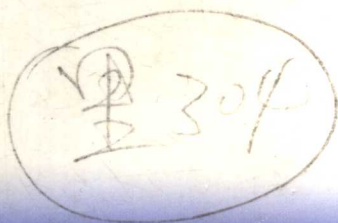


核素在非饱和黄土中迁移研究

李书绅 王志明等 著



原子能出版社

核素在非饱和黄土中迁移研究

李书绅	王志明	郭择德	李祯堂	著
赵英杰	王金生	李明香	倪世伟	
金月如	周洪贵	独仲德	顾志杰	
谢建勋				

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

核素在非饱和黄土中迁移研究 / 李书绅等著. —北京:
原子能出版社, 2003. 1

ISBN 7-5022-2701-6

I. 核… II. 李… III. 黄土-放射性核素迁移-研究
IV. R144

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 104265 号

内 容 简 介

本书主要介绍了放射性核素 ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 在非饱和黄土中迁移的野外试验、实验室模拟实验、分配系数测定和同步开展的非饱和水分运移规律现场观测的研究方法和结果, 非平衡吸附模式与计算机程序开发、验证和应用。还介绍了实验场址区域环境特征调查和工程屏障材料改性研究的方法和结果, 以及开展中低放废物近地表处置安全评价方法研究总体方案设计和实验中考虑的一些主要问题, 实验中发现的一些新现象和对某些问题的初步讨论。

本书可供从事放射性废物管理和辐射环境评价人员、高等学校教师、学生及有关审管人员参考使用, 也可供某些非核专业工作者、环保工作者和关心环保工作的人员参阅。

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 杨树录

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

保定市印刷厂印刷 新华书店经销

开本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 11.25 字数: 313 千字

2003 年 1 月北京第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1 000

定价: 45.00 元

前 言

本书主要资料来源是中国辐射防护研究院与日本原子力研究所合作(1988.1—1993.1)开展的“低水平放射性废物近地表处置安全评价方法学研究”成果。研究内容由八部分组成:(1)试验场地区域环境特征调查;(2)试验场区土壤和地下水水质分析;(3)工程屏障材料性能研究;(4)有关参数实验分析测定;(5)核素在包气带中迁移野外试验研究;(6)与核素迁移野外试验同步开展的包气带水分运移规律研究;(7)水分与核素迁移实验室模拟研究;(8)评价模式与计算机程序开发应用研究。本研究工作的重点是核素迁移野外试验。20世纪七八十年代以来,美、苏、加、日、英等国虽然在低中放废物近地表处置的设计与标准、天然屏障与人工屏障性能、管理法制化与处置安全评价方法等方面做过不少研究工作,也开展了一些实验室模拟实验与核素迁移野外试验(包括有的国家利用矿井(含旧废矿井)观测研究核素迁移规律)。但已开发的核素迁移模式大多缺乏一定尺度的野外试验数据验证。核素在地层中迁移行为受尺度和自然环境因素影响是比较明显的。由于时间和条件限制,本合作研究对源项(废物水泥固化体、工程屏障材料性能等)研究不够充分,没有开展核素在含水层迁移的野外试验和实验室模拟实验,因此本书没有以合作研究项目名称为名,而以核素在非饱和黄土中迁移研究为名。

全书共分八章。第1章在简要叙述国内外前人开展工作的基础上,介绍了本研究工作主要内容,整体研究方案设计考虑的一些主要问题,以及所取得的主要科研成果。第2章野外试验场环境特征,除区域环境特征外,重点介绍试验场气象特征与污染气象调

查结果,非饱和黄土的物质组成及理化性质和试验场区域浅层地下水化学特征。第3章非饱和带土壤水分运移特征,主要介绍了黄土裂隙对非饱和流的影响试验过程与结果,气象参数测量及土壤水蒸发量计算方法和结果,土壤水动力学参数测定和水分运移规律现场研究方法和结果。第4章介绍了为研究包气带黄土介质对核素 ^{60}Co , ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的吸附分配系数 K_d 和延迟系数 R_d 所进行的实验室静态和动态实验,并研究了土壤、溶液接触时间、浓度、pH值和温度值对 K_d 的影响。第5章介绍了核素迁移模拟实验装置和自动测量方法的研究与开发,人工降雨装置的开发及核素迁移模拟实验过程与结果。第6章详细介绍了核素迁移野外试验的目的、内容、条件、过程和结果,分析指出了核素在非饱和带迁移的一些特征。第7章介绍了孔隙介质的特征、核素在孔隙介质中迁移机制、迁移模型的类型和选择、非平衡吸附模型的开发、验证和对野外试验模拟情况。第8章在前7章的基础上,给出了一些结论性意见,进一步讨论了试验中发现的问题,对今后开展深入研究提出了建议。

本书各章主要撰写人员如下:第1章,李书绅;第2章,独仲德、顾志杰、谢建勋;第3章,李明香、周洪贵、郭择德;第4章,李祯堂;第5章,赵英杰、倪世伟、李书绅;第6章,郭择德、金月如、王志明;第7章,王金生、王志明、顾志杰;第8章,李书绅。全书由李书绅、王志明统稿。为本书出版,李新邦、朱久法、彭影、黄庆春做了大量具体工作。本书由潘自强院士主审,参加各章审查的(按章的顺序)有:陈竹舟、叶敏坤、李宽良、陈明俊、李学群、陈式、胡逢全、毛焕章、张永兴、胡遵素。李德平院士对合作研究和本书撰写给予了很多具体指导。还有李盛芳研究员是研究项目总负责人之一,虽现已退休,但在合作研究全过程中做了大量的研究、组织工作。在此,作者对两位院士及以上各位专家、对中国辐射防护研究院各级领导及有关人员表示衷心感谢。

本书可供从事放射性废物治理、核安全、核环境保护与评价人

员、高校有关专业师生、土壤水分研究人员等参考。也可供某些非核专业人员、环保工作者以及关心环保工作人员参阅。

谨以此书向中国辐射防护研究院 40 周年院庆献礼。

作 者

2002 年 4 月



李书绅



王志明



郭择德



李禎堂



赵英杰



王金生



李明香



倪世伟



金月如



周洪贵



独仲德



顾志杰



谢建勋

■ 李书绅，男，研究员，享受国务院颁发的政府特殊津贴，部级中青年有突出贡献专家，山西省优秀专家，山西省劳动模范。1937年6月生于辽宁省盘山县，1963年12月毕业于哈尔滨工业大学动力系实验核物理专业。多年从事放射性物质和一般污染物迁移规律和环境影响评价研究。获国家级科技进步三等奖2项，部级一等奖3项，部级二等奖4项，部级三等奖3项。

■ 王志明，男，研究员，享受国务院颁发的政府特殊津贴，部级中青年有突出贡献专家。1939年12月出生于河北省任县，1964年7月毕业于清华大学辐射防护专业。多年来一直从事污染物在地面水和地下水中迁移研究、环境影响评价以及中低放废物处置评价等工作。获国家级科技进步三等奖2项，部级一等奖3项，部级三等奖5项。

■ 郭择德,男,研究员,享受国务院颁发的政府特殊津贴。1941年出生,1965年毕业于中国科学技术大学近代物理系原子核实验物理专业,现从事核环境保护和放射性废物处置研究。获国家级科技进步三等奖1项,省部级科技进步奖8项。

■ 李楨堂,男,研究员,享受国务院颁发的政府特殊津贴。1938年出生,1963年毕业于中南工学院化工专业。多年从事核废物处理处置和核素迁移研究工作。获国家级科技进步三等奖1项,部级科技进步奖8项。

■ 赵英杰,男,研究员,享受国务院颁发的政府特殊津贴。1940年7月出生,1964年毕业于清华大学给水排水专业。主要研究领域为污染物在环境中的迁移规律。获国家级科技进步三等奖1项,部级科技进步奖7项。

■ 王金生,男,现在北京师范大学工作,工学博士,教授,博士生导师,1957年3月出生。长期从事水环境中污染物运移试验与数值模拟研究。获国家级科技进步三等奖1项,省部级3项。

■ 李明香,女,研究员,1944年出生,1968年毕业于北京农业机械学院农田水利专业。多年来主要从事环境评价和非饱和土壤水的研究。获国家级科技进步三等奖1项,部级科技进步一等奖2项,二等奖2项。

■ 倪世伟,男,研究员,1939年出生,1965年毕业于兰州大学原子核物理专业。主要从事于水环境科学实验研究。获国家级科技进步三等奖1项,部级一等奖1项,部级二等奖1项,部级三等奖1项。

■ 金月如,男,研究员,享受国务院颁发的政府特殊津贴。1940年出生,1964年毕业于西安交通大学工程物理系,一直从事辐射防护的研究工作。为政协山西省第八届委员会委员、政协太原市第八届、第九届委员会常务委员。获国家级科技进步三等奖1项,省部级科技进步奖4项。

■ 周洪贵,女,研究员,1965年毕业于电子科技大学。长期从事核环境监测与评价以及建设工程环境影响预评价。获国家科委科技进步奖2项,省部级科技进步一等奖1项,二等奖2项,三等奖6项。

■ 独仲德,男,副研究员,1965年出生,1985年毕业于华东地质学院水文地质专业,自1985年起从事核废物处置研究和环境影响评价工作。获国家级科技进步三等奖1项,省部级奖2项。

■ 顾志杰,男,副研究员,1965年出生,1987年毕业于国防科技大学,主要从事国防预研以及环境影响评价等项目。获国家级科技进步三等奖1项,省部级奖2项。

■ 谢建勋,男,教授级高级工程师,1937年10月出生,1960年毕业于太原工学院,从事三废治理工作,获部级科技进步二等奖1项,三等奖4项。



中国核工业部副部长陈肇博（前排中）、中国辐射防护研究院常务副院长李书绅（前排右）与日本原子力研究所东海所副所长朝冈卓见（前排左）出席中国辐射防护研究院（以下简称中辐院）与日本原子力研究所（以下简称日原研）合作研究项目“低水平放射废物浅地层处置安全评价方法学研究”签字仪式。核工业部外事局彭兆生局长（中排右四）、刘雪红副局长（中排右三）和孙廷奎处长（中排左二），安防局毛焕章副总工（中排右二）及张雪莹（中排右一），中辐院项目负责人王志明（后排右二）、李祯堂（后排右一），日原研神山秀雄（中排左三）和吉田昌文（中排左一）出席了签字仪式。



1988年2月在中辐院召开第一次合作研究项目指导委员会，院长李德平院士会见与会代表。前排左起：毛焕章，荣努，孙廷奎，和达嘉树，李德平，平野见明，神山秀雄，李书绅，池下文豪。



项目顾问组举行第三次会议。前排在座的有胡遵素院长（左一），潘自强院士（左三），李德平院士（右二），田开铭教授（右一）等。



日本原子力研究所东海所所长朝冈卓见、环境安全部部长和达嘉树，中辐院项目负责人李书绅、王志明、郭择德、李祯堂、赵英杰、李盛芳，以及马吉增等在试验现场检查工作。



陈竹舟局长、冷瑞平副总工及部分项目顾问秦苏云研究员、马明燮研究员、陈式研究员现场指导工作。图前为风速仪、净辐射计、通风防辐射湿度计，图后为超声波垂直风速仪。



在三个试验坑(A, B, C)进行了二年的天然条件下包气带中核素迁移试验, 图为在A坑中铺埋示踪源层。



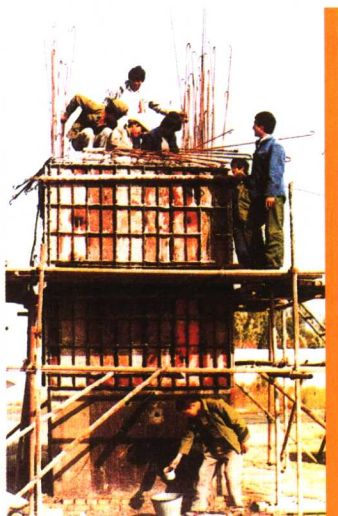
在三个试验坑 (D, E, F) 进行了二年的人工喷淋条件下包气带中核素迁移试验，图为喷淋器喷淋均匀性实验。



定期从试验坑 (A, B, D, E) 取土芯柱。图为切割土芯柱。从断面可见铺埋示踪源层时铺撒的石英砂，用作位置标记。切割后在实验室测核素浓度。



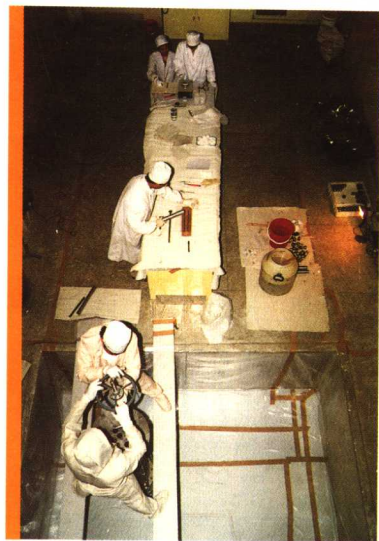
在C, F试验坑中铺埋示踪源层。侧面竖筒是内径为240 mm的 γ 谱仪探头测孔，从中定期直接测量核素分布。



1. C, F 坑中核素分布直接测量装置。

2. 为研究试验现场包气带土壤水分运移规律, 建造了9 m深土壤水基质势观测井 (内装93支负压计) 和两个28 m深中子水分仪测孔。图为正在用沉井法建造基质势观测井。

3. 大型包气带中核素迁移模拟实验。左为可旋转试验土柱, 右为可升降的柱外 γ 谱仪探头装置。



大型包气带中核素迁移模拟实验在进行二年后，解体取样，测量核素浓度分布。图中由近至远为钻取小土芯柱、切割、土样称重封装。



图为野外试验结束后回挖每个试验坑污染土壤。图中钢管是每次取土芯柱后压入的回填管，从图中还可见到埋置的负压计。回收的污染土壤运回中辐院实验室作植物栽培实验。



山西省技术监督小组负责对野外核素迁移试验整个过程的技术监督和环境质量检查，图为监督小组进行定期的环境监测。

目 录

前言

第 1 章 绪论 (1)

参考文献 (11)

第 2 章 野外试验场环境特征 (13)

2.1 试验场区域自然环境..... (14)

2.1.1 自然地理特征..... (14)

2.1.2 试验场气象特征..... (14)

2.2 非饱和水带地层岩土的物质组成及性质..... (19)

2.2.1 矿物及化学组成..... (19)

2.2.2 结构特征..... (21)

2.2.3 水分储容性质..... (27)

2.2.4 物理、化学性质..... (30)

2.2.5 电化学性质..... (31)

2.3 试验场的地质与水文地质特征..... (32)

2.3.1 区域地质..... (32)

2.3.2 区域水文地质..... (33)

2.3.3 试验场的地质和水文地质特征..... (36)

参考文献 (41)

附录 (42)

第 3 章 黄土非饱和带水分运移研究 (48)

3.1 概述..... (48)

3.2 土壤水分运动参数的测定..... (50)

3.2.1 土壤水特征曲线的测定及其应用..... (50)

3.2.2 非饱和渗透系数的测定..... (57)

3.3 土壤水的蒸发..... (65)

3.3.1	气象参数测量	(65)
3.3.2	土壤水蒸发量计算	(66)
3.4	水分运移现场观测与研究	(72)
3.4.1	水分运移观测	(72)
3.4.2	水分分布与运移特征	(74)
3.5	黄土裂隙对非饱和流动的影响	(84)
3.5.1	水分入渗试验	(85)
3.5.2	黄土裂隙对水流的影响分析	(86)
3.6	结论	(89)
3.7	一些初步认识	(90)
	参考文献	(92)
第4章	核素在黄土中吸附和迁移的实验室研究	(95)
4.1	引言	(95)
4.2	核素迁移的反应机理	(98)
4.2.1	离子交换吸附	(98)
4.2.2	表面配合	(99)
4.2.3	分子吸附	(99)
4.2.4	机械过滤	(99)
4.2.5	沉淀	(100)
4.2.6	矿化	(100)
4.3	核素迁移的影响因素	(100)
4.3.1	介质成分及粒度的影响	(100)
4.3.2	地下水成分, pH, Eh 的影响	(101)
4.3.3	核素性质及浓度的影响	(102)
4.3.4	液固比的影响	(103)
4.3.5	有机质、胶体的影响	(103)
4.4	核素在黄土介质上的吸附	(104)
4.4.1	分配系数 K_d 的测定方法	(105)
4.4.2	静态吸附实验	(108)

4.4.3 解吸实验	(110)
4.5 核素在土柱中的迁移	(110)
4.5.1 延迟系数的测定方法	(112)
4.5.2 动态迁移实验	(114)
4.6 结果与讨论	(115)
4.6.1 静态吸附实验结果	(115)
4.6.2 动态迁移实验结果	(121)
4.6.3 静态法与动态法的比较和讨论	(126)
4.6.4 实验室试验结果与现场试验结果的 比较和分析	(128)
4.7 结束语	(129)
参考文献	(130)
第5章 核素迁移模拟实验	(133)
5.1 引言	(133)
5.2 专用实验装置的研制与开发	(134)
5.2.1 非扰动土柱的采样装置	(134)
5.2.2 可旋转式柱管	(135)
5.2.3 人工喷淋模拟降雨器	(137)
5.2.4 土柱内核素分布的在线全方位直接 探测系统	(139)
5.2.5 土柱解体采样装置	(143)
5.3 实验技术与方法	(145)
5.3.1 概述	(145)
5.3.2 原状土柱的采样与安装	(147)
5.3.3 示踪核素选择与源层的制备	(148)
5.3.4 迁移实验技术	(152)
5.3.5 实验土柱中的水流状态	(160)
5.4 实验结果与讨论	(164)
5.4.1 核素迁移的主要实验结果与分析	(164)