

环境工程系列图书
固体废物治理技术丛书

危险废物 处理技术

WEIXIAN FEIWU CHULI JISHU

李金惠 杨连威 等编著

中国环境科学出版社



环境工程系列图书——固体废物治理技术丛书

危险废物处理技术

李金惠 杨连威 等编著

中国环境科学出版社·北京

内容简介

本书是固体废物治理技术丛书之一。

全书环绕危险废物的产生、对环境和人体的危害、治理的技术做了详细的介绍，主要涉及的焚烧废灰、电镀污泥、多氯联苯废物、废有机溶剂、废矿物油、废农药、废乳化液、石棉废物、废显（定）影液、医疗废物、废铅酸电池、废轮胎等危险废物及其处理技术。

本书可供从事危险废物生产、运输、保管、处理的单位、领导和工程技术人员的阅读和参考。

图书在版编目（CIP）数据

危险废物处理技术 / 李金惠等编著. —北京：中国环境科学出版社，2006.

（环境工程系列图书. 固体废物治理技术丛书）

ISBN 7-80209-358-9

I. 危… II. 李… III. 危险材料—废物处理
IV. X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 084089 号

责任编辑 刘大澍 赵惠芬 季苏园

责任校对 刘凤霞

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
（100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号）

网 址：<http://www.cesp.cn>

联系电话：010-67112765（总编室）

发行热线：010-67135108

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2006 年 10 月第一版

印 次 2006 年 10 月第一次印刷

印 数 1—2000

开 本 787×1092 1/16

印 张 12

字 数 260 千字

定 价 26.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

前 言

危险废物是一类具有毒性、易燃性、爆炸性、腐蚀性、化学反应性和传染性等特性，对生态环境和人类健康可产生严重危害的废物，因此联合国环境规划署将危险废物列为全球重大环境问题之一，倡导制定了《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》和《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》等国际公约，旨在全球范围内有效地控制危险废物导致的环境污染。我国政府对危险废物环境污染问题高度重视，1995年10月全国人大常委会颁布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，对危险废物的防治做了专门规定。1998年国家环境保护总局等四部委联合颁布了《国家危险废物名录》，旨在加强危险废物管理，防治危险废物危害人类健康和生态环境。2004年5月，国务院发布了《危险废物经营许可证管理办法》，2004年12月全国人大常委会修订了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》。近年来，国家环境保护总局还先后发布了《危险废物集中焚烧处置设施建设技术规范》、《危险废物安全填埋处置设施建设技术规范》、《医疗废物集中焚烧处置设施建设技术规范》、《危险废物贮存污染控制标准》、《危险废物焚烧污染控制标准》、《危险废物填埋污染控制标准》等一系列技术规范和标准。此外，2003年国家颁布了《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》，对全国危险废物处置目标、原则、布局、规模、投资等做了统筹规划。根据该《规划》，到2006年年底，全国将有31个省级危险废物集中处置中心和300个医疗废物集中处置中心建成。但是，这些努力的效果尚不理想，尤其是危险废物集中处置中心的建设进度严重滞后。目前我国的危险废物还处于低水平处理处置阶段，科技人员、研究人员和环保管理工作者对危险废物的认识和知识水平还普遍有待于提高，难以满足《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》设施的建设和运营的需要。本书从典型废物的角度全面地、系统地介绍了危险废物处理方法和技术状况，希望能够为有关人员进行危险废物管理和从事设施运营提供技术支持。

《危险废物处理技术》一书涵盖内容广泛，包括主要常见的危险废物，如重金属废物、无机废物、有机废物和社会源废物。在编写过程中着重阐述了危险废物的产生状况、

危害特性、国内外各种处理处置技术和资源化回收利用技术，并配有在实践中有成效的案例。对于一些本身没有明显危害，但是其中含有有毒有害的添加剂，或在处理过程中易于产生环境污染的废物也纳入本书的范围。废轮胎就是这方面的例子。虽然根据我国法律还不能判定废轮胎是危险废物，但是随着汽车工业的快速发展，废旧轮胎的产生量越来越大，为了引起各界的高度重视，本书也对废轮胎的处理技术和方法进行了详细的阐述。

在本书编写过程中，苗豪梅编写了废显影液、定影液的处理技术一节，其余部分由李金惠、杨连威、胡利晓编写，并统稿。赵卫凤、高松、王泽峰等对本书文字和图表进行了校对和编辑。由于编者水平有限，加之时间仓促，疏误之处在所难免，敬请同行及各界读者批评指正。（通讯地址：清华大学环境科学与工程系，联系电话：62794351，电子邮件：jinhui@tsinghua.edu.cn）

编 者

2006年2月

编 委 会

主 编 王克河

副 主 编 苗松池 隋首钢

参编人员 徐红东 吴延荣 王 敏 李艳红 王桂娟

孙中杰 杨艳云 曲怀敬

目 录

1 概 述	1
1.1 危险废物概述	1
1.1.1 危险废物定义	1
1.1.2 危险废物的产生量	2
1.2 危险废物处理技术	2
1.2.1 物理处理技术	2
1.2.2 化学处理技术	4
1.2.3 固化/稳定化技术	5
1.2.4 焚烧处置技术	8
1.2.5 土地处置技术	8
1.3 危险废物处理技术的适用性	9
1.4 环境无害化管理技术导则	10
1.4.1 销毁或净化多氯联苯 (PCBs) 和其他 POPs 废物的技术	10
1.4.2 关于来自有机溶剂生产和使用中的危险废物的技术导则	10
1.4.3 关于源于石油的废油的技术导则	10
1.4.4 关于鉴别和管理旧轮胎的技术导则	11
1.4.5 关于特殊工程填埋的技术导则	11
1.4.6 关于陆地焚烧的技术导则	11
1.4.7 关于废油再精炼或废油再次使用的技术导则	12
1.4.8 关于危险废物物理化学处理/生物处理的技术导则	12
1.4.9 废铅酸电池环境无害化管理技术导则	12
1.4.10 国内废旧铅酸电池的培训指南	13
1.4.11 生物医药和卫生保健废物的环境无害化管理技术导则	13
1.4.12 金属和金属混合物环境无害化循环利用/回收的技术导则	13
参考文献	14
2 含重金属废物处理技术	16
2.1 焚烧处置残渣及飞灰处理技术	17
2.1.1 概述	17
2.1.2 焚烧残渣的处理技术	19
2.1.3 焚烧飞灰的处理技术	21

2.1.4 不同处理技术的比较	29
参考文献	30
2.2 电镀污泥处理技术	32
2.2.1 概述	32
2.2.2 电镀污泥处理技术	33
2.2.3 几种典型电镀污泥处理技术	36
2.2.4 不同处理技术的比较	38
参考文献	38
3 有机废物处理技术	41
3.1 多氯联苯废物处理技术	41
3.1.1 多氯联苯 (PCBs) 概述	41
3.1.2 PCBs 处理处置技术	42
3.1.3 不同处理技术的比较	47
3.1.4 案例分析——沈阳危险废物焚烧示范工程	47
参考文献	48
3.2 蒸馏、精馏残渣处理技术	49
3.2.1 概述	49
3.2.2 精蒸馏残渣的处理技术	50
3.2.3 蒸馏残渣处理技术	56
3.2.4 不同处理技术的比较	57
参考文献	58
3.3 废有机溶剂处理技术	59
3.3.1 概述	59
3.3.2 废有机溶剂处理技术	59
3.3.3 不同处理技术的比较	62
3.3.4 案例分析——大连东泰产业废弃物处理有限公司	63
参考文献	63
3.4 废矿物油处理技术	64
3.4.1 概述	64
3.4.2 废矿物油处理技术	65
3.4.3 不同处理技术的比较	71
参考文献	72
3.5 废农药处理技术	72
3.5.1 概述	72
3.5.2 废农药处理技术	74
3.5.3 典型废农药处理技术	75
3.5.4 不同处理技术的比较	76
参考文献	77

3.6 废乳化液处理技术	78
3.6.1 概述	78
3.6.2 延长乳化液使用寿命的方法	78
3.6.3 废乳化液的处理技术	80
3.6.4 不同处理技术的比较	84
参考文献	84
4 无机废物处理技术	86
4.1 废催化剂处理技术	86
4.1.1 概述	86
4.1.2 废催化剂的回收利用技术	89
4.1.3 典型废催化剂的回收技术	90
4.1.4 小结	92
参考文献	93
4.2 含氰废物处理技术	94
4.2.1 概述	94
4.2.2 含氰废物处理技术	96
4.2.3 含氰化钠废渣的处理技术	100
4.2.4 含氰废物处理方法比较	101
4.2.5 案例分析——焚烧法处理含氰废渣	101
参考文献	102
4.3 石棉废物处理技术	103
4.3.1 概述	103
4.3.2 石棉废物的处理处置技术	105
4.3.3 我国典型的废石棉尾矿处理工艺	109
4.3.4 不同处理技术的比较	110
参考文献	111
5 社会源废物处理技术	112
5.1 废显影液、定影液的处理技术	112
5.1.1 概述	112
5.1.2 显影液处理技术	113
5.1.3 定影液处理技术	114
5.1.4 典型的废定影液处理工艺过程	115
5.1.5 不同处理技术的比较	117
参考文献	118
5.2 医疗废物处理处置技术	119
5.2.1 概述	119
5.2.2 医疗废物的处理处置技术	121

5.2.3 不同处理技术的比较	126
5.2.4 案例分析——天津合佳奥绿思环保有限公司	127
参考文献	129
5.3 废铅酸电池回收处理技术	130
5.3.1 铅酸电池概述	130
5.3.2 我国再生铅行业现状	132
5.3.3 铅酸电池回收处理方法	133
5.3.4 不同回收处理技术的比较	138
5.3.5 案例分析——江苏春兴合金（集团）有限公司	138
参考文献	140
5.4 废轮胎处理技术	141
5.4.1 概述	141
5.4.2 废轮胎的处理方法	141
5.4.3 不同处理技术的比较	147
5.4.4 案例分析——浙江绿环橡胶粉体工程有限公司	147
参考文献	148
5.5 废荧光灯管处理技术	150
5.5.1 概述	150
5.5.2 废荧光灯处理技术	151
5.5.3 不同处理技术的比较	154
5.5.4 案例分析——宜兴市苏南固废处理综合利用厂	155
参考文献	155
附录一 关于对由持久性有机污染物构成、含有此种污染物或受其污染的废物实行 无害环境管理的一般性技术准则（《巴塞尔公约》第七次缔约方大会通过） （节选）	157
附录二 废润滑油回收与再生利用技术导则（GB/T 17145—1997） （国家技术监督局 1997 年 12 月 12 日批准 1998 年 7 月 1 日实施）	179

1

概 述

危险废物是全球环境保护的重点和难点问题之一。危险废物定义、产生是危险废物处理处置技术发展的基础。危险废物处理处置技术种类繁多，难以一一列举，因此本章对危险废物处理处置技术的整体情况进行分析和总结，并在后续的各章中对重要废物类别的处理处置技术进行了详细阐述。

1.1 危险废物概述

1.1.1 危险废物定义

危险废物的通常特性主要指有毒性、易燃性、腐蚀性、反应性、浸出毒性和传染性等。根据这些特性，世界各国都制定了各自的鉴别标准和危险废物名录。但对危险废物的定义，不同的国家和组织各有不同的表述。

《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》的定义为：越境转移所涉及下列废物即为“危险废物”：

(a) 属于《巴塞尔公约》附件一所列任何类别的废物，除非它们不具备《巴塞尔公约》附件三所列的任何特性；

(b) 任一出口、进口或过境缔约国的国内立法确定为或视为危险废物的不包括在(a)项内的废物。

在《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》中列出了“应加控制的废物类别”共45类，“须加特别考虑的废物类别”共2类，危险废物“危险特性的清单”共14种特性。

美国在其《资源保护和回收法》中将危险废物定义为：危险废物是固体废物，由于不适当的处理、贮存、运输、处置或其他管理方面，它能引起或明显地影响各种疾病和死亡，或对人体健康或环境造成显著的威胁。

日本《废物处理法》将具有爆炸性、毒性或感染性及可能产生对人体健康或环境危害的物质，定义为“特别管理废物”，相当于我国所称的“危险废物”。

在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中将危险废物定义为：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认定的具有危险特性的废物。

1.1.2 危险废物的产生量

根据我国的年度统计数据,每年的危险废物产生量在 1 000 万 t 左右。表 1-1 列出了近年来我国环境统计中公布的危险废物的产生量。但是据估计我国危险废物的实际产生量是统计数据的数倍。

表 1-1 中国危险废物产生量

年度	年产生量/万 t
1996	993
1998	974
2000	830
2002	1 000
2003	1 170
2004	963.0

1.2 危险废物处理技术

危险废物在最终处置之前可以用多种不同的处理技术进行处理,其目的是改变废物的性质,如减容、固定有毒成分和解毒等。处理某种废物应选用何种最佳实用方法取决于许多因素,这些因素包括处理处置技术的适用性、安全性和成本等。危险废物处理处置技术包括物理、化学(包括焚烧技术)、生物技术等。生物技术方法在危险废物处理方面应用范围较窄,不普遍。本章主要介绍危险废物的物理处理技术、化学处理技术、土地处理技术等。

1.2.1 物理处理技术

物理处理技术是通过浓缩或相变化改变危险废物的物理形态,使之成为便于运输、贮存、利用或处置的方法。危险废物理想的处置方法是回收其有价值组分。物理处理技术涉及的方法包括萃取、蒸馏、压实、破碎、分选、沉降、增稠、吸附等。

(1) 溶剂萃取技术

溶剂萃取,也称液-液萃取,即溶液与对杂质有更高亲和力的另一种互不相溶的液体相接触,使其中某种成分分离出来的过程。这种分离可以是由于两种溶剂之间溶解度不同或是发生了某种化学反应。溶剂萃取过程中溶于萃取相中的萃取剂(已去除杂质)常需回收利用,因为回收利用比一次性使用要经济得多。

在该技术的使用中,必须选择一种合适溶剂。如 Union Carbide 集团用溶剂萃取法去除矿物油中的 PCBs。所用的溶剂为具有高分配系数的 N,N-二甲代甲酰胺(DMF),采用的两个逆流萃取柱的直径为 10 cm,长度为 4.6 m,萃取后,油中的 PCBs 含量从 300 mg/m³ 降到小于 50 mg/m³。

许多金属加工厂、石油提炼厂和其他工厂都会产生油性污泥，用溶剂萃取法可以有效地提取油性污泥中的油。

(2) 蒸馏技术

蒸馏是实现物质从固液混合物中液体分离的重要手段，在某些情况下，也可用于从固体中分离某些物质，如高温真空辅助蒸馏。蒸馏过程包括液体混合物加热、混合物的一部分被蒸发、冷凝。被冷凝的蒸汽叫做馏分，馏分中含有较多的强挥发性成分，而未能蒸发的成分含有较多的挥发性差的物质。多步蒸馏包含多个步骤，可以得到比单一蒸发和冷凝操作简单的蒸馏更丰富的馏分。

蒸馏处理技术对废物的物理形态和化学性质有一些重要的限制。进入连续蒸馏塔的蒸馏物必须能够自由流动，所含固体可以忽略不计。因为，固体物质会严重堵塞或腐蚀蒸馏塔，如果废液中含有固体或高黏度液体，就需要进行预处理。然而，有些自由流动的液体也不能用蒸馏法处理，如有机过氧化物，自然性有机物及大多数无机物。能够聚合的物质同样会造成运行困难。

液态有机危险废物（包括有机溶剂和有机卤化物）可以通过蒸馏法有效去除或回收其中的挥发性物质。其他能用蒸馏方法处理的典型工业废物有：

- ①含挥发性有机物成分或含能够被蒸馏有机物的电镀废液；
- ②含酚的水溶液废物；
- ③含亚甲基氯化物的聚氨酯废液；
- ④乙基苯-苯乙烯混合物；
- ⑤含有酮、乙醇及芳香烃化合物的废溶剂；
- ⑥废润滑油；
- ⑦含有抗生素（青霉素）生产过程中产生的丁基醋酸酯的废物。

(3) 沉降技术

沉降是依靠重力从废水中去除悬浮固体的过程。沉降的基本设备有：

- ①沉降池或容器，使待处理的液体以相对静止的方式保持一段规定的时间；
- ②将待处理液体导入到以上沉降池中进行沉降的装置；
- ③将沉降下来的颗粒从液体中用物理法除去（或从沉降颗粒中除去液体）的装置。

沉降法普遍用于有高悬浮固体负荷的废水。沉降用于去除比重大于水的悬浮颗粒。悬浮的油滴或浸有油的颗粒不能沉降，可用其他方法除去。有些沉降池装有撇油器，以除去浮在水面上的油和脂，但撇油器对去除乳化油是无效的。

沉降设备容易制造，操作也较方便，因而沉降技术用途较为广泛。

(4) 破碎与分选技术

破碎的目的是把废物破碎成小块或粉状小颗粒，以利于分选有用或有毒有害的物质。破碎也可在低温冷冻环境中进行或使用超声波。分选是将有用的成分分选出来加以利用，并将有毒有害的成分分离出来。根据物料的物理性质或化学性质（这些性质包括粒度、密度、重力、磁性、电性、弹性等），可分别采用不同的分选方法，包括人工手选、筛分、风力分选、浮选、磁选、电选等。

危险废物具有特殊的性质，常规的物理处理方法只能针对某些特定的危险废物使用，且大多是进行深度处理前的预处理方法。

1.2.2 化学处理技术

化学处理法是将危险废物完全分解成无毒气体，或者用来改变废物的化学性质（例如降低水溶性或中和其酸碱性）的技术。化学处理法是应用最为广泛、最为有效。常用的化学处理技术包括化学氧化、沉淀及絮凝、沉降、化学氧化、重金属沉淀、化学还原、中和、油水分离、溶剂/燃料回收等。

(1) 化学氧化

氧化是一个化学反应过程，在这个过程中，一个或多个电子从被氧化的化学物质上转移到引发这种转移过程的化学物质（氧化剂）上。例如，氰化物是一种常见的有毒废物。可用化学氧化法将氰化物转化成无毒物质。氰化物废水可用化学氧化法处理。常用的处理方法是在碱性溶液中使用氯或次氯酸盐氧化。当废物量大时，例如来自生产渗碳钢所带出的盐，其中含 12%~18% 氰化物，可以采用电解法处理。可将其破碎并溶入水中，然后对氰化物水溶液电解。

(2) 沉淀及絮凝

沉淀是一种物理化学过程，在这个过程中某种或所有渗出溶液中的物质转变成固相。沉淀过程是以改变影响无机类物质溶解度的化学平衡关系为基础的。在废水处理中，以氢氧化物或硫化物形式去除金属是最常见的沉淀方法。通常将石灰或硫化钠连同絮凝剂一起加入到快速混合槽内的废水中。某些硫化物容易被空气氧化，使有毒物质容易浸出，因此需小心预防。

絮凝是指将悬浮于液态介质中的微小、不沉降的微粒凝聚成较大、更易沉降的颗粒。絮凝过程的机理中包含着表面化学和粒子改变现象。典型的用于絮凝过程的化学品有明矾、石灰、各种铁盐（三氯化铁、硫酸亚铁）以及通常称之为“聚合电解质”的有机絮凝剂。有机絮凝剂包括含有长链、水溶性聚合物，如聚丙烯酰胺。这些絮凝剂可以与无机絮凝剂（如明矾）混合使用，或作为主要絮凝剂。根据其离子的种类，聚合电解质可分为阳离子型、阴离子型或两性型；或者它不含离子团，称之为非离子型。

(3) 化学还原

还原是一个化学反应过程，在这个过程中，待还原物质从还原剂获得一个或多个电子。例如，铬酸是一种广泛用于金属表面处理及镀铬过程中的有腐蚀性的有毒有害化学物质。危险废物中的铬酸在化学上可被还原成毒性较低的三价铬状态。许多种化学品均能作为有效的还原剂，其中包括：二氧化硫（ SO_2 ）、亚硫酸盐类（ SO_3^{2-} ）、酸式亚硫酸盐类以及亚铁盐类（ Fe^{2+} ）。

(4) 中和

中和是将酸性或碱性废液的 pH 值调至接近中性的过程，许多工业产生酸性或碱性的废水。在许多情况下，酸碱性较强的废水需要进行中和。中和法也可用于油乳化液破乳和控制化学反应速率。

酸碱废水中和可采用多种方法，如：将酸、碱废水混合，使 pH 值接近中性；酸性废水通过石灰石固定床；将石灰乳与酸性废水混合；将浓碱液（例如：苛性钠或者纯碱）加入酸性废水中；在碱性废水中通入锅炉烟道废气；在碱性废水中通入压缩的 CO_2 气体；

在碱性废水中加酸（如硫酸或盐酸）。

根据危险废物的特性及后处理步骤或用途来选择合适的中和方法。提高 pH 值时最常用的化学品是石灰，降低 pH 值时最常用的是硫酸。用石灰石处理酸性废水，成本最低，且使用方便。但用它处理含硫酸盐的废水，效果却不好。因为反应生成的硫酸钙沉淀物覆盖在石灰石上，阻碍了进一步的反应。

1.2.3 固化/稳定化技术

固化/稳定化技术是一种将废物与能聚结成固体的物质混合，从而将废物捕获或固定在这个固体结构上的技术。固化/稳定化技术是通过化学或物理方法，降低有害成分的浸出，使之具有足够的机械强度，从而满足再生利用或处置要求的过程。通常是填埋处置的预处理技术。已经得到开发利用的固化/稳定化技术主要包括以下几种类型：水泥固化、石灰固化、塑性材料固化、有机聚合物固化、自胶结固化、熔融固化（玻璃固化）、陶瓷固化和药剂稳定化等。固化/稳定化技术主要是应用无机凝硬性凝结剂处理含重金属废物，如用水泥处理电镀重金属污泥。

(1) 固化/稳定化类型

A. 水泥固化/稳定化技术

水泥是最常用的危险废物固化和稳定化药剂。由于水泥是一种无机胶结材料，经过水化反应后可以生成坚硬的水泥固化体，所以在处理废物时最为常用。普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、矾土水泥、沸石水泥等都可以作为废物固化处理的基材，但最常用的是普通硅酸盐水泥（也称为波特兰水泥）。废物被掺入水泥的基质中，在一定条件下，经过物理的、化学的作用更进一步减少有毒有害物质在废物—水泥基质中的迁移率。以水泥为基础的固化/稳定化技术已经大量用来处置电镀污泥，这种污泥包含各种金属，如 Cd、Cr、Cu、Pb、Ni、Zn。实践证明，用水泥进行的固化/稳定化处置对 As、Pb、Zn、Cu、Cd、Ni 等的稳定化都是有效的。

B. 石灰固化技术

石灰固化是指以石灰、垃圾焚烧飞灰、水泥窑灰以及熔矿炉炉渣等具有波索来反应（Pozzolanic Reaction）的物质为固化基材而进行的危险废物固化/稳定化的操作。在适当的催化环境下进行波索来反应，可将污泥中的重金属成分吸附于所产生的胶体结晶中。但因波索来反应不似水泥水合作用，石灰固化处理所能提供的结构强度不如水泥固化，因而较少单独使用。与废物中物质进行反应的结果是石灰中的钙与废物中的硅铝酸根生成硅酸钙、铝酸钙的水化物，或者硅铝酸钙。与在其他稳定化过程中一样，同时向废物中加入少量添加剂，石灰固化可以获得额外的稳定效果（如存在可溶性钡时加入硫酸根）。使用石灰作为稳定剂也和使用烟道灰一样具有提高 pH 值的作用。此种方法也主要应用于处理重金属污泥等无机污染物。

石灰与凝硬性物料结合会产生能在化学及物理上将废物包裹起来的黏结性物质。天然和人造材料都可以使用，包括火山灰和人造凝硬性物料。人造材料如烧过的黏土、页岩和废油页岩、烧过的纱网、烧结过的砂浆和粉煤灰等。粉煤灰和水泥窑灰是最常用的凝硬性物料。

C. 塑性材料固化技术

塑性材料固化法属于有机性固化/稳定化处理技术，从使用材料的性能不同可以把该技术划分为热固性塑料包容和热塑性包容两种方法。

①热固性塑料包容

热固性塑料是指在加热时会从液体变成固体并硬化的材料。它与一般物质的不同之处在于这种材料即使以后再次加热也不会重新液化或软化。它实际上是一种由小分子变成大分子的交链聚合过程。危险废物也常常使用热固性有机聚合物达到稳定化。它是用热固性有机单体例如脲醛和已经过粉碎处理的废物充分地混合，在助絮剂和催化剂的作用下产生聚合以形成海绵状的聚物质，从而在每个废物颗粒的周围形成一层不透水的保护膜。但在用此方法处理时，经常有一部分液体废物遗留下来。因此在进行最终处置以前还需要进行一次干化。目前使用较多的材料是脲甲醛、聚酯和聚丁二烯等。有时也可使用酚醛树脂或环氧树脂。由于绝大多数这种过程中废物与包封材料之间不进行化学反应，所以包封的效果取决于废物自身的形态（颗粒度、含水量等）以及进行聚合的条件。

该法的主要优点是大量引入较低密度的物质，所需要的添加剂数量也较小。热固性塑料包封法在过去曾是固化低水平有机放射性废物（如放射性离子交换树脂）的重要方法之一。同时也可用于稳定非挥发性的、液体状态的有机危险废物。在适当选择包容物质的条件下，可以达到十分理想的包容效果。

此方法的缺点是操作过程复杂，热固性材料自身价格高。由于操作中有有机物的挥发，容易引起燃烧起火，所以通常不能在现场大规模应用。该法只能处理小量的高危害性废物，例如剧毒废物，医院或研究单位产生的小量放射性废物等。

②热塑性材料包容

用热塑性材料包容时可以用熔融的热塑性物质在高温下与危险废物混合，以达到对其稳定化的目的。可以使用热塑性物质如沥青、石蜡、聚乙烯、聚丙烯等。在冷却以后，废物就为固化的热塑性物质所包容。在 20 世纪 60 年代末期所出现的沥青固化，因为处理价格较为低廉，即被大规模应用于处理放射性的废物。由于沥青具有化学惰性，不溶于水，具有一定的可塑性和弹性，对于废物具有典型的包容效果。在有些国家中，该法被用来处理危险废物和放射性废物的混合废物，但处理后的废物是按照放射性废物的标准处置的。

该法的主要缺点是在高温下进行操作会带来很多不方便之处，而且耗费能量高，操作时会产生大量的挥发性物质，其中有些是有害的物质。另外，有时在废物中含有影响稳定的热塑性物质，或者某些溶剂，影响最终的稳定效果。

在操作时，通常是先将废物干燥脱水，然后将聚合物与废物在适当的高温下混合，并在升温的条件下将水分蒸发。该法可以使用间歇式工艺，也可以使用连续操作的设备。由于需要的包容材料少，又在高温下蒸发了大量的水分，它的增容率也就较低。

D. 熔融固化技术

熔融固化技术，有人称之为玻璃化技术，是将待处理的危险废物与细小的玻璃质，如玻璃屑、玻璃粉混合，经混合造粒成型后，在 1 000~1 100℃ 高温熔融下形成玻璃固化体，借助玻璃体的致密结晶结构，使固化体的永久稳定。它与目前应用于高放射性废物玻璃固化工艺之间的主要区别是通常不需要加入稳定剂，但从原理来说，仍可以归入固

体废物的包容技术一类之中。

熔融固化需要将大量物料加温到熔点以上，无论是采用电力或是其他燃料，需要的能源和费用都是较高的。但是相对于其他处理技术，熔融固化的最大优点是可以得到高质量的建筑材料。因此，在进行废物的熔融固化处理时，除去必须达到环境指标以外，应充分注意熔融体的强度、耐腐蚀性甚至外观等建筑材料的各种要求。

E. 自胶结固化技术

自胶结固化是利用废物自身的胶结特性来达到固化目的的方法。该技术主要用来处理含有大量硫酸钙和亚硫酸钙废物，如磷石膏、烟道气脱硫废渣等。在废物中的二水合石膏的含量应高于 80%。

自胶结固化法的主要优点是工艺简单，不需要加入大量添加剂。美国泥渣固化技术公司（SFT）利用自胶结固化原理开发了一种名为 Terra-Crete 的技术，用以处理烟道气脱硫的泥渣。其工艺流程是：首先将泥渣送入沉降槽，进行沉淀后再将其送入真空过滤器脱水。得到的滤饼分为两路处理：一路送到混合器，另一路送到煅烧器进行煅烧，经过干燥脱水后转化为胶结剂，并被送到贮槽储存。最后将煅烧产品、添加剂、粉煤灰一并送到混合器中混合，形成黏土状物质。添加剂与煅烧产品在物料总重中的比例应大于 10%。固化产物可以送到填埋场处置。

这种方法只限于含有大量硫酸钙的废物，应用面较为狭窄。此外还要求熟练的操作和比较复杂的设备，煅烧泥渣也需要消耗一定的热量。

F. 药剂稳定化技术

药剂稳定化技术是指在废物中加入某种化学药剂，使废物中的有害成分经过变化或被引入稳定的晶格结构中。在废物中先加入某些药剂，使有害成分先与其发生作用，再进行固化，其浸出毒性将大大降低。上海交通大学研究结果表明经铁氧体湿法预固化的电镀污泥，再用混凝土进行固化，与单纯的混凝土对污泥进行固化相比，固化体强度有明显的提高，浸出毒性也有很大降低。

用药剂稳定化技术处理危险废物，可以在实现废物无害化的同时，达到废物少增容或不增容，从而提高危险废物处理处置系统的总体效果和经济性。同时，可以通过改进螯合剂的构造和性能，使之与废物中危险成分之间的化学螯合作用得到强化，进而提高稳定化产物的长期稳定性。

(2) 固化/稳定化技术适用性

固化/稳定化技术可以单独使用，也可以作为填埋前的预处理过程。某些废物对固化稳定化技术的适应性见表 1-2。

表 1-2 废物对固化稳定化技术的适应性

废物类型		水泥为基料	石灰为基料	热塑性密封	热固性包封
有机类 废物	有机溶剂、 油类	有些废物妨碍凝固； 蒸气可能散逸	有些废物妨碍凝固； 蒸气可能散逸	加热时有有机物蒸发	可能妨碍聚 合物凝固
	固体有机物	良好	良好	可能与热塑性 材料发生黏合	可能妨碍聚 合物凝固