

污染源废气中二噁英监测采样应注意的几个问题

饶钦全,王晖,徐方曦,余彬彬
(台州市环境监测中心站,浙江 台州 318000)

摘 要:解析废气中二噁英监测采样的现状及不足,针对生活垃圾焚烧炉(炉排炉)、蓄热式焚烧炉(RTO)和危险废物焚烧炉(回转窑)3 种不同类型焚烧炉,考察了采样过程中烟道类型、采样时间和采样时间间隔不同对二噁英监测的影响。结果表明,在水平烟道和垂直烟道采样测得二噁英排放浓度水平相当,有垂直烟道时,优先在垂直烟道采样;间隔采样和连续采样二噁英测定结果基本一致,为了便于操作,建议均采用连续采样方式;采样时间上,生活垃圾焚烧炉应保证超过 1 h,蓄热式焚烧炉以 2 h 左右为宜;间歇投料危险废物焚烧炉应尽量满足 2 h 以上,条件不许可时,可通过增加采样流量缩短采样时间保证采样量,并在危险废物完全燃烧前结束采样工作。

关键词:二噁英;废气;监测采样;污染源;采样时间

中图分类号:X830.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-6732(2017)05-0035-04

Problems Laid Emphasis on Sampling of Dioxin in Waste Gas

RAO Qin-quan, WANG Hui, XU Fang-xi, YU Bing-bing
(Taizhou Environmental Monitoring Center Station, Taizhou, Zhejiang 318000, China)

Abstract: Based on the interpretation and practical operation of dioxin monitoring in domestic pollution sources of incineration enterprises, the current deficiency of dioxin monitoring and sampling is recognized in this paper. Different flues, sampling time and sampling period were studied in dioxin monitoring and sampling for three different types of incinerators respectively. The results showed that the concentrations of dioxin measured in the horizontal flue were quite the same as in vertical flue. Vertical flue should be preferred when there is a vertical flue; the results of interval sampling and continuous sampling of dioxin are basically the same, so the continuous sampling method is recommended to facilitate the operation. The sampling time of municipal solid waste incinerator should be guaranteed more than 1 h, and the sampling time of regenerative incinerator should be about 2 h; for the batch-type hazardous waste incinerator, the sampling time should be sustained for more than 2 h, when the condition is not permitted, the sampling time can be shortened and the sampling amount can be guaranteed by increasing the sampling flow, the sampling process must be finished before the complete combustion of hazardous waste.

Key words: Dioxins; Exhaust gas; Monitoring and sampling; Pollution sources; Sampling time

二噁英是多氯代二苯并-对-二噁英和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)的简称,共有 210 种异构体。二噁英不但具有很强的毒性,而且具有致癌性、致突变性、生物富集性以及环境介质中的长期稳定性,是目前《斯德哥尔摩国际公约》中最受关注的首批管控持久性有机污染物。二噁英的产生和来源非常广泛^[1-6],其中铁矿石烧结、炼钢生产、再生有色金属和废弃物焚烧 4 个重点行业占我国二噁英排放总量的 8 成以上^[7],其中废弃物焚烧又占主导。

为采集到有代表性的样品,结合国内外经验和实践操作,现就现行废弃物焚烧企业污染源废气中

二噁英监测过程中存在的问题,针对生活垃圾焚烧炉(炉排炉)、蓄热式焚烧炉(RTO)和危险废物焚烧炉(回转窑)3 种不同类型焚烧炉,对不同烟道类型、采样时间和采样时间间隔对监测结果的影响进行研究,并对不同污染源废气二噁英采样提出一些建议和改进意见。

1 现行监测采样存在的问题

国内废弃物焚烧污染源废气二噁英采样主要

收稿日期:2017-04-26;修订日期:2017-06-20
作者简介:饶钦全(1984—),男,工程师,硕士,主要从事环境监测工作。

参考 EPA23^[8] 和 EN1948^[9] 2 种方法,在此基础上我国 2008 年制定了《环境空气和废气 二噁英的测定 同位素稀释高分辨气相-高分辨质谱法》(HJ 77.2—2008)。《HJ 77.2—2008》里规定采样点位设置依据《固定污染源排气中颗粒物测定和气态污染物采样方法》(GB/T 16157—1996)进行。按照《GB/T 16157—1996》的要求,根据断面大小确定采样点数和位置,不管是矩形烟道还是圆形烟道,要求采样点位优先设置在垂直烟道上。而目前很多废气设施处理装置由于现场空间限制,只设置有水平烟道采样孔,而且水平烟道采样只能设置一条采样直径,水平烟道二噁英废气浓度与垂直烟道废气浓度是否一致并未得到验证。

《HJ 77.2—2008》和《危险废物(含医疗废物)焚烧处置设施二噁英排放监测技术规范》(HJ/T 365—2007)对于危险废物焚烧废气二噁英的采样时间规定一般不小于 2 h,连续采样;若采集 3 个样品焚烧炉至少需要稳定燃烧 6 h 以上,对于间歇投料焚烧炉可能无法满足稳定燃烧 6 h 以上的监测采样要求,再加上更换样品和前期准备工作等可能要求稳定燃烧时间更长,这更加大了采集到代表性样品的难度。《HJ/T 365—2007》中要求生活垃圾焚烧炉参照该标准执行监测采样,而 2016 年新执行的《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)要求生活垃圾焚烧炉排气二噁英监测中采集 3 个样品,每个样品采样时间不少于 2 h,采样时间间隔最少为 6 h,最多不超过 8 h,实际采样很难做到每个焚烧炉采样周期为 18 ~ 24 h,《GB 18485—2014》和《HJ/T 365—2007》对于生活垃圾焚烧炉二噁英采样时间规定不能达到统一。当前对于蓄热式焚烧炉采样时间和时间间隔还未见具体规定。

2 实验部分

2.1 主要仪器和试剂

DFS 高分辨气相色谱-高分辨质谱联用仪(HRGC-HRMS)(美国 Thermo Fisher 公司);G₄型二噁英烟道气等速采样器(意大利 TECORA 公司);手动索氏提取仪(定制);旋转蒸发仪(意大利 BUCHI 公司);氮吹仪(美国 Organomation 公司)。

采样内标 EPA23 SS、提取内标 EPA23 IS、进样内标 EPA23 RS 均购自美国 Wellington 公司;甲苯、丙酮、二氯甲烷、正己烷(农残级)购自美国 J. T.

Baker 公司;壬烷(优级纯);XAD2 树脂(美国 Sigma Aldrich 公司)用丙酮洗净后,再用甲苯索氏提取 16 h 以上;石英纤维滤筒(瑞士 Muntell 公司)用前放入马弗炉中 600℃ 加热 6 h;实验用水为超纯水。

2.2 样品分析

样品采集后树脂和滤筒充分干燥,冷凝水用二氯甲烷萃取、干燥、浓缩后与树脂和滤筒合并,加入¹³C 同位素标记的提取内标 EPA23 IS,用甲苯为溶剂,索氏提取 24 h。提取液分别经过浓硫酸酸洗、干燥、定容、分取后经酸碱多层硅胶和活性炭分散硅胶等步骤净化处理,浓缩、添加进样内标 EPA23 RS,定容后使用高分辨气质联机定性定量分析。毒性当量浓度值计算采用 I-TEF 国际毒性当量因子。

2.3 质量控制

按照《HJ 77.2—2008》中要求,对采样玻璃器具、采样吸附材料和滤筒等分别进行了清洗和处理。运输空白样品和实验室空白样品的质量浓度 < 5 pg/m³;废气样品中采样内标(SS)回收率为 86% ~ 118%,净化内标(IS)回收率为 56% ~ 97%。质量控制结果满足《HJ 77.2—2008》要求。

3 结果与讨论

3.1 不同烟道对采样结果的影响

为考察不同烟道对采样结果的影响,选择生活垃圾焚烧炉(炉排炉)、蓄热式焚烧炉(RTO)、危险废物焚烧炉(间歇投料回转窑)作为采样源,上述炉型均含有符合采样条件的垂直烟道和水平烟道。严格按照《GB/T 16157—1996》要求进行多断面采样,根据烟气流速选择适宜采样烟嘴,标准等速采样流量约为 15 ~ 30 L/min,采样前均加入适量¹³C 同位素标记的二噁英采样内标 EPA23 SS。垂直烟道和水平烟道各同时采集 3 个样品,每个样品采样时间持续为 2 h 左右,采样量满 2 m³为宜,以 3 个样品二噁英浓度的算数平均值作为测定结果。不同烟道类型二噁英测定结果见表 1。

由表 1 可见,不管是水平烟道还是垂直烟道,同类型焚烧炉排放废气中的二噁英单体浓度分布规律基本一致。在生活垃圾焚烧炉中,质量浓度占比最大的为 OCDD,占比为 30% 左右,1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 次之,毒性当量占比最大为 2,3,4,7,8-PeCDF,排放烟气中的 PCDFs 对二噁英的贡

献率要远高于 PCDDs,这与相关文献报道基本一致^[10-12];垂直烟道二噁英毒性当量值为 0.083 ng/m³,水平烟道二噁英毒性当量值为 0.093 ng/m³,水平烟道二噁英毒性当量测定结果略高于垂直烟道二噁英毒性当量测定结果,但其浓度水平相当。在蓄热式焚烧炉中,质量浓度和毒性当量占比最大的均为 2,3,4,7,8 - PeCDF,垂直烟道毒性当量值为 0.065 ng/m³,水平烟道毒性当量值为 0.066 ng/m³,水平烟道与垂直烟道二噁英毒性当量测定结果基本一致。在危险废物焚烧炉中,

质量浓度占比最大的为 1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF,占比为 20% 左右,同样毒性当量占比最大为 2,3,4,7,8 - PeCDF,垂直烟道二噁英毒性当量值为 0.092 ng/m³,水平烟道二噁英毒性当量值为 0.094 ng/m³,水平烟道与垂直烟道二噁英毒性当量测定结果也无明显差异。

经上述分析得出,污染源废气二噁英采样应首先按照《GB/T 16157—1996》要求,采样点位优先设置在垂直烟道上,当现场没有垂直烟道时,也可采用水平烟道进行监测取样。

表 1 不同烟道类型二噁英测定结果

表 1 不同烟道类型二噁英测定结果												ng/m ³
化合物	生活垃圾焚烧炉				蓄热式焚烧炉				危险废物焚烧炉			
	垂直烟道		水平烟道		垂直烟道		水平烟道		垂直烟道		水平烟道	
	质量浓度	毒性当量	质量浓度	毒性当量	质量浓度	毒性当量	质量浓度	毒性当量	质量浓度	毒性当量	质量浓度	毒性当量
2,3,7,8 - TCDD	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
1,2,3,7,8 - PeCDD	0.013	0.007	0.017	0.009	0.007	0.004	0.006	0.003	0.009	0.005	0.012	0.006
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	0.027	0.003	0.029	0.003	0.002	0.000 2	0.002	0.000 2	0.016	0.002	0.014	0.001
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	0.068	0.007	0.076	0.008	0.003	0.000 3	0.003	0.000 3	0.026	0.003	0.022	0.002
1,2,3,7,8,9 - HxCDD	0.037	0.004	0.048	0.005	0.002	0.000 2	0.002	0.000 2	0.020	0.002	0.018	0.002
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	0.480	0.005	0.504	0.005	0.013	0.000 1	0.014	0.000 1	0.115	0.001	0.103	0.001
OCDD	0.650	0.000 7	0.686	0.000 7	0.019	0.000 02	0.020	0.000 02	0.116	0.000 1	0.111	0.000 1
2,3,7,8 - TCDF	0.037	0.004	0.014	0.001	0.019	0.002	0.012	0.001	0.014	0.001	0.015	0.002
1,2,3,7,8 - PeCDF	0.044	0.002	0.046	0.002	0.026	0.001	0.023	0.001	0.024	0.001	0.031	0.002
2,3,4,7,8 - PeCDF	0.063	0.032	0.060	0.030	0.100	0.050	0.103	0.052	0.080	0.040	0.096	0.048
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	0.061	0.006	0.102	0.010	0.015	0.002	0.015	0.002	0.087	0.009	0.066	0.007
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	0.073	0.007	0.108	0.011	0.015	0.002	0.016	0.002	0.093	0.009	0.069	0.007
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	0.105	0.011	0.162	0.016	0.019	0.002	0.020	0.002	0.119	0.012	0.094	0.009
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0.030	0.003	0.044	0.004	0.012	0.001	0.013	0.001	0.034	0.003	0.030	0.003
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0.206	0.002	0.360	0.004	0.015	0.000 2	0.015	0.000 2	0.234	0.002	0.200	0.002
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	0.056	0.000 6	0.060	0.000 6	0.003	0.000 03	0.003	0.000 03	0.035	0.000 3	0.032	0.000 3
OCDF	0.087	0.000 1	0.133	0.000 1	0.006	0.000 01	0.006	0.000 01	0.080	0.000 1	0.074	0.000 1
总毒性当量		0.083		0.093		0.065		0.066		0.092		0.094

3.2 不同采样时间对采样结果影响

以生活垃圾焚烧炉、蓄热式焚烧炉和危险废物焚烧炉为采样源,使用不同型号的烟嘴,等速采样,采样时间分别设置为 1,2,4 和 6 h,样品采集量要求 >2 m³(采样 1 h,要求采样量 >1 m³,分析时不分取),以 3 个样品二噁英浓度算数平均值作为测定结果,比较不同采样时间对二噁英测定的影响,结果见表 2。

由表 2 中可见,生活垃圾焚烧炉废气采样 1,2,4 和 6 h 测得二噁英毒性当量值分别为 0.034,0.026,0.027 和 0.033 ng/m³;采样 1 h 测得二噁英毒性当量最高,但与采样 2~6 h 的测定结果并无显著差异,说明采样时间长短对生活垃圾焚烧炉废气中二噁英的测定结果无明显影响,这与生活垃圾

成分较为稳定、生活垃圾焚烧炉作为连续进料焚烧设备长期稳定焚烧有关。

蓄热式焚烧炉废气采样 1,2,4 和 6 h 测得二噁英毒性当量值分别为 0.099,0.079,0.035 和 0.062 ng/m³,蓄热式焚烧炉稳定燃烧后,采样 1 h 二噁英排放浓度最高,然后逐渐降低,在采样 6 h 后又有升高趋势,二噁英排放浓度无稳定规律,这可能与企业生产使用原料和生产周期有关。为此,我们测定了蓄热式焚烧炉 3 个生产周期内的二噁英平均排放浓度,其结果见表 3。

由表 3 看出,在不同生产周期内,二噁英平均毒性当量值分别为 0.061,0.056 和 0.066 ng/m³,每个生产周期二噁英排放浓度水平相当,并且 17 种二噁英类化合物质量浓度分布规律也基本一致。

表 2 不同采样时间二噁英测定结果												ng/m ³
化合物	生活垃圾焚烧炉				蓄热式焚烧炉				危险废物焚烧炉			
	1 h	2 h	4 h	6 h	1 h	2 h	4 h	6 h	1 h	2 h	4 h	6 h
2,3,7,8 – TCDD	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
1,2,3,7,8 – PeCDD	0.006	0.005	0.006	0.007	0.011	0.008	0.004	0.006	0.016	0.006	0.006	0.005
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	0.006	0.005	0.005	0.008	0.022	0.002	0.005	0.002	0.037	0.012	0.006	0.008
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	0.015	0.015	0.016	0.023	0.052	0.004	0.012	0.003	0.085	0.029	0.015	0.013
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	0.008	0.007	0.007	0.009	0.034	0.003	0.007	0.002	0.059	0.019	0.009	0.010
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDD	0.093	0.078	0.080	0.123	0.408	0.015	0.075	0.016	0.670	0.227	0.088	0.057
OCDD	0.137	0.114	0.105	0.180	0.672	0.021	0.114	0.026	0.954	0.373	0.131	0.058
2,3,7,8 – TCDF	0.017	0.017	0.014	0.012	0.012	0.029	0.004	0.010	0.020	0.007	0.007	0.007
1,2,3,7,8 – PeCDF	0.023	0.020	0.024	0.021	0.027	0.034	0.011	0.019	0.039	0.015	0.016	0.012
2,3,4,7,8 – PeCDF	0.027	0.025	0.024	0.032	0.056	0.120	0.040	0.099	0.103	0.031	0.051	0.040
1,2,3,4,7,8 – HxCDF	0.031	0.021	0.023	0.024	0.084	0.018	0.017	0.015	0.157	0.047	0.020	0.044
1,2,3,6,7,8 – HxCDF	0.029	0.016	0.018	0.022	0.095	0.018	0.019	0.016	0.184	0.053	0.024	0.046
2,3,4,6,7,8 – HxCDF	0.034	0.016	0.016	0.026	0.172	0.022	0.027	0.020	0.341	0.096	0.032	0.060
1,2,3,7,8,9 – HxCDF	0.011	0.006	0.008	0.010	0.066	0.014	0.009	0.006	0.139	0.037	0.012	0.017
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDF	0.075	0.031	0.033	0.047	0.319	0.017	0.042	0.016	0.613	0.177	0.051	0.117
1,2,3,4,7,8,9 – HpCDF	0.013	0.008	0.008	0.012	0.069	0.004	0.007	0.004	0.136	0.038	0.009	0.017
OCDF	0.035	0.015	0.014	0.024	0.157	0.007	0.020	0.009	0.301	0.087	0.029	0.040
总毒性当量	0.034	0.026	0.027	0.033	0.099	0.079	0.035	0.062	0.181	0.055	0.041	0.046

表 3 蓄热式焚烧炉不同周期二噁英平均排放浓度 ng/m³

化合物	生产周期		
	第一周期	第二周期	第三周期
2,3,7,8 – TCDD	0.001	0.002	0.001
1,2,3,7,8 – PeCDD	0.006	0.006	0.006
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	0.002	0.002	0.002
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	0.003	0.003	0.003
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	0.002	0.002	0.002
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDD	0.014	0.011	0.014
OCDD	0.020	0.015	0.020
2,3,7,8 – TCDF	0.012	0.017	0.014
1,2,3,7,8 – PeCDF	0.021	0.023	0.023
2,3,4,7,8 – PeCDF	0.096	0.084	0.104
1,2,3,4,7,8 – HxCDF	0.015	0.013	0.015
1,2,3,6,7,8 – HxCDF	0.015	0.013	0.016
2,3,4,6,7,8 – HxCDF	0.020	0.016	0.020
1,2,3,7,8,9 – HxCDF	0.012	0.010	0.012
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDF	0.016	0.013	0.015
1,2,3,4,7,8,9 – HpCDF	0.003	0.003	0.003
OCDF	0.006	0.005	0.006
总毒性当量	0.061	0.056	0.066

危险废物焚烧炉稳定燃烧后废气采样 1,2,4 和 6 h 测得二噁英毒性当量值分别为 0.181, 0.055,0.041 和 0.046 ng/m³,在稳定焚烧后采样 1 h 测得二噁英排放浓度为 0.181 ng/m³,明显高于其他几个采样时长测得的二噁英排放浓度,约为 2~6 h 采样时长测得二噁英平均排放浓度的 3 倍,这可能是固体废物燃烧不够充分所致,取样 2 h 后测得的二噁英排放浓度趋于稳定。

3.3 不同采样时间间隔对采样结果影响

为考察不同采样时间间隔对采样结果的影响,设置间隔 6 h 与连续采样 2 种方式,等速采集 3 个样品,以 3 个样品二噁英浓度算数平均值作为测定结果。3 种类型焚烧炉不同采样时间间隔采样获得的二噁英测定结果见表 4。

由表 4 可见,生活垃圾焚烧炉间隔 6 h 采样与连续采样测得二噁英毒性当量值分别为 0.027 和 0.023 ng/m³;蓄热式焚烧炉间隔 6 h 采样与连续

表 4 不同采样时间间隔二噁英测定结果							ng/m ³
化合物	生活垃圾焚烧炉		蓄热式焚烧炉		危险废物焚烧炉		
	间隔 6 h	连续取样	间隔 6 h	连续取样	间隔 6 h	连续取样	
2,3,7,8 – TCDD	0.001	0.001	0.002	0.002	0.007	0.008	
1,2,3,7,8 – PeCDD	0.004	0.003	0.008	0.007	0.017	0.016	
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	0.006	0.004	0.014	0.002	0.012	0.011	
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	0.017	0.010	0.032	0.004	0.028	0.027	
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	0.010	0.006	0.021	0.003	0.017	0.016	
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDD	0.110	0.056	0.242	0.016	0.118	0.145	

化合物	续表					
	生活垃圾焚烧炉		蓄热式焚烧炉		危险废物焚烧炉	
	间隔 6 h	连续取样	间隔 6 h	连续取样	间隔 6 h	连续取样
OCDD	0.149	0.089	0.393	0.024	0.127	0.153
2,3,7,8 - TCDF	0.004	0.006	0.008	0.020	0.045	0.049
1,2,3,7,8 - PeCDF	0.010	0.011	0.019	0.027	0.036	0.039
2,3,4,7,8 - PeCDF	0.018	0.016	0.048	0.110	0.048	0.053
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	0.022	0.027	0.051	0.017	0.038	0.039
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	0.022	0.025	0.057	0.017	0.039	0.039
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	0.031	0.027	0.100	0.021	0.048	0.052
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0.008	0.007	0.038	0.010	0.013	0.014
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0.069	0.075	0.181	0.017	0.111	0.127
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	0.011	0.010	0.038	0.004	0.019	0.023
OCDF	0.026	0.029	0.089	0.008	0.059	0.067
总毒性当量	0.027	0.023	0.067	0.071	0.068	0.072

采样测得二噁英毒性当量值分别为 0.067 和 0.071 ng/m³;危险废物焚烧炉间隔 6 h 采样与连续采样测得二噁英毒性当量值分别为 0.068 和 0.072 ng/m³。由此可见,不管哪种类型炉子,间隔采样和连续采样二噁英测定结果基本一致。

4 结语

在生活垃圾焚烧炉、蓄热式焚烧炉和危险废物焚烧炉中,同一炉型污染源废气中二噁英采样断面设置在水平烟道与垂直烟道测得的二噁英质量浓度虽有一定差异,但其对应的总毒性当量都无显著差异,因此污染源废气二噁英采样应首先按照《GB/T 16157—1996》要求,采样点位优先设置在垂直烟道上,现场无垂直烟道时,也可在水平烟道进行采样。

3 种炉型的二噁英等时间间隔采样和连续采样结果也基本一致,所以为了便于实际操作,日常二噁英监测中建议 3 种焚烧炉均应采取连续采样方式。生活垃圾焚烧炉作为连续进料设备,焚烧较为稳定后,满足采样量和仪器检出限条件下,采样时间超过 1 h 即可;蓄热式焚烧炉应以生产周期为采样时间段,在生产周期内连续采样,每个样品采样时间 2 h 左右为宜;间歇投料危险废物焚烧炉采样应尽量满足 2 h 以上,条件不许可时,可通过增加采样流量缩短采样时间保证采样量,并在危险废物完全燃烧前结束采样工作。

[参考文献]

[1] BRZUZY L P, HITES R A. Global mass balance for polychlori-

nated dibenzo - *p* - dioxins and dibenzofurans[J]. Environmental Science and Technology, 1996, 30: 1797 - 1804.

[2] AMES M, ZEMBA S, GREEN L, et al. Polychlorinated dibenzo (*p*) dioxin and furan (PCDD/F) congener profiles in cement kiln emissions and impacts [J]. Science of the Total Environment, 2012, 419 (3): 37 - 43.

[3] MIYABARA Y, HASHIMOTO S, SAGAI M, et al. PCDDs and PCDFs in vehicle exhaust particles in Japan [J]. Chemosphere, 1999, 39 (1): 143 - 150.

[4] 李娟, 章勇. 超声波萃取 - 气相色谱/质谱法测定土壤中 15 种 POP_s 类有机氯农药[J]. 环境监控与预警, 2010, 2(6): 11 - 14.

[5] 黄维民, 陈卫海. M12 半自动净化法与手工净化法应用于飞灰中二噁英类检测比较[J]. 环境监控与预警, 2016, 8(1): 41 - 44.

[6] 王梦京, 吴素慷, 高新华, 等. 铁矿石烧结行业二噁英类形成机制与排放水平[J]. 环境化学, 2014(10): 1723 - 1732.

[7] 黄启飞. 重点行业二噁英控制技术手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.

[8] US EPA. Method 23 Sampling method for polychlorinated dibenzo - *p* - dioxins and polychlorinated dibenzofuran emission from stationary sources [S]. Washington DC: US EPA, 1996.

[9] European Committee for Standardization EN1948 - 1: 2006 Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs and dioxin - like PCBs - Part 1: Sampling[S]. Brussels: The Authority of the Standards Policy and Strategy Committee, 2006.

[10] 牟靖芳, 李晓明, 陈玲, 等. 不同原料垃圾类型焚烧二噁英特征分布[J]. 广东化工, 2012(7): 123 - 124, 129.

[11] 穆乃花. 生活垃圾焚烧厂周围环境介质中二噁英分布规律及健康风险研究[D]. 兰州交通大学, 2014.

[12] 余莉萍. 广州大气中二噁英的浓度分布和几种典型二噁英排放源的初步研究[D]. 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2007.