

国际能源战略 与新能源技术进展

张 军 李小春等 编著

PROGRESS IN INTERNATIONAL ENERGY
STRATEGY AND INNOVATIVE TECHNOLOGY



科学出版社
www.sciencep.com

国际能源战略与新能源 技术进展

张 军 李小春 等 编著

科 学 出 版 社

北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

国际能源战略与新能源技术进展/张军等编著. —北京: 科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-020501-8

I. 国… II. 张… III. ①能源经济—经济发展战略—研究—世界
②能源—新技术—进展—世界 IV. F416.2 TK01-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 173612 号

责任编辑: 付 艳 程 欣 / 责任校对: 陈丽珠

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2008 年 1 月第一次印刷 印张: 14

印数: 1—4 000 字数: 201 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《国际能源战略与新能源技术进展》

编 委 会

顾 问 肖云汉 季路成 曹红梅 唐 清
王玉兰

主 审 肖 炘 赵黛青 杨江科

撰 稿 张 军 李小春 刘 清 李桂菊
马廷灿 冯瑞华 姜 山 黄 可
汤宏波 梁慧刚 陈 伟 孙晓梅
魏 宁 白 冰 方志明 崔银祥
汪海滨 王 燕

组织单位：中国科学院高技术研究与发展局能源处

编写单位：中国科学院武汉文献情报中心情报研究部

中国科学院武汉岩土力学研究所能源与废弃物地下储存研究中心

目 录

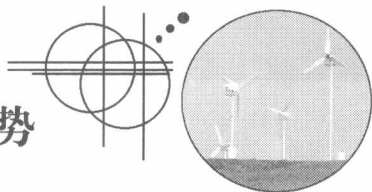
第1章 国际能源战略与研发态势	1
1 概述	1
2 研发投入	9
3 欧盟：共同政策	12
4 美国：能源独立	17
5 日本：能源新战略	23
第2章 国际能源科技重要战略计划	32
1 欧盟第七框架计划	32
2 美国“先进能源计划”	40
第3章 新能源技术发展重点与挑战	49
1 概述	49
2 生物燃料	49
3 氢能与燃料电池	56
4 核聚变能	76
第4章 国际新能源技术优先研究方向	83
1 氢能与燃料电池	83
2 生物能	88
3 太阳能	90
4 风能	96

»»» i

5 海洋能	98
6 地热能	100
7 电网	103
第 5 章 温室气体减排技术前沿: CO₂ 捕获与封存	107
1 概述	107
2 国际研究进展	113
3 CCS 技术的发展前景与挑战	121
4 主要国家优先研究方向	124
5 我国 CCS 技术发展现状	126
第 6 章 能源科技重要研究机构: 美国能源部下属国家实验室	129
1 概述	129
2 重点实验室分析	135
第 7 章 能源科技文献计量分析	153
1 数据、工具和分析方法说明	153
2 计量分析	157
3 结论	173
参考文献	176
附表 1 部分国家化石燃料发电技术研究与现状对比	185
附表 2 世界主要国家和地区核能 R&D 规划	190
附表 3 可再生能源发电技术发展现状	201
附表 4 道路交通替代燃料技术发展现状	214

第①章

国际能源战略与研发态势



1 概述

进入 21 世纪以来,能源问题再次引起世界的广泛关注。一方面,化石燃料消费需求的大幅攀升,促使人们更多地考虑资源问题对未来可持续发展的影响;另一方面,国际社会愈来愈重视人类活动对全球变化的影响,1997 年《京都议定书》的签署标志着各国开始采取共同措施致力于解决温室气体排放。近几年来,根据本国利益的需要,一些主要发达国家开始调整其能源战略,其主要指向首先是保障本国能源供应安全,并将解决温室气体排放与全球气候变化,建立清洁、安全和可持续能源结构作为 21 世纪能源战略的重点。

1.1 战略目标

综观世界主要国家能源战略的变化,可以归纳为两大核心目标:保障能源安全与应对气候变化。

能源安全方面,进入 21 世纪尤其是 2003 年以来,由于受能源市场(如全球性能源需求的剧增和不断高涨的能源价格)、地缘政治(如伊拉克战争)乃至自然界(如卡特琳娜飓风)等一系列因素的影响,世界各国、尤其是那些主要依赖于能源进口的国家,深切认识到其能源供应结构的脆弱性。由此,继 20 世纪 70 年代两次石油危机以后,保障能源供应安全再次成为国际政治

与战略决策的首要议题。世界主要工业化国家和组织都在制定或调整其能源战略,通过政策、法律、科技等措施,减少化石能源需求的增长,并使能源来源多样化,这一趋势在 2005~2006 年间表现得尤为明显。

在 2003、2005 和 2006 年的三次八国集团(G8)首脑会议上,均特别就“发展替代能源并实施清洁、灵活和竞争性未来能源战略”达成了共识。2003 年 Evian 峰会通过了《科学技术与可持续发展行动计划》,提出了三个重点关注领域,其中之一是加快能源技术的研究、发展与传播,并提出了 10 项措施,包括:通过标准、政府采购、经济激励、标识等措施推行先进能效技术;加快清洁能源技术的创新与市场引入;通过刺激基础性研究、成果共享与协作、降低成本等方式扩大可再生能源在全球能源利用中的份额;加快燃料电池和氢能技术的发展;通过联合研发和国际合作扩大清洁、高效的化石燃料技术和碳封存系统的应用;鼓励“全球环境基金”(Global Environmental Facility, GEF)将能源效率、可再生能源、清洁化石燃料技术以及可持续能源利用纳入计划范围;制定下一代车辆、清洁柴油和生物柴油的相关规范和标准;发展清洁和高效的交通工具;提高电子和电气设备的能效;继续利用核能,并发展更先进、安全、可靠、可防止转移和扩散的核能技术。

2005 年,Gleneagles 峰会通过了《气候变化、清洁能源与可持续发展行动计划》,提出就以下 5 个关键领域采取行动:转换建筑、器具、交通、航空、工业的能源利用方式;发展更洁净的化石能源、可再生能源和电力系统;推进能源技术国际合作研究与发展网络;改善清洁能源投资环境;应对气候变化的影响;关注非法砍伐。针对每个领域又提出了多达 37 条措施。

2006 年,圣彼得堡峰会通过了《全球能源安全行动计划》,提出了以下 5 点措施:增加能源市场的透明度、稳定性和可预见性;改善能源领域投资气候;加强能源效率与节能;发展可替代、低碳能源、核能、可再生能源与创新能源技术,使能源结构多样化;保障关键能源基础设施;减少能源贫困;解决气候变化与可持续发展问题。

在这段时期,各主要国家先后出台了一些重大的战略性政策举措,例如:美国的“国家能源政策”及“先进能源计划”、欧盟的“能源政策绿皮书”、

日本的“新国家能源战略”、英国的“能源白皮书”、法国的“能源政策法”以及德国“能源峰会”等。

气候变化方面,由于人类活动尤其是化石燃料使用造成的温室气体排放的增加,已导致全球气候与环境发生了重大变化,其变化幅度已经超出了地球本身自然变动的范围,对人类的生存、社会经济的可持续发展构成了严重威胁,降低 CO₂ 为主的温室气体排放量以缓解气候变化已成为国际社会的共识。1997 年《京都议定书》签署并于 2005 年生效以来,以欧盟和日本为主的一些主要发达国家从自身的需要出发,根据议定书规定的机制,采取相应的措施以实现承担的减排义务。

2007 年 3 月,欧盟各成员国领导人一致同意,单方面承诺到 2020 年将欧盟温室气体排放量在 1990 年基础上至少减少 20%。英国在 2003 年“能源白皮书”中倡导构建“低碳经济”,提出到 2050 年减少 60% 的温室气体排放。法国 2005 年“能源政策法”则提出到 2050 年将 CO₂ 排放量削减 75%。

2001 年美国以维护自己经济利益需要为由退出了《京都议定书》,在气候变化问题上另起炉灶。当年 6 月美国总统布什发布了“气候变化研究计划”(CCRI),同时宣布了“国家气候变化技术计划”(NCCTI),旨在协调联邦政府各机构与气候变化相关的研究活动。2002 年美国建立了由商务部负责的“气候变化科学项目”(CCSP),以及由能源部牵头“气候变化技术项目”(CCTP),分别开展气候变化基础科学问题和应用技术研究,形成了总统办公室领导下指导气候变化研究活动的管理体系,并拟定了相应的战略计划。2004~2006 年美国全球变化研究投入为 55.46 亿美元,年均投入 1.848 亿美元。

1.2 优先领域

为了达成确保能源安全并减轻气候变化的目标,各国的做法主要是通过调整能源科技研究布局、加大研发投入,同时综合运用法律、财政、税收等政策工具。从总的发展趋势来看,能源效率、生物燃料与核能成为各国优先关注的领域。

(1) 能源效率地位凸显

国际能源机构认为,就保障能源安全与缓解气候变化而言,能源效率与可再生能源有着类似的发展优势,而提高能源效率更具有成本效益,且潜力巨大,即使不存在高油价问题,也值得各国在长期能源政策中始终为其保持更为活跃的地位。目前,能源效率在有效减少能源需求及缓解气候变化问题方面受到工业化国家和新兴发展中国家的重点关注,在能源战略中所处的优先地位日益突出。这些国家做法的共同特征是:将能源效率作为国家能源政策的基本工具;在法律层面上制定节能的量化目标;为推广能效措施提供资金与组织结构上的支持;发展各类综合性能效项目。

2006年,欧盟启动了一项规模庞大的“能源效率行动计划”,提出了到2020年将能效提高20%的目标。

英国于2000年开始实施“能源效率标准计划”(EESoP),2002年改为实行分阶段的“能源效率义务”机制(EEC),到2011年预计可节能409 TW,减少碳排放2.2 MtC。其第二阶段能源效率义务政策(EEC 2005~2008)中提出了节能130TWh的目标。

尽管丹麦已经是OECD中能源强度最低的国家(低于平均值35%),但丹麦政府认为通过技术发展仍有潜力可挖,2005年9月通过了《丹麦持续节能行动计划》,提出2006~2013年平均每年减少能源消耗7.5 PJ的目标。

西班牙于2004年制定了基于政府各部门间合作的“E4”能源效率战略,并通过了以政府资助为主的实施方案。

美国2005年“能源政策法”为能效产品快速进入市场制定了一系列税收优惠和补贴措施,能源部对能源效率和可再生能源研发项目的投入也连年增长,并于2006年设立“国家能源计划”(State Energy Program, SEP)支持消费者、商业部门和各州的节能活动,首期投入3460万美元。

节能和提高能效一贯是日本能源战略的基础,其《新国家能源战略》中提出了到2030年将能源利用效率提高30%的目标,并制定了“节能领跑者计划”,将重点提高交通领域的能源效率。

2005年12月印度发布的“综合能源政策”特别强调了能源效率和需求的管理,认为有潜力将能源强度降低25%;2006年5月又启动了“国家能源标识计划”,对六大类电器实行能效管理。

(2) 生物燃料备受重视

生物燃料行业的规模和开展生物燃料生产和使用的国家数量正在迅速增加。全球石油产量在2000~2005年间仅增加了7%,而同期燃料乙醇产量翻了一倍多,生物柴油的产量扩大了近四倍^①。2005年,生物燃料产量占全球汽油使用量的近2%,其中燃料乙醇占全球生物燃料产量的90%,生物柴油占10%。

巴西是唯一具有成熟的大规模生物燃料行业的国家,能为消费者生产经济适用的燃料乙醇,现可满足巴西国内机动车燃料需求的约40%,并且没有得到政府的直接补贴。美国是第二大燃料乙醇生产国,其燃料乙醇主要产自玉米,提供了国内汽车燃料需求的近2%。这两个国家占2005年全世界燃料乙醇总产量的约71%。欧盟特别是德国,是大规模生物柴油生产的主导者。随着巴西和美国相继扩大生物燃料产业,生物燃料生产的效率在过去25年当中得到很大的提高。由于石油价格高企,在美国,从玉米提炼乙醇价格现在可以同汽油相当。在巴西,从甘蔗提炼乙醇的价格比汽油便宜得多。

根据国际能源署对2010年以后第一代和第二代生物燃料生产成本的研究结果,燃料乙醇生产成本最低的仍是甘蔗乙醇,而纤维素乙醇的生产成本仅次于甘蔗乙醇。生物柴油生产成本最低的是利用餐饮废油其废油脂制取的生物柴油。这使得其相比第一代生物燃料更具有竞争性。

由于生物燃料在满足不断增长的能源需求的同时,在保护环境方面也发挥着越来越重要的作用。因此越来越多的政府正在推动并扩大生物燃料的生产和利用。

2003年5月通过的欧盟生物燃料指令确立了到2010年欧洲生物燃料的市

^① Biofuels for transportation: global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century (Extended Summary), WI and GTZ (Worldwatch Institute and the German Agency for Technical Cooperation), 2006, <http://www.worldwatch.org/taxonomy/term/445>

场份额参考值为 5.75%。2006 年欧盟开始实施以发展生物燃料为主的“生物质能行动计划”，并建立了欧洲生物燃料技术平台。在 2007 年 3 月的欧盟理事会会议上，27 个欧盟国家或政府首脑同意到 2020 年将生物燃料使用增加到 10%，并确定了可再生能源使用占 20% 这一具有约束力的目标。

美国计划到 2030 年以生物燃料取代 30% 的交通运输燃料，并将重点放在纤维乙醇的研发上。为此，能源部专门设置了生物燃料研发计划，并提出了相应的纤维乙醇发展路线图。2007 年 1 月，美国总统布什在国情咨文中宣布了“20 减 10”计划，将在未来 10 年内通过开发替代能源和提高燃料体系能效，将汽油消耗量降低 20%，其中加大投入开发生物燃料特别是燃料乙醇被放在首要位置。

日本经济产业省提出的“下一代交通能源计划”（Transport Energy for the Next Generation Plan）强调大力发展生物质燃料与合成燃料。包括扩大国内生物乙醇（包括 ETBE）生产，加快生物质燃料供应基础设施建设；促使汽车工业接受含 10% 乙醇的汽油。日本计划到 2010 年国内 40% 的汽车改用生物燃料，在 2012 年之前主要供应 E3 燃料（生物乙醇含量 3%），从 2020 年开始供应 E10 燃料（生物乙醇含量 10%），一直到 2030 年实现所有车用汽油都更换成 E10。为此，日本政府将提供 3000 亿日元左右的资金，以此推动乙醇行业的发展。

许多其他国家也为生物燃料生产和使用设立了目标（见表 1-1）。

表 1-1 主要生产国目前生物燃料产量和预计使用量

国家	当前产量		预计用量
	燃料乙醇	生物柴油	
巴西	16500 × 106 L	—	到 2010 年建成 77 家乙醇厂以及 46 家生物柴油厂，届时将拥有 233 亿升乙醇产量以及 334 亿升生物柴油产能
美国	16230 × 106 L	290 × 106 L	到 2012 年至少要有 75 亿加仑可再生燃料添加在汽油中；到 2017 年左右每年生产生物燃料 350 亿加仑；到 2030 年替代 30% 的交通运输燃料

续表

国家	当前产量		预计用量
	燃料乙醇	生物柴油	
中国	2000 × 106 L	—	到 2020 年燃料乙醇年生产能力达 1000 万吨，生物柴油年产量 200 万吨，占运输能源需求的 15%
欧盟	950 × 106 L	3. 184 × 106 t (20 个主要生产国)	到 2010 年生物燃料占市场份额的 5. 75%；到 2020 年生物燃料使用增加到 10%
印度	300 × 106 L	—	石油部计划到 2006 年 7 月，在全国范围内供应 5% 混合乙醇汽油，之后增加到 10%。政府还计划到 2012 年与生物柴油混合的比例为 20%
德国	—	1920 × 106 L	以能源计算占总燃料消费的至少 5. 75%
法国	161 172 t	511 × 106 L	混合入常规化石燃料的生物燃料百分比：2008 年 5. 75%，2010 年 7%，2015 年 10%
意大利	—	227 × 106 L	不详
奥地利	无大量生产	83 × 106 L	根据能源含量，替代 5. 75 %

(3) 核能走向复兴

核能近年来在世界主要国家的议事日程上再现风光，呈现出强劲的复兴趋势。

美国在 2001 的《国家能源政策》中将扩大核能作为国家能源政策的重要组成部分；能源部于 2002 年启动了为期 7 年、投资 11 亿美元“核电 2010 计划”，研究采用第三代以上的先进轻水反应堆；2006 年又发起了规模庞大的“全球核能合作计划”（Global Nuclear Energy Partnership, GNEP），并在 2007 财年投入 2.5 亿美元。

日本《核能政策大纲》提出到 2030 年将核电在全国总发电量中所占比重保持在 30% ~ 40%，大力加强核废料的后处理和再利用，推动快中子增殖反应堆进入实际运用阶段等战略目标。2006 年，日本经济产业省资源能源厅制定了“核能国家计划”，其中包括准备投资新建、扩建和改建核电站；再建一座大型核废料处理厂以强化核废料的浓缩和后处理能力；以“官民一体”的方式开发

新一代轻水反应堆；创设“核能人才培养工程”，为核电事业提供人才保证等。

法国充分肯定核能在法国能源供应上的重要作用，2005 年的能源政策法中规定坚持核能选项，并规定要帮助 EDF（法国电力公司）在 2012 年之前建立采用 EPR（欧洲压水反应堆）的 Flamanville 核电站。法国政府决定在 2015 年到 2020 年以新一代的核电站代替目前的核电站。2006 年 1 月，法国总统希拉克表示法国将继续努力保持在核电领域的领先地位。为此，法国将启动第四代核电站的设计和建造计划，并将在 2020 年实现第一个将第四代核电研究堆投入运行。

2006 年俄罗斯核电站发电量创纪录地达到了 1564 亿度，核能领域产品和服务的出口金额约为 35 亿美元。根据核电发展战略，在 2010 年之前俄罗斯平均每年将有 1 GW 的核电容量投入运营，此后每年将有 2.5 GW 投入运营。2015 年前俄政府将从联邦预算中拨款 6740 亿卢布（1 美元约合 26.04 卢布）用于核工业的发展，到 2015 年每年兴建 2 个核反应堆，从 2016 年开始每年建立 3 个核反应堆，到 2020 年将其数量增加到每年 4 个，到 2030 年将核电发电的份额提高到至少 25%。正在建设新的第三代反应堆 VVER-1500 将成为俄罗斯 2020 年后核电的主要堆型。

目前，韩国正在开发属于第四代反应堆技术的中小型先进一体化反应堆，并计划在未来 5 年内斥资 2.44 万亿韩元（约合 25.9 亿美元）修建国产轻水核反应堆和发展核燃料技术，以实现在 2011 年之前超越德国，跻身世界核电大国五强的目标。

印度为核能利用制定了分为三个阶段的发展计划，第一阶段是建造以天然铀为燃料的加压重水堆（PHWR），现有 15 台机组在运行。目前正在开展的第二阶段是研制先进重水堆（AHWR）和快中子增殖堆（FBR）。最后阶段是建造钍-铀-233 燃料反应堆，并拥有先进燃料制造厂。目前印度已成功地设计和运行了 30 千瓦的 Kamini 实验反应堆，并在开发高级重水反应堆（AHWR），使用钍-铀-233 和钍-钷混合氧化物作为燃料。

根据国际原子能机构（IAEA）的最新统计，截至 2007 年 6 月 19 日，全世界共有 438 座核反应堆正在运行，另外还有 31 座反应堆系统正在建造中。

核电总装机容量达到近 372 GW，满足了世界约 18% 的电力需求。

尽管不同程度地受到政治及公众认知因素的影响，核能重新成为部分国家政策选择，体现了其发电成本低、零排放等自身优势。核能已经历了数代的技术发展。现在广泛使用的第三代技术形成于上世纪 90 年代，具备包括“被动安全”在内的一系列安全上和经济上的优点。目前，有 11 个国家正在合作开发第四代核电站。据国际能源机构预测，如果能够解决资金成本巨大、放射性废弃物和核事故安全以及核武器扩散等问题，核能到 2050 年将可能占全球发电量的 22.2%。

2 研发投入

21 世纪世界经济的高速发展、资源短缺及地缘政治博弈的日益复杂化，使能源问题受到世界各国的高度关注。为了进一步提高能效，寻求新的、洁净的替代能源，美国、欧盟、日本等发达国家和地区以及中国、印度等发展中国家都在不断加强科技投入力度，力图通过能源领域的科技创新改造现有的能源结构。因此能源科技将成为各国未来研发的关键领域。另一方面，新能源与洁净能源技术的利用，既减少了对传统化石燃料的依赖，加强国家能源安全，又有利于减少温室气体的排放，保护人类未来的生存环境，并推动新型能源产业的增长，是 21 世纪可持续能源发展道路的最优选择。

能源 R&D 研发投入水平对能源科技的发展起着关键性作用。根据国际能源机构对历史上 OECD 国家政府能源 R&D 预算统计结果，由于受石油危机的影响，从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初，OECD 国家的能源 R&D 预算出现了显著增长，并保持在一个相对稳定的水平；而从 80 年代中期开始出现不断下滑趋势，从 1985 年的 196 亿美元持续下降到 1998 年的 86 亿美元，出现这一现象的原因很大程度上是 1985 年以来油价的持续走低，以及这一时期一些核事故对核电工业发展所带来的阻力；从 1998 年起，OECD 国家能源 R&D 研发支出开始回升，2005 年为 95 亿美元（图 1-1）。

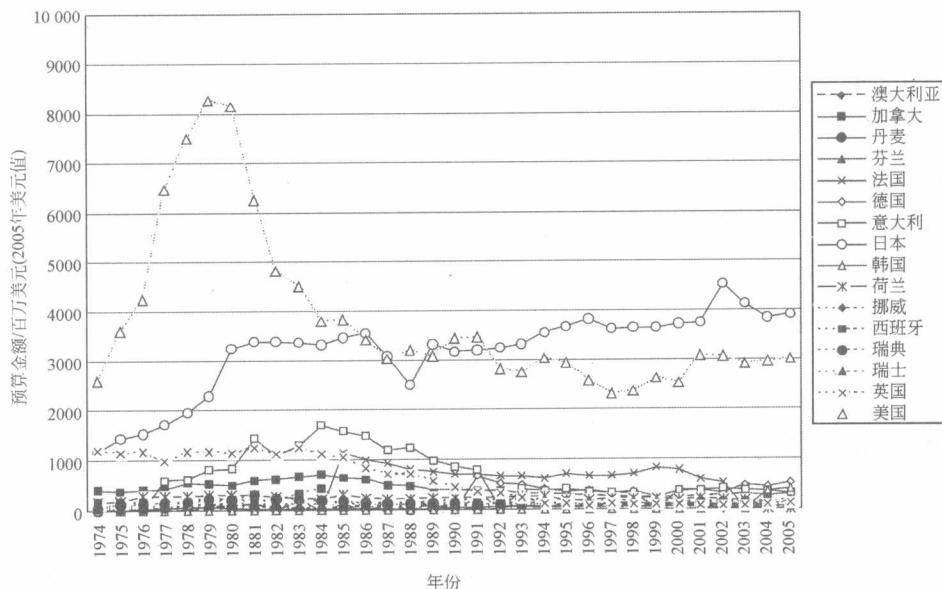


图 1-1 部分 OECD 国家 1974 ~ 2005 年能源 R&D 预算变化情况

OECD 国家中，欧洲国家的能源 R&D 预算从 1992 ~ 2005 年下降了 28%，主要是核能（包括核裂变与核聚变）与化石燃料的开采与转化技术下降较多；北美地区则从 1992 ~ 1998 年呈下降趋势，然后又逐渐恢复到 1992 年的水平；太平洋地区（日本、韩国、澳大利亚和新西兰）从 1992 年起一直呈上升趋势。

就投入比例而言，1992 ~ 2005 年，美国和日本占 OECD 国家政府能源 R&D 预算的 70%，成为世界上能源 R&D 投入最多的国家。1990 年，美国与日本两国能源 R&D 预算占 OECD 国家预算总和的比例相当，分别为 34%（美国）和 29%（日本），2005 年则分别为 32% 与 40%，见图 1-2。

从能源 R&D 预算占 GDP 比例来看（图 1-3），只有日本一直保持着相对较高的水平，2005 年为 0.08%，而其他几个主要国家都在 0.03% 以下，英国则不到 0.01%。

在不同能源科技领域的政府 R&D 投入中，核能所占比例最大（见图 1-4），1992 年达到 52.5%，2005 年下降到 40.5%。这一时期核聚变和核裂变研究上

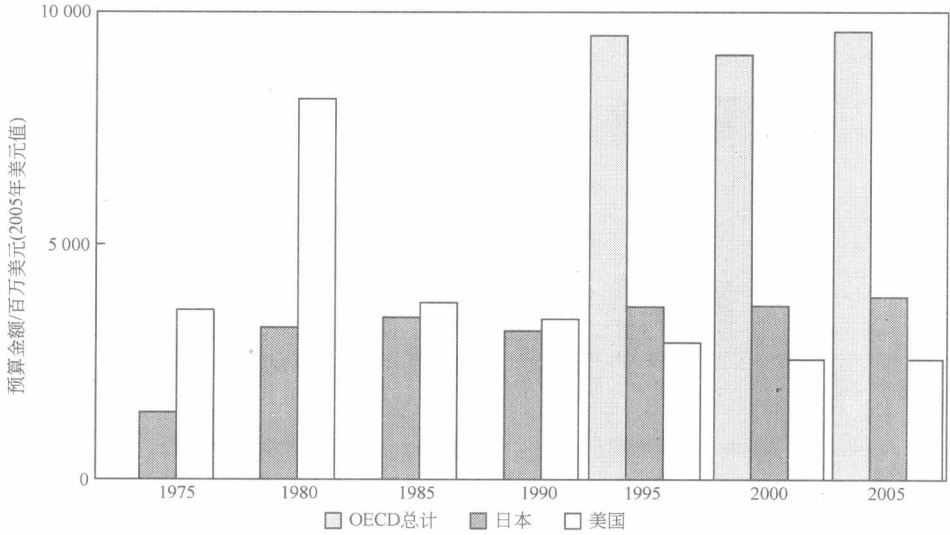


图 1-2 美国、日本及 OECD 国家能源 R&D 预算对比

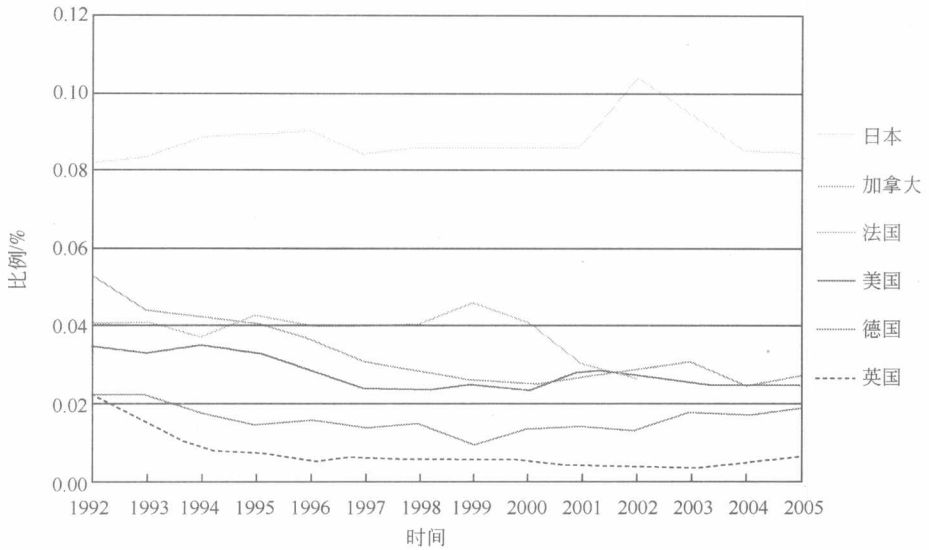


图 1-3 主要国家 1992 ~ 2005 年能源 R&D 预算占 GDP 比值

注：缺 2003 ~ 2005 年的法国数据