

核技术和非放射性固体废物处置

固体废物中的重金属与其他环境污染物经常利用核方法加以鉴定和分析

Sheldon
Landsberger 和
Bruce Buchholz

如何处置由工业部门、电力公司和市区产生的固体废物,是地方政府、州政府和国家政府面临的最重要和最持久的公众健康问题之一。

人们愈来愈关心上述诸方面产生的废物中的化学组分的监测、控制和安全处置问题。例如众所周知,燃煤电厂排放的副产物即气载粒子、底灰和飞灰,能对空气质量和水质产生有害影响。另一个大问题,是城市固体废物的焚烧处置和直接掩埋处置。这两种做法可能对环境产生潜在的有害影响,因为这些固体废物中含有相当多的重金属。在许多工业加工过程中使用大量的矿物质,也会带来一些比较复杂的废物管理问题。

因此,重要的是开发一些可靠的化学分析技术,以便用来评估广泛采用的有机化学品和无机化学品处置实践的影响。核和与核相关的分析技术——中子活化分析、能量色散 X 射线荧光分析和粒子激发 X 射线发射法等——已相当普遍地应用于重要的科学技术领域。这些方法和技术在这类工作中有很多用途,因为它们可用来测定某些个别污染物(例如有毒重金属的含量)和为鉴定源和分配污染物比例进行多元素分析。同位素示踪剂等其他核技术,也已被广泛用来表征金属在土壤和含水环境中的扩散类型及污染水流。这些对了解

固体废物的可动或不可动浸出液在地下水层中的状况和预测它们在环境中的一般迁移机理是很重要的。

核技术和核相关技术

中子活化分析(NAA)。NAA 是一种可用来测定 40—50 种元素包括许多在环境上有重要影响的元素(如锑、砷、镉、铬、铜、汞、镍、硒、钡、锌等)的分析技术。用它也可以测定钠、氯、钾等常量元素和多种稀土元素。元素浓度的测定基于样品在核研究堆内辐照后的感生放射性的测量。每种元素的放射性衰变都产生一种特征 γ 射线能谱。因此,一种个别核“指纹”可被测量和定量。

活化分析测量的是某种元素在一材料中的总量,不考虑其化学或物理形式。活化分析有如下优点:

- NAA 样品可以是液体、固体或粉末;
- NAA 是无损分析,并因无须预化学处理,可完全避免试剂引起的污染;
- 可同时迅速地分析多种元素;
- 它对痕量元素是高度灵敏的。

这些因素已使许多有价值元素的检测限,降到其他分析技术不易达到的极低水平。NAA 还完全不受样品中有机物质的干扰。在一些常规化学方法中,这种有机物质是个难以解决的基体问题。

能量色散 X 射线荧光(ED—XRF)分析和粒子激发 X 射线发射法(PIXE)。在这两种技术中,元素浓度的测定是以探测 X 射线为依据的。在 ED—XRF 中,来自 X

Landsberger 博士是伊利诺斯大学核工程系(103 South Goodwin Ave., Urbana, Illinois, U. S. A. 61801)副教授,环境研究所工作人员。Buchholz 先生是该核工程系攻读哲学博士学位者。



维也纳城市废物焚烧厂外观,是由维也纳画家 Friedonreich Hundertwasser 设计的。(来源: E. Schaner, Vienna)

射线管的 X 射线或来自放射性源的射线轰击样品,激发出 X 射线。这些方法的优点与 NAA 的优点类似。总的来说,能用 ED-XRF 或 PIXE 测定的元素比能用 NAA 测定的少。但是用 NAA 不可能测定硫和铅等元素,而用 ED-SRF 和 PIXE 则可测定它们。

同位素示踪剂技术。这种技术所依据的原理是:极少量放射性以可溶放射性同位素形式注入固态环境系统或水环境系统,并可在以某种机理输运后被探测到。这种方法已成功地用于水文学研究。它在解决许多环境问题方面,应用越来越广。

使用较多的是溴、镉、铬、铯、氯、钠和锌的同位素。与核废物相比,这 7 种放射性核素的半衰期大多比较短。这使它们成为进行实时研究的理想手段。

世界上的设施

目前,用于中子活化分析法进行例行环境监测和研究的研究反应堆有 250 座。此外,在许多大学、政府实验室和私人研究机构,还有 100 多台 PIXE 装置和许多台 ED-XRF 装置。

世界上现在已有许多科学家掌握了有重要意义的专门分析技术。这保证了,这些核方法和核相关方法能在固体废物研究中继续得到应用。下面各节举例介绍几个利用这些技术的世界性计划。

气载微粒物质

最近 20 年,人们做了大量工作,以鉴定和研究由燃煤电厂、焚烧设施、各种熔炼过程、汽车排气、室内工业加工过程等释入大气环境的重金属的去向和迁移情况。

取样和分析气载微粒物质的理由有很多。例如,在需要确定微粒物质总浓度是否已高到能对公众健康产生不良影响的程度时,要取样;需要进行影响评价,即估价风险,取得风险管理所需数据时,要取样;为开展支持流行病学研究所需的监测,也许要取样。需要确定空气质量是否符合法律或法规要求时,也要取样;最后,在大气输送、变性和沉积诸过程的研究中,可能需要进行深入仔细的微粒表征工作。基本的做法是,将一些空气取样器放置在城市、农村和偏远地区的关键区域,然后对空气滤纸

元 素	飞 灰	土 壤
银	31.4—60	0.1
铝	1.07%—11.1%	7.1%
砷	75.3—229	6.0
钡	<700—1300	500
溴	1420—5180.00	5
钙	8.44%—28.1%	1.37%
镉	80.4—314	0.06
铀	4.42—51.90	50
氟	3.6%—20.9%	100
钴	4.78—37.3	8
铬	94.1—865	100
铯	2.06—3.31	6
铁	0.26%—2.12%	3.8%
汞	18.5—209	0.03
铟	0.49—1.91	—
镉	2.47—27.9	30
锰	180—1000	850
钠	1.52%—2.83%	0.63%
钕	12.2—40.6	100
铈	618—1665	(2—10)
钫	0.89—8.37	7
硒	<2.51—10.9	0.2
硅	<1.21%—17.0%	33%
钶	<0.43—4.6	—
铈	<600	300
钽	<0.24—3.36	—
钷	0.79—9.10	5
铪	0.25%—2.46%	5000
钷	<9.93—81.1	100
铟	8690—18 200	50

注：除注明者外，浓度以微克/克为单位，数据取自美国伊利诺斯大学一项研究。

城市固体废物焚烧飞灰和灰土中元素丰度一览表

上截留的物质进行测定。随后的分析可能涉及各数学模型。利用它们可以阐明空气污染的本源和(或)评估对公众或工业工人的健康影响。

通常只截有很少气载微粒物质的空气滤纸的分析工作，已大大受益于上面提到的这些技术。IAEA 支助的一项协调研究计划内涉及若干项这样的调查。参与这些调查的国家有：阿根廷、比利时、巴西、智利、中国、加拿大、捷克共和国、德国、匈牙利、印度、斯洛伐克共和国、土耳其、美国、越南和扎伊尔。

固体废物

用核方法特别是NAA分析的最多的

固体废物，也许要算煤燃烧残留物即煤底灰和飞灰。

为了满足各种工业活动、居民住宅、商业大楼，以及供热对电的需要，世界用煤发电与日俱增。

然而，大量用煤发电已带来一个数以百万吨计的残留底灰和飞灰的处置问题。这些灰是必须加以适当管理的。此外，人们还进行了许多研究工作，以确定哪些元素特别是铅、砷、汞、镉、铈等重金属，可能从固体废物中浸出和有可能变成地下水的环

境污染物。近几年来，城市固体废物(MSW)的处置也已成为一个重要环境问题和政治问题。用掩埋法虽可处置大部分的MSW，但是，因雨水渗透产生浸出液和因分解产生甲烷气体这两个令人头痛的问题一直没有得到解决。要取代掩埋法已越来越困难，而重复利用等可供选用的办法只能部分地缓解这个问题。焚烧MSW虽可将其体积和质量减少至原来的20%—10%，但是留下的灰含有许多浓度较高的铅、镉、汞、铈、铉、银之类的重金属。这些重金属对地下水产生的潜在威胁是实在的，因此，必须对灰的化学组成、元素分布和浸出特性进行长期的研究。

最近，IAEA 出版了一份详细的技术文件*，其中含有若干关于用多种方法特别是核方法对煤的飞灰等固体废物进行浸出研究的导则。这些导则覆盖了若干重要方面，其中包括物理性质测定、不同浸出试验方法的选用、现场取样和放射性示踪剂的应用。

在我们伊利诺斯大学实验室，我们一直利用一系列的中子活化分析技术，来测定MSW焚烧飞灰中30种痕量元素的含量**。粒度分布是一个重要的物理特性。结果表明，75%以上的飞灰由直径小于63微

* Guidelines for Leaching Studies on Studies on Coal Fly Ash and Other Solid wastes with Special Reference to the Use of Radioanalytical Techniques, IAEA TECDOC—616, Vienna (1991).

米的粒子组成。(见图。)这些较小的颗粒的总表面积很大,有许多可能的浸出点。我们的数据证实,大多数可能有毒的元素集中在最小的颗粒上。与正常土壤值相比,飞灰所含的许多元素的浓度是极高的。(见表。)被特别富集的元素有铈、砷、镉、铬、铟、汞、银和锌。这些元素可以用作源标志。

MSW 焚烧中的一个被大多数研究人员忽视的重要方面,是普通家用商品的元素表征。例如众所周知,铅酸电池和普通干电池会使焚烧灰中的铅、汞、镉、铜和锌含量大大增加。最近,荷兰和加拿大的研究人员利用 NAA 所做的分析工作表明,来自家庭废物的各种塑料是镉的一个大的来源。因此,鉴定出可能含有这样一些重金属的普通家用商品是极其明智的作法。鉴定重金属来源可促使工业部门改变其加工程序,消除或大大减少进入废物流的重金属量。

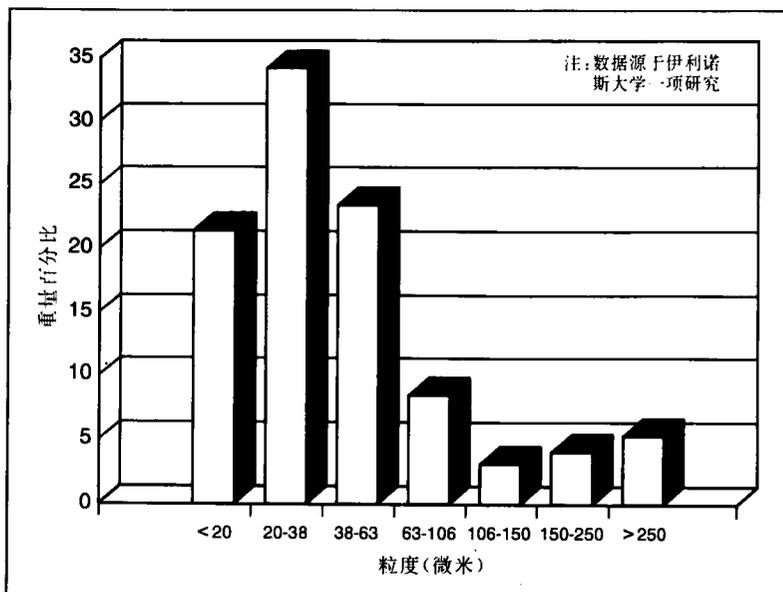
工业固体废物的处置是另一个重要的方面。这种固体废物与城市固体废物不同的是,所含重金属的种类通常较少,但其数量和浓度可能高出若干个数量级。以矿产为基础的工业尤其如此。工业部门常常用掩埋法和水道排放法来处置工业废物。有许多国家利用核方法和核相关方法,从化学上鉴定废物本身并研究其浸出特性。

一些通常借助于放射性示踪剂的同位素技术,已成功地应用于多种不同类型的调查工作中。有些应用成果已在最近举行的“IAEA 国际同位素和辐射在环境保护中的应用专题讨论会”^{***}上作了介绍。它们包括下列 4 个方面的研究工作:

- 确定马来西亚不同潮汐阶段工业流出物排放通道;

** “Elemental Characterization of Size - Fractionated Municipal Incinerator Ash”, S. Landsberger, B. A. Buchholz, M. Plewa and M. Kaminski, *J. Radioanal. Nucl. Chem*(in press, 1993).

*** 见 the Proceedings of the Symposium, published by the IAEA, STI/PUB/904, Vienna, Austria (1992).



- 借助土壤中毒性元素的放射性标记,预测匈牙利掩埋场和处置库中污染物向外迁移速率;

城市固体废物焚烧飞灰的粒度分布

- 测定捷克共和国和斯洛伐克共和国若干废水处理设施中废水和污泥的滞留时间分布和流动型式;

- 研究波兰工业污水处理厂设施的效率。

法国最近利用同位素技术进行的研究包括,钢铁工业废物的风险评价,市区工业废物场的工程遮盖罩和安全容器屏障的性能测定,以及各种废物在林业和工业中的再利用。

一个日见重要的问题

对固体废物处置的兴趣将不大可能减小。随着发展中国家和发达国家为达到更高的生活水平而增加其矿物燃料用量、发展其工业和增加其商品和服务的消耗量,固体废物处置仍将是废物管理中的一个极其重要的问题。

核分析技术和核相关分析技术的方法,必将在表征气载固体废物、工业固体废物和城市固体废物及其浸出液,以及预测它们在环境中的迁移型式方面,得到最广泛的应用。 □