

土壤有机物污染及其治理技术

陈刚才 甘 露 万国江

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘 要: 基于近年来土壤污染治理的研究进展, 对有机物引起的土壤污染的治理技术进行了综述, 并对各治理技术的最新研究动态、存在问题、及发展趋势做了初步讨论。

关键词: 土壤; 有机物污染; 治理技术

中图分类号: X 15

文献标识码: A

文章编码: 1001- 2141(2000) 02- 0045- 05

New Progress in the Treatment of Organic Polluted Soil

Chen Gangeai, Gan Lu, Wan Guojiaog

(State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyan 550002)

Abstract Based on the resen progress in soil pollution treatment, this paper generally reviewed the pollution treatment measures to organic polluted soils, and the shortcomings and trends of these measures were also primarily discussed.

Key Words Soil, Organic pollution, Treatment measures.

土壤是生态环境的重要组成部分,是人类赖以生存的主要资源之一,也是物质生物地球化学循环的储存库,对环境变化具有高度的敏感性。近年来,土壤环境质量日益恶化,造成其恶化的原因主要有:农业上不断增加的化肥使用量;化学农药的广泛使用;工业废水的农田排放;有毒有害污染物的事故性排放;固体废物特别是有毒有害固体废物的填埋所引起的有毒有害物质的泄漏等。被污染的土壤通过对地表水和地下水形成二次污染和经土壤-植物系统由食物链进入人体,直接危及人体健康。因此土壤生态环境的保护与治理已引起人们的普遍关注。土壤污染治理技术研究开发已成为当前国内外环保研究的热点。

按污染物的种类,可将污染土壤分为有机物污染的土壤和无机物污染的土壤。有机物污染按污染来源分为石油污染土壤、农药污染土壤、木材防腐剂污染土壤以及能源燃烧引起的多环芳香烃 PHAs 污染土壤等类型。

土壤的治理技术主要有物理治理技术,化学治理技术,微生物治理技术,植物治理技术等几种。本文仅就有机物污染的土壤的治理技术进行简要概述,以期

能为我国这方面的研究工作起到一定的推动作用。

1 物理治理技术

1.1 挖掘填埋法

挖掘填埋法是最为常见的物理治理方法,该方法是将受污染的土壤用人工挖掘的办法将其运走,送到指定地点填埋,以达到清除污染物的目的。然后再将未受污染的土壤填回,以便能重新对土地进行利用。这种方法显然未能从真正意义上达到清除污染物的目的,只不过是將污染物进行了一次转移,且费用高,但是对一些特别有害的物质的清除,采用这种方法还是可行的。

1.2 通风去污法

最近几十年来,对于有机物的污染清除,特别是关于石油泄露造成的土壤污染,发展了一种清除污染物的新方法——土壤通风去污技术。

土壤通风去污的原理在于当液体污染物泄露后,它将在土地中产生横向和纵向的迁移,最后存留在地下水界面之上的土壤颗粒和毛细管之间。由于有机烃类有着较高的挥发性,因此可采用在受污染地区打井引发空气流经污染土壤区,使污染物加速挥发而被清除。

该技术一般采用的方法是在污染区打上几口井,

收稿日期: 1999- 10- 08

作者简介: 陈刚才, (1966-), 男, 博士研究生, 研究方向为流域侵蚀与元素循环。

国家自然科学基金资助项目

其中几口井用于通风进气,其它井用于抽气,在抽气的真空系统上装上净化装置,就可以避免造成二次污染。

德萨斯研究院首先通过实地调研,说明土壤通风技术是高效的去污技术,所需成本不到土壤挖掘法和清洗法的十分之一,速度却是其五倍以上。Agrelot^[2]等用该技术尝试性清除四氯化碳地下泄露污染,试验结果表明该方法确实比挖掘土壤清除法更有效。美国犹它州一个空军基地因航空发动机燃料泄露造成 0.4 公顷土地受污染,污染深度达到 15m 土中油的浓度最高达到 5000mg/kg,采用通风去污技术处理后,烃类物质降至 410mg/kg,以后又采用抽气和生物联合治理技术,使烃类降到了 3.8mg/kg^[3]。

为了达到最优通风去污效果,许多人做了大量的工作。Fall与 Dickens^[4]的研究认为去污效果主要与空气的速率有关,与真空度关系不大。Texas 研究所^[5]进行了不同通风速率和不同几何形状的通风井对去除汽油效率的研究,研究结果表明进气井形状对去除效率影响比较大,与通风速率的关系并不完全正相关。Oma与 Buelt^[6]做了现场加热技术以强化去除有机污染物的可行性研究工作。还有一些人开展了用数值模拟的方法来模拟通风去污过程的工作。

由于土壤结构、土壤颗粒间烃类化合物不同浓度,不同组分有不同蒸汽压等非常复杂,现有实验还不能提供对通风去污机理的清晰理解。今后的工作将主要集中在得到时间与去污效果的时间关系;该技术对土壤生物活性,理化性质的影响;建立与实验结构相吻合的模型,优化不同通风去污设计。

2 化学治理法

2.1 化学焚烧法

化学焚烧法也是最为常用的有机污染土壤的治理方法,该法系利用有机物在高温下易分解的特点,在高温下焚烧以达到去除污染的目的。该方法虽然能够完全的分解污染物达到去除污染的目的,但在去除污染的同时,土壤的理化性质也遭到了破坏,使土壤无法获得重新利用。

2.2 化学清洗法

化学清洗法是指用一定的化学溶剂清洗被有机物污染的土壤,将有机污染物从土壤中洗脱下来,从而达到去除污染物的方法。

2.2.1 表面活性剂清洗法

由于表面活性剂能改进憎水性有机化合物的亲水性和生物可利用性,因而被广泛应用于土壤及地下水有机物污染的化学和生物治理中。常用于有机物污染的化学清洗的表面活性剂有如下几种:非离子表面活

性剂(如乳化剂 OP Tritonx-100 平平加、AEO-9 等),阴离子表面活性剂(如十二烷基苯磺酸钠 SLS AES等),阳离子表面活性剂(如溴化十六烷基三甲铵 TMAB),生物表面活性剂以及阴-非离子混合表面活性剂。

关于表面活性剂的去除有机污染物的效果方面,许多研究者作了大量工作。朱玫^[8]等研究了九种非离子表面活性剂对油和苯的乳化剂增溶及对土壤的分散能力,优选出了两种脂肪醇聚氧乙烯醚类表面活性剂。刘新化^[9]等在我国首次选择水力冲洗和表面活性剂水溶液冲洗两种技术对土层残油的去除效果进行了研究。研究表明表面活性剂去污效果是水力冲洗的 50 多倍。Deitsch^[10]等用非离子表面活性剂 Tritonx-100 清洗土壤三氯甲烷的研究,研究了 Tritonx-100 浓度,土壤有机碳含量,土壤/污染物接触时间等对清洗效果的影响。

生物表面活性剂是由微生物、植物或动物产生的天然表面活性剂,由于其化学结构更为复杂而庞大,临界胶束浓度(CMC)低,清污效果好,且易降解。因而生物表面活性剂用于清除土壤有机物具有独特优点。在污染土壤的治理方面具有良好的应用前景。Roy^[11]等从 *Sapindus mukurossi* 果皮中提取的生物表面活性剂用于清除土壤中的六六六时,发现 1% 的该活性剂的去除效果是清水的 100 倍。Kommalapati^[12]等比较了生物表面活性剂(C₂₆H₅₁O₁₀)_n与 SDS Brij35 Tween80 等阴离子或非离子表面活性剂去除六六六的效果,结果表明在浓度大于 CMC 时,六六六溶解度与生物表面活性剂浓度成正比,生物表面活性剂解吸土壤 HCB 的性能与十二烷基硫酸钠(SDS)相当。

阴-非离子混合表面活性剂具有协同增溶的作用,用于清除土壤中有机污染物效果更好。夏星辉^[13]等用 AEO- (0.5%)—AES(1%)阴-非离子混合表面活性剂清洗土壤中的油去除效率为 86mg/l(液),高于单一 AEO-9 或 AES 土柱淋洗的去除效果。

2.2.2 有机溶剂清洗法

除表面活性剂外,有机溶剂也可用于清除土壤中的有机污染物。Sahle-Demessie^[14]等用有机溶剂萃取方法治理被农药污染的土壤,效果较好。他们采用甲醇,2-丙醇等溶剂萃取清洗土壤中高浓度的 P, P'-DDT, P, P'-DDD, P, P'-DDE 在溶剂:土壤为 1:6 时去除农药效果达到 99%。

2.2.3 超临界萃取法

除了表面活性剂和有机溶剂用于清除有机污染物外,超临界萃取技术也被用于了土壤污染物的清除。

P. chen^[15]在实验室利用超临界萃取(SFE)装置进行了土壤中多氯联苯的解吸研究,结果表明在 40°C, 100atm 下,萃取 30min 可去除 92% 的 PCB 此外,作者还对温度、压力、共溶性、土壤类型和含水量等因素对解吸的影响进行了研究。李统锦^[16]等也利用超临界技术研究了水中某些有毒有机废物的去除,认为超临界萃取清除土壤有机污染物是一种具有发展前景的技术。

2.3 光化学降解法

光化学降解法在 80 年代后期开始用于环境污染控制领域,与传统处理方法相比具有高效和污染物降解完全等优点,日益受到人们的重视。目前光催化降解主要用于水污染的治理上。光降解用于土壤污染的治理主要集中在农药的降解研究上,因为农药的光降解是衡量农药毒害残留性的一个重要指标。目前国内这方面的工作做的也比较多。主要集中在降解动力学和降解机理的研究上。如溴氟菊酯在土中的光降解,吡虫啉在土中的光降解,磺酰脲类除草剂在环境中的光降解等。郁志勇^[20]研究了 4-氯酚的光化学降解的机理及光照强度、各种无机离子存在对其光降解的影响。

光降解用于石油烃类污染的清除也有报道。根据美国 PURUS^[21]公司的研究报告表明在高能强紫外线辐射下,有机烃类物质能被分解为二氧化碳和水。

目前,光化学降解技术在土壤污染的治理方面的应用与研究还不多,这方面的工作有待于进一步的加强。

2.4 化学栅防治法

化学栅是近十年来开始受到人们的重视并应用于土壤防治的新的化学防治土壤污染的方法。化学栅是一种既能透水又具有较强的吸附或沉淀污染物能力的固体材料(如活性碳、泥碳、树脂、有机表面活性剂和高分子合成材料等),放置于废弃物或污染堆积物底层或土壤次表层的含水层,使污染物滞留在固体材料内,从而达到控制污染物的扩散并对污染源进行净化的目的。

根据化学材料的理化性质,化学栅可分为三种类型:(1)使污染物在其上发生沉淀的化学栅称为沉淀栅;(2)使化学污染物在其上发生吸附的化学栅称为吸附栅;(3)既有沉淀作用又有吸附作用的化学栅称为混合栅。

在实际应用中,根据污染类型的不同,可分别采用不同类型的化学栅。一般而言,对重金属污染采用沉淀栅比较合适;对有机污染物化学吸附栅比较合适;对于重金属和有机污染物都有时,采用混合栅更为有效。能

够用于去除有机污染物的吸附栅材料一般有活性炭、泥炭、树脂、有机表面活性剂和高分子合成材料等。

目前,在化学栅的实际应用中还有一些问题有待于进一步的解决。这些问题包括:(1)化学栅的老化。化学栅的老化是指化学栅失去其沉淀或者吸附污染物的能力,即化学栅达到了其沉淀饱和和吸附饱和能力。对于化学栅的饱和能力的预测非常重要但又是非常困难;(2)建立精度更高的地下水模型。因为化学栅起作用的大小与地下水的流向、流速、流量等紧密相关的。地下水模型的建立又同污染区的地质情况、水纹特征有关联,解决这些问题都有较大难度。因此化学栅的应用受到了一定限制。

以上化学治理方法存在着较为明显的缺陷。缺陷之一在于费用太高,缺陷之二在于存在着对环境造成二次污染的可能,焚烧会造成大气的二次污染,清洗又会对水造成二次污染,所用清洗剂对土壤也会造成二次污染;缺陷之三在于其可操作性差,对于大规模的土地污染,化学治理方法都存在具体运作上的困难。

3 微生物治理方法

微生物治理方法(又称为微生物恢复、微生物清除或微生物再生)是利用生物的生命代谢活动减少环境中有毒有害物质的浓度或使其完全无害化,从而使污染的土壤环境能部分地或完全地恢复到原初状态。它与微生物净化有一定的差别,微生物治理着重强调人为控制条件下的生物利用,微生物净化着重于生态系统中生物的自发清除过程。

微生物治理方法有着物理治理方法和化学治理方法无可比拟的优越性。其优点主要表现在以下几个方面:(1)处理费用低,其处理成本只相当于物化方法的二分之一到三分之一;(2)处理效果好,对环境的影响低,不会造成二次污染,不破坏植物生长所需要的土壤环境;(3)处理操作简单,可以就地进行处理。因为这些优点,应用微生物降解有机污染物已成为当今土壤有机污染治理技术研究的一大热点。

应用微生物治理土壤有机污染的方法主要有三种:(1)原位治理方法,(2)异位治理方法,(3)原位-异位联合治理方法。

3.1 原位治理方法

3.1.1 投菌法

投菌法就是直接向遭受污染的土壤中接入外源的污染物降解菌,并提供这些细菌生长所需的营养物质,从而达到将污染物就地降解的目的。

3.1.2 生物培养法

就地定期向土壤投加过氧化氢和营养物,以便使土壤中微生物通过代谢将污染物完全矿化为二氧化碳和水的方法称为原位生物培养法。1989年3月,Exxon石油公司油轮在阿拉斯加 Prince William海湾发生石油泄露事故后,使用该法后半年内就消除 160KM²海滩的污染^[3]。

3.1.3 生物通气法

这是一种强迫氧化的生物降解方法,在污染的土壤上打至少两口井,安装上鼓风机和抽真空机,将空气强排入土壤,然后抽出。土壤中有毒挥发物质也随之去除,在通入空气时另加入一定量的氨气,为微生物提供氮源增加其活性。还有一种生物通气法称之为生物注射法即将空气加压注入污染地下水下部,气流加速地下水和土壤中有机的挥发和降解。生物通气法受土壤结构的制约,它需要土壤具有多孔结构。

3.1.4 农耕法

对污染土壤进行耕耙处理,在处理过程中施入肥料,进行灌溉,用石灰调节酸度,以使微生物得到最适宜的降解条件。使用该方法时污染物易扩散,但该方法费用低,操作简单,所以主要用于土壤渗透性差,土壤污染较浅,污染物又易降解的污染区。

3.2 异位治理法

3.2.1 预制床法

在不泄漏的平台上铺上石子和砂子,将受污染的土壤以 15-30cm的厚度平铺在平台上,加上营养液和水必要时加上表面活性剂,定期翻动充氧,将处理过程中渗透的水回灌于土层上,以完全清除污染物。该方法实质上是农耕法的一种延续但是它降低了污染物的迁移。

3.2.2 堆肥法

堆肥法是生物治理的重要方式,是传统堆肥和生物治理的结合。它依靠自然界广泛存在的微生物使有机物向稳定的腐殖质转化,是一种有机物高温降解的固相过程。一般方法是将土壤和一些易降解的有机物如粪肥,稻草,泥炭等混合堆制,同时加石灰调节酸度,经发酵处理,可将大部分污染物降解。马瑛^[25]等采用堆肥法处理石油烃类物质污染土壤取得了较好效果。影响堆肥法效果的主要因素有水分含量,碳氮比,氧气含量,温度和酸度等。

3.2.3 生物反应器法

把污染土壤移到生物反应器中,加 3-9倍的水混合使呈泥浆状,同时加必要的营养物质和表面活性剂,泵入空气充氧,剧烈搅拌使微生物与污染物充分混合,降解完成后,快速过滤脱水。该方法处理效果和速度都

优于其它方法,但是费用极高,并且对高分子量的多环芳香烃治理效果不理想,该方法目前仅停留在实验阶段。

3.2.4 厌氧处理法

对有一些污染物如三硝基甲苯多氯联苯好氧处理不理想,用厌氧处理效果好一些但由于厌氧处理条件难于控制,其应用比好氧处理使用少。

3.3 影响微生物处理效果的主要因素

影响微生物处理效果的因素有三个方面:

3.3.1 具有高效降解能力的微生物。寻找高效污染物降解菌一直是微生物治理技术中的热点,近年来有关这方面的报道相当多。如具有硝基芳香烃降解能力的微生物已经发现并加以利用的就有 20多种。从土壤中分离出的可降解石油烃类的微生物也有 10多种。G. Gupta^[26]用家禽废物微生物研究了对酚的降解;Zhong qi he^[27]用 *Pseudomonas pseudoulealigenes* JS45研究了对硝基苯的降解机理;M. Arisoy^[28]研究了白腐菌对有机氯化物的降解;J. V. Pothuluri^[29]研究了真菌 *cunninghamella elegans* ATCC36112对 metolachlor除莠剂的降解机理;S. Fadullon^[30]研究了链霉菌对阿物拉津的降解及其影响因素。几乎每一种有机污染物都能找到多种相关降解菌。但找到降解性更强的菌种仍是今后研究工作的重点之一。

3.3.2 有机污染物的可利用性。这方面的工作主要集中在对有机表面活性剂的利用上,特别是生物表面活性剂。因为有些疏水性污染物聚集在一起浓度太大时,对微生物来说也具有毒性;一些污染物吸附于土壤上,减少了与微生物的接触,因此用表面活性剂疏散和吸附污染物对提高降解效果是非常有效的。A. Tieh^[31]用两种聚乙烯烷基苯基醚非离子表面活性剂研究了多环芳香烃的生物可利用性。结果表明,由于表面活性剂增强了多环芳香烃的活性而加快了 PHAs的降解,所有的实例中均发现了土壤污染毒性的降低。

3.3.3 微生物的活性。这方面的工作主要围绕着怎样给微生物提供一个更合适的环境。影响生物活性的因素有内外两个方面,内在因素在于生物对于污染物的适应性,解决这个问题的一般方法是从受污染的土壤中分离培养微生物菌系以缩短微生物适应期;另一个方法是利用基因工程培育降解性强的菌种;外在因素是环境因素,包括酸度、营养、和供氧条件等方面。酸度和营养可通过加石灰和添加营养物质解决;怎样找到最佳营养组合也是人们研究的焦点。提供氧源可通过耙耕充氧或强迫充氧,也可以通过加过氧化氢、固体氧化剂解决,魏德洲^[32]在石油污染的治理中采用添加

过氧化氢的方法使石油污染物的去除率增加了近三倍。研究外源物质对去污效果的影响仍有待于进一步研究

除了以上三个方面的工作外,找到运行费用更低、新型生物降解方法也是生物治理工作中的一个重点。

4 植物治理方法

植物治理有机污染物一般认为是比较困难的,因为有机物在植物体内的存在形态难以分析,其中间代谢产物异常复杂而又难以观测其在植物体内的转化。但相比于微生物降解而言,其更易于就地处理且异常方便,因而近些年来,关于植物对有机污染的治理研究较多,有的已达到野外实际利用的水平。

植物对有机污染物的去除机制有三个方面:一是植物对有机污染物的直接吸收;二是植物释放的分泌物和酶刺激微生物的活性加强其生物转化作用,此外有些酶也能直接分解有机污染物;三是植物根区及其与之共生的菌群增强根区有机物的矿化作用。

4.1 植物对有机物的直接吸收

植物将有机物吸收进体内,再将其无毒性的中间产物储存于植物组织中是亲水性有机污物自身的组成成分,也可通过代谢和矿化等作用将其转变为二氧化碳和水,或其它无毒代谢物,这是污染物去除的重要机制。有机污染物进入植物体内后被分解,分解产物通过木质化作用保存于木质素中。目前环境中大多数的BTEX化合物,含氯溶剂和短链脂肪族化合物都是通过该方法去除的^[34]。Bucken等研究发现植物还能直接吸收微量的除草剂阿特拉津^[35]。

4.2 植物分泌物和酶去除有机污染物

植物根部的分泌物有利于降解有毒的化学物质,能刺激根区微生物活性。植物的分泌物包括多种酶和有机酸,这些酶和有机酸为微生物提供了营养物质,从而加快了微生物的繁殖。Nichols^[36]的研究表明,植物根区土壤中微生物比非根区土壤中的微生物种类和数量都要多,因而加速了污染物的降解。Reilly^[37]1996年研究多环芳香烃降解时发现在植物根区微生物密度大,污染物降解量也大。Jordahl J. L^[38]的报道则说明植物根部对微生物数量的增加具有显著的影响。目前,植物-微生物联合治理技术的研究已为有机污染物去除方法研究的热点。

植物根部分泌的酶有些是能直接降解某些有机化合物的。有研究表明,硝酸盐还原酶能降解军火废物的TNT,脱氯酶可降解含氯溶剂使之生成氯离子、二氧

化碳和水^[34]。因此,利用植物分泌酶的特性筛选具有去污能力的植物可能有一定的指示意义。

以上几种土壤治理方法在具体处理污染土壤时可灵活考虑,主要考虑的因素有有机污染物的性质、土壤的理化性质、方法的可操作性、经济性及快速性等。

目前我国土壤污染已比较严重,直接或间接危及了人体健康,对经济的可持续发展造成不利影响。我国对土壤污染治理技术的研究还处在起步阶段,这方面的工作亟待加强。

5 参考文献

- 1 夏春林. 土壤有机物污染通风去除技术. 环境科学学报, 1995, 15(2): 245
- 2 Agrelot J. C et al. Proceeding of NWW A Conference Newyork. 1984. 346
- 3 郑远扬. 通风去除技术治理土壤石油污染. 国外环境科学技术, 1993, 3: 18
- 4 Fall E. W, Pickens W. E. In situ hydrocarbon extraction. A case study done by converse Environmental consultants California. 1998. 126
- 5 Texas Research Institute, API Publication 4431 JAN.: Texas, 1984, 16
- 6 Oma, K, H, Bueli J. L. PCBs in Fish Tissues, New Jersey Department of Environmental Protection Technical Report, Trenton, New Jersey, 1989, 111
- 7 朱利中. 阿特拉津的环境行为研究. 环境科学进展, 1997, 7(2): 65
- 8 朱玖. 应用表面活性剂治理包气带石油污染的研究. 环境科学, 1996, 17(4): 21
- 9 刘新华. 土壤石油污染治理的水力冲洗和表面活性剂冲洗技术初步实验研究. 环境科学学报, 1996, 16(4): 418
- 10 Detish J. J, Smith J. A. Sorption of nonionic organic contaminants to single and dual organic cation bentonites from water. Environ Sci Technol, 1995, 29(4): 1069
- 11 Roy. D. K, Kommalapati. R. Soil washing potential of a natural surfactant. Environ Sci Technol, 1997, 31(3): 610
- 12 Kommalapati. R. Leaching characteristics of aromatic compounds in crud oils and crud oil waste. Water research 1997, 31(9): 2161
- 13 夏新辉. 土壤重金属污染治理方法研究进展. 环境科学, 1997, 18(3): 72
- 14 Sahle, R. K, Demessie. E Sorption and desorption of atrazine by sludge amended soil. Environ progress 1996, 15(3): 173
- 15 P. chen Biodegradation of munitions compounds by a sulfate reducing bacterial enrichment culture in soils. Environ progress 1997, 16(4): 227
- 16 李统锦. 某些剧毒有机废料在高温超临界水中的处理实验. 环境科学, 1998, 19(4): 43
- 17 朱忠林. 溴氟菊脂的光解水解与土壤降解. 农村生态环境, 1996, 12(4): 5
- 18 朱忠林. 吡虫啉的光解水解与土壤降解. 农村生态环境, 1997, 13(4): 25

(下转第 62 页)

废干电池及其他含汞物质经焚烧炉高温处理后产生的含汞焚烧灰及污泥最终都要进行填埋处置,造成土壤和地下水的污染

镍镉电池经高温焚烧后,产生镉蒸气污染大气,同时含镉、镍焚烧灰填埋也会造成土壤及水体污染。

3 废干电池的回收利用

废干电池的回收处理方法主要有湿法和干法两种冶金处理法。湿法回收是基于锌、二氧化锰等可溶于酸的原理,使干电池中的锌、二氧化锰与酸作用进入溶液,溶液经净化后电积生产金属锌、二氧化锰或生产化工产品(如立德粉、氧化锌等)及化肥等。所用方法有直接浸出法和焙烧浸出法。由于废干电池中含有多种组成物质及多种重金属,湿法回收流程冗长,回收后的电解液含有汞、镉、锌等重金属污染严重,能源消耗也较高。

干法回收处理干电池是在高温下使干电池中的金属及其化合物氧化、还原、分解、挥发和冷凝。这种方法又分为传统常压冶金法及真空冶金法。与湿法相比,干法可回收汞、镍、锌等更多的重金属,干电池中的可燃性物质如炭棒、塑料、纸、石墨等被烧去,焙烧产物含锰、铁等重金属可作为冶金中间产品。但由于处理废干电池的常压冶金法在大气中进行,空气参与了作业,造成二次污染,且能源消耗高,因此在工业应用中与湿法一样存在许多问题和困难

真空冶金法是根据组成废干电池的各部分在同一温度下具有不同的蒸气压,在真空中使它们分别在不同的温度下相互分离、冷凝,以实现干电池的综合回收

与利用。目前废干电池的真空冶金回收法研究较少,但它与湿法、常压冶金法相比基本上无污染或少污染,消耗低(从粗锌精炼的能耗可间接看出:常压冶金法(吨精锌) $6 \sim 10 \times 10^6$ KJ,电解法 $10.8 \sim 12.6 \times 10^6$ KJ,真空冶金法小于 3.6×10^6 KJ),各有用成分的综合回收率高,效益好,是一种很有应用前途的方法。

4 结论

干电池用完后不加以回收利用,不但对环境严重污染,危害人类健康,而且浪费了宝贵的金属资源。电池集中在城镇地区使用,填埋或焚烧尤其会对城市造成污染。因此,合理回收、处理废干电池对于环境保护及重金属的回收再生极为重要。真空冶金法与湿法冶金和常压冶金法回收废干电池相比,显示了独有的优越性:能耗低,污染小,效益好,是一种适合我国国情,值得积极研究开发的废干电池回收方法

5 参考文献

- Li Wenfang. Gadget fans fuel battery demand. CHINADAILY. 1997, 9, 28
- 吉泽四郎等. 电池手册. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 1987: 159 ~ 210, 242 ~ 243
- 一条美智夫等. 资源化技术(电池). 1992: 10 ~ 24
- 喜田村正次等. 汞: 第1版. 北京: 原子能工业出版社, 1988: 367 ~ 372, 284 ~ 298
- 小川浩. 汞的作用与现状. PPM. 1984, 10: 45 ~ 50
- Nicola pirrone et al. Regional differences in worldwide in worldwide emissions of mercury to the atmosphere. Atmosphere Environment. 1996, 30(17): 2981 ~ 2987
- Pothuluri, J. V. Arch Removal of PCBs from a contaminated soils. Environ contam Toxicol 1997, 32(2): 117
- Faduullon, S. J. In situ biological treatment of TCE polluted soil. Environ Sci Health 1998 B33(1): 37
- Tiehm. Surfactant enhanced mobilization and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbon in manufactured plant soil. Environ Sci Technol 1997, 31(9): 2570
- 魏德洲. H_2O_2 在石油污染土壤生物治理过程中的作用. 中国环境科学, 1997, 17(5): 429
- 桑伟莲, 孔繁翔. 植物修复研究进展. 环境科学进展, 1999, 7(3): 40
- Schnoor, J. L. Phytoremediation of organic contaminants. Environ Sci Technol 1995, 29(7): 318
- Burken, J. G. Using plants for the removal of atrazine from soil. J. Environ Eng 1996, 122(11): 95
- Nichols, T. D. Rhizosphere microbial populations in contaminated soils. Water, Air and soil pollution 1997, 95: 165
- Reilly, K. A. Utilization of biomass residue for the remediation of organic polluted soils. J Environ Sci Qual 1996, 25: 212
- Jordahl, J. L. Degradation of atrazine in soil by streptomycetes. Environ Toxicol Chem 1997, 16(6): 1318
- 杨曦. 磺酰胺类除草剂在环境中的光解研究. 环境科学, 1998, 19(6): 29
- 郁志勇. 4-氯酚光化学反应过程中 C-键的断裂. 环境科学, 1998, 19(5): 45
- Reddy, D. G. Effects of a carbon dioxide pressure process on the solubilities of major and trace elements in oil shale solid wastes. Environ Sci Technol 1991, 25(3): 359
- 冯克亮. 化学栅在防治地下水污染方面的应用. 环境科学动态, 1995, (1): 18
- 陈玉成. 土壤污染的生物修复. 环境科学动态, 1999(2): 7
- 张春桂. 污染土壤生物恢复技术. 生态学杂志, 1997, 16(4): 52
- 马瑛. 生物修复技术处理有毒有害物质研究进展. 环保科学, 1997, 18(4): 13
- G. Gupta. Decomposition of PCBs in soils. J Environ Sci Health 1998 A33(1): 83
- Zhong qi he. Studies of the catabolic pathway of degradation of nitrobenzene by pseudomonas pseudoalcaligenes JS45. Appl. And Environ Microbiol 1997, 63(12): 4839
- Anisoy, M. Effects of polyaromatic hydrocarbons in soil on plant. Bull Environ contam Toxicol 1998, 60(6): 872