



国家核电  
SNPTC

# 第三代核电AP1000先进技术 与我国核电自主化依托项目



国家核电技术公司  
二〇一〇年三月

# 第三代核电AP1000先进技术 与我国核电自主化依托项目

国家核电技术公司

二〇一〇年三月





## 目 录

第一章 核电的优点及国际、国内发展简况.....	2
第二章 什么是核电的第一、二、三、四代.....	7
第三章 为什么第三代核电技术是当今国际上核电发展的主流.....	11
第四章 第三代与第二代核电厂在安全上的主要差别.....	15
第五章 为实现第三代核电安全目标的两种设计思路.....	18
第六章 AP1000核电厂的基本特点.....	21
第七章 AP1000核电厂的技术成熟性.....	25
第八章 AP1000核电厂的安全性.....	33
第九章 AP1000核电厂的经济性.....	37
第十章 国家核电技术公司的创新发展.....	39
第十一章 第三代核电自主化依托项目进展情况.....	42
后 记 .....	59



# 第三代核电AP1000先进技术 与我国核电自主化依托项目

国家核电技术公司

二〇一〇年三月

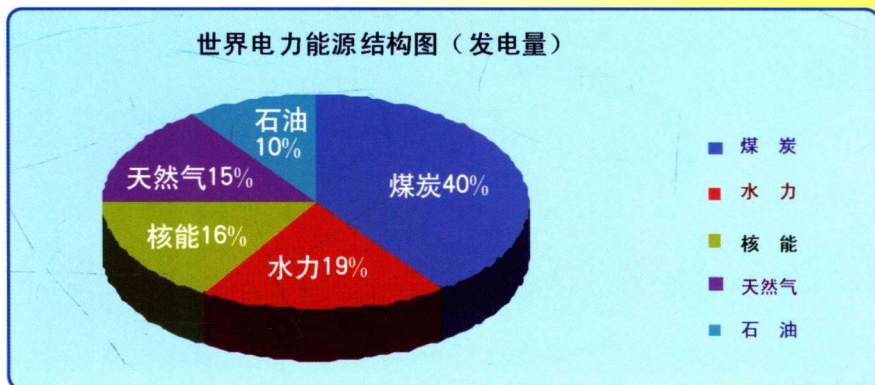




## 第一章 核电的优点及国际、国内发展简况

### 1.1 核电——世界三大电力之一

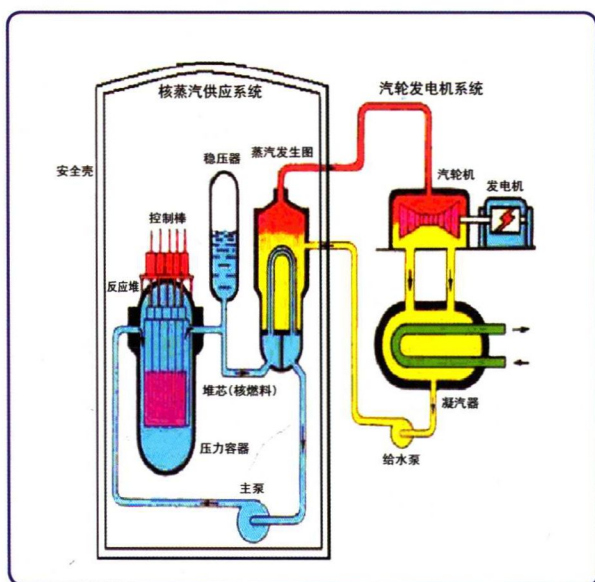
核电与火电、水电一起，是世界上三大电力支柱，目前核能发电约占全世界总发电量的约16%，核电是当今世界上大规模可持续供应的主要能源之一。



### 1.2 核电站靠核燃料发电

核电厂与火电厂都用蒸汽推动汽轮机、带动发电机发电，区别在于火电厂依靠燃烧化石燃料释放的热能来产生蒸汽，核电厂则依靠核燃料的核裂变反应释放的核能来产生蒸汽。

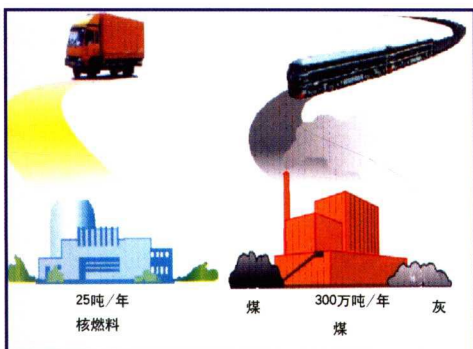
核电厂常用的核燃料是铀-235，1吨铀-235的原子核裂变可以释放出相当于270万吨标准煤燃烧所放出的能量。



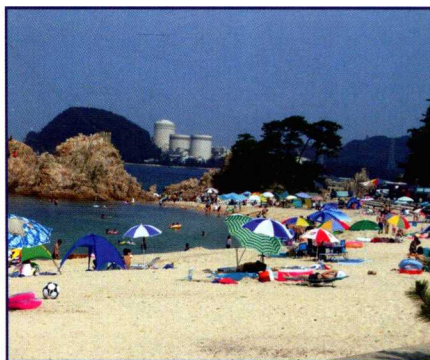
压水堆核电厂将核能转换为电能的工作原理图

### 1.3 发展核电的优越性

核电是一种安全、经济、清洁、可靠的能源，不排放导致全球变暖的温室气体二氧化碳和污染环境的二氧化硫等气体，有利于环境保护。发展核电可以减轻燃料运输压力，一座百万千瓦级火电厂每年约消耗300万吨原煤，而一座同样功率的核电站全年只需要约25吨核燃料组件。从满足电力需求，调整能源结构，优化能源布局，振兴装备制造业，促进高科技产业，保障能源安全等角度看，核电也有很大的优越性。



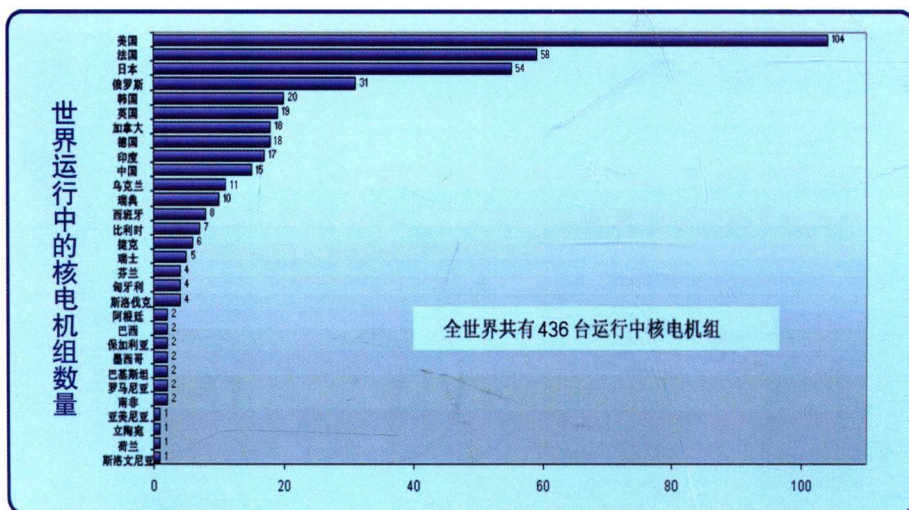
100万千瓦发电厂与火电厂的比较



日本美滨核电站旁的海滩

### 1.4 世界核电发展概况

截至2009年11月底，全世界共有436台运行中的核电机组，总装机容量达3.7亿千瓦，有44台建设中的核电机组。



注：1. 摘录自国际原子能机构截至2009年11月底的统计信息。  
2. 不包括长期关闭的5台机组。



### 1.5 中国核电发展概况

自从我国首座自主设计建造的秦山核电站于1991年12月15日实现首次并网发电以来，截至2009年1月，我国大陆已有11台运行中的核电机组，总装机容量912万千瓦，在建核电机组34台，总装机容量3708万千瓦，其中已经浇灌第一罐混凝土正式开工的机组20台，总装机容量2203万千瓦。

我国核电发展已从起步阶段进入发展阶段，从建设第二代核电站发展到建设第三代核电站，从建设沿海核电站发展到考虑建设内陆核电站。



大亚湾核电站



秦山核电站



田湾核电站



截至2010年1月底中国大陆运行和在建的商用核电机组

	项目名称	台数	装机容量(万千瓦)
运行机组	秦山一期	1	31
	秦山二期	2	130
	秦山三期	2	144
	大亚湾	2	197
	岭澳一期	2	198
	江苏田湾	2	212
	合计	11	912
在建二代改进型机组	秦山二期扩建	2 (2)	130 (130)
	岭澳二期	2 (2)	216 (216)
	红沿河一期	4 (4)	448 (448)
	福建宁德	4 (2)	432 (216)
	浙江方家山	2 (2)	216 (216)
	福建福清	6 (2)	648 (216)
	广东阳江	6 (2)	648 (216)
	海南昌江	2	130
	合计	28 (16)	2868 (1658)
在建的三代核电机组	浙江三门	2 (2)	250 (250)
	山东海阳	2 (1)	250 (125)
	广东台山	2 (1)	340 (170)
	合计	6 (4)	840 (545)
在建机组总数	合计	34 (20)	3708 (2203)

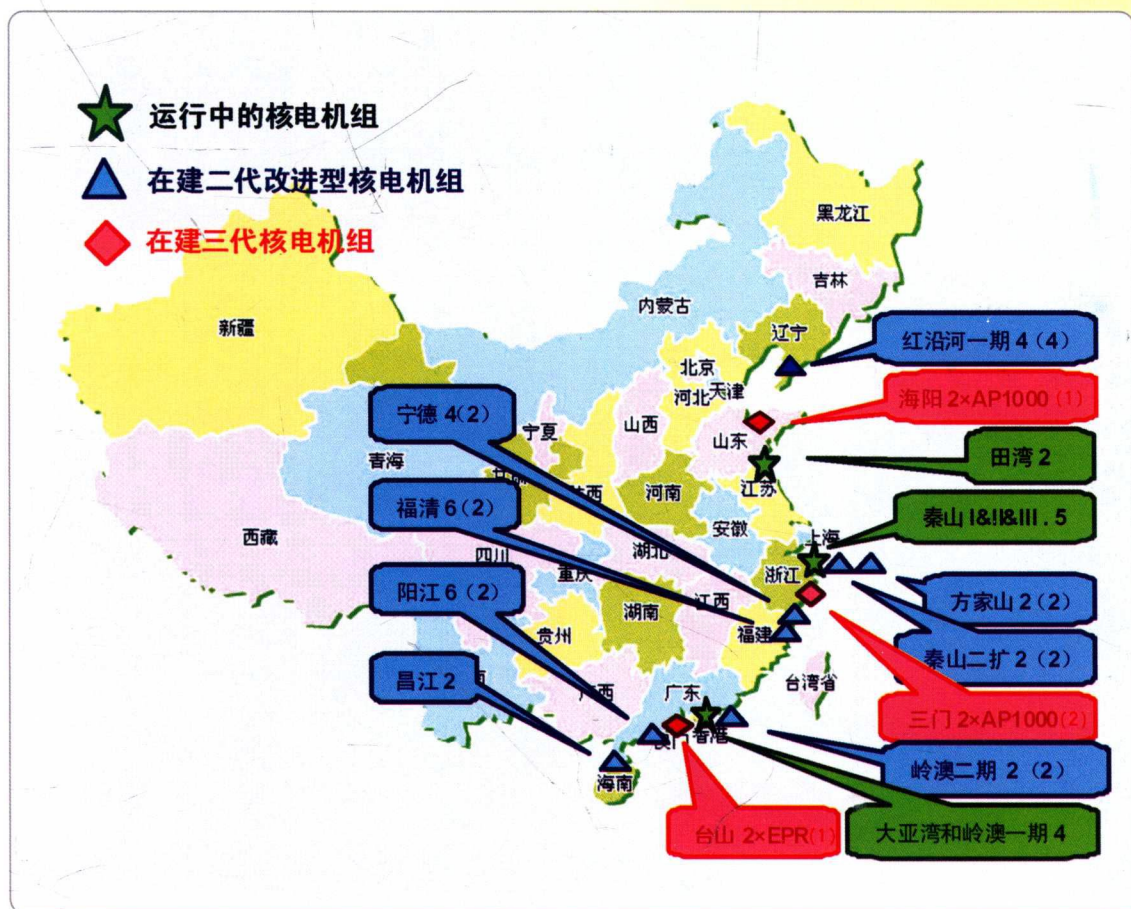
注：核电项目已批准立项建设，即为在建项目。在建项目中，已经浇灌第一罐混凝土正式开工的机组数目用（）内的数字表示。

## 1.6 积极发展核电是我国发展核电的既定方针

2005年10月11日发布的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》中，明确提出要“积极发展核电”。

2007年10月，国家正式颁布的《核电中长期发展规划（2005—2020年）》提出：“到2020年，核电运行装机容量争取达到4000万千瓦；2020年末在建核电容量应保持1800万千瓦左右”。从现在的发展势头来看，这个目标能够达到，很可能超额完成。

中国大陆已运行和在建的商用核电机组分布示意图



注：1 核电项目已批准立项建设，即为在建项目。在建项目中，已经浇灌第一罐混凝土正式开工的机组数目用（）内的数字表示。

2 图中信息截止自2010年1月底。



## 第二章 什么是核电的第一、二、三、四代

### 2.1 核电发展简史

自1954年，前苏联建成电功率为5兆瓦的实验性核电站以来，核电技术的发展可以划分为第一、二、三、四代。





## 2.2 第一代核电站证明了技术上的可行性

第一代核电站是指各国在五十年代开发建设的实验性原型核电站，证明了利用核能发电的技术是可行的。第一代核电站主要有：

1954年，前苏联建成电功率为5MW的奥布涅斯克实验性核电站；

1956年，英国建成卡德豪尔石墨气冷堆原型核电站；

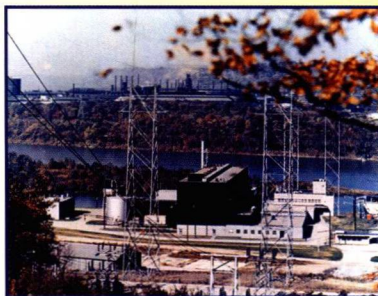
1957年，美国建成希平港压水堆原型核电站；

1960年，美国建成德累斯顿沸水堆原型核电站；

1962年，加拿大建成重水堆原型核电站。



奥布涅斯克实验性核电站

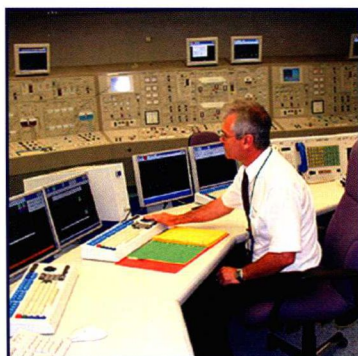
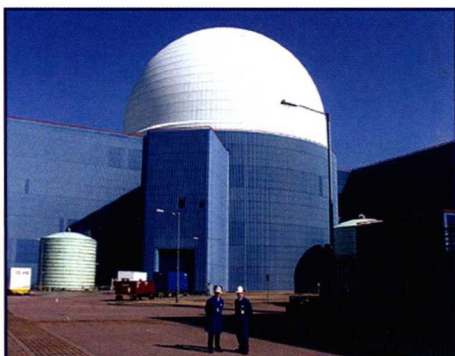


希平港核电站

## 2.3 第二代核电站证明了经济上的可行性

第二代核电站是指上世纪七十年代至现在正在运行的大部分商业核电站，证明了发展核电在经济上是可行的。20世纪70年代，因石油涨价引发的能源危机促进了核电的发展，各国先后建成了400多台压水堆、沸水堆或重水堆第二代核电站，其中压水堆占60%以上。

但是前苏联切尔诺贝利核电站严重事故和美国三哩岛核电站严重事故的发生，说明了第二代核电站在设计上对发生严重事故的可能性认识不足。这两起事故引起了公众对核电的安全性的疑虑，不少国家的核电发展因此停滞。



英国Sizewell B 压水堆核电站

## 2.4 吸取第二代核电在安全上的教训对规模发展核电提出的新要求

针对公众对核电安全性、经济性的疑虑，美国电力研究院在美国能源部和核管会的支持下，对进一步大力发展核电的可行性进行了研究，认为从已有的经验和技术的来说美国能够开发出新一代的核电站，其安全性和经济性可以被公众接受；根据其研究成果制定出了《美国用户要求文件（URD）》，对新建核电站的安全性、经济性和先进性提出了要求。随后，欧洲也出台了《欧洲用户要求文件（EUR）》，表达了与 URD 文件相同或相似的要求。

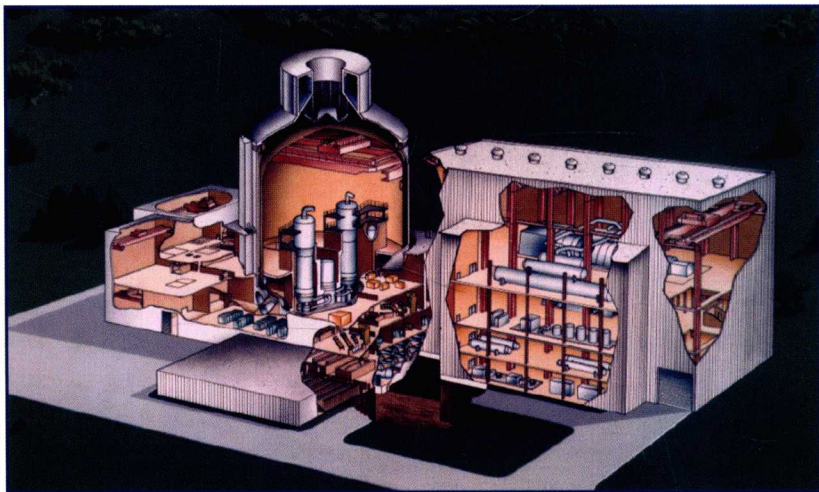
URD 对新建核电站的主要要求：

- ☆ 更大的功率（100 ~ 150 万千瓦）；
- ☆ 更高的安全性（大量放射性向环境释放的概率小于  $10^{-6}$  / 堆 · 年）；
- ☆ 更长的寿命（由 40 年延长至 60 年）；
- ☆ 更短的建设周期（48 ~ 52 个月）；
- ☆ 更好的经济性（批量化之后大幅度降低造价）。

## 2.5 第三代核电站的优越性

第三代核电技术是指满足《美国用户要求文件（URD）》或《欧洲用户要求文件（EUR）》，具有更高安全性的新一代先进核电站技术。它具有以下优越性：

- ① 在设计上必须具有预防和缓解严重事故的设施；
- ② 在经济上能与联合循环的天然气的机组相竞争；
- ③ 在能源转换系统方面大量采用了二代的成熟技术，可以在近期（2010 年前）进行商用建造。



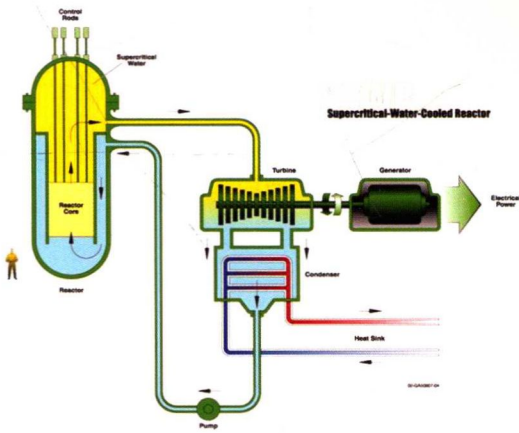
AP1000 核电厂



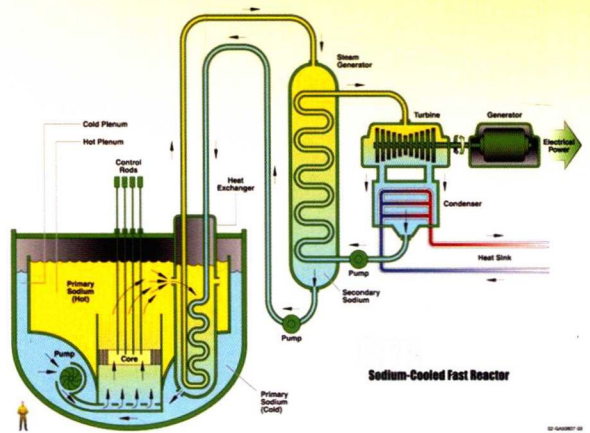
## 2.6 第四代核电站着眼于核能更长远发展

第四代核电技术是指目前正进行概念设计和研究开发的，在反应堆和燃料循环方面有重大创新的核电站，其安全性和经济性更加优越、废物量极少、无需厂外应急、具有防核扩散能力。第四代核电技术最快也只能在 2030 年以后才能开始商业应用。

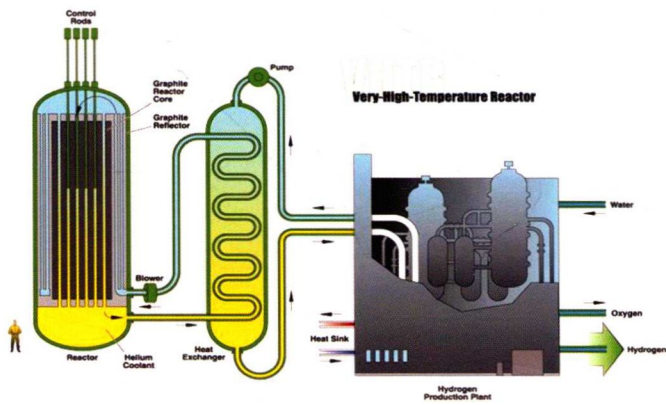
国际上一些工业发达国家已组成第四代核能国家论坛（GIF），协调和组织进行第四代核能利用系统的研究和开发，我国也已参加。GIF 初步确定了六种候选堆型，包括：超临界水冷堆、极高温气冷堆、带燃料循环的钠冷快堆、气冷快堆、铅冷快堆和熔盐堆。



超临界水冷堆示意图



钠冷快堆示意图



极高温气冷堆示意图

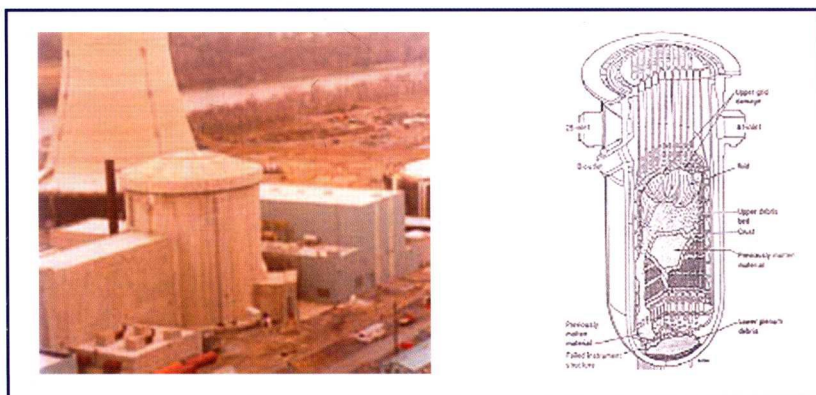


### 第三章 为什么第三代核电技术是当今国际上核电发展的主流

#### 3.1 第二代核电技术在安全上的教训

由于第二代核电的设计没有把预防和缓解严重事故作为必须要求有的措施，世界上核电站运行 50 多年以来发生过两次严重事故：1979 年的美国三哩岛核电站的堆芯熔化事故和 1986 年的前苏联的切尔诺贝利核电站的大量放射性向环境释放的事故。

两次事故说明：第二代核电的设计低估了发生严重事故的可能性。因此，第三代核电把设置预防和缓解严重事故作为设计上必须要满足的要求。这是第三代与第二代在安全要求上的根本差别。



三哩岛核电站 2 号机组及堆芯熔化示意图



事故后的切尔诺贝利核电站

### 3.2 第三代核电设计的关注点

为了防止类似三哩岛和切尔诺贝利核电站严重事故的再次发生，以及促进核电的进一步发展，第三代核电在安全性、经济性方面有了更多的关注，主要有：

- (1) 进一步降低堆芯熔化和大量放射性向环境释放的风险，使发生严重事故的概率减小到极致，以消除社会公众的顾虑；
- (2) 进一步减少核废料（特别是强放射性和长寿命核废料）的产量，寻求更佳的核废料处理方案，减少对人员和环境的剂量影响；
- (3) 降低核电站每单位千瓦的造价和缩短建设周期，提高机组热效率和可利用率，提高寿期，以进一步改善其经济性。

### 3.3 第三代核电的设计目标

第三代核电机组有更高安全目标

堆芯热工安全裕量	>15%
堆芯熔化概率	$\leq 1.0 \times 10^{-5} / \text{堆} \cdot \text{年}$
大量放射性向环境释放概率	$\leq 1.0 \times 10^{-6} / \text{堆} \cdot \text{年}$

第三代核电机组有更好的经济性，能与联合循环的天然气的电厂相竞争

机组额定功率	100 ~ 150 万 KW(e)
可利用因子	>87%
换料周期	18 ~ 24 月
电站寿命	60 年
建设周期	48 ~ 52 月

### 3.4 国际上第三代核电机组的主要机型

目前，具有代表性的第三代核电技术有如下 6 种堆型：

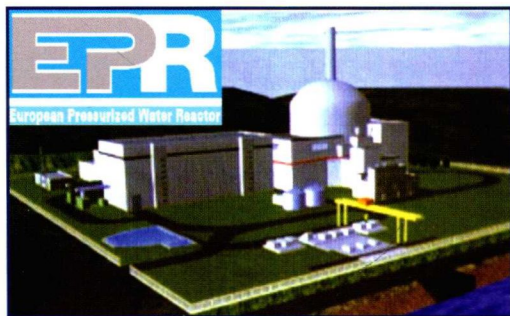
☆ 已建成、在建或已经通过核安全当局审查批准建设的有

- AP1000 先进非能动压水堆（美国西屋公司）
- EPR 欧洲压水堆（法国阿海珐公司）
- ABWR 先进沸水堆（美国通用电气公司）

☆ 核安全当局正在审查的有

- APWR 先进压水堆（日本三菱公司）
- APR1400 韩国先进压水堆（韩国电力工程公司）
- ESBWR 经济简化型沸水堆（美国通用电气公司）





### 3.5 世界核电发达国家进入建设第三代核电机组的新阶段

到 2009 年 1 月底，世界上主要核电发达国家已向核安全当局申请建设许可证、在建和已运行第三代核电机组情况如下表：

国家	总数	机组数量	堆型	备注
美国	26	12	AP1000	其中 12 台 AP1000 机组已向美国核监管委员会申请建造运行许可证 (COL)。6 台 AP1000 机组的建造已签订总承包合同，首 3 台预计 2016 年商业运行。
		6	ESBWR	
		2	ABWR	
		4	EPR	
		2	APWR	
法国	1	1*	EPR	法安全当局已宣布停建二代改进型机组
日本	14	10	ABWR	
		1*	ABWR	
		3**	ABWR	
芬兰	1	1*	EPR	
俄罗斯	2	2*	VVER428	安全上基本满足第三代要求

\* 表示在建的核电机组；\*\* 表示已经运行的核电机组。

注：1. 美国有一台二代机组在建 (PWR, Watts Bar-2)，是同一厂址同型号的续建项目。

2. 日本有一台二代机组在建 (PWR)，也是在同一厂址同型号的续建项目。

3. 俄罗斯有两台二代机组在建 (320 型 VVER-1000)，其在 80 年代已建设接近完成安装，但在切尔诺贝利严重事故影响下停建，现在恢复续建。

4. 统计时间截至 2009 年 1 月底。



从上表可以看出，世界上核电发达国家已经开工建设和已向核安全当局申请建设许可证的核电机组几乎都是第三代的，美国的 26 台全是第三代的，法国已明确表示不再新建第二代核电站。第三代核电已经成为当今国际上核电发展的主流。

