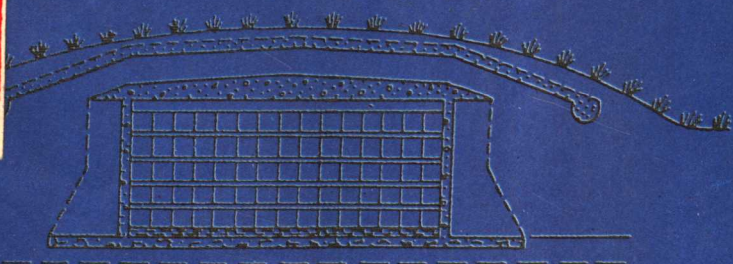


Guideline of Safety Assessment
for Shallow Land Disposal
of Low level Radioactive Wastes

低放废物浅地层处置
安全评价指南

王志明 李书绅 编著



原子能出版社
Atomic Energy Press

低放废物浅地层处置 安全评价指南

Guideline of Safety Assessment for Shallow Land Disposal of Low Level Radioactive Wastes

王志明. 编著
李书绅

原子能出版社
Atomic Energy Press
1993 · 北京

(京)新登字 077 号

内容简介

本书从低水平放射性废物浅地层处置现状出发,系统介绍了安全评价方法、模式的开发、参数的编评、结果的评述以及安全评价报告书编写的格式和内容等有关问题。同时,作为附录,用于浅地层处置安全评价的各类主要模式汇编入本书,并推荐了部分参数值。本书内容充实,叙述简练,为安全评价提供了有益的借鉴,可供从事废物管理、安全评价、环境保护及污染物迁移规律研究的专业人员参考,也可供科技管理和教学部门参考。



低放废物浅地层处置安全评价指南

王志明 编著
李书绅

责任编辑 韩国光

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号)

通讯处:北京市 2108 信箱,100037(邮编)

印 刷 北京原子能出版社印刷厂

经 销 新华书店总店 ^{北京} 发行所发行·新华书店经销
_{科技}

开 本 787×1092mm 1/32 **印张** 5.20 **字数** 120 千字

1994 年 1 月北京第一版

1994 年 1 月北京第一次印刷

印数 1—1000

ISBN 7-5022-1020-2/TL·647

定价:6.80 元

Abstract

This book introduces briefly safety assessment methodology including development of models, collection and review of parameters, evaluation of estimated results, content and format of environment impact report and so on, according to definition of low level radioactive wastes and the present status of shallow land disposal. In addition, the different types of principal models used at present for safety assessment for shallow land disposal is collected in this book as appendixes and values of some parameters were recommended. The book consists of 8 chapters. It is substantial in content and succinct in narration. It can be used for useful reference for persons who engage in waste management, safety assessment, environment protection and research of pollutant migration law as well as for the others who are interested in this field.

目 录

前言

1 概论	(1)
2 低水平放射性废物	(5)
2.1 低水平放射性废物	(5)
2.2 低水平放射性废物的来源	(10)
2.3 废物中核素的组成	(12)
3 浅地层处置	(17)
3.1 概述	(17)
3.2 浅地层埋藏处置的辐射防护	(19)
3.3 浅地层处置低放废物的可接受基准	(22)
3.4 剂量限值	(23)
3.5 浅地层处置方式	(24)
4 浅地层处置安全评价方法学	(32)
4.1 引言	(32)
4.2 评价方法	(32)
4.3 评价步骤	(33)
4.4 景象分析	(36)
4.5 后果分析	(41)
5 模式	(45)
5.1 模式的类型	(45)
5.2 模式的选择	(46)
5.3 模式的开发步骤	(48)
5.4 概念模式的建立	(48)
5.5 模式的衔接	(49)

5.6	模式的核查	(50)
5.7	模式的验证	(51)
6	参数	(54)
6.1	所需要的参数	(54)
6.2	参数的编评	(56)
6.3	灵敏度分析	(57)
7	结果的评述	(59)
7.1	需要提供的资料	(59)
7.2	应讨论的要素	(60)
7.3	不确定度分析	(60)
7.4	结果的评价	(61)
8	安全评价报告	(63)
8.1	报告书的内容和格式	(63)
8.2	对报告书的要求	(66)
8.3	报告书的申报	(66)
附录 A	浅地层处置的源项释放模式	(68)
附录 B	核素在包气层的迁移模式	(87)
附录 C	核素在含水层的迁移模式	(95)
附录 D	核素在地面水的迁移模式	(108)
附录 E	核素在大气中的迁移模式	(122)
附录 F	食物链转移模式	(131)
附录 G	剂量估算模式	(143)

Contents

Foreword

1	General	(1)
2	Low Level Radioactive Wastes	(5)
2.1	Low Level Radioactive Wastes	(5)
2.2	Sources of Low Level Radioactive Wastes	(10)
2.3	Radionuclide Composition in Wastes	(12)
3	Shallow Land Disposal	(17)
3.1	Outline	(17)
3.2	Radiation Protection for Shallow Land	(19)
3.3	Acceptable Criteria for Wastes Disposed in Shallow Land	(22)
3.4	Dose Limits	(23)
3.5	Shallow Land Disposal Options	(24)
4	Methodology of Safety Assessment for Shallow Land Disposal	(32)
4.1	Introduction	(32)
4.2	Assessment Methodology	(32)
4.3	Assessment Procedures	(33)
4.4	Scenario Analysis	(36)
4.5	Consequence Analysis	(41)
5	Models	(45)
5.1	Type of Models	(45)
5.2	Selection of Models	(46)

5.3	Steps of Model Development	(48)
5.4	Establishment of Conceptual Models	(48)
5.5	Joint of Models	(49)
5.6	Verification of Models	(50)
5.7	Validation of Models	(51)
6	Parameters	(54)
6.1	Parameters Needed	(54)
6.2	Collection and Review of Parameters	(56)
6.3	Sensitivity Analysis	(57)
7	Evaluation of Results	(59)
7.1	Information to Be Presented	(59)
7.2	Factors to Be Discussed	(60)
7.3	Uncertainty Analysis	(60)
7.4	Assessment for Results	(61)
8	Safety Assessment Report	(63)
8.1	Content and Format of Report	(63)
8.2	Requirements to Report	(66)
8.3	Application of Report	(66)
Appendix A	Source Term Release Models for Shallow Land Disposal	(68)
Appendix B	Transport Models of Radionuclides in Unsaturated Zone	(87)
Appendix C	Transport Models of Radionuclides in Aquifer	(95)
Appendix D	Transport Models of Radionuclides in Surface Waters	(108)

Appendix E	Transport Models of Radionuclides in Atmosphere	(122)
Appendix F	Transfer Models in Food-Chain	(131)
Appendix G	Dose Estimation Models	(143)

1 概 论

在辐射防护和放射性废物管理领域,“评价”一词已成了一句行话。它的含义有两个,一是估算与特定实践(例如,废物处置)有关的辐射后果;一是将这些结果与某种标准或基准进行比较。因此,评价是分两步进行的。首先,用数学模拟的方法得到剂量或危险的估计值,然后,从辐射防护观点出发,用这些估计值给出该项实践是否可被接受的结论。

废物处置对环境总的影响评价,需要考虑与辐射无关的一些问题,例如处置库运行期间的噪声水平,废物中所含非放射性污染物的环境影响,处置库建造对场址及其周围土地继续使用的影响问题等。而辐射安全评价只涉及废物的放射性特征引起的后果,因此,它仅是环境影响评价的一部分。

浅地层处置是用来处置低水平、短寿命放射性废物的一种方式,在合适的条件下,也可用于中等水平、短寿命放射性废物的处置。这意味着,在没有回取意图的情况下,将放射性废物放置于靠近地面的地下。由于该处置方式的经济性,已为一些国家采用。

放射性废物浅地层处置的根本目的是将它们与人类环境隔离开来,以确保随后返回到环境的放射性核素不会对人产生不适当的照射。需要隔离的程度取决于所考虑的特定废物中放射性核素的含量与性质,而实际的隔离能力却取决于整个处置系统的效能。

尽管适用于浅地层处置的放射性废物只是低、中水平的短寿命废物,但是,由于它与人类环境十分接近,而且它对废物的隔离能力也只限于有限的时期,因此,浅地层处置的安全

性,仍是人们十分关心的一个问题。从某种意义上来说,安全评价也是为了回答人们的这种关心。应该强调的是,浅地层处置的废物必须主要限于含短寿命核素的废物,对于长寿命核素的数量必须严格限制,以使得经过一段时期(例如几百年到一千年)之后,处置场可以无限制地向公众开放。

一个完整的放射性废物处置的辐射安全评价都必须考虑废物处置库存在的三个阶段:废物放置时期的“运行阶段”,处置库关闭后,场址仍需监测和管理的“运行后的行政管理控制阶段”,以及在该场址废弃后的“运行后的不需行政管理阶段”。对于前两个阶段,评价必须考虑场址工作人员和一般的公众成员可能接受到的剂量或危险值;对于最后一个阶段,则只需考虑一般的公众成员。目前已完成的大多数评价都集中在最后一个阶段上。

安全评价可分为两类,即一般性评价和特定场址评价。在废物处置的不同阶段,可以使用不同类型的评价。在一项实践的计划和一般性研究阶段,通常使用的是一般性安全评价;在选址、设计和建造阶段,应使用特定场址的安全评价;而在运行及运行后阶段,则需要使用更为详细的特定场址评价。

对于一般性安全评价,其结果可用于:

- 1)确定用于预测潜在危害以及为进一步研究提供指导的主要不确定因素;
- 2)为确定处置运行后限制时期的长短提供依据;
- 3)利用评价结果推导适用于浅地层处置的废物的种类和活度;
- 4)显示不同工程部件与处置设施合并使用的效果。

对于一个特定处置库,安全评价的目的就是分析处置系统中与安全有关的预期效能,特别是放射性核素从处置库返

回到人类环境的可能性。然后,将分析结果与可接受标准进行比较,以判断该处置系统及预期活动的可接受性。相应的主管部门可以将这些评价结果应用于下述目的:

- 1) 依照有关的可接受标准,确定场址是否合适,处置库是否能够建造、运行、关闭以及封存;
- 2) 估价有关的防护及预防系统或措施是否能起到预期的作用;
- 3) 确定必要的“管理限值”及相应的规范;
- 4) 估价由于处置实践引起的总的辐射影响。

迄今为止,浅地层处置安全评价工作大多集中在一般性安全评价上,针对特定场址的评价为数尚不多,而且在评价中也很少考虑包气层的作用。一方面,过去建造的许多浅地层处置库往往接近含水层,甚或位于含水层之中。另一方面,也因为核素在包气层土壤中的迁移更具复杂性,

为了进行安全评价,各国开发和使用了一些相应的模式和计算机程序。美国环保局(EPA)开发了 PRESTO 和 PRESTO- I 程序^[8,9],用以计算低水平放射性废物(LLW)处置场的水分运移及核素的释放、迁移和对人体的照射。这是为一般性安全评价而开发的,但是,作为实例,已用于巴威尔、比蒂、西谷几个商用低水平放射性废物处置场的安全评价上^[9]。为了独立评审许可证申请书,美国核管会(NRC)也开发了 GEN I 程序,与其它一些程序(如 CREAMS, BLT, VAM2 或 FEMWATER, FEMWASTE)结合,就可完成一个 LLW 处置的完整的安全评价计算^[10]。英国在评价中使用了 BIOS 程序^[11]。日本原子力研究所(JAERI)使用 SAMSON-I-STA^[12]进行一般性安全评价,而日本电力中央研究所(CRIEPI)使用 FORADO 与 CORF, FEGM 及 FERM 程序对青森的 Rokkasho

处置场进行了评价^[13]。韩国已开发了一个简化的计算机程序 CALM^[14]。中国辐射防护研究院(CIRP)新近开发了浅地层处置安全评价的模式和计算机程序 PRESDSA^[15,16],它包括源项释放,核素在包气层、含水层及大气中的迁移,在食物链的转移以及剂量估算 6 个部分。这些模式和程序都是根据本国特点开发的,但是,只要作适当的修改,也可为其它场址应用。

参 考 文 献

- [1]IAEA. IAEA Safety Series No. 53. Vienna, 1981
- [2]IAEA. IAEA Safety Series No. 54. Vienna, 1981
- [3]IAEA. IAEA Safety Series No. 64. Vienna, 1984
- [4]IAEA. IAEA Safety Series No. 68. Vienna, 1985
- [5]IAEA. IAEA Technical Reports Series No. 256. Vienna, 1985
- [6]IAEA. IAEA Technical Reports Series No. 253. Vienna, 1985
- [7]Neil A Chapman, et al. The Geological Disposal of Nuclear Waste, John Wiley & Sons Ltd. New York, 1987
- [8]Craig A Little, et al. ORNL/TM-7943, 1981
- [9]Fields D E, et al. ORNL-5970, 1986
- [10]Kozak M W, et al. NUREG/CR-5453, SAND 89-2509, Vol. 4, 1989
- [11]Lawson G and Smith G M. NRPB-R169, 1984
- [12]Matsuzuru H, et al. Proceedings of the 1989 Joint International Waste Management Conference, Vol. 1, PP. 515~520, 1989
- [13]Kawanishi M, et al. Waste Management'87, Vol. 3, PP. 175~180, 1988
- [14]Han K W and Park H H. Proceedings of the 1989 Joint International Waste Management Conference, Vol. 1, PP. 121~125, 1989
- [15]CIRP and JAERI. Safety Assessment Methodology for Shallow Land Disposal of Low Level Radioactive Wastes, Vol. 4, 1993
- [16]王志明,李书绅. CIRP/0052. ZL/91-003/X84, 1990

2 低水平放射性废物

放射性废物的分类是一个复杂的问题,它不仅涉及废物本身的物理、化学性质,也涉及各国的技术、经济、政治、社会等多方面的问题。从放射性废物的防护、处理及处置目的出发,不同国家采用了不同的分类方法及不同的限值。这些分类方法有很大的差别。特定废物最终采用什么方式处置,并不完全取决于它叫做什么,而是取决于它的特征及国家政策。但是,按照废物特征分类,本身也包含了国家的政策,这既有助于处置方式的选择,也有助于主管当局对废物的管理。因此,废物的分类是非常重要的。

2.1 低水平放射性废物

在不同的国家或国际组织,低水平放射性废物有着不同的内容和含义。

2.1.1 国际原子能机构的规定 由于废物分类涉及到每个国家的政治、经济、技术以及社会等问题,所以,国际上没有统一的限值。为了陆地处置目的,国际原子能机构(IAEA)将放射性废物进行了分类^[6]。这种分类不同于它在1967年的分类方式^[7]。这是一种定性的分类方法。它将低水平放射性废物分成了两类,即Ⅲ类和Ⅴ类(见表2.1)。其中,第Ⅴ类可在浅地层处置,而第Ⅲ类则不能在浅地层处置。

表 2.1 IAEA 关于低水平放射性废物的定义

废物类别	重要特征
Ⅱ. 低水平, 长寿命	低 β/γ 明显的 α 低/中等辐射毒性 微不足道的热输出
V. 低水平, 短寿命	低 β/γ 微不足道的 α 低辐射毒性 微不足道的热输出

2.1.2 中国的规定 根据中国的“放射性废物分类标准”^[8], 将放射性固体废物按半衰期和比活度分成了三类。其中, 低水平放射性固体废物的分类情况列于表 2.2。

表 2.2 中国关于低水平放射性固体废物的定义

半衰期 $T_{1/2}$	放射性比活度 A_m , Bq/kg
$T_{1/2} \leq 60d$	$7.4 \times 10^4 \text{①} < A_m \leq 3.7 \times 10^7$
$60d < T_{1/2} \leq 5a \text{①}$	$7.4 \times 10^4 \text{①} < A_m \leq 3.7 \times 10^6$
$5a < T_{1/2} \leq 30a \text{②}$	$7.4 \times 10^4 \text{①} < A_m \leq 3.7 \times 10^6$
$T_{1/2} > 30a$	$7.4 \times 10^4 \text{①} < A_m \leq 3.7 \times 10^6$

①包括放射性核素 ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.271a$)。

②包括放射性核素 ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30.17a$)。

③对仅含天然 α 辐射体的固体废物, 下限值为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ 。

2.1.3 日本的规定 日本将放射性废物分为两类, 即高水平放射性废物和低水平放射性废物。1986 年 11 月, 日本原

原子力安全委员会放射性废弃物安全规章专业委员会制定了在浅地层可以处置的低水平放射性固体废物比活度的上限值(见表 2.3)^[10]。这些限值主要是针对反应堆产生的浓缩废液、废树脂等的固化物而规定的。对于反应堆退役产生的混凝土废弃物,日本原子力安全委员会放射性废弃物安全基准委员会又于 1992 年 4 月 23 日颁布了两个比活度上限值^[11],以作为对表 2.3 的补充。这两个比活度上限值是针对不能在容器中固定以及能在容器中固定的混凝土废弃物而制定的,其值分别列于表 2.4 和表 2.5。

表 2.3 比活度的上限值

核素	¹⁴ C	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	α 核素
比活度, Bq/t	3.7×10^{10}	1.11×10^{13}	1.11×10^{12}	7.4×10^{10}	1.11×10^{12}	1.11×10^9

表 2.4 “不能在容器中固定的放射性混凝土废物”的比活度上限值

核素	³ H	¹⁴ C	⁴⁵ Ca *	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu *	α 核素
比活度, Bq/t	3.0 $\times 10^9$	1.1 $\times 10^8$	1.5 $\times 10^8$	8.1 $\times 10^9$	7.2 $\times 10^9$	4.7 $\times 10^6$	1.0 $\times 10^8$	3.6 $\times 10^8$	1.7 $\times 10^7$

* 适用于混凝土废物中含有活化核素的情况。

表 2.5 “能在容器中固定的放射性混凝土废物”的比活度上限值

核素	¹⁴ C	⁴⁵ Ca *	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	α 核素
比活度, Bq/t	3.7×10^{10}	3.1×10^8	1.11×10^{13}	1.11×10^{12}	7.4×10^{10}	1.11×10^{12}	1.11×10^9

* 同表 2.4 的注释。

2.1.4 美国的规定 在美国,放射性废物被分为高水平 and 低水平两类。正如美国低水平废物政策法规规定的那样,低水

平废物是不属于高水平废物、超铀废物、乏燃料以及副产品材料的那些放射性废物。根据 40 CFR Part 191 的规定^[12],适用于陆地处置的长寿命裂变产物或超铀核素的最大浓度(或比活度)限值列于表 2.6。

在美国,为了近地面处置,将低水平放射性废物分为 A, B, C 三类。为了区分这三类废物,10CFR61 制定了短寿命裂变产物的浓度限值(见表 2.7)^[13]。

根据表 2.6 和表 2.7 的数值,可划分出 A, B, C 三类:

A 类:(1)不含表 2.6 和 2.7 所列核素者;

(2)长寿命核素的浓度低于表 2.6 所列数值的 0.1 倍,而且短寿命核素的浓度不大于表 2.7 第 1 栏所列数值者。

表 2.6 陆地处置长寿命裂变产物或超铀核素的最大浓度或比活度

核 素	GBq/m ³	MBq/kg
¹⁴ C	296.0	
¹⁴ C(在活化金属中)	2960.0	
⁵⁹ Ni(在活化金属中)	8140.0	
⁹⁴ Nb(在活化金属中)	7.4	
⁹⁹ Tc	111.0	
¹²⁹ I	2.96	
TRU(半衰期大于 5a)		3.7
²⁴¹ Pu		129.5
²⁴² Cm		740.0

B 类:长寿命核素的浓度低于表 2.6 所列数值的 0.1 倍,但短寿命核素的浓度介于表 2.7 第 1 栏和第 2 栏