

Kernkraftwerke

[德] W. 里西 等著

核电厂



原子能出版社

Atomic Energy Press

412626

核 电 厂

[德] W·里西等集体著

张禄庆		连培生		
朱文煜	钱元春	陈颂汾		译
连培生	张禄庆	朱文煜		校



原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书共分10篇,分别叙述了压水堆、沸水堆、重水堆、快中子增殖堆和气冷堆核电厂的设计、施工、调试、运行、项目管理、燃料循环、经济分析和质量保证。

本书可供从事核工程的技术人员和管理人员参考,也可作为大学有关专业师生的参考书。

图字:01-96-0075号

图书在版编目(CIP)数据

核电厂/[德]W·里西(Wolfgang Rysy)等著;张禄庆 连培生 朱文煜 钱元春 陈颂汾译.北京:原子能出版社,1996.5

ISBN 7-5022-1182-9

I 核… I. ①里… ②张… III. 核电站-概论 N. TM623

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 03996 号

Kernkraftwerke (Handbuchreihe Energie, Bd. 10) Wolfgang Rysy et al

© Technischer Verlag Resch, Gräfelfing/Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1986

ISBN 3-87806-092-0 (Techn. Verl. Resch)

ISBN 3-88585-250-0 (Verl. TÜV Rheinland)

核 电 厂

张禄庆 等译

© 原子能出版社,1996

责任编辑:田培义

社址:北京市海淀区阜成路43号 邮政编码:100037

原子能出版社出版发行

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092mm 1/16 印张 34.25 字数 852千字

1996年5月北京第一版 1996年5月北京第一次印刷

印数:1-1000

定价:56.00元

译者说明

本书译自《Kernkraftwerke》，它属于能源手册(Handbuchreihe “Energie”)的第10卷。这是一本全面叙述核电厂并着重描述压水堆核电厂的专业书，包括从核电厂的设计、施工、调试到运行以及项目管理、燃料循环、经济分析和质量保证的各个方面，内容充实，对我国经济发展所急需的核电建设，颇有参考价值。

本书主要介绍联邦德国西门子-卡威屋公司的核电厂工程实践经验，约有60%的篇幅专门介绍压水堆核电厂，对沸水堆、重水堆、快中子堆和气冷堆核电厂也作了简略的介绍。本书可供我国从事核电厂规划与建设的经济、管理与工程技术人员参考，又可作为电力与核能专业学生的参考教材。

本书由多位专家分别撰写，其中大多数在西门子-卡威屋公司及莱茵威斯特伐利亚电力公司任职。著、译者姓名详见有关篇章的最后一页。由连培生、张禄庆最后校阅样稿。

限于译者的技术和文字水平，书中可能有译错或不当之处，敬请读者批评指正。

译者

1995年4月

著者介绍

第 I 篇

- 第 1 章 W·里西 (Wolfgang Rysy) 工学博士,德国卡威屋公司
- 第 2 章 H·斯塔舒密特 (Heinz Stahlschmidt) 工学硕士,德国卡威屋公司
- 第 3 章 W·车纳 (Walter Zörner) 工学硕士,德国卡威屋公司
- 第 4 章 H·克诺德勒 (Helmut Knödler), 德国卡威屋公司
W·约莱维茨 (Willi Jorewitz), 德国卡威屋公司
B·加布勒 (Bruno Gabler), 德国卡威屋公司
T·卡莱特 (Theodor Kahlert), 德国卡威屋公司
- 第 5 章 W·阿尔法特 (Wolfgang Altvater) 工学硕士,德国卡威屋公司
K·马什 (Karlheinz March) 工学士,德国卡威屋公司
- 第 6 章 A·马尼格 (Arno Manig) 建筑师及工学硕士,德国卡威屋公司的部门负责人和处长
P·H·普罗斯特 (Paul H·Probst) 工学硕士,德国卡威屋公司的处长
- 第 7 章 W·埃克 (Werner Eck) 工学博士,德国奥格斯堡的克莱恩服务有限公司
H·布埃霍普 (Hans Buerhop) 工学博士,德国卡威屋公司
- 第 8 章 H·霍夫曼 (Horst Hofmann) 工学硕士,德国卡威屋公司
K·H·洛赫奈 (Karl-Heinz Lochner) 工学硕士,德国卡威屋公司
F·谢尔舒密特 (Frank Scherschmidt) 工学硕士,德国卡威屋公司
- 第 9 章 E·比莱克 (Edmund Bilek) 工学硕士
J·埃斯帕赫 (Josef Espach) 工学硕士
W·拉克 (Walter Lack) 工学硕士
G·马特 (Gerold Matt) 工学硕士
W·米歇尔 (Wolfgang Michel) 工学硕士
G·H·奥特 (Günter-Hermann Ott) 工学硕士
R·斯泰恩 (Rudolf Stein) 工学硕士
O·斯特里克 (Otto Sterik) 工学硕士
均在德国卡威屋公司任职
- 第 10 章 K·基什韦格 (Karl Kirchweger) 工学硕士
E·舒伯斯基 (Ernst Schubersky) 工学硕士
D·扬克 (Dieter Janker) 工学硕士
E·耶格 (Kkkehard Jäger) 工学硕士
均在德国卡威屋公司任职

第 II 篇 J·马特恩 (Jean Mattern) 工学硕士,德国卡威屋公司

第 III 篇 P·J·梅耶 (Peter-Jürgen Meyer) 工学硕士,德国卡威屋公司

第 IV 篇 E·古特曼 (Elmar Guthmann) 工学硕士,德国原子反应堆建设公司

- 第V篇 H·福尔默 (Heinz Vollmer) 工学博士,德国芒海姆的勃朗鲍韦里(BBC)公司
H·哈德 (Herbert Harder) 自然科学博士,德国芒海姆的勃朗鲍韦里(BBC)公司
- 第VI篇 J·布尔格哈特 (Joachim Burghardt) 工学硕士,德国卡威屋公司
- 第VII篇 H·霍富曼 (Horst Hoffmann) 工学博士,德国埃森的莱茵电力公司
W·库奇 (Wilhelm Kutsch) 工学硕士,德国埃森的莱茵电力公司
W·卢贝克 (Werner Hlubek) 工学博士,德国埃森的莱茵电力公司
- 第VIII篇 F·鲍尔 (Franz Bauer) 博士,德国埃森的莱茵电力公司和卡尔卡快增殖堆核电厂公司
- 第IX篇 G·马基斯 (Günter Marquis) 工学硕士,德国埃森的莱茵电力公司
K·U·史奈德 (Karl-Uwe Schneider) 工学硕士,德国埃森的莱茵电力公司
- 第X篇 W·卡登 (Werner Kaden) 博士,德国卡威屋公司

目 录

第 I 篇 压水堆核电厂

第 1 章 安全设计	3
1.1 对安全的基本考虑	3
1.2 第一层次安全措施	5
1.2.1 设计、结构与计算	5
1.2.2 选材	5
1.2.3 应力与疲劳分析	6
1.2.4 脆化监查	6
1.2.5 质量保证	6
1.2.6 在役检查	6
1.2.7 检查、保养与维修	7
1.3 第二层次安全措施	7
1.3.1 固有安全运行性能(自调节性能)	7
1.3.2 故障报警	7
1.3.3 限值装置	9
1.4 第三层次安全措施	10
1.4.1 防止放射性物质与射线外泄的保护措施(非能动的安全设施)	10
1.4.2 能动的安全设施	15
1.5 抗事故设计	24
1.5.1 反应堆失水事故	24
1.5.2 二回路事故	27
1.6 对假想碎片的防护	28
1.6.1 控制元件支座的碎裂	28
1.6.2 主泵飞轮碎裂	29
1.6.3 汽轮机碎片	29
1.7 对外来事件的防护	29
1.7.1 基本概念	29
1.7.2 地震	31
1.7.3 飞机坠落	32
1.7.4 爆炸冲击波	33
1.8 风险评价	33
1.8.1 综述	33
1.8.2 风险评价方法	34
1.8.3 美国的风险研究	35
1.8.4 联邦德国的风险研究	35
第 1 章附录	36

第1章参考文献	40
第2章 系统技术	41
2.1 任务	41
2.2 热力流程图	42
2.3 给水-蒸汽回路系统	45
2.3.1 新蒸汽系统	45
2.3.2 主凝结水系统	48
2.3.3 给水系统	51
2.3.4 抽汽系统	52
2.3.5 低压加热段	53
2.3.6 高压加热段	54
2.3.7 蒸汽发生器排污系统	57
2.4 最终热阱和冷却水系统	57
2.4.1 主冷却水系统	58
2.4.2 确保的外围冷却水系统	59
2.4.3 常规的外围和闭路冷却水系统	60
2.5 通过蒸汽发生器排出余热	60
2.6 核电厂外围设施诸系统	60
2.6.1 去离子水系统	62
2.6.2 辅助蒸汽系统	62
2.6.3 集中供应压缩空气系统	62
2.6.4 集中供应气体系统	62
2.6.5 控制区通风系统	62
2.6.6 低温介质系统	63
2.6.7 取样系统	64
2.6.8 消防水系统	64
第3章 核汽轮机组的特点	65
3.1 汽轮机组的流程	65
3.2 设计参数对汽轮机组的影响	66
3.2.1 汽轮机	66
3.2.2 发电机	68
3.2.3 汽轮机组的应用范围	70
3.2.4 压水堆与沸水堆用的汽轮机组的结构差别	70
3.3 湿度对汽轮机组的设计和流程的影响	71
3.3.1 湿蒸汽流	71
3.3.2 水滴冲击侵蚀	72
3.3.3 侵蚀	73
3.3.4 汽水分离和中间再热	74
3.3.5 汽水分离器与中间再热器的结构形式	75
3.4 凝汽器	76
3.4.1 压水堆核电厂用的凝汽器	76
3.4.2 沸水堆核电厂用的凝汽器	77
3.4.3 旁路设备	77

3.4.4 沸水堆核电站凝汽器中气体的抽出	78
3.5 饱和汽轮机组的安装	78
3.6 汽轮机组的调节	79
3.6.1 压水堆汽轮机组的调节	79
3.6.2 沸水堆汽轮机组的调节	81
3.6.3 甩负荷特性	81
第3章附录 第3章中采用的符号	83
第3章参考文献	83
第4章 给水-蒸汽回路和电厂辅助系统的设备	84
导言	84
4.1 热交换器、冷却器与贮罐	85
4.1.1 范围与结构形式	85
4.1.2 功能	85
4.1.3 要求	86
4.1.4 设计	86
4.1.5 流体力学设计	89
4.1.6 抗振动设计	90
4.1.7 材料	92
4.1.8 结构设计	93
4.1.9 特殊构件的结构	94
4.2 给水-蒸汽回路中的给水泵	95
4.2.1 任务	95
4.2.2 历史发展过程	96
4.2.3 运行方面的要求	96
4.2.4 电厂设计资料	99
4.2.5 驱动机械	99
4.2.6 水力设计	101
4.2.7 主泵的汽蚀稳定性	103
4.2.8 强度设计	104
4.2.9 对制造厂家的要求	106
4.2.10 结构	107
4.2.11 辅助系统与供应系统	107
4.2.12 仪表与监测	108
4.2.13 质量保证	108
4.3 排污除盐与凝结水净化	109
4.3.1 导言	109
4.3.2 排污除盐	109
4.3.3 凝结水净化	111
第4章参考文献	113
第5章 工程设计——电厂总体方案、设计原则与1300MW核电厂的布置实例	114
5.1 电厂总体方案	114
5.1.1 满足功能要求的主厂房布置	114
5.1.2 安全方面的影响	117

5.1.3	厂址的影响	119
5.1.4	多机组电厂	120
5.1.5	双机组压水堆核电厂	122
5.2	工程设计原则	123
5.2.1	在遵守安全规定的前提下,满足功能要求的设备布置	124
5.2.2	运行和维护的要求	128
5.2.3	辐射防护考虑	129
5.2.4	防火	133
5.2.5	运行组织的影响	135
5.3	1300MW 压水堆核电厂的布置实例	136
5.3.1	反应堆厂房	136
5.3.2	反应堆辅助厂房	140
5.3.3	电气厂房	140
5.3.4	带冷冻水中心的事故电源厂房	142
5.3.5	事故给水厂房	142
5.3.6	汽轮发电机厂房	143
5.3.7	供应设施与附属设施	146
	第5章参考文献	146
	第6章 土建设计	147
6.1	建筑艺术	147
6.1.1	导言	147
6.1.2	电厂建筑艺术	147
6.1.3	色调设计	154
6.1.4	厂房内部设计	154
6.1.5	外景设计	155
6.2	建筑物的结构与施工	156
6.2.1	建筑物的承载结构	156
6.2.2	建筑物的地基	162
6.2.3	静态计算和动态计算	164
6.2.4	建筑物的施工	170
	第6章参考文献	173
	第7章 管道设计	175
7.1	管道及其对整个电厂的意义	175
7.2	管道设计	176
7.2.1	设计流程	176
7.2.2	设计方法	177
7.2.3	管道的安全技术要求	178
7.2.4	厂房内管道及其支承架的设计	179
7.3	管道系统的结构计算	182
7.3.1	计算人员的任务说明	183
7.3.2	数学问题	183
7.3.3	计算方法	184
7.3.4	计算过程	185

7.3.5	程序系统	189
7.3.6	计算范围和前景	189
7.4	标准化和规格化	190
7.4.1	理由和目标	190
7.4.2	现行标准的应用	190
7.4.3	核电厂项目专用构件的标准化	191
7.4.4	管道支承架的标准化	192
7.5	电子数据处理法的使用	195
7.5.1	前提和目标	195
	第7章参考文献	196
	第8章 测量控制系统	198
8.1	总方案	198
8.2	测量	203
8.3	控制	204
8.4	调节	206
8.5	保护	208
8.6	监督	209
8.7	控制台	212
8.8	文件管理	215
8.9	未来的测量控制方案	215
	第9章 核电厂的电工技术	218
9.1	机组和厂用电电路	218
9.1.1	电网连接	218
9.1.2	厂用电切换	219
9.1.3	同步	221
9.1.4	厂用供电设备和事故供电设备	221
9.1.5	厂用电设备的空间布置	223
9.1.6	电缆敷设	224
9.2	发电机引线、配电和升压	225
9.2.1	引言	225
9.2.2	技术发展	225
9.2.3	设备设计	225
9.3	厂用电的短路电流比和电压比	227
9.3.1	引言	227
9.3.2	短路电流比	227
9.3.3	短路电压比	231
9.3.4	设计原则	235
9.4	事故供电	237
9.4.1	事故供电设备的任务	237
9.4.2	事故供电设备的结构	237
9.4.3	事故供电网	239
9.5	柴油机驱动的事故发电设备	240
9.5.1	概述	240

9.5.2	柴油机驱动的事故发电设备	240
9.5.3	线路方案	241
9.5.4	事故发电机组的设计	241
9.5.5	辅助驱动装置和供电设备	242
9.5.6	控制和监测	244
9.5.7	事故发电机组的安装	245
9.5.8	防火	245
9.5.9	可靠性	245
9.5.10	规程	245
9.6	机组电气保护	246
9.6.1	概述	246
9.6.2	要求和保护范围	246
9.6.3	故障类型	246
9.6.4	电厂单元电气保护的设计	248
9.7	电气设备抗内外干扰的安全性	249
9.7.1	外来影响	249
9.7.2	内部事故	251
9.8	照明、火灾报警设备和通信设备	252
9.8.1	照明	252
9.8.2	火灾报警设备	253
9.8.3	通信设备	254
9.9	事故电源系统供电的可靠性	254
9.9.1	引言	254
9.9.2	概念	255
9.9.3	故障树分析	256
9.9.4	计算方法	256
9.9.5	1300MW 核电厂厂用电供电的故障频度	258
第9章参考文献		261
第10章 安装和调试		263
引言		263
10.1	安装和调试的过程、里程碑进度和人员配备	263
10.1.1	关键路线	263
10.1.2	里程碑进度和人员配备	264
10.2	大型核设备的安装	265
10.2.1	反应堆安全壳的安装	265
10.2.2	一回路设备的安装	266
10.3	分组安装核电厂各系统	268
10.3.1	土建扫尾工作	268
10.3.2	设备安装	268
10.3.3	管道安装	269
10.3.4	机械和电气的最终安装	270
10.3.5	检验和文件	270
10.4	常规设备的安装	270

10.5	运行前检验	271
10.5.1	供给系统和辅助系统的运行前检验	271
10.5.2	反应堆冷却剂系统的运行前检验	271
10.6	首次装料和第二次热试车	272
10.6.1	首次装料	272
10.6.2	装料后的热试车	273
10.7	首次临界和零功率试验	273
10.7.1	首次临界	273
10.7.2	零功率试验	273
10.8	功率试验和试运行	273
第10章	参考文献	274

第 I 篇 沸水堆核电站

第1章	沸水堆作为核蒸汽供应系统的兴起	277
第2章	沸水堆核电站的流程	278
2.1	自然循环间接回路	278
2.2	强制循环间接回路	278
2.3	强制循环双回路	278
2.4	自然循环直接回路	279
2.5	强制循环直接回路	279
第3章	沸水堆的特征及不同制造厂家的沸水堆的发展	280
3.1	堆芯	280
3.2	快速停堆的控制棒驱动机构	280
3.3	汽水分离	283
3.4	冷却剂循环系统	284
3.5	安全壳	285
第4章	1300MW 机组直接回路沸水堆核电站	287
4.1	1300MW 沸水堆机组的热工流程和主要参数	287
4.2	总平面布置图	288
4.3	厂房	288
4.3.1	反应堆厂房	289
4.3.2	反应堆辅助厂房和核服务厂房	292
4.3.3	汽轮发电机厂房	293
4.3.4	电气厂房	296
4.4	反应堆主要设备	296
4.4.1	反应堆压力容器	296
4.4.2	堆内构件	297
4.4.3	冷却剂循环泵	297
4.4.4	控制棒驱动机构	298
4.5	最重要的核辅助系统	300
4.5.1	卸压系统	300
4.5.2	快速停堆系统	300

4.5.3	余热冷却串列	301
4.5.4	贯穿件封闭系统	301
4.5.5	泄漏抽吸系统	302
4.5.6	消氢系统	303
4.5.7	加硼系统	303
4.5.8	反应堆水净化系统	303
4.5.9	反应堆循环泵的密封水系统	304
4.5.10	乏燃料贮存水池冷却与净化系统	305
4.6	最重要的核外围系统(三废处理系统)	306
4.6.1	废水处理系统	306
4.6.2	废气处理系统	307
4.6.3	填料盒抽吸系统	309
4.6.4	浓缩物处理系统	309
4.7	燃料装卸搬运系统	310
4.8	蒸汽给水回路	311
4.9	汽轮发电机组	312
4.10	最重要的辅助和外围系统	312
4.10.1	各种冷却和消耗用水系统	312
4.10.2	辅助蒸汽系统	314
4.10.3	核电厂空调与通风装置	315
4.11	供电系统	316
第5章	运行性能	318
5.1	启动和停运	318
5.2	负荷跟随性能	318
第6章	安全技术和安全分析	321
6.1	反应性事故	321
6.2	无失水的事故	322
6.2.1	新汽隔离阀关闭事故	322
6.2.2	循环泵失效事故	322
6.3	失水事故	322
6.4	外来影响	325
6.4.1	地震	325
6.4.2	飞机坠落	326

第Ⅲ篇 重水堆核电厂

第1章	重水堆核电厂的总体方案	329
1.1	合理地布置各主要厂房	329
第2章	一座745MW重水堆核电厂的实例	331
2.1	反应堆厂房	331
2.2	反应堆辅助厂房	334
2.3	燃料厂房	337

第IV篇 快中子增殖堆核电站

第1章 绪论	341
1.1 概述	341
1.2 技术原理	341
1.2.1 冷却剂	341
1.2.2 一回路系统方案	342
1.2.3 安全技术特点	343
1.3 发展历史过程	343
1.4 经验	345
1.5 前景	345
第2章 一座增殖堆核电站的描述	346
2.1 主要数据和整个电厂的布置	346
2.2 安全技术要求	348
2.3 堆芯	349
2.3.1 燃料元件	350
2.3.2 增殖元件	350
2.3.3 反射层元件	351
2.3.4 吸收元件	351
2.4 反应堆本体	351
2.4.1 反应堆容器及其内部构件	352
2.4.2 反应堆顶盖	353
2.4.3 反应堆腔室	353
2.4.4 燃料元件的吊运和贮存	354
2.5 输热系统及其外围设施	355
2.5.1 一回路系统	356
2.5.2 二回路系统	358
2.5.3 应急冷却系统	359
2.5.4 钠外围设备	359
2.5.5 氩气站	360
2.6 水汽系统	361
2.7 辅助设施	362
2.8 电气设备	362
2.8.1 控制测量和保护系统	362
2.8.2 强电设备	363
2.9 厂房	364
2.10 安全壳系统	364
第IV篇参考文献	365

第V篇 气冷堆核电站

第1章 气冷堆核电站发展概况	369
第2章 镁诺克斯反应堆	373

2.1 镁诺克斯堆型	373
2.2 Wylfa 核电厂的设计	374
2.3 镁诺克斯堆型反应堆运行业绩	374
2.4 现状	376
第3章 改进型气冷堆(AGR)	377
3.1 AGR 堆型	377
3.2 Hinkley B 核电厂的设计	377
3.3 AGR 的建造和运行经验	378
3.4 现状	379
第4章 高温气冷堆(HTR)	380
4.1 HTR 堆型	380
4.2 THTR 的设计	381
4.3 其他 HTR 的设计特点	382
4.4 HTR 堆型的运行和建造经验	383
4.5 现状和前景	386
第V篇参考文献	388

第VI篇 工程项目的实施

第1章 引言	391
第2章 目标的确立	391
第3章 项目管理	392
3.1 任务	392
3.2 组成	392
3.3 资格审查	394
第4章 工作重点与工作方法	395
4.1 技术	395
4.2 工期进度	397
4.3 成本	399
4.4 核安全审批程序	400
第VI篇参考文献	400

第VII篇 运行经验

第1章 引言	403
第2章 运行实绩的评价	404
2.1 核电厂质量的比较指标	404
2.2 国际比较	404
2.3 压水堆核电厂停堆时间的分析	407
2.3.1 换料时的年度检查	407
2.3.2 损坏重点	408
2.4 沸水堆核电厂停堆时间分析	414
第3章 安全性	416

3.1 安全对策	416
3.2 安全系统的考验	416
3.3 风险分析	416
第4章 核电厂的放射性物质排放	418
第5章 核电厂工作人员的辐照剂量	419
第6章 经验反馈	420
6.1 信息渠道	420
6.2 美国三里岛事故后果	420
第7章 运行人员培训	422
第8章 总结	424
第Ⅶ篇参考文献	424

第Ⅷ篇 燃料问题

第1章 核燃料供应的任务和特点——投料计划	429
1.1 前言	429
1.2 投料计划的任务	429
1.3 投料计划的特点	429
1.4 基本概念	430
第2章 投料计划外部边界条件	431
2.1 电网容量和负荷	431
2.2 维修/检查计划	431
2.3 时间范围——前端工作/后端工作	431
2.4 燃料成本结构	431
第3章 技术边界条件	433
第4章 制订投料计划的方法——优化程序	434
4.1 投料计划制定方法	434
4.1.1 谱程序	434
4.1.2 中子学程序	434
4.1.3 热工水力程序	435
4.2 最优化过程	435
4.2.1 最优化参数	435
4.2.2 数学程序	435
4.2.3 分析模型	436
4.2.4 图解模型——参数解	436
4.2.5 投料计划计算研究	437
4.2.6 成本计算	437
4.2.7 制定投料计划的方法/战略	437
4.2.8 逐次逼近法	437
4.2.9 优化理论	438
第5章 投料计划	440
5.1 长期装料战略	440