

火力发电厂集散控制系统

熊淑燕 王兴叶 田建艳 张伟 著

科学出版社

TM621.6

X66

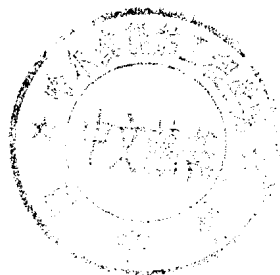
453329

火力发电厂集散控制系统

熊淑燕 王兴叶 著
田建艳 张 伟



00453329



3

科学出版社

2000

EA 16/07

内 容 简 介

本书以 300MW(汽包炉)火力发电单元机组为主要对象,通过重点剖析其集散控制系统(DCS)中闭环控制策略及组态,总结了火力发电厂应用 DCS 的特点,尤其是 DCS 组态的灵活性及控制系统设计的技巧。

本书共分六章。第一章介绍火力发电厂大型单元机组控制系统的主要内容、特点及其对控制的要求,以及 DCS 在发电厂中的应用与发展;第二章介绍西门子 TELEPERM 系列硬件系统的组成及主要模块的功能和原理;第三至第六章剖析火电厂 DCS 中锅炉的各个闭环控制系统的控制策略、参数整定及组态。在分析中注意了实用性和通用性,为控制系统的设计及现场投运提供了参考。

本书可供从事工业自动化的科技人员及电力系统现场工作的技术人员阅读参考,也可作为大专院校相关专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂集散控制系统/熊淑燕等著. -北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-007809-8

I.火… II.熊… III.火电厂-综合分散型控制系统 IV.TM621.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 34623 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北 京 双 青 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000 年 3 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2000 年 3 月 第 一 次 印 刷 印张: 14 1/4
印数: 1—2 800 字数: 317 000

定 价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(环伟))

前 言

随着现代工业生产的发展,电能需求量日益增加,电力工业进入了大电网、大机组、高度自动化的时代。火力发电机组也逐渐由过去的中小容量发展为大容量、高参数的单元机组。此外,用电结构也发生了很大变化,电网负荷的峰谷差加大,为了适应调峰的需要,大型单元机组对自动控制提出了新的、更高的要求。

电力工业的特点是连续生产、强调安全、经济运行,特别是随着机组容量的增大、参数的提高,系统更加复杂化,常规控制设备和控制策略已不能完全满足工艺对控制质量的要求。因此现代大型发电机组均采用集散控制系统来实现机组的自动检测与报警、自动保护、自动调节等功能,以保证机组的安全与经济运行。

集散控制系统又称分散控制系统(DCS——Distributed Control System),是以微处理器为基础,应用网络通信技术、计算机技术、CRT显示技术及过程控制技术构成的新型控制系统。由于它运算速度快、容量大,软硬件资源丰富、功能强,系统容错能力强,在大型发电机组中得到了广泛应用。它的应用使火电厂更新了传统的生产操作手段,建立了全程多参数综合操作的新概念,向着操作的简便性、稳定性、安全性、预见性和优化性等方面迈出了新的一步;它不仅可以提高劳动生产率和电能质量,还能降低发电成本,改善劳动条件,为大型机组的安全、经济运行提供可靠的保证。它的应用还为采用先进的控制策略提供了技术基础。因此,现代控制理论和智能控制在过程控制中的应用出现了越来越好的势头,这也是近年来过程控制领域发展较快的一个方面。

本书以300MW(汽包炉)火力发电单元机组为对象,从分析对象特性及工艺要求入手,以控制理论为基础,通过剖析西门子TELEPERM系列控制设备的集散控制系统的闭环控制策略及组态,总结了火力发电厂DCS系统的特点,尤其是集散控制系统组态的灵活性及控制系统设计的技巧。例如:同一控制系统中各种控制策略的灵活运用及其自动无扰切换,系统丰富多采的软保护措施,闭环控制与各种逻辑功能的有机结合等等。本书在分析一般规律的基础上,注意了实用性和通用性,提出了采用DCS的火力发电厂热力设备闭环控制系统参数整定的一般原则和方法,为控制系统的设计及现场投运提供参考。

本书共分六章,各章内容概括如下:

第一章阐述火力发电厂大型单元机组控制系统的主要内容及其特点,对控制的要求,DCS系统在发电厂中的应用与发展。

第二章介绍西门子TELEPERM系列控制设备概貌及其DCS系统的特点,重要功能模块的使用和说明等。

第三章阐述给水全程控制中应注意的一些特殊问题,给水全程控制系统在各种运行工况下不同系统的切换和各系统的控制策略及参数整定原则,给水泵的保护等。

第四章阐述汽温工艺系统及对象特性,汽温控制的新策略,过热及再热汽温控制系统的组态分析与参数整定。

第五章阐述燃烧与制粉系统工艺流程及其特点,单元制直吹式锅炉燃烧过程的动态特性,并系统地剖析了10个子系统的组态,提出了相应的整定原则。

第六章首先介绍单元机组负荷控制的基本概念、特点及协调控制系统的功能和基本框架结构,分析协调控制系统中的两种基本反馈控制和各种前馈控制以及非线性元件的应用;然后对单元机组协调控制的整体结构和各子系统的组态进行系统的剖析。

在本书的编写过程中得到了何小刚、马宝萍、张培华及雍定文等同志的许多具体支持和帮助。特别需要提出的是本书的出版得到了德国西门子公司北京办事处、南京西门子电站自动化有限公司(SPPA)和清华同方控制工程公司在各方面的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平所限,缺点和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

熊淑燕

1999年3月

主要符号表

b	汽包, 旁路
B	锅炉
B_N	燃料量
B_M	燃煤量
B_U	燃油量
D	主蒸汽流量
D_T	汽轮机耗汽量
D_b	汽轮机旁路蒸汽量
e	调节器的输入偏差信号
E	发电机
F	引风量(即烟气量), 统称的干扰量
g	给定值下标
F_b	烟气旁通量
$G(s)$	传递函数
h	物位(液位、煤位等)
i	焓值
k	系统或对象的静态增益; 常系数
k_I	调节器的积分增益
k_D	调节器的微分增益
k_P	调节器的比例增益
N	负荷
N_B	锅炉负荷指令
N_E	发电机实发功率
N_g	负荷指令
N_T	汽轮机负荷指令
p	压力
p_0	给水母管压力
p_1	汽轮机第一级后压力
p_B	炉膛压力
p_D	过热器出口主蒸汽压力
p_s	饱和蒸汽压力
p_T	汽轮机调速汽门前主蒸汽压力(简称机前压力)

Q ——热负荷(炉膛燃料发热量)
 R ——主调节器的输出指令
 SH ——过热器
 T ——汽轮机
 T ——时间常数
 T_c ——环节或对象的时间常数
 T_D ——调节器的微分时间
 T_I ——调节器的积分时间
 V ——锅炉总风量
 V_1, V_2 ——一、二次风量
 w ——给水流量
 x ——输入变量
 y ——输出变量
 α ——过剩空气系数
 β ——燃烧率
 δ ——调节器的比例带($\delta=1/k_p$)
 ϵ ——飞升速度(1/s)
 η ——效率
 θ ——温度
 μ ——执行机构位置(阀位,挡板开度,电动给水泵液力联轴器勺管位置等)
 ξ ——阻力系数
 ρ ——密度,对象的自平衡率
 τ ——纯滞后
 τ_r ——容积滞后
 y_N ——调节器的跟踪信号(模拟量)
 Y_{NF} ——控制调节器是否处于跟踪状态的开关量信号

英文缩写表

ADS (Automation Dispatching System)	(电网)自动调度系统
AS (Automation System)	自动系统
BS (Bus System)	总线系统
BMS (Burn Management System)	锅炉燃烧管理系统
BP (By Pass)	旁路控制系统
BTU (British Thermal Unit)	热值校正单元
CCS (Coordinate Control System)	协调控制系统
CPU (Center Process Unit)	中央处理单元
DAS (Data Acquisition System)	数据采集系统
DCS (Distributed Control System)	集散控制系统
DEH (Digital Electrol-Hydraulic control)	(汽机)数字电液控制
DEB (Direct Energy Balance)	直接能量平衡
ES (Engineering System)	工程设计系统
EMS (Energy Management System)	能量管理系统
FB (Field Bus)	现场总线
FCB (Fast Cut Back)	快速切断负荷保护
FSSS (Furnace Safety Supervision System)	锅炉炉膛安全监控系统
IGDS (Industrial Graphic Display System)	工业图形显示系统
I/O (Input/Output)	输入输出
IS (Information System)	信息(管理)系统
M/A (Manual/Automatic)	手动/自动
MAX (MAXimum)	最大
MCS (Modulation Control System)	模拟量控制系统
MFT (Master Fuel Trip)	主燃料跳闸
MIN (MINimum)	最小
OS/OM (Operating and Monitoring System)	操作与监视系统
OT (Operating Terminal)	操作员终端
PID (Proportional-Integral-Differential)	比例积分微分
PI (Proportional-Integral)	比例积分
PD (Proportional-Differential)	比例微分
PG (ProGrammer)	编程器
PS (Project System)	工程实施系统
PU (Processing Unit)	过程处理单元

RES (RESet)复位

RUNBACK (unit olad RUNBACK) 负荷返航(快速减负荷)

SCS (Sequance Control System) 顺序控制系统

















































SU (Service Unit) 服务单元

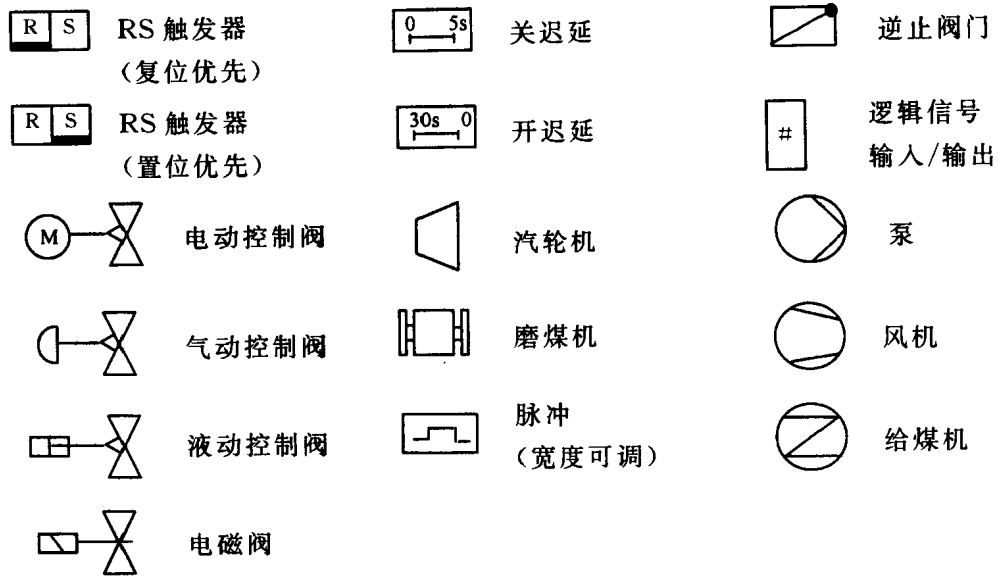
T-ME (TELEPERM ME)

T-XP (TELEPERM XP)

WS (Work Station) 工作站

组态图中的功能模块及其图标

 加法器  乘法器  除法器  积分器  微分器  开方  求均值  常数  固定设定参数  带逻辑控制的模拟开关  模拟信号  开关量信号  与门  或门  非门  RS 触发器	 减法器  绝对值  自然对数  指数  高/低值限幅  死区  控制器 (PID/PI/P)  大值选择  小值选择  孔板流量计  压力传感器  温度传感器  节点  模拟值指示  模拟值指示/控制阀位置/偏差  手操器(增/减调节器)  手/自动(增/减调节器)	 函数发生器  一阶惯性环节  n 阶惯性环节  限速块  模拟信号/设定值记忆  限值监视器 (通用)  限值监视器 (正方向)  限值监视器 (负方向)  转速测量元件  液位计  传感器/模拟输出/4~20mA  控制阀门  控制挡板  风机动叶  关断挡板
--	--	---



目 录

前 言

主要符号表

英文缩写表

组态图中的功能模块及其图标

第一章 火力发电厂大型单元机组控制系统概述	(1)
1.1 大型单元机组的特点及其对控制系统的要求	(1)
1.1.1 大型单元机组的特点	(1)
1.1.2 大型单元机组对控制的要求	(1)
1.2 大型单元机组控制系统概貌	(3)
1.2.1 数据采集系统	(3)
1.2.2 协调控制系统	(4)
1.2.3 锅炉控制系统	(4)
1.2.4 汽机控制系统	(5)
1.3 集散控制系统的特点及在火力发电厂的应用	(5)
1.3.1 集散控制系统的特点	(6)
1.3.2 DCS 在火力发电厂的应用及发展	(7)
第二章 西门子集散控制设备简介	(8)
2.1 T-ME 系统概貌	(8)
2.1.1 自动系统	(9)
2.1.2 操作与监视系统	(10)
2.1.3 信息和能量管理系统	(11)
2.1.4 工程实施系统	(11)
2.1.5 工厂总线系统	(12)
2.1.6 T-ME 系统的冗余配置和控制回路的可靠性分级考虑	(13)
2.2 T-ME 系统中的闭环控制	(14)
2.2.1 T-ME 闭环控制系统的设计特点	(14)
2.2.2 闭环控制模块	(17)
2.3 重要功能块的使用和说明	(29)
2.3.1 自适应滤波功能块——ADP	(29)
2.3.2 模拟量限值信号传送功能块——BG. GSG	(30)
2.3.3 模拟量三取中选择功能块——BG. MV3A	(31)

2.3.4	给水流量校正计算功能块——BG. KWF	(31)
2.3.5	蒸汽流量校正块——BG. KDF	(33)
2.3.6	饱和蒸汽曲线功能块——BG. SDK	(34)
2.3.7	多段折线功能块——BG. PLG	(34)
2.3.8	曲线拟合功能块——BG. KURV	(34)
2.3.9	限速功能块——BG. SWF	(35)
2.3.10	设定值控制功能块——BG. SWV	(36)
2.3.11	多阶惯性环节功能块——PT _n	(38)
2.3.12	水位校正功能块——BG. KH	(40)
2.4	T-ME 闭环控制系统的构成	(42)
2.4.1	控制系统的硬件构成	(42)
2.4.2	控制系统的软件构成	(42)
2.5	T-XP 系统简介及其应用特点	(43)
2.5.1	T-XP 系统简介	(45)
2.5.2	T-XP 系统的应用特点	(46)
第三章	汽包锅炉给水全程控制系统	(48)
3.1	引言	(48)
3.2	锅炉给水系统工艺概述	(48)
3.3	给水全程控制中的几个特殊问题	(50)
3.3.1	给水全程控制的概念	(50)
3.3.2	给水全程控制中的特殊问题	(50)
3.4	采用变速泵的给水控制系统	(60)
3.4.1	两段给水控制系统	(60)
3.4.2	一段给水控制系统	(61)
3.5	给水全程控制系统组态分析	(62)
3.5.1	被控参数偏差信号的形成与切换	(62)
3.5.2	给水泵安全工作区保护回路	(65)
3.5.3	运行给水泵之间的同步回路	(66)
3.5.4	给水泵热备用时的跟踪回路	(66)
3.5.5	开环增益的切换	(68)
3.6	给水控制系统的分析及整定	(70)
3.6.1	启动至15%额定负荷阶段时的单冲量两段给水控制系统	(70)
3.6.2	15%~25%额定负荷阶段单冲量一段给水控制系统	(73)
3.6.3	25%额定负荷以上阶段三冲量一段给水控制系统	(74)
第四章	汽温控制系统	(84)
4.1	概述	(84)

4.2	汽温控制系统的对象特性	(85)
4.2.1	过热器与再热器的布置及其流程	(85)
4.2.2	影响汽温变化的因素	(87)
4.2.3	汽温对象的数学模型	(91)
4.2.4	再热器的特点及特性	(94)
4.3	汽温控制策略综述	(97)
4.3.1	串级汽温控制系统	(97)
4.3.2	带观测器的状态反馈控制系统	(98)
4.3.3	自适应预测控制	(99)
4.4	过热汽温控制系统的组态分析	(101)
4.4.1	过热汽温控制系统的特点	(101)
4.4.2	I级减温控制系统	(102)
4.4.3	II级减温控制系统	(108)
4.5	过热汽温控制系统的整定	(111)
4.5.1	I级减温控制系统的整定	(111)
4.5.2	II级减温控制系统的整定	(117)
4.6	再热汽温控制系统	(117)
4.6.1	烟道挡板控制回路的组态分析	(117)
4.6.2	减温水调节回路的组态分析	(120)
4.6.3	再热汽温控制系统的整定	(123)
第五章	燃烧控制系统	(124)
5.1	引言	(124)
5.2	燃烧系统工艺流程简介	(125)
5.2.1	烟风系统	(125)
5.2.2	制粉系统	(126)
5.2.3	锅炉点火及助燃油系统	(127)
5.3	单元制直吹式锅炉燃烧过程被控对象的动态特性	(127)
5.3.1	汽压被控对象的特性	(127)
5.3.2	炉膛压力被控对象的特性	(130)
5.4	锅炉燃烧控制系统的组态分析	(131)
5.4.1	概述	(131)
5.4.2	燃煤量控制系统	(133)
5.4.3	一次风压控制系统	(139)
5.4.4	磨煤机煤位控制系统	(141)
5.4.5	燃油压力控制系统	(148)
5.4.6	二次风控制系统	(149)
5.4.7	炉膛压力控制系统	(157)

5.4.8	磨煤机出口风温控制系统	(161)
5.4.9	制粉系统密封风的控制	(165)
5.4.10	制粉系统辅助风控制系统	(166)
5.4.11	空气预热器冷端温度控制系统	(167)
第六章	单元机组负荷自动控制系统	(169)
6.1	概述	(169)
6.1.1	单元机组负荷控制的特点	(169)
6.1.2	单元机组协调控制系统	(170)
6.2	单元机组的数学模型	(173)
6.2.1	控制对象传递函数矩阵	(173)
6.2.2	控制对象的近似传递函数	(175)
6.3	单元机组协调控制系统的基本结构	(176)
6.3.1	机炉主控回路的两种基本反馈控制系统	(176)
6.3.2	协调控制系统中前馈控制和非线性元件的应用	(178)
6.4	300MW 单元机组负荷控制系统组态分析	(182)
6.4.1	机组负荷指令处理回路	(183)
6.4.2	机组辅机故障快速降负荷控制回路	(187)
6.4.3	机组响应电网频差信号的校正回路	(192)
6.4.4	机组压力控制设定值形成回路	(195)
6.4.5	锅炉主控	(199)
6.4.6	汽机主控	(204)
6.4.7	CCS 热值校正回路	(207)
附录	RH-2000 控制系统简介	(210)
参考文献	(212)

第一章 火力发电厂大型单元机组控制系统概述

随着现代工业生产的发展,电能需求量日益增加,电力工业进入了大电网、大机组、高度自动化的时代,发电机组逐步由过去的中小容量发展为大容量、高参数的单元机组。目前我国以200MW和300MW机组为骨干机组,并以较快的速度发展了600MW以上的机组。本章首先讨论火电厂大型单元机组的特点及其对控制系统的要求,在此基础上讨论单元机组自动控制系统的各个组成部分,并综述集散控制系统在火电厂的应用及发展。

1.1 大型单元机组的特点及其对控制系统的要求

1.1.1 大型单元机组的特点

(1) 火力发电机组是由发电机、汽轮机(简称汽机)和锅炉三大主机以及辅助设备组成的庞大设备群,其工艺流程复杂,管道纵横交错。对于大型发电机组,有数千个参数需要监测、操作或控制;而且多种运行方式和切换关系使对象特性多变,构成一类典型的多变量、非线性、时变的复杂被控对象。

(2) 火力发电厂的机、炉联合运行时,有母管制和单元制两种不同的热力系统,通常大容量的汽机和锅炉组成单元制热力系统,称之为单元机组,尤其是具有中间再热器的机组,只能采用单元制方式运行,以简化热力系统、节约投资。这种运行方式的特点是锅炉和汽机作为蒸汽的供需两方,需要保持一定的能量平衡,否则就破坏了正常的运行;同时机、炉连接成一个不可分割的整体,有些部件如再热器,既是锅炉的一部分,又是汽机的一部分。

(3) 锅炉对机组负荷变化的响应具有较大的惯性,即从燃烧率指令改变到汽压变化有较大的滞后和惯性,相对而言,汽机的惯性要小得多。单元机组负荷增加时,初始阶段所需的蒸汽量主要是由锅炉释放蓄热量产生。随着单元机组容量的不断增大,锅炉的蓄热量相对减小(尤其是直流锅炉的蓄热能力比自然循环锅炉的小得多,一般为同等容量自然循环锅炉的 $1/2\sim 1/3$),使得单元机组对负荷的适应能力与保持汽压不变之间的矛盾越来越突出。

(4) 为了节约基建投资和运行费用,大型机组大多采用直吹式制粉系统。这种方式使单元机组的燃烧、负荷控制及制粉系统的联系更加紧密,从而加大了燃烧控制的惯性和难度。

1.1.2 大型单元机组对控制的要求

随着工业生产规模的扩大和人民生活水平的提高,不仅电能需求量日益加大,而且电网负荷的峰谷差也加大。为了适应调峰的需要,大型单元机组对自动控制系统提出了新的、更高的要求。

(1) 对负荷控制的要求

单元机组负荷控制的任務就是根据锅炉和汽机的不同特性,使锅炉和汽机协调动作、相互配合,在满足电网负荷要求的同时保持机组主要运行参数稳定。

在满足电网负荷要求和维持机组主要运行参数稳定两个方面,单元机组是一个整体,但机、炉又是相对独立的,它们有各自的调节手段,而且运行特性很不相同。随着单元机组容量的增加,早期的“锅炉跟随汽机”或“汽机跟随锅炉”的负荷控制方式已不能满足要求,必须采用更为合理的负荷控制方案,即采用单元机组的协调控制。同时由于对大型单元机组参与调峰的要求越来越迫切,要求协调控制系统的设计和投运具有较高的调节品质。

(2) 对实现全程控制的要求

所谓全程控制是指在机组启停过程和正常运行时的升降负荷过程中均能实现自动控制。由于单元机组容量的增大和参数的提高,机组在启停过程中需要监视和控制的项目也越来越多,人工操作、监视的方式已远远不能满足运行要求,因此要求在启停过程中也能够实现汽温、给水、主汽压力、汽机升速与负荷控制等系统的自动控制。

(3) 对保护系统的要求

大型机组一旦发生事故不仅影响电能的正常生产,给电网造成巨大损失,而且设备损坏后往往需要较长的修复时间,因此必须设计安全保护系统来防止主要设备不发生严重损坏。主机的保护系统主要包括炉膛安全监控系统、汽机紧急跳闸系统、顺序跳闸系统,此外机炉辅机及旁路系统也必须有完整的保护和联锁。主保护装置应当冗余配置,即两套同样的保护装置并列工作,各自具有独立的操作电源及执行机构,从而保证一套失灵时另一套能立即取代。

(4) 对通信系统的要求

单元机组的通信系统必须具备以下特点:

- 1) 快速实时响应能力,能够及时地传输现场过程信息和操作管理信息;
- 2) 由于通信系统的任何中断和故障都可能造成停机,因此通信系统必须连续运行,并具有极高的可靠性,采取冗余配置;
- 3) 通信系统必须能适应恶劣的工业环境,不受诸如电源、雷击、电磁和电位差等干扰的影响。同时由于监控、调节、保护的需要,各控制系统所采集的参数和输出的指令必须统一,且信息共享。

(5) 对人机接口的要求

由于大型单元机组在运行时的监测点多,参数变化速度快,如果采用常规仪表和单一的控制设备,工作人员对机组运行参数进行监视和操作的劳动强度很大,而且也难以做到及时调整、迅速处理。因此为适应火电机组向大容量、高参数的发展,需要采用先进的人机接口装置,使运行人员可以在中央控制室实现单元机组的启动、停止、正常调整以及事故处理,提高效率并大大降低运行人员的劳动强度。

(6) 对测量信号的要求

为了保证测量信号的可靠性,必须对变送器的输出信号进行有效性判断,所有参数都应设置越限报警值,一旦参数超越此值,应及时报警显示,以减少事故的发生。为了提高测量精度,必须对一些信号进行参数校正,例如,蒸汽流量信号的温度压力校正、锅炉给水流量温度校正以及汽包水位信号密度校正等。此外,重要的开关量信号应当采取“三选二”的表决方式,以防止误动作。

由上述分析可见,大型单元机组的发展对控制系统提出的要求,涉及到自动检测、数据