

# 变化环境下城市极端暴雨积水成因与应急管控措施

刘成荣<sup>1</sup> 刘 梦<sup>2</sup> (通讯作者)

1.天津市水务工程运行调度中心 天津 300000

2.天津市水利科学研究院 天津 300000

**【摘要】**：在气候变化加剧以及城市化进程不断发展的背景下，城市暴雨积水现象日趋严重，对城市生活造成很多挑战。从气候变暖、城市化和大气环流变化几个角度分析城市极端暴雨积水产生原因，论述暴雨积水给城市基础设施、公共健康和经济带来的危害。从城市排水系统设计缺陷、地面硬化和突发性强降雨等方面进行剖析，揭示暴雨积水产生机理。提出包括优化排水设施、气象预警系统建设以及公众教育在内的应急管控措施，以期对城市极端暴雨问题提供切实可行的解决思路，其目的是增强城市应对暴雨灾害的适应能力和恢复力。

**【关键词】**：城市暴雨；极端天气；积水成因；气候变化

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.073

## 引言

城市暴雨积水已成为现在城市管理急需解决的一个重要问题。气候变化引发的极端天气事件的频繁发生使暴雨强度及持续时间逐渐加大，极端降雨对城市排水系统造成空前压力。城市化进程加快带来大量不透水地面，使暴雨过后水流不能有效入渗和排出，继而加重内涝。暴雨积水在给交通、基础设施等造成严重损害的同时，也给公共卫生与环境安全构成威胁。深入研究暴雨积水原因、分析危害、提出科学高效的应急管控措施已经成为促进城市极端气候应对工作的重点。迎接暴雨积水挑战需要政府，企业与市民通力合作才能使城市可持续发展。

## 1 变化环境对城市极端暴雨的影响

### 1.1 气候变暖与暴雨强度增加

气候变暖是造成城市极端暴雨加剧的一个重要驱动力。全球气温上升使大气水蒸气含量越来越高，为暴雨供水。科学研究证明：大气每上升 $1^{\circ}\text{C}$ ，所能容纳水蒸气量大约就会上升1倍。在气候不断增温的情况下，降水强度与频次亦呈增加趋势。暴雨的出现已经不是偶发事件，很多城市都出现过历史上少有的暴雨天气过程，暴雨量剧增给城市排水系统带来了很高的需求。极端暴雨事件一般都伴有强降水、短时内涝等灾害，使常规排水系统不能及时将积水排出，造成积水灾害频繁发生。过去相对稳定的气候环境已经不适应现代城市对城市的要求，暴雨强度之大、频率之高给城市管理提出了空前的难题。气候变暖背景下极端暴雨形成机理愈加复杂，常规气象模型已经很难对暴雨发生及变化进行综合预报，这为灾后恢复及应急响应增加不确定性。

### 1.2 城市化导致的局部气候变化

城市化进程对暴雨的形成与积水起着至关重要的作用。城市人口急剧增长，建设用地日益扩张，城市面貌急剧变化，绿地、水体面积锐减，硬化地面增多，使雨水渗透、储存能力极大降低。在城市里，不透水的表面，例如水泥路面和建筑物，使得雨水很难渗透到地下，更多的降水会以径流的方式汇集，迅速流入排水系统，从而加重了内涝的情况。特别是当暴雨来临之时，排水管网因其容量所限，不能应付瞬时降水量而造成城市严重积水。市区内热岛效应使暴雨加重。城市区域气温偏高，产生强热对流，有利于暴雨产生。结果表明：城市热岛效应可增大局地降水频次与强度并进一步增强暴雨作用。这些因素使城市受到了更严重的气候挑战，暴雨和由此造成的积水问题有愈演愈烈之势。

### 1.3 大气环流变化对暴雨频发性的影响

大气环流的变化是暴雨频繁发生的关键。近年来由于气候变化加剧，极地涡旋、季风模式及其他大气环流现象发生变化，直接影响暴雨频发性。研究表明极地涡旋改变可能会使暴雨天气发生频次增多。极地涡旋异常使冷空气与暖湿气流相互作用加强，从而使暴雨频次增加。尤以部分温带、亚热带地区暴雨出现较多。以我国长江中下游地区为例，由于季风带向南移动，强对流天气越来越多，暴雨发生不但越来越集中，其时空分布也越来越难预报。全球变暖对大气稳定性也有影响，使气候系统处于不稳定状态，进一步增加极端天气现象。大气环流变化使暴雨事件发生得更为频繁、复杂，对城市应对暴雨灾害的能力提出了极大的考验。

## 2 城市极端暴雨积水成因解析

### 2.1 排水系统设计缺陷与容量不足

城市排水系统设计缺陷、容量不足，是造成暴雨积水问题的重要因素之一。在城市化日益发展的今天，前期修建的排水系统常常不能满足现代城市发展的需要，特别是暴雨这种极端天气条件下，原有排水设施很难有效地应对突然出现的大范围降水。很多城市排水系统在建设时没有充分考虑到未来气候变化以及城市扩展等因素，造成系统承载能力不高、布局不尽合理。传统排水管网设计一般都是依靠雨水逐渐排出，在强降雨情况下积水量会超出设计承载能力而造成积水频繁发生。低洼地带由于排水系统设计不足，雨水很难有效排泄，造成内涝严重。另外，排水设施老化、养护不足等也是造成暴雨积水问题的原因。陈旧的排水管网容易出现堵塞、断裂等现象，导致排水功能出现故障，又会加重大雨过后积水。

### 2.2 地面硬化与水分渗透性降低

城市化进程使地面硬化现象加快，致使雨水渗透性显著下降。大量修建道路、建筑物及广场代替自然土壤使地面硬化不能使雨水渗入地下。结果表明：城市硬化面在总面积中所占比重越高，雨水渗透能力越弱，暴雨过后径流量越多。硬化地面直接造成雨水不能从地表渗入到地下水系统中，而以水流形式流入城市排水管网中，不但加重排水系统负担，而且易造成水体污染、城市内涝等问题。持续强降雨时，因水流量过大，排水系统处理不及时，水面急剧升高，造成街道及低洼地带积水现象更为严重。城市暴雨积水因绿色空间不足、透水地面不足等原因越来越难以得到缓解。

### 2.3 突发性强降雨的快速积水形成

极端暴雨出现一般都伴有强降水突发，使积水问题变得更加严重。相对于常规降水，极端暴雨具有短时降水量大、强度超高等特征。这类突发性暴雨常常成为城市排水系统面临的最严峻考验。由于短时间内的内涝造成的水流量过大，排水系统无法在这么短的时间内排出大量的雨水，从而导致了积水的形成。很多城市中，常规排水系统不能对此类突发性暴雨做出实时响应，水位急剧上涨，导致交通堵塞和基础设施损毁。就拿北京、上海这类大城市来说吧，近几年因为暴雨突发，导致暴雨过后积水问题愈加严重，甚至导致交通长期瘫痪，城市功能停滞不前。大雨过后，积水排放与治理就成了城市管理中的一个难点问题，尤其是那些排水系统较为滞后的地区，大雨过后积水

难以得到及时排除，给社会带来较大经济损失。

## 3 暴雨积水对城市的危害与挑战

### 3.1 基础设施损毁与交通瘫痪

暴雨积水对城市基础设施的直接破坏不容忽视。强降雨过后，市区道路、桥梁、电力及通讯设施经常遭到严重损毁。道路被淹之后，交通运输出现了障碍，使公众出行受到了很大影响，严重时还会使交通系统彻底瘫痪。暴雨积水也会对电力设施造成破坏，影响城市正常供电甚至引发停电灾难，对城市居民日常生活造成很大不便。桥梁、隧道等基础设施受大水冲刷易损坏，维修工作通常耗时长、经费投入多。暴雨发生后，城市不得不花费大量人力物力对基础设施进行维修与复原，而这个过程通常受天气条件与资源调配等因素制约，复原速度较为迟缓。另外，暴雨积水影响交通往往会造成经济损失，使商业活动与工作停滞不前，更进一步增加社会不稳定因素。

### 3.2 环境污染与公共卫生风险

暴雨积水在破坏城市交通与基础设施的同时也给环境与公共卫生构成了严重威胁。积水区通常为垃圾与污水汇集之处，暴雨冲刷着市区内垃圾，化学废物与污水向街道、河流及其他公共场所流动，造成了大范围污染。水体受到污染，不仅会对生态环境造成损害，而且会通过水源扩散疾病，对居民身体健康造成危害。如积水内细菌、病毒等会引起肠道传染病爆发，尤其是人口稠密、卫生条件差地区，大雨过后积水更易为疾病传播提供土壤。积水区域易孳生蚊虫并带来登革热、疟疾等蚊媒传播疾病，公共卫生管理难度加大。暴雨积水使城市环境治理与公共卫生保障受到严重挑战，迫切需要加强防治工作。

### 3.3 经济损失与应急响应压力

暴雨积水造成城市经济损失明显。基础设施损毁、交通瘫痪、生产停滞、商铺倒闭，造成直接经济损失。大雨过后的复原还需大量经费，城市政府与企业都需投入大量经费来恢复基础设施并开展灾后重建。比如极端暴雨会使商业区内商品损坏、厂房停工，这将给经济运行带来长远负面影响。暴雨积水也给政府应急响应能力带来严峻的考验。应急部门在救援、撤离及灾后恢复等方面需统筹大量资源，经常会遇到材料及人力不足等困难。在突发暴雨情况下，政府预警系统与应急机制健全与否直接关系到灾害处置效率。暴雨过后的应急响应既是对政府指挥能力的检验，也要求城市管理者结合实际情况进行资源配置调整，才能将损失降到最低。

#### 4 城市暴雨积水的应急管控措施

(1) 城市排水设施优化与升级: 针对暴雨造成的积水, 对城市排水设施进行优化和更新是其中十分关键的举措。很多老旧城市排水系统设计没有考虑极端降雨发生的可能, 使得原有排水设施面对暴雨时显得捉襟见肘。排水系统优化可从提高管网承载能力, 增设雨水调蓄池, 促进排水管道连接效率。近几年来, 部分城市已开始对排水管网进行全面更新改造, 使用了更先进的管道材料与排水技术以增强排水能力与抗洪能力。以上海为例, 通过修建雨水调蓄池、改善分流系统等措施, 可以有效地减轻暴雨来临时的排水压力。城市除了提高排水管网规模与容量之外, 还应该考虑提高智能化管理水平, 通过传感器、物联网实时监控排水系统, 预报暴雨降水量、动态调整排水策略。这一系统化排水管理可预先确定潜在积水区域和有针对性地采取措施降低暴雨带来的危害。伴随着城市人口增长以及城市化水平提升, 排水设施优化升级已经成为城市防灾减灾工作中必不可少的组成部分, 可有效降低暴雨积水给城市生活带来的扰动。

(2) 气象预警系统与智能监测平台: 健全的气象预警系统及智能监测平台, 可为城市处理暴雨积水问题提供有力支撑。气象预警系统通过对气象数据的采集和降水模式的分析, 可向公众及有关部门提前发出预警并有助于应急响应计划的编制。伴随着大数据、云计算以及人工智能等技术的不断发展, 智能监测平台应用也日益普及。很多城市都开始引进先进的监测设备与算法来对降水强度, 积水分布以及排水系统的状态进行实时监控并动态分析与预测。这些平台既可以提供更准确的暴雨预警又可以在出现暴雨时对应急措施进行实时调整并统筹各方面的资源。以广州为例, 通过构建智能气象预警及城市排水监控系统等措施, 实现暴雨到来之前提前预警、暴雨出现后快速启动应急响应等功能, 从而有效缓解暴雨造成的积水压力。智能监测平台能够提供长周期气象数据分析, 有助于

城市长远规划时排水设施合理布局, 增强城市抗灾能力。构建气象预警系统与智能监测平台, 既可降低灾后损失又可增强城市灾后恢复能力。

(3) 公众教育与灾后恢复管理: 暴雨积水灾害能否得到有效处置, 离不开广大人民群众的合作与教育。加大防灾减灾知识宣传力度、增强公众应急反应能力与自救能力可降低暴雨造成人员伤亡与财产损失。城市政府要定期在暴雨来临之际, 通过媒体、社区活动、应急演练等为公众讲授应急避险方法以及灾后恢复常识。加强对市民暴雨时怎样避难, 怎样应急自救以及怎样避免暴雨时发生交通事故的教育可以增强城市居民对暴雨灾害的处理能力。灾后的恢复管理也很关键。大雨后及时排除积水, 恢复基础设施和正常的生产生活秩序, 是城市复苏的重点。构建一个完善的灾后恢复体系, 涵盖了资源分配、紧急修复以及灾后的资金援助等方面, 有助于城市在暴雨之后迅速恢复。另外, 各市要在总结历史暴雨灾害经验的基础上完善灾后恢复体系以增强对未来大雨的响应。通过公众教育、有效灾后管理等措施, 可以使城市对暴雨灾害有较好的响应、降低灾后重建难度、加速恢复进程。

#### 5 结论

城市暴雨积水是气候变化, 城市化进程以及大气环流异常多种因素相互交织作用的产物。暴雨积水原因主要来自排水系统设计缺陷、地面硬化和突发强降雨。暴雨积水造成的损失不仅有基础设施损毁和交通瘫痪等问题, 还有环境污染、公共卫生风险和重大经济损失等。为了解决这一难题, 城市应该加强对排水设施进行优化和更新, 对旧排水管网进行改造, 以提高排水管网的能力和灵活性。建设智能气象预警系统以加强暴雨预报预警能力和应急响应效率。公众教育与灾后恢复管理要同步发展, 增强公众防灾减灾意识以推动灾后恢复。采取这些综合措施可以使城市更能迎接极端暴雨的挑战, 确保城市居民生活安全和环境质量。

#### 参考文献:

- [1] 苑希民, 兰卓青, 王丽娜, 等. 极端天气城市特大暴雨洪涝灾害特征再分析及应对策略[J]. 水利学报, 2024, 55(11): 1298-1308.
- [2] 孙志臣. 新型金融环境下金融会计风险成因与防范措施分析[J]. 财经界, 2023(4): 39-41.
- [3] Chen Y, Wu Y, Lan L, et al. 无人飞行器在不确定扰动下的动态目标跟踪[J]. 工程(英文), 2024, 35(4): 76-88.
- [4] 景娣孙. 气候变化下城市植物物候变化与规划策略[J]. Design, 2024, 09(05): 1078-1083.
- [5] 白鹏, 龙秋波. 变化环境下我国城市防汛存在的问题及对策[J]. 中国防汛抗旱, 2025, 35(S1): 40-42.