

欧洲各国采用的 垃圾焚烧烟气排放指标

Municipal Solid Waste Incineration Emission Criteria Used by European Countries

徐海云 龙吉生

随着垃圾焚烧技术和设备不断发展和完善,焚烧处理已成为生活垃圾无害化处理的重要手段之一。垃圾焚烧的主要过程就是将其中的有机C转换为 CO_2 ,H转换为 H_2O ,同时杀灭病毒细菌。垃圾焚烧所产生的烟气是焚烧处理过程可能产生污染的主要来源之一。因此,烟气处理和烟气排放要求也就成为影响垃圾焚烧处理经济性和环境影响的重要因素。

一、烟气中的主要污染物

垃圾焚烧过程中的烟气主要成分为 CO_2 、水蒸气、以及 N_2 、 O_2 等。污染物的含量大部分比较低,主要污染物见表1:

表1 烟气中的主要污染物

1	烟尘
2	酸性气体包括HCl、HF和 SO_2 等。
3	NO_x
4	CO
5	碳氢化合物(TCH)
6	重金属包括Pb、Hg等。
7	二恶英(PCDD ₂ ,PCDF ₅)

1. 烟尘

烟尘含量与炉膛内的垃圾燃烧搅动程度有关。在燃烧过程结束后,一些较重尘粒进入底灰中,而另一些较轻的尘粒进入烟气中。对于全量焚烧炉(Mass burn system),尘量在烟气中的比例取决于烟气上升速度(也就是供风速度)。对于快装式焚烧系统(Modular system),以及热解炉等,由于初燃室采用缺氧燃烧,供气量及气流速度比较低,因而烟气中含尘量也比较低。而流化床焚烧炉由于气流速度较大,烟气尘量较高。除尘器的常用设备为布袋除尘器和静电除尘器。

摘要: 随着垃圾焚烧处理应用的增多和环境标准的提高,人们越来越关心焚烧处理过程中烟气排放。本文着重分析欧美等主要国家和地区目前采用的焚烧烟气排放标准及其发展趋势,目的是为我国垃圾焚烧烟气排放指标的制订和引进国外垃圾焚烧设备提供参考依据。

ABSTRACTS: With the increasing application of municipal solid waste(MSW) incineration and the more stringent environmental regulations being used, much attention is focused on the flue gas emissions from the incinerator of MSW. This paper is intend as a general comparison of various emission criteria and its evolution trend. The purpose is to provide reference conditions for importing foreign MSW incineration equipment or technologies and making National MSW incineration flue gas emission guidelines.

2. 酸性气体

酸性气体包括HCl、HF和 SO_2 等。HCl、HF是垃圾中的含氯、氟的塑料在焚烧过程中产生的,随着垃圾中这类塑料含量的增加,烟气中的HCl、HF含量也相应增加;烟气中的 SO_2 来自垃圾中的硫,垃圾中硫的含量比较低,一般低于0.2%。大量高温烟气一般通过锅炉进行热能回收(又称余热利用)。对于全量焚烧,经过热交换的烟气通常采用洗涤器(Scrubber)先去除酸性气体。洗涤器有三种,包括湿式、干式、半干式。湿式洗涤器采用碱溶液去除酸性气体,HCl、 SO_2 去除率分别达到95%、85%;干式洗涤器采用喷入石灰法,HCl、 SO_2 去除率达到90%、70%以上;半干式洗涤器采用石灰浆法,HCl、 SO_2 去除率介于前两者之间。湿式洗涤器去除效率高,但应相应增加污水处理设施。在酸性气体形成前直接向炉内喷入石灰。如流化床焚烧炉,烟气处理就不需要洗涤器处理而直接进行收尘处理。

3. NO_x

烟气中的氮氧化物是来自垃圾中的氮和助燃空气中的氮在高温下氧化形成的。一般在火焰前端,在温度较高且氧充分的条件下,首先形成NO,NO进一步氧化生成 NO_2 。但总体上,由于垃圾焚烧炉燃烧温度较低,氮氧化物排放量也相对较低。

4. CO

烟气中CO主要是由于垃圾可燃物的不完全燃烧形成的,通常连续检测CO来反映燃烧状况。

5. 碳氢化合物

烟气中碳氢化合物也是由于垃圾可燃

物的不完全燃烧形成的。通常存在形式有低分子的碳氢化合物、有机酸等，它与烟气中的氮氧化物会形成光化学氧化物，在光照条件下会形成光化学烟雾。

6. 重金属

由于垃圾中含有金属成分，不能燃烧的金属，较大的颗粒就存在于垃圾燃烧后的底灰中，而较小的就进入垃圾燃烧的烟气中和飞灰中。限制烟气中金属一般分三类：

- 1) Cd, Hg, Tl
- 2) As, Co, Ni, Se, Te
- 3) Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, V, Zn

7. 二恶英(PCDDs/PCDFs)

二恶英(Dioxin)是指含有两个氧键连接两个苯环的有机氯化物，一般分两类，一类为氯化二苯二恶英(PCDDs)，另一类为多氯二苯呋喃(PCFs)。二恶英因其剧烈的毒性，其排放指标受到特别重视。目前，为减少烟气中二恶英的含量，除了减少燃烧垃圾中的含氯垃圾外，主要措施是控制烟气在燃烧炉内的停留时间和温度，一般要求烟气在炉内保持 850°C ~ 1000°C，停留时间 1 ~ 2 秒以上。

二、日本垃圾焚烧烟气排放指标

日本对垃圾焚烧炉的烟气排放指标限制主要有烟尘(表 2-1)、酸性气体包括 HCl 和 SO₂(表 2-2)、NO_x(表 2-3)以及二恶英(PCDDs)/PCDFs)。对烟尘、HCl 实行浓度限制；对 SO₂ 实行总量和浓度限制；对 NO_x 实行浓度限制，部分地区实行总量和浓度限制。二恶英(PCDDs/PCDFs) 限制(1990 年至今，非法律规定，仅为国家指导值)新建的连续焚烧炉要求为 0.5ng/Nm³，现有炉控制在 80ng/Nm³ 以下。总体上说，对于烟气排放指标限制，连续排放比间歇排放严，排放总量大的比排放量小的严。

三、欧洲垃圾焚烧烟气排放指标

欧洲国家垃圾焚烧烟气排放指标比较严格，限制的指标也较多。对于烟尘含量、重金属以及二恶英(PCDDs/PCDFs) 等指标，限制排放指标不断提高。随着垃圾焚烧技术的发展和环境标准的提高，欧洲国家对垃圾焚烧烟气排放的要求进一步提高。由于采用了先进的烟气处理技术，德国、奥地利等国家垃圾焚烧烟气排放指标已经达到或低于欧共体建议的排放指标(见表 3-1)。

表 2-1: 烟尘排放标准

年代	设施种类 (>200Kg/h)	排放指标(g/Nm ³)	
		一般	特别
1968 ~ 1971 年	垃圾焚烧炉	0.7	
1971 ~ 1982 年	连续炉排气量>40,000 Nm ³ /h	0.2	0.1
	连续炉排气量<40,000 Nm ³ /h	0.7	0.2
	非连续炉	0.7	0.4
1982 年~现在	连续炉排气量>40,000 Nm ³ /h	0.15	0.08
	连续炉排气量<40,000 Nm ³ /h	0.5	0.15
	非连续炉	0.5	0.25

表 2-2: 酸性气体排放标准:

	年代	排放指标
HCl	1977 年~现在	700(mg/Nm ³) (O ₂ =12%换算值) 430 (ppm)
SO ₂	1971 年~现在	
	一类区 (100 个)	
	二类区 (28 个)	k ¹

1. 排放指标与烟囱高度及烟气排放量有关，根据地区不同，有的地区有总量限制。

表 2-3: NO_x 排放标准

年代	设施种类	排放指标
1977 ~ 1979 年	排气量>40,000 Nm ³ /h	250 ppm (O ₂ =12%换算值)
	连续炉	250 ppm
1979 年~现在	非连续炉排气量>40,000 Nm ³ /h	250 ppm
	非连续炉排气量<40,000 Nm ³ /h	无
总量控制	从 1979 年~现在在指定地区，如横浜、川崎、大阪等	

表 3-1: 欧洲垃圾焚烧厂烟气中主要污染物排放标准¹ mg/Nm³

国家	欧共体 (94/67EC)	欧共体 1989	欧共体 1994	德国	奥地利	荷兰	瑞典	瑞士
垃圾类型 ²	H	M	M	H/M	H/M	H/M	H/M	H/M
适用焚烧厂 ³	N	N/E	N	N/E	N	N/E	N/E	N/E
时间	建议 1994	1990 ⁹	建议 1994	1990	1989	1993	1993	1992
污染物								
1 HCl	10	60/10	50	10	60	10	50	20
2 HF	1	4/2	2	1	4	1	2	2
3 SO ₂	50	200/50	300	50	200	50	40	50
4 NO ₂				200	400	100	70	80
5 CO	50	100	100	100	50	100	50	50
6 TCH	10	20/10	30	10	30	10	20	20
7 烟尘	10	30/10	30	10	30	10	15	30
8 Hg		0.05	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1
9 Cd		+Ti, 0.5	0.05	0.05	+Ti, 0.5	0.05	0.05	0.1
10. 其他重金属 ⁴	总计 0.5	5 ⁵ , 1 ⁶	0.5	0.5	总计 0.5	2 ⁷ , 0.5 ⁸	1	Pb+Zn 1
11. PCDD/F _i (ng/m ³)	0.1 (1997 1.1)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
1-7 项检测时间	24h	0.5h	1h	24h	0.5h	2	0.5h	1

1. 指标参考状态条件为干态, 0 °C, 1 个大气压, 11% O₂。不包括德国: 变为 3% O₂，瑞典:

液体残渣: 3% O₂；也不包括 PCDD/F_i(ng/m³)。

2. H: 有害废物, M: 城市垃圾, H/M: 包括有害废物和城市垃圾。

3. N: 新建焚烧厂, E: 已有焚烧厂, N/E: 包括新建焚烧厂和已有焚烧厂。

4. 包括 Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Se, Te, V, Sn。

5. 包括 Pb, Cr, Cu, Mn。

6. 包括 Ni, As。

7. 包括 Pb, Zn, Cr。

8. 包括 As, Co, Ni。

9. 焚烧规模大于 3t/h

表 3-1 说明如下:

1. 指标参考状态条件为干态, 0℃, 1 个大气压, 11% O₂。不包括德国: 废油为 3% O₂, 瑞典: 液体残渣: 3% O₂; 也不包括 PCDDs/Fs (ng/m³)。

2. H: 有害废物, M: 城市垃圾, H/M: 包括有害废物和城市垃圾。

3. N: 新建焚烧厂, E: 已有焚烧厂, N/E: 包括新建焚烧厂和已有焚烧厂。

4. 包括 Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Se, Te, V, Sn。

5. 包括 Pb, Cr, Cu, Mn。

6. 包括 Ni, As。

7. 包括 Pb, Zn, Cr。

8. 包括 As, Co, Ni。

9. 焚烧规模大于 3t/h。

四、北美垃圾焚烧烟气排放指标

美国环保局 (EPA) 1991 年新修订了垃圾焚烧烟气排放标准 (见表 4-1), 对新建的和已运行垃圾焚烧厂烟气排放作了严格的限制。在这以前, 美国垃圾焚烧烟气排放指标只对烟尘量进行了限制 (烟尘含量小于 113mg/m³), 而各个州根据各自的要求制订相应的州排放标准。为保证垃圾焚烧烟气排放达标, 新修订的垃圾焚烧烟气排放标准还对垃圾焚烧炉的操作提出了要求。在检测二恶英 (PCDDs/PCDFs) 时, 燃烧负荷不能超过额定负荷的 10%; 烟气在进入烟气处理装置的入口温度不高于额定温度 16.7℃; 要对排放烟气的 SO₂、NO_x、CO、烟气浊度 (Opacity)、温度以及排放量进行连续监测, 对二恶英、烟尘、HCl 进行年度监测。此外, 垃圾焚烧厂的操作人员和管理人员需有相应的资格证书。对于已运行的垃圾焚烧厂, 根据焚烧炉类型以及规模不同, 烟气排放指标限制也有所区别。例如, NO_x 排放指标对于燃烧垃圾衍生燃料的焚烧炉要求低于 250ppm。对于水冷式全量焚烧系统则要求低于 200ppm。此外, 焚烧规模大的处理厂比规模小的排放指标要求严。由于垃圾分类收集和回收利用不断强化, 垃圾焚烧的发展趋向于余热利用和规模化, 对于新建的垃圾焚烧厂, 只对 250 吨/日以上的垃圾焚烧炉烟气排放指标进行了规定。

加拿大环境部 (CCME) 1989 年制订新的垃圾焚烧烟气排放标准。限制排放的指标主要有烟尘、HCl、CO 以及二恶英 (PCDDs/PCDFs), 控制指标主要有 SO₂、NO₂ 重金属及一些挥发性有机物。烟气中几种主要污染物见表 4-2, 为保证垃圾焚烧烟气排放达标, 同时还提出了垃圾焚烧炉设计指导性参数 (见表 4-3)。

表 4-1 美国焚烧厂烟气排放指标¹

		新建城市垃圾焚烧厂		已运行的城市垃圾焚烧厂	
规模 t/d		>250	<1100	>1100	
烟尘 (mg/dscm)		34	60	34	
烟气浊度 (Opacity, %)		10	10	10	
PCDD+PCDF (ng/dscm)		30	125	30 ~ 60	
酸性气体	HCl	95 (25)	50 (250)	90 (31)	
去除率%	SO ₂	80 (30)	50 (80)	70 (31)	
或 (ppmdv)	NO _x	(180)	无	(200-250)**	
	CO	50 ~ 150**	50 ~ 250	50 ~ 250**	
重金属涂	Hg	85(0.08)	85(0.08)	85(0.08)	
率 % 或	Cd	(0.020)	(0.1)	(0.04)	
(mg/dscm)	Pb	(0.2)	(1.6)	(0.49)	

* 所有检测指标均在烟气 (干态) 含 7% O₂ 条件下。

** 不同类型城市垃圾焚烧炉。

表 4-2: 加拿大焚烧厂烟气排放限制指标^{1,2}

指标	备注
烟尘 (mg/Rm ³)	20
HCl (mg/Rm ³)	75 (50ppmdv 或去除率 90%)
CO (mg/Rm ³)	57 (50ppmdv) ³
PCDD+PCDF (ng/Rm ³)	0.5
SO ₂	260mg/Rm ³ (100ppmdv)
NO _x	400mg/Rm ³ (210ppmdv)
Pb, Cd	50ng/Rm ³ , 100ng/Rm ³
Hg, As	200ng/Rm ³ , 1ng/Rm ³

1. CCME Canadian Council of Ministers of The Environment Operating And Emission Guidelines for Municipal Solid Waste Incinerators

2. 指标参考状态条件 25℃, 1 个大气压, 11% O₂。

3. 对于 RDF 类焚烧炉可控制为 114mg/Rm³ (100ppmdv)

表 4-3: 加拿大焚烧炉设计指导性参数

焚烧类型 参数	快装炉		全量焚烧系统 (Mass Burn)	垃圾衍生燃料 (RDF)
	缺氧	过量空气		
最低温度	1000℃	1000℃	1000℃	1000℃
最低停留时间	在二次空气入口后 1 秒	在二次空气入口后 1 秒	在二次空气入口后 1 秒	在二次空气入口后 1 秒
二次空气量	最大占总空气量 80%		最小占总空气量 40%	最小占总空气量 40%
辅助燃烧器	占总额定热负荷 60%	占总额定热负荷 60%	占总额定热负荷 60%	占总额定热负荷 60%
锅炉出口烟气氧含量	6 ~ 12%	6 ~ 12%	6 ~ 12%	6 ~ 12%
负荷范围	80 ~ 110%	80 ~ 110%	80 ~ 110%	80 ~ 110%
CO* (4h 平均)	50ppmdv	50ppmdv	50ppmdv	50ppmdv

* 指标参考状态条件 25℃, 1 个大气压, 11% O₂。

1. CCME. Canadian Council of Ministers of The Environment Operating And Emission Guidelines for Municipal Solid Waste Incinerators

2. 指标参考状态条件 25℃, 1 个大气压, 11% O₂。

3. 参于 RDF 类烧炉可控制为 114mg/Rm³ (100ppmdv)