

DOI:10.19479/j.2095-719x.2406427

天津市建成区雨水排放费分区核算研究

陈卫, 辛修义, 李晓伟, 俞晓晓
(天津城建大学 地质与测绘学院, 天津 300384)

摘要: 国外实践证明雨水排放费征收是缓解城市内涝和面源污染的有效经济机制, 首要环节是围绕控制降雨径流确定科学合理的城市雨水排放费率。当前国内雨水排放费征收尚处于探索阶段, 探讨按照城市土地利用类型分区征收雨水排放费具有重要的实践意义。核算从宏观和微观两个角度切入, 采用费率因子法和不透水面积百分比法, 以天津市建成区为例分别构建了雨水排放费征收适用参数和标准, 分别核算并对结果相互验证。两种方法核算结果基本相符, 其中工业用地和居住用地采用不透水面积百分比法均略大于费率因子法, 而商业用地费率因子法多于不透水面积百分比法。针对雨水排放费敏感性设计了包含不同土地利用类型变量的4个方案, 结果表明, 工业用地、居住用地、交通用地、商业用地应是未来雨水排放费的主要承担者。

关键词: 雨水排放费; 费率因子法; 不透水面积百分比法; 海绵城市

中图分类号: X32 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-719X(2024)06-0427-07

Research on Zoning Accounting of Rainwater Discharge Fees in Built-up Areas of Tianjin

CHEN Wei, XIN Xiuyi, LI Xiaowei, YUN Xiaoxiao
(School of Geology and Geomatics, TCU, Tianjin 300384, China)

Abstract: Foreign practice has proved that the collection of rainwater discharge fees is an effective economic mechanism to alleviate urban waterlogging and non-point source pollution, and the first link is to determine scientific and reasonable urban rainwater discharge rates around the control of rainfall runoff. At present, the collection of domestic rainwater discharge fees is still in the exploratory stage, and it is of great practical significance to explore the collection of rainwater discharge fees according to urban land use type zoning. The accounting is based on macro and micro perspectives. Using the rate factor method and the impervious area method, taking the built-up area of Tianjin as an example, this research constructed the applicable parameters and standards for the collection of rainwater drainage fees respectively, and verified the results separately. The accounting results of the two methods are basically consistent, among which the percentage method of impervious area for industrial land and residential land is slightly greater than the rate factor method, while the rate factor method for commercial land is more than the percentage method for impervious area. Four schemes containing different land use type variables are designed for the sensitivity of rainwater drainage charges, and the results show that industrial land, residential land, transportation land and commercial land should be the main bearers of future rainwater discharge fees.

Key words: rainwater drainage fees; rate factor method; impervious area percentage method; sponge city

自20世纪80年代以来全球40多个国家和地区针对雨水利用激励机制进行了大量探索和实践^[1]。德国城市结合当地降水情况和业主拥有不透水地面面积制定了雨水收费标准, 补贴雨水利用项目的建设^[2]。加拿大目前采用了统一费率制度、分类费率制度、不透水面积统一费率制度、住宅等效单元费率制度、径

流系数与开发强度费率制度和独立住宅等效单元费率制度等6种主要雨水排放费制度类型^[3]。

围绕雨水排放费估算模型, Thurston等^[4]考虑了土地机会成本问题, 对比分析了“可交易排放量”与“费用-补贴”雨水排放费激励模式效果, 从数据复杂度和公众可接受度等方面进行了综合比较分析。Cameron

收稿日期: 2023-03-01; 修订日期: 2023-03-11

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项京津冀区域综合调控重点示范(2017ZX07106)

作者简介: 陈卫(1970—), 男, 天津人, 教授, 博士。

等^[5]认为,雨水管理设施的维护和升级需要巨大的成本,雨水设施费的定价取决于诸如土地使用类型和最佳管理实践(BMP)等因素,在启动成本和公众接受度方面,收取雨水设施费用存在障碍。

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^[6]。张书函等^[7]讨论了雨洪利用后如何适当减少或免除防洪费的征收,衡量标准可以采用径流系数、排水峰量和雨水利用率等参数。李俊奇等^[8]研究了城市雨水排放费征收标准,提出了单因子等效处理成本法、单因子排污费用法、多因子污染当量法和筹集资金费用分摊法4种雨水排放费计算方法。

当前学术界围绕雨水排放费尚没有规范统一的定义,总体上遵循雨水排放者付费、雨水利用者补偿原则,收费用于城市雨水排放管理和维护中的各项费用^[9]。

雨水排放费征收是缓解城市内涝和面源污染的有效经济机制,按照城市土地利用类型分区征收雨水排放费具有重要的实践意义。本研究以天津市建成区为研究对象,构建雨水排放费适用参数与标准,进行雨水排放费核算与相互验证,以确定经济合理的雨水排放费方案,为天津市实施雨水排放费制度提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天津市人均水资源占有量为 160 m³,不到全国水平的 1/15,远低于国际公认的人均水资源缺水警戒线 1 000 m³^[10]。天津市降水集中于夏季,降水量约占全年的 75%。根据近年来的天津市水资源公报,境内 80% 的重要河道水体污染、水质恶化^[11]。初期雨水地表径流对于河道水体的污染日益加重。即使建成区内的商业区、居住区、文教区等城市功能区雨水地表径流 COD、SS、BOD 的浓度也远远高于天然雨水^[12]。2019 年天津市建成区分布如图 1 所示,图中部深色带状区域。

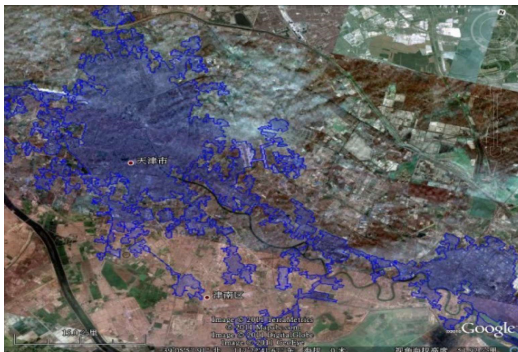


图 1 2019 年天津市建成区分布图

建设用地类型单位面积雨水径流强度大,后续会对建设用地所涵盖的各种用地类型进行详细的雨水排放费分类计算,依据 2019 年天津市建成区数据统计建设用地的二级分类结构,如图 2 所示。

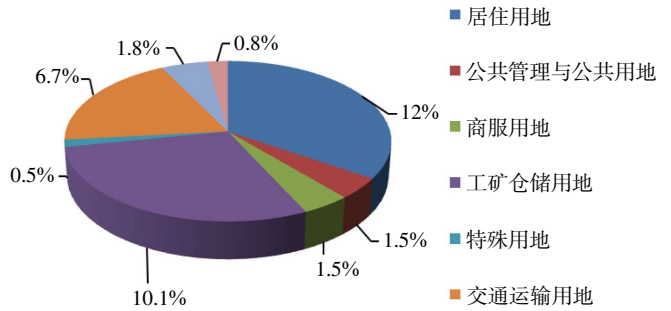


图 2 2019 年天津市建成区建设用地结构比例图

1.2 研究方法

1.2.1 费率因子法

费率因子法属于一种筹集资金分摊法。根据总收入估计量 R 、土地类型及面积 A 、土地的权值 W 、费率因子 F 、减免系数 Y 、每种土地利用类型的地块数 N 这 6 项指标,按照以下步骤计算出每类土地利用类型应缴纳的雨水排放费^[13]。

(1)划分土地利用类型。

(2)计算费率因子 $F = C1 \times C2$,即费率因子 = 数量系数 \times 质量系数。

(3)计算等效径流单元 $ERU = F \times A$,即等效径流单元 = 费率因子 \times 土地面积。

(4)计算每种土地利用类型应缴的费用

应缴费用 = $R / \sum (ERU) \times ERU$,即应缴费用 = (期望总收入 / ERU 之和) \times 该土地利用类型的 ERU 数。

(5)计算每块用地的年费率。

1.2.2 不透水面积百分比法

不透水面积百分比法是一种建立在不透水面积百分比基础上的用户付费系统。IDF 值、地块不透水面积值和所属区间的费率三者相乘,就等于要收取的费用总额^[14]。开发强度因子(intensity development factors, IDF)特指:如果某块用地的被开发强度越大,则其形成的不透水面积就越大,那么地块产的雨水径流量就会越多,土地收取雨水排放费数额则越高。

(1)划分土地利用类型。

(2)对每种土地利用类型的 IDF 值分别计算。根据公式,不透水面积百分比 = 不透水面积 / 总面积 $\times 100\%$,计算得到 IDF 值。按照不同土地利用类型进行计算,并根据土地类型选择均值作为代表。

(3)制作等级费率表。将不透水面积百分比值划

分为几个等级,再给每个等级区间确定相应的费率,以达到合理的目的。

(4)根据土地IDF值,从费率表中获得相应费率,乘以土地的不透水面积值获得应付费用。

1.3 数据来源与参数

1.3.1 费率因子法

(1)总收入估计量 R

参考国际征收标准和天津市现行水资源费、排污费征收标准,通过居民缴费意愿和承受能力调研访谈,居民承受能力上限不宜超过30元/年,天津七普常住人口数量为1386.6万人,因此天津市的雨水排放费年度总收入金额 R 约为4亿元。

(2)土地类型及面积 A

根据天津市统计年鉴将土地分为农用地、建设用地、未利用地3大类型,对建设用地细分,得到天津市土地利用现状面积统计表(见表1)。

表1 天津市土地利用现状面积统计表

土地利用类型	面积/km ²	占比/%
农用地	6 921.39	57.8
居住用地	1 440.85	12.0
公共管理与服务用地	177.57	1.5
商服用地	177.00	1.5
工矿仓储用地	1 192.00	10.1
特殊用地	60.16	0.5
交通运输用地	803.44	6.7
水域及水利设施用地	217.55	1.8
空闲地	104.82	0.8
未利用地	871.67	7.3
总计	11 966.45	100.0

(3)土地权值 W

土地权值 W 介于0~1之间,用以表示某种土地利用类型征收雨水排放费强度。 W 取0值,表示该土地利用类型完全免收土地排放费; W 取1值,表示该土地利用类型需要征收全额雨水排放费。

W 值的确定涉及2个因素:一是土地利用类型,如草地、农田的 W 值比商业用地 W 值小;二是政策减免。

(4)费率因子 F

传统的费率因子 F 仅指水量的多少,即雨水径流系数,考虑雨水水质质量,引入质量系数(C_2),故将费率因子 F 定义为雨水径流的数量系数(C_1)和质量系数(C_2)的乘积,即 $F = C_1 \times C_2$ 。

①径流的数量系数 C_1

根据《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2009)中径流系数取值规定,由公式雨水径流系数=(不

透水地面积% \times 0.95)+(透水地面积% \times 0.20)+(半透水地面积% \times 0.50),确定天津市建成区不同土地利用类型相对应的雨水径流数量系数范围,见表2。

表2 研究区雨水径流系数表

土地类型	土地开发利用类型	雨水径流系数
商业用地	城市商业区	0.70~0.95
	商业办公楼	0.50~0.70
	单户住宅	0.30~0.50
居民用地	多户大厦	0.40~0.60
	公寓楼盘	0.60~0.80
	农村住户	0.25~0.40
	轻工业用地	0.50~0.80
工业用地	重工业用地	0.60~0.90
	公园、绿地、墓地	0.10~0.30
	广场、操场	0.20~0.40
	未利用草地或牧场	0.10~0.30
	沥青、混凝土	0.70~0.95
地表类型	砖	0.70~0.80
	屋顶	0.80~0.95

②径流的质量系数 C_2

质量系数是对雨水径流水质质量的反映,土地利用类型排放的雨水径流水质质量越差,那么质量系数越高,要支付的雨水排放费就越高。一般不同土地利用类型对应不同的雨水径流质量系数。国外通行方法是选择污染因子作为代表,然后对某种土地类型进行数据采样,计算污染因子的浓度值,得到雨水径流的质量系数^[5]。据天津市雨水径流中的主要污染物检测,主要污染因子为COD和BOD₅,不同功能区的雨水径流水质存在差异,因此选择COD或BOD₅浓度确定径流的质量系数值^[6]。

(5)减免系数 Y

减免系数 Y 值介于0和1之间,该系数为激励雨水利用的用户提供费率减免。 $Y=0$ 时,表明该地块没有雨洪利用设施建设, $Y=1$ 时,表明该地块充分实施了雨洪利用设施建设和运行。由于天津市各种形式的雨水利用才刚起步,仅在海绵城市建设示范区取值较高。

1.3.2 不透水面积百分比法

分别赋予区域范围编号值(area range number, ARN)^[7],面积1~500 km²的用地ARN值为1,面积为501~1 000 km²的用地ARN值为2,以此类推,得到天津市土地利用的ARN值,如表3所示。

开发强度因子的数值见表4,以这4种土地利用类型为核心核算雨水排放费。

表3 天津市土地利用 ARN 值

土地利用类型	面积/km ²	ARN 值
农用地	6 921.39	14
建设用地	4 173.39	9
居住用地	1 440.85	3
公共管理与公共服务用地	177.57	1
商服用地	177.00	1
工矿仓储用地	1 192.00	3
特殊用地	60.16	1
交通运输用地	803.44	2
水域及水利设施用地	217.55	1
空闲地	104.82	1
未利用地	817.67	2
总计	11 966.45	-

表4 土地利用开发强度因子表

土地利用类型	IDF 开发强度因子
工业用地	0.75
居住用地	0.60
交通用地	0.50
商业用地	0.85

表5 天津市土地等级费率表

不透水面积百分比/%	等级区间费率/(万元·km ²)
[0~40)	0.15
[40~50)	0.25
[50~60)	0.35
[60~70)	0.45
[70~80)	0.55
[80~100]	1

先计算 ARN 值与 IDF 值的乘积,再乘以相应等级区间的既定费率.

2 结果与分析

2.1 费率因子法

为了反映某些土地类型变量的敏感性,在方案 A 的基础上,对某些土地利用类型进行删除或改变,以探究对整体的费率分布产生的影响.

方案 A 包含了所有的土地利用类型变量,方案 B 在方案 A 的基础上去掉农用地变量,方案 C 在方案 A 的基础上去除农用地变量和未开发用地变量,方案 D 在方案 A 的基础上去除了农用地变量、未开发用地变量,以及部分免收费类型变量,本次免收公共管理与公共服务用地费用.计算结果如表 6~表 9 所示.

表6 雨水排放费分配表(方案 A)

土地利用类型	应缴费用 R/(万元·a ⁻¹)	费用占比/%
农用地	3 304.3	8.26
建设用地	36 680.1	91.70
居住用地	10 161.8	25.40
公共管理与公共服务用地	1 676.2	4.19
商服用地	2 611.9	6.53
工矿仓储用地	16 522.5	41.31
特殊用地	489.6	1.22
交通运输用地	3 519.7	8.80
水域及水利设施用地	1 593.3	3.98
空闲地	105.2	0.26
未利用地	15.5	0.04
总计	40 000	100.00

表7 雨水排放费分配表(方案 B)

土地利用类型	应缴费用 R/(万元·a ⁻¹)	费用占比/%
农用地	-	0.00
建设用地	39 983.1	99.96
居住用地	11 076.8	27.69
公共管理与公共服务用地	1 827.1	4.57
商服用地	2 847.1	7.12
工矿仓储用地	18 010.3	45.03
特殊用地	533.6	1.33
交通运输用地	3 836.6	9.59
水域及水利设施用地	1 736.8	4.34
空闲地	114.7	0.29
未利用地	16.9	0.04
总计	40 000	100.00

表8 雨水排放费分配表(方案 C)

土地利用类型	应缴费用 R/(万元·a ⁻¹)	费用占比/%
农用地	-	0.00
建设用地	40 000	100.00
居住用地	11 081.5	27.70
公共管理与公共服务用地	1 827.9	4.57
商服用地	2 848.3	7.12
工矿仓储用地	18 017.9	45.04
特殊用地	533.9	1.33
交通运输用地	3 838.3	9.60
水利设施用地	1 737.5	4.34
空闲地	114.7	0.29
未利用地	0.00	0.00
总计	40 000	100.00

表9 雨水排放费分配表(方案D)

土地利用类型	应缴费用 $R/(万元 \cdot a^{-1})$	费用占比/%
农用地	0.00	0.00
建设用地	40 000	100.00
居住用地	11 612.2	29.03
公共管理与服务用地	0	0.00
商服用地	2 984.7	7.46
工矿仓储用地	18 880.7	47.20
特殊用地	559.4	1.40
交通运输用地	4 022.1	10.06
水利设施用地	1 820.7	4.55
空闲地	120.2	0.30
未利用地	0.00	0.00
总计	40 000	100.00

表6显示的是方案A的费用分配结构,包含了所有的土地类型变量,农用地和未利用地的费用占比之和不足10%,而建设用地占比很大。

表7显示的是方案B的费用分配结构,考虑到农用地很大程度上维持着土壤层的本来属性,比如地表大部分仍以草、林、湿地为主,没有发生城市化带来的地表改变,费用承担额为0。

表8是方案C的费用分配结构,除了延续B方案中农用地的费用承担额为0,未利用地的费用承担额也为0。该方案考虑到未开发用地和其他转为未利用地的土地类型不同于建设用地的地表特性,虽然其也产生雨水径流,但属于人为因素的很小。

表9是方案D的费用分配结构,费用承担比例为0的除了农用地、未利用地之外,还新增了公共管理与公共服务用地。之所以对该类型用地免收雨水排放费,因为该类用地大都属于公共设施,政府一般在政策制定过程中会将其单独考虑,给与适当的政策倾斜,故将其单独出来分析。

2.2 不透水面积百分比法

计算ARN值与IDF值的乘积,再乘以相应的既定费率,如表10所示。

表10 天津市雨水排放费不透水面积百分比法

土地类型	ARN	IDF	费率/(万元·km ⁻²)	应缴费用 $R/(万元 \cdot a^{-1})$
工业用地	3	0.75	0.55	17 701.2
居住用地	3	0.60	0.35	10 892.8
交通用地	2	0.50	0.35	3 374.4
商业用地	1	0.85	1.00	1 805.4

3 估算模型敏感性与费用比较

3.1 费率因子法敏感性分析

选取4种对雨水径流量贡献显著的土地利用类型,比较去掉某个土地类型后的各项费率相对变化量,探讨某项土地利用类型费率变化对其他各项费率的影响程度,如图3所示。

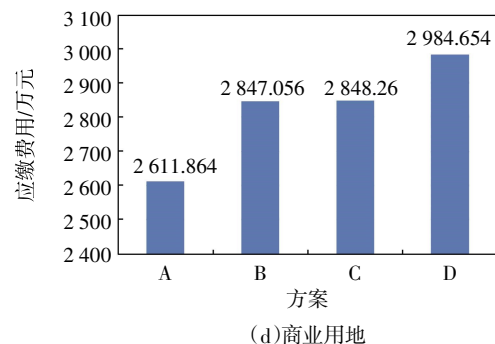
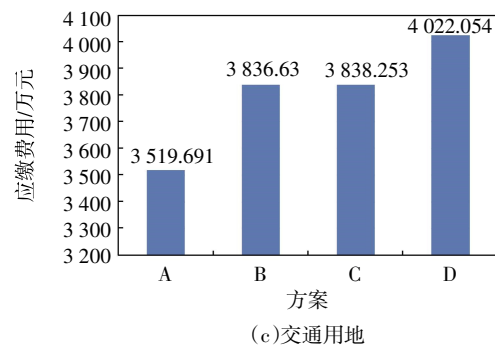
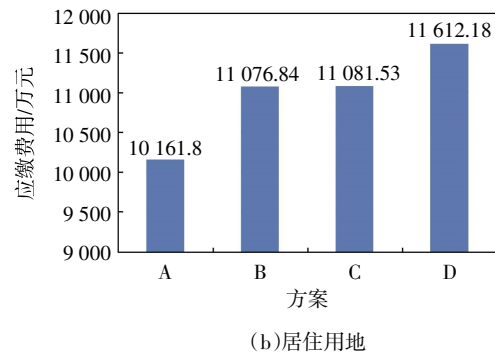
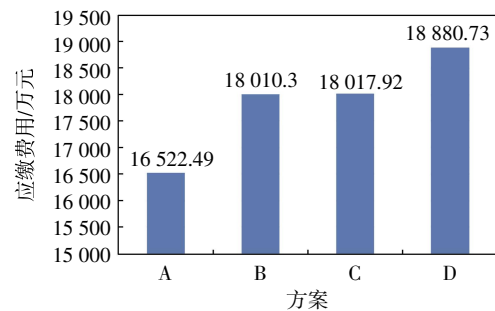


图3 4种方案费率比较图

结果显示,4种类型的土地,其波动趋势一致,幅度也一致.值得注意的是,应缴费用在方案A和B之间、方案C和D之间的涨落幅度较大.这反映了农用地变量、公共管理与公共服务用地变量的重要性.而未利用地变量由于面积比重较小,其添加与否影响不大.农用地由于面积基数大,纵使其雨水径流系数不大,乘积还是占有一定比例;公共管理与公共服务用地的费用免征是处于政府角度的考虑,而实际上对总体雨水径流的贡献份额并不小,需要仔细斟酌,可以适当减免;未利用地由于雨水径流系数小、面积占比小的双重原因,在雨水费用的分担中占比小,可全部减免.

3.2 两种估算模型比较验证

费率因子法中,征收费用的土地类型包括了未开发用地,对其征收了相应的费用;而不透水面积百分比法无需过多考虑每种土地类型,并在很大程度上将融资负担转移到高强度开发的土地上.二者各有优势.将计算结果列表比较,如表11所示.

表11 两种算法费用比较

土地利用类型	应缴费用 $R/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$	
	费率因子法	不透水面积百分比法
工业用地	16 522.5	17 701.2
居住用地	10 161.8	10 892.8
交通用地	3 519.7	3 374.4
商业用地	2 611.9	1 805.4

可以看出,两种计算方法算出的工业用地、居住用地、交通用地的应缴费用相差不大,其中,不透水面积百分比法算出的工业用地和居住用地的应缴费用均略大于费率因子法所计算的费用,说明结合了按照IDF划分等级费率之后,费用的多少更偏向于不透水面积百分比的大小.而商业用地的应缴费用中,费率因子法远多于不透水面积百分比法,说明对于商业用地按照IDF等级划分的费率有些偏低,又因为商业用地的面积占比小,故不透水面积百分比法算出的费用低.

综合以上两种方法,对二者进行加权计算平均值,得出的应缴费用更为客观,如表12所示.

表12 两种方法应缴费用平均值

土地利用类型	应缴费用 $R/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$
工业用地	17 111.9
居住用地	10 527.3
交通用地	3 447.1
商业用地	2 208.6

4 结语

总体而言,雨水排放费征收仍处于探索阶段,本研究运用了两种方法,将研究区划分为4种土地利用类型,依据不同土地利用类型提出了一套适用于建成区雨水的费用征收标准,并将两种方法计算结果进行对比.结果得出,两种计算方法算出的工业、居住、交通用地的应缴费用相差不大,其中,不透水面积百分比法算出的工业和居住用地的应缴费用均略大于费率因子法所计算的费用,说明结合了按照IDF划分等级费率之后,费用的多少更偏向于不透水面积百分比的大小.而商业用地的应缴费用中,费率因子法远多于不透水面积百分比法,说明对于商业用地按照IDF等级划分的费率有些偏低,又因为商业用地的面积占比小,故不透水面积百分比法算出的费用低.对两种方法进行加权平均计算,分别得出建成区内不同土地利用类型的雨水征收应缴费用.

当前国内雨水排放费征收尚未起步,按照城市土地利用类型分区征收雨水排放费可以从整体上把握雨水排放费的分摊.公众是雨水排放费用的承担者,也是雨水利用实践的参与者,其能否理解和接受是雨水排放费成功实施的最终决定因素,通过公众宣传教育逐步提升公众的参与意愿.

雨水排放费的征收模式和标准必须因地制宜地制定,同时还应完善城市雨水利用规划、设计、施工、运行等配套技术标准.

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(12):68-72.
- [2] 王海锋,范卓玮,罗琳,等.国外城市雨水利用财政支持政策对我国的启示[J].水利发展研究,2014,14(4):12-15.
- [3] 关鹏祥,李俊奇,李嘉伟,等.加拿大雨水管理保障措施与典型城市雨水排放费制度研究[J].水利水电技术,2019,50(5):10-19.
- [4] THURSTON H W.,GODDARD H C.,SZLAG D.,et al. Controlling storm water runoff with tradable allowances for impervious surfaces[J]. Journal of Water Resource Planning Management,2003,129(5): 409-418.
- [5] CAMERON J.,CINCAR C.,TRUDEAU M.,et al. User pay financing of storm water management: a case study in Ottawa-Carleton, Ontario[J]. Journal of Environmental Management, 1999,57:253-265.
- [6] 徐袞檬,潘兴瑶,张书函,等.已建区雨水排放费分区量化

- 方法研究与应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(7): 114-120.
- [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.
- [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(10): 1-6.
- [9] 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.
- [10] 田川. 天津水资源短缺的原因及建议[J]. 现代农业科技, 2016, 672(10): 159-160.
- [11] 刘大喜, 李倩倩, 李铁龙, 等. 天津市降雨径流污染状况研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(11): 116-119.
- [12] 李晶. 城市雨水径流污染控制理论与技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [13] SHIMABUKU M, DIRINGER S, COOLEY H. Stormwater capture in California: Innovative policies and funding opportunities[J]. Pacific Institute. <https://pacinst.org/publication/stormwater-capture-in-california>, 2018.
- [14] TASCIA F A, Assunção L B, FINOTTI A R. International experiences in stormwater fee[J]. Water Science and Technology, 2018, 2017(1): 287-299.
- [15] MORANDI L. Wastewater permitting and finance: new issues in water quality protection[R]. NCSL State Legislative Report, 1992.
- [16] 张娜, 赵乐军, 李铁龙, 等. 天津城区道路雨水径流水质监测及污染特征分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2127-2131.
- [17] SAHIB K. Supporting Urban Stormwater Management Programs with a User-fee: the Evaluation of Experiences from New South Wales/Blacktown City Council, Philadelphia and Mississauga[M]. University of Toronto (Canada), 2020.