

Risk Assessment and Risk Ranking Management
Technology of Groundwater
Contamination in Hazardous Waste Landfill

危险废物填埋场地下水 污染风险评估和分级管理技术

主 编 席北斗

副主编 姜永海 李金惠

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

危险废物填埋场地下水污染风险 评估和分级管理技术

主 编 席北斗

副主编 姜永海 李金惠

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

危险废物填埋场地下水污染风险评估和分级管理技术/
席北斗主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.12

ISBN 978-7-5111-1217-0

I. ①危… II. ①席… III. ①危险废弃物—卫生填埋场—地下水污染—风险评估②危险废弃物—卫生填埋场—地下水污染—环境管理 IV. ①X523

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 293610 号

责任编辑 葛 莉 赵亚娟
责任校对 尹 芳
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 15.5
字 数 340 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

编著委员会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

本书编委会

主 编：席北斗

副主编：姜永海 李金惠

编 委：魏自民 李 颖 李 敏 何小松 杨 昱 能昌信
廉新颖 张进保 刘玉强 潘 贇 白顺果 袁 英
马志飞 安 达 李鸣晓 贾 璇 刘增超 袁志业
王力敏

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转变方式调节结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上新台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

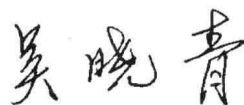
2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》(以下简称《规划纲要》)，提出了“建设创新型国家”战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，“水体污染控制与治理”科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制定、修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容

的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长



2011 年 10 月

前 言

危险废物处理处置场是危险废物大量汇集的场所。危险废物在贮存、处置过程中可能发生溢撒、泄漏、扩散而造成土壤和地下水污染，对生态环境和人体健康具有极大的风险。目前，我国已建或者正在建设的危险废物处理处置设施的管理水平和技术水平参差不齐，一些处理设施的建设甚至不符合标准要求，如何评估这些建成和待建的危险废物处理处置设施可能对地下水产生的污染风险，并进行基于不同风险水平的系统分级管理，是我国固体废物管理领域面临的紧迫问题之一。

这项工作在我国目前还处于起步阶段。为此，本书系统总结了国外和国内目前在危险废物填埋场地下水风险评估方面的研究进展，阐述了危险废物填埋场风险分析与管理的理论和技术方法体系。在探讨危险废物填埋场地下水污染风险理论的技术上，注重理论方法与案例的结合，把理论和方法进一步应用到管理实践中去。

本书针对危险废物填埋场地下水污染风险发生的全过程进行了系统的分析，尤其强调地下水调查方法的科学性，重视对风险评价模型和评价指标的建立，力求构建适宜于危险废物填埋场地下水污染风险评价的模型，并以此为基础，提出了危险废物填埋场地下水污染风险分级管理的技术方法和风险分级管理的科学体系。

本书共分为 8 章。第 1 章危险废物填埋场地下水污染现状与趋势，第 2 章危险废物填埋场地下水污染管理现状，第 3 章危险废物填埋场地下水污染调查，第 4 章危险废物处理处置场地下水污染风险评价模型比较与筛选，第 5 章危险废物处理处置场地下水污染风险评价模型应用，第 6 章危险废物处理处置场地下水污染风险评价指标体系，第 7 章危险废物填埋场地下水污染风险分级体系，第 8 章危险废物填埋场地下水污染风险分级管理。

本书将推动我国危险废物填埋场风险分析与管理的研究，为我国危险废物的安全处置提供有益指导，是政府管理人员、环保科研人员、高校研究生和危险废物处理处置企业相关工作人员等的重要参考书。

目 录

第 1 章	危险废物填埋场地下水污染现状与趋势	1
1.1	我国危险废物处理处置中心项目概况	1
1.2	危险废物填埋场分类与特点	9
1.3	危险废物填埋场地下水污染现状	11
1.4	危险废物填埋场地下水污染趋势	12
1.5	污染控制方案	13
第 2 章	危险废物填埋场地下水污染管理现状	14
2.1	危险废物填埋场地下水污染管理法律、法规和标准、规范	14
2.2	我国危险废物填埋场地下水污染管理现状	17
第 3 章	危险废物填埋场地下水污染调查	20
3.1	调查内容与程序	20
3.2	调查方法	27
3.3	地下水监测	32
3.4	案例分析	43
第 4 章	危险废物处理处置场地下水污染风险评价模型比较与筛选	48
4.1	地下水污染风险评价模型简介	49
4.2	危险废物填埋场地下水污染模型的筛选与构建	61
第 5 章	危险废物处理处置场地下水污染风险评价模型应用	65
5.1	RBCA 模型	65
5.2	3MRA 风险评估模型	80
第 6 章	危险废物处理处置场地下水污染风险评价指标体系	128
6.1	危险废物填埋场优先控制污染物类别的识别与鉴定	128
6.2	风险评价指标体系构建程序与方法	135
6.3	评价指标初选	138

6.4	评价指标再筛选	143
6.5	本章小结	166
6.6	案例分析	170
第 7 章	危险废物填埋场地下水污染风险分级体系	174
7.1	国内外污染场地地下水风险分级方法	174
7.2	风险分级指标体系构建	186
7.3	风险分级技术方法体系构建	195
7.4	案例分析	197
第 8 章	危险废物填埋场地下水污染风险分级管理	204
8.1	风险分级管理内涵	204
8.2	分级管理程序与方法	205
8.3	风险控制与管理的措施	208
参考文献		227

第 1 章 危险废物填埋场地下水污染现状与趋势

1.1 我国危险废物处理处置中心项目概况

我国危险废物产生量巨大，并有逐年增加趋势，如不严格管理控制，加快处理处置进程，必将对生态环境和人体健康构成严重威胁。危险废物处理处置中心在危险废物的贮存、消纳、稳定、综合利用与安全填埋过程中有着不可替代的作用，也是危险废物的最终归宿。

1.1.1 总体分布

我国各个省（自治区、直辖市）共建设（包括正在建设和规划建设）44 个危险废物处理处置中心项目。目前，已建成的危险废物处理处置中心有 11 个，分别位于深圳、惠州、福州、杭州、台州、青岛、沈阳、兰州、重庆、天津和上海。除西藏外，我国其他各省（自治区、直辖市）至少规划建设一座危险废物处理处置中心，其中内蒙古、辽宁、山东、陕西、湖北、重庆、新疆、安徽、湖南、云南、浙江、广东、河南 13 个省（自治区、直辖市）拟建 2 个或 3 个危险废物处理处置中心。根据 44 个危险废物处理处置中心的地理位置分布，将其分为以下 5 个片区：东北区（黑龙江、吉林、辽宁、河北、北京、天津、山东，共 8 个）、东南区（江苏、浙江、福建、广东、海南，共 8 个）、中部区（山西、河南、湖北、湖南、安徽、江西，共 11 个）、西北区（陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、青海、新疆、西藏，共 9 个）、西南区（四川、重庆、贵州、云南、广西，共 8 个）。

1.1.2 处置水平与建设水平

当 44 个危险废物处理处置中心建成投产运行后，我国危险废物处置量能够达到 191.22 万 t/a，其中用于填埋处置的危险废物量为 98.43 万 t/a。从我国危险废物处理处置中心处置量和填埋量的分布图（图 1-1 和图 1-2）可以看出，80%~90%的处置中心危险废物处置量为 2 万~5 万 t/a，填埋量为 1 万~3 万 t/a，填埋总量约占处置总量的 52.5%，表明目前安全填埋仍是我国危险废物处理处置中心主要采用的处理处置方式。44 个危险废物处理处置中心共拟占用土地 580.2 万 m²，大多数处置中心占地面积为 10 万 m² 左右，

服务年限一般为 10~20 年。

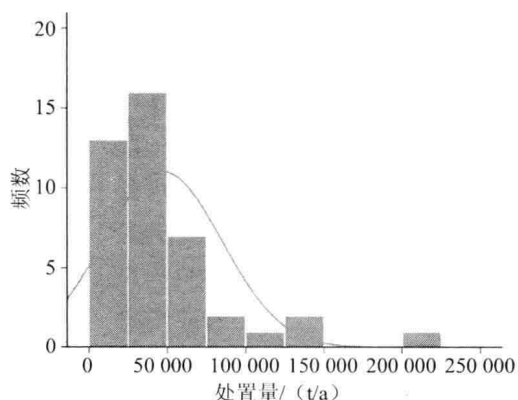


图 1-1 我国危险废物处置量分布

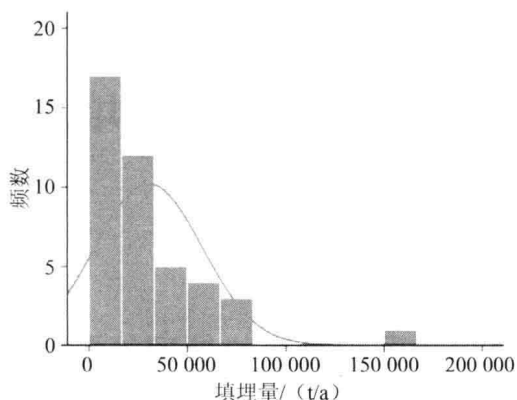


图 1-2 我国危险废物填埋量分布

(1) 东北区

东北区主要包括京、津、冀、苏、鲁、黑、吉、辽 8 个省市，该片区经济发展水平相对较高，人口密度大，危险废物产生量多。该区 6 个危险废物处置中心不同处置方式比例分布见图 1-3。北京与大连两个处置中心危险废物填埋量较低，山东、青岛、黑龙江、吉林 4 省填埋率分别为 70.3%、64.5%、49.0%、58.0%，该区平均填埋百分比为 53.1%。

(2) 东南区

东南区主要包括上海、浙江、福建、广东、海南 5 个省市，主要从上海市沿海岸线一带至珠江三角洲地区，这里是我国目前经济发展速度最快、经济总量规模最大、最具有发展潜力的经济片区，尤其是上海和广东。该区 8 个危险废物处理处置中心填埋所占比例较小，平均水平为 35.6%，见图 1-4。与北方片区相比，填埋水平有所下降，焚烧所占比例显著提高。其中杭州危险废物处理处置中心的填埋百分比最低，仅为 15.5%，物化与焚烧分别占 46.7%和 34.8%。

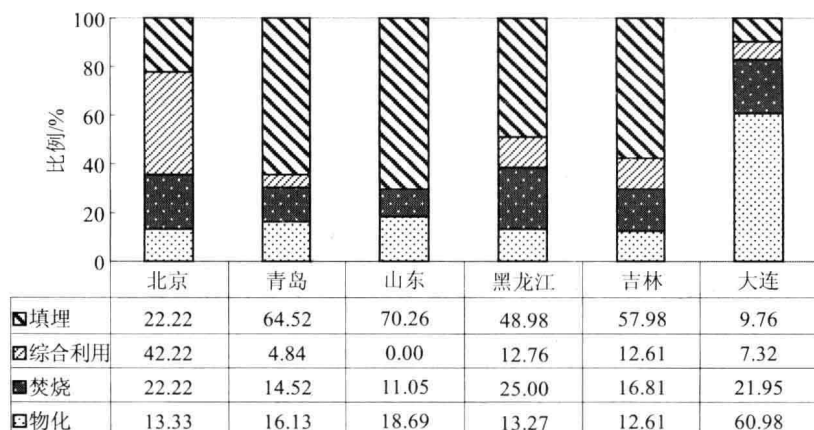


图 1-3 东北区危险废物处置方式比例

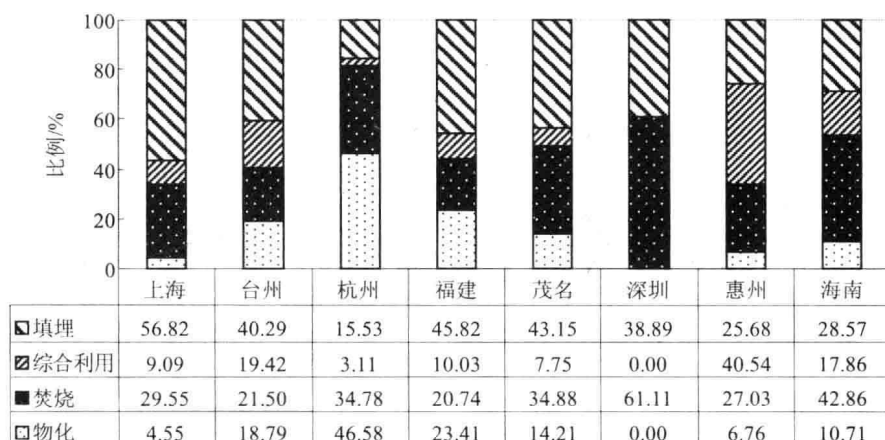


图 1-4 东南区危险废物处置方式比例

(3) 中部区

中部区共收集到 6 个省份 11 个危险废物处理处置中心的相关资料，如图 1-5 所示。各个危险废物处理处置中心处理方式分布情况差别较大：合肥、宜昌、衡阳主要以填埋为主，太原、铜陵的焚烧处理水平较高，河南与江西明显加大综合利用处理强度，马鞍山与南阳物化水平也很高。

(4) 西北区

西北区共收集到内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 6 省（自治区）的 9 个危险废物处理处置中心相关资料，其危险废物处置方式比例分布如图 1-6 所示。该区经济水平低于我国东部与中部，但随着我国西部大开发战略的逐步实施，其工业化进程不断加快，危险废物产生量也有不断上升的趋势，同时地域面积广阔，人口密度小，危险废物的处理方式仍以填埋为主，平均水平为 53.4%，其中内蒙古与新疆危险废物填埋率最高分别为 82.9% 和 82.3%。整个片区的物化与焚烧处理水平较低。

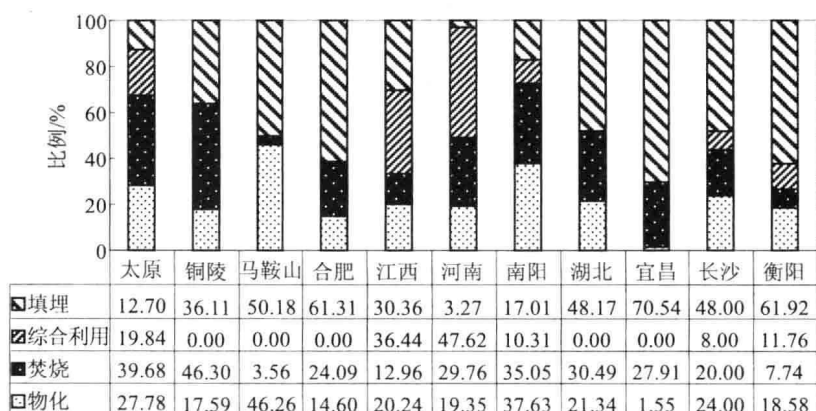


图 1-5 中部区危险废物处理方式比例

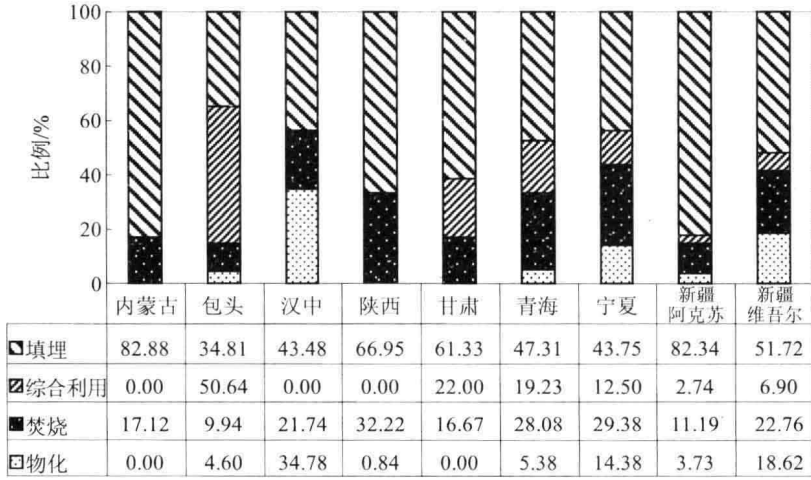


图 1-6 西北区危险废物处理方式比例

(5) 西南区

西南区主要包括广西、重庆、四川、云南、贵州 5 个省份（直辖市、自治区），其危险废物处理方式比例分布如图 1-7 所示，西南片区危险废物的处理方式仍是以填埋为主，焚烧、物化次之，综合利用水平极低，仅广西处理处置中心有一小部分作综合利用处理外，其他处理中心均未采取或给出综合利用水平。

通过以上分析我们可以看出，东北、西北与西南区填埋水平偏高，而东南与中部区的物化与焚烧处理水平较高，见图 1-8。我国 44 个危险废物处理处置中心危险废物物化、综合利用、焚烧、填埋四种处置方式的平均处置水平分别为 15.0%、12.8%、22.4%、49.8%，表明填埋仍是当前我国危险废物最主要的处理处置方式。

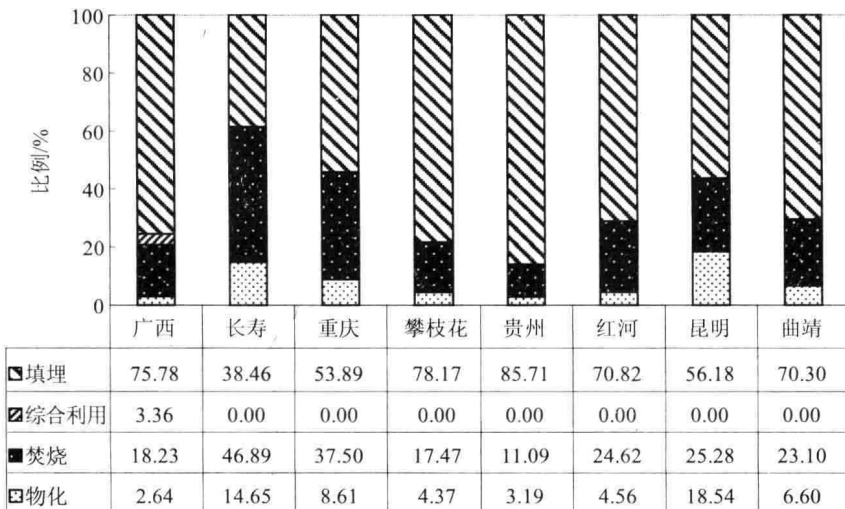


图 1-7 西南区危险废物处理方式比例

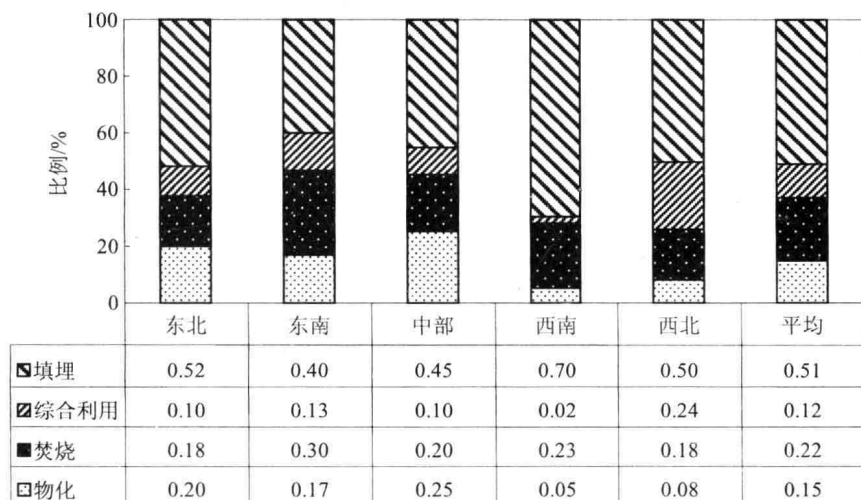


图 1-8 各区危险废物处理方式比例

1.1.3 水文地质条件

1.1.3.1 场地地形特征与地下水埋深

场地地形特征与地下水埋深是表征危险废物场地自然作用敏感性的两个主要因素，其中地形与地质条件、渗流补给、水力传导系数等紧密相关，而地下水埋深直接决定污染物到达地下含水层的运移距离，选择适宜的地形与地下水埋深有利于降低危险废物处理处置中心地下水污染指数，进而提高危险废物安全处置水平。

危险废物处理处置中心选址应遵循适宜性、可行性原则，将厂址选在地质结构相对稳定，人类活动扰动小，不易因自然或人为因素的破坏而产生重大事故的区域。图 1-9 给出了我国 44 个危险废物处理处置中心项目（拟）建设地点的地貌形态分布，其中 56.8% 的危险废物处理处置中心选建于丘陵地带，一方面是由于我国的地形地貌主要以丘陵为主，更重要的是丘陵地区具有天然的“填埋坑”，可以减少开挖土石方量，节约成本。平原和沟谷均占 18.9%，而台地相对较少，仅占 5.4%。

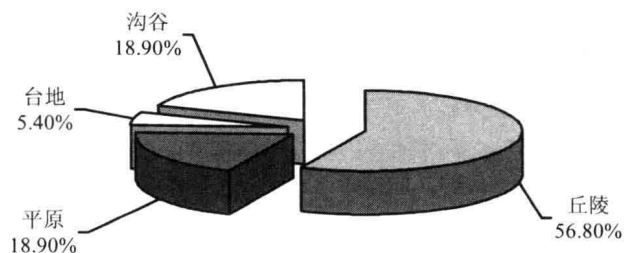


图 1-9 我国危险废物处理处置场地地貌分布

地下水埋深作为地下水脆弱性评价的重要指标之一，在项目实施与建设过程中均需着重考虑，如出现地下水层埋深过浅，或是建设地点位于饮用水水源地主要补给区，抑或其下游有集中供水井等情况，则需改选场址或提高防渗设计，防止填埋场渗滤液渗入地下水，造成地下水污染。

目前收集到的危险废物处理处置场地下水埋深分布如图 1-10 所示，总体上我国危险废物处理处置场地下水埋深分布范围广泛，从 0.5~126 m 不等。75%的场地地下水埋深小于或等于 10 m，其中辽宁大连，山东青岛，上海，浙江杭州、台州，福建，海南，青海西宁，云南昆明，安徽铜陵，湖南长沙，贵州贵阳，江西九江，新疆维吾尔自治区阿克苏地区等 15 个危险废物处理处置中心地下水埋深较浅，均小于 3 m。而四川攀枝花、山西太原、甘肃、宁夏和陕西等危险废物处理处置中心地下水埋深较深，均大于或等于 30 m。

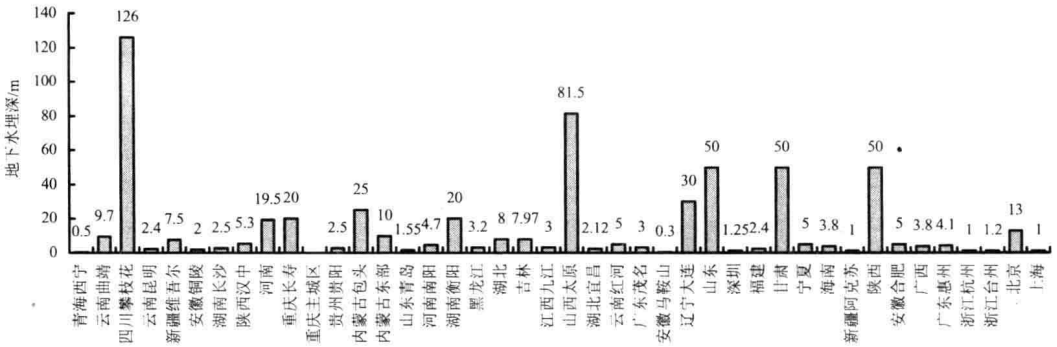


图 1-10 我国危险废物处理处置场地下水埋深分布

1.1.3.2 地下水脆弱性评价

利用美国国家环保局开发的用于评价地下水受污染相对难易程度的 DRASTIC 模型，结合我国危险废物处理处置场相关基础资料，如地下水埋深、降雨量、土壤-包气带-含水层介质、渗透系数等，计算相应的地下水含水层脆弱性指数。

$$D_I = D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r$$

式中： D_r 为地下水埋深的级别； D_w 为地下水埋深的权重； R_r 为含水层净补给量的级别； R_w 为含水层净补给量的权重； A_r 为含水层介质的级别； A_w 为含水层介质的权重； S_r 为土壤介质的级别； S_w 为土壤介质的权重； T_r 为地形坡度的级别； T_w 为地形坡度的权重； I_r 为包气带介质的级别； I_w 为包气带介质的权重； C_r 为水力传导系数的级别； C_w 为水力传导系数的权重。

DRASTIC 模型各指标评分体系及权重见表 1-1，我国危险废物处理处置中心地下水脆弱性指数计算见表 1-2。

利用 SPSS 软件对表 1-3 中危险废物处理处置中心地下水脆弱性指数进行聚类分析（层次聚类法），根据凝聚状态表、冰柱图和树状结构图确定最佳聚类结果。按照最佳聚类结果对我国危险废物处理处置中心地下水脆弱性进行分级，分级结果见表 1-3。

表 1-1 DRASTIC 模型各指标评分体系及权重

地下水位埋深/m		净补给量/mm		含水层介质			土壤介质	
权重	5	权重	4	权重	3		权重	2
范围	评分	范围	评分	类型	评分	典型评分	类型	评分
0~1.5	10	0~51	1	块状页岩	1~3	2	薄层或缺失	10
1.5~4.6	9	51~102	3	变质岩/火成岩	2~5	3	砾石层	9
4.6~9.1	7	102~178	6	风化变质岩/火成岩	4~6	4	砂层	8
9.1~15.2	5	178~254	8	冰渍层	5~9	5	胀缩性或 团块状黏土	7
15.2~22.9	3	>254	9	层状砂岩、灰岩和 页岩序列	4~9	6		
22.9~30.5	2				块状砂岩	4~9	6	亚黏土
>30.5	1			块状灰岩	4~9	6	淤泥质黏土	4
				沙砾石层	4~9	8	黏土	3
				玄武岩	2~10	9	腐殖土	2
				岩溶灰岩	9~10	10	非胀缩或 非团块黏土	1
地形		包气带介质				水力传导系数/(m/d)		
权重	1	权重	5		权重	3		
坡度百分比/%	评分	类型	评分	典型评分	范围	评分		
0~2	10	承压层	1	1	0.05~4.89	1		
2~6	9	淤泥/黏土	2~6	3	4.89~14.67	2		
6~12	5	页岩	2~5	3	14.67~34.23	4		
12~18	3	灰岩	2~7	6	34.23~48.93	6		
>18	1	砂岩	4~8	6	48.93~97.86	8		
		层状砂岩、灰岩、页岩	4~8	6	>97.86	10		
		含较多淤泥或黏土的沙砾	4~8	6				
		变质岩/火成岩	2~8	4				
		沙砾	6~9	8				
		玄武岩	1~10	9				
		岩溶灰岩	8~10	10				