

暴雨洪涝灾害中土建基础设施的防洪减灾策略与措施

杜 伟

天津国际工程建设监理有限公司 天津 300380

摘 要：极端暴雨洪涝频发，对城市道路、桥梁、管网等土建基础设施造成严重损毁，制约城市安全运行。本文分析暴雨洪涝的水文特征，总结各类土建设施的受损类型与破坏机理，梳理当前防洪设计标准滞后、设施老化、体系协同不足等实际问题。结合工程实际，从设防标准、结构优化、材料升级、海绵体系四个方面提出防洪设计优化策略，并针对既有设施制定系统化加固改造措施。

关键词：暴雨洪涝；土建基础设施；受损机理；防洪设计；加固改造

引言：现阶段极端降雨天气频发，城市暴雨洪涝灾害频次与强度逐年提升，对土建基础设施的安全稳定性造成极大威胁。多数城市既有基础设施建设年代久远，防洪设计标准偏低、结构抗灾性能不足，在强降雨冲刷、积水浸泡作用下极易出现破损、失效，引发城市内涝、交通中断、管网瘫痪等问题。为有效降低洪涝灾害损失，提升城市基础设施防灾韧性，本文结合土建工程实际工况，系统分析设施受损机理，梳理现存防洪短板，针对性提出防洪优化设计与加固改造措施，为城市防洪减灾建设提供依据。

1 暴雨洪涝灾害下土建基础设施受损机理分析

1.1 暴雨洪涝灾害的水文特性与灾害特征

极端暴雨天气下，区域降雨量短时间内急剧攀升，远超城市排水系统与自然水系的调蓄能力，形成突发性、高强度的洪涝水文特征。此类洪涝灾害具备汇流速度快、积水深度大、持续时间长的特点，且伴随地表径流流速快、冲击力强等问题。不同于常规积水灾害，暴雨洪涝会形成大范围连片积水与河道漫流现象，不仅静态积水浸泡范围广，还会产生动态水流冲刷作用。强降雨过程中水位暴涨暴落，水文环境变化剧烈，对各类土建基础设施形成持续性、复合型的破坏作用，是引发设施损毁的核心外部诱因。

1.2 道路、桥梁、管网等土建设施受损类型

暴雨洪涝对土建基础设施的损坏具备明显的设施差异性。城市道路主要出现路基沉降、路面开裂、坑槽塌陷以及边坡滑坡等问题，积水渗透会直接破坏路基结构稳定性。桥梁设施多表现为桥墩基础冲刷裸露、桥台填料流失、支座受损，严重时会出现桥梁倾斜、跨位位移。市政管网系统极易发生管道淤积、接口渗漏、管道

冲断、井室坍塌等故障，导致排水功能彻底瘫痪。除此之外，城市挡土墙、护坡、地下通道等附属土建结构，常出现墙体开裂、土体滑坡、结构渗水等损伤，形成多类型、全覆盖的设施损毁问题。

1.3 水流冲刷、浸泡渗透致设施损毁机理

长期积水浸泡与高速水流冲刷是设施损毁的直接原因。土体路基、桥台回填土体经积水浸泡后，含水率大幅提升，土体抗剪强度、压实度显著下降，结构承载力快速衰减，进而出现沉降、变形及坍塌。持续水流的动水压力会不断冲刷设施基础，带走基础周边松散土体，造成基础掏空、裸露，彻底丧失支撑能力。雨水持续渗透会破坏混凝土结构内部粘结力，引发结构酥松、剥落，加速土建结构老化破损，让设施从局部损伤逐步发展为整体失效^[1]。

2 当前土建基础设施防洪减灾现存问题

结合现阶段城市土建基础设施建设与运维现状来看，国内各类交通、市政、水利土建工程的防洪减灾体系仍存在诸多短板，难以适配极端暴雨洪涝的灾害防控需求，具体问题主要分为以下四点：（1）防洪设计标准滞后适配性差。多数老旧城区道路、管网及小型水利土建工程，沿用多年前常规降雨设防标准，未结合极端暴雨频发的气候现状更新设计参数。部分区域建设规划侧重通行、排水基础功能，未统筹洪涝防控需求，设施防洪冗余不足，面对高强度、持续性洪涝极易出现结构失效。（2）既有设施老化病害问题突出。大量服役年限较长的路基、桥梁、市政管网长期受雨水侵蚀、荷载碾压影响，普遍存在混凝土剥落、路基土体松散、管道破损等病害，且常态化修缮不到位，导致设施整体抗冲刷、抗浸泡性能大幅下降。（3）防洪配套体系建设

不完善。城市土建基础设施多独立建设、分散运维，道路、管网、水利设施缺乏系统性联动设计，区域排水、行洪、储水功能衔接不畅，整体防洪减灾协同性不足，难以形成全域防控体系。（4）应急处置机制存在短板。目前基础设施防洪隐患排查多为阶段性开展，常态化巡检力度不足。同时洪涝应急防护、抢险抢修预案细化程度不足，灾后设施修复流程不够规范，易延误防灾、救灾最佳时机。

3 暴雨洪涝灾害下土建基础设施防洪设计优化策略

3.1 因地制宜提升基础设施防洪设防标准

各地设防标准同质化严重，未结合区域地形、水文差异针对性设计，导致洪涝高发区域设施设防能力不足。通过差异化、动态化更新设防标准，可从设计源头提升基础设施防洪底线能力。（1）分区核定设防等级。结合区域水文监测数据与历史洪涝灾害记录，将城区划分为高、中、低三类洪涝风险区域。对交通枢纽、核心城区、市政生命线等关键点位，适当提高暴雨重现期标准，提升防洪冗余度；普通居民区与城郊道路严格遵循国家规范，结合本地降雨特征优化设计参数，避免标准偏低或过度建设。（2）更新基础设计参数。摒弃静态陈旧的水文计算参数，采用近十年极端降雨实测数据修正暴雨强度公式，将连续强降雨、短时特大暴雨等极端工况纳入设计范围。针对沿江、沿河及低洼易涝区域，重点校核汛期洪水位、地表汇流速度等关键指标，保证设计参数贴合实际水文工况。（3）统一新旧设施设防标准。老旧城区改造工程全面执行最新防洪设计标准，新建土建工程按分区最高设防要求施工。针对新旧设施衔接段的标准落差问题，针对性补齐薄弱环节，消除局部防洪短板，实现片区基础设施防洪能力整体均衡。

3.2 优化土建工程结构防洪抗冲设计方案

通过针对性优化结构设计形式，可显著提升工程本体抗洪涝损伤能力。（1）优化桥梁墩台与基础形式。河道行洪桥梁优先采用薄壁墩、空心墩等小阻水结构，减少挤占行洪断面。适当加大基础埋置深度，在桥墩基底设置护坦、护脚结构，固化周边河床土体，抵抗水流淘刷破坏。合理抬高桥台标高，规避高水位长期浸泡带来的结构隐患。（2）改良道路路基路面结构。低洼、沿河道路取消纯素土路基，采用级配砂石改良填料，同步设置路基排水层与盲沟体系，快速排出路基积水，维持土体稳定性。优化道路纵横坡度，消除局部积水区域；路基边坡采用缓坡、阶梯式结构，提升坡面整体抗冲刷性能。（3）完善市政管网结构设计。对低洼路段、主干汇水路段管网进行管径优化扩容，简化管网转角结构，降

低淤积堵塞风险。管网接口统一采用柔性密封构造，适应洪涝引发的轻微土体沉降，防止接口开裂渗漏。地下综合管廊增设防渗夹层、应急排水口和局部防水围堰，强化整体防水防洪性能。

3.3 推广防水、抗渗、耐冲刷新型工程材料

替换和改良工程用材，可从材料层面提升土建设施防洪耐久性能。（1）应用高性能抗渗混凝土。桥梁墩台、地下管廊、挡土墙、管网井室等涉水结构，统一采用P8等级及以上抗渗混凝土，通过添加矿物掺合料与防水外加剂优化配合比，减小结构内部孔隙率，阻断雨水渗透通道，提升结构密实度与耐浸泡能力。（2）配套抗冲刷防护材料。路基边坡、河岸、桥墩基础周边，替换传统土质防护结构，铺设土工格栅、格宾石笼、高分子防冲刷卷材。路面采用改性沥青材料，增强水稳定性与抗老化性能，有效规避雨水侵蚀造成的坑槽、脱皮病害。（3）使用新型密封与加固材料。结构裂缝、管网接口采用高分子密封胶、防水堵漏砂浆封堵处理。对既有老旧结构加固时，采用环氧砂浆、碳纤维布等高强度复合材料，提升结构抗变形、抗渗透能力，延长设施防洪服役年限。

3.4 构建海绵型土建基础设施生态防洪体系

海绵生态防洪模式结合工程建设与自然水文调节，形成渗、蓄、滞、排一体化体系，可有效弥补传统防洪短板。（1）推进道路海绵化改造与设计。城市主次干道人行道、绿化带采用透水铺装与透水沥青，配套设置下沉式绿地、雨水花园，实现雨水就地入渗消纳。以生态植草沟替代传统硬质排水沟，兼顾排水导流与雨水调蓄功能，有效削减地表径流总量。（2）强化水系与土建设施协同衔接。对城市河道、湖泊岸线实施生态护坡改造，替换直立硬质挡墙，增设滨水缓冲带，提升水系自然滞洪能力。在低洼片区、管网末端配套建设人工调蓄塘、蓄水池，通过土建调蓄设施实现洪水错峰，缓解市政管网排水压力。（3）搭建全域海绵联动体系。统筹道路、管网、绿地、水系各类土建设施的防洪功能，打通雨水调蓄、下渗、排放通道。新建片区严格落实海绵城市建设指标，老旧城区分步开展微改造，以轻量化生态工程替代传统刚性防洪结构，全面提升城市基础设施整体洪涝耐受能力^[2]。

4 既有土建基础设施防洪改造与加固措施

4.1 道路与交通土建设施防洪加固改造技术

针对既有城市道路、城郊交通道路普遍存在的路基渗水、边坡不稳、积水滞留等问题，需结合现场病害情况开展针对性防洪加固改造，提升交通土建工程抗洪涝

能力。(1)路基加固整改。对出现沉降、松散、水损的路基,开挖破损土层,换填级配砂石、水稳碎石等稳定性强的填料,重新分层压实补强。在低洼易涝路段增设路基排水盲沟、横向泄水孔,打通路基内部排水通道,杜绝积水长期滞留浸泡土体。(2)路面病害处理。对路面坑槽、裂缝、松散病害进行彻底修补,采用改性沥青重新摊铺面层,封闭路面渗水通道。针对局部积水路段,微调路面纵横坡度,优化地表汇流路径,消除积水死角。(3)边坡防护加固。对道路土质边坡,清理松散浮土后铺设土工格栅、喷射混凝土加固,坡度较大路段增设锚杆框架梁。同时替换原有裸露土质护坡,搭配生态护坡结构,提升边坡抗雨水冲刷、抗滑移能力^[3]。

4.2 城市管网、水利配套土建设施提质整改措施

老旧市政管网及小型水利配套设施存在管径偏小、接口老化、淤积严重、行洪不畅等问题,是城市洪涝内涝的主要薄弱点,需开展系统化提质改造。(1)管网升级改造。对老旧破损、管径不足的雨水管网进行分段更换、扩容,重点升级低洼片区、主干道排水管网。修复管网松动、开裂接口,更换老化密封配件,采用柔性接口工艺,适配土体形变,杜绝渗漏、倒灌问题。(2)管网清淤养护。定期对雨水管网、检查井、收水井开展清淤疏通,清除内部泥沙、杂物堆积,恢复管网设计排水能力。对淤积严重、断面缩窄的管段,采用机械疏通、非开挖修复技术,降低改造施工成本。(3)水利配套整改。对城区小型涵洞、拦水坝、排水渠进行结构检修,清理渠内障碍物,修复破损渠壁。补齐渠道护砌结构,完善渠系连通性,保障汛期行洪通畅,实现管网与水利设施排水衔接。

4.3 桥梁、边坡、挡土墙等构筑物防灾补强方案

桥梁、边坡、挡土墙等构筑物长期暴露在自然环境中,基础冲刷、结构破损、土体流失问题突出,需针对性开展防灾补强改造,消除洪涝安全隐患。(1)桥梁基础补强。对桥墩基础裸露、冲刷掏空区域,采用混凝土护坦、抛石护脚进行回填加固,固化河床基础。修补桥墩、桥台混凝土剥落、裂缝病害,采用环氧砂浆、碳纤维布进行结构补强,提升结构整体稳定性。(2)边坡与挡土墙加固。对存在滑移、开裂隐患的边坡,实施锚索、锚杆加固,增设截排水设施,阻断雨水入渗路径。

对老旧挡土墙,修复墙体破损缝隙,增设泄水孔,墙体背部回填透水材料,减小水压力对墙体的挤压破坏。

4.4 老城区土建基础设施系统化防洪升级策略

老城区设施老旧、布局杂乱、改造空间有限,单一设施改造无法彻底解决内涝问题,需推行系统化、整体性的防洪升级模式。(1)统筹片区改造规划。结合老城区地形、排水现状,摒弃碎片化改造模式,统一规划道路、管网、水系改造方案,补齐片区防洪短板。优先改造学校、居民区、主干道等重点区域基础设施,保障民生设施防洪安全。(2)结合海绵城市改造。在老旧小区、街巷增设透水铺装、下沉式绿地、小型雨水调蓄设施,就地消纳雨水,减轻管网排水压力。通过微改造优化地表排水路径,改善片区积水问题。(3)完善防洪配套设施。补充老城区应急排水点位,增设临时排水接口、防洪挡板等配套设施。同步完善设施监测点位,实现洪涝隐患动态管控,提升老城区整体防洪抗灾水平^[4]。

结束语:本文系统梳理了暴雨洪涝环境下土建基础设施的受损规律与现存防洪问题,明确了设计标准、结构形式、工程材料、生态体系四类优化方向,形成了涵盖新建优化与既有加固的完整防洪减灾方案。通过差异化设防、结构改良、新材料应用与海绵城市建设,可有效提升基础设施抗冲刷、抗浸泡能力。系统化改造老旧设施能够补齐城市防洪薄弱环节,提升城市整体防灾韧性,对降低洪涝灾害风险、保障市政设施稳定运行具有实际应用价值。

参考文献

- [1] 赵超辉, 王金红, 张云霞, 等. 城市内涝特征、成因及应对研究综述 [J]. 灾害学, 2023, 38(01): 220-228
- [2] 于保起, 黄传昊. 韧性城市防洪排涝设施设计与创新技术研究 [J]. 水上安全, 2026, (7): 145-147.
- [3] 孔令涛, 吴春雷, 李启明. 高强度降雨条件下市政道路排水系统的优化设计 [J]. 中国新技术新产品, 2025(11): 125-127.
- [4] 刘玥, 张翔, 刘洁, 等. 极端暴雨下绿-灰-蓝基础设施防洪排涝效果评估 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2024, 32(03): 740-753.