

极端降水事件下城市内涝形成机制与防治对策

王淑娟

新疆维吾尔自治区博尔塔拉水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6689

[摘要] 本文以地处西北内陆干旱区的博尔塔拉蒙古自治州(博州)为研究对象,系统剖析其极端降水事件诱发城市内涝的特殊机理,并提出适应性的综合防治策略。研究表明,博州极端降水具有“历时短、强度大、局地性强、破纪录特征明显”的特殊性,与本地干旱半干旱下垫面条件及不完善的城市排水系统相互作用,通过“致灾因子突变性增强、孕灾环境敏感性高、承灾体脆弱性凸显”的三重机制,导致内涝风险加剧。本文提出,博州的防治对策必须摒弃简单照搬东部湿润地区模式,构建以“规划引领与风险区划为前提、蓝-绿-灰基础设施协同为骨架、智慧监测预警与应急管理为神经、全社会韧性文化培育为基石”的系统性防治体系。

[关键词] 极端降水; 城市内涝; 形成机制; 防治对策; 干旱区城市

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Formation Mechanisms and Prevention Strategies of Urban Waterlogging under Extreme Precipitation Events

Shujuan Wang

Xinjiang Uygur Autonomous Region Bortala Hydrological Survey Center

[Abstract] This study takes the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture (Bortala Prefecture) in the arid inland region of Northwest China as the research object, systematically analyzes the unique mechanisms by which extreme precipitation events induce urban waterlogging in this area, and proposes adaptive comprehensive prevention strategies. Research indicates that extreme precipitation in Bortala Prefecture is characterized by "short duration, high intensity, strong locality, and obvious record-breaking features." These characteristics interact with the local arid and semi-arid underlying surface conditions and the imperfect urban drainage system, exacerbating waterlogging risks through a triple mechanism of "enhanced abruptness of disaster-inducing factors, high sensitivity of disaster-prone environments, and prominent vulnerability of disaster-bearing bodies." This paper proposes that prevention strategies in Bortala Prefecture must abandon the simple replication of models from humid regions in eastern China. Instead, a systematic prevention system should be constructed, with "planning guidance and risk zoning as the premise, the coordination of blue-green-gray infrastructure as the framework, intelligent monitoring, early warning, and emergency management as the neural network, and the cultivation of a societal resilience culture as the foundation."

[Key words] extreme precipitation; urban waterlogging; formation mechanisms; prevention strategies; arid region cities

引言

博尔塔拉蒙古自治州位于新疆西北部,准噶尔盆地西缘,属典型的温带大陆性干旱气候。在公众普遍认知与既往的城市规划设计中,“干旱少雨”是博州的基本标签。然而,现代气象观测与研究表明,受特殊地形对远源水汽的抬升与辐合作用影响,博州夏季发生短时强降水、局地暴雨乃至极端暴雨事件的风险不容忽视。近年来,此类事件已对以博乐市为核心的城镇群构成

实际威胁,暴露出城市排水系统能力不足、竖向规划存在缺陷、应急管理体系存在短板等一系列问题。因此,深入研究博州极端降水事件的特征,系统剖析其诱发城市内涝的内在机制,并构建一套契合本地自然地理条件与社会经济发展阶段的综合防治对策,不仅对保障博州城镇安全、促进社会稳定与经济发展具有紧迫的现实意义,也为我国广大干旱半干旱地区城市应对气候变化背景下的新型洪涝风险提供了重要的案例参考与理论借鉴。

1 极端降水与城市内涝的形成

1.1 极端降水事件的界定及其水文效应

极端降水事件通常指在特定地点和时段内,降水量显著超过该地历史气候平均状态的强降水过程,通常以百分位法(如超过历史第95个百分位值)或重现期(如50年一遇、100年一遇)来界定。这类事件的核心特征在于其超常规的强度与低概率性。从水文响应角度看,极端降水会直接导致地表产流过程发生剧变:极高的降雨强度往往超过土壤的下渗能力,或在城市不透水区域直接形成地表径流,使得径流系数急剧增大,汇流时间极大缩短,洪峰流量成倍增长,从而对城市的排水管网和自然行泄通道构成“峰值冲击”。

1.2 城市化对水文过程的改变

城市化进程深刻改变了区域下垫面性质,进而放大了极端降水的致灾效应。具体表现为:(1)不透水面增加。建筑、道路等硬化地面取代了具有透水性的自然土壤和植被,导致降水下渗量锐减,地表径流量显著增加。(2)排水管网的人工导流。密集的管网系统改变了天然汇流路径,虽旨在加速排水,但在超标准降雨下,管网饱和后反而可能因系统瓶颈引发区域性内涝。(3)自然调蓄空间萎缩。湖泊、湿地、洼地、天然沟渠等具有天然滞洪蓄水功能的空间被侵占或填埋,城市失去了宝贵的雨洪“弹性”空间。这三者共同作用,使得城市在极端降水面前变得更加脆弱。

1.3 城市内涝形成的综合机制框架

综合来看,城市内涝是致灾因子(极端降水)、孕灾环境(城市下垫面与排水系统)、承灾体(人口、财产、基础设施)三者脆弱性叠加的结果。极端降水是直接触发因子;城市化改变下的下垫面与滞后的排水工程构成了敏感的孕灾环境;而暴露在危险区域的人口与社会财富则决定了灾害的最终损失程度。这一“灾害系统”理论为我们分析博州的具体情况提供了清晰的框架。

2 博州极端降水事件的特殊性与成因分析

2.1 地理气候背景

博州地形自西向东呈阶梯状分布,山地、河谷平原和湖盆(艾比湖)相间排列。主要城镇集中于博尔塔拉河谷平原。该区域多年平均降水量仅为150-250毫米,而年蒸发量却高达1500-2000毫米以上,属于典型的极端干旱区。降水年内分配高度集中,约60%-70%集中于夏季(6-8月),且多与对流天气系统相关。

2.2 极端降水的具体特征

在干旱背景的映衬下,博州的极端降水事件呈现以下关键特征:

(1)极高的相对强度与突破性。在博州,单日降水量达到25毫米即可构成气象学上的“暴雨”,50毫米即为“大暴雨”,其发生概率虽低,但一旦发生即为突破历史经验的小概率事件。例如,相关研究指出,博州局部地区短时强降水的小时雨强可超过30毫米,这对于年均降水量仅200毫米左右的地区而言,其“极端性”和冲击力不言而喻。这类降水能在极短时间内产生相当于月均甚至数月降水量的径流,完全超出常规水文预期。(2)显著的局地性、突发性和短历时。受复杂地形(如阿拉套山前地带)

对气流的抬升、辐合作用影响,以及夏季局地强对流的发展,博州的极端降水往往呈现出“点”“片”状分布,具有很强的“雨窝”效应。其生命史短,发展迅速,空间预测难度大。雷达回波上常表现为突然生成、少动的强对流单体,给精准预报和提前预警带来巨大挑战。(3)与特殊下垫面的不协调性。长期干旱使得地表土壤结构紧密,甚至形成物理结皮,初始下渗能力极低。当高强度降水发生时,土壤几乎来不及下渗便产生地表径流(超渗产流为主),产流速度快、效率高。同时,城市外围广布的荒漠、戈壁植被覆盖度低,缺乏对径流的阻滞和调节能力。(4)与融雪洪水叠加的潜在风险。博州山区冬季积雪是重要的水资源储备。若春季出现异常高温或夏季极端降水事件发生在中高山区,极易引发“降雨叠加融雪”的复合型洪水。这种复合型灾害的洪峰流量更大,持续时间可能更长,对下游河谷平原上的城市(如博乐市)构成更为严峻的考验。

3 博州极端降水导致城市内涝的深层形成机制

博州的城市内涝是“突变性的极端降水”作用于“敏感且不完美的干旱区城市下垫面”,并最终在“脆弱性较高的承灾体”上显现灾害后果的链式过程。三个层面环环相扣,共同决定了内涝风险的强弱与灾害损失的规模。

3.1 致灾因子的“超常规”打击

博州城市排水管网的设计标准,历史上普遍依据国家规范中的下限,多采用1至2年一遇的降雨重现期,这是基于经济性原则和历史降水统计数据的选择。然而,在气候变化的背景下,重现期超过设计标准数倍甚至数十倍的极端降水事件发生概率正在增加。当实际发生的短时雨强远超管网的设计输送能力时,系统在物理层面上便瞬间从“有序排水”转向“全面瘫痪”,这是内涝发生的根本物理诱因。这种“黑天鹅”式的打击,对于习惯了干旱气候的城市管理者与居民而言,往往猝不及防。

3.2 孕灾环境的“先天敏感”与“后天失调”

这一层面集中体现了博州作为干旱区绿洲城市的特殊脆弱性:

(1)自然地理条件的先天约束:部分老城区历史上依水(故河道、泉水溢出带)而建或位于微地形低洼处。在快速城市化进程中,一些天然的行洪通道、滞洪洼地被填埋或覆盖,但人工排水系统未能完全、有效地替代其自然水文功能,形成了历史遗留的易涝点。(2)干旱区下垫面的水文矛盾:为改善生态与人居环境,博州城市绿化灌溉量较大。冬灌、春灌可能导致土壤在雨季来临前接近饱和,反而削弱了绿地本应具备的雨水下渗与蓄滞能力。这一现象在干旱区城市水文研究中已被关注。(3)“蓝绿”空间结构不尽合理:城市内部及周边的湖泊、湿地、绿地等生态空间,尚未完全按照系统性滞洪、蓄渗、净化的目标进行网络化规划和功能强化,其雨洪调蓄潜能未得到充分发挥。

3.3 承灾体的“暴露度”与“脆弱性”凸显

承灾体的“暴露度”与“脆弱性”凸显是灾害损失的最终决定因素:

(1)基础设施韧性的结构性短板。除管网标准偏低外,还存在

管网老化、管径不足、雨污合流(加重汛期负荷)、系统衔接不畅等问题。雨水排放末端依赖的土质沟渠在强冲刷下易淤塞坍塌。新城区建设迅猛,但排水系统与地形地貌、与老城区系统的有机融合仍需加强。(2)社会系统的适应能力不足。公众与部分管理部门存在“干旱区无大涝”的认知误区,防灾意识薄弱,缺乏应对突发性内涝的基本知识和技能。地下车库、下穿式立交、低洼地段商业设施等重要风险点的专项防护措施不足。面向极端降水内涝的专项应急预案、精细化的风险地图、实时积水监测网络以及大型移动排涝装备等非工程性措施与现代化装备相对欠缺。

4 构建适应博州特点的城市内涝系统防治对策

针对上述形成机制,博州的防治工作必须立足本地实际,树立“从对抗洪水到管理雨洪、从快速排干到蓄排结合、从单一工程到系统治理”的理念,构建全方位的韧性提升体系。

4.1 规划引领与风险管控

修订本地化设计参数:组织力量,利用延长后的降水观测序列(尤其纳入近年极端事件数据),科学修订博州主要城镇的暴雨强度公式。在新建城区、重要功能区及生命线工程周边,审慎、分阶段地提高排水管网设计标准(如提升至3-5年一遇),并对老城区制定切实可行的提标改造路线图。

实施精细化内涝风险模拟与区划:综合利用高精度DEM地形数据、排水管网数据、土地利用及建筑信息,借助水文水动力模型,模拟在不同重现期暴雨情景下的积水范围、深度与历时,绘制城市内涝风险分布图。将风险区划成果刚性纳入国土空间规划,作为控制性详细规划、项目审批和土地出让的法定依据。

严守生态安全与竖向规划底线:严格保护和恢复城市及周边的自然河流廊道、湿地、低洼地,明确其作为雨洪行泄通道和临时调蓄空间的法定地位。在城市规划建设中,优先尊重自然地形,通过精细化竖向设计,引导地表径流有序汇流,避免人为制造新的低洼易涝区。

4.2 打造“蓝-绿-灰”融合的韧性基础设施

“灰”色设施(传统管网与泵站)的效能提升:系统开展管网普查与诊断,推进雨污分流改造,实施管网疏通、修复与扩容工程。在关键的内涝风险点(如立交桥下、历史积水点)和排水系统末端,规划建设或升级强排泵站,确保紧急情况下的快速抽排能力。

“蓝”色设施(水体)的调蓄与资源化功能拓展:充分利用和优化城市现有水体(如博乐市青得里河、开屏湖等)的调蓄容量,通过生态化岸线改造,增强其滞洪能力。特别要重视雨水资源化利用,在公共建筑、小区、公园等区域配套建设地下蓄水池、雨水罐等集蓄设施,将收集的雨水用于绿化灌溉、道路洒扫等,这在水资源极度稀缺的博州具有双重效益(减灾与开源)。

“绿”色设施(海绵体)的广泛建设:全面推广海绵城市理念。在各类建设用地中,强制性落实透水铺装、下沉式绿地、生物滞留设施(雨水花园)、植草沟、生态树池等低影响开发措施。这些设施能有效延缓峰现时间、削减径流总量、促进下渗补充地下水,完美适应干旱区城市生态节水的需求,是实现“自然积

存、自然渗透、自然净化”的关键。

4.3 智慧赋能与精准应急

构建空天地一体化监测感知网:集成气象雷达、自动气象站、河道水位站、管网液位/流量计、路面积水监测视频与传感器,构建实时、立体的城市内涝监测物联网,实现风险早期感知。

发展智能化预报预警与调度模型:基于机器学习、数字孪生等技术,研发耦合气象预报、水文模型与城市排水模型的智能预警系统,实现对内涝发生时间、地点、深度的动态化、可视化预报。以此为基础,构建智能化的闸泵联调、应急抢险指挥调度平台。

完善高效联动的应急管理体系:制定并常态化演练针对极端降水内涝的专项应急预案,明确各部门、各层级的职责与响应流程。建立基于风险图的网格化人员转移安置方案。加强专业防汛抢险队伍建设和大型、特种排水装备配置。

4.4 社会共治与文化培育

加强公众风险沟通与科普教育:通过多种媒体渠道,常态化宣传博州面临极端降水风险的客观事实,普及内涝避险自救知识,公开内涝风险地图,提升全社会,尤其是基层社区和企事业单位的防灾意识和能力。

推动社区与企事业单位自主减灾:鼓励社区、物业、企业落实自身防汛责任,开展雨水口清理、自备防洪挡板沙袋、管理维护内部雨水设施等活动。探索将内涝防治要求纳入文明社区、安全小区创建体系。

探索创新风险分担机制:研究推进政策性城市内涝灾害保险的可行性,发挥金融保险市场在风险分散、损失补偿和灾后恢复重建中的积极作用。

5 结束语

本文通过对博州极端降水特征及城市内涝机制的研究,揭示了干旱区城市面临“超标准降水-敏感下垫面-脆弱承灾体”链式风险的独特逻辑。防治的关键在于实现从被动排水到系统韧性管理的根本转变。未来工作应聚焦于三大核心:一是强化本地化观测与研究,精准把握致灾规律;二是构建跨部门协同治理机制,打破规划、建设与管理壁垒;三是积极将内涝治理融入城市更新与气候适应战略,保障长效投入。通过科学规划、工程协同与社会共治,方能在极端气候常态化的背景下,稳步提升博州的城市安全韧性。

[参考文献]

- [1]张强.中国干旱区暴雨洪涝灾害风险评价研究进展[J].干旱区地理,2018,41(5):939-949.
- [2]杨莲梅.新疆极端降水事件的气候变化[J].地理学报,2012,67(11):1463-1475.
- [3]李元鹏.北疆一次极端暴雨过程成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):1-8.

作者简介:

王淑娟(1991--),女,汉族,河南原阳县人,本科,助理工程师,研究方向为水文水资源。