood control; Zhengzhou City

责任编辑 赵乐媛

(上接第4页)

Simulation and Analysis of "7·20" extreme rainstorm flood in Zhengzhou City

YAO Yuan, QU Wei, CHAI Fuxin, LYU Juan, LIU Changjun, XU Weihong

(1. China Institute of Water Resource and Hydropower Research, Beijing 100038;

2. Research Center on Flood & Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038)

Abstract: The "7·20" extreme rainstorm in Zhengzhou City in 2021 caused serious disasters such as urban waterlogging and watershed floods, resulting in heavy casualties and property losses. In order to comprehensively model and analyze the flood disaster process caused by the "7·20" heavy rainstorm in Zhengzhou City, a hydrological model of the Jialu River Basin in Zhengzhou City based on HEC-HMS model is constructed on the basis of field investigation the Jialu River Basin, by selecting the Jialu River Basin (a typical watershed in Zhengzhou) as the study area. The flood process caused by the "7·20" extreme rainstorm is simulated and the distribution of the rainstorm and the runoff contribution of the major tributaries in the basin are analyzed. In addition, the accumulated and stagnant water volume in the urban area is calculated by using the water balance theory. The results show that this extreme rainstorm has the characteristics of large rainfall magnitude, long duration and wide distribution range. From July 19 to 22 in 2021, the cumulative rainfall in the basin were 998 million m³, the average areal rainfall reached 495.24 mm, and the centroid of rainstorm was located in Erqi District. The Suoxu River benefits from the joint operation of the reservoirs with a smaller real runoff (10 million m³), the Jinshui River and Chaohe River have the largest runoff (21 million m³ and 24 million m³). The accumulated stagnant water in the urban area was some 140 million m³ with the average stagnant water depth of 0.37m. The research result can provide a useful reference for the formulation of urban flood disaster response measures.

Keywords: "7·20" extreme rainstorm in Zhengzhou; storm flooding simulation; HEC-HMS model

责任编辑 田亚男