

云南省城市生活垃圾处理 温室气体排放特征

邹琼 付君哲 杨丽琼 李颖¹

(云南省生态环境科学研究院, 云南 昆明 650034)

【摘要】:根据《IPCC 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南》方法,建立 2018 年云南省 16 个州(市)城市生活垃圾处理温室气体排放清单,包括生活垃圾填埋和焚烧处理过程,并分析了温室气体排放的时间分布、空间分布和影响因素等。结果表明;①2018 年云南省生活垃圾处理温室气体总排放量为 536 万 tCO₂ 当量,各州(市)间排放量差异明显,滇中经济发达地区和滇东北人口密度较高地区排放量明显高于滇西北地区。②2005–2018 年,云南省生活垃圾处理排放的温室气体量增长了 191.3%,温室气体排放组成发生明显变化,CH₄ 比重不断下降,CO₂ 比重不断增加。③城镇人口数量、生活垃圾处理量、经济发展水平与温室气体排放量显著相关,其中人口数量更为明显。

【关键词】:城市生活垃圾 温室气体排放 焚烧 分布特征

【中图分类号】:X799.3 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1005-8141(2021)02-0141-05

当前,全球气候变暖已毋庸置疑,其中人类活动对气候系统的影响最为明显,许多观测到的变化在以前的几十年至几千年期间前所未有,如大气和海洋升温、雪量和冰量下降、海平面上升^[1]。1901—2018 年,我国地表年平均气温呈显著上升趋势,地表年平均气温上升了 1.24℃±10a,高于全球平均值,近 20 年是 20 世纪初以来的最暖时期^[2,3]。固体废弃物处理特别是城镇生活垃圾的处理是温室气体排放的重要源,其排放的温室气体根据处理方式的不同主要有 CH₄ 和 CO₂,这两种气体是影响地球辐射平衡的长寿命温室气体,在全部长寿命温室气体浓度升高所产生的总辐射强迫中的贡献率分别为 66%和 17%^[4]。有研究表明,CH₄ 是形成臭氧污染物的重要前驱体,贡献约占 13%^[5]。迄今为止,云南省共开展了省级层面 2005 年、2010 年、2012 年、2014 年、2016 年和 2018 年 6 个年度跨 14 年的温室气体排放清单核算。清单结果显示,云南省城镇生活垃圾处理排放从 2005 年的 183 万 tCO₂ 当量增加到 2018 年的 536 万 tCO₂ 当量,占废弃物处理总排放量的 66%—78%。云南省共有 16 个州(市),各州(市)社会经济发展存在较大的差异,研究和评估云南省城市生活垃圾处理的温室气体排放量、空间分布、时间变化规律和影响因素是掌握云南省城市生活垃圾处理场(厂)(“场”指垃圾填埋场,“厂”指垃圾焚烧发电厂及其他)排放清单,制定相关排控政策和规划行业发展的重要依据^[6]。科学核算和评估生活垃圾处理产生的温室气体排放量,对开展污染物与温室气体协同减排也有着重要意义^[7,8]。

本研究在 2018 年云南省各州(市)的生活垃圾处理量数据和处理方式基础之上,通过 IPCC 推荐的方法核算了 CO₂ 和 CH₄ 的排放清单,分析了两种温室气体排放的时空分布和影响因素,并提出了针对性的减排对策建议。

1 研究方法 with 数据来源

¹基金项目:云南省 2019 年低碳发展专项引导资金支持项目。

作者简介:邹琼(1974–),女,云南省昆明人,正高级工程师,研究方向为环境政策、低碳与气候变化研究。

1.1 研究区域与对象

本研究的时间范围为 2005—2018 年,区域范围为云南省 16 个州(市),研究对象为区域内城镇生活垃圾处理场(厂)运行过程中释放的两种温室气体 CO₂ 和 CH₄。

1.2 温室气体排放清单估算方法

编制地方温室气体排放清单时参考的指南主要有《IPCC 国家温室气体清单》(1996 年修订版)《IPCC2000 国家温室气体清单优良做法指南和不确定性管理》《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》。目前,《IPCC1996 指南》和《IPCC 优良做法指南》依然是气候变化框架公约 (UNFCCC) 非附件一国家的法定指南^[9],我国为非附件一国家之一。为了开展省级层面的清单核算,2011 年国家发展改革委员会牵头编写了《省级温室气体清单编制指南(试行)》。《IPCC1996 指南》《IPCC 优良做法指南》是本研究的主要参考方法。生活垃圾处理的方法主要分为填埋和焚烧,其中填埋产生的温室气体主要为 CH₄,焚烧产生的温室气体则为 CO₂。

CH₄:CH₄ 排放主要针对垃圾填埋场。《IPCC1996 指南》推荐的填埋垃圾处理 CH₄ 排放计算方法主要包括 FOD(一阶衰减法)方法和质量平衡法(缺省方法)。一阶衰减方法提出,随时间变化的 CH₄ 排放可较好反映废弃物随时间的降解过程,但该方法需要近几十年废弃物产量、成分和处置情况等历史数据,较适用于单独的填埋场或一组特殊的填埋场;质量平衡法假设当年填埋的生活垃圾潜在的甲烷在处理当年就全部排放完^[10,11],较适合区域层面温室气体的估算,是省级层面清单普遍采用的方法。本研究采用质量平衡法进行核算,计算公式为:

$$\begin{aligned} CH_{4Emissions} &= (MSW \times L_0 - R) \times (1 - OX) \\ L_0 &= MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12 \end{aligned} \quad (1) \quad (2)$$

式中,CH₄Emissions 表示甲烷排放量,单位为万 t/a;MSW 表示城市生活垃圾填埋处理量,单位为万 t/a;L₀ 表示不同管理类型垃圾填埋场的甲烷产生潜力,本研究中主要分为规范填埋和简易填埋两大类,单位为万 tCH₄/万 t 废弃物;R 表示甲烷回收量,单位为万 t/a;OX 表示氧化因子;MCF 表示不同管理类型垃圾填埋场的甲烷修正因子;DOC 表示生活垃圾中可降解有机碳,单位为 kgC/kg 废弃物;DOC_F 表示可分解的 DOC 比例,单位为%;F 表示垃圾填埋气体中的甲烷比例,单位为%;16/12 为碳转为成甲烷的转换系数。

CO₂:指固体废弃物在可控的焚化设施中焚烧产生的二氧化碳排放。本研究焚烧的废弃物类型仅指生活垃圾,不含医疗废物等危险废物。

$$CO_{2Emissions} = IW \times CCW \times FCF \times EF \times 44/12 \quad (3)$$

式中,CO₂Emissions 表示废弃物焚烧处理的 CO₂ 排放量,单位为万 t/a;IW 表示生活垃圾焚烧量,单位为万 t/a;CCW 表示生活垃圾中碳含量比例,单位为%;FCF 表示生活垃圾中矿物碳在碳总量中的比例,单位为%;EF 表示生活垃圾焚烧炉的燃烧效率,单位为%;44/12 为碳转换成 CO₂ 的转换系数。

1.3 排放因子

排放因子是估算温室气体排放量的重要参数,本研究对生活垃圾处理排放因子采用指南推荐值与地区特征值结合的方法,其

中 DOC、CCW、FCF3 项主要的排放因子均在各核算年本地调研基础上采用了地方特征因子。

1.4 数据处理

本研究开展了核算年份的水平数据采用当年官方口径数据,中间未开展核算年份的排放数据采用相近年份内插获得(如 2011 年温室气体排放量采用 2010 年和 2012 年的内插值),用于分析的各年 GDP、人口等数据则采用 2006-2019 年《云南省统计年鉴》数据,CH4 和 CO2 的百年全球增温潜势分别采用 21 和 1。

2 结果及分析

2.1 2018 年温室气体排放空间分布

2018 年云南省 16 个州(市)垃圾处理场(厂)数量和 CH4、CO2 排放情况见图 1,城市生活垃圾处理场(厂)温室气体对云南省排放总量的贡献率见图 2。从图 1 与图 2 可见,2018 年云南省 16 个州(市)城市生活垃圾温室气体排放总量为 536 万 tCO2 当量,其中排放量最高的地区为昆明市,达到 79.1 万 tCO2 当量,排放量最低的地区为怒江傈僳族自治州,为 5.6 万 tCO2 当量。各州(市)城市生活垃圾处理场(厂)数量和温室气体排放量总体呈现正相关关系,且各州(市)分布极不平衡,差异显著。排放量较多的州(市)主要集中在经济较发达的滇中地区和人口分布密度大的滇东北地区,其中昆明、红河和昭通位列前三名,3 个州(市)的排放量占云南省总排放量的 34.58%;而滇西北的怒江州、迪庆州温室气体排放量最低,仅占排放量的 2.89%,呈现出经济水平较高和人口较多的地区明显高于经济不发达、人口分布少的西北部偏远和高寒地区。

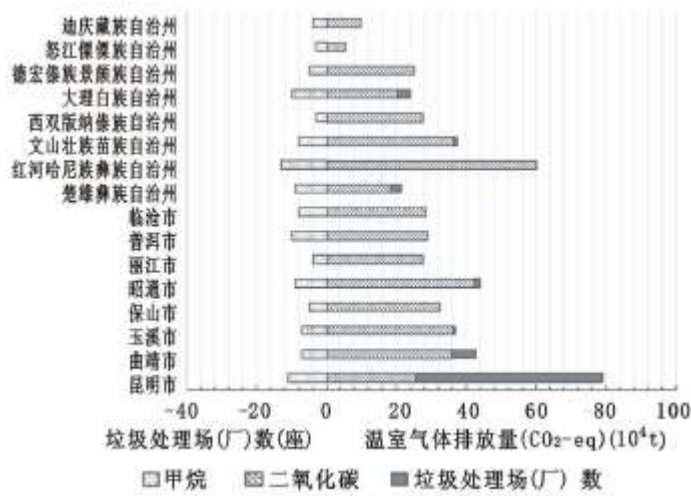


图 12018 年云南省 16 个州(市)垃圾处理温室气体排放清单

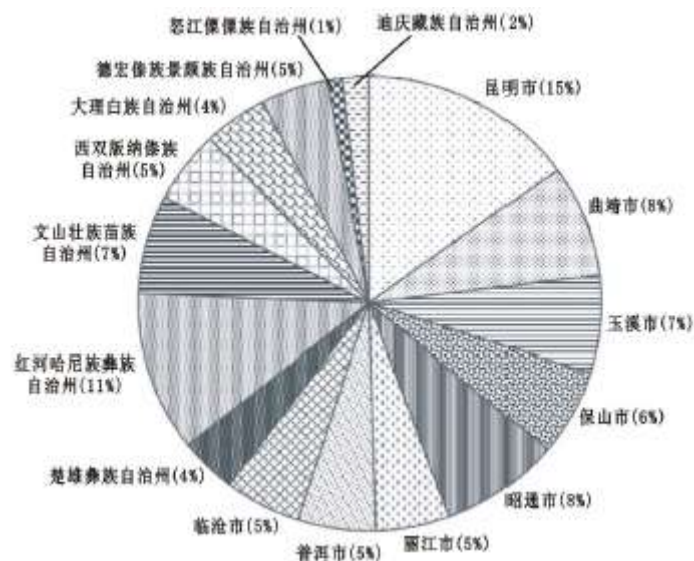


图 2 2018 年云南省 16 个州(市)垃圾处理温室气体排放占比

云南省 16 个州(市)城镇人均温室气体排放量分布情况见图 3。从图 3 可见, 2018 年云南省城镇人均碳排放强度为 $232\text{kg}/\text{人} \cdot \text{a}$, 但由于地区差异极大, 各州(市)人均碳排放量差异明显: 滇中地区尽管排放量较大, 但由于人口数较大, 碳强度相对较低, 其中昆明、曲靖、楚雄和大理均低于 $200\text{kg}/\text{人} \cdot \text{a}$, 而滇西北地区尽管排放量较低, 但由于人口数量较少, 碳强度相对较高, 其中迪庆州则高达 $667\text{kg}/\text{人} \cdot \text{a}$ 以上, 是滇中地区的 3 倍以上。从生活垃圾处理的方式来看, 2018 年云南省 16 个州(市)共有 11 座垃圾焚烧发电厂, 其中昆明市有 6 座, 均占全省总数的 54. 5%, 6 座垃圾焚烧厂处理的生活垃圾量约占全省垃圾焚烧处理总量的 50. 6%, 约占昆明市垃圾处理总量的 87. 7%, 而填埋处理仅占了 12. 3%, 是 16 个州(市)中唯一一个以焚烧处理方式为主的地区。



图 3 2018 年云南省 16 个州(市)垃圾处理温室气体人均排放分布

2.2 生活垃圾处理温室气体排放时间变化特征

2005-2018 年云南省城市生活垃圾温室气体排放的变化情况见图 4。从图 4 可见, 云南省各州(市)生活垃圾处理场(厂)数量总体呈现增长的态势, 由 2005 年的 36 座增加到 2018 年的 116 座; 生活垃圾处理排放总量呈现稳定增长, 由 2005 年的 183 万 tCO₂ 当量增加到 2018 年的 536 万 tCO₂ 当量。在生活垃圾处理排放的两种温室气体中, CH₄ 的排放量最大, 其次是 CO₂, 说明云南省各市(州)生活垃圾处理目前仍是以卫生填埋为主, 但焚烧处理的比重在逐渐增加, CH₄、CO₂ 两种气体的比重 2005 年分别为 99.6%和 0.4%, 2018 年分别为 87%和 13%, CO₂ 排放量增加了 12.6%。由于填埋处理的排放因子大于焚烧处理, 且 CH₄ 的增温潜势高于 CO₂, 处理同样质量的城市生活垃圾填埋产生的温室气体排放量约为焚烧处理的 17 倍左右^[12], 因此焚烧是更有利于温室气体减排的处理方式。根据《云南省生活垃圾焚烧发电中长期专项规划(2019-2030 年)》, 到 2030 年底, 云南省生活垃圾焚烧处理能力占无害化处理总能力要达到 60%, 设市城市生活垃圾焚烧处理能力占无害化处理总能力达到 70%以上, 同时实现设市城市生活垃圾焚烧处理能力全覆盖^[13], 未来焚烧处理的比例会有显著的提升, CO₂ 所占的比例将快速增长。

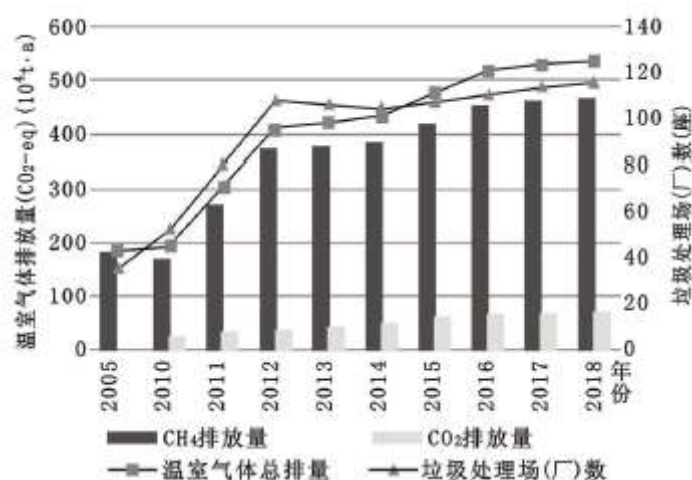


图 4 2005-2018 年云南省生活垃圾处理温室气体排放变化

本文根据 2005-2018 年云南省各州(市)各年份填埋处理量和焚烧处理量对应排放的温室气体量, 核算出处理单位生活垃圾的温室气体产率分别为填埋处理 0.44-1.13kgCO₂/kg 废弃物, 焚烧产率为 0.24-0.33kgCO₂/kg 废弃物。

2.3 温室气体排放量影响因素分析

影响生活垃圾处理温室气体排放的因素较多, 图 5-7 分别显示了 2005 年、2010 年、2012 年、2014 年、2016 年、2018 年云南省各州(市)生活垃圾处理年温室气体排放量和区域 GDP、城镇人口数、处理垃圾量的相关性。分析来看, 云南省各州(市)温室气体排放与 GDP、人口、垃圾处理量具有线性关系, 在 $P < 0.01$ 水平上显著相关, 相关系数分别为 0.78、0.83 和 0.79, 其中与人口数量关系最为密切, 而地区经济的发展水平又往往决定了垃圾处理场(厂)的管理和运行水平, 管理越规范的垃圾处理场(厂)越有利于提高温室气体的处理效率。事实上, 影响温室气体排放量的因素除以上几项重要因素外, 生活垃圾的组成、颗粒大小、含水率、温度和 PH 值等都有着密切的关系[19]。从各核算年对生活垃圾成分的调研统计来看, 随着人们生活水平的提高, 垃圾中有机碳的成分从 2005 年的 0.106 提高到 2018 年的 0.206, 增长了近 1 倍, 而垃圾中有机碳的成分直接导致单位质量的生活垃圾温室气体排放量的增加。

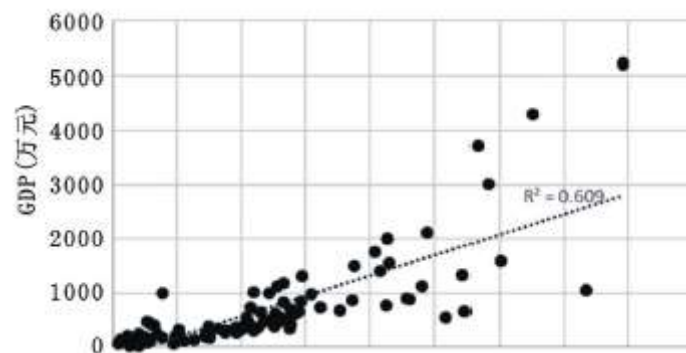


图 5 2005-2018 年云南省温室气体排放与 GDP 变化关系

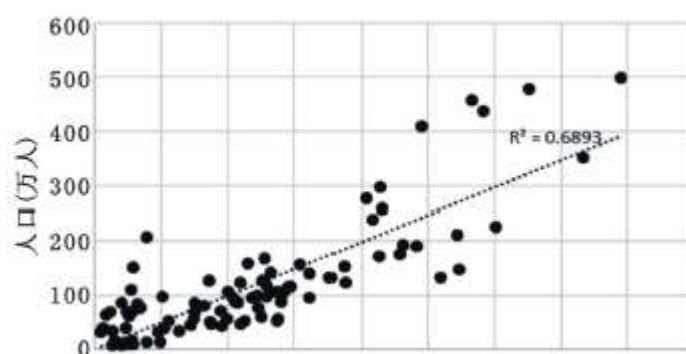


图 6 2005-2018 年云南省温室气体排放与人口变化关系

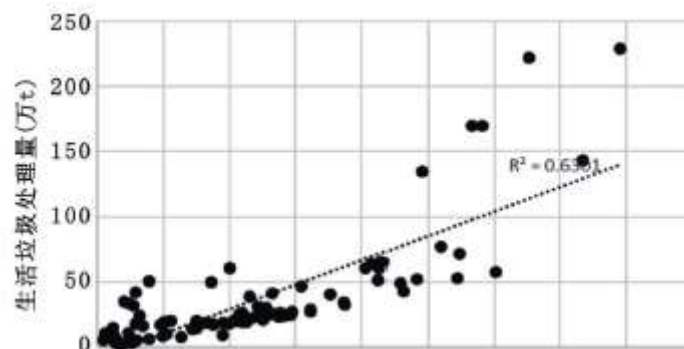


图 7 2005-2018 年云南省温室气体排放与垃圾处理量变化关系

3 结论和建议

根据 IPCC 国家温室气体清单指南和省级温室气体清单指南方法建立了 2018 年云南省 16 个州(市)城市生活垃圾处理温室气体排放清单,包括生活垃圾填埋和焚烧处理过程,分析了温室气体排放的时间分布、空间分布和影响因素等,得出以下主要结论:①本研究建立了 2018 年云南省城市生活垃圾处理场(厂)的温室气体排放清单,温室气体排放总量为 536 万 tCO₂ 当量,CH₄、CO₂ 排放量分别为 466 万 tCO₂ 当量和 70 万 tCO₂ 当量,排放的地区差异明显,滇中经济发达地区和滇东北人口密度较高地区排放量较高,滇西北等排放量较低。但人均排放强度却与之相反,经济越不发达、人口密度越低的地区排放强度远远超过经济发达的滇中地

区。②2005—2018年云南省城市垃圾处理温室气体排放总量从183万tCO₂当量增加到536万tCO₂当量,两种气体所占排放比重发生变化,CH₄比重从99.6%下降到87%,CO₂从0.4%提高到13%。其中,昆明市变化最为明显,2010年焚烧处理的垃圾量已经超过填埋处理量,焚烧温室气体排放超过填埋温室气体排放量。③影响因素中,地区经济发展水平、人口数量和垃圾处理量与垃圾处理温室气体排放量具有显著相关性,其中人口数量增长最为明显。

伴随人口增长和城市发展,城市生活垃圾处理产生的温室气体排放量呈现刚性增长,应从资源循环利用的角度,加大生活垃圾的资源化利用,加快开展垃圾分类和回收利用,从根本上减少垃圾的产生和处理量。生活垃圾处理的两种主要方式为焚烧和填埋,同等量同成分的生活垃圾焚烧处理产生的温室气体排放量显著低于填埋产生的排放量,因此应更多鼓励垃圾焚烧发电,在实现资源化利用同时减少碳排放。在云南省16个州(市)中,仅昆明市有规范的垃圾焚烧厂,其他15个州(市)均以填埋为主,但填埋场收集的甲烷气体基本没有回收利用或火炬燃烧处理而是直接排放,应进一步加强管理,完善排放气的利用和处置,实现生活垃圾处理温室气体减排。以臭氧污染为主要特征的空气质量污染是云南省各地当前空气质量保护面临的共性难题,作为形成臭氧污染物的重要前驱体,今后应加强CH₄排放与臭氧形成方面的理论研究。

参考文献:

- [1]IPCC. Climate Change 2014:Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M].Geneva, 2014.
- [2]第三次气候变化国家评估报告编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社, 2015.
- [3]中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2019)[R]. 北京.
- [4]中国气象局气候变化中心. 中国温室气体公报(2017)[R]. 北京.
- [5]Fang Y, Naik V, Horowitz LW, et al . Air Pollution and Associated Human Mortality:The Role of Air Pollutant Emissions, Climate Change and Methane Concentration Increases from the Preindustrial Period to Present[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13(3): 1377-1394.
- [6]闫旭, 邱德志, 郭东丽, 等. 中国城镇污水处理厂温室气体排放时空分布特征[J]. 环境科学, 2018(3): 1256-1263.
- [7]蔡博峰. 中国垃圾填埋场2012年甲烷排放特征研究[J]. 环境工程, 2016, 34(2): 1-4.
- [8]蔡博峰, 刘建国, 曾宪委, 等. 基于排放源的中国城市垃圾填埋场甲烷排放研究[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(6): 406-413.
- [9]朱松丽, 蔡博峰, 朱建华, 等. IPCC 国家温室气体清单指南精细化的主要内容和启示[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(14): 86-94.
- [10]省级温室气体清单编制指南(试行)[R]. 国家发展和改革委员会, 2011.
- [11]IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories[M]. Hayama, Kanagawa, Japan: IGES, 2000.

-
- [12] 于洋, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 城市废弃物处理温室气体排放研究: 以厦门市为例[J]. 环境科学, 2012, 33 (9) : 3288-3294.
- [13] 云南省生活垃圾焚烧发电中长期专项规划(2019-2030 年) [R]. 云南省发展和改革委员会. 2019, 8.
- [14] 唐伟, 郑思伟, 何平, 等. 杭州市城市生活垃圾处理主要温室气体及 VOCs 排放特征[J]. 环境科学研究, 2018, 31 (11) : 1883-1890.
- [15] 曾灿, 俞永浩, 包薇红. 宁波市废弃物处理温室气体排放特征研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38 (8) : 48-54.
- [16] 仲璐, 胡洋, 王璐. 城市生活垃圾的温室气体排放计算及减排思考[J]. 环境卫生工程, 2019, 27 (5) : 45-48.
- [17] 李欢, 金宜英, 李洋洋. 生活垃圾处理的碳排放和减排策略[J]. 中国环境科学, 2011, 31 (2) : 259-264.
- [18] 潘玲阳, 叶红, 黄少鹏, 等. 北京市生活垃圾处理的温室气体排放变化分析[J]. 环境科学与技术, 2010, (9) : 116-124.
- [19] 徐新华, 汪大辉. 城市垃圾甲烷气体排放及减排对策[J]. 四川环境, 1997, 16 (1) : 39-42.