

美国核电现状及发展趋势

卫之奇

(中国科学技术部, 北京 100862)

摘要: 美国是全球最大核电国。其核电机组数量、总装机容量、核电生产总量均为世界第一。通过介绍美国核电工业的现状, 研究了美国政府核能研究开发活动对未来核技术走向的影响, 分析了美国政府推行的有关利好政策、激励措施和改善监管等对核电发展和核安全的促进, 研究结果表明: 当前核能对电发展面临着若干挑战和较突出的问题以及政策摇摆所造成的困惑, 未来10年, 美国核电工业可能不会有预期中的大规模发展。

关键词: 美国; 核电; 核电政策; 燃料循环; 核电监管

中图分类号: TM613(712); F471.262 **文献标识码:** A DOI: 10.3772/j.issn.1009-8623.2012.09.006

美国是世界核电发展先驱, 也是核电大国。1957年美国建成世界第一座核电厂——希平港核电厂投入运行。随后经历了核电大规模建造时期, 以及其后漫长的停滞时期。

进入21世纪, 面对电力需求增长、保障能源安全和应对气候变化的战略需要以及核技术进步的影响, 美国发展核电的兴趣和势头增加, 核电重新成为美国能源结构的一个重要选项。美国国会和政府先后推出核电相关利好法案和政策计划。美国政府和产业界亦密切合作, 改善制度环境, 提高核监管及核安全水平。

奥巴马总统在2012年国情咨文中表示, 美国需要开发一切可获得的美国能源^[1]。在世界核电复苏氛围的烘托下, 美国核电建设经过长时间准备, 呈现出加速发展的态势。

一、美国核电现状

1. 美国是全球最大的核电国

美国核电机组数量、总装机容量及核电生产总量均为世界第一, 可谓是全球最大的核电国。美国现有104座运行核电反应堆, 约占世界全部在运核电反应堆数量的24%^[2], 分布在31个州的65座核

电厂, 由26家运行公司管理。这些核反应堆分为压水堆和沸水堆两种堆型。其中, 压水堆69座, 沸水堆35座^[3]。总装机容量约为101吉瓦(电), 占全球核电总装机容量(370吉瓦)的27%。2011年, 美国核发电量为7902亿千瓦·时, 占全美发电总量(41057亿千瓦·时)的19.25%^[4], 占全球核发电量的30%。

美国核电行业通过更新项目、改进反应堆燃料、维护和保养安全系统等措施, 大幅改善了核电安全和运行表现, 提高了运行效率, 使核电厂的平均负荷因子达到91.1%, 居世界领先地位。另外, 受规模经济和电力价格放松管制等驱动, 美国核电行业也经历了重大整合, 进行了一系列购并, 改变了核电厂的所有权和管理状态, 使核电厂业主和运营商的数量减少, 并趋向于集中。

目前, 美国具有核电生产能力的反应堆几乎均为1970—1989年间大规模建造时期所建, 只有4座为1990年以后所建, 最后一座于1996年并网发电。这些反应堆的建造都是在1982年之前获得批准, 以后再没有批准新建核电厂。这主要是因为天然气生产被认为更具有经济吸引力。另外, 也由于建造计划经常遭到反对而延误致使成本上涨,

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: 2012年6月19日

加上 1979 年三里岛核事故和 1986 年切尔诺贝利核事故后，人们更担心核安全等问题。因此，许多核电订单和项目被取消或暂停。可以说，美国核电经历了 30 年的不景气。

2. 延长核反应堆寿期

核电反应堆的许可寿期通常为 40 年，因而，20 世纪 70 年代的核电厂在 2020 年之前将到寿期。为充分挖掘盈利潜力并继续发挥作用，许多核电厂都申请将反应堆的寿期延长 20 年。为保障核安全，申请延寿的反应堆要根据需要进行主要的整修，如更换蒸汽发生器，更新仪表控制系统等。作为历史性举措，2000 年 3 月，美国核管理委员会（Nuclear Regulatory Commission, NRC）（简称“核管会”）首次批准卡尔弗特悬崖（Calvert Cliffs）核电厂 2 座反应堆的运行时间延长 20 年。至 2011 年 3 月，核管会共批准 71 座反应堆延寿，占美国全部核电反应堆的 2/3。目前，正在审查另外 13 座反应堆的延寿申请，预计到 2013 年还会有核电厂提出类似申请^[5]。

3. 采取各种措施，确保核电厂安全

核安全一直是影响核电发展的重要因素。1979 年 3 月三里岛核事故后，美国核工业界认识到必须改进工作确保类似事故不再发生，因此，联合成立了核电运行所（Institute of Nuclear Power Operations, INPO）。该所负责制定运行表现标准，每个成员核电厂通常每 18 至 24 个月要对照检查一次。

2011 年 3 月日本福岛核事故后，美国电力行业再次组织起来，核电运行所、电力研究所（Electric Power Research Institute, EPRI）和核能所（Nuclear Energy Institute, NEI）联合成立了福岛响应指导委员会，监督协调美国核工业的相关应对活动，开展核安全自我评估，确保美国核工业全行业都能认识和理解福岛事故的经验教训，以及协调和实施相关应对计划。美国核管理委员会也马上采取应对行动^[6]，三管齐下，力求吸取福岛经验教训，改善监管管理。一方面，指示其视察员根据灾害缓解指导纲要，如全场失电、地震和洪水、重大事故管理等，立即对每座核电厂的应急准备工作展开独立评估；另一方面，要求核电厂检查和报告极端事件的应对方案和灾害缓解战略，并确保战略的有效性；同时，成立工作组评估核管会自身的规章

程序，以决定是否需要立刻采取措施加以改进。

经过检查评估，视察员认为，美国核电厂达到安全要求，但在应急准备方面还有所不足；核电厂自检也确信自身是安全的；工作组认为，近期没有风险，核管会可继续工作，继续从事许可活动。针对检查评估结果，美国核管理委员会出台了新的核电厂监督和评估方法，共收集 19 项关键领域的安全表现信息，并每季度向公众公布，以增加透明度和公众参与度。

二、美国核电政策

由于其特殊性，核工业成为美国政府介入最多的行业。美国政府通过制定国家能源目标、监管安全与环境以及资助研究开发等多种途径，在核电发展建设、反应堆研究开发、燃料循环和防止核扩散等方面扮演重要角色。从 20 世纪 90 年代末开始，美国政府出台的政策开始转向鼓励发展核电，在国家实验室开展大量研究工作，同时，资助大学及工业界的研究项目，成为先进反应堆和燃料循环研究主要的资金来源。

美国主要有 3 个机构掌握着核电的发展，分别是能源部、核管理委员会和国会。能源部负责确定美国能源战略，制定核能发展计划，开展相关研究工作并负责核废料的最终处理；核管会负责监管反应堆、燃料循环设施、燃料、废料以及其他民用核材料等；国会提出制定的相关法案则左右核电发展的方向。

1. 核电发展

美国能源部确立的发展战略是：通过科技进步和创新，改善反应堆技术和可持续燃料循环技术，延长核电厂寿期，提供安全、可靠和可负担的电力，减少运输和工业碳排放印迹；继续减少对外国石油的依赖，建立伙伴关系，合作开展研究开发，降低核扩散的风险，重塑美国核产业的技术领导地位，促进美国的全球竞争力。

美国核电发展，近期目标是：提升反应堆功率，提高燃耗度；2020 年中期目标是：延长反应堆寿期，开发三代加反应堆、下一代核反应堆和小型模块反应堆；2040 年长期目标是：开发第四代反应堆，实现核废物的地质处置以及实现闭合燃料循环等。

美国能源部在核能计划方面的费用主要包

括研究发展和基础设施等,其 2009 年财年支出为 13.5 亿美元,2010 年财年当年预算为 8.7 亿美元,2012 年财年预算申请为 7.7 亿美元。

2. 核电监管

核管会是独立美国政府机构,负责全面监管美国核工业,保障公众健康,保护环境,防止世界范围核材料扩散。核管会的主要职能之一是为核电厂颁发许可证,如反应堆设计证书、场址许可、建造许可及运行许可等。为配合和鼓励核电发展,核管会在 1989 年调整了相关许可规定。此前,公用事业公司需要先申请核电厂的建造许可证,建造完成后再申请运行许可证。由于颁发许可证前的评审工作耗时费力,因此,不时有反应堆不能按计划投入运行的情况,提高了反应堆建造成本,增加了资金风险,挫伤了发展核电的积极性。调整后,将原来的建造许可证和运行许可证合并为建造和运行联合许可证,实现建造和运行两个环节的无缝衔接,加快了审批程序,公用事业公司只需要申请一次即可,减少了中间可能产生的延误。

核电厂场址方面的许可也有调整。现在,只要核电厂有关场地安全、环境和应急等方案符合要求,就可颁发早期场址许可,不必等待具体的反应堆设计评估结果。另外,核管会还改进了反应堆延寿申请的审批工作,将注意力主要集中在审查安全相关问题方面。

2012 年财年核管会预算为 10.38 亿美元,其中约 90% 来自获得许可证的机构和申请许可证的机构缴纳的费用。按年度计,每座运行核电反应堆、铀浓缩厂和燃料转化厂要分别缴纳 467 万、229 万和 124 万美元的费用。其他小规模运行,如研究堆、测试堆和生产堆等也要缴纳相关费用。

3. 核电激励

为鼓励和支持核电发展,《2005 年能源政策法案》(Energy Policy Act of 2005)中有一系列涉及核电工业的激励措施,主要包括:生产税收抵免、后备支持、贷款担保及核事故责任保护法案延期等,大多数措施有利于新建核电反应堆^[7]。

(1) 税收抵免

新建的首批 6 000 兆瓦(电)装机容量在其头 8 年运行中可获得 1.8 美分/(千瓦·时)的税收抵免,每年每 1 000 兆瓦(电)的抵免上限

为 1.25 亿美元。为享受此优惠,公用事业公司要在 2008 年 12 月之前提出反应堆建造和运行联合许可证申请,并在 2014 年 1 月之前开始建造,在 2021 年 1 月之前投入运行。

(2) 后备支持

由于反应堆许可证发放时有延误而导致反应堆建造成本超支,能源政策法案因此授权能源部长提供监管风险方面的后备支持,根据可获得资金的情况,帮助新建的前 6 座反应堆支付由于监管延误而产生的费用。反应堆许可证的申请费用通常约为 1 亿美元。为此,美国能源部设立了 20 亿美元的风险保险资金,帮助反应堆业主支付由于核管会在视察评估、测试、分析和认定标准及程序等方面的延误或由于联邦、州、部落相关司法诉讼造成的延误而产生的费用。前 2 座反应堆,每座最高可获得 5 亿美元的资助;后 4 座,每座最高可获得 2.5 亿美元的资助。但反应堆业主因未遵守法律条例而造成的监管延误不在受助之列。

(3) 贷款担保

美国能源部可向核电建设项目提供贷款担保,支持项目开发商筹集建设资金,鼓励新的或有重大改进的能源技术的商业化应用。能源政策法案规定政府贷款担保额度,最高可达新核电厂建造费用的 80%。核工业界普遍认为,该项措施在帮助新核电项目寻求及获得资金方面至关重要。2009 年财年,美国能源部在核电厂方面的贷款担保总额为 185 亿美元,在铀浓缩厂方面的担保总额为 20 亿美元。2010 年财年的担保额未变。

2008 年 6 月,美国能源部发布了总额 205 亿美元的核电厂和铀浓缩厂贷款担保招标通知。到 2008 年 12 月,共收到 17 家公用事业公司涉及 5 种堆型设计、14 座电厂、21 座反应堆的 19 份贷款担保申请。装机总容量为 28 800 兆瓦(电),申请担保总额为 1 220 亿美元,远远超出 185 亿美元的限额。另有 2 份铀浓缩厂的申请,要求 48 亿美元的贷款担保。

照此情况,如果每座反应堆的成本大约在 60 亿美元,甚至更高,业界估计,能源部大约只够担保 2 座或 3 座大型反应堆所需要的成本费用。由于有较高的兴趣以及最终将由反应堆业主负责偿还贷款的实质,核工业界要求将政府贷款担保总额增加

到 1 000 亿美元。2010 年 2 月, 美国政府在 2011 财年预算申请中, 增加了 360 亿美元, 拟使核电厂担保总额达到 545 亿美元, 但未获美国国会通过。2011 年 2 月, 美国政府在 2012 财年提交的此相关预算申请, 再次被国会否决。

(4) 核事故责任保护

核事故责任是美国政府、公众和核电厂业主等各方共同关心的问题, 也是关系核电发展的重要因素。能源政策法案将有关核赔偿责任保护的普莱斯-安德森法案 (Price-Anderson Act) 延期 20 年, 使其覆盖范围延伸到 2025 年底前新建的反应堆和能源部新的核承包合同。普莱斯-安德森法案规定, 核反应堆发生事故后, 其业主只承担相应的有限责任。因此, 其延期被认为是建造新反应堆的前提。根据该法案, 商业反应堆业主必须承担影响到公众的所有核损害责任, 并在特大辐射泄漏事故后, 必须放弃绝大部分法律辩护权。为应对支付损害赔偿的情况, 每座反应堆必须要有合理的最大程度的责任保险, 通常为 3 亿美元。另外, 功率在 100 兆瓦 (电) 及以上的反应堆最多还要缴纳 1.119 亿美元的追溯保险费。目前, 美国 104 座商业反应堆都在普莱斯-安德森保险系统覆盖范围。

核事故发生后, 普莱斯-安德森保险系统将总共提供大约 125 亿美元的公众赔偿, 包括当事反应堆的保险金 3 亿美元, 全美 104 座反应堆, 每座 1.119 亿美元的追溯保险共计 116 亿美元, 以及追溯保险 5% 的附加费约 6 亿美元。在普莱斯-安德森责任系统下, 核工业对一次核事故的赔偿责任最多如此。超出此责任限额的损害赔偿, 则请国会专案另批。

三、美国地方政府及公众对核电发展的影响

1. 地方政府对美国核电发展的影响

虽然联邦政府在核政策事务上有主要管辖权, 州政府和地方政府在核电使用和新建方面也有相当大的影响。如 1976 年, 加州通过全民公投, 禁止在能够妥善处置乏燃料之前在加州建设新的核电厂, 并就此形成法律。这项措施至今仍有效, 不仅影响到核电行业, 而且影响到加州电力供应和价格, 使加州不得不从其他地方购买电力, 并从 2000 年代早期以来, 经历了多次缺电的痛苦。

州政府还可通过负责监管电力零售价格的州公共服务委员会, 对核电行业施加影响。20 世纪 90 年代末期, 许多州解除对电力价格的监管而引起核工业的整合。大型公用事业公司在放松监管的州购买核电厂以降低成本, 并利用较高的市场价格增加利润。

州政府的作用还在核废物法案中有所体现。该法案赋予各州对在其区域内建设废物处置设施拥有否决权, 除非该否决被国会参众两院投票推翻。这一条款导致尤卡山地质处置库项目经历了一系列法律和政治挑战。另外, 县政府在征收财产税方面的权力, 也使其成为核设施选址中一个重要的因素。

2. 公众舆论向背

对于发展核电, 美国公众舆论总体上比较正面, 并随能源供应安全问题上升。美国民调显示, 大多数公众赞同核电, 其中强烈拥核的人是强烈反核的人的 3 倍, 还有 2/3 自认环境主义者也赞同核能。

2010 年 3 月, 盖洛普 (Gallup) 能源民意调查显示, 62% 的民众赞同使用核电, 33% 反对使用核电, 这是盖洛普从 1994 年开始调查该问题以来最乐观的数据。

2010 年 3 月, Bisconti Research-GfK Roper 民意调查显示, 74% 的民众赞同核能, 10% 强烈反对核能; 2011 年 2 月, 该机构再次调查的结果与以上调查结果类似; 2011 年 9 月, 该机构在福岛核事故后展开调查显示, 支持核电者虽比 2010 年 3 月时减少, 但仍有 62%, 有 35% 表示反对。调查还显示, 85% 的人认为, 只要核电厂符合安全要求, 就应该给核电厂延寿; 82% 相信已经从福岛核事故中汲取了经验教训; 67% 认为, 美国核电厂是安全的; 59% 相信未来应该建造更多的核电厂。另外, 67% 的人支持离其最近的在运核电厂扩建, 28% 表示反对^[8]。

四、政府在民用核能领域的研究活动

除了核工业界的研究开发活动外, 美国政府在民用核能领域也开展了大量研究活动, 主要集中在能源部。能源部既负责民用核能, 也负责军用核能。能源部国家核安保署 (NNSA) 负责监察核能的军事应用, 维护国家武器库以及管理核武器设计、生产和试验等。能源部核能办公室则负责民用

核能,包括:先进反应堆、燃料循环技术和设施、基础结构支撑等。在美国寻求实现能源独立、减少碳排放、满足未来电力需求等目标下,能源部制定实施了多项核能研究计划。

(一) 核能研究发展路线图

2010年4月,美国能源部向国会提交了《核能研究发展路线图》(Nuclear Energy Research and Development Roadmap)^[9],表示在实现干净、可负担及利用国内能源资源等能源目标方面,核能将继续成为关键组成部分。路线图介绍了能源部有关核能研究、发展及示范活动的规划,并确定了4项研究发展目标。

1. 开发技术和其他解决方案,改善可靠性,维护安全性,以延长现有反应堆寿期;
2. 改善新反应堆的可负担性,促使核能帮助实现美国能源安全和应对气候变化的目标;
3. 开发可持续燃料循环;
4. 认识和最大程度地降低核扩散及恐怖主义风险。

美国能源部将在结构材料、核燃料、反应堆系统、仪表和控制系统、功率转换系统、加工热传导系统、冷却塔、分离流程、废物成型、风险评估方法、计算机建模和模拟等领域开展研发活动,并使理论、实验、建模和模拟等相互结合,达到工程规模的示范。

另外,美国能源部还将开展双边和多边合作,如与第四代核能系统国际论坛(GIF)、经合组织核能署和国际原子能机构等合作,在合作研发的同时,致力于促进完善国际规范和管制体系,以减少和应对核扩散风险。

美国能源部有关国家实验室负责从事核能研究工作,其中,爱达荷国家实验室承担了主要部分。爱达荷国家实验室由爱达荷国家工程和环境实验室(INEEL)和西部阿岗国家实验室(ANL-W)联合而成。爱达荷国家工程和环境实验室在反应堆研究方面历史悠久,作为国家核反应堆测试站,多年来一直是世界核反应堆最大的集中地,共设计和测试了52座不同的反应堆,包括第一座生产电力的核反应堆。西部阿岗国家实验室是芝加哥大学的研究测试场,负责为美国宇航局开发宇宙飞船动力系统。爱达荷国家实验室现正开发美国下一代核电厂

以及一些先进燃料循环项目,并牵头美国参加第四代核能系统国际论坛活动。能源部其他核研究设施还包括:田纳西州的橡树岭国家实验室、新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯国家实验室、加州的劳伦斯利弗莫尔国家实验室、纽约州的布鲁克海文国家实验室及伊利诺斯州的阿岗国家实验室等。另外,美国能源部还资助全美70所大学开展相关研究。

(二) 主要民用核能计划

美国能源部组织实施的主要民用核能计划,多集中在第四代核反应堆和先进燃料循环方面。

1. 核能研究计划

核能研究计划(Nuclear Energy Research Initiative)1999年出台,目标是解决和克服核能在美国未来长期应用时潜在的科学与技术等基础性障碍;提高美国核技术并在国内外市场保持竞争力;促进和维护核科学和工程基础结构,迎接当前和未来技术挑战;构建以大学为主体同时与国家实验室和产业界相结合的研发体系。计划初期时资助国家实验室、大学和工业界的相关研究;2004年调整为为主要资助大学研究项目。该计划已于2010年结束。

2. 2010年核电计划

2010年核电计划(Nuclear Power 2010)于2002年出台,旨在鼓励发展费用分摊的官产伙伴关系,刺激建造新的第三代核电厂。该计划主要为核电建设项目业主在申请相关许可证方面所需费用提供匹配资金,如申请反应堆设计证书、早期场址许可、建造和运行联合许可证,以及额外的相关视察、测试、分析、认可标准等。该计划的总经费约5.5亿美元,从2004年开始实施。奥巴马政府2010年财年预算申请大幅削减了该计划资金,只申请2000万美元,并准备结束该计划。而该计划2009财年预算为1.775亿美元,后经国会调整,将该预算增加到1.05亿美元,但亦表示是该计划的最后一笔款项。

3. 第四代核能系统计划

第四代核能系统计划(Generation IV Nuclear Energy Systems Initiative, Gen IV)的目标是开发未来20年能投入使用的新反应堆系统,通过嬗变和循环燃料实现高燃耗,更有效地利用美国铀资源,使放射性废物量最小化,提高安全性和实物保护能力,防止可能的恐怖行为或核材料转移以及增强公

众对核技术的信心。2002 年,确定了 6 种备选堆型,后集中到超高温堆和钠冷快堆 2 种。研究领域包括设计和评估方法、先进反应堆材料和能量转换等。该计划 2009 财年预算拨款为 1.8 亿美元,2010 财年增加到 2.2 亿美元。2010 年 2 月,美国能源部表示,第四代核能系统、下一代核电厂和小型模块反应堆等研发工作将在新的反应堆概念研究、开发和示范计划(Reactor Concepts Research, Development and Demonstration Program)下继续进行。

4. 下一代核电厂计划

下一代核电厂计划(Next Generation Nuclear Plant)以超高温堆为重点,目标是到 2021 年,开发、建造和运行超高温气冷原型堆以及相关的产电或制氢设施。研究内容包括:探索反应堆物理性能;开发验证堆芯、热工水力和机械等设计分析工具;测试相关材料;评估功率转换;分析安全和风险因素;开展项目设计、系统设计与分析方法;进行燃料开发及条件分析等。计划分两个阶段。

(1) 第一阶段主要为规划,包括确定详细设计综合方案;制定许可证申请、反应堆建造和运行等商业计划。

(2) 第二阶段进行详细设计,并申请获得建造和运行联合许可证,最终建造和运行该示范电厂。建造工作从 2017 年开始,至 2021 年完成并投入运行。能源部预计将在 2014 年提出反应堆建造和运行联合许可证申请。

下一代核电厂计划由美国爱达荷国家实验室牵头负责,并在 2010 年成立了包括主要反应堆供应商和潜在最终用户在内的下一代核电厂计划产业联盟。计划总费用约为 40 亿美元。

通用原子、阿海珐和西屋等 3 家公司已签署 800 万美元合同开展下一代核电厂预概念设计。目前已有一些堆型设计比较符合下一代核电厂的要求。如通用原子的汽轮机模块氦冷堆(GT-MHR),阿海珐集团的高温气冷堆(Antares),西屋公司和南非球床反应堆公司的球床模块高温气冷堆(PBMR),以及中国的球床模块高温气冷堆(HTR-PM)等。

5. 核氢计划

核氢计划(Nuclear Hydrogen Initiative)目标是到 2017 年通过利用高温气冷堆产生的热量,进行

商业规模制氢示范。目前,科研人员正在重点研究 3 种制氢技术,即热化学水解、高温电解和高温气冷堆制氢工艺支持系统。通过该计划,得州大学和桑迪亚国家实验室在通用原子公司模块氦冷堆基础上建造一座高温测试堆,预计 2012 年完成测试堆能源研究设施,主要用于热化学制氢。核氢计划现已并入下一代核电厂计划。

6. 小型模块反应堆计划

小型模块反应堆计划(Small Modular Reactors)的目标是开发装机容量在 300 兆瓦(电)以下的模块化小型反应堆。几个模块化反应堆组合起来就可形成较大的发电能力,并可共用一个控制室。一般意义上,小型反应堆具有成本低、适用于小电网、非电力应用广范、比较适合无电网的偏远地区和易于实现模块化等特点。目前常规大型核电厂的成本不断上升,每座反应堆大约需要 60 亿美元或更多,因此小型模块反应堆概念吸引了更多的兴趣,并对核电技术越来越偏向大型堆以利用规模效应分摊建造成本的趋势形成冲击。

小型模块反应堆设计使用下一代核电厂计划中的高温气冷技术和目前商业反应堆所用的轻水堆技术,虽然其电力产出较低,但可先在工厂组装,再运往发电厂现场。而且由于规模较小,安全系统也会相应较为简单。另外,模块反应堆每千瓦时的造价与常规大型反应堆相比差不多,也许稍高一些。但对公用事业公司来说,模块堆可以逐个建造,大大降低了一次性资金的投入量和风险。

美国政府 2012 财年预算为小型模块反应堆计划申请了 6 700 万美元,主要用在与工业界分摊费用为 2 座小型模块轻水堆申请设计证书以及建造和运行联合许可证,并加快其商业应用等方面。核管会也为小型模块堆许可证的预申请工作提出了 1 100 万美元的预算。

7. 燃料循环研发计划

燃料循环研发计划(Fuel Cycle Research and Development)的前身为先进燃料循环计划(Advanced Fuel Cycle Initiative)。自 1977 年美国出于防扩散考虑,决定无限期推迟商业核反应堆乏燃料后处理后,美国所有核电厂均采用一次通过燃料循环,乏燃料经过中间存储冷却后,等待送到地质处置库进行最终存储。在一次通过燃料循环模式

中, 大约只有 5% 的燃料能源得到利用。燃料循环研发计划的目标是对商业乏燃料进行回收后处理, 使其成为再生燃料, 由此形成闭合燃料循环, 更多地利用燃料能源价值。

燃料循环研发计划的重点是, 通过尤勒克斯流程 (UREX), 开发相关分离和嬗变技术, 将乏燃料中的铀、钚、裂变产物和次锕系核素等分离开来, 同时, 避免钚单独分离, 然后, 将回收的铀钚转化成可重新使用的燃料。另外, 通过嬗变技术将裂变产物和次锕系核素转变成危害性较小的物质以利处置。该计划经费 2010 财年为 1.36 亿美元。

8. 全球核能伙伴计划及演变

全球核能伙伴计划 (Global Nuclear Energy Partnership) 2006 年 2 月由美国倡导, 2007 年 5 月, 由美、中、法、日、俄 5 国共同推出, 目前, 吸引了众多国家参与。

核能伙伴计划重点关注乏燃料后处理和燃料循环后段标准研究, 建议相关国家开发利用能防核扩散的燃料循环技术, 回收利用燃料能源价值, 实现高放射性废物量最小化, 并提供核燃料给那些承诺不从事铀浓缩和后处理活动的发展中国家。

2010 年 6 月, 对全球核能伙伴计划进行了调整, 更名为国际核能合作框架 (International Framework for Nuclear Energy Cooperation), 提出全程燃料管理概念, 即供应商将提供包括燃料供应、乏燃料管理和最终处置在内的全面可靠的商业化服务。

9. 百万吨换百万瓦计划

百万吨换百万瓦计划 (Megatons to Megawatts) 的基础是美国和俄罗斯签订的有关核武器条约。自 1987 年, 美国和前苏联部分加盟共和国签署条约, 削减核武库的 80%。1993 年, 美俄达成协议, 决定将从俄罗斯核弹头上拆下的 500 吨高浓铀稀释为低浓铀, 并作为燃料供应给美国的商业核反应堆, 总费用约 80 亿美元。到 2011 年 12 月, 美国已从俄罗斯接收由 433 吨高浓铀稀释而成的 12 494 吨低浓铀, 累计费用 65 亿美元。

百万吨换百万瓦计划向美国商业反应堆提供了近 50% 的燃料, 并将于 2013 年结束。另外, 作为该计划的一部分, 美国能源部亦宣布有 174 吨剩余的军用高浓铀和 61.5 吨剩余的武器级钚, 可在美国内稀释作为核电厂燃料。

五、美国第三代核反应堆和核燃料循环

(一) 几种第三代反应堆

目前, 美国运行的核电反应堆基本属于第二代, 主要是通用原子、通用电气和西屋等公司的产品。这些公司支撑并推动了美国上世纪核电的大发展。在美国停止核电建设的这 30 年间, 相关研究开发设计工作并没有停止, 根据使用一代、开发一代、设计一代的精神, 先后推出了一批第三代或第三代加反应堆设计, 有些还获得了核管会颁发的设计证书。

1. 已获设计证书的堆型

已获美国核管理委员会设计证书的堆型包括: 通用电气日立公司 1 300 兆瓦 (电) 的先进沸水堆 (ABWR) 和西屋公司的 AP 1000 型反应堆。沸水堆 ABWR 已在日本投入商业运行, 日本又在新建且我国台湾省也在新建这种反应堆, 东芝公司作为该堆型建造商正在美国大力开展市场营销; AP 1000 型反应堆是第一座取得设计证书的三代加反应堆, 目前, 正在中国建造其世界第一座。

2. 正申请设计证书的堆型

正向美国核管会申请设计证书的堆型包括: 通用电气日立公司 1 550 兆瓦 (电) 的经济简化型沸水堆 (ESBWR)、美国渐进型压水堆 (US EPR) 和三菱公司 1 700 兆瓦 (电) 的美国先进压水堆 (US-APWR)。沸水堆 ESBWR 以先进沸水堆为基础, 具有被动安全特点; 压水堆 US EPR 是阿海珉集团欧洲压水堆 (EPR) 的美国版, 由联合星核能公司 (UniStar Nuclear Energy) 负责, 欧洲压水堆属第三代反应堆, 现正在芬兰、法国和中国建造; 压水堆 US-APWR 是三菱公司先进压水堆 (APWR) 的美国版。

3. 拟申请设计证书的堆型

计划向美国核管会申请设计证书的堆型包括: 韩国先进压水堆 (APR-1400)、西屋公司 200 兆瓦 (电) 的一体化压水堆 (Integral PWR) 和巴威公司 (Babcock & Wilcox) 125 兆瓦 (电) 的小型模块动力堆 (mPower)。对压水堆 APR-1400, 准备在 2012 年提出申请, 该堆型已出口到阿联酋; 对压水堆 Integral PWR, 也准备在 2012 年底提出申请; 对模块动力堆 mPower, 预计在 2013 年晚些时

候提出申请,田纳西流域管理委员会(TVA)正考虑在克林奇河(Clinch River)场址,建造2座这种反应堆。

(二) 核燃料循环

核燃料循环是核工业的重要组成部分,也是问题较突出的部分,主要涉及燃料的获取、使用、处理及回收利用等过程。燃料循环通常分为前端和后端两部分。前端包括铀矿采冶、转化、浓缩、燃料制造等;后端包括对乏燃料进行铀钚分离后处理,以及对放射性废物进行处理、存储和处置等。其中,乏燃料管理是美国政府非常关心的问题。目前,美国商业反应堆所用铀绝大部分来自进口,其中约一半来自百万吨换百万瓦计划中的俄罗斯铀,其余来自加拿大和澳大利亚等国家,而美国内铀所占比例较小。

1. 铀资源及采冶

根据经合组织核能署(OECD/NEA)和国际原子能机构(IAEA)2010年7月联合发布的《2009年世界铀资源、生产和需求》红皮书,美国已探明可采铀资源储量回收成本在130美元/公斤铀以下的计有20.74万吨铀,居世界第9;回收成本在260美元/公斤铀以下的计有47.21万吨铀,居世界第5^[10]。20世纪50年代,美国铀矿开采规模较大,1980年达到高峰,有250多座生产矿,年产16800吨铀,以后逐年下降。2010年底,有8座生产矿,年产1660吨铀,居世界第8。

目前,美国内铀产量只能满足其反应堆燃料需求的5%。除铀矿生产外,美国还有军用剩余和政府库存的铀资源可用于民用核电生产。2008年3月,总计约折合有5.9万吨天然铀。美国能源部计划到2017年财年底,向全球市场提供总计2.27万吨天然铀。

2. 转化

目前,美国只有一座转化厂,位于伊利诺斯州南部的霍尼韦尔(Honeywell)。霍尼韦尔都会工厂(Honeywell Metropolis Works)负责将铀精矿八氧化三铀(U₃O₈)转化成六氟化铀(UF₆),以便下一步进行浓缩。其年处理能力为17600吨铀的六氟化铀,计划到2020年增加到23000吨铀。

铀浓缩的主要副产品是以六氟化铀形式存在的贫铀。目前,美国已累积有70多万吨贫化六

氟化铀。为提高存储、使用和处置的安全性,需要对贫化六氟化铀进行脱氟处理,即对贫化六氟化铀进行再转化。2002年,能源部投资5.58亿美元,由铀处置服务公司(Uranium Disposition Services)在俄亥俄州朴茨茅斯(Portsmouth)和肯塔基州帕迪尤卡(Paducah)各建一座再转化厂,年处理能力1.35万吨的朴茨茅斯厂和1.8万吨的帕迪尤卡厂于2010年9月和12月先后投入运行。朴茨茅斯和帕迪尤卡分别存有25万吨和44万吨贫化六氟化铀,橡树岭还有7.5万吨将运到朴茨茅斯。2010年12月,巴威转化服务公司(Babcock & Wilcox Conversion Services)获得能源部4.28亿美元为期5年的合同,在朴茨茅斯厂和帕迪尤卡厂进行再转化。2009年12月,国际同位素公司(International Isotopes)提出许可申请,在新墨西哥州霍布斯(Hobbes)附近建造和运行年处理能力为6500吨的贫化六氟化铀转化和氟萃取设施,并希望2013年投入运行。

3. 浓缩

目前,美国有两家铀浓缩厂,即美国铀浓缩公司(USEC)在肯塔基州帕迪尤卡的设施和欧洲铀浓缩公司(Urenco)在新墨西哥州尤尼斯(Eunice)的欧洲铀浓缩公司美国设施(Urenco USA)。帕迪尤卡设施是座大型气体扩散浓缩厂,由美国政府在20世纪50年代建成,主要是为军用反应堆提供燃料;从20世纪60年代开始为民用反应堆提供浓缩铀,处理能力为800万分离功单位(SWU)/年。尤尼斯美国设施采用Urenco第6代离心分离技术,2010年6月开始商业运行,2011年底处理能力达到40万分离功单位/年,预计2017年设计能力可达570万分离功单位/年,总投资约40亿美元。目前,全美国104座核电反应堆,每年需要1270万分离功单位。这两处设施基本能满足需要,确保燃料供应安全。

美国还在建造2座离心分离浓缩厂,但进展曲折。美国铀浓缩公司在俄亥俄州派克顿(Piketon)建的美离心分离厂(American Centrifuge Plant),使用比欧洲Urenco离心机大很多的AC100型离心机,是美国铀浓缩公司在能源部工作基础上开发的成果,设计处理能力350万分离功单位/年。

2007年9月,原型初步级联开始运行,原计划

2011 年投入使用,但其间几经波折,特别是 2009 年 7 月,能源部拒绝为其提供 20 亿美元贷款担保后,项目进展迟缓。目前,正寻求其他资金方案。另外,阿海珐集团在爱达荷国家实验室附近爱达荷福尔斯(Idaho Falls)建的鹰石浓缩设施(Eagle Rock Enrichment Facility),设计处理能力 660 万分离功单位/年。2010 年 5 月,美国能源部向其提供 20 亿美元贷款担保。计划建造工程 2012 年开始,2014 年初投入使用,初期先达到 330 万分离功单位/年,2018 年达到设计能力。但 2011 年 12 月,阿海珐集团宣布该项目暂时搁置 2 年。

美国还有一座规划中的激光浓缩厂。2006 年澳大利亚西勒克斯系统公司(Silex Systems)和美国通用电气公司获准在美国合作开发西勒克斯激光铀浓缩技术。2010 年 4 月,全球激光浓缩公司(Global Laser Enrichment)宣布成功完成测试第一阶段工作,并将继续进行技术和商业规模经济可行性验证。如顺利,再决定建造全尺寸的商业浓缩设施。2009 年年中,通用电气日立公司向美国核管会提出许可申请,在北卡罗来纳州威尔明顿(Wilmington)建造全球激光浓缩厂,计划处理能力在 350 万~600 万分离功单位/年。核管会处理该申请大约需要 30 个月。

4. 燃料制造

阿海珐、西屋、巴威、通用电气等公司在弗吉尼亚、华盛顿、北卡罗来纳、南卡罗来纳等州有燃料制造厂,将浓缩的氧化铀制成反应堆所用的燃料元件。美国有 174 吨剩余的军用高浓铀和 61.5 吨剩余的武器级钚也都计划用于核电燃料制造。田纳西州核燃料服务公司已开始稀释这些军用高浓铀。用其制造的第一批燃料已经运往田纳西流域管理局的核电厂。

另外,根据 2000 年美国 and 俄罗斯钚管理和处置协定,美国将在 2014 年之前处置 34 吨钚,将其与贫铀混合,制成混合氧化物燃料。为此,Shaw Areva 混合氧化物燃料服务公司(Shaw Areva MOX Services)从 2007 年开始在南卡罗来纳州的能源部萨瓦纳河场区建造混合氧化物燃料制造设施(MOX Fuel Fabrication Facility),并计划于 2016 年 10 月投入使用。届时,至少处理 34 吨武器级钚,制造 1 700 个混合氧化物燃料组件,然

后,再决定剩余的武器级钚是否以同样方式处理。该计划项目目前总费用约为 49 亿美元。

5. 乏燃料管理

目前,美国 104 座核电反应堆每年共卸下约 2 000 吨乏燃料。这些乏燃料具有高放射性,一直存储在核电厂的乏燃料水池中,等待政府运走进行最终处置。由于 1977 年美国出于防核扩散考虑出台无限期推迟乏燃料后处理的政策以及多年累积,加之政府至今还没有开始运走乏燃料,致使有些核电厂的乏燃料水池空间已经耗尽,需要将乏燃料转到干桶中存储,以便腾出水池空间接受新鲜乏燃料。预计到 2017 年,所有核电厂都需要干式存储。目前,美国已累积了 58 000 多吨乏燃料。几十年来,美国高放射性废物的存储和处置问题始终未能得到解决,这也是核能发展中备受争议的问题之一。

乏燃料管理主要有 2 种方式。一种是一次通过燃料循环,另一种是闭合燃料循环。

(1) 一次通过燃料循环中,乏燃料在水池中经过中间存储冷却后,作为高放射性废物,被送到地质处置库进行最终存储。其过程相对简单,不会产生纯钚,降低了核扩散风险,但废物量大且放射毒性高。

(2) 闭合燃料循环中,乏燃料经过中间存储冷却后,对其中的铀、钚、裂变产物和次锕系核素等进行分离,将回收的铀钚转化成可重新使用的燃料。另外,通过嬗变技术降低裂变产物和次锕系核素的毒性后,再送到地质处置库进行最终存储。其铀资源利用率较高,废物量小且毒性较低,但可产生纯钚,核扩散风险较大。

遵照美国以前的乏燃料管理政策,美国所有核电厂的乏燃料均采用一次通过燃料循环。此前,美国建过 3 座民用乏燃料后处理厂,但因经济问题及运行不成功或政策影响等原因,先后停止运行或从未投入使用。所以,美国至今还没有商业后处理厂运行。

2002 年,美国能源政策有所调整,增加了重新对民用乏燃料进行后处理的可能性。其主要原因是减少高放射性废物的体量,避免扩大尤卡山地质处置库工程。2005 年,能源政策法案更明确指出要回收商业乏燃料中的能源价值。另外,政府和

产业界致力于开发先进核反应堆的工作也使乏燃料后处理获得进一步推动。

虽然美国一直采用一次通过燃料循环,但其乏燃料后处理研究工作一直很活跃。现在世界通用的后处理普勒克斯流程(PUREX)就是美国所开发。在文中前述的燃料循环研发计划中,美国正开发尤勒克斯流程(UREX),在首端将占乏燃料96%的铀与仅占4%的钚、裂变产物和次锕系核素分开。分离得到的不是纯钚,而是钚、裂变产物和次锕系元素的混合物,比较能够满足防扩散要求。能源部还在探索阿海珉集团的COEX后处理技术以及其他一些涉及快堆的后处理技术。COEX技术已在法国、英国、俄罗斯和日本使用。另外,阿海珉集团计划在美国建造综合性循环设施,包括后处理厂和混合氧化物燃料制造厂,每年处理2500吨乏燃料,预算约250亿美元。估计该设施在获得许可证和建造方面,大约需要12~15年时间。

6. 核废物

除了核电厂每年卸下的乏燃料,美国每年还会产生4万米³的低放射性废物,包括反应堆退役时拆除的受污染构件和材料等。但关键是高放射性废物的处置,美国也一直在努力设法解决这个问题。

美国1982年核废物政策法案(1982 Nuclear Waste Policy Act)规定,联邦政府负责永久性处置商业乏燃料和联邦活动产生的放射性废物。1987年该法案经过修订,决定在内华达州尤卡山修建可容纳7万吨高放射性废物的深层地质处置库,并于1998年启用。

尤卡山地质处置库项目由此展开密集工作。但由于经费、法律、内华达州反对等问题,直到2008年6月,能源部才向核管会提交了一份长达8600页关于修建尤卡山地质处置库的许可申请。申请包括地质库建造、运送乏燃料、运行110年及退役等,总费用为960亿美元。

2009年初,美国政府换届后,奥巴马政府对尤卡山项目有不同想法。2010年2月,能源部向核管会提出动议请其停止评审尤卡山项目许可申请,并表示有意撤回申请。但核管会以能源部无权用自身想法取代国会法律决定为理由拒绝了能源部的动议。目前,尤卡山项目的相关工作均已停止。而能源部在该项目上已经支出了105亿美元。

美国能源部提出动议的同时,另组成了有15位成员的美国核未来蓝带委员会(Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future),评估尤卡山地质处置库的替代方案以及先进燃料循环技术,并就美国乏燃料管理提出战略和政策建议。

2011年7月,蓝带委员会提交中期报告,建议开发集中式中间存储,独立于能源部新建一个机构管理美国乏燃料,以信托而非财政的方式获得核废物基金,继续寻找地质处置库场址以及继续就乏燃料后处理展开辩论等。对此,美国能源部正在组建一个内部工作组,评估该报告的建议,并制定相关发展战略,试图摆脱乏燃料安全存储的困境。

在核废物管理资金方面,根据规定,相关公用事业公司须向核废物基金(Nuclear Waste Fund)缴纳费用,用于能源部接管他们的乏燃料。公用事业公司已缴纳170多亿美元。到2010年1月,包括投资回报,基金积累已有310多亿美元。70多亿美元已用于尤卡山项目。面对核电厂乏燃料存储持续累积的状况,有些公用事业公司已提起诉讼,状告联邦政府未能按照1982年核废物政策法案尽到责任,自1998年开始从核电厂运走乏燃料。

在找到替代解决办法之前,美国能源部推出了新的过渡措施。能源部与公用事业公司新的标准合同规定,建造新反应堆必须要解决乏燃料在核电厂现场无限期存储的问题。同时,规定能源部应该在反应堆第一次换料20年内开始从核电厂运走乏燃料。因此,现阶段乏燃料还得继续存放在核电厂。根据乐观估计,即使核电厂关闭后,乏燃料还可以继续安全存放至少60年。

低放射性核废物的问题相对比较容易解决。根据相关法律,美国州政府有权建设商业低放射性废物的处置设施。低放射性核废物有些存储在核电厂,有些被处置。能源解决方案公司(Energy Solutions)在南卡罗来纳、犹他、田纳西等州有处置低放射性废物的设施。美国生态公司(U.S. Ecology)和废物控制专家公司(Waste Control Specialists)分别在华盛顿州和得克萨斯州也有类似处置设施。

六、美国核电未来的发展趋势

2012年2月,佐治亚州沃格特勒(Vogtle)核电厂2座核电反应堆获得建造和运行联合许可证,

美国能源部为此提供了 80 亿美元贷款担保。这是时隔 30 年后,美国核电行业首次获得的建造和运行批准。这也是 1989 年核管会调整许可规定后,颁发的第一份建造和运行联合许可证。美国核工业界对此精神振奋,认为看到核电建设的希望。美国能源部长朱棣文亦表示,这将成为美国核能工业复苏的起点^[10]。

2007—2011 年,核管会共收到 17 份申请,要求新建 26 座核电反应堆,其中就包括沃格特勒核电厂的 2 座反应堆。大部分申请集中在 2008 年,主要是为了享受 2005 年能源政策法案中规定的税收抵免优惠。2010 年和 2011 年没有申请。但目前有涉及 6 座反应堆的 5 份申请暂时搁置。核管会预计,2012—2016 年,还会收到 6 份要求新建 11 座反应堆的申请^[11]。

自 21 世纪初,美国重新显示对核电的兴趣并指出核电有复苏趋势后,到目前,美国并未新建一座核电厂。诚然,核电建设需要较长的准备时间,并受诸多因素的影响,如公众舆论、经济性、安全性、新厂资金、废物管理、防扩散、研究开发、人力资源、基础结构和政策环境等。有些需要核工业界自身努力,有些需要政府支持。

应该说,在核能问题上,政府的支持最关键。正如奥巴马总统在 2012 年国情咨文^[1]中所言:政府能帮助产业界,将新的能源设想付诸实施。如,政府有关应对气候变化的立法和政策,可使核能比天然气具有更强的竞争力,也有利于增加政府相关贷款担保的总额;核管会新的许可规定和条例如顺利运作,对控制反应堆成本至关重要;若政府及时解决好当前和以后更加突出的废物管理问题,可帮助缓解公众对核安全的担忧,等等。如此种种,都能强力推动核电的发展。

可以预计,在美国政府和产业合作努力下,未来 10 年,美国会建一些新的核电厂,但数量可能达不到预期中的复苏或大发展的规模。

美国核工业界未来数年的主要任务是:要有效地管理好第一批新建的核电厂的许可、建造和运行等各个方面,用实际行动表明,虽然美国的核工业经过 30 年的不景气,但是美国目前的核工业已整合资源、聚集力量、练好内功、蓄势待发,可以迎接核电更大规模发展的挑战。■

参考文献:

- [1] Office of the Press Secretary, The White House. Remarks by the President in State of the Union Address[EB/OL]. (2012-01-24). <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/01/24/remarks-president-state-union-address>.
- [2] International Atomic Energy Agency. Operational & Long-Term Shutdown Reactors[EB/OL]. (2012-02-26). <http://www.iaea.org/PRIS/Worldstatistics/Operational/ReactorsBYcountry.aspx>.
- [3] Nuclear Regulatory Commission. Power Reactors[EB/OL]. (2012-03-29). <http://www.nrc.gov/reactors/power.html>.
- [4] International Atomic Energy Agency. Power Reactor Information System[EB/OL]. (2012-02-26). <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>.
- [5] U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2011—2012 Information Digest[R/OL]. (2012-08). <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1350/v23/sr1350v23.pdf>.
- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Actions in Response to the Japan Nuclear Accident[EB/OL]. (2012-02-17). <http://www.nrc.gov/japan/japan-info.html>.
- [7] Government Printing Office. Energy Policy Act of 2005[R/OL]. (2005-08-08). <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-109publ58/pdf/PLAW-109publ58.pdf>.
- [8] World Nuclear Association. US Nuclear Power Policy[EB/OL]. http://www.world-nuclear.org/info/inf41_US_nuclear_power_policy.html.
- [9] U.S. Department of Energy. Nuclear Energy Research and Development Roadmap, Report to Congress[R/OL]. (2010-04). http://www.nuclear.energy.gov/pdfFiles/NuclearEnergy_Roadmap_Final.pdf.
- [10] Department of Energy. Secretary Chu's Remarks at Vogtle Nuclear Power Plant[EB/OL]. (2012-02-15). <http://energy.gov/articles/secretary-chus-remarks-vogtle-nuclear-power-plant-prepared-delivery>.
- [11] Nuclear Regulatory Commission. Expected New Nuclear Power Plant Applications[R/OL]. (2011-10-06). <http://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/new-licensing-files/expected-new-rx-applications.pdf>.

- [12] U.S. Energy Information Administration. Nuclear and Uranium[EB/OL]. (2012-02-10). <http://www.eia.gov/nuclear/>.
- [13] World Nuclear Association. Country Briefings, Nuclear Power in the U.S[EB/OL]. (2012-01-05). <http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html>.
- [14] Nuclear Energy Institute. Responding to Fukushima: U.S. Nuclear Industry Commits to Action[EB/OL]. (2011-10-31). <http://safetyfirst.nei.org/industry-actions/responding-to-fukushima-u-s-nuclear-industry-commits-to-action/>.
- [15] Union of Concerned Scientists. U.S. Nuclear Power after Fukushima[R/OL]. (2011-07). http://www.ucsusa.org/assets/documents/nuclear_power/ucs-rpt-nuclear-safety-recs.pdf.
- [16] World Nuclear News. Coordinated US Industry Response to Fukushima[EB/OL]. (2011-06-10). http://www.world-nuclear-news.org/RS-Coordinated_US_industry_response_to_Fukushima-1006115.html.
- [17] Schneider M, Froggatt A, Thomas S. The World Nuclear Industry Status Report 2010–2011: Nuclear Power in a Post-Fukushima World[R/OL]. Washington, D.C: Worldwatch Institute, 2011-04. http://www.worldwatch.org/system/files/df/WorldNuclearIndustryStatusReport2011_%20FINAL.pdf.
- [18] The Centre for International Governance Innovation. The US Nuclear Industry: Current Status and Prospects under the Obama Administration[R/OL]. (2009-11). http://carnegieendowment.org/files/Nuclear_Energy_7_0.pdf.
- [19] U.S. Department of Energy, Nuclear Energy Advisory Committee. Nuclear Energy: Policies and Technology for the 21st Century[R/OL]. (2008-11). http://www.nuclear.energy.gov/neac/neacPDFs/NEAC_Final_Report_Web%20Version.pdf.

America's nuclear power industry today

WEI Zhiqi

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

Abstract: The US is a country which possesses the largest scale nuclear power station in the world in terms of the installed capacity, generator sets, and power output of nuclear power plant. This paper outlines the current status of the America's nuclear power industry, investigates the influence on nuclear technology trend by nuclear energy research and development activities undertaken by American government, analyses how the government's favourable policies, incentive approaches and improved regulations push forward the nuclear power growth and increase its safety level. The paper indicates some challenges and highlighted problems faced by the industry and the dilemma caused by swinging policy as well, and points out it's almost unlikely that there will be a large scale development of the nuclear power industry in the U.S. as expected in the next decade.

Key words: United States; nuclear power; nuclear power policy; fuel cycle; nuclear power supervision