

# 我们需要核电

## 对世界能源远景的看法

RICHARD RHODES 和 DENIS BELLER

世界需要更多的能源。能源能提高劳动生产率并使劳动成果得到成倍地增加。人们建造校舍并给它带来光明,使水变纯,驱动农业机械、缝纫机和机器人装配工,贮存和传送信息,这些都离不开能源。世界人口正在稳步增长,1999年已超过60亿。但目前其中的三分之一——20亿人——尚未用上电。发展就需要能源,而不发展只会继续遭受贫困、疾病和死亡之苦,造成社会的不稳定,甚至引发大规模的动乱。因此,国家的安全要求发达国家帮助人口比较稠密的发展中国家增加能源产量。为保证能源供应的可靠性与生产的安全性,应该依靠多种渠道增加能源供应量。

1999年,英国皇家学会和皇家工程院在论述核能与气候变化的一篇报告中预计,“就全球而论,随着世界人口的增加和人们提高生活水平努力的努力,我们的能源消费量在未来50年中至少要翻一番,未来100年则可能



要增加4倍。”如果2050年今天的人均消费量的三分之一,则为了满足这一消费量,

Rhodes先生是《原子弹的制造》、《黑太阳》等书籍的作者。Beller先生是核工程师,是美国洛斯阿拉莫斯国家实验室技术人员。本文改编自两作者发表于《外交事务》(第70卷第1期,2000年1-2月号)的一篇文章,本刊发表时已征得纽约时报报业集团同意。

照片:印度尼西亚工人在维护输电线。(来源:UNDP)

即使是非常保守的估计,世界能源产量也必须增加两倍。经济合作与发展组织(OECD)的国际能源机构(IEA)预测,到2020年世界能源需求将增加65%,其中三分之二来自发展中国家。

英国皇家学会和皇家工程院提醒大家,“鉴于未来可能达到这么高的消费水平,如何能在使环境不受到不可持续的长期损害的条件下满足全球的能源需求,这确实是一项巨大的挑战。”这里所说的损害包括地表污染、空气污染和全球变暖。

### 明显的趋势

目前,世界能源主要来自石油(39%)、煤炭(24%)、天然气(22%)、水电(6.9%)和核电(6.3%)。虽然石油和煤炭目前仍占主导地位,但它们的市场份额在数十年前就已开始下降。与此同时,天然气和核电的份额一直在稳步增加,而且这种趋势会继续下去。

与反核组织的断言相反,核电既不是已经消失也不是正在消亡。法国大约75%的电力来自核电。另一些国家的比例是:比利时58%,瑞典47%,瑞士36%,日本36%,西班牙31%,联合王国29%,美国(世界最大的核电生产者)20%。大韩民国和中国已经宣布了其雄

心勃勃的扩大核电装机容量的计划——就韩国而言,它要建造16台新机组,使核电装机容量增加一倍以上。全世界目前运行中的核电机组有433台,满足着10亿多人的用电需要。

1990年以来,美国和全球的核安全水平和生产效率有了明显的提高。1998年以及1999年,正在运行的核电机组的容量因子(实际发电的机组容量与机组成装机容量之比)多次刷新记录。1999年,美国约100座反应堆的平均容量因子是85%,相比之下,1980年是58%,1990年是66%。在美国,与1998年相比,尽管1999年的核电机组数有所减少,但发电量却增加了9%。核电的平均生产成本现在只有1.9美分/千瓦时,天然气发电的生产成本则是3.4美分/千瓦时。

在美国的各工业部门中,核电仅仅依靠容量因子和运行实绩这两项的改善,就对美国实现限制排入大气的二氧化碳排放量的京都承诺作出了最大的贡献。与此同时,工作人员的辐射受照量及单位能量产生的废物量都创造了新低。

由于已经用了半个多世纪在全世界推广天然气发电与核电这两种大而复杂的工艺技术,因而在今后的一百年中,两者将共同担当起

发电部门领头羊的作用。究竟哪种技术将获得更大的份额,仍需拭目以待。它们都已开始被这两者替代的其它燃料清洁,供应来源更可靠,因而其优势应该获得人们的认同。

公正的环境学家理应欢迎这种过渡,并重新考虑他们对可再生能源的迷恋。

### 碳基能源

在诸多发电渠道中,就对环境的损害而言,煤是最厉害的。(石油是今天的主导能源,它支撑着运输业,应另作别论。)哈佛大学公共卫生系最近的研究成果表明,仅仅在美国,烧煤所产生的污染物每年约使15000人过早死亡。尽管煤给世界提供了约四分之一的一次能源,但烧煤释放的有毒废物量实在太,以致无法安全地加以处理。此类废物不是直接排入空气,就是被固化和倾倒。有些废物甚至被作为建筑材料。

除以气体或有毒颗粒形式排放有害化学品——二氧化硫和氮氧化物(酸雨和烟雾的组成部分)、砷、汞、镉、硒、铅、硼、铬、铜、氟、钼、镍、钒、锌、一氧化碳与二氧化碳,以及其他温室气体——外,燃煤电厂还是世界上释入环境的放射性物质的重要来源。铀和钍是遍布于地壳

之中的弱放射性元素，煤燃烧时会释放出这两种元素。

采煤时还会向外界排放放射性氡气，这些氡气是地壳中的铀衰变时产生的，平时被禁锢在地下。1000 MWe 燃煤机组释入环境的放射性，是同等规模核电机组的 100 倍。全世界由于烧煤释放的铀和钍每年约 37300 吨，其中 7300 吨来自美国。由于铀和钍是烈性核燃料，烧煤所浪费掉的潜在能量比它实际所产生的还多。

人们对烧煤时产生的放射性废物视而不见，突出说明核电所处的政治地位是何等的不利。现行法律迫使核电公司把资金投入昂贵的限制放射性释放的系统中，燃煤电厂却不必如此。在美国，因为担心有核扩散问题，核燃料并未高效地进行再循环利用。这些因素降低了发展核电的经济性，并产生了政治上难以处理的废物处置问题。如果迫使煤电公司承担同样的费用，则煤电就不再会比核电便宜。

## 可再生能源： 不断改变的现实

可再生能源——水电、太阳能、风能、地热能和生物质能——的总投资费用较高，而且有明显的环境后果（尽管一般人对此并不了解）。水电甚至不是真正的可

再生能源，因为库区最终会淤满泥沙。多数可再生能源收集的是极稀薄的能源，需要大面积的土地和众多的收集器以便使能源浓集。制造太阳能收集器、浇筑风车的混凝土底座、淹没库区的大片土地，都会引起环境的受损和污染。

用于收集太阳能的光电池都是很大的半导体；制造这些半导体会产生很毒的废金属和废溶剂，处置这些废物需要专门的技术。一座 1000 MWe 的太阳能电站，在其 30 年的寿期内，仅仅金属加工这一项就会产生 6850 吨有害废物。建造相同规模的太阳热能电站（用镜子把太阳能聚焦到中央的水塔上）所需的金属会产生 435000 吨生产废物，其中 16300 吨会受到铅和铬的污染，它们都是很有害的废物。

一个覆盖全球的太阳能系统，至少要消耗掉世上已知铁资源的 20%。建造这个系统大概需要一百年，维护这个系统又需要消耗掉全世界每年生产的大部分钢铁。制造足以覆盖 50 万平方英里地球表面的太阳能收集器及通过长距离输电系统把电力送至远方所消耗的能量，又会严重地增加全球的污染和温室气体负担。没有化石燃料或核能系统作备用的全球太阳能系统，一旦遇到

1815 年坦布拉火山喷发之类事件导致的太阳辐射下降的情况，也会是很危险的。那次喷发向大气释放了 40 立方千米的灰尘，在随后的几年中，这些灰尘使太阳辐射明显减少。在翌年的那个“没有夏季的年份”中，谷物大面积歉收。

风力发电场除了建造时需要数以百万磅计的混凝土与钢（同时也就创造了数量巨大的废料）以外，由于容量因子不高，因为是断断续续的，因而效率不高。它们还引起视觉与噪声污染，并且是鸟类的强大杀手。单单加利福尼亚的一个风力发电场每年就要杀死几百只猛禽，包括几十只金雕；被发电机叶片杀死的雕，比灾难性的埃克森瓦尔迪兹漏油事件中损失的还多。美国奥杜邦学会已经发起了一个拯救加利福尼亚秃鹰的运动，使它免遭拟建在洛杉矶北面的风力发电场之害。一座发电量和装机容量相当于 1000 MWe 化石燃料或核电厂的风力发电厂，需要安装 4000 多个大型风力发电机，占用数十万平方英里的土地，即使有高额财政补贴和不计潜在的污染费用，其发电成本也要比化石燃料高出一二倍。

虽然世界上四分之一以上的水电资源已被开发利用，但最近这些年，水电——

由于建大坝和水库需要淹没大片土地、迁移当地居民、改变河流生态环境、杀死鱼类和冒着发生灾难性塌方的危险——已经失去了环境学家们的支持,这是可以理解的。美国进出口银行拒绝给中国装机容量为 18 000 MWe 的三峡工程提供资金,部分原因就是听信了环境方面的院外游说。水力发电实际也向大气释放温室气体,而且比化石燃料发电释放的还多:淹没在水库中的植物,会在缺氧的情况下分解,释放出大量的甲烷,这是一种比二氧化碳更有害的温室气体。

再说地热能——它利用的是出现在喷泉地区或火山附近的地球内部热量——本身数量很少,而且往往位于风景区(例如美国的黄石国家公园),这些地区正是自然保护主义者极力想要保护的。

由于诸如此类的缺点,世界能源理事会和 IEA 等组织预测,水电占世界一次能源供应量的份额仍将维持目前的不超过 6.9% 的水平,而其他的所有可再生能源,即使有政府的大量补贴,它们的份额也只会从目前的 0.5% 增至 2020 年的不超过 5% 至 8%。美国在可再生能源发电方面处于世界领先地位,可它 1997 年到 1998 年的可再生能源发电量实际下

降了 9.4%: 水电下降 9.2%; 地热能下降 5.4%; 风能下降 50.5%; 太阳能下降 27.7%。

与受控热核聚变的梦想一样,尽管有领取高额补贴的和昂贵的研究开发,但世人依靠可再生能源产生的原始能源过活的空间继续在缩小。1997 年,美国给核能和煤炭的联邦研究开发投资为每兆瓦时只有 5 美分,石油 58 美分,天然气 41 美分;风力发电场则达到 4700 美元以上,光电池更是达到了 17000 美元。这么巨额的公共投资,如果不是用于可再生能源而是用于制造燃煤电厂与汽车的净化器,那该多好。

根据休斯顿能源研究所的 Robert Bradley 的研究,美国的节能项目及除水电外的其它可再生能源,20 年累计已经从纳税人那里得到了约 300—400 亿美元的投资——“这是美国历史上政府在和平时期的最大一笔能源开支。”Bradley 还估算出,“能源部用于补贴风能和太阳能的费用达到了 58 亿美元”,仅仅这笔钱就有可能“把全国 5000—10000 MWe 最肮脏的燃煤机组换成燃气复合循环机组,使这些机组的二氧化碳排放量减少三分之一到三分之二。”如果用核电置换煤电,则减少的二氧化碳排放量会更多。

尽管有大量的投资,节能和除水电外的其它可再生能源照样没有竞争力,给美国提供的能源也少得可怜。既然世上最富强的美国都负担不起这么昂贵的费用,那还有谁能负担得起呢? 很显然,不可能是中国。预计中国在 2025 年时除水电外的其它可再生能源产生的能量不足其商品能源的 1%, 届时煤和石油仍将占其能源供应量的大部,除非发达国家提供鼓励措施说服这个世界上人口最多的国家改变其计划。

## 各种方案的比较

与煤或油相比,天然气用作燃料有许多长处。在 21 世纪的上半叶,它在全球能源供应中的份额无疑会增加。但它的供应量有限,而且分布不均。与煤或油相比,它用作动力源时显得较贵,而且污染空气。一座 1000 MWe 的天然气电厂,每天要释放 5.5 吨二氧化硫、21 吨氮氧化物、1.6 吨一氧化碳和 0.9 吨颗粒物。在美国,1994 年利用天然气产生的能量约释放 55 亿吨废物。由天然气引起的火灾和爆炸危害也很大。一条长 1 英里、直径 3 英尺、压力为 1000 磅每平方英寸 (psi) 的天然气管道,包含三分之二千吨当量的爆炸能量;100 万英里长

的此种大管道能把地球捆起来。

核电的最大优点是它能从很少的燃料中获得巨大的能量。核裂变能把物质直接转变成能量,化学燃烧仅仅破坏化学键,前者释放出的能量是后者的几百万倍。1吨核燃料产生的能量相当于二三百万吨化石燃料产生的能量。燃烧1 kg 木柴能产生1 kWh 的电,1 kg 煤为3 kWh,1 kg 石油为4 kWh。而在现代化的轻水反应堆中,1 kg 铀能产生400000 kWh 的电;如果反复使用这批铀,则1 kg 能产生7000000 kWh 以上的电。数字方面的这种惊人差异,有助于说明核能与化石燃料在环境影响方面的巨大差别。一座1000 MWe 的电厂,每年需要2000节火车车皮的煤或10艘超级油轮的油,如果用天然铀则只需要12立方米。从化石燃料电厂(即使是安装了控制污染系统排出的是数以千吨计的有害气体、颗粒和含有重金属(与放射性)的灰尘,再加上有害的固体废物——对于煤,废物

中的硫高达500000吨,石油为300000吨,天然气为200000吨。

与之相反,一座1000 MWe 的核电厂,根本不释放有害气体或别的什么污染物\*,它所引起的人均辐射剂量比乘飞机旅行、家用烟雾报警器或电视机所引起的低得多。它产生约30吨高放废物(乏燃料)和800吨中低放废物——压实后总共约20立方米(粗略地说,相当于两辆汽车的体积)。全世界运行中的所有核电机组每年约产生3000立方米废物。可供比较的是,美国工业每年产生约5000万立方米的有毒固体废物。

高放废物当然是放射性极强的废物(低放废物的放射性有可能比煤灰的还低,而煤灰常被制成混凝土和石膏——这两者都可能成为建筑材料的一部分)。但由于高放废物体积小且并不直接释入环境,因而可以小心翼翼地用多层屏障把它隔离开来。由煤产生的废物,不管是以烟尘形式越过田野消散在空中还是被埋入近地表处,永远是有毒的。放射性核废物能不断地衰变,600年后能损失掉99%的毒性——正好在人类保护与保养的经验范围内,就像罗马万神殿和巴黎圣母院之类的构筑物所证明了的。

核废物的处置在美国是一个政治问题,因为人们普遍很害怕,其害怕程度与实际的危害很不相称。但是,正如法国、瑞典和日本的一些前瞻性质的项目所证明了的,处置核废物不存在工程方面的问题。据世界卫生组织的估计,室内和室外的空气污染每年引起约300万人死亡。用包装得很好的小量核废物代替化石燃料产生的分散的大量有毒废物,必然会极大地提高公众的健康水平。但令人感到惊讶的是,医生们一直要求不要进行此种替换。

美国现有核电厂的生产成本,早已完全可以与化石燃料电厂相竞争,虽然新核电厂的成本要高一些。但这种较高的价格有其虚假的一面。大型核电厂资本投资之所以比同等规模的燃煤或天然气电厂高,仅仅是因为要求核电公司建造与维护昂贵的、将放射性与环境隔离开的系统。

假如要求化石燃料电厂也把它们所产生的污染物隔离开,则它们的开销肯定要比核电厂高得多。欧洲联盟和IAEA已经断定,“生产同等数量的能量,由于燃煤和燃油电厂的排放物多,燃料需求量与运输量巨大,因而它们的社会费用是最高的,相应的生命损失也多。此种

\*目前,把铀精制和加工成燃料组件使用的是煤能源。煤能源当然会释放污染物。如果能使用核能作为工艺热,或如果燃料组件能被回用,则这个污染源就会被消除或大大减少。

外部费用是核电的几十倍，可以达到占发电成本的相当大部分。”在每吉瓦所引起的相应生命损失（即由于接触污染物而未活到预期寿命）中，煤每年造成 37 人死亡，石油 32 人，天然气 2 人，核 1 人。换言之，与核电相比，在保护环境和公众的健康与安全方面，化石燃料（和各种可再生能源）一直享受“免费入局”的优惠。

对于核电来说，即使估计其每年造成 1 人死亡，这个值也不一定是正确的。此种估计值是否正确取决于下面这一点是否成立：按照传统的“线性无阈值”（LNT）理论，所受到的大大低于本来就存在的天然本底的辐射量会增加致癌风险。虽然人们一直在按照 LNT 理论为与核电有关的各种作业和废物处置设计建造精致而昂贵的各种包封系统，但根本没有能证明低水平辐射受照量增加致癌风险的证据。事实上，有有力的证据表明事情并非如此。甚至还有有力的证据表明，受到低剂量放射性的照射会改善健康状况和延长寿命，这可能是免疫系统受到刺激所致，与打预防针的情况几乎一样（有关美国 90% 以上地区几十万家庭的本底氡水平的一项研究发现，肺癌发病率随着氡水平的增加而明显减小，吸烟与

非吸烟者均如此，这是非常有说服力的一项研究）。由核电引起的辐射水平这么低，再怎么说也是一种可忽略不计的风险。关于由烧煤引起的低水平辐射，煤炭地质与工程的主管部门提出的论点与上述的相同；例如，美国地质调查局的一份调查报告就得出结论，“煤和飞灰中的放射性元素不应该算作报警源。”核电的发展一直受到煤炭工业并未遇到过的那些限制的掣肘，核废物的处置也是没有必要地一拖再拖。

任何工艺技术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，每起事故一般要死掉几百人。1984 年的博帕尔化工厂大事故，使大约 3000 人立即死亡，几十万人中毒。按照美国环境保护局的说法，1987 年到 1996 年之间，美国发生 60 万起意外释放有毒化学品事件，共死亡 2565 人，伤 22949 人。

相比之下，核事故的数量很少，而且是最少的。最近在日本发生的广为报道的事故，并非发生在核电厂中，而是发生在处理研究堆用燃料的设施中。它并未引起公众死亡或受伤。至于切尔诺贝利爆炸，它是在运行一座原

理上有缺陷的反应堆时由人的差错引起的，如果在西方，这种设计是不可能得到批准的。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。在受到放射性落下灰照射的乌克兰儿童中，甲状腺癌一直在增加，这种癌本来是可以服用碘预防药防止的。已确诊的有 800 多例，预计还会有几千例；虽然这种病是可治疗的，但仍有 3 名儿童已经死亡。基于 LNT 的计算，在切尔诺贝利地区的常住居民和清理事故现场的人员中，预计会有 3420 人死于癌症。切尔诺贝利反应堆没有安全壳，在西方的反应堆中，这是一种必备的安全系统。事后的计算表明，如果有此种构筑物，就可以把这次爆炸和它所产生的放射性封住，就不会有人员伤亡了。

与迄今为止后果最为严重的这起核电事故有关的这些数字，显然要比别的工业部门中发生的大型事故低。商业核电站 40 多年的运行经历证明，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安全得多。

## 重新评价再循环

核反应堆中使用的铀，多半是惰性的和不易裂变

的,不可能用于制造核武器。然而,运行中的核反应堆,能产生有可能用于制造核武器的易裂变钚,因此,核电的商业化引起了人们对扩散核武器这种风险的关注。1977年,卡特总统在列举了种种扩散风险之后,决定无限期地拖延“乏燃料”的再循环。这项决定实际上结束了美国的核燃料再循环,尽管此种再循环能减少核废物的体积和放射性毒性,并可将核燃料的供应时间延长数千年。其它国家对此类风险也进行了评估,结论不尽相同,多数国家并未跟着美国走。法国和联合王国现在就在进行乏燃料后处理;俄罗斯正在积存燃料和已分离的钚,以便帮助启动将来的快中子堆燃料循环;日本已开始在其的反应堆中使用再生的钚钚混合氧化物(MOX)燃料,最近又批准在2007年之前建成一台全部使用MOX的新核电站。

虽然理论上能将动力堆产生的钚用于制造核爆炸装置,但乏燃料很难处理,放射性很强,超出了恐怖分子的处理能力。用反应堆级钚制成的武器,放射性很强,性能不稳定,而且爆炸威力不确定。印度一直在从坎杜型重水堆中提取武器级钚,并禁止别人检查它已建成的一些两用性质的反应堆。但是,联合王国或法国的后处理设施

或燃料运输设备中的钚,从未被转用于武器生产;IAEA的检查工作有效地阻止了此种转用。IAEA已得出结论,这种扩散风险“并不是零,即使核电不再存在也不会变成零。不断地得到加强的这种不扩散制度,将仍然是防止核武器扩散的种种努力的基石。”

具有讽刺意味的是,把未经后处理提取出钚的乏燃料埋掉的这种做法,实际上还会增加核扩散的远期风险。这是因为,乏燃料中不易裂变的和放射性较强的同位素经过一至三百年的衰变,会使其中所含钚的爆炸质量改善,这样的钚对于核武器来说更有吸引力。再循环除了能使全世界的铀资源得到几乎无限制地扩大外,还可以在把钚转化成有用能量的同时,将其转变为寿命较短、不可裂变和无危险的核废物。

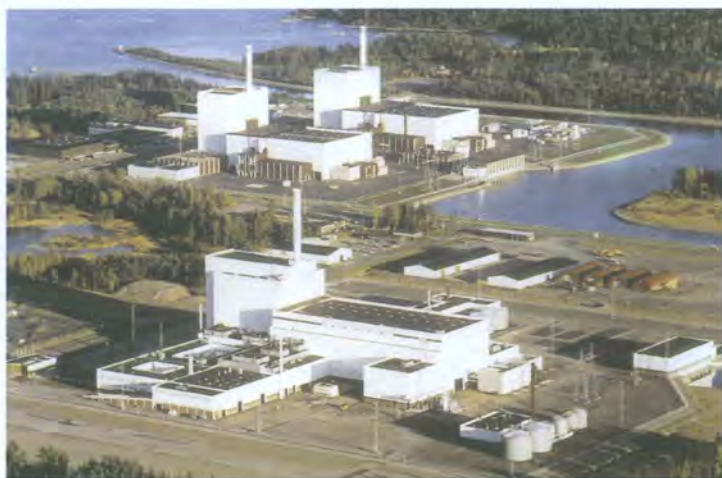
超级核大国花费数十亿美元生产的几百吨武器级钚,在过去十年中已成了剩余军用物资。与其将这种战略上使人头痛但在能源方面宝贵的材料掩埋掉——就像华盛顿一直建议的那样——不如将它再制成核燃料。如果有一个负责再循环和管理此种燃料的国际体系,就能防止隐蔽的扩散。就像洛斯阿拉莫斯国家实验室的Edward Arthur、Paul Cunningham和Richard Wagner所设想的那样,此种

体系将把以下因素结合在一起考虑:受到国际监测的可回取的库存、将全部已分离钚加工成供动力堆使用的MOX燃料,以及从更长远的观点来看,先进的用于处理材料的一体化反应堆。(这种反应堆能接收、管理和处理从世界各地的反应堆中卸出的所有燃料,发电和使乏燃料变成便于永久地质贮存的短寿命核废物)。

### 下一个新事物

为了使缺乏核基础设施的较小的发展中国家得益于核电,有必要设计新一代的小型模块式核电站——它应该可以与天然气机组相竞争,并且更加安全、能防止扩散和易于操作。能源部已经给这种“第四代”机组的三种设计拨了款。南非的Eskom电力公司已经宣布了销售模块式球床气冷反应堆的计划,这种堆不需要应急的堆芯冷却系统,而且其堆芯实际上是不可能“熔化”的。Eskom估计,该种反应堆生产的电力其成本约为1.5美分/千瓦时,比复合循环燃气机组的还低。麻省理工学院和爱达荷国家工程与环境实验室正在开发类似的设计,以便给生产氢和海水淡化之类的工业过程供应高温热。

目前石油主要用于运输业,但内燃机技术已经发展到极点。运输污染的进一步



减少,只有靠放弃石油和开发供小汽车与卡车使用的无污染动力系统才能实现。给电动汽车的电池充电,只不过是流动分散的污染源变成了相对集中的污染源而已,除非这种集中的电源是核电。目前正在接近商用化的燃料电池,或许是一种较好的解决办法。因为燃料电池是利用气体或液体燃料直接发电的,因此它们加注燃料的方式与目前内燃机的方法相似。当使用纯氢作燃料时,燃料电池产生的废物仅仅是水。由于氢是能够利用热或电从水中获得的,因而我们可以设想一种污染最少的能源基础结构,即将依靠核动力产生的氢用于运输、将核电和工艺热用于其它的许多应用,并将天然气和可再生系统作为备用。

让核电扮演如此重要的

照片:瑞典的福斯马克核电厂。  
(来源:Göran Hansson)

角色,不仅能使碳不断地在大气中积累的情况停止甚至最终使其逆转。在此期间,使用天然气的燃料电池有可能明显减少空气污染。

### 给未来提供动力

为了满足全世界日益增长的能源需要,英国皇家学会和皇家工程院的报告建议“成立一个从事能源的研究开发的国际团体,其经费来自各国根据GDP或全国的能源总消耗量提供的会费。”该团体“本身不是一个研究中心,而是一个提供经费的机构,给别处的研究、开发和示范项目提供支持。”它的预算或许可达到每年约250亿美元,“大体上等于全球能源总预算的1%。”如果它真的想开发高效可靠的能源供应,则这样的团体应该把精力放在以下方面:核选择,建立可靠的国际核燃料贮存与后处理系统和给发展中国家提供用于给模块式核电系统

的选址、集资和办理许可证等方面的专门人才。

据研究能源技术动态变化的 Arnulf Gruebler、Nebojsa Nakicenovic 和 David Victor 等人称,“在全球和多数国家中,由电力供应的能源的份额正在快速增大。”纵观历史,人类一直在逐步降低主导能源中的碳比例,稳步地远离污染能力较强的富碳来源。世界就是这样从依靠煤炭(其氢碳原子比为1,是1880年至1950年期间的主导能源)转到依靠石油(其氢碳原子比为2,是1950年至今的主导能源)。天然气(其氢碳原子比为4)正在稳步增加其市场份额。而核裂变根本不产生碳。

作出对世界的未来生死攸关的决定,应该依据物质方面的现实,而不是依据公司的贪婪、假想的风险、辐射照射,或是废物处置方面的论点。因为多样性和多重性对于安全性和可靠性来说是重要的,因此可再生能源应在下个世纪的能源经济中占有一席之地,但核电应该占据核心地位。尽管核电有极好的记录,但反而被它的反对者像流产和发育之类有争议的意识形态冲突一样迫到了昏暗的境地。它理应受到褒奖。核电是环境方面安全的、实用的和人们用得起的。它不是祸害——它是最好的解决办法之一。 □