

中国需要大规模发展核电

To Devote Major Efforts to Developing China's Nuclear Power Industry

吴宗鑫 吕应运
(清华大学核能技术发展研究院 北京 100084)

一、核能是能大规模满足中国未来能源需求的重要能源

中国争取在 21 世纪中叶达到中等发达国家的水平, 相当于目前西班牙、葡萄牙、希腊、韩国等国的水平, 人均 GDP 大体为 1 万美元上下, 人均能源消费量大约为 3 吨标煤以上 (1998 年这些国家的人均 GDP 和人均能源消费量见表 1)。届时, 中国人口预计达 16 亿, 能源总消费量将达到约 50 亿吨标煤, 是目前的 3.5 倍以上。

表 1 人均 GDP1 万美元左右国家的人均能源消费量 (1998)

国家	西班牙	葡萄牙	希腊	韩国	斯洛文尼亚	新西兰
人均GDP(按1990年美元)	14 700	8 397	9 203	8 335	13 030	13 723
人均能源消费量(吨标煤)	4.09	3.13	3.67	5.03	4.80	6.47

据国内专家的估计, 中国国内常规能源资源每年最大可供应量不到 30 亿吨标煤, 其中, 煤炭约为 30 亿吨 (受常规开采条件与运输限制), 相当于 21.4 亿吨标煤; 石油约为 2 亿吨, 相当于 2.8 亿吨标煤; 天然气约为 1 600 亿立方米, 相当于 2.1 亿吨标煤; 水电约为 300GW, 按平均年运行 4 500 小时计算, 相当于 4.1 亿吨标煤。与 50 亿吨标煤的需求量相比约有 20 亿吨标煤的缺口, 弥补如此巨大缺口的途径无非有以下 3 条。

1 利用国内外两种资源、两个市场

中国现已采取了这一途径, 并已着手从国际市场 (主要是石油与天然气) 和开发海外资源来大量进口石油和天然气等清洁能源。但如果期望通过进口常规能源来解决如此巨大的一次能源的缺口, 则无论是从国际市场的供应潜力, 还是从国家的能源安全保障考虑, 都是不可行、不可取的。实际上, 针对此态势国家经贸委现已提出了推广清洁煤技术、以煤代油的长期方略, 并已着手限制和削减石油进口量。

2 充分利用可再生能源

中国已在推广太阳能的热能利用, 主要用于生

活热水供应和太阳房等方面。太阳能光伏发电的效率目前还比较低, 成本很高。因此, 在可见的期间内, 还很难期望太阳能能在中国能源中占有较大的份额。风能和生物质能是 21 世纪中叶前可实现大量利用的主要可再生能源。中国具有的风力资源为 253GW, 但风电设施平均年运行只有 2 500~ 3 000 小时, 到 2050 年即使有 200GW 开发利用了, 其提供的一次能源量也只相当 1.5~ 1.8 亿吨标煤。中国可用于能源利用的生物质大约为 3.5 亿吨, 相当于 2 亿吨标煤。即使这些能源技术都得到充分开发利用, 在 21 世纪中叶前中国可再生能源可利用量也仅约为 4~ 5 亿吨标煤, 占一次能源总的比重不到 10%。从全球看, 也大体如此。据世界能源理事会等国际组织的估计, 不包括水电的可再生能源在全世界一次能源供应中的比重只会从目前的 0.5% 增至 2020 年的不超过 5%~ 8%。

3 大规模发展核能

核能是目前最有希望能大规模替代化石能源的一次能源。1998 年, 全世界的核发电量占总发电量的 17.1%, 占全世界一次能源供应量的 6.7%。而主要的工业发达国家核电的比重更大, 法国的核电量占总发电量的 77%、韩国 38%、日本 32%、英国 28%、美国 19%、加拿大 13%。如果达到美国的 19% 的水平, 中国核电将占一次能源供应量的 9% 左右。

核电的燃料是铀, 据已探明的铀资源估计, 中国铀资源可提供 50GW 核电容量、使用 40 年。根据目前了解的地质状况, 中国可能拥有更大的铀资源蕴藏。此外, 中国还在进行快中子增殖堆的开发研究, 一旦投入商业应用, 可使铀资源的利用率提高几十倍。

铀资源在国际上被认为是一种准国内资源。核发电成本中天然铀采购费只占 1/15。而在天然气联合循环发电技术中, 天然气费用大约占到发电成本的 73%, 1 座 100 万千瓦核电站运行 1 年需要的天然铀费用为 720 万美元, 而 1 座 100 万千瓦天然气联合循环发电厂运行 1 年所需天然气的费用为 1.2

亿美元,相差达17倍之多。此外,天然铀运输和贮存都很方便,贮存的基础设施的费用和贮存管理费也很低。中国有国产浓缩铀元件制造的技术和设施,在国际市场有利的情况下还可以大量购进天然铀,譬如购进二三年或三四年的消费量,用于战略储备,以应付突发事件,是一个很好的能源安全保障途径。而天然气和石油要求的基础设施投资大,贮存管理费用也高,一般的储备量只有3~6个月,其安全保障性差。

以上分析表明,为了弥补中国未来能源供应的巨大缺口,发展核能是一个值得优先选择的途径之一,因为它可以成为大规模用于满足中国未来能源需求增长的一种重要能源。

二、核能是清洁、安全的能源

当今,中国多数大城市如北京、重庆、太原、兰州等都面临着大气严重污染的威胁,为从根本上解决城市大气污染问题,必须调整城市的能源消费结构,将天然气和城市煤气优先用于居民家庭和服务业的终端能源消费;同时还要发展电力消费,使城市燃料以清洁能源为主。

未来中国能源的消费还将面对全球气候变化问题的挑战,如果中国能源结构不作重大调整,不能大量使用少排放碳和不排放碳的能源,中国消费单位能源的CO₂排放系数将高于世界的平均水平,因而提高人均能源消费量的水平将受到限制。

核能是一种清洁的能源已为世人所共识,核电厂的运行既不产生SO₂、NO_x、烟尘,也不产生CO₂,不仅有利于城市的能源环境,也能对CO₂减排作出重大贡献。

即使是放射性的环境影响,核能也优于煤电。100万千瓦燃煤电厂释放入环境的放射量,是同等规模核电机组的100倍。核电站释放的放射性有害气体引起的人均辐射剂量比乘飞机旅行或看电视引起的还要低。

核电站的安全性是核能大规模发展的主要障碍。特别是,1986年发生了前苏联的切尔诺贝利核电站事故,在全世界造成了极大的影响。这起事故在当地引起严重的人员伤亡和环境损害,包括死亡31人,多半是由辐射照射引起的。在受到落下的放射性尘埃照射的乌克兰儿童中,患甲状腺癌的一直在增加,已确诊的有800多例,预计还会有几千例。这种癌本来是可以服用立即服用碘预防药防止的,但仍有3名儿童已经死亡。这是迄今为止全世界发生的后果最为严重的核事故。

经国际专家评估,切尔诺贝利核电站的设计是未满足国际标准的。自上世纪80年代以来,世界上核电站的安全性有了更大的改进,发生事故的概率已

由原来的平均每年每千座核电站可能发生一起核事故的水平,下降到平均每年每10万座核电站可能发生1起核事故的水平。任何工业系统都不可能不发生事故。最近在意大利和印度发生的水库漫堤和决堤,各造成数千人死亡。煤矿事故、燃油和燃气电厂着火以及管道爆炸,每起事故一般会有可观的伤亡。相比之下,核事故的数量很少,而且是最少的。因此可以认为,商业核电站40多年的运行历程已经证明,从工业事故、环境损害、健康效应和长期危害的角度看,核电要比化石燃料系统要安全得多。

三、核废物的处置问题可以解决

一座100万千瓦的核电站,每年约产生30吨乏燃料和800吨中低放射性的废物。目前中低放废物处置的技术已经解决,800吨的中低放射性废物加以处置后可压缩成约20立方米体积的固体废物,能直接加以地下掩埋。全世界运行的所有核电站每年总共产生约7000立方米的废物,与其它工业废物相比是很少的,比如仅美国,工业每年就产生约5000万立方米的有毒固体废物。

目前引起最大争论的是从核电站卸出的带有强放射性乏燃料的最终处置问题。乏燃料中约有2%半衰期长达几百万年的放射性物质,如不加以可靠的隔离,一旦进入人类生存的环境,例如水源,将祸及子孙万代。国际核能界对此问题十分关注,正在探索一种分离—嬗变的技术,先将这种极长半衰期的放射性物质从乏燃料中分离出来,之后再放入反应堆中,经中子辐照嬗变成为短半衰期寿命,甚至不带放射性的物质,以实现乏燃料的最终安全处置。

中国科学家已经成功地解决了乏燃料的分离技术,为国际核能界所瞩目。采用这种分离技术,可将乏燃料中余留的铀和钚核材料提取出来再加以利用,将长半衰期的放射性物质单独分离出来,剩余的则为中低放的废物。经这种分离后,1座100万千瓦的核电站,回收再利用的铀、钚核材料可使核电站的天然铀消费量减少20%;分离后形成的中低放废物,每年不到5立方米,长半衰期放射性的固体废物只有0.5立方米。100座100万千瓦核电站40年运行积累,其长衰期废物数量也只有2000立方米,对之加以隔离、监控是不难的。将来一旦嬗变技术取得成功,再将这些废物作最终的处置。

四、核电具有经济竞争力

世界上已有10多个国家的核电发电量占总发电量的比重超过20%,其中包括法国、比利时、瑞典、瑞士、日本、韩国、德国、西班牙、英国、乌克兰

等。这无疑证明,在很多国家中核电是有经济竞争力的。

核电站的投资成本很高,单位千瓦的造价大约是煤电的 1.5~2.0 倍,是天然气电厂的 3.0~4.0 倍,但是燃料费很低。因此,核电的发电成本中,燃料的比重很少,只占 20% 左右,而投资的资本回收的比重很高,大约占 60% 左右。中国已建成的广东大亚湾核电站的机组是从法国进口的,其发电成本高于当地燃煤电厂的成本,但 70% 以上的发电供香港,其价格低于香港的其它发电技术,因此经济收益不错。

中国实现核电国产化后,设备以单位千瓦计算的造价预期可减少 1/4 以上,若予以批量化和系列化生产,其发电成本可以与燃煤发电相竞争。

五、政策建议

1. 明确核能在中国未来能源发展中的战略地位和作用

应首先确认,核能是可以大规模满足中国未来能源需要增长的重要能源,而不仅是在某些地区能源供应中起适当补充的作用。由于一种能源工业体系的建立、发展和服役应用往往需要经历几十年的时间,核电的发展也不例外,因此,应尽早采取积极的方针来规划和推进核电在中国的发展。

2. 采取符合国际核电发展趋势的核电技术发展路线

核电站安全具有“国际共同性”,即一国发生重

大核事故,不仅影响本国,而且可能波及邻国。前苏联的切尔诺贝利核电站的安全标准远低于国际标准,受到国际的压力,已被迫关闭。因此,中国在规划未来核电发展时必须对世界未来的发展趋势倍加关注,务使核电技术路线符合于国际核电的发展趋势。

3. 加快核电的国产化

目前应充分利用中国已经形成的核电设计、制造、建设和运营能力,以我为主、中外合作;以有竞争力的电价为目标,加快实现核电国产化。但也不应过高估计中国已有的“四个自主化”的能力,应遵循国际核能建设的基本经验,以安全可靠为前提,采用验证过的技术,通过核电国产化依托项目的实施,实现核电国产化的目标。

4. 以科研为基础增强自主化能力

自主设计是实现国产化“四个自主化”的核心和基础。应贯彻以我为主、中外合作的方针,从体制上改革,使设计主体与科技的研究和开发相结合,并以此为依托,实现具有自主知识产权的自主设计;而不能仅满足于“知其然,也知其所以然”的学术研究目标,更不能过份依赖从国外的技术引进。

5. 及早关注公众可接受性问题

当今美国、德国、日本等国以及中国台湾地区由于受到公众对核电可接受性问题的困扰,核电的发展受到很大的阻碍。中国对此类问题应及早给予关注,向社会公众客观介绍核电的科学性、安全性,消除公众中种种非理性、不科学的恐惧心理,以保证中国核电事业的顺利和长远发展。

(责任编辑 蔡德诚)

(上接第 5 页)

召开的第七届国际人类基因组大会上获 Poster 论文奖。这是我国大陆科学家首次在国际人类基因组大会上获奖。张德礼博士同时接受了国际人类基因组组织(HUGO)基因命名委员会授奖代表 Dr Elspeth Bruford 和 Dr Mathew Wright 亲笔推荐他为国际人类基因组组织成员(HUGO member)的信函。这是一种很大的荣誉,因为 HUGO member 为数有限。

这次大会共审定录用了 680 篇会议论文参加 Poster 论文竞赛,其中仅有 5 篇论文获奖,英、美、俄、我国大陆和台湾省各 1 篇。我国大陆获奖的论文《人类新基因的电子克隆与实验确认》是由北京大学人类疾病基因研究中心张德礼、丁培国、马大龙、国家人类基因组北方研究中心孙晓静和中国科学院生物物理研究所凌伦奖、陈润生合作完成的。论文内容可参见获奖者将在本刊下一期(《科技导报》第八期)上发表的文章。

人类基因识别工作是艰难的,就是美国国家生物技术信息中心(NCBI)基因组注释项目公布的人类基因模式参考序列,也难免多处存在各种类型的错误。利用电子克隆百个新基因并结合实验验证纠正或避免了现有的人类

基因组某些编码序列错误,这是获奖论文作者们最突出的新成果。以前的公开文献及本次会议上的其它论文没有关于 NCBI 人类基因模式参考序列存在各种类型错误并进行纠错的报道,只有他们在 Poster 论文中举例:用确认的两个人类新基因纠正了 NCBI 基因组注释项目公布的 3 个不同类型的错误的基因模式参考序列。

论文在大会期间受到较高关注,数十位科学家与张德礼博士详细讨论,特别是国外一些重要学术单位和公司代表很感兴趣,表达了与作者们进一步合作的意向。俄国的获奖作者与我国获奖者初步达成了共同申请中俄合作科学基金项目《人类细胞增殖分化相关癌基因和转录因子的电子克隆与功能基因组学研究》的协议。

该论文获奖还在于它正确使用了公认的基因符号,促进了科学家之间的交流。目前世界各国都在独立进行基因研究,为了便于交流,国际人类基因组组织成立了基因命名委员会,欲对每个功能基因进行统一命名,以求尽快建立基因研究领域的统一语言——“世界语”。这已被确定为新一届国际人类基因组组织的重要任务之一。

(王宏章)