

调蓄设施布局设计模型研究

柯杭

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 为了确定提标调蓄设施布局方法, 选择了排水特点各异的三个排水系统, 研究调蓄设施布局的一般规律。模型计算结果表明, 提标调蓄设施的布局主要取决于排水系统的积水位置, 将调蓄设施设置于积水位置上游处可获得良好的积水削减效果。根据研究结果, 提出了以积水削减潜力为准的调蓄设施布局评价指标及相应的调蓄设施布局规划设计方法, 为提标调蓄设施的规划布局设计提供参考。

关键词: 调蓄设施; 布局设计; 积水削减; 排水系统模型

中图分类号: TU992.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0083-03

0 引言

受全球气候变化影响, 近年来极端天气频发, 暴雨等极端自然灾害对社会管理、城市运行和人民生产生活造成较大的安全隐患。城镇雨水排水系统作为城市的重要基础设施, 在城市防汛安全和水环境提升方面承担的责任日益加重。上海作为我国滨江临海特大型城市, 是国内最早建设现代雨水排水设施的城市之一, 虽然市政排水系统的建设和管理在国内处于较领先地位, 但与发达国家相比尚存在较大差距。目前全市中心城区采用强排、郊区采用自排的城镇排水格局已基本形成, 已建排水系统基本达到1 a一遇标准, 其中城市分中心或交通枢纽等高标地区的规划标准为3~5 a一遇, 服务范围仅占10%。一旦发生强降雨或连续性降雨事件, 现状排水能力很难满足排水需要。

调蓄设施的建设是城市内涝防治和径流污染控制的重要工程措施, 是已建排水系统能力提升的重要手段之一^[1]。德国、日本等发达国家大力重视调蓄设施建设与运维, 调蓄设施已成为其韧性排水系统的重要组成部分。为此, 《上海市城镇雨水排水规划(2020—2035年)》提出, 通过绿色源头削峰、灰色过程蓄排、蓝色末端消纳、管理提质增效, 实现排水系统基本达到3~5 a一遇能力。规划提出, 对各类建设用地调蓄设施, 按每平方公里1.2万m³雨水调蓄能

力配置(从1 a一遇提高到5 a一遇的强排系统)。因此, 规模化雨水调蓄设施建设将成为未来上海市排水工作的重点之一。

调蓄设施的规划布局直接影响排水系统应对内涝风险的水平^[2]。当前, 上海市调蓄设施类型主要是以截留初雨为目的的控污调蓄池且大多布置在排水系统末端, 提标调蓄设施的应用案例及经验较为欠缺; 研究中则多利用程序算法探讨调蓄设施的布局优化^[3-5], 对工作基础要求较高且需要可观的算力支持与时间成本。现以上海市中心城区三个排水系统为例, 利用计算机排水模型, 寻找调蓄设施布局的一般规律, 并提出评价指标和相应的布局设计方法, 为提标调蓄设施的规划布局设计提供参考。

1 研究区域和方法

选择上海中心城区三个具有不同特点的排水系统, 依据管道设计基础资料, 将管道、检查井、泵站纳入模型范围, 利用InfoWorks ICM软件建立排水系统数学模型, 排水系统基本信息见表1所列。典型降雨事件的降雨重现期设置为5 a一遇, 降雨雨型为雨峰系数 $r=0.405$ 的芝加哥雨型, 降雨历时取120 min(以上海市现行暴雨强度公式为基准)。

对排水系统进行现状排水状况模拟计算, 在此基础上, 分别选择不同管径的节点位置, 设置不同大小的调蓄设施。在设置单个调蓄设施的方案之外, 另设置2~3个调蓄设施并存的方案, 以考察分散调蓄容量的效果。在模型中, 调蓄设施通过溢流堰进水, 溢流堰

收稿日期: 2020-10-19

作者简介: 柯杭(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事排水工程设计与管理工作。

表 1 排水系统基本信息一览表

名称	面积 /km ²	排水 体制	设计 重现期	5 a 一遇降雨下 积水特点
系统①	0.69	合流制	1 a 一遇	大范围(86%节点)积水
系统②	3.70	分流制	1 a 一遇	小范围(37%节点)积水
系统③	2.45	合流制	1 a 一遇	单点积水(87%水量)

高与上游排水管管顶齐平。模拟的初始时刻,调蓄设施的状态为全空,并且在计算时长(6 h)内,调蓄设施只进水不出水。不同方案下调蓄设施的效益采用四项指标进行对比:总调蓄容量、容积利用率、总积水量、最大积水量。其中,前两项可反映成本水平,后两项可反映积水削减效果。

2 结果与分析

2.1 排水系统①调蓄设施布局讨论

排水系统①的现状排水状况显示 400 个节点中有 343 个节点出现不同程度积水。所有管道均处于超负荷状态,即:系统①的积水特点是系统全域大范围积水且积水程度普遍较重。选择 4 个节点位置进行单个调蓄设施的设置。调蓄设施位置及节点管径、泵站位置见图 1 所示。单个调蓄设施的模拟结果见表 2 所列。计算结果表明,调蓄设施在现有的进水条件下均能实现 100%的容积利用率。不同位置的调蓄设施对总积水量和最大积水量的削减效果有显著差别,其中位置 2 在现有方案中的效果最优,在调蓄容量为 4 800 m³ 时,对总积水量和最大积水量的削减率分别达到 34%、38%。

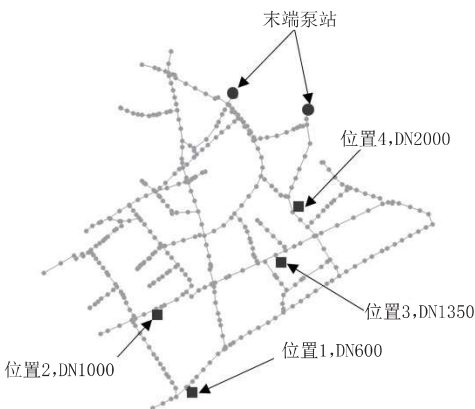


图 1 排水系统①调蓄设施位置示意图

在位置 1 之外,另外寻找两处管径为 DN600 的节点位置,将 5 000 m³ 的调蓄容量平均分配到这几处位置,形成分散调蓄方案。计算结果表明:当分散为 2 处调蓄设施时,总积水量和最大积水量的削减率分别达到 50%、44%;当分散为 3 处调蓄设施时,总积水量和最大积水量的削减率进一步提高至

表 2 排水系统①在不同调蓄设施布局下的结果一览表

模拟情景	调蓄容量 /m ³	总积水量 /m ³	最大积水量 /m ³	容积利用率 /%
现状	0	7 806	172	
位置 1	700	6 264	147	100
	1 400	5 986	140	100
	2 800	5 899	134	100
位置 2	1 200	6 009	137	100
	2 400	5 454	115	100
	4 800	5 129	107	100
位置 3	1 000	6 211	147	100
	3 000	5 744	133	100
	5 000	5 587	126	100
位置 4	2 000	6 874	149	100
	4 000	6 280	146	100
	8 000	5 880	141	100

56%、45%。

2.2 排水系统②调蓄设施布局计算

排水系统②的现状排水状况显示:752 个节点中有 285 个节点出现轻微程度积水,主要集中在系统东部地面标高较低的管段(长度约 1.2 km),97%的管道均处于超负荷状态,即系统②的积水特点是系统小范围积水且积水程度较轻。选择 6 个节点位置进行单个调蓄设施的设置,调蓄设施位置及节点管径、泵站位置见图 2 所示。单个调蓄设施的模拟结果见表 3 所列,与系统①显著不同,在位置 1 以外的调蓄设施虽然在降雨期间实现了 100%的容积利用率,但在积水削减方面基本无作用。由于设置于系统②的主要积水区域内,位置 1 实现了现有方案内的最优效果,在调蓄容量为 4 500 m³ 时,对总积水量和最大积水量的削减率分别达到 25%、52%。

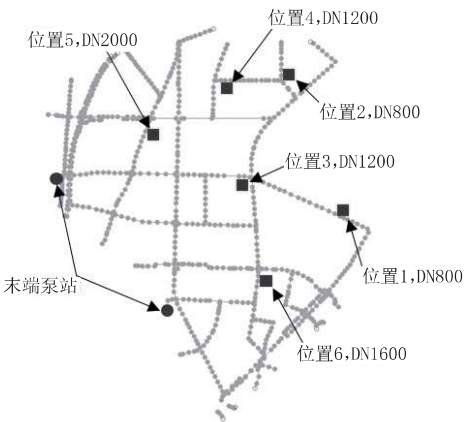


图 2 排水系统②调蓄设施位置示意图

将 4 800 m³ 的调蓄容量平均分配到位置 1 和位置 2,形成系统②的分散调蓄方案。计算结果显示,总积水量和最大积水量的削减率分别为 21%、39%,比在位置 1 设置单个调蓄设施的效果有所降低,说明

表 3 排水系统②在不同调蓄设施布局下的结果一览表

模拟情景	调蓄容量 /m ³	总积水量 /m ³	最大积水量 /m ³	容积利用率 /%
现状	0	108	5.6	
位置 1	1 500	89	3.5	100
	3 000	82	2.7	100
	4 500	81	2.7	100
位置 2	1 600	105	5.6	100
	3 200	100	5.6	100
	4 800	101	5.6	100
位置 3	2 400	109	5.6	100
	3 600	104	5.6	100
	4 800	102	5.6	100
位置 4	2 600	104	5.6	100
	3 900	103	5.6	100
	5 200	100	5.6	100
位置 5	4 000	112	5.6	100
	6 000	102	5.6	100
位置 6	4 000	109	5.5	100
	6 000	103	5.3	100

位置 1 和位置 2 对削减积水的贡献并不对等，将调蓄容量分配到位置 2 反而影响了方案效果。

2.3 排水系统③调蓄设施布局计算

排水系统③的现状排水状况显示,705 个节点中有 266 个节点出现积水，其中 265 个节点的积水程度较轻,最大积水出现在系统西南角最上游节点处，积水量达 298 m³,占系统总积水的 87%,即系统③的积水特点是单点积水严重且位置处于管网最上游处。选择 6 个节点位置进行单个调蓄设施的设置,调蓄设施位置及节点管径、泵站位置见图 3 所示。单个调蓄设施的模拟结果见表 4 所列,计算结果显示,在所有方案中调蓄设施都在降雨期间实现了 100%的容积利用率,但在积水削减方面基本无作用。

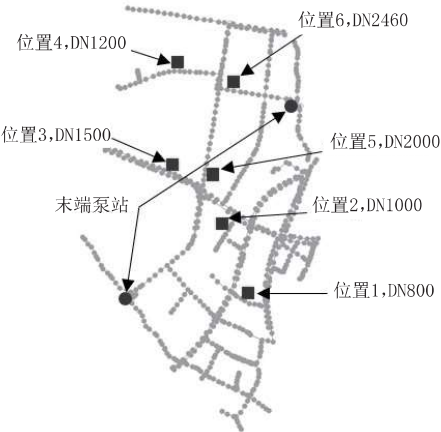


图 3 排水系统③调蓄设施位置示意图

2.4 调蓄设施布局评价指标及规划设计方法

对比系统①、②、③的调蓄设置布局计算结果可

表 4 排水系统③在不同调蓄设施布局下的结果一览表

模拟情景	调蓄容量 /m ³	总积水量 /m ³	最大积水量 /m ³	容积利用率 /%
现状	0	344	298	
位置 1	2 200	345	300	100
	3 300	341	298	100
	4 400	341	298	100
位置 2	2 100	343	298	100
	4 200	341	298	100
位置 3	2 000	345	301	100
	4 000	343	300	100
	5 000	340	299	100
位置 4	2 000	343	299	100
	4 000	342	299	100
	5 000	342	299	100
位置 5	4 000	346	301	100
	4 800	345	302	100
位置 6	3 600	341	301	100
	4 400	337	298	100

知,在排水系统积水削减上,调蓄位置(相对于调蓄容量)是主要决定因素。用于排水能力提标的调蓄设施的理想设置位置与节点管径不存在对应关系,由于节点处管径大小可一定程度代表节点在排水系统中所处位置,说明调蓄设施在排水系统中的相对位置不是决定调蓄设施布局的关键;调蓄设施与积水位置的相对关系则显著影响了调蓄设施积水削减的效果,并且在积水位置上游处设置调蓄设施通常能取得较好的效果。因此,参考文献资料中已有的研究成果^[1],引入下列指标用于调蓄设施布局的定量评价:

积水削减潜力 = $\frac{\text{调蓄点位下游总积水量}}{\text{管网总积水量}}$

以排水系统①为例,计算其不同调蓄设施设置位置的指标值,结果见表 5 所列,位置 2 的指标数值最高,说明该处设置调蓄设施的潜在效果最佳,这一结果也和上文中模型计算结果一致。

表 5 排水系统③在不同调蓄设施布局下的结果一览表

调蓄设施位置	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4
积水削减潜力	0.001	0.124	0.011	0.001

据此提出调蓄设施布局规划设计方法:

- (1)建立排水模型,对系统的现状排水能力进行计算。
- (2)根据用地条件,筛选出有条件设置调蓄设施的点位作为备选点位。
- (3)计算备选点位的调蓄设施布局评价指标(积水削减潜力)。
- (4)指标值较高的位置可推荐为优先设置调蓄设

(下转第 89 页)

步回落,当泵房集水池的水位低于调蓄池的水位时,调蓄池中贮存的水就会通过调蓄池排空管流入泵房集水池,被泵房排入地面雨水系统,直至泵房集水池的水位降至停泵水位。

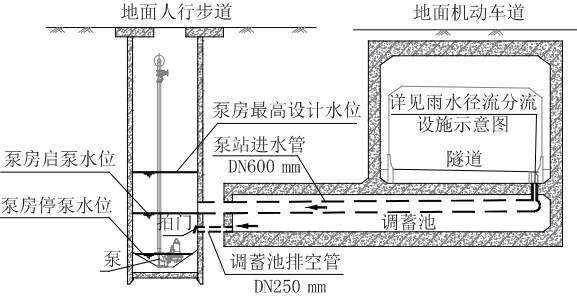


图 4 泵站及调蓄池剖面示意图

4 结 语

城市地下交通设施的建设越来越多,新建和改建工程多会面临着用地紧张的情况。常规的雨水泵房建设,一般建有院墙、大门、进场道路、泵房主体、配电房和管理用房等,占地面积大,用地矛盾较为突

出。建设埋地式的雨水泵房是一种有效的解决方案,一体化预制泵站是其中的一种形式。在不增加下游排水压力的情况下,建设调蓄池可以提高泵站的排涝能力。调蓄池的设计可以采取多种形式,分流设施和空间利用是两个较为重要的设计内容。分流设施建议设置在雨水汇集点,利用水位关系进行流量分配,这样可以减少调蓄池的埋设深度,节省工程费用和以后的运行费用。建议采用多功能合一的思路设计调蓄池,特别是在地下空间较为紧张的情况下,由于雨水调蓄池平时利用率较低,可以赋予其它功能,如本工程例子,非雨季期间,调蓄池可以作为泵站进水管的检修空间。

参考文献:

[1] GB 50014—2006(2016 年版),室外排水设计规范[S].
[2] DB11/T 969—2016,城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准[S].
[3] GB 51174—2017,城镇雨水调蓄工程技术规范[S].

(上接第 85 页)

施的位置。

(5)考虑调蓄设施建设运维成本基础上,制定适当程度的分散调蓄方案。

3 结 语

本文通过排水特点各异的三个排水系统的模型研究,发现提标调蓄设施的布局主要取决于排水系统的积水位置,将调蓄设施设置于积水位置上游处可获得良好的积水削减效果。为此,提出调蓄设施布局评价指标及相应的调蓄设施布局规划设计方法,应用算例表明在获得系统现状排水能力的基础上应用评价指标可迅速便捷地筛选出调蓄设施布局的优先位置,为规划阶段的调蓄设施布局提供依据。

参考文献:

[1] 陈丰.城市排水系统内涝与溢流控制性能评价与优化研究[D].北京:清华大学,2016.
[2] 齐明.城市初期雨水调蓄池布局优化和功能强化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
[3] S. Lim, V.H. Ho, S.Y. Lee, et al. Determination of Optimal Location and Capacity of Detention Facilities [J]. Procedia Engineering, 2014,70:1037-1045.
[4] Maria C. Cunha, Jo?o A. Zeferino, Nuno E. Sim?es, et al. Optimal location and sizing of storage units in a drainage system [J]. Environmental Modelling and Software,2016,83:155-166.
[5] J.P. Leit?o, J.P. Carbajal, J. Rieckermann, et al. Identifying the best locations to install flow control devices in sewer networks to enable in-sewer storage[J]. Journal of Hydrology,2018,556:371-383.