

921951

高等学校试用教材

核能动力装置



薛汉俊 主编

戚正文 主审

原子能出版社

高等学校试用教材

核能动力装置

(初 版)

主 编 薛汉俊
编著者 杜圣华

主 审 戚正文
审校者 潘系人
寿仕俊
徐金康
陈鉴墅

原子能出版社

原子能出版社

原子能出版社

内 容 简 介

本书阐明核能动力装置的基本原理。首先介绍压水堆核电厂总体；进一步论述其主要设备（反应堆、蒸汽发生器、稳压器、冷却剂泵和相应系统）的结构、热工水力特性及设计研究方法；论述功率转换系统的原理、热力分析方法及主要设备特性；最后介绍了核能动力在其它方面的应用和发展。本书在介绍国外近期的技术水平的时候，还注意反映我国核电建设的成果和进展。

本书为高等学校核反应堆工程专业教材，也可供同专业研究生及动力工程类其它专业师生及有关工程技术人员参考。

☆ ☆ ☆ ☆

本书由戚正文主审，经原子能教材编审委员会核反应堆工程课程组于1988年11月由邵亚传主持召开的审稿会审定，同意作为高等学校试用教材。

高等学校试用教材

核能动力装置

主 编 薛汉俊 主 审 戚正文

编著者 杜圣华 审校者 潘系人

寿仕俊

徐金康

陈鉴墅

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

重庆印制一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16 ·印张 23.75 ·字数 574千字

1990年12月北京第一版 · 1990年12月北京第一次印刷

印数 1—1000

ISBN 7-5022-0281-1

TL·105(课) 定价：4.70元

前 言

本书根据核工业部教育司于1982年8月在庐山召开的教材会议审定的编写提纲编写，经全国高等学校原子能教材编审委员会于1988年8月在哈尔滨召开的教材工作会议修订，再由1988年11月在上海召开的审稿会议讨论修改定稿。

本书为高等学校核反应堆工程专业本科教材，也可供同专业研究生及有关工程技术人员参考。

本书阐明核能动力装置的基本原理。鉴于压水堆核电厂在相当一段时间内是我国核能利用的基础，本书着重说明压水堆核电厂的设计特点，并着重从热工水力学角度分析主要设备及其系统的技术经济性和安全性。本书注意理论与实践相结合。在反映国外近期的技术水平和知识水平的同时，注意反映我国核电建设的成果和进展。

根据上海交通大学的教学实践，本课程教学总时数为64学时。学习本课程前学生应具备专业基础课及反应堆热工分析课的基础知识。为加深学生理解及培养学生能力，本课程配备了实践环节，并要求学生在计算机上完成一项课程作业。本书的部分章节，例如第三、十一、十二章，主要供学生自学。

本书由上海交通大学薛汉俊主编，并分工编写第四、五、六、七、八、九、十章。杜圣华分工编写第一、二、三、十一、十二章。严锦泉参加了第四章第三、四、五节的编写，刘松宇参加了第八章第七节的编写。

童荣章，葛玉龙为本书作了许多工作，并提供了资料。

本书由上海核工程研究设计院戚正文主审，潘系人、寿仕俊、徐金康、陈鉴璽为审校人。编者对清华大学赵兆颐，上海核工程研究设计院余世诚、沈长发等给予的帮助表示衷心感谢，向黄苏文，唐曦明等为本书作了不少工作的同志表示感谢。

本书涉及的学科领域十分广泛。限于编者水平，不妥与错误之处在所难免，编者恳切地期望得到批评指正。

编 者

1989年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 核能在能源系统中的地位	1
第二节 核能动力的应用及发展	2
一、舰船核动力装置的发展	2
二、核能发电的应用及发展	3
第三节 我国核能现状与发展前景	7
一、我国发展核电的必要性	7
二、我国发展核电的有利条件	8
三、我国核电发展的起步和前景	8
第二章 压水堆核电厂	9
第一节 概述	9
第二节 核电厂总体及厂房布置	9
一、厂址选择	9
二、总平面布置	13
三、核电厂主厂房设施及安全壳	16
第三节 反应堆冷却剂系统	23
一、系统的功用	23
二、系统的压力控制及超压保护	23
三、系统布置及设备支撑	25
四、系统主要设计参数	26
第四节 核电厂设备安全功能及分级	27
一、安全功能及分析方法	28
二、安全分级	28
三、抗震分级	29
四、设计和质量分级	30
第五节 核电厂安全设计规范及安全审批程序	31
第三章 核反应堆	33
第一节 压水反应堆概述	33
第二节 核设计	33
一、核设计准则	35
二、堆芯初始装载和平衡换料方式	35
三、堆芯功率分布	36
四、反应性控制	37
五、燃料管理及堆芯燃耗分析	38
第三节 热工水力设计	40
一、热工设计准则	40
二、堆芯热工设计任务	41
三、堆芯热通道因子	41

四、临界热流密度比	42
五、堆芯冷却剂流量分配	44
六、堆芯压降及水力分析	45
第四节 堆芯结构设计	45
一、堆芯设计要求及安全准则	45
二、堆芯燃料组件的改进和发展	46
三、燃料组件	46
四、控制棒组件	47
五、其它相关组件	48
第五节 反应堆本体结构	50
一、反应堆结构概述	50
二、堆内结构部件	52
三、反应堆压力容器	53
四、控制棒驱动机构	54
第四章 蒸汽发生器	56
第一节 概述	56
第二节 工作原理及典型结构	56
一、立式自然循环型蒸汽发生器	56
二、卧式自然循环型蒸汽发生器	62
三、直流式蒸汽发生器	64
第三节 蒸汽发生器的传热过程	65
一、传热模型	65
二、沸腾传热原理	66
三、一次侧传热过程	69
四、二次侧预热区传热过程	70
五、二次侧沸腾区传热过程	71
六、管壁热阻及污垢热阻	74
七、蒸汽发生器传热计算举例	75
八、蒸汽发生器的稳态特性	76
第四节 蒸汽发生器的流体动力过程	78
一、单相流动压降	78
二、蒸汽发生器一次侧流动压降	84
三、两相流的流动结构及流型图	84
四、两相流流动压降	86
五、蒸汽发生器的自然循环	89
六、循环倍率的讨论	93
第五节 蒸汽发生器的热工水力程序	93
一、理论模型	93
二、程序结构	96
三、程序应用	96
第六节 蒸汽发生器的汽水分离装置	99
一、主要性能指标	99

二、一次分离器——粗分离器	100
三、二次分离器——干燥器	103
四、汽水分离装置的组合特性	105
五、汽水分离器的试验研究	105
六、模化方法在汽水分离研究中的应用	106
第七节 蒸汽发生器的运行经验及研究改进	108
一、传热管的腐蚀破坏	108
二、奥氏体不锈钢的腐蚀类型	109
三、镍基合金的腐蚀类型	111
四、传热管的运行经验	112
五、蒸汽发生器的研究改进	114
第五章 稳压器	117
第一节 概述	117
一、基本功能	117
二、辅助功能	117
第二节 稳压器的典型结构	117
一、气罐式稳压器	117
二、电加热式稳压器	118
第三节 稳压器的工作原理	121
一、冷却剂体积变化的原因	121
二、压力控制系统	122
三、压力控制程序	123
四、液位控制程序	125
第四节 稳压器设计准则	125
第五节 稳压器容积计算	126
一、稳压器内部容积的划分	127
二、容积计算的基本假设	127
三、最小蒸汽容积的计算	127
四、最小水容积的计算	129
五、稳态液位变化容积的计算	129
六、计算的简化及图解法	130
七、与瞬态程序计算结果的比较	131
第六节 稳压器瞬态过程的分析模型	132
一、稳压器非平衡态模型简介	132
二、程序验证	135
第七节 稳压器瞬态过程的试验研究	137
第六章 反应堆冷却剂泵	141
第一节 概述	141
第二节 反应堆冷却剂泵的典型结构	142
一、屏蔽式反应堆冷却剂泵	142
二、轴密封式反应堆冷却剂泵	142
第三节 反应堆冷却剂泵的工作特性	148

一、泵的特性参数	148
二、泵的工作过程	151
三、泵的特性曲线	153
四、泵的全特性曲线	154
第四节 反应堆冷却剂泵的轴密封结构	157
一、机械密封原理	157
二、轴密封典型结构	159
第七章 核电厂的一回路辅助系统	163
第一节 核电厂一回路辅助系统分类	163
第二节 冷却剂的水质控制	164
一、pH值及其控制	164
二、氧和氢	167
三、氯和氟	168
四、总固体量及电导率	168
第三节 放射性水处理工艺	169
一、离子交换工艺	169
二、蒸发工艺	171
三、超细过滤工艺	173
四、膜分离工艺	174
第四节 化学和容积控制系统	176
一、系统功能	176
二、设计依据	176
三、系统流程	180
四、系统运行	183
五、硼热再生法	184
第五节 硼回收系统	185
一、系统功能	185
二、设计依据	185
三、系统流程	186
第六节 堆芯余热排出系统	187
一、系统功能	187
二、系统流程	188
三、系统运行	189
第七节 废燃料池冷却及净化系统	189
一、系统功能	189
二、设计依据	189
三、系统流程	189
第八节 设备冷却水系统	190
一、系统功能	190
二、系统流程	190
第九节 安全注射系统	191
一、系统功能	191

二、失水事故的基本过程	191
三、系统流程	194
四、系统运行	195
五、系统安全评价	197
六、系统的研究改进	197
第十节 安全壳冷却系统	200
一、系统功能	200
二、液滴降落时的传热传质过程	201
三、系统流程	202
四、系统运行	203
第十一节 消氢系统	203
一、氢气产生的原因	203
二、消氢方法	203
第十二节 放射性废液处理系统	204
一、系统功能	204
二、氚的产生及性质	205
三、系统流程	206
第十三节 放射性废气处理系统	208
一、工艺废气的产生	208
二、贮存衰变法	208
三、常温活性炭延滞法	208
四、“近零排放”处理法	209
五、系统流程	210
第十四节 放射性固体处理系统	210
一、固化技术	211
二、固体废物处理系统	212
第八章 核动力系统热力学	213
第一节 热力学基础	213
一、理想循环的研究	213
二、实际循环的分析方法	215
三、提高循环热经济性的途径	216
第二节 核电厂的热经济性指标	217
第三节 蒸汽参数对热经济性的影响	219
一、蒸汽初参数的影响	219
二、蒸汽终参数的影响	220
三、一、二回路参数的相互制约	221
第四节 给水回热系统	222
一、给水回热循环的热经济性	223
二、最佳回热分配	224
三、最佳给水温度	229
四、最佳回热级数	230
第五节 蒸汽再热系统	233

一、汽耗率与热耗率	233
二、最佳再热压力	234
三、再热机组的最佳回热分配	235
第六节 核动力系统的热力分析方法	237
第七节 核动力系统的热力分析示例	239
第八节 用计算机分析热力系统的程序	245
一、程序说明	245
二、程序符号	245
三、源程序及计算示例	246
第九章 核电厂的二回路热力系统	252
第一节 概述	252
一、系统的功能	252
二、蒸汽和动力转换系统	252
第二节 给水回热系统	254
一、疏水泵系统	256
二、疏水逐级自流系统	256
三、疏水冷却器系统	257
第三节 给水除氧系统	257
一、给水除氧原理	257
二、除氧器类型	259
三、除氧器相关系统	262
四、实现除氧器滑压运行的措施	264
五、真空除氧与热力除氧的比较	267
第四节 主蒸汽系统	268
第五节 主给水系统	270
一、系统功能及组成	270
二、主给水泵	270
三、高压加热器	271
四、给水调节阀	272
第六节 二回路水处理系统	272
一、磷酸盐处理与全挥发处理	272
二、凝水净化装置	274
三、二回路水质规范	275
第七节 二回路辅助系统	275
一、蒸汽发生器辅助给水系统	275
二、蒸汽发生器排污系统	278
第十章 核汽轮发电机组	280
第一节 汽轮机工作原理	280
一、汽轮机级的工作过程	280
二、轮周功率与轮周效率	281
三、汽轮机的内部损失及相对内效率	282
四、汽轮机的调节方式	283

五、汽轮机的调节系统	284
第二节 汽轮机基本结构	285
一、布置形式	285
二、典型结构	286
三、防蚀措施及去湿结构	286
第三节 汽水分离——再热器	290
一、性能与结构型式	290
二、设计特点及研究改进	291
第四节 核汽轮机组特点	294
一、核汽轮机组的一般特点	294
二、核汽轮机组转速选择	295
第五节 凝汽器	297
一、功能及组成	297
二、传热过程及传热强化	297
三、凝汽器特性曲线	298
四、凝结水过冷原因及改善措施	300
五、核凝汽器结构特点	303
第十一章 核电厂的运行及安全	304
第一节 核电厂的调试启动	304
一、调试启动准备	304
二、系统冷态试验	304
三、系统热态试验	305
四、启动试验	307
五、核电厂验收试验	310
第二节 核电厂的稳态运行	310
一、压水堆核电厂运行特点	310
二、核电厂的正常启动	312
三、稳态运行特性	313
四、核电厂停闭	318
第三节 核电厂的装换料	318
一、功能及要求	318
二、反应堆装换料操作过程	320
三、燃料贮运及检验系统	321
第四节 核电厂安全分析	322
一、核电厂安全设计原则	322
二、工况分类	323
三、一般事故分析	325
四、重大事故分析	326
五、极限事故分析	327
第十二章 核能动力装置的应用及发展	330
第一节 核电厂堆型发展	330
一、核电厂发展过程中堆型概述	330

二、压水堆的改进和发展	331
三、沸水堆的改进和发展	333
四、重水堆的改进和发展	338
五、高温气冷堆的改进和发展	341
六、快中子增殖堆的发展	344
第二节 舰船核动力装置	346
一、概述	346
二、舰船用核反应堆	346
三、潜艇核动力装置	349
四、水面舰船核动力装置	349
五、海底开发用核动力装置	353
第三节 核能供热	353
一、概述	353
二、核供热站	353
三、核热电厂	354
四、核能冶炼	355
第四节 宇航中的核动力装置	355
一、核电池	356
二、微型核发电装置	356
第五节 受控热核反应发电装置	357
一、热核反应	357
二、受控热核反应实施条件	358
三、受控热核反应发电厂	358
附录一 主要符号表	362
附录二 常用单位换算	364
附录三 300—1200MW压水堆核电厂主要参数汇总表	365

第一章 绪 论

第一节 核能在能源系统中的地位

能源是一个国家发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活水平的重要物质基础。电力则是国民经济发展中能效高、使用方便，并得到广泛应用的二次能源。

随着现代工业的急剧发展，世界各国对燃料的需求量与日俱增，在近100年内世界动力消耗的燃料已增加了20倍。特别是从50年代以来平均每年以6%速率增加，60年代初期全世界能源消耗量约为40亿吨标准煤值，而到70年代初已达到80亿吨。80年代初年消耗量已超过了100亿吨。预计到2000年需求量将达到200亿吨标准煤值。图1-1为世界能源需求趋势。

但是，从能源供求结构来看。目前，世界上消耗的能源主要来自石油，天然气和煤三大资源。其中，石油，天然气占60%，煤占25%，水力占5%，其他各种能源加在一起约占10%。据国际能源资料统计：全世界已探明适合于经济开采的石油和天然气资源约有三四十年储藏量。世界上煤的储藏量比较大，消耗也没有石油多，可以多用些时候，估计可开采300年左右。

然而，按目前能源消耗的增加速度和这么大的消耗量，如果继续依靠有机燃料来发电，就会给人们带来两个深为忧虑的问题：

第一，大量有机燃料的消耗给自然环境带来严重污染。以一座发电量为1000MW的烧煤火电厂为例，每天要烧掉约8000t左右的优质煤。同时，向大气层倾吐出300多吨二氧化硫、二氧化碳和烟灰等有害物质，造成空气严重的污染。

第二，煤和石油都是化学工业，轻纺工业的宝贵原料，仅作为燃料利用是极不经济的。例如：现代石油化工厂就是依靠石油作原料为纺织、化工提供大量各种宝贵原料。若用石油来发电，不仅浪费而且将使地球上宝贵的工业原料消耗尽。因此，为了更合理地利用有机燃料，必须开发和利用更有效的能源资源。

自然界中除有机燃料外，核能、水力、风力、太阳能、地热和潮汐能也都是巨大的能源。水力是较为理想的自然资源，但是，投资的时间较长，大型水电站从动工兴建到开始运转，一般需要20年左右时间。我国的水力资源大多分布在西部地区，而经济发展区域却分布在东南沿海地区，相应地还得建造远距离输电工程。至于太阳能、潮汐能、风力及地热能，目前虽然经过研究试验已开始应用，但要大规模地用于工业还受到很多条件的限制。目前，比较成熟并已在工业上大规模应用的是核裂变能。核能不仅单位能量大，而且资源丰富。据初

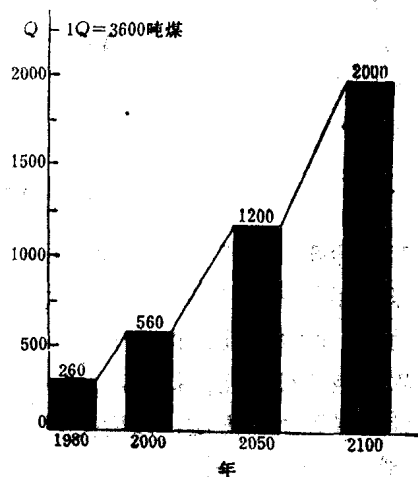


图1-1 世界能源需求趋势

步统计,地球上已勘探到的铀矿和钍矿资源,按蕴藏的能量计算,相当于地壳中有机燃料的20倍。如果进一步实现受控聚变反应,并在海水中提取氘加以利用,则1t海水中的氘用来作聚变反应时所释放的能量就相当于350t煤,由此将为能量资源提供更为丰富的前景。海水中的氘,地球上的锂、铀和钍所蕴藏能量如能充分利用,则人类将可不再为能源问题而困扰。

第二节 核能动力的应用及发展

自从1938年科学家发现了中子轰击铀原子核时发生铀核分裂现象后,人们立即转向原子能应用的研究。

早在1942年美国建成了第一座核反应堆,但当时并不能从反应堆中取得有用的能量,要将原子核释放出来的巨大能量变为有用的动力,尚需要解决许多工程技术问题。第二次世界大战期间,几个国家倾全力搞核武器,对核动力的和平利用未予重视。直至战后,各国才开始重视核动力的应用研究。至今核能动力的应用和发展主要反映在海上舰船动力和陆上核电站动力上;

一、舰船核动力装置的发展

1946年美国海军首先开始了核动力用于舰艇的研究。重点研究和开发了核潜艇用的动力堆。1954年第一艘核动力潜艇“鳐鱼”号建成,次年试航成功,并第一次完成北极的冰下探险航行,证明核潜艇的性能十分良好。1958年以后,以“飞鱼”号核潜艇为模式建造了一批鱼雷攻击型的核潜艇。接着,自1959年开始,以“乔治·华盛顿”号为模式建造了“北极星”弹道导弹型核潜艇,以后又发展了“海神”型和“三叉戟”核潜艇,至今美国海军中约有120艘核潜艇在服役。

60年代以来,英国、法国和苏联也相继发展核潜艇。英国海军中拥有十余艘核潜艇,法国已建造7艘,苏联建造核潜艇虽比美国迟,但至今也拥有了160艘核潜艇,总数超过了美国,并且研制成钠冷核动力装置作为核潜艇的动力。世界核潜艇统计列于表1-1。

表1-1 世界核潜艇统计表 (截止1987年12月)

国别	艇种	数目	排水量 (水下),t	核反应堆	动力装置	轴功率, MW	续航力, n mile	航速 (水下), kn
美国	鱼雷攻击	67	3500—6900	S ₅ W—S ₆ W压水堆	二台蒸汽透平	11.40—22.06	60000—110000	25/30
	弹道导弹	66	6700—18700	S ₅ W ₂ 压水堆	二台蒸汽透平	11.40—22.06	180000	25/30
苏联	鱼雷攻击	25	4000—4200	压水堆	蒸汽透平	16.55		25/30
	飞航导弹	42	5000	压水堆	蒸汽透平	16.55		20/25
	弹道导弹	108	9000—14500	压水堆	蒸汽透平	17.65—29.42		25
英国	鱼雷攻击	5	4000	S ₅ W压水堆	蒸汽透平	11.40		
法国	导弹型	4	9000	压水堆	蒸汽透平	11.40	3—4年	25
意大利	鱼雷攻击	1	2800	压水堆	蒸汽透平	11.40		
中国								

略

各国在建造核动力潜艇的同时,还研究建造了各种核动力水面舰船。首先是苏联于1959年建成了“列宁”号原子破冰船,以后又相继建造了“北极”号、“西伯利亚”号等四艘原子破冰船。美国建造了第一艘核动力客货船“萨凡娜”号。联邦德国建造了“奥托·哈恩”号

核动力商船。日本于1973年建造了“陆奥”号核动力考察船。

在军用水面核动力舰只中,美国1957年以来先后建造了核动力驱逐舰、巡洋舰和航空母舰。首艘10万吨级的核动力航空母舰“企业”号1962年建成。以后又建造了“尼米兹”号、“艾森豪威尔”号、“文森”号、“林肯”号和“华盛顿”号等6艘核动力航空母舰。由于核动力航空母舰不需要别的舰只供给燃料,大大提高了整个舰队的续航能力。

苏联自70年代末开始建造大型核动力水面舰只,1981年建造了基洛夫级核动力巡洋舰,最近正在建造排水量为5万吨级的基辅级核动力航空母舰。随着核动力技术发展,核动力在舰船上的发展应用将更为广泛。世界核动力水面舰船列于表1-2。

表1-2 世界核动力水面舰船(截止1987年12月)

国别	舰船类型	数目	排水量, t	航速, kn	核反应堆	轴功率, MW	续航力, n mile
美国	驱逐舰	5	8200—10000	30	2×D ₂ G	44.13	15000
	巡洋舰	1	17100	30	2×C ₁ W	58.84	75000
	航空母舰	6	82000—95000	30	8×A ₂ W	184—220	430000
	客货船	1	约22000	20	1×80MW	14.71	350000
苏联	破冰船	4	16000	30	3×90MW	32.36	
	巡洋舰	2	27000				
	航空母舰	1	50000				
联邦德国	货船	1	25950	15.75	1×38MW	7.355	60000
日本	海洋考察船	1	10400	16.5	1×36MW	7.355	145000

二、核能发电的应用及发展

由于核燃料资源丰富、运输和贮存方便,核电厂又具有对环境污染比较小、发电成本低等优点,自50年代初世界上建成了第一座核电厂以来,核发电越来越为人们所重视,许多国家和地区先后建造和发展了核电厂。

美国第一座压水堆核电厂是根据核潜艇压水堆的技术在希平港建造的,电功率为60MW,经过长期运行和改进功率已达到140MW。1984年该电厂完成了它的历史使命,退役拆除。

美国西屋公司在此基础上,于1961年建造了电功率为175MW的扬基压水堆核电厂。反应堆中采用低浓缩度的二氧化铀和不锈钢包壳带盒的燃料组件,组件间设置十字形控制棒。这种压水堆也就被列为现代核电厂压水堆的先驱。与此同时,美国的燃烧工程公司和巴布科克·威尔科克斯公司也相继研究、发展压水堆核电厂,西屋公司在扬基电厂基础上进一步改进设计,建造了哈达姆海峡和康涅狄格扬基等核电厂,并向日本、联邦德国和法国转让压水堆核电厂技术。经过20多年的应用和发展,压水堆核电厂已获得设计、建造和运行等方面完整的经验,现在世界上正在运行的400余座核电厂中,压水堆核电厂的装机容量就占了60%,在建的130座核电厂中,压水堆核电厂装机容量占76%。商用压水堆核电厂的单堆功率已由300MW提高到了1300MW。

80年代以来各国在总结压水堆核电厂运行经验基础上进一步设计建造了更加安全可靠,经济效益高的改进型压水堆核电厂。

沸水堆核电厂与压水堆一样发展很快,自从1960年第一座示范性沸水堆核电厂德累斯顿1号投入运行以来,至今约有100座沸水堆核电厂投入运行,发电容量为71000MW,约占核

发电总量的24%。正在建造的核电厂中，沸水堆核电厂装机容量占总核发电的7.4%。单堆最大容量可达约1300MW。目前，国际上核电厂中沸水堆也是一种比较成熟的堆型。有些国家在发展压水堆核电厂的同时也发展沸水堆核电厂，如美国、日本、联邦德国和瑞典等国。预见在一段时期内，它将仅次于压水堆在核发电中占重要地位。

重水堆核电厂也是核发电中发展较早的核动力堆型之一。目前，世界上发展应用重水堆核发电的主要国家有加拿大、联邦德国、英国、日本和印度等国。加拿大自1962年建成第一座实验性重水堆以后接着建造了四座电功率为540MW和四座750MW级的核电厂，并对单堆功率为1200MW的大型重水堆核电厂进行研究工作。联邦德国研究发展了压力容器式的重水堆核电厂并为阿根廷建造两座重水堆核电厂。英国和日本也相应建造示范性重水堆核电厂。总的来说，建造重水堆核电厂的国家不多，规模也不如轻水堆大，就世界核发电容量来说它约占5%左右。

石墨气冷堆核电厂也是发展最早的核发电堆型之一。早在50年代至60年代初期英、法两国发展了天然铀燃料二氧化碳气体冷却的石墨堆，用它来发电并可生产一部分军用钚。这种核电厂的主要优点是用天然铀作燃料，燃料成本低，运行比较安全，钚产量高。但是核电厂的燃料装量大，燃耗浅，核电厂自耗功大，发电成本高。当60年代中压水堆核电厂大量发展时，就无法在国际市场上竞争。

气冷堆核电厂中较有发展前途的是高温气冷堆，它采用低浓铀或高浓铀加钍作燃料，高温氦气作冷却剂，这样核电厂蒸汽参数高，热效率提高，燃耗加深，燃料转换比高，是一种较有发展潜力的核电厂。60年代中期，英、美、联邦德国等国分别设计建造了实验性和示范性核电厂，目前正在运行的核电厂其最大电功率为330MW，同时对600—1000MW的大型高温气冷堆核电厂正在进行设计研究。由于高温氦气回路的技术、环境剂量和材料等方面的问题尚待解决，目前仍处于原型核电厂阶段。苏联自第一座核电厂开始，一直在设计建造石墨水冷堆核电厂，并在国内建造了一批功率为1000MW级的石墨水冷堆核电厂，该种堆在固有安全性方面尚有一定缺陷，自切尔诺贝利核电厂事故后，正在作进一步改进。

在核能动力发展中，快中子增殖堆核电厂将是最有发展前途的核电厂，一些工业发达的国家已把快中子增殖堆列为核动力研究发展的重点。到目前为止，美国、英国、法国、苏联、日本和联邦德国已建成了11座实验性快堆和4座原型快堆核电厂，尚有4座原型快堆核电厂即将投入运行，法国超凤凰型快堆核电厂已投入运行。预计，到本世纪末快中子增殖堆核电厂将走向商业运行，2000年以后将成为主要核发电的动力。

核能发电作为一种新型的能源，发展迅速，自世界上第一座核电厂建成以来，30年的时间几乎走完了常规电厂100多年的发展历程。到1987年底世界上已有28个国家和地区建成了417座核电厂，发电容量约为3亿千瓦；正在建造中的119座，装机容量约为1亿千瓦；计划建造的还有100余座，加在一起共有600多座核电厂。全部建成后装机容量可达5亿千瓦，发电量约占当时世界发电量的20%左右。世界核电厂的统计值列于表1-3。世界核发电增长速率列于图1-2。

从已运行的核电厂装机容量来看，美国居首位，它的核电厂装机容量占全世界的三分之一。其次是法国、苏联、日本和联邦德国。有18个国家核发电比例已超过10%。从发展速度来看法国、日本、联邦德国等国最快。特别是法国于1974年政府决定，停止建造火电厂，以核电逐步取代火电，在1980—1990年期间将建造9—10座电功率为900—1200MW的核电厂，

表1-3 世界核电厂统计⁽¹⁻¹⁾(截止1987年12月31日)

国家和地区	正 在 运 行			正 在 建 造	
	机 组 数	装机容量, MW(电)	核发电量份额, %	机 组 数	装机容量, MW(电)
美 国	106	92982	18	13	14844
法 国	53	49378	72	10	13124
苏 联	55	32919	12	28	25098
日 本	36	26877	26.7	12	10632
联邦德国	21	18950	29.4	4	4050
加 拿 大	18	11250	14.7	4	3520
英 国	38	10220	18.4	4	2520
瑞 典	12	9460	50		
西 班 牙	9	6530	31	1	990
比 利 时	7	5480	67		
南 朝 鲜	7	5380	43.6	2	1800
瑞 士	5	2930	39.2		
捷克和斯洛伐克	8	3200	24	8	5120
芬 兰	4	2310	38.4		
民主德国	5	1690	9.7	6	3430
保加利亚	5	2580	35	1	950
意 大 利	3	1270	4.5	3	2000
匈 牙 利	3	1230	25.8	1	410
印 度	6	1150	2.7	8	1760
阿 根 廷	2	930	11.3	1	690
南斯拉夫	1	630	5.4		
巴 西	1	630	0.1	1	1240
荷 兰	2	510	6.2		
罗马尼亚				3	1980
巴基斯坦	1	125	1.8		
中 国	6*	4920	43.8	3	2100
波 兰				3	1980
墨 西 哥				2	1300
古 巴				2	820
总 计	417	293531		119	100358

* 建在我国台湾省。

总的电功率增加12000MW，到1990年法国的核电将可提供50000MW的电力，超过法国总电力的75%。世界核发电及其在总发电量中的份额列于图1-3。

从发展趋势来看，在今后30年内世界上将有更多国家和地区拥有核电厂，据国际原子能机构统计至21世纪初，将有58个国家和地区建造核电厂，电厂的总数将达到1000座，装机容量可达8亿千瓦左右，核发电量将占总发电量的35%以上。由此可见，在21世纪相当长一段时间内核电将成为电力工业的支柱。

核能除用于发电外，近年来还发展建造了核供热站，如苏联、加拿大等国设计建造了低温核供热站，利用反应堆产生的热量加热二回路的水使它成为低温蒸汽或热水，供工厂和居民区作工业热源或生活供热。法国和联邦德国等设计建造发电和供热联合机组的核热电厂，通过抽气或旁路将蒸汽供工业上使用。

此外，核能还可作为火箭、宇宙飞船、人造卫星等动力能源。由于核动力不需要空气助