

城市雨水管理

已建区雨水排放费分区量化方法研究与应用

徐袞檬^{1,2}, 潘兴瑶^{1,3}, 张书函¹, 王丽晶¹, 李 尤^{1,2}, 张宇航^{1,2}

(1. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048; 2. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

3. 北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心, 北京 100048)

摘 要: 雨水排放费制度是一种控制降雨径流排放的有效经济管理手段。在城市内涝、面源污染等问题亟待解决及海绵城市建设的大背景下, 研究一种具有区域适用性的雨水排放费分区量化征收办法具有重要的现实意义。选择北京市东城区面积为 1.934 km² 的某区域为研究对象, 按用地类型将其划分为 4 种功能分区, 依据各功能分区下垫面特征及污染本底情况提出了一套适用于建成区降雨径流水量排放的费用计算公式。通过建立城市排水管网模型模拟研究区不同重现期设计降雨情景下的排口出流量, 计算不同功能分区在不同重现期场次降雨情景下的水量费用, 以此验证雨水排放费用计算方法及分区量化征收办法的合理性和适用性。结果表明, 对于居民住宅区、商业区/商务行政办公区, 不同重现期单场次降雨人均水量费用均值分别为 0.25、0.81 元/人, 计算结果合理, 对鼓励人们进行雨水资源化利用、参与海绵城市建设可起到积极的推动作用。

关键词: 雨水排放费; 海绵城市; 分区量化征收方法; 降雨径流模拟; 已建区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0114-07

Research and Application of Quantitative Zoning Method for Rainwater Discharge Fee in Built-up Area

XU Jia-meng^{1,2}, PAN Xing-yao^{1,3}, ZHANG Shu-han¹, WANG Li-jing¹, LI You^{1,2},
ZHANG Yu-hang^{1,2}

(1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Beijing Unconventional Water Resources Development and Utilization and Water Saving Engineering Technology Research Center, Beijing 100048, China)

Abstract: The fee of rainwater discharge is an effective economic management method to control rainfall runoff discharge. In the context of urban waterlogging & non-point source pollution urgently to be solved and sponge city construction, it is of great practical significance to set up a zoning and quantified collection method of rainwater discharge fee with regional applicability. An area of 1.934 km² in Dongcheng District of Beijing was selected as the research area, which was divided into four functional divisions according to the type of land use. A set of fee calculation formula applicable to the rainfall runoff discharge in the built-up area was proposed according to the underlying surface characteristics of

each functional area and the background pollution. An urban drainage pipe network model was established to simulate the discharge rate of the outlet under the designed rainfall scenario with different return periods in the study area, and the discharge fees of different functional zones under the rainfall scenarios with different return periods were calculated, so as to verify the rationality and applicability of the calculation method of rainwater discharge fee and the quantified zoning collection method. The results showed that the average per capita water fees of a single rainfall with different return periods were 0.25 yuan and 0.81 yuan for residential area and commercial area/commercial administrative office area. It thus showed that the calculation results were rational, which could promote the utilization of rainwater and the construction of sponge city.

Key words: rainwater discharge fee; sponge city; quantitative zoning collection method; simulation of rainfall runoff; built-up area

雨水排放费制度作为一种雨水排放水量和水质污染减控的经济管理政策,是科学系统管理雨水工作的关键性管控措施。目前国际上的雨水管理体系以德国、美国等为代表,在雨水利用的激励机制方面,德国、美国等40多个国家和地区从20世纪80年代开始进行了大量的研究与应用^[1]。20世纪90年代,我国学者才开始对雨水利用进行较系统的研究,然而目前针对雨水利用的研究主要集中在工程措施方面,关于雨水利用与排放管理经济激励体制建设等非工程措施的研究较少^[2]。

北京作为我国北方特大城市,高度城市化使得区域下垫面情况变得极为复杂^[3]。北京市东城区位于首都核心区,社会经济发展水平高且全部为城市化区域,对于此种发展较为成熟的老城区,工程性措施受到城市定位、发展空间、工程成本等因素的限制,因此从经济政策等非工程性措施的角度寻求一种系统性的径流减控措施尤为重要。笔者在对德、美两国雨水排放费制度适用性分析的基础上,结合北京市的特点,基于城市管网排水模型的模拟结果,提出了一套适用于城市已建区、以控制降雨径流效果为目标导向的雨水排放费确定方法和分区量化征收办法,以期为城市内涝防治及海绵城市建设非工程措施方面的研究提供参考。

1 国内外雨水排放费征收情况

1.1 国外雨水排放费制度的适用性

德国和美国是实行雨水排放费制度较早且经验较为丰富的国家,其雨水管理的机制均是在国家宏观法规政策的统筹和支撑下,各地方政府依据当地的降雨条件、下垫面建设情况等因地制宜地制定详细的实施方案。

从雨水排放费征收方法的角度来看,德国主要依据不透水下垫面面积来征收雨水排放费,如德国的德累斯顿,雨水排放费按房屋和硬化地面的面积计算^[4];美国主要通过雨水排放许可证制度控制径流量和水质污染,也有部分州采取雨水排放费机制,如华盛顿州的Olympia市,依据等效居住单元制定收费标准,居民区以2528 m²为一个等效居住单元(Equivalent Residential Unit, ERU),一个等效居住单元是指该市住户家庭的平均不透水面积^[5]。

德、美两国虽然在征收方法上存在差异,但本质上都是依据不透水下垫面的面积占比来征收雨水排放费。这种收费方法虽然操作性较强,但从减控效果上分析仍存在局限性:①可透水下垫面的下渗速率及雨水利用设施的调蓄容积非均等分布。如对于两个相同面积的住宅区域,假设不透水下垫面面积相同,按照德、美两国的雨水排放费征收方法,两者每月所缴纳的雨水排放费相同。但实际上,两者透水下垫面的构造存在差异,如透水铺装的下渗速率、绿色屋顶的植被种类和储水能力等,透水下垫面部分海绵设施的选取和组合的不同会直接影响排入雨水管网径流量的大小。因此,此种收费方式,虽然缴费相同,但对降雨径流的减控效果却存在差异。依据下垫面面积比来核算雨水排放费仅是一种减控措施,而非以措施所达到的效果为目标导向。②国外居住区大多为独立住宅,而国内建成区多为集体式住宅,建设环境的差异使得国外雨水排放费体系无法完全适用于国内。独立住宅有各自的居住管辖面积,可以依据各自的下垫面比例核算费用,雨水费的多少直接与住宅区域下垫面的设计和布设情况相关。因此,此种方式可间接促进业主通过改造下垫

面来增强雨水排放的减控效果,减少在雨水费方面的资金投入。而国内大多为集体式住宅,小区下垫面由开发商设计建设,与居民业主并无直接关系,倘若通过核算小区的不透水下垫面来向住户征收雨水排放费,显然有失公平性^[6]。

因此,在借鉴德、美等发达国家经验的基础上,因地制宜地制定一套以降雨径流减控效果为目标导向的雨水排放费分区量化办法,对于我国城市内涝防控及海绵城市建设具有极大的现实意义。

1.2 国内雨水排放费制度实施的必要性

目前国内尚没有城市或地区制定雨水排放收费制度,在此方面的研究大多停滞在总结借鉴国外经验的阶段,对于收费标准、收费机制等缺乏深入的研究和探讨,且对雨水排放费制度的研究程度不能保证其能够真正落地实施。2005年张书函等^[7]通过对雨水利用业主防洪费缴纳减免算法的研究,间接实现对雨水排放进行经济手段的减控;2008年李俊奇等^[8]针对降雨径流的污染问题提出了径流水质的雨水征收办法;2011年黎靖^[2]采用费率因子法以深圳市为研究区提出了考虑水量和水质两个方面的雨水排放费征收办法。国内现有雨水排放费的研究主要依据下垫面类型占比或基于水文响应因子的径流系数法来进行计算,虽然计算简便、操作性强,但不能全面反映实际降雨产流过程的差异性。

北京市《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)中对建筑和小区外排雨水的总量和峰值进行了控制:①已建成城区的外排雨水流量径流系数不大于0.5;②新开发区域外排雨水流量径流系数不大于0.4;③外排雨水峰值流量不大于市政管网的接纳能力。此外,该规范也对工程项目雨水调蓄设施的配建做了要求,“新建工程硬化面积达2 000 m²及以上的项目,应配建雨水调蓄设施”^[9]。目前北京市主要出台了雨水利用相关的经济政策,在雨水排放费方面尚没有制定全面系统的制度。《北京市排水与再生水管理办法》中主要说明了污水排放费的征收,没有考虑因雨水径流而造成的面源污染情况。此外,目前北京市关于雨水排放费的收取、雨水利用设施建设的经济激励手段的构想均未真正落实。基于此,笔者提出了针对性的雨水排放费水量费用计算公式,并依据适用性模型模拟结果,通过不同降雨情景案例的计算分析,验证费用计算方法的科学合理性和可行性。

一般认为城市雨洪利用工程建设或海绵城市建设可同时实现对径流量和污染物的管控,因此,对水量实现管控的效果决定了对面源污染的减控效果,雨水利用措施可同时实现对水量和水质污染的减控目标。此外,城市排水水质受下垫面条件、污水排放等复杂因素影响,水质模型模拟效果的随机性较强。因此,雨水排放水质费用的核算建议采用水质监测数据,水质收费标准按照北京市《水污染物综合排放标准》(DB 11/307—2013)中的B类排放限值制定。本研究中暂不对排水水质费用进行分析。

2 研究区概况

研究区选取北京市东城区东护城河沿岸区域,面积为1.934 km²。研究区为闭合排水分区,区域内的降雨径流经排水管网汇流至雨水排放口,向东排向东护城河。

由于不同用地类型的开发强度不同,加之土地用途的差别导致下垫面的透水程度和污染本底具有较大的差异,因此在同等降雨条件下所产生的降雨径流过程存在较大差异。依据地块下垫面特征,将研究区分为居民住宅区、商业区、商务行政办公区和公园绿地,见图1。

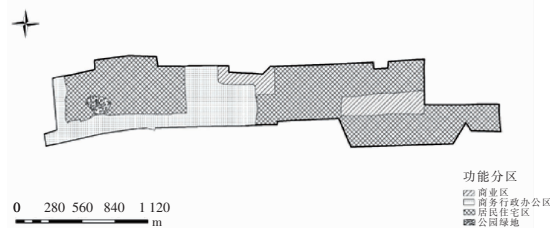


图1 研究区的功能分区示意

Fig. 1 Functional partition in study area

3 雨水排放费计算方法

根据《北京市海绵城市专项规划》中提出的北京市中心城区年径流总量控制率为75%的控制指标,采用东城区代表雨量站38年(1980年—2017年)的逐日降雨资料,按照《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中的方法^[10],利用MATLAB编程计算得到年径流总量控制率与设计降雨量的关系(见图2),由此确定75%年径流总量控制率对应的设计降雨量,将此设计降雨量作为东城区径流量控制标准的参考项。采用内插法计算得出,当年径流总量控制率为75%时,对应东城区的控制雨量为23.2 mm。

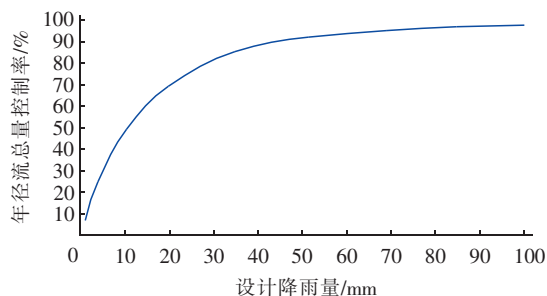


图2 东城区年径流总量控制率与设计降雨量的关系曲线

Fig.2 Relationship between volume capture ratio of annual rainfall and design rainfall in Dongcheng District

从雨水排水管网总排水量角度出发制定相应的费用计算公式如下:

$$C = C_v \times (W_z - S) / A \quad (1)$$

式中: C 为单场次降雨单位面积的排水量费用,元/ m^2 ; C_v 为单位体积排水量的费率因子,元/ m^3 ; W_z 为单场次降雨排口总水量, m^3 ; S 为75%年径流总量控制率的目标排水量, m^3 ; A 为排水分区面积, m^2 。

$$S = (P - h) \times A \quad (2)$$

式中: P 为设计降雨量或实际场次降雨量,mm; h 为75%年径流总量控制率对应的控制雨量,mm。

其中, W_z 通过排口监测数据或者精细化管网模型模拟计算得到; h 依据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中年径流总量控制率分区的目标,通过当地长序列逐日降雨数据推求得到; C_v 依据当地自来水费用确定,目前北京市居民自来水费中水资源费用为1.57元/ m^3 ,污水处理费为1.36元/ m^3 ,考虑到雨水属于宝贵的可利用水资源且初期降雨径流的水质污染较为严重,所以 C_v 的取值可参考北京市居民自来水费中水资源费和污水处理费统一确定,因此本研究给出的 C_v 参考范围为1.36~1.57元/ m^3 。

依据下垫面透水程度的不同,为不同的功能分

区设定相应的权重因子。根据文献资料^[2]和《城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》(DB11/T 969—2016)确定不同功能区的径流系数如下:商业区和商务行政办公区取0.8,居民住宅区取0.5,公园绿地取0.3。采用加权平均法,推算雨水排放费水量征收费用的权重因子如下:商业区和商务行政办公区为0.5,居民住宅区为0.3,公园绿地为0.2。

单位面积径流量分区征收费用计算公式如下:①商业区和商务行政办公区, $C_1 = 0.5C$;②居民住宅区, $C_2 = 0.3C$;③公园绿地, $C_3 = 0.2C$ 。

4 基于模拟结果的雨水排放费

4.1 模拟与计算机理

InfoWorks ICM模型系统能够模拟城市管网排水系统,被广泛应用于排水系统现状评估、城市洪涝灾害预测评估、城市降雨径流控制等研究。通过对研究区不同重现期场次设计降雨情景下产汇流的模拟,计算出研究区域雨水管线排口的总排水量 W_z ;依据年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系,将东城区所要达到的75%年径流总量控制率对应的控制雨量(23.2 mm)作为雨水排放费水量部分收费的衡量标准,代入式(2)计算出75%年径流总量控制率对应的目标排水量 S 。将上述模拟计算结果代入径流量计算公式,再通过权重分配,即得到各功能分区的雨水排放费水量征收费用。

4.2 模型构建结果及参数设置

下垫面根据土地类型分为4种,建筑屋顶、道路、绿地和裸地,面积占比分别为53.42%、18.83%、27.73%、0.02%。降雨产流模拟中,对于透水下垫面产流计算采用固定径流系数法,对于不透水下垫面采用Horton公式进行降雨的入渗过程计算,汇流计算采用非线性水库模型,依据《城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》(DB11/T 969—2016),考虑最不利因素确定模型参数(结果见表1)。

表1 研究区产流参数

Tab.1 Runoff and confluence parameters of research area

项目	径流量类型	固定径流系数	初期损失值/m	Horton 初渗率/ (mm · h ⁻¹)	Horton 稳渗率/ (mm · h ⁻¹)	Horton 衰减率/h ⁻¹
屋顶	Fixed	0.80	0.001	—	—	—
道路	Fixed	0.85	0.002	—	—	—
绿地	Horton	—	0.005	200	12.7	2
裸地	Horton	—	0.005	125	6.3	2

研究区排水管网系统经概化后共有947个节

点,945根管线,其中污水管线为419根、雨水管线

为 526 根,采用泰森多边形法依据雨水节点划分为 528 个子集水区,共 1 个雨水排口,向东排入东护城河(见图 3)。

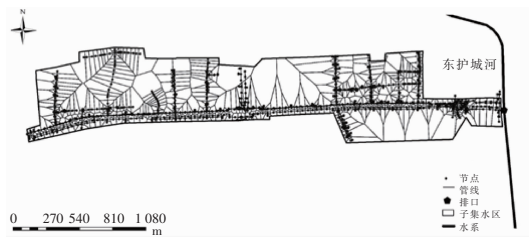


图 3 研究区排水管网模型

Fig. 3 Drainage pipe network model of study area

4.3 模型验证

选择研究区 2018 年 8 月 12 日场次降雨数据(古观象台雨量站)和广渠门南雨水排口的流量监测数据进行参数率定,选取 2018 年 8 月 13 日场次降雨数据对率定后的模型进行验证。经计算,两场降雨的纳什系数分别为 0.759、0.762,相关系数 R^2 分别为 0.881、0.817,拟合效果较好,满足模型使用要求。

4.4 降雨径流模拟计算

采用重现期为 1、2、3、5、10 年,降雨历时为 1 h 的设计降雨,依据北京市《城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》(DB11/T 969—2016)推求降雨强度,依据《给水排水设计手册》推荐使用的芝加哥雨型(雨峰系数 $r=0.167$)进行降雨过程的时程分

配。不同情景下的模拟结果如图 4 所示,对应的径流总量分别为 45 184.59、57 379.31、64 270.02、79 179.04、84 784.20 m^3 (按照降雨重现期从小到大排序)。

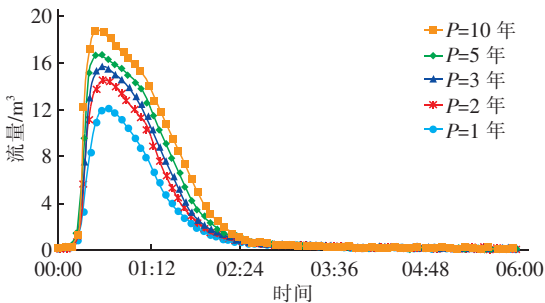


图 4 不同重现期设计降雨的排口出流过程

Fig. 4 Venting flow process for designed rainfall with different return periods

4.5 模型应用

通过对研究区进行不同重现期的降雨径流模拟,计算得到研究区雨水管网排口处的总出流量 W_z ,将此模拟结果代入水量计算公式,计算得到不同重现期降雨情景下单场次降雨的分区雨水排放水量。本计算案例中费率因子 C_v 的取值依据参考范围的上限即北京市自来水价格中的水资源费(1.57 元/ m^3)确定。针对 5 种重现期设计降雨的模拟结果,模型计算了商业区/商务行政办公区、居民住宅区、公园绿地的场次降雨雨水排放费,详细的计算过程及结果见表 2。

表 2 研究区不同重现期场次降雨的分区雨水排放费计算过程

Tab. 2 District calculation of rainwater discharge fees for rainfall of different return periods in study area

设计降雨 重现期/年	费率 因子 $C_v/$ (元· m^{-3})	排口排水 总量 W_z/m^3	$S=(P-h)\times A$			超标水 量/ m^3	单位面积 水量费用 $C/(\text{元}\cdot\text{m}^{-2})$	功能分区	不同功能 分区的单 位面积水 量费用 $C_x/$ (元· m^{-2})	不同功能 分区总水 量费用 $C_{x\text{总}}/\text{元}$
			设计降 雨量 P/mm	控制 雨量 h/mm	目标 排水量 S/m^3					
1	1.57	45 184.59	35.00	23.20	22 821.20	22 363.39	0.018 2	商业区/商务行政办公区 $C_1/C_{1\text{总}}$	0.009 1	5 889
								居民住宅区 $C_2/C_{2\text{总}}$	0.005 4	6 859
								公园绿地 $C_3/C_{3\text{总}}$	0.003 6	89
2	1.57	57 379.31	45.00	23.20	42 161.20	15 218.11	0.012 4	商业区/商务行政办公区 $C_1/C_{1\text{总}}$	0.006 2	4 007
								居民住宅区 $C_2/C_{2\text{总}}$	0.003 7	4 667
								公园绿地 $C_3/C_{3\text{总}}$	0.002 5	61
3	1.57	64 270.02	47.00	23.20	46 029.20	18 240.82	0.014 8	商业区/商务行政办公区 $C_1/C_{1\text{总}}$	0.004 0	4 803
								居民住宅区 $C_2/C_{2\text{总}}$	0.002 4	5 594
								公园绿地 $C_3/C_{3\text{总}}$	0.001 6	73

续表2(Continued)

设计降雨重现期/年	费率因子 $C_x/(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	排口排水总量 W_x/m^3	$S = (P - h) \times A$			超标水量/ m^3	单位面积水量费用 $C/(\text{元} \cdot \text{m}^{-2})$	功能分区	不同功能分区的单位面积水量费用 $C_x/(\text{元} \cdot \text{m}^{-2})$	不同功能分区总水量费用 $C_{x\text{总}}/\text{元}$
			设计降雨量 P/mm	控制雨量 h/mm	目标排水量 S/m^3					
5	1.57	73 179.04	56.00	23.20	63 435.20	9 743.84	0.007 9	商业区/商务行政办公区 $C_1/C_{1\text{总}}$	0.007 4	2 566
								居民住宅区 $C_2/C_{2\text{总}}$	0.004 4	2 988
								公园绿地 $C_3/C_{3\text{总}}$	0.003 0	39
10	1.57	84 784.20	65.00	23.20	80 841.20	3 943.00	0.003 2	商业区/商务行政办公区 $C_1/C_{1\text{总}}$	0.001 6	1 038
								居民住宅区 $C_2/C_{2\text{总}}$	0.001 0	1 209
								公园绿地 $C_3/C_{3\text{总}}$	0.000 6	16

注: $C_x/C_{x\text{总}}$ 中 x 的取值为 1、2、3, 分别对应商业区/商务行政办公区、居民住宅区、公园绿地。

将表2中模拟计算得到的雨水排放费用标准化,得到每个征收单元所要缴纳的费用。目前东城区人口密度为208人/ hm^2 ,依据表2可计算得到,当重现期为1、2、3、5、10年时,居民住宅区的人均水量费用分别为0.40、0.27、0.33、0.18、0.07元/人(平均为0.25元/人),商业/商务行政办公区的人均水量费用分别为1.30、0.88、1.06、0.57、0.23元/人(平均为0.81元/人)。由于公园绿地属于公共区域,征收对象涉及所属管辖单位而非居民,所以公园绿地水量费用的计算不适用于人均法,在此不作详细计算。以上模拟结果表明,雨水排放费与降雨量的大小不是线性关系。城市排水标准一般为3~5年一遇降雨,降雨重现期越小,当实际排水量超过目标排水量,表明区域雨水利用工程或者海绵城市建设工程对降雨径流的管控效果越差,对超目标排水量的排水越应该加大收费力度,表2中的数据表明,1年一遇超目标排水收费最高。由于海绵措施的主要管控对象为小重现期降雨,随着降雨产流的增加,在超过排水标准的情况下(如10年一遇)雨洪控制主要以大型坑塘、河湖调蓄为主,雨水排放费较低。此外,由以上数据可知,居民住宅区的单次降雨人均水量费用为0.25元/人,1年按照30场降雨事件计算,1个三口之家1年需缴纳22.5元;对于商业/商务行政办公区,人均费用为0.81元/人,1年按照30场降雨事件计算,对于1个由30位员工构成的单位(公司)来说,1年需缴纳729元。由此可见,以上费用标准完全在当地的经济承受范围之内,计算结果基本合理,能够满足雨水排放费制度实施的社会经济条件。

5 结论

雨水排放费的研究与制定在国内还处于起步阶段,本研究以典型的北京市老城区闭合排水分区为研究区域,将区域划分为4种功能分区,依据各功能分区下垫面特征及污染本底提出了一套适用于建成区降雨径流排放的费用征收公式,并建立了研究区排水管网模型,模拟研究区不同重现期设计降雨情景下的排口出流量,以此进行案例计算分析。结果得出,不同降雨重现期情景下研究区的居民住宅区单次降雨人均水量费用为0.25元/人,商业/商务行政办公区为0.81元/人,分析结果具有较好的合理性。本研究成果可在北京城六区和海绵城市试点区试行。此外,随着制度逐步推行进一步核算更加合理的费率因子,最大限度提升既让民众能够接受同时又能起到鼓励社会开展雨水利用、节约用水、重视水资源价值的社会效益。以此办法推动雨水利用事业的发展 and 海绵城市建设,收取的费用可用于此区域海绵城市改造。

雨水排放费收取标准的制定需由当地依据自身下垫面情况和降雨条件构建自适用性的精细化城市管网降雨产流模型,或者通过安装排口流量监测设备获取场次降雨实测数据,并依据当地长序列实测降雨资料,结合《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中的方法,计算当地的年径流总量控制率对应的控制雨量,结合上位规划控制指标来确定径流量征收标准。雨水排放费征收制度需配合完善的雨水排放费管理体系才能真正落地实施,此外,在实际应用中,由于构建精细化产汇流模型对技术和成本要求较高,因此实际实施

中建议通过监测手段获取排口流量过程数据。此研究办法适用于经济发展较为成熟的已建城区,由于研究区域不包含工业区,本研究未对工业区进行分析,对于工业区雨水排放费的收取可借鉴美国工业区雨水排放许可证制度,研究制定适用于我国工业区的雨水排放费收取制度。

参考文献:

- [1] 程江,徐启新,杨凯,等. 国外城市雨水资源利用管理体系的比较及启示[J]. 中国给水排水,2007,23(12):68-72.
Cheng Jiang, Xu Qixin, Yang Kai, *et al.* Comparison of foreign urban rainwater resources utilization management system and some inspirations [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(12):68-72 (in Chinese).
- [2] 黎靖. 我国城市雨水排放费制度的设计研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
Li Jing. Research on System Design of Urban Stormwater Discharge Fee in China [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011 (in Chinese).
- [3] 潘兴瑶,李其军,陈建刚,等. 城市地区流域洪水过程模拟:以清河为例[J]. 水力发电学报,2015,34(6):71-80.
Pan Xingyao, Li Qijun, Chen Jiangang, *et al.* Urban area watershed flood simulation with hydraulic model: A case study of Qinghe River in Beijing [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015, 34(6):71-80 (in Chinese).
- [4] 谢帮蜜,左剑恶,干里里,等. 欧盟雨水管理的法律政策及技术[J]. 环境科学与技术,2013,36(6L):433-437.
Xie Bangmi, Zuo Jian'e, Gan Lili, *et al.* Laws, policies and technologies for stormwater management in Europe [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(6L):433-437 (in Chinese).
- [5] 李俊奇,刘洋,车伍,等. 城市雨水减排管制与经济激励政策的思考[J]. 中国给水排水,2010,26(20):28-33.
Li Junqi, Liu Yang, Che Wu, *et al.* Thinking about urban stormwater discharge reduction and economic incentive policy [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(20):28-33 (in Chinese).
- [6] Committee on Reducing Stormwater Discharge Contributions to Water Pollution. Urban Stormwater Management in the United States [M]. Washington D C: The National Academies Press, 2008.
- [7] 张书函,丁跃元,陈建刚,等. 关于实施雨洪利用后防洪费减免办法的探讨[J]. 北京水利,2005(6):47-49.
Zhang Shuhan, Ding Yueyuan, Chen Jiangang, *et al.* Discussion on way of reducing charge for flood control after application rainwater harvesting [J]. Beijing Water Resources, 2005(6):47-49 (in Chinese).
- [8] 李俊奇,曾新宇,鹿佳明,等. 城市雨水排放费征收标准的量化方法探讨[J]. 中国给水排水,2008,24(10):1-6.
Li Junqi, Zeng Xinyu, Lu Jiaming, *et al.* Discussion on quantification methods for collection criteria of urban stormwater discharge fees [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(10):1-6 (in Chinese).
- [9] 车伍,桑斌,刘宇,等. 城市雨水控制利用标准体系及问题分析[J]. 中国给水排水,2016,32(10):22-28.
Che Wu, Sang Bin, Liu Yu, *et al.* Analysis on standards for urban stormwater management and some problems [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(10):22-28 (in Chinese).
- [10] 刘绪为,李成江,徐洁,等. 海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨[J]. 中国给水排水,2017,33(5):130-133.
Liu Xuwei, Li Chengjiang, Xu Jie, *et al.* Calculation and discussion on volume capture ratios of annual rainfalls in sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(5):130-133 (in Chinese).



作者简介:徐袞檬(1994-),女,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向为城市水文学。

E-mail:734759237@qq.com

收稿日期:2018-08-18