

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 77.3—2008

固体废物 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

Solid waste Determination of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins
(PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

Isotope dilution HRGC-HRMS

(发布稿)

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2008-12-31 发布

2009-04-01 实施

环 境 保 护 部 发布

目 次

| | |
|--------------------------------|----|
| 前 言..... | II |
| 1 适用范围..... | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语和定义、符号和缩略语..... | 1 |
| 4 方法原理..... | 5 |
| 5 试剂和材料..... | 5 |
| 6 仪器、设备..... | 7 |
| 7 采样..... | 8 |
| 8 样品制备..... | 8 |
| 9 样品前处理..... | 9 |
| 10 样品净化..... | 10 |
| 11 仪器分析..... | 12 |
| 12 数据处理..... | 15 |
| 13 报告..... | 18 |
| 14 质量控制和质量保证..... | 20 |
| 15 废物处理..... | 23 |
| 16 注意事项..... | 23 |
| 附录 A (规范性附录) 二噁英类分析流程图..... | 24 |
| 附录 B (资料性附录) 二噁英类内标物质使用示例..... | 25 |
| 附录 C (资料性附录) 标准溶液浓度序列示例..... | 26 |
| 附录 D (资料性附录) 仪器设定条件示例..... | 27 |
| 附录 E (资料性附录) 报告格式示例..... | 28 |

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，保护环境，保障人民健康，规范固体废物中二噁英类的测定方法，制定本标准。

本标准规定了固体废物中二噁英类的同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱测定法。

本标准是对《多氯代二苯并二噁英和多氯代二苯并呋喃的测定 同位素稀释高分辨毛细管气相色谱/高分辨质谱法》(HJ/T 77-2001)的修订。自本标准实施之日起，替代HJ/T 77-2001中固体废物测定部分。

本标准的附录A为规范性附录，附录B、附录C、附录D、附录E为资料性附录。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准起草单位：国家环境分析测试中心。

本标准环境保护部2008年12月31日批准。

本标准自2009年4月1日起实施。

本标准由环境保护部解释。

固体废物 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

Solid waste Determination of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins
(PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

Isotope dilution HRGC-HRMS

1 适用范围

1.1 本标准规定了采用同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱联用法 (HRGC-HRMS) 对 2,3,7,8-位氯取代的二噁英类以及四氯至八氯取代的多氯代二苯并-对-二噁英 (PCDDs) 和多氯代二苯并呋喃 (PCDFs) 进行定性和定量分析的方法。

1.2 本标准适用于固体废物中二噁英类污染物的采样、样品处理及其定性和定量分析,但不适用于置于容器中的气态物品、物质的固体废物分析。

1.3 方法检出限取决于所使用的分析仪器的灵敏度、样品中的二噁英类浓度以及干扰水平等多种因素。2,3,7,8-T₄CDD 仪器检出限应低于 0.1pg, 当固体废物样品量为 100g 时, 本方法对 2,3,7,8-T₄CDD 的最低检出限应低于 0.05 ng/kg。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件,其有效版本适用于本标准。

GB 8170 数值修约规则

HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范

3 术语和定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

3.1.1 二噁英类 polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

多氯代二苯并-对-二噁英 (PCDDs) 和多氯代二苯并呋喃 (PCDFs) 的统称。

3.1.2 异构体 isomer

在本标准中, 具有相同化学组成但氯取代位置不同的二噁英类互为异构体。

3.1.3 同类物 congeners

二噁英类所有化合物互为同类物。二噁英类共有210种同类物。

3.1.4 2,3,7,8-氯代二噁英类 isomer substituted at 2,3,7,8-positions

所有 2,3,7,8-位置被氯原子取代的二噁英类同类物。包括 7 种四~八氯代二苯并-对-二噁英类以及 10 种四~八氯代二苯并呋喃，共有 17 种见表 1。

表1 2,3,7,8-位氯代二噁英类

| 序号 | 异构体名称 | 简称 |
|----|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英类 | 2,3,7,8-T ₄ CDD |
| 2 | 1,2,3,7,8-五氯代二苯并-对-二噁英类 | 1,2,3,7,8-P ₅ CDD |
| 3 | 1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并-对-二噁英类 | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD |
| 4 | 1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并-对-二噁英类 | 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD |
| 5 | 1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并-对-二噁英类 | 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD |
| 6 | 1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并-对-二噁英类 | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD |
| 7 | 八氯代二苯并-对-二噁英类 | O ₈ CDD |
| 8 | 2,3,7,8-四氯代二苯并呋喃 | 2,3,7,8-T ₄ CDF |
| 9 | 1,2,3,7,8-五氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,7,8-P ₅ CDF |
| 10 | 2,3,4,7,8-五氯代二苯并呋喃 | 2,3,4,7,8-P ₅ CDF |
| 11 | 1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF |
| 12 | 1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF |
| 13 | 1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF |
| 14 | 2,3,4,6,7,8-六氯代二苯并呋喃 | 2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF |
| 15 | 1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF |
| 16 | 1,2,3,4,7,8,9-七氯代二苯并呋喃 | 1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF |
| 17 | 八氯代二苯并呋喃 | O ₈ CDF |

3.1.5 二噁英类内标 internal standard for PCDDs/PCDFs analysis

浓度已知的同位素 (¹³C或³⁷Cl) 标记的二噁英类标准物质壬烷(或癸烷、甲苯等)溶液，见表2。

3.1.6 毒性当量因子 toxicity equivalency factor (TEF)

指各二噁英类同类物与 2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英对 Ah 受体的亲和性能之比。

3.1.7 毒性当量 toxic equivalent quantity (TEQ)

各二噁英类同类物浓度折算为相当于2,3,7,8-四氯代二苯并-对-二噁英毒性的等价浓度，毒性当量浓度为实测浓度与该异构体的毒性当量因子的乘积。

3.1.8 固体废物 solid waste

是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

表 2 可供选用的二噁英类内标

| 氯取代数 | PCDDs | PCDFs |
|------|---|---|
| 四氯 | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4-T}_4\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-2,3,7,8-T}_4\text{CDF}$ |
| | $^{13}\text{C}_{12}\text{-2,3,7,8-T}_4\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,7,8-T}_4\text{CDF}$ |
| | $^{37}\text{Cl}_4\text{-2,3,7,8-T}_4\text{CDD}$ | |
| 五氯 | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,7,8-P}_5\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,7,8-P}_5\text{CDF}$ |
| | | $^{13}\text{C}_{12}\text{-2,3,4,7,8-P}_5\text{CDF}$ |
| 六氯 | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,7,8-H}_6\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,7,8-H}_6\text{CDF}$ |
| | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,6,7,8-H}_6\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,6,7,8-H}_6\text{CDF}$ |
| | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,7,8,9-H}_6\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,7,8,9-H}_6\text{CDF}$ |
| | | $^{13}\text{C}_{12}\text{-2,3,4,6,7,8-H}_6\text{CDF}$ |
| 七氯 | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,6,7,8-H}_7\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,6,7,8-H}_7\text{CDF}$ |
| | | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,7,8,9-H}_7\text{CDF}$ |
| 八氯 | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,6,7,8,9-O}_8\text{CDD}$ | $^{13}\text{C}_{12}\text{-1,2,3,4,6,7,8,9-O}_8\text{CDF}$ |

3.2 符号和缩略语

3.2.1 PCDDs polychlorinated dibenzo-p-dioxins

多氯代二苯并-对-二噁英。有75种同类物。

3.2.2 PCDFs polychlorinated dibenzofurans

多氯代二苯并呋喃。有135种同类物。

3.2.3 T₄CDDs tetrachlorodibenzo-p-dioxins

四氯代二苯并-对-二噁英。有22种异构体。

3.2.4 P₅CDDs pentachlorodibenzo-p-dioxins

五氯代二苯并-对-二噁英。有14种异构体。

3.2.5 H₆CDDs hexachlorodibenzo-p-dioxins

六氯代二苯并-对-二噁英。有10种异构体。

3.2.6 H₇CDDs heptachlorodibenzo-p-dioxins

七氯代二苯并-对-二噁英。有2种异构体。

3.2.7 O₈CDD octachlorodibenzo-p-dioxin

八氯代二苯并-对-二噁英。有1种异构体。

3.2.8 **T₄CDFs** tetrachlorodibenzofurans

四氯代二苯并呋喃。有38种异构体。

3.2.9 **P₅CDFs** pentachlorodibenzofurans

五氯代二苯并呋喃。有28种异构体。

3.2.10 **H₆CDFs** hexachlorodibenzofurans

六氯代二苯并呋喃。有16种异构体。

3.2.11 **H₇CDFs** heptachlorodibenzofurans

七氯代二苯并呋喃。有4种异构体。

3.2.12 **O₈CDF** octachlorodibenzofuran

八氯代二苯并呋喃。有1种异构体。

3.2.13 **RRF** relative response factor

相对响应因子。

3.2.14 **HRGC** high resolution gas chromatography

高分辨气相色谱。

3.2.15 **HRMS** high resolution mass spectrometry

高分辨质谱。

3.2.16 **HRGC-HRMS** high-resolution gas chromatography and high-resolution mass spectrometry

高分辨气相色谱—高分辨质谱联法。

3.2.17 **PFK** perfluorokerosene

全氟代煤油。

3.2.18 **SIM** selective ion monitoring

选择离子检测。

3.2.19 **EI** electron impact ionization

电子轰击离子化。

3.2.20 **S/N** Signal/Noise ratio

信噪比。

3.2.21 **PCBs** polychlorinated biphenyls

多氯联苯。

3.2.22 **DMSO** dimethyl sulfoxide

二甲基亚砷。

4 方法原理

本方法采用同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法测定固体废物中的二噁英类，规定了固体废物中二噁英类的采样、样品处理及仪器分析等过程的标准操作程序以及整个分析过程的质量控制措施。采集的样品加入内标，再经过提取、净化和浓缩转化为最终分析试样，加入进样内标后使用高分辨气相色谱—高分辨质谱法(HRGC-HRMS)进行定性和定量分析，见附录A“二噁英类分析流程图”。

5 试剂和材料

除非另有说明，分析时均使用符合国家标准的农残级试剂，并进行空白试验。有机溶剂浓缩10000倍不得检出二噁英类。

5.1 甲醇

5.2 丙酮

5.3 甲苯

5.4 正己烷

5.5 二氯甲烷

5.6 壬烷或癸烷

5.7 二甲基亚砷

5.8 水：用正己烷(5.4)充分洗涤过的蒸馏水。除非另有说明，本标准中涉及的水均指经过上述处理的蒸馏水。

5.9 25%二氯甲烷—正己烷溶液：二氯甲烷（5.5）与正己烷（5.4）以体积比 1:3 混合。

5.10 提取内标：二噁英类内标物质(溶液)，一般选择 ^{13}C 标记或 ^{37}Cl 标记化合物作为提取内标，参见附录 B，每样品添加量一般为：四氯~七氯取代化合物 0.4 ng~2.0ng，八氯取代化合物 0.8 ng ~4.0ng，并且以不超过定量线性范围为宜。

5.11 进样内标：二噁英类内标物质(溶液)，一般选择 ^{13}C 标记或 ^{37}Cl 标记化合物作为进样内标，参见附录 B，每样品添加量为 0.4 ng~2.0ng。

5.12 标准溶液：指以壬烷(或癸烷、甲苯等)为溶剂配制的二噁英类标准物质与相应内标物质的混合溶液。标准溶液的浓度精确已知，且浓度序列应涵盖 HRGC-HRMS 的定量线性范围，包括 5 种浓度梯度，参见附录 C。

5.13 盐酸：优级纯。

5.14 浓硫酸：优级纯。

- 5.15 无水硫酸钠：分析纯以上，380°C 温度加热处理 4h，密封保存。
- 5.16 氢氧化钾：优级纯。
- 5.17 硝酸银：优级纯。
- 5.18 硅胶：层析填充柱用硅胶 0.063mm~0.212mm (70~230 目)，在烧杯中用甲醇(5.1)洗净，甲醇挥发完全后，在蒸发皿中摊开，厚度小于 10mm。130°C 下干燥 18h，然后放入干燥器冷却 30min，装入试剂瓶中密封，保存在干燥器中。
- 5.19 2%氢氧化钾硅胶：取硅胶(5.18)98g，加入用氢氧化钾(5.16)配制的 50g/L 氢氧化钾溶液 40mL，在旋转蒸发装置中约 50°C 温度下减压脱水，去除大部分水分后，继续在 50°C ~80°C 减压脱水 1h，硅胶变成粉末状。所制成的硅胶含有 2%(w/w)的氢氧化钾，将其装入试剂瓶密封，保存在干燥器内中。
- 5.20 22%硫酸硅胶：取硅胶(5.18)78g，加入浓硫酸(5.14)22g，充分震荡后变成粉末状。将所制成的硅胶装入试剂瓶密封，保存在干燥器中。
- 5.21 44%硫酸硅胶：取硅胶(5.18)56g，加入浓硫酸(5.14)44g，充分震荡后变成粉末状。将所制成的硅胶装入试剂瓶密封，保存在干燥器中。
- 5.22 10%硝酸银硅胶：取硅胶(5.18)90g，加入用硝酸银(5.17)配制的 400g/L 硝酸银溶液 28mL，在旋转蒸发装置中约 50°C 温度下减压充分脱水。配制过程中应使用棕色遮光板或铝箔遮挡光线。所制成的硅胶含有 10%(w/w)的硝酸银，将其装入棕色试剂瓶密封，保存在干燥器中。
- 5.23 氧化铝：层析填充柱用氧化铝(碱性，活性度 I)，可以直接使用活性氧化铝。必要时可以如下步骤活化。将氧化铝在烧杯中铺成厚度小于 10mm 的薄层，在 130°C 温度下处理 18h，或者在培养皿中铺成厚度小于 5mm 的薄层，在 500°C 下处理 8h，活化后的氧化铝在干燥器内冷却 30min 后，装入试剂瓶密封，保存在干燥器中。氧化铝活化后应尽快使用。
- 5.24 活性炭及活性炭硅胶：
活性炭可选用下述二种配制方法，活性炭硅胶可使用市售成品。
- 5.24.1 Carbopack C/Celite 545 (18%)。混合 9.0g 的 Carbopack C 活性碳与 41g 的 Celite545 于附聚四氟乙烯内衬螺帽的 250mL 玻璃瓶中混合均匀，使用前于 130°C 活化 6h，冷却后储于干燥箱内保存备用。
- 5.24.2 AX-21/Celite 545 (8%)。混合 10.7g 的 AX-21 活性碳与 124g 的 Celite545 于附聚四氟乙烯内衬螺帽的 250mL 玻璃瓶中，充分震荡搅拌，使其完全混合，使用前于 130°C 活化 6h，冷却后储于干燥箱内保存备用。

使用前，以甲苯为溶剂索氏提取 48h 以上，确认甲苯不变色，若甲苯变色，重复索氏提取。在 180°C 温度下干燥 4h，再用旋转蒸发装置干燥 1h(50°C)。在干燥器中密封保存。

5.25 铜粒(粉)：铜粒在使用前用稀盐酸清洗，去除表面的氧化物后，用纯净水清洗并干燥。

5.26 石英棉：使用前在 200 摄氏度下处理 2h，密封保存。

以上材料均可选择符合二噁英类分析要求的市售商业产品。

6 仪器、设备

6.1 采样装置

6.2.1 采样工具：应符合 HJ/T 20 的要求，并使用对二噁英类无吸附作用的不锈钢或铝合金材质器具。

6.2.2 样品容器：应符合 HJ/T 20 的要求，并使用对二噁英类无吸附作用的不锈钢或玻璃材质可密封器具。

6.2 前处理装置

样品前处理装置要用碱性洗涤剂和水充分洗净，使用前依次用甲醇(或丙酮)、正己烷(或甲苯或二氯甲烷)等溶剂冲洗，定期进行空白试验。所有接口处严禁使用油脂。

6.2.1 索氏提取器或性能相当的设备。

6.2.2 浓缩装置：旋转蒸发装置、氮吹仪或K-D浓缩等装置。

6.2.3 层析填充柱：内径8mm~15mm，长200mm~300mm的玻璃填充柱管。

6.3 分析仪器

使用高分辨毛细管柱气相色谱-高分辨质谱法(HRGC-HRMS) 对二噁英类进行分析。

6.3.1 高分辨气相色谱：应满足 11.1.1 要求并具有下述功能。

6.3.1.1 进样口：具有不分流进样功能，最高使用温度不低于 280°C。也可使用柱上进样或程序升温大体积进样方式。

6.3.1.2 柱温箱：具有程序升温功能，可在 50°C~350°C 温度区间内进行调节。

6.3.1.3 毛细管色谱柱：内径 0.10mm~0.32mm，膜厚 0.10μm~0.25μm，柱长 25m~60m。

可对 2,3,7,8-氯代二噁英类化合物进行良好的分离，并能判明这些化合物的色谱峰流出顺序。

6.3.1.4 载气：高纯氮气，99.999%

6.3.2 高分辨质谱仪：应为双聚焦磁质谱，满足 11.1.2 的要求并具有下述功能：

6.3.2.1 具有气质联机接口。

- 6.3.2.2 具有电子轰击离子源，电子加速电压可在 25V~70V 范围调节。
- 6.3.2.3 具有选择离子检测功能，并使用锁定质量模式(Lockmass)进行质量校正。
- 6.3.2.4 动态分辨率大于 10000(10%峰谷定义，下同)并至少可稳定 24h 以上。当使用的内标包含 $^{13}\text{C}-\text{O}_8\text{CDF}$ 时，动态分辨率应大于 12000。
- 6.3.2.5 高分辨状态(分辨率>10000)下能够在 1s 内重复监测 12 个选择离子。
- 6.3.2.6 数据处理系统：能够实时采集、记录及存储质谱数据。

7 采样

7.1 制定采样方案

在实施固体废物采样之前，应制定采样方案，采样方案包括采样目的和要求、采样程序、安全和质量保证、采样记录等。必要时对现场进行事前勘查。

7.2 采样方法

固体废物的采样方法参照 HJ/T 20 执行。

固体废物采样应由接受过专门的技术培训并且掌握固体废物中二噁英类分析技术的人员完成。采样人员应熟悉采集的固体废物的性状、掌握采样技术、懂得安全操作的相关知识和应急处理方法。

采样工具应保持清洁，必要时应用水和有机溶剂清洗，避免采集的样品间的交叉污染。

采样时应记录固体废物的名称、来源、固体废物总数量、保存状况、采样点位、采样日期、采样人员、固体废物采样量等信息。采样人员应及时填写采样记录或采样报告。

样品应尽快送至实验室进行样品制备和样品分析。

8 样品制备

制样用工具，HJ/T 20 中规定的制样工具。

8.1 固态样品

固体废物的制样方法参照 HJ/T 20 执行。工业固体废物和危险废物焚烧处理后的灰渣和飞灰，经风干和粉碎研磨处理以减少样品的粒度。用机械方法或人工方法破碎和研磨，筛分使样品的 95%达到 2mm 以下的粒径。样品经混合及缩分后制成分析用样品。

8.2 液态样品

液态样品制样时，应充分混均并缩分。样品的混均采用人工或机械搅拌方法进行。样品混均后，采用二分法，每次减量一半，最终样品量为检测分析用样品量的 10 倍左右。

8.3 半固态样品

半固态样品制样时，样品经自然风干后，用机械方法或人工方法破碎和研磨，筛分使样品的 95%达到 2mm 以下的粒度。样品经混合及缩分后制成分析用样品。半固态的样品在制样的同时应测定含水量。

9 样品前处理

9.1 添加提取内标

在样品处理之前添加 0.5ng~2.0ng 提取内标。如果样品提取液需要分割使用(如样品中二噁英类预期浓度过高需要加以控制或者需要预留保存样)，则提取内标添加量应适当增加。

9.2 液态样品的萃取

9.2.1 水溶性样品

称取一定量混合均匀的液态样品，按照每 1L 水溶性样品加 100mL 二氯甲烷（或甲苯）的比例，用二氯甲烷(或甲苯) 震荡萃取，重复 3 次。萃取液用无水硫酸钠脱水，作为该液态样品的提取液，进行第 10 节净化处理。

9.2.2 油状样品(含油淤泥、化学反应釜脚)

称取一定量的油状样品(含油淤泥、化学反应釜脚)，放入盛有50mL甲苯的烧杯中，搅拌使可溶解成份完全溶解。用布氏漏斗及玻璃纤维滤膜过滤甲苯处理液。将玻璃纤维滤膜和不溶性残渣放入培养皿中转移至洁净的干燥器中充分干燥。经布氏漏斗过滤得到的甲苯处理液，分离后水溶性样品用二氯甲烷(或甲苯)震荡萃取，重复3次。充分干燥后的玻璃纤维滤膜和不溶性残渣以甲苯为溶剂进行索氏提取16小时以上或使用性能相当的提取设备进行提取操作。将上述萃取液和甲苯提取液合并，为该油状样品的提取液，进行第10节净化处理。

9.3 固态样品的提取

称取一定量制备好的固态样品，用 2mol/L 的盐酸处理固态样品 1h。盐酸的用量为每 1g 固态样品至少加 20mmolHCl。搅拌固态样品，使其与盐酸充分接触并观察发泡情况，必要时再添加盐酸，直到不再发泡为止。若样品中不含碳状物时，可以省略盐酸处理，直接进行提取操作。用布式漏斗过滤盐酸处理液，并用水充分冲洗固态样品，再用少量甲醇(或丙酮)冲去水分。将玻璃县委滤膜和固态样品放入培养皿中转移至洁净的干燥器中充分干燥。盐酸处理液，按照每 1L 溶液加 100mL 二氯甲烷的比例，震荡萃取，重复 3 次，萃取液用无水硫酸钠脱水。充分干燥后的玻璃纤维滤膜和固态样品以甲苯为溶剂进行索氏提取 16 小时以上或使用性能相当的提取设备进行提取操作。将上述萃取液和甲苯提取液合并，为该固态样品的提取液，进行第 10 节净化处理。

9.4 DMSO 萃取法

若提取液中含有油脂，可以使用二甲基亚砷萃取法（DMSO萃取法），去除碳氢化合物等低极性有机物后，再进行第10的样品净化。

9.4.1 在分液漏斗中加入25mL用正己烷饱和的二甲基亚砷溶液，将浓缩到3mL左右的提取液加入分液漏斗中，用少量正己烷冲洗，并将冲洗液一并加入分液漏斗，震荡萃取，静置分离二甲基亚砷层。重复以上操作四次，共得到约100mL二甲基亚砷溶液，将其移入分液漏斗中，并加入40mL正己烷，震荡萃取，静置分层，弃掉正己烷层。

9.4.2 向盛有100mL二甲基亚砷溶液的分液漏斗中加入75mL正己烷和100mL水，震荡萃取，静置分层。重复以上操作3次，共得到约225mL正己烷萃取液。

9.4.3 将正己烷萃取液移入分液漏斗中，加入 2mol/L 的氢氧化钾水溶液 10mL，振荡洗涤，然后再加入 25mL 水洗涤，静置分层，正己烷萃取液经无水硫酸钠脱水后浓缩，进行第 10 节净化处理。

9.5 提取液的分割

可根据样品中二噁英类预期浓度的高低分取 25%~100%(整数比例)的提取液作为试样溶液，剩余样品转移至棕色密封储液瓶中冷藏贮存。

10 样品净化

样品净化可以选择硫酸处理-硅胶柱净化（10.1）或多层硅胶柱净化（10.2）方法。对于扰物的分离净化可以选择氧化铝柱净化(10.3)或活性炭硅胶柱净化(10.4)方法。对于共存干扰较多的样品也可以组合使用多种净化步骤。

10.1 硫酸处理-硅胶柱净化

10.1.1 将试样溶液浓缩至 1mL~2mL。

10.1.2 将浓缩液用 50mL~150mL 正己烷洗入分液漏斗，每次加入适量（10mL~20mL）浓硫酸，轻微振荡，静置分层，弃去硫酸层，根据硫酸层颜色的深浅重复操作 2~4 次，直到硫酸层的颜色变浅或无色为止。

10.1.3 正己烷层每次加入适量的水洗涤，重复洗至中性。正己烷层经无水硫酸钠脱水后，用浓缩器浓缩至 1mL~2mL。

10.1.4 层析填充柱底部垫一小团石英棉，用 10mL 正己烷冲洗内壁。在烧杯中加入 20g~30g 硅胶和 20mL 正己烷，用玻璃棒缓缓搅动赶掉气泡，倒入层析填充柱，让正己烷流出，待硅胶层稳定后，再充填约 10mm 厚的无水硫酸钠，用正己烷冲洗管壁上的硫酸钠粉末。

10.1.5 用 50mL 正己烷淋洗硅胶柱，然后将浓缩液定量转移到硅胶柱上。用 150mL 正己烷淋洗，调节淋洗速度约为 2.5mL/min(大约 1 滴/s)。

10.1.6 洗出液浓缩至 1mL~2mL。

10.2 多层硅胶柱净化

10.2.1 在层析填充柱底部垫一小团石英棉，用 10mL 正己烷冲洗内壁。依次装填无水硫酸钠 4g，硅胶 0.9g，2%氢氧化钾硅胶 3g，硅胶 0.9g，44%硫酸硅胶 4.5g，22%硫酸硅胶 6g，硅胶 0.9g，10%硝酸银硅胶 3g，无水硫酸钠 6g，用 100mL 正己烷淋洗硅胶柱。

10.2.2 将样品溶液浓缩到 1mL~2mL。

10.2.3 将浓缩液定量转移到多层硅胶柱上。

10.2.4 用 200mL 正己烷淋洗，调节淋洗速度约为 2.5mL/min(大约 1 滴/s)。

10.2.5 洗出液浓缩至 1mL~2mL。

若多层硅胶柱颜色加深较多，应重复上述 10.2.1~10.2.5 净化操作。样品含硫量较高时，可在索氏提取器的蒸馏烧瓶中加入 5g~10g 铜珠或在多层硅胶柱上端加入适量铜粉。

10.3 氧化铝柱净化

氧化铝柱净化是为了进一步去除样品中可能存在的干扰成分。

10.3.1 在层析填充柱底部垫一小团石英棉，用 10mL 正己烷冲洗内壁。在烧杯中加入 10g 氧化铝和 10mL 正己烷，用玻璃棒缓缓搅动赶掉气泡，倒入层析填充柱，让正己烷流出，待氧化铝层稳定后，再充填约 10mm 厚的无水硫酸钠，用正己烷冲洗管壁上的硫酸钠粉末。用 50mL 正己烷淋洗氧化铝柱。

10.3.2 将经过初步净化的样品浓缩液定量转移到氧化铝柱上。首先用 100mL 的 2%二氯甲烷-正己烷溶液淋洗，调节淋洗速度约为 2.5mL/min(大约 1 滴/s)。洗出液为第一组分。

10.3.3 然后用 150mL 的 50%二氯甲烷-正己烷溶液淋洗氧化铝柱(淋洗速度约为 2.5mL/min)，得到的洗出液为第二组分，该组分含有分析对象二噁英类。

10.3.4 将第二组分洗出液浓缩至 1mL ~2mL。

10.4 活性炭硅胶柱净化

活性炭硅胶柱净化可以取代氧化铝柱净化。

10.4.1 在层析填充柱底部垫一小团石英棉，用 10mL 正己烷冲洗内壁。干法充填约 10mm 厚的无水硫酸钠和 1.0g 活性炭硅胶。注入 10mL 正己烷，敲击层析填充柱赶掉气泡，再充填约 10mm 厚的无水硫酸钠，用正己烷冲洗管壁上的硫酸钠粉末。用 20mL 正己

烷淋洗硅胶柱。

10.4.2 将经过初步净化的样品浓缩液定量转移到活性炭硅胶柱上。首先用 200mL 的 25%二氯甲烷-正己烷溶液淋洗，调节淋洗速度约为 2.5mL/min(大约 1 滴/s)。洗出液为第一组分。

10.4.3 然后用 200mL 甲苯溶液淋洗活性炭硅胶柱(淋洗速度约为 2.5mL/min)，得到的洗出液为第二组分，该组分含有分析对象二噁英类。

10.4.4 将第二组分洗出液浓缩至 1mL~2mL 左右。

10.5 其他样品净化方法

可以使用凝胶渗透色谱 (GPC)、高压液相色谱 (HPLC)、自动样品处理装置以及其他净化方法或装置等进行样品的净化处理。使用前应用标准样品或标准溶液进行分离和净化效果试验，并确认满足本方法质量控制/质量保证要求。

10.6 上机样品制备

10.6.1 样品的浓缩

由 10.3.4 或 10.4.4 所得的第二组分洗出液用高纯氮吹除多余的溶剂，浓缩至微湿。

10.6.2 添加进样内标

添加 0.4ng~2.0ng 进样内标 (5.11)，加入壬烷(或癸烷、甲苯)定容至适当体积，使进样内标浓度同制作相对响应因子的标准曲线进样内标浓度相同，转移至进样瓶后作为上机试样。

11 仪器分析

11.1 仪器条件

11.1.1 高分辨气相色谱条件设定

选择适当操作条件来分离2,3,7,8-位氯代二噁英类化合物，推荐GC条件为：

进样方式：不分流进样1 μ L

进样口温度： 270 $^{\circ}$ C

载气流量： 1mL/min

色质接口温度： 270 $^{\circ}$ C

色谱柱：固定相 5%苯基95%聚甲基硅氧烷，柱长60m，内径0.25mm，膜厚0.25 μ m

程序升温：初始温度140℃,保持3分钟后以20℃/分钟的速度升温至200℃,停留1分钟后以5℃/分钟的速度升温至220℃,停留16分钟后以5℃/分钟的速度升温至235℃后停留7分钟,以5℃/分钟的速度升温至310℃停留10分钟。

也可使用其他操作条件参见附录D。

11.1.2 高分辨质谱条件设定

设置仪器满足如下条件,并使用标准溶液或标准参考物质确认保留时间窗口。

11.1.2.1 使用SIM法选择表3所列的各化合物的两个监测峰离子进行监测,如表3所示

(³⁷Cl-T₄CDD仅有一个监测峰离子)。

11.1.2.2 导入PFK得到稳定的响应后,优化质谱仪器参数确保表3中各质量范围内PFK峰离子的分辨率应全部达到10000以上,使用¹³C-O₈CDF作为内标时,分辨率应大于12000。

11.2 质量校正

仪器分析开始前需进行质量校正。监测表3中各质量范围内PFK峰离子的荷质比及分辨率,分辨率应全部达到10000以上,通过锁定质量模式进行质量偏移校正。校正过程完成后保存质量校正文件。

表3 质量数设定(监测离子和锁定质量数)

| 同类物 | M ⁺ | (M+2) ⁺ | (M+4) ⁺ |
|--|--|--------------------|--------------------|
| T ₄ CDDs | 319.8965 | 321.8936 | 357.8517* |
| P ₅ CDDs | | 355.8546 | |
| H ₆ CDDs | | 389.8157 | |
| H ₇ CDDs | | 423.7767 | |
| O ₈ CDD | | 457.7377 | |
| T ₄ CDFs | 303.9016 | 305.8987 | 341.8568 |
| P ₅ CDFs | | 339.8597 | |
| H ₆ CDFs | | 373.8207 | |
| H ₇ CDFs | | 407.7818 | |
| O ₈ CDF | | 441.7428 | |
| ¹³ C ₁₂ -T ₄ CDDs | 331.9368 | 333.9339 | 369.8919 |
| ³⁷ Cl ₄ -T ₄ CDD | 327.8847 | | |
| ¹³ C ₁₂ -P ₅ CDDs | 315.9419 | 367.8949 | 403.8530 |
| ¹³ C ₁₂ -H ₆ CDDs | | 401.8559 | |
| ¹³ C ₁₂ -H ₇ CDDs | | 435.8169 | |
| ¹³ C ₁₂ -O ₈ CDD | | 469.7780 | |
| ¹³ C ₁₂ -T ₄ CDFs | | 317.9389 | |
| ¹³ C ₁₂ -P ₅ CDFs | 383.8369 | 351.9000 | 353.8970 |
| ¹³ C ₁₂ -H ₆ CDFs | | 385.8610 | |
| ¹³ C ₁₂ -H ₇ CDFs | | 417.8253 | |
| ¹³ C ₁₂ -O ₈ CDF | | 451.7860 | |
| | | 453.7830 | |
| PFK (Lock mass) | 292.9825(四氯代二噁英类定量用) 354.9792(五氯代二噁英类定量用) 392.9760(六氯代二噁英类定量用) 430.9729(七氯代二噁英类定量用) 442.9729(八氯代二噁英类定量用) | | |

注：* 可能存在 PCBs 干扰

11.3 SIM 检测

11.3.1 按11.1节要求设置高分辨气相色谱—高分辨质谱联用仪条件。

11.3.2 注入质量校准物质，响应稳定后，按11.1及11.2节要求进行仪器调谐与质量校正后分析试样。每12小时对分辨率及质量校正进行验证。不符合11.1及11.2节要求时应重新调谐及质量校正。

11.3.3 完成测定后，取得各监测离子的色谱图，确认PFK峰离子丰度差异小于20%以及2,3,7,8-位有氯取代的二噁英类的分离效果以判断干扰是否存在，最后进行数据处理。按各化合物的离子荷质比记录谱图。

11.4 相对响应因子制作

11.4.1 标准溶液测定

标准溶液浓度序列应有 5 种以上浓度，对每个浓度应重复 3 次进样测定。

11.4.2 离子丰度比确认

标准溶液中化合物对应的两个检测离子的离子丰度比应与理论离子丰度比一致，见表 4，变化范围应在±15%以内。

表 4 根据氯原子同位素丰度比推算的理论离子丰度比

| | M | M+2 | M+4 | M+6 | M+8 | M+10 | M+12 | M+14 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| T ₄ CDDs | 77.43 | 100.0 | 48.74 | 10.72 | 0.94 | 0.01 | | |
| P ₅ CDDs | 62.06 | 100.0 | 64.69 | 21.08 | 3.50 | 0.25 | | |
| H ₆ CDDs | 51.79 | 100.0 | 80.66 | 34.85 | 8.54 | 1.14 | 0.07 | |
| H ₇ CDDs | 44.43 | 100.0 | 96.64 | 52.03 | 16.89 | 3.32 | 0.37 | 0.02 |
| O ₈ CDD | 34.54 | 88.80 | 100.0 | 64.48 | 26.07 | 6.78 | 1.11 | 0.11 |
| T ₄ CDFs | 77.55 | 100.0 | 48.61 | 10.64 | 0.92 | | | |
| P ₅ CDFs | 62.14 | 100.0 | 64.57 | 20.98 | 3.46 | 0.24 | | |
| H ₆ CDFs | 51.84 | 100.0 | 80.54 | 34.72 | 8.48 | 1.12 | 0.07 | |
| H ₇ CDFs | 44.47 | 100.0 | 96.52 | 51.88 | 16.80 | 3.29 | 0.37 | 0.02 |
| O ₈ CDF | 34.61 | 88.89 | 100.0 | 64.39 | 25.98 | 6.74 | 1.10 | 0.11 |

注：(1)M 表示质量数最低的同位素；

(2)以最大离子丰度作为 100%。

11.4.3 信噪比确认

标准溶液浓度序列中最低浓度的化合物信噪比(S/N)应大于 10。取谱图基线测量值标准偏差的 2 倍作为噪声值 N。也可以取噪声最大值和最小值之差的 2/5 作为噪声值 N。以噪声

中线为基准，到峰顶的高度为峰高(信号 S)。

11.4.4 相对响应因子计算

各浓度点待测化合物相对提取内标的相对响应因子(RRF_{es})由下式计算，并计算其平均值和相对标准偏差，相对标准偏差应在±20%以内，否则应重新制作。

$$RRF_{es} = \frac{Q_{es}}{Q_s} \times \frac{A_s}{A_{es}} \dots\dots\dots(1)$$

式中： Q_s — 标准溶液中待测化合物的绝对量， pg；
Q_{es} — 标准溶液中提取内标物质的绝对量， pg；
A_s — 标准溶液中待测化合物的监测离子峰面积之和；
A_{es} — 标准溶液中提取内标物质的监测离子峰面积之和。

提取内标相对于进样内标相对响应因子 RRF_{rs} 由下式计算

$$RRF_{rs} = \frac{Q_{rs}}{Q_{cs}} \times \frac{A_{cs}}{A_{rs}} \dots\dots\dots(2)$$

式中： Q_{es} — 标准溶液中提取内标物质的绝对量， pg；
Q_{rs} — 标准溶液中进样内标物质的绝对量， pg；
A_{es} — 标准溶液中提取内标物质的监测离子峰面积之和；
A_{rs} — 标准溶液中进样内标物质的监测离子峰面积之和。

11.5 样品测定

取得相对响应因子之后，对处理好的分析样品按下述步骤测定

11.5.1 标准溶液确认

选择中间浓度的标准溶液，按一定周期或频次(每 12 小时或每批样品测定至少 1 次)测定。浓度变化不应超过±35%，否则应查找原因，重新测定或重新制作相对响应因子。

11.5.2 测定样品

将空白样品和分析样品按照 11.3 所述的程序进行测定，得到二噁英类各监测离子的色谱图。

12 数据处理

12.1 色谱峰确认

12.1.1 进样内标确认

分析样品中进样内标的峰面积应不低于标准溶液中进样内标峰面积的 70%。否则应查找原因，重新测定。

12.1.2 色谱峰确认

在色谱图上，对信噪比 S/N 大于 3 的色谱峰视为有效峰。

12.1.3 峰面积：计算 12.1.2 中确认的色谱峰的峰面积。

12.2 定性

12.2.1 二噁英类同类物

二噁英类同类物的两个监测离子在指定保留时间窗口内，并同时存在且其离子丰度比与表 4 所列理论离子丰度比一致，相对偏差小于 15%。同时满足上述条件的色谱峰定性为二噁英类物质。

12.2.2 2,3,7,8-氯代二噁英类

除满足 12.2.1 节要求外，色谱峰的保留时间应与标准溶液一致(±3s 以内)，同内标的相对保留时间亦与标准溶液一致(±0.5%以内)。同时满足上述条件的色谱峰被定性为 2,3,7,8-氯代二噁英类。

12.3 定量

12.3.1 采用内标法计算分析样品中被检出的二噁英类化合物的绝对量(Q)，按下式计算 2,3,7,8-氯代二噁英类化合物的 Q。对于非 2,3,7,8-氯代二噁英类，采用具有相同氯取代原子数的 2,3,7,8-氯代二噁英类 RRF_{cs} 均值计算。

$$Q = \frac{A}{A_{cs}} \times \frac{Q_{cs}}{RRF_{cs}} \dots\dots\dots(3)$$

式中： Q — 分析样品中待测化合物的量，ng；

A — 色谱图待测化合物的监测离子峰面积之和；

A_{cs} — 提取内标的监测离子峰面积之和；

Q_{cs} — 提取内标的添加量，ng。

RRF_{cs} — 相应提取类物的 Q，用下式计算固体废物样品中的待测化合物浓度，结果修约为 2 位有效数字。

$$\rho = \frac{Q}{m} \dots\dots\dots(4)$$

式中： ρ — 样品中待测化合物的浓度，ng/kg；

Q — 样品中待测化合物总量，ng；

m — 固体废物样品量，kg。

12.4 提取内标的回收率

根据提取内标峰面积与进样内标峰面积的比以及对应的相对响应因子(RRFrs)均值，按下式计算提取内标的回收率并确认提取内标的回收率在表 5 规定的范围之内。

$$R = \frac{A_{es}}{A_{rs}} \times \frac{Q_{rs}}{RRF_{rs}} \times \frac{100\%}{Q_{cs}} \dots\dots\dots(5)$$

式中： R — 提取内标回收率，%；

A_{es} — 提取内标的监测离子峰面积之和；

A_{rs} — 进样内标的监测离子峰面积之和；

Q_{rs} — 进样内标的添加量，ng；

RRF_{rs} — 进样内标的相对响应因子；

Q_{cs} — 提取内标的添加量，ng。

12.5 检出限

12.5.1 仪器检出限

选择制作相对响应因子的系列浓度标准溶液中最低浓度的标准溶液进行 5 次以上重复测定，对溶液中二噁英类的 2,3,7,8-位氯代二噁英类进行定量，计算测定值的标准偏差 s，取标准偏差的 3 倍(3s)，修约为 1 位有效数字作为仪器检出限。仪器检出限值规定为四氯-五氯代二噁英类 0.1pg，六氯~七氯代二噁英类 0.2pg，八氯代二噁英类 0.5pg。当测得仪器检出限高于限值时，应查找原因，重新测定使其满足标准限值的要求。实验室应定期对仪器的检出限进行检验和确认。

表 5 提取内标回收率

| | 内标 | 范围 | 内标 | 范围 |
|-----|--|----------------------|---|----------|
| 四氯代 | ^{13}C -2378-T ₄ CDD | 25%~164% | ^{13}C -2378-T ₄ CDF | 24%~169% |
| 五氯代 | ^{13}C -12378-P ₅ CDD | 25%~181% | ^{13}C -12378-P ₅ CDF | 24%~185% |
| | | | ^{13}C -23478-P ₅ CDF | 21%~178% |
| 六氯代 | ^{13}C -123478-H ₆ CDD ^{13}C -123678-H ₆ CDD | 32%~141% 28%~130% | ^{13}C -123478-H ₆ CDF | 32%~141% |
| | | | ^{13}C -123678-H ₆ CDF | 28%~130% |
| | | | ^{13}C -234678-H ₆ CDF | 28%~136% |
| | | | ^{13}C -123789-H ₆ CDF | 29%~147% |
| 七氯代 | ^{13}C -1234678-H ₇ CDD | 23%~140% | ^{13}C -1234678-H ₇ CDF | 28%~143% |
| | | | ^{13}C -1234789-H ₇ CDF | 26%~138% |
| 八氯代 | ^{13}C -O ₈ CDD | 17%~157% | | |

12.5.2 方法检出限

使用与实际采样操作相同的试剂，按照本方法进行提取，提取液中添加标准物质，添加量为仪器检出限的 3~10 倍；进行与样品处理相同的净化、仪器分析、定性和定量操作。重复上述操作空白测定 5 次，计算测定值的标准偏差，取标准偏差的 3 倍，结果修约为 1 位有效数字作为方法检出限。

12.5.3 样品检出限

按下式计算样品检出限，样品检出限应在评价浓度的 1/10 以下。

$$\rho_{DL} = \frac{D_L}{1000} \times \frac{1}{m} \dots\dots\dots(6)$$

式中： ρ_{DL} — 样品检出限，ng/kg；

D_L — 方法检出限，pg；

m — 固体废物样品量，kg。

13 报告

13.1 报告格式

结果报告宜采用表格的形式，表中应包括测定对象、实测浓度、采用的毒性当量因子以及毒性当量浓度等内容，参见附录 E 中的例子。

13.2 测定对象

测定对象包括各个 2,3,7,8-氯代二噁英类、四氯代~八氯代二噁英类(T₄CDDs~O₈CDD 和 T₄CDFs~O₈CDF)的同类物及其总和，见表 6。

表 6 二噁英类测定对象的表示方法

| 氯取代数 | PCDDs | | PCDFs | |
|------|---------------------|--|---------------------|--|
| 四氯 | T ₄ CDDs | 2,3,7,8-T ₄ CDD T ₄ CDDs 总量 | T ₄ CDFs | 2,3,7,8-T ₄ CDF T ₄ CDFs 总量 |
| 五氯 | P ₅ CDDs | 1,2,3,7,8-P ₅ CDD P ₅ CDDs 总量 | P ₅ CDFs | 1,2,3,7,8-P ₅ CDF 2,3,4,7,8-P ₅ CDF P ₅ CDFs 总量 |
| 六氯 | H ₆ CDDs | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD H ₆ CDDs 总量 | H ₆ CDFs | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF 2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF H ₆ CDFs 总量 |

| | | | | |
|----------|---------------------|--|---------------------|--|
| 七氯 | H ₇ CDDs | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD H ₇ CDDs 总量 | H ₇ CDFs | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF 1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF H ₇ CDFs 总量 |
| 八氯 | O ₈ CDD | 1,2,3,4,6,7,8,9-O ₈ CDD | O ₈ CDF | 1,2,3,4,6,7,8,9-O ₈ CDF |
| Σ(四氯-八氯) | 总 PCDDs | | 总 PCDFs | |
| | Σ(PCDDs+PCDFs) | | | |

13.3 计算

13.3.1 实测浓度

大于样品检出限的二噁英类同类物浓度直接记录，低于样品检出限的浓度记为低于样品检出限(N.D.)。同类物总量浓度根据各异构体浓度累加计算，二噁英类总量浓度则根据各同类物浓度累加计算。

13.3.2 等价毒性当量

2,3,7,8-位氯代二噁英类的实测浓度进一步换算为等价毒性当量浓度(TEQ)，毒性当量浓度为实测浓度与该同类物的毒性当量因子(表 7)的乘积。对于低于样品检出限的测定结果如无特别指明，使用样品检出限的二分之一计算毒性当量。

13.3.3 浓度单位

实测浓度单位以 ng/kg 表示，毒性当量浓度单位以 ng TEQ/kg 表示。

13.3.4 数值修约与表达

报告检出限按数值修约规则 GB 8170 修约为 1 位有效数字。浓度结果位数应不多于检出限位数，按数值修约规则 GB 8170 修约为 2 位或 1 位有效数字。

表 7 二噁英类的毒性当量因子(TEF)

| 异构体 | | WHO-TEF(2005) | I-TEF |
|-------|----------------------------------|---------------|-------|
| PCDDs | 2,3,7,8-T ₄ CDD | 1 | 1 |
| | 1,2,3,7,8-P ₅ CDD | 1 | 0.5 |
| | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD | 0.1 | 0.1 |
| | 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD | 0.1 | 0.1 |
| | 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD | 0.1 | 0.1 |
| | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD | 0.01 | 0.01 |
| | O ₈ CDD | 0.0003 | 0.001 |
| | 其他 PCDDs | 0 | 0 |
| PCDFs | 2,3,7,8-T ₄ CDF | 0.1 | 0.1 |

| | | |
|----------------------------------|--------|-------|
| 1,2,3,7,8-P ₅ CDF | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-P ₅ CDF | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF | 0.01 | 0.01 |
| O ₈ CDF | 0.0003 | 0.001 |
| 其他 PCDFs | 0 | 0 |

可以根据监测的要求使用不同的 TEF 来计算二噁英类的浓度，在监测报告中须注明使用的 TEF 的版本。

14 质量控制和质量保证

使用本方法的实验室应具备合乎要求的样品分析能力、标准物质和空白操作以及数据评价和质量控制能力，所有分析结果应符合本方法所规定的质量保证要求。

14.1 数据可靠性保证

14.1.1 内标回收率

提取内标的回收率：应始终对提取内标的回收率进行确认。

14.1.2 检出限确认

针对二噁英类分析的特殊性，本方法规定了三种检出限，即仪器检出限、方法检出限和样品检出限。应对三种检出限进行检验和确认。

14.1.2.1 仪器检出限

定期进行检查和调谐仪器，当改变测量条件时应重新确认仪器检出限。

14.1.2.2 方法检出限

定期检查和确认方法检出限，是当样品制备或测试条件改变时应重新确认方法检出限。需要注意的是不同的实验条件或操作人员可能得到的方法检出限不同。

14.1.2.3 样品检出限

样品检出限应低于评价浓度的 1/10。对每一个样品都要计算样品检出限。如果排放标准或质量标准中规定了分析方法的检出限，则本方法的样品检出限应满足相关规定要求。

14.1.3 空白实验

空白实验分为试剂空白与操作空白。试剂空白用于检查分析仪器的污染情况；操作空白

用于检查样品制备过程的污染程度。

14.1.3.1 试剂空白

任何样品的仪器分析都应该同时分析待测样品溶液所使用的溶剂作为试剂空白。所有试剂空白测试结果应低于方法检出限。

14.1.3.2 操作空白

为评价实验环境的污染干扰水平，应定期进行操作空白实验。除不添加实际样品外，操作空白试验的样品制备、前处理、仪器分析和数据处理步骤与实际样品分析步骤相同，结果应低于评价浓度的 1/10。在样品制备过程有重大变化时(如使用新的试剂或仪器设备，或者仪器维修后再次使用时)或样品间可能存在交叉污染时(如高浓度样品)应进行操作空白的分析。

14.1.4 平行实验

平行实验频度取样品总数的 10%左右。对于 17 种 2,3,7,8-位氯代二噁英类，对大于检出限 3 倍以上的平行实验结果取平均值，单次平行实验结果应在平均值的 $\pm 30\%$ 以内。

14.1.5 标准溶液

标准溶液应当装在密封的玻璃容器中避光冷藏保存，以避免由于溶液挥发引起的浓度变化。建议在每次使用前称量并记录标准溶液的重量。

14.2 操作要求

14.2.1 采样

14.2.1.1 采样器材的准备和保存：采样设备和材料在使用之前应充分洗净避免污染。

14.2.1.2 采样器的使用：采样工具应冲洗干净以减少引起污染的可能性，可使用水和有机溶剂清洗，从而避免采集的样品间的交叉污染。

14.2.1.3 样品的代表性：应根据相应样品的采样标准或规范确认样品的代表性。

14.2.1.4 样品的贮存和运输：样品采集后应被贮存在密闭容器内以避免损失及污染。应在避光条件下运输或贮存样品。

14.2.2 样品制备

14.2.2.1 样品提取

使用液液萃取时，应严格控制萃取条件，确认萃取完全。使用索氏提取时，提取之前应充分干燥，条件允许时应选择带有水分分离功能的索氏提取器。

14.2.2.2 硫酸处理-硅胶柱净化或多层硅胶柱净化

应确认淋洗后的样品溶液无明显着色。改变净化柱的填充材料的类型或用量时，以及改变淋洗溶剂的种类或用量时，应通过制作淋洗曲线等方法优化实验条件，避免样品中的二噁

英类在净化过程中的损失。

14.2.2.3 氧化铝柱净化

在氧化铝活性较低时，可能发生 1,3,6,8-T₄CDD 和 1,3,6,8-T₄CDF 被淋洗到第一组分以及第二组分中的 O₈CDD 和 O₈CDF 未被淋洗出来等异常情况。因此，应根据实际情况确定最佳实验条件。生产批次以及开启封口后的贮存时间和贮存条件的不同对氧化铝的活性会产生较大影响。上述问题产生时，应通过制作淋洗曲线等方法优化实验条件。

14.2.2.4 活性炭硅胶柱

活性炭硅胶使用前应通过制作淋洗曲线等方法确认分离效果，优化实验条件。

14.2.3 定性和定量

14.2.3.1 气相色谱

应定期确认响应因子是否稳定、待测化合物的保留时间是否在合理的范围内以及色谱峰是否能够有效分离。如果出现异常问题，可以尝试把色谱柱的一端或两端截掉 10cm~30cm 或重新老化色谱柱；如果问题仍没有解决，则应更换新的色谱柱。

14.2.3.2 质谱仪

使用质量校准物质(PFK) 调谐并进行质量校正，确认动态分辨率满足要求。定期检查并纪录仪器的基本参数。

14.2.3.3 参数设置

根据标准溶液的色谱峰保留时间对时间窗口进行分组，使得待测化合物以及相应内标的色谱峰在适当的时间窗口中出现。每组时间窗口中的选择离子的检测周期应小于 1s。

14.2.3.4 仪器维护

为保证气相色谱/质谱联用仪的工作性能，应定期检查和维护 HRGC-HRMS 系统，定期清洗和更换进样口以及离子源等易受到污染的部件。

14.2.3.5 仪器稳定性

定期测定并计算相对响应因子，同使用的相对响应因子值比较，变化范围应在±35%范围内，否则应查找原因，重新制作相对响应因子。

14.3 分析记录

实验室应记录、整理并保存下列信息：

14.3.1 采样工具、采样材料和试剂的准备、处理和贮存条件等。

14.3.2 采样记录：包括采样日期、采样方法、采样点位信息、采样量、样品编号及名称等信息。

14.3.3 样品处理：包括分析时间、提取和净化、提取液分取比例、内标添加记录等信息

14.3.4 分析仪器记录：包括仪器调谐、操作条件等信息。

14.3.5 质控记录：内标回收率、空白结果等。

14.3.6 结果报告

14.3.7 色谱文件、数据计算表格等电子文档。

14.4 质量管理报告

记录下列与质量管理有关的信息，必要时提交含有下述文件的报告。

14.4.1 气相色谱/质谱联用仪的例行检查、调谐和校准记录。

14.4.2 标准物质的生产商和溯源。

14.4.3 检出限结果及确认。

14.4.4 空白实验结果及确认。

14.4.5 回收率结果及确认。

14.4.6 分析操作的原始记录(全过程)。

15 废物处理

15.1 实验室应遵守各级管理部门的废物管理法律规定，避免废物排放对周边环境的污染。

15.2 气相色谱分流口及质谱机械泵废气应通过活性炭柱、含油或高沸点醇的吸收管排出。

15.3 实验过程中产生的 pH<2 的含盐酸样品应进行中和后排放。

15.4 液体及可溶性废弃物可溶解于甲醇或乙醇中并以紫外灯(波长低于 290nm)照射处理，若无二噁英类检出后可按普通废物处置。

15.5 二噁英类在 800℃ 以上可以有效降解。口罩、塑料手套和滤纸等低浓度水平废弃物可委托具有资质的设施进行焚化处置。

15.6 实验室产生的废弃物属于危险废物时，按有关法律规定进行处置。

16 注意事项

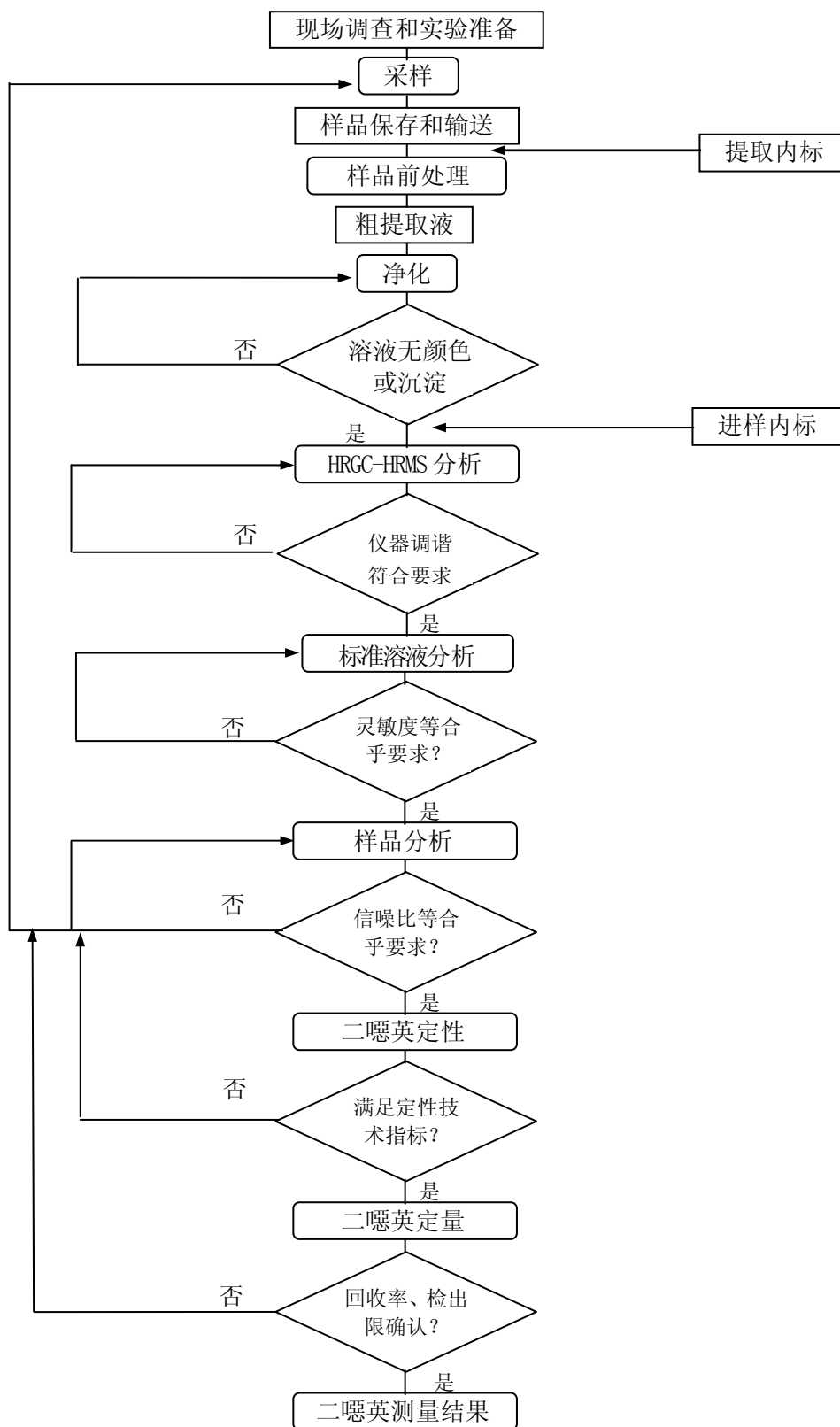
本方法中涉及的试剂及化合物具有一定健康风险，应尽量减少分析人员对这些化合物的暴露。

16.1 分析人员应了解二噁英类分析操作以及相关的风险，并接受相关的专业培训。建议实验室的分析人员定期进行日常体检。

16.2 实验室应选用可直接使用的低浓度标准物质，减少或避免对高浓度标准物质的操作。

16.3 实验室应配备手套、实验服，安全眼镜或面具、可用于放射性物质处理的手套箱及通风橱等保护措施。

附录 A
 (规范性附录)
 二噁英类分析流程图



附录 B
(资料性附录)
二噁英类内标物质使用示例

| 二噁英类标准物质 | 例 1 | | 例 2 | |
|--|------|------|------|------|
| | 提取内标 | 进样内标 | 提取内标 | 进样内标 |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-T ₄ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4-T ₄ CDD | | ○ | | ○ |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-T ₄ CDD | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-P ₅ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,7,8-P ₅ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-P ₅ CDD | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD | | ○ | | ○ |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD | ○ | | ○ | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8,9-O ₈ CDF | ○ | | | |
| $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8,9-O ₈ CDD | ○ | | ○ | |

附录 C
(资料性附录)
标准溶液浓度序列示例

| 标准物质和内标物质 | 浓度 (ng/ml) | | | | |
|---|------------|------|------|------|------|
| | STD1 | STD2 | STD3 | STD4 | STD5 |
| 2,3,7,8-T ₄ CDD 1,2,3,7,8-P ₅ CDD | 0.4 | 2.0 | 10 | 40 | 200 |
| 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD | 1.0 | 5.0 | 25 | 100 | 500 |
| O ₈ CDD | 2.0 | 10 | 50 | 200 | 1000 |
| 2,3,7,8-T ₄ CDF 1,2,3,7,8-P ₅ CDF 2,3,4,7,8-P ₅ CDF | 0.4 | 2.0 | 10 | 40 | 200 |
| 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF 2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF 1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF | 1.0 | 5.0 | 25 | 100 | 500 |
| O ₈ CDF | 2.0 | 10 | 50 | 200 | 1000 |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-T ₄ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4-T ₄ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-P ₅ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDD | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ¹³ C ₁₂ -O ₈ CDD | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-T ₄ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-P ₅ CDF ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-P ₅ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ¹³ C ₁₂ -O ₈ CDF | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |

附录 D
(资料性附录)
仪器设定条件示例

例一：

| | |
|------------------|--|
| 气 相 色 谱 | <p>①分析对象：T₄CDDs、T₄CDFs、P₅CDFs 同类物及其 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：SP-2331，内径 0.32mm，长 60m，膜厚 0.2μm 柱温：100℃(1.5min)→(20℃/min)→180℃→(3℃/min)→260℃(25min) 进样口温度：260℃</p> <p>②分析对象：P₅CDDs、H₆CDDs、H₆CDFs 同类物及其 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：SP-2331，内径 0.32mm，长 60m，膜厚 0.2μm 柱温：100℃(1.5min)→(20℃/min)→210℃→(3℃/min)→260℃(25min) 进样口温度：260℃</p> <p>③分析对象：H₆CDD/Fs、O₈CDD/F 同类物及其 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：DB-17，内径 0.32mm，长 30m，膜厚 0.15μm 柱温：100℃(1.5min)→(20℃/min)→200℃→(10℃/min)→280℃(5min) 进样口温度：280℃ 以上进样方式均为不分流进样(90s)，进样量均为 1μl</p> |
| 质 谱 | <p>分辨率：大于 10000； 电子加速电压：70V； 离子化电流：1mA； 离子源温度：260℃； 检测方法：SIM 法(lock MS)</p> |

例二：

| | |
|------------------|---|
| 气 相 色 谱 | <p>①分析对象：T₄CDDs~H₆CDDs、T₄CDFs~H₆CDFs 同类物及其 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：SP-2331，内径 0.25mm，长 60m，膜厚 0.2μm 柱温：100℃(1min)→(20℃/min)→200℃→(2℃/min)→260℃ 进样口温度：260℃</p> <p>②分析对象：H₆CDD/Fs、O₈CDD/F 同类物及其 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：HP-5，内径 0.20mm，长 25m，膜厚 0.25μm 柱温：100℃(1min)→(20℃/min)→200℃→(5℃/min)→300℃ 进样口温度：300℃ 以上进样方式均为不分流进样(60s)，进样量均为 1μl</p> |
| 质 谱 | <p>分辨率：大于 10000； 电子加速电压：70V； 离子化电流：1mA； 离子源温度：270℃； 检测方法：SIM 法(lock MS)</p> |

例三：

| | |
|------------------|--|
| 气 相 色 谱 | <p>分析对象：T₄CDDs~O₈CDD、T₄CDFs~O₈CDF 同类物及其总量和 2,3,7,8-氯代二噁英类 色谱柱：DB-5ms，内径 0.32mm，长 60m，膜厚 0.25μm 柱温： 160℃(2min)→(5℃/min)→220℃(16min)→(5℃/min)→235℃(7min)→(5℃/min)→330℃ 进样口温度：270℃ 进样方式：不分流进样 进样量：1μl</p> |
| 质 谱 | <p>分辨率：大于 10000； 色质接口温度：290℃； 离子源温度：220℃； 离子化电流：0.6mA； 离子加速电压：7.5kV； 检测方法：SIM 法(lock MS)</p> |

附录 E
(资料性附录)
报告格式示例

| 二噁英类 | | 实测浓度(ρ) | 毒性当量浓度(TEQ) | |
|---|----------------------------------|----------------|-------------|-------|
| | | Ng/kg | I-TEF | ng/kg |
| 多 氯 二 苯 并 对 二 噁 英 | 2,3,7,8-T ₄ CDD | | ×1 | |
| | T ₄ CDDs | | — | — |
| | 1,2,3,7,8-P ₅ CDD | | ×0.5 | |
| | P ₅ CDDs | | — | — |
| | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD | | ×0.1 | |
| | 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD | | ×0.1 | |
| | 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD | | ×0.1 | |
| | H ₆ CDDs | | — | — |
| | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD | | ×0.01 | |
| | H ₇ CDDs | | — | — |
| | O ₈ CDD | | ×0.001 | |
| | PCDDs 总量 | | — | |
| 多 氯 二 苯 并 呋 喃 | 2,3,7,8-T ₄ CDF | | ×0.1 | |
| | T ₄ CDFs | | — | — |
| | 1,2,3,7,8-P ₅ CDF | | ×0.05 | |
| | 2,3,4,7,8-P ₅ CDF | | ×0.5 | |
| | P ₅ CDFs | | — | — |
| | 1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF | | ×0.1 | |
| | 1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF | | ×0.1 | |
| | 1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF | | ×0.1 | |
| | 2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF | | ×0.1 | |
| | H ₆ CDFs | | — | — |
| | 1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF | | ×0.01 | |
| | 1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF | | ×0.01 | |
| H ₇ CDFs | | — | — | |
| O ₈ CDF | | ×0.001 | | |
| PCDFs 总量 | | — | | |
| 二噁英总量(PCDDs+PCDFs) | | | — | |

- 【注】 1. 实测浓度(ρ): 二噁英浓度测定值(ng/kg)。
 2. 毒性当量因子 TEF 采用国际毒性当量因子 I-TEF 定义。
 3. 当实测浓度低于检出限时用“N.D.”表示。计算毒性当量浓度时以 1/2 检出限计。