

危险废物
管理与处理处置
技术丛书

各国危险废物 填埋场设计与建设 及其质量保证指南

环境保护部污染防治司 编译
巴塞尔公约亚太区域中心

GEGUO WEIXIAN FEIWU
TIANMAICHANG SHEJITU JIANSHE
JI QI ZHILIANG BAOZHENG ZHINAN

中国环境出版社

世界各国
环境标准
汇编

危险废物 填埋场设计与建设 及其质量保证指南

国际原子能机构制定 国际原子能机构
环境安全中心编写 中国原子能科学研究院 译



危险废物管理与处理处置技术丛书

各国危险废物填埋场设计与建设及其质量保证指南

环境保护部污染防治司 巴塞尔公约亚太区域中心 编译

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

各国危险废物填埋场设计与建设及其质量保证指南/
环境保护部污染防治司, 巴塞尔公约亚太区域中心编译.

—北京: 中国环境出版社, 2015.6

(危险废物管理与处理处置技术丛书)

ISBN 978-7-5111-1890-5

I. ①各… II. ①环…②巴… III. ①危险废弃物—卫生填埋场—建筑设计—美国—指南②危险废弃物—卫生填埋场—工程质量监督—美国—指南

IV. ①X705-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 119393 号

出版人 王新程
责任编辑 侯华华
文字编辑 安子莹
责任校对 唐丽虹
封面设计 陈莹

出版发行 中国环境出版社
(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)
010-67112735 (环评与监察图书分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 6 月第 1 版
印 次 2015 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 27.75
字 数 600 千字
定 价 89.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《危险废物管理与处理处置技术丛书》

编 委 会

主 任 赵华林

执行主任 李 蕾 钟 斌 李金惠

编 委 会 (以姓氏笔画为序)

于可利 李 蕾 李金惠 任隽姝

刘丽丽 郑莉霞 赵华林 赵娜娜

钟 斌 熊 晶 戴 祥

危险废物管理与处理处置技术丛书

序

回望过去不久的 20 世纪，我们可能欣喜于迄今为止最伟大的创造力，可能忧伤于惊天动地的灾难，也可能彷徨在成就与教训、历史与未来的十字路口。这个时代造就了伟大的创造发明，为人类开启了通向崭新世界的门户，但与此同时，这个时代也给我们赖以生存的地球环境带来了不可磨灭的创伤。

未来学家托夫勒在 20 世纪 80 年代之初的一段描述颇为经典：“可以毫不夸张地说，从来没有任何一个文明，能够创造出这种手段，能够不仅摧毁一个城市，而且毁灭整个地球，从来没有整个海洋面临中毒的问题；由于人类的贪婪或疏忽，整个空间可以突然一夜之间从地球上消失；从来没有开采矿山如此之猛，挖得大地满目疮痍；从来没有过让头发喷雾剂使臭氧层消耗殆尽，以及让热污染造成对全球气候的威胁。”

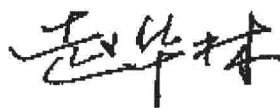
托夫勒的这段文字，无疑是对人类伟大创造力和无敌生产力的另一种注解。人类戳痛了自然原本有序的循环。当我们回首 20 世纪，感叹人类文明的同时，我们也应当反省。人与自然之间相互纠结、难解难分的关系，是当今我们不得不重新认识的最为基本的问题。

生态文明，是对人与自然关系认识的深化，也是人类自我认识的飞跃，是全人类共同努力的目标。全世界人民和各国环境从业者应该协同一致，以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标，建立资源节约型、环境友好型社会。一个国家经济社会持续发展的基本前提是环境保护，环

境保护取得的成效和突破，是对生态文明建设的积极贡献。我们应该不断审视和解决突出的环境问题，积极学习先进的处理技术和管理经验，以增强处理环境问题的技术手段和能力，继续探索环境保护的新道路。

当今世界，危险废物的处理处置是全球面临的突出环境问题之一，也是做好污染防治，建设生态文明必须解决的问题。国际组织和世界各国特别是美国、欧盟及日本等发达国家和地区的环境从业者都倾注了很多心血，他们的经验和教训、在这方面研发的技术是值得借鉴的。当前，我国环境保护部门已经充分认识到了危险废物处理处置工作的重要性，危险废物管理技术和污染防治工作已进入环境污染防治工作的主战场、主阵地。以环境保护部污染防治司和巴塞尔公约亚太区域中心的名义联合出版的《危险废物管理与处理处置技术丛书》恰逢其时，希望能够为大家更好地开展危险废物管理工作提供参考。

我希望，广大环境保护从业者能够借助此书，进一步加强自身业务能力，全面推动危险废物管理和处理处置工作向前发展，在探索环境保护新道路中开创新局面，为人与自然的和谐作出新贡献！



2013年8月

危险废物管理与处理处置技术丛书

前 言

随着全球工业的发展，危险废物的产生量日益增多，若处理不当，危险废物将对人类赖以生存的环境造成严重的污染，威胁人类的生产和生活。危险废物在工业发达国家引起了公众的广泛关注，促使发达国家加强管理并大力发展和改进处理处置技术以防止污染，在此过程中，发达国家积累了较为丰富的管理与技术经验。

近几年，我国经济飞速发展，工业水平不断提高，随之产生的危险废物问题已经成为一个不可小觑的环境问题。如何合理地处理和处置危险废物已经成为我国环境工作的重要任务。我们应该借鉴发达国家的危险废物管理和污染防治工作经验，学习国外先进的处理技术，以增强处理和处置危险废物的技术手段和能力，从而促使我国走可持续发展道路，建设环境友好型社会。

近年来，我国对危险废物污染高度重视，颁布了相关法律、法规，制定了相关名录、规划和条例等，整体污染防治水平已经有了明显的进步。但是，我国危险废物的处理处置总体还处于较低水平，科研人员、技术人员和环境管理工作者的认识水平和知识水平还有待提高。

为加强我国危险废物污染环境防治能力建设，2010年环境保护部与清华大学签署了《关于开展国家危险废物管理培训与战略研究的合作协议》，并由设在清华大学的巴塞尔公约亚太区域中心（亚太中心）负责具体落实。为落实本协议的具体工作，亚太中心开展了《危险废物管理与处理处置技术丛书》的编写

工作。

本书涵盖内容广泛，介绍了危险废弃物管理体系、危险废弃物处理处置设施技术规范、填埋场设施环境监测、填埋场的设计与建设及其质量保证、填埋场的运行和管理技术等，内容详尽，理论和实例紧密结合。希望丛书的出版能够弥补危险废弃物管理与处理处置技术资料的不足，对提高相关从业人员认识和知识水平起到积极作用。

由于时间以及水平有限，疏漏之处在所难免，请同行和各界读者批评指正。

(通信地址：清华大学环境学院，联系电话：010-62794351，电子邮箱：
jinhui@tsinghua.edu.cn，联系人：李金惠。)

编 者

2013 年 8 月

编者的话

填埋是对废物进行有效控制管理的科学工程方法，是危险废物管理的重要途径，并已广泛应用于许多国家。美国等发达国家危险废物管理起步较早，经过数十年的发展，在危险废物填埋场的规划、设计、施工和管理等方面积累了丰富的经验，技术日臻成熟和完善。近年来，我国大力推动危险废物处置设施建设，有必要充分借鉴国外先进经验，更好地减少危险废物填埋场的环境污染和人体健康风险。本书从实践应用性角度出发，系统地介绍了以美国为主的世界各国危险废物填埋场的设计与建设规定及相关的质量保证要求，将对我国危险废物填埋场建设具有很好的指导和借鉴意义。

全书共 14 章。第 1 章至第 12 章着重介绍了美国危险废物填埋场设计与建设的相关规定和技术要求。第 1 章介绍了危险废物填埋场的结构，包括地基、堤坝完备性与边坡稳定性、衬层系统、覆盖层系统和集排水控制 5 部分内容，并说明了填埋场和地面储存池的关键性能标准及最低技术要求。第 2 章、第 3 章和第 4 章分别介绍了危险废物填埋的双衬层、渗滤液收集和覆盖层系统。第 5 章主要涉及危险废物管理设施的黏土衬层系统的设计。第 6 章详细阐述了处置设施建设的土工技术质量保证要求，包括设施获得许可后的土工技术要求、取样方法与样本容量的选择、监测和试验方法、质量保证计划等内容。第 7 章介绍了危险废物处置设施建设、运行和封场的质量控制要求，涉及填埋场、地面贮存池、废物堆和土地处理等多类设施。其中，重点说明了各类设施建设、运行和封场期间的相关责任归属及技术要求。第 8 章主要介绍了危险废物填埋场的黏土衬层、柔性膜衬层的建设及填埋场的维护等内容。第 9 章提供了防渗衬层与覆盖系统的选择、设计和建设的技术指导，特别是柔性膜衬层和危险废物的防渗系统。第 10 章介绍了废物管理设施黏土衬层安装、铺设及相关后续工作要求。第 11 章着重说明了填埋场、地面贮存池、衬层、覆盖层和渗滤液收集

系统建设的质量保证要求。第 12 章从压实黏土衬层、土工膜、土工合成黏土衬层、土壤排水系统及竖直截水墙等方面具体说明废物封存设施的质量控制要求及相关技术。本书最后两章分别概述了澳大利亚和英国的危险废物处理处置填埋场的设计规定和技术要求。其中,第 13 章主要说明了澳大利亚昆士兰州危险废物填埋场的选址和设计规定,第 14 章则突出介绍了英国填埋场地的膜保护层的柱面测试方法。

参与本书编译和校对工作的人员还包括清华大学的单桂娟、谢芳芳、欧志远、宋庆彬、霍培书、李颖、乌吉丹等博士、硕士研究生及亚太中心的王洁璁、刘芳、张超、苏柏灵、孙笑非、陈源、段立哲等多名工作人员,在此对他们一并表示谢意。

编 者

2013 年 8 月

目 录

第 1 章	美国陆地处置设施设计技术资源指南	1
1.1	概述	1
1.2	地基	1
1.3	堤坝完备性与边坡稳定性	7
1.4	衬层系统	13
1.5	覆盖层系统	32
1.6	集排水控制	39
第 2 章	美国危险废物填埋设施的设计要求	47
2.1	危险废物填埋场黏土衬层设计	47
2.2	柔性膜衬层	64
2.3	填埋设施的渗滤液收集与清除设计	78
第 3 章	美国废物封存的衬层和覆盖层	93
3.1	概述	93
3.2	衬层	93
3.3	覆盖层	112
第 4 章	美国无衬层的旧危险废物填埋场覆盖层的设计	130
4.1	覆盖层构成	130
4.2	备选覆盖层的评价	133
第 5 章	美国废物管理设施黏土衬层的设计	135
5.1	场地调查	135
5.2	衬层材料的选择及表征	140
5.3	设施设计	143
5.4	建设规范和 CQA 计划	157
第 6 章	美国处置设施建设的土工技术保证	159
6.1	许可后阶段土工技术要求	159

6.2	取样方法与样本容量选择	165
6.3	监测和试验方法	171
6.4	可选检测方法比较	178
6.5	质量保证计划	188
第 7 章	美国危险废物填埋设施建设和封场的要求	194
7.1	黏土衬层的建设	194
7.2	柔性膜衬层的建设	205
7.3	已填满的填埋场的维护	211
7.4	衬层与废物的共存性	220
7.5	长期注意事项：问题区域和未知事项	223
7.6	泄漏响应行动计划	232
第 8 章	美国废物封存和其他储存池设施的防渗	239
8.1	废物储存和处置单元的防渗设计	239
8.2	废物储存和处置单元的防渗建设	254
8.3	废物储存和处置单元的管理、监测和维护	283
第 9 章	美国危险废物填埋场和地面储存池的最终覆盖技术指导文件	298
9.1	概述	298
9.2	最终覆盖层	298
9.3	排水层	301
9.4	低渗透层	304
9.5	可选层	309
第 10 章	美国废物管理设施黏土衬层的建设	312
10.1	安装前准备	312
10.2	黏土衬层的铺设	313
10.3	铺设完成后工作	327
10.4	黏土衬层设计和建设的问题与预防措施	327
第 11 章	美国填埋场、地表储存设施衬层、覆盖层和渗滤液收集系统建设质量保证	329
11.1	土壤调查	329
11.2	衬层安装及覆土回填	329
11.3	底部基础层准备	330
11.4	蒸渗仪安装	330
11.5	黏土层规范	330
11.6	黏土层侧面建设要求	331
11.7	人工衬层的安装	332

11.8	顶部覆盖层和衬层的保护与修复	332
11.9	排水层或垫层安装	333
11.10	渗滤液收集导排管	333
11.11	填埋场封场	333
11.12	质量保证/施工记录报告	333
第 12 章	美国废物封存设施的质量保证和质量控制技术指导文件.....	335
12.1	概述	335
12.2	压实黏土衬层	336
12.3	土工膜	340
12.4	土工合成黏土衬层	350
12.5	土壤排水系统	356
12.6	土工合成排水系统	363
12.7	竖直截水墙	368
12.8	辅助材料、附属设备及其他资料	377
第 13 章	澳大利亚昆士兰州填埋场选址和设计导则	390
13.1	使用范围	390
13.2	简介	390
13.3	填埋场选址标准	395
13.4	具体环境评估	398
第 14 章	英国填埋场地膜保护层柱面测试方法学	421
14.1	背景	421
14.2	概况	421
14.3	范围	421
14.4	规范性参考	422
14.5	定义	422
14.6	原则	423
14.7	仪器	423
14.8	样本	424
14.9	调节	424
14.10	程序	425
14.11	计算	426
14.12	报告	427
14.13	测定铅片形变特性的方法	427
参考文献		429

第 1 章 美国陆地处置设施设计技术资源指南

1.1 概述

为协助危险废物陆地处置设施许可申请者和审查工作人员，美国环保局发布了大量的技术指导文件，其中包括资源保护和回收法（RCRA）技术指导文件、许可指导手册和技术资源文件。这些技术文件涵盖了关于陆地处置设施设计与运行的具体技术内容，其目的是保持与许可决定的一致性，并推动快速申请和处理 RCRA 许可。

本章内容包括危险废物填埋场和地表储存设施关键性能标准及最低技术要求（40 CFR 264），主要由地基、堤坝完备性与边坡稳定性、衬层系统、覆盖层系统和径流控制五个部分组成。尽管指导文件的主题多涉及许可申请准备和审查，但是本章涉及的资料信息和参考文献对于其他类型的陆地处置设施的设计和运行同样有帮助，例如，废物堆和土地利用设施、一般固体废物陆地处置设施等。

1.2 地基

1.2.1 现场调查

为确保地基设计与预期选址位置的具体条件相适应，需要进行充分的现场调查。现场调查的目的是得到现场的地层特征、选址处水文地质特性及发生地震的可能性等数据，这些数据对于处理设施的设计是至关重要的。

表 1-1 用于指示地基性能达标的信息类别

信息	典型参数
地基的定义	关于如下项目的描述： ● 地基概要设计 ● 地基材料 ● 标明可承受高度的地质图纸和建造图纸
地下勘测数据	关于如下项目的详细的工程特性： ● 地下土壤 ● 岩床 ● 水文地质条件

信息	典型参数
地下勘测数据	经如下程序验证的地基材料的工程特性： ● 历史数据 ● 试验孔 ● 试验坑/沟 ● 现场测试 ● 地球物理学勘探
实验室试验数据	试验结果来自如下项目： ● 指标试验 ● 水力传导系数 ● 切变强度 ● 可压缩性
工程分析	采用地下勘探与实验分析所得数据进行的工程分析可包括（酌情）： ● 地质沉降可能性 ● 承载能力 ● 开挖或建造斜坡的稳定性 ● 过大的流体静压或气压的可能性 ● 地震条件 ● 下沉可能性 ● 熔解可能性
地质沉降的可能性分析	评估总体沉降和不均匀沉降： ● 弹性沉降 ● 主固结 ● 次生压缩
承载能力分析	分析允许承载能力，并与根据实际负荷所要求的承载能力进行对比
填埋场边坡稳定性分析	分析静态与动态情况： ● 开挖的边坡 ● 堤坝的边坡 ● 衬垫和/或覆盖层的边坡 ● 有排水和/或无排水条件下
流体静压趋势分析	评估因不平衡的流体静压或气压引起的底部隆起或井喷的可能性

1.2.1.1 地基说明

- 地基的设计应针对具体选址，并且是一重复的过程。一个典型的初步地基说明应包括：
- 地理环境；
 - 地质环境；
 - 地下水情况；
 - 土壤与岩层特性；
 - 地表水排水情况；
 - 地震情况；
 - 基础信息。

选址计划应包括单元在选址地的具体位置、单元的深度、配置和尺寸及该单元是否以低于或高于等级的情况完成。在单元边界之外的调查钻孔、测试坑及其他流程要尽可能地接近该单元，这一点是非常重要的。其他需要在现场选址调查完成之前提交的关于地基设

计的关键因素有：地基设计替代方案、地基等级、该单元或地基能承担的负荷和初步的地质沉降可承受情况。

1.2.1.2 地下勘探程序

执行地下勘探程序来确定选址处的地层特征、地质和水文情况。现场的地层特征和水文地质特征对于地质沉降的承受能力、边坡稳定性及选址处地质隆起可能性均有重大影响。地下地质情况可能影响选址地的地质沉降和地震的可能性，并对选址的水文地质特征产生影响。

地下勘探程序要素：

- 将选址的地质状况与区域地质背景联系起来；
- 提供对具有代表性的地下样品的工程特性的分析；
- 建立当地的地表特征数据，包括到岩层的深度和破坏面或水文地质途径的存在特征；
- 查明基岩特性，如岩性、方向、风化程度、断裂情况、节理和溶洞；
- 建立所选地址的水文地质特征，如水深表、横向和纵向流动组成部分、水文地质途径、季节性变化、含水层的位置、使用和类型。

地下勘察有直接勘察和间接勘察两种方法。间接勘察的方法包括地球物理学技术（例如，电子调查方法、探地雷达和地震折射）。这些方法不需要钻井或挖掘，可根据地质环境状况来选择合适的方法。虽然地球物理探测程序可以在较低的成本下提供大量的数据，但这些数据必须且只能由合格的专家来进行详细的解释。此外，地球物理数据必须用直接勘察方法加以验证，如钻孔或挖实验坑。

直接勘察的方法包括钻孔、钻井、挖坑和挖壕沟。直接勘察可以观测该选址的地质条件。通常情况下，钻探日志描述说明了钻孔所遇到的土壤和岩石地层情况以及它们的深度。此外，钻探日志应提供土壤的标准，贯入试验结果和岩芯的岩石质量结果。钻探日志还应记录在钻探中进行的任何水力传导测试结果及测试间隔。

直接勘察的方法可以得到地下材料的样品，用于实验室测量其工程特性。土壤样品可以通过对开式取土器或薄壁管来获得。由于使用对开式取土器获得的样品易受干扰，其价值有限，可用于鉴定和水分含量测量。由薄壁管得到的样品未受干扰，可广泛用于实验室各种试验，但这种方法仅限于有限的土壤类型和条件。

地下勘察项目范围的变化取决于地下地质情况的复杂性、现场条件的季节性变化和选址处的可用信息。通常情况下，调查人员应在选址地钻出足够数量的钻孔以表征地下沉积物的特征和基岩状况，并建立一个合理准确的地下截面。钻孔深度依赖于选址处的具体情况，但孔通常应深于预计选址地基等级和地下水位中的较深者。要有足够数量的地下水位观测井及压力表以确定横向和纵向地下水流动方向。地下非均质性可能会导致地基渗水或强度的损失，遇到这种情况时有必要增加地下勘探，以确定情况严重程度。一般情况下，确定水文地质条件为地下水监测项目的一部分。

1.2.1.3 实验测试数据

地基的实验测试包括以下项目：

- 阿特堡稠度极限；
- 粒径分布；