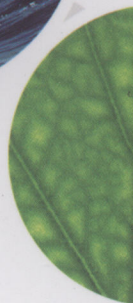


Technology
实用技术



新 能 源 技 术 丛 书

氢能和核能

技术与应用

钱伯章 编



科学出版社
www.sciencep.com

新能源技术丛书

氢能 和 核能 技术与应用

钱伯章 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是“新能源技术丛书”之一。本书详尽介绍了世界核能发电现状和前景、核能发电技术展望、世界各国(地区)核能发电建设态势、我国核能发电进展与技术,世界氢能开发现状和前景,氢气生产、储存和应用新技术,我国氢能发展现状和展望,国内外燃料电池发展现状与技术。

本书可用作从事能源以及核能和氢能领域的规划、科技、生产和信息人员的工作指南,也可供国家决策机构人员和相关人员参阅,并可作为教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

氢能和核能技术与应用/钱伯章编. —北京:科学出版社,2010
(新能源技术丛书)

ISBN 978-7-03-028376-4

I. 氢… II. 钱… III. ①氢能-技术 ②核能-技术 IV. ①TK91 ②TL

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 140729 号

责任编辑:张莉莉 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝恩誉

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

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>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 8 月第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—4 000 字数: 240 000

定 价: 29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛书序

世界可再生能源的资源潜力巨大,但由于成本和技术等因素的限制,其利用率还很低。水能、生物质能的应用技术相对成熟;风能、地热能、太阳能得益于政策的支持,近年来发展比较迅速;对海洋能(包括潮汐能、波浪能、温差能、盐差能等)的利用尚处于研发和验证阶段,距大规模商业化应用还有一段距离。

当今世界各国都在为获取充足的能源而拼搏,并对解决能源问题的决策给予极大重视,其中可再生能源的开发与利用尤其引人注目。新技术的发展,使得风能、生物质能以及太阳能等可再生能源得到快速开发和利用。随着化石能源的日趋枯竭,可再生能源终将成为其替代品。

在国际油价持续上涨的背景下,风能、太阳能、生物质能等新能源有望成为全球发展最迅速的产业之一,中国的新能源产业也正孕育着更多的投资机会。

我国新能源与可再生能源资源丰富,可开发利用的风能资源约 2.53 亿 kW;地热资源的远景储量为 1353.5 亿 t 标准煤,探明储量为 31.6 亿 t 标准煤;太阳能、生物质能、海洋能等储量更是处于世界领先地位。在国际石油市场不断强势震荡,国内石油、煤炭、电力资源供应日趋紧张的形势下,开发利用绿色环保的可再生能源和其他新能源,已经成为中国能源发展的当务之急。中国国家能源领导小组描绘了可再生能源的诱人前景:到 2010 年,中国可再生能源在能源结构中的比例将提高到 10%;到 2020 年,将达到 16%左右。中国已出台《中华人民共和国可再生能源法》(简称《可再生能源法》)和“十一五”规划中也明确提出,要加快发展风能、太阳能、生物质能等可再生新能源。

以“为国家提供优质能源”为己任的中国石油天然气集团公司(简称中石油)、中国石油化工股份有限公司(简称中石化)、中国海洋石油总公司(简称中海油),除了进一步加快石油、天然气的开发速度外,也将目光投向了生物质能、太阳能发电、风能利用、地热、煤层气等新能源开发上。

中石油继在中国石油勘探与生产分公司成立新能源处之后,其可再生能源计划已经有多个项目进入实质阶段,有望于“十一五”期间首先在生物质能、太阳能发电、风能利用、地热开发等领域取得突破。虽然投资巨大与风险并存,但作为国内最大的石油、天然气生产商和供应商,中石油仍然积极探索开发利用可再生能源,目的是为我国经济和社会发展增加新的能源选择。2003 年,中石油与中粮集团有限公司(简称中粮集团)合资开发的吉林燃料乙醇项目成为“十五”重点建设工程,也是国家生物质能产业的试点示范工程。2006 年,中石油成立了新能源处和相应的研发机构,现已启动一批可再生能源项目。其中,在西藏那曲地区、辽河油田、新疆油田等地建设了一批光伏发电、风力发电、地热资源开发利用等示范项目,并取得良好效果。2006 年 11 月,中石

油与四川省政府签署了用红薯和麻风树开发生产乙醇燃料和生物柴油的合作协议。2006年12月,中石油与云南省政府签署框架协议,拟在以非粮能源作物为原料生产燃料乙醇、以膏桐等木本油料植物为原料制取生物柴油等方面进行合作。

中石化和中粮集团于2007年4月中旬签订合作协议,共同发展生物质能及生物化工,拟在五年内合作建设年产100万~120万t燃料乙醇的生产装置,双方通过项目招标赢得了合资建设广西合浦20万t/a生物燃料乙醇项目;合作还将涉及生物化工领域,双方拟共同致力于生物化工制品的研究、开发、生产和应用并形成产品规模,以推动中国化工行业的进一步发展。

新能源基金会(NEF)和中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会会(CRE-IA)于2008年3月底发布了中国2007年前10项可再生能源开发现状报告,指出2007年中国光伏电池量(不包括中国台湾)已超过美国,继日本和德国之后位居世界第三位。

2008年,中国在投资可再生能源方面仅次于美国而居世界第二位,中国和美国的投资分别为1760亿美元和2000亿美元。据HSBC(汇丰银行)估算,中国经济刺激计划投入绿色项目的资金达2210亿美元,为美国的两倍多,相当于中国2008年GDP的5%。

在《可再生能源法》及《可再生能源中长期发展规划》等推动下,中国可再生能源已步入快速发展阶段。截至2007年底,可再生能源占中国一次能源供应的8.5%,电力供应的16%;2008年,可再生能源利用量约为2.5亿t标准煤,约占一次能源消费总量的9%,距离2010年可再生能源在能源消费结构中的比重占10%的目标仅有一步之遥。到2020年,可再生能源占一次能源供应和占电力供应的比例将分别达到15%和21%。

加快发展包括可再生能源在内的新能源,是时代赋予我们的重大责任和发展机遇。

本丛书以“中国走向世界,并融入世界”为主线,以可再生能源和其他新能源的技术与应用新进展为出发点,全面介绍太阳能、风能、水力能、海洋能、地热能、核能、氢能、生物质能、醇醚燃料、天然气和煤基合成油、新能源汽车与新型蓄电池以及热电转换技术等领域的技术发展、应用状况、研发成果、生产进展与前景展望。本丛书力求以最新的数据、最广的视角和最大的集成,使读者了解中国乃至世界在上述领域的新技术、新产能、新应用、新动向。

前言

核电不是可持续发展的能源,但是在能源变换期间可提供无排放的电力,基于它仍处发展或开发阶段,故仍将其列入新能源范畴加以阐述。

截至 2009 年,世界商业化投用核电厂反应堆 441 台,建设中 47 台,计划建设 133 台,提案为 282 台。世界商业化投用核电厂能力已达 386.45GW,2009 年在 31 个国家拥有 435 台核反应堆,总计发电 370GW。

预计到 2030 年,52 个国家将拥有 697 台核反应堆,总计可发电 702GW。

在世界前 15 位国家(地区)核能消费量中,中国居第 10 位,相当于 1550 万 t 油当量。截至 2009 年,中国正在运行的 11 台核电机组,装机容量约 910 万 kW。另外,在建及已批准开展前期工作的核电项目还有 12 个,总装机容量约 3476 万 kW。到 2020 年,中国核电装机容量将达到 7000 万 kW,届时,中国的电力总装机容量约为 15 亿 kW,核电将占总电量的 7%。而到 2030 年、2050 年,核电装机将分别增长到 2 亿 kW、4 亿 kW,核电将分别占总电量的 15%、22%。中国的核电投资正在形成高潮,发展将进一步提速。

氢具有高挥发性、高能量,是能源载体和高效燃料,氢能利用形式多,既可以通过燃烧产生热能,在热力发动机中产生机械功,又可以作为能源材料用于燃料电池。氢能作为低碳和零碳能源正在脱颖而出。中国对氢能的研究与发展正在加速。

本书介绍了世界核能发电现状和前景、核能发电技术展望、世界各国(地区)核能发电建设态势、我国核能发电进展与技术,世界氢能开发现状和前景,氢气生产、储存和应用新技术,我国氢能发展现状和展望,国内外燃料电池发展现状与技术。

本书可用作从事能源以及核能和氢能领域的规划、科技、生产和信息人员的工作指南,也可供国家决策机构人员和相关人员参阅,并可作为教学参考用书。

目 录

第 1 章 核能发电进展与技术展望	1
1.1 世界核能发电进展与技术	1
1.1.1 铀矿储量和生产量	1
1.1.2 世界核能发电现状	6
1.1.3 世界核能发电前景	12
1.1.4 第三代核电技术成为发展主流	15
1.1.5 核能发电技术展望	17
1.1.6 世界各国(地区)核能发电建设态势	20
1.1.7 核电站与生物乙醇工厂用能的链接前景	35
1.1.8 新可再生能源“核电池”	36
1.2 我国核能发电进展与技术	37
1.2.1 核电发展现状	37
1.2.2 核电发展展望和建设进程	43
1.2.3 引进技术合作和开发自有技术	48
1.2.4 核电技术选用导向	58
第 2 章 氢能开发进展与技术	61
2.1 氢能技术的环境观	61
2.1.1 引言	61
2.1.2 化石燃料带来环境问题	62
2.1.3 氢能的环境价值	63
2.2 世界氢能开发进展	65
2.2.1 氢能利用现状和前景	65
2.2.2 欧美的氢能路线图	69
2.2.3 跨国公司加快氢能开发和利用	70
2.2.4 氢能技术发展备忘录	71
2.3 氢气生产、储存和应用新技术	72
2.3.1 氢气生产和储运概述	72
2.3.2 氢气生产技术	74
2.3.3 氢能技术规范 and 标准	104
2.3.4 氢气生产和储存应用开发进展	106

2.4 我国氢能发展现状和展望 122

2.5 燃料电池发展现状与技术 126

2.5.1 概述 126

2.5.2 燃料电池的分类 128

2.5.3 不同燃料电池特点和发展动向 130

2.5.4 燃料电池市场发展前景 132

2.5.5 使用各种燃料的燃料电池发展现状 139

2.5.6 燃料电池新型组件材料 171

2.5.7 我国研究开发进展与前景 176

2.5.8 技术研究成果选编 184

参考文献 193

第 1 章 核能发电进展与技术展望

1.1 世界核能发电进展与技术

1.1.1 铀矿储量和生产量

在可承受的成本下,铀的资源是有限的,图 1.1 所示为铀矿石。核电不是可持续发展能源,但是在能源变换期间可提供无排放的电力。然而,发展增殖反应堆,其能量含量可为化石燃料储量和可采资源量的 3~5 倍以上。表 1.1 列出常规化石燃料与 U_3O_8 资源。

表 1.1 常规化石燃料与 U_3O_8 资源

项 目	现可采储量	单位: $\times 10^{15} \text{Btu}^{1)}$
		估算总的剩余可采量
常规化石燃料	35 778	187 300
U_3O_8 , 成本 < 30 美元/lb ²⁾ (约 80 美元/kg 铀)		
燃烧器反应堆	950	3 300
增殖反应堆	72 000	250 000
U_3O_8 , 成本 < 300 美元/lb (约 800 美元/kg 铀)		
增殖反应堆	97 000	1 000 000

注:不包括前苏联。

核裂变发电机组发电也称为原子能发电,是利用核能产生能源的方式,主要是电能,图 1.2 所示为核裂变发电机组。产生核电的工厂被称作核电站,而将核能转化为电能的装置包括反应堆和汽轮发电机组。核能在反应堆中被转化为热能,热能将水转变为蒸汽推动汽轮发电机组发电。



图 1.1 铀矿石

核电站只需消耗很少的核燃料,就可以产生大量的电能,每千瓦时电能的成本比火电站要低 20% 以上。核电站还可以大大减少燃料的运输量。

1) $1 \text{Btu} = 1.055\ 06 \times 10^3 \text{J}$ 。

2) $1 \text{lb} = 0.453\ 592 \text{kg}$ 。

例如,一座 100 万 kW 的火电站每年耗煤三四百万吨,而相同功率的核电站每年仅需铀燃料三四十吨。核电的另一个优势是干净、无污染,几乎是零排放。一磅的铀(^{235}U)释放的能量能超过 6000 桶石油!

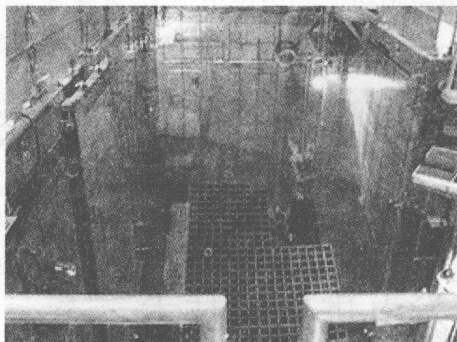


图 1.2 核裂变发电机组

华盛顿核能研究所称,每个 1000MW 的反应堆一年可以节省 790 万桶石油或 340 万 t 煤炭,可避免排放 3.4 万 t 二氧化硫和 1.1 万 t 二氧化碳。

核电的优点是电力密度适中,燃料消耗低。快速反应堆可使用贫铀矿的铀。

风能发电、太阳能发电、潮汐发电等各类新能源,至今尚未解决电力大规模生产及经济性的问题,能大规模生产电力的方式唯有核电。

核能发电产生很少量的二氧化碳,但是核电站产生放射性废弃物,储存困难,具有安全问题。此外,核电站的建设需要十多年,而燃煤电厂需要 4 年,燃气电站需要两年半。

但仍有越来越多的人认识到,核能是当前能够替代化石能源、而且有可能大规模发展的唯一现实可行的能源。核能的优越性:能量密度高,1kg ^{235}U 裂变放出的能量等于 2500t 标准煤燃烧产生的能量;核能利用可减少温室气体排放,改善生态环境;一座 100 万 kW 核电厂一年产生 800t 中放废物和 30t 乏燃料,核电厂产生的废物不仅量少,而且都处于严密的控制之下已被越来越多的人认可。核电用 50 年的时间就超过了水电几百年达到的在全球能源生产中的地位。核电已成为世界能源的重要组成部分。

世界核电用铀的价格正在上涨之中,截至 2008 年 5 月初统计,前 3 年内,铀的价格翻了一番。1cm³ 的铀价相当于 6 万 L 汽油、110~160t 煤炭或 6 万 m³ 天然气。这种高度浓缩的燃料易于并可廉价地运送至任何距离,其价格因素对于可发出电力而言则相对较小,甚至铀燃料价格大幅上涨对核电成本而言仍然影响很小。

截至 2008 年 7 月 14 日统计,在 7 年间,铀价已上涨超过 1000%。2001 年以前,铀价为 5~10 美元/lb,截至 2008 年 7 月 14 日现货价已达 59 美元/lb,但 2007 峰值价格曾超过 130 美元/lb。

人们现在已经开始接受 100 美元/桶油价,那么对铀价达到 500 美元/lb 也许会有思想准备。

世界上的铀并不短缺。但世界铀储量分布极不均匀,其中澳大利亚储量为 64.6 万 t,占 41%;加拿大为 26.5 万 t,占 17%;哈萨克斯坦为 23.2 万 t,占 15%;南非为 11.8 万 t,占 8%,这 4 个国家就占了世界铀储藏量的 80% 以上。

尽管澳大利亚的铀矿储量居世界第一位,但是俄罗斯的浓缩铀生产能力居于世界领先地位。

对核电的兴趣增长,将使产铀国家增产。据 2008 年 7 月 14 日统计,现在世界铀年生产量为 39 603t。加拿大现在是全球领先的铀生产国,占世界产量 25%。其他重要的铀矿国包括美国、澳大利亚、葡萄牙、纳米比亚和尼日尔。

俄罗斯是世界第 7 大铀矿储藏国、第 3 大核能燃料生产国和世界上第 5 大铀矿开采国。俄罗斯现生产铀矿石仅 3000t/a,而年需求量为 1.8 万 t。此外,俄罗斯已成为主要的铀供应国,截至 2008 年 7 月,俄罗斯已超过尼日尔成为仅次于加拿大、澳大利亚和哈萨克斯坦的世界第 4 大铀生产国。俄罗斯 2007 年生产铀 3527t。基于东西伯利亚和其他地区有可观的铀沉积,俄罗斯的铀矿开采前景看好。

2007 年俄罗斯与澳大利亚又签订双边协议,澳大利亚将每年为民用目的供应价值 100 万美元的铀。2007 年俄罗斯还与加拿大 Cameco 公司组建合资企业以开发两国国有前景的铀矿。

俄罗斯远东地区现生产俄罗斯铀产量的 93%,采用昂贵的常规方法每年开采 2500~3000t。

俄罗斯 Atomredmetzoloto 公司 2008 年生产 3880t 铀,并计划到 2024 年生产量达 2 万 t。

俄罗斯在 Chita 地区拥有含铀沉积地,储藏量估算为 15 万 t。东西伯利亚的其他铀矿拥有可进一步开发的原材料为 7 万 t。加在一起,探明储量为 61.5 万 t,这一数据也包括 Elkon 地区的 34.4 万 t,后者是俄罗斯最近开发的最大的铀矿,位于 Yakutia-Sakha 北部。俄罗斯的铀在世界未来市场上的份额将因东西伯利亚新铀矿的开发而增大。

预计俄罗斯总的铀潜力(天然级和导弹级)将占世界 2030 年用于核电站用铀的 45%,即俄罗斯潜在的铀储藏量(天然级和导弹级)将使其到 2030 年占世界铀浓缩服务市场的 45%,以及核电站建设市场的 20%~25%。如采用封闭的核循环技术即快速增殖反应堆,则这些资源将可满足全球电力需求 1000 年。

法国核能集团 Areva(阿海珐)公司于 2008 年 6 月 19 日宣布,计划投资 7.5 亿美元在非洲纳米比亚开发世界上最大的铀矿。该铀矿位于首都 Windhoek 以西 300km。该铀矿于 2009 年底投入生产,每天加工 10 万 t/d 矿石,每年提取 600 万~800 万 lb (2720~3630t)铀。

阿海珐集团于 2009 年 1 月 5 日宣布其获得了尼日尔伊姆拉兰铀矿的开采权。根据阿海珐集团的资料,伊姆拉兰矿是目前非洲最大、全球第二大铀矿。根据阿海珐集团与尼日尔政府签订的协议,前者拥有开发铀矿合资公司 66.65% 的股权,剩余股权由尼日尔政府持有。铀矿的前期投资预计高达 12 亿欧元,2012 年开始投产,未来 35

年内其年均产能将达到 5000t。投产后,尼日尔的铀产量将比现在增加一倍,成为全球第二大产铀国。

2006 年世界铀产量比 2005 年下降 5%,2005 年为 41 702t 铀,2006 年是 39 655t 铀。产量下降,需求增加,供需缺口加大,铀价上涨。在 2006 年,世界 37 个主要铀生产国里,8 个国家的铀生产量比 2005 年下降,另有 4 个国家的铀生产量比 2005 年上升。2006 年的铀生产量比 2005 年下降的 8 个国家及其下降程度为:澳大利亚降 20%,加拿大降 15%,捷克隆 12%,德国降 35%,纳米比亚降 2%,南非降 20%,俄罗斯与乌克兰都是降 1%。2006 年的铀生产量比 2005 年上升的 4 个国家及其上升程度为:巴西上升 73%,哈萨克斯坦上升 21%,尼日尔上升 11%,美国上升 65%。

根据《世界各国铀生产量统计报表》,加拿大以年产 9367t 铀名列 2007 年度世界铀生产量第一,澳大利亚则以 8603t 铀名列第二,哈萨克斯坦 2007 年的铀产量为 6637t 铀而列 2007 年度世界铀生产量第三。

俄罗斯 2007 年矿山铀产量 3413t 铀,较 2006 年增加 7%;而俄罗斯 2007 年核电消耗铀 3365t 铀,矿山铀产量基本可以满足其 31 个核电反应堆的需铀量。

截至 2008 年 5 月初统计,俄罗斯铀生产量为 3400t/a,其储存量将够用半个世纪。

2009 年纳米比亚氧化铀产量达 5429t,比 2008 年增长 6%,是近年来纳米比亚氧化铀的最大产量。铀是纳米比亚在金融危机影响下唯一能继续保持产出增长的主要矿产品。2008 年纳米比亚的氧化铀产量从 2007 年的 2879t 猛增至 4366t,超过俄罗斯,成为世界第四大、非洲第一大产铀国。2009 年纳米比亚氧化铀产量在 2008 年快速增长的基础上继续保持了 6% 的增速,再次确认了纳米比亚将在 2015 年成为世界第三大铀生产国的可能性。

中国也在开发国内的铀储藏。据预测,到 2017 年中国核电站每年将消费 4400 万 lb(近 2 万 t)铀。

世界核协会发表全球核电发展及其对原料铀的需求量报告。该报告称:在 2005 年时,全球核电耗铀为 108×10^6 lb;2006 年时,全球核电耗铀为 103×10^6 lb;而在 2007 年,全球核电耗铀达到 173×10^6 lb,分别比 2005 年和 2006 年增加 60% 和 62%。依据世界各地正在建造或计划建设的核电反应堆规模及水平,世界核协会预测,到 2020 年时,核电运行耗铀将达到 270×10^6 lb。为此,全球从现在起,需要加强铀矿勘查,查找到更多的铀矿产地,以满足核电运行铀原料的安全供应。

根据国际原子能机构和经济合作与发展组织发布的联合调查报告,地球铀矿储量满足全球开采需求绰绰有余。这份名为《铀资源、生产和需求 2005》(Uranium 2005: Resources, Production and Demand)的报告又被称作“红皮书”,它根据 2004 年全球对核电站发电量的需求计算出全球可识别铀储量约为 470 万 t,计算的开采的成本不到 130 美元/kg。研究指出,按照目前的开采速度,全球的铀矿还可供人类开采 85 年。如果使用快速反应堆技术,这些铀矿则可以使用 2500 年。不过,根据地质证据和对磷酸盐含铀情况的了解,报告认为地球上可开采的铀实际上多达 3500 万 t。照此计算,铀能源的使用年限将大大超过上述预测。从长远看,不断进步的核技术将能够极大地

改善人类对铀资源的利用效率。正在开发和测试的新型反应堆,比目前使用的反应堆从铀中获取的能源要多 30 倍。

经济合作与发展组织核能机构(以下简称“经合组织核能机构”)于 2008 年 6 月 3 日公布报告称,如果消费保持目前水平,全球铀储量最少够所有反应堆用一个世纪。报告指出,按照开采成本低于 130 美元/kg 计算,全球已探明低成本开采铀储量达到 550 万 t,未探明铀储量则可能达到 1050 万 t。报告显示,2007 年全球核能发电能力达到 372GW,到 2030 年预计最多可增加近八成。经合组织核能机构认为,目前已探明铀储量完全可以满足核能发电的需求增长,而且随着核反应堆和燃料循环技术的提高,全球铀储量应当能够满足几千年的需求。

我国核燃料循环政策是在和平利用原子能的前提下坚持乏燃料后处理的技术路线。天然铀保障供应是我国核能今后发展中重点关注的领域,国家从政策和投入上给予了大力支持,制定了以国内勘查、开发生产为主,以海外贸易与联合开发为辅的天然铀保障供应策略。为进一步提高铀资源利用率,对核电站乏燃料进行商用后处理,为快堆核电站的发展创造条件。同时,中国的核燃料加工(包括纯化转化、浓缩和元件制造)立足国内,各生产环节依靠国内加工制造厂组织生产。

在铀矿勘查和天然铀生产方面,加大了国内铀资源勘查力度,实施“主攻地浸砂岩型铀矿,兼顾其他经济型铀矿”的勘探战略,同时积极开展海外铀矿勘查活动,争取获得若干铀矿勘探权。实施天然铀资源储备和保护性开采方案,充分利用国内、国外两个市场。

中国核工业集团公司于 2009 年 7 月表示,中国的天然铀储量很大,近三四年发现的天然铀可以用到 2020 年,或者说用更长时间也没有问题。因为中国目前的核电还很少,所以,中国的天然铀资源其实使用量还很小。关于核燃料的供应,目前我国采取了几方面措施。首先,加大了中国国内的铀勘探力度。中国大陆的面积很大,过去的勘探深度只有 500m,现在由于采取了一些有效的新的勘探技术,已经大大加深了深度;过去在某一个铀矿上开发量可能只有 2 万 t,现在可以深入到 1000m 以下后,就会发现勘探量有可能达到 4 万 t,甚至 6 万 t,使中国的铀资源的存储量比过去提高了几倍。如今国内每年发现的铀储量是使用量的 6~8 倍,也就是说发现铀的量比使用量要多得多。其次,在国际市场上购买一些铀资源、铀矿,加大了国际间的天然铀开采合作。中国和国外其他公司 3 年前就在约旦开了第一个铀矿,首批 700t 铀资源在 2010 年运回国内。最后,还有包括哈萨克斯坦、阿尔及利亚、俄罗斯等 6 个国家、8 个勘探队在进行国际间的勘探开采合作。通过这些措施,保证了中国对核电燃料的需求,所以,中国的铀资源就当前的核电发展量来看没有问题。

在铀浓缩及元件加工方面,实施立足国内、自主生产的核燃料加工政策。通过自主研发铀浓缩技术和对外合作,建设铀浓缩分离能力。立足国内,充分利用现有燃料元件生产的南北两个基地,实现压水堆燃料元件制造和供应能力。

在乏燃料后处理方面,加快开展中试工程的建设 and 调试工作,推进乏燃料商业后处理厂技术引进谈判和前期准备工作,实现在本世纪 20 年代中期,通过自主研发与积

极引进国外先进技术相结合的方式建成中国第一个核电站乏燃料大型商业后处理工厂。

1.1.2 世界核能发电现状

核电与水电、火电一起构成世界能源的三大支柱,在世界能源结构中占有重要地位。世界上第一座核电站 1954 年在前苏联建成。

核电站的选址首先要考虑地震、暴风和洪水等自然灾害的因素,重点选择远离活动断层和地震强度偏高的地区,以及不受洪水威胁的地区;还要尽量选择远离易燃、易爆物品,如油罐、炸药库或军用设施的地方;要评估其他类型爆炸的影响,评估的范围甚至包括交通路线上如公路、铁路上运输的物品爆炸或飞机坠毁的可能性。

国际原子能机构前总干事巴拉迪曾表示,世界核电领域已取得了长足发展,人类和平利用核能的前景广阔。全球能源需求的快速增长以及人们对气候变化的担心等因素突出了核能的优势,即核电生产的二氧化碳排放量相对较少、安全性较高和生产成本较低。

欧盟决策咨询机构联合研究所主席罗兰·申克尔表示,核能将是未来几十年内替代化石燃料、满足全球能源需求的最好选择。申克尔称,1979 年美国三哩岛核电站的核泄漏事故是历史上发生在西方国家唯一的一次严重事故,不过没有造成人员死亡。1986 年前苏联切尔诺贝利核电站又发生事故,但死亡人数相对较少。自那以后,核反应堆的安全标准及安全性能已大大提高。相比之下,全球每年与煤矿或石油有关的事故造成上万人死亡。申克尔说,从经济角度看,核能也是最好的选择。至少目前看来,核电的成本比水电以及风电要低 50% 以上。太阳能等也是未来能源供给的重要组成部分,但其重要性不能与核能相比。关于核废料问题,申克尔称,对中低辐射型的核废料,目前已可以通过填埋等方式安全处理;对高辐射核废料的处理,目前一些国家如瑞典、芬兰等已取得了一些研究成果,如通过隔离、循环及燃烧等方式降低其辐射性能,使其经过处理后达到安全标准。

随着核电技术的进步,前期制约核电发展的安全性和经济性都大幅提高。并且,近年来的能源价格上涨和经济迅速发展使各国开始重新重视核电发展,因安全阴影沉寂了 20 年的核电进入复苏期。

截至 2005 年底,全球正在运行的核动力堆总数达到 443 个,核发电量约占世界发电总量的 16%。这一百分比自 1986 年以来保持稳定,表明近 20 年来的世界核电发展一直与全球电力市场的稳定增长保持同步。中国、俄罗斯等在和平利用核能方面是目前世界上最具核电发展潜力的国家。

据普氏新闻核能周刊分析,2006 年世界核能发电量增长。加拿大、日本和俄罗斯发电量增长,美国、韩国和法国也增长较快,使 2006 年总的核能发电量超过 28.7 亿 MW·h。而 2005 年核能发电量为 27.7 亿 MW·h。美国 2006 年核能发电量接近 8.23 亿 MW·h,高于 2005 年 8.18 亿 MW·h,但是低于 2004 年 8.28 亿 MW·h。美国年均开工率为 90%。加拿大 2006 年核反应堆发电量比 2005 年高出 6.2%。

2006 年,全球共有 435 座商用核电反应堆分布在 30 个国家里运行着,生产了 370GW 的电力;另有 284 座研究用核反应堆分布在 58 个国家里运行着;220 座核反应堆用于舰船与潜艇。2006 年里总共耗铀近 70 000t,铀矿石分别采自世界各地的 74 座铀矿山及全球 183 家铀矿石加工处理工厂。美国运转最多,为 103 座。法国次之,为 59 座。日本为 55 座,俄罗斯为 31 座。

核发电量占全国总发电量 50%以上的国家为 4 个(法国、立陶宛、葡萄牙与斯洛伐克);核发电量占全国总发电量 40%以上的国家为 6 个(乌克兰、瑞典、保加利亚、斯洛维尼亚、亚美尼亚、韩国);核发电量占全国总发电量 20%以上的国家为 8 个(美国、英国、瑞士、西班牙、匈牙利、德国、捷克、日本)。

截至 2008 年 3 月 20 日,世界上 32 个国家和地区,共有 400 多台核电机组在运行,核电总装机容量超过 3.9 亿 kW,核能发电量占总发电量的 17%。

2006 年世界核能消费量为 6.356 亿 t 油当量。其中,北美为 2.123 亿 t 油当量,占 33.4%;欧洲和欧亚大陆为 2.879 亿 t 油当量,占 45.3%;亚太地区为 1.282 亿 t 油当量,占 20.1%。表 1.2 示明 2006 年世界各地核能消费量统计。

表 1.2 2006 年世界各地核能消费量统计

地区或国家	消费量(百万 t 油当量)	所占份额(%)
美国	187.5	29.5
加拿大	22.3	3.5
墨西哥	2.5	0.4
北美合计	212.3	33.4
阿根廷	1.7	0.3
巴西	3.1	0.5
智利	—	—
哥伦比亚	—	—
厄瓜多尔	—	—
秘鲁	—	—
委内瑞拉	—	—
其他中南美洲国家	—	—
中南美洲合计	4.8	0.8
奥地利	—	—
阿塞拜疆	—	—
白俄罗斯	—	—
比利时和卢森堡	11.0	1.7
保加利亚	4.4	0.7
捷克共和国	5.9	0.9
丹麦	—	—
芬兰	5.4	0.9
法国	102.1	16.1
德国	37.9	6.0
希腊	—	—
匈牙利	3.0	0.5
冰岛	—	—
爱尔兰共和国	—	—
意大利	—	—
哈萨克斯坦	—	—
立陶宛	2.0	0.3
荷兰	0.8	0.1

续表 1.2

地区或国家	消费量(百万 t 油当量)	所占份额(%)
挪威	—	—
波兰	—	—
葡萄牙	—	—
罗马尼亚	1.3	0.2
俄罗斯	35.4	5.6
斯洛伐克	4.1	0.6
西班牙	13.6	2.1
瑞典	15.4	2.4
瑞士	6.3	1.0
土耳其	—	—
土库曼斯坦	—	—
乌克兰	20.4	3.2
英国	17.0	2.7
乌兹别克斯坦	—	—
其他欧洲和欧亚大陆	1.9	0.3
欧洲和欧亚大陆合计	287.9	45.3
伊朗	—	—
科威特	—	—
卡塔尔	—	—
沙特阿拉伯	—	—
阿联酋	—	—
其他中东国家	—	—
中东合计	—	—
阿尔及利亚	—	—
埃及	—	—
南非	2.4	0.4
其他非洲国家	—	—
非洲合计	2.4	0.4
澳大利亚	—	—
孟加拉国	—	—
中国	12.3	1.9
中国香港	—	—
印度	4.0	0.6
印度尼西亚	—	—
日本	68.6	10.8
马来西亚	—	—
新西兰	—	—
巴基斯坦	0.6	0.1
菲律宾	—	—
新加坡	—	—
韩国	33.7	5.3
中国台湾	9.0	1.4
泰国	—	—
其他亚太地区国家	—	—
亚太地区合计	128.2	20.1
世界总计	635.6	100.0

2006 年世界前 12 位国家(地区)核能消费量排行中,美国居第 1 位,占总量约 29.5%;法国居第 2 位,占 16.1%;日本居第 3 位,占 10.8%;德国居第 4 位,占 6.0%;俄罗斯居第 5 位,占 5.6%;中国居第 12 位,占 1.9%。见表 1.3。

表 1.3 2006 年世界前 12 位国家核能消费量排行榜

排名	国 家	消费量(百万 t 油当量)	所占份额(%)
1	美国	187.5	29.5
2	法国	102.1	16.1
3	日本	68.6	10.8
4	德国	37.9	6.0
5	俄罗斯	35.4	5.6
6	韩国	33.7	5.3
7	加拿大	22.3	3.5
8	乌克兰	20.4	3.2
9	英国	17.0	2.7
10	瑞典	15.4	2.4
11	西班牙	13.6	2.1
12	中国	12.3	1.9

数据来源:BP Statistical Review of World Energy June 2007。

2007 年世界核能消费量为 6.218 亿 t 油当量,比 2006 年 6.356 亿 t 油当量减少 1380 万 t 油当量。其中,北美为 2.156 亿 t 油当量,比 2006 年 2.123 亿 t 油当量有减少,但 2007 年占 34.7%,比 2006 年 33.4%有上升;欧洲和欧亚大陆为 2.755 亿 t 油当量,比 2006 年 2.879 亿吨油当量也有减少,2007 年占比例 44.3%,比 2006 年占 45.3%有下降;亚太地区为 1.233 亿 t 油当量,比 2006 年 1.282 亿 t 油当量也有下降,占 19.8%,比 2006 年占 20.1%有下降;但中国 2007 年核能消费量为 1420 万 t 油当量,比 2006 年 1230 万 t 油当量有增长,所占比例也由 2006 年占 1.9%提高到 2007 年的 2.3%,见表 1.4。

表 1.4 2007 年世界各地核能消费量统计

地区或国家	消费量(百万 t 油当量)	所占份额(%)
美国	192.1	30.9
加拿大	21.1	3.4
墨西哥	2.4	0.4
北美合计	215.6	34.7
阿根廷	1.6	0.3
巴西	2.8	0.4
智利	—	—
哥伦比亚	—	—
厄瓜多尔	—	—
秘鲁	—	—
委内瑞拉	—	—
其他中南美洲国家	—	—
中南美洲合计	4.4	0.7
奥地利	—	—
阿塞拜疆	—	—
白俄罗斯	—	—
比利时和卢森堡	10.9	1.7
保加利亚	3.3	0.5
捷克共和国	5.9	1.0
丹麦	—	—