

# 核能的应用

王 祝 翔

近 30 年来,核能的利用发展很快. 在一些工业发达的国家已成为电能的重要组成部分(见图). 积极开展对核能的开发和利用, 将是未来能源中的一个核心. 预计到 2000 年核电可能占总发电量的 20—30% 左右.

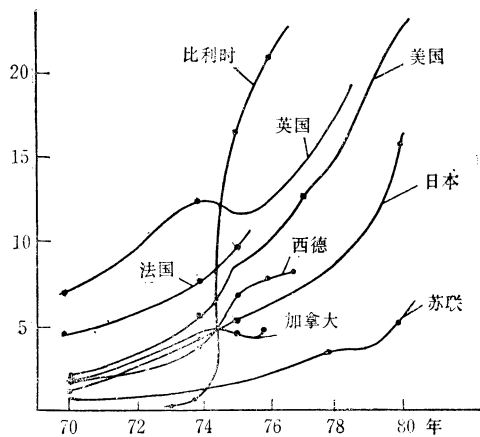


图 1

核能就是指由原子核的链式反应所产生的能量, 它包括已经广泛应用于原子电站的核裂变能和正在开展基本研究的核聚变能(即可控热核能). 用慢中子使重原子核裂变成二个中等核的反应叫做裂变反应. 把轻核(如氢的同位素核氘、氚等)聚合成稍重的原子核(如氦核)的反应叫做聚变反应. 譬如, 原子弹和原子反应堆就是利用重核(铀核, 钚核等)的裂变反应. 而氢弹则是利用轻核的聚变反应, 太阳也是由轻核的聚变反应而放出大量能量. 裂变反应的核能利用已经比较成熟. 目前世界上所有运行和建造中的核能发电站都是利用这种反应. 受控聚变反应的核能利用, 至今仍是科学技术上一个未曾解决的问题, 正在大力研究之中, 到实际应用还为期较远, 估计在下世纪初能以可控方式加以应用.

## (1) 核(裂变)能发电

慢中子与铀 235 核进行链式反应, 在放出大量中

子的同时, 要放出大量热量. 一个铀 235 核的裂变将放出约 200 MeV 的能量. 而一个碳原子和二个氧原子化合(即燃烧过程)才放出几个 eV 的能量. 就一个反应看, 核裂变能要比化学能大几千万倍. 因此, 用核燃料来保证发展原子能是使人类在较长时期内避免能源危机的合理途径. 这条途径还能显著提高国民经济活动的效率.

据国际原子能委员会公布, 1983 年世界总核能发电量比 82 年增长 15%, 为 82 年速度的二倍. 83 年又建成 23 个核电站. 现核电厂总数已达 317 个, 分布在 25 个国家、地区内. 总发电量为 191000 兆瓦, 占世界全部发电量的 12%. 到 1983 年, 总发电量为 194000 兆瓦, 比现有核发电能力还大. 这充分说明, 核能发电正在蓬勃发展. 其中以法国最为突出, 1983 年 6 月, 法国已经成为世界上第一个核电占本国总发电量 50% 以上的国家.

地球上核燃料资源储量究竟有多少? 能用多长时间? 地球上已探明的、有经济开采价值的铀矿资源估计不超过 400 万吨, 折合能量约与地球上石油资源的能量差不多. 目前用在原子能发电站中的核燃料是铀-235, 但它仅占天然铀的 0.7%. 也只有 1% 左右的铀-238 引入燃料循环. 如果按目前使用方式及消耗水平, 大概只够用几十年. 但是, 现已成功地开辟了扩大再生产核燃料可能性的途径. 在核电反应堆中的链式裂变反应, 除了产生热能以外, 还产生多余的中子. 这些中子有一部分会与铀-238 产生反应, 经过一系列放射性转化后, 变为钚-239 而钚-239 也是核燃料. 此外, 如把钍-232 放在堆中, 经中子作用后, 最终会变成铀-233, 而铀-233 也是核燃料. 将钍-232 转变为铀-233, 就有可能扩大核燃料资源, 因为自然界钍的储量要比铀多几十倍.

如果把新燃料钚-239 或铀-233 的分裂和形成过程在反应堆中结合起来, 就可以建成基本上不仅不需要消耗“燃料”, 而且还能增加“燃料”的系统. 这叫做增殖反应堆. 在这种反应堆中, 1 公斤天然铀可以发出比用铀-235 的热中子普通反应堆多达 30—40 倍的

能量。如果能从天然铀中多获得 30—40 倍的能量, 就可使用价格低的铀或钍, 而且还能使用较贵的铀或钍, 从而可对分布在海水中、贫铀矿、酸性岩石的几百亿吨铀和更多的钍进行能源研究。这种生产原子能的核资源足以使用几千年。

除核能发电以外, 苏联还制订了城市供热反应堆的设想, 即把反应堆直接放置在居民区, 其安全性是绝对保证的。现已开始兴建。虽然原子能供热站本身的投资比普通供热锅炉高, 但由于燃料循环耗量极低, 产热单位成本大大低于普通方式, 所以在 5—6 年内就可以收回成本。这种供热站, 无气体排放物, 显著改善城市的大气污染, 可节约几亿吨燃料, 减轻燃料运输负担。

能否使用原子能来获得高热能, 使之用于冶金、化工及其他部门。苏联、日本、西德、英国等科学家已开展这方面的研究。

利用核能高温废气还能非常有效地实现一系列的工艺流程改革。其中间产品是氢, 可用作冶金工业的还原剂和载体, 以及在许多化学生产部门中用来生产氮肥、乙醇等。现在, 原子能已应用于发展粉末冶金, 生产铵、化肥、甲醇等。此外, 原子能还可用于海水淡化。在淡水不足的城市中, 兴建以原子能热电站为基础的, 供饮用水的大型供水站具有广泛前景。苏联舍甫柯柯市用该技术得到的淡水已把沙漠建成繁荣的绿色边疆。作为中间产品的氢和甲醇, 可有效地用作化工原料和运输燃料。

原子能发电站的另一优点是可建在地球上的任一地区。可以靠近原料源, 从而能进一步加速工艺流程的电气化。如研制成从水中经济地制取氢的新方法, 则今后大部分运输工具将使用不污染大气的氢作为燃料。生产价格便宜的氢是今后核能极其重要的发展方向, 是核能进入化学工业、运输业、冶金工业的途径。

利用核能还有主要的社会意义。广泛应用核能可改善环境, 使少受废气污染。许多工业发达的国家, 目前燃烧大量普通燃料消耗的氧要比绿色植物再生的氧多得多。对氧的需求量问题将随核能的发展而得到缓和。

综上所述, 为了利用实际上不受限制的核燃料, 建立自给自足的能源系统, 发展将普通反应堆与快中子反应堆结合起来的技术应是今后的主攻方向。

我国发展核能的途径与世界上许多国家相似。从我国现有基础条件(核燃料资源和技术力量)看, 发展核能是完全可能的。前期可选用较成熟的堆型, 用铀-235 作燃料。以积累经验 and 培训队伍。但这条技术路线核燃料的利用率低, 不可避免会遇到核燃料短缺的问题。这牵涉到我国铀的有限资源, 因此也应大力研究和发发展用增殖反应堆的热电站。同时要考虑核能的其他方面的多种用途, 最后做到能综合利用。当然, 在开发核能时, 首先必须解决以下一些问题: i) 确保核

能发电的绝对安全。ii) 提高可靠性和工作效率。iii) 确定我国的核燃料循环。iv) 加强排除和处理放射性废料的措施。然后要考虑开发和利用新型高效反应堆。

## (2) 受控核聚变能源

与重原子核裂变时放出能量的情况相仿, 当氢的同位素氘 D, 氚 T 聚合成氦核时也能放出大量能量。例如一个  $D(p, n) + T(p, n, n) \rightarrow \alpha(p, p, n, n) + n$  反应, 能放出 17.6 MeV 的能量。作为比较, 一个碳原子  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  (煤炭燃烧过程) 仅放出 4eV。太阳放出巨大的能量, 就是因为太阳内部在进行大量核聚变反应。氢弹的原理也是这种核聚变反应, 但释放能量只是极短促的一瞬间, 因而不可控制的。受控核聚变则是指核聚变释放能量的过程是可以被控制的。

如何实现聚变反应过程? 要使聚变反应能够发生, 必须使带正电的轻核能聚合在一起。由于同性电荷存在互相排斥的库仑力, 要使它们克服静电排斥力而聚在一起是非常困难的。为做到这一点, 需要把轻核燃料温度增高到几千万度, 甚至上亿度。因而聚变反应有时又称之为热核反应。

理想的聚变燃料应具备储量丰富, 易于提取, 释能大, 容易达到产生聚变的条件。氢同位素 H、D、T 就是这种材料。但是实际上氢 H 是不行的(虽然 4 个质子合成一个氦核可放出 26 MeV), 因为反应速度太慢。氘核 (p, n) D 在天然水中含量丰富, 提纯也没有困难。在水中所占比例是 1/6500。世界上总贮藏量达 10 兆兆吨 ( $10^{13}$  吨), 是极有前途的聚变燃料。氚核 (p, n, n) T 是放射性同位素。在自然界中几乎没有, 但可利用锂核作原料人工制造, 也是一种好的聚变燃料。以下列出几种可能的聚变反应:  $D + D \rightarrow He^3 + n$  3.2MeV,  $D + D \rightarrow T + p$  4.0MeV。这两种反应只消耗氘核。要求温度大于 5 亿度, 故较难实现。  $Li^6 + n \rightarrow He^4 + T$  4.8 MeV,  $Li^7 + n + 2.8MeV \rightarrow He^4 + n + T$ ,  $D + T \rightarrow He^4 + n$  17.6 MeV。这三种反应联合, 只消耗氘核和锂核, 温度大于 1 亿度, 相对较易实现。

如何达到这样高(亿度)的温度? 在高温下如何把聚变核燃料的核约束在一起? 这是二个需要解决的难题。具体讲, 使聚变反应堆成为“自维持系统”, 要满足二个基本条件: ①温度达到 1 亿度 (D + T 反应)。②合适的离子密度和约束时间(劳逊条件)。一般讲, 要求离子密度越大越好, 但太大会产生极高压强, 很难约束, 而且释能太快, 来不及输出。合适的粒子密度 (n) 为  $10^{14}—10^{16}/\text{厘米}^3$ , (大气密度为  $3 \times 10^{19}/\text{厘米}^3$ )。等离子体压强 14 公斤/厘米<sup>2</sup>。约束时间 ( $\tau$ ) 也是重要因素。  $n\tau > 10^{16}(D + T)$ ;  $n\tau > 10^{16}(D + D)$ 。目前已有许多国家使用托卡马克等离子体反应器、热核靶激

光电子和离子加热等技术。

几十年来，受控核聚变的研究一直是人类探索新能源的尖端课题。其最终目标是要使轻原子核内贮存的能量受控制地释放出来，转换成电能供人类使用。受控核聚变供应动力技术如获成功，则其最大优点是释放能量大，燃料藏量丰富。就拿氘核来说，一克氘核聚变所放出的能量相当于 100 立方米汽油燃烧放出的能量。在海水中，每一升海水，约含有 3 毫克氘，而它的潜在能量相当于 300 升汽油。因此，一旦掌握了这项技术，地球上浩瀚的海水就将成为人类用之不尽，取之

不竭的新的能源。

核聚变反应器要比反应堆安全得多，基本上不存在环境污染问题。从海水中提取氘成本是相当低的。此外，要用到的锂，贮藏量也是很多的。总的来说，这一领域对整个人类发展国际合作也很重要。由于在热核聚变过程中要放出高能中子，这些中子可以用来从铀-238 中获得钚-239，或从钍-232 中获得铀-233。看来，这种混合型系统可能会比热核系统先建成。

在国外，受控热核聚变的研究现已奠定转入工程技术阶段的基础，在下一世纪的前二十五年内，容量为几千万千瓦的最大热核电站有可能投入使用。