

## 核电站工作原理

### 核电站工作原理

1.热堆的概念 中子打入铀-235的原子核以后，原子核就变得不稳定，会分裂成两个较小质量的新原子核，这是核的裂变反应，放出的能量叫裂变能；产生巨大能量的同时，还会放出2~3个中子和其它射线。这些中子再打入别的铀-235核，引起新的核裂变，新的裂变又产生新的中子和裂变能，如此不断持续下去，就形成了链式反应。利用原子核反应原理建造的反应堆需将裂变时释放出的中子减速后，再引起新的核裂变，由于中子的运动速度与分子的热运动达到平衡状态，这种中子被称为热中子。堆内主要由热中子引起裂变的反应堆叫做热中子反应堆(简称热堆)。

2.热中子反应堆，它是用慢化剂把快中子速度降低，使之成为热中子(或称慢中子)，再利用热中子来进行链式反应的一种装置。由于热中子更容易引起铀-235等裂变，这样，用少量裂变物质就可获得链式裂变反应。

3.慢化剂是一些含轻元素而又吸收中子少的物质，如重水、铍、石墨、水等。热中子堆一般都是把燃料元件有规则地排列在慢化剂中，组成堆芯。链式反应就是在堆芯中进行的。

4.反应堆必须用冷却剂把裂变能带出堆芯。冷却剂也是吸收中子很少的物质。热中子堆最常用的冷却剂是轻水(普通水)、重水、二氧化碳和氦气。核电站的内部它通常由一回路系统和二回路系统组成。反应堆是核电站的核心。反应堆工作时放出的热能，由一回路系统的冷却剂带出，用以产生蒸汽。因此，整个一回路系统被称为“核供汽系统”，它相当于火电厂的锅炉系统。为了确保安全，整个一回路系统装在一个被称为安全壳的密闭厂房内，这样，无论在正常运行或发生事故时都不会影响安全。由蒸汽驱动汽轮发电机组进行发电的二回路系统，与火电厂的汽轮发电系统基本相同。轻水堆 压水堆核电站自从核电站问世以来，在工业上成熟的发电堆主要有以下三种：轻水堆、重水堆和石墨汽冷堆。它们相应地被用到三种不同的核电站中，形成了现代核发电的主体。目前，热中子堆中的大多数是用轻水慢化和冷却的所谓轻水堆。轻水堆又分为压水堆和沸水堆。

压水堆核电站 压水堆核电站的一回路系统与二回路系统完全隔开，它是一个密闭的循环系统。该核电站的原理流程为：主泵将高压冷却剂送入反应堆，一般冷却剂保持在120~160个大气压。在高压情况下，冷却剂的温度即使300多也不会汽化。冷却剂把核燃料放出的热能带出反应堆，并进入蒸汽发生器，通过数以千计的传热管，把热量传给管外的二回路水，使水沸腾产生蒸汽；冷却剂流经蒸汽发生器后，再由主泵送入反应堆，这样来回循环，不断地把反应堆中的热量带出并转换产生蒸汽。从蒸汽发生器出来的高温高压蒸汽，推动汽轮发电机组发电。做过功的废汽在冷凝器中凝结成水，再由凝结给水泵送入加热器，重新加热后送回蒸汽发生器。这就是二回路循环系统。压水堆由压力容器和堆芯两部分组成。压力容器是一个密封的、又厚又重的、高达数十米的圆筒形大钢壳，所用的钢材耐高温高压、耐腐蚀，用来推动汽轮机转动的高温高压蒸汽就在这里产生的。在容器的顶部设置有控制棒驱动机构，用以驱动控制棒在堆芯内上下移动。堆芯是反应堆的心脏，装在压力容器中间。它是燃料组件构成的。正如锅炉烧的煤块一样，燃料芯块是核电站“原子锅炉”燃烧的基本单元。这种芯块是由二氧化铀烧结而成的，含有2~4%的铀-235，呈小圆柱形，直径为9.3毫米。把这种芯块装两端密封的锆合金包壳管中，成为一根长约4米、直径约10毫米的燃料元件棒。把200多根燃料棒按正方形排列，用定位格架固定，组成燃料组件。每个堆芯一般由121个到193个组件组成。这样，一座压水堆所需燃料棒几万根，二氧化铀芯块1千多万块堆芯。此外，这种反应堆的堆芯还有控制棒和含硼的冷却水(冷却剂)。控制棒用银铟镉材料制成，外面套有不锈钢包壳，可以吸收反应堆中的中子，它的粗细与燃料棒差不多。把多根控制棒组成棒束型，用来控制反应堆核反应的快慢。如果反应堆发生故障，立即把足够的控制棒插入堆芯，在很短时间内反应堆就会停止工作，这就保证了反应堆运行的安全。轻水堆 沸水堆核电站 沸水堆核电站 沸水堆核电站工作流程是：冷却剂(水)从堆芯下部流进，在沿堆芯上升的过程中，从燃料棒那里得到了热量，使冷却剂变成了蒸汽和水的混合物，经过汽水分离器和蒸汽干燥器，将分离出的蒸汽来推动汽轮发电机组发电。沸水堆是由压力容器及其中间的燃料元件、十字形控制棒和汽水分离器等组成。汽水分离器在堆芯的上部，它的作用是把蒸汽和水滴分开、防止水进入汽轮机，造成汽轮机叶片损坏。沸水堆所用的燃料和燃料组件与压水堆相同。沸腾水既作慢化剂又作冷却剂。沸水堆与压水堆不同之处在于冷却水保持在较低的压力(约为70个大气压)下，水通过堆芯变成约285的蒸汽，并直接被引入汽轮机。所以，沸水堆只有一个回路，省去了容易发生泄漏的蒸汽发生器，因而显得很简单。

总之，轻水堆核电站的最大优点是结构和运行都比较简单，尺寸较小，造价也低廉，燃料也比较经济，具有良好的安全性、可靠性与经济性。它的缺点是必须使用低浓铀，目前采用轻水堆的国家，在核燃料供应上大多依赖美国和联合体。此外，轻水堆对天然铀的利用率低。如果系列地发展轻水堆要比系列地发展重水堆多用天然铀50%以上。从维修来看，压水堆因为一回路和蒸汽系统分开，汽轮机未受放射性的沾污，所以，容易维修。而沸水堆是堆内产生的蒸汽直接进入汽轮机，这样，汽轮机会受到放射性的沾污，所以在这方面的设计与维修都比压水堆要麻烦一些。

**重水堆核电站** 重水堆按其结构型式可分为压力壳式和压力管式两种。压力壳式的冷却剂只用重水，它的内部结构材料比压力管式少，但中子经济性好，生成新燃料钚-239的净产量比较高。这种堆一般用天然铀作燃料，结构类似压水堆，但因栅格节距大，压力壳比同样功率的压水堆要大得多，因此单堆功率最大只能做到30万千瓦。因为管式重水堆的冷却剂不受限制，可用重水、轻水、气体或有机化合物。它的尺寸也不受限制，虽然压力管带来了伴生吸收中子损失，但由于堆芯大，可使中子的泄漏损失减小。此外，这种堆便于实行不停堆装卸和连续换料，可省去补偿燃料的控制棒。

压力管式重水堆主要包括重水慢化、重水冷却和重水慢化、沸腾轻水冷却两种反应堆。这两种堆的结构大致相同。

(1) **重水慢化，重水冷却堆核电站** 这种反应堆的反应堆容器不承受压力。重水慢化剂充满反应堆容器，有许多容器管贯穿反应堆容器，并与其成为一体。在容器管中，放有钎合金制的压力管。用天然二氧化铀制成的芯块，被装到燃料棒的钎合金包壳管中，然后再组成短棒束型燃料元件。棒束元件就放在压力管中，它借助支承垫可在水平的压力管中来回滑动。在反应堆的两端，各设置有一座遥控定位的装卸料机，可在反应堆运行期间连续地装卸燃料元件。这种核电站的发电原理是：既作慢化剂又作冷却剂的重水，在压力管中流动，冷却燃料。像压水堆那样，为了不使重水沸腾，必须保持在高压(约90大气压)状态下。这样，流过压力管的高温(约300℃)高压的重水，把裂变产生的热量带出堆芯，在蒸汽发生器内传给二回路的轻水，以产生蒸汽，带动汽轮发电机组发电。

(2) **重水慢化、沸腾轻水冷却堆核电站** 这种堆是英国在坝杜堆(重水慢化、重水冷却堆)的基础上发展起来的。加拿大所设计的重水慢化重水冷却反应堆的容器和压力管都是水平布置的。而重水慢化沸腾轻水冷却反应堆都是垂直布置的。它的燃料管道内流动的轻水冷却剂，在堆芯内上升的过程中，引起沸腾，所产生的蒸汽直接送进汽轮机，并带动发电机。因为轻水比重水吸收中子多，堆芯用天然铀作燃料就很难维持稳定的核反应，所以，大多数设计都在燃料中加入了低浓度的铀-235或钚-239。重水堆的突出优点是能最有效地利用天然铀。由于重水慢化性能好，吸收中子少，这不仅可直接用天然铀作燃料，而且燃料烧得比较透。重水堆比轻水堆消耗天然铀的量要少，如果采用低浓度铀，可节省天然铀38%。在各种热中子堆中，重水堆需要的天然铀量最小。此外，重水堆对燃料的适应性强，能很容易地改用另一种核燃料。它的主要缺点是，体积比轻水堆大。建造费用高，重水昂贵，发电成本也比较高。

**石墨气冷堆核电站** 所谓石墨气冷堆就是以气体(二氧化碳或氦气)作为冷却剂的反应堆。

这种堆经历了三个发展阶段，产生了三种堆型：天然铀石墨气冷堆、改进型气冷堆和高温气冷堆。

(1) **天然铀石墨气冷堆核电站** 天然铀石墨气冷堆实际上是天然铀作燃料，石墨作慢化剂，二氧化碳作冷却剂的反应堆。这种反应堆是英、法两国为商用发电建造的堆型之一，是在军用钚生产堆的基础上发展起来的，早在1956年英国就建造了净功率为45兆瓦的核电站。因为它用镁合金作燃料包壳的，英国人又把它称为镁诺克斯堆。该堆的堆芯大致为圆柱形，是由很多正六角形棱柱的石墨块堆砌而成。在石墨砌体中有许多装有燃料元件的孔道。以便使冷却剂流过将热量带出去。从堆芯出来的热气体，在蒸汽发生器中将热量传给二回路的水，从而产生蒸汽。这些冷却气体借助循环回路回到堆芯。蒸汽发生器产生的蒸汽被送到汽轮机，带动汽轮发电机组发电。这就是天然铀石墨气冷堆核电站的简单工作原理。这种堆的主要优点是用天然铀作燃料，其缺点是功率密度小、体积大、装料多、造价高，天然铀消耗量远远大于其他堆。现在英、法两国都停止建造这种堆型的核电站。

(2) **改进型气冷堆核电站** 改进型气冷堆是在天然铀石墨气冷堆的基础上发展起来的。设计的目的是改进蒸汽条件，提高气体冷却剂的最大允许温度。这种堆，石墨仍然为慢化剂，二氧化碳为冷却剂，核燃料用的是低浓度铀(铀-235的浓度为2-3%)，出口温度可达670℃。它的蒸汽条件达到了新型火电站的标准，其热效率也可与之相比。这种堆被称为第二代气冷堆，英国建造了这种堆，由于存在不少工程技术问题，对其经济性多年来争论不休，得不出定论，所以前途暗淡。

(3) **高温气冷堆** 高温气冷堆被称为第三代气冷堆，它是石墨作为慢化剂，氦气作为冷却剂的堆。这里所说的高温是指气体的温度达到了较高的程度。因为在这种反应堆中，采用了陶瓷燃料和耐高温的石墨结构材料，并用了惰性的氦气作冷却剂，这样，就把气体的温度提高到750℃以上。同时，由于结构材料石墨吸收中子少，从而加深了燃耗。另外，由于颗粒状燃料的表面积大、氦气的传热性好和堆芯材料耐高温，所以改善了传热性能，提高了功率密度。这样，高温气冷堆成为一种高温、深燃耗和高功率密度的堆型。它的简单工作过程是，氦气冷却剂流过燃料体之间，变成了高温气体；高温气体通过蒸汽发生器产生蒸汽，蒸汽带动汽轮发电机发电。高温气冷堆有特殊的优点：由于氦气是惰性气体，因而它不能被活化，在高温下也不腐蚀设备和管道；由于石墨的热容量大，所以发生事故时不会引起温度的迅速增加；由于用混凝土做成压力壳，这样，反应堆没有突然破裂的危险，大大增加了安全性；由于热效率达到40%以上，这样高的热效率减少了热污染。高温气冷堆有可能为钢铁、燃料、化工等工业部门提供高温热能，实现氢还原炼铁、石油和天然气裂解、煤的气化等新工艺，开辟综合利用核能的新途径。但是高温气冷堆技术较复杂。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/9596.html>