

城市垃圾处理的碳排放核算与分析*

——以苏州市为例

张涛^{1,2} 乐云¹ 黄有亮³ 张春霞³

(1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092; 2. 苏州市住房和城乡建设局, 江苏 苏州 215002;

3. 东南大学土木工程学院工程项目管理研究所, 江苏 南京 210096)

摘要 城市垃圾处理过程中产生的大量 CO_2 、 CH_4 等已成为人为温室气体的重要来源, 而人为温室气体在全球变暖中所起的作用越来越重, 因此进行城市垃圾处理的碳排放核算与分析具有重要意义。在对城市垃圾处理的碳排放源及排放形式进行分析的基础上, 确定了垃圾处理碳排放的核算方法。并以苏州市为例, 在调查该市 2001—2010 年历年城市垃圾处理状况的基础上, 核算了各年城市垃圾处理的碳排放情况。最后指出, 城市垃圾处理的碳排放核算与分析可为有关政府部门寻求碳减排途径提供可靠依据。

关键词 垃圾处理 碳排放 苏州市

城市垃圾处理一直是倍受世界关注的环境和社会问题之一。然而, 我国目前的城市垃圾无害化处理率才 30%, 而美国、日本等发达国家的城市垃圾无害化处理率已接近 100%。据估计, 随着我国经济的持续发展, 2020 年全国城市生活垃圾年产生量将达到 2.6 亿~2.9 亿 $\text{t}^{[1]}$ 。联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第四次评估报告指出, 垃圾处理过程中产生的大量 CO_2 、 CH_4 等已成为人为温室气体的重要来源, 而人为温室气体在全球变暖中所起的作用也越来越重^[2]。因此, 进行城市垃圾处理的碳排放核算与分析具有重要意义。

近年来, 苏州市的经济一直保持着很快的发展势头, 在追求经济发展过程中提高城市的环保品牌形象, 对于城市的可持续发展具有重要意义。笔者以苏州市为例, 通过调查苏州市 2001—2010 年的城市垃圾处理量, 进行了历年垃圾处理过程中的碳排放核算与分析, 以期寻求碳减排途径提供可靠的决策依据。

1 城市垃圾处理碳排放源及形式

垃圾处理系统包含垃圾的收集、运输、中转等从垃圾预处理到最终处理的全过程。处理设施主要有垃圾收集车、垃圾集装箱、垃圾运输车、垃圾收集站、垃圾中转站、垃圾分类站、垃圾处理厂等。城市垃圾一般是指居民生活、商业活动、旅游、市政维护、企事业单位、机关单位办公等活动过程中产生的生活废弃物, 按其成分构成, 一般包括厨余、餐饮残余物、废纸、塑

料、玻璃、橡胶、皮革、木屑、纺织物、灰烬等^[3]。不同国家和城市间的垃圾产生率和成分不尽相同, 取决于经济形势、废弃物管理办法和生活方式、人口数量等。一般来说, 人口越多、经济越发达的城市的垃圾产量也越多。

城市垃圾处理的碳排放源于垃圾收集、运输及处理整个过程中的能源消耗和处理过程本身。垃圾的处理和处置中会产生大量的温室气体, 其中以 CH_4 居多, 还会产生生物源 CO_2 、少量的 N_2O 、 NO_x 和 CO 。可降解有机碳 (DOC) 和化石碳是城市垃圾处理中碳排放的根源。不同垃圾成分包含的 DOC、化石碳量不同, 故产生的碳排放量也不同。因此, 垃圾成分是影响垃圾处理中碳排放的重要因素之一。厨余垃圾、餐饮残余物中包含大量 DOC, 一些纺织品、塑料、橡胶和电子废弃物中包含大量化石碳, 纸张和皮革也会包含少量的化石碳^[4], 而灰烬、灰尘、橡胶和皮革中则还包含一定量的非化石碳, 很难降解。

不同处理方式下垃圾分解产生的污染物也不同。城市垃圾处理方式主要有回收循环利用、填埋、焚烧、堆肥等。2009 年的统计数据表明, 我国生活垃圾清运量中填埋、堆肥和焚烧处理量的比例分别占 56.6%、1.9%、12.9%, 其余为堆放和简易填埋处理。

1.1 填 埋

填埋处理一直是我国城市垃圾处理的主要方式。垃圾填埋场像一个生态系统, 其主要输入项为

第一作者: 张涛, 男, 1968 年生, 博士, 高级工程师, 研究方向为城市建设管理。

* 住房和城乡建设部 2010 年科学技术项目 (No. 2010-R2-28); 2010 年苏州市建设系统科研项目“市政基础设施低碳化研究: 以苏州市为例”。

垃圾和水,通过填埋场内生物、化学和物理过程共同作用产生垃圾渗滤液和填埋气。垃圾渗滤液可作为污水来处理,填埋气的主要成分是 CH_4 ,还有微量的 NH_3 、 CO_2 、 CO 、 H_2S 等。因此,垃圾填埋的主要碳排放形式是 CH_4 。

1.2 堆肥

垃圾堆肥分为好氧堆肥和厌氧堆肥。堆肥物质在好氧条件下堆制后,物料分解较彻底,目前我国有机垃圾制肥几乎都采用好氧堆肥法。好氧堆肥产生的温室气体来源于微生物分解有机物过程中产生的 CO_2 。好氧堆肥处理过程中,进入气体与输出气体的成分不断变化,可以根据气相成分变化来计算该过程的 CO_2 排放量。据物料衡算,好氧堆肥产生的温室气体量较少。厌氧堆肥碳排放源于微生物分解垃圾产生的 CO_2 和 CH_4 ,其中 CH_4 占厌氧分解产气量的 40% (体积分数,下同)~60%,这些废气无组织排入大气,加重了温室效应。由于堆肥处理方式在国内使用还较少,因此其碳排放计算需要通过实测方法进行。

1.3 焚烧

垃圾焚烧处理过程的主要物耗包括:焚烧中点火的柴油,焚烧过程中用于废气处理的石灰和活性炭,还有部分水的消耗。垃圾焚烧时排放的大气污染物主要有 CO_2 、 CO 、 SO_2 和极微量的二噁英。垃圾焚烧的碳排放量与垃圾中的 DOC 和化石碳含量密切相关。

2 城市垃圾处理碳排放核算方法

垃圾收集运输处理过程中柴油的消耗会产生碳排放,柴油的消耗中不仅产生 CO_2 ,还会产生少量的 CH_4 、 N_2O 。从排放量角度看, CO_2 排放量居多,其次是 CH_4 、 N_2O ;从产生温室效应的角度看,单位质量的不同气体产生的温室效应相差巨大。把全球变暖潜势值(GWP)定义为单位质量的某种温室气体在给定时间段内的辐射强度与等量 CO_2 辐射强度的相关系数,即 CO_2 的 GWP 为 1,则 CH_4 的 GWP 为 25, N_2O 的 GWP 为 298^[5]。在计算城市垃圾处理碳排放时,可将每种温室气体的碳排放量使用 GWP 折算成 CO_2 当量。因此,城市垃圾处理中的碳排放量就是不同碳排放源(耗能排放、填埋排放、焚烧排放)产生的不同温室气体转化为 CO_2 当量的总和:

$$CE = \sum_{i=1}^3 CE_i = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 WE_{ij} \times GWP_{ij} \quad (1)$$

式中: CE 为城市垃圾处理中 CO_2 当量排放量; CE_i 为第 i 类碳排放源的 CO_2 当量排放量; WE_{ij} 为第 i 类碳排放源下 j 种温室气体的排放量; GWP_{ij} 为第 i 类碳排放源下 j 种温室气体的 GWP。 $i=1,2,3$, $j=1,2,3$,温室气体类型主要包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 。式中单位均根据实际计算确定,以下各公式同。

2.1 耗能排放

城市垃圾运输、处理过程中柴油消耗的碳排放量可以通过柴油消耗量、柴油消耗的各类温室气体排放因子确定,其碳排放计算公式为:

$$CE_{\text{柴油}} = CD_{\text{柴油}} \times EF_{\text{柴油}} \quad (2)$$

式中: $CE_{\text{柴油}}$ 为柴油消耗产生的 CO_2 当量排放量; $CD_{\text{柴油}}$ 为城市垃圾处理过程中柴油的消耗量; $EF_{\text{柴油}}$ 为柴油消耗中产生的各类温室气体的 CO_2 当量排放因子。

根据国家发展和改革委员会应对气候变化司发布的《2011 中国区域电网基准线排放因子》^[6]中所选择的适合我国现状的基础数据来确定柴油的 CO_2 当量排放因子(见表 1)。根据表 1 确定的柴油 CO_2 当量排放因子,再结合调查所得的城市垃圾处理的柴油消耗量即可得到垃圾处理中耗能的碳排放量。

表 1 柴油的 CO_2 当量排放因子 kg/TJ

项目	CO_2	CH_4	N_2O
数值	19.8	1.6	1.3

2.2 填埋排放

垃圾填埋中产生的最多的温室气体为 CH_4 。 CH_4 受环境制约,可能被氧化产生 CO_2 ,但实际上不论受管理的、未受管理的垃圾填埋场产生的 CH_4 的氧化率都很低。据 IPCC 统计,管理、未管理、未归类的垃圾填埋场的 CH_4 的氧化因子缺省值为零,覆盖有 CH_4 氧化材料的,其 CH_4 氧化因子为 0.1。因此,计算城市垃圾填埋的碳排放时,产生的 CH_4 可认为全部未被氧化:

$$CE_{\text{填埋}} = CD_{\text{填埋}} \times D_m \times \gamma \times \frac{16}{12} \quad (3)$$

式中: $CE_{\text{填埋}}$ 为城市垃圾填埋处理的 CO_2 当量排放量; $CD_{\text{填埋}}$ 为城市垃圾的填埋处理量; D_m 为城市垃圾中 DOC 质量分数,IPCC 推荐值:发展中国家为 15%,发达国家为 22%; γ 为垃圾中 DOC 的分解百分率,IPCC 推荐值为 77%。

通过对城市垃圾成分的调查,也可以进行 DOC 含量的计算,所得数据应比 IPCC 推荐值更准确:

$$D_m = \sum_p D_{mp} \times W_p \quad (4)$$

表 2 各种垃圾成分的 DOC 质量分数

%

项目	纸类	塑料类	木屑	厨余	纤维	玻璃	金属	渣石
数值	40	75	43	15	24	0	0	0

表 3 江苏省电能生产的能源消耗情况及能源的 CO₂ 当量排放因子

耗能种类	排放因子/(kg·TJ ⁻¹)			低位发热量 /(MJ·t ⁻¹)或 /(MJ·km ⁻³)	CO ₂ 当量 排放因子 /(t·t ⁻¹)	能源消耗量/万 t 或亿 m ³		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			2006 年	2007 年	2008 年
原煤	87 300	0.3	0.500	20 908	1.828 5	10 945.40	11 060.80	10 890.20
其他洗煤	87 300	0.3	0.500	8 363	0.731 4	150.54	459.17	513.34
焦炉煤气	37 300	0.3	0.003	16 726	0.624 0	3.13	9.73	11.65
其他煤气	37 300	0.3	0.003	5 227	0.195 0	106.54	70.45	77.84
柴油	72 600	1.0	0.200	42 652	3.100 0	3.70	5.37	4.04
燃料油	75 500	1.0	0.200	41 816	3.160 6	3.77	1.55	0.39
炼厂干气	48 200	0.3	0.030	46 055	2.220 6	0.40	0.63	0.28
天然气	54 300	0.3	0.003	38 931	2.114 3	13.50	19.17	25.14
其他石油制品	72 200	1.0	0.200	41 816	3.022 7	3.09	2.78	3.09

表 4 苏州市城市垃圾处理情况

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
处理总量/万 t	45.30	65.10	60.80	60.61	74.14	94.06	110.35	119.51	126.86	140.28
填埋量/万 t	45.30	65.10	60.80	60.61	74.14	75.86	66.52	70.56	49.39	46.16
焚烧量/万 t	0	0	0	0	0	18.20	43.83	48.95	77.47	94.12
柴油消耗量/t	65.00	68.00	68.00	80.00	110.00	125.0	140.00	145.00	160.00	170.00

式中: W_p 为成分 p 在垃圾中的所占比例; D_{mp} 为成分 p 中 DOC 质量分数,IPCC 提供了亚洲区域各类垃圾成分的 DOC 含量缺省值(见表 2)。

由于垃圾中的玻璃、金属等成分往往会被回收利用,故虽然其中含有 DOC,但计算时一般将其 DOC 含量记为零。同样,一般垃圾中的石头也不会被分解处理,其 DOC 也记为零。

2.3 焚烧排放

垃圾焚烧的碳排放量与其有机物的含碳量相关,焚烧产生的温室气体主要为 CO₂。采用质量平衡法计算垃圾焚烧的碳排放量:

$$CE_{\text{焚烧}} = CD_{\text{焚烧}} \times \lambda \times \frac{44}{12} \quad (5)$$

式中: $CD_{\text{焚烧}}$ 为城市垃圾采用焚烧处理的 CO₂ 当量排放量; λ 为城市垃圾中可燃烧碳的质量分数,一般来说 DOC 均为可燃烧碳。

由于垃圾焚烧所产生的热量可用于发电,所得电能可取代部分常规供电,即可抵消掉一部分使用天然气、石油和煤炭能源供电所产生的碳排放,因此在利用式(5)计算焚烧处理的碳排放时需扣除产生这一部分的电能生产的 CO₂ 当量排放量。电能生产 CO₂ 当量排放量可通过电能的产生量与电能生产的 CO₂ 当量排放因子计算获得。电

能生产的 CO₂ 当量排放因子则可通过电能生产消耗的各类能源量和各类能源的 CO₂ 当量排放因子计算获得(见表 3)。

3 苏州市城市垃圾处理状况

经调查,苏州市现行的城市垃圾处理方式主要有填埋和焚烧;最主要的城市垃圾处理厂有苏州市垃圾填埋场和光大垃圾处理厂;垃圾的收集运输、处理中消耗的能源主要为柴油。表 4 显示了 2001—2010 年苏州市区的城市垃圾处理方式、处理量和耗能情况。其中,自 2006 年起,苏州市引进了垃圾焚烧发电技术,垃圾焚烧发电能力为 340 (kW·h)/t。

垃圾成分在一定程度上能反映出城市消费水平的变化,更会直接影响垃圾处理过程中的碳排放量。对苏州市 2001—2010 年城市垃圾的成分构成进行了调查,结果见表 5,城市垃圾中 DOC 含量见表 6。

4 苏州市城市垃圾处理的碳排放核算结果与分析

根据城市垃圾各碳排放源的碳排放计算方法及调查得到的苏州市城市垃圾处理数据,进行该城市垃圾处理的碳排放核算,结果见表 7。

由表 7 可见,从横向来看,3 类碳排放源中,填埋处理的碳排放量占最大比例,其次是焚烧排放、耗

表 5 苏州市城市垃圾成分构成¹⁾

%

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
纸类	7.67	11.56	13.24	11.90	11.84	11.56	10.89	11.12	8.25	6.14
塑料类	14.89	11.57	14.07	15.07	14.48	18.02	18.59	18.99	15.05	17.42
玻璃	1.20	2.82	1.33	1.19	2.37	1.46	1.96	2.72	2.34	2.11
金属	2.85	0.36	0.32	0.41	0.18	0.46	0.24	0.42	0.56	0.20
木材	0.47	1.64	0.71	1.60	1.08	1.34	0.86	1.89	0.32	1.11
厨余	63.04	65.68	63.90	64.86	63.95	61.47	62.63	61.19	68.89	69.11
渣石	5.58	4.65	3.64	1.87	2.53	1.54	0.65	0.42	0.78	0.36
纤维	4.30	1.72	2.79	3.10	3.57	4.15	4.18	3.25	3.34	3.55
含水率	61.49	62.95	59.72	65.09	56.66	58.89	60.73	59.85	62.64	53.85

注:¹⁾以质量分数计。

表 6 苏州市城市垃圾的 DOC 质量分数

%

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
DOC	24.93	24.27	26.41	27.22	26.51	28.93	29.07	29.46	25.86	27.22

表 7 苏州市城市垃圾处理的碳排放核算

项目	耗能排放量/t	焚烧排放量/t	填埋排放量/t	排放总量/t	单位排放量/(kg·kg ⁻¹)
2001 年	201.51	0	1 116 058.00	1 116 259.51	2.464 1
2002 年	210.81	0	1 502 572.00	1 502 782.81	2.308 4
2003 年	210.81	0	1 659 986.75	1 660 197.56	2.730 7
2004 年	248.01	0	1 478 453.25	1 478 701.26	2.439 7
2005 年	341.01	0	2 186 330.25	2 186 671.26	2.949 4
2006 年	387.52	57 514.36	2 315 814.25	2 373 716.12	2.523 6
2007 年	434.01	133 156.71	1 948 802.75	2 082 393.47	1.887 0
2008 年	449.51	154 895.39	2 142 256.00	2 297 600.90	1.921 3
2009 年	496.02	232 305.60	1 224 749.50	1 415 133.20	1.141 5
2010 年	527.02	273 367.20	1 488 140.75	1 795 251.01	1.330 7

能排放。城市垃圾处理中的碳排放量与处理数量、处理方式、垃圾成分密切相关。结合表 4 和表 7 可见,在同一年份,垃圾填埋的单位碳排放量远大于焚烧的单位碳排放量。可见,城市垃圾焚烧处理较填埋处理更低碳。

从纵向看,在 2009、2010 年大量应用焚烧技术前,苏州市城市垃圾处理的年碳排放总量基本呈上升趋势;2009、2010 年城市垃圾处理的碳排放量则大幅下降。苏州市城市垃圾的处理总量在 2001—2010 年总体呈增加趋势,而耗能碳排放量也呈稳步上升趋势,可见城市垃圾处理的耗能碳排放量与垃圾处理总量呈正相关。可预估的是,焚烧发电处理技术的深入推广将致使该处理方式的碳排放量逐年上升,而相应的填埋处理的碳排放量将总体呈减少趋势(减少的原因在于垃圾填埋量的减少,而非单位碳排放量的降低)。

通过对苏州市城市垃圾处理现状及处理过程中碳排放的核算分析可知,目前该市的城市垃圾处理方式还较为单一,垃圾处理的单位碳排放量也还较

高,存在很大的碳减排空间和潜力,相关政府部门应采取积极措施推进城市垃圾处理的低碳化。

5 结 语

我国城市垃圾的产生量 and 处理量都将随着经济社会与人口的发展而继续增长,今后城市垃圾处理的碳减排可以从以下几个方面进行:

(1) 焚烧发电技术较填埋技术更为低碳,应推广其在城市垃圾处理中的广泛应用。同时,要对焚烧发电技术进行改进,增加其单位发电量的碳减排量。

(2) 填埋是传统的垃圾处理高碳排放方式,其高碳排放源于 CH₄ 的无组织任意排放,因此对城市垃圾填埋产生的 CH₄ 的回收利用是减少填埋碳排放量的关键。

(3) 从苏州市城市垃圾成分看,厨余垃圾占一半以上,厨余垃圾的有机质高,填埋并非最优处理方式,而好氧堆肥是低碳排放的处理方式之一,但目前

(下转第 110 页)

影响居民家庭碳减排量的主导因素,而居民的低碳环保意识及行为在居民家庭碳减排中起到了重要的作用。

天津滨海新区是国家高度重视的新开发区,拥有中国最大的人工港,消费市场潜力巨大,城市配套设施完善,其硬件设施和居民消费水平处于国内领先地位。因此用天津滨海新区数据反映我国城镇居民总体状况可能存在一定的不科学性;不过通过对天津滨海新区的分析,可以粗略对我国城镇居民的碳减排情况做一个半定量分析。根据《中国人口与就业统计年鉴 2010》,我国拥有城镇居民 62 186 万人,如果按照平均人均碳减排量为 8.75 kg/月计算,全国城镇居民每年通过家庭生活方式的改变可减少碳排放 0.65 亿 t。根据国家统计局《世界统计年鉴 2011》数据,2007 年我国碳排放量为 65.33 亿 t,粗略分析,通过简单的改变生活方式就可以减少 1%的碳排放量。

虽然居民家庭能源消费中存在巨大的碳减排潜力,但目前大多数居民家庭对低碳节能的认识还存在不足。提高居民的低碳环保意识,改善居民的生活方式,对于我国碳减排意义重大。我国公众参与环保活动的起步较晚,居民的环保行为总体水平偏低,因此对居民进行低碳宣传教育,鼓励居民使用节能灯、一水多用,鼓励居民使用太阳能热水器,鼓励居民减少高能耗的私人交通工具的使用,对公众采取有意识的引导,是很有必要的。

参考文献:

- [1] 潘家华,朱仙丽.人文发展的基本需要分析及其在国际气候制度设计中的应用——以中国能源与碳排放需要为例[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):23-30.
- [2] 陆莹莹,赵旭.家庭能源消费研究述评[J].水电能源科学,2008,26(2):187-191.
- [3] 姚亮,刘晶茹,王如松.中国城乡居民消费隐含的碳排放对比分析[J].中国人口·资源与环境,2011,21(4):25-29.
- [4] 叶红,潘玲阳,陈峰,等.城市家庭能耗直接碳排放影响因素——以厦门岛区为例[J].生态学报,2010,30(14):3802-3811.
- [5] BIN S, DOWLATABADI H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions[J]. Energy Policy, 2005, 33(2):197-208.
- [6] 刘红光,刘卫东,范晓梅,等.全球 CO₂排放研究趋势及对我国的启示[J].中国人口·资源与环境,2010,20(2):84-91.
- [7] MANFRED L, CHRISTOPHER D, BARNEY F. Energy requirements of Sydney households[J]. Ecological Economics, 2004, 49(3):375-399.
- [8] HICHUN P, EUNNYEONG H. The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000: an input-output analysis[J]. Energy Policy, 2007, 35

(5):2839-2851.

- [9] 李艳梅,张雷.中国居民间接生活能源消费的结构分解分析[J].资源科学,2008,30(6):890-895.
- [10] POORTINGA W, STEG L, VLEK C. Values, environmental concern and environmental behavior: a study into household energy use[J]. Environmental Behavior, 2004, 36(1):70-93.
- [11] SCHIPPER L, BARTLETT S, HAWK D, et al. Linking life-styles and energy use: a matter of time? [J]. Annual Review of Energy, 1989, 14(1):273-320.
- [12] KIM J Y. Changes in consumption patterns and environmental degradation in Korea[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2002, 13(1):1-48.
- [13] WEI Yiming, LIU Lancui, FAN Ying, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of China's residents[J]. Energy Policy, 2007, 35(1):247-257.
- [14] 杨选梅,葛幼松,曾红鹰.基于个体消费行为的家庭碳排放研究[J].中国人口·资源与环境,2010,20(5):35-40.
- [15] 张艳,秦耀辰.家庭直接能耗的碳排放影响因素研究进展[J].经济地理,2011,31(2):284-288.
- [16] 国家发展改革委员会应对气候变化司.关于公布 2009 年中国区域电网基准线排放因子的公告[R].北京:国家发展改革委员会应对气候变化司,2009.

编辑:丁 怀 (修改稿收到日期:2011-09-20)

(上接第 105 页)

厨余垃圾的好氧堆肥在国内鲜有应用。因此,开展厨余垃圾的低碳处理研究对城市垃圾处理的碳减排有较大帮助。

城市垃圾处理的碳排放核算与分析可以让有关政府部门客观认识垃圾处理的碳排放情况,认识碳减排的可能性和可行性,从而找到碳减排的途径。而历年的城市垃圾处理碳排放核算还可以为以后的碳排放预测提供可靠依据,也有助于建立合理的碳减排指标。

参考文献:

- [1] 王琪.我国城市生活垃圾处理现状及存在的问题[J].环境经济,2005(10):23-29.
- [2] IPCC. IPCC fourth assessment report: climate change 2007 (AR4)[R]. Geneva:IPCC, 2007.
- [3] 全国一级建造师执业资格考试用书编写委员会.市政公用工程管理与实务[M].北京:中国建材工业出版社,2004.
- [4] 廖禧,邱忠平.垃圾降解过程中淀粉酶活性测定条件优化[J].环境污染与防治,2011,33(2):53-55.
- [5] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[EB/OL]. [2012-03-14]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [6] 国家发展改革委气候司.2011 中国区域电网基准线排放因子[EB/OL]. [2012-03-14]. <http://cdm.ccchina.gov.cn/Web-Site/CDM/UpFile/File1364.pdf>.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2012-05-10)