

新世纪中国高放废物 地质处置

主 编 王 驹

上 册



中国原子能出版社
China Atomic Energy Press

新世纪中国高放废物地质处置

主 编 王 驹

上 册



中国原子能出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新世纪中国高放废物地质处置 / 王驹主编.

—北京: 中国原子能出版社.2016.8

ISBN 978-7-5022-7414-6

I.①新… II.①王… III.①放射性废物处置—研究

IV.①TL942

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第170009号

内 容 简 介

本书收录了进入新世纪以来,主要是2000—2011年期间,我国在高放废物地质处置各领域有代表性的重要论文,包括高放废物地质处置战略和规划研究、地下实验室规划、高放废物处置库选址和场址评价、处置库工程屏障、玻璃固化体性能、缓冲回填材料性能、处置工程、放射性核素迁移行为、安全评价等领域的论文。基本反映了这一时期我国高放废物地质处置研究成果的全貌。书中还附有这一时期有关重要活动的图片,真实记录了这一时期我国高放废物地质处置研究开发的历程。

本书可供高放废物地质处置及相关领域的教学和科研人员参考。

新世纪中国高放废物地质处置 (上册)

出版发行	中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路43号 100048)				
责任编辑	韩 霞				
美术编辑	赵 杰				
技术编辑	冯莲凤				
责任印刷	潘玉玲				
印 刷	北京市青云兴业印刷有限公司				
经 销	全国新华书店				
开 本	880mm × 1230mm 1/16				
字 数	1700千字	插 页	14	印 张	50.75
版 次	2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷				
书 号	ISBN 978-7-5022-7414-6	定 价	260.00元 (上、下册)		

网 址:	http://www.aep.com.cn	E-mail:	atomep123@126.com
发行电话:	010-68452845	版权所有	侵权必究

新世纪中国高放废物地质处置

编辑委员会

名誉主编：潘自强 钱七虎

主 编：王 驹

副 主 编：苏 锐 张振涛 王旭宏 孙庆红 荣 峰

编 委：叶为民 周宏伟 刘月妙 刘晓东 杨春和 李晓昭
陈正汉 章英杰 陈伟明 董俊华

序

随着我国核能事业的飞速发展，高放废物的安全处置，即将成为一个重大的安全和环保问题。这体现在如何最终安全处置核电站乏燃料后处理产生的高放废物、军工核设施产生的高放废物以及我国存在的某些短期内不宜后处理的乏燃料。

对高放废物的安全处置，是落实科学发展观、确保我国核能工业可持续发展和环境保护的重大问题，同时，这也是一个与核安全同等重要的问题。在研究和开发方面，高放废物安全处置还存在一系列科学技术难题，需要几十年坚持不懈的努力加以解决。在公众接受方面，则存在一些需要认真解决的重大社会学难题。西方国家的经验教训表明，能否安全处置高放废物，已成为制约核能工业可持续发展的最关键因素之一。为完成安全处置我国高放废物的战略任务，我们应该开展系统的基础性研究和前期工程研究工作，并有必要在2020年前建成用于地质处置研究的地下实验室。

我国从1985年起开展了高放废物地质处置研究工作，取得了一定的进展。进入新世纪，我国高放废物深地质处置进入了一个稳步发展的全新阶段，在法律法规、技术标准、战略规划、选址和场址评价、工程屏障研究、处置库和地下实验室概念设计、核素迁移和安全评价研究等方面取得了显著进展。国家颁布了《放射性污染防治法》，制定了《高放废物地质处置研究开发指南》，颁布了《高放废物地质处置设施选址》核安全导则，确定了2020年建成地下实验室、2050年建成高放废物处置库的目标。甘肃北山预选区被确定为我国高放废物地质处置库首选预选区，建立了场址评价方法技术体系，确定了首选缓冲回填材料，获得了一批关键放射性核素的迁移行为数据，开展了初步的安全评价，启动了地下实验室工程建设的前期工作。这一系列工作进展和取得的成绩为我国2020年建成地下实验室、掌握高放废物地质处置技术奠定了坚实的基础。

本文集收录了我国2000—2011年间在高放废物地质处置各领域取得的有代表性的重要论文，基本反映了我国这一领域的全貌。

目前我国核电面临新的发展机遇，对高放废物地质处置提出了新的要求，地下实验室建设的前期准备也进入关键阶段，目前还正值制定“十三五”规划和2030年中长期规划之际，本文集的出版无疑将起到总结成果、交流经验的作用，必将为推动我国高放废物地质处置工作、为我国核工业的可持续发展和保护环境作出贡献。

潘自强
刘一虎

2016年6月26日

目录(上册)

总 论

我国高放废物地质处置战略研究
潘自强, 钱七虎..... (3)

中国高放废物地质处置:现状和展望
张华祝..... (9)

新世纪中国高放废物地质处置 (2000—2014)
王 驹 (12)

High-level Radioactive Waste Disposal in China; Update 2010
Ju WANG (24)

高放废物地质处置及其若干关键科学问题
王 驹, 陈伟明, 苏 锐等 (39)

Key Scientific Challenges in Geological Disposal of High Level Radioactive Waste
Ju WANG (54)

论高放废物地质处置库围岩
王 驹, 徐国庆, 金远新 (61)

论特定场区地下实验室
王 驹, 苏 锐, 陈伟明等 (71)

关于地下实验室分类的讨论
徐国庆 (78)

对我国高放废物处置研发工作的建议
徐国庆 (87)

选址和场址评价

高放废物处置库预选区综合比选——主观定量评价方法
王 驹, 宗自华, 金远新等 (95)

浅议我国高放废物地质处置库场址筛选总体技术思路
苏 锐, 王 驹, 赵宏刚等..... (102)

1986—2005 年我国高放废物处置库选址回顾
金远新, 王 驹, 郭永海等..... (108)

高放废物地质处置花岗岩场址特性评价技术集成系统
王 驹, 郭永海, 陈伟明等..... (117)

高放废物地质处置北山预选区新场地段地质特征
陈伟明, 王 驹, 赵宏刚等..... (131)

甘肃北山预选区新场地段花岗岩类岩石特征研究
金远新, 闵茂中, 陈伟明等..... (139)

甘肃北山芨芨槽花岗岩体岩石地球化学特征	
金远新, 王 驹, 陈伟明等	(148)
高放废物处置库甘肃北山预选区地下水的形成	
郭永海, 王 驹, 肖 丰等	(153)
高放废物处置库北山预选区不同类型地下水的形成和分布规律	
刘淑芬, 郭永海, 王 驹等	(159)
高放废物处置库甘肃北山野马泉预选区地下水化学特征及水岩作用模拟	
郭永海, 王 驹, 吕川河等	(167)
CFC 在我国高放废物处置库预选区地下水研究中的应用	
郭永海, 王 驹, 王志明等	(174)
甘肃北山大区域地下水流动模拟	
董艳辉, 李国敏, 黎 明	(180)
高分辨率声波钻孔电视及其在核废物地质处置深部岩体研究中的应用	
苏 锐, 宗自华, 王 驹	(185)
综合钻孔测量技术在导水构造水文地质特征评价中的应用	
苏 锐, 宗自华, 季瑞利等	(193)
甘肃北山芨芨采石场岩体节理特征研究	
杨春和, 梅 涛, 王贵宾等	(202)
岩体节理平均迹长和迹线中点面密度估计	
杨春和, 包宏涛, 王贵宾等	(209)
裂隙岩体渗透系数确定方法研究	
纪成亮, 李晓昭, 王 驹等	(216)
测量统计范围大小对结构面迹长估计的影响	
李晓昭, 周扬一, 汪志涛等	(223)
Jointing Structure Characterization for the Preselected Area of China's Deep Geological Disposal of High-level Radioactive Waste	
Gui-bin WANG, Chun-he YANG, Ju WANG, et al.	(233)
Characteristics of Fracture and 3D Fracture Network Simulation of BS03	
Zi-Hua ZONG, Ju WANG, Rui SU	(243)
高放废物地质处置多元元数据编辑系统的研究与实现	
高 敏, 黄树桃, 王树红等	(249)
The Application of Quadtree Algorithm to Information Integration for Geological Disposal of High-level Radioactive Waste	
Min GAO, Shu-tao HUANG, Xia ZHONG	(257)
高放废物地质处置预选区 GIS 中地学元数据设计	
钟 霞, 王 驹, 黄树桃等	(265)
甘肃北山地区晚新生代走滑构造与地壳稳定性评价	
郭召杰, 张志诚, 张 臣等	(270)
与高放废物地质处置有关的活动构造的时限问题	
徐国庆	(280)
高放废物深地质处置库预选场址的古温度环境	
罗兴章, 闵茂中, 郑 正等	(283)

库鲁克塔格地区高放废物处置库选址可行性研究
 贾明雁, 王青海, 程建平等..... (290)

在新疆地区建设核废物处置场的可行性分析
 王青海, 韦方亮..... (297)

处 置 工 程

高放废物地质处置库的特点及其结构型式
 罗嗣海, 钱七虎, 王 驹..... (303)

热-力耦合条件下高放废物处置室间距研究
 刘月妙, 王 驹, 蔡美峰等..... (313)

Coupled Thermo-hydro-mechanical Analysis for the Conceptual Repository of High-level Radioactive
Waste in China
 Y. M. LIU, J. WANG, D. KE 等 (320)

高放废物处置北山预选区深部完整岩石基本物理力学性能及时温效应
 刘月妙, 王 驹, 谭国煊等..... (328)

Time-dependent Strength Degradation of Granite
 Q. X. LIN&L. G Tham (339)

围压对花岗岩长期性能的影响
 林侨兴, 谭国煊, 刘月妙等..... (347)

甘肃北山预选区岩体力学与渗流特性研究
 杨春和, 王贵宾, 王 驹等..... (352)

Experimental Study on the Permeability of Beishan Granite
 L. K. MA, J. WANG, X. G. ZHAO, et al. (361)

无填充裂隙岩体水流—传热模型实验研究
 路 威, 项彦勇, 李 涛..... (367)

填砂裂隙岩体渗流传热模型试验与数值模拟
 路 威, 项彦勇, 唐 超..... (376)

分布热源作用下裂隙岩体渗流-传热的拉氏变换—格林函数半解析计算方法
 项彦勇, 郭家奇..... (384)

Two-dimensional Integral Equation Solution of Advective-conductive Heat Transfer in Sparsely Fractured
Water-saturated Rocks with Heat Source
 Yan-yong XIANG, Yong ZHANG (395)

总 论

我国高放废物地质处置战略研究

潘自强, 钱七虎

(中国工程院, 北京 100088)

摘要: 本文是中国工程院“高放废物地质处置战略研究”咨询项目的最终成果。本文在强调安全处置高放废物重要性的基础上, 通过分析中国高放废物地质处置进展和存在问题, 提出了我国高放废物地质处置规划设想, 提出了 2020 年建成我国高放废物地质处置地下实验室和 2050 年建成我国高放废物处置库的目标。

关键词: 高放废物; 地质处置; 战略规划; 中国

随着我国核能事业的飞速发展, 高放废物的处理和处置, 即将成为一个重大的安全和环保问题。这体现在如何最终安全处置核电站乏燃料后处理产生的高放废物、核武器研制和生产过程中业已产生的高放废物以及我国存在的某些可能不宜后处理的乏燃料。

对高放废物的安全处置, 是一个与核安全同等重要的问题, 是落实科学发展观、建设和谐社会、确保我国核能工业可持续发展和环境保护的重大问题。在研究和开发方面, 高放废物安全处置还存在一系列科学技术难题, 需要几十年坚持不懈的努力加以解决。在公众接受方面, 则存在一些需要认真解决的重大社会学难题。西方国家的核能开发情况表明, 安全处置核废物, 尤其是高放废物, 已成为制约核能工业可持续发展的最关键因素之一。

为推进我国高放废物地质处置工作, 中国工程院开展了“高放废物地质处置战略研究”咨询项目。本文反映了该项目的最终成果^①。

1 高放废物安全处置是核能可持续发展的重要保障

高放废物是一种放射性强、毒性大、含有半衰期长的核素并且发热的特殊废物, 对其进行安全处置难度极大, 面临一系列科学、技术、工程、人文和社会学的挑战, 其最大难点在于使高放废物与生物圈进行充分、可靠的永久隔离, 且隔离时间超过 1 万年。目前公认的安全可靠, 且技术上可行的方法为地质处置方法, 即在地表以下 300~1 000 m 深建造“矿山式”处置库, 通过工程屏障和天然屏障永久隔离高放废物。

高放废物的安全处置受到国际组织和世界各国的高度关注。国际原子能机构成员国大会于 1997 年通过了“国际乏燃料安全与放射性废物安全公约”, 明确条约签字国安全处理处置乏燃料和放射性废物的责任。各有核国家也均在国家层面上高度重视高放废物安全处置的工作。他们大部分通过制定国家政策、颁布法律法规、成立专门机构、筹措专门经费、建立专门的地下研究设施和开展长期研究等方式, 从政策、法规、机构、经费、设施和科研等方面确保高放废物的安全处置。例如, 美国 1982 年颁布“核废物法案”, 并在能源部成立“民用放射性废物管理局”, 专门负责安全处置美国的 7 000 t 军工高放废物和 63 000 t 民用核电站乏燃料。美国还制定了长期的研究开发计划, 并在内华达州尤卡山建造地下研究设施, 开展现场工程研究。经过 45 年多的基础研究和场址评价工作, 尤卡山场址于 2002 年获美国总统布什批准, 预计将于 2018 年建成高放废物处置库。

高放废物安全处置的研究开发具有长期性的特点。需要进行长期的基础研究、技术开发和工程研

注: ①本文为中国工程院咨询项目“我国高放废物地质处置战略研究”课题组最终成果报告的摘要版。课题组参加人员有: 刘元方, 李焯芬, 赵鹏大, 谢和平, 从慧玲, 王驹, 尹卫平, 刘华, 李承, 李俊杰, 陈竹舟, 范仲, 林森, 罗嗣海, 杨春和, 郑华铃, 徐国庆等。

究,方可实现安全处置的目标。美国于1957年提出高放废物地质处置的设想并开始研究和技术开发,到2018年才能建成处置库,历经62年。芬兰于1976年开始研究,到2020年建成处置库,将历经45年,足见其工作的长期性。

高放废物地质处置还具有成本高、投资大、投资周期长的特点。国际上每吨乏燃料处置的平均成本为66.3万美元。例如,美国整个处置计划耗资575亿美元,日本的整个处置计划耗资3万亿日元。

高放废物处置经费一般来自政府投资和核电站中一定比例的经费(一般按核电站电费收入的1%左右收取高放废物地质处置基金,美国每年约能收取6亿美元)。前者用于处置军工设施的高放废物,后者用于处置民用核电站的高放废物。研发资金一般占总投资的10%~15%,如美国的总研发经费为65亿美元,前期的年度研发经费达1.5亿~2亿美元。

西方国家多年以来的经验表明,安全处置高放废物是核能可持续发展的重要保障。高放废物是核能工业的必然产物,对其安全处置是核能工业界义不容辞的任务。对于此项工作,社会各界均广泛关注。关注之深,在某种程度上足以影响政府对核能发展的政策。芬兰是一个成功的实例,由于其乏燃料安全处置扎实推进,卓有成效,民众支持核电建设,欧洲的第一台EPR机组已在芬兰开始建造。

2 我国高放废物地质处置进展和存在问题

据估计,我国的核军工设施已暂存了一定量的高放废液,急需进行玻璃固化和最终地质处置。我国目前运行的十几个核电机组每年约产生470t乏燃料。

根据2007年10月国务院批准的《国家核电发展专题规划(2005—2020年)》中的核电规模,我国大陆到2020年投入运行的核电装机容量将达到4000万kW,在建装机容量1800万kW。以此为基础计算,到2020年我国将累积有约10300tHM乏燃料(其中压水堆乏燃料约7000tHM和重水堆乏燃料约3300tHM)。《国家核电发展专题规划(2005—2020年)》中于2020年建成的反应堆,加上届时在建的18个反应堆,最终共将产生82630t乏燃料。关于2020年以后的乏燃料数量,每增加一座百万级千瓦的核电站,每年将多产生约22tHM乏燃料,每个堆全寿期共产生约1320t乏燃料。如果我国核电规模达到100GW,则所有这些核电站产生的乏燃料总量将达到138070tHM。对这些军工高放废物和核电站产生的高放废物进行最终安全处置,是确保我国的环境安全和核工业可持续发展的必然要求。

我国高放废物地质处置研究工作于20世纪80年代中期起步,20多年来,在选址和场址评价、核素迁移、处置工程和安全评价等方面均取得了不同程度的进展。核工业北京地质研究院等单位开展了高放废物处置库场址预选研究,在对华东、华南、西南、内蒙古和西北5个预选区进行初步比较的基础上,重点研究了西北甘肃北山地区;在地质调查和水文及工程地质条件、地震地质特征等研究基础上,施工了4口深钻孔,获得了深部岩样、水样和相关资料,初步掌握了场址特性评价方法。在工程方面,研究了内蒙古高庙子膨润土作为缓冲/回填材料的性能,以及低碳钢、钛及钛钼合金等材料在模拟条件下的腐蚀行为。在核素迁移方面,建立了模拟研究试验装置及分析方法;研究了铀、钚、镅在特定条件下的某些行为。在安全评价方面,初步进行了一些调研。总的来说,我国高放废物地质处置研究工作,在经费十分有限,条件很困难的情况下,做了不少工作,特别是在选址和场址特性评价方面取得了一定进展,但从总体上说还处于研究工作的前期阶段,距完成地质处置任务的阶段目标任务还相差甚远。

2003年我国发布《中华人民共和国放射性污染防治法》,其第四十三条中明确规定“高水平放射性固体废物实行集中的深地质处置”,这从国家层次明确了深地质处置的地位。2006年国防科工委、科技部和国家环保总局联合发布《高放废物地质处置研究开发规划指南》,明确了深地质处置开发的主要技术路线和开发的总体设想。2007年,国务院批准《国家核电发展专题规划(2005—2020年)》,明确提出2020年建成我国高放废物地质处置地下试验室的目标,从而使高放废物地质处置进入了新的阶段。

但是,我国目前的高放废物地质处置研究也面临一些问题:

(1) 没有国家级高放废物地质处置专项规划。目前有关高放废物地质处置的政府行为只停留在部委一级层面上,没有达到国家级层面(如全国人大和国务院),因此一些必须在国家级层面决策的事项(如政策和技术路线、政府部门分工、决策机制等)难以进行;对高放废物地质处置如此重大的高难项目,目前还没有国家级高放废物地质处置专项规划,也没有列入国家重大科技工程、“973 计划”和国家自然科学基金重大项目研究计划等。目前我国的高放废物地质处置项目仅在国家国防科工局“核设施退役和放射性废物处理处置”专项中予以支持,其力度小,远远不能满足需求。

(2) 政府法规和标准基本上还是空白。《中华人民共和国放射性污染防治法》明确了高放废物实行集中的深地质处置的原则,但至今尚没有制定相关的法规和技术标准,如《高放废物地质处置规定》《高放废物处置库选址标准》《高放废物处置安全评价标准》等,这就严重影响了选址、场址评价、安全评价和工程设计等工作的推进。

(3) 尚没有明确实施高放废物地质处置工程的责任主体。高放废物地质处置是国家行为,应由政府总体负责。但具体实施,还需要由政府的专门部门或政府授权的独立的机构负责。目前,我国尚未有这样的实施主体单位,已对当前工作的推进产生严重影响。

(4) 决策机制不健全。高放废物地质处置时间跨度长、技术难度大、影响面广,是关系到子孙后代的万年大计,必须科学决策、民主决策,让公众和利益相关者广泛参与决策。这就需要设计一个好的决策机制。但是,我国目前决策机制和决策程序不明确,尤其是没有明确国家层次的决策机制。

(5) 经费投入极少,核电废物处置的筹资机制空缺。目前,高放废物地质处置工程科研仅有原国防科工委“军工核设施退役和三废治理专项”这一个经费渠道,但它要解决的既是军工高放废物问题,又是民用核电站的高放废物问题,而后的废物量却占绝大部分。我国“十五”高放废物地质处置的平均年度经费为 400 万元左右。“十一五”虽有增加,预期可达到年均 1 000 万元的强度,但仍然很低,远不能满足高放废物地质处置的各项需求。更为重要的是,还没有建立从核电电费中收取高放废物地质处置所需资金的筹资机制,相关基础研究也未列入国家计划。

(6) 研究开发力量薄弱,缺乏研究平台。目前我国从事高放废物地质处置的专职科研人员约为 50 人,涵盖地质、工程、化学和安全评价等领域,与高放废物地质处置的艰巨任务相比,这支队伍力量极为薄弱。另外,还严重缺乏高放废物地质处置的研究平台,一些重大科学问题还没有解决、大量工程尺度课题根本就无法开展,距完成地质处置任务的阶段目标还相差甚远。

3 我国高放废物地质处置规划设想及经费预测

(1) 规划设想

我国高放废物地质处置的总目标是:在我国领土内选择地质稳定、社会经济环境适宜的场址,在 21 世纪中叶建成高放废物地质处置库,通过工程屏障和地质屏障的包容、阻滞,保障国土环境和公众健康不会受到高放废物的不可接受的危害。

研究开发和处置库工程建设可分为 3 个阶段:

1) 实验室研究开发和处置库选址阶段(2009—2020 年)。其目标是,完成各学科领域实验室研究开发任务,初步选出处置库场址并完成初步场址评价。确定地下实验室场址,完成地下实验室的可行性研究,并建成地下实验室。

2) 地下现场试验阶段(2021—2040 年)。其目标是,完成地下实验室现场试验,完成场址详细评价,并最终确认处置库场址。掌握处置库建造技术,完成处置库设计和可行性研究。

3) 处置库建设阶段(2041 年—21 世纪中叶)。其目标是,2050 年前后,建成处置库,开展示范处置,并开始接受高放废物。

(2) 研究内容(2006—2020 年)

1) 战略、规划、法规、标准研究:开展战略、策略和规划方案研究,提出我国高放废物地质处置

研究和开发的中长期规划。开展管理体系、法规和标准研究。制定高放废物地质处置的安全目标、环保要求、审批程序和责任制度;建立高放废物地质处置技术标准,规定高放废物地质处置的选址、设计、建造、运行、关闭和监护的工程技术与安全防护技术要求。制定玻璃固化体性能标准、高放废物处置库选址标准和安全评价标准等的制/修订。

2) 选址和场址评价研究。开展处置库场址和地下实验室场址的选址和场址评价。确定地下实验室场址。开展甘肃北山地区预选地段评价和对比研究,推荐出1~2处处置库预选地段,提交初步评价报告;对甘肃北山的场址评价研究成果开展回顾性审评;在“十一五”之后,确定处置库预选区,初步选出处置库场址。主攻甘肃北山花岗岩场址,兼顾其他地区场址和其他围岩类型。对通过国家主管和审管机构审批的预选区和预选地段开展综合研究。开展区域构造研究、地震安全性评价、未来气候和地质变化趋势研究、第四纪地质特征和环境演化研究。通过地面调查和钻孔施工等手段,开展地质研究、水文地质研究、工程地质研究、地球物理测量、综合场址评价方法研究、岩体质量评价技术研究。开展场址建模技术研究、建立处置库预选场址地学信息库。

3) 处置工程研究。开展地下实验室工程设计,建成地下实验室。开展处置库概念设计。根据目前我国高放废物的现状和今后我国核能发展规划,预测拟处置废物的来源、类型、数量、总活度、核素组成和其他物化特性等。开展工程屏障系统研究,开展包装容器、缓冲材料等工程屏障系统的材料筛选、结构及性能验证;开展地下洞室稳定性研究和水-热-力等多场耦合条件下工程屏障特性研究。建立处置工程信息库。

4) 安全评价研究。开展废物源项调查和源项预测。开展安全评价方法学研究,构建技术体系框架,建立安全和环境评价信息系统;开展高放废物地质处置系统的总体安全目标和辅助安全指标,开展情景分析和后果分析方法、模式和参数体系、灵敏度分析和不确定性分析方法研究。以预选出的场址和处置工程概念设计为基础,开展安全评价研究,完成本阶段高放废物处置库安全评价报告。反馈处置系统安全评价结果。

5) 核素迁移研究。研究高放废物、乏燃料及 α 废物在处置条件下的性能,开展核素迁移研究,建立核素迁移模型、数据库和高放废物玻璃固化体性能标准;开展关键核素在地下水中的化学反应行为实验室研究,掌握相应的测试技术和方法;完成关键核素在近场处置条件下的化学形态及胶体行为研究;掌握关键核素在近场屏障体系的化学反应及迁移机理,完成关键核素在近场围岩及混合回填材料中的吸附、扩散等迁移参数测定;系统获取安全评价所需的核素迁移数据。初步掌握现场核素迁移试验技术和方法。研究乏燃料及高放废物的内、外包装材料及其处置条件下的腐蚀行为等长期稳定性。

(3) 经费预测

1) 经费预测。全部处置我国《国家核电发展专题规划(2005—2020年)》中所有核电站(58个)全寿期产生的82 630 t乏燃料所需的成本约为1 343亿元人民币(不含后处理成本),这一数值仅占所有核电站总电费收入的1.25%。在2020年规划之后建成的每一个百万千瓦级核电站,按运行60年,共产生1 320 t乏燃料来计算,所需的处置费用为21.4亿元人民币。研发经费是高放废物处置中的重要组成部分,一般占处置库总经费的10%~15%,因此,我国高放废物处置的研发经费至少应为13.4亿元人民币。关于2020年之前的经费测算,选址和场址评价费用约为5亿元人民币,研究开发的费用约为3亿~5亿元人民币,建造地下实验室的费用约为4亿~5亿元人民币。若以建成地下实验室为工程目标,从现在起至2020年,我国每年应当保证1亿~1.5亿元人民币的研究开发资金投入,以解决建造地下实验室之前的各项工作需要。

2) 经费筹措渠道。我国高放废物地质处置的资金筹措应当采取两种渠道。一是从核电的电费中提取,这部分费用主要是用于核电站产生的高放废物的最终处置;二是由政府财政支出,其主要用途是处置核军工产生的高放废物以及公益性单位产生的高放固体废物。国外从核电电费中收取的高放废物处置基金的筹资费率一般核电电价的1%,如美国为0.001美元/kW·h,日本为0.13日元/kW·h。按真实比价理论和实际汇率的平均值估算,我国的地质处置筹措费率可初步定为0.005元/kW·h,仅相当

于电价的 1.25%。

3) 经费管理方式。国家应当建立乏燃料和高放废物安全处置基金,并交由国家授权的单位管理,以确保执行单位的运行、研究开发、地下实验室和处置库建造、运行和关闭等的资金需求。

4 推进我国高放废物地质处置工作的几点建议

(1) 建立高放废物地质处置法规 and 标准体系

在正在制定的《原子能法》中应明确高放废物地质处置的原则要求和经费来源。建议国务院制定“高放废物地质处置条例”,条例应当包括地质处置的要求、技术路线、进度、审管和主管单位的职责、经费来源和实施主体等。

为了满足当前工作的需要,在正在制定的“放射性废物安全管理条例”中,明确规定选址和处置工程等要求和审批程序,并尽快制定“放射性废物地质处置”、“放射性废物处置设施安全评价”和“地质处置设施选址”等标准。

(2) 开展顶层设计

为了更有效地组织当前高放废物地质处置科研工作,建议在“指南”的基础上,尽快制定“高放废物处置科研项目指南”。与此同时,全面开展顶层设计,包括法规体系、管理模式、技术路线、规划目标和筹资机制等。作为第一步有必要对已有工作进行总结和回顾性审评。

(3) 尽快开展对现已进行的选址工作进行回顾性安全审评

建议中国核工业集团公司组织核工业北京地质研究院等单位对已有选址工作进行总结并向主管部门和审管部门提出报告,审管和主管部门对报告进行回顾性审评,以鉴明现有工作的成果,明确下一步工作的方向。在进一步全面深入开展预选区工作之前,应该完成回顾性安全审评。

(4) 建立国家高放废物地质处置研究平台

在 2020 年前建立以地下实验室为核心的国家高放废物地质处置研究平台。研究平台包括地下实验室以及相关的,包括处置工程、场址评价、核素迁移和安全评价等在内的实验研究平台。

在继续积极推进处置地质研究的同时,要特别注意加强处置工程和安全评价的研究工作。在制定计划时要注意各方面的协调发展和相互联系。遵循工程牵引的原则。在开展核素迁移研究时,应注意与安全评价的联系。

(5) 增加研究费用强度和渠道

高放废物地质处置研究开发和工程建造需要较多经费(2020 年之前选址和场址评价费用约为 5 亿元人民币,研究开发的费用约为 3 亿~5 亿元人民币,建造地下实验室的费用约为 4 亿~5 亿元人民币)。但当前经费与需求很不适应。建议:1) 政府增加投入,包括增大军工三废专项对高放废物地质处置的投资,以及在核能科研专项中明确列入高放废物地质处置项目等;2) 在正在制定的“从核能发电费中提取核能后端费用”的规定中明确地质处置费用比例。根据各国调查结果,这一费用约为每度电 0.5 分人民币;3) 建议在国家发改委设立“高放废物地质处置”国家重大科技开发专项;4) 在国家自然科学基金重大项目 and 重大研究计划、科技部“国家科技支撑计划”和“973 计划”中设立高放废物地质处置专项。

(6) 加强国际合作

高放废物处置研究工作在国际上透明、公开的。我国高放废物处置研究工作一直得到了国际原子能机构的支持,取得了良好的效果。今后,在继续争取国际原子能机构支持的同时,有必要开拓或加强双边合作。

Strategy on Geological Disposal of High Level Radioactive Waste in China

PAN Zi-qiang, Qi-hu QIAN

(Chinese Academy of Engineering, Beijing, 100088)

Abstract: This is the summary report of the project “Study on the Strategy of Geological Disposal of High Level Radioactive Waste in China” supported by Chinese Academy of Engineering. With emphasizing the importance of safe disposal of high level radioactive waste, and analyzing the progress and the issues of the geological disposal program in China, a strategy for the geological disposal of high level radioactive waste in China is proposed. The goals to build an underground research laboratory by 2020 and to build a geological repository by 2050 are proposed.

Key words high level radioactive waste; geological disposal; strategic plan; China

中国高放废物地质处置:现状和展望

张华祝

(中国国家原子能机构 北京 100037)

摘要: 本文阐述了中国的高放废物处置政策, 回顾了中国高放废物地质处置在选址和场址评价、缓冲回填材料等方面的进展, 提出了中国高放废物地质处置的初步规划。

关键词: 中国; 高放废物; 地质处置; 地下实验室; 规划

安全处置高放废物及地质处置库计划是国际社会普遍关注的问题, 也是核工业业内人士面临的重大课题。

核科学技术的发展和核能的和平利用是 20 世纪人类最伟大的成就之一。核能技术的不断发展和进步, 从利用裂变能到开发聚变能, 寄托着人类对未来的期望, 它将成为最终解决全球可持续发展的主要能源。安全、有效地处理和处置核废物对于核能和核技术的和平利用有着至关重要的作用。必须将最危险的和长寿命的废物封闭起来, 使之与人类生存的环境有效地隔离。在合适的地质体中建造地质处置库以永久处置放射性废物正在被世界各国作为一种适当的方案加以广泛研究。1999 年 11 月在美国丹佛召开了“核材料处置地质处置库”国际会议, 20 多个国家的高层政府代表与会阐述了各自在该领域的政策和决策, 受到了世界的广泛关注。2003 年 12 月又在斯德哥尔摩召开了国际地质处置库大会。它是继丹佛会议之后在地质处置库领域的又一次盛会, 这次会议必将为核废物的安全和有效地处置产生积极影响。

1 中国的核能发展与高放废物处置政策

中国的核工业起步于 20 世纪 50 年代, 经过几十年的努力, 已建立起了较为完整的核工业体系。进入 20 世纪 80 年代, 中国实行改革开放政策, 中国经济进入了新的发展时期, 中国的核工业也进入了以核电为标志的新的发展阶段。经过 20 多年的努力, 中国迄今已经建成 8 个核电机组, 还有 3 个机组正在建设之中, 计划 2005 年前全部建成投入商业运行, 届时中国的核电装机容量将达到 900 万 kW, 约占全国电力装机总容量的 2.3%。为满足未来中国经济发展对电力的需求, 中国的核电还将有进一步的发展。

随着核电的发展, 到 2010 年中国积累的乏燃料将达到 1 000t。在 2020 年以后, 预计每年都将卸下近千吨乏燃料。对于乏燃料, 中国走后处理的技术路线, 通过回收乏燃料中的铀和钚, 实现核燃料的闭合循环, 以充分利用现有的铀资源。经过多年的努力, 中国动力堆乏燃料后处理中间试验工厂的建设已初具规模, 计划于 2005 年进入调试阶段。随着处理后产生的高放废物越来越多, 中国面临的压力会逐步凸显, 因此必须对此进行研究和加以妥善解决。

中国政府十分重视高放废物的安全管理和处置, 已着手制定相关法律。2003 年 6 月 28 日中国第十届全国人民代表大会第三次会议通过的《中华人民共和国放射性污染防治法》, 提出了“高水平放射性固体废物实行集中的深地质处置、 α 放射性固体废物也实行深地质处置”的法律要求。为保证高放废物的安全处置, 中国已开展了 10 多年的前期研究, 并取得了一定的进展。中国将参照目前普遍接受的可行方案, 采用深地质处置的方法安全处置高放废物。即把高放废物埋在地表以下深约 500~