

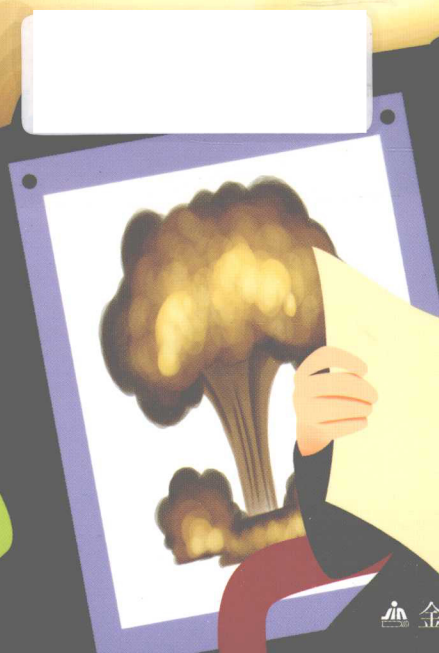
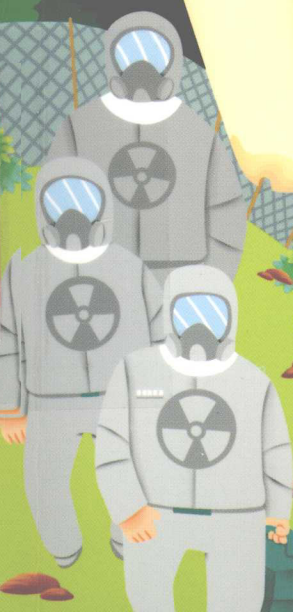


经典科学系列



可怕的核能、 核电和核爆炸

齐浩然 编著



金盾出版社

• 经典科学系列 •

可怕的核能、 核电和核爆炸

齐浩然 编著

内 容 提 要

本书主要介绍了世界核电工业的现状和发展情况、核电厂工作原理、核反应堆的物理及工程基础知识、核能的其他应用技术等。本书内容丰富系统,体系简明扼要,图文并茂、通俗易懂,相信你一定会从中学到更多有趣的知识哦!

图书在版编目(CIP)数据

可怕的核能、核电和核爆炸 / 齐浩然编著. —北京: 金盾出版社, 2015. 5
(经典科学系列)

ISBN 978-7-5082-9953-2

I. ①可… II. ①齐… III. ①核技术—青少年读物 IV. ①TL-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 019248 号

金盾出版社出版、总发行

北京市太平路 5 号 (地铁万寿路站往南)

邮政编码: 100036 电话: 68214039 83219215

传真: 68276683 网址: www.jdcbs.cn

北京市业和印务有限公司印刷、装订

各地新华书店经销

开本: 700×1000 1/16 印张: 10.5 字数: 198千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

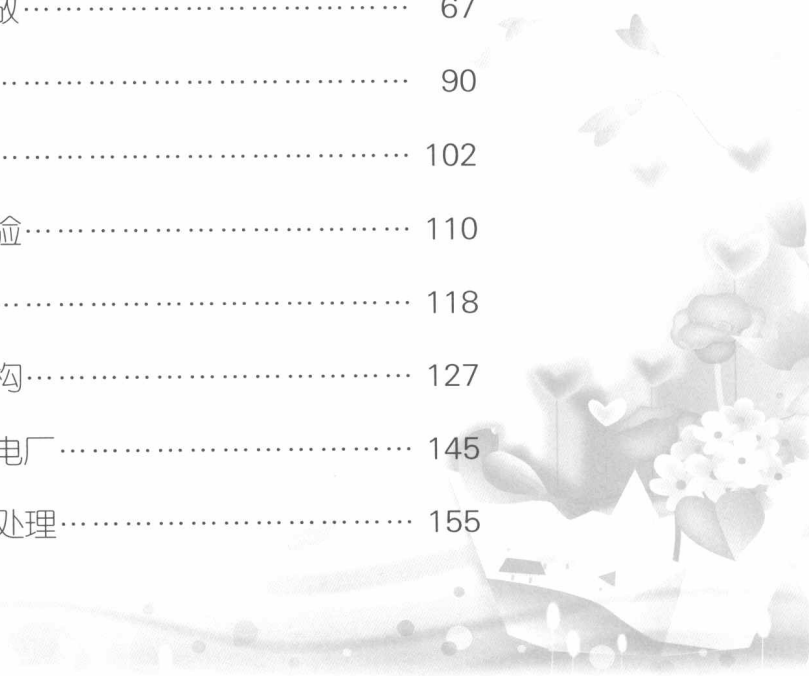
印数: 1 ~ 10 000 册 定价: 26.00 元

(凡购买金盾出版社的图书, 如有缺页、
倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



Contents

走进核电·····	1
核能的巨大能量·····	15
核能发电的应用·····	20
新能源核能的开发·····	30
原子能多方面应用·····	38
核聚变的应用·····	48
中国核能发电的发展·····	51
猛烈的核爆炸·····	57
切尔诺贝利事故·····	67
乌拉尔核事故·····	90
研发原子弹·····	102
太平洋的核试验·····	110
核突发事件·····	118
国际原子能机构·····	127
各种形式的核电厂·····	145
核电厂的三废处理·····	155



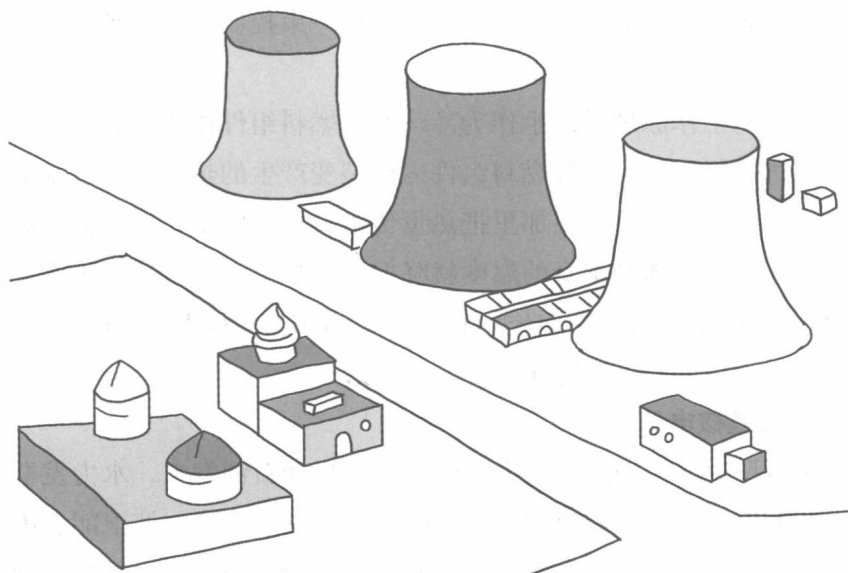
走进核电

核电基本知识

1. 什么是核能

世界上一切物质都是由原子构成的，原子又是由原子核和它周围的电子构成。轻原子核的融合和重原子核的分裂都能释放出能量，分别称为核聚变能和核裂变能，简称核能。这里提到的核能是指核裂变能。

核电厂用的燃料是铀。铀是一种重金属元素，天然铀由三种同位素组成：



铀-235 含量 0.71%

铀-238 含量 99.28%

铀-234 含量 0.0058%

当一个中子轰击铀-235 原子核时，这个原子核能分裂成两个较轻的原子核，同时产生 2 到 3 个中子和射线，并放出能量。如果新产生的中子又打中另一个铀-235 原子核，又一个裂变就被引发了，同样会产生 2 到 3 个中子和射线，并放出能量。这个反应循环发生，而在这个链式反应中，有源源不断的能量释放出来。

那么，铀-235 裂变到底能释放出多少能量呢？请记住一个数字。

即 1 千克铀-235 全部裂变放出的能量相当于 2700 吨标准煤燃烧放出的能量。这是个很惊人的数字，从中可以看出核能的力量有多大！

2. 核反应堆原理

反应堆是核电站的关键部分，链式裂变反应就在反应堆中进行。反应堆种类很多，在核电站中使用最多的是压水堆。

压水堆中首先要有核燃料。把小指头大的烧结二氧化铀芯块，装到锆合金管中，就是核燃料，而将三百多根装有芯块的锆合金管组装在一起，就构成了燃料组件。大多数燃料组件中都有一束控制棒，用来控制链式反应的强度和反应的开始与终止。

压水堆的工作原理是以水作为冷却剂，燃料组件作为核燃料，主泵推动水下流过燃料组件，吸收燃料组件内核裂变产生的热能。之后水流出反应堆，进入蒸汽发生器，在那里把热量传给二次侧的水，使它们变成蒸汽送去发电，而主冷却剂本身的温度就降低了。从蒸汽发生器出来的主冷却剂再由主泵送回反应堆去吸收热能。冷却剂的这一循环通道称为一回路，一回路高压由稳压器来维持和调节。

3. 什么是核电站

电是电厂生产出来的。火力发电站利用煤和石油发电，水力发电站利用水力发电，还有一些靠风力、太阳能、地热、潮汐能、波浪能、沼气生产电力的小型或实验性发电装置，而核电站是利用原子核内部蕴藏的能量

产生电能的新型发电站。核电站大体可分为两部分：一部分是利用核能生产蒸汽的核岛，包括反应堆装置和一回路系统；另一部分是利用蒸汽发电的常规岛，包括汽轮发电机系统。

核电站的建设和运行是一项复杂的技术。在发达国家，核电已有几十年的发展历史，核电已成为一种成熟的能源。中国的核工业已有 40 多年发展历史，建立了从地质勘查、采矿到元件加工、后处理等相当完整的核燃料循环体系，并建成多种类型的核反应堆，积累了多年的安全管理和运行经验，拥有一支掌握先进技术，专业齐全，设备刘高端的科学队伍。中国目前已经能够设计、建造和运行自己的核电站，秦山核电站就是由中国自己研究设计建造的。

4. 什么是放射性

约在 100 年前，科学家就发现某些物质能放出三种不同的射线： α （阿尔法）射线、 β （贝塔）射线， γ （伽马）射线。

这些射线的共同特点是：1. 有一定穿透物质的能力；2. 人的五官不能感知，但能使照相底片感光；3. 照射到某些特殊物质上能发出可见的荧光；4. 通过物质时能产生电离作用。

在以后不断地研究发现中，科学家认识到： α 射线是 α 粒子（氦原子核）流， β 射线是 β 粒子（电子）流， γ （伽马）射线是光子流。

射线主要通过电离作用对生物体产生一定的影响。射线并不可怕，我们吃的食物、住的房屋，身边接触的许多东西，甚至我们的身体内都有能放出射线的物质。我们戴夜光表、作 X 光检查、乘飞机、吸烟都会接受一定的辐射剂量。但是，过高的辐射剂量是可怕的，会伤害人的身体健康。

放射性的计量单位来表示放射物质的放射性强度，关于放射性的计量单位有：居里和贝克勒尔。

居里（Curie，符号为：Ci），表示单位时间内发生衰变的原子核数。1 居里（Ci） $=3.7 \times 10^{10}$ 贝克（Bq），1 克的镭 226 每秒能产生 3.7×10^{10} 次原子核衰变，该源的放射性强度即为 1 居里。换算：1 毫居里 $=3.7 \times 10^7$ 次

/秒 1 微居里 $=3.7 \times 10^4$ 次/秒。

贝克勒尔 (Becquerel, 符号为: Bq), 是放射性活度的国际单位制导出单位, 1Bq 指每秒有一个原子衰变。比如, 一克的镭放射性活度有 3.7×10^{10} Bq。

概括起来可以认为:

1R (伦琴) 相当于 10mSv (豪西弗) $=10,000 \mu\text{Sv}$ (微西弗) $=0.01\text{Sv}$ (西弗) $=1\text{rem}$ (雷姆)

5. 什么是反应堆

核反应堆是一个能维持和控制核裂变链式反应, 从而实现核能与热能转换的装置。

核电厂用的压水反应堆有一个厚厚的钢质贺筒形外壳, 腰部有几个进水口和出水口, 这个便是压力容器。比如, 一个 900 兆瓦的压水堆, 其压力容器高 12 米, 直径 3.9 米, 壁厚约 0.2 米。900 兆瓦的压水堆一般装有 157 个燃料组件, 约含 80 吨二氧化铀。

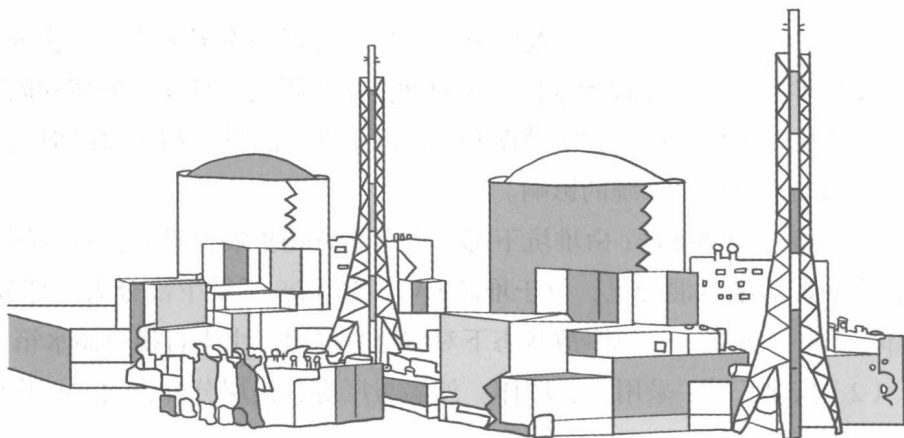
压力容器是堆芯, 堆芯由燃料组件和控制棒组件等组成。大量的水在它们的间隙中流过。这些水可以降低中子的速度使之易于被铀-235 核吸收, 同时将燃料组件内核裂变产生的热能带出去。

另外, 压力容器顶部装有控制棒驱动机构, 通过改变控制棒的位置来实现控制反应堆的开堆、停堆 (包括紧急停堆) 和调节功率的大小的作用。

6. 什么叫作核事故

一般来说, 在核设施 (如核电厂) 内发生了意外情况, 造成放射性物质外泄, 致使环境, 工作人员和公众受超过或相当于规定限值的照射, 则称为核事故。显然, 核事故引发的危害的严重程度有一个很大的范围, 为了有一个统一的认识标准, 国际上把核设施内发生的有安全意义的事件分为七个等级。

只有 4 ~ 7 级才称为“事故”。因为核辐射是敏感灾害, 对人体伤害较低大, 5 级以上的事故需要实施场外应急计划, 这种事故世界上共发生



过四次，即苏联切尔诺贝利事故、英国温茨凯尔事故，美国三里岛事故和日本福岛核电站事故。

7. 核电部分厂房描述

中国的大部分核电厂房都有相似之处，一般有反应堆厂房，安全厂房，燃料厂房，核辅助厂房，进出厂房，放射性废弃物厂房，应急柴油机房，安全厂用水泵房组成。中国核电站厂房是二代技术，最近又有关于三代技术的厂房。

(1) 反应堆厂房：反应堆厂房是双层圆筒形结构，该建筑包容并支撑与一回路相关的主要设施（包括压力容器和主冷却回路，包括主泵、蒸发器和稳压器、反应堆换料腔和内部结构，辅助设备）。包括内外安全壳和内部结构以及堆芯熔融物捕捉器。厂房的主要功能是防止外部事件对内部反应的影响，确保不发生泄漏。包括一回路发生事故失水，使厂房内压力和温度升高。

安全壳：安全壳是双层墙体结构，其中内墙体由预应力混凝土筒体和混凝土穹顶构成，内面衬以钢衬里，主要起保证密封的作用；外安全壳主要起抵抗外部冲击的作用。1.8 米宽的环形区域将内外安全壳隔离，该区域处于负压状态，便于在发生泄漏事故后对泄漏物的收集，并保证泄漏物在排入大气前被过滤。双层安全壳是对发生严重事故时对环境能有效地

保护。

内部结构：内部结构是钢筋混凝土结构，包括一次屏蔽墙，二次屏蔽墙，反应堆换料腔，楼板和墙体。主要功能是支撑反应堆压力容器和附属设备；以及对人员及设备的生物防护；并防止管道的甩击和飞射物对安全壳、各回路以及安全系统的影响。

堆芯熔融物捕捉器：由堆坑下部、堆芯熔融物扩展通道和扩张区域组成，表面覆盖细石混凝土，位于堆芯 CVCS 和 VDS 系统下部分为三部分。底部有循环水系统，用以事故状态下对熔融物降温，水来自换料储水箱。

(2) 安全厂房：采用双层墙体。外墙与厂房各楼层分开，通向厂房的门应有门禁系统。

(3) 燃料厂房：主要包括乏燃料水池及相关设施和为事故废气过滤机组。

(4) 核辅助厂房：是钢筋混凝土结构，基础与厂房的筏基础是分离的，放射性设备周围设置屏蔽结构以及有系统的隔离，用来提供充分的生物隔离。核辅助厂房内设置与电厂运行必需的与安全无关的辅助系统，同时设置有部分维修区域，

(5) 进出厂房：基础厂房内设有为保障人员安全进出核岛所必需的设备 and 设施。

(6) 放射性废弃物厂房：分为放射性废弃物厂房 (HQB) 和放射性废弃物储存厂房 (HQS)，其可收集、储存、处理液体和固体放射性废弃物。

(7) 应急柴油机房：(HD) 是钢筋混凝土结构，其钢筋混凝土筏基及地下部分及外墙使用沥青绝缘材料来防水的。用来放置柴油燃料储存罐、柴油燃料槽房间的楼板、墙体及天花板，表面是掺和了憎油材料的水泥砂浆。

(8) 安全厂用水泵房：为混凝土结构，但所有与水接触的混凝土表面应使用精细模板，其他地方可以使用粗制模板。钢筋混凝土结构设计、配合比及工艺应具备足够的耐久性以保证结构主体能防止地下水和海水的侵蚀。

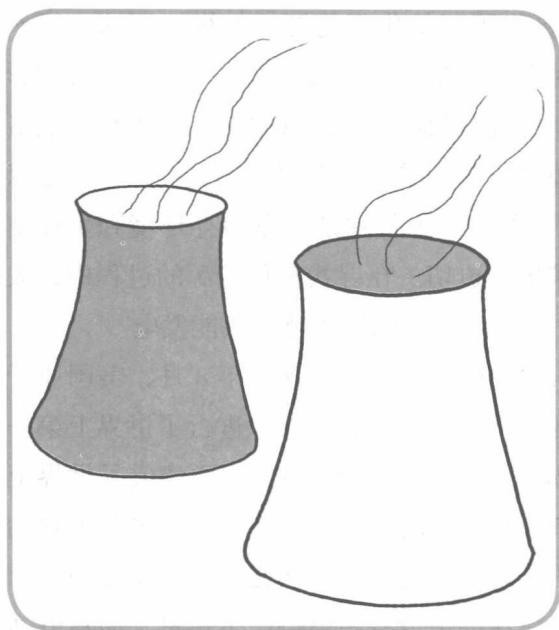
目前，人类实际应用的主要能源还是化石能源，如煤、石油、天然气等。化石能源的开发利用，对人类的生存、发展、进步产生过巨大的影响。但对化石能源的利用所产生的温室效应、酸雨现象对人类生存环境造成了严重破坏。同时，化石能源经长期开采，其资源日趋枯竭，已不足以支撑全球经济的发展。进入 21 世纪后，人们更加注重生存环境和生存空间的质量，对新能源的发展要求更加迫切。在寻找替代能源的过程中，人们开始越来越重视核能的应用，其中最主要的应用就是核能发电。

在 1951 年，在美国人类首次实现核能发电。1951 年 8 月，美国原子能委员会在爱达荷州的一座钠冷快中子增殖实验堆上，进行了世界上第一次核能发电实验，实验获得了成功。接着在 1954 年，苏联建成了世界上第一座实验核电站，发电功率 5000KW。核电站与火电站发电过程大致相同，均是热能—机械能—电能的能量转换过程，不同之处主要是热源来源方式不同。火电站是通过化石燃料在锅炉设备中燃烧产生热量，而核电站则是通过核燃料链式裂变反应中产生的热量。

核电站通常由核岛和常规岛组成。其中被称为核岛的是核系统及核设备；而常规系统及常规设备，称为常规岛。这些部分组成了基本的核能发电系统。

核岛中主要的设备为核反应堆及由载热剂（冷却剂）提供热量的蒸汽发生器，它相当于常规火电站中蒸汽锅炉的作用。常规岛的主要设备为汽轮机和发电机及其相应附属设备，常规岛的组成，类似于常规火电站的汽轮机。

核电站需消耗的核燃料很少，而产生的电能很大，核电站产生的每千瓦时的电能所用的成本比火电站要低 20% 以上。而且利用核电站发电，还可以减少大量燃料的运输费用。例如，一座 100 万千瓦的火电站每年耗煤三四百万吨，而相同功率的核电站每年仅需消耗铀燃料三四十吨，运输量相差巨大。另外，核电还有一个优势，那就是核电是干净、无污染，零排放的能源。对于经济发展迅速，能源消耗增长快，环境压力较大的中国来说，是亟待大力发展的能源形式。



2007 年全国水电、火电装机容量均保持超过 10% 的增长，分别达到 1.45 亿千瓦和 5.54 亿千瓦。而风电并网生产的装机总容量则实现翻番，达到 403 万千瓦。中国核电总发电量 628.62 亿千瓦时，上网电量为 592.63 亿千瓦时，同比分别增长 14.61% 和 14.39%。田湾核电站 2 台 106 万千瓦的机组分别于 2007 年 5 月和 8 月投入商运，中国核电运行机组达到 11 台，

运行总装机容量达 907.8 万千瓦。

长期以来，中国官方一直强调要“有限”发展核电产业。而在 2003 年以来，中国出现了全面性能源紧张，在这种情况下，国内关于大力发展核电产业的呼声日益强烈。中国政府对于发展核电的政策有了变化，开始确立了核电产业的战略性地位，这不仅对解决中国长期性的能源紧张有积极意义，而且也是和平时保持中国战略威慑能力的理想途径，对中国的经济发展和国际地位保障有双重的作用。中国对于核电的发展已经开始放宽政策。

中国国家发展改革委员会正在制定中国核电发展民用工业规划，准备到 2020 年中国电力总装机容量预计为 9 亿千瓦，核电的比重将占电力总容量的 4%，即是中国核电在 2020 年时将为 3600 ~ 4000 万千瓦，这意味着，到 2020 年中国将建成 40 座相当于大亚湾那样的百万千瓦级的核电站。而到 2050 年，根据不同部门的估算，中国核电装机容量可以分为高中低三种方案：高方案为 3.6 亿千瓦（约占中国电力总装机容量的 30%），中方案为 2.4 亿千瓦（约占中国电力总装机容量的 20%），低方案为 1.2

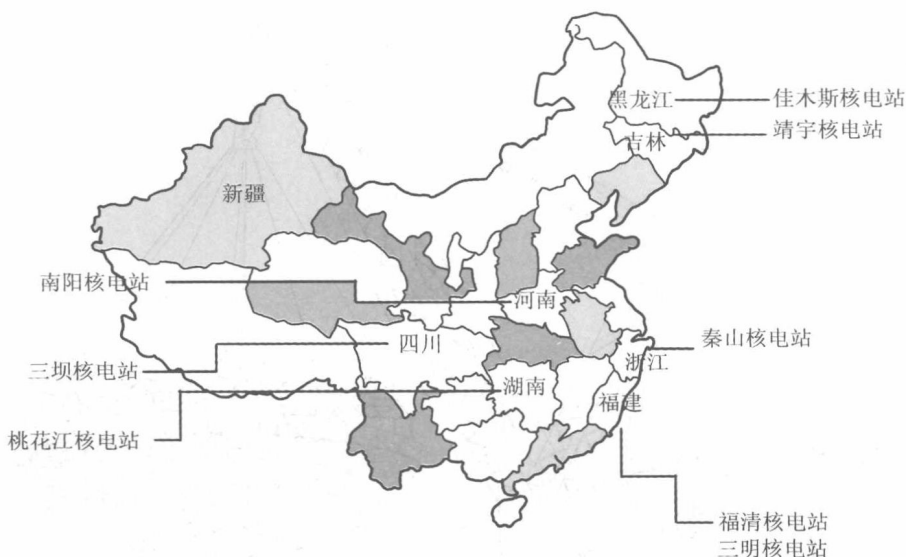
亿千瓦（约占中国电力总装机容量的 10%）。

从核电发展总趋势来看，中国核电发展的技术路线和战略路线早已明确执行：当前发展压水堆，中期发展快中子堆，远期发展聚变堆。具体地说就是，近期发展热中子反应堆核电站，为了充分利用铀资源，采用铀钚循环的技术路线；中期发展快中子增殖反应堆核电站；远期发展聚变堆核电站，而未来聚变堆核电站的实现，将从基本上“永远”解决能源需求的不足不题。

中国核电的发展经历

1985 年 3 月浇灌第一罐核岛底板混凝土（FCD），采用中国 CNP300 压水堆技术，装机容量 1×30 万千瓦，设计寿命 30 年，综合国产化率大于 70%，1991 年 12 月首次并网发电，1994 年 4 月正式投入商业运行，1995 年 7 月通过国家验收。经过十多年的不懈钻研与管理运行实践，终于实现了周恩来总理提出的“掌握技术、积累经验、培养人才，为中国核电发展打下基础”的目标。

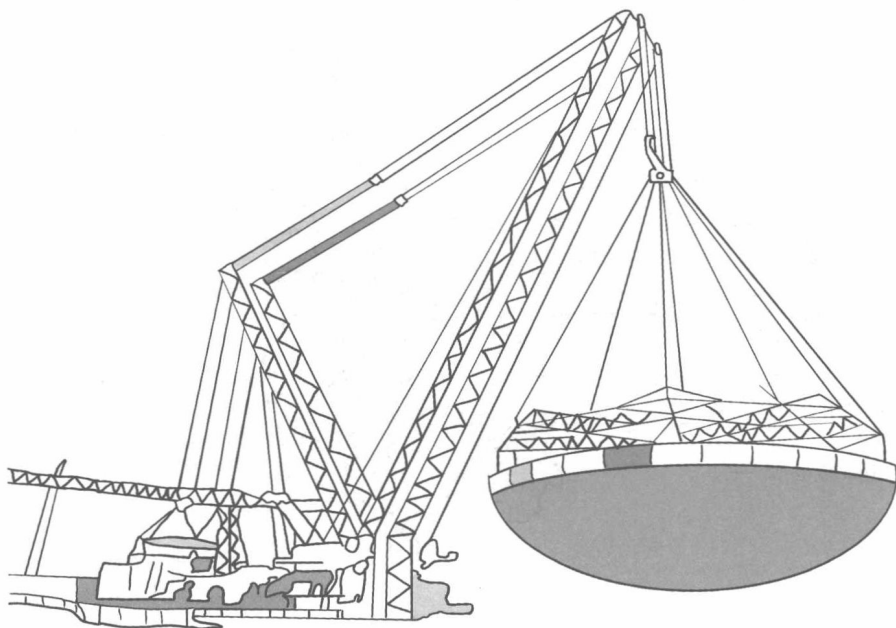
中核集团在秦山地区规划建设的国产化百万千瓦级核电工程项目，即



方家山扩建项目，位于浙江省海盐县方家山，距离秦山核电站一期工程反应堆约 600 米，项目规划容量为 2×110 万千瓦。2008 年 3 月 4 日，经国家发改委立项通知，该项目工程全面展开。

方家山扩建项目使用国际最成熟且应用最广泛的二代改进型压水堆核电技术，计划工期 60 个月，采用中国 CNP650 压水堆技术，装机容量 2×65 万千瓦，设计寿命 40 年，综合国产化率二期约 55%，二扩约 70%，1#、2# 机组先后于 1996 年 6 月和 1997 年 3 月开工，经过近 8 年的建设，两台机组分别于 2002 年 4 月、2004 年 5 月投入商业运行，3、4 号机组是继由中国自主设计、自主建造、自主管理和自主运营的首座国产大型商用核电站——秦山核电二期工程（1、2 号机组）建成投产后，在其设计和技术基础上进行改进的扩建工程，是“十一五”期间开工建设的国家重点工程项目。

秦山核电站目前营运一台 30 万千瓦压水堆核电机组。方家山扩建项目竣工后，秦山核电站将形成一台 30 万千瓦机组和两台 100 万千瓦机组的“1+2”群堆运行格局，使中国实现了由自主建设小型原型堆核电站到

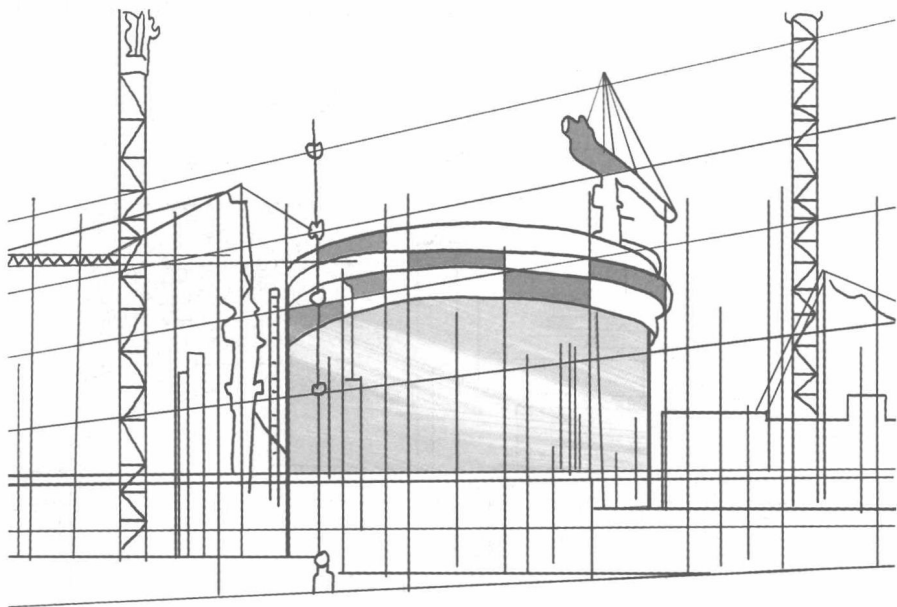


自主建设大型商用核电站的重大跨越，为中国自主设计、建设百万千瓦级核电站奠定了坚实的基础，并将对促进中国核电国产化发展，进而拉动国民经济发展发挥重要作用。

重水堆核电站采用加拿大成熟的坎杜 6 重水堆技术 (CANDU6)，装机容量 2×728 兆瓦，设计寿命 40 年，综合国产化率约 55%，参考电厂为韩国月城核电站 3 号、4 号机组。1 号机组于 2002 年 11 月 19 日首次并网发电，并于 2002 年 12 月 31 日投入商业运行；2 号机组于 2003 年 6 月 12 日首次并网发电，并于 2003 年 7 月 24 日投入商业运行；2005 年 9 月 22 日，工程竣工并通过国家验收。

由中国广东核电集团与广西投资集团共同投资，中国广东核电集团为主负责工程建设和运营管理的广西防城港（红沙）核电站位于广西壮族自治区防城港市港口区光坡镇红沙村，可规划建设六台百万千瓦级核电机组。2008 年 10 月 10 日，国家发展改革委同意防城港红沙核电项目开展前期工作。

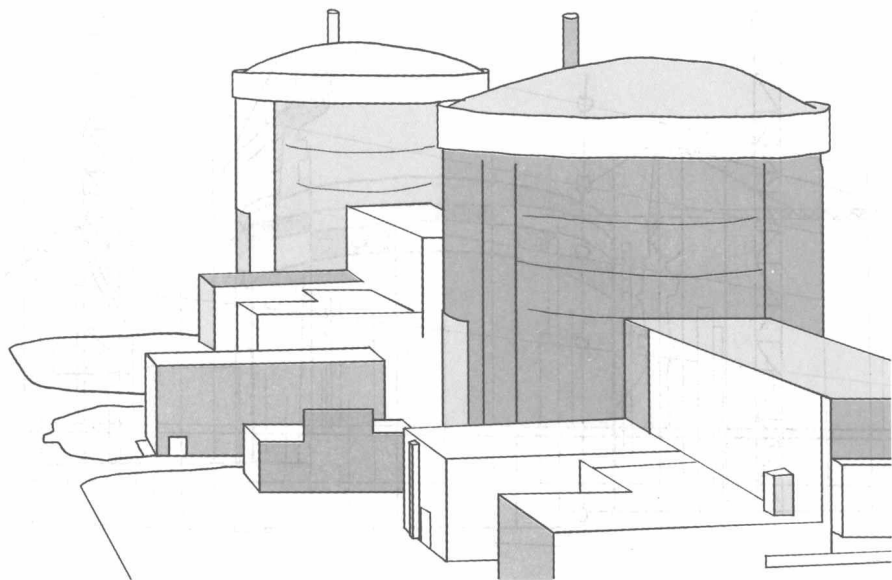
2010 年 4 月 9 日下午，防城港核电站项目一期工程主体工程在南宁市



荔园山庄举行保险签约仪式，这是广西首个核电承保项目。广西防城港核电项目是中国北部湾地区首个核电项目，核电厂以岭澳核电站为参考电站，按“翻版加改进”方式规划建设容量为6台1000MW级CPR1000二代改进型压水堆机组，项目将从工程设计、工程管理、设备制造、调试运营等各个方面，使具有自主知识产权的中国核电技术得到进一步推广应用。

一期建设2台CPR1000二代改进型压水堆机组，一期建设项目拟定投资约270亿元，设备国产化比例将达到87%。首台机组将于2014年建成并投入商业运行。一期工程建成后，每年可为广西提供150亿千瓦时安全、清洁、经济的电力，与同等规模燃煤电站相比，每年可减少电煤消耗600万吨，减少二氧化碳排放量约1482万吨、二氧化硫和氮氧化物排放量约13.64万吨，环保效益相当于新增了9.82万公顷森林，该工程不但可以有力地促进广西经济发展方式转变，也将对实现中国控制温室气体排放目标、保护生态环境、保障北部湾经济区电力供应发挥积极作用。

不仅中国的核能事业在飞速发展，世界各国都没有停止对核能资源的研究开发。国际核电企业以日系为中心，有三大割据势力：日本富士财团的日立—美国通用、日本三井财团的东芝—美国西屋、日本三菱财团的三



菱重工—法国阿海珐，形成三足鼎立的局面。日本在核电技术和市场的垄断雏形已经出现，中国加快发展核能应用的能源战略调整必然受制于日本。

纵观核电发展历史，核电站技术方案大致可以分四代，第一代核电站为原型堆，其目的在于验证核电设计技术和商业开发前景；第二代核电站为技术成熟的商业堆，目前在运的核电站绝大部分属于第二代核电站；第三代核电站为符合 URD 或 EUR 要求的核电站，其安全性和经济性均较第二代有所提高，属于未来发展的主要方向之一；第四代核电站强化了防止核扩散等方面的要求，目前处在原型堆技术研发阶段。

具体如下：

第一代核电站

从 20 世纪 50 年代，人类开始了对核电站的开发与建设。1954 年，前苏联首先建成电功率为 5 兆瓦的实验性核电站，在 1957 年，美国建成电功率为 9 万千瓦的 Ship Ping Port 原型核电站。前苏联和美国对核技术的发展证明了利用核能发电的技术可行性。国际上把上述实验性和原型核电机组称为第一代核电机组。

第二代核电站

20 世纪 60 年代后期，在实验性和原型核电机组基础上，电功率在 30 万千瓦的压水堆、沸水堆、重水堆、石墨水冷堆等核电机组陆续建成，这些成就进一步证明了核能发电技术可行性的，更证明了核电发展的经济潜力。20 世纪 70 年代，因石油涨价引发的能源危机促进了核电的大发展。目前世界上在进行商业运行的四百多座核电机组绝大部分是在那段时期建成的，它们被称为第二代核电机组。

第三代核电站

20 世纪 90 年代，为了加快解决三里岛和切尔诺贝利核电站发生的严重核事故的负面影响，世界核电业界集中先进力量开始对核事故的预防和缓解进行专项研究和攻关。美国和欧洲先后出台了“先进轻水堆用户要求”文件，即 URD 文件和“欧洲用户对轻水堆核电站的要求”，即（EUR）文件，进一步明确了预防与缓解严重事故的方法，在确保核能安全可靠性和