

基于城市下垫面和雨污排放口监测方法的内江市建成区城市面源对比分析*

王军霞¹ 罗彬² 秦承华¹ 解淑艳¹ 唐桂刚¹ 吴鸿霁² 罗晓慧³

(1. 中国环境监测总站, 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室, 北京 100012;

2. 四川省环境监测中心, 四川 成都 610091; 3. 内江市环境保护监测站, 四川 内江 641100)

摘要 分别用基于城市下垫面和雨污排放口监测方法对内江市建成区城市面源进行 3 次全过程降雨监测。结果表明: (1) 屋面 5 种污染物 3 次降雨的次降雨径流平均浓度 (EMC) 平均值均低于其他监测点位。雨污排放口氨氮、总氮的浓度总体高于其他监测点位。交通道路, 尤其是交通主干道, 由于受人类活动影响大, 各种污染物浓度都普遍较高。 (2) 交通主干道的降雨初始冲刷效应 (FFE) 最明显, 其次为一般道路、庭院、屋面; 雨污排放口的 FFE 很不明显。 (3) 两种监测方法相对误差最大的是 9 月 6 日总磷的估算结果, 为 14.75%; 两种监测方法所得的 COD 相对误差最大, 为 9.10%~14.30%, 相对误差最小的为氨氮。 (4) 比例推算法与基于城市下垫面监测方法的相对误差为 1.3%~19.2%; 排放强度法与基于城市下垫面监测方法的相对误差为 0.7%~25.4%。

关键词 城市面源 面源监测 城市下垫面 雨污排放口

Comparative analysis of urban non-point source pollution in built-up area of Neijiang based on urban underlying surface and outfall of rain or sewage monitoring methods WANG Junxia¹, LUO Bin², QIN Chenghua¹, XIE Shuyan¹, TANG Guigang¹, WU Hongji², LUO Xiaohui³. (1. China National Environmental Monitoring Centre, State Environmental Protection Key Laboratory of Quality Control in Environmental Monitoring, Beijing 100012; 2. Sichuan Environmental Monitoring Centre, Chengdu Sichuan 610091; 3. Neijiang Environmental Monitoring Centre, Neijiang Sichuan 641100)

Abstract: Three storm events in built-up area of Neijiang, Sichuan were whole process monitored based on underlying surface and outfall of rain or sewage monitoring methods separately. The results showed: (1) the event mean concentration (EMC) of 5 pollutants of roof were all lower than that of other monitoring sites. Ammonia nitrogen and total nitrogen of rain and sewage outfall were generally higher than other monitoring sites. Traffic roads, especially main roads, endure the generally higher concentration of pollutant due to the impact of human activities. (2) The first flush effect (FFE) of the main road was the most obvious, and the followings ones were roads, courtyards and roof. The FFE of outfall of rain or sewage was not obvious. (3) The maximum relative error of two monitoring methods was on total phosphorus of September 6th, which was 14.75%; COD had the maximum relative error of 9.10%-14.30%, and the smallest relative error was found on ammonia. (4) The relative error of area ratio estimates and urban surface monitoring was 1.3%-19.2%, and the relative error of emissions intensity estimates and urban surface monitoring was 0.7%-25.4%.

Keywords: urban non-point source pollution; non-point source pollution monitoring; urban underlying surface; outfall of rain or sewage

从国内外经验来看,我国城市化进程及城市发展过程中存在很大的城市面源污染控制的压力。然而,目前最大的问题是,城区面源污染对相应的流域究竟有多大的贡献,需要采取什么样的有效控制措施,解决这个问题首先要明确界定面源污染的“源”及其“通量”,做到有的放矢,这是面源污染治理的一项基础工作和前提^[1]。针对城市面源 3 个不同尺度

的体现,可以采取 3 种监测方法开展面源监测:基于城市下垫面、基于雨水/雨污排放口、基于地表径流。理想状况下,3 种监测方法所得结果应可比,可相互校核^{[2]57}。本研究在内江市选取基于城市下垫面和雨污排放口的两种监测方法进行监测,根据所得结果比较分析城市面源的特征与排放负荷。

内江市位于四川省的东南部,坐落在沱江之

第一作者:王军霞,女,1984 年生,硕士,工程师,研究方向为环境统计与污染源监测。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项“水污染源监测监管技术体系研究”(No. 2009ZX07527-002)。

滨,是川东重镇、四川省规划建设8个百万人口的特大城市之一。内江市城市建成区面积约31.49 km²,城市人口约55万人,人口密度约为1.75万人/km²,建成区城市规划以商住、办公、学校、餐饮等为主,划分为市中区及东兴区。年降雨量1 000 mm以下,多分布在夏季,约占全年雨量的60%,高温期与多雨季基本一致,春季约占17%,冬季仅占4%。

1 两种监测方法概述

1.1 基于城市下垫面的监测方法

1.1.1 城市下垫面划分及监测点位布设

根据不同城市下垫面、不同功能区,将城市区域范围划分为若干类别的城市下垫面,选择典型城市下垫面进行监测。目前,国内外研究城市面源时,对城市下垫面类别的划分没有统一的标准^[3-14]。本研究根据不同下垫面城市面源污染特征,以及受人类活动影响大小的不同,将城市下垫面分为屋面、庭院、道路。根据道路受车辆等影响大小,将道路分为交通主干道和一般道路。陶瓦、水泥、沥青屋面各设置1个点位;大型、中小型、学校庭院(学校面积占城市建成区比例较高)分别设置1个点位;交通主干道设置3个点位,一般道路设置2个点位。监测点位选取时考虑了不同城市功能区的影响。

1.1.2 监测频次

城市面源的监测频次主要依据城市面源的冲刷曲线确定,具体频次见表1。

表1 城市下垫面监测频次

Table 1 Monitoring frequency of urban underlying surface

监测时段	监测频次
降雨初期	地表径流形成后,每隔10 min取样一次,监测3次
降雨中期	初期雨水监测结束后,每隔30 min取样一次,监测2次
降雨后期	每隔60 min监测一次,至径流结束

1.1.3 监测项目与分析方法

监测项目包括COD、氨氮、总磷、总氮、悬浮物,分析方法均选择《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002)附表1所列的测定方法。在进行分析测试前,应将样品中夹带的石头、植物及垃圾等先行去除。分析过程中需要特别说明的是,COD分析为全态混合样品的分析。

1.1.4 径流量获取

常见的径流估算模型有径流曲线法(SCS法)、综合径流系数法等,本研究中大到暴雨使用SCS法,小到中雨使用综合径流系数法。

1.1.5 总量估算方法

根据选取的典型监测点位的监测结果,以及各城市下垫面占整个城市区域范围同类城市下垫面的比例,推算整个城市区域范围的面源污染物排放量。

1.2 基于雨污排放口的监测方法

选取易于确定汇水边界的汇水区域,通过对雨污排放口进行监测获得汇水小区的面源特征和排放量。监测频次同基于城市下垫面的监测方法,除选取声学多普勒流量计进行流量监测外,其他监测项目与分析方法同基于城市下垫面的监测方法。

本研究选择两个典型小区作为监测单元。两个小区均位于东兴区,基本呈规则的矩形,小区功能以商住、学校、办公及餐饮为主,无厂矿企业,基本可以代表整个内江建成区规划的特点。两个典型小区内的管网分布明晰,边界明显,降雨径流最终分别汇合于一个雨污排放口。两个典型小区面积分别为0.53、0.38 km²,合计面积0.91 km²,占整个内江建成区面积(31.49 km²)的2.89%。小区内包括交通主干道、一般道路、庭院、屋面等不同的城市下垫面。同时,采用比例推算法和排放强度法^{[2]56}估算整个城市的面源污染负荷。

2 结果与讨论

研究人员于2011年上半年对内江市进行详细地形勘察,并开展数次摸底性监测,确定上述监测方法,选取7月21日、8月21日、9月6日3场降雨进行分析。

2.1 污染物浓度对比

对于地表径流污染程度的表征,目前国外通常采用“次降雨径流平均浓度(EMC)”来表示,即一场降雨的地表径流全过程排放的某污染物的平均浓度^[15]。不同类别监测点位的各污染物的EMC对比见图1。

交通主干道的COD较高,3次降雨的EMC平均为247 mg/L;屋面的COD远低于其他城市下垫面,3次降雨的EMC平均为85 mg/L。氨氮较高的为雨污排放口,3次降雨的EMC平均为2.86 mg/L,其次为庭院。总磷较高的为一般道路和雨污排放口,3次降雨的EMC平均分别为0.43、0.36 mg/L。总氮在不同监测点位的差别不大,基本在3~5 mg/L。悬浮物较高的为交通道路,交通主干道和一般道路3次降雨的EMC平均分别为302、257

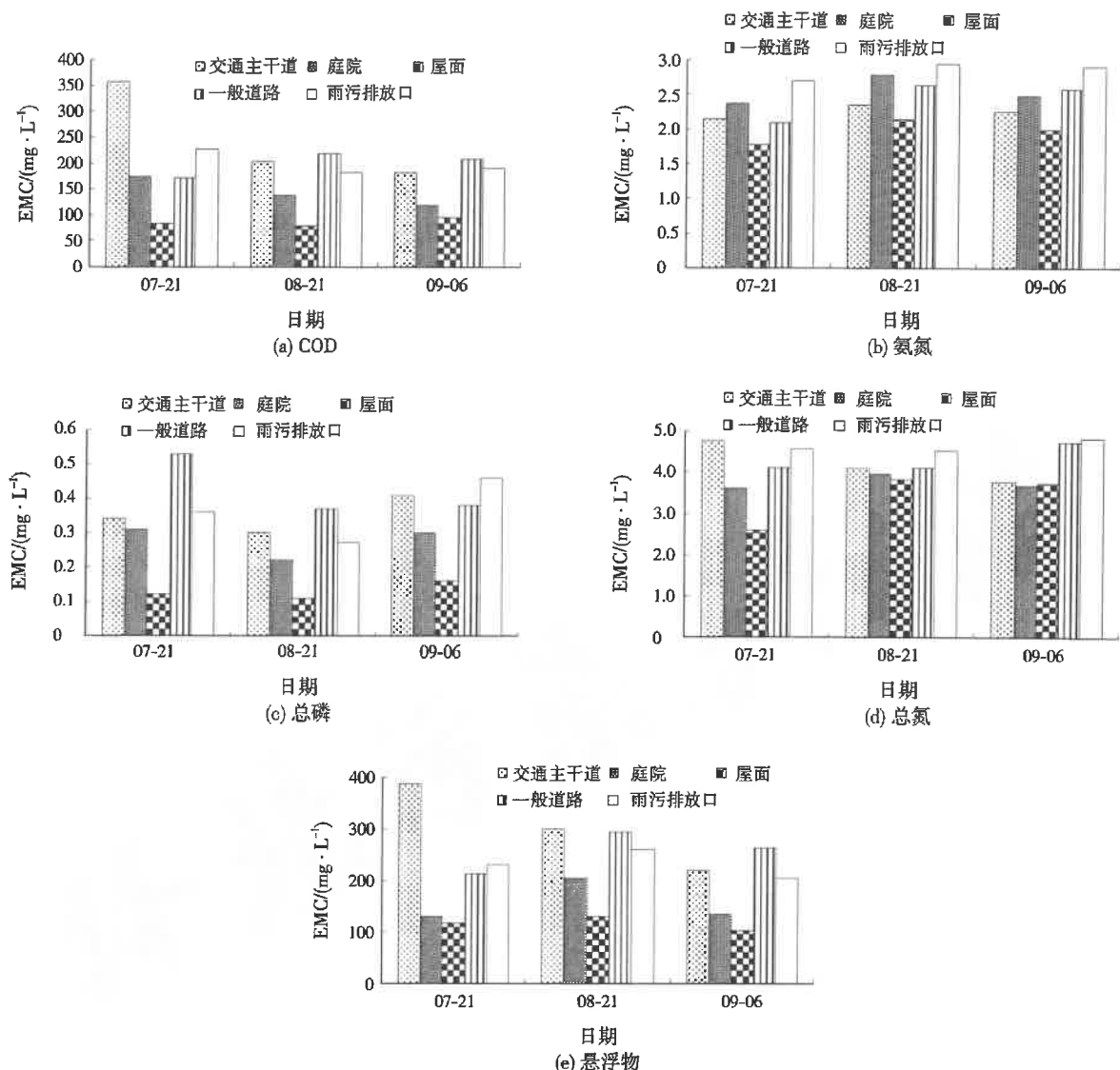


图1 不同类别监测点位各污染物的 EMC 对比

Fig. 1 Comparison of EMC of pollutants at different types of monitoring site

mg/L。屋面 5 种污染物 3 次降雨的 EMC 平均值均低于其他监测点位,这与屋面受人类活动影响较小有直接关系。雨污排放口氨氮、总氮的浓度总体高于其他监测点位,这与雨污排放口中有生活污水贡献密切相关。交通道路,尤其是交通主干道,由于受人类活动影响大,各种污染物浓度都普遍较高。

2.2 初始冲刷效应对比

在通常情况下,初期雨水径流的污染物含量在整个径流过程中是最高的,这种现象被称为“降雨初始冲刷效应(FFE)”,是城市面源污染过程的基本特征^[16]。通过研究发现,以污染物累积负荷与累积径流量构成的无量纲累积的 M(V)曲线的发散程度来判别是否发生 FFE 是较科学的^[17]。可根据曲线相对于对角线(均衡线,与水平面成 45°角)的偏差比例来估算初始冲刷的强弱^[18]。选

取 8 月 21 日降雨监测结果作不同监测点位 COD 的 FFE 的 M(V)曲线,见图 2。交通主干道的 FFE 最明显,其次为一般道路、庭院、屋面;雨污排放口的 FFE 很不明显。

2.3 典型小区污染物排放量估算结果对比

由图 3 可见,5 种污染物 3 次降雨监测结果中,两种监测方法相对误差最大的是 9 月 6 日总磷的估算结果,为 14.75%;两种监测方法所得的 COD 相对误差最大,为 9.10%~14.30%,相对误差最小的为氨氮;3 次降雨监测结果中 COD 的平均相对误差最大,为 11.88%。

2.4 建成区城市面源污染物排放量估算结果对比

基于城市下垫面和雨污排放口监测的污染物排放量比对见表 2。单次降雨 COD 排放量在 30~103 t,总磷单次降雨排放量不足 1 t,氨氮、总氮单次降

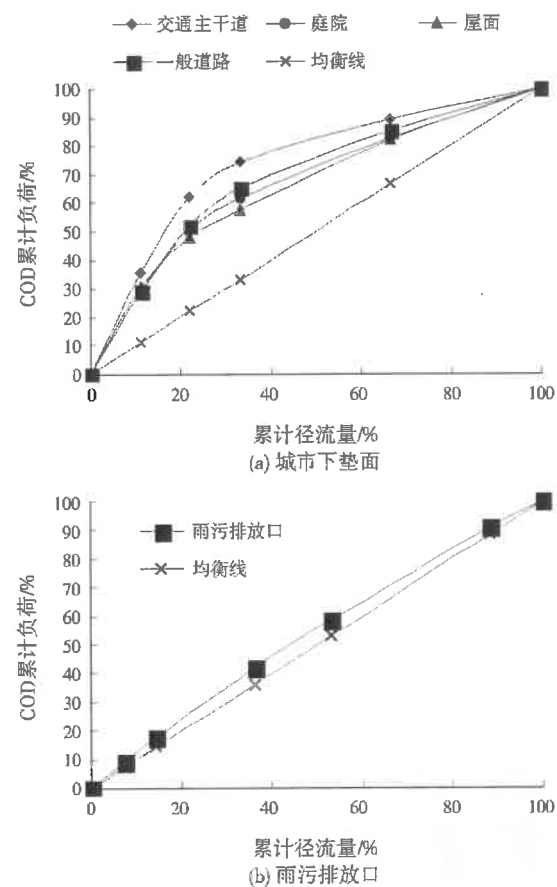


图 2 各监测点位 COD 的 FFE 的 M(V) 曲线
Fig. 2 M(V) curve of COD first flush effect at different monitoring sites

雨排放量在 0.5~4.0 t。分别将基于雨污排放口监测方法按照比例推算法和排放强度法所得的结果,与基于城市下垫面监测方法所得结果进行对比,相对误差见图 4。比例推算法与基于城市下垫面监测

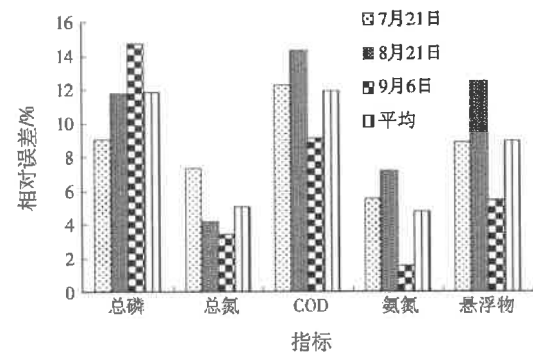


图 3 典型小区各类污染物排放量相对误差对比情况
Fig. 3 Relative error of pollutant discharge quantity from typical residential area

方法的相对误差为 1.3%~19.2%,平均相对误差为 10.8%,最小的为 9 月 6 日总磷估算结果,最大的为 8 月 21 日总氮估算结果;排放强度法与基于城市下垫面监测方法的相对误差为 0.7%~25.4%,平均相对误差为 7.8%,最小的为 7 月 21 日总磷估算结果,最大的为 9 月 6 日总氮估算结果。

3 结 论

(1) 屋面 5 种污染物 3 次降雨的 EMC 平均值均低于其他监测点位,这与屋面受人类活动影响较小有直接关系。雨污排放口氨氮、总氮的浓度总体高于其他监测点位,这与雨污排放口中有生活污水贡献密切相关。交通道路,尤其是交通主干道,由于受人类活动影响大,各种污染物浓度都普遍较高。

(2) 交通主干道的 FFE 最明显,其次为一般道路、庭院、屋面;雨污排放口的 FFE 很不明显。

表 2 基于城市下垫面和雨污排放口监测的污染物排放量对比
Table 2 Pollutant discharge quantity calculated based on urban underlying surface and outfall of rain or sewage monitoring methods

项目	监测方法	7 月 21 日	8 月 21 日	9 月 6 日
COD	基于城市下垫面监测	34.6	73.7	72.4
	基于雨污排放口监测			
	比例推算法	42.9	103.0	77.1
	排放强度法	37.6	83.0	52.4
氨氮	基于城市下垫面监测	0.497	1.550	1.390
	基于雨污排放口监测			
	比例推算法	0.709	2.240	1.280
	排放强度法	0.460	1.480	0.838
总磷	基于城市下垫面监测	0.055	0.115	0.150
	基于雨污排放口监测			
	比例推算法	0.057	0.142	0.154
	排放强度法	0.056	0.123	0.124
总氮	基于城市下垫面监测	0.808	2.490	2.440
	基于雨污排放口监测			
	比例推算法	1.140	3.670	2.340
	排放强度法	0.783	2.240	1.450
悬浮物	基于城市下垫面监测	37.5	110.0	83.1
	基于雨污排放口监测			
	比例推算法	55.2	158.0	79.4
	排放强度法	38.0	119.0	56.2

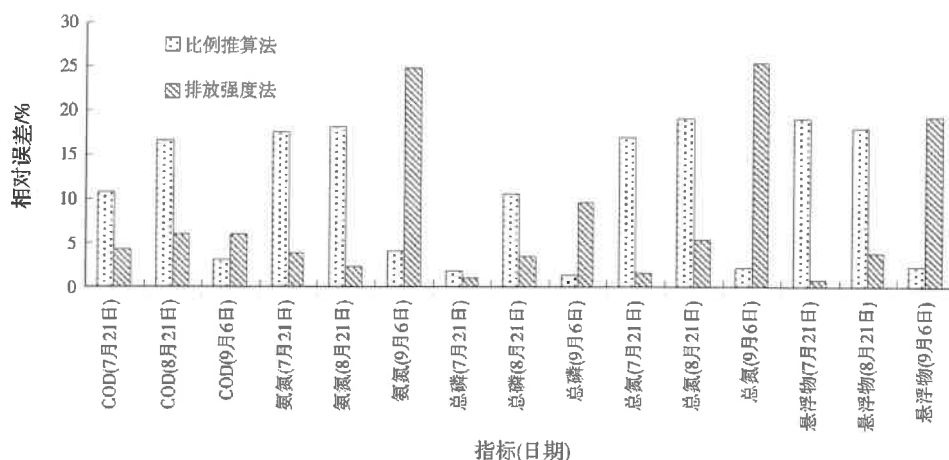


图4 监测方法估算结果相对误差

Fig. 4 Relative error of estimated results of two monitoring methods

(3) 5种污染物3次降雨监测结果中,两种监测方法相对误差最大的是9月6日总磷的估算结果,为14.75%;两种监测方法所得的COD相对误差最大,为9.10%~14.30%,相对误差最小的为氨氮。

(4) 比例推算法与基于城市下垫面监测方法的相对误差为1.3%~19.2%,平均相对误差为10.8%,最小的为9月6日总磷估算结果,最大的为8月21日总氮估算结果;排放强度法与基于城市下垫面监测方法的相对误差为0.7%~25.4%,平均相对误差为7.8%,最小的为7月21日总磷估算结果,最大的为9月6日总氮估算结果。

参考文献:

- [1] 尹澄清. 城市面源污染的控制原理与技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 王军霞, 唐桂刚, 罗彬, 等. 城市面源污染物排放量监测技术方法研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(8).
- [3] GROMAIRE MERTZ M C, GARNAUD S, GONZALEZ A, et al. Characterisation of urban runoff pollution in Paris[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(2): 1-8.
- [4] CLARK D L, ASCE A M, MAR B W, et al. Composite sampling of highway runoff[J]. Journal of Environmental Engineering, 1981, 107(5): 1067-1081.
- [5] WU J S, ALLAN C J, SAUNDERS W, et al. Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff[J]. J. Environ. Eng., 1998, 124(7): 584-592.
- [6] 侯培强, 王效科, 郑飞翔, 等. 我国城市面源污染特征的研究现状[J]. 给水排水, 2009, 35(z1): 188-193.
- [7] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水, 2003, 29(10): 38-42.
- [8] 赵磊, 杨逢乐, 王俊松, 等. 合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源[J]. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1562-1570.
- [9] 赵剑强. 城市地表径流污染与控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 蒋海燕, 刘敏, 顾琦, 等. 上海城市降水径流营养盐氮负荷及空间分布[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(1): 15-17.
- [11] 常静, 刘敏, 许世远, 等. 上海城市降雨径流污染时空分布与初

始冲刷效应[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 994-1002.

- [12] 王吉辛, 朱木兰. 厦门城市降雨径流氮磷非点源污染负荷分布探讨[J]. 厦门理工学院学报, 2009, 17(2): 57-61.
- [13] 李立青, 朱仁肖, 郭树刚, 等. 基于源区监测的城市地表径流污染空间分异性研究[J]. 环境科学, 2010, 31(12): 2896-2904.
- [14] 荆红卫, 华蕾, 郭婧, 等. 北京市水环境非点源污染监测与负荷估算研究[J]. 中国环境监测, 2012, 28(6): 106-111.
- [15] CHARBENEAU R J, BARRETT M E. Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads[J]. Water Environment Research, 1998, 70(7): 1295-1302.
- [16] YUSOP Z, TAN L W, UJANG Z, et al. Runoff quality and pollution loadings from a tropical urban catchment[J]. Water Science and Technology, 2005, 52(9): 125-132.
- [17] SAGET A, CHEBBO G, BERTRAND J. The first flush in sewer systems[J]. Water Science and Technology, 1996, 33(9): 101-108.
- [18] GUPTA K, SAUL A J. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows[J]. Water Resource, 1996, 30(5): 1244-1252.

编辑: 黄 苇 (修改稿收到日期: 2013-10-14)

(上接第18页)

- [4] 蔡九菊, 王建军, 陆钟武, 等. 钢铁企业物质流与能量流及其相互关系[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006(9): 979-982.
- [5] RATNATUNGA J. Carbonomics: strategic management accounting issues[J]. Journal of Applied Management Accounting Research, 2008, 6(1): 1-10.
- [6] LEE K H. Carbon accounting for supply chain management in the automobile industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 36: 83-88.
- [7] 郝永利, 欧阳朝斌, 乔琦, 等. 污染物排放削减潜力评估方法——以中小型钢铁企业为例[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 82-85.
- [8] 肖序, 熊非. 循环经济价值流分析的理论和方法体系[J]. 系统工程, 2010(12): 122-132.
- [9] 龚艳冰, 张继国, 梁雪春. 基于全排列多边形综合图示法的水质评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 26-31.

编辑: 贺锋萍 (修改稿收到日期: 2014-02-24)

