



WWER-1000

核电站机械与电气



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

WWER-1000 核电站 机械与电气

主 编 蒋国元

副主编 顾颖宾

江苏工业学院图书馆
藏书章

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

WVER-1000 核电站机械与电气/蒋国元主编.

—北京:原子能出版社,2009.9

ISBN 978-7-5022-4498-9

I. W… II. 蒋… III. 核电站—机电设备

IV. TM623.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162970 号

内 容 简 介

《WVER-1000 核电站机械与电气》主要介绍 WVER-1000 压水堆核电机组电气和机械基础理论知识。内容包括:核电站电气主系统及厂用电系统、发电机及其辅助系统、核电站电气主要设备、核电站阀门、压水堆核电站用泵与风机。

本系列教材可作为从事 WVER-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。

WVER-1000 核电站机械与电气

总 编 辑 杨树录

责任编辑 王 青

责任校对 冯莲凤

责任印制 丁怀兰 潘玉玲

印 刷 保定市中国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 19.25 字 数 480 千字

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

书 号 ISBN 978-7-5022-4498-9 定 价 92.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

发行电话: 68452845

E-mail: atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

中国核工业集团公司 核电培训教材编审委员会

总 编 孙 勤
副 总 编 余剑锋 叶奇蓁

编辑委员会

主 任	陈 桦				
副 主 任	程慧平	王光银			
编 委	马明泽	刘志勇	刘明章	李苏甲	李和香
	吴美景	邹正宇	杨树录	段光荣	顾颖宾
	商幼明	戚屯锋	缪亚民		

执行编委

谢 波	马寅军	叶丹萌	莫银良	高小林
吴向东	阮良成	唐锡文	蔡黎勇	刘 朔
肖 武	浦胜娣	刘玉山		

编委会办公室

姜福明	朱 黎	程建秀	黄 芳	方朝霞
宫育锋	章 超	丁怀兰	陈茂松	万德华
张曰智	郭维贺			

《WVER-1000 核电站机械与电气》

编 辑 部

主 编 蒋国元

副 主 编 顾颖宾

编 者	于 涛	任 利	米国政	宋中平	孙立刚
	佟 强	张晓峰	张炳池	周兴强	骆纯珊
	谢江红	黄成铭	舒新宽		

审 者	王 爽	兰运学	申彦锋	朱立岩	刘兆豆
	李建田	周 信	黄昌军		

统 审	毛正宥	丁卫东	申中祥	陆 凡
-----	-----	-----	-----	-----

总 序

核工业作为国家高科技战略性产业,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/T1043—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 核电站机械与电气》编审的人员为:

第一章核电站阀门,由周兴强、于涛、张晓峰编写,李建田审查;

第二章压水堆核电站用泵,由黄成铭、孙立刚编写,申彦锋审查;

第三章核电站风机,由黄成铭、谢江红编写,申彦锋审查;

第四章电气主接线及厂用电系统,由舒新宽、任利、宋中平编写,兰运学、周信审查;

第五章发电机及其辅助系统,由舒新宽、骆纯珊编写,兰运学、朱立岩审查;

第六章核电站电气设备及保护,由舒新宽、张炳池、米国政、佟强编写,黄昌军、王爽、刘兆豆审查。

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、维修处、运行

处、设计管理处、调试生产准备处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,再版时加以修改。

江苏核电有限公司

2009 年 8 月

目 录

第一章 核电站阀门

1.1 阀门的基础知识	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 阀门的用途	1
1.1.3 阀门的分类	1
1.1.4 阀门的基本参数	3
1.1.5 阀门的型号识别	4
1.1.6 阀门的常用材料	8
1.1.7 阀门的结构及各部件的作用	8
1.1.8 阀门的基本性能	16
1.2 核电站常用阀门的种类、功能和结构原理	17
1.2.1 截止阀	18
1.2.2 闸阀	22
1.2.3 调节阀	28
1.2.4 止回阀	35
1.2.5 蝶阀	39
1.2.6 减压阀	42
1.2.7 球阀	43
1.2.8 隔膜阀	45
1.3 阀门的常见故障	46
1.3.1 阀门内漏	46
1.3.2 阀门卡涩	51
1.3.3 阀门外漏	52
1.3.4 调节阀的闪蒸和汽蚀	53
1.3.5 阀门运行时的水击	54
1.3.6 阀门的噪声	55
1.4 安全阀的种类、功能及结构原理	56
1.4.1 安全阀概述	56

1.4.2	安全阀的性能要求	58
1.4.3	安全阀相关的名词术语和技术指标	59
1.4.4	弹簧式安全阀的结构及工作原理	61
1.4.5	先导式安全阀的结构及工作原理	66
1.4.6	安全阀的试验和校验	69
1.4.7	田湾核电站安全阀介绍	71
1.5	阀门电动头的种类、功能及结构原理	81
1.5.1	电动头参数及术语	81
1.5.2	电动头基本结构及其功能作用	81
1.5.3	田湾核电站电动头的使用情况	86
1.5.4	关断型阀门电动头的结构原理及操作方法	87
1.5.5	调节类阀门电动头的结构原理及操作方法	92
1.5.6	控制回路和常见故障	92

第二章 压水堆核电站用泵

2.1	核用泵的历史介绍	96
2.1.1	概述	96
2.1.2	核电站最常用的泵	96
2.1.3	泵的相似定律及比转数	96
2.2	离心泵	99
2.2.1	离心泵的组成和工作原理	99
2.2.2	离心泵的性能参数和特性曲线	109
2.2.3	核电站用泵分类	112
2.2.4	离心泵的特性曲线	113
2.3	往复泵	118
2.3.1	往复泵的应用及发展趋势	118
2.3.2	往复泵的工作原理及特点	119
2.3.3	往复泵的分类	120
2.3.4	往复泵的主要性能参数	120
2.3.5	空气室的工作原理及结构	127
2.3.6	阀的基本理论	130
2.3.7	往复泵的液力端	131
2.3.8	往复泵的传动端	137
2.3.9	小流量容积和硼酸控制泵	141

第三章 核电站风机

3.1 通风机的基本理论	143
3.1.1 通风机的分类	143
3.1.2 风机的工作原理	144
3.1.3 通风机的相似理论	145
3.1.4 通风机的比转速	145
3.2 通风机结构和类型	146
3.2.1 离心风机的基本结构	146
3.2.2 轴流风机的一般结构	149
3.3 通风机的主要参数和性能曲线	151
3.3.1 通风机的主要参数	151
3.3.2 通风机的性能曲线	152
3.4 通风机的运行	153
3.4.1 风机的工作方式	153
3.4.2 通风机的参数调节	154
3.5 通风机的调试和运行	157
3.5.1 通风机的调试	157
3.5.2 通风机的运行	162
3.6 通风机常发故障和经验反馈	163
3.6.1 通风机常发故障	163
3.6.2 经验反馈	165

第四章 电气主接线及厂用电系统

4.1 电气主接线	167
4.1.1 电气主接线的基本要求	167
4.1.2 电气主接线的基本形式	168
4.1.3 田湾核电站 500 kV 电气系统概述	168
4.1.4 田湾核电站 500 kV 电气系统主接线	169
4.1.5 田湾核电站 500 kV 电气系统运行方式	170
4.1.6 田湾核电站 220 kV 电气系统概述	170
4.1.7 田湾核电站 220 kV 电气系统主接线	171
4.1.8 220 kV 电气系统运行方式	171
4.2 厂用电系统	172
4.2.1 设计原则	172

4.2.2	厂用负荷分级	172
4.2.3	厂用电系统组成	173
4.2.4	厂用电系统电源	176
4.2.5	厂用电系统运行方式	176
4.2.6	交流不间断电源系统及其运行方式	177
4.2.7	直流电源系统及运行方式	178
4.2.8	厂用主要负荷	182
4.2.9	柴油发电机组	182

第五章 发电机及其辅助系统

5.1	发电机结构	189
5.1.1	同步发电机工作原理	189
5.1.2	同步发电机的结构特点及主要技术参数	190
5.1.3	TBB-1000-2Y3 型汽轮发电机的组成	193
5.1.4	发电机基本结构	195
5.1.5	发电机主要通风回路	211
5.2	二极管无刷励磁系统	213
5.2.1	励磁系统的型号说明	213
5.2.2	励磁系统功能	213
5.2.3	励磁系统组成	214
5.2.4	无刷励磁机 БВД-3400-3000Y3	214
5.2.5	励磁机结构	215
5.2.6	励磁变压器	228
5.2.7	励磁控制调节及保护柜	229
5.3	发电机定子冷却水系统(MKF)	238
5.3.1	发电机定子冷却水系统(MKF)的功能	238
5.3.2	发电机定子冷却水系统(MKF)的组成	239
5.3.3	发电机定子冷却水系统(MKF)的运行	240
5.4	发电机氢气冷却系统(MKG)	241
5.4.1	发电机氢冷系统(MKG)的功能	241
5.4.2	发电机氢冷系统(MKG)的组成	241
5.4.3	发电机氢冷系统(MKG)的运行	243
5.5	发电机密封油系统(MKW)	245
5.5.1	发电机密封油系统(MKW)的功能	245
5.5.2	发电机密封油系统(MKW)的组成	245
5.5.3	发电机密封油系统的运行	249

第六章 核电站电气设备及保护

6.1 变压器	251
6.1.1 变压器的工作原理及基本结构	251
6.1.2 主变压器的结构和主要参数	255
6.1.3 高压厂用变压器的结构和主要参数	257
6.1.4 启动变压器的结构和主要参数	259
6.2 断路器及隔离开关	261
6.2.1 断路器简介	261
6.2.2 熔断器	263
6.2.3 SF ₆ 断路器	266
6.2.4 真空断路器	268
6.2.5 隔离开关	269
6.2.6 SF ₆ 全封闭组合电器——GIS 简介	269
6.2.7 发电机出口断路器简介	273
6.2.8 6 kV ZS1 型铠装式金属封闭开关柜	275
6.2.9 400 V 低压抽屉式开关柜	279
6.3 电气继电保护	282
6.3.1 继电保护概述	282
6.3.2 6 kV 电动机的保护	284
6.3.3 发变组保护	288
6.3.4 厂用电系统继电保护和自动装置	291
参考文献	294

第一章 核电站阀门

1.1 阀门的基础知识

1.1.1 概述

阀门是通过改变其内部流通截面积而控制管路内介质流动的管路附件,广泛应用于石油、化工、电站、核工业、造纸、宇航、船舶等各个领域,具有导流、关断、调节、节流、止逆、分流、卸压保护等功能,是流体传输系统中重要的控制部件之一。从最简单的截断装置到复杂的自控系统,阀门的品种和规格繁多,可传输的介质有空气、水、蒸汽、腐蚀性化学品、泥浆、油品及放射性流体等。

1.1.2 阀门的用途

阀门在动力装置中有如下基本作用:

- 接通或截断管路中的介质,如截止阀、闸阀;
- 调节、控制管路中介质的流量和压力,如调节阀;
- 改变管路中介质流动的方向,如三通阀;
- 阻止管路中介质的倒流,如止回阀;
- 分离介质,如蒸汽疏水阀;
- 保护系统及设备,防止压力超定值,保证管路或设备的安全阀。

1.1.3 阀门的分类

阀门的分类,可按阀的作用、驱动方式、公称压力、工作温度、介质形式等几个方面进行,因而也就有了截断阀、安全阀、高压阀、高温阀、气阀、电动阀等种种称谓,此外,也可按阀体材料、接口方式、阀门启闭件运动方式等进行区分。

1.1.3.1 通用分类法

这种分类方法既按阀门的原理、作用又按结构划分,这是目前国内、国际最常用的分类方法,一般分为:闸阀、截止阀、蝶阀、球阀、旋塞阀、调节阀、减压阀、节流阀、隔膜阀、溢流阀、安全阀、卸压阀、止回阀、疏水阀、排汽阀、三通阀、角阀等。

1.1.3.2 按用途和作用分类

- 截断阀类(关断阀类):主要用于截断或接通介质流,包括闸阀、截止阀、隔膜阀、旋塞阀、球阀、蝶阀等;
- 调节阀类:主要用于调节介质的流量、压力等,包括调节阀、节流阀、减压阀等;
- 止回阀类:用于阻止介质倒流,包括各种结构的止回阀;
- 安全阀类:用于超压安全保护,包括各种结构类型的安全阀;



• 分流阀类:用于分配、分离或混合介质,包括各种结构的分配阀、疏水阀、溢流阀和三通阀等。

1.1.3.3 按阀门的主要参数分类

(1) 按压力分类

- 真空阀:工作压力(绝对压力)低于标准大气压的阀门,即工作压力 ≤ 0.1 MPa;
- 低压阀:公称压力 $p_N \leq 1.6$ MPa 的阀门;
- 中压阀:公称压力 $p_N 2.5 \sim 6.4$ MPa 的阀门;
- 高压阀:公称压力 $p_N 10.0 \sim 80.0$ MPa 的阀门;
- 超高压阀:公称压力 $p_N \geq 100$ MPa 的阀门。

(2) 按介质工作温度分类

- 超低温阀(适用的介质温度 $t < -100$ °C);
- 低温阀(适用的介质温度 -100 °C $\leq t \leq -40$ °C);
- 常温阀(适用的介质温度 -40 °C $< t \leq 120$ °C);
- 中温阀(适用的介质温度 120 °C $< t \leq 450$ °C);
- 高温阀(适用的介质温度 450 °C $< t \leq 600$ °C);
- 耐热线(适用的介质温度 $t > 600$ °C)。

(3) 按通径分类

- 小口径阀门(公称通径 < 40 mm);
- 中口径阀门(公称通径 $50 \sim 300$ mm);
- 大口径阀门(公称通径 > 1400 mm)。

1.1.3.4 阀门按驱动方式分类

- 电动(单级传动、多级传动);
- 气动;
- 液动;
- 气—液动;
- 电—液动;
- 电磁—液动;
- 手动(单级传动、多级传动)。

1.1.3.5 阀门按连接形式分类

- 内螺纹连接;
- 外螺纹连接;
- 内、外螺纹连接;
- 法兰连接;
- 焊接(对焊、承插焊);
- 对夹式连接;
- 卡箍连接;
- 卡套连接。

1.1.3.6 按阀体材料分类

- 非金属材料阀门,如陶瓷阀门、玻璃钢阀门、塑料阀门等;
- 金属材料阀门,如铜合金阀门、铝合金阀门、钛合金阀门、碳钢阀门、铸铁阀门、合金钢阀门等;
- 金属阀体衬里阀门,如衬铅阀门、衬塑料阀门、衬胶阀门、搪瓷阀门等。

1.1.4 阀门的基本参数

(1) 公称通径

公称通径是管路系统中最常用来表示管路及设备尺寸的数字。阀门的公称通径是阀门最主要的尺寸参数,表示阀门规格的大小。公称通径是供参考用的一个方便的圆整数,与加工尺寸数值上不完全等同,并不是阀门的某种实际直径尺寸。公称通径用字母“DN”表示,后面紧跟一个数字,如 DN300,单位为 mm。

国内阀门的公称通径系统按国标 GB 1047 的规定执行,一般有 DN15, DN20, DN25, DN32, DN40, DN50, DN65, DN80, DN100, DN125, DN150, DN175, DN200, DN225, DN250, DN300, DN350, DN400, DN450, DN500, DN600, DN700, DN800, DN900, DN1000, DN1100 等。

(2) 公称压力

公称压力是一个用数字表示的与压力有关的标示代号,它是阀门最主要的性能参数,说明阀门承压能力的大小,是仅供参考用的一个方便的圆整数,其数值是以“MPa”为单位的公称压力值的 10 倍。公称压力用字母“PN”表示,为明确起见,通常在公称压力后给出计量单位,以“MPa”表示,如 PN25,表示公称压力为 2.5 MPa。

公称压力系列根据国标 GB 1048 规定,一般有 PN0.5, PN1.0, PN2.5, PN4.0, PN6.0, PN8.0, PN10, PN16, PN20, PN25, PN40, PN50, PN63.3, PN100, PN150, PN160, PN200, PN250, PN280, PN320 等。

(3) 试验压力

阀门阀体的试验压力是指对阀门的阀体和阀盖等联结而成的整个阀门外壳进行试验的压力,其目的是:a. 检验阀体和阀盖的致密性;b. 检查包括阀体与阀盖联结处在内的整个壳体的耐压性能;c. 检查启闭件和阀体密封副密封性能。试验压力用 P_s 表示,单位为 MPa。它分为强度试验压力和密封试验压力,强度试验压力是对阀门进行水压强度时以检查材料紧密性的压力,一般情况下是阀门公称压力的 1.3~1.5 倍。密封试验压力是对阀门密封面进行密封性检验时的压力,一般情况下等于阀门的公称压力。

(4) 整定压力

整定压力是一个用来定量安全阀起跳压力数值的标示代号,单位为 MPa。

(5) 工作压力

阀门的工作压力是指阀门在系统正常工作状态下的压力,它与阀门的材质和介质的温度有关,一般用 P 表示,单位为 MPa。

(6) 工作温度

阀门的工作温度是指阀门在工作状态下的温度,单位为℃。