

引用格式: 宋华旻,鞠阿莲,张斌,等.日本生活垃圾焚烧设施中烟气排放标准研究[J].标准科学,2025(1):104-108.

SONG Hua-yang, JU A-lian, ZHANG Bin, et al. Study on Flue Gas Emission Standards in Domestic Waste Incineration Facilities in Japan[J]. Standard Science,2025(1):104-108.

日本生活垃圾焚烧设施中烟气排放标准研究

宋华旻 鞠阿莲 张斌 赵立杰

(北京市城市管理研究院)

摘要:【目的】垃圾焚烧过程中产生的烟气含有多种有害物质,严格管控烟气排放标准对于保护生活环境和居民健康具有重要意义。【方法】本文通过文献调研法和数据调研法,研究了日本生活垃圾焚烧设施中烟气污染物的控制标准,梳理了其对各类烟气污染物的控制标准,探讨了相关标准制定的深层次原因,并指出了其存在的问题。【结果】根据各地的实际情况和环保需要,日本采用国家法定标准、特定排放标准、自主排放标准和总量限制标准等4类标准对烟气污染物进行全方位管控,取得了非常好的效果。【结论】我国也应制定差异化的排放标准、加强对烟气排放的监管、定期公开烟气数据,以更好地实现对烟气排放污染物的精细化管控。

关键词: 生活垃圾焚烧设施;烟气;二噁英类;排放标准

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.01.018

Study on Flue Gas Emission Standards in Domestic Waste Incineration Facilities in Japan

SONG Hua-yang JU A-lian ZHANG Bin ZHAO Li-jie

(Beijing Municipal Institute of City Management)

Abstract: [Objective] The flue gas generated during garbage incineration contains various harmful substances, and strict control of smoke emission standards is of great significance for protecting the living environment and residents' health. [Method] This paper uses literature research and data research methods to study the control standards for flue gas pollutants in the Japanese municipal solid waste incineration facilities, sort out their control standards for various types of flue gas pollutants, explore the underlying reasons for the development of relevant standards, and point out their existing problems. [Results] According to the actual situation and environmental protection needs in various regions, Japan has adopted four types of standards, including national statutory standards, specific emission standards, independent emission standards, and total limit standards, to comprehensively control smoke pollutants, achieving very good results. [Conclusion] China should also establish differentiated emission standards, strengthen the supervision of flue gas emissions, and regularly disclose flue gas data to achieve the refined control of pollutants emitted from flue gas.

Keywords: domestic waste incineration facilities, flue gas, dioxins, emission standards

基金项目: 本文受国家标准计划项目“生活垃圾采样和检测方法”(项目编号: 20230382-T-333)资助。

作者简介: 宋华旻,北京市城市管理研究院副院长,高级工程师,研究方向为城市精细化管理、城市运行安全、城市管理标准化。

0 引言

经过数十年的发展,日本的焚烧技术已经非常成熟。根据日本环境省的统计^[1],截至2021年底,日本全国共有1028座垃圾焚烧设施,其80%以上的生活垃圾都进行焚烧处理。日本的垃圾焚烧设施布局较分散,处理规模相对较小,82%的处理能力在300t/d以下,600t/d以上的设施仅占5%。焚烧对于垃圾减量化、无害化、资源化等具有重要意义,但垃圾焚烧过程中产生的烟气可能对环境造成不良影响,尤其是二噁英类引起了社会的广泛关注。本文重点研究日本垃圾焚烧设施中烟气排放限值及其制定标准,探讨其严苛标准背后的深层次原因。

1 《大气污染防治法》对烟气污染物的限制

1968年,日本制定了《大气污染防治法》^[2]。该法将大气污染物来源分为固定污染源(如:工厂等)和移动污染源(如:汽车等)两部分,固定污染源中,产生烟尘、挥发性有机化合物、一般粉尘、特定粉尘(石棉)、汞的设施均需按照法律规定进行报备。其中,烟尘包括硫氧化物(SO_x)、颗粒物(PM)、氯化氢(HCl)、氮氧化物(NO_x)、镉(Cd)、氟(F)和铅(Pb)等。

生活垃圾焚烧设施属于产生烟尘和汞的设施,需要遵守该法的排放限值。最初,该法只规定了垃圾焚烧设施中PM、SO_x和汞(Hg)的排放标准,后

来在1977年进行了修订,增加了HCl和NO_x的排放标准,详见表1。

2 二噁英类的排放标准

2.1 排放标准

1999年,日本制定了《二噁英类对策特别措施法》(以下简称《二噁英法》),规定了大气中二噁英类的环境标准和排放标准。根据该法的定义,“二噁英类”指的是多氯二苯并呋喃(PCDFs)、多氯二苯并对二噁英(PCDDs)、共平面多氯联苯(Co-PCBs)的统称^[3]。

《二噁英法》规定,垃圾焚烧设施的设置者需每年测定1次以上烟气及排水中的二噁英类,并将测定结果报告给都道府县的行政长官。垃圾焚烧设施的排放标准方面,按照设施处理能力分为2t/h以下、2~4t/h、4t/h以上3种不同的情况,并制定了差异化的排放限值,详见表2。

表2 日本垃圾焚烧设施中二噁英类国家法定排放标准

类别	处理能力	国家法定标准 (ng-TEQ/m ³ N)
既有垃圾焚烧设施 (1997年12月2日之前)	4t/h以上	1
	2~4t/h	5
	2t/h以下	10
新建垃圾焚烧设施 (1997年12月2日之后)	4t/h以上	0.1
	2~4t/h	1
	2t/h以下	5

此外,《二噁英法》还规定了确保垃圾完全燃烧不产生二噁英类的条件,即焚烧温度应在800℃

表1 日本垃圾焚烧设施中烟气污染物的国家法定排放标准

名称	类别		国家法定标准
PM (g/m ³ N)	既有垃圾焚烧设施 (1997年12月2日之前)	4t/h以上	0.08
		2~4t/h	0.15
		2t/h以下	0.25
	新建垃圾焚烧设施 (1997年12月2日之后)	4t/h以上	0.04
		2~4t/h	0.08
		2t/h以下	0.15
SO _x (ppm)	K值控制标准		3000
NO _x (ppm)	排气量在4000m ³ N/h以上的垃圾焚烧炉		250
HCl (ppm)	炉排面积2m ² 以上或焚烧能力在200kg/h以上的焚烧炉		430
Hg (μg/m ³ N)	既有垃圾焚烧设施	2018年4月1日之前	50
	新建垃圾焚烧设施	2018年4月1日之后	30

以上,燃烧停留时间应至少为2秒,并在充足的空气供应下对物料进行充分搅拌。1997年,在《二噁英法》出台之前,日本生活垃圾焚烧设施烟气中排放的二噁英类达到5000g-TEQ/年,但《二噁英法》施行后,其排放量大幅减少,并一直维持在较低的水平。根据日本环境省的最新统计,2021年生活垃圾焚烧设施中产生的二噁英类为19g-TEQ/年^[4],减排效果显著。

此外,日本有些垃圾焚烧设施还规定了一氧化碳(CO)的排放限值,但CO并不是《大气污染防治法》规定的烟气排放限制类别,因此属于自主限制项目。对其进行限制主要是因为1997年制定的《防止垃圾处理设施产生二噁英类等的指南》中提出了两个维护管理目标:(1)烟囱出口处CO的浓度要在30ppm以下(以含氧量12%换算的4小时均值);(2)稳定燃烧时需要尽力避免CO的瞬间浓度值高峰超过100ppm。二噁英类是由于燃烧不充分而合成的,而CO浓度是燃烧不充分的一个重要指标,且其浓度可以连续测定,因此,CO浓度也被用作测定二噁英类的重要指标。

2.2 二噁英类的测定方法

排放气体中的二噁英类按照JISK0311《排放气体中的二噁英类的测定方法》进行采样测定。JISK0311是日本在1999年制定的固定源排气中二噁英类的标准分析方法,该标准建立在欧洲和美国现有标准的基础之上,并结合了日本近十年的研究经验,具有更强的针对性和良好的可操作性,有严格的质量控制措施^[5]。该标准将Co-PCBs也纳入了二噁英类的范畴,要求同时分离和测定样品中的二噁英类和Co-PCBs,增加了分析难度和成本。该标准先后于2008年和2020年进行了2次修订,最新修订版为JISK0311-2020。

由于二噁英类在检测时样品量特别少,使用高分辨率气相色谱质谱联用仪的检测方法费时又费力。为了能以快速又低廉的方式完成检测,2004年12月,日本环境省修订了《二噁英法》,规定对于焚烧能力小于2000kg/h的焚烧炉中排放的气体、产生的烟尘及炉渣中含有的二噁英类可采用简易测定法,并于2005年9月确定了4类生物检测法。

除了生物检测法之外,日本环境省还探讨了使用低分辨率质谱仪的测定方法和使用现有高分辨率质谱仪的简化方法,并在2010年3月制定了《测定排放气体、烟尘及炉渣中二噁英类的简易测定法指南(仪器分析法)》,对仪器分析法进行了具体的规定。

3 自主排放标准

3.1 排放标准的类型

除了国家层面法律规定的国家法定标准之外,日本还有另外3种烟气排放标准。(1)在大气污染比较严重的地区,对新建设施中SO_x和PM的排放进行特殊规定,称为“特殊排放标准”。例如:设置在东京23区范围内的垃圾焚烧设施即适用该标准,而设置在东京23区之外的设施则适用国家法定标准;(2)在国家法定标准和特殊排放标准都不能充分保证环境安全的地区,都道府县会通过条例来制定更加严格的标准,即“自主排放标准”;(3)当以上标准都无法满足环保要求时,还可以算出各地区的允许排放总量并制定总量削减计划,以此来控制污染物的排放,这叫做“总量控制标准”。也就是说,日本通过国家法定标准、特殊排放标准、自主排放标准、总量控制标准等4类标准对不同的地区采取不同的排放限制。

例如:垃圾焚烧设施中SO_x根据各地区规定的数值(K值)和烟囱的有效高度(He)来计算允许排放量,其中K是随地区变化的定值,K值的大小决定排放标准的严格程度,因而被称为K值标准,其计算公式如下:

$$Q=K \times 10^{-3} He^2 \quad (1)$$

式(1)中,Q为SO_x浓度,m³N/h;K为各地区规定的排放值,在国家法定标准适用区域,K=3.0~17.5,在特殊排放标准适用区域,K=1.17~2.34;He为烟囱有效高度,m,即实际烟囱高度加上由于烟气动力抬升和热力抬升的高度。这一公式是基于烟囱扩散的SO_x地面最大落地浓度与SO_x的排放量成正比、与烟囱有效高度的二次方成反比的关系(萨顿扩散模式)而确定的^[6]。

3.2 自主排放标准的设定原则

日本垃圾焚烧设施的自主排放标准,通常在制定《设施建设基本规划》的阶段便已确定下来。焚烧设施的运营单位会与当地政府签订一个公害防治协议,有时也会与周边居民签订此协议,以确保烟气污染物不会对居民造成影响。

在设定烟气污染物自主排放标准时,通常有以下4种类型^[7]:比国家法定标准严格、跟现有设施同等或更严格的标准(A标准);采用最新或最优技术能够实现的标准(B标准);最顶级的严苛标准(C标准);最常见、周边设施采用最多的标准值(E标准)。

3.3 自主排放标准的倾向性

一项针对日本全国生活垃圾焚烧厂的调查结果显示^[8],越是新建的设施,越是规模大的设施,其排放标准越严格。二噁英类成为社会关注的对象基本是在2000年以后,但在1989年以前,40%的设施中HCl的排放值已在100ppm以下,20%的设施中NO_x的排放值也在100ppm以下,这说明日本各地早已设定了比较严苛的自主排放标准。

分地区来看,关东地区的千叶县、埼玉县、神奈川县、东京都,以及近畿地区的大阪府、兵库县、京都府均采用了非常严格的自主排放标准。以东京都为例,其在1969年就制定了《东京都公害防治条例》,设定HCl的排放标准为25ppm。

3.4 自主排放标准与经济成本

通常情况下,自主排放标准越严格,相应的费用也会越高。在日本,SO_x和HCl通常采用湿式洗净法,NO_x则采用催化剂脱硝法,要实现更严格的排放标准,则需要增加药物和催化剂的使用量,这样运营成本就会提高,同时还要购买催化剂脱硝设备等,初始成本也会增加。

E标准考虑了自主排放标准与经济性的平衡问题,但在具体实践中,各地区在确定排放标准时,比起经济成本通常更加注重有害气体去除率,会将保护周边居民的生活环境放在第一位。因此,经济成本并不是日本各地制定自主排放标准的首要考虑要素。

4 存在问题

由于自主排放标准过于严格,日本有些设施出现了因排放超标而关停或整顿的情况。这里的超标是指超过了自主排放标准,而不是超出了国家法定标准,这也说明排放标准并不是越严苛越好,而要根据设施的技术水平、处理规模等合理确定,不能盲目地追求更严格的标准。日本的垃圾焚烧设施中,84%的烟囱高度都在59米以上,烟气会在空气中稀释后才到达地面,严苛的自主排放标准未必能起到最佳的效果。

此外,国家法定标准的出发点是“即便一直吸入也不会有不良影响”^[7],也就是说,保持国家法定标准就几乎不会对健康产生影响。比如:二噁英类,大多数人都认为其是致癌物,吸入后就会对身体产生不良影响,但实际上二噁英类普遍存在于各种食物中,例如:通过鱼虾类摄入的约占87%,肉蛋类约占10%,而从大气中直接吸入的仅为1%左右(2019年数据)。日本在1999年制定《二噁英法》时,二噁英类的人均日摄入量约为2.1pg-TEQ/kg,其中通过空气吸入的仅占3.3%。因此,二噁英类的排放限值需要根据实际情况确定。

5 对我国的启示

5.1 针对垃圾焚烧炉规模制定差异化的排放限值

我国对生活垃圾焚烧炉中烟气污染物的限制主要通过GB 18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》进行了规定。其采用1小时均值和24小时均值的方式对烟气污染物进行了差异限值,但该标准未考虑焚烧炉规模与技术差异化的影响,很多未兼顾小型焚烧炉。应根据实际情况给予小型焚烧炉合理的差异化限值,以提高标准的可操作性。

5.2 加强对烟气排放达标情况的监管

我国很多地方都制定了比较严格的烟气排放限值,但严格的排放标准并不是最终目的,关键在于保护人民群众的生活环境不受到污染,身体健康得到保障。GB 18485—2014中规定了焚烧厂要安装烟气和炉温的自动监测设备。相关部门还应加强环境监管,实时计算焚烧炉非正常工况的累计时长,确保污染物排放不超标,让监管真正起到实效。

5.3 定期公开烟气数据，增强精细化管理水平

日本的垃圾焚烧设施会将其烟气污染物的监测数据公布在网站上，保证公开透明，市民可预约参观焚烧设施，了解运行情况。我国也应该做好宣

传教育，定期公开烟气数据，提高居民的信任度。垃圾焚烧厂可通过升级改造生产工艺和污染防治设施等方式，增强运行维护的精细化水平，减少焚烧厂的“邻避效应”。

参考文献

- [1] 日本環境省. 日本の廃棄物処理[R].2022.
- [2] 大気汚染防止法[EB/OL].[2022-06-17]. (2024-03-20). <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=343AC0000000097>.
- [3] ダイオキシシン類対策特別措置法[EB/OL].[2022-06-17]. (2024-03-15). <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=411AC0100000105>.
- [4] 環境省ダイオキシシン類の排出量の目録(排出インベントリ一)[EB/OL].[2022-03-25]. (2024-04-18). <https://www.env.go.jp/press/110777.html>.
- [5] 林锦权,梁灿钦,伍建军. 二噁英类物质的检测技术研究进展[J]. 东莞理工学院学报, 2012,19(01):57-60.
- [6] K值标准与总量控制[J]. 中国电力企业管理, 2013(19):96.
- [7] 松藤敏彦.自治体のごみ焼却施設における排ガス自主基準値設定の現状と問題点[J].都市清掃.2023年1月.
- [8] 東京二十三区清掃一部組合[EB/OL]. (2024-04-16) [2023-07-28]. <https://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/>.

(上接第87页)

参考文献

- [1] 陈海燕,徐翔,朱良. 我国无人机应用的现状及展望探讨[J]. 电子元器件与信息技术, 2020,4(07):51-52.
- [2] 王培,李杨,崔根,等. 多旋翼无人机: 新设计、新应用及新发展[J]. 人工智能, 2021(04):78-91.
- [3] 韩将星. 5G时代无线电监测站无人机云平台技术研究[J]. 通信技术, 2020,53(06):1434-1443.
- [4] 姚虹翔,叶博嘉,程予. 低空无人机空中交通管理研究[J]. 科技创新与应用, 2021,11(25):183-187.
- [5] 张建平,任家龙,陈晓. 基于多属性分类的民用无人机空中交通管理模式[J]. 航空计算技术, 2017,47(05):6-9+13.
- [6] 陈义友,张建平,邹翔,等. 民用无人机交通管理体系架构及关键技术[J]. 科学技术与工程, 2021,21(31):13221-13237.
- [7] 全权,李刚,柏艺琴,等. 低空无人机交通管理概览与建议[J]. 航空学报, 2020,41(01):6-34.
- [8] 李章萍,马怡君. 国内外无人机交通管理系统比较[J]. 科技导报, 2024,42(08):91-100.
- [9] 田凤. 无人机飞行计划管理及其验证系统研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.