

NENGYUANZHIXING—HEDIAN

# 能源之星—核电

国家核事故应急办公室



 原子能出版社

## 作者简介

陈叔平 男, 1935年6月生, 研究员级高工。1955年毕业于南京工学院动力系。长期从事核反应堆热工水力和核电安全研究工作。1984年任中国原子能科学研究院反应堆工程研究所所长。享受国务院颁发的政府特殊津贴。

濮继龙 男, 1943年7月生, 研究员级高工。1968年毕业于北京清华大学工程物理系。曾从事核反应堆设计研究和核安全分析研究工作。2000年任中国广东核电集团公司副总经理, 现为集团公司安全总监。享受国务院颁发的政府特殊津贴。

王法 男, 1938年7月生, 研究员级高工。1962年毕业于北京清华大学工程物理系。曾在核工业第二研究设计院从事核反应堆设计研究工作。1985年后任国家核安全局审批处处长、国务院核电领导小组办公室副主任和国家核事故应急办公室常务副主任。现为国家核事故应急协调委专家组成员。

张忠岳 男, 1930年11月生, 研究员, 博士生导师。1952年毕业于上海交通大学, 1958年在苏联获技术科学副博士学位。长期从事核燃料元件堆内行为分析程序开发、反应堆结构力学及反应堆安全的研究工作。曾任中国原子能科学研究院反应堆工程研究所科技委主任。享受国务院颁发的政府特殊津贴。

孔凡岱 男, 1938年8月生, 研究员级高工。1963年毕业于北京清华大学工程化学系。曾从事轻核材料的研究工作。1979年任中国核学会办公室主任, 长期从事核科学技术的普及工作。

程萍 女, 1940年5月生, 研究员。1963年毕业于北京清华大学工程物理系。曾任中国原子能科学研究院反应堆热工水力研究室主任, 中国核工业经济研究所经济分析室主任。现从事核工业经济评价研究工作。享受国务院颁发的政府特殊津贴。

### 图书在版编目(CIP)数据

能源之星——核电: 核电科普读物 / 陈叔平等编著. 北京: 原子能出版社, 2005.11

ISBN 7-5022-3521-3

I.核… II.陈… III.核能—普及读物 IV.TL-24

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第114350号

### 能源之星——核电

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路43号 100037)

特约编辑 巢哲雄

责任编辑 杨树录 张辉 李瑞芝

美术编辑 张玉娟

责任印制 丁怀兰 刘芳燕

印刷 保定市印刷厂

经销 全国新华书店

开本 787 mm × 1092 mm 1/16

字数 30千字

印张 3.875

版次 2005年12月第1版 2006年4月第2次印刷

书号 ISBN 7-5022-3521-3

印数 5 001—8 000 定价: 9.80元

版权所有 侵权必究 出版社网址: <http://www.aep.com.cn>











## 编者说明

能源需求快速增长,环境污染日趋严重,为了解决这些问题,越来越多的人把目光投向核电,它在我国正面临着加快发展的大好形势。

核能有聚变能和裂变能两大类。但目前受控核聚变还未能实际应用。核裂变反应堆的用途很多,如用于科学研究、供热、海水淡化等,但最重要的还是发电。发电用反应堆的种类有压水堆、重水堆、沸水堆、高温气冷堆、钠冷快堆等。当前世界上建得最多的是压水堆,单机组电功率在一百万千瓦左右。我国已建和在建的核电厂主要是这种堆型。本书篇幅有限,不可能对上述所有堆型一一阐述,而主要是针对百万千瓦级压水堆。因此,所列数据,如无特殊说明,均是对它而言。

当前有关核电厂的书籍分两类:一类是供从事核电工作人员用的专业书籍;另一类是宣传性的小册子。前者过于深奥,后者又过于浅显。编著者试图吸取两者的优点,弥补两者的不足,将有关核电的知识用既严谨科学、又通俗易懂的语言介绍给读者。特别是对公众最关心的“核电厂是否安全”的问题做了比较详细的说明。

凡事预则立,不预则废。近几年来,是否有针对突发事件的应急组织和应急预案,广大群众都十分关注。本书用一些篇幅介绍我国核应急方面的工作,以说明我国核电发展中贯彻以人为本和全面、协调、可持续发展的科学发展观,指出在万一发生事故的情况下也有保护公众、保护环境的应对措施。

编写的目的能否达到,编写的内容是否合乎需要,有待于广大读者的检验和指正。

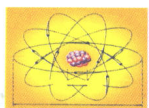


# 目 录



核能是社会发展的需要 /2

---



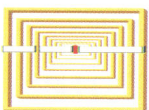
核能原理 /6

---



压水堆核电厂的工作原理 /10

---



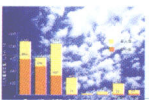
确保高度安全的周密措施 /15

---



严格控制的放射性 /36

---



改善环境的有效手段 /42

---



潜在的经济竞争力 /46

---



保护公众和环境的应急措施 /47

---



能源之星——核电

# 能源之星——核电

陈叔平 濮继龙 王法

张忠岳 孔凡岱 程萍

编著



原子能出版社



# 1 核能是社会发展的需要

## 发展核电是大势所趋

根据各国能源专家预测,地球上的石油、天然气资源只能供应几十年,煤炭资源只能供应一二百年。核能是最现实的可利用的能源。

截至2005年9月,全世界正在运行的核电机组441座,装机容量36824.6万千瓦,核发电量占总发电量的16%。正在建造的核电机组23座,装机容量1851.6万千瓦。

世界核电厂一览表

国家	2004年核发电量		运行核电机组 (截至2005年9月)		在建核电机组 (截至2005年9月)		规划中的核电机组 (截至2005年9月)	
	发电量 (亿千瓦时)	占总发电量 份额(%)	机组数目 (座)	总装机容量 (万千瓦)	机组数目 (座)	总装机容量 (万千瓦)	机组数目 (座)	总装机容量 (万千瓦)
美国	7886	20	103	9783.8	1	106.5		
法国	4268	78	59	6347.3				
日本	2738	29	55	4770.0	1	86.6	12	1478.2
俄罗斯	1330	16	31	2174.3	4	360.0	1	92.5
德国	1584	32	17	2030.3				
韩国	1240	38	20	1684.0			8	920.0
乌克兰	811	51	15	1316.8			2	190.0
加拿大	853	15	18	1259.5			2	154.0
英国	737	19	23	1185.2				
中国	857	①	15②	1147.1	4③	450.0	8④	800.0
瑞典	750	52	10	890.4				
西班牙	609	23	9	758.4				
比利时	449	55	7	572.8				
捷克	263	31	6	347.2				
瑞士	254	40	5	322.0				
印度	150	2.8	15	299.3	8	363.8		
保加利亚	156	42	4	272.2				
芬兰	218	27	4	265.6	1	160.0		
斯洛伐克	156	55	6	247.2				
巴西	115	3.0	2	190.1			1	124.5
南非	143	6.6	2	184.2			1	16.5
匈牙利	112	34	4	175.5				
墨西哥	106	5.2	2	131.0				
立陶宛	139	72	1	118.5				
其他国家	253		8	351.9	4	324.7	4	315.0
总计	26177		441	36824.6	23	1851.6	39	4090.7

注: ①中国大陆和台湾的核电发电量分别占各自总发电量的2.2%和21%。

②包括中国大陆9座(总装机容量658.7万千瓦)和台湾6座(总装机容量488.4万千瓦)。

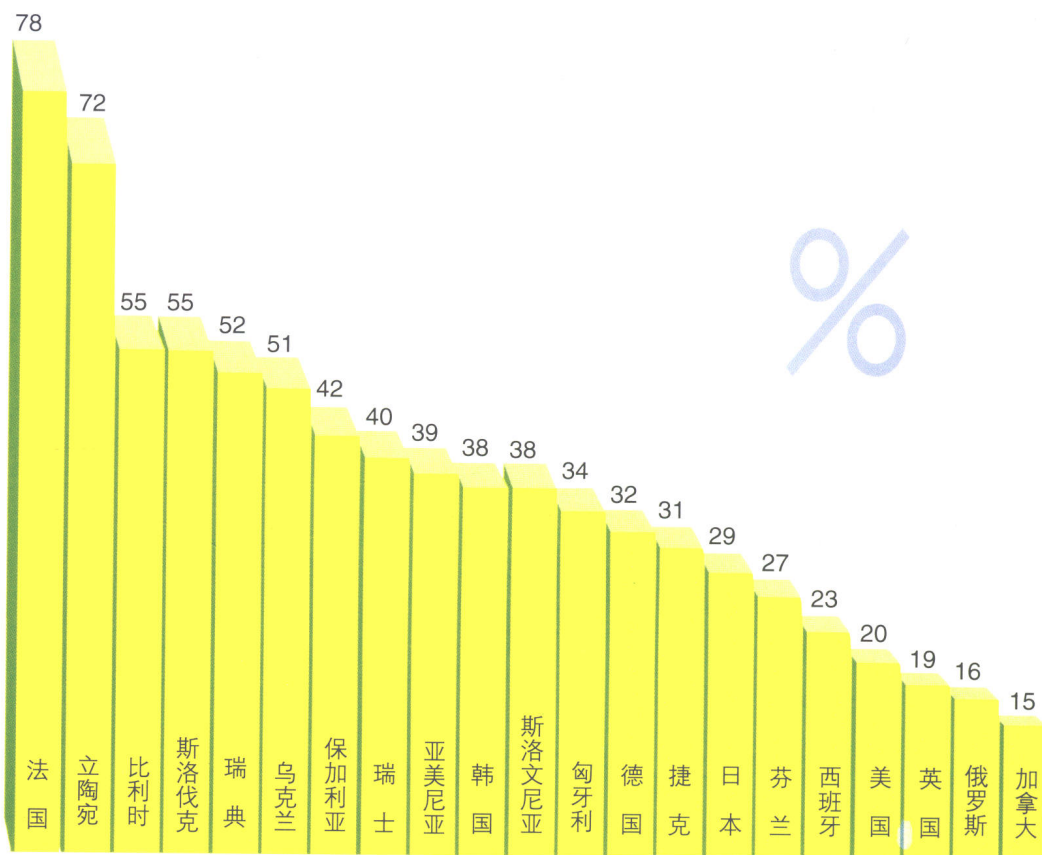
③包括中国大陆2座(总装机容量190.0万千瓦)和台湾2座(260.0万千瓦)。

④全部是中国大陆的规划。

## 中国需要加快发展核电

目前世界上有30个国家和地区有核电厂发电，其中16个国家的核发电量超过各自总发电量的1/4，有的国家已达到70%，而我国目前只有2.2%。据资料估计，到2030年世界核发电量将会占世界总发电量的30%以上。

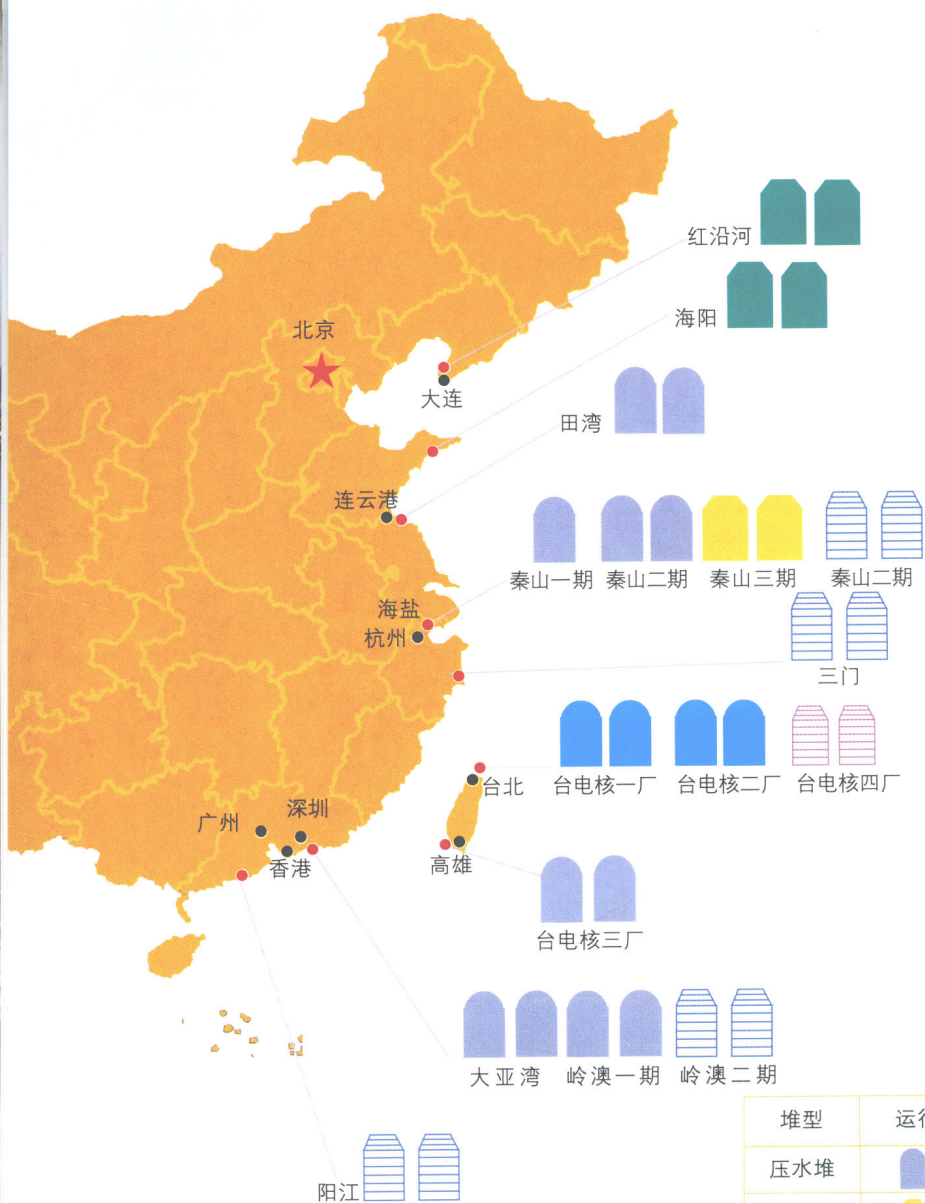
中国工程院能源咨询项目组测算，到2050年，我国一次能源的需求量为34.4亿吨标准煤，其中至少6.3%要依靠核电，约占电力总装机容量的10%。根据国家初步规划，到2020年，核电装机容量将达4000万千瓦，约占电力总装机容量的4%。



2004年一些国家的核发电量在其总发电量中所占的百分比



## 我国核电厂及机组分布图



注：本分布图为 2005 年末现状

核电厂名称	机组	堆型	额定功率 (万千瓦)	开工日期	首次并网日期
秦山核电厂 (秦山一期)	单机组	压水堆	1 × 31	1985-03-21	1991-12-15
大亚湾核电厂	1号机组	压水堆	2 × 98.4	1987-08-07	1993-08-31
	2号机组			1988-04-07	1994-02-07
秦山第二核电厂 (秦山二期)	1号机组	压水堆	2 × 65	1996-06-02	2002-02-06
	2号机组			1997-04-01	2004-03-11
	3号机组		2 × 65	在建	
	4号机组			在建	
岭澳核电厂	1号机组	压水堆	2 × 99	1997-05-15	2002-02-26
	2号机组			1997-11-28	2002-09-14
	3号机组		2 × 100	在建	
	4号机组			在建	
秦山第三核电厂 (秦山三期)	1号机组	重水堆	2 × 72	1998-06-08	2002-11-19
	2号机组			1998-09-25	2003-06-12
田湾核电厂	1号机组	压水堆	2 × 106	1999-10-20	预计2006年
	2号机组			2000-09-20	
三门核电厂	1号机组	压水堆	≥ 2 × 100	在建	
	2号机组			在建	
阳江核电厂	1号机组	压水堆	≥ 2 × 100	在建	
	2号机组			在建	

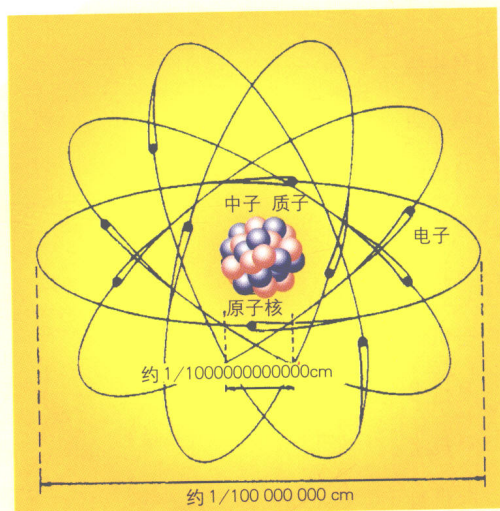
\* 台湾现有6座核电机组，总装机容量为488.4万千瓦，核发电量为374亿千瓦时，另有两座总装机容量为260.0万千瓦的核电机组在建。



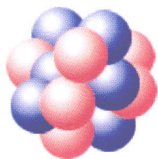
## 2 核能原理

### 原子结构

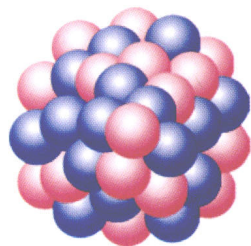
世界上一切物质都由元素构成。天然存在的元素有92种，人工制造的元素有20余种。任何元素都由原子构成，原子由带正电的原子核和围绕它高速旋转的带负电的电子构成。50万个原子排列起来相当于一根头发的直径。



氢原子核 ${}_1\text{H}$



碳原子核 ${}_6\text{C}$

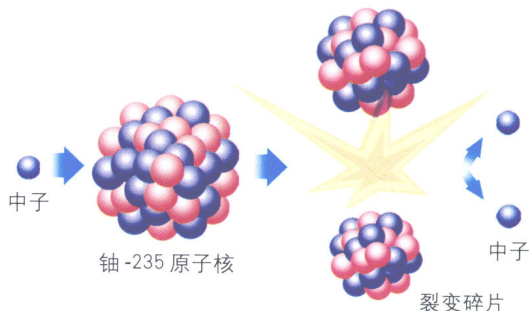


铀原子核 ${}_{92}\text{U}$

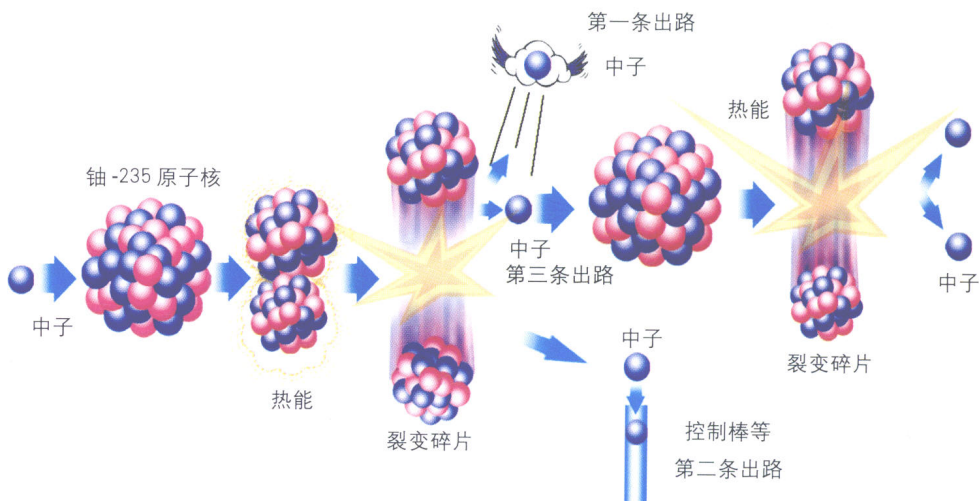
原子核由质子和中子构成。质子数（即原子序数）决定了这个原子属于何种元素。质子数和中子数之和称为该原子的质量数。最简单的氢原子核只有一个质子。常用的核燃料铀-235原子核有92个质子和143个中子。

## 核裂变、链式反应和临界

用中子轰击铀-235原子核，它会分裂成2个（偶尔3个）较轻的原子核，同时放出2个（有时3个）中子，并释放出很大的能量。



核裂变放出的中子有三条出路：（1）飞走；（2）被无效吸收，不引起新的裂变；（3）被铀-235原子核吸收引起新的裂变。



链式裂变反应示意图

如果第三条出路的中子是1，裂变反应就会继续下去，称为“链式反应”。如果大于1，反应就越来越强，如果小于1，反应就越来越弱。

设法增减第二条出路的中子数，就可对链式反应加以控制。

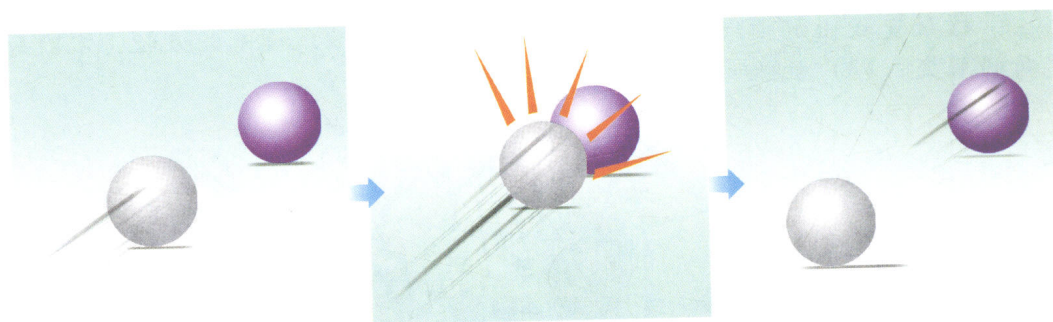
要维持链式反应，第一条出路的中子数不能太多，为此，按一定比例和一定布置的裂变物质和其他物质只有达到某个体积时，才有可能维持链式反应，这个体积称为“临界体积”，其中所含的裂变物质的质量称为“临界质量”。



## 中子的慢化和吸收

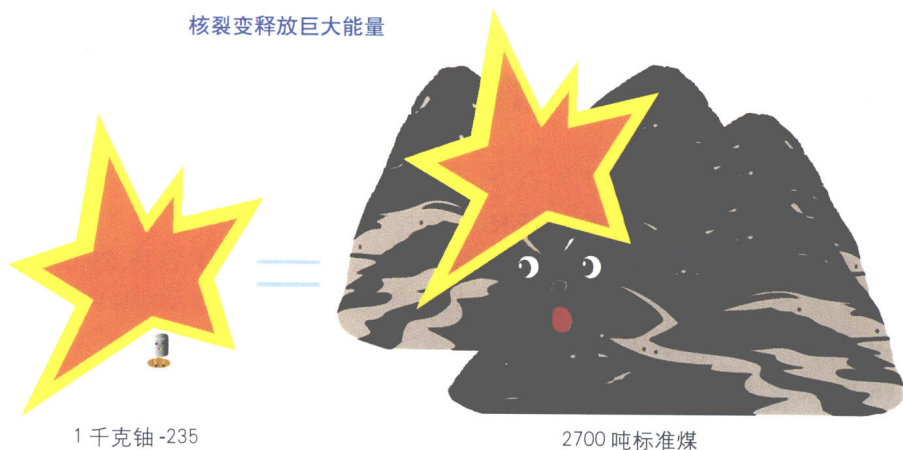
裂变产生的中子速度高达光速的 $1/10$ 。为了使它易于被铀-235原子核吸收，必须将它的速度减到2200千米/秒左右。中子慢化过程就像台球碰撞一样，当白球（中子）与质量相近的色球相撞时，速度就会立即慢下来。这些色球就像氢、氘、铍、碳的原子核，因此合适的慢化剂是轻水、重水、铍、石墨等。

为了改变第二条出路的中子数，要用吸收中子能力大的材料，如镉（Cd）、硼（B）和铪（Hf）等。它们是压水堆内常用的控制材料。



两个台球的碰撞过程示意图

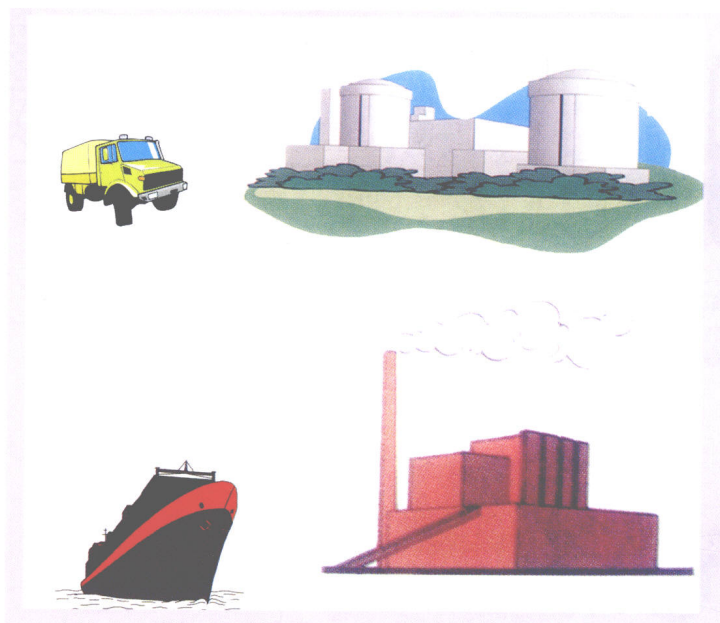
### 核裂变释放巨大能量



1 千克铀-235

2700 吨标准煤

核裂变会释放巨大的能量。1 千克铀-235 裂变释放的能量相当于 2700 吨标准煤燃烧释放的能量。



一座 100 万千瓦的核电厂每年只要补充 30 吨核燃料（铀-235 富集度 3%~5%）

同样功率的火电厂每年要燃烧 330 万吨煤，相当于每天要有一艘万吨巨轮为它运煤

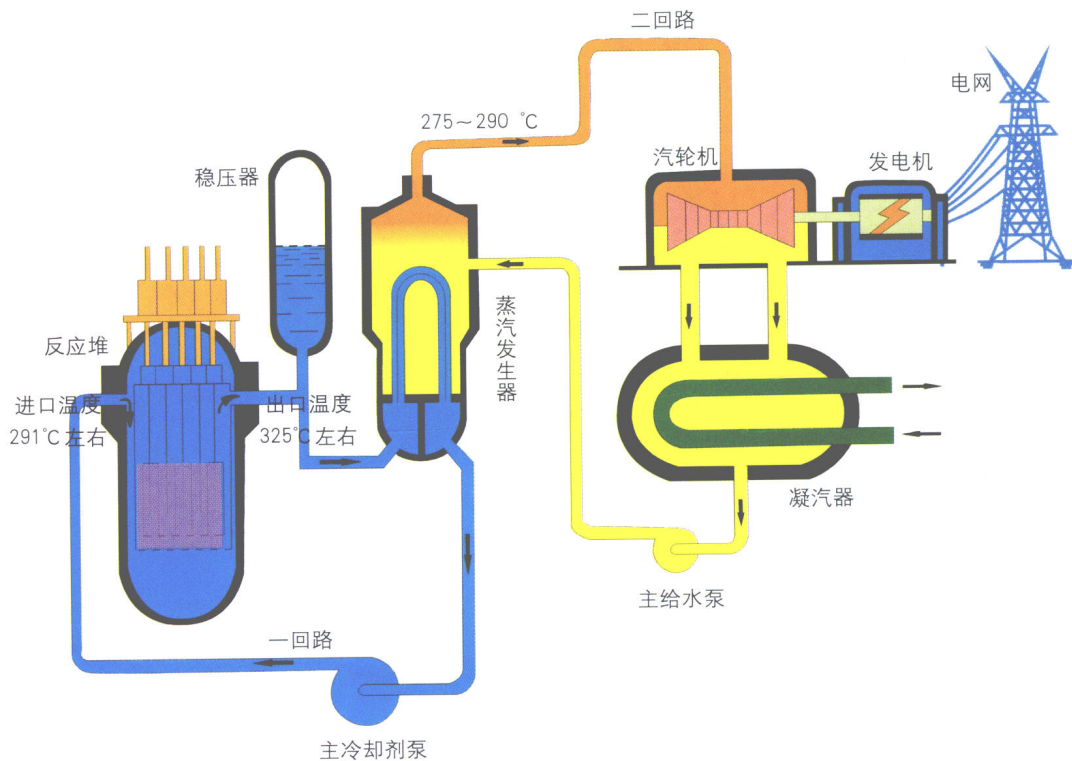


## 3 压水堆核电厂的工作原理

压水堆是用高温高压水作慢化剂和冷却剂的反应堆。

15兆帕左右（即150大气压左右）高压的一回路水在反应堆内被核能加热，温度升高到325℃左右。它在蒸汽发生器内将二回路水加热，生成6~7兆帕、275~290℃的蒸汽，推动汽轮发电机组发电。

核电厂与火电厂的主要区别是核电厂用反应堆替代了火电厂的锅炉。



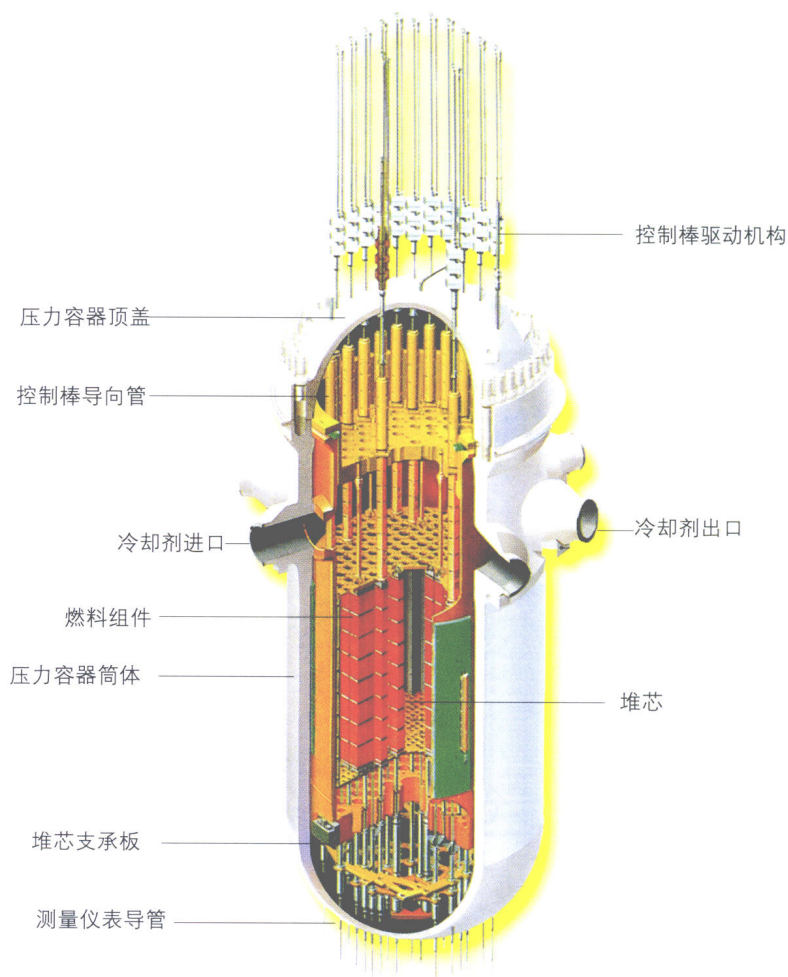
压水堆核电厂简要流程图

## 压水堆的结构

压水堆由堆芯、堆内构件、压力容器和控制棒及驱动机构组成（如图所示）。

把二氧化铀烧结成小圆柱形芯块，装入直径约10毫米的锆合金管中，组成燃料元件（燃料棒）。再将许多燃料元件按一定格式排列，用定位件组装在一起，成为燃料组件。运行时部分组件内插有控制棒束。

许多燃料组件按一定规律组合在一起，构成堆芯，它是压水堆内产生热能的核心。



压水堆的整体结构图