

# 海绵城市道路雨水口截流率研究

陈国芬<sup>1</sup>, 郭 帅<sup>2</sup>, 段园煜<sup>3</sup>

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014; 2. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 3. 合肥学院 建筑工程系, 安徽 合肥 230601)

**摘 要:** 杭州市道路积水问题普遍存在,开展雨水口截流率研究可为其优化设计提供科学依据。选取典型海绵城市道路,在不同降雨重现期下进行汇流过程的有限元数值模拟。模拟结果给出了道路汇流过程的流场图及路面积水深度分布图,结果表明,路面积水深度随雨强的增大而增大,积水深度最大点位于雨水口处;雨水口截流量与雨强呈正相关,而截流率与雨强呈负相关。

**关键词:** 海绵城市; 道路; 雨水口; 截流率; 数值模拟

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)11-0135-04

## Interception Rate of Road Rainwater Inlet in a Sponge City

CHEN Guo-fen<sup>1</sup>, GUO Shuai<sup>2</sup>, DUAN Yuan-yu<sup>3</sup>

(1. Power-China Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, China; 2. College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Department of Architectural Engineering, Hefei University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** Hangzhou is bothered by common road ponding problem, so the study of rainwater inlet interception rate can provide a scientific basis for its optimization design. Finite element numerical simulation was conducted on the confluence process under different rainfall design recurrence periods in a typical sponge city road. The flow field diagram of the road confluence process and the surface water depth distribution diagram were obtained by the simulation. It was found that the ponding depth of the road increased with the rainfall intensity and the maximum depth was located at the rainwater inlet. In addition, the interception flow was positively correlated with the rainfall intensity, while the interception rate was negatively correlated with the rainfall intensity.

**Key words:** sponge city; road; rainwater inlet; interception rate; numerical simulation

近年来,我国许多城市内涝频发,严重影响了人们的生产和生活,同时对城市现有排水系统及设施提出了严峻的挑战。为此,我国提出大力发展“海绵城市”的战略举措<sup>[1]</sup>。2014年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)及2016年发布的修订条款,提高了雨水口及其连接管的流量设计标准,雨水口泄水能力要求为设计重现期计算流量的1.5~3倍。雨水口作为城市路面排水系统的入口端,其集水与截流能力直接影响城市道路排水效果。Manuel等人<sup>[2]</sup>通过对4种类型的横格条算子进行泄流试

验,分析了各种算型的排水效率与相关水力参数的关系;张林洪等人<sup>[3]</sup>在试验的基础上,对不同形式雨水口的截流量进行了系统研究,认为雨水口的进水状况随来水量的大小、雨水口形式以及纵坡坡度而变。而针对海绵城市道路雨水口的集水与截流率问题,尤其是基于有限元的精细化数值模拟方面的研究成果仍不多见。

## 1 数值模型的构建

### 1.1 典型路段选取

杭州市大江东新城道路工程一期工程有11条

道路,全长约为 20 km,是大江东经济开发区的主要路网。道路设计在“海绵城市”理念的指导下,主干道各车道之间用绿化带分割,用以吸水、蓄水、渗水和净水,且人行横道设置透水砖。道路横断面设计如图 1 所示,路面总宽为 50 m,双向六车道。机动车道及非机动车道的横坡为 1.5%,道路雨水汇入雨水口;人行道的横坡为 -1.5%,不设置雨水口,铺设透水砖,未渗透的道路雨水直接汇入绿化带,各分割带不设横坡,带内雨水自由流动。

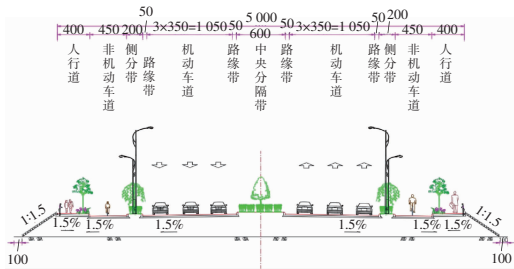


图 1 模拟路段横断面设计示意

Fig. 1 Cross-sectional design of the simulated road

## 1.2 计算域

采用商用计算流体动力学(CFD)软件 CFX14.5 版。建模路线选取一期道路工程中的主干道东三路,路段选取东三路沿线较为平坦的一段(道路纵坡 = 0.7%),建模路段总长为 80 m,对应道路桩号为 9 + 246 到 9 + 326。考虑到模型的运算量 and 对称性,模型只取以中央分隔带中心线为分割的一侧路面(宽为 25 m),因此模型平面总尺寸为 80 m × 25 m。建模路段共有 4 个雨水口,2 个位于机动车道、另外 2 个位于非机动车道,分别收纳机动车道和非机动车道的汇流雨水,雨水口编号见图 2,雨水口绘制参考《平算雨水口》(2001 浙 S10)设计标准(见图 3)。为验证设计道路雨水管渠的最大收水率,不考虑雨水算子开孔率的影响。

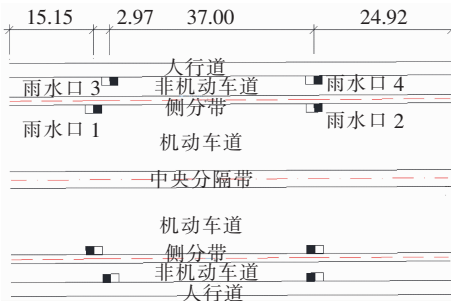


图 2 建模路段设计平面图

Fig. 2 Plan view of the simulated road

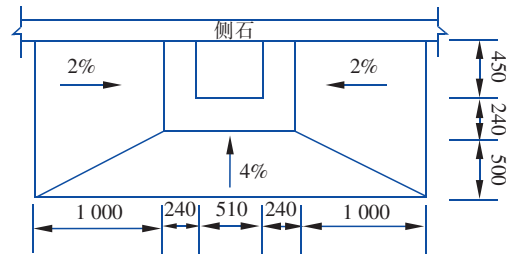


图 3 参考雨水口

Fig. 3 Reference rainwater inlet

## 1.3 网格划分及参数设置

当前计算网格尺寸为 0.1 m,共划分 190 万个节点。在路面,雨水口等处设置结构网格,其他处设置非结构网格。计算精度设置为 High resolution,紊流精度为 Upwind,残差为  $1E-04$ ,其余均为系统默认参数。

入口设置在路面,出口为每个雨水口和下游边界,模拟雨水流入雨水口和下游路段的过程。入口流量取决于雨量大小,模拟 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mm/min 这 5 个设计暴雨强度工况下(分别记作工况 1 ~ 5)的汇流过程,对应的重现期分别为 0.2、0.4、1.0、2.0、5.0 年,入口流量分别为 16.67、33.33、50、66.67、83.33 L/s。根据杭州市设计降雨强度公式,可计算得出以上模拟工况对应的设计重现期,其中降雨历时  $t = t_1 + t_2$ ,2016 版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)规定地面积水时间  $t_1$  一般采用 5 ~ 15 min,对于路面雨水,由于径流路径很短,因此  $t$  取 5 min。

## 2 结果与讨论

### 2.1 流场分析

图 4 为工况 1 运行稳定后的流场,流场均匀稳定、收敛较好。可见,机动车道及非机动车道内的雨水受道路横坡及纵坡的影响,在重力作用下分别汇入雨水口。人行道内雨水在重力作用下流向靠近非机动车道一侧,被侧石分割不汇入雨水口。中央分隔带及侧分带均未设置横坡,雨水仅受道路纵坡的影响,分析流线可知,中央分隔带内雨水流线平直,可见,中央分隔带内雨水全部流向下游,而侧分带内雨水流线发生偏向,可以明显看出侧分带内已有部分雨水流入到非机动车道。其他工况的流场呈现出类似形态,但是随着雨强的增大,发现侧分带内流线较早偏向非机动车道,此区域内雨水流入非机动车道部分增大。

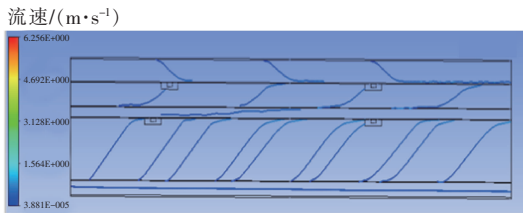


图 4 工况 1 的流场

Fig. 4 Simulated flow field of case No. 1

2.2 道路积水深度分析

我国《室外排水设计规范》中对道路积水深度的要求是:道路中车道的积水深度不应超过 15 cm。图 5 为模拟工况 1 的路面积水深度分布。可见,受道路横坡的影响,雨水主要汇集于有雨水口分布的一侧;纵向上,积水深度在雨水口处达到最大。5 种工况最不利点的积水深度分别为 0.78、1.3、1.55、3.2、3.49 cm,可知积水深度随着雨强的增大而增大。根据设计规范对雨水管渠设计重现期的规定,该海绵道路的设计重现期宜取 3~5 年,该重现期对

应模拟工况 5。因此,由模拟结果可知,该段道路积水深度符合设计标准,不影响车行安全。

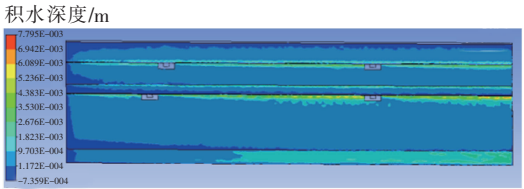


图 5 工况 1 的道路积水深度分布

Fig. 5 Simulated ponding depth distribution of case No. 1

2.3 雨水口截流率分析

道路雨水通过雨水口进入地下排水管渠。每个雨水口负责收纳其上游道路路面的汇流雨水。《室外排水设计规范》依据排水管道设计管径的不同,对雨水口的设置间距有相应的规定。本研究模拟路段总长为 80 m,共设置 4 个雨水口,各个雨水口对应的设计收水面积及各工况下的设计截流量如表 1 所示。

表 1 雨水口的设计参数

Tab. 1 Design parameters of rainwater inlet

项 目	雨水口 1		雨水口 2		雨水口 3		雨水口 4	
	截流面积/m <sup>2</sup>	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流面积/m <sup>2</sup>	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流面积/m <sup>2</sup>	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流面积/m <sup>2</sup>	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )
工况 1	189.75	1.59	460	3.83	126.75	1.06	240.5	2.00
工况 2	189.75	3.16	460	7.67	126.75	2.11	240.5	4.01
工况 3	189.75	4.74	460	11.50	126.75	3.17	240.5	6.01
工况 4	189.75	6.33	460	15.33	126.75	4.23	240.5	8.02
工况 5	189.75	7.91	460	19.17	126.75	5.28	240.5	10.02

各个雨水口在不同工况下的截流量见表 2。可知,在雨强为 0.5~2.5 mm/min 时,雨水口 1~4 的截流量分别为 1.59~5.76、4.03~13.05、1.00~3.30、1.75~7.92 L/s,雨水口截流量与雨强呈正相关,4 个雨水口截流量的排序为:雨水口 2>雨水口

4>雨水口 1>雨水口 3;雨水口 1~4 的截流率分别为 72.82%~100%、68.08%~100%、62.50%~94.34%、79.04%~87.50%,可知雨水口截流率与雨强呈负相关(雨水口 4 的截流率有一定波动),4 个雨水口的截流率相比,未呈现明显规律。

表 2 雨水口的截流率

Tab. 2 Interception rate of rainwater inlet

项 目	雨水口 1		雨水口 2		雨水口 3		雨水口 4		总雨水量/(L·s <sup>-1</sup> )	总截流率/%
	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流率/%	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流率/%	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流率/%	截流量/(L·s <sup>-1</sup> )	截流率/%		
工况 1	1.59	100	4.03	100	1.00	94.34	1.75	87.50	16.67	50.22
工况 2	2.81	88.92	5.72	74.58	1.64	77.73	3.28	81.80	33.33	40.35
工况 3	3.89	82.07	8.27	71.91	2.25	70.98	5.42	90.18	50.00	39.66
工况 4	4.71	74.41	10.59	69.08	2.95	69.74	6.18	77.06	66.67	36.63
工况 5	5.76	72.82	13.05	68.08	3.30	62.50	7.92	79.04	83.33	36.03

此外,通过计算各个工况雨水口的总截流率,即 各工况 4 个雨水口截流量之和与路面总降雨量的比

值,发现雨水口总截流率与雨强呈负相关,如图6所示,说明当雨强增大时,更多的雨水将流向下游。但随着雨强的增大,雨水口总截流率的下降幅度呈现逐渐减小并趋于稳定的趋势,这意味着当雨强大于一定值后,雨水口截流率将达到饱和。

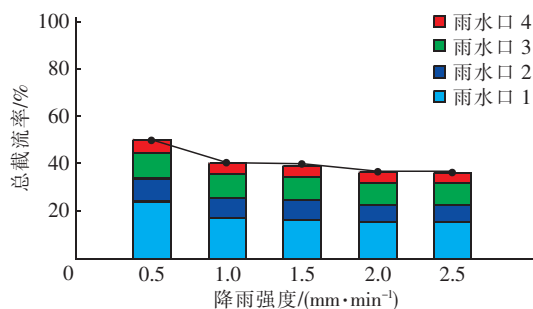


图6 雨水口总截流率与雨强的关系

Fig.6 Relationship between the interception rate of rainwater inlet and rain intensity

### 3 结论

通过构建海绵城市道路的有限元模型,模拟了不同降雨强度下道路雨水的汇流过程,给出了道路汇流过程的流场图及路面积水深度分布图,形象地展示了路面雨水的汇流过程。模拟结果表明,路面积水深度随降雨强度的增大而增大,积水深度最大点位于雨水口处;该路段路面最大积水深度为3.49 cm,符合对应设计降雨重现期下设计规范的要求。研究发现,雨水口截流量与降雨强度呈正相关,而雨水口截流率与降雨强度呈负相关,雨水口总截流率与降雨强度呈负相关。此外,随着降雨强度的增大,雨水口总截流率的下降幅度呈现逐渐减小并趋于稳定的趋势,这意味着当降雨强度大于一定值后,雨水口截流率将达到饱和,但这还需要进一步的研究与验证。本研究成果将为海绵城市道路雨水口的优化设计提供一定的理论参考。

### 参考文献:

- [1] 张亮,俞露,任欣欣,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).
- [2] Manuel G V, Beniamino R. Hydraulic efficiency of continuous transverse grates for paved areas[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, 135(2):225-230.
- [3] 张林洪,赵江,吴培关,等. 雨水口算子排水量试验探讨[J]. 天津城市建设学院学报, 2004, 10(2):107-110.  
Zhang Linhong, Zhao Jiang, Wu Peiguan, et al. Experiment research on discharge of gate in drain for rain water [J]. Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2004, 10(2):107-110 (in Chinese).



作者简介:陈国芬(1979-),女,浙江杭州人,本科,高级工程师,主要从事市政给排水、综合管廊、海绵城市等设计研究工作。

E-mail: chen\_gf@ecidi.com

收稿日期:2018-11-30