

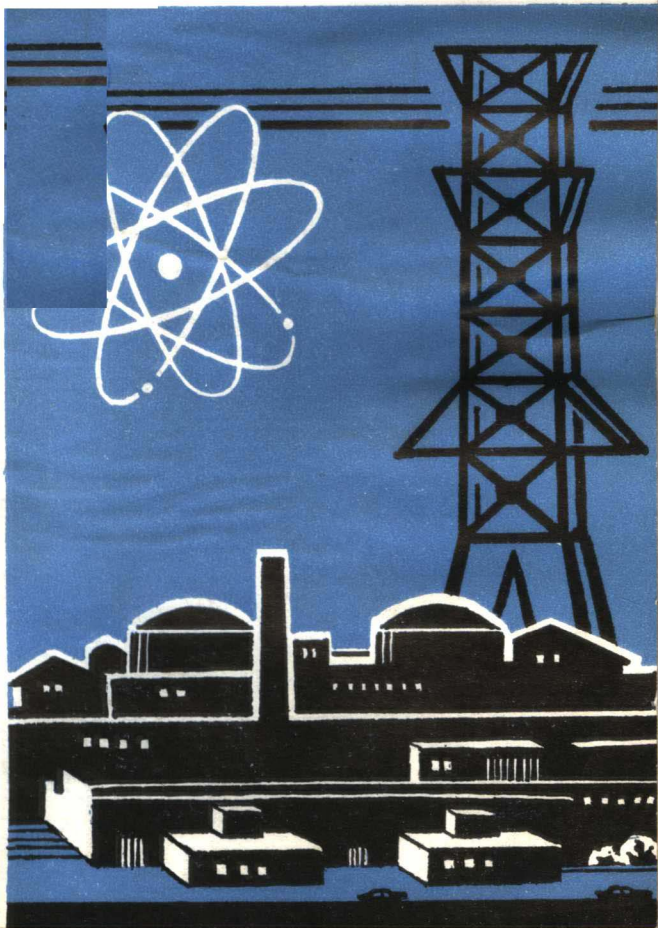
核电站

中央人民广播电台科技组 编
科学普及出版社编辑部



科学广播

科学普及出版社



科学广播

核电站

郭汉彬 著

科学普及出版社

内 容 提 要

核能（原子能）是现代最有发展前途的能源之一。现代化国家都在纷纷建立核电站。我国也具有发展核电的条件。

本书简明通俗地讲述了核电站的基本原理，介绍了世界核电站的发展现状和趋势，阐述了核电站的安全性、可靠性和经济性。此外，对我国发展核电站的必要性和可能性也作了分析。

本书在中央人民广播电台《科学知识》节目广播稿的基础上整理而成，适于具有初等文化水平的读者阅读。

科 学 广 播

核 电 站

郭汉彬 著

责任编辑：陈金凤

封面设计：张松英

*

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防科委印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：1¹/₈ 字数：22千字

1982年8月第1版 1982年8月第1次印刷

印数1—5,400册 定价：0.13元

统一书号：13051·1284 本社书号：0395

目 录

- | | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 第一讲 | 核电站的基本知识····· | 1 |
| 第二讲 | 世界核电站的发展现状····· | 7 |
| 第三讲 | 世界核电站的发展前景····· | 13 |
| 第四讲 | 美国三里岛核电站发生的严重事故和
它的影响····· | 19 |
| 第五讲 | 核电站的安全性····· | 24 |
| 第六讲 | 我国发展核电站的必要性和可能性····· | 28 |

核能是现代一种比较理想、大有发展前途的能源。五十年代以来，特别是一九七三年阿拉伯国家实行石油禁运和石油提价以后，工业发达国家为了解决“能源危机”，大力发展核电站。目前，全世界已经有二十多个国家和地区，建成了核电站二百多座，还有五百二十多座核电站正在建设和计划建设中。据1980年统计，核电站装机容量达到二亿四千万千瓦，到本世纪末，将达到十亿千瓦到二十亿千瓦，占全世界总发电能力的百分之三十左右。

核能具有很大的经济价值，一公斤核燃料放出的能量相当于二千五百吨煤或者两千吨石油燃烧时放出的能量。一旦实现了热核聚变发电，人类将会得到更加巨大的能量。利用核电站发电，资源丰富，能量集中，成本低廉，安全可靠，不受自然条件的限制，前景十分诱人。

第一讲 核电站的基本知识

自从1939年发现核裂变和1942年美国第一个核反应堆创建成功以后，人类进入了利用核能的时代，它如同蒸汽机的发明一样，对人类科学技术和工业的发展具有重大的意义。核电站是一种干净而又便宜的新能源，为人类征服自然、改

造自然展现出美好的前景。

核能既可以用于战争目的，也可以用于造福人类。原子弹是在不到百万分之一秒的瞬间内，使核燃料产生裂变链式反应，释放出巨大的能量，发生猛烈的爆炸。而核电站是利用核燃料在反应堆中，缓慢地以一定的速度有控制地进行裂变链式反应，持续释放出一定功率的热能，然后把热量从反应堆内带到热交换器中，产生高温水蒸气，推动汽轮发电机组发电。

在核电站里，汽轮机、发电机以及其他许多设备和设施，同一般发电厂基本相同。所不同的是，用来推动汽轮发电机的高温蒸气的能量来自反应堆中的核燃料，而不是普通锅炉中的煤、石油或天然气。

核燃料在反应堆中是怎样燃烧的呢？核燃料的燃烧过程是这样的：当铀-235或者钚-239等核燃料的原子核受到中子撞击的时候，会发生分裂释放出能量，这种核反应放出的能量，人们把它叫做原子核裂变能，简称为核能，比同质量的普通燃料所放出的化学能要大几百万倍。在核裂变释放能量的同时，还能放出两个到三个快中子，经过慢化剂减速，变成慢中子，又去撞击别的铀-235或者钚-239原子核，引起新的裂变反应。新的裂变反应又产生出快中子，快中子经过减速变成慢中子再去撞击别的铀-235或者钚-239原子核，引起另一次新的裂变反应。这样一来，产生的中子越来越多，引起的裂变反应的数量也越来越增加，这种现象就叫做链式反应（图1）。不受控制的链式反应，能造成“核爆炸”，这就是原子弹的原理。把链式反应加以控制，形成所谓“核燃烧”，这就是核能作为能源的利用基础。

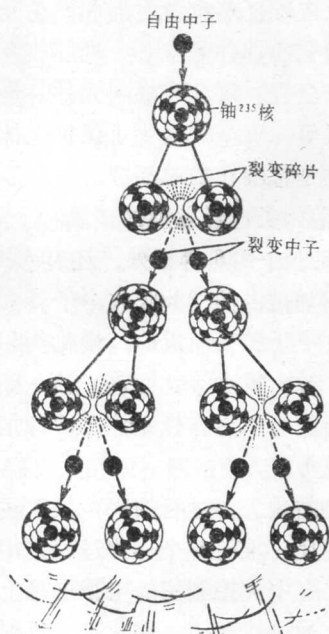


图1 链式反应示意图

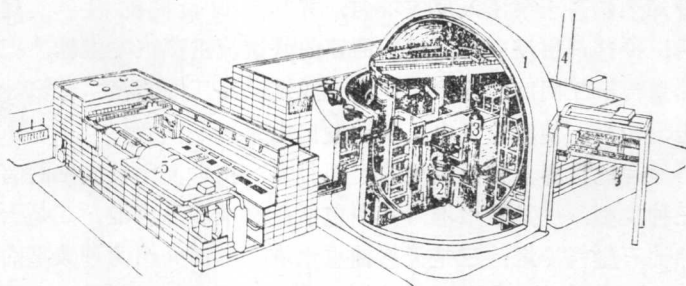


图2 核电站结构示意图

- 1.安全壳 2.核反应堆芯 3.蒸气发生器 4.排气口 5.汽轮发电机组

核电站由反应堆、蒸汽发生器和汽轮发电机组等三部分组成。反应堆的核心部件是堆芯，堆芯放在压力容器内，压力容器外还有安全壳。堆芯有燃料元件、慢化剂、冷却剂、控制棒和反射层等。安全壳是为了保护人体不受放射线的危害而设置的，它是包围在堆芯周围的一层厚的重混凝土防护墙（图2）。目前人类已经发现的核燃料，除自然界存在的钷-232、铀-235、铀-238等以外，还有人工制造的钷-239和铀-233。钷-239是由铀-238吸收中子转变而成的，铀-233是由钷-232吸收中子转变而成的。慢化剂和反射层材料一般使用石墨、水、铍、重水等。而镉、铅、硼等是比较理想的吸收中子的材料，可以用作控制棒。冷却剂一般采用气体、液体和液态金属等。

那么，核电站是怎样运行的呢？投入运行的反应堆是完全封闭的，现代反应堆的整个操作过程是用电子计算机程序控制，运行情况在中央控制室的电视屏幕上显示出来。核燃料在反应堆内，通过控制棒、慢化剂、反射层的控制，进行有控制、有秩序的核裂变链式反应，并且释放出巨大的热能。冷却剂被高压泵压入反应堆内，并加热到很高的温度。然后，冷却剂由反应堆通过一回路的管道流进蒸汽发生器，把热量传给二回路的冷水，使它变成高温高压的蒸汽，蒸汽冲击汽轮机，使汽轮发电机转动发出电来。

目前世界上核反应堆的类型很多，技术上比较成熟的有三种类型：一是轻水堆，其中包括压水堆和沸水堆，二是天然铀石墨气冷堆，三是天然铀重水堆。下面介绍两种典型的核电站：一种是九十万千瓦压水堆型核电站；一种是六十万千瓦重水压管式堆核电站。

在世界上，压水堆型核电站发展最早，建造得最多，发电成本低。压水堆型核电站主要由反应堆厂房、汽轮发电机房和辅助设备厂房组成。反应堆厂房是一个大圆柱体，顶是球形的，高达五、六十米，内径大约是五十米，壁厚二米左右，全部用六、七厘米的钢板衬里，人们把它称做“安全壳”。它是禁锢放射性的最后一道屏障。在厂房的中部，有一个高达十几米的钢制压力容器，这个容器的中心区，就是反应堆的心脏部分，叫“堆芯”。核燃料和净化的普通水就装在这里，链式反应也在这里进行。“堆芯”相当于普通锅炉的燃烧室，核燃料相当于普通锅炉用的煤。第一次投入运行时，装入七十多吨的核燃料，以后每年更换三分之一。在压力容器的上部还有五十多组控制棒，用来控制核裂变反应的进行。在核反应时，核燃料放出核能并转化为热能。用加压水作为载热剂把热能“载出”，引到蒸汽发生器里，把另一回路的水加热，产生高温高压蒸汽，推动汽轮发电机组发电。所以这种反应堆就

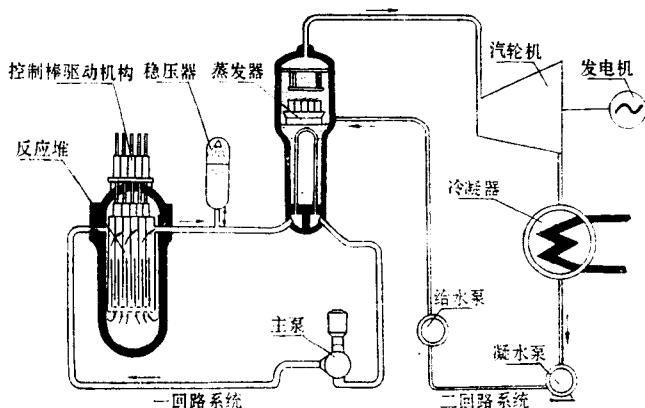


图3 压水堆型核电站示意图

叫做压水堆，这种核电站，就叫做压水堆型核电站(图3)。

重水压管式堆核电站，在世界上也已成批推广，技术上也是比较成熟的。它的特点是，不需要低浓铀作燃料，而且不需要制造相当困难的压力容器，很受第三世界国家的重视。这种核电站使用的核燃料是比较廉价的二氧化铀，用二十九个棒体连成一个燃料元件，并用锆合金做成外壳，把它们密封起来。每三十七个燃料元件组合在一起构成燃料棒束。最后把这些棒束装入水平管道组件。这种反应堆还有一个特点，就是可以不停堆而装卸燃料，使核电站能连续不断地运行。

上面介绍的两种类型核电站，并不是目前世界上最先进的，但它具有一定的代表性，介绍的目的是，主要是使大家对核电站的原理和各部分的构造和作用，有一个概括的了解。

按照使用核燃料的不同，反应堆大体上分为三种类型，它代表了核能开发的三个不同阶段，可称为三代核电站。第一代核电站，就是前面所提到轻水堆、天然铀石墨气冷堆和天然铀重水堆。第二代核电站是增殖堆核电站。第三代是聚变堆核电站。

第二讲 世界核电站的发展现状

从五十年代以来，特别是1973年阿拉伯国家实行石油禁运和提价以后，西方世界陷入“能源危机”的困境，为了减少对石油能源的依赖，大力发展核能的利用，七十年代在世界各工业国家中，核电站的建立，就象雨后春笋一样，纷纷出现。除美、英、法、西德、日本、意大利等国大力兴建核电站以外，瑞典、瑞士、比利时等国，核能发电已经占各国总发电量的百分之二十左右。第三世界国家如伊朗、印度、巴基斯坦、巴西、阿根廷等国，也都在发展自己的核电力工业。1979年，全世界已经有二十多个国家和地区，建成了核电站共二百多座，装机容量达一亿二千万千瓦，还有五百二十多座核电站正在建设或者计划建设当中，装机容量达六亿千瓦左右。据1980年资料，核电站装机容量将达到二亿四千万千瓦。到本世纪末，预计核电站的发电能力，将占全世界总发电能力百分之三十左右。

由于核能的迅速发展，现在许多工业发达国家的发电手段已经发生了很大的变化。美国现在共有七十多座核电站，其中三十五座是在1974年建造的，1977年中期，美国就建成了六十六座核电站，发电量达到四千七百万千瓦，占全国总发电量五亿二千七百七十万千瓦的百分之八点八。1980年

正在建造和订货的核电站,大约有一百五十六座,预计到1985年,发电量将达一亿七千万千瓦,到2000年,将达到五亿千瓦,占总发电量的百分之六十以上。英国现有核电站三十多座,计划再建八座,预计到2000年核电站的发电量将占全国总发电量的百分之七十以上。法国1979年已经有十四座核电站在运行,占全国发电量的百分之十三,计划到1985年新建成三十多座核电站,装机容量将达四千万千瓦,占全国总发电量的百分之五十五。法国建设核电站的能力,不仅可满足国内需要,而且能出口。日本的核电站,建设于六十年代,已经有十九座正在运行,发电量为二千八百万千瓦,占全国发电量的百分之十一,还有九座核电站正在建设中,有七座核电站正在进行设计。

世界各国核电站中采用的反应堆类型比较多,目前比较成熟的有三种:就是第一讲中介绍的轻水型反应堆、天然铀石墨气冷堆和天然铀重水堆。轻水型反应堆造价比较低,堆的结构紧凑,功率密度比较大,建设周期短,比较经济,而且安全可靠,因此,轻水堆目前在世界上已成为核电站的主流。天然铀石墨气冷堆,在英国、法国最初是作为单纯军用钚生产堆建造的,以后发展为发电和生产钚两用堆。它的突出优点是采用天然铀,比较经济。缺点是比功率和功率密度低,体积和装料量大,造价高。现在英、法两国已停止建造这种堆型核电站。天然铀重水堆的最大优点就是可以采用天然铀作燃料,天然铀的供应比较易于解决,燃料费较低。而且,更换核燃料时不用停止反应堆工作,因此使用效率较高。但是也有缺点,就是重水太贵,对密封和重水回收的要求高,基建和运行费用比较高。

目前，国外正在研制第二代、第三代核电站。第二代核电站就是增殖堆核电站，苏联、英国和法国已在七十年代前期建成了大型的实验性快中子增殖堆核电站，但是仍存在一系列复杂的技术和材料问题，还要经过一个时期的考验和研究才能进入实用阶段。第三代核电站就是聚变堆核电站，为实现可控的热核聚变反应，几个先进国家都集中了大量人力、物力进行研究。

为什么核电站能够发展这样迅速，得到这样高度的重视呢？总的说来，有下面几个原因。

首先，大力兴建核电站是开辟新能源的途径，是解决“能源危机”的重要手段。长期以来，煤、石油、天然气等化石燃料是世界能源的主体。据分析，1975年，世界的能源消耗量达八十七亿吨标准燃料，预计2000年的能源消耗将达二百亿到二百五十亿吨。在所消耗的能源中，有百分之二十五是用于发电的。1970年全世界总发电量为五万二千亿千瓦，估计1980年达十二万亿千瓦，平均每七年到十年就要增加一倍。按照这个消耗速度发展下去，地球上蕴藏着的石油和天然气可能在五十年内就会用完。这就是人们所担心的“能源危机”。在太阳能、水力、地热、潮汐、风力等可再生的能源中，水力、地热、风力、潮汐等受自然条件的限制，蕴藏量也较低，只能满足部分地区的部分需要。太阳能是很有前途的能源，它具有许多优越性，比如能量丰富，自然再生，没有污染，经济安全，但是因为它的能量密度低，供能间断、不稳，在地面上大规模应用还存在许多困难。在宇宙空间建造太阳能电站，大规模开发太阳能，这是一个伟大的设想，要实现起来，技术上和经济上的困难更大。因此，

在五十年内外，可为解决能源问题作出重大贡献的主要就是核电站，它已经有三十年的历史，技术上比较成熟，是取代化石燃料的最现实的一种新能源。

第二，核电站具有一般电站所不能比拟的优越性。

(1)核电站的能量高度集中。一公斤铀-235或者钚-239裂变链式反应释放出的能量相当于二千五百吨无烟煤或者二千吨石油燃烧时释放出的能量。因而大大节省燃料的运输量和储存量。形象地讲，火柴盒大小的一块核燃料就能代替三百多辆卡车的煤。一个中型的火电厂，一天里就能吞掉五千吨左右的煤，如果用卡车装运，就得跑一千多辆次。

(2)发电成本低。据估计，核电站发一度电只需一点七一美分，煤电站一度电为一点七四至二点零八美分，石油电站的成本更高，发一度电是三点九六美分。随着核电站功率的增大和技术的改进，今后核发电的成本还将逐步降低。

(3)污染环境比较轻。火力发电是边“吃”边“拉”，“肚里”存不住东西，把大量的脏物抛入大气、江河而污染环境，一个中型的火电厂每天就要“吐出”二百多吨二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳等烟尘和有害气体(图4)。而且，煤炭中还含有微量放射性元素镭、钍等，在燃烧过程中随烟尘排出，它造成的放射性污染甚至比某些类型的核电站还高。可是，核电站不会随“吃”随“拉”，它把“吃”进去的“脏东西”藏在“肚子”里，向外“吐出”的放射性污物极少。因而实际上核电站对环境的污染比较轻。

(4)大量利用核能，可以大大节省化石燃料，解决化石燃料的“枯竭危机”，而且，化石燃料是化学工业中的宝贵原料，它是各种人工合成材料如纤维、塑料、橡胶、药物、染料、

肥料，甚至是未来食品——合成蛋白、合成糖类的主要原料，把它烧掉实在可惜。大量利用核能就能替换出惊人数量的化石燃料，这将是造福后代的历史功业。

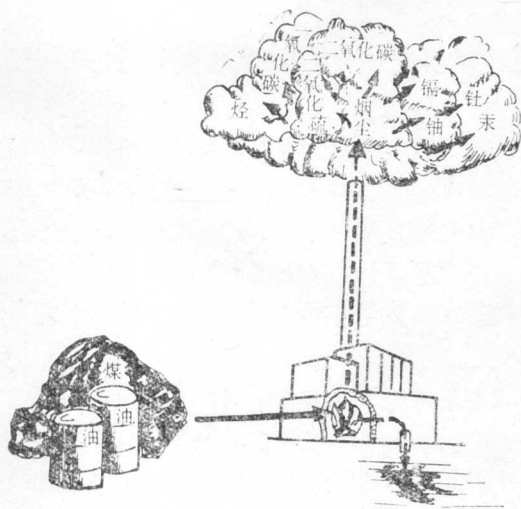


图4 火电厂“吐出”的有害气体

第三，核电站在发电的同时，还能使天然铀中的铀-238转变为钷-239，钷-232转变为铀-233，获得宝贵的核燃料，扩大核能资源。如有需要，核电站的动力堆还可以制取放射性同位素。由于核燃料的应用，海水淡化和从海水中提炼矿产等需耗费大量电力的工业，就都可以实现了。

当然，核电站也有它的缺点，比如投资巨大，技术复杂，牵涉面广，建设周期长等。美国建造一个一百万千瓦的压水堆

型核电站投资约五亿美元，动员数十个厂家，从设计到建成大约需要七到十年。此外，在解决核电站的安全性和可靠性以及核废物的处理等方面，还存在相当复杂的技术和经济问题。

第三讲 世界核电站的发展前景

核能的利用虽然已经有三十年的历史了，但是，它还处于发展的“青年”时期。今后，核电站的发展趋势，总的说来，就是改进和提高第一代核电站，积极研制第二代的增殖堆核电站，早日突破第三代的聚变堆核电站。这种干净、便宜、方便的聚变堆核电站，将最终解决人类对能源的巨大需求。

第一代核电站的发展趋势，大致可以概括为四个方面：

一是向大型化、标准化方向发展。由于大功率核电站有助于提高效率和经济价值，所以建设百万千瓦以上的大型核电站越来越多。目前，最大的核电站功率已经达一百三十万千瓦。同时，为了加强在国际市场上的竞争力，增加出口，目前核电站输出国都致力于使动力堆标准化和核燃料元件标准化。

二是积极发展新型反应堆。世界上已经投产的核电站中，压水堆和沸水堆的比重占百分之八十一，在新建的核电站中，大约占百分之九十四。预计今后轻水堆和重水型堆还会不断改进和发展。另一种有极大潜在优点的反应堆是高温气冷堆，这种反应堆能获得高温氦气，高温氦气除通过直接循环或间接循环，使发电设备产生大量电力外，还可以用作煤炭