



# CP300

## 核电厂仪表和控制系统/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 仪表和控制系统 / 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 核电厂仪表和控制系统/设备及运行/马明泽

主编. —北京:原子能出版社,2010.11

ISBN 978-7-5022-5115-4

I. ①C… II. ①马… III. ①核电厂—仪表—技术培训—教材②核电厂—控制系统—技术培训—教材 IV. ①TM623

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 224774 号

## 内 容 简 介

本书是压水堆核电厂仪表和控制系统设备教程,共分为 18 章,逐章详述仪表和控制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。

本书为秦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、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 核电厂仪表和控制系统/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 丹

技术编辑 丁怀兰 王亚翠

责任印制 潘玉玲

印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16 字 数 398 千字

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

书 号 ISBN 978-7-5022-5115-4 定 价 78.00 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 核电厂仪表和控制系统/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 胡 劲 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

# 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。秦山核电站安全稳定,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。电厂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。截至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核电厂仪表和控制系统/设备及运行》。主要讲解了CP300核电厂仪表和控制各个系统的功能、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辑,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5日

# 目 录

## 第一章 一回路仪表和控制概述

1.1 概述 .....	1
1.2 一回路仪表重要参数测量特点 .....	2
1.2.1 仪表选择 .....	2
1.2.2 通道冗余 .....	2
1.2.3 通道隔离 .....	3
1.3 一回路仪表的组成 .....	3
1.3.1 测量仪表 .....	3
1.3.2 控制室仪表 .....	6
1.4 一回路系统热工测量 .....	8
1.4.1 反应堆冷却剂温度 .....	8
1.4.2 窄量程温度测量 .....	8
1.4.3 宽量程温度测量 .....	9
1.4.4 堆芯温度测量 .....	10
1.4.5 TC/RTD 试验 .....	10
1.4.6 主冷却剂流量测量 .....	12
1.4.7 主蒸汽流量 .....	12
1.4.8 主系统压力测量 .....	12
1.4.9 液位测量 .....	13
复习思考题 .....	13

## 第二章 稳压器压力调节系统

2.1 概述 .....	14
2.2 系统功能 .....	14
2.3 设计基准和设计原则 .....	14
2.3.1 设计基准 .....	14
2.3.2 设计原则 .....	15



<b>2.4 系统简述</b>	15
<b>2.5 系统运行</b>	18
2.5.1 正常运行参数	18
2.5.2 特殊的稳态运行	19
2.5.3 启动和正常停机	19
<b>2.6 控制</b>	19
2.6.1 控制原则	19
2.6.2 控制基础	19
<b>2.7 典型事件和变更</b>	20
复习思考题	20

## 第三章 稳压器水位调节系统

<b>3.1 系统功能</b>	21
<b>3.2 系统组成</b>	21
3.2.1 设计原则	21
3.2.2 设计基准	22
<b>3.3 系统主要设备特性</b>	22
3.3.1 测量信号	22
3.3.2 上充流量控制	22
3.3.3 高液位偏差备加自动投入	22
3.3.4 电加热器联锁,下泄隔离及启动备用离心式上泵	22
<b>3.4 系统运行</b>	23
3.4.1 正常运行状态	23
3.4.2 启动和正常停止	24
3.4.3 上充流量调节阀控制	24
3.4.4 备用电加热器控制	24
3.4.5 离心式上充泵控制	24
3.4.6 其他控制	24
<b>3.5 典型事件和变更</b>	24
复习思考题	26

## 第四章 反应堆保护系统

<b>4.1 系统功能</b>	27
4.1.1 功能设计基准	27

4.1.2	环境和安装基准 .....	29
4.1.3	运行设计基准 .....	29
4.1.4	国际或国外安全准则 .....	29
<b>4.2</b>	<b>系统组成 .....</b>	<b>30</b>
4.2.1	反应堆事故保护停堆功能 .....	30
4.2.2	允许(P信号) .....	51
4.2.3	控制联锁(C信号) .....	54
4.2.4	专设安全设施 .....	57
4.2.5	部件描述 .....	68
<b>4.3</b>	<b>系统主要设备特性 .....</b>	<b>75</b>
4.3.1	设备介绍 .....	75
4.3.2	材料的选择-结构 .....	77
<b>4.4</b>	<b>系统试验 .....</b>	<b>77</b>
4.4.1	事故保护停堆断路器试验 .....	77
4.4.2	旁路试验 .....	77
4.4.3	小结 .....	77
<b>4.5</b>	<b>典型事件和变更 .....</b>	<b>78</b>
<b>4.6</b>	<b>ATWS缓解系统 .....</b>	<b>78</b>
4.6.1	系统功能 .....	78
4.6.2	设计原则 .....	78
4.6.3	系统及其控制原理 .....	79
4.6.4	系统运行 .....	80
4.6.5	典型事件和变更 .....	80
	复习思考题 .....	80

## 第五章 核测量系统、松动部件

<b>5.1</b>	<b>堆外核测系统 .....</b>	<b>82</b>
5.1.1	系统功能 .....	82
5.1.2	系统组成 .....	82
5.1.3	系统主要设备特性 .....	87
5.1.4	系统运行 .....	90
5.1.5	典型事件和变更 .....	91
<b>5.2</b>	<b>堆芯核测系统 .....</b>	<b>91</b>
5.2.1	系统功能 .....	91
5.2.2	系统组成 .....	92
5.2.3	系统设备属性 .....	95

5.2.4	系统运行 .....	102
5.2.5	典型事件和变更 .....	103
<b>5.3</b>	<b>松动部件 .....</b>	<b>103</b>
5.3.1	系统功能 .....	104
5.3.2	系统组成 .....	106
5.3.3	系统主要设备特性 .....	110
5.3.4	系统运行 .....	111
5.3.5	典型事件和变更 .....	111
	复习思考题 .....	112

## 第六章 反应堆轴向功率分布

<b>6.1</b>	<b>系统功能 .....</b>	<b>113</b>
<b>6.2</b>	<b>系统组成 .....</b>	<b>113</b>
6.2.1	概述 .....	113
6.2.2	功率分布测量 .....	114
6.2.3	轴向偏差控制 .....	114
6.2.4	限制功率分布 .....	115
<b>6.3</b>	<b>系统主要设备特性 .....</b>	<b>115</b>
6.3.1	设计依据 .....	116
6.3.2	原理说明 .....	116
6.3.3	调试 .....	116
<b>6.4</b>	<b>系统运行 .....</b>	<b>117</b>
<b>6.5</b>	<b>典型事件和变更 .....</b>	<b>117</b>
	复习思考题 .....	118

## 第七章 棒控棒位系统

<b>7.1</b>	<b>概述 .....</b>	<b>119</b>
<b>7.2</b>	<b>系统功能和设计标准 .....</b>	<b>119</b>
7.2.1	控制棒控制系统一般功能 .....	119
7.2.2	控制棒控制系统安全功能 .....	119
7.2.3	控制棒位置指示系统功能 .....	120
7.2.4	设计标准 .....	120
<b>7.3</b>	<b>系统组成 .....</b>	<b>121</b>
7.3.1	控制棒束组件 .....	121

7.3.2	控制棒驱动机构 .....	123
7.3.3	控制棒控制装置组成 .....	127
7.3.4	控制棒棒位指示系统描述 .....	133
<b>7.4</b>	<b>运行方式 .....</b>	<b>135</b>
7.4.1	反应堆控制棒控制系统运行 .....	135
7.4.2	控制棒棒位指示系统运行 .....	137
<b>7.5</b>	<b>控制棒驱动机构的运行 .....</b>	<b>137</b>
7.5.1	棒束组件控制 .....	138
7.5.2	手动 .....	138
7.5.3	自动控制 .....	138
7.5.4	失步校正 .....	138
7.5.5	棒的移动 .....	138
7.5.6	输入和输出 .....	139
7.5.7	供操作员使用的控制器 .....	139
7.5.8	供操作员使用的信息 .....	139
<b>7.6</b>	<b>典型事件和变更 .....</b>	<b>140</b>
	复习思考题 .....	140

## 第八章 反应堆功率调节系统

<b>8.1</b>	<b>系统功能 .....</b>	<b>141</b>
<b>8.2</b>	<b>系统组成 .....</b>	<b>141</b>
8.2.1	调节系统的方案 .....	141
8.2.2	反应堆功率调节系统方案选择 .....	145
8.2.3	反应堆功率调节系统的方案设计 .....	147
8.2.4	反应堆功率调节系统描述 .....	147
<b>8.3</b>	<b>系统元件 .....</b>	<b>149</b>
8.3.1	主要部件 .....	149
8.3.2	联锁条件 .....	152
8.3.3	调试 .....	152
8.3.4	操作 .....	153
8.3.5	分析与调整 .....	154
8.3.6	指示仪及记录仪 .....	154
<b>8.4</b>	<b>系统运行 .....</b>	<b>154</b>
8.4.1	控制原则 .....	154
8.4.2	控制棒停堆联锁与温差报警 .....	154
8.4.3	运行原理 .....	155

8.4.4 供电情况 .....	155
8.4.5 核、电功率表 .....	155
复习思考题 .....	155

## 第九章 信号报警系统

<b>9.1 系统功能</b> .....	156
<b>9.2 系统组成</b> .....	156
<b>9.3 系统主要设备特性</b> .....	156
9.3.1 信号报警装置的功能 .....	157
9.3.2 现场触点信号的范围 .....	157
9.3.3 信号报警装置的特性 .....	157
<b>9.4 系统运行</b> .....	159
9.4.1 AN-4100 系统 .....	159
9.4.2 AN-3100 系统 .....	162
9.4.3 RA-3800 事故记录仪 .....	164
<b>9.5 典型事件和变更</b> .....	166
复习思考题 .....	166

## 第十章 电厂计算机系统

<b>10.1 系统功能</b> .....	168
<b>10.2 系统组成</b> .....	168
<b>10.3 系统主要设备特性</b> .....	169
<b>10.4 人机界面</b> .....	169
复习思考题 .....	170

## 第十一章 二回路仪表和控制

<b>11.1 主蒸汽系统热工参数控制与测量</b> .....	171
11.1.1 主要热工参数测量 .....	171
11.1.2 主蒸汽快关隔离阀(MSIV)控制原理 .....	171
11.1.3 MSIV 控制用三通电磁阀 .....	171
11.1.4 MSIV 控制逻辑图 .....	175
11.1.5 蒸汽发生器压力控制 .....	175

<b>11.2</b>	<b>主给水系统热工参数控制与测量</b>	176
11.2.1	主要热工参数测量	176
11.2.2	除氧器水位调节系统	177
11.2.3	主给水系统主要联锁保护	178
<b>11.3</b>	<b>蒸汽发生器水位调节系统</b>	179
11.3.1	单冲量调节器	180
11.3.2	三冲量调节器	180
11.3.3	主给水调节阀与旁路给水调节阀的切换	181
11.3.4	单、三冲量调节器的切换	181
11.3.5	系统输入信号	181
11.3.6	主给水调节阀、旁路调节阀工作原理	182
<b>11.4</b>	<b>凝结水系统热工参数控制与测量</b>	184
11.4.1	系统主要热工参数测量	184
11.4.2	凝汽器水位测量	184
<b>11.5</b>	<b>疏水系统热工参数控制与测量</b>	185
11.5.1	重要热工参数测量	185
11.5.2	MSR 疏水控制	185
11.5.3	高、低加热器水位调节	186
11.5.4	分离器壳体疏水箱水位保护	186
<b>11.6</b>	<b>抽汽系统热工参数控制与测量</b>	186
11.6.1	抽汽管道电阀及逆止阀控制	186
11.6.2	备用汽电动门与4段抽汽电动门的联锁节	187
11.6.3	除氧器压力调节	187
11.6.4	辅助蒸汽压力调节与1段抽汽压力调节	187
<b>11.7</b>	<b>发电机水冷系统热工控制与测量</b>	187
11.7.1	发电机温度及冷却水温度、流量的测量	187
11.7.2	定子冷却水温度调节系统	188
11.7.3	冷却水断水跳机保护	188
<b>11.8</b>	<b>润滑油及闭式工业水系统热工参数控制与测量</b>	189
11.8.1	轴承润滑油泵(交流油泵)和危急润滑油泵 (直流油泵)的联锁	189
11.8.2	油箱加热器联锁	189
11.8.3	盘车系统保护与联锁	189
11.8.4	就地“点动”盘车	189
11.8.5	主控室手动连续盘车	189
11.8.6	自动盘车	189
11.8.7	盘车气动自动啮合过程(33/TGT 动作)	189
11.8.8	闭式工业水温度与润滑油温度调节	191

<b>11.9 热工测量仪表</b> .....	192
11.9.1 温度测量仪表 .....	192
11.9.2 压力测量仪表 .....	192
11.9.3 流量仪表 .....	192
11.9.4 液位测量仪表 .....	192
<b>11.10 DEH 及其他系统</b> .....	193
11.10.1 DEH 控制系统 .....	193
11.10.2 危急遮断系统(ETS) .....	197
11.10.3 主蒸汽旁路排放控制系统 .....	197
复习思考题 .....	199

## 第十二章 汽轮机监测系统

<b>12.1 系统功能</b> .....	200
<b>12.2 系统组成</b> .....	200
<b>12.3 TSI 传感器工作原理</b> .....	202
12.3.1 电涡流位移传感器工作原理 .....	202
12.3.2 速度传感器工作原理 .....	202
<b>12.4 主要机械量参数的测量</b> .....	203
12.4.1 组合传感器测量汽轮机轴承振动 .....	203
12.4.2 差动式传感器测量差胀及缸胀 .....	203
12.4.3 电涡流位移式传感器测轴向位移 .....	203
12.4.4 电涡流位移式传感器测偏心度 .....	204
12.4.5 电涡流位移式传感器测转速 .....	204
12.4.6 秦山核电机组 TSI 系统整定参数及定值 .....	204
<b>12.5 汽轮机本体热工参数的测量与重要测点的安装</b> .....	205
12.5.1 高压缸上、下温差 .....	205
12.5.2 高压缸转子第一级金属温度 .....	205
12.5.3 低压内缸、低压转子金属温度 .....	205
12.5.4 推力轴承热电偶 .....	205
<b>12.6 典型事件和变更</b> .....	206
复习思考题 .....	207

## 第十三章 汽轮机保护系统

<b>13.1 汽轮机保护简介</b> .....	208
---------------------------	-----

13.2	ETS 监视的参数 .....	208
13.3	系统的组成及功能 .....	208
13.3.1	一个装有遮断电磁阀的危急遮断控制块 .....	208
13.3.2	四个装有压力开关和试验电磁阀的试验块 .....	209
13.3.3	推力轴承遮断装置 .....	210
13.3.4	电气超速遮断 .....	211
13.3.5	机械超速遮断 .....	212
13.3.6	控制柜 .....	212
13.4	系统的在线试验功能 .....	212
	复习思考题 .....	213

## 第十四章 蒸汽旁路排放控制系统

14.1	系统功能 .....	214
14.1.1	主蒸汽旁路排放控制系统功能 .....	214
14.1.2	大气释放控制系统功能 .....	214
14.1.3	安全功能 .....	214
14.2	系统组成 .....	214
14.3	系统主要设备特性 .....	215
14.4	系统运行 .....	215
14.4.1	正常运行 .....	215
14.4.2	启动和正常停机 .....	216
14.5	控制 .....	216
14.5.1	控制原理 .....	216
14.5.2	主蒸汽旁路排放控制系统 .....	216
14.5.3	大气释放控制系统 .....	217
	复习思考题 .....	217

## 第十五章 凝结水流量调节系统

15.1	单冲量调节 .....	219
15.2	三冲量调节 .....	219
15.3	除氧器水箱水位保护 .....	219
15.4	除氧水箱水位联锁保护及控制 .....	220
15.4.1	除氧水箱的水位整定 .....	220
15.4.2	“高”、“低”水位:发警报 .....	220



15.4.3 除氧给水箱的水位整定和控制 .....	220
复习思考题 .....	220

## 第十六章 蒸汽发生器水位调节系统

16.1 单冲量调节器 .....	221
16.2 三冲量调节器 .....	222
16.3 主给水调节阀与旁路给水调节阀的切换 .....	222
16.4 单、三冲量调节器的切换 .....	223
16.5 系统输入信号 .....	223
16.5.1 程序液位 .....	223
16.5.2 蒸汽发生器液位信号 .....	224
16.5.3 给水流量信号 .....	224
16.5.4 蒸汽发生器蒸汽流量信号 .....	224
16.5.5 给水调节阀快关隔离信号 .....	224
16.6 主给水调节阀、旁路调节阀工作原理 .....	224
16.7 典型事件和变更 .....	226
复习思考题 .....	226

## 第十七章 DEH 数字电液控制系统

17.1 秦山 30 万千瓦汽轮机概述 .....	227
17.2 DEH 调节系统简介 .....	227
17.3 DEH-ⅢA 调节系统的组成 .....	227
17.3.1 基本控制部分 .....	228
17.3.2 软件部分 .....	228
17.3.3 油系统 .....	228
17.3.4 执行机构 .....	228
17.3.5 保护部分 .....	228
17.4 DEH 调节系统功能 .....	228
17.4.1 转速控制功能 .....	228
17.4.2 负荷控制功能 .....	228
17.4.3 超速控制及保护(OPC) .....	229
17.4.4 阀门试验 .....	229
17.4.5 RUNBACK 功能 .....	230
17.4.6 负荷上下限值 .....	230