

“核”电站和核“潜”艇的核



王连璧

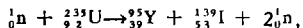
新华社报导了我国核电站的建设情况，发表了我国核潜艇的照片，这表明我国在核能利用方面的新进展。

自从苏联在 1954 年建成世界上第一座原子能发电站，在 1962 年制造出世界上第一艘原子破冰船以来，近二、三十年的时间内，世界上不少国家建设了核电站、制造了核动力舰只。据报导，目前世界上核电站的发电能力已占总发电能力的 15% 以上，核舰只的数量也越来越多。

核电站、核潜艇等的“核”就是核动力反应堆。

核动力反应堆是为核电站的发电机和核舰只的发动机提供动力的核反应堆。更确切地说，是为汽轮机的工作物质提供热量的核反应堆。当然，目前实际应用的还只限于核裂变反应堆，就是说，是维持裂变物质原子核的可控中子诱发链式裂变反应的装置。核反应堆一般由堆芯、中子反射层、辐射屏蔽层和冷却系统、控制系统等组成。

堆芯也叫活性区，其内有结构材料、核燃料(裂变物质)、中子慢化剂、控制棒等。堆芯是核燃料铀-235(或铀-238、钚-239、铀-233)进行裂变反应的地方。典型的裂变反应式为



即一个中子击中一个铀-235核后，使它裂变成核素钇-95和碘-139并放出两个中子，两个中子又可能击中其他的铀-235核，再引起类似的裂变反应。这一系列的裂变反应放出巨大数额的能量。据计算，1公斤铀-235完全裂变放出的能量可达八十万亿焦耳($8 \times 10^{13}\text{J}$)，约相当于两千吨汽油完全燃烧所放出的能量。中子慢化剂一般由石墨、重水(D_2O)或水充当，裂变反应放出的中子与慢化剂中的碳、氘或氢核碰撞，减少自己的能量而变为能更有效地诱发铀-235(或钚-239、铀-233)核裂变反应的热中子。控制棒通常用镉做成，用来吸收一部分中子，通过控制棒放入活性区的多少来调节裂变反应率，从而调节核反应堆的运行功率。

中子反射层通常由包裹在活性区外面的石墨层充当，它的作用是将跑出活性区的中子的一部分反射回活性区，以减小核燃料的临界质量。

辐射屏蔽层一般是包裹在反射层外面的、厚厚的混凝土层，它的作用是吸收掉来自活性区和反射层的中子及 γ 辐射，以避免其对反应堆周围的人员和设备造成辐射损伤。

冷却系统把热量从堆芯带出，以免堆芯温度升得过高而被损坏。控制系统则是为了开堆停堆和改变反应堆的运行功率而设置的。

核动力反应堆的特点是功率密度(单位活性区体积的功率)比较高，一般都在 100MWm^{-3} 以上。因而在核燃料包装、冷却系统结构等方面都有自己的特点，并且有一些特殊的附属设备。

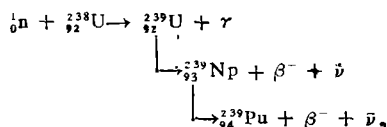
核动力反应堆的一种堆型叫做压水堆，所用核燃料为浓缩铀(铀-235所占比例较天然铀高的铀)或近乎纯的铀-235(当然也可以是钚-239或铀-233)。由于燃料中的铀-238比较少，所以由铀-238吸收中子但是不发生裂变反应造成的中子损失也比较少。因而在堆芯中可以有比较多的结构材料，燃料包装也可以比较厚。有一座压水核动力堆，用含铀-235百分之二到三的浓缩铀作为燃料。将铀制成 UO_2 颗粒，再用耐腐蚀的锆合金包裹成直径约 1 厘米、长约 4 米的燃料棒。用约 40,000 根燃料棒与 1,000 根控制棒间隔排布组合成堆芯，浸没在快速循环着的轻水(H_2O)中。水既作为中子慢化剂，也作为活性区的冷却剂，通过循环从堆芯取出可供利用的热量。浓缩铀核燃料与水慢化剂的组合，给出 100MWm^{-3} 的功率密度。堆芯和冷却剂都装在一个压力容器中，处在 150 个大气压的高压下，以保持水在 300 到 330 $^{\circ}\text{C}$ 的工作温度下仍然为液态。工作温度比较高，因而有比较高的热效率。当然，更高的温度可以获得更高的热效率，但是必须考虑到包装材料和其他材料的安全工作寿命。这座反应堆还有许多附带的安全装置，例如应急冷却系统，当冷却剂循环泵失灵时，能保证堆芯不至于熔化。整个反

应堆被密封在一个坚固的水泥容器中,以确保压力容器或管道破裂时放射性物质不会扩散。来自堆芯的高压热水通过蒸汽发生器循环,使汽轮机回路中的水在蒸汽发生器中形成高压蒸汽以驱动汽轮机运转。这座核反应堆裂变热功率为 3,000 MW,可以产生 1000MW 的发电功率。

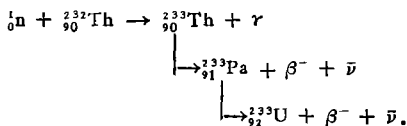
核动力反应堆的另一种堆型是沸水堆。沸水堆没有蒸汽发生器,与核燃料棒接触的水直接在压力容器内沸腾而形成驱动汽轮机的蒸汽。

第三种型式的核动力反应堆是用浓缩铀核燃料、石墨慢化剂,以氦气作为热交换介质冷却堆芯并把热量从堆芯带出以供应用。

有一种叫做快增殖堆的核反应堆,功率密度可达 100 MWm^{-3} ,也可以作为核动力反应堆。它的活性区由高浓度的铀-235 或铀-239 和氧化天然铀的混合物与冷却剂组成。核素铀-238 的快中子诱发裂变也是反应堆的能量来源。冷却剂为液态金属钠,通过热交换器循环,把汽轮机回路中的水变成高压蒸汽,与压水堆的情况相似。应用液态金属钠作为热交换液体,堆芯不必在高压下运行就可以维持高的温度和高的热力学效率。另一方面,液态金属钠是电的良导体,可以用电磁泵驱动它循环而大大减少机械防漏循环泵所带来的麻烦。这种反应堆所以被称为增殖堆是因为它能够把核燃料中的铀-238 以及包在活性区外围的铀-238 (或钍-232) 转变为核燃料钚-239 (或铀-233)。具体反应为。



即,铀-238 核俘获一个中子,生成铀-239 核,放出 γ 光子;铀-239 核 β^- 衰变(放出一个电子和一个反中微子,寿命约 23 分钟),生成镎-239 核;镎-239 核再 β^- 衰变(寿命约 2、3 天),生成寿命约 24000 年的钚-239 核。钚-239 具有比较大的热中子诱发裂变截面,可以作为核燃料。钍-232 的转化反应式为



如果适当设计,快增殖堆每裂变 1 公斤铀-235 (或钚-239)可以利用铀-238 或钍-232 生产 1 公斤以上的钚-239 或铀-233。就是说,快增殖堆可以将地球上藏量比较多的铀-238 和钍-232 转变成藏量很少或无蕴藏的核燃料。因此,快增殖堆是一种很受欢迎的堆型。

核动力反应堆能把核能转变为动力。对于能源紧张的当今世界来说,建造核动力反应堆是很必要和很

有利的。当然,核动力反应堆的运行过程中会产生大量的放射性废物,而恰当地处理放射性废物是一种比较麻烦的事情。不过,火力发电站和燃油发动机产生的化学废物同样给人类带来不可忽视的危害。相对而言,建造核动力反应堆所带来的问题并不是那么令人担忧的。对于煤、石油和水力资源比较缺乏的国家来说,建造核动力反应堆尤其是利大于弊。因此,世界上的核动力反应堆的数量越来越多,并且将以更快的速度发展下去。

(上接第24页)

(四) 压缩态光的应用前景

光学测量中最强有力的手段之一是干涉测量法,其精度为光波长 (10^{-7} 米)量级,在德克萨斯小组和贝尔实验室所做原理性实验中,噪声被降到量子极限之下,下降量最高达百分之五十。

用压缩真空涨落提高干涉仪灵敏度,在引力波检测方面有最直接的应用。天文学家预言在超新星爆发时会发射大量的引力波,但这种波很弱,目前设计的最灵敏测试手段在精度上远达不到。美国加州理工学院和德国马克斯-普朗克研究所正在设计激光干涉仪,如果用压缩光代替入射到分束镜上的真空涨落,理论上可期望将精度提高一百万倍。当然,由于光学元件的各种损耗,估计实际提高精度约十倍,而这就能使探测引力波得以实现。

另一种用到干涉测量的仪器是激光陀螺仪,它测量的不是距离的变化,而是角度的变化。激光陀螺仪本身的灵敏度已相当高,如果精度再能提高十倍,就有可能测量广义相对论所预言的地球自转引起空间畸变的现象。

在原子分子光谱方面,压缩态光不仅会减弱噪声提高精度,还将开辟一个新的研究领域。目前,压缩态光场同原子和分子的相互作用仍不清楚,理论探讨刚刚开始。

除此以外,压缩态光在实际应用方面也有广阔的前景。在微波波段,某些约瑟夫逊超导器件已接近量子噪声极限,光通讯和光计算等尖端技术也很快将发展到量子噪声极限,到那时只有借助压缩态光才能继续取得进展。压缩态光将是人们揭示量子噪声极限禁锢下未知世界奥秘的有力手段。