

# 大型火电机组 热工控制技术与实例

赵建立 王永征 陈莲芳 路春美 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

要 录 容 内

# 大型火电机组 热工控制技术与实例

赵建立 王永征 陈莲芳 路春美 编著

图 书 在 册 编 目 (CIP) 目 录 编 查 计 图

大型火电机组热工控制技术与实例 赵建立等编著 中国电力出版社, 2008  
ISBN 978-7-5083-8264-7

Ⅰ. 大… Ⅱ. 赵… Ⅲ. 火电厂—发电—热工控制—技术—实例—文集 Ⅳ. TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第31413号

中 国 电 力 出 版 社 出 版

(北京三里河路66号 100044 http://www.cepp.com.cn)

编 者 路 春 美

编 者 陈 莲 芳

2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

16开本 787毫米×1092毫米 16.25印张 395千字

ISBN 978-7-5083-8264-7 定价 36.00元

售 发 总 经



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

发 行 所 址 中 国 电 力 出 版 社

## 内 容 提 要

本书主要讲述了单元火电机组配置的计算机分散控制系统、机组协调控制系统、锅炉及汽轮机自动控制系统、辅机顺序控制系统及锅炉安全监控系统的基本概念、基本原理、基本结构、基本功能等内容。并在此基础上,以某600MW级火电机组热工控制系统为例,对实用热工控制技术及系统进行了具体分析,有益于读者全面理解和掌握大型火电机组的热工控制技术。

本书叙述理论联系实际,内容通俗易懂、循序渐进,可供从事大型火力发电机组调试、运行的工程技术人员阅读参考,也可作为高等院校热能动力工程、电力工程等相关专业的培训教材或参考书。

著者 姜春霖 袁毅刚 孙永王 立甄陆

## 图书在版编目(CIP)数据

大型火电机组热工控制技术与实例/赵建立等编著. —北京:  
中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8264-7

I. 大… II. 赵… III. 火力发电—发电机—机组—热力工程—自动控制系统 IV. TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第214113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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2009年6月第一版 2009年6月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 473千字  
印数 0001—3000册 定价 36.00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



## 前言

随着电力工业的发展,以容量大、参数高、能耗低、可靠性高、对环境污染小等为特点的600MW级大型单元机组逐渐成为我国火力发电厂的主力机组。机组容量的增大使得机组热工自动化水平的提高成为必然,这就要求相关工程技术人员必须了解和掌握大型火电机组热工自动控制系统的结构、组成、原理及功能,以达到现代发电厂所要求的“既要安全,又要高效”的运行指标。

本书讲述了单元火电机组配置的计算机分散控制系统、机组协调控制系统、锅炉及汽轮机自动控制系统、辅机顺序控制系统及锅炉安全监控系统的基本概念、基本原理、基本结构、基本功能等内容。并在此基础上,以某600MW级火电机组热工控制系统为例,对实用热工控制技术及系统进行了具体分析。本书既有理论基础知识,又突出了技术的实际应用,将对读者全面理解和掌握大型火电机组的热工控制技术十分有益。

本书曾以自编讲义的形式作为10余个火力发电厂的机组运行人员、热控专业人员的培训教材,并一直保留在相关系统内的网站上供职工长期学习参考,得到了广大现场工程技术人员、热控专业人员及相关任课教师的一致肯定。

本书共分八章,其中概述及第一~三章由王永征副教授撰写,第四~六章由赵建立讲师撰写,第七、八章由陈莲芳副教授撰写,全书由路春美教授组织、策划并统稿。在编撰过程中,高攀博士为本书收集了大量资料,山东大学热能工程专业的多名硕士研究生参与了本书的文字录入及图表编排工作,其中,孙迎、栗秀娟协助完成了部分书稿的文字校对工作。华能德州电厂、华能日照电厂、山东电力工程咨询院、山东电力研究院、华电邹县发电厂、南通电厂、黄台发电厂、山东电力二公司及东南大学等单位为本书提供了大量资料和数据。在此,作者对上述人员和单位表示最诚挚的感谢。

限于作者的水平和收集的资料有限,书中的疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年4月



# 目 录

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 前言                         | 1          |
| <b>第一章 概述</b>              | <b>1</b>   |
| 第一节 大型火电机组热工自动化的内容         | 1          |
| 第二节 大型火电机组热工自动化的发展概况       | 3          |
| 第三节 大型火电机组热工自动化的功能要求       | 5          |
| <b>第二章 分散控制系统及实例分析</b>     | <b>7</b>   |
| 第一节 分散控制系统概况               | 7          |
| 第二节 分散控制系统的结构与组成           | 13         |
| 第三节 分散控制系统的特点              | 25         |
| 第四节 TELEPERM XP 系统概述       | 27         |
| 第五节 AS620 自动化系统            | 29         |
| 第六节 OM650 过程控制及管理系统        | 41         |
| 第七节 SINEC 总线系统             | 54         |
| 第八节 ES680 工程设计及调试系统        | 61         |
| 第九节 DS670 诊断系统             | 66         |
| <b>第三章 大型火电机组计算机数据采集系统</b> | <b>70</b>  |
| 第一节 数据采集系统概述               | 70         |
| 第二节 数据采集系统的基本工作原理          | 73         |
| 第三节 数据采集系统的主要功能            | 92         |
| <b>第四章 大型火电机组协调控制系统</b>    | <b>114</b> |
| 第一节 协调控制系统的基本组成与功能         | 114        |
| 第二节 单元机组协调控制系统实例分析         | 128        |
| <b>第五章 锅炉炉子控制系统</b>        | <b>145</b> |
| 第一节 锅炉给水控制系统               | 145        |
| 第二节 锅炉汽温自动控制系统             | 161        |
| 第三节 燃烧过程自动控制系统             | 174        |
| <b>第六章 汽轮机自动控制系统</b>       | <b>190</b> |
| 第一节 数字式电液控制系统的组成           | 190        |
| 第二节 数字式电液调节系统的功能           | 194        |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 第三节  | 给水泵汽轮机控制系统 .....   | 211 |
| 第四节  | 大型汽轮机旁路控制系统 .....  | 214 |
| 第七章  | 热工保护与顺序控制 .....    | 222 |
| 第一节  | 热工保护与顺序控制基础 .....  | 222 |
| 第二节  | 锅炉机组热工保护 .....     | 229 |
| 第三节  | 汽轮机组热工保护 .....     | 237 |
| 第四节  | 单元机组热工保护 .....     | 245 |
| 第五节  | 顺序控制系统 .....       | 248 |
| 第八章  | 炉膛安全监控系统 .....     | 256 |
| 第一节  | FSSS 主要功能及组成 ..... | 256 |
| 第二节  | 燃烧器控制系统分类 .....    | 259 |
| 第三节  | 炉膛爆燃及防止 .....      | 263 |
| 第四节  | FSSS 相关设备 .....    | 268 |
| 第五节  | FSSS 逻辑控制 .....    | 281 |
| 参考文献 | .....              | 301 |

## 概 述

随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高,我国的电力工业正在以前所未有的速度发展。采用大容量和高参数是火力发电机组提高经济性的有效途径,此方法已经被世界先进国家广泛采用。随着单机发电容量的增大和电网容量的迅速扩大,我国已进入了大电网、大机组、高参数、高度自动化的时代。由于高参数、大容量机组发展迅速,装机数量日益增多,因此对机组自动化的要求也日益提高,以“4C”(Computer、Control、Communication CRT)技术为基础的现代火电机组热工自动化技术也相应得到了迅速发展。其中,最具有代表性的是20世纪70年代中期以微机为基础的分散控制系统(DCS)的问世及其技术的日臻完善,并广泛应用于大型火电机组的自动控制中,大大提高了火电机组的热工自动化技术的水平,经济效益和社会效益十分显著。



### 第一节 大型火电机组热工自动化的内容

随着火电机组容量的增大、参数的提高,对于机组安全经济运行的要求越来越高。热工自动化技术的运用对于提高火电机组的安全经济运行水平是至关重要的,它可实现火电机组在启停工况、正常运行工况、参数异常工况和运行危急工况下的自动检测、控制和保护功能,以保证火电机组的安全、经济运行。大型火电机组热工自动化技术主要包括自动检测、自动调节、顺序控制、自动保护四个方面的内容。

#### 一、自动检测

自动检测是火电机组热工自动化的基础。它自动地检查和测量反映生产过程运行情况的各种热力参数以及生产设备的工作状态,以监视生产过程和运行变化趋势,为运行人员的操作提供依据,为其他自动控制装置提供基础数据。

锅炉、汽轮机装有大量的热工检测仪表,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、积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、经济地运行。目前,大型锅炉的自动检测项目主要是:主蒸汽和再热蒸汽的压力、温度,给水压力、温度、流量,汽包水位,炉膛压力,烟气含氧量,排烟温度,一、二次风温、风压,燃料量,以及反映汽水系统各受热段工质状况的压力、温度等参数。大型汽轮机的自动检测项目包括:蒸汽压力、温度,真空度,监视段抽汽压力,润滑油压,调速油压,转速,振动,转子轴向位移,转子与汽缸的相对热膨胀,主轴偏心度,轴承温度,润滑油温度,推力瓦温度等。

完善的自动检测系统是保证机组安全经济运行必不可少的手段。随着技术的进步,自动检测装置的测量范围不断扩大,测量水平在不断提高,大型机组常采用巡回检测的方式,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。近几年来,工业电视作为辅助检测手段在火电厂中得到应用,如应用工业电视显示汽包水位、监视炉膛燃烧状况、监视烟囱排烟状况,还可以用于监视锅炉炉膛水冷壁的工作状况等。

## 二、自动调节

自动调节是指在机组正常运行的工况下,对机组的运行参数进行自动、连续地调节,使之维持在规定的范围内或按一定的规律变化,以控制机组的运行工况。如维持汽包水位为给定值,调整机组的出力满足电网负荷的要求等。

大型锅炉自动调节的主要项目有:给水自动调节,燃烧自动调节(包括燃料调节、送风调节、引风调节),过热器和再热器蒸汽温度自动调节等;大型汽轮机除具备转速自动调节系统以外,一般还有汽封汽压、旁路系统、凝汽器水位等自动控制系统。随着单元机组容量、电网容量的不断增大,以及对电网调频调峰要求的提高,大型单元机组既要快速响应负荷变化,又要稳定运行参数,而机组负荷的变化必然反映到机前主蒸汽压力的变化,所以必须把锅炉—汽轮发电机组作为一个整体进行控制,通过控制回路,协调锅炉与汽轮机组的工作状态,同时给锅炉和汽轮机控制系统发出指令,以达到既能快速响应负荷变化的要求,又能达到稳定运行参数的目的。对于大型机组的自动调节系统,还应具有逻辑控制功能,以便根据机组的工作状况,决定机组的运行方式,并能实现全程调节和滑参数调节。

## 三、顺序控制

顺序控制是指根据预先拟定的步骤、条件或时间,自动地对生产过程中的机组设备和系统依次进行一系列的操作,以改变设备和系统的工作状态(如风机的启停、阀门的开关等)。

顺序控制主要用于主、辅机的启停操作,以及部分系统的运行操作和事故处理。每项顺序控制的内容和步骤都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的,并用自动装置实现。这种装置称为顺序控制装置,它必须具备逻辑判断能力和联锁保护功能。在进行每一项操作后,必须先判明这一步操作已实现,并为下一步操作创造好条件,然后方可自动进入下一步操作。否则,中断正在进行的顺序控制操作,同时发出报警信息。

大型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指汽轮机及辅机的启动和停机。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。

## 四、自动保护

自动保护是指当机组在启停或运行过程中发生可能危及设备或人身安全的工况时,为防止事故发生或事故扩大,热工监控设备自动采取的保护动作措施。自动采取的保护动作有三种类型:①发出报警信号,向操作人员提示机组运行中发生的异常情况;②产生联锁动作,必要时按既定程序自动启动设备或自动切除某些设备及系统,使机组维持原负荷运行或减负荷运行;③进行跳闸保护,当发生重大故障,危及机组设备或人身安全时,实施跳闸保护,停止机组(或某一部分设备)运行,避免事故扩大。

随着机组容量的增大,热力系统变得复杂起来,操作控制也日益复杂,对自动保护的要求也越来越高。大型火电机组的自动保护包括锅炉自动保护、汽轮机自动保护和机炉电大联锁保护三部分。锅炉自动保护的主要内容有:锅炉主蒸汽压力保护,汽包锅炉水位保护,直



流锅炉断水保护、再热器保护、炉膛灭火自动保护、总燃料跳闸保护,以及辅机启停、事故状态的联锁保护等;汽轮机自动保护主要包括:汽轮机轴向位移保护,缸胀和差胀保护,超速保护,振动保护,主轴挠度保护,低油压保护,低真空保护和给水加热器保护等;机炉电大联锁保护是指锅炉、汽轮机、发电机三大主机之间及其与给水泵、送风机、引风机等主要辅机之间的联锁保护,大联锁保护的内容是综合三大主机和主要辅机在各自独立发生故障时,对自身和其他主、辅机及系统所必须实施的自动保护措施。

上述热工过程自动化四个方面的主要内容被有机地安排在火电机组的自动控制系统中,并由相关的功能系统来实现。



## 第二节 大型火电机组热工自动化的发展概况

火电机组热工自动化是随着火力发电事业的发展而发展起来的。随着火电机组容量的不断增大、参数的不断提高,从亚临界到超临界乃至超超临界机组,被控对象的生产规模不断扩大,复杂程度不断增加,对火电机组的热工自动化提出了更高、更严格的要求,也进一步促进了火电厂热工自动化的快速发展。热工自动化的功能已从单台辅机和局部热力系统发展到整个单元机组的监测与控制,并且逐步与电网调度自动化相协调,实现电网的自动发电控制。从总体的发展进程来看,火电厂热工自动化系统经历了“分散—集中—集散”的过程。相应地,大型火电机组热工自动化的发展大致可分为以下几个阶段:

### 一、就地控制阶段

在 20 世纪 20~30 年代,火力发电机组的容量还不是很大,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,热工自动化水平很低,仅能对低参数、小容量的发电机组实现简单的自动控制,如对锅炉蒸汽压力、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控制对象所在的车间,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,劳动强度大,安全性差,所应用的控制设备大都是尺寸较大的基地式仪表。这种基地式仪表的特点是就地安装、单点监视、单回路调节、根据被控对象的工艺系统进行分散控制和分散管理。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分散就地操作模式。

### 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、炉的运行,加强机组的操作管理和事故处理,满足负荷变化对热力设备的要求,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,采用局部集中控制方式,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。在这个阶段对仪表的结构进行了改进,加强了仪表之间的联系,将仪表分成若干个基本的功能单元,通过适当的组合连接,构成适合工程需要的监控系统,增强了仪表应用的灵活性。特别是电动单元组合仪表,将各种非电量信号通过变送器转换成标准的电量信号,统一、标准的电信号便于信号的远距离传输和处理,使现场的各种监视和控制信号很容易传输到发电机组的集控室进行集中监视和操作,但对过程的控制仍是由分散的控制单元进行单回路控制。因此这一阶段的特点是分散控制、集中管理。国外 20 世纪 40~50 年代和我国 60

~70年代初期建设的火力发电厂大都采用这种局部集中控制方式。

进入20世纪50年代后,随着火电机组容量的增大,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,随着仪表和控制设备尺寸的缩小,以及新型巡回检测仪表和局部程控装置的出现,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,也有以微处理器为核心的数字式仪表。单元组合仪表的外形仍是传统意义上的仪表,具有信号的连接、处理、显示、操作等功能。组件组装式仪表将上述的仪表功能进行了进一步的分散,将功能部件做成统一尺寸和接口的模块,再用总线将适当选用的模块连接起来构成适合工程需要的监控系统,使控制设备更加模块化、标准化。特别值得一提的是数字组件组装式仪表,它采用了微处理器技术,将信号的处理功能由硬件改为软件来完成。它和数字式单回路调节器成为自动控制设备从常规控制仪表走向分散控制系统的过渡产品,对数字控制技术在自动控制领域的应用和普及起到了开路先锋的作用。这个阶段的特点仍是分散控制和集中管理。国外20世纪50~60年代以及我国20世纪70~80年代建设的火力发电厂大都采用这种机组集中控制方式。

### 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,生产系统日趋复杂。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,火力发电厂自动化面临着严峻的挑战。同时,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及其在工业领域的渗透,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。随着半导体技术与集成电路技术的发展,出现了专用于工业过程控制的小型计算机。受当时技术条件的限制,过程控制中一般采用中、小型计算机,价格昂贵,可靠性低。在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。由于认识上的偏差,将自动化控制系统的功能都集中到计算机上实现,这个阶段计算机控制的特点是集中控制、集中管理。由于当时的硬件可靠性还不够高,且所有的监视和控制任务都由一台计算机来完成,故造成危险集中,一旦计算机系统出现故障,将导致生产过程瞬间全面瘫痪,危及设备安全。为了提高控制系统的可靠性,常常要另外设置一套备用的模拟式控制系统或备用计算机,这样就造成了系统的投资过高,限制了其应用发展。

#### 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。自1975年美国霍尼威尔(Honeywell)公司研制的第一套分散控制系统TDC-2000问世以来,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。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。

分散控制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。它以计算机网络为骨干,将若干执行不同任务、分散安装在不同地方的微型计算机连接起来,分层实现自动化系统的各种功能,面向过程的控制器完成现场信息的采集、处理、控制算法计算和控制输出的直接数字控制;以 CRT 显示器为中心的显示操作站面向运行人员实现对过程控制的集中管理;上层的计算机基于过程的实时数据进行企业级的决策处理;计算机网络使得各种信息得到充分的共享。计算机分散控制系统的最大特点是分散控制、集中管理、管控一体化。

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,分散控制系统在大型火电机组中得到了普遍应用,并覆盖了整个发电机组的所有自动化功能,大大提高了火电机组热工自动化的水平。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。



### 第三节 大型火电机组热工自动化的功能要求

大型火电机组的特点是监视点多、参数变化速度快和控制对象数量大,而各个控制对象之间又相互关联,传统的炉、机、电分别监控方式很难满足现代大型火电机组自动化技术的要求,必须由高度计算机化的机组集控取而代之。自动控制装置在机组启动时,根据启动要求进行控制,启动后按较高的热效率、较低的煤耗和厂用电稳定运行,当运行出现异常时,自动控制装置能迅速按照预先规定的顺序进行处理,以尽快恢复正常运行,当故障发展到可能危及设备或人身安全时,采取停炉停机等保护措施,避免事故进一步扩大。事实证明,采用先进的热工自动化技术是提高机组安全经济运行水平的行之有效的措施。

从应用功能上来看,大型火电机组的热工自动化主要着重于控制(Control)、报警(Alarm)、监测(Monitor)、保护(Protect)四个方面,简称 CAMP。这四个方面既相互独立又相互联系,共同完成火力发电机组的自动控制任务。例如:运行参数由监测装置进行自动监视,当参数异常时自动发出报警信号,同时调节装置进行自动调节,而当设备异常或运行参数达到了危险值时,保护装置动作,以保证设备及人身安全。

具体来说,大型火电机组热工自动化的要求包括:

(1) 在机组正常运行过程中,自动化系统能根据机组运行的要求,自动将运行参数维持在所要求的给定值(或设定值)上,以取得较高的运行效率(如热效率)和较低的消耗(如煤耗、厂用电率等)。

(2) 在机组运行工况出现异常,如参数越限、辅机跳闸时,自动化设备除及时报警外,还能迅速、及时地按预定的规律进行处理,以保证机组设备的安全,尽快恢复正常运行,减少机组停运次数。

(3) 当机组从运行异常发展到可能危及设备或人身安全时,自动化设备能适时采取果断措施进行处理,以保证设备及人身安全。如锅炉总燃料跳闸(MFT)、汽轮机监测系统(TSD)和汽轮机紧急跳闸系统(ETS)等。

(4) 在机组启停过程中,自动化设备能根据机组启动时的热状态进行相应的控制,以避免机组产生不允许的热应力而影响机组的运行寿命。如汽轮机的计算机应力估算和寿命管理

系统、汽轮机自启停系统 (TAS) 等。

(5) 随着电网的发展,对自动发电控制 (AGC) 的要求日益严格。AGC 是现代电网控制中心的一项基本和重要功能,是电网现代化管理的需要。要实现 AGC,则要求单元发电机组必须有较高的自动化水平,单元机组协调控制系统必须能投入稳定运行。

为了满足大型火电机组热工自动化的要求,必须有相应的现代自动化功能系统与之相适应。一般大型单元机组的热工自动化都应包括下列主要功能系统:

数据采集系统 (Data Acquisition System, DAS) 或计算机监视系统 (Computer Monitoring System, CMS)。

机组协调控制系统 (Coordinated Control System, CCS) 或模拟量控制系统 (Modulation Control System, MCS)。

锅炉炉膛安全监控系统 (Furnace Safeguard Supervisory System, FSSS) 或称燃烧器管理系统 (Burner Management System, BMS)。

辅机顺序控制系统 (Sequence Control System, SCS)。

汽轮机旁路控制系统 (ByPass Control system, BPC)。

汽轮机电液控制系统 (Digital Electric Hydraulic control system, DEH) 或汽轮机控制系统 (Turbine Control System, TCS)。

给水泵汽轮机电液控制系统 (Micro Electro Hydraulic control system, MEH)。

汽轮机安全监视仪表 (Turbine Supervisory Instrument, TSI)。

汽轮机自启停系统 (Turbine Automatic Startup or shutdown control system, TAS)。

汽轮机紧急跳闸系统 (Emergency Trip System, ETS)。

电气监控系统 (Electric Control System, ECS)。

辅助车间控制网络系统 (Balance of Plant, BOP)。

## 分散控制系统及实例分析

目前,世界各国的发电设备都在向超高参数、大容量、高效率的单元机组发展,热力系统和主、辅设备变得更加复杂。为了保证机组的安全经济运行,需要监视、控制的参数和在规定时间内完成的操作项目大大增加,因而对机组自动化的要求也日益提高。大型火电单元机组的特点之一就是监视点多(600MW机组I/O点多达3000~5000个,随着发电机—变压器组和厂用电源等电气部分的监视纳入分散控制系统,I/O点已超过7000个)、参数变化速度快和控制对象数量大(600MW机组超过1300个),而各个控制对象之间又相互关联,常规的模拟仪表控制系统和计算机集中控制系统已很难满足现代大型火电机组自动化技术的要求,新一代控制系统——分散控制系统(Distributed Control System, DCS)得到了迅速发展和广泛应用。

分散控制系统以其通用性强、系统软硬件组态灵活、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单规范、调试方便、运行安全可靠等优点,在国内外火电机组中得到了广泛应用。分散控制系统通过高速数据通信网络将各个功能站(工作站、分散处理单元或过程控制单元)按一定的拓扑结构连接起来,共同完成各种采集、控制、显示、操作和管理任务,实现火电机组对过程控制的全部功能要求。本章以德国西门子(Siemens)公司推出的面向大型火电厂的分散控制系统——TELEPERM XP仪表控制系统为例,对分散控制系统的结构、组成、功能、特点等进行全面的分析说明。



### 第一节 分散控制系统概况

分散控制系统(DCS)或称集散控制系统(Total Distributed Control System, TDCS),是以微处理器( $\mu\text{P}$ )为核心,采用数据通信和CRT显示技术,对生产过程进行集中操作管理和分散控制的系统,有时也称综合分散型控制系统或分布式计算机控制系统。分散控制系统是计算机技术、控制技术、通信技术、CRT技术(简称“4C”技术)相结合的产物。

分散控制的基本思想是“控制分散、管理集中”,为此,分散控制系统采用多个微型计算机构成具有特定功能的多种工作站,各工作站可独立或分别完成数据采集与处理、监视、控制等任务,还可进行在线调试和故障自诊断,并且带有人机接口,以便实现功能、地理和负载上的分散。若局部的工作站出现故障,仅使系统功能略有降低,不会影响整个系统的运行,从而达到分散危险的目的。分散系统的各个工作站作为计算机局部网络的一个节点,通过传输介质按一定的网络控制方式和相应的通信协议互相通信,共享系统资源(主要是数据资源),使分散系统各部分协调工作,成为一个统一的整体,实现集中显示、报警和操作、管理,并可实现复杂规律的过程控制。

## 一、分散控制系统的产生

随着工业现代化的发展,生产规模不断扩大,生产工艺日趋复杂,对实现生产过程自动控制的系统提出了更高的要求。不仅要求系统具有优良的控制性能,以保证生产过程的经济安全运行,而且要求系统具有更高的可靠性、可维护性,较高的性能价格比,灵活的构成方式,方便的人机联系和操作方法等。模拟仪表控制系统和计算机集中控制系统都很难同时满足以上诸多的要求。分散控制系统就是在现代大型工业生产日益复杂的过程控制需求的推动下,在总结和吸取常规模拟仪表控制系统和早期计算机控制系统优点的基础上,综合应用现代科技成果(“4C”技术)而发展形成的,是多门类学科互相渗透、互相促进、综合发展的产物。

20世纪70年代初期,微电子技术取得重大突破,大规模集成电路的发展,微型计算机和微处理器的出现,为数字控制提供了体积小、功能强、可靠性高、价格低廉的各类半导体芯片和计算机系统,为发展分散控制系统奠定了坚实的物质基础。另外,CRT显示技术和数据通信技术的进一步发展,也为分散控制系统的研究提供了更加完备的条件。在控制论、信息论、系统工程等理论的指导下,以综合自动化为目标,按照分解自治和综合协调的设计原则,经过数年努力,美国的霍尼威尔(Honeywell)公司于1975年率先研制出世界上第一套计算机分散控制系统TDC-2000。随后各种分散控制系统相继出现,不同厂家、不同形式的分散控制系统产品陆续投入商业运行。到目前为止,世界上已有几十家公司推出了近百个分散控制系统品种,且有几代产品。

## 二、分散控制系统的发展

自1975年第一套分散控制系统TDC-2000问世以来,分散控制系统以惊人的速度向着纵深方向发展,其发展过程到目前大致可分为四个阶段。

### 1. 第一阶段(20世纪70年代中期)

这是分散控制系统的初创阶段。这一时期的典型产品除美国霍尼威尔(Honeywell)公司的TDC-2000外,还有美国福克斯波罗(Foxboro)公司的SPECTRUM系统、贝利(Bailey)公司的NETWORK-90系统、西屋(Westing House)公司的WDPF系统、泰勒(Taylor)公司的MOD III系统、德国西门子(Siemens)公司的TELEPERM M系统、日本北辰公司的900/TX系统、横河公司的CENTUM系统、日立公司的UNITROLBΣ系统、东芝公司的TO-SDIC系统,英国肯特(Kent)公司的P4000系统等。这些系统即第一代分散控制系统,其基本结构如图2-1所示。

第一代分散控制系统一般由以下五部分组成:

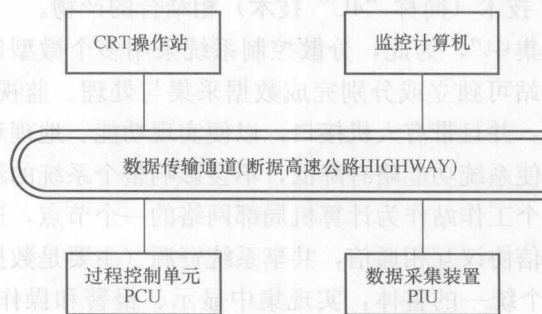


图 2-1 第一代分散控制系统基本结构

(1) 具有数据处理能力的数据采集装置,或称过程接口单元(Process Interface Unit, PIU)。

(2) 具有较强运算能力和各种控制规律、可独立完成回路控制任务、实现分散控制的现场控制站,或称过程控制单元(Process Control Unit, PCU)。

(3) 具有集中显示、集中操作功能的CRT操作站。

(4) 具有专用通信协议的数据高速公路。

(5) 具有大规模的复杂的运算能力、多输入多输出控制功能、管理全系统所有信息和实现全系统优化的监控计算机。

这一时期的产品在技术上尚存在一定的局限性,虽然系统的控制单元得到了有效的分散,但还存在以下缺点:①控制单元的管理、全系统的信息处理以及显示和操作管理等功能都集中于监控计算机;②系统还采用了8位或16位微处理器;③通信所采用的是初级工业控制局部网络;④系统专用的通信协议限制了其他系统的加盟;⑤有的系统还不具备顺序控制的功能。

## 2. 第二阶段(20世纪80年代初、中期)

这是分散控制系统的成长阶段。20世纪80年代,超大规模集成电路集成度的提高、微处理器运算能力的增强、计算机网络技术的进步以及市场需求的推进,给分散控制系统的发展带来了新的生机,分散控制系统的第二代产品替代第一代产品正是这一成长阶段的具体体现。

第二代分散控制系统,有的是新设计开发的,有的是在第一代产品的基础上引进新技术、扩展新功能、提高可靠性升级而成的。代表产品有:霍尼威尔公司的TDC-3000、贝利公司的第二代NETWORK-90、泰勒公司的MOD 300、日立公司的HIACS-3000、西屋公司的WDPF-II、横河公司的YEWTTORIA、L&N公司的MAX-1000、西门子公司TELEPERM ME、ABB公司的PROCONTROL-P等。第二代分散控制系统的基本结构如图2-2所示。第二代分散控制系统一般由以下几个主要部分组成:

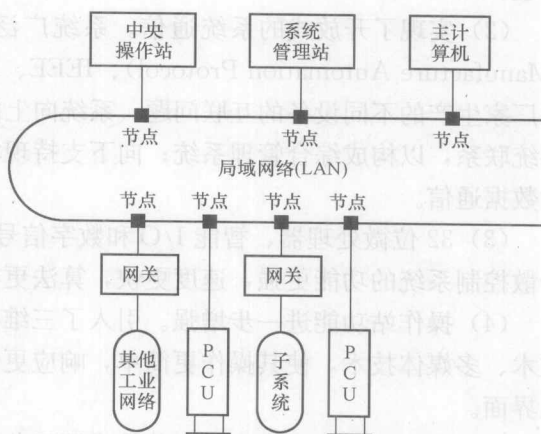


图 2-2 第二代分散控制系统的基本结构

(1) 局域网。它比一般工业控制网络的传输速率高,传输差错率低,扩展能力强,并具有良好的可靠性、有效性和可恢复性,是分散控制系统各组成部分的纽带和主动脉。

(2) 多功能现场控制站(PCU)。它是在第一代产品的基础上采用更先进的16位微处理器,更大存储容量的ROM、RAM或EPROM芯片,充实更丰富的控制功能(顺序控制、批量控制、监督控制、数据采集与处理等)而形成的过程控制单元。

(3) 增强型中央操作站。它采用了32位微处理器,大大加强了系统集中监视操作、工艺流程显示、任意格式的报表打印、信息调度和管理等功能,为用户提供了更加完善和友好的人机界面,使得运行人员、维护人员以及工程技术人员对生产过程和系统状态的了解更为简单明确,操作更为方便。

(4) 主计算机(或称管理计算机)。它是用来实现高级过程控制、决策计算、优化运行、信息贮存、系统协调等综合管理核心。

(5) 系统管理站(或称系统管理模块)。为克服主计算机和增强型中央操作站的某些局限性,加强整个分散控制系统的管理功能,提高管理过程的响应能力,第二代分散控制系统采用了专用的硬件模块组成了系统管理站。系统管理站包括了诸如应用单元模块、计算单元

模件、历史单元模件、系统优化模件等等。

(6) 网间连接器 (或称网关)。它是局域网与系统子网络或其他工业网络的接口,起着通信协议翻译、通信系统转接、系统功能扩展的作用,加强了分散控制系统的开放程度。

第二代分散控制系统的特点是:产品设计走向标准化、模块化、工作单元结构化;控制功能得到分散;可靠性进一步提高;系统的适用性及其扩充的灵活性增强。

### 3. 第三阶段 (20 世纪 80 年代中、后期)

这是分散控制系统的完善阶段。随着信息采集、加工、传输和存储等信息处理技术的迅速发展,以及与之有关的通信技术、仿真技术、知识工程、人工智能及其相应的支持软件和应用软件相继成熟,促使分散控制系统的规模、控制功能和管理功能不断扩展。概括地讲,这一时期分散控制系统具有以下特点:

(1) 为适应信息社会发展的需要,提高企业综合管理水平和整体经济效益,分散控制系统加强了信息管理功能,与主计算机相联,可构成管理信息系统,能实现更高层次的信息管理。

(2) 实现了开放式的系统通信。系统广泛采用了标准化的通信网络协议,例如 MAP (Manufacture Automation Protocol)、IEEE、Ethernet 和现场总线 (Field Bus),解决了不同厂家生产的不同设备的互联问题。系统向上能与 MAP 和 Ethernet 接口,便于与其他网络系统联系,以构成综合管理系统;向下支持现场总线,使现场控制设备之间能实现可靠的实时数据通信。

(3) 32 位微处理器、智能 I/O 和数字信号处理器应用于现场控制站 (节点工作站),使分散控制系统的功能更强,速度更快,算法更丰富,更便于采用先进的控制策略。

(4) 操作站功能进一步增强。引入了三维图形显示技术、多窗口显示技术、触摸屏显示技术、多媒体技术,使其操作更简单,响应更快捷。大屏幕显示技术的应用进一步改善了人机界面。

(5) 专用集成电路和表面安装技术用于分散控制系统的硬件设计中,使板件上的元件减少,板件体积更小,可靠性更高。

(6) 提供了把个人计算机 (PC) 和可编程控制器 (PLC) 连入分散控制系统的硬件接口和应用软件,提高了应用系统构成的选择性和灵活性,同时为建立低成本的分散控制系统开辟了新途径。

(7) 过程控制组态采用了 CAD 方法,使其更为直观方便。

(8) 广泛采用实时分散数据库,引入专家系统和人工智能,实现自整定、自诊断功能等。

第三代分散控制系统基本结构如图 2-3 所示。这一时期的代表产品有 MAX 公司的 MAX-1000+PLUS、霍尼威尔公司的 TDC-3000/PM、贝利公司的 INFI-900PEN、福克

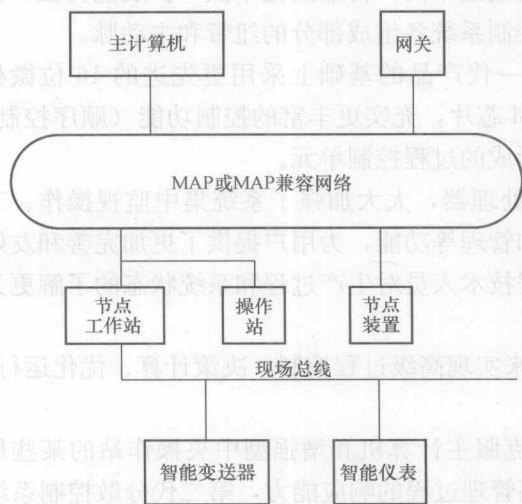


图 2-3 第三代分散控制系统基本结构



斯波罗 (Foxboro) 公司的 I/A series、西屋公司的 WDPF-III、横河公司的 CENTUM-XL、西门子公司的 TELEPERM XP、ABB 公司的 PROCONTROL-P、德国 Hartman and Braun 公司的 Contronic-E 等。

此后分散控制系统仍在不断融合多种先进技术,使其在规模、功能、可靠性、柔软性、适应性、灵活性、实时性、扩展性、经济性等方面不断完善和提高,促进分散控制系统向着模块化、标准化、开放化、综合化、集成化、智能化的方向高速发展。

#### 4. 第四阶段 (20 世纪 90 年代初以后)

这是分散控制系统日益成熟和进一步发展的阶段。20 世纪 90 年代初,受信息技术 (网络通信技术、计算机硬件技术、嵌入式系统技术、现场总线技术、各种组态软件技术、数据库技术等) 发展的影响,以及用户对先进的控制功能与管理功能需求的增加,各 DCS 厂商纷纷提升 DCS 系统的技术水平,并不断丰富其内容,以霍尼威尔最新推出的 Experion PKS (过程知识系统)、Emerson 公司的 PlantWeb (Emerson Process Management)、福克斯波罗公司的 A2、横河公司的 R3 (PRM-工厂资源管理系统) 和 ABB 公司的 Industrial IT 系统为标志的新一代 DCS 已经形成。第四代分散控制系统以管控一体化的形式出现,广泛采用了开放的工作站和客户机/服务器 (Client/Server) 结构,增加了工厂信息网 (Intranet), 并可与国际互联网 Internet 相联; 系统软件更丰富。

第四代 DCS 的最主要标志是 Information (信息) 和 Integration (集成)。信息化体现在各 DCS 已经不是以控制功能为主的控制系统,而是一个充分发挥信息管理功能的综合平台系统。DCS 提供了从现场到设备、从设备到车间、从车间到工厂、从工厂到企业集团整个信息通道。这些信息充分体现了全面性、准确性、实时性和系统性。DCS 的集成性则体现在两个方面: 功能的集成和产品的集成。过去的 DCS 厂商基本上是以自主开发为主,提供的系统也是自己的系统。当今的 DCS 厂商更强调系统的集成性和方案能力,DCS 中除保留传统 DCS 所实现的过程控制功能外,还集成了 PLC (可编程逻辑控制器)、RTU (采集发送器)、FCS、各种多回路调节器、各种智能采集或控制单元等。此外,各 DCS 厂商不再把开发组态软件或制造各种硬件单元视为核心技术,而是纷纷把 DCS 的各个组成部分采用第三方集成方式或 OEM 方式。

### 三、分散控制系统的应用

分散控制系统问世后,国外各控制系统制造厂商都先后推出了各自的产品,并且很快在电力、石化、冶金等行业得到了广泛应用,并向其他领域渗透。DCS 以良好的技术效果和经济效益,显示出强大的竞争力,被公认为是当今最先进的过程控制系统。到 20 世纪 80 年代末,美、日、西欧、加拿大等新建电厂几乎全部采用了不同类型的分散控制系统。

在我国,20 世纪 80 年代后期由华能国际电力开发公司整套引进的机组,也都配套引进了分散控制系统。例如,南通、上安电厂 350MW 机组采用了意大利 Esacontrol 公司引进美国 Bailey 公司技术生产的 NETWORK-90 微机分散控制系统;大连、福州电厂 350MW 机组采用日本 MIDAS-8000 微机分散控制系统。这些机组的热工自动化水平大致代表了当时国际的先进水平。20 世纪 80 年代末期引进、90 年代初投产的石洞口二厂 600MW 超临界机组采用加拿大生产的 NETWORK-90 微机分散控制系统,其热工自动化水平与国际上热工自动化发展同步,代表了 20 世纪 90 年代初的国际先进水平。这些系统的应用,在不同程度上提高了单元火力发电机组的数据采集与处理、生产过程控制、逻辑控制、监视报警、联锁保