

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.13.024

北方城市典型内涝积水问题的系统化解决方案

唐磊, 周飞祥, 王巍巍, 刘广奇
(中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

摘要: 以我国北方某城市的典型易涝区域整治项目为例,介绍了系统化方案的编制方法和实施效果。首先从汇水分区的尺度分析内涝积水成因,然后根据目标要求制定汇水分区优化、源头减排系统改造、排水管渠系统改造、排涝除险系统建设相结合的系统化方案,并建立排水模型对方案实施效果进行量化评估。在案例项目中,通过局部排水管线调整将汇水分区范围减少约24%;通过小区和道路海绵化改造,实现了年径流总量控制率不小于70%、年SS削减率不小于60%的目标要求,同时显著降低了径流峰值;通过雨水管渠提标改造将管渠排放标准提高到2年一遇;通过在人行道设置多处超标径流入河(绿地)通道,提高了排涝能力和调蓄能力,达到了30年一遇内涝防治标准。该系统化方案通过雨水径流的合理组织和排水防涝设施系统改造建设,在消除城市内涝问题的同时,实现了径流总量控制、径流污染控制、景观提升和地下水涵养等多重目标,可为其他城市提供参考和借鉴。

关键词: 内涝防治; 系统化方案; 排水模型; 海绵城市

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)13-0139-06

Systematic Solution to Typical Waterlogging Problems in Northern Cities

TANG Lei, ZHOU Fei-xiang, WANG Wei-wei, LIU Guang-qi
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

Abstract: The preparation method and implementation effect of a systematic plan of a typical waterlogging area remediation project of a northern city in China were introduced. The causes of waterlogging from the scale of the catchment zone were firstly analyzed. Then, a systematic plan combining the optimization of water catchment zoning, the reconstruction of the source emission reduction system, the reconstruction of the drainage pipe and canal system, and the construction of the drainage system were formulated according to the objectives and requirements, and a drainage model was established to quantitatively evaluate the implementation effect of the plan. In the case project, the catchment area was reduced by about 24% through local drainage pipeline adjustment. The target requirements of annual total runoff control rate of no less than 70% and annual SS reduction rate of no less than 60% were achieved through the sponge transformation of residential quarters and roads, and the runoff peak value was significantly reduced. The drainage standard of pipe and channel was raised to 2-year return period through the improvement of rainwater pipe and channel. The drainage capacity and storage capacity were improved by setting channels where excessive runoff flowed into the river (greenbelt) in many places along the sidewalk, and the waterlogging prevention reached 30-year return

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07501001)

period standard. Through the reasonable organization of runoff and the reconstruction of drainage and waterlogging prevention facilities, this systematic plan not only eliminated the urban waterlogging problem, but also achieved multiple goals such as total runoff control, runoff pollution control, landscape improvement and groundwater conservation, which could provide reference to other cities.

Key words: waterlogging prevention; systematic plan; drainage model; sponge city

在全球气候变化和城市快速发展的背景下,近年来我国许多城市的内涝积水问题日益突出,对居民的生活和生命财产安全造成了严重危害。气候变化导致极端暴雨事件频发,每逢汛期全国多个城市均会面临强降雨侵袭;快速城市化导致不透水面积增加,当发生强降雨时产生的大量地表径流如果不能及时排放就会产生内涝积水问题^[1]。城市易涝区域整治工作事关人民生命与财产安全,近年来各城市都加大了排水防涝设施的投资,并且随着海绵城市理念的广泛推广,尤其是经过两批国家海绵城市试点建设,许多城市的内涝问题得到了显著缓解。但是由于城市排水系统非常复杂,加之许多城市排水设施历史欠账较多或规划设计不合理,导致内涝积水问题难以彻底消除。对于一些积水严重、影响范围广、整治难度大的易涝区域,仅通过改造排水管道、提升管渠设计重现期,或仅建设源头低影响开发设施难以彻底消除内涝隐患^[2]。

如何统筹绿色和灰色设施、协同推进海绵城市和排水防涝设施建设、提高城市内涝防治能力,是当前我国许多城市面临的重点和难点问题。笔者以北方某城市的一个典型易涝区域整治项目为例,通过编制和实施基于海绵城市理念的内涝整治系统化方案,消除易涝区域内涝积水问题。与南方城市相比,北方城市的降雨总量相对较小,但是年内和年际变化较大;北方城市排水系统受河道顶托和倒灌的影响一般轻于南方城市,但是水系相对较少、水面率较低,排涝通道和调蓄空间更为缺乏。

1 易涝区域概况

淇水大道易涝区域位于某城市建成区,汇水分区面积约为 91.4 hm²,其中内涝积水区段主要为淇水大道湘江路至长江路段,总长度约为 980 m。该易涝区域的现状汇水分区及雨水管网分布如图 1 所示。淇水大道易涝区域是该城市重点易涝区域之一,内涝积水问题突出,几乎逢大雨必涝,对道路交通及沿街居民生活造成很大影响。

淇水大道易涝区域排水体制为分流制,道路和

地块内的雨水径流通过 D300 ~ 500 雨水管收集后在道路交叉口排入西侧城市主要防洪河流。该河流为季节性河流,年内水量变化极大,最大流量达 2 710 m³/s,最小流量仅为 1.1 m³/s,平均流量为 14.4 m³/s。河流城区段断面较宽,河边有大片滨河绿地,结合上游水库的调度运行,城区段的防洪能力基本能达到 100 年一遇标准,由于易涝区域雨水排河口高于防洪水位,汛期雨水排放不受河流影响。根据计算校核,易涝区域现状雨水管道实际排水能力不足 0.5 年一遇,排水能力较低。



图1 淇水大道易涝区域的现状汇水分区及雨水管网分布
Fig.1 Catchment area and rainwater pipe network distribution map of Qishui Road waterlogging area

研究区域所在城市多年平均降雨量为 615 mm,降雨量年际变化较大,根据近 30 年的降雨数据分析,最大年降雨量为 1 626.9 mm,最小年降雨量仅为 316.3 mm;降雨集中在汛期,6 月—9 月的降雨量占全年降雨量的 70% ~ 80%,大雨、暴雨降雨场次占所有降雨场次的 9.9%,但降雨量占比为 44.2%。

根据地形高程分析,易涝区域内地形坡度较明显,平均坡度约为 0.5%,淇水大道北部和南部地势

较高,中部与九江路交叉口地势最低,形成局部低洼点,地面高程比周边区域低约4 m(见图2)。降雨期间大量地表径流汇集至道路低洼处,加之雨水管道排水能力不足,导致内涝积水风险大大增加。该项目的内涝积水原因具有一定的典型性和代表性。

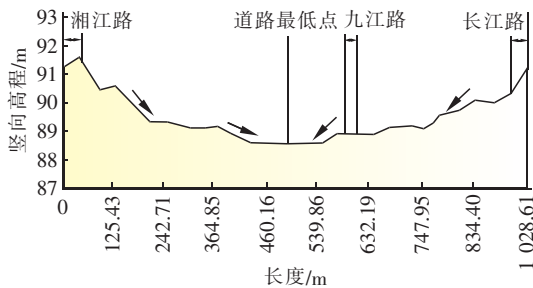


图2 淇水大道(湘江路至长江路段)的高程分布断面

Fig. 2 Elevation distribution profile of Qishui Road (Xiangjiang Road - Changjiang Road)

此外,由于易涝区域西侧河流为饮用水水源,水环境保护要求极高,在实施内涝整治的同时亟需对雨水径流污染进行控制,以减少对河流的污染。

2 技术思路与设计目标

2.1 技术思路

易涝区域整治系统化方案的制定分为4个步骤,如图3所示。

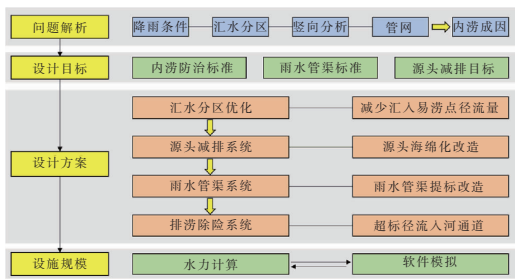


图3 易涝区域整治系统化方案的技术思路

Fig. 3 Schematic diagram of technical ideas for the systematic scheme of waterlogging area remediation

① 通过全面普查和分析易涝区域汇水范围、雨水管网排水能力、河道防洪能力、降雨特征、高程竖向变化、现状防涝设施情况等,明确内涝原因。

② 根据相关上位规划要求和项目实际情况,确定排水管渠设计标准、内涝防治标准、径流总量控制和径流污染控制等目标。

③ 在摸清现状和明确目标的基础上,确定排水防涝设施改造内容与规模。根据场地竖向、排水管渠分布和汇水分析,按照“高水高排、低水低

排”及就近排放、分散排放原则,对易涝区域汇水分区进行优化,尽量减少汇入易涝区域的径流量;通过源头海绵化改造,对道路和地块内雨水径流进行控制,在落实年径流总量控制率的同时,实现径流的削峰和错峰,降低对雨水管网的冲击;完善和改造排水管渠系统,提高雨水管网排水能力,达到排水管渠设计标准;通过建设超标径流入河通道等排涝除险措施,提高排涝能力和调蓄能力,有效应对超标径流。

④ 构建汇水分区排水系统模型,并通过不同降雨情景模拟对方案实施效果进行量化评估,调整优化设计方案和设施规模,确保最终达到内涝防治和雨水径流控制等目标。

2.2 设计目标与参数

根据上位规划(海绵城市专项规划及排水防涝规划等)、相关标准规范[《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)、《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)、《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)等]的要求和项目实际情况,合理确定排水防涝设施建设标准。淇水大道易涝区域整治项目的设计目标和指标如下:

① 内涝防治标准取30年一遇,根据项目所在城市长历时设计暴雨雨型,30年一遇24 h降雨量为262.5 mm,24 h降雨历时的平均雨峰位置为116/288(约40%分位)。

② 雨水管渠设计标准取2年一遇,根据项目所在城市最新版暴雨强度公式,2年一遇2 h降雨量为49.61 mm。

③ 年径流总量控制率目标取70%,通过分析项目所在城市近30年日降雨资料,绘制出年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系曲线图,70%控制率对应的设计降雨量为23 mm。

④ 径流污染控制目标以悬浮物(SS)总量削减率计,根据海绵城市专项规划,该项目的年SS削减率应不低于60%。

3 内涝整治系统化方案

3.1 汇水分区优化

淇水大道易涝区域现状汇水分区内地形东高西低且坡度较大,根据地形高程、排水管线和河湖水系分布的分析,对汇水分区进行优化调整,将高程较高且具备条件的东侧部分区域调出汇水范围,减小易涝区域汇流范围和排水压力。将天山路的雨水管(D500)向南部延伸,穿越湘江路后接入现状雨水管

网(D600),并最终沿南侧道路排入东侧河流,见图4。通过该措施可显著减少汇入淇水大道易涝区域的径流量,优化后汇水分区范围减少约24%。



图4 汇水分区调整及排水管网改造方案示意

Fig.4 Schematic diagram of catchment zoning adjustment and drainage pipeline reconstruction scheme

3.2 源头减排系统改造

按照海绵城市建设要求,对淇水大道汇水区范围内的建筑小区和市政道路进行海绵化改造,在实现年径流总量控制和径流污染削减任务的同时,降低小区和道路外排流量峰值、延缓产汇流时间,降低对雨水管渠的冲击。源头减排项目分布见图5。



图5 源头减排项目分布

Fig.5 Distribution of source emission reduction projects

以淇水大道海绵化改造为例,主要措施包括将人行道铺装改为透水铺装、将树池改造为生态树池、在机非隔离带建设生物滞留设施等,同时加强海绵设施与排水管网系统的衔接以确保安全溢流。

3.3 排水管网系统改造

由于易涝区域建设年代较早,雨水管道设计排放标准较低,加之周边区域开发面积和开发强度不断增加,当前雨水管道的排水能力已远远不能满足需求。结合淇水大道、湘江路、长江路的道路海绵化改造,对雨水管道按2年一遇设计重现期进行提标改造,改造后采用双侧布管,管径为D600~800,排河口仍位于九江路与淇水大道交叉口处,见图4。

3.4 排涝除险系统改造

当降雨超过排水管网设计标准时,为了应对路面超标径流就需要构建排涝除险系统。淇水大道西侧滨河城市公园绿地的高程低于淇水大道,在人行道每隔50m设置一处1m(宽)×0.2m(高)的超标径流入河(绿地)通道,易涝区段共设置10处。当路面产生超标径流时,通过超标径流通道排入公园绿地并最终入河,充分发挥公园绿地的调蓄功能,避免道路产生长时间积水(见图6和图7)。

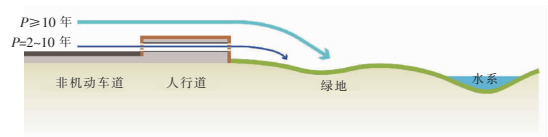


图6 淇水大道超标径流入河通道示意

Fig.6 Schematic diagram of inflow river channel of exceeding-standard runoff in Qishui Road

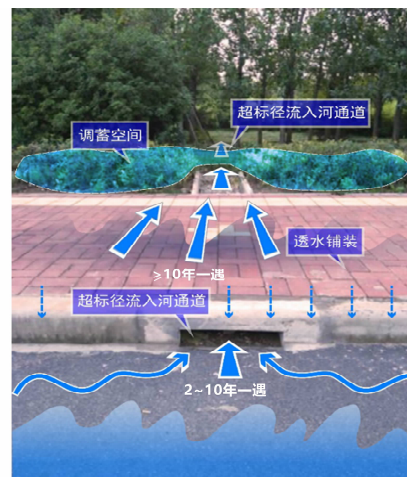


图7 淇水大道超标径流入河通道实景照片

Fig.7 Pictures of inflow river channel of exceeding-standard runoff in Qishui Road

4 项目建设成效模拟

4.1 内涝整治效果模拟评估

使用 XP Drainage 模型软件对系统化方案进行模拟,评估方案效果。建模范围为易涝区域汇水分区范围,排水管网和节点根据雨水管线资料进行概化处理,产汇流参数根据各集水区下垫面条件(道路、屋面、绿地、透水铺装面积比例等)确定,结合实际监测数据对模型进行了率定和验证^[3-4]。

模拟易涝区域在 30 年一遇 2 h 设计暴雨情景下的产汇流情况,对系统化方案实施前后的内涝风险进行评估,结果如图 8 所示。改造前淇水大道易涝区域的积水面积为 1.4 hm²,最大积水深度为 0.53 m,积水时间长达 6 h;改造后,易涝区域的积水面积为 0.05 hm²,最大积水深度为 0.12 m,积水时间为 0.38 h,内涝积水情况得到了极大缓解,积水范围、积水深度和积水时间均满足内涝防治标准要求。

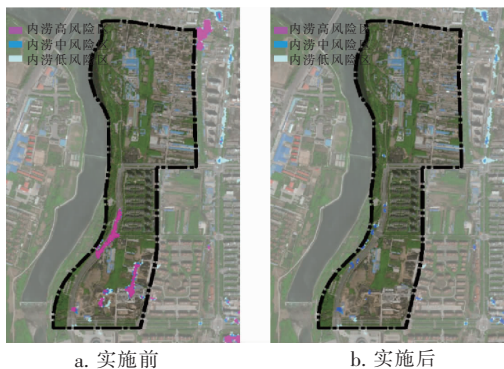


图 8 系统化方案实施前后区域内涝风险情况模拟结果

Fig. 8 Simulation results of regional waterlogging risk before and after implementation of the systematic plan

4.2 径流控制效果模拟评估

① 典型年实际降雨模拟

年径流总量控制率和年污染物削减率的评估通常采用长历时实际降雨数据进行模拟分析。根据项目所在城市多年降雨数据分析,2011 年的降雨量、降雨场次、降雨强度及降雨时间分布等均比较接近多年平均,故选取 2011 年作为降雨典型年。以淇水大道海绵城市改造为例(见图 9),对 2011 年全年降雨进行模拟(见图 10),结果显示,淇水大道在实施海绵化改造后年径流总量控制率达到 77%,满足 70% 的设计目标要求。用 2011 年降雨数据模拟全年雨水径流 SS 排放情况(见图 11),模拟结果显示,淇水大道在实施海绵化改造后年雨水径流 SS 削减率达到 62.4%,满足 60% 的设计目标要求。

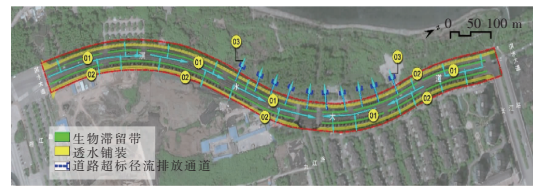


图 9 淇水大道改造设施总体布局

Fig. 9 Overall layout of Qishui Road reconstruction facilities

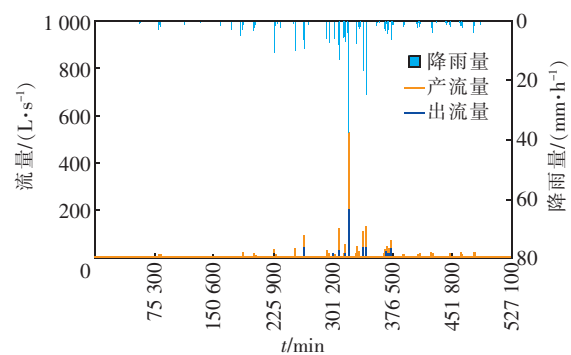


图 10 淇水大道海绵化改造后产流、出流量过程线

Fig. 10 Process line of runoff and outflow of Qishui Road after sponge reconstruction

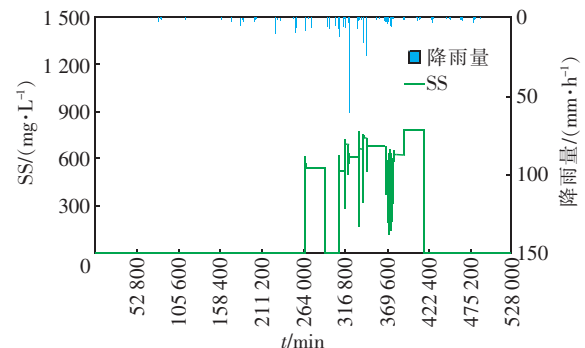


图 11 淇水大道海绵化改造后径流 SS 浓度过程线

Fig. 11 SS concentration process line of runoff of Qishui Road after sponge reconstruction

② 设计降雨情景模拟

选择 1 年一遇 24 h 设计雨型,对淇水大道实施海绵化改造前后的出流量进行模拟,评估径流峰值和外排总量变化情况,如图 12 所示。模拟结果显示,在 1 年一遇 24 h 设计降雨情景下,由于增加了大量透水铺装、滞蓄空间和排涝通道,淇水大道在实施海绵化改造后径流峰值削减率高达 95.5% (改造前、后出流峰值分别为 245.3、11.1 L/s),不外排径流量比例为 96.0% (改造前、后系统外排量分别为 1 510.5、89.6 m³,改造前的不外排径流量比例为

32.7%)。本项目虽然没有制定径流峰值削减目标,但可以看出,源头减排系统对内涝防治发挥了很大作用。

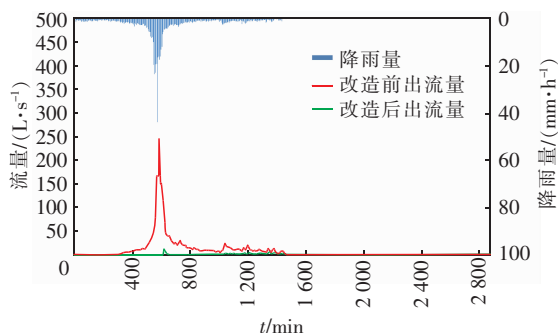


图12 淇水大道海绵化改造前后径流变化对比

Fig. 12 Runoff comparison of Qishui Road before and after sponge reconstruction

5 结论

① 解决城市内涝积水问题,核心是要构建完善的城市内涝防治体系,针对易涝区域制定“一区一策”的系统化解决方案,在摸清本底的基础上系统谋划、定量决策,坚持自然和人工相结合、地下与地上相结合,统筹源头减排、雨水管渠提标和排涝除险等措施,并与防洪系统有效衔接。

② 在制定城市易涝区域整治系统化方案时,首先应从汇水分区的尺度系统分析内涝积水成因,然后按照汇水分区优化、源头减排系统改造、排水管渠系统改造、排涝除险系统建设的顺序提出递进的改造措施。在本研究案例项目中,通过局部排水管线调整将汇水分区范围减少约24%,显著减少易涝区域汇流量;通过小区和道路海绵化改造,实现年径流总量控制率不小于70%、年SS削减率不小于60%的目标要求,同时显著降低径流峰值,减轻管网排水压力;通过雨水管渠提标改造将管渠排放标准提高到2年一遇;通过在人行道设置多处超标径流入河(绿地)通道,提高排涝能力和调蓄能力,达到30年一遇内涝防治标准。通过雨水径流的合理组织和排水防涝设施系统改造建设,在消除内涝问题的同时,实现径流总量控制、径流污染控制、景观提升和地下水涵养等多重目标。

③ 本项目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,引导路面超标径流

顺利排入水体,进而有效缓解易涝区域的积水问题。该技术具有一定的可推广性,在具体应用时,“超标径流入河(绿地)通道”的规格和数量应通过量化计算确定。

参考文献:

- [1] 周宏,刘俊,高成,等. 我国城市内涝防治现状及问题分析[J]. 灾害学,2018,33(3):147-151.
Zhou Hong, Liu Jun, Gao Cheng, et al. Analysis of current situation and problems of urban waterlogging control in China[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(3): 147-151 (in Chinese).
- [2] 张亮,俞露,任心欣,等. 基于历史内涝调查的深圳市海绵城市建设策略[J]. 中国给水排水,2015,31(23):120-124.
Zhang Liang, Yu Lu, Ren Xinxin, et al. Construction strategy of sponge city based on historical waterlogging survey in Shenzhen[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(23): 120-124 (in Chinese).
- [3] Tuomela C, Sillanpää N, Koivusalo H. Assessment of stormwater pollutant loads and source area contributions with storm water management model (SWMM)[J]. J Environ Manage, 2019, 233: 719-727.
- [4] 杨一夫,关天胜,吴连丰. 基于XPdrainage模型的居住区海绵城市规划方案探讨[J]. 城市规划学刊,2018(7):126-129.
Yang Yifu, Guan Tiansheng, Wu Lianfeng. Simulation of a sponge city based on XPdrainage model[J]. Urban Planning Forum, 2018(7): 126-129 (in Chinese).



作者简介:唐磊(1987-),男,陕西渭南人,硕士,工程师,主要从事城市规划、市政基础设施及水系统规划、海绵城市和黑臭水体治理规划设计等工作。

E-mail: 398501864@qq.com

收稿日期:2020-04-20