

# 国际放射性废物 地质处置十年进展

经济合作发展组织核能机构 编

王 驹 张铁岭 译

# 国际放射性废物 地质处置十年进展

经济合作发展组织核能机构 编

王 驹 张铁岭 译

原子能出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

国际放射性废物地质处置十年进展/经济合作发展组织核能机构编; 王驹, 张铁岭译. —北京: 原子能出版社, 2001.9

ISBN 7-5022-2432-7

I. 国… II. ①经…②王…③张… III. 放射性  
废物处置-地下处置-研究-进展-世界 IV. TL942

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 062955 号

Geological Disposal of Radioactive Waste Review of Developments in the Last Decade  
NUCLEAR ENERGY AGENCY ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION  
AND DEVELOPMENT, 1999

(中译本的出版得到经济合作发展组织核能机构的许可, 但经济合作发展组织核能机构声明不对该中译本承担责任)

## 国际放射性废物地质处置十年进展

原子能出版社, 2001

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 谭 俊

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

北京朝阳科普印刷厂印刷 新华书店经销

开本: 850×1168mm 1/32 印张 3.75 字数 99 千字

2001 年 9 月北京第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—500

定价: 8.00 元

# 目 录

译者的话 .....	( I )
英文版前言 .....	( II )
内容提要 .....	( IV )
1. 引言 .....	( 1 )
1.1 本项研究的关键问题、目的及范围 .....	( 1 )
1.2 引用的资料与本报告的安排 .....	( 2 )
2. 地质处置方案的置信程度 .....	( 3 )
3. 地质处置方案的进展 .....	( 6 )
3.1 技术进展 .....	( 6 )
3.2 立法与法规方面的进展 .....	( 12 )
3.3 实施上的进展与拖延 .....	( 15 )
4. 应记取的教训与基本结论 .....	( 21 )
4.1 废物管理界必须采取的行动 .....	( 21 )
4.2 国际组织的贡献 .....	( 30 )
4.3 本报告的基本结论 .....	( 31 )
附录 1 NEA 调查表 .....	( 34 )
附录 2 调查表答复综览：结构与组织的，法律与法规的进展 .....	( 41 )
附录 2.1 计划与战略的进展 .....	( 41 )
附录 2.2 立法/法规 .....	( 43 )
附录 2.3 执行单位和审管机构 .....	( 46 )
附录 2.4 经费与资金 .....	( 47 )
附录 3 调查表答复综览：科学与技术基础 .....	( 48 )
附录 3.1 废物整备、处置库工程和设计 .....	( 49 )
附录 3.2 场址特性评价 .....	( 51 )

附录 3.3 地下实验室的应用·····	(55)
附录 3.4 天然类比的应用·····	(59)
附录 4 调查表答复综览：性能与安全评价·····	(61)
附录 4.1 性能与安全评价的进展·····	(61)
附录 4.2 对系统各单元的认识·····	(68)
附录 4.3 不确定性的处理·····	(71)
附录 4.4 评价成果的表达·····	(73)
附录 4.5 向场址筛选和特性评价以及处置库设计方面的信息反馈·····	(74)
附录 5 附录 2~4 参考文献·····	(75)
附录 6 调查表答复综览：公众联络与理解·····	(86)
附录 6.1 公众联络·····	(86)
附录 6.2 公众理解·····	(90)
附录 7 NEA 发表的各版《共同认识》择要·····	(98)
附录 8 首字母缩略词表·····	(102)

## 译者的话

在过去 10 年中，世界有核国家在高放废物地质处置方面取得了重要进展。为反映这些进展，并为今后工作指明方向，经济合作发展组织核能机构（OECD/NEA）向英、美、日、德、法、加、荷兰、比利时、捷克、瑞士、瑞典和芬兰等国家的 17 个组织发放调查表，调查这些国家的进展。OECD / NEA 的“放射性废物管理委员会”对收回的调查表进行了分析、归纳和整理，写成了这份报告。调查结果表明，深地质处置是公认的最可行的高放废物永久处置方法，各国在选址、地下实验室、概念设计、性能评价、公众接受等方面均有重要进展。

为借鉴国外的经验，在征得 OECD/ NEA 的同意后，我们翻译了整个报告，交由原子能出版社出版。在此，感谢 OECD/NEA 准许该报告的中文版出版，特别感谢 OECD / NEA 废物管理处的 Hans Riotte 博士在译者访问该处时向译者提供了书的原稿。此外还要感谢原子能出版社谭俊先生对出版此报告的支持。相信本书的出版会帮助读者进一步了解世界高放废物地质处置的进展，并推进国内的有关工作。

译者

2001 年 8 月于北京

## 英文版前言

通过深部地质处置库的处置，使长寿命放射性废物远离人类环境的构想诞生于几十年前。若干年来，世界各国的研究努力，令我们对地下处置系统在很长时期内性能变化的认识和了解有所提高。在此类设施的实施方面也取得了长足进展。然而也有些国家的处置计划被延期。近年来，尽管这一构想本身正逐步变为现实，但要求延期和审查废物管理其他替代方案的呼声却日渐高涨。另一方面，各个国际专家组的反馈意见则反复证实了废物管理界提出的这一论断，即这种处置是合乎道义的，在环境上是可靠和安全的；而其他管理方案，充其量只能作为这种处置方案的补充，而不能作为独立的候选方案。在 OECD/NEA 于 1985、1991 和 1995 年发表的《共同认识》中可以见到这些反馈意见。

在 1998 年四月举行的会议上，放射性废物管理委员会 (RWMC) 认为，鉴于已证实《共同认识》各版本文献的价值，并且通过历年来场址特性评价及性能评价计划的深入研究能够获得一批成果，现在应适时地开展下列各方面的评估：

1. 评估先前的《共同认识》，尤其是 1991 年《共同认识》所登载的研究成果是否仍然有效；
2. 评估研究成果是否必要修正乃至考虑增加新的研究和实验内容；
3. 即使早期研究成果仍然有效而针对专门技术问题出版的新版文献仍会有所裨益。

因而，本报告的范围是对深地质处置领域以及有待深地质处置的长寿命废物的管理方面的研究成果，尤其是 1991 年版《共同认识》发表以后结出的研究硕果的一次回顾。

本文所用资料的主要来源是 NEA 放射性废物管理委员会以

及 EC 和 IAEA 成员国有关废物管理组织对一张调查表的答复。废物管理委员会内部的讨论和文献调研，特别是一些专门的专题讨论会成果、大型研讨会纲要、NEA 核废物年报以及过去十年内一些国际组织的报告则是本文所用资料的补充来源。

为满足广大读者的不同需要，本报告出版了两个文本。眼前这个版本是专供专家阅读的，因而其中包括了较为完整的成果资料。另一个版本书名为“Progress Towards Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?”，是一本指南，只扼要地介绍了研究成果，是以决策层的非专业读者为服务对象的。

本报告由放射性废物管理委员会（RMMC）撰写，执笔人员包括 C. Mc Combie, C. Pescatore, P. Smith, A. van Luik. 此外 B. Rügger 参与了部分工作。

## 内容提要

拥有核电生产的多数国家都在积极谋求“完整的核燃料循环”，其途径是制定“放射性废物管理计划”，这类计划之最终目标是将长寿命废物置于地质处置设施，即经过适当挑选的深部岩石建造之中。这一方法是经过长期的争议和讨论之后选定的。例如，海床处置、深钻孔处置、甚至太空处置等方法都曾有过探讨，但最终认为，就费用和风险而言，这些方法都是不足取的，或者说，由于政策与立法方面的限制，是行不通的。目前，在废物管理计划中发生的争论，在某些情况下已不是地质处置能否作为长寿命废物处置优选方法的问题。问题在于何时、何地、如何进行处置，既要满足履行道义义务之需要，减少现在和未来的风险，又必须保证对其他管理方案给予充分的考虑，还必须争取广泛的社会参与并最终接受这一处置战略。

没有哪个国家宣布过取消实施地质处置的决定，但是，确有一些国家推迟了本国的处置库选址计划或是对所选场址的认识产生了疑问。然而在此次调查的范围内，许多有代表性的废物管理专家反映的意见却证实了一个共同的观点：地质处置是保证长寿命废物与人类环境永久隔离的惟一可行的途径。可靠与安全的深地质处置可行性的置信度是建立在下面的基础上的：

1. 许多国家都提出了详细的处置库构想；
2. 通过场址特性评价和研究开发计划，对有关安全的各种过程（process）的认识不断提高；
3. 通过运用苛刻的安全评价方法，处置库构想的安全性得到了论证；
4. 这些评价都通过了国际和各国国内的专家组的独立审查；
5. 开发出了实施深地质处置库所需的一系列技术，另外，

还对有关技术进行了示范。

过去 10 年中，地质处置在技术方面取得了重大进展。总体说来，地质处置的必要技术已经具备，一旦公众的和政治的条件有利，便可展开布署。不过，应该承认，某些技术的应用经验还是相对有限的，因而应当继续论证和试验，并做进一步细致的改进。通过对深地质处置计划的主要技术难题，即工程系统的设计、潜在处置场地的特性评价和总系统性能评价（TSPA）的综合研究，促进了技术的进步。现在，上述工作之间的相互依存关系已得到了广泛的认同，并为促进不同研究领域之间的交流建立了综合性的研发计划管理方式。

对潜在场址天然系统的认识和特性评价也获得了明显的进展。尤其是在测量方法和步骤以及在天然系统不均一性（空间变化）评价方面获得了提高。认识的提高使得更容易确定潜在主岩可接受性的技术与安全标准。在某些计划中，由于对不均一天然系统全面特性评价的困难有了更多的了解，因而在过去 10 年中，工程屏障系统受到了较多的关注。这些计划倾向于采用坚固的工程系统来抵消天然系统性能评价中固有的难点，并以此来提高整个系统的置信度。坚固的工程系统在设计上应该既简单又保守的，并且必须与天然系统在化学上相容，在功能上互补。目前强调的通过工程手段来提高可靠性的措施当然不会否定地质环境仍然是整个深部处置系统之关键组成部分的事实。实际上，对于那些以相对均一地质建造为考虑对象的计划而言，工程结构的作用主要是保证处置库运行期间的安全。

在性能评价领域，特别是处置库系统分析的方法学上也取得了进展。在对系统各组成部分的性能及各自作用的认识方面、在其行为的定量模拟、不确定性的处理、评价成果的表述以及向场址选择、特性评价和处置库设计进行信息反馈等方面均获得了重要进展。随着场址特性评价的数据逐渐增加，还开发了把这些大型和种类众多的数据组与性能评价模型相连接的有效方法。为提

高研究方法的可靠性付出了巨大努力，尤为可喜的是，对技术文献中称之为置信度建立/验证的工作所需条件和所用手段的认识不断提高。特别需提到的是，人们已普遍意识到，处置库的开发是一个需要逐阶段决策的过程。假如在任何阶段都存在着无可避免的不确定性，则在性能评价过程中便毋庸，也不可能对处置库及其环境的演化作出全面的描述。恰恰相反，支持决策（包括性能评价决策）的技术依据和支持其成果置信度的依据必须充分，以支持眼前面临的决策。此外，还应制订有效的计划以处理在后续步骤中影响可行性和长期安全的不确定性因素。

一旦必须加强技术依据才能保证作出肯定的决策，则所用的方法有可能包括修改处置库设计和改变所选场址，以便提高这一方案的坚固程度。此外，还包括提高性能评价成果置信度的各种措施，例如改进和检验方法、模型和数据，在研究与开发、评价决策和数据组的输入/输出控制中使用更严格的质量保证(QA)程序。地下实验室的积极贡献已得到了广泛的认同。普遍认为，天然的或过去的类比研究对于某些关键作用的定性认知是有效的。但是，这些类比似乎很少提供过许多人希望的那种过得硬的证据。

性能评价的某些领域仍在进行着积极的开拓。其中包括对人类偶然闯入的处理以及对地表环境或生物圈之演化的分析，这二者常常是用定性或简化的方式来处理的。如果文献中清楚地说明应用了这种简化的处理，而且，由于存在着不可避免的不确定性，评价结果只能看成系统性的指标，而不能视为未来可能实际出现的结果预测，那么，上述定性和简化的处理就未必会降低性能评价成果的置信度。事实上，这种处理方式在各国的法规里得到了越来越多的体现；如果将安全评价结果与法规标准一对照，立法机构或其他相关的决策者就可能判断出可否采取简化处理。在一个超长的时期内，保留处置库存在的信息，可以降低人类闯入处置库和其他破坏性的人类活动导致的无端破坏的概率。过去 10 年中，许多研究项目都考虑过在超长时期内保留指示着

处置库存在的信息。

放射性废物处置受各国立法机关的指导,遵循国家法律法规来进行。与此同时,国际合作研究又得益于各国的废物管理计划。此类合作不仅提供世界范围内的技术信息与专家意见的交流,而且能够提供国际认可的非强制性安全标准和强制性的国家间协定。在各国立法和法规方面出现的趋势包括:一致认为不能忽视甚长的时间迟度(一万年以上),且随时间的增长应给予不同的处理;提倡在精确评价辐射剂量或风险之外再采用安全指标(safety indicator)将废物处置的有关法律或法规置于较广泛的环境法规体系中考虑。然而在立法层面上,对于确保全球环境保护达到同一水平的、并具有广泛用途的方法的缺乏,却很少有人给予直接的关注。例如,在放射性材料(无论其是否来自核工业)的相关法规同非核有毒废物的有关法规之间往往没有密切的联系。

在过去 10 年间,在处置库的建造方面也取得了某些实际的进展。在德国,已建成了一座中-低放废物的深部处置库(诚然,目前已暂停运行);在瑞典、芬兰和挪威,中等深度的中-低放废物地质处置库正在运行中;在美国,长寿命废物深地质处置库已于 1999 年 3 月开始运营。这就确认了分阶段逐步进行处置库规划、申请许可证和营建这一作法的技术价值和社会价值。但也有一些推迟计划的例子,而且科技人员有一种广泛的共识,即,建造处置设施的关键途径越来越多地受到的限制不是来自技术问题,而是由于缺少公众对这一方案的信任。具体到各个国家,公众对处置计划的态度受许多因素的影响,其中包括别国的同类处置计划的成功与否。相邻国家处置计划的成功具有特别的影响力。正反两方面的经验可归纳如下:

1. 必须向更广泛的公众展示和通告废物管理界人士对该方案的一致意见和信心以及深地质处置的技术可行性。

2. 继续进行外部同行评审和内部的自我评价,以便为技术界提供有价值的方法来提高处置库可行性研究和安全研究的置信

度，并开发废物管理组织内部的“安全文化”（Safety culture）。心甘情愿地接受同行评审可以提高该组织的公开性并赢得更广泛的声誉。

3. 为了提高并向广大公众通报地质处置的置信度，有必要对长期监控、可逆性和可回取性的优缺点展开公开讨论，必须自愿地进行地质处置方案与其他废物管理方案的重新比较评价。

4. 尤其值得注意的是，地表长期储存和分离与嬗变（partitioning and transmutation）的优缺点应该经过客观的讨论，因为这两种战略目前均有强劲的支持力量。

5. 抛开未来世界的核能应用不讲，开发深部处置库的需求也是极为明确的。现有的民用和军事项目的大量废物必须得到安全的处置，不过，关于处置的争论与正在继续的关于未来核能和其他能源供应战略的讨论有着密不可分的联系。

6. 必须将废物管理放在更广泛的社会背景中来审视。尤其是像可持续性、潜在风险以及经济现状等问题，随着国际上安全意识的增长，很可能变得突出起来。

7. 应该采用分阶段的、易于全面审查的方式来进行工作，这样便于听取公众或公众代表的反馈意见。此种方式能增强公众和政治方面对于设施安全性的信心以及对处置计划的法规制定者和实施者之能力的信任感。

废物管理界为应付未来需要所采取的步骤和方法因国别或项目不同而有所区别。但这些步骤与方法的开展以及处置库开发方面的进展都受到其他地区和其他领域之发展的影响。通过国际交流，开发工作将更加行之有效。因而可以预计，为适应废物管理组织的未来需要，国际交流仍将占据十分重要的地位。分享合作项目的成果对于实施者和法规制定者都是很有价值的。涉及各类国际组织的交流与合作将有可能：

1. 证实技术领域的广泛一致的共识；
2. 使技术资源和资金资源的应用合理化；

3. 明确对处置库开发中一些关键构想的认识；
4. 保证处置库开发过程的正规性，并使废物管理界以外的社会团体也能认识到这种正规性；
5. 争取达成关于各类型废物和环境风险的有关法规标准的共同认识；
6. (至少)使各国法规准则之间的差异趋于合理化。

有各方参加交流并进行合作的国际论坛，在将来很可能继续发挥其重要作用，以探讨废物管理领域遇到的所有问题。甚至，在近年来，连在某一志愿东道国营建一座国际共有处置库这样的牵涉最广泛的国际合作形式都已成为日益普遍的议题。

本报告的最后，得出了如下系列结论：

1. 过去 10 年中，深地质处置构想取得了极大进展，尤其值得大书一笔的是在某些技术领域，包括对天然的和工程安全屏障系统的认识、特性评价以及定量模拟等方面。

2. 在处置战略上和所用方法上均无必要作根本性的改动；虽然各方面仍在继续完善，从成效上看，深部地质处置可以视为一项可以开始实施的成熟技术。

3. 在许多计划项目中，越来越多地强调工程屏障的作用，但在深部处置库中，天然或地质屏障在决定处置库可达到的安全期限方面仍然起着举足轻重的作用。

4. 所有国家的计划均继续把深地质处置作为必需的和可行的技术。尽管，某些国家打算推迟处置库的实施或对其他方案开展平行性评价。

5. 目前的一种普遍趋势是主张在营造和立法方面采取谨慎的分阶段推进的步骤，在社会的决策过程中只能小步地前进。分阶段的、便于全面审视的小步伐使得决策过程易于追踪，来自公众和/或其代表的意见便于反馈，且有助于增强公众及政治方面对于设施安全的信心以及对处置计划法规制定者和执行者能力的信任。

6. 尽管已有一座用于长寿命废物的深部地质处置库正在运行，10年前预计的深地质处置库开发的期限仍然是合理的。现在出现的某些延期做法一部分是由于操作上的原因，但主要反映的是制度上的问题，多半则是由于公众信任不足。

7. 废物管理界已敏锐地意识到缺乏公众信任；处置计划的执行单位和法规制定者都必须有效地告诉决策者和广大公众，安全处置是有把握的。

8. 执行单位和法规制定者越来越乐于听取公众的意愿，只要这些意愿无损于处理设施的安全。共同的目标是制定出一套既能进行长期监测，又有可能随时取消和回取这些废物的处置战略及其相关措施。许多计划都明确表示在考虑这些问题，即废物处置的可逆性和可回取性（reversibility 和 retrievability）。

在通盘考虑各方面问题之前，放射性废物处置的其他方案常被视为前景广阔。早期探讨过的一系列其他方案，都未受到特别的重视。还有一些方案，出于种种理由，极力主张实施长期地表暂存或分离与嬗变（partitioning and transmutation）方案。但是废物管理业内人士并不认为持久的或“无限期”的地表暂存是一种可以代替地质处置的方案，它至多只能暂缓最终处置的实施。分离与嬗变方案也不能代替地质处置，它充其量只能缩小有待地质处置的废物的部分体积或改变其同位素组成。

综观深部地质处置方案的开发现状，可以明确地说，通过在各国和国际废物管理计划中负责不同学科问题研究的众多专家的广泛努力，这个方案已经取得并仍在争取实实在在的进展。技术进步和与社会交流的改进比期望的速度要慢，因而许多深部处置库的营造计划被长期推迟。尽管多数设施距离其营造的开工日期仍然遥远，但毕竟已有一个处置设施正在运行，且有几个深部处置设施距其开始运行已为期不远。当第一座深部处置库已在顺利运行的时候，可以预言，由于公众信任水平的显著提高，通往最后建成处置库的道路必然是一条坦途。

# 1. 引言

## 1.1 本研究的关键问题、目的及范围

为了评价各成员国高放废物处置计划的研究现状，掌握技术发展的水平，也为了指导未来的工作，NEA 的放射性废物管理委员会（RWMC）在 1998 年 3 月的年会上同意并支持“过去 10 年放射性废物地质处置项目之进展的评估”。

本次评估打算解决的关键问题是：

1) 在为全世界长寿命放射性废物管理提供一种技术上安全和适宜的手段方面有无进展？

2) 特别是，过去 10 年中，地质处置的技术方面进展如何，以及地质处置的可接受性方面有无改观？

3) 制约未来发展和可接受性的现有关键问题是什么？

因而，本报告评估了深地质处置以下诸方面的状况和趋势：

1) 技术进展方面；

2) 立法与法规方面；

3) 营建及其与公众信任和政治接纳（political acceptance）之关系方面。

总结各有关国际团体和 NEA 各成员国在其地质处置计划的技术进展与发展现状方面的经验及思考，其目的在于：

1) 明确 10 年来所取得的进展和所经历的挫折；

2) 确定哪些是已经解决的，哪些是发现了但尚未解决的重大问题；

3) 确定当前困扰着放射性废物管理的关键问题。

本次评估的范围是对深地质处置领域和将要进行深地质处置

的长寿命废物管理领域的各参与国之发展状况进行实事求是的总结和评价。评估重点在 1990 年之后、即 1991 年版共同认识（参见第 2 章）发表以来的进展情况。本次评估的重点是废物管理界直接掌握的项目本身的进展，即技术、营造与法规方面的进展。但对项目以外的进展，如资金、政策与公众理解等影响着处置计划进展的诸多问题也有所涉猎。

本文引用的资料系由项目负责人、法规专家以及部分决策者提供，这些人代表着众多的国际团体和 NEA 成员国；还有部分资料来源于有关的文献检索。本次评估的成果预计对整个废物管理界，尤其是 NEA，展望今后 10 年的远景并提出建设性的工作建议都将有所裨益。

本报告面向技术管理人员和决策者等广大读者。正因如此，也还因为 RWMC 已明确意识到，一系列广泛的问题越来越多地影响着公众对于处置方案的信心，因而本文已超出了纯技术问题的范围。

## 1.2 引用的资料与本报告的章节安排

本文所用资料主要源于 NEA 放射性废物管理委员会以及 EC 和 IAEA 成员国有关废物管理组织对一份调查表的答复。调查表和回答了调查表的各组织的名单列于附录 1。调查表的答卷为了解许多相关领域的发展提供了翔实的资料。对相关文献的大量调研，特别是一些专门组织的专题研讨会和大型报告会的成果，NEA 核废物年鉴以及过去 10 年中一些国际组织的报告和 RWMC 内部一些早期报告的初稿等，是本报告的另一资料来源。

通过对调查表答案和其他来源的信息进行分析和编排，列出了如下的关键信息纲要：

- 1) 第 2 章概述了由废物管理界提出的地质处置方案的置信度；
- 2) 第 3 章介绍了地质处置各相关技术领域和立法与法规方

面的进展；同时介绍了地质处置库营建方面的进展与延迟；

3) 第4章指出了一系列需要记取的教训，特别是广大公众对地质处置方案缺乏信任感的问题。然后检讨了国际论坛和国际合作对阐述未来需求方面的作用，并展望了 NEA/RWMC 在此形势下的作用。报告结尾则概括了本次地质处置现状回顾总结出来的主要结论。

本报告正文之后另附录若干，可以更详细地反映各被调查人对于 RWMC 之内容广泛的调查表的答复细节。

## 2. 地质处置方案的置信程度

拥有核电的多数国家都在积极谋求“完整的核燃料循环”，其途径是制定“放射性废物管理计划”。这类计划之最终目标是将长寿命废物置于地质处置设施，即建于合适的岩石建造之中的深部地下处置库。这一方法是经过长期的争议和讨论之后才选定的。例如，海床处置、深钻孔处置、甚至太空处置等方法都曾有探讨，最终被认为，就费用和风险而言是不足取的，或者说，由于政策与立法方面的限制，是行不通的。目前，在废物管理计划中发生的争论，在某些情况下已不是地质处置能否作为长寿命废物处置优选方法的问题。问题在于何时、何地进进行处置，既要满足履行道义义务之需要，减少现在与未来的风险，又必须保证对其他管理方案给予充分的考虑，还必须争取广泛的社会参与并最终接受这一处置战略。

通过深部地质处置库中的处置使放射性废物永久地隔离于人类生存环境之外的构想诞生于数十年前。<sup>①</sup>经过长期争议与讨论，在废物管理界内部形成了广泛的共识：经过适当的选址和精心设计的处置库能够保证未来任何时间段的充分安全与可靠，而且，地质处置是保证长寿命废物与人类生存环境永远隔离的唯一可行

的途径。地质处置之所以被管理界所采纳，还因为它是一种道义上的承诺：今天应该做的事，不能留给后代。在 RWMC 过去各版本的共同认识（见附录 5）中都体现了这种承诺，其内容可概括如下：

1985 年版：地质处置可保证长期安全；

1991 年版：恰如其分地评价地质处置库长期安全的方法已经具备；

1995 年版：地质处置在道义上与环境上都是合理的。

事后发现，早先的各版共同认识尽管看上去偏事乐观，但其基本结论却得到了 IPAG 第一份成果报告（1997）的再度证实，RWMC 批准了这个报告。该报告称：“……NEA/IAEA/CEC 共同认识（1991）中所载成果依然有效”。

许多国家关于处置方法的争论仍在继续。在某些情况下，这些争论的内容既有分别评价各种候选方法对人类环境产生影响的泛泛而论，也有针对一些具体地质处置方案之可行性、可靠性和安全程度进行的评价研究。个别国家曾尝试通过立法来平息这种争论。美国即是这方面的范例。该国关于环境影响的一般讨论<sup>②</sup>曾分析过一系列大相径庭的候选方案，但最终还是选择了地质处置。由美国政府资助的这项研究，此后便成为该国实施地质处置的决策依据，这一点已载入 1982 年的《核废物管理条例》（Nuclear Waste Policy Act）及其修正案中。

尽管有些国家推迟了地质处置计划或者对所选场址提出质疑，却没有一个国家声明放弃这个方案。有些国家旗帜鲜明地支持地质处置方案，如英国 1995 年的《白皮书》<sup>③</sup>称“经证实，深部处置优于无限制暂存”，加拿大 1996 年的《放射性废物管理框架》以及西班牙的《放射性废物管理计划》（1994 年最新版）均属此类。有些国家的支持表述得不那么直接，例如，有些对于广泛处置计划的投资中，常常包括支持大型地下实验室的成分。还有一种支持表现为含蓄的推荐，如 1998 年，EC 建议其成员国：

继续进行高放废物处置库的选址、营建、运行及关闭等有关活动。对地质处置方案始终如一的信任还表现为许多国家的决策者、审管机构和执行单位仍然无怨无悔地做出努力。地质处置方案得到坚定不移的支持的决定性证据是过去数年间，许多审管机构，执行单位和监督机构都曾反复陈述过深部处置能够达到必要的安全水平的事实。

浏览一下 NEA 调查表得到的各份答复便可清楚地发现，所有被调查者都坚定地支持地质处置。诚然，就法国而言，立法要求对处置、暂存和嬗变同时展开研究。荷兰被反对处置的一派树为放弃地质处置方案的典型国家，但从其对调查表的答复来看，是将这一方案推给了将来。荷兰的态度与普遍的意见其实别无二致，也认为深部地质处置才是废物管理的长久之计，才能达到必须的安全水平，只是要求地下处置库的设计应能保证，在将来的某一时刻，一旦认为有必要，可将这些废物重新回取<sup>④</sup>。即使在那些反核力量强大并有立法或者积极倡议逐步废除核电运动的国家（如瑞典、德国、瑞士），也普遍地认为地质处置是必要的。

---

注 ①早年关于现实与道义问题的争论计有：Scott K.G. (1950) “放射性废物处置——如何影响人类经济？”（《核子学》Vol.6 第1期）；Hatch L.P (1953) “放射性废物的最终处置”（《美国科学家》Vol.41 第3期）以及美国科学院 1957 年发表的国土调查报告“放射性废物的地面处置”。

②此指“最终环境影响报告书——商业放射性废物管理”。（DOE/EIS - 0046 - F, 美国能源部，华盛顿 D.C.1980）。

③放射性废物管理之政策回顾。最终结论。（cm 2919, 1995 年 7 月）。

④这里是指：在某时某刻，甚至是在从封闭的处置库中回取的极端情况下，假如工程步骤十分昂贵却又并非不可能，且有些类似于有毒矿石的开采，如何实现较为简易的回取。详见第四章。

## 3. 地质处置方案的进展

从 20 世纪 70 年代初以来，许多国家即已着手实施废物地质处置方案的开发计划，至今，大多数 NEA 成员国都已拥有长寿命放射性废物的地质处置计划（见附录 1 RWMC 调查表的被调查者名录）。为使放射性废物处置成为现实，投入的力量可谓大矣。

在过去 10 年中，地质处置方案所涉及的各项技术领域（处置技术、对天然系统的认识、场址特性评价、对天然与工程屏障作用的认识、长期安全评价及其置信度论证、为防止人类闯入处置库而保存必要信息的作用的认识）以及立法与法规建设均取得了意义深远的进展。

但这个时期内在政策、实施或法规框架（附录 2）或技术上却几乎没有根本性的变化。缺少根本性的变化并不意味着上述的进展无关紧要，相反，恰恰说明十数年前的关键决策毋需作根本性的修正。

### 3.1 技术进展

技术的进展得益于深地质处置计划各主要技术构成部分的完美结合，这几部分是：

- 1) 处置系统的设计；
- 2) 候选处置场址的特性评价；
- 3) 整总系统性能评价。

各种活动之间的相互依赖关系现在已经得到广泛的认同，并建立起综合的计划管理机构，以促进各领域的交流。尤其是场址特性评价与设计相结合的战略更是得到了广泛的采纳，其中实验与设计工作的重点集中在如何提高系统安全性与置信度等领域。

技术上的主要进展可归纳为如下几点<sup>⑤</sup>：

### (1) 处置技术

就整体而言，地质处置所必须的技术（废物整备、处置库设计与工程技术等）已经具备，一旦公众的和政策的环境允许即可展开部署。虽然如此，某些技术的施工经验尚嫌缺乏，因而仍需继续论证与试验以求得进一步改进。

废物整备和处置库设计与工程方面的进展主要表现在设计方案与技术日臻完善，已达到可实际操作的水平。新的设计方案与技术突破相对较少，主要趋势是不断完善现有方案并进行更为严谨的论证。另一趋势是越来越强调需对建库的可行性进行示范，并确保其长期性能。许多支持者得出了如下结论：地质处置的必要技术均已具备，一俟公众方面和政治条件有利便可展开部署。还有一个非直接的证据：普遍认为，目前阻碍处置库开工建设的关键是那些具有社会学性质的问题（见 3.3 节）。

### (2) 对天然系统的认识和场址特性评价

在天然系统研究、候选场址特性评价，尤其是测试方法与步骤上，以及在更准确地判断系统中的不确定性和系统不均一性方面，确实取得了决定性的进展。

在潜在场址和地下实验室中，数据测量技术得到了进一步改正和试验，数据处理技术、解释方法和计算机程序均有所改进，因此，较之以前野外现场数据能提供更为确切的相关信息。然而，实验表明，所能得到的仍然是一些非结论性的数据，因此为了了解整个系统，换言之，为了减少比原来所知更为复杂的总系统的不确定因素，必须获取更多的数据。地质环境普遍表现出来的不均一性得到了越来越普遍的认同。目前，场址特性评价的重点是强调必须进行安全评价，尤其是强调研究导水断裂及其地下水流动特征。一般认为地下水作用是导致处置库放射性核素释放并迁移至地表环境的最有可能的因素。对于安全评价十分重要的其他方面，诸如水文地球化学分析、胶体的作用、有机物以及可能的微生物作用分析等，也都得到了关注。

迄今为止，尽管人们对于场址特性评价中那些与处置库设计最优化有关的问题关注不足，但是，用于判别处置库主岩可接受性的与安全有关的技术标准的制定仍然有所进展（包括瑞典的单个处置孔可接受性评判标准）。

评判处置库主岩可接受性的技术标准是十分重要的标准。如果它是在勘探计划制定之前制定，尤其重要。这类标准不仅对计划本身具有指导意义，还有利于使公众相信：在公开论证中，一旦证实某一场址是不可接受的，则执行单位随时准备放弃。另一方面，如果这些标准不现实或过于简单化，则有可能导致某一能完全保证公众健康与安全的场址遭到放弃。

简言之，对天然系统认识的深化，使得场址特性评价由过去对地质数据相对无序的收集变成了以收集处置系统性能评价所必需的关键数据为目的的定向技术活动。

### （3）天然屏障与工程屏障之作用

在某些计划中，由于更多地了解了不均一天然系统全面特性评价的困难程度，因而在过去 10 年中，工程屏障系统得到了较多的关注。这些计划倾向于采用坚固的工程系统来超越天然系统性能评价中固有的难点，并以此来提高整个系统的置信度。坚固的工程系统在设计上应该是简单和保守的，并且必须与天然系统在化学上相容，而在功能上又能有所互补。目前强调的通过工程手段来提高可靠性的措施当然不会否定地质环境仍然是整个深部处置系统之关键组成部分的事实。实际上，对于那些以相对均一地地质建造为考虑对象的计划而言，工程结构的作用主要保证处置库运行期间的安全。

场址特性评价之前，对场址性能的模拟是以对天然系统特征的理解化认识为基础的，并不能反映真实的情况和场址评价之后才能发现的不确定性。普遍地讲，这意味着对某一场址了解越多，对其不均一性和不确定性了解得也越多。过去 10 年中，分析人员认识和评价系统不均一特征的能力得到了极大提高。普遍

地认为，与天然系统相容、功能上又能互补的坚固的工程系统能够抵销天然系统中未被认识的不确定性，尤其是对位于裂隙岩石中处置库而言。天然系统保护工程系统不受人类闯入和地表、近地表环境条件骤然变化所造成的破坏，还能提供一种使工程系统所用材料“益寿延年”的有利环境。同时，它在化学上与物理上起着缓冲作用，有利于保持废物罐的低速失效和此后放射性核素的极低速释放。这样，被处置废物中的绝大多数放射性核素，实际上永远不会离开其被处置的地点。仅有相对较少的放射性核素有可能从精心设计的工程系统中释放出来，即便如此，这些核素也会随离处置库的距离增大而与地下水混合并释释。而且，在曲折的迁移通道上，许多核素受到迟滞并将经历大幅度衰减。然而，某些计划中目前强调的通过工程手段提高可靠性的措施将绝不容许贬损处置库之地质环境和水文地质环境的作用，在整个深部处置系统中，它们仍然是命运攸关的组成部分，而且，工程系统带来的不确定性也是不容忽视的。

#### (4) 长期安全评价及其置信度

性能评价领域取得了重要的进展，特别是在处置库系统分析方法学和更可靠的模型开发方面，后者则反映了对天然系统与工程系统的认识与设计上的进展。

性能评价领域取得的重要进展包括：对系统内各组成部分之性能及其各自作用的认识，其各自性状的定量化模型技术，不确定性处理，评价成果的表述及其向选址、特性评价及处置库设计方面的反馈（以上各方面进展在附录 3 有详细介绍）。概率模型得到更合理的应用。对于概率评价方法和决定性评价方法各自的优势与不足的认识有了很大提高（NEA1997）。有些计划已开始将不同方法结合应用。

除此而外，由于必须对场址的庞大数据组进行处理，已经形成了用于评价模型的较为规范的数据简化方法。虽然现有场址数据的应用一旦增多（处置库设计越来越详细），便提出了新的挑

战，且需要比早期性能评价投入更多的力量，但在性能评价方法的应用过程中却并未出现无法逾越的问题。

至于性能评价中置信度的建立/验证，许多人注意到认识已有所提高。这在很大程度上是因为，要对一个开放系统诸如处置库及其所处环境的演化进行完整的描述是不可能的，这种系统的特征无法完全确定，它甚至可能受到系统边界以外的自然因素和人为因素的影响。但是，正如后面将要讨论的，全面特征描述将不作为处置库开发决策的必要条件提出。

#### (5) 性能评价在处置库开发决策过程中的作用

一般说来，处置库开发采用的是一种渐进的和灵活的分步走的方式，这在 3.3 节中将进一步讨论。在决定是否能够从这一步推进至下一步时，技术专家与执行单位和审管机构领导者的责任是必须提供能够证实建议方案可行性及长期安全置信程度的技术依据。而支持每一步决策所要求的认识深度和掌握的技术信息是不同的。

应该明确，决策只要求包括性能评价及证明评价成果置信度的证据在内的技术依据足以支持眼前的决策，并要求制定有效的战略以应付未来阶段可能出现的影响可行性及长期安全的不确定因素<sup>⑥</sup>。

#### (6) 性能评价所反映的提高安全置信度的方法

一旦必须强化技术依据才能保证做出肯定的决策，则所用的方法可能包括修改处置库设计和改变所选场址，以提高方案的坚实程度。还包括一些提高性能评价成果置信度的方法，如方法、模型及数据的完善和检测、研究与开发中采用更严格的质量保证措施、评价决策以及输入/输出数据的监控。

至此，地下实验室的积极贡献已得到了认同；天然类比研究也被认为是实用的方法，尽管这种方法仍未能提供许多人希望的那种过得硬的证据。地下实验室工作计划中的关键性能评价模型和数据库测试作为置信度建立过程的一个组成部分，受到越来越

多的重视（附录 3.3）。天然类比研究提供了置信度建立过程的另一个组成部分，尽管天然类比研究与性能评价的进一步结合仍被认为是一个有待深入开发的领域（附录 3.4）。

有些在性能评价中必须表述的不确定性可以识别出来，但在实践中却又无法进行量化说明，也没有可能使其稍事减少（如人类的偶然闯入及地表环境或生物圈的演化）。此类不确定性常用一种标准化或简化的方式来处理。

如果文件中载明曾经做了上述简化处理，而且由于存在着无法减少的不确定性，评价结果将被视为系统行为的指标，而不能作为未来可能实现的结果的预测，那么，上述标准化和简化的处理便无损于性能评价成果的置信度。如果与法规标准比较的结果适当，则审管机构和其他有关决策者将能判断出可否接受这种简化处理。

#### (7) 信息保存对防止人类闯入的作用

在甚长时期内保存指示处置库存在的信息，理论上已做了探讨。实践上也采取了逐步建立放射性废物档案的步骤。

在一个相当长的时期内保存指示处置库存在的信息可以最大限度地减少由于人类闯入和其他破坏性人类活动引起的处置库偶然损坏的可能性。这方面的问题，尤其是标志与档案的作用等，在 OECD/NEA 工作组 1995 年公布的成果报告<sup>⑦</sup>中都进行了讨论。1990 年的北欧研究、美国 WIPP 设施许可证以及 IAEA<sup>®</sup>对此都曾有过考虑。有些国家已经建立了这方面的法规，要求必须将处置库处置的废物的记录文件的某种关闭后档案的形式保存下来。此外，在《乏燃料安全管理与放射性废物安全管理公约》（3.2 节）中，要求其成员国定期报告他们在新的处置库选址方面的实践活动。这意味着建立国际放射性废物处置档案已经迈出了第一步。

## 3.2 立法与法规方面的进展

放射性废物处置接受国家立法机关的指导，依照国家的法律法规来进行<sup>⑨</sup>。同时，国际合作促进了各国的废物管理计划，这种合作不仅为世界范围的技术信息与经验的交流创造了机会，也带来了国际认同、造就了非强制性安全标准和国与国之间的强制性协定。

各国和国际上这方面的进展可归结如下。

### (1) 审管机构与执行单位在关键问题上的一致意见

1997年初，NEA在科尔多瓦召开了极有意义的专题研讨会，参加者包括许多国家处置计划的审管机构和执行单位。本次会最重要的新特点是旗帜鲜明地支持各团体间开展对话。其目的之一是确定对关键问题的一致意见，以避免使广大公众对一些明显的差别产生误解，尽管这些差异多半是语义上的而非本质上的。与会者检查了废物处置之目标和标准，性能评价的动态和立法程序的执行情况。在仍需讨论的法规问题上，取得一致意见的各关键问题是：

- 必须制定较之单纯的“高水平”剂量标准或风险标准更合理和衡量标准；

- 废物管理中充分保护人类，同时保护大环境的指导原则值得质疑；

- 长期性（一万年以上）是不容忽视的问题，但随时间的增长，必须给予不同的处理；

- 审管机构与执行单位以及与更广泛的社会团体之间的交流急需改善；

- 许可证申请条件（游戏规则）应在其实施之前制定出框架——可适当采用一些简化的或程式化的方式；

- 分步走的方式对于实施者单位、审管机构决策者以及公众都是有用的。

NEA 成员国的代表们提供的对调查表的答复中也明确地体现了上述结论。

## (2) 国际认同的安全标准之发展

国际辐射防护委员会 (ICRP) 制定了全世界通行的辐射防护基本原则与标准。10 年来, ICRP 又针对那些既不能预见同时也无法排除辐照的一系列实际情况制定了辐射防护原则, 还制定了放射性废物管理有关政策和道义问题的总方针<sup>①②</sup>。针对长寿命废物处置库性能评价, 如生物圈变化引发的问题、作为许可证申请之一部分提交的将特殊情景排除在安全评价之外的合理性说明、对未来人类理应受到与今人相同的保护这一原则<sup>③</sup>的阐释等。ICRP 也提出了自己的意见。

以 ICRP 的工作报告为基础, 国际原子能机构 (IAEA) 颁发了国际认同的非强制性放射性废物安全标准, 放射性废物安全标准 (RAWASS)。其目的是为废物管理的安全文件制定一种规范的格式并使其能够覆盖所有相关的工作领域。最近, IAEA 组织了一个工作组, 负责探讨并在可能时提出对于深地质处置及其成果的有关问题的一致性意见。一旦完成, 连同 ICRP 颁行的总方针一道, 它有可能成为各国制定新的安全标准的指南。

## (3) 国与国之间的强制性协定

过去 10 年中, 在 IAEA 的支持下, 在许多主权国家之间签定了一系列强制性的协定。这些协定可视为促进核安全领域政府间合作的全球法规框架的一部分。针对放射性废物处置的《乏燃料安全管理与放射性废物安全管理公约》于 1997 年正式通过, 一旦批准, 将成为这个领域第一份强制性法规文件。这个公约生效后, 签约国审查会议将通过对各国报告进行一视同仁的审查而使公约的规定得到严格遵守。

## (4) 各国法律法规发展的趋势

各国法规反映的趋势是主张在精确评价辐射剂量和风险之外采用安全指标 (safety indicator), 并对长期影响采用标准化方式

进行评价。

这个趋势反映了国际上关于在遥远的未来放射性及其他安全目标能否达到的论证方面一系列难点问题的讨论，也反映了 ICRP 和 IAEA 的工作状况。其结果是建议在辐照剂量和风险标准之外，再采用放射性核素的环境浓度和生物圈通量等安全指标作为扩大安全评价范围和获得社会各界支持的方式。此外，一致认为，将处置库安全评价按任意时间段划分为若干阶段；虽然没有什么科学的依据，但处置库关闭之后，各时间段内性能评价的性质肯定是不同的。尤其是，不确定性将随时间的推移而增加，因此评价结果只能视之为安全指标，而不能当作各种影响的结果预测。由于这种考虑，连同其建议一道，使得评价长期影响的国际认同的标准化方法得到了发展，如关键居民组与生物圈参照系等概念。这些建议反映在 IAEA 工作组发表的《放射性废物处置的原则与标准》等文件中。此外，在 ICRP 行将出版的长寿命放射性固体废物处置之放射性保护原则的报告中，可望看到关于上述问题的具体方针。

另一个趋势是主张将各国废物处置的法律或法规置于更广泛的环境法规体系之中。

许多国家对那些建筑施工或运行有可能给环境带来严重影响的设施都进行了环境影响评价 (EIA)<sup>④</sup>。EIA 由设施的经营者或投资者负责实施，采用公众可以参予评论的方式。但是，很少提到类似可持续性问题、在立法层采取成熟的方法以保证不同放射性废物之间以及核废物与非核有害废物之间有一个统一的环境保护标准等问题。

此外，尽管许多国家自称其放射性废物处置的相关立法与其他环境立法之间一脉相通，但目前尚没有直接证据证明以客观风险为基础的法规能够一视同仁地对待所有可能危及人类的公害。例如，某些国家批准向钻孔内注入有毒材料的许可证原则上要求申请者论证这些材料的毒素永不危及地下水，却并不要求提交这

些材料在遥远未来可能性状的分析报告，也不要要求其接受与放射性废物完全相同的审查程序<sup>⑧</sup>。

### 3.3 实施上的进展与拖延

过去 10 年中，在政治层面上，越来越多的人意识到，地质处置是必须的。所有国家都承认有责任对本国的处置问题拿出解决的方案，并在实施方面取得了一些实际的进展。

在废物管理的所有环节上，每一步骤的实施均取得了一系列进展，所有这些步骤都以最后的处置为终极目标。每一点进展都不仅是使燃料循环进一步完善。同时，通过废物管理界示范可以为处置设施选出合适场址并营建及安全运行，也有助于赢得公众的信任。取得进展的领域包括：

#### (1) 废物处理与暂存设施的建立

尤其值得一提的是干法暂存工艺的开发与乏燃料、高放废物集中暂存设施的建立。

#### (2) 场址特性评价的经验

10 年前，有关场址的实际资料很少，获取资料的战略与方法也极其有限。今天，许多国家都已制定了利用地球物理、钻孔钻进、甚至勘探竖井和斜井进行详细特性评价的综合计划。现在可用于场址分析的地质、水文和地球化学资料已经远远地多于 80 年代。

#### (3) 地下实验室的建立

这种设施，除了能为实验方法和理论模型提供宝贵的实验场所以外，对于那些有幸看到设施运行的人，也是争取其信任的极有效的方法。附录 3 中较详细地介绍了世界各国正在运行的若干地下实验室。

#### (4) 中等深度设施投入使用

突出的实例是瑞典、芬兰和挪威目前正在运行的低中放废物处置库。地下洞穴中最终处置放射性废物已经成为现实，这是处

置方案可行性的直接证据。

#### (5) 某些深部处置库即将建成

以接纳长寿命废物为目标的深部处置库的出现是地质处置研究过程中的一个重要里程碑。反对者强调，至今尚未有任何此类设施投入使用。核工业界早期曾言：“并无迫切需要或者处置前应有必要的冷却时间”。这种想法已然过时。某些国家的现有废物已经过充分的冷却，证明有必要开始进行处置了，尽管，多数国家的废物体积还很有限，尚无采取紧急措施的必要。德国已在 Morsleben 建成了接纳低-中放废物的深部处置库，尽管现在运营停顿下来。美国处置长寿命废物的处置库——“废物隔离试验工厂”（WIPP）即将全面建成。1998 年 5 月，EPA 颁发了许可证，批准在 WIPP 开始处置超铀废物，1999 年 3 月 22 日，美国一个法院作出了有利于 WIPP 开始运行的裁定。此外，新墨西哥州也已经启动了批准化学上有害的超铀废物（混合废物）开始实施处置的许可证颁发程序，并且同意，不将暂存在 Los Alamos 的废物作为混合废物来处理。超铀废物已于 1999 年 3 月开始向 WIPP 启运。《“尤卡山可行性评价”报告》已于 1998 年 12 月提交国会讨论。如果尤卡山被认为可行，可望在 2001 年提出场址建议，2002 年提出许可证申请。

考查一下废物管理界对该领域过去十年中取得的积极进展的看法是很有意义的。因此，NEA 在其调查表中进行了适当的征询。下面的表格系根据附录 6 归纳而来。表格清晰地反映了以可见的方式推动计划进展的重要性。参与此次调查的单位指出的进展不仅对本国的各类计划而言，对他国的计划而言也是积极的贡献，同时，再一次证明了放射性废物管理领域有密切的国际联系。

当然，这些正面的意见都来自废物管理专家而非广大公众。此外，还有一些反面的意见，主要集中在难于取得公众信任这一问题上，而公众信任是推进废物处置计划，进入确定具体场址和

设施建设阶段的必不可少的条件。

普遍认为，分步进行处置库的规划、许可证颁发和计划实施具有重要意义。

处置库开发是一项全新而复杂的任务。这就意味着处置设施的详细规划，许可证颁发及项目实施不可能一蹴而就。相反，它需要一个循序渐进和曲折的过程。在这个过程中，随着信息和经验的增加，置信度逐渐提高。分步进行的战略之所以具有重要意义，不仅是缘于上述客观的、技术的和程序上的理由，还因为社会决策也是一个跬步而前的过程。尽管大多数计划事先就预见到了从一般到特殊场址调查直至处置库实施这样一个长期的、分阶段展开的过程，但是“分阶段战略”这一概念的含义在各国的理解是不同的，而且，这个概念在实践中所代表的确切定义也是不断发展的。一般说来，它涉及到许多的开发阶段，阶段之间穿插一系列相关的决策过程，诸如地表暂存、选址与设计、安全评价、场址特性评价、开工建设及运行和关闭的许可证签发、封闭与关闭后监控等决策，都有赖于处置库的开发而逐步形成。不连续的、易于全面考察的“分阶段战略”使得决策过程便于追踪，审管机构与公众的意见便于相互反馈，使得公众和政治层面对设施安全的信心以及对处置计划的审管机构、计划执行单位能力的信任程度都有所提高。从“分阶段战略”中产生的置信度，在某种程度上也来自对正确系统行为的长期观察（示范活动）。应该说明，在具有庭讼特征的社会里，为确立有较高规范和立法依据的“分阶段战略”所付出的代价是为达到技术与社会目标，计划执行时间延长，并且费用远远超标。

附表 最经常提到的国际进展以及各国对深部处置  
有积极影响的进展例证

各国计划中的积极进展与事件	具国际意义的积极进展与事件
<p>各国的废物管理设施已经建成或正在建造中</p> <p>有可能成为处置库的某些设施已经开工建设, 如德国 Gorleben 竖井的开凿和尤卡山主巷道的建设</p> <p>某些地下实验室已在运行中, 这些实验室是未来场址的组成部分, 如比利时的 HADES 设施</p> <p>场址特性评价与安全评价方面取得进展, 如加拿大环境影响报告书的发表</p> <p>各国安全与可行性研究重要阶段成果的发表</p> <p>各国关于地质处置或确定废物管理战略方面发表了政府政策报告</p> <p>规章制度改革和/或法规指南的发表</p> <p>开展了有助于直接面对公众并扩大公众参与的地方性和地区性公关活动</p> <p>承认除了商用核动力产生的高放废物以外, 其他废物也需要深部处置</p>	<p>其他国家在废物管理设施建造方面的进展 (如 WIPP 获得运营许可证书是普遍引用的进展例证)</p> <p>其他国家在场址特性评价和安全评价研究取得的进展</p> <p>场址特性评价及安全评价技术日臻完善, 能够进行更可靠的分析</p> <p>在研究与开发, 尤其是地下实验室研究方面, 开展了国际合作</p> <p>国际合作与共识日渐扩大</p> <p>发表了有利于国际合作与共识的国际机构的工作成果报告 (提到最多的是 NEA/EC/IAEA1991 年的共同认识和 NEA1995 年的共同认识)</p> <p>在评价各种新方法如乏燃料 (SF) 的后处理、直接处置、混合氧化物燃料 (MOX) 的使用、可回取处置等对处置计划的影响方面加大了工作力度</p> <p>越来越多的人意识到许多环境公害的问题较之放射性废物处置问题要严重得多, 而受到的关注却远未及之 (尤其是温室效应)</p>

普遍认为, 不仅要使技术人员能够接受, 也必须争取广大公众的信任; 缺乏公众的信任是造成计划推迟的主要因素, 可以说

是实施深地质处置的最大障碍。

尽管废物管理界和许多国家的决策机关都知道地质处置是使长寿命废物与人类环境最终隔离的最好途径，尽管技术上取得了诸般进展，大多数执行单位所企望和期待的启动深部处置库的时限较之十年前还是推迟了。迄今尚未有一处用于长寿命废物处置的深部处置库投入运行。推迟的原因有可能是技术和科学进步尚有欠缺，更多的却是因为难于得到公众信任和政策上的接受。现举一例：加拿大政府专项调查组审查了核燃料废物管理与处置方案，该方案的技术安全已得到论证，只因缺乏公众信任，不得不采用一些辅助的补充措施。所有核电股东所面临的关键问题是如何和何时才能取得足够的社会信任。在许多国家，对于废物管理问题的关注都只集中在争论双方特别感兴趣的群体内，而广大社会却表现得漠不关心。如果缺乏广泛社会的信任，则废物管理机构便缺少借以衡量争取这种信任是否成功的尺度，而政府则缺少适当的决策准绳。

导致时限延期的具体因素包括：

- 1) 国家政策的变化及法规或公众审议活动导致的意外拖延（如英国、瑞典、瑞士、德国、加拿大和美国）<sup>⑦</sup>；
- 2) 普遍采用分阶段方式推进处置计划，增加了一个废物回取阶段（如瑞典、瑞士和美国）；
- 3) 再度出现的要求考虑分离与嬗变等替代方案的压力。

例如，据称，由于在公众征询中失利，使英国的计划倒退了“数十年”；在瑞士，因在公众投票中失利，低-中放废物地质处置计划推迟了许多年。瑞典和美国雄心勃勃的计划已经推迟了若干年，开发中的不确定性导致加拿大提议中的深部处置启动日期推迟了数年，甚或数十年。

在加拿大，一个独立的环境评价专家组曾就核燃料废物长期管理与处置的责任、资金来源和优选方式提出过一系列建议，其中大多已被政府所采纳。该专家组还建议，对所有领域中的公众

信任问题都应给予充分的关注。尤其是为设计和选择核废物管理与处置的优选方案还应设立专项基金。该专家组的结论很有意思：“尽管方案的技术安全已经过论证，但公众信任程度仍然太低，以至无法立即开始选址。”

在英国，Sellafield 地下实验室计划被否决之后，放射性废物处置下一步工作的建议和方针尚待政府做出新的决策。

在法国，立法规定在 2006 年之前，关于废物管理战略将不做任何最终的决策。届时，用了 15 年的时间对处置、暂存和分离/嬗变三种方案展开的平行研究将会告一段落。不过政府已决定批准开发两个地下实验室的计划。在三年之内还必须沿用来自愿法选址的方式，选出新的硬岩场址。第三个场址（Guard 场址）可能作为近地表暂存场址开展研究。

在德国，尽管对 Gorleben 和 Konrad 场址投入了巨大的技术力量，新政府在接受深部地质处置库作为最后处置手段的同时，对于在何处建处置库及其时间安排，却要重新考虑。

荷兰则通过立法，决定推迟地质处置，并只支持“在任何可预见的将来，废物均能完全回取”方案的研究。

这些延期说明各国的计划在实践中遇到了问题，诸如技术力量的浪费，如无资金预算以应延期期间之需便没有充足的资金保证等。此外，没有最终处置的手段，各国的废物问题就仍然存在，如不解决，就会变成后代人的负担，而子孙后代却并未从现有乏燃料及后处理废物所生产的核能中受益，因而有悖于代际公平之原则。

然而，尽管有所推迟，却没有哪个国家废止实施地质处置的决策，实施地质处置乃是使长寿命废物与人类环境永远隔离之唯一可行途径的共识并未受到影响。

---

注 ⑤附录 2、3、4 中列出了各国对深地质处理技术发展现状与发展趋势调查表的答复以及其他一些参考文献中的资料。需要说明的是，尽管在技术与安全

方法复杂程度的判断上，各国的回答略有出入，但对所有关键问题的认识基本上是一致的。

⑥“深地质处置库长期安全的置信度、发展与交流”。OECD/NEA 巴黎 1999。

⑦“人类未来在放射性废物处置场址的活动”OECD/NEA 巴黎 1995。

⑧“放射性处置记录的保存”IAEA，维也纳，1998（报道）。

⑨对于法规与立法现状及其发展趋势调查表的答复列于附录 2。

⑩“关于放射性废物处置的长期安全”，科尔多瓦、西班牙，1997 年 1 月 20-23 日。会议文集由马德里（Consejo Seguridad Nuclear 编辑出版发行，1997。

⑪ICRP64 号出版物：“潜在辐射的防护：理论框架”，ICRP 第四专业委员会项目组报告，ICRP 年报 Vol.23/1，1993。

⑫ICRP64 号出版物：“固体放射性废物处置之辐射防护原则”，ICRP 年报 Vol.15/4/1986。

⑬ICRP77 号出版物：“放射性废物处置之辐射防护政策”，ICRP 年报 Vol.27 增刊，1998。

⑭其中包括执行 EC 相关法令的国家；有关环境影响评价及实施相关法令的 DG - Xi 研究报告将于不久后完成。

⑮联邦法规条例第 40 号，环境保护，第 148 章，“有害废物倾限制条例”，联邦档案局，国家档案登记署，华盛顿，D.C.1997。

⑯美国只颁发过一次许可证，却仍然遵循着“分阶段战略”的原则。批准开工建设之前进行过安全评价，并在接纳待处置废物之前做过修正；在封闭处置库的许可证修正案之前，再次进行了修正。这期间，一直进行着研究和定期的性能评价。

⑰与那些延期的或进展缓慢的计划完全不同，某些国家如捷克共和国，其正在制定的高放废物计划，由于国际合作，有可能取得迅速进展。

## 4. 应记取的教训与基本结论

### 4.1 废物管理界必须采取的行动

废物管理界对地质处置的支持部分是建立在对实施可靠安全的处置库计划之技术可行性的信任基础上的。如第三章讨论的那样，许多国家都制定了处置库计划，都开发了实施处置库计划所

必需的一系列技术，通过场址特性评价和研究与开发获得了对于与安全有关的各种作用的深入理解，并用一系列严格的安全评价方法<sup>⑧</sup>对该方案的安全性进行了论证。许多国家还对此类评价的结果进行了独立的审查。

废物管理界对地质处置方案的优势在技术上有相同的认识，而广大公众和社会决策层却不尽然。技术人员广泛地认为，实施处置设施的障碍与其说取决于未决的技术问题，倒不如说取决于公众信任的缺乏和政策上能否采纳这个方案。

应记取的教训罗致如下：

(1) 必须使废物管理界对深地质处置方案及其技术可行性的信任和共识得到证实，并与广大公众沟通。

大多数活动中的技术人员既来自审管机构又来自执行单位，在希望得到公众信任和政策采纳之前，这两个单位的人员必须对处置的安全性首先取得一致意见。在审管机构和执行单位以外，尤需强调并广泛宣传如下观点：

1) 废物管理界对地质处置方案的必要性取得了明确的共同认识；

2) 经过适当设计和选址的处置库，其技术可行性与安全性具有很高的置信度；

3) 已经或正在提出分阶段选址研究与处置库开发的明确程度；

4) 说明共同认识和置信度的最有价值的例证将是一个或若干个处置库的成功运行。

某一国家的公众对处置库方案的信任无疑会因其他国家，尤其是相邻国家同类处置计划的成功而得到加强。一国发生的事件，无论是好事还是坏事，肯定都会影响其他国家公众的态度。坏事的影响，切尔诺贝利显然是一例。而近年来最明显的好事要算按照国家法规要求颁发的 WIPP 运营许可证书了。

(2) 外部同行的审查和内部自我评审仍然是技术人员提高处置库可行性研究与安全研究置信度以及发展废物管理组织“安全

文化”的重要方法。而且，自觉接受同行审查也有助于提高该组织开诚布公的声誉。

过去 10 年中，许多研究计划都接受过国际小组的外部同行审查和内部自我评审。有的外部同行审查曾由 NEA 和 IAEA 组织实施。这种审查对于

1) 接受审查的单位而言，可以获得国际方面对该单位工作质量（或其反面）和其它相关工作的信任以及对未来工作方向的指导意见；

2) 对于决策者而言，可以获得对于该单位开诚布公、乐于接受外部监督的信任。

此外，那些参与审查的专家也可以借此深入了解被评审其他单位的方法和成果。

一个单位的自我评审对于内部全体员工而言，可以加深对工作目标和实现目标的手段的认识，尤其是有关安全的目标与手段。还能在单位内部造成良好的交流的氛围<sup>⑨</sup>。

(3) 必须争取更广泛的公众参与并加强与公众的沟通。这就要求在处置库规划、许可证签发及实施处置等不同阶段均须如此。这样，审管机构和公众的意见能够及时反馈，公众对安全的信心和对计划执行单位和审管机构的信任也能得到提高。

计划执行单位和审管机构都曾将技术上的争讼推给决策者甚至政治家们。执行单位和审管机构都知道，公众参与是目前的关键。在这个敏感的领域怎样取得成功，或者能否取得成功，审管机构和执行单位普遍地持有现实的甚至是悲观的评价。为适应各国计划的需要，寻求有效的方法，与公众沟通，争取公众的信任，以期求得适合各国国情的解决方案，这是一个值得注意的方面。目前已经具备很多种方法，使公众能够对计划和实施进程提出自己的意见。许多国家现有的作法是采用分阶段方式进行处置库开发（见 3.2 节）。这明确反映了公众不喜欢时间跨度太大的不可逆的工程步骤。例如在瑞士，在 Wellenberg 场址问题上公众

投票失利的基本原因很可能是公众更希望在首次颁发的许可证上只批准建设一个探索性坑道，而不是直接建设最终处置库。

关于向广大公众和社会决策者通报地质处置情况的问题在附录 4 中进行了讨论。应该承认，迄今为止，这方面努力的成果还是值得怀疑的。可以通过以下途径争取公众更大的信任：

- 1) 以自始至终完全公开的方式，与不同层次的公众进行沟通；
- 2) 规定明确的决策过程，并明确规定审管机构和执行单位的职责，建立互不抵触的法规框架，最好是将其他核和非核法规的风险指标一并考虑在内；
- 3) 充分利用各种方法使公众意见融入处置库的规划与开发过程。

废物管理界的一个愿望是通过执行单位乐于认真考虑公众所关切的一切问题的表现，最终能够取得公众的信任。事实证明，许多国家的公众都有能力阻止核项目提案的进展（或一定能够使对其进行详确的重新评价），因此，没有国内公众一定程度的认同，处置库计划就未必能成功。

(4) 为促使地质处置方案与广大公众见面并争取公众信任，必须就赞成或反对长期监控、可逆转性和可回取性的意见进行公开讨论，必须勇于重新评价地质处置方案与建议中的其他废物管理方案之间的优劣。

尽管废物管理界内的绝大多数人相信，地质处置是一条符合道义要求的途径，可以为废物问题提供一劳永逸的解决方案，可是，仍然存在另一种观点，认为应该尽量为后代留下一些可选择的方案，这才是符合道义要求的。这说明，在许多公众和社会决策者看来，“处置”是一种以牺牲其他变通方案为代价换取后代负担减轻的战略。因此，就有如下争论：要么推迟处置，要么以确保监控、必要时的可逆转性和可回取性的方式实施处置。

实际上，废物管理组织正越来越密切地关注可逆转性和可回取性。专栏 1 中的加框文字概述了这种方法的目标，并举例了各

国在这方面的新进展。

### 专栏 1：监控、可逆转性与可回取性

可逆转性可以算是贯穿废物管理始终的一个目标。废物整备的形式尽量不要妨碍未来技术发展成果的采用；在完成其它方案的探索之前，不对场址做最后的指定；设计方案不应过早地定型；处置库启动、运行与关闭应该全部采用小步骤推进方式，使每一步骤都得到充分的考虑。全部处置过程的逆转即回取原来放置的废物，可能是最具挑战性且最有争议的问题。可操作的、技术上易行的可回取性与最大限度的隔离是一对矛盾；在处置的经济方面，计划一种可以回取的处置方案，就必须准备资金以便开发其他替代的处置技术。然而，由于人们日益普遍希望不过早确定未来方案，相应地，对评价某一时间段内（有时是很长的）的可回取性和可逆转性也便越来越重视，而在该时间段内进行的监控，或许将证明能达到设计的安全水平，或许将使原来的安全评价结果变得疑窦丛生。

对于长寿命废物，荷兰、法国、美国等国政府都建议或要求重新考虑（处置后有限时间内的）可回取性或可逆转性。某些国家诸如瑞典、瑞士、加拿大和英国的实施者都已注意到了公众及政治家们的意向，为保证较最初设想的时间更长的时间期限内的可回取性做了诸多努力。明确考虑的可回取的期限是整个运行阶段，约在百年以上。

可逆转性和可回取性问题，涉及道义、社会、保险、安全与技术诸方面，用 EC 被调查者对 NEA 调查表的答复中的话来说，确实是近年来“引起越来越多的关注的一个问题”，关于它的涵义，尚有待国际社会做出更明确的阐释。

尽管废物管理界对地质处置方案满怀信心，但是，要求对其可能的废物管理途径进行验证与评价的压力却从未停止过。

例如，独立专家小组最近审查过加拿大的计划之后，建议对

地质处置方案以外的乏燃料管理方案开展研究，而地质处置方案原本是本次审查的对象。在 70 年代曾经相当广泛地研究过一系列“域外处置途径”，诸如太空处置、洋底俯冲带或极地冰原处置等，现已不再作为严肃考虑的对象，至少管理界内是这样。海底处置方案也曾有过评价（如 EU 的 PAGIS 研究计划），评价结果发现，该方案从安全角度上看是大有希望的。但是，海底处置方案的实施尚有待于国际上的认同，也有待于建立相宜的国际法规体系。目前，多数国家将其对《伦敦倾废公约》所承担的义务解释为“防止在海底处置核废物”。目前在公众关于废物处置的争议中议论最多的管理方案，也是执行单位和监管机构努力想使其成为一系列被考虑方案的补充完善措施的管理方案，就是延长或无限期地表暂存以及废物中长寿命放射性核素的分离与嬗变。专栏 2 对于可能的废物管理方案的研究做了进一步审视。

尽管已经准备对这些问题进行考察，以满足公众或政治上的要求，但废物管理界普遍地不相信暂存能够取代现有处置方案（而只能是暂缓实施处置），并认为，延长时限的暂存自有其对环境和社会产生影响的后果，例如，它有赖于社会稳定才能保证长期安全。长期暂存的决策必须使该政策固有的风险和所有可能的利益达到平衡。

此外，废物管理界对于分离与嬗变方案的实用性也多持怀疑态度，因为这种方案仍然会留有源源不断的废物需要进行地质处置。尤其是，分离与嬗变尽管能够减少而非消除所有废物中的长寿命放射性核素，然而在费用、公众认可以及该法实施过程中对环境的二次影响方面仍存在大量的不确定因素，这就要求现有核基础设施与能力必须得到实质性的加强。

(5) 必须在更广泛的社会背景下来审视废物管理。国际上对废物处置的更广泛背景的意识已有所提高<sup>⑧</sup>。各国的和国际团体内外的讨论已使问题看得很明白，即对于可持续性问题应该予以足够的注意，这是一个非常重大的社会问题，因而必须广泛地

审视能源生产与应用以及废物处置与处理问题。现对此做几点说明。

应该慎重考虑自然资源尤其是能源开发对环境造成的不利影响，这里强调的不仅是环境的长期保护，也包括可持续发展问题。最新版《共同认识》起草者之间进行的讨论，在废物处置的背景下，对于可持续性的定义或完成此项工作的方法问题上，却并未达成正式的一致性意见。

## 专栏 2：废物管理方案

### 处置 (Disposal)

对于长寿命废物，废物管理界开发了实施深部地质处置的处置库方案，这个方案既安全又能防止蓄意破坏。长期安全的基础是一个由多重工程屏障和天然屏障构成、具有一系列安全功能的被动屏障系统。这种处置方案不会妨碍采取监控、维修以及可逆转性/可回取性等措施。原则上，这些措施是用来提高置信度，而不是作为保障安全的措施。相应地，社会可以选择长期的有组织，控制作为管理手段，即使这种手段失败了，人类健康与自然环境也依然能够得到保护。

因此说，处置是放射性废物管理的终点，它以毋需监控、维修和有组织控制的方式来保证安全可靠。

### 延时的地表暂存 (Extended surface storage)

实际上所有国家都已经认同地表暂存一个时期是必要的或是有价值的，因为地表暂存可使废物的辐射强度和发热量有所衰减。地表暂存常常是在一个集中的地点，但也有的暂存是在某些单个的设施内。地点的选择更多地是反映了政策采纳和社会接受的问题，而不是技术与经济的发展问题。暂存与处置的不同之处在于，必须进行长期监控、维修以及有组织控制才能保证暂存设施的安全与可靠。

更长时间的暂存已被认为是无法避免了，因为高放废物和乏燃料处置计划的实施已被推迟了。此外，还有一些理由造成地表暂存的时间延长（虽非“无限期延长”）：

(1) 某些科学家和决策者主张推迟处置的时间。他们相信必须用更长的时间来证明地质处理方案是否完善和/或争取公众更多的信任。例如瑞典，明确地选择了继续地表暂存的“零方案”（在 CLAB 设施内），目的是在今后 10 年内进行广泛的方案比较，以便满足公众利益和瑞典的立法要求。

(2) 由于电力供应市场的开放，电力事业公司等废物生产单位承受着越来越大的经济压力。暂存对这些单位是有吸引力的，主要是因为这种方案可以推迟向费用昂贵的处置库投入大量的资金。在此过渡阶段，暂存是否更经济还需视财务管理状况而定，例如，电力公司是否已建立专项基金以应未来处置设施之需。

(3) 铀矿资源量的增加以及对再循环裂变材料需求的萎缩使乏燃料的直接处置更具有吸引力。然而，乏燃料仍然代表一种能源，尤其是在强调可持续发展的年代，可能会有人说：长期暂存可使这些资料信手拈来。当然，根据核裂变材料不扩散论的理由，可以得出这样的结论，信手可得并非是件好事。

无限期暂存，尽管受到废物管理界以外某些人的拥护，却未被当作可以取代深部地质处置的实用方案。在理智上，继续地表暂存似乎并未被看成一种解决方案，而只是暂缓处置的一种手段。

#### 分离与嬗变 (partitioning and transmutation)

据称可能会改变地质处置未来方向的一种手段是长寿命放射性核素的分离与嬗变；这种手段可以使废物的半衰期变得短一些，因此，对处置库的隔绝能力不会构成严重的挑战。目前正在进行研究的国家有日本、西班牙、法国和美国，还有（仅进行小规模研究的）比利时、德国和瑞典。分离与嬗变方案尚

处在开发的初期。多数工作是理论分析和原型研究，其目的是评价有否价值进行深入研究。分离与嬗变对于经过物质组分清楚和浓度较高的废物可能实用，对于污染分散的不均质废物而言，却未必是实用的处理方案。要求为此目标投入力量的压力似乎更多地来自政府或顾问等上层，而不是来自下面的放射性废物管理技术层。美国与 EC 对分离与嬗变的态度最为明确，并不认为该技术能够取代地质处置。充其量也只是使处置废物中长寿命放射性核素的含量较低而已。

废物管理界许多同仁认为，暂存方案和分离与嬗变方案只是放射性废物管理过程中的一个阶段，而不是这个过程的终点。

处置库对居民的影响不仅要以纯技术性的健康危害的术语来表达，还要提供更广阔的材料，以公众易于理解的方式进行评价。这样会稍许增加工作量，例如阐明环境中天然放射性物质的影响。然而，一些更广泛的问题，如与其他社会活动有关的影响也应该阐明。应该像 NEA 最近一版《共同认识》起草工作所做的那样，为废物处置阐明这样一个概念即：今人与后人应合理分担文明代价（代内-代际公平）。

废物管理界希望将核废物处置与其他可能对环境产生影响的实践活动，包括制定法规和签发许可证（涉及核与非核材料）通盘考虑。但也深知，将处置燃料循环末端废物的综合方法用于所有其他来源的长寿命废物的管理是不切实际的。例如采矿和天然放射性材料工艺富集（NORM）过程中产生的放射性废物即属于这类情况<sup>⑥</sup>。然而，越来越多的承认，放射性是人类生存环境中的组成部分，必须全面地审视。

必须考虑的还有财政上的压力，这个问题已得到日益普遍的认同。财政压力影响到整个核燃料循环（如电力市场限制政策的取消），并导致许多废物管理机构的改组，同时有可能推迟最终处置。过去各方面的努力，如 NEA，写就了各种关于费用比较的报告。但这些报告总是很难理解，而且对差别相当大的各种情

况未做详细说明，尤其是处在电力事业私有化和工业全球化的今天。处置库计划与核能工业后果的紧密联系不仅是一个费用问题。某些反对处置库计划的意见无疑来自不愿看到现在核能问题得到解决的团体。然而，抛开未来世界的核能利用姑且不论，开发深部处置库设施的需求是很明确的。今天存在于民用和军事设施中的大量废物必须得到安全处置。但是，关于处置的争论又与未来核与非核能源供应战略的讨论密不可分地联在一起。

随着时间的流逝，更广泛的社会方面的问题，正如 RWMC 战略性文献所认同的那样<sup>②</sup>，将日益成为关键性的问题。

## 4.2 国际组织的贡献

### 国际论坛与国际合作的意义

未来的某些需求是世界各国废物管理机关共同的。而有些则只限于个别国家考虑而不是普遍需要。这些限制包括国内法律和法规框架、各国的文化需要、可利用的地质环境和有待处置的放射性核素总量。需求则包括技术与方法的开发以及能使用这些技术与方法的经过适当培训的工作人员。尽管目前采用的技术和方法都是各国或各计划根据具体情况而定的，但都会受到别的地方开发成果的影响。这些技术与方法的开发工作，人员的培训和处置库开发的推进，通过不断扩大的国际接触和国际经验交流，会以最有效的方式进行。因而可以预料，国际论坛在满足废物管理机关未来的需求方面仍然起着重要作用。例如 NEA 提供的国际论坛为跨国界的对话和共同计划提供了一种有价值的机制，使废物管理界可以及时地了解各成员国开发的真实的技术水平。NEA 组织出版的《共同认识》是引用最广泛的国际文件，并被认为对深部处置的讨论做出了积极的贡献。

从 NEA 调查表收回的对相关问题的答复中可以明显地看出国际合作的重要意义。包括地下实验室计划在内的一系列成功的国际合作项目也可以证实这一点。通过分享国际合作的地下实验

室计划、天然类比及其他技术研究项目取得的经验和技術资源，废物管理机关可以在技术上受益。例如，在对废物处置过程的科学认识方面以及根据这种提高了的科学认识进行可靠的安全评价工作中，OECD各成员国之间已经逐步取得了相互信任。国际合作还有助于立法机关和审管机关，以便：

- 1) 论证技术人员中现有的广泛的共识；
- 2) 最合理地使用技术和财政力量；
- 3) 准确理解处置库开发过程中的某些关键概念（如处置库开发的分阶段战略的含义）；
- 4) 保证处置库开发过程是公开透明的，并使废物管理界以外的人能够看到这种公开和透明；
- 5) 协调对不同环境危害类型的法规标准；
- 6) 使各国立法方针之间存在的差异（至少）更趋于合理。

在未来废物管理的所有领域，容许各对立派别对话和合作计划的国际论坛仍有可能发挥重要作用。甚至最大胆的国际合作形式，即在某一志愿东道国联合开发国际共用处置库计划，近年来也成为较普遍的讨论主题。国际项目对小国（可节约相当规模的投资）、对于想开发自己的处置设施而缺乏必需的资源的国家（如前东欧集团诸国）、对于地质或环境条件难度较大的国家（人口密度大）或是对于那些于优美环境有着特殊要求的国家都有着直接的利益。

所有被调查者都乐于接受 NEA 调查的结果，并证实各国的与国际的计划之间、各国计划与审管机构之间的开诚布公有重要的意义。

#### 4.3 本报告的基本结论

从本次回顾所收到的大量材料可以得出一系列结论。根据本报告正文、附录以及参考文献可以简要地归纳出以下重要结论：

- 1) 过去 10 年中，深部地质处置方案取得了一系列重要进

展，最值得注意的是技术领域中对天然的和工程安全屏障体系的认识、特性评价及定量模拟研究方面的进展；

2) 事实证明，在战略上或使用的方法上都毋需做大的变动；尽管工作在不断地深入和细致，深地质处置仍然是一项有效的、成熟到可以应用的技术；

3) 在许多计划中。工程屏障的作用受到更多的重视，但深部处置库的天然或地质屏障仍然是决定处置库长期安全的至关重要的因素；

4) 所有各国的计划继续将深地质处置做为必须和可行的技术，尽管有些国家想推迟处置库计划的实施或者对其他方案同时进行评价；

5) 在实施与立法方面，普遍出现一种共同的趋势，就是采取谨慎的分阶段战略，即在社会决策过程中采取小步前进的方式。不连续的、便于综合审查的分阶段方式使决策便于追踪，公众及其/或其代表的意见易于反馈，这易于提高公众和政策方面对设施安全的信心以及对处置方案审管机构和执行单位能力的信任；

6) 尽管已经有一座用于长寿命废物的深地质处置库正在运行，10年前预期的深地质处理库开发时限还是过于乐观了。现在出现的某些拖延部分是由于具体操作上的原因，但主要是反映了制度上的问题，多半是由于公众信任不足；

7) 废物管理界已经敏锐地意识到了公众信任的不足；审管机构和执行单位都必须有效地与决策者和公众沟通，使他们知晓可以实现“安全处置”是前者的共识；

8) 审管机构和执行单位比任何时候都更乐于考虑公众的愿望，只要不损及处置设施的安全。一个共同的目标是建立一种既能保证长期监控，又可能保证可逆转性和可回取性的战略及其相应的步骤。许多计划都已明确宣布正在考虑这些问题；

9) 放射性废物处置的许多替代方案，在全面考察建议方案

的所有方面的问题之前，往往看上去是有前途的。早年曾探讨过一系“域外处置（exotic options）”方案，现已不再做严肃考虑。现在一些人出于种种原因，极力主张进行长期地表暂存或进行分离与嬗变。但废物管理界并不认为长期或“无限期”地表暂存能够真正地取地质处置而代之，它至多只能暂缓最终处置的实施。分离与嬗变也未被当做一种替代方案，充其量只能减少需要深部处置的废物量，或是改变一下其中的同位素分布。

概括深部地质处置方案的发展现状，可以明确地说，由于各国的和国际的废物管理计划中各个领域内为数众多的专家们的努力，已经或正在取得一系列实质性的进展。技术上的提高和不断强化的社会影响都远大于希望值，而在深部处置库的实施上则出现了长期的迟滞。然而，尽管大多数深部处置设施距离实施阶段尚需假以时日，却已有一座处置库投入运行，且另有 2~3 处深部设施亦已临近启动。通向其真正实施的道路将由由于公众信任的显著提高而变得平坦，而第一座深部处置库运行一旦获得成功，公众信任的提高也便为期不远了。

---

注 ⑩许多处置计划中的综合安全评价可参见附录 3。除地质处置外，其他研究领域，如 1998 年 IAEA 协调下的穆鲁罗瓦岛和方加陶法岛辐射环境研究计划，也采用了类似的方法。

⑪IAEA 通报 40/2/1998。

⑫这一点在收到的 NEA 调查表回答中反映并不突出，可能是因为被调查者的技术作用很有限，他们仅受命在放射性废物处置领域为审管机构和执行单位代言。

⑬因为这种差异早已得到公认，所以除加拿大明确回答必须采取不同的方式以外，在调查表收回的答复中几乎无人提及。

⑭《废物管理的各重要领域——NEA 放射性废物管理委员会的观点与工作方向》OECD/NEA，巴黎，1999。

# 附录 1

## NEA 调 查 表

表 1 参与 OECD/NEA 放射性废物管理委员会调查的单位名录

国 别	机 构 名 称
比 利 时	SCK, ONDRAF
加 拿 大	AECD, AECL, Ontario Hydro, NRCan
捷克共和国	RAWRA
芬 兰	ROSIVA, STUK, 工业与贸易部
法 国	DSIN, ANDRA
德 国	BIS
匈 牙 利	HAEA
日 本	JNC
韩 国	KAERI
荷 兰	住宅与环境部
挪 威	IFE
西 班 牙	CSN, ENRESA
瑞 典	SKI, SKB
瑞 士	NAGRA, HSK
英 国	EA, NIREX
美 国	DOE - YMP, DOE - WIPP, USNRC
欧 盟	DGX I, DGX II
国际原子能机构	废物安全社

## 调 查 表

请回答向贵机构提出的所有问题，按注释的内容，填上“无”或“未实行”。只需简答即可，适当地提供说明文字。调查表的少数栏目要求较详细的回答（如关于场址特性评价和性能评价的问题）。如必要可将这些栏目转托他人作答。

### 1. 长寿命放射性废物长期管理的回家政策与战略

1) 是否有最新的相关立法或政策文件？（请附说明文字并概括重点；注意在问题 6 中已包含了新的法律指南。）

2) 组织机构或职责分配上有否变化？

(a) 政策方面？

(b) 实施方面？

(c) 法规方面？

(d) 财政方面？

(e) 其他方面？

3) 政策或废物管理战略上有否变化？

(a) 总体战略，即处置、暂存、分离和嬗变三者之间的工作重心是否有改变？

(b) 各战略阶段或设施实施的时限方面？

(c) 监控与可回取性的地位方面？

(d) 在各国计划中的合作方面？

(e) 参与国际机构工作方面？

(f) 其他方面？

### 2. 实施地质处置及相关设施建造方面的进展

1) (a) 地质处置的实施计划中，技术战略、主要工作内容或时限上有无变化？

(b) 贵机构对地下处置的技术安全是否发表过正式报告（或定期报告）？（请附文字说明）

2) 地质处置及相关设施的开发取得了哪些进展? 例如, 哪些设施已经

- (a) 开始运行?
- (b) 竣工或正在建设?
- (c) 被批准动工?
- (d) 在申请许可证阶段?

3) 在上述设施的选址过程中, 取得了哪些经验, 例如在

- (a) 选择候选场址和优选场址方面 (包括选址标准)?
- (b) 法律法规方面对所选场址是接受还是否决? (原因以及应该记取的教训)?

(c) 公众的反应方面 (尤其是地方上的反应; 请介绍一个力所能及的主动工作所取得的效果)?

(d) 地质标准在什么程度上、在哪个阶段上影响着选址进程 (如一般地质特征、具体场址的特性评价、评价地质环境或具体场址特征的能力)?

- (e) 总体上应记取什么教训?

### 3. 废物整备与工程方面的技术进展

1) 在地质处置的如下几方面, 技术上有否取得重要进展 (如有必要请将不同类型废物分开叙述)?

- (a) 废物整备?
- (b) 包装、封装?
- (c) 缓冲材料?
- (d) 其他工程屏障?
- (e) 地下开凿与工程?
- (f) 其他方面?

2) (a) 在贵国计划中, 上述哪个方面处于优先位置 (并正在积极开展工作)?

- (b) 有待解决的关键问题是什么?

#### 4. 场址特性评价实践中的技术进展

1) 1990 年以来, 贵组织进行了哪些区域评价或场址特性评价工作 (请附参考文件、扼要说明, 是否发表过成果)?

2) 获得了哪些信息, 如地质圈在保证安全处置、可行性、开凿/建设的局限性、处置库定位以及设计最优化方面的作用等?

3) 在下述各方面取得了哪些重要的技术进展:

(a) 场址特性评价规划?

(b) 野外测量技术?

(c) 解释方法?

(d) 其他方面?

4) (a) 贵国的计划中, 上述各领域哪些处在优先位置 (并正在积极开展工作)?

(b) 有待解决的关键问题是什么?

#### 5. 性能评价与安全评价实践

1) 1990 年以来, 贵组织做过哪些性能评价或安全评价 (请给出参考文件、简要说明、有否发表过成果报告等)?

2) 在工程屏障系统评价方面取得了哪些重要进展? 请回答下述各方面:

(a) 特性评价与实际认识, 如废物形式、工程屏障系统材料的行为、耦合过程等?

(b) 概念模拟和数学模拟 (详细程度和评价水平)?

(c) 工程屏障系统性能的整体置信度 (请指明关键因素或论据)?

(d) 其他方面?

3) 天然屏障系统评价取得了哪些重要进展 (指地质圈和生物圈)? 请回答下述各方面:

(a) 特性评价及实际认识程度, 如对地质圈、生物圈及其他

相关作用？

(b) 概念模拟和数学模拟（详细程度及评价水平）？

(c) 地质圈及/或生物圈性能的整体置信度（请指明关键因素或论据）？

(d) 其他方面？

4) 在总系统分析、方法学和表达技术及整体评价的置信度上取得了哪些重要进展？请回答下列所有问题：

(a) 总系统分析？情景开发？不确定性的处理？

(b) 质量保证，校正，模型验证？

(c) 天然类比的应用？

(d) 成果的表达？

(e) 整体置信度，多方面论证等？

(f) 其他方面？

## 6. 地下实验室计划

1) 有否制定地下研究实验室计划？如果有，请说明过去 10 年的工作情况和所知道的未来计划。

2) 贵组织有否参与多国地下实验室计划或别国的地下实验室试验？请附文字说明。

3) (a) 您认为地下实验室在处置计划中的关键作用是什么？

(b) 过去 10 年中，在本国或参与其他国家地下实验室计划中，贵机构取得哪些特殊的收获？

(c) 您认为未来研究中的关键领域是哪些？

## 7. 天然类比计划

1) 有否制定天然类比计划？如果有，请说明过去十年的工作情况和所知道的未来计划。

2) 贵组织有否直接参加多国天然类比计划或别国的天然类比试验？请附文字说明。

3) (a) 您认为天然类比研究在处置计划中的关键作用是什么?

(b) 过去 10 年中, 贵组织在本国的或参与别国天然类比计划中取得了哪些重要收获?

(c) 您认为未来研究中的关键领域是哪些?

## 8. 法规建设

1) 法规或指导方针上有无变化? 请说明新的法规文件的内容并简述其变化要点; 如法规/导则尚未最后确定, 请介绍其草案或咨询文件。尤其是以下方面的所有变化:

(a) 评判标准、最终目标或其解释 (如剂量/风险, 总系统/或子系统评判标准, 标准合并或分解。时限标准、非辐射标准)?

(b) 特殊问题 (如人类闯入) 的处理?

(c) 与常规环境立法或正在拟定中的法律的一致性方面?

(d) 与国际导则的一致性方面?

2) 制定法规的方式有否变化? 诸如以下各方面:

(a) 法规制定过程 (如分阶段进行, 与执行单位相互沟通)?

(b) 咨询与联络 (如与股东或公众)?

(c) 与环境立法与规划中的法律制定过程的相结合?

(d) 其他方面?

## 9. 费用/财政/预算方面的趋势

1) 过去 10 年间 (或您认为更确切的期间内) 贵组织在地质处置的有关计划项目上投入了多大的资金额度? 如有可能, 请提供研究/开发与实施/场址开发、高放废物/乏燃料与超铀废物/中低放废物各项投资的资金情况。

2) 在与地质处置有关的计划项目中, 贵组织在人力投入和资金划拨的额度方面有什么倾向 (或对今后二、三年内的预测)? 如可能, 请提供同 1) 相同的资金情况。

## 10. 公众沟通/参与

1) 在贵国的废物管理中，有无公众参与相关决策的正式程序？谁对此事负责？

2) 您是否认为与下列各界公众进行沟通是（在什么程度上）贵组织的任务？

- (a) 一般公众
- (b) 政治决策者
- (c) 受影响的地方公众或其代表
- (d) 广大的科技人员

此外，是否有专门人员（多少人）从事上项工作？

3) 在与上述各界公众的沟通中，贵组织做了哪些开创性的工作？例如：

- (a) 出版专门面向这些公众的出版物？
- (b) 召开报告会、展览和集支持者与反对者于一堂的会议？
- (c) 其他措施？

4) 您认为有必要转达的关键信息或论据是什么？例如地下处置的技术安全、切实需要处置、科学保证、低风险、地方利益等？

5) (a) 过去 10 年中，贵国有无态度上的变化（一般公众、地方社团或特殊公众的态度）？

(b) 哪些事件对公众产生了重大的影响（积极的或消极的，对于哪一类公众）？

(c) 贵公司与公众的沟通和咨询对于被联系的公众的态度或者对于建议和计划本身的重要影响达到了何种程度？

## 11. 一般评价

（包括对您本国的计划，别国计划或国际性问题的看法）

1) 过去 10 年中，促进地质处置进展的最重要开发成果，请

列出 1~5 项？

2) 过去 10 年中妨碍地质处置进展的最重要的消极因素，请列出 1~5 项？

3) 今后 10 年促进地质处置进展所必须的最主要的开发工作，请列出 1~5 项？

## 附录 2

### 调查表答复综览：结构与组织的， 法律与法规的进展

#### 附录 2.1 计划与战略的进展

##### (1) 待处置的废物

相对于 10 年前，现在的人们更普遍地认为：地质处置是必要的，这种必要不仅仅是对玻璃固化的高放废物或乏核燃料而言。为此已开发出第一批地质处置方案。现在许多国家明确要求建造既可以接纳乏燃料又可接纳高放废物的处置库。这些国家是美国、瑞士、德国、比利时与捷克共和国。尽管法国国家评价委员会曾经表示对乏燃料的这一末端战略持保留意见（CNE，1998），然而近来，ANDRA 也在研究乏燃料的直接处置。而且，对深部处置的需求也不仅仅来自商业核动力燃料循环产生的废物，更多种类型的废物现在也同样需要地质处置库内。新墨西哥州的 WIPP 设施是为美国国防计划中产生的超铀废物而设计的。日本及其他一些国家对核燃料循环中产生的超铀废物的地质处置也进行了评价。英国深部处置计划对于低中放废物的盘存量、瑞典及瑞士计划对来自后处理及其他来源的长寿命废物的盘存量都做了较确切的定量说明。过去的各类活动（军事的或工业的）

中产生的“历史”废物也受到越来越多的关注。如美国，1980年决定将国防和民用工业产生的高放废物与乏核燃料混在同一处置库内处置。武器削减计划中产生的裂变材料也需要处置，只不过需待稳定处理或经转换成混合氧化物燃料在反应堆中燃烧。成为乏燃料之后。

## (2) 新设施

过去 10 年间，许多国家诸如比利时、荷兰、芬兰、德国、日本和瑞士等，都已建成或正在建设用于乏燃料和高放废物地表暂存的新设施。但是，运行中的处置库不多：在芬兰，低中放废物的岩洞处置是依照瑞典 SFR 设施的方式，分在两处进行的；而在德国，Morsleben 处置库的运行已陷于停顿，而 Konrad 处置库还在等待着最终的许可证<sup>⑨</sup>；在美国，用于长寿命废物的 WIPP 设施通过联邦法规审批，目前已进入申请州级许可证的阶段。

在暂存方案的实施方面取得的较大的成功反映了废物生产者迫切的短期需求。由于现有地表暂存容量的扩大，有可能使实施深部处置库永久处置的时间压力趋于缓和。

## (3) 处置上的“自力更生”

过去 10 年间，该领域出现了各国“自力更生 (self-sufficiency)”的矛盾倾向。有些国家诸如瑞典、芬兰、法国，禁止待处置放射性废物的进出口；有些国家如瑞士是个例外，允许废物出口；而有些国家如荷兰，则欢迎共同处置库方案。一些国际组织也严格审查了区域性或国际处置库的前景，这种处置库可以接纳来自一个以上的国家的废物。在欧盟《社会战略》文献、欧洲议会最近文件 (1998)、以及 IAEA 1998 年发表的最新报告 (IAEA 1998) 中都谈到了这个问题。

事实上，所有废物管理计划都认为自己有责任为本国的处置问题提出解决之道。这主要反映了当前的政治现实，而不是基本原则。国际上对这个问题的研究，最近的《乏燃料安全管理与放

射性废物安全管理公约》(IAEA 1997) 以及其他一系列论坛上的讨论(欧洲委员会) 都得出这样一个结论: 关于国际处置库计划, 基本上不存在道义或环境方面的争议。确实, 支持这类计划的经济和技术上的理由显然是很有说服力的, 特别是对那些核生产能力较小的国家而言。这些理由包括避免人力的重复投入, 节约相当规模的资金以及在所选的场址上使地质与环境条件的选择达到最佳。

## 附录 2.2 立法/法规

### (1) 国际公认的安全标准的制定

国际辐射防护委员会制定了全世界通用的一系列基本辐射防护原则和标准。在 20 世纪 90 年代初, 该委员会(ICRP) 提出了废物管理方面的最新建议, 其内容见于 1986 年出版的 46 号出版物。以后, 在 1993 年出版的 64 号出版物中, 又针对辐照无法预见, 但同时又无法排除的一系列实际情况制定了辐射防护原则。在 1998 年出版的 77 号出版物中, ICRP 又提出了总的指导方针, 用于指导放射性废物管理的有关政策和道义问题的考虑。《长寿命放射性固体废物处置的辐射防护原则》的报告已进入了起草的后期阶段。这个报告将涉及长寿命废物的潜在辐射、长期防护目标、对未来剂量应给予的重视以及“最佳防护”方案的应用。

在许多报告中, ICRP 都曾提出过专门针对长寿命废物处置库性能评价的建议。例如, 64 号出版物对生物圈变化诱发的问题做了解释, 并提出了情景选择的指导方针, 为许可证申请书的安全评价部分如何排除特别情景提供了理论基础。另外, 77 号出版物为使“后代应该享受到与今天人类相同的保护”的原则得到贯彻, 还提出了可操作的建议:

“……正常照射条件下的关键居民组所接受的年均个人有效剂量与潜在照射条件下的关键居民组所接受的年均个人危害将能够一起成为今人所受危害限值与后代所受危害限值的比较基础”。

(ICRP 77, 第 57 段)。

以 ICRP 的工作为基础, IAEA 发布了一系列国际通行的非强制性放射性废物安全标准, 称为《放射性废物安全标准 (RAD-WASS)》。这一套标准旨在建立废物管理安全文献的有序结构并保证其涵盖到所有相关的目标领域<sup>55</sup>。在深部地质处置领域, IAEA 最新提出的安全导则见于 1989 年出版的《安全系列第 99 号》出版物中。并且, IAEA 还组织了一个工作组, 针对一系列有关问题展开调查, 并在可能的情况下达成一致认识<sup>56</sup>, 一旦完成, 其工作成果将同 ICRP 制定的导则一起, 成为各国开发新的安全标准的指南。

### (2) 国与国之间的强制性协定

过去 10 年间, 在 IAEA 支持下, 在一些主权国家之间签定了一系列强制性协定。这些协定可以视为促进核安全领域政府间合作的全球法规框架的一个组成部分。尤其是在放射性废物处置方面, 《乏燃料安全管理与放射性废物安全管理公约》已于 1997 年获得通过, 经各签约国批准之后, 将成为该领域第一个强制性法规文件。《公约》的技术内容, 是根据 IAEA 1995 年出版的《放射性废物管理原则》报告中提到的放射性废物处置方面一系列相关道义原则、安全原则以及方案制定的。该《公约》将通过举行签约国审查会议, 对各国报告进行同行评审得到贯彻执行。

### (3) 各国法律法规的发展趋势

在环境或核法规方面, 过去 10 年间, 许多国家都取得了意义深远的进展。美国的立法者最为活跃, 其突出的趋势是政治家与立法者都采取直接的行动来推动废物处置计划向着既定的方向发展。不过, 英国、德国、荷兰、匈牙利与捷克共和国也都通过了新的环境法或核法规。加拿大政府 1997 年通过了经过精简和调整法规结构的法律。并增加了补充规定以保证许可证申请者确有财力处置其核废物。在美国、瑞士、瑞典和芬兰, 都开展了一些法规方面的工作, 对其法规进行了或正在进行修正。有些国家

如比利时与荷兰，尚未制定放射性废物处置的专门法规，还有诸如西班牙和日本等国则正在制定这方面的法规。

有一些普遍的趋势是值得讨论的。立法者与监管机构感兴趣的问题包括燃料循环末端战略财政责任的分配、长期安全目标的确定以及为满足这些目标的要求制定适当的执行标准。一个值得注意的现象，是各国均未将废物处置的法律或法规放在更广泛的环境法规体系中来审视。尽管多数国家都声称与其他环境立法是一致的，却很少直接提到诸如可持续性问题或是以普遍适用的立法手段保证环境在各种放射性材料及非放射性有毒废物的作用下受到相同程度的保护等问题。也有例外，如英国通过其 1995 年的《环境法》条款责成其环境署研究可持续发展问题。其中应该包括与放射性废物处置有关的可持续发展问题。

法规被修正的地方常常是在长期安全的标准方面。普遍出现的趋势具体如下：

- 1) 更多地使用了风险标准；
- 2) 认同了安全分析必须考虑甚长期限（一万年、十万年乃至更远）的提法；
- 3) 承认在超过一万年以上的时期内，严格执行标准是无法证实的；
- 4) 意识到除剂量或风险以外的安全标识的潜在价值；
- 5) 承认人类闯入封闭处置库的情景必须单独考虑。

更为普遍的一个趋势是在法律上采取分阶段的方式，以便保证在社会决策过程中采取小步伐前进的方式。在实践上，小步伐意味着什么，尚没有确切的定义，但具体的实例表明，在开发过程中，如果采取不连续的、易于综合审查的分阶段方式，则获得顺利批准的机会要多一些。瑞士便是一例，其 Wellenberg 场址公民投票失利的主要原因（Kowalski 和 Fritschi, 1996）就是公民倾向于只批准初次建设一条探索性隧道，而不是直接批准建造最终处置库。另外，英国也有一个反面的例子，可以证明公众争议的

复杂性。该国在 Sellafield 建设研究设施（地下实验室）的许可证遭到了否决（CUM 1997），尽管写得十分明确：该设施只是用于研究这个建议场址的适宜性问题。

### 附录 2.3 执行单位和审管机构

在废物管理执行单位方面几乎没有根本性的变化。有意义的是筹建了一些继续从事这项工作的实施机构，如芬兰的 Posiva，捷克共和国的 RAWRA，匈牙利的 PURAM 和瑞士的 GNW。事实上，最初由废物生产单位发起组织执行机构的模式已经得到了相当的普及。甚至一些尚未建立这类机构的国家（诸如日本、德国、加拿大）也在考虑组建。在加拿大，加拿大原子能有限公司在确定废物地质处置方案方面的使命已告结束，大型核能公司，OntarioHydro 公司，已担负起进一步推进放射性废物处置开发的更直接的责任。

虽然实施进程处在不同的水平上，许多国家都进行了组织上的调整，以使有争议的选址问题便于解决。法国设置了一个协调机构，成功地使一些地方社团接受了地下实验室。但另一方面，美国为最终设施或暂存设施选址设置的协调机构则没有获得成功，于是只好放弃这种想法<sup>⑥</sup>。最近，瑞典也成立了负有类似的选址使命的国家协调机构。

过去 10 年间出现了一种强调核审管机构与核执行单位相互独立的趋势。例如捷克共和国，原来由原子能委员会承担的制定法规的责任转移到新机构——国家核安全局（SONS）肩上；在英国，新告成立环境署（EA）；在法国，ISPN 已从 CEA 中分离出来，还有加拿大，新成立的核安全委员会取代了原来的原子能监督局。在一些国际组织中也出现了一些变化，以便明确界定废物处置中核安全问题与技术问题。不论是 EC，还是 IAEA，都从组织上保证了法规事务与废物管理的研究和开发活动相脱离。西班牙和瑞典等国的核审管机构中还做了进一步的结构调整，每次

调整都使废物管理问题在政府事务中占据更高的位置。

NEA 在放射性废物管理方面的工作有一个突出的特点，就是支持审管机构、执行单位和决策者召开联合论坛，讨论关于技术、政策和战略问题的讨论。在决定某一设施能否被批准运行的关键的评审和听证过程中，如果认为能满足所制定的法规的要求，那么，各方深入了解技术的作用及其局限性就变得十分重要。不论如何，NEA 仍然认为有必要设置一个论坛，以便使审管机构在认识与方法上达成跨国界的共识。例如，RWMC 于 1998 年成立了审管机构专门委员会。

## 附录 2.4 经费与资金

### (1) 预算、费用

在不同的计划中，哪怕是在一些专设的计划中，要在费用研究方面达到某种程度的一致也是一件难事 [参见 NEA 低放废物与高放废物费用研究 (NEA1993 和 1999a); OGXI 经费研究合同报告 (现已出版)]。

显然，在开发深部处置库计划中已经花费的金钱数目甚巨。在美国与德国，这个数目均已超过数十亿美元。这两个投入最多的国家都已经确定了单个的候选场址。甚至一些相对谨慎的计划，如比利时、英国、加拿大与瑞士的计划，也已经投入了数亿美元，却没有在选址上达成一致意见。

一些成熟的计划，尽管越来越强调长期的资金保证，却表现出投资偏少、步伐放慢的倾向，很可能是因为认识到，处置任务的长期性远远超出最初的预料。一旦在可预见的将来有望取得实质性进展，情况便有所不同，例如瑞典，一经克服选址上的直接障碍，将立即增加了高放废物处置计划的预算。在一些较新的或不太成熟的计划中，正在投入越来越多的力量以期开展可行的长期处置项目。通常，这些处置项目是一些在联合计划或双边协定或其他合同的框架下，与某些执行已久的计划合作进行的项目。

## (2) 废物管理基金

在废物管理基金的建立过程中，越来越多地使用了“污染者付费”原则。这一原则曾在 1970 年的瑞典立法中有所体现，此后，在 1992 年的《瑞典财务法》和 1996 年的财务改革中又被提及。美国很久以来就有这样一项制度：向核电力设施征收费用，用于建立能源部商业反应堆废物管理基金。德国 1998 年的《原子能法》(GER 1998)、加拿大 1997 年的《核安全与监督法》、匈牙利 1996 年的第 CXVI 号《原子能法案》以及捷克共和国 1997 年的《原子能法》，都使他们成为用立法手段确立这项原则的国家。还有一些国家如比利时和瑞士则采用正式的行政措施以保证充分的资金来完成燃料循环末端战略。

---

注 ③这是因为乏燃料仍有保留价值，在法律上可以不作为“彻底的”废物考虑。

④Konrad 设施的许可证不会在近期内签发。

⑤放射性废物安全管理的基本原则与方案见于 1995 年出版的《安全系列第 III-F 号》。

⑥IAEA 放射性废物处置原则与标准工作组曾就安全有关的问题发表过 3 篇报告：“不同时间范围内放射性废物地下处置库安全评价的安全指标”，TECDOC—767；“放射性废物处置问题”，TECDOC—909；“长寿命放射性废物处置中存在不确定性时的立法决策”，TECDOC—975。

⑦在暂存设施选址上取得了巨大的成绩。但美国国会却停止了资金的支持，协调处也宣告解散。协调处选定的若干场址现作为私有暂存设施继续维持着。

## 附录 3

### 调查表答复综览：科学与技术基础

在本篇附录中，对调查表收到的答复进行了综合分析，对废物处置计划的科学基础的现状进行了回顾。附录 4 则详细介绍了

以正确认识系统性状为基础的进行可靠安全分析时所遇到的具体挑战。由于各被调查单位提供的观点之间不存在重要分歧，故能够对这两方面的现状进行整体评述。尽管在技术与安全方法完善程度的判断上存在一些细微的差别，但在所有关键问题上都有广泛的共识。

### · 附录 3.1 废物整备、处置库工程和设计

在废物整备、处置库工程和设计方面取得的进展主要表现在对可以实施的设计方案和技术逐步完善。在设计方案和技术上，突破性的进展相对较少，目前的倾向是对现有方案进行逐步改善和较严格的论证。过去十年间取得的有意义的技术进展是：

1) 含硝酸盐废物和超铀废物所用的整备材料中，沥青的应用减少（比利时和法国的 COGEMA），越来越强调玻璃和陶瓷制品）；

2) 不仅对高放废物，对其他废物，如超铀废物也广泛使用了玻璃固化工艺；

3) 研制了多层废物罐：瑞典和芬兰研制成功钢制内胆外套锆铜的乏燃料罐；日本研制了钛与钢或铜与钢的多层罐用于高放废物；美国研制的双层金属处置罐既用于乏燃料也用于高放废物。但某些国家如瑞士、日本和法国的计划中，仍以钢作为参考材料；

4) 瑞士和英国开发出按专用配方制造、以水泥为主的多孔回填材料。这种材料可以阻止流入的地下水达到较高的 pH 值，从而有利于关键的放射性核素保持较低的溶解度和较高的吸附性，同时使处置库材料与废物在降解过程中产生的气体能够自由逸出；

5) 多孔回填材料和“防滴水罩”系美国人最新提出的一种设计方案，这种方案便于进行热量控管，可使双层金属废物罐免受滴落的水的影响，从而延长其寿命；

6) 计算机技术、通讯和监控系统的开发，使废物罐的放置和相关操作有可能实现遥控作业。

许多国家都已经或正在考虑一系列可能的制罐材料与设计方案，并相应地开展了材料性质与长期抗腐蚀能力的研究。但是，在可行性研究和安全评价过程中被通常采用单一参考设计。现在越来越强调可靠制造的可行性论证和确保长期性能，并已向罐体设计进行反馈，如上铜-钢罐的开发，或美国所考虑的双号合金及加拿大对于铜和钛的关注等例属此类。按预定规范制造废物罐的技术，其可行性论证是绝对必要的（如确保焊接均匀）。现在已经做到了，例如瑞典，制作了原大的铜罐样本，美国则按照目前的双层金属废物包装罐设计制造了直径为原大、长度为 1/4 的样本罐，用于论证“冷缩配合”过程的可行性。

重视制作工艺及在处置库条件下的安全性能的同时，也应重视缓冲/回填材料的各种研究，其中包括不同材料之间的相容性（如水泥与膨润土的相容性。就膨润土而言，这种重视已经在 FEBEX 实验中（EC 1998e）有所体现，该实验研究了膨润土回填材料的工业化制造、施工操作和放置及其在处置库真实条件下的性状，在一些国际合作的项目中还调查了气体透过膨润土层外逸的可能性。对膨润土和水泥长期化学蚀变的认识，为此类作用开发的模型及其验证，也被视为优先发展的领域。

许多国家的处置方案已经拓展到了将高放废物与乏燃料直接处置一起进行，并考虑共同处置其他长寿命废物。这样就扩大了被考虑的废物种类的范围。特别是已经注意到那些存放了许多年的历史废物和退役计划中产生的废物也需要给予考虑。例如英国，制定了一项积极的计划来回收、整备和包装历史废物。每一种废物类型都向处置技术提出了一系列严重挑战。美国制定了一项庞大的计划，目的在于清理 DOE 的众多场址并处置由此产生的所有废物，其中一些需进入高放废物处置库。在美国，削减核武器过程中产生的多余的武器材料也需要处理和处置（DOE

1997)。

工程屏障系统的整体性能显然会受到废物性质的影响。但是废物的性质又受废物的成份或整备工序的影响。例如乏燃料，通过混入特制的填料使废物具有令人满意的性能特征便不失为一种方案。并非每一个被调查单位都提到把废物整备或填料过程作为工程系统设计方案的一部分，但有人曾指出这是建立天然屏障和工程屏障相结合的屏障体系的一个具有潜在意义的重要组成部分。

从严格的技术观点来看，处置就意味着最后放置，而休想回取，如保留可回取性，亦绝不允许损害处置库的长期性能。然而，公众与政策上的关注使技术人员也更多地关注通过设计手段或采用某种操作计划以方便回取的可能性。例如，在英国和瑞士，低中放废物处置库中低强度的回填材料被开发者视为一种优势的材料，因为在需要时，它可以方便回取。许多国家如法国、加拿大、瑞士和美国，正在积评价有否可能及采用何种技术在废物处置之后的甚长时期内使处置库保持开放和监控状态。

在处置技术的开发方面可得出一个重要结论是，总的来说，必要技术已经具备，一旦公众和政策环境有利便可展开部署。在加拿大 Ontario Hydro 公司对调查表的答复中，事实上已经直接地表达了这种态度，在加拿大核燃料废物管理与处置方案委员会的调查报告中也间接地表明了这种看法，调查报告指出，技术安全性已经得到了证实，但是缺乏公众认同，只好另辟溪径 (CAN 1998)。

### 附录 3.2 场址特性评价

10年前，许多的国家计划和国际计划都缺少已确定的场址和具体的场址数据，这是在长期安全和建设可行性方面对处置库设计的详细程度进行评价受到的主要限制。10年来，为弥补这一缺陷，各国都投入了大量工作。例如英国在 Sellafield，美国在

尤卡山和 WIPP，德国在 Gorleben，比利时在 Mol，瑞士在 Wellenberg，法国在某些有远景的深处置场址都进行了大量的场址特性评价工作。

从最近进行的场址特性评价工作中可以总结出两个教训。其一是可能出现有争议的数据，这就意味着还需要更多的资料来认识整个系统，换言之，即减少这个比原来想像的复杂得多的系统中的不确定性。美国尤卡山场址即为一例，其<sup>36</sup>Cl 测量表明存在着迄今为止尚未被模拟出来的更快速的水径流通道，必须重建水流模型（Wolfsberg, A.V. 等）。其二是即使掌握了大量的数据资料和有利的性能计算结果，申请许可证的过程也未必能有保证。支持者与反对者之间的技术争论可能会阻碍计划的发展（如英国的 Sellafield）；政治上的影响会使计划搁浅（如德国的 Konrad 场址或瑞士的 Wellenberg 场址）；或者，公众信任不足也会要求采取其他一些步骤才能重新取得进展（如加拿大的经历）。

许多国家的计划中开发了综合性的场址特性评价方法。例如开发了使场址特性评价方法达到最佳选择的概率技术，美国和其他一些国家进行了规范的系统评价，其特点是把实验和设计工作的重点放在有可能提高系统安全与置信度的那些领域。已经意识到，必须建立一综合互动式的计划管理机制。这样就能够在场址调查的计划与实施、场址性质的具体评价计划、性能评价方法的开发以及这些方法在广泛综合评价中的应用之间进行有效的协调。

最近，场址特性评价的重点放在满足安全评价的需求，和研究导水断裂特征及其中的地下水流特征方面。一般认为，这是放射性核素从处置库释放并到达地表环境最有可能的方式。对于安全评价十分重要的其他特性评价的问题，诸如水文地球化学分析、胶体、有机质及可能的微生物作用的分析等也受到了关注。但大多数废物形式都不含任何可能引起严重问题的有机质。而且，比利时 Boom 粘土场址上实施的 ARCHIMEDE（Griffault, L.

等，1996) 计划表明，在那种特殊类型的主岩中，高含量的天然有机质对放射性核素的迁移不会起什么实质性作用。

越来越多的人承认，不均一性是地质环境中普遍存在并与安全密切相关的特征之一。即使相对均匀的岩石建造，如比利时的 Boom 粘土，也需要评价其岩性和构造方面的不均一性，以便为性能评价提供充分的地质数据。

在 EC 的 Mirage 与 THM 工作组 (EC.1995 和 1995a) 和 NEA GEOTRAP 工作组的系列出版物 (NEA 1997a, 1998 和 1999c) 中都反映出对水文地质资料的收集与解释的重视。迄今为止，某些计划中对场址特性评价的许多方面问题的重视程度仍嫌不够，而这些问题对于工程可行性评价、处置库设计的合理化以及在判断人类闯入处置库的风险能否被接受时，恰恰是必不可少的 (这些问题包括物理性质、岩土力学性质以及是否存在会导致未来人类勘探活动的自然资源等)。然而在制定潜在主岩可接受性的具体技术标准 [包括瑞典关于单个处置钻孔的可接受性标准 (SKB 1998, 1998a)] 方面却取得一些进展。如果在勘察计划实施之前就制定了这样的标准，它将不仅仅是这个勘察计划本身的指南，还能使公众产生某种信任即：计划实施者随时准备着，一旦场址被证实不可接受便立即放弃。正是由于后一个原因，标准的制定应避免不切实际地过于严格，或者说，不要使本来能够确保公众健康和安全的场址遭致放弃。

数据测量与解释技术仍在一些远景场址和地下实验室中进行试验并进一步改进。有关进展包括：

- 1) 深钻孔中小量地下水流的测量；
- 2) 低渗透性介质中未受扰动的地下水的取样；
- 3) 在不饱和介质中采用环境同位素取样方法确定过去和未来可能的迅速水补给途径；
- 4) 用电磁法测定盐度较高的地下水的深度。

数据解释更是被大多数计划视为优先领域。应用越来越多的

技术包括：

1) 三维 CAD/可视化技术，作为跨学科数据解译和合成的辅助手段 [如 SKI SITE94 性能评价 (SKI 1996) 中的地质、水文地质和地球化学数据]；

2) 数字模拟技术，用于描述不均一性，包括用概率模型技术来处理无法进行全面特征分析的自然变化（事实上所有计划都曾采用）；

3) 水化学数据的解译，用来指示地下水流动状态。

此外，数据处理与解译的计算机程序的性能也有所改善，因此，野外数据（如地震测量数据）已经能够演算出较以前更多的相关信息。

不破坏岩石原有特征、使其保持完整以提供安全保证的测量技术也受到同样的重视而且取得了进一步的发展（如 EMR 技术）。在那些已经开展系统选址的国家如加拿大，用于地质填图的电子技术和将遥感数据与地面测量数据进行合成的方法被放在优先发展的位置上。其他尚有问题的领域是：

1) 确定出现较少却具有高导水率的（地下水）通道对放射性核素迁移的影响；

2) 测定地下水渗入和补给（如美国的尤卡山计划）；

3) 气体对岩石建造的屏障性质的影响；

4) 天然胶体的特性评价；

5) 有机质作为络合剂对放射性核素迁移的影响；

6) 地质圈中天然变化和诱发变化。

总而言之，过去 10 年的经验表明，尽管地质上的经验能够在不同的场址之间传递，出现的问题却是具体场址所特有的，因而解决的方案也必然是针对具体场址的。在总体上，普遍认为，在地质屏障的安全功能方面，要达到较高的置信度，比 10 年前所想像的要难一些。这在某种程度上解释了为什么在许多计划中越来越重视处置系统内工作屏障的作用。

无论如何，进行这种深入的场址评价（Observat 在此指的就是场址评价）是很重要的。在进行场址特性评价之前，对场址性能进行的模拟是以对天然系统性质的较为理想化的估计为基础的，尽管这很必要，却不能反映特性评价之后才能认识的真实性和不确定性。一般地说，这就意味着对某一场址认识越多，对其不均一性和不确定性的认识也就越多。坚固的工程系统有助于补偿这种不确定性，有时需要以超标准设计的系统作为代价。至少，天然系统必须能够保证处置库的适宜的近场环境。也就是说必须保护工程系统不受人類侵入和地表或近地表发生的突变事件的破坏；还应提供一个使工程系统的构制材料益寿延年的有利环境（如地球化学和地下水流环境）。从实际意义上讲，在任何情况下，处置废物总量中的绝大多数放射性都绝不会离开其被处置地的近场区。只有极少数的一部分放射性核素有可能逃出工程屏障，但也只能沿着曲折的通道向着远离处置库的方向缓慢迁移，或者与未受污染的地下水混合而被稀释。这样，目前强调的通过工程系统来强化保障体系的措施当然不会否定处置库的地质环境仍然是整个深部处置系统至关重要的组成部分的事实。况且，工程系统本身的不确定性也是不容忽视的。

### 附录 3.3 地下实验室的应用

地下岩石实验室（URL）分为两大类：

1) 普通型 URL，主要用于广泛地收集各类岩石信息，加深认识和开发实验模型，并积累与场址特性评价、处置库营造和运行有关的经验。如德国的 Asse，瑞典的 Stripa 和 Äspö，瑞士的 Grimsel 和 Mt. Terri，加拿大的 URL，日本的 Tono，法国的 Tournemire。

2) “特定场址型” URL，在营造处置库之前，此类 URL 是调查与开发潜在场址工作的有机组成部分。例如美国的 WIPP 和尤卡山勘探研究设施（ESF），比利时 Mol 场址的 HADES/URF，规

划中的法国地下实验室，英国 Nirex 设想的 RCF 等。

无论哪一类实验室，在其开发与运行中投入的经费上和共享成果与经验的可能性方面，都使得以国际合作方式开展地下实验室研究最为有利，在附表 3.1 的 URL 名单中所载的大多数设施莫不如此。还有一些“普通型”和“特定场址型”URL 正在规划中，如法国在 Meuse、捷克共和国在 Pribram、日本在 Horonobe 计划的几处 URL。

附表 3.1 地下岩石实验室与其他地下研究设施一览表  
[部分资料来自 Kickmaire 与 Mckinley (1997)]

“普通型” URL		
岩石实验室名称	“主岩”；位置；深度	运行机构；备注
Forschungsberg - werk, Asse	盐丘；德国。	GSF；研究与开发工作已于 1995 停止。
地下研究实验室 (URL)	花岗岩；加拿大曼尼托巴省，博内湖 240 ~ 420m。	AECL；1984 年开始运行。
Tono (东浓)	沉积岩；日本。	JNC；原铀矿山的平巷，1986 年开始运行
Kamaishi (釜石)	花岗岩；日本	JNC；原 Fe - Cu 矿山的平巷，1998 年完成实验。
Mizunami (瑞浪) 地下 研究实验室	花岗岩；日本。	JNC；正在进行钻孔施工。
Stripa 矿山	花岗岩；瑞典；360 ~ 410m。	SKB；原铁矿山的平巷，1976 ~ 1992 年期间运行。
Äspö 硬岩实验室	花岗岩；瑞典；< 460m。	SKB；1990 年开始营造。
Grimsel 试验场址 (GTS)	花岗岩；瑞士；450m。	Nagra；水电站的工作隧道，1983 年开始运行。
Mt.Terri 计划	Opalinus 粘土岩（硬粘土）；瑞士；400m。	SHGN；高速公路隧道平巷，1995 年动工。

续表

“普通型” URL		
岩石实验室名称	“主岩”；位置；深度	运行机构；备注
Fanay – Augeres	花岗岩；法国。	IPSN；铀矿山的平巷，1980 ~ 1990 年期间运行。
Tournemire 设施	沉积岩（硬粘土）；法国；250m。	ANDRA，IPSN；原铁路隧道及其相邻平巷，1990 年开始运行。

“特定场址型” URL		
岩石实验室名称	“主岩”；位置；深度	运营机构；备注
高放废物处置试验场址（HADES），新名称为地下研究设施（URF）	Boom 粘土岩（塑性粘土）；比利时 Mol/Dessel；230m	SCK/CEN，Ondra/Niras；1980 年开凿竖井，1984 年开始运行直至 1998 ~ 1999 年。
Olkiluoto 研究隧道	花岗岩（英云闪长岩）；芬兰；60 ~ 100m。	Posiva；Olkiluoto。中-低放废物处置库，1992 年开始运行。
Gorleben <sup>(1)</sup>	盐丘；德国下萨克森州；>900m。	BIS，DBE；处置库潜在场址，1985 ~ 1990 年营造竖井，1997 年起建筑平巷。
WIPP	盐（层），Salado 建造；美国新墨西哥，长尔斯巴德，650m。	USDOE，CAO；1982 年开始运行。（1999 年 3 月起开始作为处置库处置超铀废物—译者注）
勘探研究设施（ESF）	Calico Hills 熔结凝灰岩；美国内华达尤卡山；300m。	USDOE；原地现场试验始于 1996 年；勘探隧道建设于 1998 年完成。

注（1）：Gorleben 原选作为地下调查用，目的在于论证场址适宜性。

凡涉猎地下实验室计划的大多数组织一致认为，从这些实验室的研究中可以取得有用的信息。其内容归纳于附表 3.2 中。

附表 3.2 从岩石实验室及其他地下研究设施  
可获取的信息 [部分资料来自 Kickmaier 与 Mc kinley (1997)]

信息种类	例证
挖掘技术的深入开发与试验。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. URF: 塑性粘土中水平掘进的技术可行性论证;</li> <li>2. Olkiluoto: 处置技术性能的研究。</li> </ol>
工程挖掘影响的定量分析 (区域的和局部的; 物理上的和化学上的扰动)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Äspö 场址的 ZEDEX 试验;</li> <li>2. GTS 场址的 EDZ 试验;</li> <li>3. Mt. Terri 的各项试验;</li> <li>4. 加拿大 URL 的热-力-水耦合试验。</li> </ol>
场址勘察方法的应用以及随着更多信息的获得, 把这些方法改进应用于地下系统中	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Olkiluoto 场址的全尺寸处置孔研究隧道;</li> <li>2. GTS 和 Stripa 场址上地球物理方法的应用。</li> </ol>
为得出结论而得到的综合数据地下水流 (及两相流) 的概念模型以及预测	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Äspö 场址上对地下水流的专门调查及模拟;</li> <li>2. Mt. Terri 场址的各种试验;</li> <li>3. 尤卡山 ESF 场址中进行的非饱和带渗透试验。</li> </ol>
模型、勘探方法以及与放射性核素在岩石中的迁移有潜在关系的各种作用的试验	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. GTS 中的放射性核素迟滞计划;</li> <li>2. Mt. Terri 的各项试验;</li> <li>3. ESF 的非饱和带迁移试验;</li> <li>4. 加拿大 URL 进行的溶质迁移与扩散试验。</li> </ol>
放射性废物放置引起的各种效应 (热、核素释放, 机械力学影响) 的模拟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. URL 中的 CERBERUS 实验;</li> <li>2. Asse 的 TSS 实验;</li> <li>3. GTS 的 FEBEX 实验;</li> <li>4. Stripa, ESF 和 GTS 等处的加热实验;</li> <li>5. Mt. Terri 规划中的各项试验;</li> <li>6. 加拿大 URL 中的热-力-水试验。</li> </ol>
工程屏障系统 (可行性) 示范	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stripa 中的钻孔封闭与缓冲材料试验;</li> <li>2. GTS 的 FEBEX 实验;</li> <li>3. Mt. Terri 计划中的各项试验;</li> <li>4. 加拿大 URL 内的缓冲材料与废物罐试验;</li> <li>5. URF 内的 RESEAL 实验。</li> </ol>
与各种长期作用、运行期后、地球化学腐蚀、地质力学稳定性等有关的各项试验	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 比利时的 PRACLAY 处置概念示范,</li> <li>2. 釜石中进行的热-水-力耦合作用现场试验及模型验证;</li> <li>3. Mt. Terri 计划的各种试验;</li> <li>4. 瑞典的示范处置库;</li> <li>5. 加拿大 URL 内的热-力-水试验。</li> </ol>

不同的单位所强调的问题是不同。尤其是某些问题是带有不同类型岩石和不同处置方案个性化的问题（例如，是否采用水泥作为建筑材料，将决定在尤卡山非饱和凝灰岩处置库中进行超碱性流体效应试验的恰当与否）。然而，普遍的趋势是，不论是在岩石实验室研究与开发计划中（如 Äspö, GTS 和 Terri 山），还是在具体的试验研究中（如在比利时的 URF 和德国的 Asse，由欧盟发起的各项研究），国际合作项目越来越多。URL 研究与开发计划中还有其他一些趋势（Kickmaier 与 Mckinley 1997，在调查表的答复中又作了补充）。对于基本可行性研究和基础地质资料积累的重视减少了，而在方法的最优化和性能评价关键模型的试验方面，却投入了越来越多的力量。这种趋势在“普通型”地下实验室中的反映比在具体场址适宜性地下调查中的反映更为明显。当然，在具体的场址中，必须为系统性能模拟试验打好基础。越来越受重视的还有在 URL 中进行的高放废物与乏燃料处置系统工程屏障的全尺寸示范试验，如 GTS 的 FEBEX 试验（EC1998e），比利时 URF 中的 RESEAL 计划（EC1998d）和 PRACLAY 计划（EUR18047）以及瑞典正在计划中的示范处置库。这可能是在某些性能评价计划中，越来越重视工程屏障系统的一种反映。

重视合作项目的倾向还有一种间接的好处，就是增加了国际沟通和跨学科的沟通，这些沟通对于解决处置库开发的其他问题也是很有意义的。最后，直接参观 URL 以及散发有关 URL 的宣传材料能够提高公众对于安全处置可行性的信任。

### 附录 3.4 天然类比的应用

天然类比和人工类似物（及调查地下水中天然示踪剂迁移的天然系统研究）以及在一些潜在场址上进行的类比研究被广泛地认为有可能为场址特性评价技术和地下实验室内的其他试验（如现场示踪剂迁移试验）提供补充资料。尤其是天然类比研究可以超越场址特性评价技术固有的时间和空间局限（NEA1997a）。而

且，在面对公众方面，类比研究的潜在价值在于可以证明废物的长期地质隔离战略的合理性。

然而，由于缺少类比系统初始条件的有关信息，它的解释是很复杂的（而人工类似物则不存在这个问题，当然，人工类似物只能提供相对较短时限内的信息）。因此，天然类比研究的成果资料很少直接用于处置库性能评价，而是被视为置信度建立过程的一个组成部分。这些成果资料也是对某些关键作用定性和（少量）定量认识的佐证。现举部分例证如下：

1) 通过 NRC 在墨西哥和希腊类比场地的研究，对铀氧化作用和二氧化铀迁移的认识 (Smellie 等, 1997) (Murphy 等 1997)；

2) 通过在加拿大 Cigar 湖铀矿库的天然类比研究，对于处在还原环境以及粘土岩保护之下的深成岩（花岗岩）处置库中控制乏燃料性状的各种作用有了更深的了解 (Cramer J.J 和 Smellie, J.A.T.)；

3) Nagra 选定的天然粘土类似物研究证明，在处置库条件下，膨润土的膨胀能力，渗透能力和离子交换能力可以保持甚长时期 (Miller 等, 1994, 第 4.4 节)；

4) 在约旦和阿曼的 Maqarin 场址发现，在没有胶体和有机络合剂以及微生物作用微弱的条件下，水泥胶结物是稳定的 (EC.1996, SKB1998b)；

5) 在西班牙 ElBerrocal 的花岗岩 (EC.1997c)、瑞士北部的结晶岩以及在 Grimsel 地下实验室中对铀在岩体中的扩散现象的研究 (Miller 等 1994, 第 5.3 节)；

6) 通过对新西兰 Wairakei 地热田热泉的地球化学数据研究，USDOE 验证了 EQ3/6 程序中用于水-岩反应模型的热化学数据 (Glassley. 1994)；

7) 大型国际研究项目 Pocos de Caldas 考察了放射性核素在天然铀钍矿体内部及其周围的溶解和迁移 (Miller 等, 1994)。

天然类比研究还证明，任何有可能产生重大影响的长期作用

或现象都不曾忽略（NEA1997），而且，这类研究还能获得对于处置库地质性状的普遍信任。将模型预测结果与类比的观察结果进行更加定量化的比较，将天然类比研究与性能评价更好地结合起来，是有待进一步开发的领域。

天然类比研究通常是以合作方式实施的，每一项计划中都有若干单位参与。例如以北澳区 Koongarra 铀矿床为目标的 NEA ARAP 和 ASARR 计划（ARAP 1992；ASARR1996）以及 EC 天然类比工作组的研究（EC1997a；EC1998）。其结果，凡参与其事的单位都通过国际的和跨学科的交流而有所收获。

目前，加拿大正在计划一项新的类比研究，在纽芬兰的一个地方研究铜的抗腐特性，并完成正在进行的萨斯喀彻温膨润土矿床的膨润土特性考察。而美国则计划从天然类比研究中取得申请许可证阶段及其以后所需的佐证资料。USDOE 还在积极筹备在墨西哥 Pena Blanca 重新开展研究。

废物管理单位目前的倾向是，尽管芬兰在其 Palmottu 天然类比计划中对性能评价的各方面都进行了专门评价，仍不主张采用类比研究作为系统方式，在模型和数据资料中建立对处置库系统的认识和置信度（EC 1996）。类似物只是用来提供关于特殊问题和现象的信息。天然类似物证据对公众辩论的价值是众所周知的；这样就促使各种不同的计划均愿意制作以此为主题的录像带和宣传册。

## 附录 4

### 调查表答复综览：性能与安全评价

#### 附录 4.1 性能与安全评价的进展

1990 年以来所进行的性能评价计划，连同这些计划的简况，

例于附表 4.1 中。

附表 4.1 最新的（过去 10 年）性能评价与安全评价  
（部分资料引自《NEA1997》的表 2）

机 构	性能与安全评价目的	成 果 报 告
荷 兰 ECN, RIVM, RGD	研究盐岩建造中的废物 处置方案	(Prijs 等, 1993)。
加拿大 AECL	为审管机构（或其他机 构）核废物计划的未来发 展决策提供证据	《加拿大核燃料废物处 置：参考系统的关闭后评 价》（Goodwin 等, 1994）； 加拿大核燃料废物处置： 《渗透性深成岩中铜室处 置铜罐包装的 CANDU 乏燃料 的关闭后评价研究》 （Goodwin 等, 1996）。
捷克共和国 NRI, RAWAR	评价参考处置系统中屏 障体系的作用。	BAZ97-02, 深部地质处 置库开发中参考系统的作 用（Konopaskova 等, 1997）。
西班牙 ENRESA	开发性能评价方法。评 价花岗岩主岩的屏障作用。	ENRESA-97——花岗岩中 乏燃料处置库的性能评价, （ENRESA1997）。
	开发性能评价方法。评 价粘土岩主岩的屏障作用。	ENRESA-98——粘土岩中 乏燃料处置库性能评价。 （ENRESA1998）。
欧洲委员会	研究废物处置对 Boom 粘 土的放射性作用（中放废 物）。	PACOMA——在比利时粘 土建造中中放废物和 $\alpha$ 废 物地质处置的性能评价 （Marivoet 和 Zeevaert1990）。

续表

机 构	性能与安全评价目的	成 果 报 告
欧洲委员会	研究废物处置对 Boom 粘土的放射性作用 (泛燃料)。	粘土层中乏燃料处置的首次性能评价 (Marivoet 等, 1996)。
		SPA (乏燃料评价) 计划 (EC1998f)。
	粘土、花岗岩及盐岩地质处置系统的灵敏度分析。	放射性废物最终处置后不同元素所产生的有效剂量率评价: EVEREST 计划 (Cadelli, N. 等, 1996; Marivoet J. 等, 1997)。
法国 Andra	对三个远景深部场址的正常演化情景进行初步评价。	
德国 GRS	研究各种处置方案。	发热废物处置方案的长期安全分析 (Buhmann 等, 1991)。
瑞士 Nagra	<p>为高放废物和长寿命中放废物处置库选址或选择地质介质提供依据。</p> <p>分析/总结研究与开发现状, 为以后的研究开发计划提供依据。</p> <p>为现行的安全评价方法的评价提供手段。</p>	<p>Kristallin-I 安全评价报告 (Nagra1994)。</p>
	评价后处理中产生的中放废物。	内部报告。
	为中—低放废物处置库选址提供依据	(Nagra1993)。
	为中—低放废物处置库的总许可证申请提供依据。	(Nagra1994a)。
英国 HMIP	以 Harwell 场址假想低-中放废物处置库分析为基础的随时间变化的 PRA 能力试验。	Dry Run3: 以概率风险分析为基础的地下处置试验评价 (Sumerling 主编, 1992)。

续表

机 构	性能与安全评价目的	成 果 报 告
英国 Nirex	作为处置方案迭代开发的一部分。	Nirex95: Sellafield 深部处置库地下水通道的初步分析 (Nirex, 1995a)。
	论证对候选场址性能进行评价的现有能力。 论证场址特性评价与其他研究和开发资料在性能评价中的应用情况。	Nirex97: Sellafield 深部废物处置库关闭后的性能评价 (Nirex1997)。
比利时 ONDRAF/SCK	研究废物处置对 Boom 粘土的放射作用 (中-高放废物)。	UPDATING1990——Boom 粘土岩中高放废物地质处置的最新性能评价 (Marivoet1991)。
日本 JNC	分析总结研究与开发现状, 为后续的研究与开发计划提供依据。	高放废物地质处置研究与开发, 进展报告 1 (PNC1993) (*)
	进一步论证地质处置概念的技术可行性和可靠性为选址和法规的制定提供依据。	进展报告 2: 日本高放废物处置可行性评价—H12 报告 (JNC, 1999)
瑞典 SKB	为评价正在进行中的安全评价方法提供手段	SKB-91, 乏燃料的最终处置。基岩对安全的重要意义 (SKB1992)。
		SR-97 (将于 1997 年 8 月出版)
瑞典 SKI	提高审管和审查能力	SKI Project - 90 (SKI · 1991)。
	提审管审查能力。论证场址特性评价数据与其他研究/开发数据在性能评价中的应用情况。	SKI SITE - 94 深部处置库性能评价计划 (SKI1996)。
芬兰 POSIVA	为审管机构 (或其他机构) 以后制定核废物计划上的决策提供依据;	TVO-92 乏燃料处置的安全分析 (Vieno 等, 1992)。

续表

机 构	性能与安全评价目的	成 果 报 告
芬兰 POSIVA	<p>为场址或地质介质的选择提供依据； 分析总结研究/开发现状；为以后的研究/开发计划提供依据；</p>	<p>TVO - 92 乏燃料处置的安全分析（Vieno 等，1992）。</p>
		<p>TILA - 96 安全评价（（Vieno 与 Nordman1996））。</p>
美国能源部 WIPP	<p>在提交最终许可证申请之前为与审管机关进行的技术讨论提供材料，为场址或地质介质的选择提供依据。</p>	<p>40CFR191 草案废物隔离试验工厂资格证明申请（SNL1995）。</p>
美国 NRC	<p>开发和论证性能评价方法。</p>	<p>初步论证 NRC 进行高放废物处置库性能评价能力（Codell 等，1992）。</p>
	<p>提高审管审查能力。</p>	<p>NRC 迭代性能评价第二阶段：提高对高放废物处置库性能评价结果的审查能力（Wescott 等；1995年版）。</p>
	<p>进一步提高审管审查能力。制定针对尤卡山场址的法规。</p>	<p>迭代性能评价第三阶段：研究活动现状（Mantuefel 与 Baca1995）。</p>
美国能源部 YMP	<p>为具体场址特性评价和设计反馈比较重要的信息。开发更合理的评价模式，用来进行符合性论证。</p>	<p>尤卡山 - SNL 等二次迭代评价中的总系统性能评价（TSPA - 1993）（Wilson 等 1994）。 总系统性能评价 - 1993：尤卡山远景处置库评价（Andrews 等，1994）。</p>
	<p>为场址选择或地质介质的选择提供依据。使决策者及时了解远景处置库性能。</p>	<p>总系统性能评价-1995：尤卡山远景处置库评价（CRWMS M&amp;O1995）。尤卡山处置库可行性评价，总系统性能评价（美国能源部 1998）。</p>

注：(\*) PNC 经过了组织结构的调整，并于 1998 年 10 月 1 日重新命名为日本核燃料循环开发研究所 (JNC)。

NEA 深部处置库综合性能评价工作组 (NEA1997) 有选择地对于 1991~1996 年期间完成的性能评价工作进行了抽检。工作组认为，NEA/IAEA/CEC1991 年的《共同认识》(NEA1991) 是有效可行的，换言之，他们认为，今天已经掌握了安全评价方法，用这些方法可以完全有把握地判断深部处置库的性能。尤其是，尽管现有场址数据的应用越来越多 (处置库设计规范也日趋详细)，提出了新的挑战，需要较之早期性能评价更大的投入，然而在各种性能评价方法的应用过程中并未遇到不可逾越的障碍 (NEA1997)。

性能评价所取得的重要进展包括：

- 1) 对处置系统各组成部分之性能及其各自作用的认识；
- 2) 不确定性的处理；
- 3) 评价成果的表达；
- 4) 对选址、特性评价与处置库设计的信息反馈。

下一节对这几方面进行了较详细的讨论。除此而外，为满足大规模处理场址数据的需要，用于评价模型的数据减化方法也更加规范化了。概率性计算机程序的应用也更为娴熟，同时，也进一步了解了概率评价方法与决定论方法各自的优劣。(NEA1997)。现在某些计划中兼用这两种方法。

在性能评价方面，尚需进一步做工作的，或者至少是值得进一步做工作的领域包括：

1) 废物罐腐蚀产物的吸附作用，这种作用对某些处置库方案的安全具有重要的积极意义。但一般认为，这缺少充分的数据支持，因而，不能定量地用于性能评价；

2) 气候与地质事件及其变化的处理 (NEA1999c)，尽管对气候变迁的影响的定量评价已经取得一些进展 (例如 SKI SITE 94

性能评价), 而且, 在美国, 还曾就定量分析气候变迁、火山与地震作用对系统性能的影响进行过初步尝试;

3) 多种因素耦合作用现象<sup>[28]</sup>的处理(热的, 化学的、力学的和水文的作用), 这类现象可以影响缓冲材料初期的发热和再饱和过程, 也可以影响其长期性能 [FEBEX (EC1998e), PRA-CLAY (EUR18047)];

4) 处置库材料, 包括废物在内, 产生的气体对系统性能的影响(例如 EC PEGASUS 计划, EC1997b);

5) 胶体作用下放射性核素加速迁移的可能性(例如美国能源部 1998)。

鉴于这些领域的进展明显地促进了处置库安全方面的置信度的建立, 问题只在于何时这种置信度才算是足够的。在定量评价处置库性能, 特别是在数十万年或数百万年这样的甚长时期内的处置库性能时, 存在某种程度的不确定性是难以避免的。因此, 越来越多的人认为, 以整体置信度为目标的安全方案(Safety case)必须建立在如下两项原则(NEA1999b)之上:

1) 处置库系统本身在安全方面必须体现出是牢固的, 而这种安全仅通过简单而坚固的设计以及适当的选址便可获得保证; 也就是说长期安全水平受任何处置库具体组成部分的不确定性的影响应相对较小;

2) 安全评价在质量和可靠性方面必须体现出达到了所需程度; 这一点是通过运用性能评价模型和数据库实现的, 而这类模型和数据库在有不确定性的情景中作出的假设应该是保守的。

当采用先进的和更复杂的设计做为辅助的安全保障时, 第一项原则的含义就成为模棱两可了。增强的屏障系统提供的超标安全系数能补偿在评价这些屏障性能及其与系统其他组成部分相互作用时增加的不确定性吗? 尤卡山计划中采用了“滴水罩”或陶瓷涂层来减少滴落到废物包装上的平流水的数量和可能性, 或者是在饱和环境中设置复杂的、多层复合的工程屏障系统(其

中包括多层废物罐、经过特殊处理的膨润土缓冲层和其他材质的中间层), 都反映了这一思考。这些方案必须与物理化学性状相对简单的设计方案进行权衡。

工程系统建造得如此坚固, 其性能使得可以降低对场址的要求。然而即使在这种情况下, 场址仍然是提供适宜地质环境的保障, 换言之, 仍然提供着保护, 使整个系统不受地表事件的影响, 并且保持着较低的地下水流速和有利的地球化学环境。系统性能的分析以及对这种分析的可靠性进行证明需要一系列不同类型的计算: 既在总系统层次又在子系统层次进行概率的和决定性的、简化的和边界的计算, 如加拿大最近的大型专题《环境影响报告》中所用的计算一样。同样, 在研究与开发、评价决策、输入/输出数据组控制及程序开发中采用更严格的质量保证(QA)步骤, 也能提高性能评价结果的置信度。许多计划在其质量保证步骤中采用了独立的同行评审。NEA 则对加拿大核燃料废物管理方案、对美国的废物隔离试验工厂(WIPP)以及对SKI场址94深部处置库性能评价计划都组织了同行评审。最近有一些研究计划甚至明确设计了计算机运行环境, 以确保性能评价计算中的质量保证过程, 从而保证结果的再现性和可追溯性(例如JNC的CAPASA系统, 日本, Neyama等, 1998)。

## 附录 4.2 对系统各单元的认识

要分析处置库系统的整体性能, 必须先对其各组成部分的性状有一个充分的定量化认识。对于典型的处置库设计, 性能评价或安全评价所考虑的是如下几个部分:

①废物体本身;

②围绕废物周围的工程构件, 包括高度一体化的废物罐和回填材料;

③废物处置的主岩及周围地质单元;

④生物圈。

一般称①和②为近场<sup>[29]</sup>，③被称为“远场”或地质圈。

上述各单元的每一项都具有一种或一种以上的安全功能。例如地质屏障就具有双重功能。首先，良好的地质环境，如果能按预期的方式发挥作用，便可构成核素释放和迁移的屏障。另一方面，只要地质圈能够长期为工程屏障系统提供一种稳定的受保护的环境，从而使工程屏障正常地发挥作用，那么，对地质方面的要求也就少得多了。

每一层屏障也都具有一种以上的安全功能。例如，钢制废物罐可在处置的初期对于放射性核素实施完全的包容，之后，罐体的腐蚀产物可在回填材料内形成有利于阻滞作用的化学环境。因此，处置库的各单元被越来越广泛地视为可以互补，而不是相互独立的。这种看法与处置库的传统解释是大不一样的，过去认为处置库是由多层的、相互孤立的屏障组成的体系，正如“俄罗斯套装娃娃玩具”一样。由于新的认识，所以说，各单元之间，如回填材料与地质环境之间的地球化学相容性是十分重要的。许多国家级的或国际性的计划都打算通过性能评价来提高对这些单元安全功能及其相对重要意义的认识。

就每一安全屏障层性能的认识而言，取得了如下重要进展：

1) 对可能导致废物罐降解和失效的各种作用的更接近实际的模拟 [如 UK Nirex RARECAN 模型 ( Nirex1995b), ONDRAF/SCK, JNC, Nagra, US DOE 以及 Enresa 进行的腐蚀机理与废物罐寿命实验模拟研究, 加拿大 AECL 的研究 ];

2) 对各种形态的废物的降解过程的认识 (如比利时、日本、瑞士进行的玻璃因化块溶解试验; Enresa、加拿大、德国、美国进行的乏燃料在实验室条件下的浸出试验);

3) 废物罐早期失效的数学模拟 (SKB1997, US DOE 1998, 附录 3.4);

4) 在模拟研究孔隙水成分和演化时更合理地应用了地球化学程序和数据 [如 Nagra, UK Nirex HARPHRQ 模型 ( Nirex1996)

或 USDOE 的 EQ3 和 EQ6 程序], 程序和数据还用于解决元素化学形态和溶解平衡问题 (NEA1997);

5) 处置库热演化对近场特征与远场特征的影响 (ESF 和 URF 等, 诚然, 该领域还需要进一步研究);

6) 包括密度与瞬时效应的三维地下水流模型的应用, 以场址数据为基础的水文地质介质的空间变量模型的应用 (NEA1997; 如 SKI SITE94 性能评价中所用的决定性/随机性离散裂隙网络混合模型, Nagra 进行的一系列不同比例尺的地下水流三维模型以及美国的双渗透模拟试验);

7) 裂隙与非饱和介质中的地质圈迁移模拟和利用现有野外数据的模型测试 (包括与胶体有关的放射性核素迁移, 如 US-DOE 和 Nagra 进行的研究);

8) 某些特殊作用 (火山作用及其效应、胶体的处理状态, 气体携带的核素释放) (NEA1997) 和处置库单元之间相互作用的基础较好的模型 (如 ONDRAF 对玻璃固化废物、粘土回填材料与围岩之间的相互作用所做的研究, US NRC 和 AECL 对废物包装与近场环境之间相互作用所做的研究)。

对于地质圈, 性能评价的一个关键问题是场址特性评价能够提供资料的程度, 这些资料应能够建立置信度 (或支持论证分析), 即处置库系统的地质部分应具备实实在在的必要功能。性能评价在指导野外和地下实验室项目方面的相关应用将在后面的附录 4.5 中介绍。

一般说来, 近场和地质圈迁移模型的置信度以及此类模拟所达到的真实水平, 在过去 10 年中均有提高。大比例尺实验的实施验证了近场和地质圈水文地质方面的模型。在通过天然系统观测来评价围岩的隔离能力方面也取得了较大进展, 如德国、瑞士和加拿大, 以及正在实施中的 EC 古水文地质计划, 包括 EQUIP 和 PAGEPA (EC1998f)。然而, 地质圈模型中蕴涵的不确定性仍被认为相对较高, 既因为, 处置库围岩具有典型的的不均一性和

变化，也因为，预测围岩在甚长时期内的演化也十分困难。还因为，对这些模型难于进行相应时空范围内的验证试验。此外，在不扰动或不破坏围岩有利特征的情况下，对其进行特性评价的程度也存在一定的局限。其结果是最近的许多性能评价计划中，在以相对简单和保守的方式看待地质圈作用的情况下，至少在评价的初期阶段，都较为重视近场性质在保障安全方面的作用。

不过，在如何看待地质圈屏障的作用方面还是取得了重要的进展。对于不同比例尺的导水断裂性质的认识有了一定程度的提高。此外，在更逼真地模拟地质圈迁移模型中的天然变化情况（如 US DOE, JNC 和 Nagra 对裂隙内的“快速通道水流”进行了更确切的模拟）和近场/地质圈界面模型中的天然变化情况方面也取得了某些进展（如最近的 Posiva 研究计划）。在裂隙岩石中，尽管不能排除放射性核素迁移的少数“快速通道”切穿处置库的可能性，但处置库的绝大部分与这些“通道”联通很少或是不联通的。通过地下岩石实验室计划取得对挖掘扰动带的更多认识之后，才能对近场/地质圈界面的状态进行更可靠的模拟。

对于生物圈，其不确定性实际上不可能进行定量评价，目前倾向于采取少量程式化方式来处理，下一节将予讨论。

### 附录 4.3 不确定性的处理

对各种参数值的不确定性进行处理，这在模拟计算中已成为一项成熟的技术。在分析处置库长期行为过程中，如何处理未来系统演化的概念模型中的不确定性始终是一个棘手的问题。近年来，在更系统地 and 更直接地处理决定未来演化的特征、事件和作用（简称为 FEPs）以及在处理初始系统行为描述中的不确定性方面都有所进展。其中包括综合地探讨目前环境在未来的演化，然后或与此同时，甄别出由这种未来演化带来的相关的 FEPs。作为 FEP 分类和评价过程的一部分，必须检查所有与特定场址有关 FEPs 是否都已考虑在内，例如对照国际 FEP 数据库

(NEA1999) 逐一核特定项目的 FEP 目录并追踪评价模式中处理和应用 FEPs 的情况。因此，这个评价过程应包括对一系列广泛的演化情景的检查、在同一现象中用不同的模型对概念设计中的不确定性进行评价以及对参数不确定性的灵敏度分析。

有些不确定性实际上是不能定量评价的，也不可能使其减少。例如下列方面的不确定性：

- 1) 人类不经意闯入（尽管此类事件的概率可以通过选择岩石类型和这类岩石中的选址工作得以降低）；
- 2) 地表环境或生物圈演化；
- 3) 剂量 - 效应关系中的“标准人”假设。

然而，正如（NEA1997）指出的那样，这些问题必须在性能评价中有所涉及。

进行性能评价的科学家往往不愿意尝试对系统中上述方面的概率进行详细的模拟或评价，而更乐于承认其不确定因素实际上没有可能进行评价，进而对处置库的相应部分采取标准化和简化的处理方式。例如，那些科学家可根据法规指南、专家意见，或可能根据国际上的一致看法，对上述各方面问题设定一组假设条件。如：

- 1) 设定一组标准化的人类闯入情景；
- 2) 设定标准化的生物圈（如 BIOMOV5 II 参照生物圈方法学，Van Dorp 等，1999）。

尽管执行单位对如何看待此类情况可以提出自己的建议，却无权决定是否采用标准化的处理。如果与法规标准比较的结果是适当的，则监管机构或其他有关决策人将会判断是否可以接受标准化手段，并在某些条件下指示出何为可接受的或不能接受的方法。假如文件中清楚地载明此种假设，并说明由于无法减少的不确定性因素的存在，评价结果只能视为系统性状在此种假设条件下的标识（indicator），而不能视作未来实际结果的预测，那么，评价能力的置信度就未必会受到损害。在 USNRC 最近关于尤卡

山安全标准的法规草案中就采用了这种方法（USNRC）。

#### 附录 4.4 评价成果的表达

尽管性能评价报告的具体内容因不同项目及其具体实际限制而异，关于此类报告必须包含的主要单元仍然形成了一定的共识。这确实有利于使每个单位的不同评价报告以及不同单位的所有评价报告在成果表达方面实现一定程度的标准化。一项符合法规要求的分析报告的起草一般应采用这样的方式：便于监管机构进行深层次的评审工作。

以最近实施的性能评价计划的回顾为基础，NEA 提出了包括 18 项内容（或主题）的建议目录（NEA1997）。本报告也建议，性能评价报告应设法具备如下特征：

1) 可追溯性：准确无误和完整地记录下为达到一组给出的结果而作出的决策、所设定的假想条件、所用的模型及数据。

2) 透明性：如实地记录性能评价，使读者对于评价中的所作所为、结果其然及其所以然都能有准确的了解。

目前，USNRC 正在为此制定接受标准以及工作人员用来审查 USDOE 许可证申请的专项技术标准。在瑞典，SKI 制定了评价模型流程图方案 [AMF (SKI 1996)]，作为追索性能评价中信息处理和信息转换文献的工具。

关于成果的表达，向参与性能和安全评价的单位提出了一系列问题。这些问题与评价实施的时间尺度有关。一旦采用了概率评价方法，成果表达就成为一个特殊的问题；由该方法中产生的大量的不同结果必须过去粗取精，去伪存真的选择，才能使关键性的成果突出体现出来。

取得进展各方面包括：

1) 评价成果的图示表达；目前倾向于采用既能说明系统各单元的性能，又能说明其整体性能的展示方法，以及能说明随着时间的变化，放射性核素存留于系统何处的方法（如 AECL，

Nagra 及 DOE 的研究)；

2) 以简单的物理和化学原理为基础，应用“原理”模型来解释关键放射性核素行为。(既提高了较复杂模型正确性的置信度，也提供了有价值的表达和交流工具)；

3) 对专业报告的文本进行剪裁，以适应不同读者的需求，如单行本简明报告，读者对象是“项目管理者”及地方社区，EIA 工作组和相关公众；

4) 对安全性能进行定性的解释；

5) 将评价结果的实质与其他人类活动诱发的风险相比较；

6) 在性能评价成果中必须有置信度说明（提供佐证材料）(NEA1999b)

7) 认识到在性能评价结果或结论中应写上适当的说明，如关于评价技术方面的某些局限性以及这些局限性对分析可能产生的影响。

尽管取得了上述专项进展，但许多单位承认，成果表达，尤其是在不同读者的眼中，是一个仍需要进一步探索的领域。

#### 附录 4.5 向场址筛选和特性评价以及处置库设计方面的信息反馈

少数性能评价计划为自己制定的目标是能促进选址进程 [GSF-91 (Buhman 等 1991) 和 Nagra 进行的低-中放废物评价除外]。另一方面，许多单位仍在利用性能评价使场址特性评价计划和实验室调查计划合理化，并评价和改进处置库工程布置。普遍认为，参予性能评价和参予场址特性评价的人员之间应该建立有效的沟通，目前，多数处置计划都特别关注地质人员、水文地质人员、设计人员和性能评价人员之间的密切配合。这种相互配合有助于对与安全有关的问题进行详细评价，且可避免在无法获得安全论证所需必要数据时的选址和设计（以及模型开发）。(NEA1997) 曾指出，在许多单位中，性能评价人员也应参与工

程设计 - 评价工作, 尽管一般说来, 在性能评价研究中, 设计方案选择并不像场址评价那样重要。但是, 随着计划逐渐接近许可证申请阶段, 对工程系统假设功能的严格论证便日趋必要了。

---

注②正在进行的大规模试验是为提高对这些现象的认识并检验其模型 (如尤卡山大规模加热试验, Grimsel 场址的 FEBEX 试验以及日本 JNC ENTRY 计划中的大规模实验室试验)。

③“近场”的概念有时也包括围岩的那些受到工程结构破坏的部分: 如挖掘扰动带。在其他情况下, 这个概念是指围岩的那些直接影响工程屏障系统的部分。

## 附录 5

### 附录 2 ~ 4 参考文献

Andrews, R.W., Dale, T.F., and McNeish, J.A. (1994), Total System Performance Assessment-1993: An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository. B00000000 - 01717 - 2200 - 00099Rev.01. Las Vegas, Nevada: CRWMS (Civilian Radioactive Waste Management System) M&O (Management and Operating Contractor) .

ARAP (1992), Alligator Rivers Analogue Project, Final Report Volume 1, Summary of Findings. An OECD/NEA International Project Managed by Australian Nuclear Science and Technology Organisation. ISBN 0-642-59927-0, also DOE/HMIP/RR/92/071 and SKI TR 92:20-1.

ASARR (1996), Analogue Studies in the Alligator Rivers Region, Six Monthly Reports, 1 January to 30 June 1996 and 1 July to 31 December 1996. Available from the project manager or from the NEA Secretariat.

Buhmann et al. (1991), Analysis of the long-term safety of disposal concepts with heat producing radioactive wastes. GSF, Braunschweig,

Bericht 27/9, 1991 (in German) .

Cadelli, N. et al. (1996), Evaluation of elements responsible for the effective engaged dose rates associated with the final storage of radioactive waste: EVEREST project: Summary report. EUR 17122.

CAN (1998), Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept, Report of the Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept Environmental Assessment Panel, February 1998. Minister of Public Works and Government Services Canada, EN-106-30/1-1998E.

CNE (1998), Reflexions sur la réversibilité des stockages, Commission nationale d'évaluation, Juin 1998. (Executive summary in English available: Thoughts on Retrievability) .

Codell, R.B. et al. (1992), Initial demonstration of the NRC' s capability to conduct a performance assessment for a high-level waste repository . U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG1327.

Council of Europe (1998), Parliamentary Assembly of the Council of Europe, Resolution 1157 (1998) Radioactive waste management.

Cramer. J.J. and Smellie, J.A.T. (1994), Final report of the AECL/SKB Cigar Lake analog study. Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-10851, COG-93-147, SKB TR 94-04.

CRWMS (Civilian Radioactive Waste Management System) M&O (Management and Operating Contractor) (1995) . Total System Performance Assessment - 1995: An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository. B00000000-01717-2200-00136 REV 01. Las Vegas, Nevada: CRWMS M&O.

CUM (1997), Planning Inspector' s report, Cumbria County Council Appeal by United Kingdom Nirex Limited, C.S. McDonald, File No. APP/H0900/A/94/247019, March 1997.

van Dorp, F., Egan, M., Kessler, J.H., Nilsson, S., Pinedo, P., Smith. G., Torres, C. (1999), "Biosphere modelling for

the assessment of radioactive waste repositories; the development of a common basis by the BIOMOVs II reference biospheres working group". In *Journal of Environmental Radioactivity*, 42, 225-236.

EC (1995), Radionuclide transport through the geosphere and biosphere, Review study of the project MIRAGE. EUR 16489.

EC (1995a), Testing and modelling of thermal, mechanical and hydrogeological properties of host rocks for deep geological disposal of radioactive waste, proceedings of a workshop, Brussels, 12-13 January 1995. EUR 16219.

EC (1996), Sixth EC natural analogue working group meeting, Proceedings of an international workshop held in Santa Fe, New Mexico, USA, 12-16 September 1994. EUR 16761.

EC (1997a), Seventh EC natural analogue working group meeting, Proceedings of an international workshop held in Stein am Rhein, Switzerland, 28-30 October 1996, EUR 17851.

EC (1997b), Projects on the effects of gas in underground storage facilities for radioactive waste, (pegasus project) .EUR 18167 and EUR 16746, 16001, 15734, and 14816.

EC (1997c), El Berrocal project, Characterization and validation of natural radionuclide migration processes under real conditions on the fissured granitic environment: Final report. EUR 17478.

EC (1998), OKLO working group, Proceedings of the first joint EC-CEA workshop on the OKLO-natural analogue Phase II project, held in Sitges, Spain, 18-20 June 1997. EUR 18314.

EC (1998a), Nuclear fission safety-Progress report 1997. Vol.2: Radioactive waste management and disposal and decommissioning. EUR 18322/2.

EC (1998b), In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal. Proceedings of a cluster seminar held in Al-

den Biesen (B), 10-11 December 1997. EUR 18323.

EC (1998c), The Praclay project: Demonstration test on the Belgian disposal facility concept for high activity vitrified waste: Final report. EUR 18047.

EC (1998d), "RESEAL: A large scale in situ demonstration for REpository SEALing in an argillaceous host rock" .In In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal, Proceedings of a cluster seminar held in Alden Biesen (B), 10-11 December 1997. EUR 18323.

EC (1998e), FEBEX Project: a Full scale Engineered Barriers EXperiment in crystalline rock, in In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal, Proceedings of a cluster seminar held in Alden Biesen (B), 10-11 December 1997. EUR 18323.

EC (1998f), Nuclear fission safety-Progress report 1997, Volume 2: Radioactive waste management and disposal and decommissioning. EUR 18332/2. (Progress report 1998 under preparation for publication in the EUR series) .

ENRESA (1997) .ENRESA-97-Performance assessment of a spent fuel repository in granite. Enresa Technical Publication 06/97 (in Spanish) .

ENRESA (1998), ENRESA-98-Performance assessment of a spent fuel repository in clay. Enresa Technical Publication (in preparation) .

GER (1998), Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie and den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) .Vom 23. Dezember 1959 (BGBl. IS.814) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. IS.1565) (BGBl. III 751-1) zuletzt geändert durch Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes und des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 6. April 1998 (BGBl. IS.694) .

Glassley, W. (1994), "Validation of hydrogeochemical codes using the New Zealand geothermal system" .In Proceedings of the Fifth CEC Natural Analogue Working Group (NAWG) meeting and Alligator Rivers Analogue Project (ARAP) Final Workshop, 5-9 October 1992, Toledo, Spain. EC-NAWG H. von Maravic and J. Smellie (Editors), 1994, EUR 15176 EN, Luxembourg.

Goodwin et al. (1994), The disposal of Canada's nuclear fuel waste: Postclosure assessment of a reference system. AECL-10717, COG-93-7.

Goodwin et al. (1996), The disposal of Canada's nuclear fuel waste: A study of the postclosure assessment of in-room emplacement of used CANDU fuel in copper containers in permeable plutonic rock, Volume 5: Radiological assessment. AECL-11494-5, COG-95-552-5.

Griffault, L. et al. (1996), Acquisition et régulation de la chimie des eaux en milieu argileux pour le projet de stockage de déchets radioactifs en formation géologique: Projet "Archimède argile": rapport final. EUR 17454.

ICRP (1986) .ICRP Publication 46: Radiation Protection principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste. Annals of the ICRP Vol 15/4.

ICRP (1993), ICRP Publication 64: Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework. A Report of a Task Group of Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP Vol. 23/1.

ICRP (1998) .ICRP Publication 77: Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste. Annals of the ICRP Vol. 27 Supplement.

ICRP, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived, Solid Radioactive Waste. To be published by the

International Commission on Radiological Protection, (in Preparation) .

IAEA (1997), Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (adopted on 5 September 1997 and opened for signature at the Headquarters of the IAEA) .

IAEA (1998), Technical, institutional and economic factors important for developing a multinational radioactive waste repository. TE-CDOC-1021 (1998)

JNC (1999), The Second Progress Report: H12 Project for Assessment of Feasibility of HLW Disposal in Japan, (In preparation) .

Kickmaier, W. & McKinley, I. (1997), "A review of research carried out in European rock laboratories" . In Nuclear Engineering and Design 176, pp 75-81.

Konopaskova S., Pergl L. (1997), Model Description of a Reference Disposal System. Nuclear Research Institute (NRI) . REZ, Czech Republic, BAZ 97-02, 90 pages (in Czech) .

Kowalski, E., and Fritschi, M. (1996), "Swiss underground L/ILW repository Wellenberg after the negative vote of the canton." IAEA Symposium on experience in the Planning and Operation of Low level Waste Disposal Facilities, Vienna, 17-21 June 1996. IAEA-SM-341/53.

Manteufel, R.D. & Baca, R.G. (1995), Iterative Performance Assessment Phase 3: status of activities. San Antonio, Texas, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses. CNWRA 95-007 (prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission) .

Marivoet, J. and Zeevaert, Th. (1990), PACOMA - Performance assessment of the geological disposal of medium-level and alpha waste in a clay formation in Belgium. EUR 13042 EN.

Marivoet, J (1991), UPDATING 1990 - Updating of the perfor-

mance assessments of the geological disposal of high-level waste in the Boom Clay. SCK-ONDRAF/NIRAS report BLG 634.

Marivoet, J., Volekaert, G., Snyers, A. & Wibin, J (1996), First Performance Assessment of the Disposal of Spent Fuel in a Clay Layer. EUR 16752 EN.

Marivoet, J. et al. (1997), Evaluation of elements responsible for the effective engaged dose rates associated with the final storage of radioactive waste: EVEREST project. EUR 17449.

Miller, W., Alexander, R., Chapman, N., McKinley, I., Smellie, J. (1994), "Natural analogue studies in the geological disposal of radioactive wastes" .In Studies in Environmental Science 57, Elsevier (Amsterdam, London, New York, Tokyo), 1994 - also as: Nagra Technical Report 9303, Nagra, Wetingen, Switzerland, 1994.

Murphy, W.M., Percy, E.C. and Pickett, D.A., (1997) . "Natural analogue studies at Pena Blanca and Santorini" .In: Proceedings of the Seventh EC Natural Analogue Working Group (NAWG) Meeting, 28 - 30 October 1996, Stein am Rhein, Switzerland, EC - NAWGH. von Maravic and J. Smellie (Editors), EUR 17851 EN, Luxembourg.

Nagra (1993), Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers SMA an Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW) .Nagra Technical Report Series NTB 93-26, Nagra, Wetingen, Switzerland.

Nagra (1994), Kristallin-I safety assessment report. Nagra Technical Report Series NTB 93-22, Nagra, Wetingen, Switzerland.

Nagra (1994a), Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA an Standort Wellenberg. Nagra Technical Report Series NTB 94 - 06, Nagra, Wetingen, Switzerland.

NEA (1991), Disposal of radioactive waste: can long-term safety be evaluated? A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management

Committee of the OECD Nuclear Energy Agency and the International Radioactive Waste Management Advisory Committee of the International Atomic Energy Agency, endorsed by the Experts for the Community plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management of the Commission of the European Communities. OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

NEA (1993), The Cost of High-Level Waste Disposal in Geological Repositories: An Analysis of Factors Affecting Cost Estimates. OECD Nuclear Energy, Paris.

NEA (1997), Lessons learnt from ten performance assessment studies. OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

NEA (1997a), Field Tracer Experiments: Role in the Prediction of Radionuclide Migration, Synthesis and proceedings of a workshop held in Cologne, Germany, 28-30 August 1996. OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

NEA (1998), Modelling the Effects of Spatial Variability on Radionuclide Migration, Synthesis and proceedings of a workshop held in Paris, France, 9-11 June 1997. OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

NEA (1999), An International Database of Features, Events and Processes. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, in press.

NEA (1999a), Low-Level Radioactive Waste Repositories: An Analysis of Costs. OECD Nuclear Energy, Paris.

NEA (1999b), Confidence in the Evaluation of Safety of Deep Geological Repositories. OECD Nuclear Energy, Paris, (in preparation).

NEA (1999c), Characterisation of Water-Conducting Features and their Representation in Models of Radionuclide Migration, Synthesis and proceedings of a workshop held in Barcelona, Spain, 10 - 12 June 1998. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, in press.

Neyame et al. (1998), "Quality assurance program with computer-oriented management system for performance assessment." In High-level Radioactive Waste Management, Proceedings of the Eighth International Conference, Las Vegas, Nevada, May 11-14, 1998. American Nuclear Society, Inc., La Grange Park, Illinois 60526 USA.

Nirex (1995a), Nirex 95-A preliminary analysis of the Groundwater Pathway for a Deep Repository at Sellafield. Nirex Science Report S/95/012.

Nirex (1995b), The Development and Application of RARECAN. F.M. Porter and A.V. Chambers, Nirex Safety Series Report NSS/R396.

Nirex (1996), HARPHRQ: A Computer program for Geochemical Modelling. A. Haworth, T.G. Heath and C.J. Tweed, Nirex Report NSS/R380.

Nirex (1997), Nirex 97-An assessment of the post-closure performance of a Deep Waste repository at Sellafield. Nirex Science Report S/97/012.

PNC (1993), First Progress Report on Research and Development on Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste. PNC TN1410 93-059.

Prij, J. et al. (1993), PROSA-Probabilistic safety Assessment, Final Report. ECN, RIVM, RGD, Petten.

SKB (1992), Final Disposal of Spent Nuclear Fuel; Importance of the Bedrock for Safety. SKB Technical Report 92-20, The Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB (1997), Assessment of a spent fuel disposal canister. Assessment studies for a copper canister with a cast steel inner component. A.E. Bond, A.R. Hoch, G.D. Jones, A.J. Tomaczyk, R. M. Wiggin, W.J. Worraker; AEA Technology, Harwell, UK; SKB TR 97

SKB (1998), Parameters of importance to determine during geoscientific site investigations. J. Andersson, K - E. Alméen, L. O. Ericsson, A. Fredriksson, F. Karlsson, R. Stanfors, A. Ström; SKB TR 98-02.

SKB (1998a), Geoscientific evaluation factors and criteria for siting and site evaluation. A Ström, J. Andersson, K - E. Alméen, C Svemar, LO Ericsson; SKB-R-9907.

SKB (1998b), Maqarin Natural Analogue Study; Phase III, vol. I and II. Smellie, J. A. T., Conterra AB (ed.); SKB TR 98-04.

SKI (1991), SKI Project-90. SKI Technical report 91:23, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm.

SKI (1996), SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project. SKI Report 96:36, Swedish Nuclear Power Inspectorate.

Smellie, J. A. T., Karlsson, F. and Alexander, R., (1997), "Natural analogue studies: present status and performance assessment implications" . In Journal of Contaminant Hydrology 26 (1997) 3-17.

SNL (1995), Draft 40 CFR 191 Compliance Certification Application (DCCA) for the Waste Isolation Plant. SNL, 1995.

US DOE (1997), Linking Lagacies; Connecting he Cold War Nuclear Weapons Production Processes to their Environmental Consequences. DOE/EM-0319, 1997.

US DOE (1998), Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain, Total System Performance Assessment. DOE/RW-0508 Volume 3, North Las Vegas, Nevada; DOE Office of Civilian Radioactive Waste Management, Yucca Mountain Site Characterization Office.

USNRC (1998), Draft proposed U. S. Nuclear Regulatory Commission, Regulations for the disposal of high-level radioactive wastes in the proposed geologic repository at Yucca Mountain, Nevada, USA. U. S. NRC, Draft proposed to CFR PART 63, 1998.

Vieno, T., Hautajärvi, A., Koskinen, L., Nordman, H. (1992), TVO-92 Safety Analysis of Spent Fuel Disposal. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Report YJT-92-33E.

Vieno, T., Nordman, H. (1996), Interim report on safety assessment of spent fuel disposal TILA-96. Helsinki: Posiva, 1996.176s. (POSIVA 96-17) .ISBN 951-652-016-2.

Wescott, R.G. et al. eds. (1995), NRC Iterative Performance Assessment Phase 2: Development of capabilities for review of a performance assessment for a high-level waste repository. U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1464.

Wilson, M.L., Gauthier, J.H., Barnard, R.W., Barr, G.E., Dockery, H.A., Dunn, E., Eaton, R.R., Guerin, D.C., Lu, N., Martinez, M.J., Nilson, R., Rautman, C.A., Robey, T.H., Ross, B., Ryder, E.E., Schenker, A.R., Shannon, S.A., Skinner, L.H., Halsey, W.G., Gansemer, J.D., Lewis, L.C., Lamont, A.D., Triay, I.R., Meijer, A., and Morris, D.E. (1994), Total System Performance Assessment for Yucca Mountain-SNL Second Iteration (TSPA-1993) .SAND93-2675. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories.

Wolfsberg, A.V. et al. (1999), "Use of Chlorine-36 and other Geochemical Data to Test a Groundwater Flow Model for Yucca Mountain, Nevada" .In Use of Hydrogeochemical Information in Testing Groundwater Flow Models, Technical summary and proceedings of a Workshop held in Borgholm, Sweden, 1-3 September 1997, OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

## 附录 6

### 调查表答复综览：公众联络与理解

在调查表中，概据被调查者对

- 1) 处置执行单位或审管机构联络公众的状况如何？
- 2) 联络公众的努力有否引起其态度的明显变化？
- 3) 哪些事件和发展对公众态度的影响最为强烈？

等三个问题的答复所反映的信息，可以看出公众联络的重要意义及其对公众主观判断地质处置现状所产生的影响。

在调查表的最后一节，征询了被调查者本身的主观意见，做法是请他们列出全部的影响因素，为此设问如下：

- 1) 过去 10 年中最积极的进展；
- 2) 过去 10 年中最消极的事件；
- 3) 未来最有可能促进地质处置计划发展的活动。

本节附录即是对公众联络与理解方面调查结果的归纳和总结。

#### 附录 6.1 公众联络

##### (1) 公众参与决策

首先一个问题是何为公众参与。在处置计划中，各种层次的公众介入都是可能的，而且不同的国家有不同的方式。最直接的公众参与形式就是直接参加决策过程，来决定执行单位提出的具体建议能否采纳，或是主管机关能否颁发许可证。只有瑞士提到给计划的反对者提供了就此类问题举行公民投票表决的机会，但像瑞典等国家也曾进行过咨询性质的公民投票。

然而，许多国家都制定了使公众参与废物处置领域一系列决策过程的正规程序。直接举行公众听证会虽非十分普遍，书面形式的协商却是共同的作法。有时，通行的《环境保护法》或类似的法规，也需要向公众展开正规的协商工作，如匈牙利、美国、加拿大以及执行了 EC 指令的各国。该指令要求，对于建设及其运行可能给环境带来严重影响的设施，必须进行《环境影响评价》。《环境影响评价》由设施的经营者或执行单位来承担，评价的资料和内容应传达给公众。

一些国家对公众参与废物处置计划并未做正式的规定。但在几乎所有国家，政府和审管机构以及执行单位仍然以一种非正式的方式积极地探求公众意向，以便使：

- 1) 执行单位在调整计划时照顾到公众的观点；
- 2) 许可证颁发机关在提出法规指南之前能够考虑到一般公众的意见；
- 3) 政府机关在做出批准许可证之类的最终决策之前，能够考虑到公众意见。

调查表答复清楚地表明，今天已不乏令公众参与废物处置库之计划与实施过程的措施。甚至在并未严格要求执行单位或审管机构向公众开展紧密协商的情况下，在这个有争议的领域就已经出现了积极寻求对话的普遍趋势。下面一节介绍了各方面积极开展活跃讨论的情况。

## (2) 与利益相关方联络

多数单位都将联络社会群体视为自身义务，这些群体包括：

- 1) 一般公众；
- 2) 决策层；
- 3) 受影响的地方公众及其代表；
- 4) 广泛的科技界人员。

这些单位还通报了为完成此项义务所采用的各种措施（见附表 6.1）。

在被调查者之中，只有 EC 提到他们已建立了国际互联网网站，尽管许多组织也拥有自己的主页，其中设计有听取公众反映的内容。国际互联网作为一种迅速而且实际可行的联络公众并为公众掌握的手段，其作用显然正日益重要起来，理应受到废物管理组织的重视。

审管机构与执行单位，由于信息来源不同，其各自的角色显然是不同的。有些主管部门和审管机构（如加拿大）极其谨慎地避免被视为亲核派，而更乐于与决策者相互沟通。其他的审管机构，像瑞典的 SKI 或者美国的 EPA，在审慎地避免亲核立场的同时，在如实地通报公众并鼓励对话方面起着非常积极的作用，同时特别强调了保护公众安全立法的独立性。

附表 6.1 废物管理组织联络各界公众的方法

公 众	实 行 的 方 法
一般公众	定期出版物，传单，录像，展览会，游客中心，场址参观，有电子邮件（e-mail）问答能力的国际互联网网站，参与公众辩论，巡回接待日……
地方公众	上述所有方法之外还包括：地方公众与废物管理组织的代表组成的联合委员会，学校讲座，个别接触，……
决策层	文字报告，为顾问组撰稿
科技界	研发年报，出版科学杂志，报告会，大学演讲，同行评议组

几乎所有被调查者都认为联络公众非常重要，这种重要性体现在大多数单位均有专职从事这项工作的职员。通常，纯粹意义上的公关人员相对较少。普遍认为，其核心作用应由单位内其他部门工作的技术专业人员来加强。在少数情况下，所有联络公众

的工作都委托给了技术人员。一般地说，必须既让技术人员又让非技术人员参与工作，以便根据不同的社会群体，进行一些不同形式的、不同程度的有效的联络工作。

### (3) 公众联络中传达的重要信息

在“公众联络中所传达的重要信息”的提问中，我们收到了一些有意义的答复。必须传达给各界公众的信息列在附表 6.2。其中，普遍提到的重要信息包括：

1) 按规范实施的地质处置是安全的；其潜藏的风险水平非常低。但是，要使广大公众信服这一点是很难的。

2) 处置是必须进行的。放射性废物已经产生，无论核能的未来如何，这些废物都必须进行处置。然而，把核能的未来发展与废物处置牵扯在一起，使某些团体的抗议此起彼伏；

3) 开发废物处置方案理应由现代人承担。废物管理界认为，暂存与嬗变方案不能替代处置方案。前者只能推迟处置的时间，后者只不过改变待处置的废物总量而已。

有意思的是，尽管大多数组织都提到了必须向公众传达有关低水平风险的信息，却未提到使公众认识全社会正面临或愿意面临的其他类型风险所做的努力。这可能说明公众并不着重处置风险与其他不同来源的风险之间的比较，而只需要对具体情况更直接的保证。

附表 6.2 重要信息

---

处置的技术安全；低水平风险  
对处置的需求  
进行处置的环境和道义方面的理由  
地质处置是为国际社会接受的途径  
逐阶段开发过程的合理性和正确性  
独立审管机构的重要性  
法规实施的质量与道义状况  
带给所在社区的地方利益  
原则上处置过程是可逆的

---

对所有人来说，传达的重要信息都是基础性的和共同的。于是出现了一个显而易见的问题：过去的宣传工作效果如何？为什么每个组织仍在宣传同一种信息？难道过去提供信息采用的方式无效吗？

## 附录 6.2 公众理解

### (1) 过去 10 年中公众态度的变化

调查表旨在收集两方面的信息，过去 10 年中公众意见有何种变化，为改变公众面对极端事件的影响时的这种态度所做的宣传工作效果如何。关于过去 10 年公众态度总的变化趋势的各种答复表明，尽管其本国内接受核电力的程度总体上略有提高，但接受长寿命废物处置的程度却未出现相似的进展。越来越多的人知道了最终处置的问题，公众参与选址过程成为越来越普遍的运动。这就使这个过程更长，部分地是由于公众团体反对废物处置的活动更加有组织，更能接触诸如地方公众和媒体的听众。他们提出的意见也更理智。因此，如果执行单位以及适当时，监管机构，要传达他们自己的信息，就更有必要尽早地和公开地联络公众。

初看之下，似乎认识不到，前面各章节讨论的技术进展已使各国较之 10 年前更接近地质处置的实施阶段了。突出的例外是芬兰，其环境影响评价（EIA）和 2 个低放废物处置库的实施似乎产生了积极的影响。更详细的分析表明，其他一些计划在此十年中也取得了进展，其标志主要是某些设施的建立（如瑞典的 SFR），特定场址地质调查的展开（如比利时，英国、美国和瑞士），或者通过了重要的许可证审批阶段这一关（如美国的 WIPP）。但是，也有一种不同的理解，认为目前全局出现的障碍已经削弱或抵销了早期取得的显著成果。

一般地说，世界上发生的核事件肯定强烈地影响了公众态

度，而各国处置计划中的核事件，影响尤甚。切尔诺贝利是引用最多的一个原因，它不仅使对核电的认识疑虑重重，也使人们对核废物管理与处置的看法充满忧虑。就某一国而言，与处置计划无直接关联的事件也会对公众态度产生负面影响。例如，日本“文殊”堆和东海发生的两次事故以及欧州国家公众揭露出来的受污染的运输罐。处置计划中的具体障碍也加深了公众的疑虑。例如英国 RCF 计划申请遭到拒绝，瑞士就 Wellenberg 场址举行公民投票的否定结果，瑞典在两个预先研究场址的社区公民投票的否定结果，西班牙选址计划的放弃以及加拿大专家组关于目前不宜启动选址阶段工作的建议等。所有上述事件<sup>[30]</sup>，一方面反映了公众对处置所持的怀疑态度，另一方面，本身又反过来增加了公众的关切。

在处置计划的大多数障碍中，问题汇聚的焦点是争论不休的设施选址。每次选址尝试的失败，多半是败在执行单位缺少充分的地方信任，少部分是由于计划工作中技术准备不够。完善的整套计划应包括可以论证的充分的技术工作，良好的宣传工作，适当的补偿计划和人事的信任，这似乎是争取被公众接受的必要条件，尤其是面对抗议人群竭力反对的时候。某些国家计划的失败，连同处置计划因延长暂存时限而大大推迟的现实，阻碍了其计划进入选址阶段的进程。

## (2) 废物管理组织对改变公众态度的贡献

废物管理组织的愿望之一是公众在证实执行单位乐于认真考虑他们所有担心的问题之后，能够最终树立信心。许多国家如瑞典、英国、加拿大和瑞士的事件表明，公众的确拥有发言权，并且公众的意见在对处置库实施方案进行争论时应切实注意。

如此看来，执行单位能否成功地向公众传达自己的信息就成为事情的关键。然而，关于宣传公众的效果的提问，从处置库实施者或审管机构方面收到的答复是使人警觉的，他们的信息和宣传工作对于公众理解或接受处置计划所产生的积极影响效果甚

微。

废物管理界因力量所限，在争取公众赞同推进处置方案问题上陷入了进退维谷的境地，这就完全证实了放射性废物管理委员会（RWMC）及其他机构的担忧。同时证明，管理界应对此类相关的问题给予更多的关注，即使这些问题并不完全属于传统意义上的科学和工程领域。

### (3) 过去 10 年中地质处置的进展

调查表的最后一部分专门征求了废物管理界内部针对于最积极和最消极地影响废物处置实施的因素的主观意见。在考虑这些积极和消极因素时，一些被调查单位集中论述了国内的发展动态，另一些则对国内和国际事件及发展均有论述（见附表 6.3 和附表 6.4）。

被调查单位认为，对本国和国际性计划来说，别国的消极因素比积极因素影响更大。这可能反映出执行单位正常发布的成功信息相对有限并且受国别限制，而审管机构的活动范围也是有限的。相比之下，反对者却日益趋于理性，其扩大活动范围的努力更加有效，大致如此。

附表 6.3 援引最多的对深地质处置产生积极影响的  
各国与国际发展实例

各国项目中的积极发展和事件	具国际意义的积极发展和事件
正在施工的各国废物管理设施	别国废物管理设施的实施进展(如 WIPP 准营证书是援引最多的进展实例)。
已经开工并可能成为处置库的设施如德国开挖的 Gorleben 竖井，尤卡山正在建设的主隧道。	其他国家场址特性评价与安全评价研究的进展。
场址特性评价与安全评价研究的进展，如加拿大环境影响评价报告的发表。	场址特性评价和安全评价技术日臻成熟，可以进行更可靠的分析。
一些国家发表了阶段性安全与可行性研究成果。	研发与地下实验室计划方面的国际合作。

续表

各国计划中的积极进展与事件	具国际意义的积极进展与事件
<p>发表了有利于推动地质处置进展或确立废物管理战略的国家政策。</p> <p>法规的修改或/和立法方针的颁布。</p> <p>局部的和地区性宣传运动，扩大公众参与。</p> <p>除商业核电站产生的高放废物以外，其他废物需要地质处置的观点得到公认。</p>	<p>日益广泛的国际合作与共识。</p> <p>国际组织的研究，旨在促进国际合作与共识（提的最多的是 1991 年版 NEA/EC/IAEA 《共同认识》和 1995 年版 NEA 《共同认识》）。</p> <p>投入更多的力量来评价那些替代方案对处置计划的影响，如分离与嬗变，乏燃料直接处置，使用 MOX 燃料，可回取性等。</p> <p>越来越普遍地意识到放射性废物以外的废物对环境的危害。问题要大得多，却远不如放废处置那样受到关注（特别是温室效应）。</p>

附表 6.4 援引最多的对深地质处置产生消极影响的  
各国与国际发展实例

各国计划中的消极事件	具有国际影响的消极事件
<p>一些国家的选址与调查计划受阻，如英国放弃了 RCF 计划，瑞士和瑞典的公民投票，加拿大评价小组建议的推迟和修改方案。</p> <p>施压团体和地方公众反对预选场址特性评价和钻孔试验获得成功。</p> <p>对公众意见的作用和反对派团体操纵公众意见的能力估计不足。</p>	<p>其他国家选址与调查计划受阻。</p> <p>施压团体和地方公众反对预选场址特性评价和钻孔试验获得成功。</p> <p>对开发永久处置库的紧迫性认识不足，加之相信：等到关于可回取方案/长期监控方案的讨论之后，可能会有更好的技术方案（如重新用分离与嬗变为理由，推迟地质处置研究）。</p>

续表

各国计划中的消极事件	具有国际影响的消极事件
<p>国家政府决心或法规框架不足。</p> <p>废物管理问题与核能未来发展牵扯到一起，并引起更广泛的争论。</p> <p>比利时和美国都感受到预算压力，这种压力限制了科研工作，主张低成本方案或推迟处置计划。</p>	<p>由于过去封闭的信息政策以及核事故的发生如切尔诺贝利和三里岛事故，前苏联各共和国以及美国的要求大量开展场址整治的新闻等，导致了对核工业的长期怀疑。</p> <p>西方许多国家对核能战略的兴趣普遍下降。</p> <p>国际上关于安全之科学基础的不同意见及不同学者对处置安全所采取的矛盾的见解。</p>

某些废物处置设施的许可证，如芬兰 VIJ 设施，被列为国内开发进展的实例，而在某些被调查者看来，该实例对别国的开发也会产生积极影响。特别是，许多被调查单位都认为 WIPP 设施的许可证是具有世界意义的重大积极事件。相应地，某些调查项目的受阻，如英国 RCF 建议的放弃，反对发展与研究的投票，如瑞典和瑞士，不仅直接影响本国的项目发展，某些被调查单位认为，对别国而言也是一种消极因素。不过，情况可能是这样：某国发生的积极或消极事件对别国决策层或公众舆论的直接作用小于对执行单位士气的影响。新闻报导总是将别国核工业中的消极现象拿来与本地类似设施或计划进行类比，展望其对本地区的作用。各国政府及科技界对废物处置方案的一致认同被视为至关重要的积极因素，如 NEA 发表的 1991 年和 1995 年《共同认识》。反之，举国上下不断增长的要求重新审议分离与嬗变、延长暂存期等方案的动向一般被视为消极因素，尽管在荷兰、比利时等国，这些动向被视为该国环境下的积极事件。某些被调查单位认为，这种强调分离/嬗变和暂存方案的动向，其原因是西方国家对核能的兴趣整体上下降，和/或对开发永久处置库的工作缺乏

紧迫感，在某些答卷中还提到财政方面的因素。

地质处置方面的研发项目中，持续的国际合作，尤其是地下实验室计划中的合作，被视为重要的积极因素。许多被调查单位将场址特性评价与安全评价技术的发展和日益成熟也列为积极因素。但是，国际上对安全的科学基础的不同意见以及科学工作者关于处置安全的相互矛盾的信息报道被列为消极因素。

少数被调查单位心目中的消极因素还有政府缺乏决心进行一些不受欢迎的开发活动，或是国家法律法规框架中存在着缺陷。相应地，积极的政府声明以及专门的和可实施的法规框架与导则的制定被有关国家列为积极因素。

由于过去的政策，信息的传播受到限制，给公众造成了神秘的印象，又兼过去的核事故，特别是切尔诺贝利事故，长期以来，使公众对核工业持不信任态度，也被看成是影响舆论的消极因素。但是，芬兰未发生任何事故，则被看成积极因素。

#### (4) 今后 10 年的发展要求

在考虑今后 10 年中推进地质处置所必需的开发项目时，又一次提到了国际国内的各项开发工作。废物管理界希望的开发内容可归纳为几大类（见附表 6.5）。

许多被调查单位再次强调了国际事件和发展实例的重要意义，特别是其他国家的处置库开发，作为论证设施安全的活生生的实例，可能产生积极的影响。这或许表明，大多数被调查单位（执行单位和审管机构）相信：就其本国具体条件而言，他们的工作路线是正确的，而国际进展的浪潮可以更容易地托起他们跨越国内的各种障碍。也许，被调查单位认为，正是缺乏国际性的进展，为其本国计划遇到的抗议提供了公众反对处置计划可行性的强有力的理由。在被调查单位谈到本国推进处置计划所需要的具体要求时，重点都放在政策和组织问题以及如何争取公众接受现有技术方法的方法上，而并未强调更完善的技术方案的开发。

几乎没有被调查单位强调政府的作用，大部分原因是认为政

府的支持要么是业已存在，要么是来自公众接受。一旦提到政府行为，便出现了关于有利的介入形式的不同意见。例如，加拿大和英国的被调查单位主张，政府应直接大力支持深部处置作为长寿命核废物的适宜管理方案，并采用明确的法律程序来保证在计划关键阶段的政府支持，而德国的被调查单位则认为，明智稳妥的决策应包括减少处置库计划实施过程中的政治影响。

被调查单位希望的发展方向可归纳如下：

1) 在国际范围内，对以下各方面的需求应有明确的共识：地质处置、分阶段计划和实施的地质处置方案、技术可行性和方案安全的置信度，以及这种共识和置信度在一个或若干个成功运行的处置库开发过程中的体现；

2) 在各国范围内，对选址研究和处置库开发应有明确的步骤，在分阶段开发适合国情的处置方案时，应有有效的宣传方法和争取公众接受的方法。

---

注 ③本报告所用“积极”一词用以描述处置计划得以推进的局面。而“消极”或“受阻”等概念用于表述选址决策有待重新审查和项目本身未能如期向前推进的局面。这些术语的使用在执行单位中是不正规的，尽管审管机构未必尽然，反映的是一种主观判断。事实上，政府或社会的整体判断可能是这样的：现在对选址进度时间表进行的重新评价是“积极”的发展。新的时间表和选址决策一旦做出，政府将积极地支持地质处置，情况就可能变为，在决策出台并得到支持时，现在的“消极”在将来成为“积极”。

附表 6.5 未来 10 年为促进地质处置发展所必需的开发活动

最有助于废物处置计划进展的开发  
活 动

可看得见的实质进展

- 一国或多国地质处置库的成功选址：可起到公开论证设施安全的示范作用。
- 地方政府/社团同意执行单位进行地面场址调查或启动地下挖掘工程（如地下实验室工程或拟建处置设施的特性评价作业）。
- 继续进行 Gorleben 和尤卡山处置库的工作和法国地下实验室的建设工作。
- 超铀废物在 WIPP 设施中的处置。

提高公众的接受程度

- 制定一种有效的体制，确保公众认可在根据确定程序选择的场址上进行的地质处置是一种恰当的行动过程。
  - 向公众和立法机关充足的信息，说明开发永久处置库的紧迫性，并使之相信，随着计划的进展，逐步改善的技术措施能够综合运用于处置系统中。
- 制定出简单易懂而又与国际接轨的安全和工艺标准，用以指导各国及国际性的放射性废物管理计划。
- 建立对处置的科学基础和安全评价的置信度（如通过地下实验室中的示范试验）。
  - 论证工程屏障制造的可行性及质量监控措施。
  - 使公众认识并较好地理解所有技术工艺中都合理地存在着一定的风险，尤其是废物管理方面。

完善组织结构

- 确定担负各种不同职责的机构，确定有关的法律框架和决策程序。
- 制定简单易懂又与国际接轨的安全和技术标准用以指导各国及国际性放射性废物管理计划。
- 减少施加于处置库计划实施及处置库运行过程中的政治色彩和影响。

政策或策略的阐释

- 政府明确地支持深部处置作为长寿命核废物管理的适宜方案。
- 在技术层面再次确认处置库可达到的安全程度。

其他对进展有益的方面

- 启动对区域性或多国处置库开发可能性的探索。
- 客观地分析替代方法和技术方案。
- 增加投入（只有少数项目提及此项）。

## 附录 7

### NEA 发表的各版《共同认识》择要

节自《放射性废物管理领域现状的技术评价, 1985》

#### 总结与结论

工业活动被视为安全的行为, 尽管某些小风险自始至终地存在着。辐射防护的基本原理接受这一点, 并且承认, 放射性废物安全管理中也蕴含着一定程度的风险。因此, 放射性废物管理的目标就是探求一种在整体上既安全, 又能使辐射学、技术、社会、政治和经济等所有考虑达到一种可以被接受的平衡的战略。RWMe 在重点评价辐射学与技术因素, 特别是放射性废物管理的长期安全问题的同时, 强调了这种平衡的必要性。

基本结论是: 目前可以完成短期和长期的安全评价, 评价结果使人相信, 利用现已掌握的针对大多数废物种类的管理技术可以达到辐射防护的目标, 而其费用只相当于核电总成本的一小部分。关于放射性废物管理的短期和长期安全问题的其他主要结论如下:

关于短期安全, 即废物管理设施运行期限以内和有组织监控期内的安全:

1) 按照现在采用或将要采用的所有放射性废物管理方案, 在设施运行期内以及有组织监控期内, 辐射防护目标自始至终都能达到。

2) 暂存作为一种临时措施, 只要能提供适当的监管与控制手段, 可以用于所有类型的废物。

3) 尽管目前优先考虑全面开发和初步论证处置方案，但现在积累的高放废物和乏燃料数量并不大，因而实施处置并不很紧迫，这些废物可以继续安全暂存，直到处置的时机成熟时。

关于长期安全，即有组织监控期后时期内的安全：

1) 已经确定放射性废物处置应达到的明确的长期辐射防护目标，从而为判断处置实践在辐射学上能否被接受，或者为制定个别类型废物的具体标准提供了基础。

2) 已经掌握了用于处置系统长期安全评价的风险预测评价方法。

3) 在保证高放废物或乏燃料长期隔离并符合有关长期安全目标要求的深部地质体中建造处置系统，设计和运行该处置系统的能力都具有很高的置信程度。

4) 尽管铀矿山和选矿厂尾矿的短期问题已得到安全处理，但在诸如人类闯入尾矿坝或者可能误用尾矿于它途等长期问题方面仍留有某种隐患，因而有必要建立长期安全标准。

从 RWMC 的评价中得到的整体印象是乐观的和可靠的。这种评价基于过去和正在进行中的研究和研发活动提供的大量科学技术证据，以及已有的经验。同时也应承认：

1) 研发活动仍需继续，尤其是一些个别方案尚留有漏洞待填补，某些具体场址资料有待收集，安全研究有待进一步精确细致。

2) 废物管理活动和政策有待进行定期的重新评价，以便吸收最新的成果。

3) 在所有阶段都进行质量控制是核安全的基本要求之一，必须贯彻落实到废物管理活动的全过程。

针对这种情况，RWMC 认为，随着废物管理技术的工业应用成为可能，逐步运用这些技术既是顺理成章的也是安全的。

节自《放射性废物处置：长期安全能否得到评价？国际共同认识，巴黎，1991》

## 结论：国际社会的观点

以信息交流和联合计划为方式的国际合作在安全评价方法的开发中起着重要作用。特别是，国际合作促进了对该领域的关键技术进行定期的和系统的评审，这也促进了专家之间的沟通及客观的讨论。

在这样的一次评审之后，NEA 放射性废物管理委员会和 IAEA 放射性废物管理咨询委员会

- 认为，对拟建处置系统的充分和正确的理解是进行有意义的  
安全评价的重要先决条件，

- 指出，收集和评价拟建处置场址的资料对获得进一步进展  
是一项重要的任务，

- 承认，开展安全评价的能力已经得到了很大提高，

- 承认，定量的安全评价总是由定性的证据补充完成的，同时

- 指出，由于研究工作还在不断进行，安全评价方法能够并且  
必然会得到进一步改进。

基于上述考虑，两个委员会

- 确认，目前已经掌握的安全评价方法，可以全面评价精心  
设计的放射性废物处置系统对人类及其生存环境所产生的潜在的  
长期辐射影响，同时

- 认为，正确使用安全评价方法，辅之以拟建处置场址的充  
分资料，便可为判断具体处置系统能否给现代和未来社会带来满  
意的安全水平提供技术基础。

本《共同认识》已获“放射性废物管理领域共同体行动计划”的 CEC 专家批准。

节自《长寿命放射性废物管理。地质处置的环境与道义基础。NEA 放射性废物管理委员会的共同认识。巴黎，1995》。

作为放射性废物管理领域发展现状全面回顾的一部分，特别是根据 NEA 工作组对放射性废物处置的环境与道义问题的广泛讨论，RWMC 在 1995 年 3 月的特别会议上，从环境与道义方面重新评价了地质处置战略的基础。RWMC 特别关注了代内与代际的公平与公正问题：

1) 在不同世代（代际公平）之间的公平和公正，考虑了有可能将风险和负担留给后代的现代人的责任；

2) 在同一世代（代内公平）中的公平和公正，考虑了资源分配上的平衡以及现代社会各界都能公平和公开地参与行将实施的废物管理方案的决策过程。

在详细地审查了环境和道义问题之后，如稍后在 NEA 工作组论文集发表并详细讨论的那样，NEA 放射性废物管理委员会成员

·认为，代际与代内公平的道义原则在评价放射性废物长期管理战略的可接受性时必须得到贯彻；

·认为，从道义的、包括长期安全的立场出发，我们对后代的责任是通过采取最终处置战略免除后代负担，而不应借口暂存将长期监控管理的责任留给他们，而且这种责任在结构稳定性尚难预料的未来社会中，在一定的時候有可能被忽视；

·指出，在考察了把这些废物与生物圈隔离到必要程度的各种方案之后，地质处置是目前最有利的方案；

·相信，长寿命放射性废物的地质处置方案：

1) 既考虑了代际公平问题，尤其是对遥远的未来采用了与现在相同的风险标准并限制了向后代转嫁责任；同时

2) 也照顾了代内公平问题，特别是提出了在数十年的时间内，利用科学进步的成果，逐渐推进的实施方案；在该方案的各个阶段都留有与包括公众在内的社会各界进行商讨的余地；

·指出，地质处置方案毋需过多考虑处置库内废物的回取措施，但是，处置库关闭以后，废物的回取也不是不可能的，不过是花些成本而已；

·告诫人们，在寻求减少放射性废物地质处置方案的风险的同时，现代人应在有可能更大的减少人类或者环境所受危害的其他领域保留有一定的资源，并考虑是否可能在其他地方更有效地利用这些资源；

基于上述考虑，委员会成员

·进一步确认，地质处置方案的设计与实施能够考虑并满足道义和环境方面的基本要求；

·做出如下结论，继续开发使长寿命放射性废物能够与生物圈隔离数百年以上的地质处置库，从环境和道义方面而言都是合理的；

·并且认为，在数十年的时间内，随着科学的进步和社会的认同，分步骤实施地质处置计划是有可能做到的，而且也不排除在后期开发出其他方案的可能性。

## 附录 8

### 首字母缩略词表

AECL——加拿大原子能有限公司

ANDRA——法国放射性废物管理局

EC；CEC——欧州委员会，欧共体委员会

ECN——荷兰能源研究中心

ENRESA——西班牙废物管理公司

GEOTRAP——NEA 关于“不均一地质介质中放射性核素迁移”研究的国际合作项目

GRS——德国核工厂与工业工厂安全公司  
HLW——高放废物  
HMIP——英国皇家污染监察署（现为英格兰和威尔士环境署部门之一）  
IAEA——国际原子能机构，位于维也纳  
ICRP——国际放射防护委员会  
IPAG<sup>5</sup>——NEA 深部处置库综合性能评价工作组  
JNC——日本核循环开发研究机构（原 PNC）  
NAGRA——瑞士放射性废物处置合作总署  
OCED/NEA——经济合作与发展组织下属之核能机构  
Nirex——英国 Nirex 有限公司  
NRI——捷克共和国核研究所  
ONDRAF/NIRAS——比利时放射性废物与裂变材料总署  
SCK/CEN——比利时核能研究中心  
PA——性能评价  
PAAG——NEA 性能评价顾问组  
RAWRA——捷克共和国放射性废物处置库管理局  
RGD——荷兰地质调查局（现为 TNO 之一部）  
RIVM——荷兰公众健康与环境保护研究所  
RWMC——NEA 放射性废物管理委员会  
SEDE——NEA 放射性废物处置场址评价与试验设计协调组  
SKB——瑞典核燃料与废物管理公司  
SKI——瑞典核电监察署  
URL——地下研究实验室  
US DOE——美国能源部  
US NRC——美国核管署  
WIPP——美国废物隔离试验厂  
YMP——美国尤卡山计划