

城市雨水管理

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2023. 01. 017

环状排水管网对区域排水防涝安全的提升效果模拟

黄涛¹, 史德雯¹, 王强², 刘子龙², 田政², 冯煦¹,
杨东方², 王建龙³, 姜其贵¹

(1. 北京市首都规划设计工程咨询开发有限公司, 北京 100031; 2. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045; 3. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 根据北方平原区域的地形和排水管网布置特点,提出了通过构建环状排水管网来提高区域排水防涝能力的方案,并以北京市某区域为例,采用 MIKE FLOOD 模型,系统分析了树状排水管网改为环状排水管网后对区域排水防涝安全的提升效果。模拟结果显示,相比树状管网,环状管网的平均充满度削减率为 5.43%~14.29%、充满度标准差削减率为 25.00%~35.71%、超载管段削减率为 33.33%~66.67%、管网进入二维地面的积水总量削减率为 26.16%~38.13%、积水点削减率最高可达 50%,表明环状管网能有效提升排水管网的空间利用率,改善管网的运行状态,减少积水点,并显著降低地面积水风险。构建环状排水管网能够提升区域水安全保障能力,可为区域排水管网升级改造、排水系统优化设计,特别是地势相对平坦的已建成区的排水防涝能力提升提供参考。

关键词: 环状排水管网; 排水防涝; MIKE FLOOD; 排水系统韧性

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)01-0111-07

Simulation of Improvement Effect of Looped Drainage Network on Regional Drainage and Waterlogging Prevention Safety

HUANG Tao¹, SHI De-wen¹, WANG Qiang², LIU Zi-long², TIAN Zheng²,
FENG Xu¹, YANG Dong-fang², WANG Jian-long³, JIANG Qi-gui¹

(1. Capital Urban Planning & Design Consulting Development Co. Ltd., Beijing 100031, China;
2. Beijing Municipal Institute of City Planning and Design, Beijing 100045, China; 3. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: According to the terrain and drainage network layout characteristics of northern plain regions, this paper proposed a scheme to improve regional drainage and waterlogging prevention capacity by constructing looped drainage network, and the improvement of regional drainage and waterlogging safety after branched drainage network being changed to looped drainage network was systematically analyzed by using MIKE FLOOD model. Compared with the branched network, the reduction rate of average depth ratio of looped network was 5.43%~14.29%, the reduction rate of the depth ratio standard deviation was 25.00%~35.71%, the reduction rate of the overload pipe section was 33.33%~66.67%, the reduction rate of the ponded water volume from the pipe network into the two-dimensional ground was 26.16%~38.13%, and the maximum reduction rate of ponding points reached 50%, indicating that the

looped network effectively increased the space utilization rate of drainage network, improved the operation status of pipe network, decreased the ponding points, and significantly reduced the ponding risk. The construction of looped drainage network improved the regional water security capability, and provided a reference for the upgrading and reconstruction of regional drainage network and the optimization design of drainage system, especially for the improvement of drainage and waterlogging prevention capacity in built-up areas with relatively flat terrain.

Key words: looped drainage network; drainage and waterlogging prevention; MIKE FLOOD; resilience of drainage system

近年来随着城市极端天气的频发以及不透水面积的增加,城市雨水排水系统面临新的挑战,特别是已建成区,排水管网建设年代久远,采用的标准较低,传统排水管网提升改造一般采用翻建为大管径管道、增加管道并采取分流截流等方式,在树状管网系统上进行优化。由于地下管网复杂、道路施工对交通影响大等原因,对排水管网全面提升存在施工难度大、投资大等问题,因此已建成区排水管网的提升通常结合道路改、扩建逐步完善,可见排水系统全面提标改造在时间、可实施性等方面均存在难度。如何因地制宜、经济高效地提升区域排水防涝韧性,是保障区域水安全的重要内容。

排水管网的计算通常采用推理公式法,通过恒定流理论计算管网汇流过程,适用于流域范围较小的区域,结果误差不大,当流域范围较大时通常采用数学模型进行计算。如美国对推理公式计算雨水设计流量限制在 80 hm^2 以内,欧盟限制在 200 hm^2 以内或汇水时间不超过 15 min 的区域。国内排水规范中也提出当流域面积超过 2 km^2 时,宜考虑降雨时空分布的不均匀性、地面产流过程和管网汇流过程,采用数学模型法计算雨水设计流量^[1-2]。笔者采用数学模型,分析了通过局部区域管网的连通对区域排水能力提升的效果,以期对未来区域水安全保障提供参考借鉴。

1 环状排水管网对区域水安全的影响

雨水排水系统往往利用地形重力输水,由支管、干管、主干管等构成,一般沿着地面高程由高向低布置成树状网络^[3]。根据地形不同一般有平行式和正交式两种基本布置形式,实际工程中通常根据区域具体情况,结合平行式和正交式构成丰富的布置形式。根据现行的标准,雨水排水管渠设计重现期应根据汇水范围内用地类型及其重要性、地形特

点和气候特征等因素确定。同一雨水系统可采用同一设计重现期或不同设计重现期^[4],例如北京区域,一般地区雨水管道重现期为3年,重要地区雨水管道重现期为5~10年,一般道路雨水管道重现期为3年,重要道路雨水管道重现期为5~10年。因此,对于同一区域由于主干路和次干路或地区差异,通常计算雨水管网时采用不同的重现期,采用高重现期设计的雨水管道规模较大。在管道流域尺度较小的情况下,降雨时空分布相对均匀,当高重现期降雨发生时,采用较低重现期设计雨水管道的区域同样发生高重现期降雨,管道流域范围内采用不同重现期设计的管道分布和占比的差异,会导致部分区域雨水管道能力不足。在管道流域尺度较大的情况下,由于降雨时空分布的差异,部分流域的降雨较小,会导致管网空间利用率较小,部分区域雨水管道空间未被充分利用。

环状管网是在传统树状网络的基础上,根据管道的布置特点,在具备较好连通条件的位置,将树状管网进行连通(如图1所示)。关于排水管网的连通方法,国内外均有相关专利,例如国内段昌和在2011年提出了网状雨水管道排水系统^[5]。与树状管网相比,环状管网连通了不同区域地下管网的可利用空间,在一定程度上提高了对管网空隙冗余的利用,也提高了低重现期标准区域的排水标准,发挥了管网线性调蓄的作用,同时创造了对雨水分流的条件。考虑到当前由于排水管道局部堵塞,导致汛期局部积水时有发生,排水管网的连通可在一定程度上增加排水出路,提高排水系统的韧性。此外,在排水防涝工作的开展过程中,通常会面临内涝积水点周边集中或分散绿地空间较少,地上、地下空间限制,尤其是已建成区,改造条件更差,而管网的连通可增加积水点对管道沿线周边地上、地下空间

的充分灵活利用的可能性;从降雨总量控制的角度,对于高频率低重现期降雨,管网的连通可增加对水质的控制和利用,而对于低频率高重现期的降雨,可因地制宜地增加调蓄空间,实现削峰、错峰,降低区域积水风险。例如,赣州古城防洪排涝典范福寿沟,利用福寿沟将城内众多的水塘串联起来,形成城市活的水系,在雨季具有调蓄城内径流的作用^[6];古代北京紫禁城下水道系统大部分也相互连通后与筒子河串联,遵循地势的同时,地下水道与地面明沟相结合,保障宫内90多个院落、720 000 m²地面的雨水通畅排出^[7]。但是,由于需要增加部分连通管道,会在一定程度上增加投资,此外,管网连通具有局限性,在平原区域较适用,而当地势高差较大时可能会导致局部区域的顶托溢流。

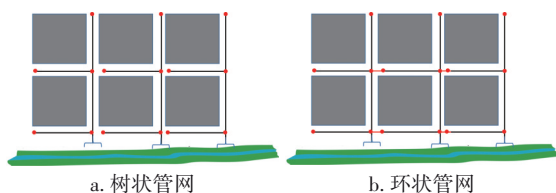


图1 树状排水管网与环状排水管网示意

Fig.1 Diagram of branched drainage network and looped drainage network

2 案例概况

2.1 区域概况

北京市某区域是以居住功能为主的大型社区,大量小区建成年代在2000年左右,伴随着城市化的发展,区域出现地下管网淤积破损、雨水篦子较少、道路路面破损等基础设施不足及老化现象。近年来,局地气候变化及强降雨的发生,导致该区域出现严重的积水内涝问题,给居民日常生活及人身安全带来了风险,因此,更新基础设施、提升区域排水能力迫在眉睫。

该区域基本为现状建成区,地形西高东低,南北差异不明显,地面高程为38~48 m、平均为41.31 m,平均坡度为0.23%,地势较为平坦,不利于排水;同时,该区域排水出路较单一,在排水流域上主要属于二排干流域范围。

2.2 河道情况

该区域流域边界较清晰,为相对独立的排水分区,排水下游出路为二排干,二排干管道接入处20年一遇水位为37.94 m、30年一遇河道水位为38.27 m;现状管底高程为35.71 m、管顶高程为

37.71 m,管顶比20年一遇水位低0.23 m、比30年一遇河道水位低0.56 m。

2.3 雨水管道情况

为提升该区域的排水能力,沿龙禧三街、回龙观西大街、龙腾街等东西向道路布置主要雨水管道,传输至黄平路规划雨水管道,下游向北接入二排干,如图2所示。

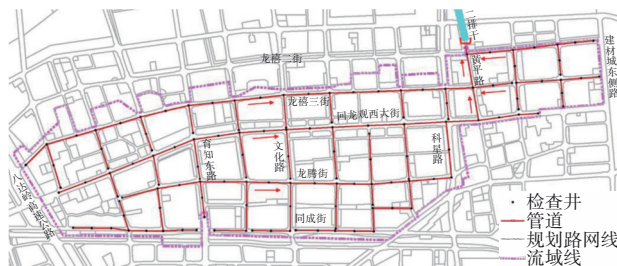


图2 北京市某区域二排干流域雨水管道规划示意

Fig.2 Schematics of rainwater pipeline planning of Erpaigan in a certain area of Beijing

流域总面积约为6.95 km²,雨水检查井136个、圆管65段、方沟73段,管长约为30.5 km,其中圆管管径约为 $\varnothing 500 \sim 2\,200$ mm,方沟规模约为1 800 mm \times 1 000 mm~4 400 mm \times 2 000 mm(4孔)。

经模拟评估,该区域3年一遇标准管道长度约为16.3 km,占比约为53%;5年一遇标准管道长度约为14.2 km,占比约为47%。经统计,该区域3年一遇管道服务面积约为3.63 km²,占比约为52%;5年一遇管道服务面积约为3.32 km²,占比约为48%,如图3所示。

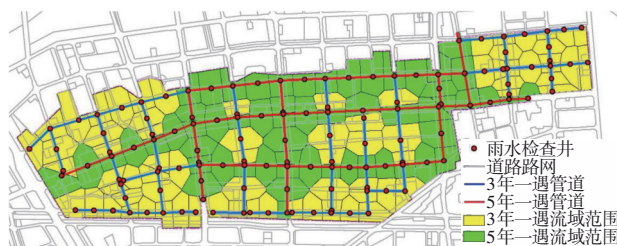


图3 北京市某区域二排干流域雨水管道评估及雨水管道服务面积示意

Fig.3 Rainwater pipeline assessment map and subcatchment service area of Erpaigan in a certain area of Beijing

2.4 模拟情景设置

MIKE FLOOD管流模型的计算基于解圣维南方程组即连续性方程和动量方程,采用Abbott-Ionescu六点隐式格式的有限差分数值求解,为分支或环状管网提供有效而准确的解法,适用于有压流和自由

水面的垂向均匀流,可以模拟倒灌和溢流现象。通过 MIKE FLOOD 平台耦合了该区域的排水管网和地表漫流模型,建立了区域内涝风险评估模型。为评估环状管网对区域排水能力的提升效果,在传统排水规划的基础上,鉴于该区域路网较密集,存在较好的管网连通条件,对该区域 24 处管网进行连通,形成环状排水管网,如图 4 所示。24 处连接管道总长度约为 1 km,为降低实施层面的难度,连接管管径采用与之相连接两管道中的较小管径。

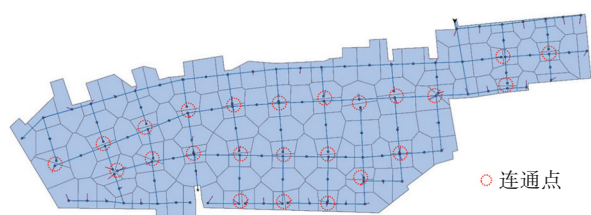


图4 北京市某区域二排干流域构建环状排水管网的连通点示意

Fig.4 Connection points for construction of looped drainage network of Erpaigan in a certain area of Beijing

分别以传统树状和环状两套排水管网模型耦合地表漫流模型,同时考虑到该区域防涝标准为 30 年一遇,为评估环状管网在排水标准和防涝标准条件下对区域水安全的保障能力,降雨重现期选择了 5、10、20 和 30 年一遇,考虑到雨水管道管顶通常与河道 20 年一遇水位衔接,因此,假设当降雨重现期低于 20 年一遇水位时,河道水位对雨水管道排水无显著影响,模型中不增加边界水位,具体模拟情景和边界条件设置如表 1 所示。

表1 模拟情景设置

Tab.1 Setting of simulation scenarios

模拟情景	降雨重现期/a	雨水管网	河道水位
一	5	传统	无
二		连通	
三	10	传统	20 年一遇
四		连通	
五	20	传统	30 年一遇
六		连通	
七	30	传统	30 年一遇
八		连通	

3 模拟结果与分析

为表征环状排水管网对区域排水防涝能力的提升效果,本研究主要通过排水管道平均充满度[见式(1)]、管网进入二维地面的积水总量[见式

(2)]、积水点数量及积水风险分布进行定量分析。平均充满度可表征管网整体的利用率,管网进入二维地面的积水总量可反映管网在区域水安全体系中的运行状况,积水点数量及积水风险分布可表征区域内涝积水风险分布情况;同时,为表征管道充满度分布是否更加均匀,引入管道充满度标准差[见式(3)],为表征环状管网对管网运行超载状态的改善,引入超载管段削减率[见式(4)]。

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

式中: \bar{P} 为管道平均充满度; P_i 为第*i*根管道的充满度; n 为管道数量。

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

式中: V 为管网进入二维地面的积水总量; V_i 为第*i*个检查井进入二维地面的积水量。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

式中: σ 为管道充满度标准差。

$$\eta = \frac{T_{\text{sur}} - L_{\text{sur}}}{T_{\text{sur}}} \quad (4)$$

式中: η 为超载管段削减率; T_{sur} 为树状管网超载管段数量; L_{sur} 为环状管网超载管段数量。

3.1 降雨总量控制分析

本研究中环状管网较树状管网管道总长度增加约 3.3%,由于增加的连接管道位于树状管网起始段处,且增加的管道管径较小,增加连接管道前后管网总容积分别约为 18.15×10^4 、 $18.36 \times 10^4 \text{ m}^3$,管网总容积增加约 1.1%,管道总长度及调蓄容积增加不明显。

以本研究中的树状管网为例,若能在管网适当位置增加闸阀,结合实时控制,充分利用管道内冗余容积,经模拟计算,可实现对全流域总量约 40 mm 降雨的控制。根据该区域不同年径流总量控制率和设计降雨量的关系,年径流总量控制率可达 87%,若考虑地块内管网调蓄容积,耦合源头低影响开发(LID)对径流的控制^[8-10],其对降雨总量的控制将会进一步提高,此时管网相当于线性分散灰色调蓄设施,未来随着降雨预警准确性的提升、管道信息化及管理水平的提高,通过对管网调蓄空间的利用,可实现对不同规模降雨总量的控制、水质控制和峰值控制,还可结合管网沿线及周边绿色空间的

利用,灰绿结合实现对区域面源污染的控制,如图5所示。

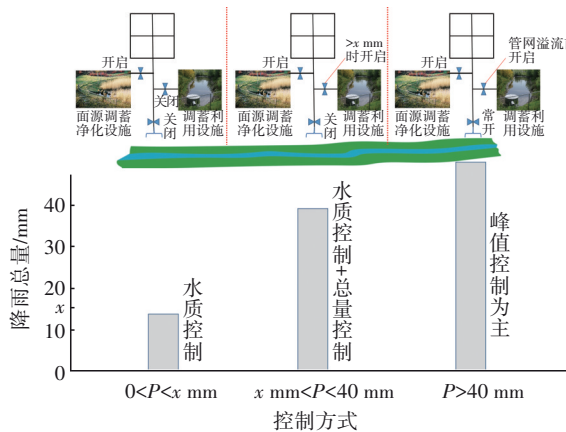


图5 不同降雨总量控制方式构想

Fig.5 Conception of different total rainfall control methods

3.2 5~20年一遇重现期下的模拟结果分析

在5~20年一遇降雨条件下,对树状管网和环状管网模拟结果的相关指标进行统计,如表2所示,充满度频数分布如图6所示(限于篇幅,仅展示5年一遇重现期的结果)。

表2 5~20年一遇重现期下的模拟结果相关指标统计

Tab.2 Statistics of indicators under 5-year to 20-year return period

降雨重现期/a	管网类型	\bar{P}	V/m^3	σ	积水点数量
5	环状管网	0.72	2 284.75	0.18	1
	树状管网	0.84	3 692.81	0.28	2
10	环状管网	0.87	3 461.38	0.30	2
	树状管网	0.92	5 462.78	0.40	2
20	环状管网	0.94	6 457.40	0.39	2
	树状管网	1.08	9 480.76	0.55	2

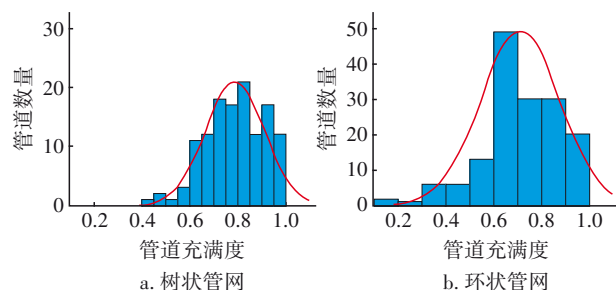


图6 树状与环状排水管网充满度频数分布

Fig.6 Frequency distribution of depth ratio of branched drainage network and looped drainage network

对树状管网在5年重现期下出现的两处积水点

进行分析后发现,两处积水点均是由于道路竖向原因导致存在局部显著低洼点;通过模拟结果统计,环状管网较树状管网,管道平均充满度削减了14.29%,管网进入二维地面的积水总量削减了38.13%,积水点数量削减了50%。通过分析发现,在5年重现期下,增加连通管道后,低重现期管道水流流向高重现期管道后,使环状管道平均充满度有所降低,通过充满度频数分布图可以看出,环状管网在区间内分布较树状管网更加均匀,此时环状管网管道充满度标准差较树状管网小,说明管道充满度均衡程度更好,管道的连通实现了不同充满度管道之间的调节,使充满度分布更加均匀。

在10年一遇降雨条件下,环状管网较树状管网,管道平均充满度削减了5.43%,管网进入二维地面的积水总量削减了36.64%,积水点数量无变化。此时,采用10年一遇重现期的环状管网进入二维地面的积水总量小于采用5年一遇树状管网的,前者比后者少约231 m³、减少6.27%,管道平均充满度较树状管网增加3.57%,此时相当于对5年一遇树状管网进行环状管网改造后,可应对10年一遇降雨,提高了管网的抗风险能力。因此,环状管网可一定程度上提高树状管网的标准,在传统管网的基础上增加管网连通,可一定程度上提升管网的利用率,减少管网溢流量,提升区域水安全。

在20年一遇降雨条件下,环状管网较树状管网,管道平均充满度削减了12.96%,管网进入二维地面的积水总量削减了31.89%,积水点数量无变化。20年一遇重现期环状管网进入二维地面的积水总量较10年一遇树状管网增加18.21%,可以看出环状管网能极大地改善树状管网的溢流情况,减少其进入二维地表带来的风险,此时,树状管网充满度稍大于1,可推算,排水管道5年一遇重现期设计标准基本满足水利10~20年一遇重现期标准。同时,在10年和20年一遇降雨条件下,通过环状管网及树状管网的充满度频数分布和充满度标准差同样可以看出,管网连通实现了不同充满度管道之间的调节,使充满度分布更加均匀。

3.3 内涝重现期下的模拟结果分析

在30年一遇内涝重现期降雨条件下,树状管网和环状管网区域积水风险如图7所示;对模拟结果相关指标进行统计,如表3所示。在30年一遇内涝重现期下,环状管网和树状管网的平均充满度均大

于1,超过20年一遇重现期后,管网进入二维地面的积水量大幅增加,环状管网、树状管网均在压力流状态下运行,环状管网较树状管网,管道平均充满度增加了1.85%,管网进入二维地面的积水总量削减了26.16%,积水点数量削减了26.67%,充满度标准差基本相同。在30年一遇重现期下,树状管网和环状管网进入二维地面的积水总量较20年一遇重现期分别增加284.86%、317.23%,环状管网进入二维地面的积水总量较20年一遇树状管网增加184.18%,也可看出环状管网对排水防涝安全的改善。

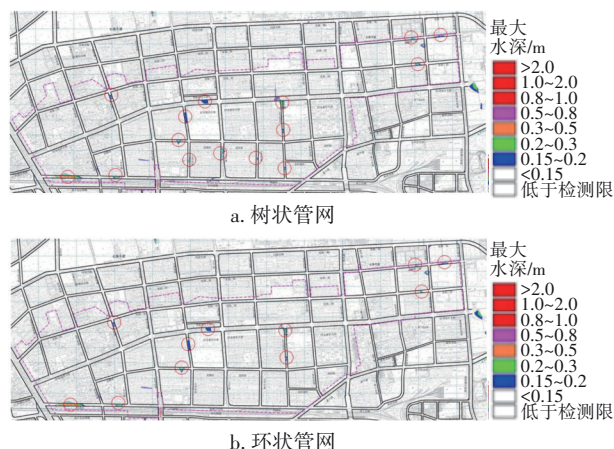


图7 北京市某区域30年一遇重现期下树状管网和环状管网的积水风险分布

Fig.7 Waterlogging risk distribution in branched drainage network and looped drainage network with 30-year return period

表3 30年一遇重现期下的模拟结果相关指标统计
Tab.3 Statistics of indicators under 30-year return period

项 目	\bar{P}	V/m^3	σ	积水点数量
环状管网	2.20	26 942.20	0.57	11
树状管网	2.16	36 487.54	0.58	15

3.4 不同重现期下管网运行超载状态改善效果

在5~20年一遇降雨条件下,基于环状管网和树状管网的运行结果,对环状管网较树状管网的超载管段削减率进行统计计算。结果表明,在同一重现期下,环状管网的超载管段少于树状管网,当重现期提高时,超载管段削减率降低,5、10、20年一遇重现期对应的超载管段削减率分别为66.67%、53.13%和33.33%,可见,环状管网能够改善排水管网的超载状态,在一定程度上提升管网排水标准。

4 结论与建议

本研究案例中环状管网较树状管网长度增加约3.3%,管网容积增加约1.1%,较传统树状管网的投资量增加约0.52%,与对区域排水防涝安全提升效果相比,不失为一种经济高效提升雨水管网“韧性”的方式。

① 在低重现期下,环状排水管网能有效均衡管道的充满度,充分利用管网调蓄空间,提升区域排水“韧性”,减少管网进入二维地表的积水总量。在本研究中,5~20年重现期下,环状管网较树状管网,管道平均充满度削减率为5.43%~14.29%,管道充满度标准差削减率为25.00%~35.71%,管网进入二维地面的积水总量削减率为31.89%~38.13%,积水点削减率最高达到50%。

② 在30年一遇内涝重现期下,环状管网较树状管网,管道平均充满度增加了1.85%,管网进入二维地面的积水总量削减了26.16%,积水点数量削减了26.67%。此外,环状管网能够改善排水管网的超载状态,在一定程度上提升管网的排水标准,在5~20年重现期下,环状管网较树状管网的超载管段削减率为33.33%~66.67%。

环状排水管网作为有效提升区域排水防涝安全的一种途径,可以进一步发挥常规雨水管网的能力,可作为树状排水管网规划的一种补充。建议在传统树状排水管网的基础上,根据场地地上和地下的情况,在地势相对平坦、有条件的区域,因地制宜地对树状排水管网进行连通,提升区域应对雨洪的“韧性”,尤其对排水设施标准低且短期无法全面升级改造的已建成区,可根据场地条件,对存在连通条件的局部分散连通点进行改造,以提升区域整体应对内涝风险的能力。随着信息化和管理水平的提高,未来还可结合实时控制,利用管网及沿线可利用空间,结合气象预警,针对不同规模的降雨,进行水量、水质和峰值的综合控制,充分发挥场地的“弹性”。此外,还应统筹考虑超过雨水管网能力的暴雨径流的影响,预留安全通道、多功能调蓄空间或加强应急管理,降低洪涝灾害。

参考文献:

- [1] 北京市规划和国土资源管理委员会. 城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准: DB 11/T 969—2016 [S]. 北京:北京市城乡规划标准化办公室,2017.

- Beijing Municipal Commission of Planning and Natural Resources. Standard of Rainstorm Runoff Calculation for Urban Storm Drainage System Planning and Design: DB 11/T 969-2016 [S]. Beijing: Beijing Urban and Rural Planning Standardization Office, 2017 (in Chinese).
- [2] 吕永鹏,莫祖澜,谢胜.《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》解读[J]. 给水排水, 2020, 46(5): 149-153.
- LÜ Yongpeng, MO Zulan, XIE Sheng. Interpretation of Technical Specification for Construction and Application of Mathematical Model of Urban Flooding Prevention and Control System [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(5): 149-153 (in Chinese).
- [3] 严煦世,刘遂庆. 给水排水管网系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- YAN Xushi, LIU Suiqing. Water Supply and Drainage Pipe Network System [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014 (in Chinese).
- [4] 上海市建设和交通委员会. 室外排水设计规范:GB 50014—2006 [S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- Shanghai Municipal Commission of Construction and Transportation. Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014-2006 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014 (in Chinese).
- [5] 段昌和. 网状雨水管道排水系统:CN102268896A [P]. 2011-12-07.
- DUAN Changhe. Mesh Storm Sewer Drainage Systems: CN102268896A [P]. 2011-12-07 (in Chinese).
- [6] 吴庆洲. 论北京暴雨洪灾与城市防涝[J]. 中国名城, 2012(10): 4-13.
- WU Qingzhou. Discussion on rains and floods in Beijing and urban waterlogging prevention [J]. China Ancient City, 2012(10): 4-13 (in Chinese).
- [7] 王军. 城记[M]. 北京:生活·读书·新知三联书店, 2003.
- WANG Jun. City Records [M]. Beijing: SDX Joint Publishing Company, 2003 (in Chinese).
- [8] 黄涛,王建龙,史德雯,等. 汇流路径对SWMM模型水量模拟结果的影响[J]. 环境工程, 2020, 38(4): 170-175.
- HUANG Tao, WANG Jianlong, SHI Dewen, et al. Effect of runoff flow path on water quantity control evaluation by SWMM model [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(4): 170-175 (in Chinese).
- [9] 胡作鹏,刘志强,彭森,等. 低影响开发(LID)雨水径流控制效果模拟[J]. 环境工程学报, 2016, 10(7): 3956-3960.
- HU Zuopeng, LIU Zhiqiang, PENG Sen, et al. Simulation of storm water runoff control effect by low impact development (LID) [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(7): 3956-3960 (in Chinese).
- [10] 席广朋,王建龙,赵梦圆,等. 城市雨水总量控制方法及应用[J]. 中国给水排水, 2017, 33(16): 1-7.
- XI Guangpeng, WANG Jianlong, ZHAO Mengyuan, et al. Control method and application of urban total rainfall volume capture [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(16): 1-7 (in Chinese).

作者简介:黄涛(1989—),男,安徽淮北人,硕士,工程师,主要从事市政规划设计、水系统模型优化应用等方面的研究。

E-mail:ihuangtao@126.com

收稿日期:2020-06-10

修回日期:2020-08-04

(编辑:刘贵春)

环境就是民生,青山就是美丽,蓝天也是幸福