

环境固体废物的监测技术及其应用

尹涓¹ 章连香^{2*}

(1 北京市化工研究院, 北京 100084;

2 北京矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

摘要 介绍了固体废物的特点和分类、我国固体废物监测技术的发展历程及现有固体废物的监测及管理标准体系,在此基础上列举了具有代表性的测定固体废物中污染物的前处理及监测技术应用实例。

关键词 固体废物;危险废物;监测技术;分析仪器;样品前处理

中图分类号: O65

文献标志码: A

文章编号: 2095-1035(2019)05-0019-06

Monitoring Technology of Environmental Solid Waste and Its Application

YIN Wei¹, ZHANG Lianxiang^{2*}

(1. Beijing Chemical Industrial Research Institute, Beijing 100084, China;

2. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract This paper introduces the characteristics and classification of solid waste, the development of solid waste monitoring technology in China and the existing monitoring and management standards system for solid waste. On this basis, some representative examples of pretreatment and monitoring techniques for the determination of pollutants in solid waste are listed.

Keywords solid waste; hazardous waste; monitoring technology; analysis instrument; sample pretreatment

前言

固体废物(Solid Waste,简称固废)系指在生产、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。从定义来看,固体废物的来源十分广泛,其种类也十分庞杂。我国针对固体废物污染环境的防治,实行减少资源化、减量化和无害化的处置原则,促进清洁生产

和循环经济发展^[1]。早先有人将其称之为“固体废弃物”,有专业人士指出,对这些物质应该是“废而不弃”,要充分考虑将其作为再生资源再利用,故称之为“固体废物”。

我们往往将固体废物分为一般固体废物、危险废物和生活垃圾,危险废物(Hazardous Waste)系指列入国家危险废物名录,或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法而认定的具有危险特性的固体废物。因危险废物具有腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、反应性、传染性和放射性等特性,故对生态环

收稿日期:2019-04-29 修回日期:2019-05-28

作者简介:尹涓,男,高级工程师,主要从事环境科学研究。E-mail:ywei45@sina.com

* 通信作者:章连香,女,高级工程师,主要从事无机分析化学研究。E-mail:zlianx@yeah.net

本文引用格式:尹涓,章连香. 环境固体废物的监测技术及其应用[J]. 中国无机分析化学,2019,9(5):19-24.

YIN Wei, ZHANG Lianxiang. Monitoring Technology of Environmental Solid Waste and Its Application[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2019, 9(5): 19-24.

境和人体健康可能造成更大的危害,加强对危险废物的管理是环境保护工作的重点之一。

1 工业固体废物的特点

工业固体废物的主要特点是:具有明显的时间和空间特征,有人很形象地提出,固体废物就是在错误的时间放在错误地点的资源。从时间上来讲,它也只是在目前的科技和经济条件下无法加以利用,但随着时间的推移,科技的进步,以及人们要求的变化,今天所讲的废物就可能成为明天的资源。从空间角度来看,废物也只是相对于某一过程或某一方面没有使用价值,而并非是在所有过程或所有方面都没有使用价值。一种过程的废物往往可作为另一个过程的原料。

固体废物对生态环境的影响有异于废水和废气,固废的呆滞性大,扩散性小,它对生态环境的影响主要是通过水、气和土壤等介质而进行的,固废中的污染物成分的迁移转化,是比较缓慢的过程,其危害可能要在数年乃至数十年后才能发现。从另一个角度来看,这些固体废物既是生产中的废物,但又可能成为可贵的二次资源,将固体废物经过资源化处置,转化为产品应该是固体废物最好的归宿。一般说来,废气和废水中的污染物经过不同的治理过程后,大部分都转化为固态物,这也是固体废物数量庞大的原因之一^[2]。

2 我国固体废物监测技术的发展历程

追溯到 1979 年,在国务院环境保护领导小组办公室的领导下,由中科院环化所、北京市环境监测站、辽宁省环保所、北京市环保所等单位共同组织编制了《环境监测标准分析方法(试行)》(1979 年,又称蓝皮书);这一年我国还实施了《工业企业设计卫生标准》(TJ36—1979),后来国家建委和卫生部又组织医科院卫生研究所、中国科技大学等单位研究编制了《工业废渣检验方法》(1982 年);1980—1985 年,由中国环境监测总站、清华大学等单位联合编制了《有色金属工业固体废物污染控制标准》及《工业固体废物有害特性试验与监测分析方法(试行本)》(1986 年);此后,中国预防医学科学院所属的环境卫生与卫生工程研究所的土壤卫生研究室发表了“工业固体废物有害性鉴别方法”的研究报告,清华大学环工所/核能所固废组发表了“固体废物排放标准及评价方法的研究”;1989—1991 年,由国家环保总局立项,中国环境监测总站组织开展了“固体废物

采样及检测方法的研究”^[3-4]。随后又陆续制订了一系列固体废物监测标准方法。目前,我国已经形成了固体废物环境管理和监测框架体系,从采样和制样、浸出毒性的浸出方法、无机污染物和有机污染物测定方法等方面都有了长足的进展。

3 固体废物监测标准

目前我国已经有了从采样、制样到分析监测全过程比较完整的固体废物的监测及管理标准体系,所使用的设备也从原有的手工发展到机械化、自动化,对样品的标准化管理,分析仪器也从最初的化学分析法、目视比色法、分光光度法、原子吸收光谱法、气相色谱法发展到离子色谱、原子荧光光谱、液质联用、电感耦合等离子体发射光谱、电感耦合等离子体质谱法等,表 1 和图 1 为我国现有固体废物的监测及管理标准体系。

由于固体废物的分布不均匀性,组分复杂,形态多变,规定了《工业固体废物采样制样技术规范》^[5],并有一套前处理标准方法^[6-10]。

4 监测技术的应用

关于固体废物的浸出方法标准有硫酸硝酸法^[7]、醋酸缓冲溶液法^[8]、水平振荡法^[9],这三个方法中对于固废浸出毒性鉴别的浸出程序存在着对不同粒径、浸提剂、液固比、振荡方式、浸提时间等方面的要求。李倩选取了 8 种不同类型的固废,将其制备成不同粒径,按照不同的浸出方法,分别在 H_2O 、 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3$ 、 CH_3COOH 三种不同的浸提剂中,使用水平振荡和翻转振荡进行浸提实验,得到浸出液;另外又将这些固废研磨后进行全量消解,得到全量消解液。使用电感耦合等离子体发射光谱仪、冷原子吸收测汞仪、热分解齐化原子吸收测汞仪分别对浸出消解液和全消解液进行测定。实验结果表明,在设定条件范围内,粒径小、浸提液 pH 值低时,浸出液中重金属含量相对较高,振荡方式和浸提时间对于测定的结果则没有明显的差异化影响。在这三种浸提方法中,水平振荡法对重金属浸出迁移效率在 4.6%~53.4%,硫酸-硝酸法对重金属浸出迁移效率在 20.0%~80.1%,醋酸缓冲溶液法对重金属浸出迁移效率在 31.6%~89.9%,其中以醋酸缓冲溶液法浸出效率为最高^[10]。在固废中,VOCs(挥发性有机物)和 SVOCs(半挥发性有机物)含量较低、易挥发、且基体干扰大,样品不经前处理很难直接测定。一般采用索氏提取、微波萃取、超声提取、

快速溶剂萃取、超临界流体萃取、静态顶空和吹扫捕集等方法。为了评估固废在不同处置环境和方式下的环境风险,采用毒性浸出法,选用不同的浸提剂进行浸提。针对提取物中的干扰物质通常采用固相萃取和凝胶渗透色谱来净化固废中 VOCs 和 SVOCs 的提取液。为置换合适的样品提取溶剂或转换混合溶剂,并减少提取液的体积,常需要对其进行浓缩处理,一般采用旋转蒸发浓缩和氮吹浓缩^[11]。

表 1 我国现有固体废物的监测及管理标准体系

Table 1 The standard system for monitoring and management of solid waste in China		
序号	标准方法	标准号
1	镍的测定 直接吸入火焰原子吸收分光光度法	GB/T 15555.9—1995
2	总铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法	GB/T 15555.5—1995
3	铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法	GB/T 15555.2—1995
4	砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	GB/T 15555.3—1995
5	腐蚀性测定 玻璃电极法	GB/T 15555.12—1995
6	氟化物的测定 离子选择性电极法	GB/T 15555.11—1995
7	镍的测定 丁二酮肟分光光度法	GB/T 15555.10—1995
8	六价格的测定 二苯碳酰二肼分光光度法	GB/T 15555.4—1995
9	总铬的测定 硫酸亚铁铵滴定法	GB/T 15555.8—1995
10	总铬的测定 直接吸入火焰原子吸收分光光度法	GB/T 15555.6—1995
11	总汞的测定 冷原子吸收分光光度法	GB/T 15555.1—1995
12	二噁英的测定 酶免疫分析法	DB12/T 403—2008
13	二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-质谱法	HJ77.3—2008
14	挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ643—2013
15	六价格的测定 碱消解/火焰原子吸收分光光度法	HJ 687—2014
16	汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法	HJ 702—2014
17	酚类化合物的测定 气相色谱法	HJ 711—2014
18	总磷的测定 偏钼酸铵分光光度法	HJ 712—2014
19	挥发性卤代烃的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 713—2014
20	挥发性卤代烃的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 714—2014
21	总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 749—2015
22	总铬的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 750—2015
23	镍和铜的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 751—2015
24	铍 镍 铜和钼的测定 石墨炉原子吸收分度法	HJ 752—2015
25	挥发性有机物的测定 顶空-气相色谱法	HJ 760—2015
26	有机质的测定 灼烧减量法	HJ 761—2015
27	有机磷农药的测定 气相色谱法	HJ 768—2015
28	钼的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 767—2015
29	金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 766—2015
30	有机物的提取 微波萃取法	HJ 765—2015
31	有机磷农药的测定 气相色谱法	HJ 768—2015
32	煤中全硫的测定 艾士卡—离子色谱法	HJ 769—2015
33	有机物的提取 加压流体萃取法	HJ782—2016
34	22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 781—2016
35	铅、锌和镉的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 786—2016
36	铅和镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 787—2016
37	多环芳烃的测定 高效液相色谱法	HJ 892—2017
38	多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法	HJ 891—2017
39	多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	HJ 950—2018
40	半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	HJ 951—2018
41	有机磷类和拟除虫菊酯类等 47 种农药的测定 气相色谱-质谱法	HJ 963—2018
42	苯系物的测定 顶空/气相色谱	HJ 975—2018
43	苯系物的测定 顶空/气相色谱-质谱法	HJ 976—2018
44	氟的测定 碱熔-离子选择性电极法	HJ 999—2018
45	热灼烧减率的测定 重量法	HJ1024—2019
46	氨基甲酸酯类农药的测定 柱后衍生-高效液相色谱法	HJ1025—2019
47	氨基甲酸酯类农药的测定 高效液相色谱-三重四极杆质谱法	HJ1026—2019
48	工业固体废物采样制样技术规范	HJ/T 20—1998

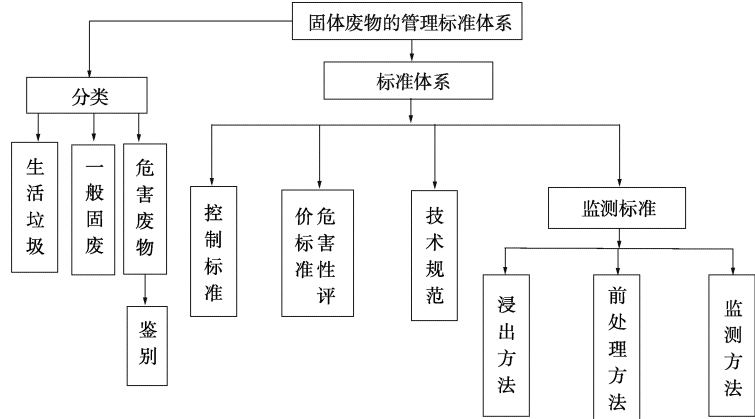


图 1 固体废物监测及管理体系图

Figure 1 The chart of solid waste monitoring and management system.

固体废物中的 VOCs、SVOCs 越来越引起人们的关注，VOCs 包括可使吹扫烃类物、苯系物、石油类等，SVOCs 包括有机磷农药、有机氯农药、卤代除草剂、多环芳烃、邻苯二甲酸酯类、多氯联苯、石油烃（碳数超过 13）等。马文鹏等采用吹扫捕集/GC-MS 法在 21 min 内完成了固废中 32 种挥发性卤代烃的直接分析测定，检出限为 0.2~0.4 μg/L，加标回收率在 60%~129%^[12]。颜焱等建立了吹扫捕集/GC-MS 法同时测定固废中 35 种挥发性卤代烃的方法，各挥发性卤代烃的分离良好，标准曲线相关系数均大于 0.990，检出限 0.1~0.4 μg/kg，不同浓度的 RSD 分别 7.1%~17%、2.4%~15%和 4.2%~11%，加标回收率为 72.1%~118%^[13]。王道玮等建立了加速溶剂萃取-固相萃取净化-气相色谱/三重四极杆串联质谱联用（ASE-SPE-GC-QqQ-MS/MS）法同时测定沉积物中 28 种多氯联苯（PCBs）和 16 种多环芳烃（PAHs）。优化条件为 ASE 萃取温度 90℃，萃取时间 6 min；净化小柱为硅胶-Florisil 固相复合柱（填料自下而上为弗罗里硅土、0.7 g 活化硅胶、1 g 无水 Na₂SO₄），洗脱溶液为丙酮-正己烷（1:19，V/V）混合溶液，洗脱速率为 0.6 mL/min。多氯联苯和多环芳烃在 2~500 μg/L 和 5~1 000 μg/L 浓度范围内的线性关系良好，多氯联苯和多环芳烃的方法检出限分别为 0.001~0.08 ng/g 和 0.07~0.45 ng/g，定量限为 0.003~0.25 ng/g 和 0.24~1.67 ng/g，实际样品平均加标回收率为 95.6%~125.7%和 70.4%~124.7%，RSD（n=6）为 0.7%~6.4%和 1.1%~12.8%。运用该方法对滇池入湖河口表层沉积物样品进行测定，该区域 PCBs 单体浓度为未检出，PAHs 单体浓度为 0.79

~131.12 ng/g^[14]。李欣等采用快速溶剂萃取-GC/MS 法对固废中 18 种多氯联苯进行了提取测定。通过改变快速溶剂萃取条件，选取了最佳条件参数，减少了组份的损失；通过改变气质联用仪器条件，使得 18 种多氯联苯快速分离。该方法对灰渣、污泥样品中多氯联苯的检测限分别为 0.14~0.45 μg/kg、0.19~0.64 μg/kg，加标回收率分别为 60.1%~121%、55.2%~119%，RSD 为 3.93%~13.0%、4.09%~13.8%^[15]。周德杰等参照美国 EPA 方法 1311（TCLP）和 1312（SPLP）对油墨渣、环氧树脂废料样品中的 PAHs 进行了浸出实验，采用固相萃取方法处理浸出液，用 GC/MS 和 GC 进行定性和定量分析。实验结果表明，浸提剂对 PAHs 浸出的影响显著，醋酸缓冲溶液浸出体系比混酸（HNO₃/H₂SO₄）浸出体系具有更为明显的优势；增加液固比、延长浸提时间或减小样品粒径，均可增加 PAHs 的浸出量，在实验设计的范围内，pH 值对 PAHs 的浸出影响并不明显^[16]。

固体废物中的无机污染物的监测起步比较早，随着相关学科的发展，特别是仪器制造业的发展大大推动了这方面的进展。宣肇菲等提出了微波酸溶-ICP/MS 同时测定固废中 17 种元素的方法。取适量固体废物样品加入 HNO₃-HF-HCl-H₂O₂（4+1+1+1）混酸，于 175℃微波消解 20 min，将消解液于 150℃蒸发至近干，加水溶解残渣并定容。取固体废物浸出液，加入 HNO₃-HCl（4+1），于 165℃微波消解 10 min 后，按上述手续处理后作为样液。用 ICP-MS 法测定上述两类样液中 17 种元素。各元素测定值的 RSD（n=6）分别在 4.5%~12%（固体样品）和 0.4%~15%（浸出液样品），加标回收率

分别在 89.1%~116% 和 82.4%~113%。按所提出方法分析了标准样品,其测定值与认定值一致^[17]。徐荣等用金矿废渣样品进行氰化物的浸提试验,对浸提剂的 pH 值、浸提次数等条件进行优化。确定 pH 值>12 的碱性水溶液为最佳浸提剂,浸出液中易释放的氰化物和总氰化物可采用硝酸银滴定法或异烟酸-巴比妥酸分光光度法测定,方法检出限分别为 0.25 mg/L、0.001 mg/L,加标回收率为 90.0%~92.0%,测定结果的 RSD<8%^[18]。任兰等采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解样品,石墨炉原子吸收光谱法测定固废中铍和钼,以钡盐作基体改进剂,消除了基体干扰。铍、钼的质量浓度分别在 0~4.0、0~50.0 μg/L 范围内与吸光度呈良好的线性关系,检出限分别为 0.03、0.2 μg/g。实际样品加标回收率为 82.5%~117.0%,测定结果的 RSD (n=6) 为 6.6%~10.4%,可以满足固废全量分析的要求^[19]。时玉珍采用原子吸收光谱法测定固废中包括 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Mn 等微量、痕量有害金属元素,试验对微波消解条件、称样量、测定介质与仪器条件等进行了研究。试样经 HNO₃-HF 微波消解,HClO₄ 破坏有机质,在选定的试验条件下,使用原子吸收光谱仪对同一份样品中的痕量元素进行连续测定。在仪器最佳工作条件下,Cu、Pb、Zn、Cd 和 Mn 的方法检出限分别为 0.037、0.294、0.030、0.015 和 0.022 mg/L,RSD 分别为 3.1%、2.5%、4.0%、6.6% 和 4.2%。经过国家一级标准物质的分析对照验证,结果与标准值吻合较好^[20]。孙友宝等分别采用碱消解和微波消解前处理固体废物样品,火焰原子吸收法分别测定了固体废物中的六价铬和总铬含量。结果表明,该方法线性相关良好 (r>0.999 5),RSD 均小于 2.0%,方法检出限低,分析结果与标准值吻合^[21]。

5 结语

对于固体废物的管理,我们需要运用科学环境管理的理论和方法,通过技术、法律、经济、教育和行政等多方面的手段,加强对固体废物的监测,深入了解其定性组成和含量,根据监测的数据,结合清洁生产和循环经济理念,有目的地进行废物资源化的再利用,同时在固废的减量化和无害化方面扩大宣传面,推出成功的实例加以推广,严格控制固体废物污染土壤和地下水,促进经济与环境的可持续发展。

参考文献

[1]全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国固体废

物污染环境防治法(2016 年修正版)[S]. 北京:中国标准出版社,2016.

Standing Committee of the National People's Congress. Law of the People's Republic of China on the prevention and control of environmental pollution by solid wastes (Amended 2016) [S]. Beijing: Standards Press of China,2016.

[2]国家环保局. 化学工业固体废物治理[M]. 北京:中国环境科学出版社,1991,

State Environmental Protection Administration. Solid waste treatment in chemical industry [M]. Beijing:China Environmental Science Press,1991.

[3]李国刚,万本太. 中国固体废物的环境管理与环境监测技术现状[J]. 环境监测管理 与技术,2000,12(1): 9-13,30.

LI Guogang, WAN Bentai. Present situation of environmental management and monitoring technology of solid waste in china [J]. The Administration and Technology of Environmental Monitoring, 2000,12(1): 9-13,30.

[4]王楠,陈纯,刘丹,等. 我国固体废物监测技术发展现状[J]. 环境监测管理 与技术,2015(3):1-5.

WANG Nan, CHEN Chun, LIU Dan, et al. Development status of solid waste monitoring technology in China [J] The Administration and Technology of Environmental Monitoring, 2015(3):1-5.

[5]国家环保总局. 工业固体废物采样制样技术规范:HJ/T 20—1998[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

State Environmental Protection Administration. Technical specification for sampling and sampling of industrial solid waste: HJ/T 20—1998 [S]. Beijing: Standards Press of China,1998.

[6]国家环保总局. 固体废物 浸出毒性浸出方法翻转法:GB 5086.1—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1997.

State Environmental Protection Administration. Oxicity leaching method reversal method for solid waste leaching: GB 5086.1—1997 [S]. Beijing: Standards Press of China,1997.

[7]国家环保部. 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法: HJ/T 299—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

State Environmental Protection Administration. Toxic leaching method of solid waste: sulfuric acid and nitric acid method: HJ/T 299—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China,2007.

[8]国家环保部. 固体废物 浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲溶液法: HJ/T 300—2007 [S]. 北京:中国标准出版社,2007.

State Environmental Protection Administration. Toxicity leaching method of solid waste: acetic acid buffer solution method: HJ/T 300—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China,2007.

- [9]国家环保部. 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法: HJ/T 594—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
State Environmental Protection Administration. Horizontal oscillation method for toxicity leaching of solid waste: HJ/T 594—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [10]李倩. 固体废物不同体系浸出液与全量消解液中重金属含量的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
LI Qian. Study on heavy metal content in leaching solution and total digestion solution of solid waste in different systems [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [11]钟丹丹, 柳春辉, 窦筱艳. 固体废物中挥发性有机物及半挥发性有机污染物前处理和 GC/GC-MS 测定方法的研究进展[J]. 环境与发展, 2018(8): 64-68.
ZHONG Dandan, LIU Chunhui, DOU Xiaoyan. Advances in pretreatment and GC/GC-MS determination of volatile organic compounds and semi-volatile organic pollutants in solid wastes [J]. Environment and Development, 2018(8): 64-68.
- [12]马文鹏, 和莹, 牛少敏. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法直接测定低含量固体废物中挥发性卤代烃[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(5): 108-110.
MA Wenpeng, HE Ying, NIU Shaomin. Direct determination of volatile halogenated hydrocarbons in low content solid waste by purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42(5): 108-110.
- [13]颜焱, 王伟华, 张万峰, 等. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法测定固体废物中挥发性卤代烃的研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(9): 117-121.
YAN Yan, WANG Weihua, ZHANG Wanfeng, et al. Determination of volatile halohydrocarbons in solid waste by purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Environmental Science and Management, 2015, 40(9): 117-121.
- [14]王道玮, 赵世民, 金伟, 等. 加速溶剂萃取-固相萃取净化-气相色谱/质谱法测定沉积物中多氯联苯和多环芳烃[J]. 分析化学, 2013, 41(6): 861-868.
WANG Daowei, ZHAO Shimin, JIN Wei, et al. Determination of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments by accelerated solvent extraction-solid phase extraction purification-gas chromatography/mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2013, 41(6): 861-868.
- [15]李欣, 吴丽, 王凤军. 快速溶剂萃取-气相色谱/质谱法分析固体废物中 18 种多氯联苯[J]. 干旱环境监测, 2018, 32(4): 152-160.
LI Xin, WU Li, WANG Fengjun. Rapid solvent extraction-gas chromatography/mass spectrometry for the analysis of 18 polychlorinated biphenyls in solid waste [J]. Arid Environmental Monitoring, 2018, 32(4): 152-160.
- [16]周德杰, 刘锋, 孙思修, 等. 固体废物中多环芳烃类化合物 (PAHs) 的浸出特性研究[J]. 环境科学研, 2005(增刊 1): 31-35.
ZHOU Dejie, LIU Feng, SUN Sixiu, et al. Leaching characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from solid waste [J]. Research of Environmental Sciences, 2005(Supplement -1): 31-35.
- [17]宣肇菲, 胡跃城, 褚春莹. 试样微波助溶-电感耦合等离子体质谱法测定固体废物中 17 种元素的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2016, 52(1): 1257-1261.
XUAN Zhaofei, HU Yuecheng, CHU Chunying. Determination of seventeen elements in solid waste by microwave solution-inductive coupling plasma mass spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2016, 52(1): 1257-1261.
- [18]徐荣, 陆喜红, 杨丽莉. 固体废物浸出液中氰化物测定方法的探讨[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(4): 45-47.
XU Rong, LU Xihong, YANG Lili. Discussion on the determination method of cyanide in solid waste leaching solution [J]. The Administration and Technology of Environmental Monitoring, 2014, 26(4): 45-47.
- [19]任兰, 杜青, 陆喜红. 石墨炉原子吸收分光光度法测定固体废物中铍和钼[J]. 化学分析计量, 2014, 23(4): 38-41.
REN Lan, DU Qing, LU Xihong. Determination of beryllium and molybdenum in solid waste by graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2014, 23(4): 38-41.
- [20]时玉珍. 同一固废全消解液中 Cu、Pb、Zn、Cd、Mn 的原子吸收光谱测定方法研究[J]. 水泥技术, 2011(1): 101-104.
SHI Yuzhen. Determination of Cu, Pb, Zn, Cd and Mn in the same solid waste digestion solution by atomic absorption spectrometry [J]. Cement Technology, 2011(1): 101-104.
- [21]孙友宝, 马晓玲, 李剑, 等. 火焰原子吸收光谱法测定固体废弃物中的六价铬和总铬[J]. 环境化学, 2014, 33(7): 1250-1251.
SUN Youbao, MA Xiaoling, LI Jian, et al. Determination of hexavalent chromium and total chromium in solid waste by flame atomic absorption spectrometry [J]. Environmental Chemistry, 2014, 33(7): 1250-1251.