

美国出台新的核废物处置战略

卫之奇

(中国科学技术部, 北京 100862)

摘要: 2013年1月, 美国能源部发布《乏燃料及高放废物管理的处置战略》。通过对新出台的核废物处置战略的系统设计和组织实施的要素及面临的挑战进行分析, 得出如下结论: 该战略力图解决高放废物的处置这一世界性课题, 并提出了三步走目标, 其实施的关键在于同意制选址机制的确立和运行、相关资金机制的改革、建立专门的新的核废物管理和处置机构、以及美国国会给予新的立法授权等。此外, 公众的理解和支持也至关重要。美国处置核废物战略对我国开展核废物处置及相关选址工作有一定启迪。

关键词: 美国; 核废物; 核废物处置战略

中图分类号: TL942(712) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.08.002

美国一直在研究开发核废物处置问题, 并于2002年确定在内华达州尤卡山建造深地质库用于永久性处置乏燃料和高放废物。2009年, 美国新政府上台后进行政策调整, 终止了尤卡山处置库项目。同时, 经总统授权, 美国能源部组成有15位成员的美国核未来蓝带委员会(Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, BRC), 负责综合评估核燃料循环后端管理政策并提出新的管理战略建议。经过2年研究, 2012年1月, 蓝带委员会向能源部提交最终报告, 就核燃料循环后端提出8项管理战略方面的建议^①。

经过对蓝带委员会最终报告约一年的研究和评估, 2013年1月, 美国能源部发布《乏燃料及高放废物管理和处置战略》(*Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-level Radioactive Waste*)报告(简称“新战略”)。新战略认同蓝带委员会报告建议的主要原

则, 并结合其中许多原则构成了一个行动框架, 以使美国政府和国会合作制订针对民用核电、国防、国家安全和其他活动乏燃料和高放废物运输、储存和处置的综合性可持续的乏燃料及高放废物管理和处置计划。新战略作为美国政府的政策声明, 突出强调了解决乏燃料和高放废物处置问题的重要性, 阐述了系统解决方案的总体思路以及所需要的配套改革措施。另外, 新战略也为美国政府、国会和公众广泛讨论以可持续方式处置核废物问题打下初步基础。最终, 新战略的大部分主张和部署的贯彻落实还需要得到美国国会的立法授权。

1 相关背景

美国国会1982年通过, 并于1987年修订的核废物政策法案(Nuclear Waste Policy Act, NWPA), 为核电厂乏燃料和高放废物的永久处置设定了政策框架。该法案授权美国政府与乏燃料产生者和业主

作者简介: 卫之奇(1956—), 男, 工程师, 主要研究方向为科技管理和科技政策。

收稿日期: 2013-06-20

^① 美国核未来蓝带委员会报告的8项建议为: 1. 采用利益相关各方同意的方法进行未来核废物管理设施选址; 2. 建立专门负责实施核废物管理计划的新机构; 3. 改善核废物基金的使用; 4. 迅速开发地质处置设施; 5. 迅速开发集中式临时储存设施; 6. 迅速开展将乏燃料和高放废物运送到集中式临时储存设施和地质处置设施的大规模运输相关准备工作; 7. 支持美国核能技术持续创新和人力资源开发; 以及8. 激发美国在国际核安全、核安保、核废物管理以及核不扩散等方面的领导作用。

等反应堆运营商签署合同，规定运营商以缴纳相关费用作为条件，交换美国政府承担永久性处置乏燃料的责任。同时，缴纳的费用应能足以支付乏燃料和高放废物相关处置的所有开支。该法案还规定，美国政府应于 1998 年 1 月开始接收乏燃料^[1]。由于核废物处置工作周期漫长，期间受一系列政治、政策、经济、社会、环境、技术水平等因素变化的影响，美国政府未能履行其合同责任，在 1998 年开始接收乏燃料。由此被合同另一方提起诉讼，结果美国政府被裁定部分违约，并且对有些核设施相关乏燃料在堆储存的开支损失，要承担赔偿责任。

目前，美国共有 6.8 万多吨重金属的乏燃料储存在 72 处商业核电厂，每年大约还新增 2 000 吨。除商业乏燃料外，美国核武器活动产生的高放废物和海军核动力战舰产生的乏燃料也需要明确将如何处置。美国的这些国防核废物目前储存在爱达荷、南卡罗来纳和华盛顿等州。另外，在满足国家安全需要之后，美国还有相当数量剩余的武器级钚和高浓铀也需要在处置库中进行处置。

2 新战略要素

美国乏燃料及高放废物管理和处置战略主要内容有两部分：一部分为系统设计，包括乏燃料临时储存、运输、地质处置、先进燃料循环等；另一部分为组织实施，包括同意制场址选址、成立新的乏燃料管理和处置机构、资金安排等^[2]。

2.1 系统设计

新战略系统的核心是建立一个由一座中试规模临时储存设施、一座大型综合性临时储存设施，以及一座永久性地质处置库组成的核废物管理系统；目标是以增量方式和逐步积累经验为基础构建一个灵活的核废物管理系统，以确保系统运行安全可靠，并赢得利益相关者的信任。核废物管理系统初期用于接收已关闭反应堆的乏燃料，并由此建设废物处理能力，缓解周边社区和公用事业公司在已关闭反应堆现场长期储存乏燃料的压力^[3]。随着处理能力的提高，预计美国政府接收和运输乏燃料的速度将大于公用事业公司为减少其当前存量而逐步移交乏燃料的速度。

2.1.1 临时储存

临时储存是核废物管理系统的关键环节，可以

增加系统规划和实施的灵活性。另外，临时储存设施的建造和运行有利于推动地质处置库的开发。因为，州和社区同意接纳的大型综合性临时储存设施事实上是一个永久性设施。这样，就比较有助于促使州和社区同意在同一地块接纳一个地质处置库。但美国现行核废物政策法案对储存设施的开发有所限制，规定只有美国核管会（NRC）颁发地质处置库的建造许可之后，才能开始建造储存设施。这种限制排除了先建储存设施，再建地质处置库的可能性，实际上也排除了储存设施可作为废物管理系统组成部分的可能性。

系统设计中的中试规模临时储存设施初期用于接收已关闭反应堆的乏燃料，并借此建设乏燃料安全运输和安全储存的能力。预计该中试设施能够建立起利益相关方对同意制选址方法和相关承诺的信心。这些承诺包括：向中试设施东道社区的承诺，向乏燃料运输沿线管辖机构的承诺，以及向目前有在堆储存设施的社区的承诺等。按设想，中试设施应在 2021 年投入运行。相关前期工作包括：与有兴趣的各方进行同意制选址协商，开展与选址、初步工程和设计等活动有关的必要分析等。

除中试规模储存设施外，核废物管理系统中还拟建造一座大型综合性临时储存设施，其容量和能力更大，能更大幅度地增加运输系统和处置设施运行的灵活性。另外，也能减少美国政府因为违约的长期债务赔偿责任。根据同意制选址的结果而定，该设施的容量可为 2 万吨重金属或更多，并可位于中试储存设施或最终地质处置库的同一场址。按设想，该设施应在 2025 年之前完成选址、设计、许可、建造和投入运行等工作。

上述中试规模和大型综合性临时储存设施，除储存商业乏燃料外，也在考虑接收国防乏燃料和高放废物。如此，也可检验废物管理系统运行的能力和灵活性。^[4]

2.1.2 运输

美国建立了一套乏燃料和高放废物运输标准和监管制度，由美国能源部、核管会、交通部、州部落政府等协同实施。从实际执行情况看，这套制度行之有效，运作良好。为准备更多相关州地政府参与运输和提供技术协助等方面的工作，美国能源部正拟定相关的初步规划。能源部亦正在规划开发

向临时储存设施运送核废物的运输能力，还将开展运输规划和进行必要的收购工作，如推介和沟通，路线分析，应急响应等。另外，在向废物隔离中试厂（WIPP）运输废物的工作中，美国各相关联邦机构、州机构、地方政府等之间的合作很成功。规划中也将充分借鉴这些成功经验。

2.1.3 地质处置

新战略指出：根据目前的国际共识，地质处置库是已知最好的永久性处置乏燃料和高放废物的方法，而且不会对后代造成负担。美国政府和蓝带委员会都认为，开发地质处置库是目前最具有成本效益的乏燃料和高放废物的永久处置方法，同时能最大限度地减轻后代的负担。未来 10 年，地质处置库选址和场址初步调查等工作将与储存能力建设同步展开。计划目标是处置库在 2026 年确定场址，2042 年完成设计和许可，然后建造并在 2048 年投入运行。另外，在处置库选址工作的早期，美国环保署需要制定一套通用、非特定场址的处置库安全标准，并促使美国公众相信，未来任何处置库都会保障公众的健康和环境。

此外，地质处置库的可回取性长期以来一直具有争议。即无论出于未来的安全需要或再利用的需要，现在的处置库设计中是否应该考虑未来必要时可以将乏燃料和高放废物从处置库中安全取出的问题。对此，美国能源部橡树岭国家实验室 2012 年 12 月完成的一份技术评估报告指出，在考虑核材料回收的经济可行性、研究开发需求、燃料可兹循环的时间框架、乏燃料种类的广泛多样性以及国家安全可能的使用等各种情况后，当前美国商业乏燃料存量的 98% 可以进行永久处置，而无需考虑处置库封闭后乏燃料可能要重新取出再利用的问题。这份评估报告没有排除关于未来乏燃料循环的任何决策，但确实指出，如果出于乏燃料未来再利用的目的，则当前不必考虑可回取性^[5]。

2.1.4 先进燃料循环

蓝带委员会认为，当前美国政府出台任何不可逆的燃料循环政策的时机还不成熟。就此而言，即使将来美国决定采取闭合燃料循环政策，仍然需要地质处置库来安置残留的高放废物。另外，还需要认真解决成本、防扩散、国家安全、环境因素、技术水平等一系列问题^[6]。上述种种因素使当前美国

的乏燃料一次通过循环政策可能至少还会延续数十年。但同时，美国能源部将继续开展先进乏燃料循环研究，以支撑未来新技术相关决策，既满足美国未来能源需求，又有利于实现防扩散目标以及乏燃料和高放废物管理目标等。

2.2 组织实施

美国能源部认为，新战略成功实施的关键涉及到同意制选址方法的确立，专门负责核废物管理和处置的新机构的设立，相关资金机制的长期稳定性，以及新机构和资金机制应在独立性与接受美国国会及行政部门监督之间保持平衡等各方面。

2.2.1 同意制选址

美国现行核废物政策法规规定了地质处置库场址评估程序，其中一个缺陷是无论场址东道地区相关各方是否同意，都可以进行场址特征评价。从尤卡山处置库项目现在的结果看，这种选址方法存在较大的问题。因此，新战略吸纳了蓝带委员会的建议，主张应采用分阶段、可适应、以同意为基础的方法开展场址选址工作。这种方法意味着场址的选址必须要得到东道社区的同意，也意味着社区在期望相关的选址、建造和运行活动能带来经济效益的考虑下，可以自愿主动考虑接纳核废物管理设施，同时也允许核废物管理机构主动与其认为可满足选址条件的社区联系。另外，选址工作还可由美国联邦政府和东道地区管辖机构之间签署具有法律约束力的协定来规范，使成为合作伙伴。其他国家的经验也表明，经过州地部落政府、主要利益相关方及公众等参与并同意的同意制选址比自上而下的选址成功的机会更大。其中，公众的信任和信心是成功的前提。公众所有有关乏燃料和高放废物运输、储存和处置的认识和看法，都要从保护公众健康、安全、环境的角度认真对待。

同意制选址中还涉及到几个基本问题，即如何定义“同意”，如何表述为法律条文，以及是否需要或如何获得美国国会批准等。这是储存设施和处置库选址工作开始时关键的几个问题。美国能源部现正在收集美国和其他国家核设施选址的信息，以更好地了解成功的关键因素，更稳妥地制定未来储存设施和处置库的选址方法^[7]。

2.2.2 管理和处置机构

按照乏燃料及高放废物管理和处置战略，为使

相关工作更具有稳定性、专注性和有信誉，建立公众的信任和信心，要设立一个新的专门的核废物管理和处置机构。为探寻新机构的组织模式，美国能源部委托兰德公司（RAND）进行相关研究。兰德公司研究了以前能源部相关机构的运行情况，分析了当前美国政府内外使用的替代组织模式，得出结论认为，联邦政府公司模式和独立政府机构模式是两种比较适合的模式。这两种模式都可具备责任制、透明决策、自治、公众利益使命、组织稳定等关键性特点。而联邦特许私营公司模式则不太适合，因为对股东负责和利益驱动等因素都可能削弱公司对公众的责任性和造成比较差的政治信誉。兰德公司还指出，未来新机构的成功取决于多种因素和不可预见的情况。组织模式只是这诸多因素之一，而且可能还不是最重要的因素^[8]。

无论新机构采用何种模式，组织稳定性、领导连续性、监督和责任制、公信力都是其未来成功的基础。战略报告中提出，新机构的职责范围需要加以明确划定，如不能开展乏燃料循环或后处理研究，不能从事乏燃料循环或后处理活动，以及不能资助任何乏燃料循环或后处理工作等。另外，新机构的资金只能用于包括国防废物在内的核废物的管理和处置。新机构应有充分授权和领导力来履行使命，同时也要接受适当监督和控制。在美国国会立法决定设立新机构之前，美国能源部的相关办公室将继续负责促进落实战略的实施。新机构成立后，能源部将仔细评估需要移交的工作并进行移交。

2.2.3 资金机制

根据美国核废物政策法案，所有核电厂自1983年起，按0.1美分/千瓦时发电量的费率向美国政府缴纳费用，以此换取由美国政府负责接收和永久性处置核电厂乏燃料。这笔费用每年大约总共为7.5亿美元，并汇总到为此专门设立的由美国财政部掌管的核废物基金（NWF）。其中部分暂时闲置资金作为投资而购买非流通国债，利息收益也归入该基金。目前核废物基金的余额估计为280亿美元。另外，由于美国政府未能从1998年开始接收核电厂乏燃料，因此在相关诉讼中被裁定部分违约，并要承担相关赔偿责任。目前的赔偿支付均从1961年起专门设在美国财政部的政府判决基金

（Judgment Fund）中开支。

在核废物政策法案之后，美国国会又先后通过了一系列涵盖范围更广的预算案，其中有些使得核废物处置经费出现收支脱节的局面，造成相关工作开支比较困难的情况。因此，新战略提出，需要对当前的资金机制进行改革。未来的资金机制要在经费灵活性与严格支出监督两方面之间保持平衡，确保核废物管理工作能根据计划进度及时足额从核废物基金获得相应经费，确保在尽可能获得最大成本效益的方式下实施核废物管理计划。按照相关规定，新资金机制的构建需要美国政府与国会所有相关委员会合作，在现行美国联邦预算规则和程序框架下制定出可行的方案^[9]。

3 目前相关工作

在美国国会现行立法授权范围内，美国能源部核能办公室下属的燃料循环技术办公室已启动相关规划工作，以推动在核废物政策法案框架内可以开展的活动，以及有利于开发临时储存设施、地质处置库以及支撑运输基础设施的活动。这些工作包括制定乏燃料最终运输、储存和处置规划，审查核废物管理系统设计概念，制定储存设施和地质处置库场址同意制选址方法，评估综合性储存可能的运行情况，深化通用综合性储存设施的设计，以及制定大规模运输计划等。

按照蓝带委员会的建议，美国能源部还正在评估已关闭反应堆乏燃料的存量、运输条件和运输状况等，并已与相关州地部落代表签署合作协议，讨论有关运输规划和应急响应培训等。此项工作中，能源部计划充分借鉴向新墨西哥州废物隔离中试厂运送放射性废物的经验。另外，能源部正在开展处置相关的研究开发工作，如评估核电厂现在使用的废物储存罐能否在各种地质介质中直接处置，处置库回填工程屏障系统和材料的各种类别和设计特点，各类地质介质对核废物隔离的影响，各类地质介质的热管理方法等，以及制定深钻孔处置的研发方案。

美国出台的新战略，规划了制定核废物管理计划和建立核废物管理系统的行动纲要，并明确提出三步走目标，即：中试规模临时储存设施2021年

投入运行,大型综合性临时储存设施 2025 年投入运行,地质处置库 2048 年投入运行。新战略还拟定出今后 10 年的工作内容,包括进行同意制造址,中试规模储存设施建设及投入运行,大型综合性储存设施和地质处置库取得进展,运输能力及人员能力建设,资金机制改革,新机构的设立等。

代表核能生产和供应商、州公用事业委员会、其他公立或私营行业机构等利益相关方的核能研究所、全国公用事业监管委员会协会和核废物战略联盟三方联合表示欢迎新战略出台,并鼓励能起到指导美国核燃料管理规划作用的政策改革,同时认为美国政府和国会应高度重视并优先考虑改善相关资金机制、首先处置已退役反应堆的乏燃料、以及新建专门的核废物管理和处置机构等问题^[10]。

从新战略可以看出,相关计划的落实和实施需要美国联邦、州地部落等各级相关政府、美国国会、利益相关各方以及公众的合作与支持,尤其是同意制造址机制的建立和运行。另外,新战略提出的大部分部署内容需要美国国会新的立法授权,使核废物管理系统的各要素能按时部署到位,确保一个综合性的乏燃料和高放废物储存、运输和处置系统能顺利运转。这对美国核废物管理工作取得成功至关重要。■

参考文献:

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. Summary of the Nuclear Waste Policy Act [EB/OL]. [2013-03-15]. <http://www2.epa.gov/laws-regulations/summary-nuclear-waste-policy-act>.
- [2] U.S. Department of Energy. Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste [R/OL]. Washington DC: USDOE. (2013-01-10)[2013-02-26]. http://energy.gov/sites/prod/files/2013%201-15%20Nuclear_Waste_Report.pdf.
- [3] Annette Cary. DOE Says New Nuclear Waste Repository Possible in 2048; Hanford Remains at Risk of Being Temporary Site. Tri-City Herald [EB/OL]. (2013-01-12)[2013-02-26]. <http://www.tri-cityherald.com/2013/01/12/2233707/doe-says-new-nuclear-waste-repository.html>.
- [4] Nuclear Energy Institute. Summary of DOE Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste [R/OL]. (2013-01-10)[2013-02-26]. <http://www.nei.org/resourcesandstats/Documentlibrary/Nuclear-Waste-Disposal/reports/Summary-of-DOE-Strategy-for-the-Management-and-Dis>.
- [5] Wagner J C, Peterson J L, Mueller D E, et al. Categorization of Used Nuclear Fuel Inventory in Support of a Comprehensive National Nuclear Fuel Cycle Strategy [R/OL]. Oak Ridge, Tenn: Oak Ridge National Laboratory, 2012-12 [2013-03-05]. <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub37993.pdf>.
- [6] Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future. Report to the Secretary of Energy [R/OL]. Washington DC: Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, 2012-01-26 [2013-03-05]. <http://cybercemetery.unt.edu/archive/brc/20120620220827/http://brc.gov/index.php?q=announcement/brc-releases-their-final-report>.
- [7] American Institute of Physics. Department of Energy Issues Important Strategic Plan on Nuclear Waste [EB/OL]. (2013-01-24)[2013-03-05]. <http://www.aip.org/fyi/2013/016.html>.
- [8] Davis L E, Knopman D, Greenberg M D, et al. Choosing a New Organization for Management and Disposition of Commercial and Defense High-Level Radioactive Materials [R/OL]. Washington, DC: RAND Corporation, 2012. [2013-03-15]. <http://www.rand.org/pubs/monographs/MG1230.html>.
- [9] Lyons P. Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste [C]// Presentation from the 2013 NARUC Winter Committee Meeting [2013-03-15]. <http://www.naruc.org/meeting/presentations.cfm?94>.
- [10] Nuclear Energy Institute. Stakeholders React to DOE Used Fuel Management and Disposal Strategy [EB/OL]. (2013-01-10)[2013-03-15]. <http://www.nei.org/newsandevents/newsreleases/Stakeholders-React-to-DOE-Used-Fuel-Management-and>.

(下转第 76 页)

- Consumption of Transport[EB/OL].(2013-02-26)[2013-03-25]. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc340>.
- [8] 梁嘉琳. 报告称 500 个大型城市中达世卫组织空气质量标准不到 1% [EB/OL]. (2013-01-15)[2013-03-25]. http://news.xinhuanet.com/local/2013-01/15/c_124233223.htm.
- [9] 顾瑞珍. 我国约 70% 城市不能达到新空气质量标准[EB/OL]. (2013-02-05)[2013-03-25]. <http://news.sina.com.cn/c/2013-02-05/160526212289.shtml>.
- [10] 人民政协网. 20% PM2.5 汽车尾气制造 [EB/OL]. (2013-03-10)[2013-03-25]. http://epaper.rmzxb.com.cn/2013/20130310/t20130310_488304.htm.
- [11] 网易. 国务院参事牛文元：雾霾治理须动“大手术” [EB/OL]. (2013-03-11)[2013-03-25]. <http://baoding.house.163.com/13/0311/11/8PMDHJSG0251053M.html>.
- [12] 国家能源局. 国家能源局关于印发生物质能“十二五”规划的通知[EB/OL]. (2012-07-24)[2013-03-25]. http://www.gov.cn/zwggk/2012-12/28/content_2301176.htm.

Overview on Development of Bio-Energy in Sweden

XIA Fang

(Supervision Service Center for Science and Technology Funds, the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100038)

Abstract: Sweden is one of global leaders in bio-energy development. Since 2009 bio-energy has replaced crude oil as its largest energy source in Sweden which greatly promoted Sweden's eco-development of economy. In 2012, the use of bio-energy accounted for 31.6% of the whole energy supply in Sweden. The paper introduced the current development of bio-energy and related main policies made by Swedish government, and put forward some suggestions for China on how to develop the domestic bio-energy, transfer the model of energy development, and how to construct the national ecological civilization.

Key words: Sweden; bio-energy; new energy; environment protection; sustainable development

(上接第 11 页)

U.S. Released a New Strategy for Disposal of Nuclear Waste

WEI Zhi-qi

(Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

Abstract: In January 2013, the U.S. Department of Energy released *the strategy for disposal and management of spent fuel and high-level nuclear waste*. This paper mainly investigates and analyzes the strategy's system design elements and challenges in its implementation process. The strategy is mainly aimed to address the worldwide problem of the HLW disposal, and puts forward a three-phase objective. The critical factors for its implementation include establishment and operation of a consent-based siting process, reform of the funding mechanism, establishment of a new waste management and disposal institutes, and the new legal authorization by the U.S. congress as well. In addition, it is also very important to win the public understanding and support for nuclear waste disposal. This could provide some reference for the ongoing siting activities related in China.

Key words: The United States; nuclear waste; strategy for disposal of nuclear waste