



Hazardous waste

危险废物的

管理与处理处置技术

蒋克彬 张洪庄 谢其标 编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

危险废物的管理与 处理处置技术

蒋克彬 张洪庄 谢其标 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书对当前危险废物管理和有关处理处置技术的相关知识进行了系统的总结。全书共分三部分,危险废物概述部分简单总结了危险废物的有关定义与性质、危害等方面内容;危险废物管理措施部分总结了相关法律、法规、标准、技术规范、政策、规划等内容;危险废物处理处置技术部分总结了危险废物的收集、贮存、运输要求,危险废物的有关预处理技术,危险废物的焚烧处置技术,危险废物的非焚烧处置技术,危险废物的安全填埋处置技术,危险废物的水泥窑协同处置,医疗废物高温蒸汽集中处理技术,热等离子体处置技术,危险废物的综合利用技术,污染土壤的修复技术等内容,同时也介绍了危险废物处置过程中相关污染的防治。

本书内容注重危险废物运营经验与处理处置实践,介绍了各种成功的处理处置案例,可作为环境保护部门从事危险废物管理与处理处置技术人员的参考材料,也可作为危险废物处理处置企业的从业人员、高等院校环境保护专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

危险废物的管理与处理处置技术 / 蒋克彬, 张洪庄, 谢其标编. —北京: 中国石化出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-5114-3777-8

I. ①危… II. ①蒋… ②张… ③谢… III. ①危险废物管理-废物管理②危险物品管理-废物处理 IV. ①X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 003649 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 27.5 印张 696 千字
2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷
定价:98.00 元

前 言

危险废物具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等危险特性，随意倾倒以及利用或处置不当会危害人体健康，可能对生态环境造成难以恢复的损害。随着我国经济的快速发展，危险废物的产生量呈现不断增多的趋势，并且已经出现了污染，产生了各种不利的环境影响，这是未来几年乃至今后更长一段时间内环境保护和环境质量改善所面临的巨大压力之一，急需加以解决。加强危险废物的管理和污染防治，是我国改善水、大气和土壤环境质量，防范环境风险，维护人体健康的重要保障和根本途径之一。

由于危险废物带来的污染和潜在的影响严重，在我国，对危险废物的防治已日益受到重视，《“十二五”危险废物污染防治规划》中明确了“十二五”期间危险废物污染防治的任务，包括：要积极探索危险废物源头减量，统筹推进危险废物焚烧，填埋等集中处置设施建设，加强涉重金属危险废物无害化利用处置，推进医疗废物无害化处置，推动非工业源和历史遗留危险废物利用处置，提升运营管理和技术水平，加强危险废物监管体系建设等，并提出了具体的要求。

鉴于当前危险废物的管理体系、处理处置技术现状和规划提出的要求，编者综合了危险废物方面的有关资料，编写了本书。本书分三部分，对当前危险废物管理和有关的处理处置技术的相关知识进行了较系统的总结。其中，危险废物概述部分总结了危险废物的有关定义与性质、危害等方面的内容。危险废物管理措施部分包括了相关法律、法规、标准、技术规范、政策、规划等内容。危险废物的处理与处置部分根据相关标准分别总结了危险废物的收集、贮存、运输要求，危险废物的安全填埋处置技术，危险废物的水泥窑协同处置，医疗废物高温蒸汽集中处理技术有关内容；总结了危险废物的有关物理、化学等预处理技术基本知识；总结了当前常用的有关危险废物的焚烧处置技术；总结了有关危险废物的非焚烧处置技术、热等离子体处置技术。目前《危险废物污染防治技术政策》(征求意见稿)中将原有的危险废物处置减量化、资源化、无害化三

原则修改为减量化、再利用、资源化和无害化，因此再利用与资源化是危险废物处置的最佳途径，也有利于危险废物的减量化，书中也对有关危险废物的综合利用技术进行了总结；目前国家相关部门出台了多项污染土壤的修复方面的标准，污染土壤的修复越来越被重视，书中也对污染土壤修复的有关技术进行了汇总和介绍。同时关注了危险废物焚烧、安全填埋处置过程中产生的二次污染的防治措施。

本书由蒋克彬、张洪庄、谢其标编写。谢其标编写第一章、第三章第一节至第四节；张洪庄编写第二章；蒋克彬编写第三章第五节至第十二节。编写过程中，参照引用了同行业技术人员的有关文献与有关技术标准中的内容，在此谨向这些作者们表示衷心的感谢！

由于编者水平和条件所限，书中有些错误或不准确的地方，敬请读者及行业专家给予批评指正！

目 录

第一章 危险废物概述	(1)
一、有关危险废物的定义方法与定义表述	(1)
二、危险废物的特征	(3)
三、危险废物的物理、化学、生物特性	(5)
四、危险废物相关危险特性定义	(10)
五、有关危险废物的分类	(12)
六、有关危险废物的危害与影响	(15)
参考文献	(16)
第二章 危险废物管理措施	(17)
第一节 国外危险废物管理措施基本情况	(17)
一、欧盟	(17)
二、美国	(19)
第二节 国内危险废物的管理	(21)
一、危险废物管理体系	(21)
二、有关法律	(22)
三、有关法规	(37)
四、部门规章	(40)
五、标准	(40)
六、有关国家废物管理名录	(62)
七、技术政策	(63)
八、国家规划	(64)
九、地方标准与地方法规	(64)
十、国内其他危险废物管理制度与要求	(66)
第三节 当前国内危险废物管理与处理处置基本情况	(67)
参考文献	(70)
第三章 危险废物处理处置技术	(71)
第一节 概 述	(71)
一、国内外危险废物处置现状	(71)
二、有关危险废物处理处置技术以及技术适用性	(73)
三、危险废物处置技术选择原则	(76)
四、处置设施系统配置要求	(76)

五、危险废物处理处置设施运行管理要求	(93)
参考文献	(94)
第二节 危险废物的收集、贮存与运输	(94)
一、一般要求	(94)
二、危险废物的收集	(95)
三、危险废物的贮存	(96)
四、危险废物的运输	(100)
第三节 危险废物的有关预处理技术	(102)
一、物理方法	(102)
二、化学法	(158)
参考文献	(162)
第四节 固化/稳定化	(162)
一、定义与作用	(162)
二、固化/稳定化技术发展历程	(163)
三、固化机理与途径	(163)
四、衡量固化处理效果的指标	(163)
五、固化处理的基本要求	(165)
六、固化/稳定化技术的分类	(165)
七、固化/稳定化技术比较	(183)
参考文献	(183)
第五节 危险废物焚烧处置技术与应用	(184)
一、焚烧处置设施总的要求	(184)
二、焚烧系统构成	(185)
三、焚烧处置装置的适应性与有关技术要求	(186)
四、危险废物焚烧炉应用中应考虑的因素	(187)
五、有关焚烧炉设备	(193)
六、焚烧烟气处理措施与案例	(224)
参考文献	(226)
第六节 废物的热解处置	(226)
一、热解概念与原理	(226)
二、废物热解处理的要求	(228)
三、热解方式	(230)
四、热解焚烧工艺	(231)
五、热解过程控制	(231)
六、热解反应器	(232)
七、热解工艺的应用	(235)

八、热解焚烧系统总体工艺设计	(239)
参考文献	(240)
第七节 水泥窑协同处置危险废物	(241)
一、水泥生产工艺与水泥窑的类型	(241)
二、水泥窑共处置危险废物途径与危险废物类型	(245)
三、新型干法水泥窑协同处置废物的特点	(248)
四、国外水泥窑协同处置废物的发展历程	(249)
五、发达国家对水泥窑协同处置危险废物的管理	(250)
六、国外水泥窑处理废物的有关原则	(259)
七、国外对协同处置废物过程控制要求	(262)
八、国外水泥窑性能验证和试烧结果	(266)
九、国内水泥窑协同处置废物现状	(269)
十、我国水泥窑协同处置危险废物的有关要求	(272)
十一、国内对协同处置危险废物设施性能测试(试烧)要求	(284)
十二、水泥窑协同处置有关危险废物的应用	(285)
参考文献	(286)
第八节 医疗废物高温蒸汽集中处理技术	(286)
一、基本要求	(287)
二、高温蒸汽灭菌的工作原理	(287)
三、高温蒸煮技术特点	(288)
四、高温蒸煮处理效果过程控制参数确定	(288)
五、高温蒸煮系统组成	(291)
六、高征蒸煮处理效果末端评价指标	(295)
七、应用	(296)
参考文献	(299)
第九节 危险废物安全填埋处置技术	(299)
一、危险废物安全填埋处置总的要求	(299)
二、填埋场场址选择与地质条件要求	(300)
三、填埋工艺	(301)
四、填埋场运行管理要求	(302)
五、危险废物入场要求	(303)
六、填埋场系统组成与相关要求	(304)
七、封场	(315)
八、危险废物填埋场案例 1	(318)
九、危险废物填埋场案例 2	(323)
参考文献	(325)

第十节 危险废物的热等离子体处置技术	(326)
一、等离子体发生器	(326)
二、热等离子体处理废物的原理与特点	(329)
三、等离子体技术的研究与应用情况	(330)
四、应用案例	(342)
参考文献	(347)
第十一节 危险废物的资源化技术	(348)
一、废有机溶剂处置技术	(348)
二、废矿物油的处理处置	(358)
三、有关重金属废物的综合处置与利用	(361)
四、废工业催化剂回收方法	(384)
五、废弃电路板的综合处理与回收利用	(386)
参考文献	(388)
第十二节 污染土壤的修复技术与应用	(389)
一、我国土壤污染治理现状	(389)
二、污染土壤修复的标准	(390)
三、污染场地土壤修复技术确定原则	(396)
四、污染场地土壤修复常用技术	(397)
五、热脱附技术	(422)
六、化学还原技术	(424)
七、高级氧化技术	(427)
八、高温熔融技术	(428)
九、应用	(429)
十、修复技术发展趋势	(431)
参考文献	(432)

第一章 危险废物概述

一、有关危险废物的定义方法与定义表述

危险废物的产生与排放会对环境安全与人类健康造成严重影响，因此需要对危险废物进行全过程管理和有效的处理处置，以减少危险废物产生量，降低危险废物对人类与环境的影响。而要对危险废物进行有效的管理与处理处置，首先需要明确哪些废物属于危险废物，危险废物分为哪些种类，以便根据不同的危险废物制定合理的管理方案以及处理处置措施。目前，还没有一种方法或者技术可以满足所有危险废物的资源化和处理处置。由于危险废物分类以及管理与处理处置的复杂性，因此定义危险废物非常重要。

(一) 危险废物定义的方法

目前对危险废物的定义有一般性定义、包含性定义、排他性定义，有时为三种方法的结合，用于危险废物的判定和分类。

1. 一般性定义

一般性定义通常出现在关于废物的立法中，定义大多是对该立法的范围作简要的描述。如《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2015年修正版)附则条款中将危险废物定义为：是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认定的具有危险特性的固体废物。

按照此定义，只要是列入国家危险废物名录中的固体废物就可以认定为危险废物，无需进一步鉴别。《国家危险废物名录》(2008)共列出49类废物，具体包括：医院临床废物、医药废物、废药物药品、农药废物、木材防腐剂废物、有机溶剂废物、热处理含氰废物、废矿物油、废乳化液、含多氯联苯废物、精(蒸)馏残渣、染料涂料废物、有机树脂类废物、新化学品废物、爆炸性废物、感光材料废物、表面处理废物、焚烧处置残渣、含金属碳化合物废物、含铍废物、含铬废物、含铜废物、含锌废物、含砷废物、含硒废物、含镉废物、含锑废物、含碲废物、含汞废物、含铊废物、含铅废物、无机氟化物废物、无机氰化物废物、废酸、废碱、石棉废物、有机磷化合物废物、有机氰化物废物、含酚废物、含醚废物、废卤化有机溶剂、废有机溶剂、含氯苯并呋喃类废物、含多氯苯并二噁英废物、含有机卤化物废物、含镍废物、含钡废物、有色金属冶炼废物、其他废物。

对于不在危险废物名录中的废物，在根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定其是否具有危险特性前，首先需要明确该物质是否属于固体废物。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2015年修正版)对于固体废物的定义是：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。固体废物的这种定义在实际应用中作用有限，必须通过解释才可具体应用。对于固体废物，有关的法律解释为：包括在工业、交通等生产活动中产生的工业固体废物；在城市日常生活中或者为城市日常生活提供服务的活动中产生的城市生活垃圾和列入国家危险废物名录中的危险废物。应具有以下四个特征：

- ① 产生于生产建设、日常生活和其他活动之中；
- ② 对环境有可能产生污染；
- ③ 固态、半固态物质；
- ④ 废的或弃之不用的物质。

只有同时具备以上四个特征才是中华人民共和国《固体废物污染环境防治法》中规定的固体废物。

2. 包含性定义

包含性定义是通过提出危险特性鉴别标准或危险废物名录来定义危险废物，如果废物被鉴别后具有一项或几项危险特性，或废物已被列入危险废物名录之中，就称之为危险废物。包含性定义又可分为3类：

①来源定义，如“从工业废物处置作业中产生的残余物”、来自储油罐底部的油泥和溶剂蒸馏处理后产生的残渣等；

②组分定义，如无机氰化物废物、含多氯苯并二噁英废物等；

③性质定义，即具有一种或几种危险特性(如毒性、腐蚀性、易燃性、反应性、感染性等)的废物。

3. 排他性定义

排他性定义是通过排他原理来定义危险废物。危险废物可以在排他原理的基础上定义，即不包括在常规水处理、废气处理、生活垃圾和一般工业固体废物处理之中的废物，这样，任何一种不容许通过这些方法处置的废物，就依据此定义成为了危险废物。这种定义在实践中也没有应用意义，特别是对危险废物的管理、处理与处置。

4. 组合性定义

由于一般性定义存在具体应用困难，包含性定义不一定能包含所有的危险废物，有的还会将非危险废物也包含在危险废物之中。排他性定义不一定能排除所有的危险废物，因而，当今的危险废物定义，大多采用上述三类定义的组合，即组合定义。需指出的是，组合性定义虽能克服上述三类定义的一些弊端，但限于目前对危险废物的认识水平，尚不能全面揭示危险废物与废物(或固体废物)之间的“种差”，因此，即使是组合性定义，也还存在这样或那样的不确切。

在我国现阶段，危险废物的定义应以《固体废物污染环境防治法》中的定义为准。

(二) 有关危险废物定义的表述

对危险废物的定义，不同国家和组织各有不同的表述。

联合国环境规划署(UNEP)在1985年12月举行的危险废物环境管理专家会议上统一的定义为：是指除放射性以外的那些废物(固体、污泥、液体和用容器盛装的气体)，由于它的化学反应性、毒性、易爆性、腐蚀性和其他特性引起或可能引起对人体健康或环境的危害。不管它是单独的或与其他废物混在一起，不管是产生的或是被处置的或正在运输中的，在法律上都称危险废物。

世界卫生组织(WHO)将危险废物定义为：危险废物是一种生活垃圾和放射性废物之外的，由于数量、物理化学性质或传染性，当未进行适当的处理、存放、运输或处置时会对人类健康或环境造成重大危害的废物。

世界经济合作与发展组织(OECD)的定义是：除放射性之外，一种会引起对人和环境的重大危害，这种危害可能来自一次事故或不适当的运输或处置，而被认为是危险的或在某一

国家或通过该国国境时被该国法律认定为危险的废物。

《美国资源保护和回收法》中将危险废物定义为：由于数量、浓度或物理和化学性质或传染性，可引起或极大地促进死亡数的上升及严重的、不可治愈疾病的增长或使更多疾病成为不可治愈的疾病，或不适当地处理、贮存、运输、处置或管理，会对人体健康和环境实际地域可能构成危险的固体废物或固体废物的组合。美国《危险废物特别条例》规定：凡具有易燃性、腐蚀性、易反应性和未通过吸收程序毒性检测的固体废物都为危险废物。

《日本废弃物处理及清扫法》的定义是：“特别管理废弃物”是指废弃物当中具有爆炸性、毒性、感染性以及其它对人体健康和生活环境产生危害的特性并经过政令确定的物质。其中“特别管理废弃物”相当于危险废物。

欧盟在指令 78P319PEEC 中对危险废物的定义是：危险废物又称有毒有害废物，是指含有该指令附录之内列出的 27 类危险物质并且所含浓度超过了危害人类健康和环境的最低风险水平的任何废弃物或被污染物质。为了更为准确地确定危险废物，欧盟后来在指令 91P689PEEC 中又重新进行了定义，即危险废物是满足以下任意一条的废物：①列入危险废物名录，并且这些废物表现出 75P442PEEC 附Ⅲ中一种或多种危险特性；②所有成员国所定义的表现出 75P442PEEC 附Ⅲ中一种或多种危险特性的废物。

《巴塞尔公约》是目前唯一控制危险废物越境转移的全球性国际法律文件。《巴塞尔公约》中列出了专门的危险废物目录，除非这些废物不具有危险特性，同时也指出任一出口、进口或过境国的国内立法确定或视为危险废物的废物也是危险废物。

英国把危险废物称为“特殊废物”，特殊废物为一类废弃的物品或物质，需要特别管理和处置以保护人类健康和生态环境，这类废物通常表现出一种或多种危险特性（易燃性、有毒性、反应性或腐蚀性）。

在国内，有关危险废物的定义也各不一样，除《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中的定义外，《上海市危险废物污染防治办法》中将危险废物定义为：指根据国家统一规定的方法鉴别认定的具有毒性、易燃性、爆炸性、腐蚀性、化学反应性、传染性之一性质的，对人体健康和环境能造成危害的固态、半固态和液态废物。《苏州市危险废物污染环境防治条例》中将危险废物定义为：是指列入《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认定的具有危险特性的废物，以及国家和地方标准规定按照危险废物处理的废物。

同时危险废物的定义随时空的变迁而具有相对性，随着技术的进步，危险废物中的某些有效成分能够利用或经过一定的技术环节转变为有关行业中的生产原料，甚至可以直接使用而导致其原有性质改变。

二、危险废物的特征

危险废物不同于一般的废物，它所具有的特征有：

1. 危害性

危险废物具有多种危害特性，主要表现为：

与环境安全有关的危害性质：腐蚀性、爆炸性、可燃性、反应性。

与人体健康有关的危害性质：致癌性、致畸变性、突变性、传染性、刺激性、毒性（急性毒性、浸出毒性、其他毒性）。

(1) 可燃性

燃点较低的废物，或者经摩擦或自发反应而易于发热从而进行剧烈、持续燃烧的废物，便是具有可燃性。国家规定燃点低于 60℃ 的废物即具有可燃性。

(2) 腐蚀性

含水废物的浸出液或不含水废物加入水后的浸出液，能使接触物质发生质变，就可以说该废物具有腐蚀性。按照规定，浸出液 $\text{pH} \leq 2$ 或 $\text{pH} \geq 12.5$ 的废物；或温度 $\geq 55^\circ\text{C}$ 时，浸出液对规定的牌号钢材腐蚀速率大于 0.64cm/a 的废物为具有腐蚀性的物质。

(3) 反应性

在无引发条件的情况下，由于本身不稳定而易发生剧烈变化，如与水能反应形成爆炸性混合物，或产生有毒的气体、蒸汽、烟雾或臭气；在受热的条件下能爆炸；常温常压下即可发生爆炸等，此类废物则可认为具有反应性。

(4) 毒性

毒性表现为三类：

① 浸出毒性。

用规定方法对废物进行浸取，在浸取液中若有一种或一种以上有害成分，其浓度超过规定标准，就可认定具有毒性。

② 急性毒性。

指一次投给实验动物加大剂量的毒性物质，在短时间内所出现的毒性。通常用一群实验动物出现半数死亡的剂量即半致死剂量表示。按照摄毒的方式，急性毒性又可分口服毒性、吸入毒性和皮肤吸收毒性。

③ 其他毒性。

包括生物富集性、刺激性、遗传变异性、水生生物毒性及传染性等。上述这些危险特性在某些文献中会以代码的形式表示，相应的代码如表 1-1 所示。

表 1-1 危险特性代码含义

感染性	易燃性	腐蚀性	反应性	毒性	急性毒性
In	I	C	R	T	H

危险废物的危害特性，有的表现为短期的急性危害，有的表现为长期的潜在性危害。短期的急性危害主要指急性中毒、火灾、爆炸等；长期的潜在性危害主要指慢性中毒、致癌、致畸形、致突变、污染地面水或地下水等。

一般认为：危险废物的特性首先是污染特性，表现在对人的健康（如致癌性、致畸变性、突变性、传染性、刺激性、毒性）、生态环境产生不利的影响，还存在不恰当处置带来的危害；其次是管理特性，即这些特性是在管理中需要使用的，这些特性是不危险废物本身所具有的，是根据具体需要人为界定的。

2. 污染的隐蔽性、滞后性和持续性

正如重金属危险废物对土壤的影响一样，危险废物对环境的污染不会像废水、废气所造成的污染那样直观和即刻显现而容易被发现。但是一旦发生危险废物的污染事故，其产生的影响就很难消除；影响的消除一般需要花费巨大的代价和很长的时间。

3. 处置的专业性

危险废物来源广泛，性质各异，针对不同危险废物，处理与处置的方法也会不同，危险废物的处理处置具有高度的专业性。

三、危险废物的物理、化学、生物特性

危险废物涉及的物理、化学、生物特性主要参数有：溶解度、挥发性、蒸气压、在土壤中的滞留因子、亨利系数、分子扩散系数、土壤/水分配系数、生物富集系数以及毒性等。

(一) 物理、化学特性

物理、化学特性包括废物自身的溶解度、饱和蒸气压等释放特征参数，以及滞留因子、亨利系数、分子扩散系数、生物富集因子等环境迁移特征参数。

1. 环境释放特征参数

(1) 溶解度(S)

溶解度是指在一定的温度下，一种物质(溶质)在另一种物质(溶剂)中所能溶解的质量的度量。在危险废物的释放过程中，其在水中的溶解度是影响有毒有害物质释放和迁移转化的重要特性。没有一种物质是完全不溶于水的，在室温条件下，大多数物质的溶解度在1~100000mg/L的范围内。溶解度分类的国际标准如表1-2所示。溶解度影响物质或化合物在环境中的迁移与转化，溶解度越高，进入水相的概率越大，迁移速率越快。

表 1-2 溶解度分类的国际标准

类别	不溶解	微溶	适度溶解	溶解	易溶
溶解度/(mg/L)	<1	1~10	10~100	100~1000	>1000

作为物质的基本特征，溶解度可以从化学手册及有关数据库中查到。

(2) 饱和蒸气压

在密闭条件中，在一定温度下，与固体或液体处于相平衡的蒸气所具有的压力称为饱和蒸气压。同一物质在不同温度下有不同的蒸气压，饱和蒸气压受温度影响明显，一般随温度的升高而增大。不同的液体，其饱和蒸气压也不同。溶剂的饱和蒸气压大于溶液的饱和蒸气压，即纯物质的饱和蒸气压大；对于同一物质，固态的饱和蒸气压小于液态的饱和蒸气压。物质饱和蒸气压在20℃时一般取值为 $1\times 10^{-5}\sim 300\text{mmHg}$ ($1\text{mmHg}=133\text{Pa}$)。饱和蒸气压是影响有毒有害物质挥发速率的重要因素，对物质挥发性有直接影响。按饱和蒸气压对物质挥发性难易程度进行分类，可以参考如下分类：

- ① 饱和蒸气压大于10mmHg的为高度挥发性物质；
- ② 饱和蒸气压介于 $1\times 10^{-3}\sim 10\text{mmHg}$ 之间的为中度挥发性物质；
- ③ 饱和蒸气压介于 $1\times 10^{-5}\sim 1\times 10^{-3}\text{mmHg}$ 之间的为微量挥发性物质；
- ④ 饱和蒸气压小于 $1\times 10^{-5}\text{mmHg}$ 的为不挥发性物质。

物质的蒸气压也可以进行估算，估算方法一般需要以下四个参数中的三个：临界温度 T_c 、临界压力 p_c 、汽化热 ΔH_v 、某温度下的蒸气压 p_v 。目前大多数的估算采用关联的方法，用来求物质沸点和临界温度之间的精确关系，而对于需要低于沸点的环境研究，关联的方法方法准确度欠佳。

(3) 分配系数

指一定温度下处于平衡状态时，组分在流动相中的浓度和在固定相中的浓度之比。分配系数反映了溶质在两相中的迁移能力及分离效能，是描述物质在两相中行为的重要物理化学特征参数。两相可以是固/液、固/固、不相混合的两种液体、气/液等。分配系数常用于有机化合物的环境迁移转化分析。

对于废物的管理，四个分配系数比较重要，分别是辛醇/水分配系数、有机组分的土-水分配系数、有机碳分配系数和蒸气/液体分配系数。

① 辛醇/水分配系数(K_{ow})。

K_{ow} 是平衡状态下，有机化合物在 *N*-辛醇和水两相平衡浓度之比。辛醇/水分配系数是一个无量纲常数，如式(1-1)所示：

$$K_{ow} = \frac{C_o}{C_w} \tag{1-1}$$

式中 K_{ow} ——辛醇/水分配系数；
 C_o ——辛醇相化学物质浓度，mg/L；
 C_w ——水中化学物质浓度，mg/L。

具有较低 K_{ow} 值如小于 10 的化合物，可认为是比较亲水的，具有较高的水溶性，因而在土壤或沉积物中的吸附系数值以及在水生生物中的富集系数 (*BCF*) 相应就小。如果化合物具有较大的 K_{ow} 值如大于 10，那么它就是憎水或疏水的，容易进入有机物、脂肪和土壤中，物质在土壤或沉积物中的吸附系数值以及在水生生物中的富集系数相应就大。

② 有机组分的土-水分配系数(K_a)。

有机组分的土-水分配系数是描述有机组分在地下系统中吸附特征的重要参数。同时，它也是物质运移模拟和环境评价中的主要参数之一。影响 K_a 的因素有三个：土壤性质、有机组分本身特征、水相的物理化学性质。一般情况下，对于非极性和弱极性有机组分，土壤中的有机质含量是影响 K_a 的最主要因素。对于极性有机组分特别是在土壤有机质含量较低的情况下，土壤中矿物的种类和含量、水化学组分特征 (pH、离子力等) 经常在吸附过程中起重要作用。

③ 有机碳分配系数(K_{oc})。

有机化学物质的土壤吸附通常发生于黏土或淤泥颗粒上。即使土壤中有机碳组分含量很少，但几乎所有的土壤有机化学物质吸附都是由于土壤中的有机碳组分引起的。有机碳分配系数 K_{oc} 是一个关键的环境迁移与转化参数。 K_{oc} 定义如式(1-2)所示：

$$K_{oc} = \frac{C_{土壤}}{C_{水}} \tag{1-2}$$

式中 $C_{土壤}$ ——土壤有机碳中化学物质浓度，μg 吸附物质/kg 有机碳；
 $C_{水}$ ——水中化学物质浓度，μg/kg。

K_{oc} 数值可以按表 1-3 进行估算。

表 1-3 K_{oc} 与有关化学参数之间的关系

化学物质	化学物质的种类数	方程	备注
杀虫剂	45	$\lg K_{oc} = -0.544 \lg K_{ow} + 1.377$	<i>S</i> (溶解度) 单位为 mol/L <i>S</i> 单位为 mol/L <i>S</i> 单位为 mg/L <i>BCF</i> 生物富集系数
多环芳烃、二硝基苯胺	10	$\lg K_{oc} = 1.001 \lg K_{ow} - 0.21$	
卤代烃类	15	$\lg K_{oc} = -0.557 \lg S + 4.277$	
多环芳烃	10	$\lg K_{oc} = -0.541 \lg S + 0.44$	
农药 A	106	$\lg K_{oc} = -0.551 \lg S + 3.64$	
农药 A	22	$\lg K_{oc} = 0.681 \lg BCF + 1.963$	

④ 蒸气/液体分配系数(K_{vl})。

K_{vl} 是平衡状态下水蒸气中某化合物的浓度与水中浓度的比值，如式(1-3)所示：

$$K_{vl} = \frac{X_{eq, l}}{C_{eq, v}} \quad (1-3)$$

式中 $X_{eq, l}$ ——平衡条件下液相中浓度；

$C_{eq, v}$ ——平衡条件下气相中浓度。

蒸气/液体分配系数与温度、蒸气压力、大气压、液体与蒸气组成以及具体的化合物有关。化合物浓度越低，越接近理想状态的拉乌尔定律，即在某一温度下，稀溶液某溶剂的蒸气压等于该溶剂纯溶液的蒸气压乘以溶剂的摩尔分数。表达式如式(1-4)所示：

$$p = p_B \cdot X_B \quad (1-4)$$

式中 p ——溶液的蒸气压，Pa；

p_B ——纯溶剂 B 的蒸气压，Pa；

X_B ——溶剂 B 的摩尔分数。

或者至少接近亨利定律，即在一定的温度和压强下，溶于某溶剂的某气体物质的体积摩尔浓度，与此溶液达成平衡的气体分压成正比。表达式如式(1-5)所示：

$$p = k \cdot c \quad (1-5)$$

式中 p ——气体的分压，Pa；

c ——溶于溶剂内的气体体积摩尔浓度， m^3/mol ；

k ——亨利常数， $\text{m}^3 \cdot \text{Pa}/\text{mol}$ 。

拉乌尔定律和亨利定律是溶液中两个最基本的经验定律，都表示组元的分压与浓度之间的比例关系。它们的区别在于：①拉乌尔定律适用于稀溶液的溶剂和理想溶液，而亨利定律适用于溶质。②拉乌尔定律中的比例常数 p_B 是纯溶剂的蒸气压，与溶质无关；而亨利定律的亨利常数 k 则由实验确定，与溶质和溶剂都有关。

2. 环境迁移特征参数

(1) 土壤滞留因子(R_d)

土壤滞留因子反映有毒有害物质在土壤中由于吸附作用产生的随水流迁徙时的滞后现象，与土壤性质、有机组分本身特征、水相的物理化学性质有关。

(2) 降解常数(转化系数)和生成系数

① 降解常数(转化系数)。

降解常数(转化系数)是有毒有害物质由于化学反应(如水解、分解、化合、氧化还原等反应)和生物降解而导致的有毒有害物质的减少，可用单位时间内单位有毒有害物质的减少量来表示，也称为转化系数。

② 生成系数。

生成系数即化学反应速率，通常用单位有毒有害物质在单位时间内生成或消耗某物质的质量的多少来表示。影响化学反应速率的因素有：反应物本身的性质、外界因素包括温度、浓度、催化剂、光。

有毒有害物质在空气中、水中和土壤中由于受到物质形态的影响，其三种常数值是有差异的，应分别给予测定。化学反应的降解系数和生成系数一般可由实验得出，其降解速率的估算与物质的化学结构式有密切关系，且关系复杂。而生物降解常数由于受到具体环境下的生物种类影响，测定准确性较差。

(3) 有害物质的稳定性

危险废物中的有害物质在环境中虽然会自发地发生物理、化学和生物的转变，但

质中的大部分不仅处理困难，而且在环境中十分稳定，很难转化，因此，在危险废物的管理中，应了解这些危险化合物环境稳定性。通常危险废物被分为非稳定和稳定两大类，见表1-4。

表 1-4 含有稳定和非稳定化合物的危险废物

典型化合物			危害性
非稳定性化合物	有机化合物	油，低分子溶剂，一些可生物降解的杀虫剂(有机磷、甲氨酸酯、苯胺、尿素)，废油，洗涤剂	在源头或释放点对环境和生物产生毒害，这种毒性是急性和亚急性的
	无机化合物	非金属单质，无机化合物	
稳定性化合物	有机化合物	甲基汞，含氯芳烃，一些杀虫剂(含氯杀虫剂如六六六、DDT、六氯化苯)，多氯联苯(PCBs)	在源头或释放点，也许会发生急性毒性，也可能是慢性中毒，有机废物在食物链内扩散并导致生物富集。由于环境的传递作用，即使生物处在较低水平的污染物中，也可能会慢性中毒
	无机化合物	汞离子、六价铬、铅离子、镉离子、砷离子等	

重金属一般属于非降解性的持久性污染物质，只进行迁移转化，因此通常意义上的化合物的稳定性主要指有机化合物的稳定性，并用半衰期来表示。半衰期表示物质在环境中消耗或降解一半所需要的时间。一般来说，半衰期越长，则说明这种化合物越稳定，在环境中越不易降解，则引起危害的可能性就越大，时间就越长。表 1-5 列出了卤化链烃的半衰期。

表 1-5 卤化链烃的半衰期

化合物	半衰期	产物
溴化甲烷	在 pH=5 的半衰期为 256.7h；在 pH=7 的半衰期为 253.9h；在 pH=9 的半衰期为 357.3h	嗜甲烷菌可降解溴甲烷产生甲醛
氯仿	水中光氧化半衰期为 $6.9 \times 10^5 \sim 2.80 \times 10^7$ h；空气中光氧化半衰期为 623~6231h；一级水解半衰期为 3500h	
四氯化碳	在空气中的半衰期为 30~100 年	
氯乙烷	空气中光氧化半衰期为 160~1604h；一级水解半衰期为 912h	乙炔
1,1,2-三氯乙烷	空气中光氧化半衰期为 196~1956h；一级水解半衰期为 3.26×10^5 h	1,1-二氯乙烯
1,1,1,2-四氯乙烷	在 pH=9 的半衰期为 111.1h；在 pH=8 的半衰期为 11.1h；在 pH=7 的半衰期为 1.1h	三氯乙烯
三氯乙烯	空气中光氧化半衰期为 27~272h	
四氯乙烯	空气中，当羟基自由基浓度为 5×10^5 个/cm ³ 时，降解半衰期为 96d	
1-溴丙烷	空气中，当羟基自由基浓度为 5×10^5 个/cm ³ 时，降解半衰期为 17d；在 25℃，当 pH=7 时，水解半衰期为 26d	溴丙烯
2-溴丙烷	空气中，当羟基自由基浓度为 5×10^5 个/cm ³ 时，降解半衰期为 18d；在 25℃，当 pH=7 时，水解半衰期为 2.1d	

(二)生物富集系数(BCF)

有毒有害物质生物富集系数反映此种有毒有害物质在生物体内的浓度累积作用。许多污