中公网 OFFCN.com
国内唯一深度研究与辅导机构
实战、专业、深度、破译
—最专业的公务员考试研究、辅导、测评、服务机构

核能的开发和利用

1、核能的来源

从 1932 年发现中子到 1939 年发现裂变，结果经历了七年之久才把巨大的裂变能从铀核中解放出来。它同已知的只有几个电子伏的化学能相比要大几百万倍，而同一般的核反应能相比也要大十倍左右。科学家们为了能很好利用它，就需要设法找到产生这种巨大能量的根源。

早在发现放射性和放射性核素的初期，人们从贝克勒尔和皮埃尔·居里曾经被镭射线烧伤过皮肤的现象中觉察到，各种射线的确具有很大能量。例如，铀原子核衰变能量要比碳原子化合时所释放的能量大两百万倍。而人类对各种化学能的应用早就开始了，但对放射能的实际应用却迟迟不得实现。这是由于这些放射能的释放过程非常缓慢，也就是说这些天然放射性核素衰变时的能量释放率太小，故没有开发应用的价值。即使这样，科学家们还是对放射能的来源问题很感兴趣。从唯物主义者对物质世界的认识论观点出发，各种能量都不能凭空臆造或无中生有，它只能隐藏在物质之中。

当时人们已知原子是组成物质的最小单位，因此很自然地认为放射能是存在于原子内部。那是在 1903 年，当卢瑟福研究了 α 射线的能量后曾经指出：“这些需要加以思考的事实都指向同一个结论，即潜藏在原子里面的能量必是巨大无比的”。所以至今人们仍把放射能叫做“原子能”。

然而，随着核科学的不断发展，在 1911 年，卢瑟福又发现了原子中存在着某一核心部分，即找到了原子核。并从它的特性中知道，原子质量的绝大部分都集中在原子核上。这样，人们就认为原子核中储藏着巨大能量的说法更能反映客观实际。而放射能实际上也就是由于原子核自身发生变化时所释放出的能量。另外，原子能的提法又很容易和化学能相混混淆，所以把放射能称之为“核能”更符合实际情况。

但是，有些唯心论的学者曾经企图从原子核的放射性衰变现象中，作出物质似乎可以转变为能量的错误结论。他们认为，在放射性核素的衰变过程中，物质似乎消失了，而能量却无中生有了。然而，随着核科学的迅速发展，很快就驳斥了唯心论者的谬误。这就是在 1905 年，由杰出的天才理论物理学家爱因斯坦发现了能量和质量关系式后才实现的。他是一个出生在德国，后来先后加入过瑞士和美国国籍的犹太人。他所提出的“狭义相对论”理论不仅能证实能量转变和守恒定律的正确性，而且完全适用于核衰变的过程。根据他对各种运动物体的观察(特别是那些作高速运动的物体)和分析的结果。发现随着物质运动速度的增大，特别是接近光速(每秒 30 万公里)时，运动物质在运动方向上的长度(即由静止观察者所测得的长度)就越来越短；而其质量却越来越大。

根据爱因斯坦的相对论理论，对于高速运动的电子(如阴极射线)，它的运动速度已很接近光速，为 260000 公里／秒。此时电子质量可猛增到原来的两倍。这一结果由德国物理学家布赫雷尔在 1908 年直接从实验测量中得到证明，且和爱因斯坦的理论预测值刚好相一致。由此不难看出，能量的增加并不意味着质量的减少。相反实际上物体运动速度加快后，不但能量增加，而且质量也变大。这就驳倒了唯心论者认为放射性现象的发现，物质似乎可以转变为能量的错误说法。微观世界中的这种奇妙现象再次证明了“自然界中的一切运动都可以归结为由一种形式向另一种形式不断转化的过程”和“把能量理解为物质的运动”的精辟见解的正确性。

另外，爱因斯坦在自己论述相对论的论文中，又大胆地用一个非常简单的关系式 E＝mc?，把以前一直认为相互毫无关系的、性质也截然不同的质量和能量连结在一起。公式表示了能量和质量间互相换算的数量关系，即质量和能量是互为正比关系的。但这决不表示能量就是质量或能量和质量间相互可以转化。我们知道能量是物质运动的量度，它和物质运动的状态有关，是物质的一种属性；而质量是物质惯性和引力的量度，它也和物质的本性有关，是物质的另一种属性。

例如，我们可从质能公式算得一克质量所相当的能量为九万亿亿尔格。虽然尔格本身是一个很小的能量单位，但是九万亿亿个尔格相加起来相当于把 1000 万吨重的东西提升到 1 公里的高度，或可供一个 100 瓦的灯泡点亮 35000 年。但是实际上人类对这种能量的利用率仅为千分之一左右，所以它是一种威力巨大无比的能源。正是由于这种微小质量与巨大能量在数值上有着天渊之别，才使得人们在自己的科学实验中，很长时期未能发现它们之间的关系。而在一般化学反应中，与释放能量相对应的反应物质量也能稍微减少一点。然而，这个微小量的改变，人们几乎觉察不到。如果我们燃烧 1 加仑(等于 3.785 升)汽油，其相当的质量是 2800 克。它在燃烧过程中与 10000 克左右的氧气化合成二氧化碳和水，并能产生 1.35 亿焦耳的能量，能驱动一辆汽车行驶 25～30 公里路程。但从质能关系式中可看出，这些能量所相当的质量仅比百万分之一克略多一点。这就是说，最初参加化学反应的反应物重量是 2800 克加上 10000 克等于 12800 克。而反应后的生成物包括二氧化碳和水的重量是从 12800 克中减去一个微小量(百万分之一克)。当时，十九世纪的化学家所用的测重仪是量不出这样微小变化的，所以那时科学家们都深信质量是永远守恒的。

2、核力和结合能

我们知道化学反应过程中所释放的能量，主要来源于把原子保持在分子中的力，这种力的大小与原子的外层电子分布结构有关。当两个以上原子合拢在一起组成分子时，各原子的电子云就会发生变化，将组成共同的电子云把分子中的所有原子核笼罩在一起。在此同时并释放出能量，通常称为化学结合能。所以化合物分子的能量总是低于它所包含的各原子能量的总和。

中公网总站：www.offcn.com　　邮箱：offcn.com@163.com
电　话：010－62698755，82387776
地　址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

与此类似，隐藏在原子核中的核能，就是起源于组成原子核的核子(质子和中子的统称)之间的很强的作用力。特别是对于那些原子序数高的、质量大的原子核，它们聚拢着为数众多的质子和中子。例如第 83 号元素铋，在核中有 83 个带正电荷的质子和 126 个不带电的中子，总共 209 个核子彼此居然能挤成一团，在核内排列得如此紧密，也不因为质子间的静电斥力而飞散开来。那么核子间到底是由一种什么样的奇异力把它们连结在一起的呢？

当然，除了由电磁作用所造成的质子之间的静电斥力外，根据具有质量的物体之间的相互作用核子间还存在着万有引力。虽然核子间距离很小，可产生大的引力。但同时我们也知道，质子和中子的质量是那样微小，所以它们之间的万有引力一定是微不足道的，可略去不计。如果核内再也没有其它作用力的影响，那么比万有引力强 10^37 倍的电磁力，将使原子核处于极不稳定的状态，这样核内的质子势必因巨大的静电斥力向四面八方飞散开来。然而，事实恰恰相反，各种元素的原子核在自然界中都能稳定地存在着。质子不仅没有随便飞出核外，相反地还和中子紧密地结合在一起，这就意味着核子间必定还有另外一种远比电磁力强得多的吸引力。

由于中于不带电荷，故这种“力”一定不同于既包括吸引力，又包括排斥力的电磁相互作用力。当然更不同于微小的万有引力，而是一种特别强大的短程相互作用力，并被称作为“核力”。它也是目前所知的最强大的作用力，这种强相互作用也叫做第三种相互作用。虽然人们对其作用过程还不十分清楚，但核力本身却有着许多很明显的特性。

首先，它比电磁相互作用强 130 倍左右。而且核力是必须在很小的距离内才能起作用的短程力。随着核子间距离增加，核力将迅速减弱，一日超出核半径，核力就很快下降到零。但是万有引力和电磁力都是长程力，它们的强度都随着距离的增加而减小，即和距离平方成反化。如能把地球和太阳之间的距离增加 10 倍，那末万有引力就下降到原来的百分之一。所以即使相隔数百万公里，仍然可感受到万有引力和电磁力的作用，而决不会下降到零。

其次，除氢核仅由一个质子组成外，其它核中都包括质子和中子。核力不仅存在于质子间，而且在中子间或中子和质子间都有核力存在，它们所表现的性质也基本相同。此外，从它们之间的结合能进行分析比较，发现它们的数值几乎是相等的。由此可得强大的核力近似和电荷无关。

最后，核内所有核子之间并不是都有核力相互作用的。也就是说在核中，某个核子只与相互邻近的数目有限的几个核子之间存在着核力的作用。而与那些远离的核子之间不发生任何作用，这种现象被称为核力的饱和性。相比之下，库仑力的范围就要大得多，而且也不受带电粒子数的限制，故是一种不会饱和的长程力。

当然，如果假设核力不存在饱和性，这样由于核子间强相互作用，使得核子数多的原子核，核子间的排列就更紧密。也就是说，质量数越大的核，其单位体积内聚拢的核子数也越多。这样就和前面所述，原子核单位体积中的平均核子数与质量数无关的结论发生矛盾。由此可知，核力确是具有饱和性的。

此外，核力与核子的自旋等也有关。但是核力的性质至今尚未完全搞清，这是有待于核科学家们继续解决的难题。然而值得注意的是，对核质量作精确测定时，发现它总比核所包含的质子和中子质量之和要小。这就表明，单个核子的质量和要比多个核子结合成核的质数致大。即由于核子间强大的核力作用，迫使核子间排列得很紧密，结果发生了质量减小的现象。为此，核科学家把核子结合前后的质量差值，称作谓核的“质量亏损”。例如，氦核是由 4 个核子(2 个质子和 2 个中于)所组成，2 个质子的质量加上 2 个中子的质量 2×1.007875+2×1.008665＝4.032980u，而质谱仪测得的氦核质量为 4.002603u，这样结合前后的质量亏损 4.032980-4.002603＝0.030377u。

根据爱因斯坦的质能公式，把氦核的质量亏损换算成能量为 28.30 电子伏。就单个氦核而言，此数值可能很小。然而，我们如能形成 1 克氦，则所释放的能量将大得惊人，相当于 190000 千瓦小时电能。

后来，人们通常把这种由核子结合成原子核时所放出的能量叫做核的总结合能。它随原子核中的核子数不同而不同，即核子数越多，则核的总结合能也越大。另外，为了便于对各种原子核的结合能进行比较，往往采用每个核子的平均结合能更为有利，有时也称它们比结合能。

在科学家们利用质谱仪对各种元素的核质量精确测定后，就能方便地从质量亏损计算出不同核的总结合能。发现它们随着核子数的增加，总结合能也不断增加。如果把质量数作为横坐标，而纵坐标为对应的比结合能，就可得到核的比结合能曲线。

显然由单个核子所组成的氢核(一个质子)，其结合能为零。而质量数低于 20 的核，它们的比结合能变化比较复杂，并出现了几个值得注意的峰值。其中氦、碳、氮和氧的比结合能峰值分别为 7.08，7.69，7.48 和 7.98 兆电子伏。相反锂和重氢(氘核)的比结合能都很小，分别为 5.34 和 1.12 兆电子伏。随着质量数的增加，在 40～100 之间的最大比结合能约为 8.7 兆电子伏。当质量数再大时比结合能又逐渐下降，直到铀核以后降为 7.6 兆电子伏左右。此现象也证明了核力的饱和性。

随着核内核子数的改变，各种原子核结合的紧密程度是不一样的，这可从它们不同的比结合能上反应出来。由此可得出两种利用核能的途径：

一种是核分裂法或称核裂变法，即把比结合能比较小的重核，设法分裂成两个或多个比结合能大的中等质量原子核，即可释放出核能。

例如，将铀核用中子轰击裂变成钡和镧。裂变前铀核的比结合能为 7.6 兆电子伏，而裂变后的中等核，其比结合能为 8.5 兆电子伏，两者相差 0.9 个兆电子伏，而铀核有 235 个核子，则总的能量差值就为 200 百万电子伏左右。实际上铀核裂变时，还要放出 2～3 个中子，除去这部分能量后，即可得 200 兆电子伏左右的裂变能。

这就是 1939 年，梅特涅和她侄子弗里施等人一起发现的铀核裂变现象，并测得 200 兆电子伏左右的裂变能。

另一种核能利用途径是合成法或称聚合法，即把比结合能较小的轻核，例如氘和氚，在特定的条件下把它们聚合成一个比结合能比较大的氦核，此时也可释放出比裂变能还要大几倍的能量。这种核反应过程通常称为聚变反应，由于它需要在几千万摄氏度温度的条件下才能实现，故又称为“热核反应”。

这种反应的实际例子是在 1938 年，分别由德国出生的美国物理学家贝特和德国天文学家魏扎克各自独立发现的。即他们发现太阳上的氢核在十亿摄氏度的温度下聚变成氦核，并释放出 27.6 兆电子伏能量。它是太阳能够在过去大约四十六亿年里不停地向地球辐射能量的重要依据，而且还能像目前那样继续辐射五十亿年。为此，人们不必为太阳能的枯竭而担心。

即使这样，太阳上热核反应所消耗的氢核数量仍然大得惊人，计算表明，每秒钟内约有六亿五千万吨氢聚合成氦，相应地每秒约有四百六十万吨质量消失掉，它们转换成巨大的辐射能普照宇宙和大地，为地球上的万物生长和人类的美好生活提供了必要的条件。

3、跨出了划时代的一步

十九世纪三十年代末，正当科学家们利用铀核俘获中子产生裂变并释放出巨大能量的科研成果，以早日实现第一个自持裂变链式反应实验的时候，第二次世界大战却正在不断扩大并空前残酷地进行着。

希特勒为了实现其称霸世界的迷梦，把赌注押在生产威力巨大的核武器上。这就不得不引起全世界爱好和平的人们，特别是那些主持正义、从事核科学研究的科学家们的关注和担心。他们在爱因斯坦的带头下，联名写信给美国的罗斯福总统，提请他密切注意这一重要事态的发展。美国政府被迫制定了从事研制原子弹的“曼哈顿工程”计划，使得核能的利用一开始就和战争结下了“良缘”。

当时美国政府为了赢得时间，集中了它所能调动的大量人力和物力。一大批有才能的科学家和工程技术人员都被调集到芝加哥，参加核武器的研制工作。其中负责制备裂变燃料的是美国物理学家康普顿教授，他在研究 x 射线散射方面很有研究，并发现了康普顿效应(即康普顿-吴有训效应)。另外，他对光子、γ 射线和宇宙射线的研究也有过重大贡献。

在执行曼哈顿工程计划中，康普顿极力推荐费米参与这方面的工作。为此他曾说过这样一段话：“事实已经很明显，如要进行核反应堆的研究工作，则其中心人物非费米不可。他不但知道甚么事要做，而且在用铀和石墨结合起来试验链式反应成功的可能性方面，他也具备了一整套很重要的经验。在各项计划进行期间，我很需要跟他共同商讨”。

当然，费米的才干确也能胜任这方面的工作，他不但具有丰富的铀核裂变实验的实际经验，而且对中子慢化也很有研究。所有这一切，都为他能在哥伦比亚大学实验室，对裂变链式反应装置进行深入研究提供了十分有利的条件。

费米的实验装置是一种类似于石墨棱柱的指数实验装置。所不同的是除了石墨作为中子慢化剂外，并由天然氧化铀块一起相间堆砌而成。费米他们经过分析比较，预计只要把石墨慢化剂的密度提高到 1.7～1.9 克 / 厘米³，各种有害杂质的含量低于百万分之一。而裂变燃料要用纯度高的天然金属铀，并把栅格布置得更合理。这样就能把倍增因子提高到一以上，铀核的裂变链式反应有可能持续地进行下去，即到达临界。

费米的这一工作成果和大胆设想，立即得到康普顿教授的支持和重视。虽然在 1941 年 12 月 7 日，因日本法西斯偷袭珍珠港，美国被迫正式对德、日、意轴心国宣战。而原籍意大利的费米教授此时成了敌国侨民。费米若要取得美国正式公民资格，还需在美居住三年以上时间，为此有人对能否重用费米提出了怀疑。然而，因康普顿对他有很深的了解，故仍给他以充分信任，并公开认为：“……我们若能在此时重用费米的聪明才智，整个世界将因此获得一项贵重的资产。”

这样费米就被康普顿邀请到芝加哥，并和普林斯顿研究小组一起，在代号为“冶金实验室”的机构中进行研究工作。费米夫人后来在回忆中曾对此作了极其生动的描述。她说：“在那里每件事情都是高度机密的，人家只告诉我一件秘密，冶金实验室里没有冶金学家。甚至连这么一个小消息都不能泄露”，“那年秋天，康普顿和他的夫人所举行的一连串宴会，宴请来冶金实验室的工作人员。那时新来的人实在太多了，连学生娱乐大厅也无法一次容纳，因此只好分批宴请。每次宴会时，都放映英国影片《最近的亲属》。该片以沉痛的语调叙述了粗心和疏忽所造成的悲剧。一个放在公共场所的公文包被间谍偷走了，结果军事计划泄露，英国受到轰炸，无数房屋被毁，无数生命在前线作了不必要的牺牲。电影放无后，毋需再加什么说明就一切都明白了。我们每个人都欣然接受影片的暗示。”

费米他们日以继夜地在铀—石墨栅装置上进行各种研究工作，共作了 29 次指数实验，并测定了不同尺寸的铀—石墨栅格的增殖系数。至此他们已为建造一座能产生自持链式反应装置积累了许多有用的宝贵经验。

到了 1942 年，美国的“曼哈顿工程”计划已进入到一个新阶段。美英两国领导人，罗斯福和邱吉尔达成了一项秘密协议，把和核武器研究有关的科学工作全部集中在加拿大和美国进行。同年夏季成立了曼哈顿工程区，从而加速了第一个自持裂变链式反应堆的研制工作。

同年 1 月，这时美国政府已制备了足够数量的金属铀和氧化铀，以及纯度和密度都极高的石墨。其中 6 吨金属铀被加工浇铸成许多圆柱体(直径为 5.72 厘米，重为 2.72 公斤)，并把它们堆砌在中心部分。而外围由于金属铀不够，就用二氧化铀粉末压制成准球形体，其直径为 8.26 厘米。所组成的铀—石墨立方栅格的边长为 21 厘米。高纯度石墨用于中心部分，外层则用次纯的石墨，最外层厚为 30 厘米的石墨层作为反射层，以防止中子泄漏。这就是由费米设计建造的，世界上第一座铀裂变反应堆 CP-1(芝加哥 1 号堆)。其所以用“堆”一词，是因为该装置是用多层金属铀块和石墨块彼此交替堆砌而成的。

CP-1 堆被建造在芝加哥大学早已废弃的足球场西看台下的一个小院落内。他们先在地板中央设置了一个木架，然后在其上面放置一层石墨块，再把铀和石墨块从中心往外，由下到上分层交叠堆砌而成。这样铀块排列在慢化剂石墨中，形成一种有规则的立方栅格。原计划准备建选一个直径为 7.93 米的球形装置,但实际所得的形状近似为一个椭球体。

另外，在堆砌石墨层时，按照预定的高度，留有一些贯穿各层间的孔道。其中插入包有镉皮的木棒(即控制棒)。这是因为镉本身是一种能强烈吸收热中子的材料，它对热中子的吸收截面高达 2537 靶，所以它能像海绵吸水一样大量吸收热中子。当它插入堆中时，中子被吸收减少；反之抽出时中子数就增加。这样就能利用镉棒方便地直接控制堆中的中子数目，即控制中子增殖系数值的变化，以达到控制链式反应的目的。

随着铀层和石墨层的增加，中子增殖系数也慢慢变大。而费米他们的心情也随着测量结果逐渐紧张起来，他们渴望着自持链式反应能早日实现。

实际上，在 1942 年 12 月 1 日下午的测量结果表明，堆已达临界。但是费米还是按照预定计划，在安全系统保护下，堆砌了最后一层铀块和石墨块。该堆的最后尺寸为宽 9 米，长接近 10 米，高为 6.5 米。堆的总重量为 1400 吨，其中 52 吨天然金属铀和氧化铀，据估算如用百分之百的纯铀 235 作裂变燃料，则不超过 260 克就可临界，余下的重量几乎都是石墨。

在此情况下，反应堆中的燃料和慢化剂已形成一个超临界的体系。只是在控制棒的作用下，堆才处于次临界停堆状态。至此，一切试验准备工作都已完成了。就在 1942 年 12 月 2 日下午 3 时 45 分，在费米亲自主持下，把堆中的控制棒逐根依次慢慢地抽出。直到最后一根细调节棒，这就需要更加特别小心分成几次逐段往外抽出，每次都要根据三氟化硼计数管的计数，估计到达临界时控制棒应处的位置。最后从记录仪表的指示上可看出，核科学史上的第一次自持铀核裂变链式反应终于实现了。它以小于 0.5 瓦的功率连续运行了 28 分钟。随后费米又下达了插入控制棒，放下安全棒的停堆命令，这样裂变反应就又停止了。

为了保密起见，他们对这一重大的科研成果未能很好地庆祝。但是科学家们无法抑制自己取得预想结果的喜悦心情。就在停堆以后，匈牙利物理学家维格纳把他预先准备好的红葡萄酒交给费米。为了表达大家的心愿，费米就打开酒瓶，并在每个小纸杯里都倒上一点，好让在场的每一个工作人员都来分享这个幸福的时刻。大家纷纷高举酒杯，为试验取得成功而干杯！然后，大家又都激动地在酒瓶的商标上签名留念，总共刚好 42 人。

当大家收拾好现场，锁上控制棒，关好仪器离开实验室时，实验室的负责人康普顿正在小心翼翼地给华盛顿的科南特打长远电话。他是该工程计划的负责人，哈佛大学校长。康普顿想把实验成功的好消息早一点转告给他，但为了不让这个重要的机密被旁人偷听去，就用暗语报告说：“吉姆，你对于获悉这位意大利的领航员，已在新世界登陆的事一定很感兴趣的”，对方回答：“真的吗？”。电话听筒里传来那边科南特兴奋的回答，并又询问：“那些‘新世界的土著’都很友善吗？”，这是他急于想知道费米等人的下落和安全情况。“每个人都安全登陆了，并且快乐得很”，康普顿的回答是想叫对方放心。

美国人所以说又一个意大利人发现了新大陆，这是因为 1492 年意大利航海家哥伦布发现了美洲新大陆。而现在是 1942 年(中间两个数字互换了一个位置)意大利物理学家费米又登上了“核时代”的新大陆。

如今，凡是到美国芝加哥观光的游客，就可在芝加哥大芒的校园里，见到一座古老而又破旧的建筑物的外墙上写着下面几行永远值得人们纪念的碑文：1942 年 12 月 2 日，人类于此首次完成自持裂变链式反应实验，并因此肇始了可被控制的核能释放。以上就是核能时代，也称原子世纪的出生证书。

4、世界上第一批反应堆

自从第一座天然铀—石墨反应堆成功地启动后，科学家们更加相信利用核裂变链式反应的原理，实现原子武器的制造已为期不远了。这样，人们也就更加担忧战争狂人希特勒也能生产这种可怕的杀人武器。而美国军事当局为了能早日赢得战争的胜利，不得不也加快了研制原子弹的步伐。

但是，毕竟在实验室里成功的东西，并不等于马上就能在实际中加以应用。在 CP-1 堆中，核裂变链式反应不但未能释放出巨大的能量，而且也不能满足在核武器里要求在极短时间内释放出巨大能量的条件。另外在反应堆中，可以使用大量天然铀和石墨慢化剂，而且不受体积和重量的限制。

然而。在原子弹里就完全不同了，为了能用飞机或大炮等运载工具把它运送到敌方阵地，就要求其体积和重量愈小愈好。故就不能用天然铀作裂变燃料，慢化剂也不能用了。否则几千吨重的大家伙就无法运载，而对战争来说，这也就失去了实用价值。

在核武器中所用的裂变燃料是一种高浓铀(铀 235 含量占 93.5%以上)。但就当时的核科学技术而言，这样的高级核燃料是难以提供的。因为铀 235 的浓缩过程是由一系列非常复杂的工艺流程所组成的，需要建立十分庞大的工业体系。而且从理论上讲，欲得一公斤铀 235，需从铀矿石提炼得 140 公斤纯金属铀，而铀矿石的需要量则更大为 200 多吨。这样经过探矿、开矿、选矿、浸矿、炼矿、精炼和最后浓缩分离等一系列生产过程。结果铀燃料的价格当然就非常昂贵了。

然而，曼哈顿工程的组织者仍不惜代价，动用了国家电气公司的力量。即由通用电气公司负责生产动力设备；阿利斯-恰尔默公司生产磁铁；威斯汀豪斯公司生产控制操作箱和其它有关部件。并在 1943 年 2 月开始建造第一个用电磁分离法生产浓缩铀的工厂，同年 11 月安装了第一批设备。到建成时共耗资三亿零四百万美元，其中很大部分是用于产生强大磁场的导线，由于战争的缘故，铜材奇缺，只得动用 15000 吨银丝作为导线。先后共征集了近 40 万建设者，工厂的运行人员超过 24000 人。

与此同时，又建造了一个采用气体扩散法生产浓缩铀的工厂。该厂从 1943～1945 年，短短三年内共投资 5 亿美元。战后经多次扩建，使总投资猛增到 15～20 亿美元。全厂总耗电量相当于纽约市的供电量，而直接用于生产的冷却水量，足够供应一个有五百万人口的大城市。该厂生产的铀 235，在 1945 年 7 月 24 日被运往洛斯阿拉莫斯，作为用于投往日本的第一颗原子弹的装料。

当初美国政府对用分离法取得铀 235 作为原子弹装料的计划不是很有把握。为此采用双管齐下两条腿走路的方针，即对另一种核装料钚进行研究。而且经过麦克米伦和美国化学家西博格等人的艰苦努力，最后获得了直接从经过中子辐照的天然铀中，提取钚 239 的重大成果。

而在此以前，第一台回旋加速器的设计和制造者劳伦斯，当时他是美国研制原子弹的高级四人小组中的一员。他在 1941 年 7 月 11 日的一篇报告中曾经写道：“链式反应可由未经分离的天然铀来实现的，这一点就为我们开辟了一条新途径。即链式反应发生后，可能会在其激烈反应的过程中产生少量的 94 号元素(即钚)。这种元素能用普通的化学方法，从经过反应的铀中提取出来，并且很有可能具有像铀 235 一样的价值，也能用来产生链式反应”。

由此可以看出劳伦斯早已预见到生产钚 239 的可能性和重要性，所以美国政府把生产钚 239 作为曼哈顿工程的另一个突破口。在 1942 年 9 月 10 日首次从被中子辐照过的铀 238 中，分离得 2.72 微克钚的氧化物。但是为了获得更多的钚 239，就需要建造大功率的反应堆对铀 238 进行辐照。于是曼哈顿工程的执行者，就开始着手建造第一批用于生产钚的反应堆。

首先，他们在 1943 年 2 月拆除了已成功运行(最大功率为 200 瓦)两个月的 CP-1 堆。紧接着把“冶金实验室”改装成 CP-2 堆(即芝加哥 2 号反应堆)，后来又变成为美国有名的阿贡国立研究所。CP-2 在结构上类似于 CP-1 堆，它也没有冷却系统，仍借助于空气自然对流散热，最大功率不超过 2000 瓦，并在堆本体四周围上了混凝土生物屏蔽层。

不过对于生产钚而言，CP-2 的功率实在显得太小了。为此人们又着手设计和建造功率更大的反应堆，即在 1943 年 11 月建成了 X-10 反应堆。它被建造在克林顿工程师区的 X-10 工区。该区后来成为美国的另外一个核基地，即美国橡树岭国立研究所。X-10 堆的运行功率为 3800000 瓦时，平均热中子通量密度为每秒每平方厘米 5 千万亿中子。它比小居里夫妇的镭-铍中子源的最大通量大一百万倍，所以它能生产更多的钚 239 核燃料。

由于 X-10 堆的功率比较大，自然对流冷却就显得不够了。故它是采用流动空气进行强迫冷却。而慢化刘和反射层仍用石墨，活性区是用铀燃料块和石墨块堆砌而成。其外形尺寸是每边长为 7.32 米的立方体，石墨总重量为 620 吨，铝包壳的金属铀棒外径为 2.8 厘米。燃料棒被均布在石墨孔道内，孔间距为 20.3 厘米。金属铀棒的总重量为 54 吨，堆的总高度有两层楼那么高，从 1943 年 11 月 4 日到 1944 年 2 月底，该堆和后处理工厂生产钚 239 的能力为每月平均可生产几克钚。

这对制造原子弹的紧迫需要来说，其生产速度实在太慢了。所得的钚只能用来制作供研究用的钚样品，而堆本身也只能作为设计制造更大的钚生产堆的原型堆使用。

就在 X-10 堆这个小型钚工厂还没有完全建成以前，美国政府已在华盛顿州的汉福特建立了曼哈顿工程区的第二座原子城——汉福特原子能中心。而且仍由杜邦公司承建，并在 1944 年建成了三座用来生产钚的大功率反应堆。每座堆都是由 5～8 层楼那样高的无窗钢筋混凝土建筑物所组成，堆所用的冷却水来自哥伦比亚河。此外，为了安全起见，堆与堆之间相隔 1～3 公里。而后处理分离钚的厂房，则建在远离反应堆的地方。堆厂房附近不冒烟的高大烟囱是为了能把放射性废气排入大气之中，这些都是原子能工业工厂的特点。

就这样，到 1944 年美国生产钚 239 的能力已达公斤级，这就为核武器的早日研制成功提供了必要的核燃料。

在此同时，1944 年 5 月美国又设计建造了第一座用重水作慢化剂的 CP-3 反应堆。所用核燃料是天然金属铀棒，其直径为 2.79 厘米，长为 182.88 厘米，铀棒中心间距为 5.83 厘米，整个活性区被布置在直径为 182.88 厘米盛满重水的水箱内。其底部和四周是用厚为 61 厘米的核纯石墨作为中子反射层，顶部则用重水作反射层。当运行功率为 300 千瓦时，就可具有同 X－10 堆一样水平的中子通量密度。由此可见重水确是比石墨更为有效的中子慢化剂。

除美国外，世界上早期建成反应堆的国家还有加拿大、英国、苏联和法国。

1945 年，加拿大建成了用重水作慢化剂的零功率实验性反应堆 ZEEP。

1947 年，英国建成了第一座石墨低功率实验性反应堆 GLEEP。它也是欧洲第一座反应堆。堆本体的外形尺寸是每边长约为 6.4 米的石墨立方体，在石墨慢化剂中共钻了 682 个孔道，中间插入外表面包有铝壳的天然铀棒，四周的水泥屏蔽层厚为 1.52 米。共有 5 根控制棒和 6 根停堆棒，它们是在不锈钢管内充以碳化硼制成的。堆的设计运行功率为 100 千瓦，但实际运行的最大功率为 3 千瓦，用流动空气进行冷却。

同年，苏联也建成了第一座反应堆，所用燃料也是天然金属铀，共重 45 吨，慢化剂也是用石墨。其外形尺寸为 10×10×60 厘米，共用去数百吨石墨。铀棒直径为 3～4 厘米，孔间距为 20 厘米。反射层的材料是厚 80 厘米的石墨块，外形尺寸近似为半径等于 3 米的球面。可在 10 瓦功率下长期工作，而瞬时功率可高达数千瓦。

1948 年，法国建成了第一座重水型氧化铀零功率反应堆 ZOE，它用重水作慢化剂，可获得高的中子通量密度。

5、原子弹和氢弹

由上可知，建造原子弹的关键在于能否获得高浓缩的铀 235 和钚 239 这两种核装料。自从美国物理化学家尤雷发明了用气体扩散法提取铀 235 以后，美国政府就在 1943 年建造了规模巨大的铀气体扩散工厂，生产出为制造原子弹所需要的大量铀 235 核裂变燃料。而另外一种核裂变燃料钚 239 也在华盛顿州的汉福特原子能中心的生产堆上，经过同位素分离最后被获得。原子弹就是利用这两种核裂变燃料的裂变链式反应所释放出的巨大能量，来达到杀伤破坏的一种爆炸性核武器。

在原子弹的研制过程中，最值得一提的是美国杰出的物理学家奥本海默的重要贡献。就在第二次世界大战爆发前后，他已被公认是世界上十名首席理论物理学家之一。加上他所具有的特殊才能和组织管理能力，使他在 1942 年夏天被美国政府正式任命为设计和制造原子弹的主要负责人。由他直接领导监督管理研制原子武器的“冶金计划”，当时他只有 38 岁，在所有领导这项与战争胜利有关的历史使命的科学家中，他是最年轻的一位。后来的结果表明他确是一位令人满意的非常杰出的科学家，因而人们常把他称为原子弹之父，即第一个制成原子弹的人。

初看起来，研制原子弹的任务对奥本海默来说并非是难事，因为他曾经乐观地认为原子弹只不过是一种“附带产生的新玩意”，它似乎是根据裂变链式反应原理发展而成的必然产物。当然事实决非如此轻而易举，奥本海默为了解决原子弹的爆炸问题，以及测定它的爆炸威力等等一系列难题，曾经作出了非常巨大的努力。

就在 1943 年初，奥本海默亲自带领了 30 多名工作人员(后来由于工作需要扩大到一百余人)进行选点工作。结果在新墨西哥州的一个宁静小城圣菲西北 56 千米吉米兹山的西边，选到了一块海拔 600 米的高地，就在这块被深凹的大峡谷所隔绝的地方，建立起曼哈顿工程的第三个秘密原子城，即洛斯阿拉莫斯实验室。当时仅靠飞机与外界保持交通联系。为了保密起见又称它为“Y”地区，邮政信箱为 1663 号。

www.offcn.com

紧接着，奥本海默又调集了与研制任务有关的各种设备，其中有哈佛大学的一台回旋加速器；威斯康星州的二台电子静电加速器；伊里诺斯州的一台高压倍加器等等。另外，他又集中了世界各国在核科学技术方面的优秀人才，同心协力团结一致共同进行攻关。其中包括丹麦科学家玻尔、意大利科学家费米、英国科学家代表团人员查德威克、德国科学家贝蒂、苏联科学家基斯卡柯夫斯基、奥地利科学家拉比和弗瑞士、匈牙利科学家特勒以及美国科学家劳伦斯、弗立许和贝瑟等人。除此以外，当然还有许多一般技术工作人员。他的中心任务是在于集中所有人的聪明才智调动每一个人的工作积极性，一起解决研制原子弹工作中所遇到的各种疑难问题。

当时各种大小问题几乎多达好几百个，而奥本海默最成功之处就是能集思广益，抓住其中最主要的问题，这就是能引起原子弹爆炸所需要的“临界质量”问题。而所谓临界质量是指使裂变物质在特定条件下，能够实现自持链式反应所需的最少裂变物质的数量，与临界质量相对应的裂变物质的体积被叫作临界体积。显然这些都是核武器装料中所涉及的重要问题，它同裂变物质的种类、纯度、密度以及装料的几何形状和特殊的结构等因素有关。

从结构上看，我们可把原子弹看成是由核装料、引爆装置和弹壳等部分组成的。一旦引爆后，普通炸药把核燃料迅速地推合在一起，形成不可控的裂变链式反应。而坚固的弹体能使反应有充裕的时间，可提高核爆炸的威力。另外根据起爆装置构造的不同，原子弹的具体结构可分成枪型和内爆型两大类。

枪型原子弹的原理是，当雷管被引发以后，烈性炸药发生爆炸，将一块圆柱状的亚临界质量铀块象枪弹一样，经过导向槽射向两块固定的中空球形亚临界铀块的中间。结果铀块的总质量就大大超过临界质量而发生核爆炸。

1945 年 8 月 6 日，美国投在日本广岛的第一颗原子弹，就是这种枪型结构式原子弹，代号“小男孩”(也叫瘦子)。它的核装料为铀 235，同位素纯度为 93.5%。总装料为 16～25 公斤铀 235。核弹总重约 4100 公斤，弹直径约为 71 厘米，弹长约 30 厘米。由前可知一公斤铀 235(或钚 239)全部裂变将释放大约 18000 吨梯思梯当量。由此可见其核装料利用率很低还不到 5%。

“枪型”原子弹虽然具有结构简单容易制造的特点，但是却存在核装料利用率很低的缺点。这是因为每块核装料的质量都不能超过临界质量，而两块合拢的最大质量仅比临界质量多出不到一倍，这样爆炸威力也就不大。

第二种类型的原子弹是“内爆型”原子弹，它是一个利用双层普通烈性炸药制成的球形装置，在球的中心安置着一个小于临界质量的核装料小球，小球的外围为反射层。球心处装有用来引发链式反应的中子源。通过电雷管同步点火，使外层炸药各点同时起爆，这样就能形成一种向球心聚焦的压缩波(又称内爆波)，而小球瞬间将受到猛烈的向心压紧力，结果使核装料密度大大增加，达到超临界质量条件。此时可用球心上的中子源控制点火时间，等到压缩波效应最大时，在中子源作用下形成核裂变链式反应，最后引起威力巨大的核爆炸。由于这种“内爆型”结构的原子弹产生压缩效应的时间远比“枪型”结构的合拢时间为短，因此可避免过早点火的缺点。这样在“枪型”结构中难于安全应用的钚 239 装料，往往能在“内爆型”结构中被采用。

1945 年 8 月 9 日，美军投在日本长崎的第二颗原子弹，就是采用“内爆型”结构，用钚 239 作核装料的炸弹。它由三个同心球构成，外球壳用铀 238 作反射层，内球是两个次临界质量的钚半球，而中心则是一个乒乓球大小的铍球作为内中子源，即从钚 239 所放射的 α 粒子作用于铍就能产生中子。在超临界条件下，钚—铍中子源能加速链式反应的进行，并能保证在规定的瞬间发生核爆炸的可靠性。而球体外面是两层楔形烈性炸药组成的炸药球，每层有 36 小块。同时为了能可靠地同时引爆，每块安上两个电雷管。弹体总重约 4500 公斤，其中钚 239 的装料为 5～10 公斤。外形尺寸高为 3.2 米，而最粗处的直径约为 1.52 米，因此人们把它叫做“胖子”。

然而，原子弹的研制工作毕竟是一项耗资巨大的工程。美国政府差不多在整整四年时间内，调集了 15 万科技人员，动用了全国三分之一的电力，总共花费了 20 多亿美元。共制造了三枚原子弹，除了投放在日本广岛和长崎的两颗外，还有一颗是在 1945 年 7 月 16 日凌晨 5 时半用来进行原子弹爆炸试验的。这是一个根据内爆型原理设计的钚试验装置。其准备工作从当年 6 月底开始，试爆地点选在离洛斯阿拉莫斯约 160 公里的阿拉莫戈多附近的沙漠里进行。这里四面环山，人烟稀少，很适合安全和保密等试验条件。

全部试验工作都是按照原定计划进行的，而且取得了圆满的结果。所有这一切也是和奥本海默得力的指挥和周密计划分不开的。原子弹试爆装置被安装在预先专门设计建造好的钢塔上，远距离控制的引爆装置是由一系列十分复杂的电子仪器所组成的。操纵中心离钢塔几公里，能把爆炸过程中的各种情况详细地记录下来。定时信号正确无误地告诉人们原子弹即将爆炸的时间。

在爆炸前 20 分钟，全体工作人员各就各位，而在营地上的人们都奉令脸向地面，脚朝爆炸方向卧倒，并用双手蒙住闭起的眼瞧。爆炸的时刻终于到了，一瞬间，天空中出现了比几千个太阳还要亮的闪光。

几秒钟后，人们就听到由强大的冲击波所形成的隆隆巨响。此时人们才能翻身站起，并戴上事先准备好的黑色防护眼镜进行观看。只见一个大火球似的五颜六色的火云，上下不断翻滚，并逐渐扩大向天空升起，最后形成巨大的蘑菇云，扶摇直上成为高达十公里的擎天柱，其情景十分壮观。同时也测得了原子弹内部本身的演变情况，其中包括爆炸威力的大小、波及的范围以及爆炸后在地面上和空气中所产生的放射性污染程度，等等。

当时在场参观的约有 1000 多名各方面代表，其中有放射医学家、气象学家、工程师、数学家、爆炸专家、军事参谋、政府官员和英国等外国政府代表。大家对原子弹的巨大爆炸威力(相当于 20000 吨黄色炸药)感到非常震惊。在半径为 1.6 公里范围内，所有蔬菜、各种动物(试验前预先安置好的)以及其它各种有生命的东西都被破坏无遗，就连一条响尾蛇或一根青草都劫数难逃。而半径 360 米以内的砂石，都因高温变成绿黄色玻璃状物质。

至于供试验用的那座高塔也完全被高温蒸发得无影无踪，却留下了一个边缘倾斜的大坑。当时即使被人们一向认为是冷静和理智的费米，平时他总是自己开车，此时也无力自己开车了，只得由他的同事驾驶汽车送他回家。

第一颗原子弹首次试爆成功的消息，很快传遍了曼哈顿工程区的每一个角落。特别是那些直接参加试制工作的科学家和工作人员，他们更是被原子弹的巨大破坏力和强烈的放射性污染而深感不安。为此许多人曾联名向有关当局递交了请愿书，反对轻率使用这种武器来对付当时的敌国日本，并且要求美国政府立即着手对这种新式武器必须实行国际监督。但是所有这一切丝毫也没有触动美国政府为了赢得战争胜利而进行研制新式炸弹的既定方针，它还是一心想使用原子弹。

原来积极要求爱因斯坦写信给当时美国总统罗斯福敦促尽快发展核弹的西拉德，此时此刻也意识到这件事的严重性。为此他就又起草了不要使用原子弹的请愿书，并征集了 69 位著名科学家的签名，最后把请愿书直接送到了杜鲁门总统的手里。而总统的科学顾问又把此事提交给由奥本海默、劳伦斯、费米和康普顿四人所组成的临时科学讨论小组，请他们提出如何对待这一问题的决策报告。

当时康普顿在建议书中曾写下了这样一段话来表明他的意见：“在使原子力量能为人类利用的伟大创举中，我们都为自己曾经贡献自己一份智能而感到欢欣和骄傲。然而这真是一幕悲剧，这种巨大无比的力量将第一次被用来进行伤害人类的勾当。不过，如果因此而能得以缩短战争的时间，并能拯救更多的生灵，如果它能意味着人类将更接近放弃用战争作为解决争端的时刻。那才是我们内心真正的期望，才是我们敢于使用原子弹的论点”。

另外他对科学家的讨论结果又写道：“我们科学界的同事们，对于使用这种武器的意见颇不一致，大家建议的范围很广，从纯技术性的示威到直接投掷原子弹迫使敌人投降的策略都有……”。

最后，科学顾问们为了获得一个能代表大家看法的折衷意见，就进一步征求那些了解当时战争形势人们的看法，并请他们投票表决。其分工如下：奥本海默负责洛斯阿拉莫斯地区；劳伦斯负责柏克莱；康普顿负责芝加哥。结果在芝加哥“冶金研究所”有 87%的人赞成将原子弹用于战场。

这样一来，美国官方决策人物不但取得了能实际使用原子弹的物质条件，而且也为原子弹的使用作了舆论上的准备。总之，这样就为最终能在日本投掷原子弹铺平了道路。

当然，第二次世界大战本身是由帝国主义国家间的垄断资本集团，为了争夺殖民地而引起的。但到 1945 年 8 月，希特勒在苏联红军的沉重打击下早已垮台，并在 1945 年 5 月 2 日就宣布无条件投降。而日本法西斯在中国共产党领导下的中国人民的英勇抗击下也已完全处于绝境。这就是说，东方战场的战争也将很快结束。

为此，美国当局不得不担心，一旦战争结束，整个曼哈顿工程 20 多亿美元的巨额耗资，将变成一种毫无意义的金钱挥霍，本来因原子弹制造成功应该受到赞扬和荣誉，而现在很可能变成无情的嘲笑和指

责。显然直接领导此项工程的美国政府将是首当其冲。这就是正如杜鲁门在自己回忆录中所写的那样，当时他只说了声：“干吧!”的真正内容。

美国军方在 1945 年 8 月 6 日 9 时 15 分半向日本广岛投了第一颗名叫“瘦子”的原子弹。它是在太平洋提尼尔岛上的一个空军基地最后组装而成的，并用当时最大的 B29 型轰炸机运载。驾驶员为提贝茨上校，投弹手是弗雷比少校，机械师是帕桑斯海军上校，电子技术军官是杰普逊海军上尉。人们将原子弹从将近一万米高空投下，在城市上空 300 米爆炸。烟柱高度上升到 11000 米，威力相当于 20000 吨梯恩梯，是普通最大炸弹的 4000 倍。爆炸几乎炸毁了整个广岛市。该城当时约有 30 万人口，遭到轰炸形成的破坏区达 60%，有 91233 人死亡，另有 50000 人受伤。其中日本军事人员占 1～2 万人，余者都是无辜的居民，其中有大量的妇女和儿童。如要达到同样的轰炸效果，则需 200 架满载常规炸弹的飞机。

紧接着，代号为“胖子”的原子弹也在提尼尔岛空军某地组装而成。仍用 B29 型轰炸机运送。在 8 月 9 日，这颗内爆型的钚弹从日本长崎 9000 米高空被投下，在城市上空 600 米爆炸。结果长崎市 44% 的地区被毁，35000 人死亡，60000 人受伤。

同年 8 月 15 日，日本政府宣布无条件投降，至此第二次世界大战宣告结束。然而，正是由于广岛和长崎的原子弹爆炸，向全世界表明核时代中核能的利用，首先是以核武器形式出现，这使人们从心理上留下了一个“可怕”的深刻印象，而且至今还记忆犹新。

至于苏联，在二次大战期间，库尔恰托夫曾领导过核能方面的研究工作。那是在 1943 年，他在刚成立的原子能研究所中担任所长，就曾领导过原子核反应堆的设计工作。只是由于战争的破坏远比美国大得多，放在战争期间未能取得成功。而在战后，苏联将近花了四年时间，在 1949 年 9 月 22 日爆炸了第一颗原子弹。它是用钚 239 作为核装料的钚弹，其威力相当于美国“小男孩”的六倍，爆炸效果为 21 万吨梯恩梯。

接着 1952 年 10 月 3 日，英国人也爆炸了一颗自制的试验核弹，成为第三个有核国家；1960 年 2 月 13 日轮到了法国人，他们在非洲北部的撒哈拉沙漠中爆炸了一颗钚弹，成为“原子俱乐部”的第四个成员国；1964 年 10 月 16 月，我国向全世界宣告一颗铀 235 核弹爆炸成功，一举成为第五个有核国家。

从前面的章节中，我们已经知道，核能的利用除了裂变能外，还有聚变能。另外从结合能曲线上可以看到，氘、氚、锂等轻元素都可用作为核聚变反应的原料。

氢是最难发生聚变反应的装料。至于氚，它易发生聚变反应，但在自然界中含量十分稀少，必需花费巨大的投资才能制备它。而只有氘，它是热核反应的积极参加者，又比氢容易控制，并在自然界中也有一定的含量。它在普通海水中占 0.0148%，即 6757 个氢原子中只有一个是氘原子，也就是说每升海水中，大约含氘 0.003 克。

由于地球上有着大量海水，经过估算氘的储量竟高达 35 万亿吨，如能全部提炼出来，就足够人类用上千百亿年。由于聚变反应释放的能量比裂变能大得多，加上聚合反应速度也特别快。这样就有可能利用不可控的聚变反应制造出威力远大于原子弹的氢弹。如果人们采用某种方法把氢弹所需的核装料安置在原子弹的周围，一旦原子弹引爆后就能产生几百万度高温，促使核聚变反应连续不断地进行下去，这就是氢弹爆炸的原理。

理论计算表明，如果一公斤氘氚混合物全部聚变，就能释放出约为 58000 吨梯恩梯当量的能量，这比起相同质量的裂变反应所释放的能量约大四倍。而且在氢弹的构造中，不存在像原子弹构造中所提及的临界质量问题的限制。故氢弹可以做得较大，其爆炸威力也就更大。

当然，氢弹也受到核装料的数量和运输条件等方面的限制。它们在常温、常压下都是气态物质，存在着体积大不易存放的不利之处。为了能把氘和氚密集起来，就要加低温(一般为零下 200 多摄氏度)液化或加上超高压固化，只有这样才能把氘、氚用作氢弹的装料。

世界上第一颗氢弹的爆炸是美国于 1952 年 11 月 1 日,在太平洋的珊瑚岛(即马绍尔群岛)上进行的。所用的核装料是液态氘、氚混合物，放称之为“湿法”氢弹。其结构既庞大又复杂，总重量高达 65 吨，根本无法用飞机运载。而实际上它仅仅是一个热核试验装置。但其爆炸威力很大，相当于一千万吨梯恩梯，是投在广岛弹的 500 倍。

然而，随着氢弹技术的发展，人们终于找到了另外一种比较理想的氢弹装料，这就是氘化锂 6。它在原子弹爆炸所形成的高温下，可裂解为氘和锂 6，而锂 6 俘获中子后所生成的氚就能和氘在高温下进

行核聚变反应。相比之下，这种氘化锂化合物的成本比氘低得多。而特别应该指出的，它是一种稳定的固态化合物，因而便于长期保存，更不需要庞大的冷冻装置，所以氢弹的体积和重量均可大大缩小，故也称之“干法”氢弹。这就为以后把它制造成为一种有实际军事价值的热核武器，创造了十分有利的条件。

在近代核武器的研制中，还有一种“氢铀弹”，即在氢弹外面再包上一层厚厚的铀 238。由于铀 238 本身也不存在临界质量的问题，故可包得很厚；加上铀 238 在自然界中的丰度很高，人们能容易取得它，故核装料的成本可大大降低。显然，这种氢铀弹的爆炸威力要比普通的氢弹大得多，而且裂变能和聚变能大致上各占一半，但有时裂变能所占的比例达 80%。爆炸后的放射性裂变产物的污染程度也特别严重，为此人们常称它为“肮脏”氢弹。

美国人曾在 1954 年 3 月 1 日，利用马绍尔群岛中的比基尼岛，进行了第一次铀氢弹爆炸。其威力之大，震动了全世界，相当于 1500 万吨梯思梯，总重量为 20 吨。另外值得注意的是，当时刚好有一阵放射性尘埃降落在一艘日本福龙丸号渔船上，船上的 23 名渔民就成了受害者而得了放射病，其中一人在半年后死亡，船上的鱼当然也受放射性污染而全部销毁了，为此激起了日本人民的强烈抗议。

美国从 1945 年 7 月 16 日试爆第一颗原子弹到 1952 年 11 月 1 日氢弹爆炸，共花了七年半时间，而轻便式的氢弹直到 1954 年才试制成功；前苏联从 1949 年 9 月 22 日爆炸第一颗原子弹后，经历四年时间，到 1953 年 8 月 12 日成功地进行了用飞机运载的氢弹爆炸；英国从 1952 年 10 月 3 日第一次原子弹试验到 1957 年第一次热核试验，经过四年半时间；法国从 1960 年 2 月 13 日第一次原子弹试验到 1968 年 8 月 24 日第一次热核试验，经过八年半时间；而中国从 1964 年爆炸原子弹后，到 1967 年氢弹爆炸试验成功，前后仅用了两年零八个月时间。

当今世界上拥有核武器最多的是美苏两国，它们为了能在核军备竞赛中取得垄断地位，并对无核国家进行核讹诈，于 1963 年 8 月伙同英国在莫斯科签订了三国核武器禁试条约，其目的是为了约束别国的核试验，而它们三国却仍可进行地下核试验。截止 1977 年底，美国核试验达 595 次，苏联为 283 次，核爆炸的累计当量约为 22000 万吨梯思梯。早在 1961 年 10 月 30 日，苏联已爆炸了五千万吨级梯思梯当量的热核装置和一亿吨级的超级氢弹。当然，美国也完全有能力制造这种超级炸弹，其威力甚至会更大。

然而，中国为了打破美苏的核垄断和维护世界和平事业，正在独立自主地发展自己的核武器。同时，法国也在独立研制自己的核武器。这就使得三国禁试条约已成为一纸空文，直接动摇了美苏的核垄断地位。

到了 1978 年，美苏的核军备竞赛又出现了新的升级。美国首先正式宣告要生产“中子弹”，这是美苏两国已经研究了将近 20 年的一种新式核武器。实质上它也只不过是一种所谓小型“干净”氢弹。小型是指它的爆炸威力只有一千吨梯恩梯当量，仅是第一颗原子弹的二十分之一；而“干净”是指用少量的裂变燃料引爆。因此爆炸结果没有很大的放射性污染，而且它的冲击波和光辐射的破坏作用被局限在很小的范围内。

中子弹主要的杀伤作用是由氘—氚聚变反应中所放出的高能量中子，它能容易地穿透坚厚的各种物体而置人于死地。它对各种物质财富和建筑物的破坏作用是不大的，辐射的寿命也很短，大约几小时后就能消失，人就能进入被这种炸弹袭击过的地区。如用原子弹或氢弹则辐射寿命很长，需几个月后人们才能进入。当然，这种炸弹只有不用核爆炸来引爆，如用大功率的激光束或其它无辐射高能装置引爆时，这才是名副其实的“中子弹”。

总之，凡是利用核能(包括裂变能和聚变能)的武器，不论是原子弹、氢弹和中子弹，都称为核武器。而且不论“肮脏”还是“干净”，它们对人类都是有害的。看来不少科学家早先担心核能被用于战争的忧虑还是有根据的。至于那些在第二次世界大战中直接被原子弹伤害过的受害者，当然更有理由觉得核武器的可怕。

但是无论怎样，这决不是核科学家研究和利用核能的真正目的。从人类历史发展的长河中，我们可以清楚地看到，任何一种科学上的新发现，都能增强人类支配自然的能力。而核能本身是一种高浓度的巨大能源，所以它也一定能被人们用来为人类的进步和文明服务。人类生存的目的总是希望能生活得更美好，而决不是为了破坏……

6、核动力的应用

自从地球上第一次出现人类以来，人类为了求得自身的生存和发展，一直在为扩大能源，提高自己驾驭大自然的能力而斗争。为此，人们曾经利用过大自然所给予的各种动力资源，从最初依靠自己的体力，发展到利用畜力、水力、风力和木材、煤炭、石油、天然气等等。

然而，所有这一切能源，它们都离不开太阳能。太阳能是由于太阳上的大量氢核在极高的温度下，聚变为氦核时所释放的巨大的聚变能，并在其周围形成一圈强烈的热扰动，并以热辐射能照射到各个星球上，其中的很小一部分照射到地球表面，仅此已足以使地球上的各种生物繁殖生长。

植物通过光合作用，把空气中的碳、氢、氧、氮合成为有机物，以化学能的形式储存在植物中。而牛马等家畜吃了青草，身体内细胞的新陈代谢作用变成为人类可以利用的畜力；同样，人食用了蔬菜、水果和肉类等食物后，就可形成能劳动的体力。

另外，太阳光的热能使海洋里的水蒸发，形成天空中的云。云在大自然的作用下，以降雨的形式在高山上形成瀑布或在水库中把能量储存起来，经开发后由水轮发电机组转变为电能输送出去加以利用。还有，因大自然的变迁可把大量有机物质和森林等深埋在地层内，天长日久后形成石油和煤炭，及天然气等有用的动力资源。

多少年来，人类就是利用太阳能所形成的动力资源，推动着生产力向前发展，并不断提高人们的物质生活和精神生活。而随着人口的不断增加，社会生产力的不断提高，以及人们对高度物质文明和精神文明的需要，使得人们对动力资源的需求也就越来越大。特别是一切现代化工业、农业、交通运输业、国防和科技等都需要大量的能源，才能维持其高速度发展。

人口的增长和能源的消耗量基本上是正比关系，而随着人口的增长，能源的消耗量飞快地增加。人口 50 年翻一番，而能源消耗，从 1956～1970 年相隔 15 年就增加了一倍多。当然，各国的消耗量和其工业发达的程度有关。二十世纪七十年代，一个美国或加拿大公民每年耗能 8.4 吨石油。而这两国的人口只占世界总人口的 6%，耗能却占了 31.3%；相反，占世界人口 10%的非洲人，耗能只占 2%，平均每人只消耗 0.31 吨石油，远小于世界平均值每人 1.6 吨。

由此设想，如果全世界每一个公民都能享受到像美国等发达国家的消耗量，那么即使人口的净增长率为“零”，其能源的消耗量也要猛增五倍。如按煤和石油的发热量进行计算，可得每吨石油相当于 1.4 吨煤的发热量，则每年要消耗 450 亿吨煤。而地球上已查明的有开采价值的煤炭储藏量为 13000 亿吨，这样不到 30 年就将开采完。另外，加上石油的储藏量也只能增加十年的开采量，也就是说 40 年左右就要用完。

当然，人们还可采取其它种种措施，如开发水力、风力、太阳能等。但由于人口的不断增加(大约每秒钟增加一人)，生活对能源的需求仍将不断扩大。按保守的估计，即保持原有的耗能水平，那么煤的开采只能维持 200 年，而石油和天然气则更短，为 50 年左右。这就好像一个人只从银行取款，而没有新款存进去一样，总有一天要取完。为此，世界上许多国家，特别是那些动力资源贫乏的那些国家，都在寻找开发新能源的途径。而 1939 年巨大的核裂变能的发现，立即引起了各国能源专家的重视。

由于第二次世界大战的特定环境，核能未被和平利用，而首先用于军事目的。但是第二次世界大战以后，美、苏、英、法等国都成立了利用核能的工业部门，大力发展和推广核能的应用。其实人们早在蒸汽机时代，就知道把热能转换成电能为人类服务。而核裂变能它也是以热能的形式出现的，只要把这些热量传递出来，就能对核能加以利用。

核能只能在特定的反应堆内释放，首先转换成热能，然后通过蒸汽透平带动发电机组转换成对人类特别有用并能方便传送的电能，这就是核发电站的设想。原子能电站通过铀 235 核裂变链式反应可释放出巨大的热能，然后由载热剂(如水或二氧化碳气体等)把热量带到热交换器，把热量交换后，由主泵把载热剂送回到堆内。在热交换器内产生的蒸汽被送入了透平车间，推动蒸汽透平转动的同时带动发电机组，最后变成电能输送出去。

由于美国在核能发展方面的有利条件，使得它早在 1950 年就曾利用核能进行发电的尝试。那是建造在布鲁克海文实验室的一个实验性核动力堆，电功率为 3 万千瓦，用天然铀作燃料，石墨作慢化剂，反应堆的芯部通入空气进行冷却，然后将被加热的空气引入热交换器，使水变成蒸汽，最后推动小型透平发电机组发电。另外在 1951 年 12 月 20 日，美国利用它的第一座生产钚的增殖反应堆的剩余热量来发电，电功率为 100 千瓦。

虽然美国从五十年代初就开始研究和建造用于发电的各种类型的反应堆，但其真正的目的还是在于军事。1954 年，美国建造的第一艘核动力潜艇“鹦鹉螺”号举行了下水典礼，这就是一个很好的证明。而世界上第一个使用核燃料把核能用来发电的核动力反应堆是在苏联首先建成的。这个核电站是在 1954 年 6 月 27 日开始正式运转发电的，它的电功率为 5000 千瓦。所用的核燃料是一种低浓缩铀，铀 235 占 5%。慢化剂和反射层均用纯石墨砌块，反应堆内插有 128 根铀棒，铀的总装量为 550 公斤，每昼夜铀 235 的消耗量为 30 克。而英国第一座用气体冷却的动力堆的核发电容量为 50000 千瓦，它是在 1956 年 5 月英国的卡德霍尔建成投入运行的，可供 30 万人口的城市需要。同年美国在希平港建成了一号压水堆型核电站，其发电容量为 60000 千瓦。

随着核科学技术的不断发展，核动力被广泛地用于各种舰艇和船只，并出现了许多种堆型，其中主要有，轻水堆、石墨气冷堆和重水堆。到 1977 年 6 月底，在已投产的核电站中，压水堆和沸水堆统称为轻水堆，比重约占 81%，而在新建的核电站中，轻水堆的比重高达 94%。核电站的总容量反从 1976 年的一亿千瓦到 1980 年为 1.7 亿千瓦，而 1985 年可达 4 亿千瓦。另外，从世界总能源的消耗量中看出，核能所占的比重从 1976 年的 0.3%到 1980 年的 3%增长了 10 倍。到 1978 年 12 月为止，世界上拥有反应堆的国家，已达几十个国家，而拥有大型核电站的国家也有十几个，功率从 30 万、40 万、60 万和 90 万千瓦，一直到 100 万，130 万千瓦的核电站都相继投入了运行。

目前世界上美国所拥有的核发电站最多，其次是苏联，而日本和法国的核发电也发展很快，而西德和英国的核发电容量则达几千万千瓦，就是印度的核发电容量 1980 年也为 270 万千瓦。核能源将成为一种普通的常规能源，它将成为人们日常生活必不可少的能源之一。

7、放射性的应用

核能的和平利用除了以核动力的形式被广泛应用于现代能源和舰艇船只的动力外，还可利用放射性核本身所发射的各种射线的能量。这是一切放射性核所具有的特性，虽然其能量和核裂变能相比是比较小的，但由于核科学技术的蓬勃发逐，放射性在科学技术上还是获得了愈来愈广泛的使用。而这些有用的不同能量、不同种类的射线都是从各种核素中放射出来的，所以放射性的应用也归结为放射性核素的应用。

放射性应用的形式可分成三种：第一，它可以作为新的科学研究工具(即示踪原子)应用于各种学科。其中包括物理学、化学、生物学、医学、地质学和考古学等；第二，放射性同位素所发射的射线和 X 射线很相似，可以用来作为辐射源去透视各种 X 射线不能透视的材料内部的特性和缺陷，并可以在大规模生产中，用作为自动检查仪器及各种测量仪器等等；第三，它可作为核能源应用，如核电池。下面仅就某些方面的应用加以简单介绍。

首先，在考古学中，我们可以利用测定发掘物中碳 14 放射性核素的含量，来确定它的年代。这是由于不论植物的品种和生长在何处，其新细胞组织中每一克碳内所包含的放射性碳原子核的数目都是相同的，即都等于 750 亿个，它们衰变时能放出 β 粒子，其半衰期约为 5730 年，即 2 分钟内有 17 个碳 14 核发生衰变。随着弱 β 射线测量方法的不断改进，科学家们有办法测量出它的放射性活度。

当然，在大自然的循环过程中，植物中的碳 14 随同废物一起进入动物的机体。这样生长中的动植物，其中衰变掉的碳 14 是由大气中的二氧化碳所生成的新的碳 14 来补充，所以每克组织中的碳 14 的数目保持不变。但是死亡后的动物或植物其情况就不同了，此时来自大气的放射性碳原子不再补充衰变掉的放射性碳原子，而死亡机体中的放射性碳原子数目是按其衰变规律减少，即约经 5730 年下降一半，经 11460 年减少到 1/4。依此类推，就能根据动植物残骸中碳 14 的含量来确定其死亡时间。考古学家们就是用上述方法来确定各种出土文物、古遗址和具有考古价值遗物的年龄的。例如，我国曾对出土越王勾践剑进行过鉴定。

当然，在测定含有动物或植物体所形成的许多碳化合物的岩石的年龄时，要求它们不能超过几万年。因为如果在 6 万年前，即约经过 10 个半衰期，这样碳 14 的放射性活度已下降到千分之一，测出它就很困难，实际上也是不可能的。同样，可根据天然放射性核素的衰变规律，以及它在某种特定的公石中的含量，来确定化石的年龄。从此也可以推算出形成矿床和地层的年龄，这比其它各种估计地壳年龄的方法能更精确地得到地质年代或陆地形成的年代，通常称之为“地质钟”，用这种方法可算知地壳的年龄约为 40 亿年。

www.offcn.com

在地质学上的另一种应用是放射性勘探矿藏。在地质钻孔探矿中，对于不同钻孔深度的岩芯样品分析原是件复杂而繁重的工作。而射线探矿就可以很快帮助地质学家们解决这个问题。对于那些含有放射性元素如铀、钍、钾等的矿层，可直接从放射性活度记录仪器上反映出来。

研究结果表明：粘土、页岩、磷石灰岩等都有很强的放射性。而煤、砂岩、石灰岩(可能含有石油)，以及气体等的放射性是很微弱的。由此可见从放射性的强弱大致上可发现石油矿层。

放射性射线在现代工业的生产过程中也获得了十分广泛的应用。

我们知道由于射线具有强的穿透性，特别是 γ 射线，它的穿透能力比医学和工业上已用过的 x 射线还要强许多倍。这样，冶金和机械工业就用它来透视各种产品，以达到无损探伤的目的。常用的有钴 60 γ 射线探伤仪，这种射线能穿透 30 厘米厚的铁板。

经过透视可方便地发现各种金属制品中的缺陷，如零件中的裂纹或铸件中的砂眼，特别能及时查出焊缝的质量。更方便的是用射线照相的方法，如在射线通过的路径上有孔隙或裂纹，则 γ 射线将会畅通无阻，照相底版上就会呈现出黑色。也可用计数器代替照相底版，从计数的强弱中可分析出金属中有无缺陷。

随着中子的发现及其测量技术的发展，现代工业中往往用中子源代替 γ 源进行中子探伤或称中子照像。由于这种方法具有更多的优点，因此近年来被更广泛采用。

此外，利用同样的原理可对钢板等各种板材的厚度进行自动测量，这种装置称为射线测厚仪。用它可以控制和保证其生产过程中板材厚度的均匀性。当然也可对各种金属镀层厚度或涂在人造革、漆布和其它纺织品上的颜色、涂料的厚度进行测量；对锅炉内的水位或其它容器内的液位高度也可进行测量，这种装置称为射线液位计；对高速旋转的机器的转速也可进行测量，被称为射线测速仪等等。

另外一个有意思的应用放射线核素的例子是可用它来检查无法直接观察的设备零件的磨损情况。当磨损情况严重时，放射性核素进入摩擦面，一起磨损被润滑油带走。只要在润滑油所经过的路径上装上记录放射性的计数器，就能及时地发现油内的放射性元素，运行操作人员只要从仪表指示或讯号指示上就能很快发现。

根据同样的原理，可使输送石油产品自动化。即在同一根管道中连续输送两种不同产品时，只要在中间注入一种含有放射性核素的制剂，使其与管道的阀门开关相互联系，造成油门的自动转换，就能达到自动输送的目地。当然，同时也可做到放射性检漏，只要把放射性检漏仪放入油管中，如遇上漏油处它就能发出讯号指示出漏油的地方，可做到及时维修。

毫无疑问，随着核技术的不断发展，它在现代工业上，特别是生产过程自动化的需要上，各种放射性同位素仪表将起着更大的作用。

由于射线的电离本领能杀死各种细菌，所以可利用射线对罐头食品、医疗用品进行消毒，它在食品工业、商业和贮藏保鲜食品等方面也获得了广泛应用。

同样，放射性同位素在农业生产中也得到了多方面的应用。例如，辐照育种以达到早熟增产的目的，经过三十多年的研究证明，辐照后的种子，其生长过程发生了许多变化，其中大多数变化干扰了它们正常生长而发生变异。但是仍有一部分经过突变的生物体在某一方面得到了改善。至今，人们还不能控制或预测它们的变化。

不过已有九种辐照良种在世界各地生产，在这些良种中，没有一种理想的变化是直接来自处理过的种子，它们都是经过几代的杂交育种和选种以后，才能获得有用的新品种。

除此以外，放射性核素示踪剂还可用于合理施肥，即把放射性核素磷 32 混入肥料，观测其根部如何吸收营养，结果发现植物在生长前两三个星期内，其体内 50～70%的磷都是从肥料中得到的。另外发现肥料也可被植物的叶部吸收。像磷、氮、钾这些元素从吸收部位运送上去和运送下来的速率，与由根部吸收后的运送速率是相同的。

当然，在其它方向如家畜的饲养、种子、果品、蔬菜等贮存保鲜，以及防治各种病虫害方面，射线也有很多应用，在此就不再一一例举了。

目前放射性核素在生物化学和生理学方面，已愈来愈广泛地被用来研究机体内的新陈代谢作用等等。研究结果表明，人体中所需要的各种蛋白质、脂肪等基本物质在贮存过程中部不是“不变的”。它们根据人体活动的需要而随时动用，不断地进行物质的更新过程，也就是破坏和分解一些旧物质，生成一些

新物质是同时进行的。这样就能对人体内的新陈代谢作用更为有效地抑制和调节，从而促进人的健康和长寿。

另外，通过示踪原子法对人体的血液循环出进行了研究，因为血液循环的速度能够说明身体的健康状况。一般是注入含有微量放射性钠原子的食盐水，并用能记录钠 24 所放射的 γ 射线的计数器进行测量。结果表明健康成年人的血液循环一周的平均时间约为 22 秒；2～12 岁的小孩为 11 秒，而 6 周到 2 岁的小孩只有 7 秒钟。

由此也可在某些病症的选药上进行应用放射性核素。如果我们对患有高血压病的人，测量其用药前后的血液循环时间的变化，很快就能确定治疗高血压病的各种药品的效果。

此外，用标记红血球的办法，可证明人体中并不存在“血库”的概念。因为早先人们曾认为人体中的血液不是全部参加循环，而是有一部分血液积存在肝、脾和一部分肌肉内，即“血库”。而人在进行体力劳动或机体处在氧气稀薄的情况下(如高山或高空中)，“血库”能把血压出参加循环。

但经用食有放射性磷 32 的红血球进行验证，测得在剧烈运动或繁重的体力劳动后，人体血液中的红血球量实际上并没有增加。这就说明，没有从“血库”中取得任何补充血液。另外，测量在送入标记红血球 24 小时后同一人体的血液放射性的结果，发现完全相同没有任何变化。由此也明显地否定了“血库”的说法。

放射性核素在医学上应用的另外一个重要方面是诊断和治疗许多疑难病症。最早应用的是放射性碘对人体的甲状腺进行诊断。而且从甲状腺活动的变化分析中得出，当患有高血压、心脏病肺病等病症时，甲状腺的功能就失调减退，相反对皮肤病患者，甲状腺功能亢进。一旦健康恢复，其功能亦恢复正常。由此可见，放射性碘不但能帮助诊断病症，并能在治疗过程中检查健康的恢复情况。

放射性核素对外科医生的手术也有帮助。先把示踪原子浓集于患者的病灶处(如甲状腺或肿瘤)，这样就能用计数器准确地定出开刀的位置，并能知道切除的干净程度。

许多医疗单位都设立了“核医学科”“放射科”“放疗科”，所以在医学上采用放射性核素进行治疗已起着特别重要的作用。其中尤其是对癌症的综合治疗，一种是外部大剂量放射性辐照进行深部治疗；另一种是内部注射疗法。还有就是带放射性核素的敷贴剂，它可直接贴在患处，对各种湿疹、牛皮癣等特别有效。其优点表现在只限于有病的皮肤，对其余健康的皮肤不起伤害作用；而且只照射皮肤的表层，对深部组织影响不大。

例如在治疗面部皮肤或粘膜性的某些癌症时，溶液状的放别性磷可直接引入肿瘤内部。一旦治愈后仅留下一块不的瘢痕，能保持容貌上的美观。过去外部照射的射线是用镭，后来慢慢用钴 60 代替。现在常用钴炮照射治疗各种疾病。

随着中子发现以后，利用它具有对生物组织的更大的破坏力来治疗许多恶性肿瘤，也已取得不少成效。只要在肿瘤中注入某种(如硼 10)能大量吸收中子的元素，中子被吸收后就能放出 γ 射线，它对肿瘤细胞起到杀伤作用，但对正常组织无任何危害。

总之，核能和放射性核素在生物学和医学上的应用将会给人们提供更大的可能性去解决人的健康和长寿的问题。

至于放射性核素和各种射线，特别是中子活化技术等方面的应用将更有发展前途。但不管怎样，放射性同位素的获得和广泛应用是人类智慧的又一伟大创举，它将为社会生产力的进一步发展和提高开阔了广阔的前景。如果说十九世纪主要是蒸汽时代，那么二十世纪就是电子时代，并已经开始逐步走向核能时代。巨大的核能必将为人类的进步和文明做出应有的贡献。

www.offcn.com