



# CP300

## 核电厂电气系统/设备及运行



马明泽 主 编  
王 焯 马寅军 副主编

中国核工业集团公司 编

原子能出版社

# CP300 核电厂 电气系统 / 设备及运行

主 编 马明泽

副主编 王 焯 马寅军

原子能出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

CP300 核电厂电气系统/设备及运行/马明泽主编.  
—北京:原子能出版社,2010.11  
ISBN 978-7-5022-5114-7

I. ①C… II. ①马… III. ①压水型堆—核电厂—电  
气设备—技术培训—教材②压水型堆—核电厂—设备—运  
行—技术培训—教材 IV. ①TM623.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 224241 号

## 内 容 简 介

本书是压水堆核电厂电气系统设备教程,共分为 12 章,逐章详述电气系统中各主要系统及其设备的技术性能、运行操作、事故处理等实际知识。

本书为泰山核电厂系统设备培训用教材,内容切合实际,深入浅出,并有大量插图,可供压水堆核电厂的研究设计、安装调试、运行操作和管理人员使用,也可作为大学核动力专业师生的学习研究参考材料。

## CP300 核电厂电气系统/设备及运行

---

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 王 青

技术编辑 丁怀兰 王亚翠

责任印制 潘玉玲

印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17 字 数 423 千字

版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-5114-7

定 价 82.00 元

---

网址:<http://www.aep.com.cn>

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)

发行电话:010-68452845

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 孙习康 张 涛  
委 员 马明泽 刘志勇 刘明章 李苏甲 李和香  
赵 云 邹正宇 杨树录 段光荣 顾颖宾  
商幼明 戚屯锋 缪亚民 仲卫东 周建虎

## 执行编委

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

## 编委会办公室

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

# 《CP300 核电厂电气系统/设备及运行》

## 编辑部

主 编 马明泽

副主编 王 焯 马寅军

执行编委 (按姓氏拼音顺序排列)

雷 霞 楼宝川 叶云芳 翟羽耀 张松波  
周志文

供 稿 人 (按姓氏拼音顺序排列)

蔡涵颖 陈 超 戴海华 丁 昕 郭 兴  
何道侠 胡飞文 姜 赫 金跃明 康红宾  
孔志平 李建春 刘旭华 刘义初 陆炜伟  
吕瑞飞 欧卫兵 钱玉刚 任洪涛 盛建华  
苏继昌 田丰林 童之刚 万新勇 汪兆强  
王 侨 王 懿 王 卓 王成林 吴志明  
奚轶枫 谢登来 徐文华 薛 坤 臧家林  
张 巍 张冀兰 张松波 周炳鉴 周仁怀  
周志文 祖朝辉

审 稿 人 (按人员部门顺序排列)

蒋祖跃 李卓群 吴炳泉 黄志军 沙松干  
应黎明 吴国良 陈学峰 段久宇 方 旭  
冯春光 韩 冰 胡飞文 黄思兰 李 旻  
盛建华 唐 亮 陆鹏飞 陆雪华 莫雪贵  
王长征 王德宾 夏中朝 张卫前 张 翔  
杨加东 殷秀峰 张冀兰 周 舟 朱光亚  
庄国平 陈 梁 卢才华 钱厚军 饶贤明  
付荣真 李 涛 余前军 王浩钧 张 强  
金跃明 陈其荣 王惠良 丁 庆 马回明  
沈 平 陆 玲 赵志德 薛新才 陶 钧  
曹雪明 许 峰 曹 勇 齐 涟 朱晓斌  
方祖明

统审专家 丁卫东 申中祥

# 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

在浙江杭州湾钱塘江入海口,有一座郁郁葱葱、鸥鸟栖飞的小山,曾因秦始皇“登以望东海”而得名秦山。自1991年12月15日以来,18年间,秦山目睹了中国人自己设计、建造的秦山30万千瓦核电机组首次并网发电的“中国核电的起步”,见证了“民族核电的丰碑”,聆听了“中国人成功的故事”,感受到“核电发展的春天”。

18年来,持续管理改进和技术改造是公司创造优良运行业绩的保证。秦山核电厂安全稳定,没有发生任何核安全事故,没有发生任何影响公众及环境的放射性事件,其运营水平已进入国际中值水平以上。电站自2001年以来连续取得了五个燃料循环的长周期安全运行业绩,创造了连续运行天数从331天、443天、448天到469天的当时国内最好运行纪录。电站18年的安全运行实践证明我国自主设计、自主建造和自主管理运营的成功。一流的运行业绩为我国核电事业发展积累了经验,培养了人才,打下了基础。截止到2009年12月15日,秦山核电站累积运行约5500天,累计发电约357亿千瓦时。

中国核工业集团公司秦山核电有限公司组织编写核电厂系统/设备及运行系列教材的目的是为了总结秦山核电站CP300系统运行经验,提高系统/设备培训效果,为各核电厂开展培训提供参考。

CP300核电厂系统/设备及运行系列由以下教材组成:

- CP300核电厂一回路系统/设备及运行
- CP300核电厂二回路系统/设备及运行
- CP300核电厂电气系统/设备及运行
- CP300核电厂BOP系统/设备及运行
- CP300核电厂仪表和控制系统/设备及运行

教材的内容以秦山核电有限公司CP300核电厂的系统培训教材为基础,补充近年来一些系统的技术改造及良好实践。本篇教材为《CP300核电厂电气系统/设备及运行》。主要讲解了CP300核电厂电气各个系统的功能、主要组成、主要设备特性、运行情况、典型事件及变更等方面的知识。



本教材由秦山核电有限公司马明泽主持编写,核动力运行研究所和原子能出版社的有关同志对本教材也做了仔细的审读。在教材的编制过程中,虽经反复推敲核证,仍难免有不妥甚至错谬之处,诚望广大读者提出宝贵意见,以便加以修正。

编 者

2010年1月

# 目 录

## 第一章 继电保护

<b>1.1 继电保护基本知识</b> .....	1
1.1.1 继电保护的作用 .....	1
1.1.2 继电保护的基本要求 .....	1
1.1.3 继电保护的特点 .....	2
<b>1.2 电力系统故障分析</b> .....	2
1.2.1 短路的一般概念 .....	2
1.2.2 电力系统的序分量 .....	2
1.2.3 短路的分析计算 .....	4
<b>1.3 电流、电压保护</b> .....	4
1.3.1 单侧电源网络相间短路的电流保护 .....	4
1.3.2 电网相间短路的方向性电流及电压保护 .....	7
1.3.3 中性点直接接地电网接地短路的 零序电流及方向保护 .....	8
1.3.4 中性点非直接接地电网单相接地故障的 零序电压、电流及方向保护 .....	10
<b>1.4 距离保护</b> .....	13
1.4.1 距离保护的时限特性 .....	13
1.4.2 阻抗继电器的特性 .....	14
1.4.3 影响距离保护的因素及防止方法 .....	15
<b>1.5 220 kV 线路保护</b> .....	16
1.5.1 保护配置概述 .....	16
1.5.2 高频保护原理 .....	17
1.5.3 高频通道 .....	18
1.5.4 第一套线路保护 .....	19
1.5.5 第二套线路保护 .....	21
1.5.6 重合闸装置 .....	22
1.5.7 案例分析 .....	23
<b>1.6 220 kV 母线保护</b> .....	24

1.6.1	保护配置概述	24
1.6.2	母差保护	24
1.6.3	失灵保护	27
1.6.4	充电保护	28
<b>1.7</b>	<b>发变组保护</b>	28
1.7.1	保护概述	28
1.7.2	纵差保护和横差保护	30
1.7.3	发电机、变压器后备保护	31
1.7.4	发电机定子接地保护	32
1.7.5	发电机励磁回路接地保护	33
1.7.6	失磁保护	33
1.7.7	失步保护	33
1.7.8	过负荷保护	34
1.7.9	过励磁保护	34
1.7.10	异常工况的其他保护	34
1.7.11	非电量保护	35
1.7.12	保护逻辑表	36
<b>1.8</b>	<b>高压厂变/启备变保护</b>	39
1.8.1	保护概述	39
1.8.2	差动保护	39
1.8.3	电流和电压保护	40
1.8.4	非电量保护	40
1.8.5	跳闸逻辑	41
<b>1.9</b>	<b>6 kV 电动机保护</b>	42
1.9.1	电动机的故障类型及不正常工作状态	42
1.9.2	电流速断保护	42
1.9.3	单相接地保护	42
1.9.4	过负荷保护	43
1.9.5	低电压保护	43
1.9.6	电动机启动时间(堵转保护)监视	43
1.9.7	电动机反复启动抑制	44
1.9.8	负序反时限电流保护	44
1.9.9	案例分析	44
<b>1.10</b>	<b>互感器</b>	45
1.10.1	电磁式电流互感器 CT	45
1.10.2	电磁式电压互感器 PT	46
	复习思考题	46

## 第二章 220 kV 电气系统

<b>2.1</b>	<b>系统功能</b>	47
<b>2.2</b>	<b>系统组成</b>	47
2.2.1	GIS	47
2.2.2	压缩空气供应系统	49
<b>2.3</b>	<b>系统主要设备特性</b>	49
2.3.1	GIS 装置	49
2.3.2	压空装置	55
<b>2.4</b>	<b>系统运行</b>	55
2.4.1	正常运行	56
2.4.2	电站换料检修和启动时的运行方式	56
2.4.3	失电运行方式	57
<b>2.5</b>	<b>控制和操作电源</b>	57
<b>2.6</b>	<b>继电保护</b>	59
2.6.1	母线保护	59
2.6.2	线路保护	59
2.6.3	断路器失灵保护	61
<b>2.7</b>	<b>装置的维护运行</b>	61
2.7.1	维护运行的基本原则	61
2.7.2	SF <sub>6</sub> 气体管理	62
2.7.3	维护运行的主要项目	63
<b>2.8</b>	<b>典型事件和变更</b>	63
2.8.1	主要变更	63
2.8.2	事件 1	64
	复习思考题	65

## 第三章 10 kV 电气系统

<b>3.1</b>	<b>系统功能</b>	66
<b>3.2</b>	<b>系统组成</b>	66
3.2.1	变压器	66
3.2.2	电动机	66
3.2.3	母线、闸刀	66
3.2.4	电缆、电流互感器	66

3.2.5	长山河环网柜 .....	66
<b>3.3</b>	<b>系统主要设备特性 .....</b>	<b>66</b>
3.3.1	变压器 .....	66
3.3.2	电动机 .....	67
3.3.3	母线、闸刀 .....	67
3.3.4	电缆、电流互感器 .....	68
<b>3.4</b>	<b>长山河环网柜 .....</b>	<b>68</b>
<b>3.5</b>	<b>系统运行 .....</b>	<b>68</b>
3.5.1	长山河取水泵站运行方式 .....	69
3.5.2	南北湖取水泵站正常运行方式 .....	70
3.5.3	运行方式说明 .....	70
<b>3.6</b>	<b>典型事件和变更 .....</b>	<b>70</b>
3.6.1	变更 .....	70
3.6.2	事件 .....	70
	复习思考题 .....	71

## 第四章 6 kV 电气系统

<b>4.1</b>	<b>6 kV 厂用系统概述 .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2</b>	<b>系统功能 .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b>系统组成 .....</b>	<b>73</b>
4.3.1	6 kV 厂用电源 .....	73
4.3.2	6 kV 厂用设备 .....	73
4.3.3	非 1E 级交流电力系统 .....	75
4.3.4	1E 级的交流电力系统 .....	75
<b>4.4</b>	<b>系统主要设备特性 .....</b>	<b>78</b>
4.4.1	厂用电快切装置 MFC-2000 .....	78
4.4.2	SF <sub>6</sub> 小车开关 .....	80
4.4.3	VEP 真空断路器与 AMS 开关柜 .....	81
4.4.4	应急柴油发电机组 .....	84
4.4.5	设备维护 .....	86
4.4.6	防雷和接地 .....	87
4.4.7	6 kV 安全母线低电压保护 .....	87
4.4.8	6 kV 系统继电保护 .....	87
<b>4.5</b>	<b>系统运行 .....</b>	<b>88</b>
4.5.1	厂内电力系统设计原则 .....	88
4.5.2	6 kV 系统正常运行方式 .....	89

4.5.3	正常运行	89
4.5.4	特殊的稳态运行	89
4.5.5	特殊的瞬态运行	89
4.5.6	启动和正常停机	90
4.5.7	其他运行	90
<b>4.6</b>	<b>典型事件和变更</b>	90
4.6.1	典型事件	90
4.6.2	改造项目	92
	复习思考题	95

## 第五章 380 V 系统

<b>5.1</b>	<b>系统功能</b>	96
5.1.1	核岛 380 V 电力子系统功能	96
5.1.2	常规岛 380 V 电力子系统功能	96
5.1.3	BOP 380 V 电力子系统功能	96
5.1.4	核岛 380 V 配电系统功能(抽屉式低压配电柜)	97
<b>5.2</b>	<b>系统组成</b>	97
5.2.1	核岛 380 V 电力子系统	97
5.2.2	常规岛 380 V 电力子系统	98
5.2.3	BOP 380 V 电力子系统	98
5.2.4	核岛 380 V 配电系统(抽屉式低压配电柜)	98
<b>5.3</b>	<b>系统主要设备特性</b>	99
5.3.1	变压器	99
5.3.2	配电柜	101
<b>5.4</b>	<b>系统运行</b>	103
5.4.1	380 V 系统的正常运行方式	103
5.4.2	技术规格书要求	107
5.4.3	特殊的稳态运行	107
5.4.4	特殊的瞬态运行	107
5.4.5	控制方式	108
5.4.6	380 V 系统继电保护	109
5.4.7	380 V 系统事故及异常处理	118
5.4.8	事故照明系统	121
<b>5.5</b>	<b>典型事件和变更</b>	122
5.5.1	变更	122
5.5.2	经验反馈	125

复习思考题 .....	126
-------------	-----

## 第六章 220 V 不间断电源系统

<b>6.1 系统功能</b> .....	127
<b>6.2 系统组成</b> .....	128
6.2.1 1E 级重要仪表电源系统 .....	128
6.2.2 非 1E 级 C 通道仪表电源系统 .....	128
6.2.3 系统电源 .....	129
<b>6.3 系统主要设备特性</b> .....	130
6.3.1 1~6 号 UPS 原理框图 .....	130
6.3.2 感应自动调压器 .....	130
6.3.3 输入变压器(自耦变压器) .....	131
6.3.4 输出隔离变 .....	131
6.3.5 静态开关 EA 与 EN .....	131
6.3.6 手动旁路开关 Q050 .....	131
6.3.7 GFMD-490 固定蓄电池 .....	131
<b>6.4 运行功能说明</b> .....	131
6.4.1 正常运行 .....	131
6.4.2 电池运行 .....	132
6.4.3 旁路运行 .....	133
6.4.4 仅充电器运行 .....	134
6.4.5 准备运行 .....	134
6.4.6 关机 .....	135
6.4.7 手动旁路 .....	135
<b>6.5 运行方式</b> .....	136
6.5.1 1~6 号 UPS 运行方式 .....	136
6.5.2 注意事项 .....	137
<b>6.6 故障处理</b> .....	139
6.6.1 简单故障清除 .....	139
6.6.2 故障查询 .....	139
<b>6.7 典型事件和变更</b> .....	141
6.7.1 状态报告 .....	141
6.7.2 变更 .....	141
复习思考题 .....	143

## 第七章 发电机励磁系统

<b>7.1 励磁系统的基本概念</b> .....	144
7.1.1 同步发电机励磁的作用 .....	144
7.1.2 电力系统稳定简介 .....	145
7.1.3 励磁调节对静态稳定的影响 .....	146
7.1.4 励磁对动态稳定的影响 .....	147
7.1.5 励磁对暂态稳定的影响 .....	148
7.1.6 励磁系统的分类 .....	149
7.1.7 励磁调节器的组成与基本原理 .....	152
7.1.8 国内核电站励磁系统的情况调研 .....	155
<b>7.2 秦山核电厂励磁系统介绍</b> .....	157
7.2.1 概述 .....	157
7.2.2 自动励磁调节器(AVR) .....	168
复习思考题 .....	183

## 第八章 直流系统

<b>8.1 系统功能</b> .....	184
<b>8.2 系统组成</b> .....	184
8.2.1 二回路 220 V 直流系统 .....	184
8.2.2 一回路 220 V 直流系统 .....	185
8.2.3 一回路 24 V 直流系统 .....	186
<b>8.3 设备主要特性</b> .....	187
8.3.1 蓄电池 .....	187
8.3.2 整流装置 .....	188
8.3.3 绝缘监察装置 .....	189
8.3.4 电压监察装置 .....	189
8.3.5 闪光装置 .....	190
<b>8.4 系统运行</b> .....	190
8.4.1 一回路 220 V 直流系统 .....	190
8.4.2 二回路 220 V 直流系统 .....	191
8.4.3 一回路 24 V 直流系统 .....	191
8.4.4 运行限制 .....	192
8.4.5 注意事项 .....	193
8.4.6 常见故障——接地 .....	194



8.4.7 故障处理 .....	194
<b>8.5 典型事件和变更 .....</b>	<b>195</b>
8.5.1 典型事件 .....	195
8.5.2 变更 .....	195
复习思考题 .....	196

## 第九章 棒电源机组电气系统

<b>9.1 系统功能 .....</b>	<b>198</b>
<b>9.2 系统组成 .....</b>	<b>198</b>
<b>9.3 系统主要设备特性 .....</b>	<b>198</b>
9.3.1 电动发电机组 .....	198
9.3.2 同期装置 .....	199
9.3.3 低压开关柜 .....	199
9.3.4 系统保护介绍 .....	199
<b>9.4 系统运行 .....</b>	<b>200</b>
9.4.1 正常运行 .....	200
9.4.2 特殊稳态运行 .....	200
9.4.3 特殊瞬态运行 .....	200
9.4.4 启动和正常停机 .....	200
<b>9.5 电源故障分析 .....</b>	<b>200</b>
9.5.1 交流电动机故障产生以下情况 .....	200
9.5.2 同步发电机故障产生以下情况 .....	201
<b>9.6 典型事件和变更 .....</b>	<b>201</b>
复习思考题 .....	201

## 第十章 发电机、主变、高压厂变、 启/备变、GIS

<b>10.1 发电机系统 .....</b>	<b>202</b>
10.1.1 300 MW 双水冷发电机的基本结构 .....	203
10.1.2 发电机维护要点 .....	204
10.1.3 励磁系统 .....	204
<b>10.2 GIS 系统 .....</b>	<b>204</b>
10.2.1 高压断路器概述 .....	204