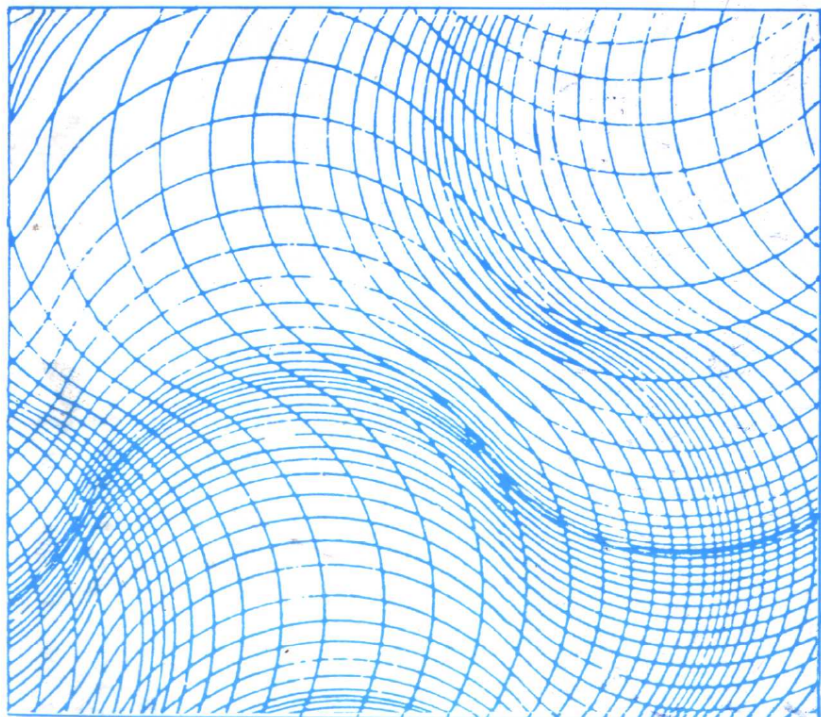




TECHNICAL REPORTS SERIES No. 267



核设施退役 方法学和工艺学

Methodology and Technology of Decommissioning
Nuclear Facilities

原子能出版社

技术报告丛书 No. 267

核设施退役方法学和工艺学

刘 扬 韩 义 译

原子能出版社

图字:01-96-0890 号

图书在版编目(CIP)数据

核设施退役方法学和工艺学/国际原子能机构著;刘扬,韩义译. —
北京:原子能出版社,1996. 12

书名原文:Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear
Facilities

ISBN 7-5022-1561-1

I. 核… I. ①国… ②刘… ③韩… II. 核设施-退役-工艺管
理 N. TL943

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 12199 号

Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities
Technical Reports Series No. 267

© IAEA, 1986

(中译本的出版得到国际原子能机构的许可,
但国际原子能机构声明不对该中译本的出版承担责任)

核设施退役方法学和工艺学

刘扬 韩义 译

© 原子能出版社, 1996

原子能出版社出版 发行

责任编辑:田宁

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

北京地质印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092 mm 1/32 印张 4.3125 字数 100 千字

1996 年 12 月北京第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

印数:1~500

定价:6.00 元

内 容 简 介

本书是核设施退役方法学和工艺学的技术状况的评述,内容涉及:关于退役的国家政策,放射性残存量的估算、验证以及特性,设备、材料和场址的豁免标准,废物管理,去污,拆卸技术,厂房、构筑物 and 材料的长期完整性,退役经费的估算和投资等。另外,本书还阐述了退役的基本阶段、退役安全、退役设施、资料数据库等方面的内容。

本书适用于负责或有志于核设施退役工作的工程技术人员及高等院校学生参考。

在此谨向国际原子能机构表示感谢。

序

由于大量陈旧的核设施正在或即将退出服役,核设施退役和去污就成为国际原子能机构许多成员国极为关注的课题。为了满足国际上对退役工作的日益浓厚的兴趣以及各成员国的需求,IAEA 于最近几年已经加强了该领域的活动,并且将来还要大幅度强化此类活动。运用一套统一的系统方法的广泛计划将得到开发,这套方法包括与核设施退役有关的全部技术、管理、以及安全等步骤。在上述工作中有必要建立一个数据库,以便成员国能在安全时间内和以费用有效方式退役他们的核设施,且 IAEA 能有效地答复各国的资助请求。

1985 年 4 月在奥地利维也纳的机构总部,举行了关于核设施退役方法学和工艺学的技术委员会会议。来自 13 个成员国和一个国际组织的 28 位专家出席了本次会议。与会者讨论并重新起草了关于这一课题的一个预备报告,这个报告首先是由顾问 P. De(加拿大)、W. Diefenbacher(前联邦德国)、T. S. La Guardia(美国)、J. Griffen(英国)以及 IAEA 科学秘书 M. A. Feraday 共同完成的。会议以后,由 IAEA 秘书处修订了该报告,并由出席会议的全体人员共同批准了这一最终报告。

本报告是包括遥控系统技术在内的核设施退役方法学和工艺学的当前状况的评述。它是 IAEA 推广退役计划的一个报告,并有益于未来行动的规划。在本报告中评述的某些方面,诸如来自退役的放射性物质再循环,在以后报告中,将要进一步探讨。

本报告所提供的资料,对于那些负责或有志于核设施退役计划和实施该计划的人士将大有裨益。

目 录

1	引言	(1)
2	范围	(2)
3	退役基本阶段的定义	(3)
3.1	第一阶段退役	(3)
3.2	第二阶段退役	(4)
3.3	第三阶段退役	(4)
4	影响退役选择的考虑	(5)
5	退役方法学和工艺学	(8)
5.1	关于退役的国家政策	(8)
5.2	放射性残存量的估算和验证	(9)
5.2.1	放射性残存量的来源	(10)
5.2.2	残存量数据的应用	(13)
5.2.3	涉及的放射性核素	(14)
5.2.4	放射性残存量的估算	(15)
5.2.5	放射性残存量的验证	(19)
5.2.6	其它危险物质	(20)
5.3	设备、材料和场址的豁免标准	(20)
5.3.1	目前的状况	(21)
5.4	退役废物中放射性残存量的特性	(22)
5.4.1	确定特性的方法	(23)
5.4.2	仪器	(26)
5.4.3	建立废物特性描述和验证程序	(29)
5.4.4	有关的经验	(33)
5.5	废物管理	(37)
5.5.1	废物的来源和类型	(38)
5.5.2	废物体积的估算	(39)

5.5.3	废物处理的要求	(40)
5.5.4	已封装的废物的运输	(44)
5.5.5	废物的处置	(44)
5.6	去污	(45)
5.6.1	选择去污工艺流程	(46)
5.6.2	去污工艺流程	(47)
5.6.3	场址的去污	(49)
5.7	拆卸技术	(50)
5.8	厂房、构筑物和材料的长期完整性	(51)
5.9	退役经费的估算和投资	(52)
5.9.1	退役费用要素	(54)
5.9.2	费用估算导则	(54)
5.9.3	投资方法和途径	(57)
6	退役安全	(60)
7	退役设施	(61)
7.1	减少职业照射的技术	(61)
7.1.1	计划的制定	(62)
7.1.2	遥控工具和技术	(63)
7.1.3	屏蔽技术	(64)
7.2	降低放射废物体积技术	(64)
7.2.1	设计、建造和运行要点	(64)
7.2.2	降低废物产生量	(65)
8	资料数据库	(66)
9	结论和建议	(68)
附录 A	退役感兴趣的核设施残存量	(71)
附录 B	拆卸技术	(82)
附录 C	用于退役的遥控设备	(104)
参考文献		(121)
参与人员名单		(128)

1 引言

由于大量已经建造的并将最终退役的核设施的存在,核设施退役对于 IAEA 的许多成员国是一个极为关注的课题。核工业所使用的“退役”这个术语的意思是,核设施的使用寿命结束时采取以确保对实施退役的工作人员、公众的健康和安全环境提供适当的方式使该核设施退出服役的行动。这种退役行动的范围包括从核设施的关闭及与连续维护、监控相结合的少量放射性物质的清除起,一直到其剩余的放射性物质完全清除而使设施和场址达到非限制性使用的可接受水平。

自从国际原子能机构(IAEA)于 1973 年在其工作计划中首次包含了退役项目以来,已先后出版了与 IAEA 工作计划有关的 9 个退役文件^[1~9]。这些报告总结了由各个技术委员会、专家咨询组和国际专题讨论会所做的工作内容,同样还给出了该机构(IAEA)在该领域内后续活动的定义和导则^[2,9]。

到目前为止,有一百多座核设施已经退役或正在退役(见附录 A)。尽管还没有一座大型的动力反应堆完成拆除,但是技术专家一致认为,已经获得足够的经验证明了实施该种拆除对人及其周围环境不会产生不可接受的影响。理论概念的研究和工程项目均证实了上述的观点^[10~13]。虽然,退役的工艺学和方法学的研究均取得了进展,但是还需要进一步改进设备和技术,减少费用和照射量,以及获得用于较大核设施的经验。

IAEA 安全丛书第 52 号报告^[7]提供了关于陆上模式核

反应堆以安全和规范方式退役应考虑的大原则和因素。该报告包含关于规划(包括设计阶段的退役设施)、管理、辐射和质量保证,以及成功地完成退役工程所需的豁免标准的一般讨论。

技术报告丛书第 230 号^[9]提供了基于对退役具有重要意义的技术考虑的资料,核设施去污和拆卸的有效方法,产生放射性废物的管理,以及可做改进的退役方法学的领域。

另一种技术报告丛书^[14]更详细地论述了去污技术和对去污活动中产生的废物的管理。

本报告的目的是完善和增加以前出版的报告的数据,特别是提供退役工艺领域的数据库,因为在该领域内,可实施一些改进或需要有更详细的资料用于评价未来工作范围。其它领域所涉及的另外退役问题,例如样品去污^[8~15],在本报告中依照 IAEA 统一系统方法进行了简述,这种系统方法可用来开发与退役有关的广泛的课题所需的数据库。

2 范 围

本报告是核设施退役方法学和工艺学当前技术状况的评述,包括诸如退役中采用的自控系统和遥控系统工艺学。本报告所提供的这些资料,对于那些负责或有志于计划和实施除了采矿系统以外的各种核设施退役工作的人士是极其有用的。然而,使用本报告还应与已出版的其它技术资料结合起来,并与已获得的其它核设施经验相结合,特别是要与具有相似特性和设计的工厂相结合。

3 退役基本阶段的定义

“阶段”这个术语在这里并非必须指连续的分段过程，而是指工厂的一系列条件。下面对参考文献[9]中描述三个阶段陈述如下。

当工厂退出现役时，工艺流程系统中的核燃料或放射性物质以及在正常运行中产生的放射性废物首先应通过常规的操作进行去除。然而，对于处理裂变材料的工厂，在退役中必须对某些裂变材料仍存留下来的可能性给予慎重的考虑并采取适当的预防措施。

每个核工厂退役的三个阶段可通过下面的二个参数来定义：

- 工厂及其设备的实际状态。
- 这种状态所要求的监督、检查和试验。

3.1 第一阶段退役

第一道污染屏障应象它在运行期间一样保留，但是机械开启系统应永久锁闭和密封(如阀门，塞子等)。

污染的建筑物应保持剩余危险物的适当状态，建筑中的气压按需要进行适当的控制。进入厂房内部要服从监测和监督程序。

这种设施要在监督之下，而工厂内外所需的放射性监测设备要保持良好的状态，以便需要时使用，并要保证符合国家法规要求。应进行检修来检查工厂是否处于良好的状态。必要时还应检查第一道污染屏障和污染厂房中是否有泄漏。

3.2 第二阶段退役

第一道污染的屏障被减到最小尺寸,并且把所有容易拆除的部件移走。采用物理方法来加强屏障的密封,并且在必要时,将反应堆内的生物屏蔽加以扩展,使之完全包围第一道污染屏障。

当去污达到可接受的水平以后,污染的厂房和核通风系统如果按照辐射安全的要求不再需要的话,可以更改或移走,根据其它设备的拆迁和去污的程度,如果先前污染的厂房保留的话,是允许进入的。

工厂中非放射性的厂房和设备可以转为其它用途。

屏障周围的监督工作可以放松,但应该在适当的时候与环境监督一起持续进行定期定点检查,包括对设备的监测。密封部件的外部检查也应进行。

3.3 第三阶段退役

尽管进行了去污,但工厂中所有残存显著放射性的材料、设备和部件仍要拆除。保留的所有部件,其污染已被减到可接受的水平。

工厂和场址被开放成为非限制使用。从辐射防护的角度,将来不需要进一步监督、检查和试验。

在某些情况下,整个工厂,包括非放射性部件可以拆除,以便为替换设施或其它用途留出空间。

4 影响退役选择的考虑

对于核设施退役程序的选择应基于各种方案的综合比较的结果。这个比较应按照国家政策来进行,这个政策是政府的职责,并考虑了公众意见,对以下方面进行分析:

(a)设施最终关闭后的实际条件和放射学条件及其随后的发展;

(b)核安全和工业安全的要求,包括相关的风险分析的结果;

(c)与废物管理相关的问题(处理条件,运输,中间贮存,处置);

(d)组件、工具、厂房和土地重新使用的可能性和材料再循环的可能性;

(e)资深经验丰富的人员的使用有效性和合适的技术方法;

(f)费用估算,现有资金以及与机构财务管理的一致性;

(g)拟定活动的社会和环境的影响。

在所有对上述比较有影响的因素中,本报告对下列内容做了更为详尽的讨论:

——关于退役的国家政策(5.1 节)

——放射性残存量的估计和确定(5.2 节)

——设备、材料和场址的豁免标准(5.3 节)

——退役废物中放射性残存量的特性(5.4 节)

——废物管理(5.5 节)

——适当的退役方法和拆除技术可行性(5.7 节)

——厂房、构筑物和材料的长期完整性(5.8节)

——退役费用的估算和供给(5.9节)

其它重要的因素包括象健康和安全,场址的计划使用,环境和社会的考虑,以及最优化问题,下面也做简短的讨论。

(a)健康与安全

在所有的退役方案中,涉及的最基本的内容就是保护工作人员及公众的健康和安全。对于每一种可供选择的方案都可以定量地计算由退役活动造成的职业照射。在对不同类型设施的主要设备的部件进行更换时的经验证明,可以安全地控制工作人员的直接的和气载的(吸入的)辐射剂量。先进的拆卸技术(诸如遥控工具)、屏蔽和预先计划的减少照射的程序,都是某些能够提供使照射保持“可合理达到尽可能低(ALARA)”的方法。这种经验表明在退役过程中对公众的照射是最小的。

退役用的工具和技术可用于安全地去除放射性物质,以毫无限制地进入该设施。采用现代技术,最终可以达到退役后的公众安全。实现以上的目标整体的代价和利益是全部退役选择过程的一部分。

(b)业主计划的场址的使用

核场址是一个典型的有价值的资源,因为它们通常是处于地震活动性低的地区,并且靠近冷却水体,有进入该地区的主要的货物运输道路等。核设施的业主应以公众对场址可接收的观点来认识在同样的场址上安置更换的动力反应堆或处理设施的价值。如果可利用的土地有限,业主可能会决定完全

拆除工厂,包括非放射性部件,为替换设施留出空间。

如果该核设施是与正在运行的其它在役核设施相邻,那么可以由正在运行的核设施的工作人员以比较小的费用增量对第1和第2阶段的退役选择项提供持续的维护、监督和警戒。

核设施关闭后可能还有一些有用的物项,诸如透平机,水处理系统,仓库,行政管理楼房或其它适于转换成非核使用的构筑物。在这种情况下,业主可以决定不拆除这些建筑物。

(c)环境和社会的考虑

对于一些可能的退役方案必须进行环境评价。但是,根据场址、工厂类型和运行历史,在这些可供选择的方案中可能会有显著的不同。

在进行方案选择时必须对以下事项做出评价:如土地利用的潜在增加,工厂关闭的美学效果,公众的接受力以及在城市密集的地区的废物运输路线。

(d)最优化

一个准备施行的退役计划,必须考虑前面所述的各种因素以满足安全管理要求、公众的健康和安全的需要,以及费用的要求。适当的安排能优化上述因素而以有效利用经费的方式制定出退役计划。如果有几种可能的退役方案,业主就可以通过对特殊的拆除设备,职业照射,监督费用,利率,税收等要求的影响进行考虑,选择出适合于他所需要的最佳综合方案。

5 退役方法学和工艺学

5.1 关于退役的国家政策

对于一个国家不再需要的核设施的退役来说,在整个国家核政策的完整框架内建立起一套安全、有效、可行、以及有效利用费用的策略是最佳做法。该政策的主要目的是应确保所有重要方面均能协调一致地同步发展,同时满足国家的要求。

IAEA 可提供所有核设施安全退役的进一步导则,包括核燃料循环以外的核设施。用于医学、工业和科研方面的核设施的退役,发展中国家也是感兴趣的。

虽然各国根据本国国情,退役政策的组成部分有所不同,但通常应包括下列内容:

(a) 一个法律和法规的框架,在此框架内可制定一个综合性退役方案。这个框架应清楚地规定政策制定者、管理人员和那些退役工作人员之间的职责分工。另外,关于国家政策问题,诸如照射水平的最优化,减至最小的准则,处置设施的数量、类型和位置以及确保各个设施最终退役的财务职责等都必须在该框架内制定。

(b) 涉及设施内及有关开放为非限制性使用的材料、设备和场址上残留的放射性物质的允许水平的一系列合理的限值和准则。

(c) 用于对安全退役活动所产生的废物进行处置的设施。

(d) 对从事退役活动的组织机构的要求,用于证明其在技

术和资金方面均能完成这些活动。

(e)适当的质量保证和质量控制要求。

对于每个核设施有关建造和运行方面的资料都应仔细地收集和整理以便将来使用。这对于提出一个完整而正确的退役计划是必不可少的,特别是在退役推迟很长时间的条件下。在有許多核设施要退役的成员國中,应考虑建立国家级的合适而完整的数据库。

本报告中后面的章节对在退役工程中的一些重要因素进行了详细探讨,并包括了成员國中过去和现在的一些发展情况。但是已在其它地方详尽论述的要点,这里只作一简要讨论。

5.2 放射性残存量的估算和验证

要退役的核设施的放射性残存量可以分为两类:(1)在反应堆部件及邻近结构中,某些元素的中子活化而产生的放射性;(2)沉积在各种系统的内外表面上的放射性污染物质。在此种分类中还包括子体放射性核素,它们在母体衰变后才变得十分突出。

如第3章所述,假设在退役活动开始以前,核燃料和工艺流程废液已从厂内移走,但是在某些情况下,在材料中还可能保留着剩余物,它们应包括在放射性残存物中。

对一个核设施中的放射性物质类型和数量的准确估算是很重要的,因为它能直接影响整个退役方式,包括退役活动的开始时间的选择和阶段之间符合要求的时间间隔的确定。另外,在执行退役计划时,这种估算将是很宝贵的,以确保设施安全、经济、及时地退役。这种资料可以帮助计划者确定各