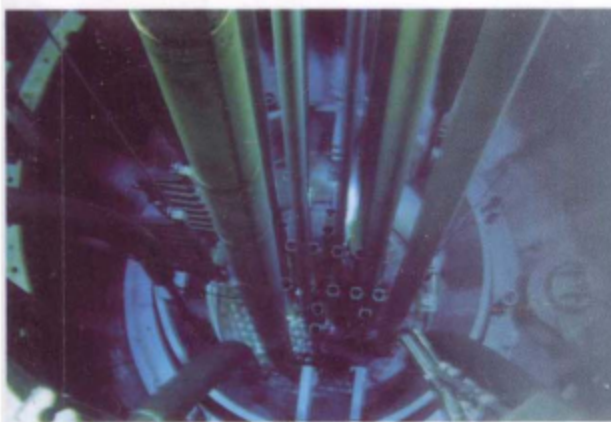




WWER-1000

核电站设备与系统



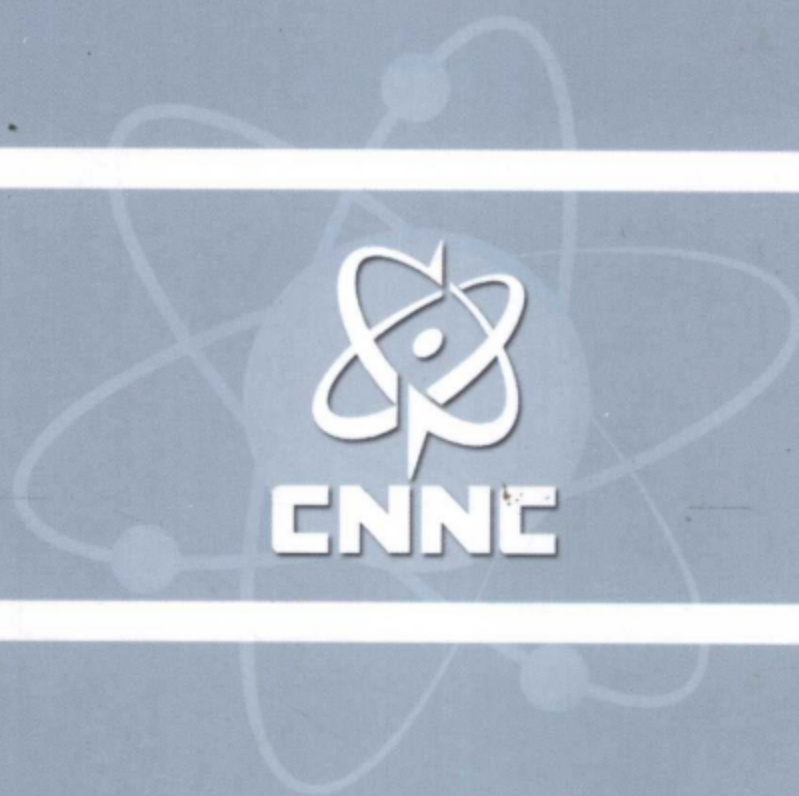
蒋国元 主 编
顾颖宾 副主编

中国核工业集团公司 编

原子能出版社

■ 基础理论系列

CNNC-BT-002



ISBN 978-7-5022-4497-2



9 787502 244972 >

定 价：135.00 元

WWER-1000 核电站 设备与系统

主 编 蒋国元

副主编 顾颖宾

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

WWER-1000 核电站设备与系统/蒋国元主编.

—北京:原子能出版社,2009.9

ISBN 978-7-5022-4497-2

I. W… II. 蒋… III. 核电站—设备 IV.
TM623.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162969 号

内 容 简 介

《WWER-1000 核电站设备与系统》主要介绍 WWER-1000 压水堆核电机组设备与系统运行的基础知识,内容包括:核电厂主要设备、一回路主要系统、二回路汽水循环系统、汽轮机辅助系统、安全系统、废物管理系统、全数字化仪控系统以及电厂通用的气体供应系统、消防系统和通风空调系统。

本系列教材可作为从事 WWER-1000 压水堆核电机组运行、维修人员的培训教材,也可供从事压水堆核电站工作的相关技术人员和承包商参考阅读。

WWER-1000 核电站设备与系统

总 编 辑 杨树录

责任编辑 卫广刚

责任校对 冯莲凤

责任印制 丁怀兰 潘玉玲

印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 28.875 字 数 721 千字

版 次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-4497-2 定 价 135.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 68452845

版权所有 侵权必究

总 序

核工业作为国家高科技战略性新兴产业,是国家安全的重要基石、重要的清洁能源供应,以及综合国力和大国地位的重要标志。

1978 年以来,我国核工业第二次创业。中国核工业集团公司走出了一条以我为主发展民族核电的成功道路。在长期的核电设计、建造、运行和管理过程中,积累了丰富的实践和理论经验,在与国际同行合作过程中,实现了技术和管理与国际先进水平相接轨,取得了骄人的业绩。

中国核工业集团公司在三十多年的核电建设中,经历了起步、小批量建设、快速发展三个阶段。我国先后建成了秦山、大亚湾、田湾三大核电基地,实现了我国大陆核电“零”的突破、国产化的重大跨越、核电管理与国际接轨,走出了一条以我为主,发展民族核电的成功之路。在最近几年中,发展尤为迅猛。截至 2008 年底,核电运行机组 11 台,装机容量 907.82 万千瓦,全部稳定运行,态势良好。

进入新世纪,党中央、国务院和中央军委对核工业发展高度重视、极为关怀,对核工业做出了新的战略决策。胡锦涛总书记指出:“无论从促进经济社会发展看,还是从保障国家安全看,我们都必须切实把我国核事业发展好”。发展核电是优化能源结构、保障能源安全、满足经济社会发展需求的重要途径。2007 年 10 月,国务院正式颁布了《核电中长期发展规划(2005—2020 年)》。核电进入了快速、规模化、跨越式发展的新阶段。

在中国核电大发展之际,中国核工业集团公司继续以“核安全是核工业的生命线”的核安全文化理念和“透明、坦诚和开放”的企业管理心态,以推动核电又好又快又安全发展为己任,为加速培养核电发展所需的各类人才,组织核电领域专家,全面系统地对核电设计、工程建造、电站调试、生产准备和生产运营等各阶段的知识进行了梳理,构造了有逻辑性、系统性的核电知识体系,形成了覆盖核电各阶段的核电工程培训系列教材。

这套教材作为培养核电人才的重要工具,是国内目前第一套专业化、体系化、公开出版的核电人才培养系列教材,有助于开展培训工作,提高培训质量、节约培训成本,夯实核电发展基础。它集中了全集团的优势,突出高起点、实用性强,是集团化、专业化运作的又一次实践。是中国核工业 50 余年知识管理的积淀,是中国核工业 10 万人多年总结和实践经验的结晶。

21 世纪是“以人为本”的知识经济时代,拥有足够的优秀人才是企业持续发展的重要基础。中国核工业集团公司愿以这套教材为核电发展开路,为业界理论探讨、实践交流提供参考。

我们要继续以科学发展观为指导,认真贯彻落实党中央、国务院的指示精神,积极推进核电产业发展。特别是要把总结核电建设经验作为一项长期的工作来抓,不断更新和完善人才教育培训体系。

核电培训系列教材可广泛用于核电厂人员培训,也可用于核电管理者的学习工具书,对于有针对性地解决核电厂生产实践和管理问题具有重要的参考价值。

中国核工业集团公司总经理



2009 年 9 月 9 日

前 言

随着中国核电的快速发展,核电人才的需求也日益增长。为了配合中国核工业集团公司(简称中核集团公司)系统化、正规化的全员培训工作,提高培训质量,提高员工的核安全文化意识,为中核集团公司的发展夯实基础,江苏核电有限公司培训中心按照中核集团公司核电培训教材编审委员会的要求,组织公司内有丰富理论知识和实践经验的专业技术人员共同编写了 WWER-1000 压水堆核电站基础知识系列培训教材。

本系列教材共三册,分别是:《WWER-1000 核电站基础知识》(第一分册)、《WWER-1000 核电站设备与系统》(第二分册)和《WWER-1000 核电站机械与电气》(第三分册)。

本系列教材参考了田湾核电站操纵员理论培训教材的架构与内容,本着理论联系生产实际的原则,以核电厂有效运行规程、调试程序及系统设计文件等为依据,采用图文并茂的形式讲解 WWER-1000 压水堆核电机组相关基础知识,内容体现了《核电厂操纵人员执照考核》(中华人民共和国核行业标准 EJ/T 1043—2004)所要求的知识点,文字通俗易懂,是一套适用性、针对性较强的技术培训教材,适合于核电厂运行人员理论培训,亦可作为压水堆核电站其他工程技术人员及承包商的参考资料。

参与《WWER-1000 核电站设备与系统》编审的人员为:

第一章核电站主设备结构及工作原理,由周萍编写,齐军、严巍峰、孙华、廖江龙审查;

第二章一回路主要辅助系统,由周萍编写,运行处组织审查;

第三章二回路汽水循环系统,由廖江龙编写,运行处组织审查;

第四章核电站化水系统,由陆元志编写,姚聪周审查;

第五章汽轮机辅助系统,由周萍编写,孙佰一、徐熙审查;

第六章核电站安全系统,由周萍编写,运行处组织审查;

第七章核电站放射性废物管理,由孙明生编写,崔方水、李长顺、陈良、苏本新、周萍审查;

第八章核电站气体供应系统,由绍镜顺编写,仇如意、郭家广审查;

第九章核电站通风与空调系统,由谢江红编写,顾云峰、裴俊敏审查;

第十章核岛及常规岛消防系统,由赵亮编写,李明政审查;

第十一章田湾全数字化仪控系统,由孙永滨编写,师庆维审查;

本分册中上述各章内容由武汉核动力运行研究所统审。

在本分册的编写过程中得到了江苏核电有限公司总经理部、运行处、维修处、调试生产准备处、设计管理处、仪控室和培训中心等处室的大力支持,在此教材出版之际,谨向以上部门和个人致以衷心的感谢。

本教材存在的不足和错谬之处,敬请读者批评和指正,以便再版时加以修订。

江苏核电有限公司

2009年8月

目 录

第一章 核电站主设备结构及工作原理

1.1 概述	1
1.1.1 核动力装置的组成及工作原理	1
1.1.2 田湾核电站运行工况	4
1.1.3 田湾核电站运行模式	4
1.1.4 田湾核电站主要运行参数	5
1.2 反应堆结构	5
1.2.1 反应堆的作用和组成	5
1.2.2 反应堆压力容器	6
1.2.3 堆芯吊篮	6
1.2.4 堆芯围板	8
1.2.5 堆芯	9
1.2.6 保护管组件	9
1.2.7 上部组件	10
1.2.8 保护钢结构	11
1.2.9 控制棒驱动机构	12
1.2.10 堆芯捕集器	13
1.3 堆芯组成	14
1.3.1 燃料组件	14
1.3.2 控制棒组件(控制棒束)	17
1.3.3 可燃毒物组件	18
1.3.4 中子-温度测量探头	20
1.3.5 堆芯装载方案描述	20
1.4 蒸汽发生器结构	22
1.4.1 蒸汽发生器的功能与组成	22
1.4.2 蒸汽发生器的工作原理	27
1.4.3 蒸汽发生器的排污	28

1.5 反应堆冷却剂泵结构	29
1.5.1 反应堆冷却剂泵的功能与组成	29
1.5.2 反应堆冷却剂泵辅助系统	33
1.5.3 反应堆冷却剂泵的保护	37
1.6 稳压器与卸压系统	37
1.6.1 稳压器与卸压系统的功能与组成	37
1.6.2 稳压器	38
1.6.3 卸压箱	39
1.6.4 稳压器安全阀组	40
1.7 汽轮机结构	42
1.7.1 汽轮机的作用	42
1.7.2 汽轮机的工作原理	42
1.7.3 田湾核电站汽轮机结构	43
1.8 汽轮机主要辅助设备	47
1.8.1 凝汽设备	47
1.8.2 回热加热器	50
1.8.3 除氧器	58
1.8.4 汽水分离再热器及配套设备	60

第二章 一回路主要辅助系统

2.1 容积和硼控制系统(KBA)	64
2.1.1 容积和硼控制系统(KBA)的功能	64
2.1.2 容积和硼控制系统(KBA)的组成	64
2.1.3 容积和硼控制系统(KBA)的正常运行	65
2.1.4 反应堆装置运行期间的调硼	72
2.1.5 主泵轴封组件冷却水的供应	73
2.1.6 KBA 系统除气器的运行	74
2.1.7 容积和硼控制系统(KBA)在异常工况下的运行	74
2.1.8 中压安注箱的充水、补水和水质调整	75
2.2 冷却剂贮存系统(KBB)	76
2.2.1 冷却剂贮存系统(KBB)的功能	76
2.2.2 冷却剂贮存系统(KBB)的组成	76
2.2.3 冷却剂贮存系统(KBB)的运行	77

2.3 一回路除盐水补给系统(KBC-1)	79
2.3.1 一回路除盐水补给系统(KBC-1)的功能	79
2.3.2 一回路除盐水补给系统(KBC-1)的组成	79
2.3.3 一回路除盐水补给系统(KBC-1)的运行	79
2.3.4 一回路除盐水补给系统(KBC-1)防误稀释保护	80
2.4 化学除盐水供应系统(KBC-2)	81
2.4.1 化学除盐水供应系统(KBC-2)的功能	81
2.4.2 化学除盐水供应系统(KBC-2)的组成	81
2.4.3 化学除盐水供应系统(KBC-2)的运行	82
2.5 核岛辅助蒸汽供应系统(KBC-3)	83
2.5.1 核岛辅助蒸汽供应系统(KBC-3)的功能	83
2.5.2 核岛辅助蒸汽供应系统(KBC-3)的组成	83
2.5.3 核岛辅助蒸汽供应系统(KBC-3)的运行	84
2.6 一回路化学试剂制备及供应系统(KBD-1)	85
2.6.1 一回路化学试剂制备及供应系统(KBD-1)的功能	85
2.6.2 一回路化学试剂制备及供应系统(KBD-1)的组成	85
2.6.3 一回路化学试剂制备及供应系统(KBD-1)的运行	86
2.7 酸碱试剂供应系统(KBD-2)	87
2.7.1 酸碱试剂供应系统(KBD-2)的功能	87
2.7.2 酸碱试剂供应系统(KBD-2)的组成	87
2.7.3 酸碱试剂供应系统(KBD-2)的运行	89
2.8 一回路冷却剂净化系统(KBE)	90
2.8.1 一回路冷却剂净化系统(KBE)的功能	90
2.8.2 一回路冷却剂净化系统(KBE)的组成	90
2.8.3 一回路冷却剂净化系统(KBE)的运行	91
2.9 硼水贮存系统(JNK)	92
2.9.1 硼水贮存系统(JNK)的功能	92
2.9.2 硼水贮存系统(JNK)的组成	93
2.9.3 硼水贮存系统(JNK)的运行	93
2.10 乏燃料水池冷却系统(FAK)	95
2.10.1 乏燃料水池冷却系统(FAK)的功能	95
2.10.2 乏燃料水池冷却系统(FAK)的组成	95
2.10.3 乏燃料水池冷却系统(FAK)的运行	96
2.10.4 堆芯换料操作	98
2.11 反应堆冷却剂泄漏收集系统(JET)	98

2.11.1	反应堆冷却剂泄漏收集系统(JET)的功能	98
2.11.2	反应堆冷却剂泄漏收集系统(JET)的组成	99
2.11.3	反应堆冷却剂泄漏收集系统(JET)的运行	100
2.12	反应堆厂房设备疏水系统(KTA)	100
2.12.1	反应堆厂房设备疏水系统(KTA)的功能	100
2.12.2	反应堆厂房设备疏水系统(KTA)的组成	101
2.12.3	反应堆厂房设备疏水系统(KTA)的运行	101
2.13	含硼疏水收集系统(KTC)	102
2.13.1	含硼疏水收集系统(KTC)的功能	102
2.13.2	含硼疏水收集系统(KTC)的组成	102
2.13.3	含硼疏水收集系统(KTC)的运行	103
2.14	反应堆厂房设备排气系统(KTB10)	104
2.14.1	反应堆厂房设备排气系统(KTB10)的功能	104
2.14.2	反应堆厂房设备排气系统(KTB10)的组成	105
2.14.3	反应堆厂房设备排气系统(KTB10)的运行	105

第三章 二回路汽水循环系统

3.1	二回路热力系统概述	107
3.2	主蒸汽系统(LBA)	108
3.2.1	主蒸汽系统(LBA)的功能	108
3.2.2	主蒸汽系统(LBA)的组成	108
3.2.3	主蒸汽阀组工作原理	109
3.2.4	主蒸汽系统(LBA)的运行	112
3.3	汽水分离再热系统(LBJ,LCT,LCS)	114
3.3.1	汽水分离再热系统(LBJ,LCT,LCS)的功能	114
3.3.2	汽水分离再热系统(LBJ,LCT,LCS)的组成	114
3.3.3	汽水分离再热系统(LBJ,LCT,LCS)的运行	115
3.4	厂用蒸汽系统(LBG)	116
3.4.1	厂用蒸汽系统(LBG)的功能	116
3.4.2	厂用蒸汽系统(LBG)的组成	116
3.4.3	厂用蒸汽系统(LBG)的运行	118
3.5	凝汽器系统(MAG)	120
3.5.1	凝汽器系统(MAG)的功能	120

3.5.2	凝汽器系统(MAG)的组成	121
3.5.3	凝汽器系统(MAG)的运行	121
3.6	凝汽器抽真空系统(MAJ/PGE)	122
3.6.1	凝汽器抽真空系统(MAJ/PGE)的功能	122
3.6.2	凝汽器抽真空系统(MAJ/PGE)的组成	122
3.6.3	凝汽器抽真空系统(MAJ/PGE)的运行	126
3.7	主凝结水系统(LCA/LCB)	127
3.7.1	主凝结水系统(LCA/LCB)的功能	127
3.7.2	主凝结水系统(LCA/LCB)的组成	127
3.7.3	主凝结水系统(LCA/LCB)的运行	128
3.8	低压加热系统(LCC)	129
3.8.1	低压加热系统(LCC)的功能	129
3.8.2	低压加热系统(LCC)的组成	129
3.8.3	低压加热系统(LCC)的运行	130
3.9	除氧器系统(LAA)	131
3.9.1	除氧器系统(LAA)的功能	131
3.9.2	除氧器系统(LAA)的组成	131
3.9.3	除氧器系统(LAA)的运行	131
3.10	主给水系统(LAB)	134
3.10.1	主给水系统(LAB)的功能	134
3.10.2	主给水系统(LAB)的组成	134
3.10.3	主给水系统(LAB)的运行	134
3.11	高压加热系统(LAD)	137
3.11.1	高压加热系统(LAD)的功能	137
3.11.2	高压加热系统(LAD)的组成	137
3.11.3	高压加热系统(LAD)的运行	138
3.12	补给水系统(LCU)	140
3.12.1	补给水系统(LCU)的功能	140
3.12.2	补给水系统(LCU)的组成	140
3.12.3	补给水系统(LCU)的运行	141
3.12.4	补给水系统(LCU)的水质指标	142
3.13	常规岛设备冷却水系统(PGB)	142
3.13.1	常规岛设备冷却水系统(PGB)的功能	142
3.13.2	常规岛设备冷却水系统(PGB)的组成	142
3.13.3	常规岛设备冷却水系统(PGB)的运行	144

3.14 循环冷却水系统(PAB/PAC)	145
3.14.1 循环冷却水系统(PAB/PAC)的功能	145
3.14.2 循环冷却水系统(PAB/PAC)的组成	145
3.14.3 循环冷却水系统(PAB/PAC)的运行	145
3.15 辅助循环冷却水系统(PCC/PCB)	146
3.15.1 辅助循环冷却水系统(PCC/PCB)的功能	146
3.15.2 辅助循环冷却水系统(PCC/PCB)的组成	147
3.15.3 辅助循环冷却水系统(PCC/PCB)的运行	147

第四章 核电站化水系统

4.1 电厂水处理基础知识	148
4.1.1 天然水中杂质的分类	148
4.1.2 离子交换树脂	150
4.2 凝结水精处理系统	157
4.2.1 凝结水处理对热力系统的影响	157
4.2.2 田湾核电厂凝结水精处理系统	159
4.3 补给水除盐系统	167
4.3.1 除盐系统概述	167
4.3.2 预处理水系统(GCB)	168
4.3.3 阳床	168
4.3.4 除碳器	175
4.3.5 阴床	176
4.3.6 混床	180
4.3.7 除盐系统的启动与运行	183
4.4 化学药剂特性	183
4.4.1 联胺(N_2H_4)的特性	184
4.4.2 氨水($NH_3 \cdot H_2O$)的特性	184
4.4.3 盐酸(HCl)的特性	184
4.4.4 氢氧化钠(NaOH)的特性	184
4.4.5 硝酸(HNO_3)的特性	184
4.4.6 注意事项	185

第五章 汽轮机辅助系统

5.1 汽轮机电液调节与保护系统(MAX)	186
5.1.1 汽轮机配汽系统	186
5.1.2 汽轮机液压供油系统	191
5.1.3 汽轮机液压调节系统	194
5.1.4 汽轮机液压保护系统	195
5.1.5 汽轮机电调系统	197
5.2 汽轮机润滑油系统(MVA/MVB/MVJ)	198
5.2.1 汽轮机润滑油系统的功能	198
5.2.2 汽轮机润滑油系统的组成	198
5.2.3 汽轮机润滑油系统的运行	199
5.3 汽轮机顶轴油系统(MVL/MVE)	200
5.3.1 汽轮机顶轴油系统的功能	200
5.3.2 汽轮机顶轴油系统的组成	200
5.3.3 系统运行	201
5.4 汽轮机旁排系统(MAN)	202
5.4.1 旁排阀的功能与结构	202
5.4.2 旁排动力油供应系统	203
5.4.3 旁排液压控制系统	204
5.4.4 旁排调节器	206
5.4.5 旁排喷淋装置	207
5.5 汽轮机轴封系统(LBW)	208
5.5.1 汽轮机轴封系统的组成	208
5.5.2 汽轮机轴封蒸汽的供应	208
5.5.3 阀门阀杆的抽汽	208

第六章 核电站安全系统

6.1 高压安注系统(JND)	210
6.1.1 高压安注系统(JND)的功能	210
6.1.2 高压安注系统(JND)的组成	210
6.1.3 高压安注系统(JND)可用性要求	211

6.1.4	高压安注系统(JND)的运行	212
6.2	低压安注系统(JNG-1)	213
6.2.1	低压安注系统(JNG-1)的功能	213
6.2.2	低压安注系统(JNG-1)的组成	213
6.2.3	低压安注系统(JNG-1)可用性要求	215
6.2.4	低压安注系统(JNG-1)的运行	215
6.3	中压安注系统(JNG-2)	217
6.3.1	中压安注系统(JNG-2)的功能	217
6.3.2	中压安注系统(JNG-2)的组成	218
6.3.3	中压安注系统(JNG-2)可用性要求	219
6.3.4	中压安注系统(JNG-2)的运行	220
6.4	安全壳喷淋系统(JMN)	223
6.4.1	安全壳喷淋系统(JMN)的功能	223
6.4.2	安全壳喷淋系统(JMN)的组成	223
6.4.3	安全壳喷淋系统(JMN)可用性要求	225
6.4.4	安全壳喷淋系统(JMN)的运行	226
6.5	反应堆装置余热导出系统(JNA/JMN)	229
6.5.1	余热导出系统(JNA/JMN)的功能	229
6.5.2	余热导出系统(JNA/JMN)的组成	229
6.5.3	余热导出系统(JNA/JMN)可用性要求	232
6.5.4	余热导出系统(JNA/JMN)的运行	232
6.6	应急注硼系统(JDH)	236
6.6.1	应急注硼系统(JDH)的功能	236
6.6.2	应急注硼系统(JDH)的组成	236
6.6.3	应急注硼系统(JDH)可用性要求	237
6.6.4	应急注硼系统(JDH)的运行	238
6.7	应急给水系统(LAR/LAS)	240
6.7.1	应急给水系统(LAR/LAS)的功能	240
6.7.2	应急给水系统(LAR/LAS)的组成	240
6.7.3	应急给水系统(LAR/LAS)可用性要求	241
6.7.4	应急给水系统(LAR/LAS)的运行	242
6.8	事故排气系统(KTB20)	243
6.8.1	事故排气系统(KTB20)的功能	243
6.8.2	事故排气系统(KTB20)的组成	244
6.8.3	事故排气系统(KTB20)的运行	244

6.9 核岛设备冷却水系统(KAA)	245
6.9.1 核岛设备冷却水系统(KAA)的功能	245
6.9.2 核岛设备冷却水系统(KAA)的组成	245
6.9.3 核岛设备冷却水系统(KAA)的用户	246
6.9.4 核岛设备冷却水系统(KAA)可用性要求	248
6.9.5 核岛设备冷却水系统(KAA)的运行	249

第七章 核电站放射性废物管理

7.1 放射性废物管理的基本知识	253
7.1.1 放射性废物管理的基本概念	253
7.1.2 放射性废物分类	253
7.1.3 放射性废物处理	256
7.1.4 放射性废物的整备	258
7.1.5 低中放废物的贮存	261
7.1.6 低中放废物的近地表处置	261
7.1.7 放射性废物管理的标准体系	261
7.2 压水堆核电站的放射性源项	262
7.2.1 一回路冷却剂的放射性比活度	263
7.2.2 二回路冷却剂的放射性比活度	266
7.2.3 放射性废物处理系统的放射性源项	266
7.3 放射性废气处理系统	267
7.3.1 氢燃烧系统(KPL-1)	268
7.3.2 放射性气体处理系统(KPL-2)	274
7.3.3 放射性液体贮槽排气处理系统(KPL-3)	281
7.4 放射性废水和含硼水收集系统	284
7.4.1 反应堆厂房废水收集系统(KTF)	285
7.4.2 安全厂房废水收集系统(KTL)	289
7.4.3 核辅助厂房废水收集系统(KTH)	291
7.4.4 核服务厂房废水收集系统(KTT)	294
7.5 一回路冷却剂处理系统(KBF)	295
7.5.1 一回路冷却剂处理系统(KBF)的功能	296
7.5.2 一回路冷却剂处理系统(KBF)的设置	296
7.5.3 一回路冷却剂处理系统(KBF)的运行	300