

# 大亚湾核电站不可能发生切尔诺贝利核电站事故

陈俊衡 黄哲恒  
(华南师范大学物理系, 广州 510631)

从两个核电站采用的堆型不同, 反应堆的结构原理不同, 以及采取的设备措施也各不相同等方面, 说明大亚湾核电站不可能发生切尔诺贝利核电站事故。

**关键词** 核电站, 压水堆, 石墨沸水堆

## Abstract

By comparing the differences in types of piles, construction principles, and the safety measures adopted, we have given the reason why the accident occurring in Chernobylsk Nuclear Power Station could not take place in Daya Bay Station.

**Key words** nuclear power station, pressurized water reactor, graphite boiling water reactor

世界上建设核电站已有 40 多年的历史。在约 30 个国家和地区, 已建造核反应堆 420 多座, 发电量占全世界总发电量 16%。核发电最发达的法国, 核发电量已占全国总发电量的 75%。国际经验证明, 核电是一种经济、安全、可靠及清洁的新能源。

我国核能的开发, 经过长期的酝酿和准备, 秦山核电站 300MW 压水堆机组于 1991 年 12 月并网发电, 实现了零的突破, 而大亚湾核电站则是我国建设的第一座大型商用核电站。大亚湾核电站装配两套 900MW 的压水堆发电机组。一号机组在 1993 年底已完成调试, 全站于今年建成投产, 年发电量  $1.0 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ 。它与广州抽水蓄能电站配合, 年发电量达  $1.26 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ , 分送广东、香港, 将对两地的经济发展和繁荣作出贡献。

在我国, 核电站是新开发的能源, 它是否安全, 人们总存在着不少疑虑。人们对原子弹爆炸的威力确是谈虎色变。1986 年 4 月原苏联切尔诺贝利核电站 4 号堆发生了严重的爆炸事故, 造成几十人死亡, 反应堆炸毁, 释放的放射性物质使一千平方公里土地受污染, 直接经济

损失达 30 亿美元, 震动了全世界。大家都关心核电站是否安全, 切尔诺贝利核电站事故是否会在大亚湾核电站重演? 要说清这个问题, 首先应谈谈切尔诺贝利核电站事故发生的原因。

## 一、切尔诺贝利核电站事故原因概述<sup>[1]</sup>

切尔诺贝利核电站事故发生的原因, 既有所采用反应堆固有的不安全性, 设计上的严重缺陷, 也有管理混乱, 操作人员严重违反操作规程等诸多因素, 导致了这次事故的发生。

切尔诺贝利核电站是由四座功率各为 1 M<sub>k</sub>W 的反应堆组成的。反应堆以石墨为慢化剂, 用沸腾的水冷却, 故称石墨沸水堆(图 1)。燃料和沸水都包容在锆合金压力管里, 全反应堆有一千多根压力管垂直均匀分布在石墨慢化剂中, 水由下而上地在压力管里流动着, 将裂变产生的热带出反应堆, 推动汽轮发电机组发电。

1986 年 4 月 25 日切尔诺贝利核电站的 4 号堆, 按计划准备降到正常运行功率的 20% 进

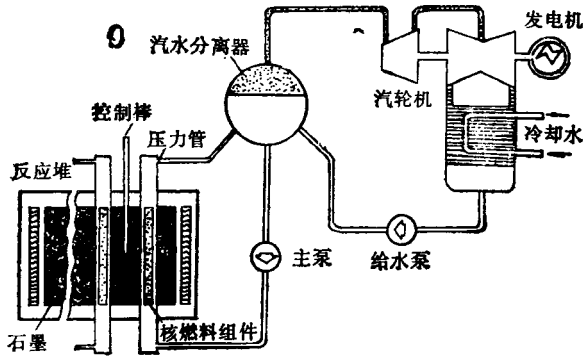


图 1

行试验。由于一系列的原因和错误，反应堆的功率降至 1% 以下，这时本应关闭反应堆，但操作人员为了尽快完成实验，却将堆内大部分控制棒抽出，只剩 6—8 根（按规定控制棒要少于 30 根需经总工程师批准），并将堆里的自动停堆和安全保护系统大多数关闭，以便随心所欲地调节反应堆。

事故前 14s，操作人员从仪表显示中发现堆已处于危险关头。10s 后，反应堆功率开始迅速上升，值班长命令停堆，但由于控制棒运动慢，堆芯又太大，已为时过晚，灾难终于降临。先是燃料聚集过多的热量而爆炸，经过 3s，又因化学反应造成第二次爆炸，反应堆堆芯炸开了花，石墨燃料造成火灾，大量放射性气体和灰尘进入大气，……

## 二、大亚湾核电站的基本构成

为了便于对两个核电站进行分析比较，下面简要介绍大亚湾核电站的基本构成（图 2）。

核电站大体分为两部分：一部分是利用核能产生蒸气的核岛，包括核反应堆和一回路系统；另一部分是利用蒸气发电的常规岛，这部分与普通火力发电厂大同小异，而核岛部分与其他产生蒸气的方法截然不同。

反应堆的种类很多，世界上核电站采用最多的是压水堆，占总装机容量一半以上。大亚湾核电站的反应堆就是采用了压水堆。

压水堆的慢化剂和冷却剂都是用普通的水，水在标准大气压下加热至 100℃ 时就沸腾，产生大量气泡。这会影响热量传递和反应控制。为此，反应堆中用加压设备，加至 155Pa 的压力，使反应堆里的水不沸腾，故称压水堆。

压水堆的核燃料是小指头大的烧结的二氧化铀芯块，其中铀-235 的浓度约为 3%，铀芯块封装在锆合金管中，成为燃料棒。将 200 多根燃料棒组装在一起成为燃料组件（图 3）。每个燃料组件中又有一束控制棒，并与驱动机构联接，控制着链式裂变反应的急缓程度和反应的开始和终止。整个堆芯装在压力壳内（图 4）。

压水堆工作时，水在主泵推动下从下部进

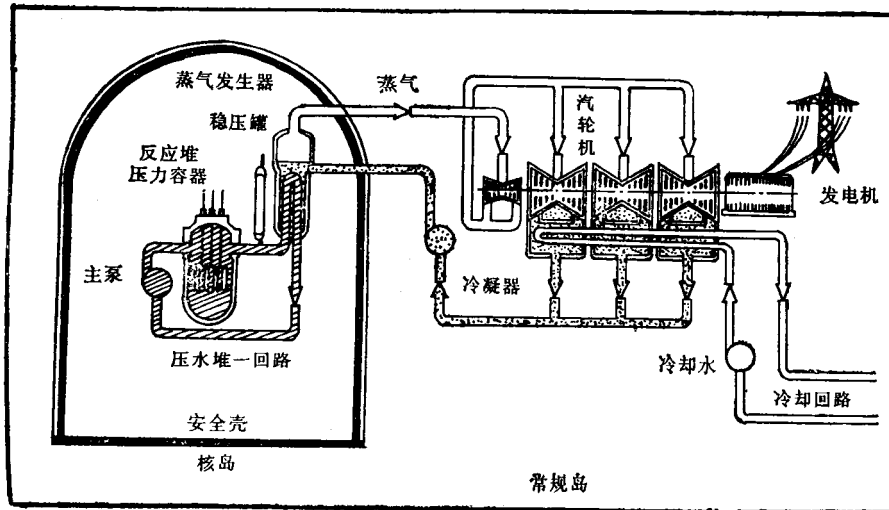


图 2

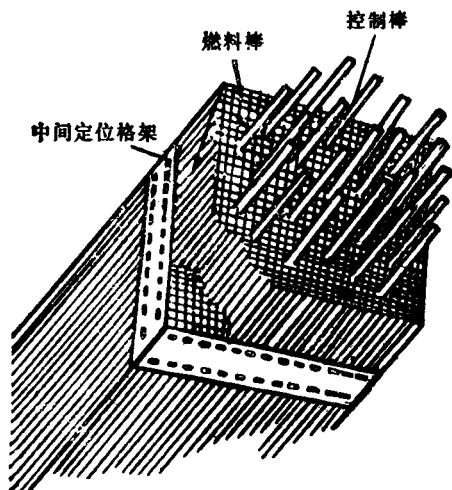


图 3

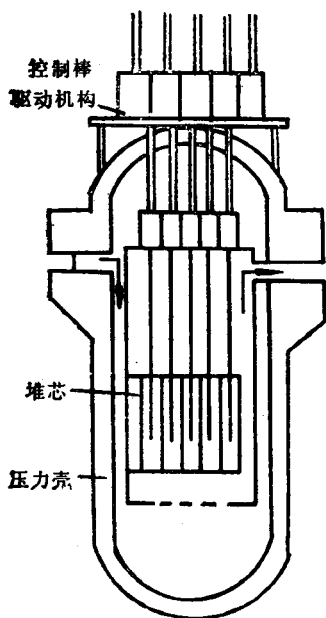


图 4

入堆芯，经燃料组件吸收了裂变热能，从堆芯上部流出压力壳。入口水温  $300^{\circ}\text{C}$ ，出口水温  $322^{\circ}\text{C}$ ，堆内压力  $155\text{Pa}$ 。高温高压水进入蒸气发生器，把部分热能传给二回路的水，由二回路的高温蒸气去推动汽轮发电机组发电。其中反应堆和一回路系统都装在一个预应力钢筋混凝土安全壳内，称之核岛。

物理

### 三、大亚湾核电站不可能发生切尔诺贝利核电站的事故

从以上的介绍可知，两个核电站采用了不同的堆型，由于反应堆的结构原理不同，采取的设备措施也各不相同。下面用对比分析方法，来说明大亚湾核电站不可能发生切尔诺贝利核电站的事故。

#### 1. 堆型不同，物理性能迥异

(1) 压水堆具有负温度系数，石墨沸水堆有正温度系数

当压水堆功率上升时，慢化剂和燃料的温度也上升，从而使慢化中子的能力降低，铀-235的裂变几率减少，铀-238的共振吸收增加，以及由于燃料的膨胀，单位体积中铀-235数目减少，一定程度影响反应速度的减慢。因此，堆内温度上升却对功率产生负作用，有抑制功率上升的趋势，所以压水堆有自稳定性。

石墨沸水堆却有正温度系数。压力管内的水是要俘获中子的，一旦功率上升，温度升高，使压力管内的气泡增加，从而对中子的吸收减少，堆内中子数增加，促进功率的进一步上升。这种正温度系数，使石墨沸水堆有不稳定性。切尔诺贝利核电站就是因功率失控而爆炸。

(2) 水不会燃烧，石墨在一定条件下要燃烧

压水堆中的水不会燃烧，而石墨沸水堆中的石墨，在运行时温度可达  $800^{\circ}\text{C}$ 。这样高温的石墨，一旦暴露在空气中，就会燃烧。如果蒸气与之接触，就会产生化学反应，产生一氧化碳和氨，这些都是爆炸性气体。这就是切尔诺贝利核电站发生二次爆炸和火灾的原因。

#### 2. 控制棒驱动方式的差别

压水堆的控制棒采用电磁抓和电磁传动。在紧急状态时，一按电钮，电磁抓钩脱扣，全部控制棒可在  $2-3\text{s}$  内落入堆芯。而切尔诺贝利核电站的控制棒用钢丝绳经过滑轮，在堆外的鼓轮上用马达驱动。在紧急状态时，只有  $20\%$  控制棒的鼓轮与马达脱开，控制棒落入堆芯。

由于石墨沸水堆的体积大,从7—8m高处降落(压水堆只有3.7m),行程长,且滑轮带着鼓轮转动,所以落棒时间长达15s。

### 3. 防止裂变产物泄漏的措施不同

(1) 大亚湾核电站有三道防护屏障(图5)

第一道是燃料棒的锆合金包壳,防止放射性物质进入一回路。第二道是由压力容器和一回路组成的压力边界。尽管其工作压力高达155Pa,而设计耐压为172Pa,水压试验达228Pa,保证放射性物质不会漏到厂房。第三道是一个直径37m、厚90cm的预应力钢筋混凝土安全壳(厂房),安全壳内可承压5.2Pa,防止放射性物质进入环境。

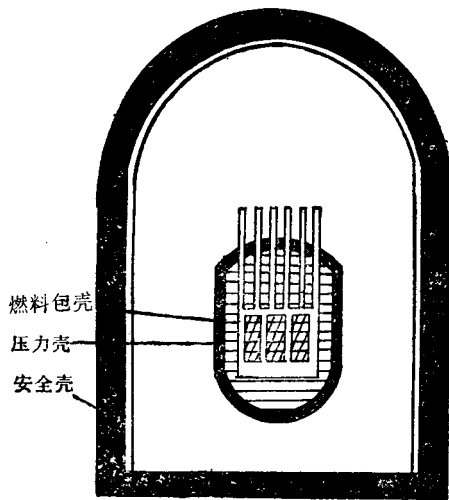


图 5

1979年美国三里岛核电站的压水堆发生事故,虽然堆芯已熔化,但放射性物质都被封闭在安全壳内,对环境没有影响,证明安全壳是十分有效的。

切尔诺贝利核电站没有第三道屏障,厂房不密闭,不能承压。第二道屏障是插在堆芯的压力管(见图1)。这道屏障也是十分脆弱的,因为中子要穿过压力管壁到石墨中去慢化,慢化后又回来裂变,为了避免管壁对中子的吸收,压力管壁要做得尽量薄(比压水堆的压力壳薄得多),这样便经受不住意外的升压。

(2) 大亚湾核电站装有砂堆过滤器

大亚湾核电站全套技术和设备是从法国引

进的。法国吸取了切尔诺贝利核电站事故的教训,假想发生特大事故,堆芯熔化,熔化了20cm厚的钢压力壳,发生化学反应,产生大量气体,压力超过5.2Pa,为了保持安全壳的完整性不受损坏,在安全壳有管子和阀门,将气体导向砂堆过滤器(图6),再由烟囱排放,这样经砂堆过滤器后,只有1/10放射性物质排到大气中去。

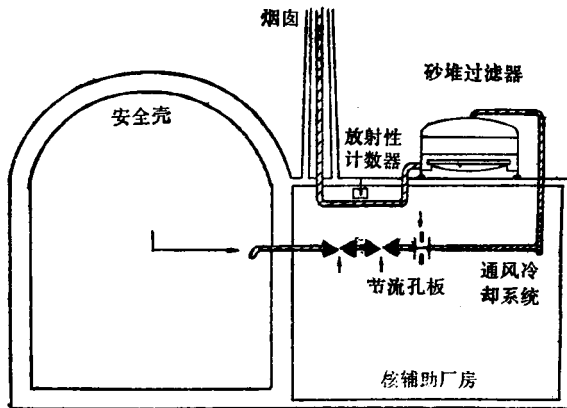


图 6

### 4. 为保证大亚湾核电站稳定安全运行,配套建造广州抽水蓄能电站

核电站容量大,自动化程度高,适合于稳定的负荷,应付尖峰或剧变负荷不但影响安全运行,技术上也比较困难。而大型抽水蓄能电站既能调峰又能填谷,当电网负荷低谷时,利用裕余电力,作为核电站的电力负荷,抽水蓄能;当电网负荷尖峰时,贮存在上水库的水,通过水轮发电机组发电,送回电网。这样,核电站有抽水蓄能电站配合,便能保证在正常负荷下安全运行。因此,有人说核电站与抽水蓄能电站是20世纪技术上最美妙的配合。为了保证大亚湾核电站的稳定安全运行,配套建造了广州抽水蓄能电站。

从以上几方面的分析比较,可见石墨沸水堆的安全性能差,这是造成切尔诺贝利核电站事故的内在原因,而压水堆的安全性能好,是世界上公认的,且经过不断改进和完善,因此切尔诺贝利核电站事故绝不会在大亚湾核电站重演。

[1] 郭星渠,科学博览, No. 4(1987), 4.