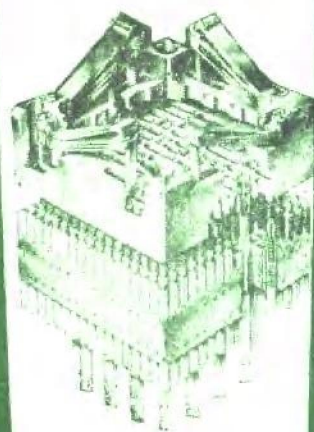




〔联邦德国〕

W. 奥尔德科布著

荣 辛 译

核电站 压水式 反应堆

水利电力出版社

内 容 简 介

本书着重介绍联邦德国在大容量核电站压水式反应堆设计、制造、运行等方面的实际经验,包括核电站各主要系统及设备的结构、物理及热工技术设计特点、监测技术、事故工况与反应堆保护、运行经验以及今后发展趋势等。本书没有过多的理论推导,不要求读者一定具有很多的反应堆理论基础知识,因此本书既可供参加核电工作的专业人员使用,也可供对核电技术感兴趣的领导及一般管理干部阅读,尤其适合于具有一定工程技术基础而想进一步了解压水堆技术的工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

W.OLDEKOP

Druckwasserreaktoren für kernkraftwerke

Verlag karl Thiemig 1979

核电站压水式反应堆

[联邦德国]W.奥尔德科布著

荣 辛 译

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.25印张 246千字

1986年7月第一版 1986年7月北京第一次印刷

印数001—950册 定价2.35元

书号 15143·5848

译者序

联邦德国的核电工业起步较晚，但发展却很快，目前，联邦德国核电设备的制造及运行水平都已处于世界先进之列。了解联邦德国核电机组的情况，对发展我国的核电事业是有益的。

本书是联邦德国卡尔梯米克出版社（VERLAG KARL THIEMIG）出版的核能丛书的第59分册。书中较系统地介绍了联邦德国大容量核电站压水堆的设计特点及运行经验。

由于本书涉及的专业面很宽，而译者的技术和德文水平都有限，译文中错误与欠妥之处在所难免，尚望读者给予批评指正。

本书是根据原文1979年第二版翻译的，在翻译出版过程中，得到了陈维敬、恽肇强同志的大力支持，陈维敬同志在百忙之中，还亲自审阅了译稿，在此谨致衷心的感谢。

译者

1985年元月

编 者 序 言

以轻水慢化及冷却的压水式反应堆(DWR)和沸水式反应堆(SWR),是目前利用核能发电的基础。各国压水式反应堆建造的总原则基本上是一致的,所以本书按专业范围分章,并主要以比布利斯核电站为例,论述了反应堆的物理设计、循环回路、核技术设备、探测装置、调节、安全、运行经验以及发展趋势。各个专业章节,都是由目前从事这方面工作的专家来撰写的。

本书初版取得的成功,使得虽仅过几年就有了出第二版的必要。

研究表明,压水式反应堆目前的结构方式是适宜的。因此,本书仍然保留初版时的编排,但也充分考虑了在这段期间内所取得的技术上的进步,例如在格拉芬来因菲尔德(Grafenrheinfeld)核电站上的改进。同时,本书也进一步说明了新的发展趋势及对未来的展望,并指出:成熟的堆型将不会有重大的改变,但却有新的应用的可能性。专业人员都一致认为,在近几十年内,压水式反应堆仍将在解决能源危机中起重要作用。

著 者 名 单

国家工程师 W.阿来特(电站联盟, 艾尔兰根)
国家工程师 G.巴尔托罗梅(电站联盟, 艾尔兰根)
博士 W.波姆(电站联盟, 艾尔兰根)
国家工程师 W.德布来(电站联盟, 艾尔兰根)
国家工程师 G.弗来(电站联盟, 艾尔兰根)
国家物理学家 R.赫尔采(电站联盟, 艾尔兰根)
博士 I.R.考兹(电站联盟, 艾尔兰根)
教授、博士 W.奥尔德科布(布朗斯威克大学)
国家工程师 H.J.波劳依斯(电站联盟, 艾尔兰根)
高级工程师 G.朴特索哥尔(电站联盟, 艾尔兰根)
博士 H.深克(奥布利希海姆核电站/巴登)
国家物理学家 P.施密德尔(电站联盟, 艾尔兰根)
国家工程师 E.索迈尔(电站联盟, 艾尔兰根)
博士 E.R.史瓦尔兹(史瓦本电力公司, 斯图加特)
博士 G.乌尔利希(电站联盟, 艾尔兰根)

初 版 前 言

本书介绍了轻水慢化压水堆(DWR)型核电站的技术概况。

介绍的重点是压水堆本身,然而核电站各个系统间的联系是十分紧密的,这就要求也必须同时介绍其它部分的设备,并把反应堆当做整个系统中的一部分。本书采用“核电站的压水式反应堆”这个题目,就是要使这个观点更得以突出。船用或其它用途的压水堆,在本书中未加论述。同时,本书所详细介绍的也仅限于轻水慢化及冷却的反应堆,也即通常意义下的压水堆。

由于篇幅有限,同时也考虑到所有现代压水堆型核电站相对来说都具有很大的相似性,因此就没有必要去分别介绍各种不同的设计,实际上,在所附列的参考资料中已有足够的关于不同核电站的介绍。本书大部分篇幅是用来按专业范围论述的。在各专业章节中,主要是介绍压水堆的一般特性及设计原则。论述时,一般是以比布利斯核电站为例的。在绪论中,则首先简要说明了压水堆型核电站的一般特点及重要的建设原则。

虽然本书主要是为对反应堆技术已有初步认识、并希望进一步了解压水堆的读者编写的,但也只是以读者仅具有很少的基本概念为前提,因此本书的大部分内容,对那些对反应堆还不熟悉、但却感兴趣的读者也将是能够理解的。

W. 奥尔德科布

布朗斯威克

1973年10月

二 版 前 言

本书初版发行后，获得了广大的读者，以致于仅过了几年就已脱销。这种情况以及对本书的大量肯定性评论，使我们在二版时仍保留了本书初版时的内容和编排。但为了使每章都可供单独阅读，因而，新版中有少量内容上的重复与交叉。这段期间内，在压水堆技术领域取得的进步，也要求对本书做一些修改及补充，因此，对本书的所有数据都重新做了校准及补充，并且注意了新的技术发展及法律规定的调整。一般地，本书较多地以格拉芬来因菲尔德核电站为实例，但第十三章则和初版一样，仍以比布利斯核电站为例，因为格拉芬来因菲尔德核电站目前还没有建设完毕。

各个章节的改动量差别很大。总的来说，大约有五分之一的内容是经过修改或重新撰写的，大约有一半的插图及表格是重新修改或用新表代替的。绪论、热工技术、调节、安全、运行经验及发展趋势等各章，做了较大的改动。我们认为，这样就可以把这段期间压水堆的持续发展情况包括进去了。

W. 奥尔德科布

布朗斯威克

1979年2月

目 录

译者序	
编者序言	
著者名单	
初版前言	
二版前言	
第一章 绪论	1
§ 1.1 电力生产中的压水式反应堆	1
§ 1.2 西方世界压水式反应堆的发展	4
§ 1.3 苏联压水式反应堆的发展	16
参考资料	20
第二章 堆芯物理设计	22
§ 2.1 中子物理的基本概念及堆芯物理设计原则	22
§ 2.2 功率密度分布、燃耗特性及平衡换料装载方案	28
§ 2.3 反应性的控制	34
§ 2.4 对周期变化负荷的适应性	38
§ 2.5 反应性系数	41
§ 2.6 钚再循环	44
参考资料	47
第三章 热工水力设计	49
§ 3.1 冷却剂在一回路设备中的流动工况	50
§ 3.2 稳压系统	54
§ 3.3 堆芯	55
3.3.1 几何及物理边界条件	55
3.3.2 热工技术设计准则	56

3.3.3	热管	58
3.3.4	热管因子	60
3.3.5	堆芯内热管几率分布	62
3.3.6	堆芯主要尺寸	64
3.3.7	燃料棒的冷却	66
§ 3.4	蒸汽发生器换热面积与冷却剂主泵功率	69
§ 3.5	偏离额定工况运行条件下的烧毁比	70
§ 3.6	确定堆芯热工技术特性的准确方法	74
§ 3.7	反应堆与汽轮机的配合	75
参考资料		80
第四章 反应堆堆芯结构		82
§ 4.1	堆芯的一般结构及主要设计数据	82
§ 4.2	堆芯格架	90
§ 4.3	燃料组件及控制组件	97
§ 4.4	节流塞、补偿组件及中子源	101
§ 4.5	燃料棒及燃料组件设计概况	102
参考资料		106
第五章 一回路部件的结构及制造		107
§ 5.1	反应堆冷却回路	107
§ 5.2	一回路部件	108
5.2.1	反应堆压力壳	108
5.2.2	蒸汽发生器	110
5.2.3	冷却剂主泵	112
5.2.4	稳压器	113
5.2.5	泄压水箱	115
5.2.6	冷却剂主管道	115
5.2.7	阀门	116
5.2.8	厂房及安全壳	116
§ 5.3	制造及质量控制	116
§ 5.4	检查与维修	118

§ 5.5 安全评价	120
5.5.1 计算及应力鉴定	121
5.5.2 脆断及韧断分析	123
参考资料	129
第六章 一回 路 材 料	130
§ 6.1 引言	130
§ 6.2 堆芯材料	130
6.2.1 核燃料及包壳管	130
6.2.2 燃料组件框架	136
§ 6.3 堆内构件	137
§ 6.4 压力壳及其它受压部件	140
§ 6.5 吸收体材料	143
第七章 燃料循环及燃料价格	145
§ 7.1 燃料循环	145
§ 7.2 浓缩	151
§ 7.3 燃料成本	155
参考资料	164
第八章 核辅助系统	165
§ 8.1 引言	165
§ 8.2 容积调节系统、化学注入系统、一回 路 冷 却 剂 净 化 系 统	167
§ 8.3 冷却剂处理系统	172
§ 8.4 排气系统	174
§ 8.5 余热冷却及安全注入系统、核中间冷却系统	177
§ 8.6 加硼系统	182
§ 8.7 排水系统	183
§ 8.8 通风系统	186
参考资料	188
第九章 测量、调节及运行特性	189

§ 9.1 测量装置	189
9.1.1 循环回路的测量	189
9.1.2 中子通量的外部测量	190
9.1.3 堆芯测量	191
9.1.4 辐射监督	195
9.1.5 过程计算机	195
§ 9.2 调节	196
9.2.1 功率调节装置	197
§ 9.3 限制及限制值的调节	205
9.3.1 汽轮发电机组的转数调节	205
9.3.2 KTA3501要求的限制	206
9.3.3 新蒸汽最低压力限制	208
9.3.4 新蒸汽最高压力限制	209
9.3.5 快速落棒	209
§ 9.4 运行特性	210
9.4.1 机组的启动	210
9.4.2 机组的停运	211
9.4.3 压水堆的短时间特性	211
9.4.4 压水堆的长时间特性	214
参考资料	218
第十章 事故工况及反应堆保护	220
§ 10.1 引言	220
§ 10.2 反应堆保护准则	220
10.2.1 危险值	220
10.2.2 反应堆保护系统的极限值	222
10.2.3 反应堆保护系统	225
§ 10.3 运行故障	227
10.3.1 反应性故障	228
10.3.2 堆芯冷却故障	232
10.3.3 传热故障	235

§ 10.4 紧急停堆失效下的运行故障 (ATWS)	238
§ 10.5 事故	240
10.5.1 失水事故	240
10.5.2 二回路管道破裂	241
§ 10.6 小结	243
参考资料	244
第十一章 核电站的安全技术观点	245
§ 11.1 引言	245
§ 11.2 厂址问题及抗外部影响设计	247
§ 11.3 厂房设计方案	251
§ 11.4 失水事故	255
§ 11.5 反应堆保护系统、应急工况及厂用电供应	260
§ 11.6 核电站的放射性	262
§ 11.7 结束语	267
参考资料	269
第十二章 压水堆的运行经验	271
§ 12.1 概述	271
§ 12.2 建设及调试期	271
§ 12.3 利用率	274
§ 12.4 一般运行特性	278
12.4.1 运行可靠性	279
12.4.2 调节特性及动态特性	280
12.4.3 冷却剂化学	281
12.4.4 辐射水平	282
12.4.5 对环境的放射性排放率	283
§ 12.5 大容量设备的运行经验	287
§ 12.6 燃料组件的运行经验	289
参考资料	291
第十三章 比布利斯核电站——现代电站技术在压水堆型核电站中的应用	292

§ 13.1	引言	292
§ 13.2	厂址及厂区总平面布置	293
§ 13.3	控制区的布置及结构	295
§ 13.4	反应堆设备	301
§ 13.5	蒸汽动力设备及电气设备	304
§ 13.6	小结及与格拉芬来因菲尔德机组参数的比较	306
	参考资料	310
第十四章 发展趋势及对未来的展望		311
§ 14.1	概述	311
§ 14.2	标准压水堆机组的进一步发展	312
14.2.1	联邦德国政府研究技术部(BMFT)的反应堆安全性研究 计划	312
14.2.2	经济性及利用率的改善	314
§ 14.3	标准压水堆机组对特殊厂址条件的适应性	315
14.3.1	地下核电站	315
14.3.2	海上核电站	318
§ 14.4	标准压水堆做为低温热源	320
14.4.1	集中供热	320
14.4.2	以压水堆做为工艺热源进行煤的气化	323
14.4.3	其它应用的可能性	326
§ 14.5	其它功率等级的压水堆	326
14.5.1	小型压水堆	326
14.5.1.1	压水堆CAS3G	327
14.5.1.2	一体化压水堆	330
14.5.1.3	SECURE——集中供热站	331
14.5.2	单机功率的增大	334
§ 14.6	压水堆中燃料应用的进一步发展	337
14.6.1	铀再循环	339
14.6.2	高转换比的轻水堆	340
14.6.3	点火再生式反应堆	342
14.6.4	移谱式反应堆	343
	参考资料	344

第一章 绪 论

W. 奥尔德科布 布朗斯威克

§ 1.1 电力生产中的压水式反应堆

轻水慢化及冷却的压水式反应堆 (DWR) 和沸水式反应堆 (SWR), 是目前核电站经济地应用核能的基础。

图1.1是以对数坐标表示的逐年的各种类型核电站的总电功率。左图为已运行的核电站, 右图则为已运行的、在建的及已经订货的核电站的总和。直到六十年代中期, 还是以燃用天然铀的镁诺克斯 (Magnox) 反应堆为主。1963年底, 按着纯商业观点订购了 640MW 的牡砺湾号 (Oyster Creek) 沸水堆, 从而实现了使用浓缩铀的压水堆及沸水堆 (两者统称轻水堆) 在经济性方面的突破, 这之后, 轻水堆得到了迅速的发展, 这首先是由于轻水堆结构相对来说较为简单, 价格也较为便宜。最近一些年来, 压水堆又较沸水堆有更快的增加。目前 (1978年) 世界上大约有 80 个压水堆在运行, 其总的电功率为 53800MW, 同时还有约 230 个压水堆正在建造或者已经定货, 其总电功率为 224000MW^[23]。

1978年底, 在联邦德国有 6 个压水堆核电站在运行, 另有 10 个正在建造或已订货, 表 1.1 列出了西德所有已建及已订货的压水堆核电站的概况, 这些核电站的总电功率为 17470MW^[23]。1975 年底, 西德所有公用电站的最大功率约为 60000MW, 由这些数据即可看出压水堆对目前及未来

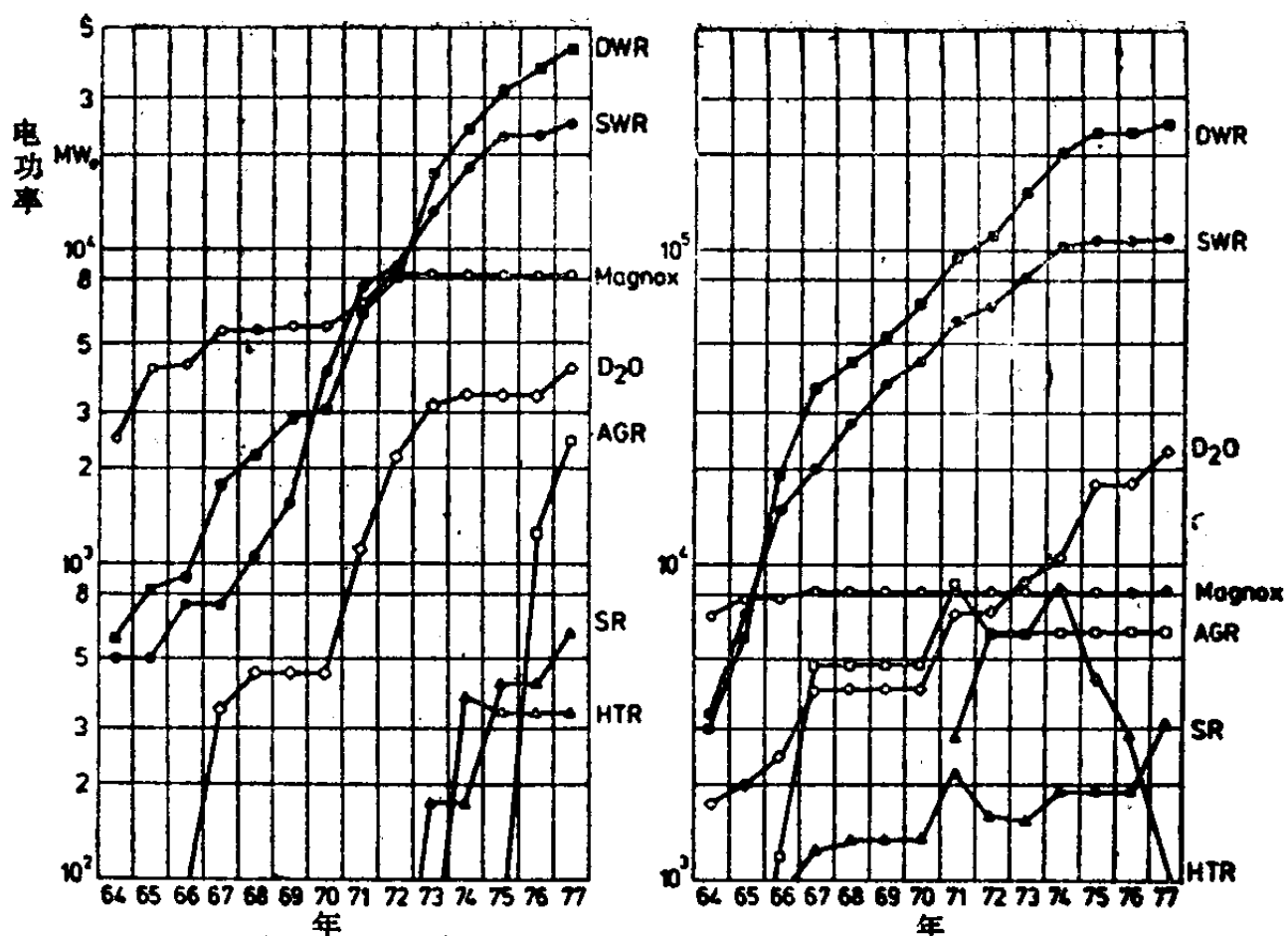


图 1.1 全世界各类型核电站的总电功率

DWR—压水堆，D₂O—重水堆，AGR—改进型气冷堆，SWR—沸水堆，SR—快堆，HTR—高温反应堆，Magnox—镁诺克斯堆

电力供应的重大意义。

最重要的压水堆制造厂家及它们到目前为止已接受的订货总数列于表1.2。在法国和日本，压水堆设备都是由本国公司即法马通公司（Framatome）及三菱公司（Mitsubishi）采用西屋公司（Westinghouse）的专利制造的，因此，其制造的相应设备，也可以列入西屋技术范畴之内^①。在西德，巴布考克型的压水堆是由巴布考克—勃朗·鲍维里反应堆股份有限公司（Babcock-Brown Boveri Reaktor Gm-

① 法马通公司和西屋公司间的专利合同有效期到1982年。

表 1.1 西德的压水堆型核电站 (按资料[1])

投运 年分	机组名称	厂址	净电功率MW		制 造 厂 家
			已运行	在建 已订货	
1968	KWO	奥布利希海姆(Obrigheim)	328		电站联盟*(西门子) KWU(Siemens)
1972	KKS	斯塔德(Stade)	630		KWU(Siemens)
1974	Biblis-A	比布利斯(Biblis)	1145		KWU
1976	GKN-1	内卡威斯特海姆(Neckarwestheim)	805		KWU
1976	Biblis-B	比布利斯	1240		KWU
1978	KKU	埃森哈姆(Esenshamm)	1230		KWU
	KKM	米尔海姆-凯里希(Mülheim-Kärlich)		1215	巴布科克-勃朗·鲍维里 公司(BBR)
	KKG	格拉芬来因菲尔德		1229	KWU
	KWG	格伦德(Grohnde)		1294	KWU
	KKP-2	菲利普斯堡(Philippsburg)		1281	KWU
	KBR	布洛克多夫(Brokdorf)		1290	KWU
	KWS	威尔(Wyhl)		1284	KWU
	KKH	哈姆-乌恩特罗波(Hamm-Uentrop)		1231	KWU
	GKN-2	内卡威斯特海姆		805	KWU
	Biblis-C	比布利斯		1232	KWU
	Neupotz-1	努依波茨(Neupotz)		1230	BBR

* 电站联盟(Kraftwerk Union)简称KWU, 是西德西门子公司(Siemens)的一个子公司。——译者注

表 1.2 压水堆制造厂家及其获得的订货数
(到1978年中) (23)

制 造 厂 家	订货总数		订 货 分 布			
			国 内		国 外	
	机组数	电功率 MW	机组数	电功率 MW	机组数	电功率 MW
西屋公司(WEC)	112	100519	80	78480	31	22039
巴布科克和维尔考克斯(B&W)	30	30224	30	30224	—	—
燃烧工程公司(CE)	34	37429	34	37429	—	—
电站联盟(KWU)	26	28066	14	15024	12	13042
巴布科克-勃朗·鲍维里(BBR)	3	3692	2	2445	1	1247
苏 联	51	28905	26	18745	25	10160
法国(法马通公司)	40	38084	34	32640	6	5444
日本(三菱公司)	8	5060	8	5060	—	—

bH，简称BBR) 提供的，这些设备满足德国的特殊的 安全规程。这些压水堆设备还可以进一步分成五到六 种 结 构 类 型，这些型式则是在它们的历史发展过程中陆续形成的。

§ 1.2 西方世界压水式反应堆的发展

压水堆最初主要是作为潜艇的核动力装置而发展的。第一个压水堆，即鸚鵡螺号(Nautilus)潜艇的原型 堆马克 I 号 (Mark I) 是于1953年 5 月在爱达荷州投入运行的^[4]。从那以后，用压水堆动力装置装备了大量军用船只及一些民用船只，其中包括奥托·汗号货船。

第一个压水堆型核电站是美国的希平港 (Shipping-port)，其电功率最初是60MW，后来 达 到141MW，该核