

城市生活垃圾等离子体气化发电 CDM 项目经济性分析

麦伟仪, 杨东超, 杜海, 唐兰*, 赵矿美

(广州大学广东省建筑节能与应用技术重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要:以常规的等离子体热解气化城市生活垃圾发电项目为基础项目,在考虑碳排放交易的情况下,使用净现值法,建立该项目的垃圾处理价格计算模型,并对 CDM(清洁发展机制)项目的投资运行成本和碳减排量进行估算。研究结果得出:该项目收支平衡时,垃圾处理价格为 204.9 元/t;年碳减排量为 9 386.1 t CO₂;对投资决策评价指标分析可得,该项目具有一定的经济可行性。

关键词:等离子体气化;城市生活垃圾;发电;CDM;经济性分析

中图分类号:X705

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)06-0008-07

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.06.003

Economic analysis on CDM project of electricity generation by plasma gasification of MSW

MAI Wei-yi, YANG Dong-chao, DU Hai, TANG Lan*, ZHAO Kuang-mei

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Building Energy Efficiency and Application Technologies,
Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Taking the conventional electricity generation project by plasma pyrolysis and gasification of MSW as the base project, the waste treatment price calculation model is established by using the net present value method in consideration of carbon emissions trading. Additionally, the investment cost, operating cost and carbon emission reduction for CDM (Clean Development Mechanism) projects are estimated. The results show that the waste treatment price is RMB 204.9/t and carbon emission reduction is 9 386.1 t/a of CO₂ when the income and expenditure for this project is balance. The investment decision-making index analysis indicates that this project has certain economic feasibility.

Key words: plasma gasification; municipal solid waste (MSW); electricity generation; CDM; economic analysis

随着城市化的不断推进,我国每年的城市生活垃圾(MSW)在不断地增多。据中国统计年鉴统计,2006年至2014年全国城市生活垃圾清运量平均增量为377.4万t/a,平均增长率为2.35%,截至2014年,全国城市生活垃圾清运量达17 860.2万t^[1]。目前,我国处理城市生活垃圾常用的方法有卫生填埋、焚烧法和堆肥法。其中卫生填埋是我国处理MSW的主要方法,处理垃圾量占总清运量的平均比重为56.6%,焚烧的垃圾数量占总清运量的16.5%,并以21.7%的平均速率进行增长^[1]。卫生填埋虽投资成本低,但处理周期长,占地面积大,对渗透液、甲烷、硫化氢等的处理有一定要求,其中甲烷还是重要的温室气体之一,其100年的全球增温潜势(GWP)为二氧化碳的21倍^[2];堆肥法虽能将垃圾进行二次利用,但处理范围窄;焚烧法虽然处理

周期短,占地面积少,但投资成本高,并产生二噁英等有害物质。垃圾数量的增加以及土地资源紧张使人们越来越趋向于一种处理周期短、占地面积小,可将MSW减量化、无害化的处理方法。

许多研究证明新兴的等离子体气化技术是一种高效、环保的处理方法,可用于城市生活垃圾的处理^[3-4]。等离子体是不同于固体、液体和气体的第四种物质,是一种由电子、离子和未电离的中性粒子组成的混合物。以热等离子体作为高温热源对垃圾进行气化,把垃圾中的有机物转换成合成气,把无机物转换成熔渣。与垃圾焚烧相比,等离子炬的高温高热(超过5 500℃)可以使有机物彻底分解,防止二噁英等有害物质的产生^[3]。

由于人们焚烧化石燃料释放大量的二氧化碳,产生温室效应并随着温室效应的累积,造成全球变

暖这一现象,破坏生态系统的平衡,因此,全球温室气体的减排日益成为人们关注的焦点。碳排放交易是减少二氧化碳排放所采取的市场机制,即把二氧化碳排放权作为一种商品,形成二氧化碳排放权的交易。清洁发展机制(CDM)是现今唯一可以得到国际公认的碳交易机制,截至2016年8月23号,国家发改委批准的全部 CDM 项目有 5 074 项,其中垃圾焚烧发电项目数有 54 项,估计年减排量达 8 227 315 t CO₂, 占总估计年减排量的 1.05%^[5]。与垃圾发电项目一样,等离子体处理城市固体垃圾项目也可注册 CDM 项目,为温室气体减排做出贡献。

麦伟仪等^[6]参考了国内传统的垃圾焚烧发电厂的设备组成、投资运行成本和收益的计算方法,对常规的 1 000 t/d 城市生活垃圾等离子体辅助热解气化发电项目的投资运行成本和收益进行估算;使用净现值法,建立垃圾处理价格计算模型,计算出常规 1 000 t/d 基础项目的垃圾处理价格为 212 元/t。本文参考麦伟仪等的研究数据^[6],以常规的 1 000 t/d 城市生活垃圾等离子体气化发电项目作为基础项目,在增加碳排放交易计算的情况下,计算 CDM 项目的运行投资成本、碳减排量和碳排放交易收入;确定项目的总投资运行成本和现金流量;使用净现值法,建立垃圾处理价格计算模型;计算该项目的投资决策评价指标,并与基础项目的投资回收期、内部收益率、净现值等指标进行对比分析。

1 等离子体气化 MSW 处理流程

目前,等离子体技术应用较早和较成熟的国家有美国和日本,在处理生活垃圾方面,全球拥有商业化等离子体设备的公司只有 3 家:西屋等离子体公司、加拿大普拉斯科能源集团公司、德国 Bellwether 公司^[7]。等离子体处理城市生活垃圾技术主要分为等离子体辅助热解气化技术和等离子体重整技术^[4]。前者是利用 MSW 自身的热值进行热解产生合成气,再利用等离子电弧加热重整合成气,气化后的灰渣用等离子体炬进行玻璃化;而后者是以等离子体作为高温热源直接作用在 MSW 上,把 MSW 中的有机物转化成合成气,把无机物变成熔渣。本文使用的流程为等离子体辅助热解气化 MSW 流程,如图 1 所示。整个流程主要分为五个部分:MSW 的预处理、MSW 的气化、合成气的净化、合成气发电和余热发电。

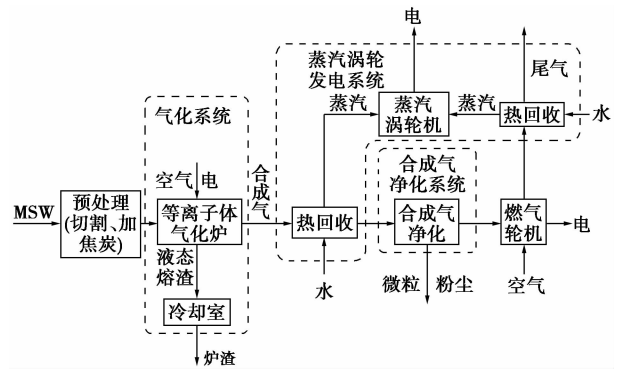


图 1 等离子体辅助热解气化流程图

2 垃圾处理价格计算模型

本文使用净现值法建立的垃圾焚烧发电厂垃圾处理价格计算模型,在考虑碳排放交易的情况下,建立我国等离子体气化城市固体生活垃圾发电项目垃圾处理价格计算模型,并根据计算结果,分析该项目的经济可行性。

2.1 模型参数汇总

垃圾处理价格计算模型的参数如表 1 所示。

表 1 模型参数汇总表

参数/单位	意义
$I_{inv}(\sigma)$ /万元	投资成本函数
I_0 /万元	常规项目的投资成本
$I_{0,CDM}$ /万元	CDM 项目投资成本
$c_{O\&M}$ /(元·t ⁻¹)	运行成本
$c_{v,CDM}$ %	CDM 项目可变成本
$c_{f,CDM}$ /(万元·a ⁻¹)	CDM 项目固定成本
e_r %	权益资本率
i_{EF} %	贷款比重
LT/a	偿还期
$E(R)$	资产预期收益率
σ/a	全局时间
CF_σ /万元	现金流量函数
p_{energy} /(元·kWh ⁻¹)	电价
E/kWh	上网电量
$p_{metal+slag}$ /(元·t ⁻¹)	回收的金属、炉渣的价格
p_σ /(元·t ⁻¹)	垃圾处理价格
q^w/t	年处理垃圾数量
p_{carbon} /(元·t ⁻¹ CO ₂)	碳交易价格
$ER/(t CO_2 \cdot a^{-1})$	碳减排量
f_{tax}	税收函数
t	相对时间
k/a	运行时间

根据该项目的净现值计算公式: $NPV = -$ 投资成本的折现+现金流量的折现,假设项目的建设期为 2016 至 2018 年,并于 2018 年 ($t=0$) 开始运行,至 2041 年结束运营,整个工程的运行时间为 23 年,则工程开始折现的时间为 2019 年 ($\sigma=2019$),偿还期为 15 年(含两年建设期)。具体的净现值公式如下所示:

$$NPV = - \sum_{t=2}^{13} \{ [I_{inv}(\sigma)] / [1 + E(R)]^{t+\sigma-2017} \} + \sum_{t=\sigma-2018}^{\sigma+22-2018} CF_{\sigma} / [1 + E(R)]^t \quad (1)$$

根据资本资产定价模型(CAMP),资产预期收益率为:

$$E(R) = R_f + \beta(R_m + R_f) \quad (2)$$

取我国近 10 年短期国债平均利率作为市场无风险收益率 R_f ,取值为 4.82%; β 的取值与市场的整体收益和相关投资项目的收益有关,这里取 0.519;根据我国近 10 年 GDP 增长率确定市场平均风险投资收益率 R_m 为 9.95%。根据公式(2),可得资产预期收益率 $E(R)$ 为 12.49%。

2.2 投资成本

在考虑碳排放交易计算的情况下,初始投资成本除了基础项目的投资成本 I_0 外,还应包括 CDM 项目投资成本 $I_{0,CDM}$ 。一定比例的投资成本在项目开始前($k=0$),由公司依法筹备并长期拥有且自由分配的,这部分成本称为权益资本:

$$I_{inv}(0) = (I_0 + I_{0,CDM}) \cdot e_r k = 0 \quad (3)$$

剩余的初始投资成本向银行贷款所得,并在偿还期内进行偿还,把平摊到每年的偿还金额称为年投资成本。年投资成本为年偿还本金与年支付利息之和:

$$I_{inv}(k) = [(I_0 + I_{0,CDM})(1 - e_r)] / LT + [(I_0 + I_{0,CDM}) \cdot (1 - e_r)(k - 1) \cdot i_{EF}] \quad 0 < k \leq LT \quad (4)$$

整合得出,投资成本计算公式为:

$$I_{inv}(k) = \begin{cases} (I_0 + I_{0,CDM}) \cdot e_r & \text{if } k = 0 \\ (I_0 + I_{0,CDM}) \cdot (1 - e_r) \cdot \{ [1 - (k - 1) / LT] \cdot i_{EF} + 1 / LT \} & 0 < k \leq LT \end{cases} \quad (5)$$

2.3 现金流量

现金流量是项目资金流入减去流出的余额。

现金流入=电量销售+垃圾处理费+回收金属、炉渣的销售+垃圾处理费+碳排放交易收入,即:

$$CF_{\sigma,in} = p_{energy}(\sigma) \cdot E + [p_{\sigma} + p_{mental+slag}(\sigma)] \cdot q^w + (1 - c_{v,CDM}) \cdot ER \cdot P_{carbon} \quad (6)$$

现金流出=运行成本+CDM 固定成本+税

收,即:

$$CF_{\sigma,out} = c_{O\&M} \cdot q^w + c_{f,CDM} + f_{tax} \quad (7)$$

整合得现金流量的计算公式为:

$$CF_{\sigma} = p_{energy}(\sigma) \cdot E + [p_{\sigma} + p_{mental+slag}(\sigma) - c_{O\&M}] \cdot q^w + (1 - c_{v,CDM}) \cdot ER \cdot P_{carbon} - c_{f,CDM} - f_{tax} \quad (8)$$

根据《关于部分资源综合利用产品增值税的优惠政策》,从 2001 年 1 月 1 日起,对利用城市生活垃圾产生的电力实行增值税即征即退政策(财税[2001]198 号)。财政部国家税务总局《关于供电工程贴费不征收增值税和营业税的通知》规定,城市生活垃圾处理费不计算营业税,只计所得税。据《中华人民共和国企业所得税暂行条例》的规定,一般企业所得税的税率为 25%。税收公式为:

$$f_{tax} = \{ p_{energy}(\sigma) \cdot E + [p_{\sigma} + p_{mental+slag}(\sigma) - c_{O\&M}] \cdot q^w + (1 - c_{v,CDM}) \cdot ER \cdot P_{carbon} - c_{f,CDM} \} \times 0.25 \quad (9)$$

3 模型中各参数取值

把模型中的参数划分为两部分,并分别对其进行描述:基础项目参数和 CDM 项目参数。基础项目参数参考了麦伟仪等^[6]的研究中 1 000 t/d 的常规等离子体气化 MSW 发电项目的数据。假设等离子体气化 MSW 发电项目的日处理量为 1 000 t/d,每年工厂的运行时间为 330 d,年处理垃圾量达 33 万 t,工厂的使用率为 90%,剩余时间根据实际需要用于工厂的维修和整顿。

3.1 基础项目

基础项目的参数主要包括等离子体气化 MSW 发电项目的投资成本、运行成本、售电收入、销售回收金属和炉渣的收入、垃圾处理收入等。

3.1.1 投资成本

常规的城市生活垃圾等离子体热解气化发电项目的投资成本 I_0 是参考垃圾焚烧发电厂的投资成本而估计的,计算公式如下:

$$\text{投资成本} = \text{垃圾焚烧发电厂投资成本} - \text{减少设备的成本} + \text{增加设备的成本}$$

减少(增加)的设备是指垃圾焚烧发电厂和等离子体气化厂间主要不同的设备,并假设除增加和减少的设备外气化厂和焚烧厂其余设备成本一样。与普通焚烧厂的设备组成相比,等离子体气化厂主要增加了气化炉、等离子体炬、水冷设备、发电机等设备,减少了焚烧炉、蒸汽循环(锅炉、发电机、冷凝器)和排烟管等设备,基础项目的投资成本如表 2 所示,其中,固定资产约占总投资成本的 76.4%。

表2 基础项目的投资成本

垃圾焚烧发电厂平均投资额/(万元·t ⁻¹)	60.5
增加设备成本/万元	43981.16
减少设备成/万元	12744.37
等离子体气化发电项目成本/万元	91736.79
固定资产/万元	70086.9

3.1.2 支出与收入

常规的城市生活垃圾等离子体热解气化发电项目的支出与收入分别为运行成本、税收与售电收入、销售回收的金属和炉渣的收入、垃圾处理费。参考垃圾焚烧发电厂运行成本的计算方法,对等离子体气化 MSW 发电项目的运行成本进行估算。两者相比,不同的是等离子体气化厂添加了焦炭的成本用于提高燃烧物的热值,并由于熔渣被玻璃化而减少炉渣卫生填埋的成本。售电收入与上网电量以及上网电价有关,分别为 504.9 kWh/t 和 0.65 元/kWh。日产炉渣约占日处理量的 25%,而回收的垃圾中约 1%的金属为废铁,按回收废铁的量来对回收金属带来的收入进行估算,项目的税率为 25%,表 3 为基础项目的运行成本和收入。表 4 对基础项目的参数进行了汇总。

表3 基础项目的运行成本与收入 元/t

运行成本	售电收入	销售回收金属和炉渣的收入	垃圾处理价格
111.8	328.2	8.8	212

表4 基础项目参数汇总表

参数	数值
投资成本 I_0 /万元	91736.79
运行成本 $c_{O\&M}$ /(元·t ⁻¹)	111.8
电价 p_{energy} /(元·kWh ⁻¹)	0.65
上网电量 E /kWh ⁻¹	504.9
年利率 i_{EF} /%	6.55
资产预期收益率 $E(R)$ /%	12.49
回收的金属、炉渣的价格 $p_{\text{metal+slag}}$ /(元·t ⁻¹)	88
垃圾处理价格 p_{σ} /(元·t ⁻¹)	212
年处理垃圾数量 q^w /万 t	33
权益资本率 e_c /%	40
偿还期 LT/a	15
税收比重/%	25

3.2 碳排放交易

3.2.1 CDM 项目成本

EcoSecurities 公司为开发 CDM 项目的能力制定的《The Guidebook to Financing CDM project》,将

传统的 CDM 项目周期分为三个阶段,第一个阶段是规划阶段,这个阶段工作主要包括可行性研究、商业计划、确定合作伙伴和项目的交通工具,拟定合同、获得许可证以及筹备资金;第二个阶段是建设阶段,建设基础设施、安装和调试设备;第三个阶段是运行阶段,项目开始运营。项目中的某些成本与清洁发展机制的不同阶段有关,针对不同类型的方法学成本计算结果也不同,可分为大规模方法学的成本计算和小规模成本计算^[2]。

国际社会建立了一套用于估算、测量、核查和核证 CDM 项目产生的减排量的程序和方法,可称之为 CDM 方法学。CDM 执行委员会已批准的方法学是可以应用到各种项目活动中的,并将方法学分为三种类型:大规模方法学、整合方法学和小规模方法学。本文使用的生物质废弃物联网发电方法学(编号:ACM0006)属于整合方法学^[8]。整合方法就是通过整合某些大规模方法学来为类似或相近类型的工程提供一个简单的方法学,因此,我们选择大规模方法学的成本计算方法对该项目进行计算。

CDM 项目在规划阶段的费用为 38 500 ~ 610 000 美元,建设阶段的费用要根据项目的具体设施设备进行确定,运行阶段的费用为 5 000 ~ 25 000 美元,并且每年有 2%的联合国使用基金^[2]。为了简化问题,并且考虑到这种大规模的 CDM 项目不需要开发新的方法学,因此,可采用较低成本实施 CDM 项目的规划和运行,取范围中的最低值作为 CDM 的成本、CDM 固定成本和可变成本,因此 CDM 项目的具体费用如表 5 所示。

表5 CDM 项目成本

	单位	数值
CDM 成本 $I_{0,CDM}$	元	354673.6
固定成本 $c_{f,CDM}$	元/a	46100
可变成本 $c_{v,CDM}$	1	2%

3.2.2 碳排放交易的收入

碳排放交易的收入与碳减排量以及碳交易价格有关^[9],即:

$$\text{碳排放交易收入} = \text{碳减排量} \times \text{碳交易价格}$$

(1) 碳减排量

碳减排量 ER 为基准项目碳排放量 BE 与项目碳排放量 PE 的差值。

①项目碳排放量

本文使用生物质废弃物联网发电方法学(编

号:ACM0006)去计算项目的碳排放量,参考城市生活垃圾焚烧释放的碳排放量,对城市生活垃圾等离子体气化发电项目的碳排放量进行估算,这里只对燃料燃烧过程释放的二氧化碳排放量进行估算。

本文采用《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第五卷介绍的采用基于 MSW 成分对废弃物的焚烧二氧化碳排放量估算的方法对项目碳排放量进行估算^[10]:

$$CO_2 \text{ Emissions} =$$

$$MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12 \quad (10)$$

其中:MSW 为湿重焚烧或露天燃烧的城市固体废物总量,t/a;WF_j 为 MSW 中废弃物类型与材料成分 j 的比例,j 为纸张、纺织品、食品废物、木材、橡胶和皮革、塑料、金属、玻璃等;dm_j 为 MSW 焚烧的成分 j 中的干物质质量(比例形式);CF_j 为成分 j 的干物质中碳的比例(即碳含量,比例形式);FCF_j 为成分 j 的碳总含量中矿物碳的比例(比例形式);OF_j 为氧化因子,城市生活垃圾(非生物量)的氧化因子为 1;44/12 为从 C 到 CO₂ 的转换因子。

中国是一个具有重大地区差异的国家,不同地区的垃圾成分和热值相差很大,因此,这里取上海地区的垃圾成分作为计算的数据。根据 1994—1998 年上海地区生活垃圾成分的测定值,预测 2000 年至 2015 年上海市区生活垃圾成分,取 2015 年的垃圾成分进行计算,如表 6 所示^[11]。

表 6 2015 年上海市区生活垃圾成分预测值 %

年份	食物	渣石	纸类	塑料	纤维	竹木	玻璃
2015	55.78	1.79	15.44	12.62	5.28	2.86	5.36

遵照《1996 年指南》(IPCC, 1997),只有废弃物中的矿物质(如塑料、某些纺织物、橡胶、液体溶剂和废油)在焚烧和露天燃烧期间氧化过程中产生的二氧化碳排放被视为净排放,应当纳入国家二氧化碳排放估算。废弃物中所含的生物质材料(如纸张、食品和木材废弃物)燃烧产生的二氧化碳排放,是生物成因排放,不应纳入国家排放总量估算中。但是,如果废弃物燃烧作为能源使用,则均应估算化石和生物成因的二氧化碳排放,但只有矿物二氧化碳纳入国家排放,而生物二氧化碳应当作为信息项,二者皆在能源部门中报告^[10],因此纳入国家排放总量估算的只有废弃物中矿物碳排放的二氧化碳。根据上海地区 MSW 成分以及不同 MSW 成分缺省的

干物质含量、总碳含量和矿物碳含量比例^[10],计算 MSW 中矿物碳的含量,计算数据如表 7 所示。MSW 中矿物碳的含量为 10.0%,每年需处理 33 万 t 的城市生活垃圾,运用公式(10)计算项目的碳排放量为 121 000 t CO₂/a。

表 7 MSW 中干物质含量、矿物碳含量 %

成分 j	MSW 中的比例	干物质含量	干物质中碳的含量	碳含量中矿物碳的含量	氧化因子	MSW 中碳的百分比
食物垃圾	55.78	40	38	—	1	
纸张	15.44	90	46	1	1	0.064
木材	2.86	85	50	—	1	
纺织品	5.28	80	50	20	1	0.422
塑料	12.62	100	75	100	1	9.47
金属	0.87	100	—	—	1	
玻璃	5.36	100	—	—	1	
其他	1.79	90	3	100	1	0.048
					共计	10.00

②基准线排放量

根据 CDM 方法学 ACM0006 计算该项目的减排量,使用化石燃料发电厂作为基准线项目^[12],碳排放量计算如下:

$$BE = EG_y \times EF_{grid,CM,y} \quad (11)$$

其中:BE 为 y 年基准线排放量,t CO₂/a;EG_y 为项目的上网电量,MWh;EF_{grid,CM,y} 为电网组合边际因子,由电量边际排放因子 EF_{grid,OM,y} 和容量边际排放因子 EF_{grid,BM,y} 加权得到,t CO₂/MWh。

中华人民共和国国家发展和改革委员会官网颁布的《关于公布 2009 年中国区域电网基准线排放因子公告》中确定了 2009 年中国区域电网的基准排放因子^[13],如表 8 所示。上海市地区属于华东

表 8 排放因子数值 t CO₂/MWh

	EF _{grid,OM,y}	EF _{grid,BM,y}	EF _{grid,CM,y}
华北区域电网	1.0069	0.7802	0.89355
东北区域电网	1.1293	0.7242	0.92675
华东区域电网	0.8825	0.6826	0.78255
华中区域电网	1.1255	0.5802	0.85285
西北区域电网	1.0246	0.6433	0.83395
南方区域电网	0.9987	0.5772	0.78795
海南省区域电网	0.8154	0.7297	0.77255

区域电网,本项目的上网电量为 16 661.7 万 kWh,因此运用公式(11)计算得基准线项目碳排放量为 130 386.1 t CO₂/a。

③碳减排量

根据碳减排量的公式 $ER=BE-PE$,求得碳减排量为 9 386.1 t CO₂/a,表 9 为碳减排量计算参数。

表 9 碳减排量计算参数 t CO₂/a

参数	数值	参数	数值
项目碳排放量 PE	121000	基准项目碳排放量 BE	130386.1

(2)碳排放交易价格

参考 2009 年到 2011 年的碳排放交易价格,2009—2011 年的碳排放交易价格在 9.2~18 美元之间^[14],取中间值 13.6 美元为碳交易价格,即为 $p_{\text{carbon}}=125.2$ 元/CER。表 10 对 CDM 项目参数的取

值进行了汇总。

表 10 CDM 项目参数汇总表

参数	数值
CDM 项目投资成本 $I_{0,CDM}$ /元	354673.6
CDM 项目可变成本 $c_{v,CDM}$ /%	2
CDM 项目固定成本 $c_{f,CDM}$ /(万元·a ⁻¹)	4.61
碳减排量 ER /(t CO ₂ ·year ⁻¹)	9386.1
碳排放交易价格 p_{carbon} 元/CER	125.2

4 计算结果与分析

4.1 计算结果

当 $NVP=0$ 时,根据表 4 和表 10 的数据以及公式(12),计算出在增加碳排放交易计算后,垃圾处理价格为 204.9 元/t。

$$p_{\sigma} = \frac{\sum_{t=-2}^{13} \frac{I_{inv}(t)}{[1+E(R)]^{t+\sigma-2017}} + \sum_{t=-\sigma-2018}^{\sigma+22-2018} \frac{(c_{O\&M} - p_{\text{metal+ash}}) \cdot q^w + c_{f,CDM} - p_{\text{energy}}(\sigma) \cdot E - (1 - c_{v,CDM}) \cdot ER \cdot p_{\text{carbon}}(\sigma)}{[1+E(R)]^t} \times 0.75}{\sum_{t=-\sigma-2018}^{\sigma+22-2018} \frac{q^w}{[1+E(R)]^t} \times 0.75} \quad (12)$$

4.2 结果分析

(1)敏感因数分析

从袁伟仪等的研究中^[6]可知,常规的等离子体辅助热解气化发电厂的投资额对垃圾处理价格的影响最大,其次是电价。因此,本文通过改变投资额以及电价,计算垃圾处理价格的变化范围,分析这两个参数对其的影响程度。从单因素敏感分析可知,当投资额和电价在-20%~20%内变动时,处理价格的变动率分别为:-50.6%~50.6%和 32.5%~-32.5%,如图 2 所示。

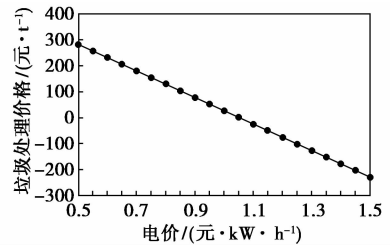
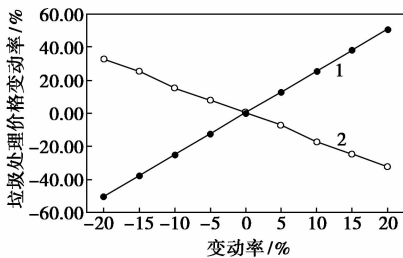


图 3 不同电价对应的不同垃圾处理价格



1—投资额;2—电价

图 2 单因素敏感分析

如图 3 所示,电价改变时,电价越高,垃圾处理价格越低,当电价为 1.05 元/kWh 时,垃圾处理价格接近 0 元/t,此时,该项目可不需要政府的垃圾处理补贴。

(2)投资决策评价指标

根据现金流量表计算静态投资回收期:(10-1)+|-2 414.7|/4 381.5=9.6 a,动态投资回收期为:(17-1)+|-1 647.6|/524.6=19.1 a。无论是静态投资回收期还是动态投资回收期(含建设期)都小于经营期(25 a)。该项目的内部收益率为 14%,净现值为 11 133.0 万元。

(3)对比分析

对常规的等离子体气化 MSW 发电项目与等离子体气化 MSW 发电 CDM 项目的投资运行成本、各收入、决策投资评价指标进行对比分析,如表 11、表 12 所示。在考虑碳排放交易的情况下,虽然该项目的投资运行成本略高于基础项目,但垃圾处理价格比基础项目低了 7.1 元/t,增加碳交易收入 3.6 元/t,这降低了政府需要补贴的垃圾费和提高了该项目的收益。

对比两者的投资决策评价指标,等离子体气化 MSW 发电 CDM 项目的动、静态投资回收期略高于基础性项目,但投资回收期均小于经营许可期,净现值也低于基础项目,但与同等规模的山西大同生活垃圾焚烧发电厂(投资回收期 9.55a,内部收益率 10.29%,净现值 5 314 万元)^[6]相比,该项目还是具有一定经济可行性的。

表 11 投资运行成本和各收入对比

项目	基础项目	等离子体气化 MSW 发电 CDM 项目	两者差值
总投资成本/万元	91736.79	91772.26	35.47
运行成本/(元·a ⁻¹)	111.8	112.0	0.2
垃圾处理价格/(元·t ⁻¹)	212.0	204.9	7.7
碳交易收入/(元·t ⁻¹)	无	3.6	3.6
售电收入/(元·t ⁻¹)	328.2	328.2	0
回收金属、炉渣收入/(元·t ⁻¹)	88	88	0

表 12 投资决策评价指标对比

	基础项目	等离子体气化 MSW 发电 CDM 项目	两者差值
静态投资回收期/a	9.4	9.6	0.2
动态投资回收期/a	17.0	19.1	2.1
内部收益率/%	14.0	14.0	0
净现值/万元	11780.6	11133.0	647.6
分析结果	具有一定的经济可行性	具有一定的经济可行性	

5 结论

本文使用净现值法建立 1 000 t/d 城市生活垃圾等离子体气化发电 CDM 项目的垃圾处理价格计算模型,并根据 1 000 t/d 城市生活垃圾等离子体热解气化发电项目中投资运行成本和现金流量,以及 CDM 项目的投资运行成本和现金流量,对垃圾处理费的价格进行计算,研究结果如下:

(1)当净现值为 0 时,考虑碳排放交易时的垃圾处理价格为 204.9 元/t。虽仍然比垃圾焚烧发电项目的垃圾处理价格高,但比一般的等离子体气化发电项目的垃圾处理价格 212 元/t 低 7.1 元/t,投资成本和运行成本分别增加了 354 673.6 元和 46

100 元/a,碳排放交易收入为 117.7 万元/a。

(2)电价与垃圾处理价格成反比,当电价为 1.05 元/kWh(比 0.65 元/kWh 增加 61.5%)时,垃圾处理价格接近 0。虽然难以降低 CDM 项目的成本,但 CDM 项目的成本只约为总投资成本的十万分之四,因此降低基础项目的投资额也能有效地降低垃圾处理价格。

(3)与一般的等离子体气化发电项目相比,该项目的静态投资回收期和动态投资回收期均提高了,但仍在经营期内。净现值下降了 647.6 万元,但与一般的垃圾焚烧发电厂相比,有较高的经济可行性。

(4)虽然投资运行成本以及垃圾处理价格均比一般的垃圾焚烧发电厂高,但等离子体气化城市生活垃圾在环境保护上能起到更加积极的作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[EB].<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.
- [2] EcoSecurities.Guidebook to Financing CDM Projects[Z].2007.
- [3] 曹小玲,陈建行,熊家佳,等.等离子体气化技术处理城市生活垃圾的研究现状[J].现代化工,2014,33(9):26-31.
- [4] 王希,张春飞,王晓亮,等.城市生活垃圾等离子体气化技术研究进展[J].现代化工,2013,32(12):20-24.
- [5] 中国清洁发展机制网.CDM 项目数据库系统[EB].<http://cdm.ccchina.gov.cn/NewItemTable.aspx>.
- [6] 麦伟仪,唐兰,赵矿美,等.城市生活垃圾等离子体辅助热解气化发电经济性分析[J].可再生能源,2016,(5):771-779.
- [7] 杨德宇,俞建荣.等离子体熔融气化技术处理废弃物的研究[J].新技术新工艺,2014,(2):106-9.
- [8] 马燕合,郭日生.清洁发展机制项目开发百问百答[M].北京:科学出版社,2009.
- [9] Sebastian.Model for economic feasibility of municipal solid waste treatment methods[D].Pontifica Universidade Catholic-Department of Electrical Engineering,2011.
- [10] 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南[EB/OL].<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/index.html>.
- [11] 张益,杨承休.上海市区生活垃圾产生量及成分分析[J].环境卫生工程,2000,8(3):104-106.
- [12] 李颖,李静.生物质发电项目碳排放计算方法应用研究[J].环境科学与管理,2012,37(3):22-24.
- [13] 关于公布 2009 年中国区域电网基准线排放因子公告[EB].http://qhs.ndrc.gov.cn/qj/zjz/200907/t20090703_289357.html.
- [14] Alexandre Kossoy, Pierre Guigon.State and trends of the carbon market[R].2012.■