

提升城市排水系统韧性 ——智慧水务与隧道排水改造研究

吴传杰

(成都兴蓉市政设施管理有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 综述并探索提升城市排水系统韧性的方法, 重点关注对下穿隧道排水能力的改造, 提出通过智慧水务管理和下穿隧道的结合应用, 提高城市排水系统的韧性, 应对城市排水规划和灾害管理中的挑战。通过综合研究方法和实施方案, 分析了智慧水务管理和下穿隧道排水能力改造对城市排水系统韧性的影响, 并以成都市为案例进行数据收集、分析和结果评估, 研究结果可为未来城市排水系统的规划和实践提供有益的建议。

关键词: 城市排水系统; 韧性; 智慧水务管理; 下穿隧道

中图分类号: TV212

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0169-05

Enhancing Resilience of Urban Drainage Systems - Research on Smart Water and Tunnel Drainage Reconstruction

WU Chuanjie

(Chengdu Xingrong Municipal Facilities Management Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: The methods to enhance the resilience of urban drainage system are summarized and explored. The focus is on the reconstruction of the drainage capacity of underpass tunnels. It is proposed to improve the resilience of urban drainage system through the combination of smart water management and underpass tunnel so as to meet the challenges in urban drainage planning and disaster management. The impact of smart water management and reconstruction of drainage capacity of underpass tunnel on the resilience of urban drainage systems is analyzed through the comprehensive research methods and implementation schemes. Taking Chengdu as an example, the data is collected and analyzed, and the results are evaluated. The research results provide the useful suggestions for the planning and practice of future urban drainage system.

Keywords: urban drainage system; resilience; smart water management; underpass tunnel

0 引言

城市排水系统对保障城市正常运行和居民生活质量至关重要。然而, 近年来, 极端天气事件的频发和城市化进程的加快, 使排水系统面临诸多挑战。这些挑战包括降水量增加、基础设施老化和维护不足等。国际研究中, 日本东京市通过引入地下调蓄池和大型排水隧道, 提高了城市应对暴雨的能力^[1]; 德国汉堡通过建设“蓝绿基础设施”, 利用自然生态系统增强了城市排水能力和抗洪能力^[2]。

随着国内城市化进程的推进, 城市排水系统面临着不断增加的压力。对此, 北京市通过实施“海绵城市”试点项目, 利用雨水花园、渗透铺装和调蓄池

等措施, 有效缓解了城市内涝问题^[3]; 上海市通过建设地下排水隧道和提升泵站能力, 提高了城市排水系统的韧性^[4]。近年来, 国内学者在排水系统智能化和排水管理信息化等方面的研究取得了显著进展, 在实践中应用大数据和物联网技术提升了系统的监测和响应能力, 例如南京市就通过构建智慧排水系统, 实现了对城市排水网络的实时监控和动态调度。

“韧性”概念在近年来的城市规划和灾害管理领域也得到了广泛应用, 该概念旨在提高城市面对各种冲击时的适应和恢复能力。国际上, 纽约市在“城市韧性计划”中, 通过改进基础设施和优化管理, 提高了城市应对自然灾害和气候变化的能力; 荷兰鹿特丹则通过建设“水广场”, 将公共空间与排水系统相结合, 提高了城市的防洪能力和宜居性。

在国内, 深圳市通过在城市规划中引入了“韧性城市”理念, 加强了基础设施建设并优化了管理, 显

收稿日期: 2024-04-26

作者简介: 吴传杰(1994—), 男, 本科, 工程师, 从事项目管理
工作。

著提升了城市的抗灾能力;同济大学和清华大学等机构研究提出了多层次、多领域的综合治理措施,以提升城市系统的整体韧性;深圳市通过实施了“智慧水务”项目,实现了对城市水务系统的全面监控和智能管理,大大提高了城市排水系统的韧性。

本文的主要目标和研究问题如下。

(1)主要目标:探索提升城市排水系统韧性的综合方法。

研究旨在探讨并提出能提升城市排水系统韧性的综合方法,包括技术创新、管理优化和政策支持等手段,制定系统性的解决方案,以应对当前和未来的排水挑战。

(2)研究问题:如何基于智慧水务管理和下穿隧道排水能力改造来增强城市排水系统的韧性。

研究将重点分析智慧水务管理和下穿隧道排水能力改造这两种方法在提升城市排水系统韧性方面的作用,探讨二者之间的相互关系和协同效应。智慧水务管理指通过物联网、大数据和人工智能等技术手段,提高排水系统的监测和管理水平;下穿隧道排水能力改造则旨在通过结构优化和技术升级,增强排水系统在极端天气下的排水效率和抗灾能力。

1 城市排水系统韧性的定义及重要性

1.1 “韧性”的定义和关键要素

城市排水系统的“韧性”主要指在面临自然灾害和人为事故等冲击时,系统可保持或迅速恢复功能的能力。

在国际研究中,“韧性”通常包括抗风险性、弹性、可逆性和适应性等关键要素。例如,美国纽约市通过建设大型地下排水隧道系统,提高了排水系统的抗风险性和弹性;在日本,东京市的地下调蓄池系统不仅增强了排水能力,还提高了系统在极端天气下的恢复能力。

国内研究目前也集中于提升排水系统的韧性上。北京市的“海绵城市”项目通过采取雨水花园及渗透铺装等措施,显著提升了城市排水系统的弹性和适应性;上海市则通过建设地下排水隧道和提升泵站能力,提高了系统的抗风险性和可逆性,例如在苏州河的综合治理工程中,上海市通过增加排水设施和提升排水能力,最终有效减少了洪涝灾害的风险。

1.2 韧性提升对于城市可持续发展的意义

提升城市排水系统的韧性对实现城市可持续发展的目标具有重要意义。国际上,荷兰阿姆斯特丹

通过建设地下水管理系统和绿色屋顶,显著提高了城市排水系统的韧性,减少了洪涝灾害的风险,从而推动了城市的可持续发展;美国波士顿的“气候适应计划”通过改善排水基础设施,提升了城市在应对气候变化方面的能力。

在国内,推进排水系统韧性的建设对于实现我国新型城镇化战略和生态文明建设目标都具有重要意义。深圳市通过实施“智慧水务”项目,实现了对城市水务系统的全面监控和智能管理,大大提高了排水系统的韧性;南京市通过构建智能排水系统,实现了对城市排水网络的实时监控和动态调度,显著提升了排水系统应对突发性降雨和内涝的能力;北京市在2021年印发的《北京市城市积水内涝防治及溢流污染控制实施方案(2021年—2025年)》^[5]中通过提出综合实施策略,全面提升了排水系统的抗灾能力和适应性。上述韧性建设措施不仅提高了城市的防灾减灾能力,也为城市的可持续发展提供了坚实保障。

2 隧道排水能力提升改造案例研究

2.1 案例背景

成都市作为中国西南地区的重要城市,却面临着典型的城市排水问题,因此本研究选择成都市的46座立体交叉道路(其中包括43座下穿隧道和3座下沉式道路)作为案例进行分析。

2.2 现状分析

成都市的下沉隧道建成时间跨度较长,且设计标准存在差异。现有雨水泵站的设计重现期多为10 a和30 a,部分泵站的排水能力已不能满足当前需求。现状雨水泵站及配套构筑物的相关数据如表1、表2所列。

表1 现状雨水泵站原设计重现期

序号	原设计标准/a	个数	比例/%
1	5	7	15
2	10	27	59
3	20	1	2
4	30	7	15
5	其他	4	9

表2 配套构筑物型式

序号	配套构筑物型式	个数	比例/%
1	地面式	36	78
2	地下式	7	15
3	下沉式道路	3	7

通过对表中数据进行分析,可以归纳出淹水的主要原因包括供电系统故障、水泵和控制系统突发故障、附近水体倒灌、大量客水进入、进水通道或出

水通道受阻等^[6]。

2.3 淹水原因分析

基于相关数据,对46座下穿隧道(下沉式道路)的淹水原因分析如下所列。

(1)供电系统突发故障:主要为市电断电,具体表现为高压电线跌落保险脱落、供电部门的线路及设备故障等。

(2)控制系统突发故障:由于现有控制系统多为老旧设备,尤其PLC(Programmable Logic Controller,可编程逻辑控制器)和SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition,监控与数据采集系统)等设备老化,故障频率高,且缺乏冗余设计和自动故障切换功能,导致突发问题不能得到及时处理。

(3)水泵泵体突发故障:水泵经长期使用导致磨损,因而故障率高,且部分泵站缺乏备用泵,维修不及时。

(4)附近农灌渠或河水发生倒灌:主要为附近农灌渠或河水发生大量倒灌,完全超出了泵站的抽排能力。

(5)大量客水进入:主要为隧道附近的污水井冒污或大量地下水进入隧道排水系统,导致水泵抽排能力不足。

(6)泵站进水通道受阻:进水通道设计不合理或维护不及时,导致杂物堵塞通道,影响排水效率。

(7)泵站出水通道受阻:主要为排水的市政雨水管网不畅或河道水位较高。

(8)人为因素等其他原因:如泵站管理不善、操作失误、维护不及时等问题也会导致排水能力不足。

淹水原因的分布比例如图1所示。

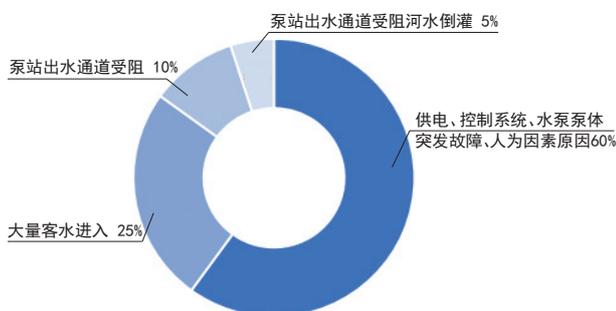


图1 淹水原因分布比例

3 平台建设

3.1 建设目标

按照《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)^[7]、《分散型控制系统工程设计规范》(HG/T 20573—2012)^[8]等相关国家标准和规范要求,结合

成都市的实际情况,依据《成都市下穿隧道雨水泵站提标改造技术导则(试行)》^[9],对下穿隧道和下沉式道路中未达到防涝标准的进行排水能力提升改造,改造内容和要求如下所列。

(1)下穿隧道雨水重现期:按标准应为30~50 a,现状达不到要求的泵站应施行提标改造,新建下穿隧道的雨水重现期宜按50 a为标准。

(2)泵站集水坑容积:以最大单泵的5 min出水量为准进行扩容,条件困难的也应以满足排水的规范要求为准。

(3)排水专管:对无排水专管的隧道,结合现状地下管网情况和交通情况,有实施条件的建议铺设排水专管。

(4)电路改造:配置两条10 kV市电、一台柴油发电机和一处快速转换插头,现场无此条件的也需满足至少有两个独立回路的要求。

3.2 隧道分类改造策略

针对各泵站的具体问题,制定更详细的改造方案如下所列。

(1)外水汇入型:针对外水汇入而导致抽排能力不足的问题,可通过工程措施截断外水,并增大泵站自身的排水能力;在隧道周边设置截水沟,防止外部水源汇入;增加隧道入口的排水沟渠和格栅,防止杂物堵塞入口。

(2)容量不足型:针对泵站容量不足的问题,可增加泵站的排水泵数量和功率;清淤或修复现有的进水管,确保排水通畅;新建或扩建泵站,增加排水容量;提升柴油发电机的功率,确保在断电情况下泵站仍能正常运行。

(3)出路不畅型:针对出水通道受阻的问题,可重建或扩宽现有排水管道,增加排水断面;建设独立排水通道,直接排入河流或下水道系统;在排水出口处设置压力出流设备,确保水流顺畅。

(4)复合型:针对存在以上多种问题的泵站,建议采取综合性措施,结合截水、防洪、排水等多方面措施,提升整体排水能力;实施综合性维护和更新,确保所有系统正常运行。

(5)电气控制设备改造:更新和升级电气控制系统,更换老化的电气设备,提升控制系统的可靠性;安装自动化监控和报警系统,以实时监控设备状态;引入远程控制和管理系统,提高管理效率。

3.3 智慧管控平台建设

对于排水系统的智慧管控平台建设,制定策略

如下所列。

(1)新建可监控46座泵站的统一管理信息平台系统,包含如下管控功能。

a. 综合设备监控系统:实现对泵站设备的实时监控,以及时发现和处理设备故障;利用物联网(Internet of Things, IoT)技术,实现各设备状态的实时监测和数据传输。

b. 安全防范系统:用于保障泵站及周边区域的安全,防止外部破坏和入侵发生,通过配置视频监控和入侵报警系统,实现全天候安全防护。

c. 通讯(管理)系统:确保泵站可与管理中心实时通讯,以快速地传递和处理信息;建立稳定的无线通信网络,实现数据的实时传输和远程控制。

d. 火灾自动报警系统:提高泵站的消防安全水平,防止火灾事故发生;配置自动火灾探测和报警系统,实现对火灾的早期预警和快速处理。

智慧水务平台管理系统运作图如图2所示。

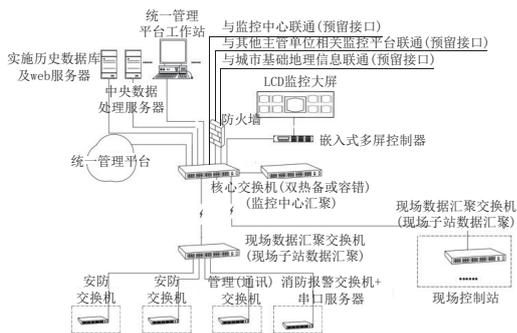


图2 平台系统图

(2)通过平台系统可实现信息化数据展示、设备设施运行管理、智能调度、运行数据统计分析、日常工作综合管理等功能;并通过信息化手段,协助管理人员提升管理效率,实现无人或少人值守。

4 智慧平台应用

4.1 基于智慧水务管理与下穿隧道排水能力改造的综合方案制定

基于智慧水务管理与下穿隧道排水能力改造,制定智慧平台的综合方案主要包含如下所列内容。

(1)智慧水务管理综合方案:结合智慧水务管理的原理和技术,制定针对城市排水系统的综合管理方案。

(2)数据采集和监测系统建设:安装1560余台监测设备,包括监测雨量、水位、环境的传感器等,实现对隧道内部环境的全方面实时监测;建立视频监控系统,实现对隧道内的全天候监控;部署智能语音

播报系统,实现在紧急情况下进行自动广播。

(3)数据分析和决策支持系统搭建:建立大数据分析平台,通过实时分析采集数据,识别潜在的风险和问题;引入人工智能技术,提供预测性维护建议,提高设备运行的可靠性和稳定性。

(4)实时预警和响应机制的建立^[6]:开发预警系统,结合历史数据和实时监测数据,预警可能发生的积水情况和设备故障;配置自动化响应机制,实现在检测到异常情况时,可自动启动相关设备进行应急处理。

城市排水系统韧性的提升对于城市可持续发展至关重要,因此,搭建隧道的智慧管控平台,可以有效增强城市排水系统的韧性,提高城市隧道安全运行和应对极端天气的能力,为隧道的管理和维护带来极大便利。智慧管控平台的建设可实现如下所列目标。

(1)对现场设备的自动化控制及远程干预。

各点位水泵可根据泵坑的液位实现自动轮巡工作,减少人为因素的干扰,延长了水泵的使用寿命,如遇水位突变,还可自动增加工作水泵以达到最快排水的目的;在出现现场控制系统运行逻辑混乱、值守人员不到位的极端情况下,可通过后台施行强制干预,加大隧道运行保险系数,增加隧道安全运行的砝码。

(2)实现对隧道运行的实时监控以及运行画面和参数的可追溯。

通过监控录像和运行数据的上传记录,可实现对隧道的管理情况、设备运行情况、问题发生等进行实时监控,并留下痕迹以备追根溯源及分析问题的原因;还可根据使用条件进行多参数对比查询曲线,以达到快速查找故障原因的目的。

(3)多系统融合展示。

成都市下穿隧道综合管理平台融合了现场PLC自动控制、环境参数监测、雨量监测及报警、视频可视化监控、火灾报警、门禁、机器人巡检等子系统,在一页画面上就可以使整个隧道的情况尽收眼底,做到运行监控一张图。

(4)多系统的联动。

防汛系统与消防系统、语音播报系统、视频监控实现联动,一旦发生隧道积水、火情等安全隐患,在初期阶段由防汛和消防系统报警,广播系统可自动向隧道内喊话警示,同时中心和子站人员收到报警后可通过视频监控和语音播报系统指导隧道内车辆和人员逃生。

(5)设备维护计划优化提醒。

根据现场采集的设备信息和运行状态,系统实时综合判断设备的运行工况,提出最优的维护计划建议以供管理人员决策调整原计划。

4.2 改造成效

通过平台建设和隧道改造,成都市下穿隧道的抽排流量共计增加了 $21\,420\text{ m}^3/\text{h}$,排水能力提升约46%,减少了进入隧道的外水量约 $5\,100\text{ m}^3/\text{h}$,具体的改造成果如下所列。

(1)泵站排水能力显著提高:新增泵坑7座,并增加高效节能泵数量,更换并升级了泵站水泵和配电设备,使泵站整体性能得到大幅提升。

(2)系统可靠性增强:共更换了配电设备52套,并增加了备用电源和自动切换装置、更换了柴油发电机16台,以确保断电情况下泵站依然能够正常运行;改造了PLC控制系统43套,实现了智能化控制和管理。

(3)监控和管理水平提升:新增隧道监控设备1560余台,实现了对隧道和泵站的全方位监控;建立了综合管理平台,提升了智能化管理水平;实现了实时监控设备的运行状态,提高了管理效率,降低了设备故障率。

4.3 实践案例和数据支持

根据成都市下穿隧道排水系统的实际应用情况,得到数据支持如下所列。

(1)监测设备安装:在1560个监测点中,实现了对水位、雨量、环境参数的实时监控。

(2)排水能力提升:改造后的总排水量增加了 $21\,420\text{ m}^3/\text{h}$,泵站数量在原有基础上增加了7座。

(3)系统联动:实现了对防汛系统与消防系统、语音播报系统、视频监控系统的联动,提高了系统的综合应急处理能力。

5 结语

提升城市排水系统的韧性对于确保城市的可持

续发展和安全运行至关重要。研究通过创新地结合智慧水务管理和下穿隧道排水能力改造方案,显著增强了城市排水系统的韧性,提高了城市应对自然灾害和极端天气事件的适应能力。

智慧水务管理作为提升排水系统韧性的核心,通过引入实时数据收集与监测技术及先进的数据分析与决策支持系统,为管理提供了精准的实时信息和即时的风险预警。由此可见对智慧技术的应用不仅提升了管理效率,还增强了应急响应能力,减少了因排水不畅导致的潜在风险。

未来,智慧水务管理在隧道排水系统优化和雨水内涝风险预警方面的应用前景广阔。随着信息技术运用在水务行业实践中的不断深入,其对于提升城市排水系统管理水平的作用将愈加显著。智慧水务作为智慧城市的重要组成部分,将使城市隧道的运行和管理更加智能化、专业化和精细化,为城市管网隧道的规划、建设和管理提供重要指导。

参考文献:

- [1] 段晨阳,刘元金.汛期城市现状下穿隧道排水泵房提升改造工艺探究[J].四川水利,2022,43(5):80-84.
- [2] 王燕平,丁建峰,孙颖.市政下穿通道排水系统运营现状及改造建议[J].四川建材,2022,48(1):209-210.
- [3] 刘庆泉.基于城市内涝治理的城市强排系统改进设计[J].科技创新与应用,2019(22):95-96.
- [4] 吴思全.“一网统管”背景下上海市排水信息化建设实践探索与研究[J].城市道桥与防洪,2023(6):125-127.
- [5] 北京市人民政府办公厅.北京市城市积水内涝防治及溢流污染控制实施方案(2021—2025年):京政办发〔2021〕6号[EB/OL].(2021-05-14)[2024-04-26].https://www.gov.cn/xinwen/2021-05/14/content_5606480.html.
- [6] 张文时,郑轶丽,张勇.浅析雨水泵站存在的问题及解决方案——以成都市46座雨水泵站排水能力提升项目为例[J].价值工程,2021,40(13):148-149.
- [7] GB 50015—2019,建筑给水排水设计标准[S].
- [8] HG/T 20573—2012,分散型控制系统工程设计规范[S].
- [9] 成都市水务局.成都市下穿隧道雨水泵站提标改造技术导则(试行)[Z].成都:成都市水务局,2018.
- [10] 王亮,李文涛,张海飞,等.智慧水务在市政排水系统效能提升中的应用[J].城市道桥与防洪,2023(3):269-272.