

城市内涝治理系统设计要点及案例分析

付 乐, 张世元

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 湖北分公司, 武汉 430016)

摘要:城市内涝治理是一项系统性工程,在对内涝治理特征进行剖析的基础上,提出了达到治理目标的“三步法”,并从源头减排、排水管渠及泵站、河湖水系、应急除险、信息化等方面总结了设计要点,从规划建设、运行维护、应急抢险等方面阐述了管理措施,介绍了几个典型城市的相关案例,为城市内涝治理提供参考和借鉴。

关键词:城市内涝;系统治理;源头减排;蓄排结合;调度管理

中图分类号:TU992.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0236-05

随着城市建设发展和极端暴雨频次增加,城市内涝问题日益突出。排水防涝设施是当前城市建设热点之一,内涝治理也取得了积极进展,但仍存在自然滞蓄能力不足、管网及泵站建设标准偏低、工程建设滞后、运行管理不完善、应急抢险能力不强、系统治理理念缺乏等问题。2021 年 4 月国务院办公厅发布《关于加强城市内涝治理的实施意见》(国办发〔2021〕11 号),要求加快推进城市内涝治理。

内涝治理系统是工程性设施和非工程性措施以一定方式组合而成的总体,包括源头减排、雨水收集、输送、调蓄、行泄等天然和人工设施,以及相关管理措施等。

1 总体设计

1.1 内涝治理系统特征

内涝治理系统设计应注意流域性、系统性、综合性、多样性和时序性。

1)流域性。内涝治理与所处的流域密切相关,需统筹区域生态环境治理、城市水资源利用、城市建设等,形成防洪排涝、应急管理、物资储备等系统完整的防洪排涝体系。

2)系统性。雨水是不可压缩的,雨水径流的蓄、排实质是其空间分配问题。内涝治理需从源头减排、管渠排放、河湖调蓄、排涝除险等环节系统设计^[1]。

3)综合性。内涝治理是一项综合性的工程,涉及海绵城市、城市排水、城市防洪、河湖水系、道路

交通、园林绿地等多个领域,应注重与相关规划及建设内容的协调。

4)多样性。内涝治理设施按用途可分为专用设施和兼用设施;按使用时间可分为永久设施和临时设施;按属性可分为人工设施和自然设施;按措施类别可分为工程性措施和非工程性措施。

5)时序性。内涝治理是一项庞杂的系统工程,短期内一次性达到目标难度大,可以结合城区整体改造、道路建设、易涝点治理等契机,分阶段、分区域实施,同时考虑应急措施。

1.2 一般要求

内涝治理系统设计一般应满足以下要求:①考虑城市所处流域的整体状况,不以行政区划为界限;②保护河湖水系等自然空间,保证一定的水面率;③优化城市绿地系统布局,保证一定的绿地率;④合理确定城市用地布局、竖向高程、雨水排放分区和排水出路等;⑤考虑上游过境流量的影响,合理确定城市防洪标准、设计水位等;⑥以规划为引领,以问题为导向,合理确定内涝治理标准及系统方案;⑦制定应急预案,加强预警及管理信息平台建设。

1.3 设计标准

内涝治理设计重现期,超大城市 100 年,特大城市 50~100 年,大城市 30~50 年,中等城市和小城市 20~30 年。

地面积水设计标准为:居民住宅和工商业建筑物底层不进水;道路中一条车道的积水深度不超过

收稿日期:2021-09-09

作者简介:付乐(1982—),男,湖北罗田人,中国市政工程华北设计研究总院有限公司湖北分公司,高级工程师,硕士,研究方向为市政给排水、水环境。

15 cm,保证至少一车道能够通行。

雨停后最大允许退水时间,中心城区 1~3 h,非中心城区 1.5~4 h,中心城区的重要地区 0.5~2 h。

排涝能力满足上述积水深度和最大允许退水时间时,不应视作内涝。

1.4 设计雨水量

源头减排设施设计雨水量根据年径流总量控制率确定,当降雨量小于规划确定值时,不向市政雨水管渠排放未经控制的雨水。以武汉市为例,年径流总量控制率为 80%、85% 时,对应降雨量为 35.2、43.2 mm,分别对应重现期 0.5、1 年的小时降雨量。

雨水管渠主要应对短历时强降雨的排水安全,注重“排”,设计流量根据设计重现期确定,一般超大城市和特大城市中心城区取 3~5 年,大城市 2~5 年,中等城市和小城市 2~3 年,重要区域采用更高标准。以上海市为例,主城区及新城设计重现期及对应小时降雨量分别为 5 年、58.1 mm,其他地区 3 年、51.3 mm,地下通道和下沉式广场等 30 年、82.2 mm。

内涝治理系统重点关注长历时降雨的排水安全,注重“蓄排结合”,降雨历时一般采用 3~24 h。设计水量根据内涝治理设计重现期,与源头减排设施、排水管渠、河湖水系作为一个整体系统核算。以上海市为例,内涝治理设计重现期为 100 年,对应 24 h 设计降雨量 275 mm^[2]。

1.5 内涝治理达标“三步法”

内涝治理目标的实现需因城施策、一点一策、系统设计、有序推进,达标可按“三步法”实施:第一步,消除易涝点,并按需配备应急抢险设备,减少内涝对生产生活的影响;第二步,解决排水系统“瓶颈”问题,提升管网及泵站排涝能力;第三步,按防涝标准系统治理,形成“源头减排、管渠排放、蓄排并举、超标应急”的内涝治理体系。

2 内涝治理设施

2.1 源头减排设施

城市内涝治理应按低影响开发理念,采用渗透、滞蓄等措施,保持或模拟自然过程,控制雨水径流总量和削减峰值流量。源头减排设施包括透水路面、绿色屋顶^[3]、下凹式绿地、植草沟^[4]、渗透管渠等。

径流量控制规模可按下式计算:

$$V_i = V_s + W_p, W_p = KJA t_s \quad (1)$$

式中: V_i 为径流量控制规模, m^3 ; V_s 为设施有效滞蓄容积, m^3 ; W_p 为入渗量, m^3 ; K 为渗透系数, m/h ; J 为水力坡降(一般取 1); A 为有效渗透面积, m^2 ; t_s 为渗透时间, h ,为当地多年平均场降雨历时,资料缺乏时可取 2~12 h。

透水路面可采用透水水泥混凝土、透水沥青或透水砖,当土基渗透系数大于 $1 \times 10^{-6} m/s$ 时宜采用全透水铺装结构;小于或等于 $1 \times 10^{-6} m/s$ 时宜采用半透水铺装结构,并设置地下集水管。

屋面坡度不大于 15° 时可设置绿色屋顶,自上而下设置土壤层、过滤层、排水层、防水层、找平层,并设置屋面排水沟或排水管等设施。

下凹式绿地深度宜为 50~250 mm,选用适合运行条件并满足景观要求的耐淹植物,按快进缓出的原则设置出流管,排空时间 24~48 h。

植草沟的边坡坡度不大于 1:3,纵坡不大于 4%,最大流速不超过 0.8 m/s,植被高度宜为 100~200 mm。

渗透管渠采用穿孔塑料、无砂混凝土等透水材料,开孔率 1%~3%,无砂混凝土管的孔隙率应大于 20%。

2.2 排水管渠及泵站

城市雨水径流应通过排水管渠、城市内河等有组织排放,管渠系统包括雨水管渠、泵站以及雨水口、检查井等附属设施。

雨水管渠按重力流、满管流设计,一般采用曼宁公式进行计算,假定流态为恒定均匀流,水力坡度等于管道坡度,考虑未超载状态,可以采用更简化的谢才公式。按内涝治理重现期校核时,一般处于超载状态,按压力流校核,采用达西-魏斯巴赫公式、海澄-威廉公式和曼宁公式计算。城市内涝治理应合理进行排水分区,“高水高排、低水低排”,重点消除易涝点,补齐管网建设短板。

雨水口和雨水连接管设计流量应为雨水管渠设计重现期计算流量的 1.5~3 倍,并按内涝设计重现期标准校核。

对外水顶托导致自排不畅或抽排能力不足的地区,需改造或增设泵站,泵站规模根据调蓄容积、排水时间等因素综合确定;出水口设置消能设施,流速小于 0.5 m/s;用地受限时可采用一体化预制泵站等节地型泵站。

2.3 河湖水系

注重保护河湖水系自然生态空间,恢复和保持自然连通和流动性。合理开展河道、湖泊、坑塘等

整治工程,提高蓄排能力。

对于城市水体,应根据水资源配置和调蓄要求、水环境保护目标等,合理确定常水位和最高水位。敞开式调蓄水体近岸2 m范围内的常水位水深大于0.7 m时,应设置防止人员跌落的安全防护设施,并设置警示标志;超高应大于0.3 m,并设置溢流设施。

河道调蓄应对过流能力进行校核;内河设计超高应考虑弯曲段水位壅高,并大于0.5 m;人工水体调蓄水深一般大于1 m,最高水位低于建设用地控制标高1 m以上。城市内河(湖)水位应统一调度,暴雨前应预先降低水位,暴雨后一般地区应在24 h内排水至设计水位以下,重要地区可缩短排水时间。

2.4 应急除险设施

应急除险设施包括应急调蓄、行泄通道、应急设备等。

1)应急调蓄。超标暴雨期间,充分利用自然洼地、园林绿地、广场等敞开式雨水调蓄设施,做到一地多用,可以有效降低内涝灾害。应设置安全警示牌,标明调蓄启动条件、淹没范围、最高水位等。内涝易发、人口密集、现有排水系统改造困难的区域,可设置隧道等人工调蓄设施。

2)行泄通道。内涝风险大的区域可选取道路等作为临时雨水行泄通道,形成地面漫流系统。行泄通道不应位于人口密集和可能造成严重后果的城市重要区域;积水时间小于12 h;最大积水深度时周边建筑底层不得进水;设置水位监控系统 and 警示标志。

3)应急设备。按需配备排涝除险应急设备,包括临时发电装置、移动排涝泵车等。

2.5 信息化设施

建立城市内涝治理综合管理信息平台,整合各部门防洪排涝管理相关信息,在排水设施关键节点、易涝点布设必要的智能化感知终端设备,满足日常管理、运行调度、预警预报、应急抢险等功能需要;有条件的城市可以建立城市内涝模拟分析模型^[5],与城市信息模型(CIM)基础平台深度融合。

3 管理措施

从规划建设、运行维护、应急抢险等方面加强管理体系建设,可以有效提升城市内涝治理水平。

1)规划建设。强化规划管理与实施,保护山水林田湖草等自然生态空间;优化城市布局,加强竖向高程管控;加强内涝治理项目储备和前期工作,严格把控工程质量;统筹防洪排涝、治污、雨水资源

化利用等工程,避免相互造成不利影响。当遭遇内涝灾害后,及时对被毁坏的内涝治理设施进行修复或重建。

2)运行维护。建立健全的管理制度,包括运行管理制度、岗位操作制度、设施设备维护制度、事故应急预案等。运行管理制度包括汛期和非汛期管理,汛期又分为汛前、汛中和汛后。对于兼用设施,应制定不同运行模式相互切换的管理制度。

探索供水、排水和水处理等水务事项全链条管理机制,因地制宜推广“厂网河(湖)一体化”管理,建立健全防洪排涝“联排联调”运行管理模式。强化政府各部门监管、执法队伍协调联动。

3)应急管理。城市内涝治理应急管理体系包括预警系统、应急系统和评价系统等,需完善应急物资储备、安全管理制度及调用流程,加大防洪排涝知识宣传教育力度,提高公众防灾避险意识和自救互救能力^[6]。

4 工程案例

4.1 中山市中心城区内涝成因及对策

2013年5月8日、2014年5月8日、2016年6月28日暴雨时,中山市中心城区出现了“城市看海”现象。根据暴雨内涝情况及易涝点分布,对排涝系统进行评估的结果表明,城市建设发展挤占河涌用地、覆盖河涌,造成排涝能力不足,是内涝的主要原因。另外,雨水管道标准不足、“带病运行”也是内涝的一个重要原因。内涝治理首先须对排涝河涌进行整治,在河口处适当建设排涝泵站,在岐江河水位顶托时适时抽排^[7]。

4.2 西安市内涝成因及对策

西安市作为关中平原城市群的核心城市,近年来多次遭遇强降雨导致的城市内涝,如2016年7月24日、2018年8月22日、2020年7月10日、7月30日等。根据降雨时空变化分析,全市总体降水量呈下降趋势,但极端降雨情况在增加,中心城区增幅较周边区县更明显,而现状排水管网暴雨设计重现期以1年为主,极端降雨远超管网排水能力。另外,还存在管网及雨水口淤塞、管网混错接、市区下垫面不透水面积占比增大、局部地区地势低洼且未充分考虑排水措施、城市水体未发挥调蓄作用等问题。市区内的曲江池、兴庆湖、护城河等水体总调蓄水量为313万 m^3 ,因考虑环境因素不接纳水质较差的雨水,调蓄空间难以发挥。需建设城市内涝预警信息平台、加强排涝基础设施建设、采取“灰绿结合”的措施,系统地进行内涝治理^[8]。

4.3 常州市主城区易涝点治理

常州市主城区地形以平原、圩区为主,地势平坦,地面高程3~5 m(吴淞高程),高程4 m以下低洼地面积约占区域总面积的40%,高程3 m以下约占13%,2012年共计存在69处易涝点,多位于老小区、城中村。导致内涝的原因包括片区地势过于低洼;超标暴雨频次增加;管网设计标准低,长效管养机制不健全;泵站陈旧简陋、缺少调蓄容量;施工质量较差、管道不均匀沉降;雨水口设置不符合标准、破损较严重;排水设施破损现象突出;排水系统改造基本理念缺失;旧城排水工程改造滞后等。

通过改造和完善管网、增设排涝泵站等措施,首批易涝点已完成整治。但洼地的产生是个动态过程,随着城市化的扩展,新的积水洼地仍在不断生成,内涝点治理应进行系统设计、改造^[9]。

4.4 广州市内涝点排水改造

广州市“水浸街”现象主要原因包括:城市下垫面硬化比例高;雨水系统设计标准偏低,重现期大多小于2年;排水设施存在结构性或功能性缺陷;污水量快速增长,部分城中村区域的流动人口远超常住人口,如白云区大源村户籍人口约1万人,实际居住人口约25万人,现状合流制排水管仅为d400~d600,已无法满足旱季污水的排水需求;下游水位顶托,重力排放不畅;城市建设对河道断面的改变、挤占,大量垃圾被倒入河道,导致行洪断面不足;城市排水系统设计不合理,雨水应就近排放,避免“长途辗转”排放不畅,低洼地无自流条件的应采取必要的工程措施。需对现状排水系统进行评价,有针对性地采取排水管渠改造、控制地表径流、增加强排设施、设置调蓄设施等措施^[10]。

4.5 鹤壁市内涝积水问题系统化解决方案

鹤壁市淇水大道易涝区域积水区段总长度约为980 m,逢大雨必涝。根据当地实际情况,通过局部排水管线调整,将汇水面积减少约24%;通过小区和道路海绵化改造,达到了年径流总量控制率不小于70%、年SS削减率不小于60%的目标;通过雨水管渠改造将标准提高至2年一遇;通过在人行道设置超标径流入河(绿地)通道,提高了排涝能力和调蓄能力,达到了30年一遇内涝治理标准。在沿河道路低洼区段采用了“超标径流入河(绿地)通道”技术,通过在人行道底部开槽、协调道路与河道两侧绿地高程关系等措施,打通路面超标径流入河(绿地)路径,有效缓解了易涝区的积水问题^[11]。

4.6 武汉市城市内涝的成因及对策

武汉市水系丰富,内涝问题较为突出,2016年6月30日—7月6日的连续强降雨中,汤逊湖和南湖地区周降雨量突破历史极值,达到565.7~719.1 mm。7月6日9:00前,中心城区共出现162处车辆无法通行的道路积水。南湖、汤逊湖因湖水满溢,大部分区域渍水当月12日才消退,北港教师小区等6个地势低洼的小区渍水当月15日以后才陆续消退。

内涝原因主要有:①竖向高程控制不合理。根据2010年城市总体规划,建设用地竖向要求南湖周边为21.15 m以上、汤逊湖周边为20.15 m以上。在具体建设过程中,由于填方成本、与原有农业道路衔接等原因,部分小区没有严格遵循上述标准,南湖周边低于21.15 m的建设用地约3.5 km²,低于20.65 m的是内涝的重灾区,面积约1.14 km²,北港教师小区等低于20 m。②抽排设施实际效能不足,来水通道过流能力差,外江水位高于泵站设计水位,泵站自身的运行效率下降,2016年7月降雨后,泵站全部开启各湖水水位平均每日下降不足0.1 m。③汛前控制水位不足,影响调蓄容积。需从排水体制、调蓄管控、排水标准和能力、城市建设模式等方面系统改进^[12-13]。

5 结语

城市内涝治理是一项复杂的系统工程,涵盖从雨水径流产生到排放的全过程控制,而不仅是传统的雨水管渠设施。需将城市作为有机生命体,处理好城市防洪排涝与其他各项建设内容之间的关系,采取海绵城市、韧性城市的建设理念,系统谋划、有序推进,因地制宜地进行内涝治理设施建设,并建立完善的管理体系,逐步解决城市内涝问题。

参考文献

- [1] 张亮,汤钟.解析城市内涝防治规划与管理[J].城乡建设,2020(24):16-19.
- [2] 张辰,章林伟,莫祖澜,等.新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J].给水排水,2020,46(6):9-13.
- [3] 何良杰,庞析俊,杨燕,等.屋面雨水收集缓解城市内涝时效分析[J].科学技术与工程,2019,19(31):338-343.
- [4] 白建光,王建军,冀晓东,等.基于层次-模糊分析法的城市内涝生态治理评价[J].科学技术与工程,2018,18(16):7-11.
- [5] AHMED F. Numerical modeling of the Rideau Valley Watershed[J]. Natural Hazards,2010,55:63-84.
- [6] 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.

[7] 刘霞,黄兆玮,徐辉荣,等. 中山市中心城区治涝对策研究[J]. 中国给水排水,2019,35(16):20-30.

[8] 侯精明,康永德,李轩,等. 西安市暴雨致涝成因分析及对策[J]. 西安理工大学学报,2020,36(3):269-274.

[9] 洪昕,黄磊,陈汉新,等. 常州市主城区易淹易涝地区积水成因分析及典型治理案例探讨[J]. 江苏水利,2020(6):69-72.

[10] 吉娜. 广州市内涝点排水改造工程设计及技术审查要点分析[J]. 工程技术研究,2020(10):236-237.

[11] 唐磊,周飞祥,王巍巍,等. 北方城市典型内涝积水问题的系统化解决方案[J]. 中国给水排水,2020,36(13):139-144.

[12] 陈雄志. 武汉市汤逊湖、南湖地区系统性内涝的成因分析[J]. 中国给水排水,2017,33(4):7-13.

[13] 康丹,康宽. 武汉临湖建成区渍水成因及对策:以南湖地区为例[J]. 中国给水排水,2018,34(3):135-138.

Design Essentials and Case Analysis of Urban Waterlogging Control System

FU Le, ZHANG Shiyuan

(Hubei Branch of North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. , Ltd. ,Wuhan 430016,China)

Abstract: Urban waterlogging control is a systematic project. On the basis of analyzing the characteristics of waterlogging control, a “three-step method” was put forward to achieve the control goal, and the key points of design was summarized from the aspects of emission reduction at the source, drainage pipe and pumping station, river and lake water system, emergency risk control and informatization, etc. Expounds the management measures from the aspects of planning and construction, operation and maintenance, and emergency rescue, and introduces the relevant cases of several typical cities, so as to provide reference for urban waterlogging control.

Keywords: urban waterlogging; control system; source emission reduction; storage and drainage combined; dispatching management