

沈阳市老虎冲垃圾填埋场填埋气产量估算

刘桐武¹ 赵春阳²

(1.沈阳市环境卫生管理处 辽宁沈阳 110032 2.沈阳航空航天大学能源与环境学院 辽宁沈阳 110136)

摘要 通过选取3种不同的填埋气预测模型:IPCC模型、中国填埋气估算模型、德国模型,结合沈阳市老虎冲填埋场的实际情况,对各参数进行了修订,从而预测老虎冲填埋场填埋气产量情况,并分析比较各模型预测结果。结果表明,2003—2011年,3种模型反映了相同的填埋气变化趋势,趋于上升状态;2012—2025年,由于填埋量发生变化,IPCC模型与中国填埋气估算模型和德国模型的填埋气变化情况相反,呈下降趋势。3种模型预测的填埋气产量的峰值大小为:中国填埋气估算模型为 $3.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$, IPCC模型为 $2.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$,德国模型为 $9.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。根据实际产气情况进行对比,发现德国模型更符合实际情况。

关键词 填埋气模型; IPCC模型; 中国填埋气估算模型; 德国模型

Abstract :The article selected three different kinds of landfill gas(LFG) generation models :IPCC model ,LMOP China model and German model with the practical situation of Shenyang Laohuchong Landfill Site concerned and revised the parameters of these models to predict the situation of Shenyang Laohuchong LFG generation and analyze the results of these models. It shows that three models reflect the same change trend in ascendant condition from 2003 to 2011 ,but because of the quantity changing of landfill waste from 2012 to 2025 ,the change trend of LFG generation predicted with IPCC model appears in descendant condition ,which is in contrast to that of LMOP China model and German model. The order of these models' peak value is :LMOP China model ($3.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)>IPCC model ($2.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)>German model ($9.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$). Compared with the practical measurement ,the German model is more conform to the actual situation.

Key words :LFG generation model ;IPCC model ;LMOP China model ;German model

中图分类号 :X705

文献标识码 :A

文章编号 :1674-1021(2012)10-0057-05

1 引言

随着社会的发展,垃圾的产生量变得越来越大。目前我国城市垃圾年产量约为1.3亿t,并以7%~9%年递增速度增加,如此大量的城市生活垃圾如果得不到有效地处理,将对城市生态环境及周边的水体、大气、土壤等造成严重的污染,而且造成垃圾中大量有用资源浪费^[1]。

在生活垃圾的处理方面,由于垃圾卫生填埋技术相对简单、处置量大、费用较低,已经成为国内外大多数城市垃圾处置的主要方式。在垃圾填埋过程中必然会产生填埋气,而填埋气中的甲烷是一种极有利用价值的能源物质,其含量占填埋气总量的45%~60%,热值约为 $20 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$,是一种利用价值较高的清洁燃料。因此填埋气作为一种清洁能源被列入CDM项目中,并在全球得到了很好地利用。中国填埋气CDM项目市场潜力巨大,占全球碳市场份额

11%,在全球CDM市场上约占50%。2010年,中国的CDM潜力为2160万 tCO_2 ,潜力仍然是相当大的^[2]。

在利用填埋气之前,首先要确定的是填埋气的产量,这样才能判断集中填埋后产生的填埋气是否有利利用价值。本文通过对沈阳市老虎冲垃圾填埋场产生的填埋气进行跟踪研究,结合各项数据对经验公式参数进行修订,从而预测填埋场填埋气的产量,找出最符合实际情况的产气模型。

2 老虎冲填埋场简介及其填埋气的情况

2.1 填埋场简介

沈阳市老虎冲垃圾填埋场位于沈阳市苏家屯区奉集堡塔山畜牧场内,占地面积为 $985\,382 \text{ m}^2$ 。填埋场自2003年开始投入运行,预计2025年封场,同时2008年12月底在EB注册。老虎冲填埋气利用项目于2006年加入CDM项目,并于2008年开始正式投入使用,项目名称为“沈阳老虎冲填埋气产能项目”^[3]。

收稿日期 2012-08-28;修订日期 2012-10-15。

作者简介 刘桐武,男,1962年生,教授级高级工程师,主要从事固体废物处理工作。

2.2 垃圾填埋情况

根据 CDM 项目设计文件编写的计划项目书中,老虎冲填埋场每年约填埋 355 900 t 垃圾。但是根据沈阳市环境卫生工程设计研究院的监测,发现老虎冲填埋场实际的填埋情况并未按照计划进行,而且每年的实际填埋量超出了计划填埋量。鉴于老虎冲填埋场的实际填埋量并未按照 PDD 计划项目书中的计划进行,因此本文对填埋量进行了一定的假设:

(1)2003—2011 年,填埋量为老虎冲垃圾填埋场的实际填埋量。

(2)2012—2025 年,填埋量为老虎冲垃圾填埋场的计划填埋量。

填埋情况见表 1 (数据由沈阳市环境卫生工程设计研究院提供)。

表 1 老虎冲垃圾填埋场填埋情况

年份	计划垃圾填埋量 /t	实际垃圾填埋量 /t
2003*	226 590	226 590
2004*	358 848	358 848
2005*	402 758	402 758
2006	355 875	632 468
2007	355 875	632 394
2008	355 875	680 574
2009	355 875	708 914
2010	355 875	909 818
2011	355 875	945 895
2012	355 875	355 875
2013	355 875	355 875
2014	355 875	355 875
2015	355 875	355 875
2016	355 875	355 875
2017	355 875	355 875
2018	355 875	355 875
2019	355 875	355 875
2020	355 875	355 875
2021	355 875	355 875
2022	355 875	355 875
2023	355 875	355 875
2024	355 875	355 875
2025	63 497	63 497

注 *2003、2004、2005 年的填埋量为老虎冲填埋场 2006 年加入 CDM 项目之前的实际填埋量。

2.3 填埋气的组成

填埋气是由于填埋场内微生物、化学和物理过程共同作用的结果。为了对填埋场内部的填埋气进行检测,在老虎冲填埋场设定了 8 个监测点,各监测点深度为 10 m,进行检测分析。填埋气的主要组成和含量见表 2 (数据由沈阳市环境卫生工程设计研究院提供)。

表 2 老虎冲填埋场填埋气组成

成分	体积百分比 /%
甲烷	50~60
二氧化碳	30~40
氧气	0.0~1.5
含水率	30~40
热值 / $(\text{MJ}\cdot\text{Nm}^{-3})$	15~20

3 对填埋气产量的估算

填埋气的产生是一个非常复杂的过程,要对其估算也是非常繁杂的,我国这方面起步较晚,至今还没有较为成熟的填埋气产气量预测模型。目前国内主要采用国外发达国家的经验模型^[4]。

3.1 填埋气预测模型

本文采用目前国际上通用的德国模型、IPCC 模型和中国填埋气估算模型这 3 种模型,分别对产气量进行估计,从而找出更适合实际情况的产气情况^[5-6]。

3.1.1 德国模型^[7]

$$Gp(t) = \begin{cases} G_i \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - \frac{1}{\tau} \times [1 - \exp(-t)] \right\} & t < t_c \\ G_i \times \left[(1 - \exp(-\frac{t_c}{\tau})) \times \exp(-\frac{t_c-t}{\tau}) - \frac{1}{\tau} \times [1 - \exp(-t_c)] \times \exp(t_c-t) \right] & t > t_c \end{cases}$$

$$G_i = 0.00274 \times S \times (\theta + 18) \times d \times V_c$$

$$\tau = 3.32 \tau_{1/2}$$

式中 t 为垃圾填埋年限, t_c 为垃圾场设计填埋年限, S 为垃圾的平均年填埋量, t/a 为垃圾堆体平均温度, $^\circ\text{C}$; d 为扩散损失率, %; V_c 为有机碳组分比例, %; $\tau_{1/2}$ 为有机碳降解半周期, a。

3.1.2 IPCC 模型

$$Q = \sum_x [A \cdot k \cdot \text{MSW}_i(t) \cdot \text{MSW}_f(t) \cdot L_0(t)] \cdot e^{-k(1-x)}$$

式中 Q 为第 t 年产生的甲烷, m^3 ; $A = (1 - e^{-k})/k$, 为修正总量的归一化因子; k 为甲烷产生速率常数, $1/a$; $\text{MSW}_i(t)$ 为第 t 年的垃圾产生量, t ; $\text{MSW}_f(t)$ 为第 t 年的垃圾填埋百分比, %。

$$L_0 = \text{MCF}(t) \cdot \text{DOC}(t) \cdot \text{DOC}_f \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

式中 $\text{MCF}(t)$ 为第 t 年的甲烷修正因子; $\text{DOC}(t)$ 为第 t 年的可降解有机碳, %; DOC_f 为可降解有机碳的降解百分比, %; F 为填埋气体中甲烷所占的百分比, %。

IPCC 推荐值将含可降解有机碳垃圾成分分类为 A、B、C、D 4 类,分别为:纸以及纺织品(A)、花园废物及其他非食物易腐有机物(B)、厨余垃圾(C)、木制品或者稻草(D)。计算公式:

$$\text{DOC}(t) = 0.4A + 0.17B + 0.15C + 0.3D \quad (1)$$

根据刘桐武等对中国城市生活垃圾可降解有机碳成分的研究^[8],将我国垃圾可降解有机碳分为5类:厨余垃圾(A)、纸类(B)、织物(C)、竹木(D)、灰渣(E),将公式(1)修正为:

$$DOC(t)=0.07A+0.26B+0.3C+0.28D+0.037E \quad (2)$$

根据RRU-BMW项目在沈阳市进行的为期3年半的城市生物垃圾资源化与资源化利用研究所获得的垃圾组分数据,可得到沈阳城市生活垃圾组分,见表3。

表3 废物组分^[9-10] %

废物组分	RRU-BMW
纸类	4.5
织物	4
厨余垃圾	73.7
竹木	1.7
灰渣	16.1

3.1.3 中国填埋气估算模型^[11]

$$Q_M = \frac{1}{C_{CH_4}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left(\frac{M}{10}\right) (e^{-kt})$$

式中, Q_M 为最大预计填埋气产生量, m^3/a ; i 为某年; j 为每1/10年; n 为(计算式的年份-开始接收垃圾的年份); k 为 CH_4 产生率; a ; L_0 为最终 CH_4 产生潜力, m^3/t ; M_{ij} 为第*i*年里填埋的垃圾量; t_{ij} 为第*i*年里填埋的第*j*部分垃圾的年龄; C_{CH_4} 为 CH_4 浓度(以体积算)。

3.2 填埋气产气量估算

3.2.1 德国模型产气量估算

(1)参数的确定

垃圾平均温度 θ :填埋场垃圾堆体内部处于厌氧状态,平均温度可达38℃。

扩散率 d :填埋完毕进行封场并覆盖,取0.75;只封场未覆盖,取0.5;运行中取0.3。由于老虎冲填埋场处于运行中,因此取0.3。

垃圾有机碳组分比例 V_c :根据表5以及公式(2),可以计算出 $V_c=9\%$ 。

有机碳降解半周期 $\tau_{1/2}$:易降解取5~10;中等降解取10~15;难降解取15~20。考虑到老虎冲填埋场垃圾中厨余垃圾比例较大,生物降解性较好,因此取8。

(2)LFG产量估算

将上述参数代入德国模型中,可得到老虎冲填埋场的产气量,见图1。

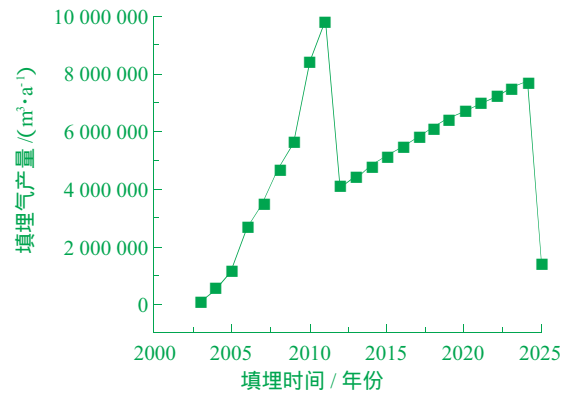


图1 德国模型产气量

3.2.2 IPCC模型产气量估算

(1)参数的确定

“沈阳老虎冲填埋场填埋气产能计划项目书”以及“IPCC2006用户指南”中,给出IPCC推荐值 k 和 L_0 ,分别为0.0668和116 m^3/t 。结合沈阳市实际情况,可以计算出更加符合实际情况的 k 和 L_0 :

CH_4 修正因子 MCF :根据IPCC提供的分类标准,老虎冲填埋场的结构和运行管理比较规范,所以取1.0。

可降解有机碳 DOC 参考德国模型的 V_c ,取9%。

降解比例 DOC_f :IPCC提供的默认值为0.5~0.6,考虑到老虎冲填埋场厨余垃圾比例较大,生物降解性较好,取0.55。

LFG中 CH_4 所占体积百分数:根据长期监测, CH_4 占LFG45%~60%,取55%。

代入2.1.2中 L_0 公式计算,可得到 L_0 为36.3 kg/t ,折合为50.63 m^3/t 。

产 CH_4 速率常数 k :一般取值范围为0.03~0.17。老虎冲填埋场厨余垃圾比例较大,生物降解性较好,参考国内垃圾填埋场^[12],取0.162。

(2)LFG产量估算

分别将IPCC推荐的 k 和 L_0 以及根据沈阳实际情况修正后的 k 和 L_0 带入模型进行计算,产气量见图2。

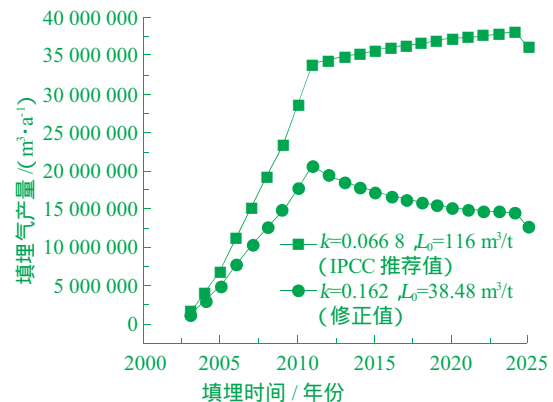


图2 IPCC模型产气量

3.2.3 中国填埋气估算模型产气量估算

(1) 参数的确定

由于此模型考虑了中国地域广阔及填埋场运行条件的不同,有不同的模型默认值,将老虎冲的具体情况输入模型中,得到了一组与“沈阳老虎冲填埋场填埋气产能计划项目书”所不同的 k 和 L_0 ,分别为 0.04 和 $70 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

(2) LFG 产量估算

分别将两组参数代入模型中进行模拟,得到图 3。模型中采用的收集率都采用了 PDD 中的规定值,为 40%^[3]。

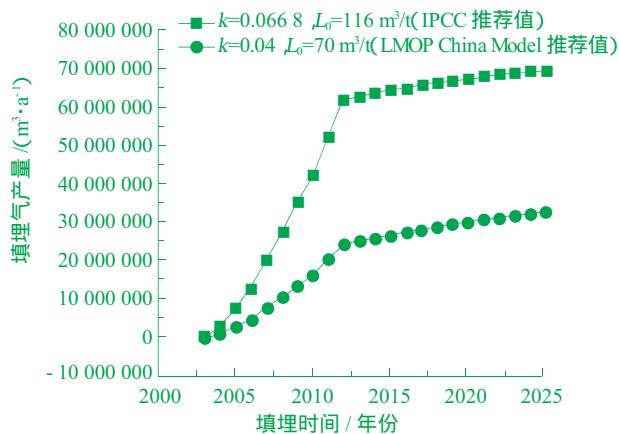


图 3 中国填埋气估算模型产气量

4 填埋气产量预测结果及讨论

将 3 种填埋气预测模型计算结果列入图 4。a、b 为根据沈阳市实际情况计算得出的曲线。

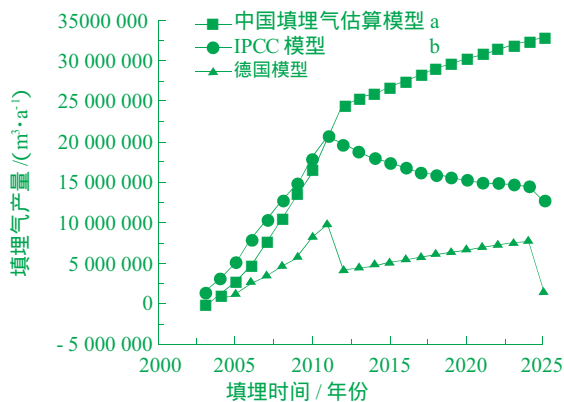


图 4 3 种模型预测曲线

从图 4 中可以看出,3 条曲线的变化趋势主要分为两段:2003—2011 年,由于老虎冲实际填埋量一直超过 PDD 项目计划书中的计划填埋量,并且逐年增加,因此填埋气产量上升趋势较大,产气量大小顺序为 IPCC 模型大于中国填埋气估算模型,大于德

国模型。2012—2025 年,由于在此假设其填埋量可恢复到计划填埋量,因此填埋气产量的变化趋势发生变化。中国填埋气估算模型及德国模型产气量依然保持上升趋势,但上升幅度明显下降,而 IPCC 模型的产气量开始呈现下降趋势,这主要是由于垃圾填埋量下降造成的。从整体情况来看,在老虎冲填埋场封场前,德国模型产气量明显低于 IPCC 模型和中国填埋气估算模型,填埋气产量峰值大小为:中国填埋气估算模型($3.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)大于 IPCC 模型($2.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)大于德国模型($9.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$)。

中国填埋气估算模型计算的数值远大于 IPCC 模型和德国模型的数值,但是由于中国填埋气估算模型不容许用户自行输入垃圾组分值,只能通过选择模型中提供的具有相似垃圾组分的地区,因此在实际使用中具有很大的局限性。

IPCC 模型作为国际上通用的预测模型,具有很高的普及性。但是由于 IPCC 模型是基于欧美地区的实际情况提出的,与我国的实际情况有一定的差异,如果直接套用最终结果会产生一定的误差。因此本文通过采用根据我国实际情况修正后的参数,最大程度上减少了误差的存在。

德国模型最大的不同是可以根据填埋场封场与否来采用不同的公式,同时还考虑了扩散率和垃圾堆体温度这两个参数,这是其他模型所不具备的。因此相较另外两种模型,德国模型可以更准确地反映填埋气的实际产量。

5 结语

(1) 本文通过采用 IPCC 模型、德国模型、中国填埋气估算模型对老虎冲垃圾填埋场进行填埋气产量预测,可以看出由于实际填埋量的变化,2003—2011 年,3 种模型反映了相同的填埋气产量变化趋势,都处于上升状态;2012—2025 年,中国填埋气估算模型与德国模型填埋气产量处于上升状态,但上升趋势明显变慢,而 IPCC 模型则处于下降状态,这是由于垃圾填埋量发生了比较大的变化造成的。

(2) 通过对沈阳老虎冲垃圾填埋场的实际填埋情况进行计算,3 种模型预测的填埋气产量的峰值大小为:中国填埋气估算模型($3.3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)大于 IPCC 模型($2.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)大于德国模型($9.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$)。

通过分析 3 种模型,并与实际产气情况进行比较,可以判断出德国模型更符合实际情况。

参考文献

- [1] 赵由才, 龙燕, 张华. 生活垃圾卫生填埋技术[J]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] Point Carbon. Carbon 2009 Emission trading coming home[EB/OL]. <http://www.pointcarbon.com/research/carbonmarketresearch/analyst/1.1083366> 2009.
- [3] UNFCCC, Shenyang Laohuchong LFG Power Generation Project[EB/OL]. <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/2B1327709G152MI35HBHJDXG5WK3> 2008.
- [4] 龚利华. 生活垃圾填埋场填埋气产生量估算模型[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(9): 73-76.
- [5] 韩树丽, 杨天华, 孟凡华, 等. 沈阳市垃圾填埋处理甲烷产量研究[J]. 环境保护与循环经济, 2010, 30(8): 49-52.
- [6] 谭旭娜, 卢欢亮, 罗钰翔. 3种垃圾填埋气预测模型的研究[J]. 可再生能源, 2009, 27(3): 89-92.
- [7] R. WOLF, E. APELT, Ü. L. Deponiegasgewinnung in der DDR am Beispiel der deponie Scheiße und Schwerborn[M]. Berlin, Germany: Axel Springer AG, 1990: 432.
- [8] 吉崇喆, 刘桐武, 张恩琛. 城市生活垃圾可降解有机碳估算方法的研究[J]. 环境卫生工程, 2005, 13(3): 7-13.
- [9] Bernhard Raninger, Werner Bidlingmaier, Li Rundong, et al. Bioorganic Municipal Waste Management to Deploy a Sustainable Solid Waste Disposal Practice in China[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2006, 6(2): 255-260.
- [10] 冯磊. 沈阳市分类收集有机垃圾特性及生物降解力的研究[D]. 沈阳: 沈阳航空工业学院, 2007.
- [11] 美国环保局填埋场 CH₄ 推广计划. 中国填埋气估算模型用户手册[R]. 2009.
- [12] 黄晓文, 吴三达. 填埋气体的综合利用[J]. 环境卫生工程, 2006, 14(4): 9-11.

(上接 38 页)

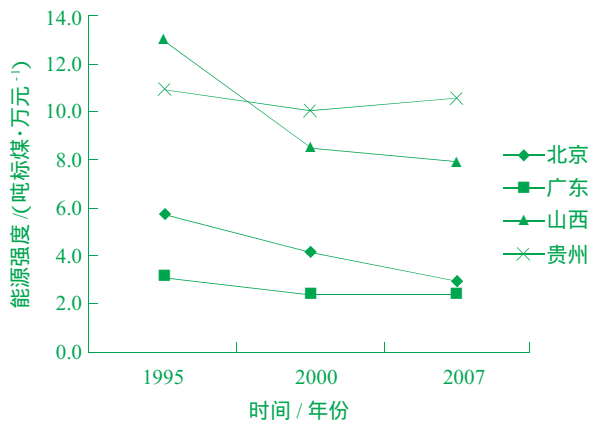


图 5 区域能源强度变化(1995—2007年)

弹。所以全国能源消费进入转型阶段, 能源消费总量反弹增长, 能源强度下降趋缓^[3]。

第二, 结构和效率因素对能源强度的影响方向和效果不同。1995—2007年期间, 北京市的产业结构变化和能源效率变化都是促使能源强度下降的因素, 且后者的节能效果更加明显, 2000年后结构因素的节能效果略有增强。1995—2007年期间, 广东省、山西省和贵州省的产业结构变化都促使能源强度上升, 能源效率变化都促使能源强度下降。但是2000年之后, 广东省的产业结构对能源强度下降的贡献值由正转负, 即开始发挥一定的节能效应。而山西省和贵州省的产业结构对能源强度下降

的贡献值由负转正, 即产业结构因素的节能效应产生了逆向变化。尤其是贵州省的产业结构变化的影响超过了结构因素, 导致能源强度出现反弹上升。可见, 由于发展阶段和产业结构水平的差异, 经济发达的东部区域, 产业结构演进开始发挥节能效应; 而相对落后的西部区域, 产业结构的变化却产生了增能效应。

参考文献

- [1] Bert H and Kelly L. Structural change and energy use: evidence from China provinces[R]. 2006 China Working Paper Series, First Version: November, This version: April 2007.
- [2] 姜磊, 季明河. 基于空间异质性的中国能源消费强度研究——资源禀赋、产业结构、技术进步和市场调节机制的视角[J]. 产业经济研究, 2011(4): 61-70.
- [3] 李艳梅, 杨涛. 中国产业结构演进的节能效应计量[J]. 财经科学, 2012(3): 109-115.
- [4] 国涓, 王玲, 孙平. 中国区域能源消费强度的影响因素分析[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 205-213.
- [5] Sun J.W. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model[J]. Energy Economics, 1998, 20(1): 85-100.
- [6] 李艳梅, 程晓凌. 结构与效率因素的节能效果分析——以北京为例[J]. 自然资源学报, 2012, 25(6): 1042-1048.