

基于 SWMM 模型的上海某城市道路排水能力分析

赵凯, 卢梦, 黄晶

(上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433)

摘要:以上海某城市道路为例,结合下垫面条件,利用 SWMM 模型对拟建管网进行排水能力复核和排洪能力检验。通过 GIS 进行模型简化,在 SWMM 中建立排水管网概化模型。在 3 a 一遇暴雨重现期条件下,对研究区域排水系统进行模拟,分析排水管网的承载能力,复核该套管网是否达到设计标准;同时,在防洪设计暴雨重现期下(10 a, 50 a, 100 a),模拟分析管网的排洪能力,明确研究区域中易产生积水的地段。

关键词:城市道路;排水能力;SWMM 模型;重现期;积水地段

中图分类号: U417.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)10-0146-04

1 概述

城市道路雨水排水系统是城市排水系统的重要组成部分,用于快速排除道路界限范围内及周边部分区域的雨水径流^[1],以防止道路路基损坏,同时避免形成城市内涝灾害,在城市发展和生态建设过程中具有举足轻重的作用。传统城市道路雨水排水系统设计以推理公式法计算雨水设计流量^[2],根据不同的设计重现期设计管网系统,不同排水管网的承载能力有着显著的差异,当管网超负荷运行时,排水能力不足会导致城市内涝的产生。

为了减轻和消除城镇内涝问题,对采用传统设计方式建造的城镇道路管网排水能力进行更加科学的模拟复核是十分有必要的。现以上海某城市道路为例,结合下垫面及降雨等资料,通过 GIS 进行简化,在暴雨雨洪管理模型 SWMM (Storm Water Management Model) 中建立排水管网概化模型,在 3 a 暴雨重现期条件下,对拟建管网进行模拟分析,复核拟建管网排水能力是否满足设计要求。同时,分别在暴雨重现期 $P=10$ a、50 a、100 a 条件下,模拟分析拟建管网的排洪能力及区域积水情况。

2 研究区域 SWMM 模型的建立

2.1 模型概化

研究区位于上海市闵行区,地势较为平坦,总面积为 60.91 hm^2 ,其中道路占 9.74 hm^2 。研究区属亚热带季风性气候,四季分明,日照充分,

雨量充沛,平均气温 17.6 $^{\circ}\text{C}$,日照 1 885.9 h,多年平均降水量 1 161.10 mm。全年 60% 以上的雨量集中在 5 月至 9 月的汛期。研究区在水利片区划分中属淀南片,拟建排水管网按照 3 a 暴雨重现期进行设计计算。

基于 SWMM 模型的应用,需将研究区进行合理的概化,一般将研究区域划分成若干个子汇水区,再根据各个汇水区的特性分别计算其汇流过程,并通过排水管网将各子汇水区的出流进行汇集和输送。在该项研究中结合 GIS 软件进行汇水区划分和模型概化。将拟建管网及周围地形导入 GIS 软件中,以研究区卫星地图作为背景,以拟建管网 CAD 图纸作为基础,将管网概化为 126 个节点,126 段管段,1 个排放口。根据研究区内的实际汇流情况,以管网中检查井作为节点划分汇水分区,由于该项目以研究区内道路为主,将道路作为重点进行细分,共分为 115 个汇水分区(见图 1)。根据管网概化情况建立各个子汇水分区同节点及管段的关系,运用地理信息技术,根据汇水区面积、坡度等,对汇水分区进行边界修正。

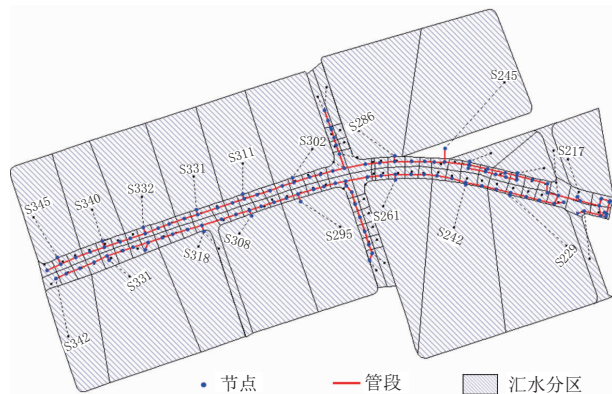


图 1 研究区域模型概化图形

收稿日期: 2020-04-20

作者简介: 赵凯(1983—),男,硕士,工程师,研究方向:道路排水工程。

2.2 参数确定

在 SWMM 中, 水文模型参数的设置较为困难, 大多根据研究区的实际情况进行计算或在经验范围内进行取值。在该项研究中特征宽度^[3]根据 $Width = K \cdot \text{SQRT}(\text{area})$ ($0.2 < K < 5$) 计算。通过地形图, 测量整体地势差, 确定子汇水区的平均坡度为 0.2%。渗透地面曼宁系数取 0.15, 不渗透地面及管道取 0.013。区域内最小不渗透率为 15%, 最大不渗透率为 90%。不渗透部分洼地填蓄取 1.905 mm, 渗透部分取 3.81 mm。

在 SWMM 中, 提供了恒定流、运动波和动力波三种方法计算管网汇流。其中, 由于动力波法可以有效地解决排水管网各种变化情况, 对不同形状的管网均有较强的适用性, 故该项研究采用动力波法进行管网汇流计算。

在 SWMM 模型中, 采用 Horton 方程、Green-Ampt 入渗方程和曲线数三种方法模拟降雨下渗。该项研究选取 Horton 方程计算降雨下渗。根据 SWMM 操作手册中的建议取值和经验数值, 确定下渗模型中最大下渗速率为 76.2 mm/h, 最小下渗率为 2.54 mm/h, 衰减常数取 6 L/h, 排干时间取 14 d。

2.3 设计暴雨雨型

排水管道设计的最大流量与降雨强度密切相关。当地降雨规律的模拟可以采用两种方式: 实测数据模拟和合成降雨模拟。实测数据模拟需要先收集真实降雨的数据, 将收集的数据作为基础数据进行暴雨模拟。合成降雨模拟是在没有实测降雨数据的情况下运用一些数学曲线模型来模拟降雨, 获得降雨数据^[4]。芝加哥降雨过程线模型在我国应用较为广泛。现选取芝加哥雨型作为研究区域 3 a 重现期暴雨设计雨型以复核拟建管网设计标准^[5]。采用上海市暴雨强度公式^[6]:

$$q = \frac{1600(1+0.846\lg P)}{(t+7.0)^{0.656}}$$

将暴雨强度公式中各参数值代入芝加哥降雨雨型中, 得到上海市芝加哥降雨模型公式如下:

$$i = \frac{q}{167} = \frac{1600(1+0.846\lg P)}{167(t+7.0)^{0.656}}$$

峰值比例 r 取 0.405, 暴雨历时取 120 min, 降雨重现期取 3 a, 得到芝加哥暴雨雨型如图 2 所示。

根据《室外排水设计规范》GB 50014—2006^[2]要求, 特大城市的内涝防治设计重现期要达到 50~100 a 且要达到居民住宅和工商业建筑物的底层不进水, 道路中一条车道的积水深度不超过 15 cm。现以 10 a、50 a、100 a 作为暴雨模拟重现期(见图

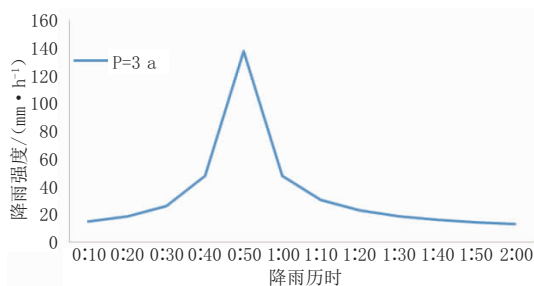


图2 3 a 重现期暴雨芝加哥雨型分布图

3)。按照上海市《治涝标准》^[7]附录选取水利片最大 24 h 面暴雨雨量, 重现期为 10 a, 50 a, 100 a 的 24 h 面暴雨雨量分别为 166.1 mm, 241.6 mm, 273.6 mm, 采取附录 C 中“菲特”暴雨设计雨型进行该项研究暴雨雨型分配。

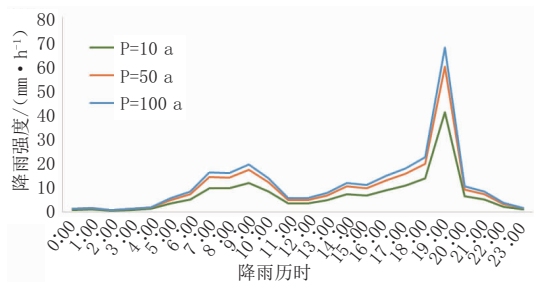


图3 10 a、50 a、100 a 重现期暴雨芝加哥雨型分布图

3 模拟结果分析

3.1 管网设计标准复核

该项研究采用 3 a 重现期暴雨对拟建管网进行复核。在 SWMM 中输入 $P = 3 a$ 的芝加哥雨型进行模拟计算, 模拟 4 h 降雨径流过程(包括退水时间)。SWMM 中生成的状态报告可显示研究区域的降雨总量、蒸发量(此次不考虑蒸发)、地表径流量, 以及总下渗量等数据。报告中可查看超载节点、溢流节点、超载管段等信息。3 a 重现期暴雨模拟降雨总量为 65.597 mm, 下渗总量为 3.337 mm, 地表径流总量为 60.855 mm, 最终地表蓄水为 1.424 mm。模拟结果显示 50% 的节点在模拟过程中出现超载的情况。18 个节点在降雨过程中出现溢流, 其中除 J481、J495、J521 和 J581 外, 其余节点溢流时间短且溢流量较小, 对排水系统不会产生影响。18 管段在降雨过程中出现短时间排水能力受限的情况(管段分布见图 4 所示)。

3.2 防洪标准检验

以 10 a、50 a、100 a 作为防洪模拟重现期, 采取“菲特”暴雨设计雨型, 片区检验复核结果见表 1 所列和图 5 所示。

3.3 模拟结果分析

3.3.1 管网标准复核结果分析

当发生 3 a 一遇降雨时, 有 18 个节点在降雨

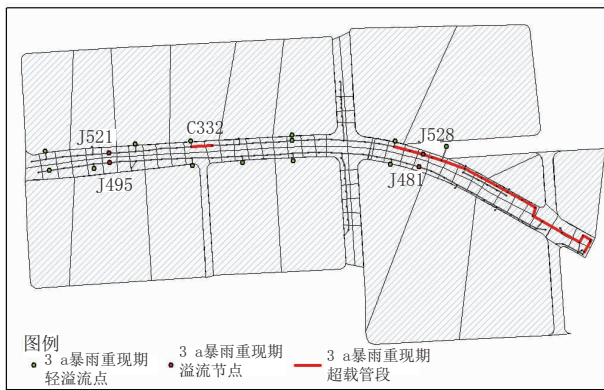


图 4 3 a 重现期暴雨超载管道分布图

表 1 不同重现期防洪标准检验汇总表

项目	暴雨重现期		
	10 a	50 a	100 a
降雨总量 /mm	166.1	241.6	273.6
下渗总量 /mm	8.821	11.160	9.215
地表径流总量 /mm	155.250	228.129	262.053
地表蓄水深度 /mm	2.041	2.331	2.354
超载节点数 /%	92	92.8	93
溢流节点数 /个	9	17	18
超载管段数 /段	44	63	67

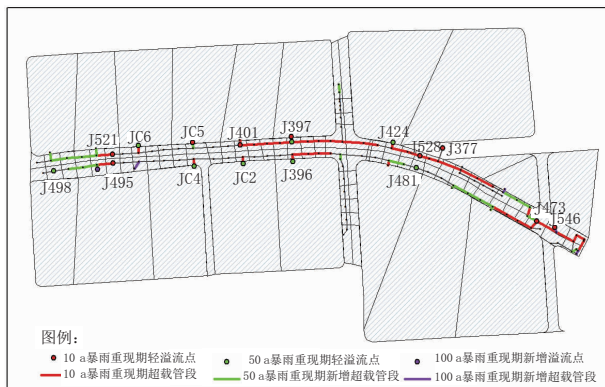


图 5 长历时暴雨模拟结果图示

中出现溢流,节点溢流持续时间为 0.26 h~1.44 h。在降雨峰值后溢流节点达到最多,其中 J481、J495、J521 和 J581 溢流量较大。结合 SWMM 查看剖面图(见图 6),这四个节点均在地势低的地方,在节点处形成洼地,导致节点出现溢流,随溢流量增大形成积水。其余 14 个溢流节点,溢流时间不超过 0.5 h,多为与汇水分区直接相关的节点。由于周边地块尚未开发,无排水管道,雨水经过地表径流直接进入节点处,导致节点出现短时间的溢流情况。在 3 a 一遇暴雨重现期,随着降雨强度逐渐减小,所有溢流节点逐渐恢复正常,在降雨结束后,所有节点恢复正常,未在节点处形

成长时间大面积的积水或者漫流。

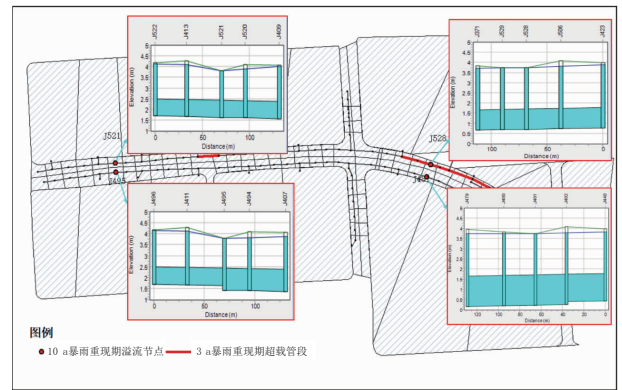


图 6 溢流节点剖面图

在降雨过程中,部分管段出现排水能力受限的情况,时间最长达 1.46 h。满流管段(除 C332 外)为汇流管段,在降雨发生时道路周边区块汇流面积较大,造成管道流量增大,汇流部分管段不仅接收了来自上游管段流量,还有周边的汇流量,使管道负荷增大,在降雨时出现满流。降雨结束后的退水时间内,管道逐渐恢复正常,管网可正常排水。C332 管段长时间满流是由于管道埋深(见图 7)造成的,由其剖面图可明显看到该管段埋深低于上下游管段,在设计中应进行适当调整。C274 管段为过河管段,因此也会出现短时间排水能力受限的情况。

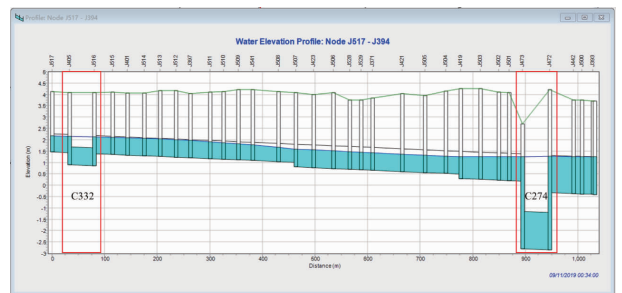


图 7 C332-C274 管段剖面图

综合上述,发生 3 a 一遇降雨时,拟建管网中局部存在溢流节点和超载管段,降雨结束后,所有节点和管段均恢复正常,排水口处的管段运行顺畅。因此,该套管网基本能够满足研究区域的排水要求,路面不会产生积水。

3.3.2 防洪能力检验分析

防洪标准复核时,溢流节点和超载管段数量随重现期增大而增加。

10 a 暴雨重现期时,92%的节点在降雨过程中有超载情况。其中,9 个节点发生溢流,溢流时间为 0.77~2.04 h, J495 和 J521 节点处由于形成了低洼(见管网标准复核结果分析),溢流量较大,其余溢流节点溢流量较小,且持续时间短,未在地面形成积水。在降雨过程中部分管段出现过短

时间的排水能力受限情况, 44 段超载管段超载持续时间为 0.08~6.28h, 在降雨结束后, 排水管道排水能力恢复正常。

50 a 暴雨重现期时, 超载节点增多, 溢流节点 17 个, 节点溢流量增大, J521 节点处溢流量较大, 节点洪流时间长达 7 h, 会在周围形成小范围的积水。其余节点洪流时间约为 1 h, 溢流量不至形成积水, 对排水管网影响不大。超载管段增加 19 段, 排水能力受限时间最长达 11 h。

100 a 一遇时, 溢流节点及超载管段总数未见明显增长。节点 J521 溢流时间增至 8.1 h, 节点 J495 和 J521 溢流量增大, 在降雨过程中会形成范围和深度较大的积水, 在降雨结束后, 溢流节点均恢复正常, 管网系统中有 50% 的管段仍处在满流状态。

在防洪标准检验中, 模拟结果显示, 降雨过程中节点发生溢流, 随着暴雨重现期增大, 溢流量增大, 导致节点周边有积水产生, 降雨结束, 节点均恢复正常。在 50 a 和 100 a 暴雨重现期降雨中, 几乎全部节点发生超载, 降雨结束后仍有约 50% 的管段处于满流状态, 所以该套管网在防洪方面稍显不足。结合长历时暴雨降雨过程模拟, 综合节点溢流情况及管段超载情况, 确定了研究区道路上易产生积水的区域(见图 8 所示)。

4 结 论

该项研究采用 SWMM 模型对研究区道路上拟建管网是否符合管网设计标准和防洪标准进行了模拟复核。进行 3 a 重现期的短历时降雨模拟, 分析排水管网中节点和管段的情况, 复核其是否符合管网设计标准。采用不同重现期的长历时面暴雨进行积水内涝情况分析, 总结研究区中易产生

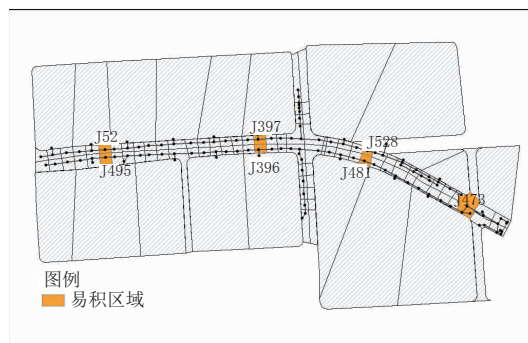


图 8 易积水区域分布图

积水区域。研究结果如下:

(1) 研究区属淀南片区, 管网设计暴雨重现期 3 a, 经研究分析, 拟建管网基本符合研究区域中的管网设计标准; 个别管段(C322)和节点(J521)可根据实际情况在设计中做出调整。

(2) 在长历时降雨中有节点处溢流量较大, 会造成节点周围明显的积水; 降雨结束后, 仍有约 50% 管段处于满流状态, 防洪排涝效果稍显不足, 需要增大管径。

(3) 根据长历时降雨模拟结果, 文中明确道路上易产生积水的区域, 在防洪排涝中需对这些区域加强监控, 并增加临时性强排措施。

参考文献:

- [1] 陈宏亮. 基于低影响开发的城市道路雨水系统衔接关系研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
- [2] GB 50014—2016, 室外排水设计规(2016 年版)[S].
- [3] 周毅, 余明辉, 陈永祥. SWMM 子汇水区域宽度参数的估算方法介绍[J]. 中国给水排水, 2014(22): 61-64.
- [4] 贾赛君. 基于 SWMM 的城市暴雨内涝模拟研究[D]. 辽宁: 辽宁师范大学, 2018.
- [5] 张大伟, 赵冬泉, 陈吉宁, 等. 芝加哥降雨过程线模型在排水系统模拟中的应用[J]. 给水排水, 2008, 34(s1): 354-357.
- [6] DB 31/T—1043, 暴雨强度公式与设计雨型标准[S].
- [7] DB 31/T 1121—2018, 治涝标准[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

电话: 021-55008118 传真: 021-55008850 投稿及联系邮箱: cdq@smedi.com