

放射性废物管理手册
(第一卷)

近地表陆地处置

[美] J. Howard Kittel ◎ 编著

程小久 汪华安 郑文棠
丁金伟 焦春茂 葛军辉 ◎ 译

Jindibiao Ludi Chuzhi



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

放射性废物管理手册(第一卷)

Radioactive Waste Management Handbook(Volume 1)

近地表陆地处置

NEAR – SURFACE LAND DISPOSAL

[美]J. Howard Kittel 编著

程小久、汪华安、郑文棠 译
丁金伟、焦春茂、葛军辉



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内 容 提 要

本书是《放射性废物管理手册》系列丛书中的一卷,由 Harwood 学术出版社于 1989 年出版。本书共分 12 章,各章节均由美国放射性废物处置领域内具有丰富经验和深厚专业知识的专家撰写。本书旨在提供美国具有相对较低放射性水平(被命名为低放或中放废物)的放射性废物的近地表陆地处置技术。

本书可供核工业、核电、核技术应用与环保部门相关科技人员和管理人员参考,也可供大专院校相关专业师生和研究生阅读,同时也适合供对放射性废物关注和感兴趣的人士参阅。

图书在版编目(CIP)数据

放射性废物管理手册(第一卷) 近地表陆地处置/程小久、汪华安、郑文棠、丁金伟、焦春茂、葛军辉译. —武汉:中国地质大学出版社,2010.9

ISBN 978 - 7 - 5625 - 2480 - 9

I. 放…

II. ①程…②汪…③郑…

III. 放射性废物处置-技术手册

IV. TL942 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 110755 号

放射性废物管理手册(第一卷)
近地表陆地处置

程小久、汪华安、郑文棠 译
丁金伟、焦春茂、葛军辉

责任编辑:汪 华 刘桂涛

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:413 千字 印张:15.75

版次:2010 年 9 月第 1 版

印次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

印数:1—1 500 册

ISBN 978 - 7 - 5625 - 2480 - 9

定价:98.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

作者简介

当核废料管理系列技术委员会邀请我来筹划和编著本书时,我是美国阿拉贡国家实验室放射性废物管理计划办公室的主管。委员会授权我自主选择参与编写本书的机构和作者。

按照我的观点,本书涉及的多个主题应该由同样多的专家来编写。因此,我选择了我所知道的、在这些技术领域享有盛名的专家作为本书的作者,而不是独自完成本书。

本书涉及的机构相当明确,文中按低、中放废物浅地表处置活动的时间次序分别介绍。

相对来说,选择作者的过程也不复杂。首要目标是利用作者的集体责任感和丰富经验反映政府部门和私营机构的放射性废物处置活动,同时反映不断发展中的技术和成熟的先进技术。另外一个目标是希望本书内容能够覆盖到全球各方面的成果,这一目标由于时间限制没能够很好地实现。

根据以上目标,预期的作者应该是该领域的著名专家,并为本书中的每一个主题撰写一章。令我十分开心的是,这些我首次邀请的专家欣然接受了邀请,没有任何推托和技术保留。许多时候,作者们还征请多个专家共同编写。毫无疑问,这次由美国阿拉贡国家实验室组织的有关放射性废物管理计划的广泛合作得到了受邀作者们的鼎力相助,也因此得以完成本书。

最终,本书聚集了对以下3个方面运作具有深度研究的多位作者:①两个具有最成功的低放废物处置记录的美国商业处置机构;②管理近地表放射性废物处置活动的州和联邦机构;③评价和选择了最先进的放射性废物处置技术。

J. Howard Kittel

美国阿拉贡国家实验室

1989

译者序

根据我国《核电中长期发展规划(2005—2020年)》白皮书,在核电项目建设的同时,应同步建设低、中放射性废物处置场,以适应核电发展不断增加的低、中放射性废物处理的需要。未来我国将和其他核国家一样,面临着处理核废料的巨大挑战,需要立即筹划和建设必要的低、中放核废料处置设施。目前欧美发达国家成功运行了多个低、中放废物处置场,并出版了许多低、中放废物处置技术专著,而我国正处于大力发展核电的时期,低、中放核废料处置场的选址、开发和建设起步较晚,目前仅建成两座分别位于甘肃玉门和广东北龙的低、中放废物处置场,可供借鉴的相关经验技术和同类书籍较少。译者目前负责国家标准《低、中水平放射性废物处置场岩土工程勘察规范》的编写工作,深感国内相关资料较少,在与美国低、中放废物处置领域的专家交流后,组织翻译了此书,旨在引荐“二战”以来美国在低、中放废物处置场上取得的重要技术和成功经验,为我国低、中放核废料处置场选址、开发和建设的核工业、核电、核技术应用与环保部门相关科技人员和管理人员提供借鉴参考。

本书是美国《放射性废物管理手册》系列丛书中的一卷,由美国阿拉贡国家实验室(Argonne National Laboratory)放射性废物管理署的总管 J. Howard Kittel 编著,于 1989 年由 Harwood 学术出版社出版。本书具有较好的参考价值,J. Howard Kittel 不仅亲自编写了前 3 章,同时还组织了美国低、中放废物处置领域的一流公司和专家们来共同编写了后面 9 章。其中,第 4 章由美国伊利诺斯州地质调查局水文地质和地球物理部(Illinois State Geological Survey)的地质学家 Keros Cartwright 编写,第 5 章由 1952 年就开始提供放射性废物处置服务的美国生态公司(US Ecology)副总裁 Ronald K. Gaynor 编写,第 6 章由美国低放射性废物处置注册商业公司——美国核子化学系统有限公司(Chem-Nuclear systems, L. L. C.)的 William B. House 和 David G. Ebenhack 编写,第 7 章和第 8 章由美国阿拉贡国家实验室的 L. E. Trevorrow、J. P. Schubert 和 Norbert W. Golchert 编写,第 9 章由美国能源部下属最大的科学和能源研究实验室——橡树岭国

家实验室(Oak Ridge National Laboratory)环境科学部的 Brian P. Spalding 编写,第 10 章由罗杰斯联合工程公司(Rogers and Associates Engineering Corporation)的 Vern C. Rogers 编写,第 11 章由美国阿拉贡国家实验室能源与环境系统部的 Thomas L. Gilbert 和 Natalia K. Meshkov 编写,第 12 章由美国阿拉贡国家实验室的 Philip F. Gustafson 编写。本书的特点是广泛全面地介绍了美国在 20 世纪 80 年代取得的各种应用于低、中放废物近地表陆地处置技术和管理经验,其着重介绍了以下方面:产生放射性废物的各种活动,放射性废物主要类型的数量和特性,放射性废物的处理、搬运、整备、贮存、运输和处置技术,废物处置设施选址以及围绕放射性废物管理的相关问题。虽然本书出版时间较早,但对于在低、中放废物处置领域正处于起步阶段的中国,其理念和经验并未过时,是一部很有用的技术参考书。

参与本书各章翻译的译者分别为:程小久(前言、第 1 章、第 2 章、附录),汪华安(第 3 章、第 4 章),郑文棠(第 5 章、第 6 章),丁金伟(第 7 章、第 8 章),焦春茂(第 9 章、第 10 章),葛军辉(第 11 章、第 12 章)。附录摘录了放射性废物处置的相关术语,各章后的参考文献录用均尊重原文。书中图片及部分文字由袁芙蓉、李学山和黄莉慧整理编辑。在此对所有参加翻译和编辑的同志表示衷心感谢。

翻译时,译者对原书中的个别不妥之处作了订正,并加注说明,以资读者鉴别。由于译者水平有限,书中不妥和谬误之处恳请读者指正。

程小久

广东省电力设计研究院

2009 年 12 月 30 日

前 言

这本书是《放射性废物管理手册》系列丛书中的一卷,由 Harwood 学术出版社于 1989 年出版。该手册广泛全面地介绍了当前各种应用于放射性废物的处置和管理技术。

该手册着重介绍以下几个方面:产生放射性废物的各种活动,放射性废物主要类型的数量和特性,放射性废物的处理、贮存、运输和处置技术,废物处置设施选址以及围绕放射性废物管理的相关问题。

本书旨在提供具有相对较低放射性水平(被命名为低放或中放废物)的放射性废物的近地表陆地处置技术。放射性废物处置前的准备和包装在手册系列丛书的其他卷册中介绍。同样,另外两种主要的处置技术——深部地质处置和深海处置,也在该手册系列丛书的其他卷册中提及。

本书的读者对象主要来自 3 个方面:①对开发新的低放或中放废物处置设施负责的政府工作人员;②对放射性废物近地表处置设施的选址、开发或运行具有潜在兴趣的工业企业;③关注放射性废物近地表处置技术和废物情况的社会大众。

本书各章节均由在该领域内具有丰富经验和深厚专业知识的专家撰写。由于这些作者同时准备了他们的成果,可能在某些技术方面他们会不谋而合的同时阐述,比如处置场的运行和环境监测。对于读者,这种好处显而易见,在同一主题上,它将给读者提供多个方面的观点和处理方法。

我们同样可以注意到,尽管书中许多章节主要论述了浅埋处置,但是也涉及了多项关于近地表处置技术的其他主题,如场址征地、场址开发、环境监测等。

本书分为 12 章和附录,各章节内容分别如下:

第 1 章简要介绍了放射性废物处置场规划和设计阶段应该达到的性能目标,在回顾了近地表陆地处置的技术经验后,注意到一些近地表陆地填埋活动并不是一种完全保险的处置方式,因此许多国家鼓励采用工程结构或深部岩层的处置技术。

第 2 章综述了近地表处置的放射性废物类型。归纳了放射性废物的来源和总量,并讨论了不同放射性废物特性对处置方法选择的影响。

第 3 章列举了近地表处置设施场址的筛选和选址流程。通过介绍当前应用

在处置场选址的流程案例,讨论了前期工作和公众接受度。

第4章介绍了满足候选场址特性的选址流程,强调了获得场址工程地质和水文地质可靠数据的重要性。对符合要求的场址选址方法也在本章中进行了讨论。

第5章介绍了开发拟选处置场所需要的计划和设计工作。对处置场征地、处置场进驻、处置场布置、地表水管理、附属建筑物设计、施工管理和资本费用都进行了论述。

第6章着重阐述处置场的具体实施步骤。重点讨论放射性废物的接收和检查、处置、设施关闭、处置场稳定性研究和安全监测、职员培训、场址安全、应急响应预案和质量保证。

第7章与前几章介绍近地表陆地处置有所不同,着重强调了废物的封闭措施。同时描述了高封闭性处置设施的基本设计概念。许多方案已经得到应用,对地上坟堆式和地下壕沟式设计方案都进行了讨论。

第8章主要关注处置场中有效监测放射性活动的相关重要内容,保护一般民众、操作人员以及处置场环境的安全取决于有效的放射性监测程序。本章对程序目标、设计、取样和检测技术,以及在处置场运行之前、之中和之后的监测程序都进行了介绍。

第9章介绍了处置场关闭之后,当发生放射性核素迁移时,最小化迁移数量的补救措施。

第10章主要介绍了两种可评价废物处置技术替代方案的分析手段,这两种方法是多属性效用评价和效益成本风险分析。案例包括两种方法的应用,通常情况下可作为选择首选处置场技术的评估工具。

第11章介绍了多种处置技术方案的严格挑选步骤,包括性能目标、监管部门和废物接收法规。本章讨论了获取可供选择的每个处置技术成本风险评估流程,因此方案的选择可以采用数学模型来评价。

第12章介绍了近地表放射性废物处置相关的、有组织的控制或非技术性活动,这些引用的信息和背景知识可应用于必须建立处置设施,但处置设施存在公众理解和接受的困难的情况下。

附录部分罗列了本书用到的中英文术语。

J. Howard Kittel
美国阿拉贡国家实验室

致 谢

J. Howard Kittel

Consultant

456 South Julian Street

Naperville, IL 60540

Keros Cartwright

Principal Geologist

Illinois State Geological Survey

615 East Peabody Drive

Champaign, IL 61820

Ronald K. Gaynor

Senior Vice President

US Ecology, Inc.

1600 Dove Street, Suite 408

Newport Beach, CA 92660

William B. House

Director, Licensing,

and

David B. Ebenhack

Vice President, Regulatory

Affairs

Chem - Nuclear Systems, Inc.

220 Stoneridge Drive

Columbia, SC 29210

Laverne E. Trevorrow

Chemical Technology Division

Argonne National Laboratory

Argonne National Laboratory

9700 South Cass Avenue

Argonne, IL 60439

Norbert W. Golchert

Occupational Health and Safety

Division

Argonne National Laboratory

9700 South Cass Avenue

Argonne, IL 60439

Brian P. Spalding

Environmental Sciences

Division

Oak Ridge National Laboratory

P.O. Box X

Oak Ridge, TN 37831

Vern C. Rogers

President

Rogers&Associates

Engineering Corporation

P.O. Box 330

Salt Lake City, UT 84110

Thomas L. Gilbert

Consultant

11919 Ford Road

Palos Park, IL 60464

and

9700 South Cass Avenue
Argonne, IL 60439
and
Jeffrey P. Schubert
Biological, Environmental, and
Medical Research Division

Philip F. Gustafson
Office of the Director
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue
Argonne, IL 60439

Natalia K. Meshkov
Energy and Environmental
Systems Division
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue
Argonne, IL 60439

Series Editors:
D. William Tedder
School of Chemical
Engineering
Georgia Institute of Technology
Atlanta, GA 30332-0100

Allison M. Platt
Battelle Pacific Northwest
Laboratories
P. O. Box 999
Richland, WA 99352

目 录

第 1 章 导言与背景	(1)
1.1 处置系统	(2)
1.2 性能目标	(2)
1.3 现行实践和趋势总结	(3)
1.3.1 浅埋	(3)
1.3.2 工程结构	(3)
1.3.3 岩石洞穴和废弃矿井	(4)
1.3.4 液体废物	(4)
第 2 章 交付近地表处置的放射性废物	(6)
2.1 低放废物	(6)
2.1.1 核反应堆废物	(7)
2.1.2 机构废物	(8)
2.1.3 工业废物	(8)
2.1.4 政府设施产生的废物	(9)
2.1.5 来自退役装置的废物	(10)
2.2 中放废物	(12)
2.2.1 来自退役装置的废物	(12)
2.2.2 乏燃料处理产生的废物	(12)
2.3 矿冶废物	(13)
2.3.1 采矿废物	(13)
2.3.2 选矿废物	(13)
第 3 章 场址选择过程	(16)
3.1 介绍	(16)
3.2 准备工作	(16)
3.2.1 明确责任	(17)
3.2.2 需求评估	(17)
3.3 公众对选址的态度	(17)
3.3.1 社会关注	(18)
3.3.2 补偿和奖励	(18)
3.4 场址筛选	(19)
3.4.1 确定意向区域	(20)
3.4.2 选择候选场址	(20)
3.4.3 候选场址特性	(21)

3.5 选址过程案例	(21)
3.5.1 巴西	(21)
3.5.2 加拿大	(21)
3.5.3 法国	(22)
3.5.4 美国	(22)
第4章 场址特性	(31)
4.1 前言	(31)
4.2 地质	(31)
4.2.1 概述	(31)
4.2.2 自然地理	(31)
4.2.3 土层	(33)
4.2.4 地质特征	(35)
4.2.5 同质性和各向同性	(36)
4.2.6 地形稳定	(36)
4.3 地下水	(39)
4.3.1 概述	(39)
4.3.2 包气带	(39)
4.3.3 含水层和隔透水层	(40)
4.3.4 地下水流动系统	(41)
4.3.5 流动和传输特征	(42)
4.4 地表水	(43)
4.4.1 概述	(43)
4.4.2 洪涝危险区	(43)
4.4.3 邻近地表水体	(44)
4.5 其他场址特征	(44)
4.5.1 地震风险	(44)
4.5.2 矿产资源	(45)
4.5.3 采矿区	(45)
第5章 处置场开发	(49)
5.1 处置场征地	(49)
5.2 处置场边界	(50)
5.2.1 处置单元设计	(51)
5.2.2 缓冲区	(54)
5.2.3 专用通道	(56)
5.2.4 建设活动	(56)
5.2.5 地表排水	(56)
5.3 地表水管理	(56)
5.3.1 处置场选址	(56)
5.3.2 地形调整	(57)

5.3.3 临时排水设施	(57)
5.3.4 壕沟覆盖层	(58)
5.4 处置场布局	(58)
5.4.1 处置场运营	(58)
5.4.2 设施	(59)
5.5 成本	(62)
5.5.1 直接资本费用	(62)
5.5.2 非直接商业成本	(63)
第6章 处置场运营	(66)
6.1 放射性废物的接收和检查	(66)
6.1.1 概述	(66)
6.1.2 符合要求的运货单和执照	(68)
6.1.3 放射性调查	(68)
6.1.4 不合格事项的处理	(68)
6.1.5 二次放射性废物流的去污和处置	(71)
6.2 放射性废物处置	(71)
6.2.1 美国联邦法规 10 CFR 61 要求	(71)
6.2.2 处置场场区评估	(72)
6.2.3 运输装卸	(72)
6.2.4 容器安置	(73)
6.2.5 辐射防护	(74)
6.3 处置壕沟关闭	(76)
6.3.1 处置壕沟回填	(76)
6.3.2 处置壕沟封盖	(76)
6.3.3 永久标记	(77)
6.4 处置场维护和稳定	(77)
6.4.1 处置壕沟维护	(77)
6.4.2 地表水管理	(78)
6.4.3 处置场关闭活动	(78)
6.5 处置场监测程序	(78)
6.5.1 操作监测	(78)
6.5.2 环境监测程序	(79)
6.6 职工培训和任职资格	(81)
6.6.1 基本培训程序	(81)
6.6.2 安全训练程序	(82)
6.6.3 特殊技能培训	(82)
6.6.4 身体健康条件	(83)
6.7 记录管理	(84)
6.7.1 放射性废物记录	(84)
6.7.2 职工培训记录	(85)

6.7.3	职工辐射剂量检测记录	(85)
6.7.4	处置场监测记录	(85)
6.7.5	处置壕沟合格证明和施工记录	(85)
6.7.6	处置场图纸和稳定记录	(85)
6.8	处置场安全	(86)
6.9	紧急反应计划	(86)
6.10	质量控制	(87)
第7章	高封闭性处置	(89)
7.1	引言	(89)
7.2	放射性废物地表封闭技术	(89)
7.2.1	覆土窖仓处置场	(90)
7.2.2	地表混凝土结构处置场	(93)
7.3	地下封闭单元	(98)
7.3.1	深壕沟处置场	(98)
7.3.2	竖井处置场	(100)
7.3.3	地下混凝土结构处置场	(105)
7.3.4	地下矿井处置场	(111)
7.3.5	岩石洞穴处置场	(114)
7.3.6	高整体容器	(116)
7.3.7	水力压裂	(118)
7.4	总结	(121)
第8章	环境监测	(125)
8.1	环境监测项目设计	(125)
8.1.1	环境监测的目标	(125)
8.1.2	监测项目设计	(125)
8.1.3	路径分析	(126)
8.1.4	剂量测定	(127)
8.1.5	标准	(128)
8.2	监测系统的设计	(128)
8.2.1	空气	(129)
8.2.2	地表水	(129)
8.2.3	壕沟渗透的污水	(129)
8.2.4	非饱和层或者包气带	(129)
8.2.5	饱和带	(130)
8.2.6	地表土	(130)
8.2.7	植物和动物	(130)
8.2.8	直接的辐射	(131)
8.3	监测程序	(131)
8.3.1	运行前的监测	(131)

8.3.2 运行期间的监测	(133)
8.3.3 运行期后的监测	(134)
8.4 取样和检测技术	(136)
8.4.1 取样	(136)
8.4.2 样品分析	(137)
8.4.3 非放射性污染物的分析	(138)
8.4.4 数据整理	(138)
8.4.5 质量保证	(138)
8.5 监测项目成本	(139)
第9章 补救措施	(143)
9.1 引言	(143)
9.2 处置场地表水及侵蚀管理	(145)
9.3 地下水与埋置壕沟中的水的管理	(147)
9.4 壕沟覆盖层渗透管理	(148)
9.5 壕沟沉陷管理	(151)
9.6 植物和动物侵入管理	(154)
9.7 处置场物理化学环境管理	(156)
9.8 其他补救措施	(157)
9.9 总结	(157)
第10章 低放废物处置设施实用评价	(162)
10.1 引言	(162)
10.2 多属性效用评价的一般说明	(163)
10.2.1 效用评价实例	(163)
10.2.2 废物处置技术的属性	(164)
10.3 处置技术选择实例	(166)
10.3.1 在德克萨斯州的应用	(166)
10.3.2 在美国中西部州际低放废物处置联合体的应用	(170)
10.3.3 在美国东南部州际低放废物处置联合体的应用	(173)
10.4 一般的应用	(174)
10.4.1 美国联邦核能管制委员会的应用	(174)
10.4.2 美国能源部的应用	(175)
10.5 评估处置工艺的效益成本风险(BCR)分析	(176)
10.6 总结	(177)
第11章 处置方案比选	(179)
11.1 简介	(179)
11.2 规划序列	(180)
11.2.1 筛选	(181)
11.2.2 排序	(181)
11.2.3 适宜性分析	(181)

11.2.4 工程规范与操作说明制定	(182)
11.3 筛选与排序方法	(182)
11.3.1 目标分析	(182)
11.3.2 属性分析	(185)
11.4 废物可接受性分析	(186)
11.4.1 限制因子	(187)
11.4.2 废物特征	(188)
11.4.3 废物可接受性准则	(190)
11.4.4 活动性/时距曲线	(192)
11.5 基于风险分析的废物分类系统	(197)
11.6 放射性损害的得出	(198)
11.6.1 路径分析	(199)
11.6.2 集体剂量投射	(204)
11.7 损害与费用总计	(206)
11.7.1 放射性损害总计	(206)
11.7.2 放射性与非放射性损害总计	(206)
11.7.3 成本/损害权衡因子	(207)
11.7.4 演示及说明	(208)
11.8 附件:用于其他路径分析的等价量	(209)
第12章 公共机构对放射性废物近地表处置的政策	(216)
12.1 简介	(216)
12.2 1980 低放废物政策法案及 1985 修正法案	(216)
12.2.1 1986 年以前获得处置场许可的办法	(217)
12.2.2 1986 年之后处置场的强制措施:对 1980 法案的修正	(217)
12.3 区域契约	(219)
12.4 各个州放射性废物的处理方法	(222)
12.5 普遍问题	(222)
12.5.1 公众介入	(223)
12.5.2 管理计划	(223)
12.5.3 经济可行性	(223)
12.5.4 场址选择标准	(224)
12.5.5 建立处置场的激励机制	(224)
12.5.6 处置技术标准	(224)
12.5.7 场址运营商的选择	(225)
12.5.8 场地所有权	(225)
12.6 许可证申请和其他的法律责任	(225)
12.7 场址关闭、长期所有权和财政职责	(225)
12.8 未解决的问题	(226)
12.8.1 混合废物	(226)
12.8.2 无主低放废物	(226)

12.8.3 退役的低放废物.....	(227)
12.8.4 现场存放.....	(227)
12.9 目前区域契约同盟存在的问题.....	(227)
12.10 除美国外其他国家低放废物处理的机构管理方式	(227)
附录 放射性废物处置术语	(228)