



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

REGONG BAOHU
YU SHUNXU KONGZHI

热工保护 与顺序控制

(第二版)

王志祥 黄 伟 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Thermal Energy & Power



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

REGONG BAOHU
YU SHUNXU KONGZHI

热工保护 与顺序控制

(第二版)

王志祥 黄 伟 编著
苏辛果 徐伟勇 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书主要包括热工保护与顺序控制的基础知识、锅炉和汽轮发电机的热工保护、火电机组的顺序控制等内容。本书在题材的选择上注重先进性、实用性和普遍性,素材大多取自 600MW 火力发电机组,有些取自引进 900MW 超临界压力机组和 1000MW 超超临界压力机组的生产现场。

本书可作为普通高等院校能源动力类相关专业的教材,也可作为高职高专电力技术类相关专业的教材,同时可供热控工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工保护与顺序控制/王志祥等编著. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7359 - 1

I. 热… II. 王… III. ①热电厂—热工操作—保护装置—高等学校—教材②热电厂—顺序控制—高等学校—教材 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123698 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1995 年 11 月第一版

2008 年 8 月第二版 2008 年 8 月北京第八次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 480 千字

定价 32.00 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

热工保护和顺序控制是热工自动化的重要组成部分。本书详细阐述了大型火电机组热工保护和顺序控制系统的结构、原理及现场应用情况,对其他热工控制系统也作了简要的介绍。

本书在题材的选择上注重了先进性、实用性和普遍性。本书的素材均取自于 600MW 亚临界或超临界压力机组,以及 900MW 超临界压力机组、1000MW 超超临界压力机组的生产实际现场,详细阐述了开关量控制系统的基础理论,分析了锅炉炉膛安全监控系统(FSSS)、汽轮机监测保护仪表(TSI)、汽轮机瞬态数据管理系统(TDM)、紧急跳闸系统(ETS)、旁路控制系统(BPS)、火电机组的顺序控制系统等系统的原理、结构和功能。本书从工程实际需要出发,力求理论与实际相结合,内容涉及面较广,使学生能从总体概念、基本工作原理、安装和调试等方面全面地掌握本课程的基本知识,为今后工作打下扎实的基础。同时,对热工自动化专业人员而言,本书也是一本能结合生产实际的重要参考书。

本书是在王志祥主编的《高等学校教材 热工保护与顺序控制》的基础上修订的,内容更注重先进性和实用性。黄伟副教授编写了本书第四、五章,王志祥教授级高级工程师编写了绪论及第一~三章,并进行了全书统稿。华东电力设计院苏辛果教授级高级工程师和上海交通大学徐伟勇教授担任本书主审并提出了许多宝贵的意见和建议。在编写过程中还得到其他同仁的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月

第一版前言

本书是根据“能源部高等专科热能动力类专业教学组研究会”上讨论通过的“热工保护与顺序控制”教材编写提纲编写的,作为高等专科学校电厂热工过程自动化专业“热工保护和顺序控制”的必修教材,同时也可供有关人员参考。

大机组热工自动化包括控制、报警、监测和保护等内容,简称 CAMP。热工保护和顺序控制是其中的重要组成部分。本书详细阐述了大型火电机组的热工保护和顺序控制系统的结构、原理及现场应用情况,分析了自动报警系统的工作原理及特点,对电厂热工控制设计也作了简要介绍。

本书在题材的选择上注重了先进性、实用性和普遍性。本书阐述了开关量控制系统的基础理论,重点讨论了火电机组普遍应用的热工保护系统和顺序控制系统。本书从实际工程需要出发,力求理论与实际相联系,内容涉及面较广,使学生能从总体概念、基本工作原理、安装和调试等方面较全面地掌握本课程的基本知识。

本书第六章和第七章由黄伟编写,其他章节均由王志祥编写,并进行了全书统稿。华东电力设计院胡惠源高级工程师主审了全书,提出了许多宝贵意见和建议,谢冰贞同志做了大量具体工作,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加上编写时间短促,书中难免存在缺点和错误之处,敬请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

1994 年 6 月

目 录

前言

第一版前言

绪论	1
第一章 热工保护与顺序控制的基础知识	8
第一节 分散控制系统(DCS)	8
第二节 可编程序控制器(PLC)	19
第三节 热工保护与顺序控制的基本概念	24
第四节 开关量控制的基础部件	28
第五节 开关量信号的可靠性	43
第二章 锅炉的热工保护	51
第一节 锅炉汽水系统热工保护	51
第二节 炉膛爆炸的原因及其防止措施	61
第三节 火焰检测器	64
第四节 炉膛安全监控系统(FSSS)的作用和组成	72
第五节 FSSS系统的逻辑程序	75
第六节 主燃料跳闸(MFT)	84
第七节 辅机故障减负荷(RB)和机组快速甩负荷(FCB)	88
第三章 汽轮发电机组的热工保护	91
第一节 传感器	92
第二节 旋转机械状态参数的测量	106
第三节 汽轮机监测保护仪表(TSD)	132
第四节 汽轮机瞬态数据管理系统(TDM)	152
第五节 紧急跳闸系统(ETS)	173
第六节 数字电液控制系统(DEH)	181
第七节 汽轮机组的其他热工保护	193
第四章 旁路控制系统	200
第一节 概述	200
第二节 高压旁路控制系统	203
第三节 低压旁路控制系统	205
第四节 旁路容量的选择和工程实例	206
第五章 火电机组的顺序控制	211
第一节 概述	211
第二节 辅机顺序控制	215
第三节 输煤系统顺序控制	220

第四节	化学水处理系统顺序控制	226
第五节	除灰系统顺序控制	230
第六节	脱硫系统顺序控制	244
第七节	脱硝系统的顺序控制	279
第八节	辅助系统的联网控制	291
附录	热工保护与顺序控制常用名词术语缩写表	302
参考文献		306

绪 论

近年来,我国电力工业飞速发展,机组容量不断扩大,到目前为止,全国已有几百台 600MW 的机组陆续投入了运行;数十台 1000MW 机组正在建设或已投入运行。热工参数不断提高,从过去的亚临界参数火电机组到目前的超临界、超超临界参数的单元机组相继投入运行。机组的热效率不断提高,运行成本不断降低,机组自动化水平越来越高。

一、单元机组热工自动化

在现代大型火电厂中,一般以每台机组的锅炉、汽轮机、发电机及其辅助设备构成一个单元系统,各机组之间是相对独立的。单元机组热工自动化主要是对以上设备进行自动控制。控制的目的是使机组自动适应工况的变化,保证机组安全、经济地投入运行。因为电能无法储存,电厂的生产过程必须是连续的,而且随时适应外界负荷变动的需要,所以火电厂对自动化的要求特别高。

20 世纪 70 年代以前,采用常规仪表(模拟量显示仪表、模拟量调节仪表、继电器和控制开关等)进行监控,控制效果及系统稳定性较差。20 世纪 80 年代后期,随着过程控制技术、自动化仪表技术和计算机网络技术的成熟和发展,控制技术先后出现了 PLC(可编程程序控制器)、DCS(分散控制系统)、FCS(现场总线控制系统)三大类型的控制系统,使电厂自动化水平有了飞速的发展。

火电厂热力过程自动化(简称电厂热工自动化)是保证所有电厂热力系统主要设备以及辅助车间和系统的安全可靠、经济运行而设置的检测、监视、控制、保护、连锁、报警功能的总称。电厂热工自动化的诸多功能是由不同的仪表和控制装置完成的,它们通称为电厂热工自动化系统或电厂仪表控制(I&C)系统。热工保护与顺序控制是电厂热工自动化重要的组成部分,它的重点是研究保护、连锁及顺序控制。

1. 可编程序控制器(PLC)

可编程序控制器 PLC(Programmable Logical Controller)是从开关量控制发展到顺序控制、运算处理、逻辑控制、定时控制、计数控制、顺序(步进)控制、连续 PID 控制、数据控制(PLC 具有数据处理能力)、通信和联网等功能。可用一台 PC 为主站,多台同型号 PLC 为从站。也可以一台 PLC 为主站,多台同型号 PLC 为从站,构成 PLC 网络,这样使用户编程更方便。随着 PLC 技术的发展,功能不断增强。有些厂家采用多级控制,有些厂家用 PLC 构成分散控制系统。

火电厂自动控制中,PLC 主要用于辅助系统的顺序控制,如火电厂的输煤、化学水处理、除灰出渣、脱硫和脱硝等系统的顺序控制。

2. 分散控制系统(DCS)

分散控制系统 DCS(Distributed Control System)是 20 世纪 70 年代发展起来的控制系统,它采用集中监视、操作、管理和分散控制的模式,过去有一段时间被称为集散控制系统。它既有计算机计算精度高、响应速度快的优点,又有仪表控制系统安全可靠、维护方便

的优点。

DCS 是目前火电机组监视和控制的主要手段,如机组给水、燃料、送风、炉膛负压、过热蒸汽温度、再热蒸汽温度、辅助风挡板控制等模拟量控制,炉膛安全监控,辅机顺序控制等。在扩大 DCS 应用范围时,尽管 DCS 在实现 DEH、MEH、TSI、BPS、ASS 及电气保护等功能时,技术上不存在困难,但考虑到这些系统对机组安全运行的关键作用,以及传统上是随主机成套的现实情况,目前仍采用专用控制装置。但根据原国家电力公司有关决定,应加快电气控制纳入 DCS 的试点工作。

3. 现场总线控制系统 (FCS)

由现场总线与现场设备组成的控制系统称为现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System),它是在 DCS 的基础上发展起来的,FCS 顺应了自动控制系统的发展潮流,属第五代过程控制系统。FCS 的特点是:用全数字化、智能、多功能仪表取代模拟式单功能仪表,用两根线连接分散的现场仪表、控制装置;“现场控制”取代“分散控制”;数据的传输采用“总线”方式;从控制室到现场设备的双向数字通信总线是互联的、双向的、串行多节点,开放的数字通信系统,并用其取代单向、单点、并行、封闭的模拟系统;采用分散的虚拟控制站取代集中的控制站;将微处理器转到现场自控设备,使设备具有数字计算和数字通信能力,信号传输精度高,远程传输,可上局域网,还可与 Internet 相连,既是通信网络,又是控制网络。

现场设备(也称为现场总线设备)是指连接在现场总线上的各种仪表设备。按其功能可分为:变送器、执行器、转换设备、接口设备、电源设备以及各种附件。

采用现场总线技术,可以提高系统控制精度,改善控制品质,简化控制系统机柜,大量减少电缆,便于调试和维修。有资料估计,与分散控制系统相比较,采用现场总线技术,可使电缆、调试和维修成本节省 40% 以上。

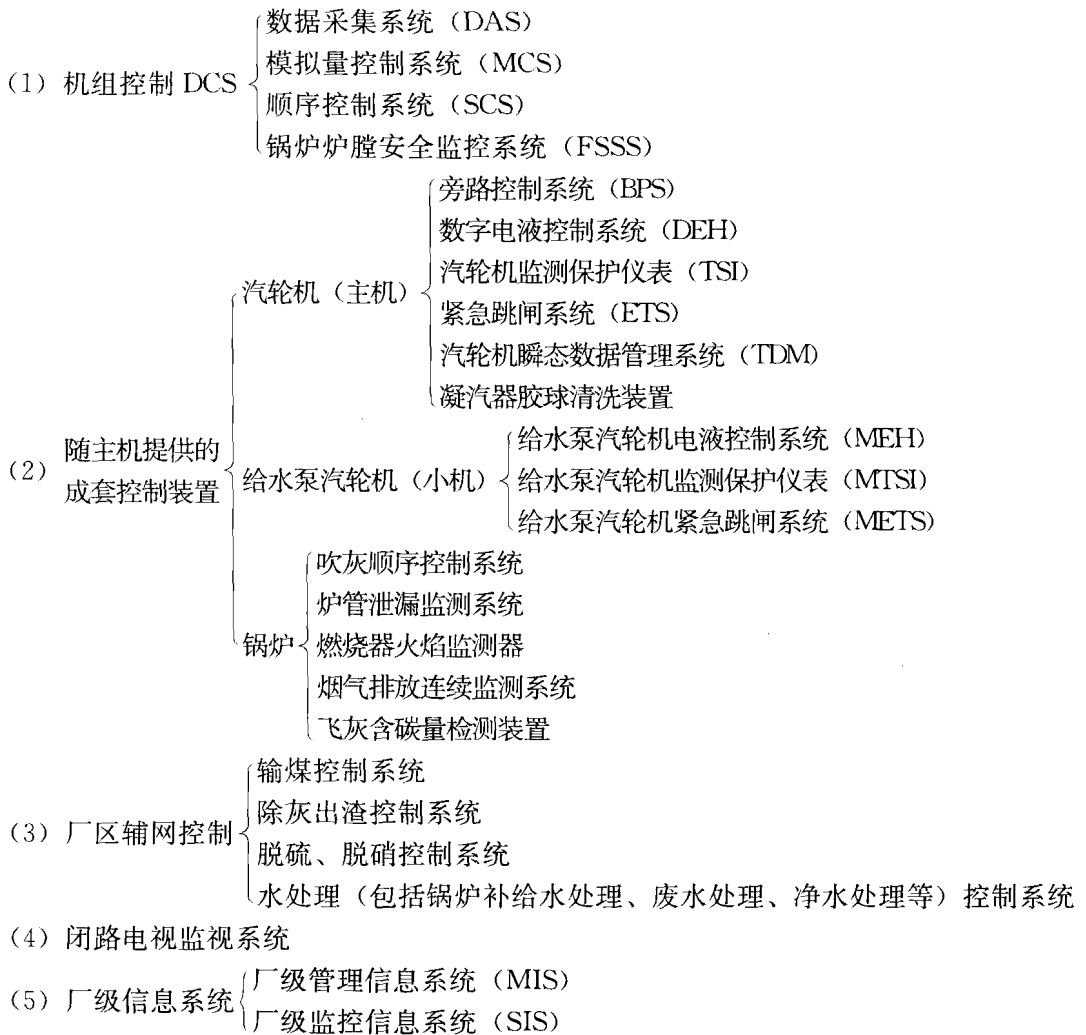
现场总线技术应用的关键是制订统一现场总线通信标准,生产开放的、具有可互换性和统一标准的现场总线设备。经过多年努力,现场总线国际标准 IEC61158 (2001 年 8 月第三版)规定出 10 种类型的现场总线。其中,Profibus 和 FF 两种现场总线,其现场设备品种较齐全,已在火电厂中有许多应用业绩。

国内火电厂现场总线控制系统应用刚刚起步,主要用于辅助系统,如化学补给水、闭式冷却水系统采用 Siemens 的 PLC 系统和 Profibus 现场总线设备,现已投入使用;山东莱城电厂 (2×300MW 机组) 低压开关柜 (Profibus-TXP)、浙江宁海电厂 (4×600MW 机组) 电动执行机构 4×34 台 Profibus-TXP、浙江玉环电厂 (4×1000MW 机组) 锅炉补给水处理和废水处理两个辅助系统全面采用 Profibus-DP/PA 现场总线,涉及近 50 台变送器和 70 台电动机的监视和控制。

由于现场智能化仪表价格较高,现场总线技术在电厂中使用的业绩目前还不多,现场总线技术在我国火电厂中广泛应用还需较长时间。但是现场总线技术的出现,给自动化仪表带来了又一次革命。因此,我们应当积极跟踪现场总线技术的发展,在当前现场仪表设备还不完全具备现场总线通信接口的情况下,可采用现场总线连接远程 I/O 或 PLC,在电厂辅助生产系统中首先推广应用。

4. 大型火电机组控制系统的组成

现代大型火电机组的控制系统由以下几部分组成。



5. 单元机组集中控制室

大型火电机组的高度自动化使单元机组的主机与辅机、主系统与辅助系统之间相互渗透、相互牵连,使炉、机、电成为一个有机整体。同时,运行人员监控不再按过去的炉、机、电分别控制,而是以全能值班员的方式进行监视和操作,运行人员可以在集控室内实现单元机组的启动、停机、正常运行和事故处理。

大型发电机组通常两台单元机组布置在一个集中控制室内 (即两机一控方式),单元控制室附近还布置有工程师工作间、热控电子设备间、热控电源设备间、电气继电器室以及交接班室等。

随着计算机、通信和网络技术的发展,控制系统人机界面与电子设备间的距离传输已不成问题,软件、硬件的可靠性越来越高。另外,电厂对自动化水平和运行管理水平要求也越来越高。因此,对于连续建设的多台火电机组,采用多机一控方式也逐渐成为发展趋势。如浙江宁海电厂 $4 \times 600\text{MW}$ 机组和玉环电厂 $4 \times 1000\text{MW}$ 机组均采用四机一控的集中控制室。与传统的两机一控相比,四机一控具有明显的优越性,可以减员增效,降低电厂生产运行成本,还可以节省控制室面积。广东惠州电厂的燃机机组还做到八机一控。由此可见,多

机一控是提高电厂单元机组集中控制的重要方面。

二、厂级信息系统

随着现代信息技术的发展和一系列改革措施的实施，厂网分开，竞价上网，电力市场的交易将在现代信息网络中实现。因此，火力发电厂和电力系统必将形成生产过程自动化和企业管理现代化的一体化信息网络。

信息网络的主要功能为：①发电生产过程实时监控；②实时处理全厂经济信息和成本核算；③实现机组之间的经济负荷分配；④机组运行经济评估和优化运行操作指导；⑤竞价上网报价处理；⑥历史数据查询、检索、统计分析。

电力企业生产和管理一般分为三个层次：下层的控制操作层，面向运行操作者；中间的生产管理层，面向生产和技术管理者；上层的经营管理层，面向行政和经营管理者。目前，我国面向运行操作者的分散控制系统 DCS 已经非常普及；面向经营管理层的管理信息系统 MIS 比较普及；面向厂级的监控信息系统 SIS 也正在积极推广中。

1. 厂级管理信息系统（MIS）

管理信息系统 MIS（Management Information System）是集计算机技术、网络通信技术为一体的管理信息系统。采用 MIS 可以改善企业的经营环境，降低生产成本，提高企业的竞争力。企业的管理必然以产品为主线，销售为龙头，效益为中心，发电企业也不例外。MIS 可进行实时画面显示及各种数据处理，使企业领导层对生产和经营的决策依据更加充分。MIS 可实现实时信息、设备维修、财务、人事管理、档案资料以及办公室的自动化。MIS 的主要功能如下。

（1）数据收集和信息处理。在数据收集中，要严格保证数据的正确性、唯一性，如果基础数据不正确，再好的 MIS 也无法正常工作；同时必须保证基础数据的可统计性和合理性，便于数据存储、传输和加工处理。

（2）节省人力和支持决策。大量数据的重复计算由计算机完成，不仅可减轻工作量，而且可节省人力。如果人工处理各种数据，由于条件所限，难以根据需要提供各种综合分析的数据，使决策者往往带有一定的片面性和盲目性。通过计算机系统将数据存储起来，随时提供各种所需的数据，保证经营管理者的决策正确、及时。

（3）统计分析和数据查询。将大量现场实时的运行数据、设备状态信息送到 MIS，可以帮助运行人员规范操作，帮助管理人员对设备运行情况及时分析。有关人员可在任意时间段对各项统计数据查询，便于及时发现问题，及时处理解决。

（4）备品备件管理。MIS 对每一件备品备件的信息进行全程跟踪与结算，依据设备大修计划、小修计划、安装计划等日程安排，参考历年消耗情况，为管理部门编制下年度的备品备件采购计划，实现对电厂备品备件的有效、合理的资源管理和整合利用，为管理者提供良好的决策支持。

（5）数据网上发布的管理权限。为方便电厂有关人员访问 MIS 的数据，设置了专用服务器，将有关数据发布到网上。同时，对前台的每一个操作，都需要保证只有拥有相应权限的人才能操作，根据每一个操作者的工作性质，将相应的权限赋予该操作者，使 MIS 正常工作。

2. 厂级监控信息系统（SIS）

厂级监控信息系统 SIS（Supervisory Information System）是介于 DCS 等控制网络与

MIS 管理信息系统之间的一个网络系统,该系统能实现全厂生产过程监控,实现机组之间负荷经济分配,实时进行各机组性能计算,全厂经济指标分析,优化运行操作指导和厂级性能计算。通过计算机和通信网络,实现全厂各生产部门的实时信息上网共享。

SIS 的基本应用功能至少应包括数据库应用,生产过程的信息采集、处理和监视、机组级性能计算和分析,厂级性能计算和分析,机组经济指标分析,运行优化和管理操作指导,设备状态监测(不包括诊断)。对于非直调电厂,负荷优化分配功能也应属于 SIS 的基本应用功能。其他应用功能应根据技术成熟性和经济合理性等具体情况选择配置。

SIS 与 MIS 主要有以下区别:

(1) SIS 是指实时生产过程,而将非实时生产过程如检修、备品备件等纳入 MIS。SIS 监控和管理的时间性较高,而 MIS 包括大量非实时信息,因而要求时间性较低。由于 SIS 是处理实时数据,因而不需配备大型实时/历史数据库及相关完善的数据库。

(2) 服务对象不同。SIS 主要服务于运行值班人员及管理生产运行的有关人员。而 MIS 主要服务于设备检修、计划、经营及行政人员。

(3) 安全要求不一样。SIS 是厂级实时生产过程的监控和管理,应比非实时生产过程管理的 MIS 有更高的安全保障。SIS 考虑在线监视和管理,而 MIS 主要考虑离线管理。

SIS 与 MIS 系统一样,都是全厂级公用系统。它们之间的数据流向应为单向的,并采取必要的隔离措施。MIS 需要的实时数据原则上均取自 SIS,故 SIS 与 MIS 无论是合设统一的网络,还是分开设置相互独立的网络,两个系统之间的耦合关系是无法切断的。若 SIS 与 MIS 分开设置相互独立的网络,则应在两个网络之间安装必要的网络单向传输装置,确保 SIS 与 MIS 之间的数据流向为单向。若 SIS 与 MIS 合设统一的网络,则应在 SIS 与 MIS 之间设置防火墙。在各控制系统与 SIS 的数据接口处也应设置单向的传输装置,保证数据传输安全。

全厂信息系统包括 SIS 与 MIS 应统一规划,对代码、数据源定义、应用软件功能、信息处理等规约应标准化,避免交叉重复,减少资源浪费。合理划分网络层次、结构和信息流向,各子系统及子系统内部的数据库共享,尽可能减少数据的冗余浪费。

在一般情况下,SIS 设计的基本原则是将 SIS 分成三个层次:第一个层次是将厂级实时数据采集与监视功能、厂级性能计算与分析功能,定义为 SIS 的基本功能;第二个层次是对负荷调度分配功能;第三个层次是将设备故障诊断、寿命管理、系统优化及其他功能,定义为非基本功能。SIS 设计要坚持经济实用的原则,确保系统正常投运。SIS 作为全厂实时监控和生产指挥调度中心,以整个电厂为监控对象,强调的是运行的质量和效率,以经济性为其首要目标,为生产管理人员的分析和决策提供支持。

综上所述,厂级监控信息系统(SIS)主要收集和处理电厂生产过程的实时数据,以优化电厂运行;厂级管理信息系统(MIS)主要收集和处理非实时的生产经营、管理数据,以优化电厂经营管理。

三、电厂热工自动化发展方向

1. DCS 向完全一体化方向发展

分散控制系统完全一体化是指整个电厂的控制、监视功能均由一个全厂统一的 DCS(有相同的硬件和软件结构、共同的数据通信结构,可存取全厂数据的分散控制系统)来完成。

采用全厂一体化 DCS 的优点在于：所有的数据对于系统的全部功能均是可以利用的；硬件品种少，软件结构统一，可减少备品备件，降低培训、维护的费用；取消了不同系统互联所用的网关（Gateways），及相关的硬件和软件，有利于减少时间迟延和潜在的故障点；可实现全厂采用统一的操作员站，提高运行操作水平。

2. DCS 应用技术的发展

（1）安全相关系统。安全相关系统也称安全仪表系统，它具有必要的安全功能，以使被控对象达到或保持在安全状态，并且同其他系统一起使所要求的安全功能达到必需的安全完整性。它可以防止危险事件的发生和减少危险事件的影响。当发生危险事件时，安全相关系统将采取适当的操作和防范措施，防止被控对象进入危险状态，避免危及人身安全及设备损坏。

（2）故障安全控制器的应用。

1）具有高度的安全性和可用性，多重模块冗余容错结构，系统的 MTBF（平均无故障工作时间）可超过 20 年；内置自检和智能的诊断功能，诊断覆盖率高；具有热维修能力。

2）具有故障安全和快速响应特性；组态和应用软件编程工具使用方便，能确保系统安全，可降低安全系统设计费用。

3）目前，国内火电厂的安全相关系统（如 DEH、ETS、FSSS）基本采用 DCS 或 PLC，仅有少数电厂采用了故障安全控制器。因为故障安全控制器价格偏高，且没有相应标准的支撑，故障安全控制器在火电厂尚未广泛应用。

（3）先进控制软件的应用。先进控制软件主要包括：先进的机组协调控制软件，用于改善机组对负荷的快速响应能力；先进的锅炉汽温优化控制软件，用于克服控制对象的大惯性和大延迟，改善汽温调节品质；燃烧优化控制软件，用于改善锅炉燃烧效率，降低 NO_x 、飞灰含碳量，以满足环保要求。这些软件通常采用模糊逻辑，神经网络和预测控制，确定精确控制设定值和偏置，从而连续地优化机组性能。

优化管理软件主要包括：汽轮机和锅炉性能计算和分析指导；吹灰器优化软件；负荷经济调度的优化软件；设备故障诊断软件；设备寿命管理软件；设备状态检修软件。这些软件使用先进的数学和建模工具，分析过程性能，为电厂运行和管理人员提供操作指导。

3. 现场总线技术的发展

通过现场总线技术的发展和应用实践，人们对现场总线技术的认识逐步深入，认识到现场总线技术的实质仅在于现场设备的智能化，现场设备信号传输的数字化。如今，现场总线技术已经融入传统 DCS 和 PLC 中。FCS 与 PLC、DCS 之间并无严格分界线。从控制系统的应用角度来看，国内火电厂，完全可以采取灵活的循序渐进的应用策略；根据现场总线设备的发展和供货现状，及火电厂设备控制要求和布置方案，灵活地采用 DCS、PLC 和 FCS 技术，组成混合的（或集成的）电厂控制系统。单从技术需要与方便使用来说，作为数据通信与控制网络技术，理应是单一的通信协议标准，推广应用现场总线并不难。但是由于经济、社会与技术等原因，至今尚未有统一的国际标准。因而今后相当长一段时间内会有多种现场总线并存，用户只能根据自己的需要和各现场总线技术的性能进行选择。一旦国际统一的通信协议出台，将使 FCS 迅猛发展。

此外，现场总线控制网络应用于工业生产现场，应用环境较为恶劣、受到粉尘、温差、振动、强磁场干扰等因素的影响，因而其网络设备、传输介质、连接件等均需适应工业控制

现场环境的要求。因此,对原有现场仪表设备应不断改进和完善,以满足现场总线控制的要求,也是今后工作的重要方面。

由于现场设备的安装位置分散,在不少应用场合,还需做到总线供电,即总线既作为现场设备的通信载体,又是供电线路。在某些易燃易爆的应用场合,还要求防爆措施。对有严格的时序和实时性要求的测控场合,就要求现场总线技术提供相应的实时通信,同时要求系统的通信具有有效性。

4. 电厂信息化系统的发展

信息系统是现代管理方法和手段相结合的系统。人们在管理信息系统应用的实践中发现,只简单地采用计算机技术提高处理速度,而不采用先进的管理方法,只能减轻工作人员的劳动强度,而信息化带来的好处没有充分发挥。只有用现代管理思想和方法来开发信息管理系统,才能真正发挥电厂信息化的作用。

当前,我国火电厂厂级监控信息系统 SIS 约有 200 多个电厂正在建设或已经建成,这说明广大用户对通过信息化达到优化火电厂实时生产过程的迫切性和对建设 SIS 一定会取得收益充满信心。对于一般电厂或新建电厂可以先建立 SIS 网络框架,设置一些数据库和性能计算等少量相对成熟的功能软件,随着技术的不断提高,可补充其他功能软件,比如负荷调度功能等,这就要求搭建网络框架时要留有将来扩充完善的接口。在功能上要避免重复开发,如 DCS 具有机组在线性能计算,而 SIS 也有此功能,这就造成不必要的浪费。建议可将性能计算的功能只放在 SIS 来实现,使 DCS 只用来做监控。

随着企业规模的扩大,互联网的发展与普及,远程监测与故障诊断利用网络技术将多台现场设备与诊断中心远程联系起来,设备出现故障时,可以向诊断中心发出诊断请求,由诊断中心的专家对故障进行诊断,然后返回诊断结果和处理意见,供管理人员决策和运行人员操作指导作参考依据。这充分利用了网络诊断资源,提高了故障诊断的准确性,可以满足现代大型火电厂的监测诊断的要求,是故障诊断技术发展的必然趋势。

第一章 热工保护与顺序控制的基础知识

在叙述热工保护与顺序控制的基础知识时,首先对分散控制系统和可编程序控制器作一介绍。因为目前火电机组 125MW 及以上机组都基本实现了分散控制系统(DCS)控制。现在 DCS 已应用到各种容量的火电机组中,新建机组则几乎无一例外地采用了 DCS 系统。而热工保护与顺序控制大多纳入了 DCS 控制范围,尤其是锅炉机组热工保护的炉膛安全监控系统(FSSS)等。汽轮机组热工保护的紧急跳闸系统(ETS)目前多数还采用可编程序控制器(PLC)控制,而火电厂公用辅助系统包括输煤系统、化学水处理系统、除灰/出渣系统、锅炉吹灰系统、定期排污系统、电除尘系统、脱硫系统等,目前大多也采用可编程序控制器(PLC)控制。因此,在叙述热工保护与顺序控制之前先对分散控制系统(DCS)和可编程序控制器(PLC)作一简单叙述,使读者对 DCS 和 PLC 有一个基本的概念,为后面学习热工保护与顺序控制打下基础。

第一节 分散控制系统(DCS)

DCS 分散控制系统从 1975 年问世,至今已发展了 30 多年。我国在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初引进了 DCS,不同型号的 DCS 大约有二十几种,应用于各个行业。我国以常规仪表控制为主的系统由计算机控制系统代替,控制水平得到了提高。当时,DCS 主要完成以“PID”为基础的诸如压力、流量、物位和温度等模拟量的控制,PLC 完成开关量的逻辑控制。DCS 代替常规模拟仪表,PLC 代替继电器。后来两者彼此有些渗透,PLC 也能完成 DCS 的功能,但在算法方面没有 DCS 那样多,组态没有 DCS 方便;DCS 也能做一些逻辑方面的控制,但解算逻辑的速度不如 PLC 快。DCS 和 PLC 在不同领域的应用各有些侧重,由于 DCS 比 PLC 的价格高,开放性也没有 PLC 好,所以一些 DCS 的市场被 PLC 占领。但一些比较复杂的控制(如电力、石化、冶金等行业)还是普遍采用 DCS 控制。分散控制系统成功地应用于工业控制领域,从而进一步促进了 DCS 的发展。分散控制系统发展至今大致可分为三个阶段,并向新一代产品发展。

一、分散控制系统的发展过程

1. 第一代 DCS (初创阶段)

1975 年美国最大的仪表公司 Honeywell 率先推出综合分散控制系统 TDC-2000,因而开创了控制系统的新时代。从此美国、西欧、日本的一些著名公司开发了自己第一代分散控制系统,如美国贝利公司的 NETWORK-90、日本横河公司的 CENTUM、德国西门子公司公司的 TELEPERM、美国西屋公司的 WDPF、美国 Foxboro 公司的 SPECTRUM、英国肯特公司的 P4000 等。第一代分散控制系统的基本结构如图 1-1(a)所示,它主要由以下 5 部分组成。

(1) 过程控制单元 PCU (Process Control Unit)。PCU 由 CPU、I/O 板、A/D 和 D/A 板、多路转换器、内总线、电源、通信接口和软件等组成,具有较强的运算能力,还有反馈

控制功能,可独立完成一路或多路连续控制任务,达到分散控制的目的。

(2) 数据采集装置或过程接口单元 PIU (Process Interface Unit)。它是微计算机结构,主要任务是采集非控制过程变量、开关量,进行数据处理和信息传递,一般无控制功能。

(3) CRT 操作站。它是由微处理器、高分辨率 CRT、键盘、外存、打印机等组成的人机接口,实现对过程控制单元进行组态和操作,对全系统进行集中显示和管理,包括制表、打印、复制等功能。

(4) 监控计算机(上位机)。它是分散控制系统的主计算机,大多采用小型计算机或高性能的微机,具有大规模的复杂运算能力及多输入、输出控制功能,它综合监视全系统的各工作站或单元,管理全系统所有信息,通过它可以实现全系统的最优控制和全工厂的优化管理。

(5) 数据传输通道(数据公路)。它由通信电缆、数据传输管理指挥装置以及通信软件等组成。它是联系 CRT、PCU、PIU 及监控计算机的桥梁,是实现分散控制和集中管理的关键,由它实现上通下达的纽带功能。

第一代分散控制系统的诞生,是控制技术、计算机技术、通信技术和 CRT 技术互相渗透的结果。一方面它具有集中型计算机控制系统的优点,另一方面采用分散控制,使危险分散,克服了集中型计算机控制系统的致命弱点,而且 CRT 操作站具有更丰富的画面,覆盖全系统的报警、诊断功能,以及先进的管理功能。然而,第一代分散控制系统还处于分散控制系统发展的初级阶段,在技术上尚有一定的局限性。

2. 第二代 DCS (成长阶段)

自 20 世纪 70 年代末以来,产品生产和销售的竞争日趋激烈,批量生产的控制系统需求剧增,厂家对信息管理要求不断提高,另外局部网络的成熟和对工业控制领域的渗透,导致了第二代分散控制系统的产生。随着超大规模集成电路集成度的提高,微处理器运算能力的显著增强,通信技术的进步以及市场需求的推进,第一代产品被替代已成必然。

第二代分散控制系统有些是新开发的,有些是通过升级而成的。代表系统有:美国霍尼威尔(Honeywell)公司的 TDC-3000,泰勒(Taylor)公司的 MOD300 系统,西屋(Westing House)公司的 WDPF,德国西门子(Siemens)公司的 Teleperm-ME 系统,日本横河公司的 YEWTTORIA 系统等。如图 1-1(b)所示为第二代 DCS 系统的基本结构图。一般由以下几个部分组成。

(1) 局域网络。它比一般工业控制网络传输速率高,传输差错率低,扩展能力强,并有良好的可靠性、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。它是在第一代产品的基础上采用更先进的 16 位微处理器,更大存储容量的存储器,更加丰富的控制功能(数据采集与处理、顺序控制、批量控制、监督控制等)而形成的控制单元。

(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了,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、信息储存、系统协调等综合管理的核心。

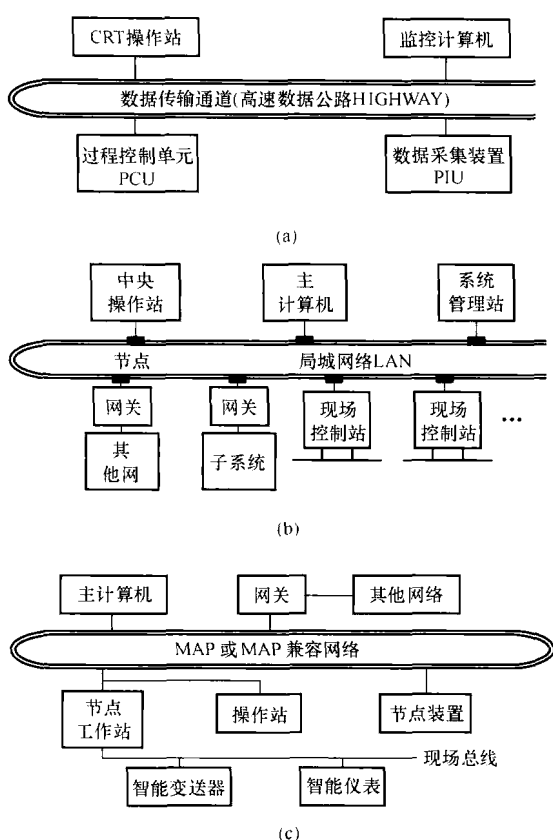


图 1-1 分散控制系统基本结构图

(a) 第一代 DCS; (b) 第二代 DCS; (c) 第三代 DCS

分散控制系统的主要缺点,即专利性局部网络给各大企业多种 DCS 互联带来的不便,开发和推出了具有开放性局部网络的 DCS 产品。

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、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。第三代分散控制系统的基本结构如图 1-1 (c) 所示。概括地讲,这一时期的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个经济效益,分散控制系统加强了信息管理功能,这是能实现高一层次的信息管理系统。

(2) 实现了开放式的系统通信。系统广泛采用标准通信网络协议,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 (Manufacture Automation Protocol) 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,使分散控制系统的速度更快,功能更强,算法更丰富,更便于采用先进及复杂的控制策略。

(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、触摸屏技术。多媒体技术使其操作更简便,响应更快捷。

(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、计算单元模块、历史单元模块、系统优化模块等。

(6) 网间连接器 (或称网关)。它是局域网与系统子网或其他工业网络的接口,用于两个不同通信规约的网络之间的通信规约翻译、通信系统转接、系统扩展的作用,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:产品设计开始走向标准化、模块化、工作单元结构化;控制功能趋于完善,用户界面更加友好;数据通信的能力大大加强,并向着标准化方向发展;管理功能得到分散;可靠性进一步提高;系统的适应性及其灵活可扩充性增强。

3. 第三代 DCS (完善阶段)

20 世纪 80 年代末,为了克服第二代