

南方典型生活垃圾焚烧设施环境呼吸暴露风险评估

刘军¹, 赵金平¹, 杨立辉¹, 黄道建², 王雄², 邓东阳², 韩静磊^{2*}

1. 广东省环境监测中心, 广东 广州 510308; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655

摘要:以南方某生活垃圾焚烧发电厂作为研究对象, 调研其 3 km 半径范围内敏感点分布情况, 依据广东省环境监测中心 2014 年监督性监测数据, 采用较为成熟的 AERMOD 大气预测模型, 预测 SO₂、NO₂、HCl、Cd、Pb 和二噁英 (PCDD/Fs) 等 6 种污染物在 27 个环境敏感点的日均浓度范围分别为 0.03~0.21 μg·m⁻³、0.3~2.5 μg·m⁻³、0.01~0.04 μg·m⁻³、0.07~0.56 ng·m⁻³、0.03~0.22 ng·m⁻³ 和 0.01~0.07 ng·m⁻³, 明显低于相应的标准限值, 由此可见该垃圾焚烧厂在研究期间排放的主要大气污染物对周边环境敏感点影响较小。从模型预测可知, 6 种污染物的日均最大落地浓度位于网格线上的 (200, 150) 处, 分别为 22.45、266、4.49、56.1、22.5 μg·m⁻³ 和 59.5 fg·m⁻³, NO₂ 的日均最大浓度贡献值高于标准限值 3.3 倍, 位于该点位的敏感点值得特别关注。采用 USEPA 健康风险评估方法, 对该垃圾焚烧发电厂周边敏感点人群呼吸暴露量和健康风险进行评估, 结果显示, 无论成人还是儿童呼吸暴露量随着与烟囱距离的增加呈递减趋势; 非致癌化合物的危险指数 HI 大小顺序为 NO₂>SO₂>HCl; 致癌化合物危害指数 CR 大小顺序为 Cd>PCDD/Fs>Pb, 但其暴露风险相对较低, 处于可接受水平; 相对成人来说, 儿童会承受更高的呼吸暴露剂量; 就性别而言, 男性会承受更高的呼吸暴露剂量。通过该研究为环保部门掌握垃圾焚烧厂对其周边环境的影响和对敏感点人群健康的潜在风险提供科学依据。

关键词:生活垃圾焚烧发电厂; 重金属; 二噁英; 呼吸暴露; 风险评估

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2016.03.011

中图分类号: X823

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2016) 03-0440-07

引用格式: 刘军, 赵金平, 杨立辉, 黄道建, 王雄, 邓东阳, 韩静磊. 南方典型生活垃圾焚烧设施环境呼吸暴露风险评估[J]. 生态环境学报, 2016, 25(3): 440-446.

LIU Jun, ZHAO Jinping, YANG Lihui, HUANG Daojian, WANG Xiong, DENG Dongyang, HAN Jinglei. Inhalation Exposure Risk Assessment of A Typical Municipal Solid Waste Incinerator, South China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(3): 440-446.

生活垃圾焚烧因其技术优势及其占地面积小而逐渐被政府决策部门接受 (伍琳瑛, 2015), 但生活垃圾焚烧过程中不可避免产生污染物, 如二氧化氮 (NO₂)、二氧化硫 (SO₂)、氯化氢 (HCl)、镉 (Cd)、铅 (Pb) 和二噁英 (PCDD/Fs) 等 (吴锐, 2009), 可能对周边环境造成一定影响 (刘东等, 2012; 张振全等, 2013; Hu et al., 2012; 张海龙等, 2013)。随着公众环保意识的增强、对环境质量需求的提高, 城市生活垃圾焚烧处置设施所致的人群健康风险及环境管理成为公众关注的热点 (伍琳瑛, 2015; 向明灯等, 2013), 如果处理不当则会阻碍生活垃圾焚烧行业的良性发展, 引发公众和政府之间的矛盾, 破坏社会和谐稳定。为了提升生活垃圾焚烧设施的污染防治工作, 保护生态环境, 保障人民健康安全, 有必要开展生活垃圾焚烧设施环境污染特征与健康风险研究。本论文即以此

为出发点, 选取南方某生活垃圾焚烧发电厂作为研究对象, 开展大气环境污染特征与人群呼吸暴露健康风险评价工作, 从而客观评价生活垃圾发电厂对环境的影响, 为相关部门对该类型的企业管理提供技术支撑。

1 研究对象概况及大气污染物排放量核算

本次选取的生活垃圾焚烧发电厂占地面积 56 321 m², 垃圾处理规模为 800 t·d⁻¹, 装有 2×400 t·d⁻¹ 炉排型垃圾焚烧炉、余热锅炉二位一体的垃圾焚烧设施, 配 1 台 12 MW 的汽轮发电机组, 及与其相配套的 2 套烟气净化装置 (SNCR 脱硝+半干法脱酸+活性炭喷射+袋式除尘), 烟囱高度 60 m。垃圾焚烧炉日运行 24 h, 年运行 8 000 h。

依据广东省环境监测中心 2014 年监督性监测结果对该电厂污染物排放量进行核算, 结果见表 1。二噁英监测频次为 1 年 1 次, 每次采集 3 个样品单

基金项目: 2014 年广东省环保专项资金项目“生活垃圾焚烧发电厂二噁英监督性监测与评估”

作者简介: 刘军 (1969年生), 男, 高级工程师, 研究方向为环境监测。E-mail: 13798090760@139.com

*通信作者。韩静磊, E-mail: hanjinglei@scies.org

收稿日期: 2016-01-14

表 1 生活垃圾焚烧发电厂烟气污染物排放量
Table 1 Pollutants in flue gas from municipal solid waste incineration

污染物 Pollutants	标况烟气流量/(m ³ ·h ⁻¹) Flue gas in Standard conditions	排放浓度*/(mg·m ⁻³) Emission concentration	核算浓度/(mg·m ⁻³) Accounting concentration	排放量**Amount of emission		排放标准**/(mg·m ⁻³) Emission standard
				kg·h ⁻¹	ta ⁻¹	
NO ₂	94 185	58~181	181	17.05	136.38	250
SO ₂		<15	15	1.41	11.30	80
HCl		2~3	3	0.28	2.26	50
Cd		<0.002-0.012	0.012	0.001 1	0.010	0.1
Pb		<0.04	0.04	0.003 8	0.03	1.0
PCDD/Fs		0.03×10 ⁻⁶ -0.04×10 ⁻⁶	0.04×10 ⁻⁶	0.003 8×10 ⁻⁶	0.03×10 ⁻⁶	0.1×10 ⁻⁶

*折算到 w(O₂)=11%的排放浓度；**排放量指对应最大排放浓度即核算浓度时的排放总量；***排放标准依据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)

* Emission concentration that converted to w(O₂)=11%, **Amount emissions means total emissions, which were corresponding to the maximum emission concentration, and *** Emission standard sourced from 《Standard for pollution control on the municipal solid waste incineration》(GB 18485—2014)

独分析，其他污染物监测频次为 1 季度 1 次，1 年 4 次。各污染物监测均采用标准方法，其中 PCDD/Fs 采用《环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》(HJ 77.2—2008)(环境保护部，2008)、NO₂ 采用定电位电解法《空气和废气监测分析方法》(第四版)(国家环境保护总局，2003)、SO₂ 采用《固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法》(HJ/T57—2000)(国家环境保护总局，2000)、HCl 采用《固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法》(HJ/T27—1999)(国家环境保护总局，1999)、Cd 和 Pb 均采用《电感耦合等离子体发射光谱法测定水和废物中的金属和痕量元素》(USEPA200.7—1995)(美国环保署，1995)。样品采集和分析过程中均采取严格的 QA/QC 措施，包括采样滤筒的保存、采样仪器管路的清洗、流量校正、设置现场空白、实验室空白、重金属分析所用容器和量具在使用前均预先用 10%硝酸浸泡 24 h 以上并用去离子水冲洗和烘干、二噁英实验所用玻璃器皿均经氢氧化钠和乙醇配置的碱液进行浸泡隔夜，超声清洗自然晾干，使用前用二氯甲烷冲洗 3 遍，等等。样品最终分析结果为样品的测定值扣除空白值，二噁英采样内标回收率为 76.9%~92.8%、提取内标回收率为 60%~106%。

依据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)评价监测结果，可以看出即使都取最高浓度值(即核算浓度)与标准限值比较也都存在明显差别，甚至是数量级上的差别，NO₂、SO₂、HCl、Cd、Pb 和 PCDD/Fs 最高浓度值只有标准限值的 72.4%、18.8%、6.0%、12%、4.0%和 40%，远低于标准限值，由此可以看出该电厂污染物排放均为达标排放。与张刚(2013)研究国内不同地区同炉型的垃圾焚烧发电厂烟气排放中重金属(Cd 和 Pb：

0.041 mg·m⁻³ 和 0.467 mg·m⁻³)和二噁英(PCDD/Fs：0.018~0.360 ng·m⁻³)相比，本次监测的重金属和二噁英浓度水平较低。

2 生活垃圾焚烧发电厂周边敏感点大气污染物预测结果及分析评价

2.1 预测结果

通过现场调查，发现该厂周边 3 km 半径(以烟囱为原点)范围内的大气环境敏感点有 27 个(小区或别墅区)，如何客观评价该厂污染物对环境的影响和对敏感点人群健康的潜在风险显得非常重要。因此，基于监测数据的核算浓度和厂区周边敏感点分布情况，将该区域划分为 6×6 km 的网格点，选择我国《大气环境影响评价技术导则》(HJ2.2—2008)(环境保护部，2008)推荐模型——AERMOD 模型(版本为 12345 版)，对本研究所关注的焚烧烟气特征污染物在敏感点的日均浓度进行预测计算，详见表 2。

2.2 预测结果分析评价

选取的垃圾焚烧发电厂附近区域及评价范围均属于《环境空气质量标准》(GB3095—2012)(环境保护部，2012)中的二类区。本研究关注的特征污染物 SO₂、NO₂ 和 Pb 的评价标准执行《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中的二级标准；Cd 参照执行《环境空气质量标准》(GB3095—2012)附录 A 要求；HCl 参照执行《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79)(卫生部，1979)中居住区大气中有害物质最高容许浓度；二噁英参照执行日本环境标准。各污染物标准值见表 3。

表 2 给出了 27 个环境敏感点大气污染物的日均浓度贡献值，依据表 3 给出的环境敏感点的空气质量标准评价，可以看出各敏感点 SO₂ 的日均浓度贡献值在 0.03~0.21 μg·m⁻³ 之间，为评价标准限制值的 0.02%~0.14%；NO₂ 的日均浓度贡献值在 0.3~2.5

表 2 大气敏感点污染物日均浓度预测结果

Table 2 Prediction of average daily concentration in the sensitive atmospheric points

敏感点数 Sensitive Points	与烟囱距离/m	日均浓度贡献值					
	Distance between Chimney and sensitive points	Contribution of average daily concentration					
		SO ₂ /(μg·m ⁻³)	NO ₂ /(μg·m ⁻³)	HCl/(μg·m ⁻³)	Pb/(ng·m ⁻³)	Cd/(ng·m ⁻³)	PCDDs/(fg·m ⁻³)
4	660~980	0.18	2.08	0.035	0.46	0.18	0.46
		(0.15~0.21)	(1.5~2.5)	(0.03~0.04)	(0.33~0.56)	(0.13~0.22)	(0.33~0.56)
9	1 050~1 930	0.09	1.12	0.02	0.25	0.099	0.25
		(0.08~0.13)	(0.50~1.50)	(0.01~0.03)	(0.11~0.33)	(0.09~0.13)	(0.11~0.33)
14	2 070~3 060	0.045	0.53	0.012	0.18	0.046	0.12
		(0.03~0.13)	(0.30~1.50)	(0.01~0.03)	(0.07~0.33)	(0.03~0.13)	(0.07~0.33)
最大落地浓度及网格		22.45	266	4.49	56.1	22.5	59.5
The maximum concentration on the ground and grid		(200, 150)	(200, 150)	(200, 150)	(200, 150)	(200, 150)	(200, 150)

表 3 环境空气质量评价执行标准

Table 3 Ambient air quality implementing standards

污染物名称 Pollutants	标准限值/(μg·m ⁻³) Standard limits		
	1 小时平均 1 hour average	24 小时平均 24 hours average	年平均 Annual average
SO ₂	500	150	60
NO ₂	200	80	40
Pb	-	季平均(Quarter) 1.0	0.5
HCl	50	15	-
Cd	-	-	0.005
PCDD/Fs	-	-	0.6×10 ⁶

μg·m⁻³之间,为评价标准限制值的 0.38%~3.13%; HCl 的日均浓度贡献值在 0.01~0.04 μg·m⁻³之间,为评价标准限制值的 0.07%~0.27%; Pb 的日均浓度贡献值在 0.07~0.56 ng·m⁻³之间,为评价标准限制值的 0.01%~0.06%; Cd 的日均浓度贡献值在 0.03~0.22 ng·m⁻³之间; PCDDs 的日均浓度贡献值在 0.07~0.56 fg·m⁻³之间。将表 2 中最大浓度落地点 SO₂、NO₂、HCl、Cd、Pb 和 PCDD/Fs 的浓度水平与评价标准进行比较可知,除了 NO₂ 最大浓度 266 μg·m⁻³ 超出标准限值的 3.3 倍外,其他 5 种污染物最大浓度落地点的浓度水平均明显低于标准限值。由此可见,该生活垃圾焚烧发电厂监测期间排放的 SO₂、NO₂、HCl、Cd、Pb 和 PCDD/Fs 对周边环境敏感点影响较小,同时从表 2 也可以看出,随着敏感点距厂区烟囱距离的增加,SO₂、NO₂、HCl、Cd、Pb 和 PCDD/Fs 的日均浓度贡献值呈现逐渐递减的趋势。

3 呼吸暴露风险评估

人体暴露生活垃圾焚烧烟气的途径主要有 3 种,包括呼吸道、消化道(经口暴露)和皮肤接触,其中呼吸暴露是厂区外围空气敏感点人群接触焚烧烟气特征污染物最为直接的暴露途径。因此,在讨论健康风险时主要针对呼吸暴露风险。以选取的

生活垃圾焚烧发电厂排放的污染物为研究对象,根据风险评估程序开展生活垃圾焚烧设施周边人群呼吸暴露风险评估。

3.1 暴露模型

根据目前国内外常用的呼吸暴露量化方法(Lee et al., 2007; Ma et al., 2008; 张春辉等, 2014; Mari et al., 2007),儿童和成人经呼吸摄入污染物的量 ADD_{inh} 按以下公式进行计算:

$$ADD_{inh}=(C_a \times IR \times EF \times ED)/(BW \times AT) \quad (1)$$

式中,ADD_{inh} 为经呼吸的暴露剂量,mg·m⁻³·d⁻¹; C_a 为大气中污染物的浓度,mg·m⁻³; IR 为摄取速率,m³·d⁻¹; EF 为暴露频率,d·a⁻¹; ED 为暴露期,a; BW 为人群平均质量,kg; AT 为平均暴露时间,d。

我国人群的呼吸暴露参数如表 4 所示,儿童呼吸量以 6 岁儿童的呼吸量代替。由于国内目前尚未完成儿童暴露参数的研究,所以儿童暴露参数选用美国环保署发布的数据。成人指年龄为 18 岁及以上的人群,其暴露参数选用的是环境保护部(2013)编著的《中国人群暴露参数手册(成人卷)》中的平均水平。

表 4 不同人群呼吸暴露参数

Table 4 Inhalation exposure parameters of different population

人群(Population)	IR/(m ³ ·d ⁻¹)	EF/(d·a ⁻¹)	ED/a	BW/kg	AT/a
成人(男) Adult(male)	18.0	350	30	65.0	72.4
成人(女) Adult(female)	14.5	350	30	56.8	77.4
儿童(男) Child(male)	5.71	350	6	20.8	6
儿童(女) Child(female)	5.58	350	6	19.9	6

3.2 毒性评估

将生活垃圾焚烧排放的特征污染物 NO₂、SO₂ 和 HCl 划为非致癌物, Cd、Pb 和 PCDD/Fs 划为致癌物。对 3 种致癌物的毒性评估采用致癌斜率因子进行表述,而对 3 种非致癌物的毒性评估采用参考

剂量进行表述，毒性评估参数来自美国风险综合信息系统（IRIS，2015）。本文涉及的盐酸气体（HCl）目前尚未给出摄入暴露参考剂量 RfD，但美国综合风险信息系统 IRIS 给出了盐酸气体（HCl）暴露参考浓度 RfC=0.02 mg·m⁻³，因此本研究参照下列公式计算盐酸气体的危险度，以此来评估盐酸气体的非致癌风险。其他化合物的毒性参数如表 5。

表 5 焚烧烟气特征污染物主要毒性参数
Table 5 Toxic parameters of pollutants in gas from municipal solid waste incinerations

非致癌污染物 Non-carcinogenic RfD/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) pollutants		致癌污染物 Carcinogenic q/[mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹] ⁻¹ pollutants	
NO ₂	0.029	Cd	8.4
SO ₂	0.023	Pb	8.5×10 ⁻³
HCl	-	PCDD/Fs	1.5×10 ⁵

$$HI=C_i/RfC_i \times 10^{-6} \tag{2}$$

式中，HI 为风险指数，RfC_i 为盐酸气体（HCl）暴露参考浓度，mg·m⁻³；C_i 为盐酸气体测定浓度，mg·m⁻³；10⁻⁶ 为可接受的危险度水平。

该计算方法的缺点是无法识别不同受体（成人和儿童）因摄入量不同而引起的差异，故计算结果是所有人群的健康风险是一样的。

3.3 风险表征

非致癌风险通常用风险指数（HI）进行描述（Federico et al., 2008），计算公式如下：

$$HI=ADD_i/RfD_i \times 10^{-6} \tag{3}$$

式中，HI 为发生某种特定有害健康效应而造成等效死亡的危险度，无量纲；ADD 为非致癌污染物的单位体重日均暴露剂量，mg·kg⁻¹·d⁻¹；RfD_i 为非致癌污染物的某种暴露途径下的参考剂量，mg·kg⁻¹·d⁻¹；10⁻⁶ 为与 RfD_i 相对应的假设可接受的危险度水平。

致癌风险评价通常以风险值（CR）表示（Federico et al., 2008），计算公式如下：

$$CR=ADD_i \times q \tag{4}$$

式中，CR 为人群终身超度危险度，无量纲，人群的期望寿命按 70 年计算；ADD_i 为人体终生暴露于致癌物质的单位时间单位体重的平均日摄入量，mg·kg⁻¹·d⁻¹；q 为由动物推算出来的人类的致癌强度系数[mg·kg⁻¹·d⁻¹]⁻¹。

依据暴露模型和风险表征的计算公式，基于生活垃圾焚烧发电厂大气污染物排放的日均浓度预测结果，计算出选取发电厂周边 3 km 半径（以烟囱为原点）范围内的环境敏感点人群每日呼吸暴露量 ADD_{inh}（表 6）、非致癌风险和致癌风险

表 6 大气敏感点污染物人群呼吸暴露量
Table 6 Population inhalation exposure to pollutants in the sensitive atmospheric points

敏感点数 Sensitive points	人群 Population	每日呼吸暴露量 Daily respiratory exposure /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)					
		SO ₂	NO ₂	HCl	Pb	Cd	PCDD/Fs
4	成人(男) Adult(male)	1.93×10 ⁻⁵ (1.43×10 ⁻⁵ ~2.31×10 ⁻⁵)	2.28×10 ⁻⁴ (1.65×10 ⁻⁴ ~2.75×10 ⁻⁴)	3.85×10 ⁻⁶ (3.30×10 ⁻⁶ ~4.40×10 ⁻⁶)	5.09×10 ⁻⁸ (4.40×10 ⁻⁸ ~6.16×10 ⁻⁸)	2.01×10 ⁻⁸ (1.43×10 ⁻⁸ ~2.42×10 ⁻⁸)	5.09×10 ⁻¹⁴ (3.63×10 ⁻¹⁴ ~6.16×10 ⁻¹⁴)
	成人(女) Adult(female)	1.66×10 ⁻⁵ (1.23×10 ⁻⁵ ~1.99×10 ⁻⁵)	1.97×10 ⁻⁴ (1.42×10 ⁻⁴ ~2.37×10 ⁻⁴)	3.33×10 ⁻⁶ (2.85×10 ⁻⁶ ~3.80×10 ⁻⁶)	4.39×10 ⁻⁸ (3.13×10 ⁻⁸ ~5.31×10 ⁻⁸)	1.73×10 ⁻⁸ (1.23×10 ⁻⁸ ~2.09×10 ⁻⁸)	4.39×10 ⁻¹⁴ (3.13×10 ⁻¹⁴ ~5.31×10 ⁻¹⁴)
	儿童(男) Child(male)	4.61×10 ⁻⁵ (3.42×10 ⁻⁵ ~5.53×10 ⁻⁵)	5.46×10 ⁻⁴ (3.95×10 ⁻⁴ ~6.58×10 ⁻⁴)	9.20×10 ⁻⁶ (7.90×10 ⁻⁶ ~1.05×10 ⁻⁵)	1.21×10 ⁻⁷ (8.69×10 ⁻⁸ ~1.47×10 ⁻⁷)	4.80×10 ⁻⁸ (3.42×10 ⁻⁸ ~5.79×10 ⁻⁸)	1.21×10 ⁻¹³ (8.69×10 ⁻¹⁴ ~1.47×10 ⁻¹³)
	儿童(女) Child(female)	4.71×10 ⁻⁵ (3.50×10 ⁻⁵ ~5.65×10 ⁻⁵)	5.58×10 ⁻⁴ (4.03×10 ⁻⁴ ~6.72×10 ⁻⁴)	9.44×10 ⁻⁶ (8.07×10 ⁻⁶ ~1.08×10 ⁻⁵)	1.25×10 ⁻⁷ (8.87×10 ⁻⁸ ~1.51×10 ⁻⁷)	4.91×10 ⁻⁸ (3.50×10 ⁻⁸ ~5.92×10 ⁻⁸)	1.25×10 ⁻¹³ (8.87×10 ⁻¹⁴ ~1.51×10 ⁻¹³)
	成人(男) Adult(male)	1.03×10 ⁻⁵ (4.40×10 ⁻⁶ ~1.43×10 ⁻⁵)	1.23×10 ⁻⁴ (5.50×10 ⁻⁵ ~1.65×10 ⁻⁴)	2.32×10 ⁻⁶ (1.10×10 ⁻⁶ ~3.30×10 ⁻⁶)	2.73×10 ⁻⁸ (1.21×10 ⁻⁸ ~3.63×10 ⁻⁸)	4.89×10 ⁻³ (1.21×10 ⁻⁸ ~9.90×10 ⁻⁸)	2.73×10 ⁻¹⁴ (1.21×10 ⁻¹⁴ ~3.63×10 ⁻¹⁴)
	成人(女) Adult(female)	8.85×10 ⁻⁶ (3.80×10 ⁻⁶ ~1.23×10 ⁻⁵)	1.06×10 ⁻⁴ (4.74×10 ⁻⁵ ~9.49×10 ⁻⁴)	2.01×10 ⁻⁶ (9.49×10 ⁻⁷ ~2.85×10 ⁻⁶)	2.35×10 ⁻⁸ (1.04×10 ⁻⁸ ~3.13×10 ⁻⁸)	4.22×10 ⁻³ (1.04×10 ⁻⁸ ~8.54×10 ⁻³)	2.35×10 ⁻¹⁴ (1.04×10 ⁻¹⁴ ~3.13×10 ⁻¹⁴)
	儿童(男) Child(male)	2.46×10 ⁻⁵ (2.11×10 ⁻⁵ ~3.42×10 ⁻⁵)	2.95×10 ⁻⁴ (1.32×10 ⁻⁴ ~3.95×10 ⁻⁴)	5.55×10 ⁻⁶ (2.63×10 ⁻⁶ ~7.90×10 ⁻⁶)	6.52×10 ⁻⁸ (2.90×10 ⁻⁸ ~9.69×10 ⁻⁸)	2.60×10 ⁻⁸ (1.05×10 ⁻⁸ ~3.42×10 ⁻⁸)	6.52×10 ⁻¹⁴ (2.90×10 ⁻¹⁴ ~8.69×10 ⁻¹⁴)
	儿童(女) Child(female)	2.51×10 ⁻⁵ (1.08×10 ⁻⁵ ~3.50×10 ⁻⁵)	3.02×10 ⁻⁴ (1.34×10 ⁻⁴ ~4.03×10 ⁻⁴)	5.68×10 ⁻⁶ (2.69×10 ⁻⁶ ~8.07×10 ⁻⁶)	6.66×10 ⁻⁸ (2.96×10 ⁻⁸ ~8.87×10 ⁻⁸)	2.66×10 ⁻⁸ (1.08×10 ⁻⁸ ~3.50×10 ⁻⁸)	6.66×10 ⁻¹⁴ (2.96×10 ⁻¹⁴ ~8.87×10 ⁻¹⁴)
9	成人(男) Adult(male)	4.95×10 ⁻⁶ (3.30×10 ⁻⁶ ~1.43×10 ⁻⁵)	5.81×10 ⁻⁵ (3.30×10 ⁻⁵ ~1.65×10 ⁻⁴)	1.34×10 ⁻⁶ (1.10×10 ⁻⁶ ~3.30×10 ⁻⁶)	3.46×10 ⁻³ (1.21×10 ⁻⁸ ~7.70×10 ⁻³)	4.09×10 ⁻³ (1.43×10 ⁻⁸ ~4.40×10 ⁻³)	1.30×10 ⁻¹⁴ (7.70×10 ⁻¹⁵ ~3.63×10 ⁻¹⁴)
	成人(女) Adult(female)	4.27×10 ⁻⁶ (2.85×10 ⁻⁶ ~1.23×10 ⁻⁵)	5.01×10 ⁻⁵ (2.85×10 ⁻⁵ ~1.42×10 ⁻⁴)	1.15×10 ⁻⁶ (9.49×10 ⁻⁷ ~2.85×10 ⁻⁶)	2.98×10 ⁻³ (1.04×10 ⁻⁸ ~6.64×10 ⁻³)	3.35×10 ⁻³ (1.23×10 ⁻⁸ ~8.54×10 ⁻³)	1.12×10 ⁻¹⁴ (6.64×10 ⁻¹⁵ ~3.13×10 ⁻¹⁴)
	儿童(男) Child(male)	1.18×10 ⁻⁵ (7.90×10 ⁻⁶ ~3.42×10 ⁻⁵)	1.39×10 ⁻⁴ (7.90×10 ⁻⁵ ~3.95×10 ⁻⁴)	3.19×10 ⁻⁶ (2.63×10 ⁻⁶ ~7.90×10 ⁻⁶)	3.10×10 ⁻⁸ (1.84×10 ⁻⁸ ~5.79×10 ⁻⁸)	2.82×10 ⁻³ (1.05×10 ⁻⁸ ~7.90×10 ⁻³)	3.10×10 ⁻¹⁴ (1.84×10 ⁻¹⁴ ~5.79×10 ⁻¹⁴)
	儿童(女) Child(female)	1.21×10 ⁻⁵ (8.07×10 ⁻⁶ ~3.50×10 ⁻⁵)	1.42×10 ⁻⁴ (8.07×10 ⁻⁵ ~4.03×10 ⁻⁴)	3.27×10 ⁻⁶ (2.69×10 ⁻⁶ ~8.07×10 ⁻⁶)	3.17×10 ⁻⁸ (1.88×10 ⁻⁸ ~8.87×10 ⁻⁸)	2.88×10 ⁻³ (1.08×10 ⁻⁸ ~8.07×10 ⁻³)	3.17×10 ⁻¹⁴ (1.88×10 ⁻¹⁴ ~8.87×10 ⁻¹⁴)
	成人(男) Adult(male)	4.95×10 ⁻⁶ (3.30×10 ⁻⁶ ~1.43×10 ⁻⁵)	5.81×10 ⁻⁵ (3.30×10 ⁻⁵ ~1.65×10 ⁻⁴)	1.34×10 ⁻⁶ (1.10×10 ⁻⁶ ~3.30×10 ⁻⁶)	3.46×10 ⁻³ (1.21×10 ⁻⁸ ~7.70×10 ⁻³)	4.09×10 ⁻³ (1.43×10 ⁻⁸ ~4.40×10 ⁻³)	1.30×10 ⁻¹⁴ (7.70×10 ⁻¹⁵ ~3.63×10 ⁻¹⁴)
	成人(女) Adult(female)	4.27×10 ⁻⁶ (2.85×10 ⁻⁶ ~1.23×10 ⁻⁵)	5.01×10 ⁻⁵ (2.85×10 ⁻⁵ ~1.42×10 ⁻⁴)	1.15×10 ⁻⁶ (9.49×10 ⁻⁷ ~2.85×10 ⁻⁶)	2.98×10 ⁻³ (1.04×10 ⁻⁸ ~6.64×10 ⁻³)	3.35×10 ⁻³ (1.23×10 ⁻⁸ ~8.54×10 ⁻³)	1.12×10 ⁻¹⁴ (6.64×10 ⁻¹⁵ ~3.13×10 ⁻¹⁴)
	儿童(男) Child(male)	1.18×10 ⁻⁵ (7.90×10 ⁻⁶ ~3.42×10 ⁻⁵)	1.39×10 ⁻⁴ (7.90×10 ⁻⁵ ~3.95×10 ⁻⁴)	3.19×10 ⁻⁶ (2.63×10 ⁻⁶ ~7.90×10 ⁻⁶)	3.10×10 ⁻⁸ (1.84×10 ⁻⁸ ~5.79×10 ⁻⁸)	2.82×10 ⁻³ (1.05×10 ⁻⁸ ~7.90×10 ⁻³)	3.10×10 ⁻¹⁴ (1.84×10 ⁻¹⁴ ~5.79×10 ⁻¹⁴)
	儿童(女) Child(female)	1.21×10 ⁻⁵ (8.07×10 ⁻⁶ ~3.50×10 ⁻⁵)	1.42×10 ⁻⁴ (8.07×10 ⁻⁵ ~4.03×10 ⁻⁴)	3.27×10 ⁻⁶ (2.69×10 ⁻⁶ ~8.07×10 ⁻⁶)	3.17×10 ⁻⁸ (1.88×10 ⁻⁸ ~8.87×10 ⁻⁸)	2.88×10 ⁻³ (1.08×10 ⁻⁸ ~8.07×10 ⁻³)	3.17×10 ⁻¹⁴ (1.88×10 ⁻¹⁴ ~8.87×10 ⁻¹⁴)

(表 7)。

表 6 给出了本次研究选取的生活垃圾焚烧发电厂排放的 SO₂、NO₂、HCl、Pb、Cd 和 PCDD/Fs 对周边大气敏感点人群呼吸暴露量的贡献值。从表中可以看出随着烟囱距离增加, 污染物呼吸暴露剂量对成人和儿童贡献值有明显降低, 该结果与文献报道的结果也是一致的(张海龙等, 2013)。同时, 研究区域的成人和儿童对重金属和二噁英的潜在呼吸暴露剂量低于与文献报道水平(张海龙等, 2013; Montse et al., 2009)。以 WHO 给出的人体每日 PCDD/Fs 最大耐受量 4 pg·kg⁻¹·d⁻¹ 为参考依据, 该地区的成人和儿童的呼吸暴露贡献率都远低于该标准。就人群分布来看, 成人男性的呼吸暴露量要高于成年女性, 但是儿童则正好相反, 男童的呼吸暴露量低于女童。

对于非致癌物当 HI≤1 时(Federico et al., 2008), 风险较低或可以忽略; HI>1 时, 存在非致癌风险(Federico et al., 2008)。对于致癌物, 进行风险表征时, 评估其致癌风险 CR 值, 当 CR 在 10⁻⁶~10⁻⁴之间(即每 1 万人到 100 万人增加一个癌症患者), 认为该物质不具备致癌风险; CR<10⁻⁶,

风险可以忽略或者可接受; CR>10⁻⁴, 具备致癌风险, 应找出主要的风险贡献源, 对贡献来源进行论证后必须提出可行的风险管理策略, 将风险值降至可接受的范围。

由表 7 可见, 研究区周边敏感点中 SO₂ 对敏感人群(儿童和成人)的危险度 HI 范围在 1.24×10⁻⁴~2.45×10⁻³之间, NO₂ 对敏感人群(儿童和成人)的危险度 HI 范围在 9.82×10⁻⁴~2.32×10⁻²之间, HCl 对敏感点人群(儿童和成人)的危险度 HI 范围在 5.0×10⁻⁴~2.0×10⁻³之间, 就非致癌风险的危险度来看, 整个研究区域危害指数大小顺序为 NO₂>SO₂>HCl。可以看出 3 种特征污染物非致癌风险度 HI 值均远小于 1, 因此本次监测期间该厂排放烟气中的 SO₂、NO₂ 和 HCl 的浓度对其周边敏感点的敏感人群不会产生非致癌性的健康损害。

就致癌风险的危险度来看, 整个研究区域危害指数大小顺序为 Cd>PCDD/Fs>Pb, 但是, 本次监测期间该厂周边敏感点中 Cd 对敏感人群(儿童和成人)的致癌风险 CR 范围在 2.39×10⁻⁸~4.97×10⁻⁷之间, CR 值小于 10⁻⁶, 因此 Cd 对敏感人群(儿童

表 7 人群呼吸暴露风险
Table 7 Exposure risks of population inhalation

敏感点数 Sensitive points	人群 Population	非致癌风险 Non-carcinogenic risk			致癌风险 Carcinogenic risk		
		SO ₂	NO ₂	HCl	Pb	Cd	PCDD/Fs
4	成人(男)	8.35×10 ⁻⁴	7.88×10 ⁻³		1.69×10 ⁻⁷	4.33×10 ⁻¹⁰	7.63×10 ⁻⁹
	Adult(male)	(6.22×10 ⁻⁴ ~1.00×10 ⁻³)	(5.69×10 ⁻³ ~9.49×10 ⁻³)		(1.20×10 ⁻⁷ ~2.03×10 ⁻⁷)	(3.09×10 ⁻¹⁰ ~5.24×10 ⁻¹⁰)	(5.45×10 ⁻⁹ ~9.24×10 ⁻⁹)
	成人(女)	7.22×10 ⁻⁴	6.79×10 ⁻³		1.46×10 ⁻⁷	3.73×10 ⁻¹⁰	6.58×10 ⁻⁹
	Adult(female)	(5.36×10 ⁻⁴ ~8.66×10 ⁻⁴)	(4.91×10 ⁻³ ~8.18×10 ⁻³)	1.75×10 ⁻³	(1.04×10 ⁻⁷ ~1.75×10 ⁻⁷)	(2.66×10 ⁻¹⁰ ~4.52×10 ⁻¹⁰)	(4.70×10 ⁻⁹ ~7.97×10 ⁻⁹)
	儿童(男)	2.00×10 ⁻³	1.88×10 ⁻²	(1.50×10 ⁻³ ~2.00×10 ⁻³)	4.03×10 ⁻⁷	1.03×10 ⁻⁹	1.83×10 ⁻⁸
	Child(male)	(1.49×10 ⁻³ ~2.40×10 ⁻³)	(1.36×10 ⁻² ~2.27×10 ⁻²)		(2.87×10 ⁻⁷ ~4.86×10 ⁻⁷)	(7.38×10 ⁻¹⁰ ~1.25×10 ⁻⁹)	(1.30×10 ⁻⁸ ~2.21×10 ⁻⁸)
	儿童(女)	2.04×10 ⁻³	1.93×10 ⁻²		4.12×10 ⁻⁷	1.06×10 ⁻⁹	1.87×10 ⁻⁸
9	Child(female)	(1.52×10 ⁻³ ~2.45×10 ⁻³)	(1.39×10 ⁻² ~2.32×10 ⁻²)		(2.94×10 ⁻⁷ ~4.86×10 ⁻⁷)	(7.54×10 ⁻¹⁰ ~1.28×10 ⁻⁹)	(1.33×10 ⁻⁸ ~2.26×10 ⁻⁸)
	成人(男)	4.47×10 ⁻⁴	4.26×10 ⁻³		9.14×10 ⁻⁸	2.32×10 ⁻¹⁰	4.09×10 ⁻⁹
	Adult(male)	(1.91×10 ⁻⁴ ~6.22×10 ⁻⁴)	(1.90×10 ⁻³ ~5.69×10 ⁻³)		(3.70×10 ⁻⁸ ~1.20×10 ⁻⁷)	(1.03×10 ⁻¹⁰ ~3.09×10 ⁻¹⁰)	(1.82×10 ⁻⁹ ~5.45×10 ⁻⁹)
	成人(女)	3.85×10 ⁻⁴	3.67×10 ⁻³		7.89×10 ⁻⁸	2.00×10 ⁻¹⁰	3.53×10 ⁻⁹
	Adult(female)	(1.65×10 ⁻⁴ ~5.69×10 ⁻⁴)	(1.64×10 ⁻³ ~4.91×10 ⁻³)	1.06×10 ⁻³	(7.17×10 ⁻⁸ ~1.04×10 ⁻⁷)	(8.87×10 ⁻¹¹ ~2.66×10 ⁻¹⁰)	(1.57×10 ⁻⁹ ~4.70×10 ⁻⁹)
	儿童(男)	1.07×10 ⁻³	1.02×10 ⁻²	(5.00×10 ⁻⁴ ~1.50×10 ⁻³)	2.18×10 ⁻⁷	5.54×10 ⁻¹⁰	9.78×10 ⁻⁹
	Child(male)	(4.58×10 ⁻⁴ ~1.49×10 ⁻³)	(4.54×10 ⁻³ ~1.36×10 ⁻²)		(8.84×10 ⁻⁸ ~2.87×10 ⁻⁷)	(4.92×10 ⁻¹⁰ ~7.38×10 ⁻¹⁰)	(4.34×10 ⁻⁹ ~1.30×10 ⁻⁸)
14	儿童(女)	1.09×10 ⁻³	1.04×10 ⁻²		2.23×10 ⁻⁷	5.66×10 ⁻¹⁰	9.99×10 ⁻⁹
	Child(female)	(4.68×10 ⁻⁴ ~1.52×10 ⁻³)	(4.64×10 ⁻³ ~1.39×10 ⁻²)		(9.03×10 ⁻⁸ ~2.94×10 ⁻⁷)	(2.51×10 ⁻¹⁰ ~7.54×10 ⁻¹⁰)	(4.44×10 ⁻⁹ ~1.33×10 ⁻⁸)
	成人(男)	2.15×10 ⁻⁴	2.01×10 ⁻³		4.29×10 ⁻⁸	1.10×10 ⁻¹⁰	1.95×10 ⁻⁹
	Adult(male)	(1.44×10 ⁻⁴ ~6.22×10 ⁻⁴)	(1.14×10 ⁻³ ~5.69×10 ⁻³)		(2.77×10 ⁻⁸ ~1.20×10 ⁻⁷)	(6.55×10 ⁻¹¹ ~3.09×10 ⁻¹⁰)	(1.16×10 ⁻⁹ ~5.45×10 ⁻⁹)
	成人(女)	1.86×10 ⁻⁴	1.73×10 ⁻³		3.70×10 ⁻⁸	9.50×10 ⁻¹¹	1.68×10 ⁻⁹
	Adult(female)	(1.24×10 ⁻⁴ ~5.36×10 ⁻⁴)	(9.82×10 ⁻⁴ ~4.91×10 ⁻³)	6.07×10 ⁻⁴	(3.19×10 ⁻⁸ ~1.04×10 ⁻⁷)	(5.65×10 ⁻¹¹ ~2.66×10 ⁻¹⁰)	(9.96×10 ⁻⁹ ~4.70×10 ⁻⁹)
	儿童(男)	5.15×10 ⁻⁴	4.80×10 ⁻³	(5.00×10 ⁻⁴ ~1.50×10 ⁻³)	1.03×10 ⁻⁷	2.64×10 ⁻¹⁰	4.65×10 ⁻⁹
	Child(male)	(3.43×10 ⁻⁴ ~1.49×10 ⁻³)	(2.72×10 ⁻³ ~1.36×10 ⁻²)		(6.63×10 ⁻⁸ ~2.87×10 ⁻⁷)	(1.57×10 ⁻¹⁰ ~4.92×10 ⁻¹⁰)	(2.76×10 ⁻⁹ ~1.30×10 ⁻⁸)
	儿童(女)	5.26×10 ⁻⁴	4.90×10 ⁻³		1.05×10 ⁻⁷	2.69×10 ⁻¹⁰	4.75×10 ⁻⁹
	Child(female)	(3.51×10 ⁻⁴ ~1.52×10 ⁻³)	(2.78×10 ⁻³ ~1.39×10 ⁻²)		(6.78×10 ⁻⁸ ~2.94×10 ⁻⁷)	(1.60×10 ⁻¹⁰ ~5.03×10 ⁻¹⁰)	(2.82×10 ⁻⁹ ~1.33×10 ⁻⁸)

和成人)的致癌风险较小; Pb 对敏感人群(儿童和成人)的致癌风险 CR 范围在 $5.65 \times 10^{-11} \sim 1.28 \times 10^{-9}$ 之间, CR 值远小于 10^{-6} , 因此 Pb 对敏感人群(儿童和成人)的致癌风险可以忽略。同样, 二噁英对敏感人群(儿童和成人)的致癌风险 CR 范围在 $9.96 \times 10^{-10} \sim 2.26 \times 10^{-8}$ 之间, CR 值也远小于 10^{-6} , 因此, 二噁英对敏感人群(儿童和成人)的致癌风险也较低。

由此可见, 该生活垃圾焚烧发电厂烟气排放的特征污染物(NO_2 、 SO_2 、 HCl 、 Cd 、 Pb 和 PCDD/Fs)对敏感点的人群产生的非致癌性的健康损害、致癌风险均处于可接受范围; 相对而言, 所有敏感点中特征污染物对成人和儿童中男性造成的健康风险要高于女性, 而儿童的非致癌或致癌风险明显高于成人, 可见在相同浓度水平的特征污染物的暴露下, 儿童的健康更容易受到伤害, 体现了儿童的易侵性特征, 因此需要给予儿童更高的重视。

4 结论

以 2014 年度监督性监测结果为基础, 基于 AERMOD 模型预测该垃圾焚烧发电厂排放的特征污染物 SO_2 、 NO_2 、 HCl 、 Pb 、 Cd 和 PCDD/Fs 的日均浓度贡献值均低于评价标准限制值, 表明该厂在本次监测期间排放的主要大气特征污染物对周边环境敏感点影响较小。呼吸暴露健康风险评价结果显示这 6 种烟气排放物对敏感点人群产生的非致癌性的健康损害、致癌风险均处于可接受范围, 但是相对成人来说, 儿童会承受更高的呼吸暴露剂量, 所以儿童的污染暴露应该得到更高的重视。同时由于客观原因, 风险评估过程中不可避免地存在诸多不确定性, 包括模型参数的引用, 各种污染物的之间的联合风险等等, 尽管如此, 本研究仍可在一定程度上掌握垃圾焚烧厂对其周边环境的影响和对敏感点人群健康的潜在风险, 为城市居民的健康保护与城市生态建设提供科学依据。

参考文献:

FEDERICO C, GIANLUCA I, LORENZO L, et al. 2008. Health risk assessment of air emissions from a municipal solid waste incineration plant – A case study [J]. *Waste Management*, 28(1): 885-895.

HU X, ZHANG Y, DING Z, et al. 2012. Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM_{2.5} in Nanjing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 57(12): 146-152.

IRIS. 2015. Integrated risk information system [EB/OL]. <http://www.epa.gov/iris>.

LEE S J, CHOI S D, JIN G Z, et al. 2007. Assessment of PCDD/F risk after implementation of emission reduction at a MSWI [J]. *Chemosphere*, 68(1): 856-863.

MA J, KANNAN K, CHENG J, et al. 2008. Concentrations, profiles, and estimated human exposures for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from electronic waste recycling facilities and a chemical industrial complex in Eastern China [J]. *Environmental Science and Technology*, 42(22): 8252-8259.

MARI M, NADAL M, FERRÉ-HUGUET N, et al. 2007. Monitoring PCDD/Fs in soil and herbage samples collected near a hazardous waste incinerator. Health risks for the population living nearby [J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 13(6): 1255-1270.

MONTSE M, MARTÍ N, MARTA S, et al. 2009. Exposure to heavy metals and PCDD/Fs by the population living in the vicinity of a hazardous waste landfill in Catalonia, Spain: Health risk assessment [J]. *Environment International*, 35(1): 1034-1039.

国家环境保护总局. 1999. HJ/T27—1999. 固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

国家环境保护总局. 2000. HJ/T57—2000. 固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

国家环境保护总局. 2003. 空气和废气监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 470-472.

环境保护部. 2008. HJ2.2—2008. 环境影响评价技术导则 大气环境[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

环境保护部. 2008. HJ77.2—2008. 环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

环境保护部. 2012. GB3095—2012. 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

环境保护部. 2013. 中国人群暴露参数手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 746.

环境保护部. 2014. GB18485—2014. 生活垃圾焚烧污染控制标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

刘东, 李璞. 2012. 我国城市生活垃圾焚烧存在的问题与对策分析[J]. *生态经济*, 18(5): 165-170.

美国环保署. 1995. EPA 200.7—1995. 电感耦合等离子体发射光谱法测定水和废物中的金属和痕量元素[S]. 美国环保署.

卫生部. 1979. TJ36-79. 工业企业设计卫生标准[S].

吴锐. 2009. 城市生活垃圾焚烧发电厂主要成分分析与研究[D]. 广州: 华南理工大学: 7-12.

伍琳瑛. 2015. 广东省生活垃圾焚烧处理的现状与发展趋势研究[J]. *环境卫生工程*, 23(3): 33-36.

向明灯, 杨林, 于云江, 等. 2013. 基于健康风险评估的垃圾焚烧电厂选址研究[J]. *中国环境科学*, 33(1): 165-171.

张春辉, 郭建阳, 石顺权, 等. 2014. 贵阳市干道降尘中的多环芳烃及其健康风险评估[J]. *生态学杂志*, 33(10): 2810-2816.

张刚. 2013. 城市固体废物焚烧过程二噁英与重金属排放特征及控制技术[D]. 广州: 华南理工大学: 34-47.

张海龙, 李祥平, 齐剑英, 等. 2013. 生活垃圾焚烧处理设施周边环境重金属污染健康风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 32(8): 1670-1676.

张振全, 张漫雯, 赵保卫, 等. 2013. 生活垃圾焚烧厂周边环境空气中 PCDD/Fs 含量及分布特征[J]. *中国环境科学*, 33(7): 1207-1214.

Inhalation Exposure Risk Assessment of A Typical Municipal Solid Waste Incinerator, South China

LIU Jun¹, ZHAO Jinping¹, YANG Lihui¹, HUANG Daojian², WANG Xiong², DENG Dongyang², HAN Jinglei^{2*}

1. Guangdong Environmental Monitoring Centre, Guangzhou 510308, China;

2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China

Abstract: A southern municipal solid waste incinerator (MSWI) has been chosen to monitor in this paper, and distribution of the sensitive points surrounding MSWI in 3 km radius were surveyed. Based on supervision of monitoring data that collected from Guangdong monitoring centre in 2014, using sophisticated atmospheric prediction model-AERMOD to forecast the daily levels of six pollutants in 27 environmental points. The average daily concentration for SO₂, NO₂, HCl, Cd, Pb and dioxins were 0.03~0.21 μg·m⁻³, 0.3~2.5 μg·m⁻³, 0.01~0.04 μg·m⁻³, 0.07~0.56 ng·m⁻³, 0.03~0.22 ng·m⁻³ and 0.01~0.07 ng·m⁻³, which were lower standard values and showed that the six pollutants discharged during the study period had a minor effect on the surrounding environment. In addition, the maximum daily concentration of the six pollutants located in the grid (200, 150), the maximum concentration were 22.45, 266, 4.49, 56.1, 22.5 μg·m⁻³ and 59.5 fg·m⁻³, respectively. Especially for NO₂, which was higher 3.3 times than the standard value. Therefore, the sensitive point that located this grid need to deserve special attention. The inhalation exposure dose and risk assessment of population who were surrounded with MSWI using US EPA risk assessment model, the results showed that the exposure dose of adults and children were declined with the increase of distance of chimney. The order of non-carcinogenic and carcinogenic compounds dangerous index HI and CR were NO₂>SO₂>HCl and Cd > PCDD/Fs > Pb, respectively. However, these compounds' exposure risk was relatively low and at an acceptable level, even children can withstand higher breathing exposure dose relative to adults, in term of gender, men will be exposed to a higher dose. The results provided scientific basis for the environmental protection departments who need to master the effect on the surrounding environment and the potential health risk by the waste incineration plant.

Key words: municipal solid waste incinerator; heavy metal; dioxin; inhalation exposure; risk assessment