

固体废物焚烧处置及其清洁发展机制

李 崇^{1,2}, 任国玉³, 高庆先^{2*}, 马占云²

1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012

3. 国家气候中心, 北京 100081

摘要: 包含化石碳(如塑料等)在内的废物焚烧处置和露天燃烧是废物部门中最重要的 CO₂ 排放来源之一。在全国节能减排大背景下,废物焚烧发电成为温室气体减排的有效途径。对我国固体废物焚烧处置现状及趋势进行了分析,同时研究了国内城市固体废物和危险废物焚烧的区域特征。结果表明:随着经济发展和废物产生量的急剧增长,废物焚烧处置技术必将成为我国未来固体废物处置的主要方式;伴随着废物焚烧行业的发展,有大量项目可以注册 CDM(清洁发展机制)项目,可为温室气体减排做出较大的贡献。

关键词: 废物焚烧; 二氧化碳; 减排; 清洁发展机制(CDM)

中图分类号: X524 文献标志码: A 文章编号: 1001-6929(2011)07-0819-09

Solid Waste Incineration Disposal and Associated CDM in China

LI Chong^{1,2}, REN Guo-yu³, GAO Qing-xian², MA Zhan-yun²

1. College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

3. National Climate Center, Beijing 100081, China

Abstract: CO₂ emissions from the incineration of waste containing fossil carbon (such as plastics) and open burning are some of the most important emission sources in the waste sector. Under the background of China's national energy saving and emission reduction, waste incineration for power is an important and effective greenhouse gas (GHG) mitigation strategy. In this paper, the current situation and trend of solid waste incineration are analyzed, and the regional characteristics of municipal solid waste and hazardous waste incineration are studied. The results showed that with China's economic development and rapid growth of waste generation, waste incineration disposal technology will become a primary measure for solid waste treatment in the future. With the development of the waste incineration industry, a large number of projects can be registered as Clean Development Mechanism (CDM) projects, which will make major contributions to GHG mitigation.

Key words: waste incineration; CO₂; emission reduction; Clean Development Mechanism(CDM)

全球气候变暖严重影响了人类环境和自然生态,导致水资源失衡、农业减产、生态系统严重受损,对人类社会可持续发展带来了巨大冲击^[1-2]。《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等一系列国际公约、协议的签署均是国际社会应对

气候变化的具体行动。各国政府不断出台政策和举措遏制化石燃料的使用,以降低温室气体对全球气候变化的影响^[3]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)全球气候变化研究第四次评估报告^[4]指出:气候变暖的原因除了自然因素影响以外,主要是归因于人类活动,特别是与人类活动中排放 CO₂ 的程度密切相关。我国目前正处在经济高速发展和城市化迅速加快阶段,面临来自国际和自身发展的巨大温室气体减排压力,能源安全和生态安全也面临着威胁。

随着我国经济的高速发展,人民生活水平迅

收稿日期: 2010-10-27 修订日期: 2011-01-25

基金项目: 国家环保公益性行业科研专项(2010467051)

作者简介: 李 崇 (1985 -), 女, 辽宁沈阳人, chong0710@yahoo.com.cn.

* 责任作者 高庆先(1962 -), 男, 山西太原人, 研究员, 博士, 主要从事气候变化与大气环境研究, gaoqx@craes.org.cn

速提高,城市化进程不断加快,固体废物产生量与日俱增,随之产生的环境污染和社会问题日益凸显,已成为城市发展中面临的棘手问题之一,引起社会各界的普遍关注^[5-6]。合理有效处置固体废物成为解决这一难题的关键。焚烧处置是处置废物的手段之一,在发达国家及一些新兴工业国家中所占比例较大,在其他第三世界国家中所占比例较小,但发展非常迅速^[7]。废物焚烧发电能较好地实现废物处置减量化、资源化、无害化的治理目标,在世界得到越来越广泛的应用,也必将成为我国特别是人多地少的发达地区未来废物处置的主要方式^[8-9]。在2009年哥本哈根举行的《联合国气候变化框架公约》第十五次缔约方会议(COP15)上,“碳市场与投资者协会”主席阿比德·卡马利提出碳市场的政策不确定性主要来源为:“某些发达国家为逃避《京都议定书》规定的强制减排义务,不愿意续签这份文件,因此导致整个碳市场的基础不稳;发达国家承诺的减排CO₂目标还不够高,不能为碳市场提供足够的需求”^[10]。虽然京都议定书时代,碳市场发展存在不确定因素,但CDM(清洁发展机制)为温室气体减排做出了很大的贡献。随着废物焚烧处置技术和规模的发展,将有大量废物焚烧CDM项目陆续注册,不仅可以使废物作为能源和资源得到有效利用,还能实现固体废物管理领域的温室气体减排,并且获得额外的资金或技术援助^[11-12]。

为了解我国固体废物的焚烧处置现状,以

2008年为基准年,利用住房和城乡建设部统计年报及相关部门的统计数据资料对国内城市固体废物和危险废物的焚烧处置现状进行了详细分析。

1 我国固体废物焚烧处置现状及趋势

固体废物主要包括城市固体废物、污泥、工业固体废物及其他类型废物,其中城市生活垃圾是我国城市废物的主要形式。城市生活垃圾的处置以资源化、无害化、减量化作为基本处置原则,目前主要处置方式有卫生填埋、堆肥和焚烧等。

截至2008年底,《中国城市建设统计年鉴》^[13]显示我国无害化处置厂(场)共有509座,无害化处置能力达315 153 t/d;其中卫生填埋厂(场)407座、堆肥厂(场)14座、焚烧厂(场)74座,处置能力分别为253 268、5 386和51 606 t/d。现阶段我国固体废物主要以填埋方式为主(占60%以上),以焚烧和堆肥为辅。

表1为2001年以来我国城市固体废物3种无害化处置方式的处置量。由表1可知,自2001年有系统的统计数据以来,卫生填埋的处置量趋于稳定,只在2007年和2008年略有增加;堆肥的处置量逐年减少,特别是最近几年减少趋势显著,在2008年仅有 174.01×10^4 t经堆肥处置;焚烧处置量则从2001年的 170.19×10^4 t增加到2008年的 $1 569.74 \times 10^4$ t,增加了8倍多,其所占比例也由2001年的2.1%增加到2008年的15.2%,在未来相当长的一段时间内焚烧处置量呈逐年增加趋势,并将成为我国城市废物的主要处置方式。

表1 我国城市固体废物无害化处置量

Table 1 The municipal solid waste amounts of harmless treated in China

10⁴ t

处置技术	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
卫生填埋	6 976.50	6 612.00	6 403.98	6 888.09	6 857.10	6 408.20	7 663.58	8 424.01
堆肥	693.18	517.12	716.75	730.01	345.40	288.20	249.97	174.01
焚烧	170.19	275.28	369.94	449.00	791.00	1 137.60	1 435.05	1 569.74

图1为2001年以来我国城市固体废物焚烧处置的变化趋势。由于我国人多地少、土地资源短缺,随着填埋处置规范化标准不断升高以及受处置运输成本大幅增加等问题的影响,填埋处置的规模将逐渐缩小,焚烧处置的规模将不断增大,尤其是焚烧发电带来的节能减排效益将使之成为今后我国固体废物处置的主流趋势。而堆肥处置在我国虽起

步较早,但近年来却日趋减少,处置量不到全国总量的2%。主要问题是:①长期使用垃圾堆肥会造成土壤的严重“渣化”。由于未进行废物分类处置,堆肥中的陶瓷和玻璃等对作物危害很大,给农事生产作业带来不安全因素;②垃圾堆肥的肥效较低、化学成分不稳定,很难取代化肥获得市场占有率^[14-16]。但从长远来看,堆肥可作为填埋和焚烧处

置和的预处理手段,相当于好氧发酵的作用,可以解决填埋处置中渗滤液气味大和焚烧处置中废物的水分高、热值低等问题。

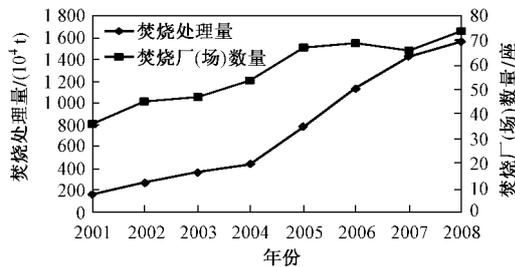


图 1 我国城市固体废物焚烧处置变化趋势

Fig. 1 The trends of municipal solid waste incineration in China

固体废物要达到一定的热值,具备一定的燃烧条件才能借助焚烧处置,将热能转化为电能,实现废物的资源化利用^[18]。城市固体废物热值低,是制约焚烧处置发展的瓶颈问题之一。表 2 为 20 世纪 90 年代初我国和日本等国部分城市的垃圾成分和热值^[17]。由表 2 可知,我国城市消费水平相对较低,城市固体废物中不可燃成分(如灰/土)比例较高,废物的热值远低于发达国家。日本东京的城市固体废物热值高达 7 934 kJ/kg,名古屋也达到了 6 646 kJ/kg;而发展中国家城市废物的热值普遍较低,一般在 3 000 kJ/kg 左右,是发达国家的一半,如北京为 2 090 ~ 2 508 kJ/kg。发达国家的城市固体废物主要是以纸和厨余为主,如日本东京二者之和占废物总量的 74.9%,名古屋也达到了

表 2 国内外城市的垃圾成分与热值^[17]

Table 2 The components and heat values of municipal solid waste in typical cities at home and abroad

城市	w/%									含水率/ %	可燃成 分/%	热值/ (kJ/kg)
	纸	玻璃	金属	塑料	纤维	木/草	厨余	灰/土	其他			
东京	42.0	1.2	1.2	8.5	3.8	4.7	32.9	0.1	5.6	47.9	45.0	7 934
孟买	10.0	0.2	0.2	2.0	3.6	20.0	20.0	38.0	6.0	40.0	22.0	3 344 ~ 4 180
马尼拉	14.5	2.7	4.9	7.5	1.3	7.7	31.8	6.0	23.6	42.6	33.0	6 136
北京	7.8	2.4	1.1	2.8	1.4	2.6	29.2	48.2	4.5	36.4	15.4	2 090 ~ 2 508
名古屋	29.0	0.0	2.0	12.4	3.0	5.1	39.5	2.7	6.4	54.7	40.9	6 646
科伦坡	11.1	0.8	2.5	2.5	0.5	0.2	55.4	24.1	2.5	40.0	33.0	6 897
曼谷	13.9	2.0	1.8	11.0	6.9	14.9	36.5	12.6	0.4	59.1	35.7	4 723
上海	2.6	1.3	2.9	1.6	0.3	7.1	31.5	51.1	1.6	40.9	4.2	2 926 ~ 3 344

68.5%;而发展中国家主要是以厨余、灰土和木/草为主,如北京的三者之和占废物总量的 80.0%,孟买和曼谷分别达到 78.0% 和 64.2%。

随着国内城市生活水平不断提高,固体废物正向含水率低、可燃成分增加的趋势发展。表 3 为国内部分城市废物的成分变化和热值情况^[19-20]。由于没有收集到同一城市不同时段的热值,很难从时间尺度进行对比分析,但总的可以看出,国内废物的热值升高趋势明显。我国废物焚烧还处于起步阶段,焚烧处置量较少,但发展较快。焚烧处置要特别注意防止二噁英等有毒有害气体排放造成的二次污染。通过使用烟气净化设备,如静电除尘器或布袋除尘器、喷入活性炭吸附等方法可以去除烟气中的粉尘等有毒有害气体^[21-22]。发达国

家在耐腐蚀锅炉热交换管材开发、提高锅炉传热效率、复合型垃圾发电系统等方面进行了大量研究和技术开发^[23-24]。

据研究,固体废物还有固化处置、热解处置、高新技术垃圾分选处置、废物无害化处理筛选回收、垃圾衍生燃料(RDF)等新的资源化处置方法和手段^[25]。

国内外的垃圾焚烧处置主要分为流化床焚烧炉技术、回转窑焚烧炉技术、炉排型焚烧炉技术及热解气化焚烧炉技术 4 类,不同种类焚烧炉的处置能力、运行成本、存在缺陷等关键技术参数如表 4 所示^[26]。由表 4 可知,目前国内垃圾焚烧厂以炉排炉和流化床炉为主。发展趋势是新建垃圾焚烧厂将以大、中规模焚烧厂为主;炉排炉与流化床炉平分秋色,小型焚烧炉市场将逐渐减小。

表3 国内典型城市的垃圾成分及热值

Table 3 The components and heat values of municipal solid waste in typical cities of China

城市	年份	w/%								含水率/ %	热值/ (kJ/kg)
		塑料橡胶	纸张	纺织物	木/竹	厨余	金属	玻璃	灰/土		
辽宁沈阳 ^[19]	2000	11.00	7.60	1.70	1.50	67.50	0.50	2.80	2.30	58.07	5 016
山东东阿 ^[19]	2000	10.05	5.00	2.50	1.00	42.50	1.50	2.00	25.00	41.17	4 218
浙江金华 ^[19]	2002	15.70	12.15	5.06	6.33	43.07	3.80	2.03	11.86	51.56	5 581
广东东莞 ^[19]	2002	19.28	6.04	16.06	7.83	22.23	6.10	3.37	10.00	31.33	8 839
四川成都 ^[20]	2004	41.00	41.89	5.37	2.60		1.07	8.07			5 632

表4 垃圾焚烧炉技术比较

Table 4 The comparison of waste incineration technology

项目	流化床焚烧炉技术	回转窑焚烧炉技术	炉排型焚烧炉技术	热解气化焚烧炉技术
主要应用地区	日本、美国	美国、丹麦、瑞士	欧洲、美国、日本	加拿大
处置能力	中小型(150 t/d 以下)	大中型(200 t/d 以上)	大型(200 t/d) 以上	中小型(150 t/d) 以下
运行费用/初投资	高/高	较低/较高	较高/高	中/较高
入炉垃圾要求	需分类破碎至 15 cm 以下	除大件垃圾外,不需分类破碎	除大件垃圾外,一般不分类破碎	除大件垃圾外,一般不分类破碎
垃圾停留时间	固体垃圾在炉中停留 1~2 h,气体在炉中约几秒	固体垃圾在回转窑内停留 2~4 h,气体在燃尽室约几秒	固体垃圾在炉中停留 1~3 h,气体在炉中约几秒	固体垃圾在第 1 燃烧室约 3~6 h,气体在第 2 燃烧室约几秒
腐蚀防治/污染防治	较难、尚无有效方法/较难	较难、尚无有效方法/较难	较难、尚无有效方法/较易	较难、尚无有效方法/较易
其他 ¹⁾	生产供应商有限;燃料种类受到限制;燃烧温度较低、燃烧效率较佳、燃烧稳定性一般、燃烧速度较快、燃尽率高;流化床内燃烧温度为 800~900℃;炉内翻滚运动;瘦高型、体积大	生产供应商有限;燃料种类受到限制;可高温安全燃烧、残灰颗粒小、燃烧稳定性一般、燃烧速度一般、燃尽率较高;回转窑内温度为 600~800℃、燃尽室温度为 1 000~1 200℃;回转窑内回转滚动;长圆型、体积大	技术已成熟;燃料适应性广;燃烧可靠、余热利用较好、燃烧稳定性好、燃烧速度较快、燃尽率高;垃圾层表面温度为 800℃,烟气温度为 800~1 000℃;取决于炉排的运动;瘦高型、体积大	生产供应商有限;燃料适应性较广;先热解、气化、再燃烧,燃烧稳定性较好、燃烧速度较慢、燃尽率高;第 1 燃烧室温度为 600~800℃,第 2 燃烧室温度为 800~1 000℃;推进器推动;紧凑型、体积较大
存在缺陷	操作运转技术高、需添加流动媒介、进料颗粒较小、单位处置量所需动力高、炉床材料易损坏	连接传动装置复杂,炉内耐火材料易损坏,焚烧热值较低、含水分高的垃圾时有一定难度	操作运转技术高、炉排易损坏	对氧量、炉温控制有较高要求,含水率高的垃圾在无油助燃时不能稳定燃烧
国内推广情况	以国产化技术为主,如北京中科通用能源环保有限责任公司和浙江大学的异重循环流化床技术.采用国外进口技术的有:哈尔滨垃圾焚烧厂(已建成)、太原市垃圾焚烧厂(已建成)和大连市垃圾焚烧厂(在建),均采用日本荏原制造所的内循环流化床技术	有一些应用实例,如广州东莞、辽宁大连等地,但规模较小	主要依靠引进国外先进的焚烧炉,其中进口炉型应用较多的是三菱-马丁逆推炉排,主要应用于深圳环卫综合处置厂、广州李坑垃圾焚烧厂一期等.目前国内已经自主开发了机械往复炉排炉技术,应用项目也已经有 10 余项	惠州市垃圾焚烧发电厂、深圳龙岗中心城垃圾焚烧发电厂等采用加拿大瑞威环境技术有限公司的 CAO(空气氧化控制)热解技术.深圳汉氏固体废物处置设备有限公司,开发了热解气化焚烧炉技术,应用于太原医疗垃圾焚烧厂和温岭市垃圾焚烧发电厂

1) 包括垃圾焚烧炉的设计及制造水平、燃料适应性、燃烧性能、炉内温度和垃圾运动方式。

2 城市固体废物焚烧处置的区域特征

城市固体废物包括生活垃圾、花园(庭院)和公园垃圾、商业/公共机构垃圾^[27]。2008年,中国城市固体废物的清运量为 $15\,437.7 \times 10^4$ t,处置量为 $13\,392.5 \times 10^4$ t,无害化处置量为 $10\,306.6 \times 10^4$ t,无害化处置率达到66.8%,其中焚烧处置 $1\,569.74 \times 10^4$ t,占无害化处置总量的15.2%。考虑到我国地域辽阔,南北气候差异较大,东西经济发展水平不均,不同区域居民的生活习惯和生活

水平存在差异等因素,同时考虑到行政隶属关系,将全国划分为7个区域:华北地区(北京、天津、河北、山西、内蒙古)、东北地区(辽宁、吉林、黑龙江)、华东地区(上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东)、华中地区(河南、湖北、湖南)、华南地区(广东、广西、海南)、西南地区(重庆、四川、贵州、云南、西藏)、西北地区(陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)。各区域城市固体废物的焚烧处置状况^[13]如表5所示。

表5 2008年各区域城市固体废物焚烧处置状况

Table 5 The regional status of municipal solid waste incineration in 2008

地区	垃圾产生量/(10^4 t)	无害化处置量/(10^4 t)	焚烧厂(场)数量/座	焚烧处置量/(10^4 t)	焚烧处置率/%
华北	2 205.32	1 547.86	6	127.71	8.3
东北	2 258.99	897.54	4	39.73	4.4
华东	4 483.77	3 641.15	36	904.35	24.8
华中	1 982.59	1 193.14	2	406.21	34.1
华南	2 198.64	1 452.69	20	64.89	4.5
西南	1 273.39	1 016.45	5	25.55	2.5
西北	1 034.00	545.87	1	1.30	0.2
全国 ¹⁾	15 437.70	10 306.60	74	1 569.74	15.2

1) 由于《中国城市建设统计年鉴2008年》在统计过程中的误差,各个城市规模数据合计量与全国总量有一些差距。

由表5可知,受环境因素、区域特征及经济体制等方面影响,我国城市固体废物焚烧处置的规模及结构在全国及各区域分布不同。焚烧厂(场)数量最多的为华东地区(36座);华南地区次之(20座),但其城市固体废物的焚烧处置率仅为4.5%,低于全国平均水平,可见在未来焚烧量上升空间会很大;其他地区的焚烧厂数量均较少。虽然华中地区只有2座,但该地区焚烧处置率已达到了34.1%,是全国焚烧处置率的2倍多,是我国焚烧处置率最高的区域。华北、东北、西南、西北等地区废物的焚烧处置量较少,处置率也较低,特别是西北地区焚烧处置率仅为0.2%,需要大力发展

焚烧处置技术。

城市规模和不同规模的城市因经济发展水平及其他综合因素的限制,使废物的处置状况差异很大。为更清楚地了解国内城市固体废物的处置状况,现将我国655个城市按规模划分为超大城市(200×10^4 人以上)、特大城市($> 100 \times 10^4 \sim 200 \times 10^4$ 人)、大城市($> 50 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ 人)、中等城市($20 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ 人)和小城市(20×10^4 人以下),并对2008年不同规模城市的固体废物焚烧处置状况^[13]进行了统计分析。由表6可知,2008年末,我国废物焚烧厂大部分集中在大城市以上规模的城市中,中等城市和小城市较少甚至

表6 2008年不同规模城市固体废物焚烧处置状况

Table 6 The incineration status of municipal solid waste in different city in 2008

城市规模	垃圾产生量/(10^4 t)	无害化处置量/(10^4 t)	焚烧厂(场)数量/座	焚烧处置量/(10^4 t)	焚烧处置率/%
超大城市	5 866.25	5 046.53	32	774.82	15.4
特大城市	3 534.60	2 279.83	22	519.12	22.8
大城市	4 082.31	2 132.89	16	237.90	11.2
中等城市	1 694.40	779.55	3	37.90	4.9
小城市	243.78	67.69	0	0	0
全国 ¹⁾	15 437.70	10 306.60	74	1 569.74	15.2

1) 由于统计过程中的误差,各城市数据总合不等于全国总量。

没有焚烧厂。特大城市的固体废物焚烧处置率很高,焚烧处置量占无害化处置量的22.8%。超大城市的焚烧厂数量多,废物总焚烧量相对较大,但焚烧处置率却不高,可见焚烧处置技术在超大规模的城市内存在发展空间,提高超大城市的焚烧处置率将会带动我国整个焚烧行业的发展,对其未来起着至关重要的作用。

3 危险废物焚烧处置的区域特征

随着国民经济的快速发展,每年我国都有大量包括医疗废物在内的危险废物产生,且种类和数量也在不断地增加,给城市环境带来压力也不

断加剧。国家环境保护部颁布的《国家危险废物名录》中指出^[28],危险废物包括医院临床废物、医药废物、非药物药品、农药废物和木材防腐剂废物等共49类。2008年全国危险废物的产生量为 $1\,357 \times 10^4$ t,比2007年增长25.8%,处置量(不包括贮存量)为 389.33×10^4 t,处置率仅为28.69%,但比上年增长12.4%。2008年末,我国共有危险废物集中处置厂518座,处置能力达19 362 t/d,其中焚烧处置能力为13 909 t/d。全国7个区域危险废物的集中处置状况^[29]如表7所示。

表7 2008年各区域危险废物集中处置状况

Table 7 The regional treatment status of hazardous waste in 2008

地区	处置厂数量/座	处置能力/(t/d)	危险废物处置量/t	焚烧			填埋			其他方式的处置量/t
				处置能力/(t/d)	处置量/t	处置率/%	处置能力/(t/d)	处置量/t	处置率/%	
华北	51	2 649	108 810	2 223	80 334	73.8	92	23 665	21.7	4 811
东北	71	780	89 146	505	64 495	72.4	275	24 652	27.7	0
华东	232	9 931	596 401	8 094	527 232	88.4	763	63 171	10.6	5 998
华中	18	134	29 466	133	29 416	99.8	1	50	0.2	0
华南	103	2 991	287 551	2 225	179 300	62.4	422	44 534	15.5	63 717
西南	29	263	35 769	228	30 110	84.2	35	5 660	15.8	0
西北	14	2 618	152 986	504	78 268	51.2	115	4 718	3.1	70 000
全国 ¹⁾	518	19 362	1 300 129	13 909	989 154	76.1	1701	165 548	12.7	145 427

1) 由于《中国环境统计年鉴2008年》在统计过程中的误差,各城市数据总和并不等于全国总量。

由表7可知,我国危险废物的集中处置大部分通过焚烧进行,全国平均焚烧处置率为76%。2008年,华东地区有232座废物处置厂,占全国的44.8%,日处置能力达9 931 t,其中焚烧处置能力为8 094 t/d,年焚烧处置量达 52.72×10^4 t,占该地区总处置量的88.4%。华南、华北地区的危险废物的焚烧处置能力和处置量均超过全国平均水平,但焚烧处置率不高,其中华南地区仅为62.4%,远低于全国平均值。其他地区的焚烧处置能力较低,尤其是华中地区,其焚烧处置能力仅为133 t/d,但焚烧处置率高达99.8%,全国最高。目前我国危险废物管理的法律法规还不健全,专门针对危险废物的法律还未制订;相关部门没有对危险废物进行全过程管理,尤其是对源头的控制管理;危险废物的运输、存储技术还不够成熟,许多环节存在高危隐患;危险废物的处置技术与发达国家相比还停留在较低级的水平,大量危险废

物只是进行简单处理,甚至是随意排放,且排放量很大,导致处置率、综合利用率较低。为摆脱这种局面,需要加强危险废物处置过程中的各个环节的管理。采用焚烧工艺可以最大程度地将危险废物分解、稳定,减少废物体积,降低危害,节省土地,具有十分显著的社会、环境和经济效益^[30]。

4 我国固体废物焚烧处置与CDM

CDM是《京都议定书》引入的3种灵活履约机制之一,旨在减缓全球温室效应的发展速度,降低温室气体的减排成本。该机制允许工业化国家的投资者在发展中国家实施有利于发展中国家可持续发展的减排项目,从而减少温室气体排放量,以履行发达国家在《京都议定书》中所承诺的限排或减排义务。CDM不仅提高了温室气体减排的可行性,也为发展中国家寻求技术与资金支持提供了新的途径^[31]。目前已得到越来越多的地方政府和企业的重视,许多省已经设立或将要设立CDM

技术服务机构,促进我国企业与发达国家合作开发 CDM 项目. 笔者利用《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)网站和我国清洁发展机制网站上公布的信息,针对国内外 CDM 项目的减排情况,对垃圾焚烧发电 CDM 项目发展进行了详细研究,旨在促进垃圾焚烧发电 CDM 项目及整个焚烧行业的发展,达到节能减排目的.

截至 2010 年 9 月 7 日,国家发展和改革委员会已批准 2 685 个 CDM 项目,涉及新能源与可再生能源、节约和提高能效、甲烷回收利用、燃料替代和垃圾焚烧发电等相关行业,以二氧化碳当量计算,估计年减排量已超过 4.9×10^8 t^[32]. 截至 2010 年 9 月,联合国 CDM 执行理事会(EB)公示的数据显示^[33],根据 UNFCCC 要求,我国已注册的 CDM 项目 963 个,减排潜力巨大(见图 2),年减排量预计可达 233 017 951 t(以二氧化碳当量计算,下同),占所有东道国已注册项目年估计减排量的 61%. 另外,所有已签发的 CDM 项目减排量数据表明,我国签发的减排量已达到 222 949 998 t(见图 3),达到已签发减排量的 51%,为全世界的节能减排做出了巨大贡献.

废物焚烧发电在实现温室气体减排的同时还能产生更多的环境、经济和社会效益,已成为极具发展潜力的新兴产业,国家发展和改革委员会已把城市固体废物焚烧发电确定为重点扶持产业. 申请 CDM 项目可以促进废物焚烧发电技术的进步,符合可持续发展战略要求,且发展前景十分广阔. 但鉴于起步晚等原因及不利因素影响,目前我

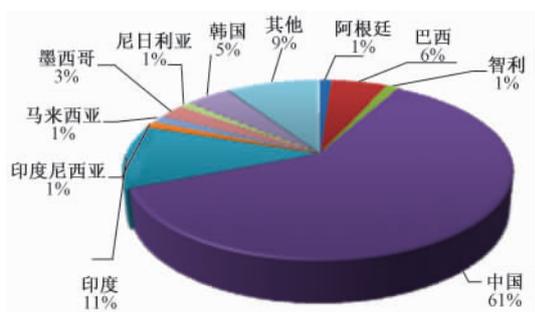


图 2 UNFCCC 已注册 CDM 项目的年均减排
Fig. 2 The expected annual average Certification Emission Reductions from registered projects in UNFCCC

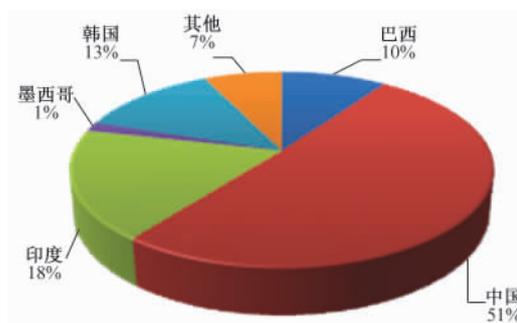


图 3 UNFCCC 东道国已签发的 CDM 项目减排情况

Fig. 3 The situation issued of Certification Emission Reductions by host party in UNFCCC

国垃圾焚烧发电 CDM 项目开发进展缓慢. 根据中国清洁机制网站上公布的统计信息,截至 2010 年 9 月 7 日,国家发展和改革委员会批准的所有 CDM 项目中垃圾焚烧发电项目有 7 个,估计年减排量 1 439 322 t(见表 8),其中已批准项目 3 个、已注册项目 3 个、已签发项目 1 个,已签发减排量 28 333 t^[32].

由表 8 可知,目前国内废物焚烧发电 CDM 项目的开发多集中在东部沿海地区,其中大多数是在经济发达或较为发达的城市. 与其他可再生能源发电 CDM 项目开发情况相比,废物焚烧发电 CDM 项目的开发还处于起步阶段,未形成规模. 但其可能对国家温室气体减排贡献潜力很大. 根据中国能源网^[34]提供的数据和计算方法,标准煤排放系数指焚烧 1 kg 标准煤相当于排放 2.493 kg CO₂,由表 8 可知,已签发、已注册和已批准的垃圾焚烧发电 CDM 项目可实现年减排量 1 439 322 t,如果考虑到这些项目的焚烧发电效益,经计算,可以替代约 577 345.37 t 标准煤的 CO₂ 排放量. 研究^[35]表明,美国生活垃圾平均产生电能为 520 kW·h/t,而国内只有 200 kW·h/t,可见,通过对垃圾进行分类处置、提高垃圾热值和改进焚烧技术,必将带来更大效益的电力和 CO₂ 减排量,且发展空间巨大. 当前,我国城市固体废物焚烧需求逐步加大,在国家拉动内需、促进发展的政策鼓励下,废物焚烧技术的进步也将取得长足发展,这都为国内废物焚烧发电 CDM 项目的发展提供了良好的发展空间.

表8 我国垃圾焚烧发电 CDM 项目信息

Table 8 The CDM projects information of waste incineration for power in China

项目名称	所在地	减排类型	进展情况	批准时间	注册时间	估计年 减排量/t
济南垃圾填埋气发电项目	山东	垃圾焚烧发电	已签发 28 333 t	2006-12-15	2007-05-13	150 158
广州兴丰垃圾填埋气回收利用项目	广东	垃圾焚烧发电	已注册	2006-11-09	2007-09-19	626 834
昆明五华垃圾填埋气发电项目	云南	垃圾焚烧发电	已注册	2007-03-06	2008-07-06	201 586
福州红庙岭垃圾填埋气发电项目	福建	垃圾焚烧发电	已注册	2007-04-02	2008-11-17	181 234
天乙城市固体垃圾焚烧发电项目	广东	垃圾焚烧发电	已批准	2009-08-14		120 017
扬州市生活垃圾焚烧发电项目	江苏	垃圾焚烧发电	已批准	2010-06-24		64 742
大同富乔垃圾焚烧发电有限公司 生活垃圾焚烧发电项目	山西	垃圾焚烧发电	已批准	2010-09-07		94 751
合计						1 439 322

5 结论

a. 随着国民经济的发展和居民生活水平的提高,我国城市固体废物的产生量迅速增加,可燃成分比例逐步增大,热值逐渐升高,为废物焚烧发电提供了有利条件。

b. 焚烧处置将成为我国城市废物处置的重要方式。在流化床焚烧、回转窑焚烧、炉排型焚烧及热解气化焚烧 4 种技术中,未来国内将普遍采用炉排炉和流化床炉等大型焚烧设备,小型焚烧炉市场将逐渐减小。

c. 我国大部分地区城市废物焚烧处置率都较低,全国平均仅为 15.2%,与发达国家相比,尚有较大上升空间。华中地区的焚烧处置率相对较高,达 34.1%,为其他地区提供了可借鉴的发展模式。

d. 我国废物焚烧发电 CDM 项目开发尚处起步阶段,但发展前景广阔。在已注册的 CDM 项目中,我国 CDM 项目年估计减排量达到了 233 017 951 t,占有东道国总和的 61%;在已签发的核证减排量(CERs)中,我国垃圾焚烧处置 CDM 项目的已签发减排量达 28 333 t。废物焚烧发电产业及 CDM 项目的发展将为我国温室气体减排工作做出贡献。

参考文献(References):

- [1] 林而达,吴绍洪,戴晓芬,等. 气候变化影响的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3):121-125.
- [2] 秦大河,罗勇,陈振林,等. 气候变化科学的最新进展: IPCC 第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6):311-314.
- [3] 联合国.《联合国气候变化框架公约》京都议定书[R]. 瑞士:日内瓦,1998.
- [4] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007: the

physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

- [5] 高庆先,杜吴鹏,卢士庆,等. 中国城市固体废弃物甲烷排放研究[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(6):269-272.
- [6] 杜吴鹏,高庆先,张恩琛,等. 中国城市生活垃圾排放现状及成分分析[J]. 环境科学研究, 2006, 19(5):85-90.
- [7] MASSOUD M A, EL-FADEL M, ABDEL M A. Assessment of public vs private MSW management: a case study[J]. Environ Manag, 2003, 69(1):15-24.
- [8] 李玲. 固体废弃物处置与管理方法研究进展及展望[J]. 广东化工, 2010, 37(5):155-157.
- [9] HE P J, ZHANG H, ZHANG C G, et al. Characteristics of air pollution control residues of MSW incineration plant in Shanghai[J]. J Hazard Mater, 2004, 116(3):229-237.
- [10] 向亮,高庆先. 附件一国家温室气体排放趋势及其履约进展[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(6):382-388.
- [11] 左漪,王圣,曹若岩. 我国垃圾焚烧发电 CDM 项目开发难点与实践分析[J]. 电力环境保护, 2009, 25(3):54-57.
- [12] 魏刚,王晓梅,张媛. 国内外垃圾焚烧发电项目最新进展[J]. 天津化工, 2004(6):36-38.
- [13] 住房和城乡建设部计划财务与外事司. 中国城市建设统计年鉴:2008年[Z]. 北京:中国计划出版社, 2009.
- [14] 袁克,萧惠平,李晓东. 中国城市生活垃圾焚烧处理现状及发展分析[J]. 能源工程, 2008(5):43-46.
- [15] COSTI P, MINCIARDI R, ROBBA M, et al. An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management [J]. Waste Manage, 2004, 24(3):277-295.
- [16] ADANI F, TAMBONE F, GOTTI A, et al. Biostabilization of municipal solid waste [J]. Waste Manage, 2004, 24(8):775-783.
- [17] 何晶晶,范爱晶. 城市垃圾热值计算方法的探讨[J]. 环境卫生工程, 1994(3):3-7.
- [18] 高庆先,杜吴鹏,卢士庆,等. 中国典型城市固体废物可降

- 解有机碳含量的测定与研究[J]. 环境科学研究, 2007, 20(3):10-15.
- [19] 孙培峰,李晓东,池勇,等. 城市生活垃圾热值预测的研究[J]. 能源与环境, 2006(5):39-42.
- [20] 吴相凡. 成都市生活垃圾的现状分析与处置研究[D]. 四川:西南交通大学, 2007:31-34.
- [21] ZHAO Y C, SONG L J, LI G J. Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes[J]. J Hazard Mater, 2002, 95(1/2):47-63.
- [22] SARKA U E, HOBBS S, LONGHURST P. Dispersion of odour: a case study with a municipal solid waste landfill site in North London, United Kingdom[J]. Environ Manage, 2003, 68(2):153-160.
- [23] 屠宏斌,黄群星,陆胜勇,等. 法国的垃圾处理及典型垃圾焚烧工艺[J]. 能源与环境, 2010(1):41-48.
- [24] MUHLE S, BALSAM I, CHEESEMAN C R. Comparison of carbon emissions associated with municipal solid wastemanagement in Germany and the UK Resources [J]. Conservation and Recycling, 2010, 54(11):793-801.
- [25] MICHELE T, PAUL S P, MARGARET P B. Determining the drivers for householder pro-environmental behavior: waste minimization compared to recycling [J]. Resources Conservation and Recycling, 2004, 42(1):27-48.
- [26] 杜军,王怀彬,金霄. 国内外垃圾焚烧炉技术概述[J]. 工业锅炉, 2003(5):15-19.
- [27] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory[M]. Japan:IGES, 2006.
- [28] 环境保护部,国家发展和改革委员会. 国家危险废物名录[EB/OL]. [2010-09-25]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bl/200910/t20091022_174582.htm?keywords=国家危险废物名录.
- [29] 国家环境保护总局. 中国环境统计年鉴 2008 年[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.
- [30] 张国平,周恭明. 危险废物管理及其焚烧处理综述[J]. 能源研究与信息, 2003(3):172-179.
- [31] 楼波,蔡睿贤. 清洁发展机制下的垃圾处理分析[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2006, 34(10):100-104.
- [32] 国家发展改革委员会应对气候变化司. 中国 CDM 项目官方受理申请最新进展[EB/OL]. [2010-09-28]. <http://cdm.cechina.gov.cn/WebSite/CDM/UpFile/File2508.pdf>.
- [33] 《联合国气候变化公约》秘书处. CDM 分类统计[EB/OL]. [2010-09-28]. <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>.
- [34] 厦门节能中心. 如何计算二氧化碳减排量?[EB/OL]. [2010-09-20]. <http://www.china5e.com/show.php?contentid=45248>.
- [35] 徐海云. 积极发展生活垃圾焚烧处理促进节能减排[J]. 城市管理与科技, 2009(3):22-25.

(责任编辑:孙彩萍)