

600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

第二版

热工自动化

孙奎明 时海刚 合编

- 紧密结合电厂实际运行
- 体现600MW机组新技术
- 适合电厂培训使用



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

第二版

热工自动化

孙奎明 时海刚 合编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《600MW级火力发电机组丛书》之一,主要介绍600MW火力发电机组热工自动化技术。全书共分十二章,分别讲述了现场过程仪表的结构和工作原理;分散控制系统的基本结构、特点和主要硬件、软件系统以及数据通信技术;数据采集与处理系统的组成、结构和功能;协调控制系统、顺序控制与热工保护系统、炉膛安全监控系统、汽轮机数字电液调节系统的基本知识和实用技术,简要介绍了1000MW火力发电机组的控制方案。

本书以当今国际上先进的计算机分散控制系统为实例,密切结合我国600MW级火电机组的现场实际应用情况,循序渐进、深入浅出地论述了热工自动化的基本概念、基本原理、基本结构、基本功能、基本技术、应用与方法等。

本丛书可供从事600MW火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读,或作为培训教材使用,也可供其他高参数、大容量火电机组的有关人员以及高等院校热能动力类和电力工程类专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工自动化/孙奎明,时海刚编. —2版. —北京:中国电力出版社,2009

(600MW级火力发电机组丛书)

ISBN 978-7-5083-7802-2

I. 热… II. ①孙…②时… III. 火电厂-热力工程-自动化系统 IV. TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第134429号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年1月第一版

2009年1月第二版 2009年1月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26.25印张 712千字

印数 3001—6000册 定价 55.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《600MW 级火力发电机组丛书》

编 委 会

主 编	张效胜	张 磊		
副主编	李启涛	孙奎明	代云修	于瑞生
	陶苏东	张立华	马明礼	张灿勇
	荀堂生	张盛智	时海刚	杜祖坤
参 编	苏庆民	柴 彤	牛 勇	王玉华
	李广华	刘红蕾	夏洪亮	高洪雨
	陈雪刚	王秀清	董桂珍	尹民权
	杨志勇	尚庆军	宋中炜	赵 嵘
	华 静	朱福霞	孙卫东	刘学思
	王 伟			

前 言

1981年,我国第一台单机容量600MW火电机组(元宝山电厂二期工程)投运。这标志着我国电力工业开始步入大容量、高参数、高自动化时期。600MW火力发电机组具有大容量、高参数、低能耗、低污染等优点,现已逐渐成为我国火力发电厂的主力机型。截止到2004年底,全国已有多台600MW机组投入运行。

随着我国电力工业的迅猛发展,新材料、新设备、新技术、新工艺不断投入应用,现代大型火力发电厂对生产管理人员和专业技术人员掌握新材料、新设备、新技术、新工艺的能力提出了更高、更新的要求。为满足广大生产管理人员和专业技术人员渴望学习新知识、新技能的迫切需求,山东省电力学校组织编写了《600MW级火力发电机组丛书》。

在结合山东省600MW火力发电机组多年运行经验的基础上,本丛书详细地介绍了600MW级机组锅炉设备、汽轮机设备、电气设备及系统的结构、原理、技术特点和运行技巧,同时也详细地分析和介绍了600MW机组的热工自动化设备及系统、燃料系统运行与管理、电厂化学等方面的知识。

本丛书共有六个分册:《燃煤锅炉机组》,由张磊、张立华主编;《汽轮机设备及系统》,由代云修、张灿勇主编;《电气设备及系统》,由陶苏东、荀堂生、张盛智主编;《燃料运行与检修》,由张磊、马明礼主编;《热工自动化》,由孙奎明、时海刚合编;《电厂化学》,由于瑞生、杜祖坤合编。

本丛书突出了600MW级火力发电机组的技术特点,以实用、提高技能为核心,对火力发电机组共性的基本理论部分进行了适当的弱化处理,而对600MW级火力发电机组的特点及其特殊的生产管理要求进行了详细的阐述。

本丛书既可作为生产人员的岗位培训教材,也可作为大、中专院校电厂热能动力工程、热工自动控制、电厂化学、电气等专业的参考教材。

在本丛书编写过程中,华电集团邹县发电厂、中华电力聊城发电厂、华能集团德州发电厂、山东电力研究院有关领导和专家给予了大力支持和热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平所限,加之时间仓促,疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《600MW级火力发电机组丛书》编委会

2005年11月

600MW级火力发电机组丛书

热工自动化(第二版)

编 者 的 话

随着电力工业的快速发展,600MW级火力发电机组已成为我国各大发电公司的主力机组。目前,有关现场生产人员、工程技术人员急需了解和掌握600MW机组的结构、系统、运行、控制等知识,为此,我们组织编写了《600MW级火力发电机组丛书》。

本书是《热工自动化》(第二版)。本书密切结合现场生产实际,引用了大量的现场技术资料,全面讲述了600MW级火力发电机组热工自动化技术,重点分析了600MW级火力发电机组计算机控制技术和控制系统的应用实例,突出了600MW级火力发电机组控制特点。本书由浅入深、循序渐进地讲述了现场过程仪表的结构和工作原理,分散控制系统的基本结构、特点和主要硬件、软件系统以及数据通信技术,数据采集与监控系统的组成、结构和功能,协调控制系统、顺序控制与热工保护系统、炉膛安全监控系统、汽轮机数字电液调节系统的基本知识和实用控制技术。另外,结合电力发展的形势,简要介绍了1000MW火力发电机组的控制方案。

本书可供从事600MW级火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读,或作为培训教材使用,也可供其他高参数、大容量火电机组的有关人员以及高等院校热能动力类和电力工程专业师生参考,有助于读者熟悉现场控制知识。

本书由山东省电力学校孙奎明和时海刚合编,其中第一、二、八~十、十二章由孙奎明编写,第三~七、十一章由时海刚编写。全书由山东省电力学校张东风主审。

本书在编写过程中得到了山东电力研究院、邹县发电厂、德州发电厂和聊城发电厂等有关单位和领导的大力支持,在此表示衷心的感谢和诚挚的敬意。

由于编者水平所限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008年10月

目 录

前言

编者的话

第一章 概论	1
第一节 实现火力发电厂生产过程自动化的必要性	1
第二节 火力发电厂生产过程自动化的主要内容	2
第三节 火力发电厂生产过程自动化的发展阶段	5
第四节 火力发电厂计算机控制系统的基本知识	7
第二章 过程仪表	17
第一节 热工参数测量仪表	17
第二节 变送器	46
第三节 执行器	51
第三章 计算机分散控制系统(DCS)	61
第一节 分散控制系统概述	61
第二节 典型分散控制系统的结构	65
第三节 分散控制系统的结构分析	75
第四节 分散控制系统的特点	78
第五节 分散控制系统的抗干扰措施与可靠性分析	79
第四章 分散控制系统的硬件设备	85
第一节 过程控制设备	85
第二节 人机接口设备	97
第三节 系统通信设备	102
第四节 660MW 火力发电机组 DCS 的硬件配置实例	103
第五章 分散控制系统的软件	108
第一节 软件分类	108
第二节 现场控制单元软件系统	110
第三节 操作员/工程师站的软件	114
第四节 典型系统的软件	117
第六章 分散控制系统的通信	125
第一节 数据通信	125
第二节 通信网络	129
第三节 差错控制技术	134
第四节 网络协议	136

第七章 计算机数据采集系统	144
第一节 数据采集系统的发展概况	144
第二节 数据采集系统的组成和结构	144
第三节 数据采集系统的功能	145
第四节 数据采集系统的主要测点及其分布	153
第五节 显示画面的结构、内容及操作方式	155
第八章 单元机组协调控制系统	160
第一节 协调控制系统的基本知识	160
第二节 协调控制系统的分类及运行方式	162
第三节 600MW 级单元机组协调控制系统实例 (一)	168
第四节 600MW 级单元机组协调控制系统实例 (二)	180
第五节 600MW 单元机组燃烧控制系统实例	203
第六节 锅炉给水全程控制系统	213
第七节 锅炉汽温自动控制系统	233
第九章 顺序控制与热工保护系统	256
第一节 顺序控制基础知识	256
第二节 开关量基础部件及相关控制电路	262
第三节 可编程序控制器	274
第四节 分散控制系统 (DCS) 的顺序控制功能	278
第五节 单元机组顺序控制系统的设计	279
第六节 顺序控制系统的典型功能组	286
第七节 火电机组锅炉热工保护	293
第八节 火电机组汽轮机热工监视与保护	297
第十章 炉膛安全监控系统	313
第一节 炉膛爆炸的原因及防止	313
第二节 FSSS 主要安全功能	319
第三节 FSSS 系统设备组成	321
第四节 火焰检测系统	328
第五节 典型炉膛安全监控系统	333
第六节 600MW 机组炉膛安全监控系统	345
第十一章 汽轮机数字电液调节系统	359
第一节 汽轮机数字电液调节系统概述	359
第二节 DEH 的液压伺服系统	368
第三节 数字汽轮机控制器	377
第四节 汽轮机热应力估算	396
第五节 汽轮机保护系统	400
第十二章 1000MW 燃煤发电机组分散控制系统探析	404
第一节 1000MW 燃煤发电机组分散控制系统的设计原则与总体方案	404
第二节 1000MW 燃煤发电机组分散控制系统的参考方案及集控室布置方案	406
附录 CCS 系统组态图中的功能模块及其图标	409
参考文献	411

概 论

电力工业在整个国民经济领域中占据着极其重要的地位。近 20 多年来,特别是在近 10 年多的时间里,中国电力工业得到了全面的快速发展。随着国家能源政策的转轨和电力体制的改革,国家电力结构不断调整优化,但就现在和今后较长时期而言,火力发电机组仍然是现代电力生产中的主要形式,并且现场技术装备水平不断提高,使中国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化、信息化的时代,也使生产过程自动化在现场的地位日益重要。

第一节 实现火力发电厂生产过程自动化的必要性

电力工业是转化能源的工业,火力发电的生产过程就是将矿物燃料的化学能(一次能源)转化为电能(二次能源)的过程。由于电能的通用性广,又便于转化,所以用电能代替其他能源是提高能源利用效率和节约能源的重要措施。目前电能已广泛应用于工农业生产、科学研究和人民生活的各个领域,世界上也已把电能占总能源的比重作为衡量一个国家现代化水平的标志。

由于电能无法大量储存,它的转化和利用都必须连续的,即“产、供、销”要同时完成,所以发电、供电的能力应能随时适应外界负荷的需求。发电、供电和配电不可分割的特点,使电力工业成为一种现代化、连续化的大生产。电力工业的建设速度和规模,将由国民经济建设和外界用电负荷的增长幅度所决定。

为了适应我国现代化建设的需要,根据我国的能源政策,21 世纪前半叶,燃煤机组火力发电厂仍占主导地位,高参数大容量火力发电机组在新增容量中将占很大比重,特别是 600MW 机组逐步成为主力机型。火力发电厂的生产系统是由锅炉设备、汽轮机设备和有关辅助设备的各种系统所构成的。这些设备和系统在运行中相互密切关联,它们必须有节奏地协调配合,才能充分发挥发电机组的能力,达到安全和经济运行的目的。随着机组容量的增大和参数的提高,生产设备的结构和生产系统都越来越复杂,参数之间的相关性也更加紧密,在运行中,需要监视和操作的项目将随机组容量的增长而显著增多。不同容量机组需监视和操作的项目数量比较见表 1-1。

表 1-1 不同容量机组需监视和操作的项目数量比较

机组容量 (MW)	50	125	200	300	600
监视项目 (测量点数)	115~135	540~600	560	950~1050	2000
操作项目 (执行器数)	70~75	142	280	410~450	800

在机组启停或事故处理过程中,还要增加更多的监视项目和频繁操作。显然,这对任何熟练的运行值班人员来说,都是难以应付的,往往由于力所不及或稍有疏忽,就可能造成重大事故。

所以,必须根据生产过程的客观规律,采用相应的自动化技术工具来代替人的重复性劳动,即实现生产过程自动化,对机组的工况进行全面、准确而迅速的检测,并通过分析和综合判断,自动地进行操作与控制,保证机组安全可靠地运行。同时,由于采用自动化技术能保证机组在良好的状态下运行而延长了机组的使用寿命,还可降低燃料消耗和发电成本,提高机组运行的经济性。而且在减少运行人员、提高劳动生产率和改善劳动条件等方面也能得到良好的效果。

第二节 火力发电厂生产过程自动化的主要内容

生产过程自动化可以提高机组运行的安全性和经济性,减少运行人员,提高劳动生产率,使运行人员从繁忙的体力劳动和紧张的精神负担中解脱出来。生产过程自动化的主要内容包括自动检测、自动控制、顺序控制、自动保护四个方面。

一、自动检测

利用检测仪表自动地检查和测量反映生产过程运行情况的各种物理量、化学量以及生产设备的工作状态,以监视生产过程的进行情况和趋势,称为自动检测。

锅炉、汽轮机装有大量的热工仪表,包括测量仪表、变送器、显示仪表和记录仪表等。它们随时显示、记录、计算和变送机组运行的各种参数,如温度、压力、流量、水位、转速等,以便进行必要的操作和控制,保障机组安全、经济运行。

大型机组一般采用巡回检测方式,对机组运行的各种参数和设备状态进行巡测、显示、报警、工况计算和制表打印。

二、自动控制

利用控制装置自动地维持生产过程在规定工况下进行,称为自动控制。自动控制的目的是为了表征生产过程的一些物理量,如温度、压力、流量等保持规定的数值。电力用户要求汽轮机发电设备提供足够数量的电力,并保证供电质量。电力频率是供电质量的主要指标之一,为了使电的频率维持在一定的准确度范围内,就要求汽轮机具备高性能的转速自动控制系统。锅炉运行中必须使一些重要参数维持在规定范围内或按一定的规律变化,如维持汽包水位为给定值,以及保持锅炉的出力满足外界的要求。

锅炉的自动控制主要有:给水自动控制、燃烧过程自动控制(包括燃料控制、送风控制、引风控制)、过热蒸汽温度和再热蒸汽温度自动控制等。大型机组的自动控制系统还应具有丰富的逻辑控制功能,以便根据机组的工作状况,决定机组的运行方式,并能实现全程控制和滑参数控制。

汽轮机自动监控系统以监视为主,除了转速自动控制系统以外,一般还有汽封汽压、旁路系统、凝汽器真空与水位等自动控制系统。

(一) 自动控制常用术语

(1) 自动控制系统。自动控制系统是由起控制作用的自动控制装置和控制器控制的生产设备(被控对象),通过信号的传递、联系所构成的。简言之,被控对象和控制器通过信号的传递,相互联系组成控制系统。

(2) 被控对象。控制的生产过程或工艺设备称为被控对象。

(3) 控制量。被控对象中需要加以控制和控制的物理量叫控制量或控制参数。不能把对象中流入或流出的物质,如水、汽等介质当作被控对象的控制量。

(4) 给定值。根据生产的要求,规定控制量应达到并保持的数值,叫做控制量的给定值。

(5) 输入量。输入到控制系统中并对控制参数产生影响的信号(包括给定值和扰动)叫做输

入量。不可把控制设备使用的能源（如压缩空气、电源等）当作控制系统的输入量。

(6) 扰动。引起控制量变化的各种因素称为扰动。来自于系统内部的扰动称为内扰，来自于系统外部的扰动称为外扰。阶跃变化的扰动叫做阶跃扰动。

(7) 反馈。把输出量的全部或部分信号送到输入端输入称为反馈。反馈信号与输入信号极性相同时称为正反馈，极性相反时称为负反馈。

(8) 开环与闭环。输出量和输入量之间存在反馈回路的系统叫做闭环系统，反之叫做开环系统。

(9) 控制器。用于控制系统的控制装置称为控制器。

(10) 执行机构。接受控制器输出信号对被控对象施加作用的机构，有机械的、电动的、液动的、气动的等几种类型。

(二) 自动控制系统的组成

现场自动控制系统大多采用反馈控制系统，即根据控制量偏离给定值的情况，通过自动控制装置按照一定的控制规律运算后输出控制指令，指挥控制机构动作，改变控制量，最后抵消扰动的影响，使控制量恢复到给定值。

自动控制系统由以下几个单元构成：

(1) 测量变送器。其作用是测量控制量，并把测得信号转换成易于传送和运算的信号。

(2) 给定器。输入是控制量的目标值，产生与控制量信号同类型的定值信号。

(3) 控制器。输入是控制量与给定值，将两值比较并得到偏差值，经过一定的控制规律进行运算，输出信号给执行器。

(4) 执行器。根据控制器送来的指令去推动控制机构，改变控制量。

简单自动控制系统的组成如图 1-1 所示。

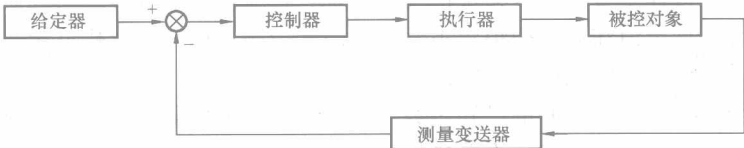


图 1-1 简单自动控制系统的组成

(三) 自动控制系统的分类

1. 按控制系统组成的内部结构分类

按控制系统组成的内部结构不同，可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

开环控制系统是指控制器与被控对象之间只有正向作用，而无反馈现象，控制器只是根据直接或间接反映扰动输入的信号来进行控制的，如图 1-2 所示。在这个系统中，控制器接受了对象输入端的扰动

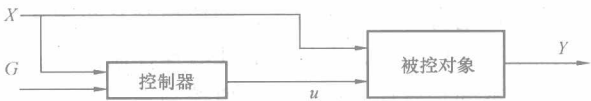


图 1-2 开环控制系统方框图

信号 X ，一旦有扰动发生，控制器可按预定的控制规律对被控对象产生一个控制作用 u ，以抵消扰动 X 对控制量 Y 的影响。这种控制方式也称为“前馈控制”。从理论上讲，只要对扰动进行的控制量合适，就可能及时抵消扰动的影响，而使控制量不变。但由于没有控制量的反馈，因此控制过程结束后，不能保证控制量等于给定值。在生产过程自动控制中，前馈控制是不能单独使用的，但用扰动补偿的方法来控制控制量的变化是十分有效的、可取的。

闭环控制系统是指控制器和被调对象之间既有正向作用，又有反向联系的系统。由于系统是

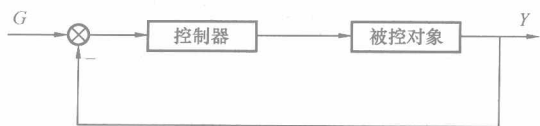


图 1-3 闭环控制系统方框图

量与其规定值的偏差进行，通过不断反馈、控制，最终消除误差。闭环控制系统是自动控制中最基本的控制系统，但对于迟延较大的对象，控制过程中会出现数值较大、持续时间较长的控制量偏差。

在反馈控制的基础上，加入对主要扰动的前馈控制，构成复合控制系统，也称前馈—反馈控制系统，如图 1-4 所示。所谓复合控制，实质上是在闭环系统的基础上用开环通道提供一个时间上超前的输入作用，以提高系统的控制精度和动态性能。当外界扰动 X 作用到控制系统而控制量 Y 还没有反映之前，先

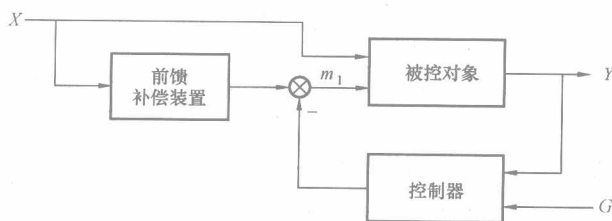


图 1-4 复合控制系统方框图

由前馈补偿装置进行粗调，尽快使控制作用 m_1 在一开始就能大致抵消 X 的影响，使控制量 Y 不至于发生大的变化。如果由于 m_1 的补偿作用不是恰到好处，则通过闭环回路来进行控制。因此，这类控制对于扰动作用 X 来说，能获得比一般闭环控制更好的控制效果。

2. 按给定值变化规律分类

按给定值变化的规律来分，可分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。

定值控制系统的规定值在运行中恒定不变，从而使控制量保持（或接近于）恒定。例如，锅炉的汽压、汽温、水位等控制系统都是定值控制系统。

程序控制系统的规定值是时间的已知函数。控制系统用来保证控制量按预先确定的随时间变化的数值来改变。例如火电厂锅炉、汽轮机的自启停都是程序控制系统。

随动控制系统的规定值是时间的未知函数，只是按事先不能确定的一些随机因素来改变的。例如，在滑压运行的锅炉负荷控制回路中，主蒸汽压力的规定值是随外界负荷而变化的，其变化的规律是时间的未知函数。此控制回路的任务是使主蒸汽压力紧紧跟随主压力给定值而变，从而实现机组在不同负荷下以不同的主蒸汽压力进行滑压运行。随动控制系统在大型单元机组的自动控制中应用很广。

另外，还有几种分类方法，如按控制系统闭环回路的数目分，有单回路和多回路控制系统；按系统变化特性来分，有线性和非线性控制系统。在各类控制系统中，热工生产过程中应用最广泛、最基本的是线性、闭环、恒值控制系统。

三、顺序控制

根据生产工艺要求预先拟定的程序，使工艺系统中各个被控对象按时间、条件或顺序有条不紊地、有步骤地自动进行一系列的操作，称为顺序控制。

顺序控制主要用于机组启停、运行和事故处理。每项顺序控制的内容和步骤，是根据生产设备的具体情况和运行要求决定的，而顺序控制的流程则是根据操作次序和条件编制出来，并用具体装置来实现的，这种装置称为顺序控制装置。顺序控制装置必须具备必要的逻辑判断能力和连锁保护功能。在进行每一步操作后，必须判明该步操作已实现并为下一步操作创造好条件，方可自动进入下一步操作；否则中断顺序，同时进行报警。

锅炉上应用的顺序控制主要有：锅炉点火，锅炉吹灰，送、引风机的启停，水处理设备的运行，制粉系统的启停等。汽轮机的顺序控制主要是汽轮机的自启动和停机。

采用顺序控制可以大大提高机组自动化水平，简化操作步骤；避免误操作，减轻劳动强度；加快机组启停速度。随着高参数、大容量机组的大量应用，我国应用顺序控制装置的水平正逐步提高。

四、自动保护

当设备运行情况异常或参数超过允许值时，及时发出警报并进行必要的动作，以免发生危及设备和人身安全的事故，自动化装置的这种功能称为自动保护。

随着机组容量的增大，生产系统变得复杂起来，操作控制也日益复杂，对自动保护的要求也越来越高。锅炉的自动保护主要有：灭火自动保护，汽包高低水位自动保护，超温、超压自动保护，辅机启停及其事故状态的连锁保护。汽轮机自动保护主要有：超速保护、润滑油压低保护、轴向位移保护、胀差保护、低真空保护、振动保护等。

上述火力发电厂生产过程自动化四个方面的主要内容只是人为的划分，其实他们在火力发电厂中是紧密联系的，共同维护机组的安全、经济运行。特别是随着单元机组参数的提高、容量的增大，计算机技术的广泛应用，大型单元机组均把锅炉、汽轮机、发电机作为一个不可分割的整体集中控制，火力发电厂生产过程自动化四个方面的主要内容之间联系也更加紧密，有利于实现火电厂生产过程综合自动化。

第三节 火力发电厂生产过程自动化的发展阶段

工业生产过程自动化的发展历史可以上溯到 17 世纪上半叶。早在 1620 年，Cornelis Drebbel 就制成了加热炉恒温器，这大概是人类历史上所记载的第一个自动装置。随后，在 1788 年，James Watt 发明了人们所熟知的离心式调速器，它曾经在工业生产过程中发挥过重要作用。近几十年来，工业生产过程控制规模不断扩大，复杂程度不断增加，工艺过程不断强化，对生产过程控制系统提出了越来越高的要求。

在近百年的火力发电厂建设历史中，由于初始阶段的机组容量都很小，其生产过程的控制和一切操作几乎全部由运行人员手动工作来实现。直至 1920 年前后，火力发电厂开始普遍采用链条炉，同时出现煤粉炉，机组容量逐渐增大到 60MW 左右的时候，明显体现出用人工控制火力发电厂的生产过程已是极为困难或不可能的事了。为减轻人们的劳动强度，提高机组的安全性和运行效率，保证产品质量，火电厂陆续开始采用各种自动控制装置，实现部分生产过程的自动控制。火力发电厂的自动化水平日益提高和发展，就其控制方式而言，火力发电厂生产过程自动化的发展过程，大体经历了三个阶段。

一、就地控制阶段

在 20 世纪 20 年代至 30 年代期间，火力发电机组的容量还不是很小，生产过程对自动控制的要求以及当时所具备的技术条件有限，仅能对发电机组实现简单的自动控制，例如锅炉蒸汽压力、汽包水位、汽轮机转速等的控制。所有控制系统基本上分散在各被控对象所在的车间，各控制系统间相互独立，没有任何联系。运行人员在就地设置的控制表盘上进行监视和操作，所应用的控制设备大都是尺寸较大的基地式仪表。国外 20 世纪 40 年代以前和我国 50 年代建设的火力发电厂基本上采用这种模式。

二、集中控制阶段

20 世纪 40 年代初期，由于中间再热式机组的出现，进一步密切了锅炉与汽轮机之间的关

系,为了协调机、炉间的运行,加强机组的操作管理和事故处理,满足负荷变化对生产设备的要求,维持运行参数的稳定等,要求对锅炉和汽轮机实现集中控制,即把锅炉和汽轮机的控制系统表盘相对集中地安装在一起,由运行人员同时监视和控制机、炉的运行,保证机组的正常运行。当时所采用的控制设备主要是气动或电动单元组合仪表。国外 20 世纪 40 年代至 50 年代和我国 60 年代至 70 年代初期建设的火力发电厂大都采用这种控制方式——局部集中控制。

进入 20 世纪 50 年代后,随着火电机容量的增大,机、炉、电三者的关系更为密切,生产迫切需要对机、炉、电三者实现集中控制与管理。同时,由于仪表和控制设备的尺寸缩小,新型巡回检测仪表和局部程控装置的出现,使得整个机组的监视和控制表盘集中在一个控制室内的要求成为现实。此时采用的控制设备有电动单元组合仪表、组件组装式仪表,也有以微处理机为核心的数字式仪表。国外 20 世纪 50 年代至 60 年代以及我国 20 世纪 70 年代至 80 年代建设的火力发电厂大都采用这种控制方式——机组集中控制。

三、计算机控制阶段

随着火力发电机组向着高参数、大容量的方向发展,生产设备走向大型化,热力系统日趋复杂。系统的耦合性、时变性、非线性等特点显得更加突出,生产过程中需要监视的内容越来越多,过程控制的任务越来越重,机组的运行与操作要求更为严格,世界范围内的能源危机和剧烈的市场竞争,对节约能源和减少燃料消耗的要求不断提高,环境保护和文明生产的呼声日益高涨等,已反映出以往的生产自动化方式逐渐不能适应时代的发展,火力发电厂自动化面临着严重的挑战。另一方面,计算机的发展与普及、现代控制理论的产生与应用以及二者相结合的计算机控制技术的形成与在工业领域的渗透,为进一步提高工业自动化水平创造了有利条件,提供了十分重要的物质、理论基础和技术手段。

1. 集中型计算机控制

计算机控制技术在电厂的应用,始于 20 世纪 50 年代末 60 年代初。1958 年 9 月,美国斯特林 (Sterling) 电厂安装了第一个电厂计算机安全监测系统。1962 年,美国小吉卜赛电厂进行了第一次电厂计算机控制的尝试,从那时起,火力发电厂开始步入了计算机应用的发展进程。

火力发电厂计算机控制技术应用初始阶段,普遍采用的是集中型计算机控制方式,即用一台计算机实现几十甚至几百个控制回路和若干过程变量的控制、显示及操作、管理等。

(1) 与常规的模拟仪表控制系统相比,集中型计算机控制的优越性体现在以下几个方面:

- 1) 功能齐全,而且可实现先进的、复杂的控制和连锁功能;
- 2) 可通过修改软件增删控制回路、改变控制方案、调整系统参数,应用灵活;
- 3) 信息集中管理,便于分析和综合,为实现整个生产系统的优化控制创造了条件;
- 4) CRT (Cathode Ray Tube) 显示替代了大量的模拟仪表,改善了人机接口,缩小了监视面。

(2) 但是,集中型计算机控制也存在着严重的不足,反映在:

1) 当时的计算机硬件可靠性还不够高,而由一台计算机承担所有的控制和监视任务,使得危险高度集中,一旦计算机发生故障,将导致生产过程全面瞬间瘫痪,危及设备安全。

2) 软件庞大、复杂,开发的难度大、周期长。

3) 一台计算机所承受的工作负荷过大,在计算机速度和容量有限的情况下,影响系统工作的实时性与正确性。若采用多台计算机,不仅要解决数据和控制信息的交换问题,而且将大大增加投资和维护费用,这是当时存在的较大的实际困难。

除此之外,由于生产过程内部机理复杂,最优控制所必需的数学模型难以建立,性能指标不易确定,控制策略尚不完整等,使得现代控制理论一时难以适应于计算机过程控制。历史条

件的限制和集中型计算机控制存在的缺陷,促使计算机控制系统向着分散化发展。

2. 分散型计算机控制

20 世纪 70 年代初,大规模集成电路的制造成功和微处理器的问世,使得计算机的可靠性和运算速度大大提高,计算功能增强、体积缩小,而价格大幅度下降。计算机技术的发展与日益成熟的分散型计算机控制思想相结合,促使火力发电厂自动化技术进入了分散型计算机控制的新时代。

所谓分散型计算机控制,是指控制过程所采用的系统,是一种控制功能分散、操作管理集中、兼顾复杂生产过程的局部自治与整体协调的新型分布式计算机控制系统,又称分散控制系统。

自 1975 年以来,美国霍尼韦尔(Honeywell)公司首先向市场推出了以微处理器为基础的 TDC-2000 分散控制系统,世界各国的一些主要仪表厂家也相继研制出各具特色的各种分散控制系统。例如,美国 Foxboro 公司的 Spectrum 系统,日本横河公司的 CENTUM 系统,日立公司的 UNITROLE 系统,德国西门子(Siemens)公司的 Teleperm-C 系统等。分散控制系统以其功能强、可靠性高、灵活性好、维护和使用方便、良好的性能价格比等优点,深受工业界的青睐。

20 世纪 80 年代中期,我国开始在火力发电机组上应用分散控制系统。据不完全统计,仅“七五”期间,我国引进约 30 套分散控制系统应用于电厂自动化。如今,国内已投运和正在兴建的火电厂中,全部和部分采用分散控制系统的机组已有很多,而且新建大容量单元机组都普遍采用分散控制系统。

分散控制系统的应用及其自身的不断完善与发展,加速了火力发电厂自动化的进程。目前,分散控制系统的应用方兴未艾,在此基础上,火力发电厂正向着更加完善、更高层次的综合自动化方向发展。

3. 综合自动化

综合自动化是一种集控制、管理、决策为一体的全局自动化模式。它是在对各局部生产过程实现自动控制的基础上,从全局最优的观点出发,把火力发电厂的运作体系视为一个整体,在新的管理模式和工艺指导下,综合运用现代科学技术与手段,将各自独立的局部自动化子系统有机地综合成一个较完整的大系统,对生产过程的物质流、管理过程的信息流、决策过程的决策流等进行有效地控制和协调,实现生产系统的全局自动化,以适应生产和管理过程在社会发展的新形势下提出的高质量、高速度、高效率、高性能、高灵活性和低成本的综合要求。

开放型分散控制系统的应用,为综合自动化的实现奠定良好的基础。目前,综合自动化的研究和应用正向着纵深发展,已成为火力发电厂自动化的重要发展方向。

第四节 火力发电厂计算机控制系统的基本知识

一、计算机控制系统的组成

计算机控制系统,是由数字计算机全部或部分取代常规的控制设备和监视仪表,对动态过程进行控制和监视的自动化系统。计算机控制系统由硬件和软件两大部分组成。

(一) 硬件部分

硬件是组成系统的物质基础。组成计算机控制系统的硬件一般包括被控对象、主机、过程通道、外部设备、通信设备、总线、接口、操作站以及过程仪表等,其结构如图 1-5 所示。

1. 被控对象

它是控制的生产设备或生产过程,是控制系统构成的必备客体。

2. 主机

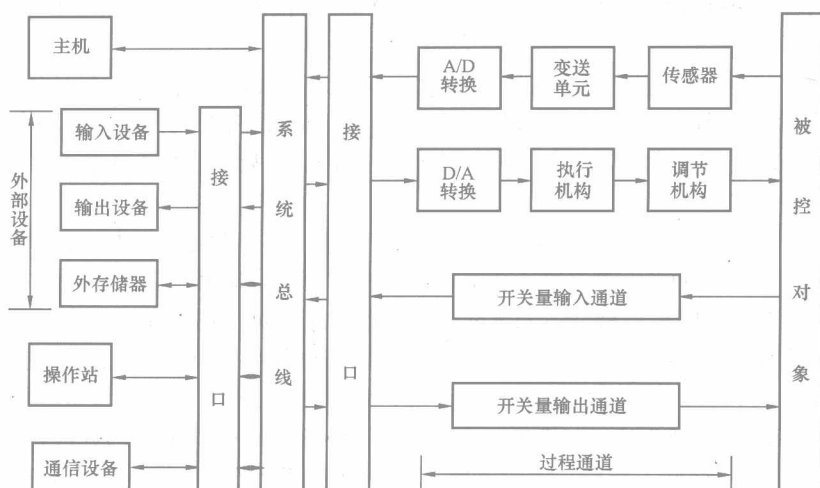


图 1-5 计算机控制系统的硬件组成

主机是计算机控制系统的核心，它由中央处理器（CPU）、内存储器（RAM、ROM）、输入/输出（I/O）电路和其他支持电路等组成。主机根据过程通道送来的反映生产过程工作状态的各种实时信息，按预定的控制算法自动地对过程信息进行相应的处理、分析、判断、运算，产生所需要的控制作用，并及时通过过程通道向被控对象发送控制指令。

3. 外部设备

外部设备是指计算机系统除主机之外的其他必备的支撑设备，它按功能可分成三类：输入设备、输出设备、外存储器。

常用的输入设备有键盘、卡片输入机、纸带输入机、光电输入机等，用来输入程序、数据和操作命令。常用的输出设备有打印机、绘图机、拷贝机、记录仪以及 CRT 显示器等，用来提供系统中的各种信息。常用的外存储器有磁带机、磁盘机、光盘机等，用来存储程序软件、历史数据，它是计算机内存储器的扩充和后备存储设备。

4. 过程通道

过程通道又称过程输入输出（Process Input Output, PIO）通道，它是计算机和生产过程之间信息传递和变换的桥梁和纽带。

过程输入通道有模拟量输入通道和开关量输入通道两类，分别用来输入模拟量信号（如温度、流量、压力、物位等等）和开关量信号，并将这些输入的过程信息转换成计算机所能接受和识别的代码。

过程输出通道也有模拟量输出通道和开关量输出通道两类，分别用来将计算机输出的控制命令和数据转换成能控制被控对象运行的模拟量和开关量信号。

5. 系统总线与接口

系统总线是主机与系统其他设备进行信息交换的某种统一数据格式的信息通路，一般有单总线、双总线和多总线之分。

接口是外部设备、过程通道等与系统总线之间的挂接部件，用来进行数据格式或电平的转换以及信息的传输或缓冲。通常接口有串行和并行之分，也有专用和标准之别。

6. 操作站

操作站是各类操作人员与计算机控制系统之间实现信息交换的设备，常被称为“人机联系设

备”、“人机接口设备”。操作站一般由 CRT 显示装置、触摸屏、计算机通用键盘或（和）专用键盘、鼠标和轨迹球以及专用的操作显示面板等组成。用于实现对系统运行的有关操作、操作结果的显示以及生产过程的状态监视。

根据使用人员和职责范围不同，操作站可分为：系统员操作站、工程师操作站、运行员操作站。系统员操作站用来实现系统软件编制、系统组态、控制系统的生成；工程师操作站负责控制系统的组态修改和运行调试、有关参数的设置和整定、系统运行的检查与监督等；运行员操作站负责控制系统的运行操作，保证生产过程的正常进行。操作站的设立是随系统而异的，并非所有系统都具备上述三种操作站，对于某种操作站也有可能设立多个。例如：有的计算机控制系统，工程师和运行员的工作设计在同一操作站上进行，为保证二者分别行使各自的操作职责，可通过操作站上的带锁开关决定不同的操作；有的计算机控制系统将系统员操作站和工程师操作站合二为一；也有的计算机控制系统具有多台运行员操作站。

在分散控制系统中，由于采用了面向问题的语言和功能块的系统组态方法，使得控制系统的建立与修改简单方便，这部分工作完全可由工程师完成，因此，分散控制系统一般没有单独设立系统员操作站。现阶段，火力发电厂分散控制系统的运行员操作站一般是多个配置。

7. 通信设备

通信设备是实现在不同功能、不同地理位置的计算机（或有关设备）之间进行信息交换的设备，例如计算机通信网络、网络适配器、通信媒体等。

8. 过程仪表

计算机控制系统仍然离不开必要的过程仪表。这些过程仪表主要包括测量仪表、变送器和执行器，通过他们实现计算机控制系统与生产过程的联系。

（二）软件部分

硬件为计算机控制系统提供的是物质基础，是一个无知识、无思维、无智能的系统躯干。软件是计算机控制系统中所有程序的统称，是系统的灵魂，是人的知识、智慧和思维逻辑在系统中的具体体现。硬件和软件是相互依赖和并存的。计算机软件通常分为两大类：系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件一般包括汇编语言、高级算法语言、过程控制语言等语言加工程序、数据结构、数据库系统、管理计算机资源的操作系统、网络通信软件、系统诊断程序等，系统软件一般由计算机设计人员研制，由计算机厂商提供。对于计算机控制系统的设计和维护人员，要对系统软件有一定程度的了解，并会使用系统软件，以更好地编制应用软件。

2. 应用软件

应用软件是根据用户所要解决的实际问题而编制的具有一定针对性的计算机程序，这些程序决定了信息在计算机内的处理方式和算法。计算机控制系统的应用软件一般有：过程输入程序，数据处理程序，过程控制程序，过程输出程序，人机接口程序，显示、报警、打印程序以及各种公用子程序等。应用软件的开发与被控对象的动态特性以及运行方式密切相关，因此，应用软件的开发人员除掌握计算机应用技术外，还应了解被控对象的特性和运行要求，才有可能开发出合理的应用软件。

计算机控制系统的软件优劣与否，既关系到系统硬件的功能发挥，也关系到对生产过程的控制品质和管理水平，同时还影响计算机系统工作的稳定性和可靠性。例如，同样的硬件配置，采用高性能的软件，可以获得更好的控制效果；反之，硬件功能难以充分发挥，达不到预定的控制目的，甚至会造成系统“死机”等不良现象。计算机控制和管理的实时性，不仅取决于硬件指