

现代电力系统自动化丛书

连尔遐

现代火电厂 自动化

水利电力出版社

1621.6

内 容 提 要

本书全面地介绍了火电厂电子计算机监视与控制的基本原理与实现方法。书中深入浅出地介绍了与此有关的计算机硬件及现代火电厂监控程序结构方面的知识,其目的是希望读者对现代火电厂自动化的形象与发展前景有所了解。

本书可供电力工业有关的工程技术人员、管理干部和工人阅读。

现代电力系统自动化丛书

现代火电厂自动化

连 迺 遐

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.125印张 89千字

1987年7月第一版 1987年7月北京第一次印刷

印数0001—6560册 定价9.95元

书号 15143·6442

丛 书 前 言

随着我国电力工业的发展,发电厂容量越来越大。原来的零星小网逐渐连接形成几个跨省范围的大电力系统,一些省网也发展到相当可观的规模。对这样庞大而复杂的电力系统,用常规的控制和管理方法显然是应付不了的,必须采用新的手段和工具——电子计算机。

在六十年代,我国电力工业开始应用电子计算机。近十多年来,已取得不少成就,积累了一些经验。但是,这远远适应不了现代电力系统迅速发展的实际需要,与国外的先进水平相比更是相差甚远。近二十年来,国外在这方面的发展是惊人的:发电厂的自动化程度相当高,电网调度控制中心已普遍采用以电子计算机为核心的自动化监控系统,可以进行数据收集与安全监控、自动发电控制与经济调度及安全分析。当今世界正处于以信息处理为主要内容的新技术革命时代,人们原来的知识有些已经陈旧,需要大量补充和更新,否则,无法跟上新技术迅速发展的潮流。

为此,在中国电机工程学会的大力支持下,我们编写了这套《现代电力系统自动化丛书》,由王平洋任主编,吴凤书任副主编。全书包括十一分册:《现代电力系统自动化与电子计算机的应用与发展》、《电力系统计算》、《现代电力系统计算机监控系统》、《电力系统数据传输》、《现代电力系统安全监视和控制》、《现代电力系统经济调度》、《现代电力系统的保护和安全自动装置》、《现代火电厂自动化》、《现代水电厂自动化》、《供电网调度自动化》、

《电力工业信息管理自动化》。各册之间，彼此有联系，互相衔接，但各册又自成系统，独立成册。这是一套提高性的普及读物。主要读者对象是电力工业中的技术领导干部，工程技术人员及本专业的工人和高校的师生。我们希望通过这套丛书，能将现代电力系统自动化的形象和状况及发展前景，向读者作一广泛的宣传，普及这方面的知识，以有利于我国电力工业迅速向现代化方向发展。

本书在编写过程中，许多专家和读者提出了宝贵意见，我们根据这些意见作了若干修改。在此，向他们表示衷心的感谢。限于水平和条件，书中一定有不少缺点和问题，敬希读者指正。

序 言

在现代电力系统中,火电厂是它的重要组成部分之一。现代火电厂的发展趋势是采用高温、高压、中间再过热大型单元式发电机组,其首要的特点是单机容量大和热力系统复杂。对于这样大型的结构复杂的设备,如继续使用传统的监控仪表和运行方法,往往满足不了安全和经济运行的要求。为了解决此问题,在现代大型火电厂中已普遍采用以电子计算机为核心的安全监视与自动控制技术。

本书共分七章。第一章介绍在火电厂的安全监视与自动控制技术中引入电子计算机的必要性,结合国内外发展情况,说明采用电子计算机进行控制的几种可能方式。第二、三章介绍为实现火电厂的计算机监控而必须增设的计算机硬件设备。其中第二章介绍控制用计算机的中断系统。第三章介绍计算机与电厂生产设备相连接的生产过程通道知识。它们相当于监控系统的耳目和手足。了解这部分硬件的功能便有可能对火电厂计算机监控系统从物理概念上有较清楚的理解。第四、五、六章是介绍为实现火电厂的计算机监控而必须配备的软件。其中第四章介绍在火电厂的平时日常运行中计算机的应用,从安全监视与直接数字控制两个方面的功能开始说明,然后介绍实现这些功能所应设计的计算机监控程序结构。第五章介绍火电厂在异常运行状态下的计算机应用。这里分机组起停和事故工况两个方面说明计算机的功能及应用程序结构。第六章介绍为使控制用计算机所配备的全部硬件和火电厂监控软件都能协调地运行起来而必不可少的

一个专用的管理软件——实时操作系统。本章中只是扼要地介绍与实时控制有关的部分,如任务调度、时钟管理等。第七章概要地介绍了在火电厂计算机监控方面在国外已经颇有发展而在国内尚没有开展或刚刚起步的一些主要的技术方向,谨供读者去探讨现代火电厂计算机监控的更多问题。

目 录

丛书前言

序言

第一章 电子计算机控制在火电厂自动化中的作用	1
第一节 火电厂计算机控制的发展	1
第二节 控制机的特点及火电厂的控制方式	6
第二章 控制机的中断系统	16
第一节 控制机的基本工作流程	16
第二节 中断系统的工作原理	19
第三节 多重中断	21
第四节 中断的优先级	23
第三章 控制机的生产过程通道	29
第一节 模拟量输入	29
第二节 模拟量输出	35
第三节 微型计算机中的模拟量输入输出装置	37
第四节 开关量输入	40
第五节 开关量输出	43
第六节 微型计算机的数字量输入输出装置	48
第七节 运行控制台	50
第八节 生产过程通道与生产过程的连接	52
第四章 控制机在火电厂日常运行中的应用	56
第一节 安全监视	56
第二节 直接数字控制	64
第五章 控制机在火电厂异常工况下的应用	74
第一节 应用控制机实现火电机组的自动起停	74

第二节	计算机控制自起动的程序原理	77
第三节	控制机在火电厂事故报警分析中的应用	83
第四节	应用控制机实现火电厂事故处理	89
第六章	控制机的实时操作系统	95
第一节	实时操作系统的作用	95
第二节	任务的概念	97
第三节	任务管理模块	101
第四节	内存管理模块	105
第五节	时钟管理模块	108
第七章	火电厂计算机应用的现代发展方向	112

第一章 电子计算机控制在火电厂自动化中的作用

第一节 火电厂计算机控制的发展

在三十余年的时间里，电子计算机技术的发展极为迅速，经历了电子管、晶体管、集成电路三个时代，目前，以运算速度快，电路集成规模大、体积小、功耗低、可靠性高、采用多道程序设计、计算机网络及数据库等先进硬件及软件技术为特征的第四代电子计算机已经广泛地使用。在世界上电子计算机已经广泛地应用于军事、工业生产、交通运输、商业、科学文化、卫生以及家庭生活等一切领域。

在电力工业中应用电子计算机进行控制，在国外是从60年代初期开始的。1962年美国在密西西比河畔进行了世界上第一座计算机控制的自动化小吉普赛电厂的尝试，试验结果未能成功。经过一段时间，其它火电厂，如爱旺达电厂等用计算机进行机组起停获得成功，经计算机监控运行，效果良好。继此之后，在工业发达国家中陆续地在火电厂控制方面采用了电子计算机。其中尤以美国及日本发展最快。据统计，1968年时美国在电力方面应用的计算机已达500台左右，其中火电厂约190多台。日本在1970年时约有65台计算机在40个火电厂的80多台机组上使用。70年代初期英国也已在许多500MW以上的大型火电机组上应用电子计算机进行监视与控制。

从火电厂中计算机应用的方式上讲，最初阶段多用于巡

回检测。进一步的发展是除让计算机执行巡回检测职能外,还进行运行指导和部分的自动控制。到70年代后期则有许多电厂做了由计算机进行大型机组全自动化控制的试验。例如,在1970年时美国装有计算机的火电厂中,有69%的电厂是利用计算机进行工况监视,31%的电厂则是进行部分运行控制。1977年12月日本九州电力公司由电子计算机控制的全自动化的丰前发电厂1号机(发电机组容量为500MW,超临界压力直流锅炉)投入了运行,投入后运行情况一直良好。

该发电机组的计算机控制系统是在过去的模拟式PID型控制器的基础上增加电子计算机控制,组成所谓模拟数字协调控制系统(ADC)。用在线辨识方法取得表示电厂动态特性的状态方程式,按用动态规划法求出的放大系数矩阵进行状态量反馈型的最佳控制。此系统保证了火电机组在调峰时对大幅度负荷变化的适应性以及显著地改善了锅炉汽温控制的特性。

这样的自动控制系统代表着当今火电厂计算机控制的先进水平。

由上述可见,在二十余年的时间里,火电厂计算机控制的技术发展很快。目前,世界各国对300MW以上的大型火电机组均有配置电子计算机来进行自动控制的趋势。

那么这种趋势究竟是由什么原因引起的呢?

近年来,世界各国的火力发电设备发展方向是采用高参数带有中间再过热的大容量单元式机组。这种机组对热力控制水平和自动化程度都提出了更高的要求。只有在高度自动化的前提下,才能确保这类机组的安全、可靠和经济运行。

现代化大型发电机组有下列一些特点:

- 1) 热力系统复杂。

2) 由于单机容量大，它的辅机和辅助设备数量多，容量大，结构也复杂。

3) 生产工况变化多，操作频繁和复杂。

大机组需要监视的测点数量相当多，特别是在机组的起停和事故处理过程中，机组处于不稳定的状态下工作，各种参数不断迅速变化，在同一瞬间需要同时进行几个参数的监视和操作，甚至有时要求运行人员在几分钟内完成几十个操作动作，稍有贻误就容易造成重大事故。随着机组容量的增加，需要监视与操作项目数量的增加情况如表1-1所示。

表 1-1 各类机组的监视与操作项目数量表

机 组 容 量	50MW	125MW	200MW	300MW
监视项目(测点数)	115~135	540~600	~600	950~1050
操作项目(执行器数)	70~75	142	280	410~450

4) 大型机组的控制对象和参数多，控制机构多，各种扰动也多。一些参数之间是相互关联着的，一个控制机构动作，会影响很多被控参数变化。

鉴于上述，随着单机容量的增大，系统日趋复杂，监视与控制项目数量增大，如仍延用过去的控制方式，设计与运行上都有一定困难。这将使控制盘上安装的常规仪表和操作开关的数量大增，使操作监视困难，劳动强度大，且易造成误操作，威胁机组安全。

为了改变这一状况，在国内外大型火力发电机组上广泛采用了控制用的电子计算机（简称控制机）来提高热力控制水平和自动化程度，以保证机组在整个生产过程中的最佳运

行状态并获得最好的控制技术和经济指标。采用控制机一般具有下列优点：

1) 可提高火电机组或全厂的运行效率，机组运行稳定。

2) 可减少和避免重大事故，延长设备寿命。

3) 节省运行人员，减轻劳动强度。

采用电子计算机对火力发电机组控制，进而对火电厂全厂进行控制，不仅在技术上是可能的和先进的，而且在经济上也是具有显著效益的。

由于计算机具有高速运算的能力以及高度的逻辑判断能力，使得我们便于采用较完善的调节规律，运用现代控制理论和较先进的数学模型进行火电机组的最佳控制和火电厂中各机组间的最佳负荷分配，从而达到节省大量的发电用的燃料的目的，与此同时，由于调节质量的改善使得机组和全厂的供电质量得到提高。

在大规模集成电路发展的初期，其生产成本与价格还比较高，因而电子计算机的价格也比较高、那时，人们对采用计算机进行电厂控制的经济效益还有些疑虑和争议，世界各国也都着眼于在200~300MW以上的大容量新建火电机组上采用计算机控制。但是在最近的5~6年时间里，由于大规模和超大规模集成电路技术的迅猛发展，特别是微型计算机的出现与高速发展，电子计算机的价格大幅度地降低，计算机的产量及可靠性都不断提高，在这样的条件下，火电厂控制中采用电子计算机的技术经济效益已变得愈来愈明显。有关的分析表明，因配置电子计算机控制系统而增加的火电建设投资，少则在2~3年内，多则在3~4年内即可因运行后节省燃料及成本费用而得到抵偿。不论在国内还是在国外，对于

新建的大型火电机组来说，配置电子计算机控制系统的技术经济效益已变得不容置疑，这将是今后的一个重要的技术发展方向。

在我国，随着国产电子计算机工业的发展，利用电子计算机控制火力发电机组的研制与试验是从60年代中期开始的。首先是在上海南市电厂利用国产TQ-1型定点18位小型控制机对12MW燃油火力发电机组进行闭环的直接数字控制（DDC）试验。试验是分别按正常工况、事故工况和起停工况进行的。继此之后，又在北京的高井电站利用国产DJS-K1型控制机对100MW燃煤火力发电机组进行闭环的直接数字控制试验。这两项试验均于1975年时获得了圆满成功，其中高井电站计算机控制系统的无故障连续运行小时数可达3000h以上。现在这两台第二代计算机控制系统因需换代更新已不能继续服役，但在这两个火电厂中所进行的试验为我国火电厂计算机控制技术奠定了良好的基础。

1980年我国望亭发电厂利用国产TQ-15型工业控制机对300MW火力发电机进行开环的监视控制获得成功。此外，我国由外国进口的某些250和300MW火力发电设备中也都配有电子计算机监视控制系统。

自从微型机问世以后，微型机在我国火电厂中也得到了日益扩大的应用。1982年贵州省都匀发电厂利用以单板微型机为基础的FG-1型工业实时控制机实现了锅炉水位和热负荷的自动控制，投入运行后效果良好，发电煤耗率有明显的和稳定的下降。1984年秋季唐山陡河发电厂五号机利用Intel 8080系列的单板机群对200MW火力发电机组进行监视的系统已投入运行。目前还有许多火电厂在进行微型机实时控制的开发工作。

综观国内外的发展趋势，我们可以看到现代化大型火力发电机组和发电厂将广泛地采用电子计算机进行控制。

第二节 控制机的特点及火电厂的控制方式

1. 控制机的特点

控制机在发电厂中与生产过程的联系如图1-1所示。

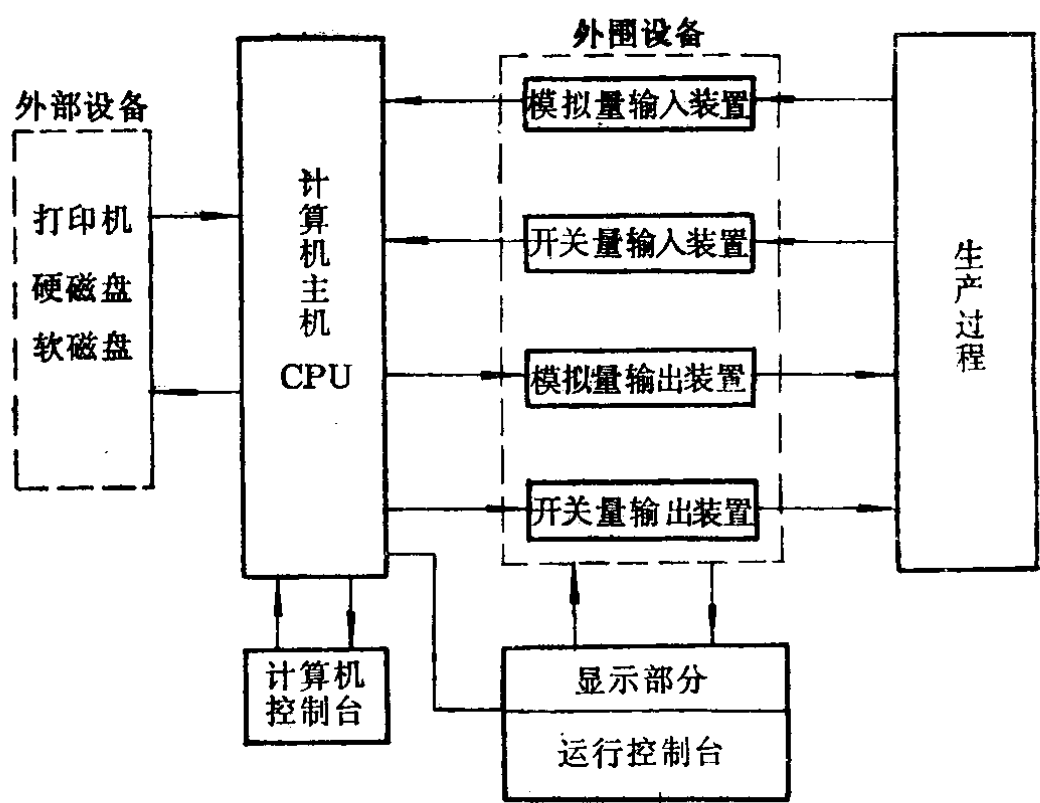


图 1-1 控制机与生产过程的联系

由图1-1可看出，为了实现电厂的计算机控制，整个计算机控制系统必须包括下列几个部分：

（1）电子计算机部分 为了使生产过程的各种参数按照一定的调节规律或数学模型进行计算和分析，控制机必须

具备运算功能，并包括其主要部件如运算器、控制器、存贮器、外部设备接口等。

(2) 外部设备 包括电子计算机正常工作所必需的设备，如打印机、硬磁盘存贮器、软磁盘存贮器及磁带机等。此外，还应包括与运行人员进行联系的设备，如键盘、屏幕显示器、制表打印机、数码显示器、趋势记录仪等等。

(3) 外围设备 描述发电厂生产过程状态的参量，大致可归纳为两种：模拟量和开关量。模拟量是指连续变化的量，如压力、温度、水位、电流、电压等等。开关量是指非连续变化而只有两个状态的量，如某开关的“合”与“断”，某台水泵的“开”与“停”等。

控制机要对现场进行监视与控制，必须把现场的模拟量和开关量输入控制机中，根据这些输入量进行计算、分析、判断；有时还需输出一些模拟量或开关量信号以进行调节和操作。因此，控制机必须具备这种模拟量和开关量的输入与输出设备，这些设备统称外围设备或叫生产过程通道。外围设备是计算机与生产过程联系的纽带，是控制机的重要组成部分。

由于要求的控制方式和控制范围不同，因而各电厂中，控制机的功能也有所不同，但总的说来，在发电厂中应用控制机，可以实现下述一些功能：

(1) 数据处理 能对生产过程中各系统的控制点和监视点的参数进行巡回检测、越限报警、主要参数轮流显示、选点显示、定时制表等。

(2) 正常调节 在正常运行时，以对锅炉、汽机、发电机等主辅设备进行直接或间接自动控制。

(3) 管理计算 对生产过程可按数学模型进行计算，

寻找最优工况，实现最优控制；也可对各运行指标进行计算，改善全厂的运行管理。

(4) 事故处理 可对生产过程进行监视和趋势预报。事故发生时，能对事故进行分析和处理并记录下事故时的设备状态和参数以供运行人员事后分析。

(5) 机组起停 由计算机实现发电机组的自动起停。

综上所述，从所承担的任务来看，控制机与只承担计算任务的通用计算机相比有许多不同之处。控制机的主要特点有：

(1) 具备高度的可靠性 发电厂是连续生产的部门，故要求控制机能够长期稳定地运行。为了确保发电机组安全运转，必要时可采用双机（计算机）运行，以提高可靠性。

(2) 控制机多为中、小型或微型计算机 运算速度和运算精度可比大型通用机低些。

(3) 控制机应有较强的中断系统 为了能自动响应生产过程或计算机系统中的各种请求，可通过中断系统暂时停止正在执行的程序，转入处理更为紧急的任务（如处理生产中的事故，在某预定时间完成某项操作等），待处理完毕后，再返回执行原来被中断的程序。

(4) 控制机应有可靠的外围设备 为了对生产过程实现在线控制，必须配备模拟量的输入输出设备（或称通道）和开关量的输入输出设备。发电厂中，这些通道的抗干扰能力必须很强。

(5) 控制机应配有时钟 现场的各种检测、调节和操作，应按规定时间进行，根据时钟执行各种定时任务。

2. 控制方式

计算机对火力发电机组的控制可以分为下列三种

方式:

直接数字控制方式 (Direct Digital Control——DDC) ;

监视控制方式 (Supervisory Computer Control——SCC) ;

触发控制方式 (Sequential Trigger Control——STC) 。

现分别讨论这三种控制方式。

(1) 直接数字控制 在直接数字控制方式下, 计算机本身就是控制装置, 计算机由被控的设备上取出参数数据进行运算后再直接将控制量发给被控对象, 其系统结构如图 1-2 所示。

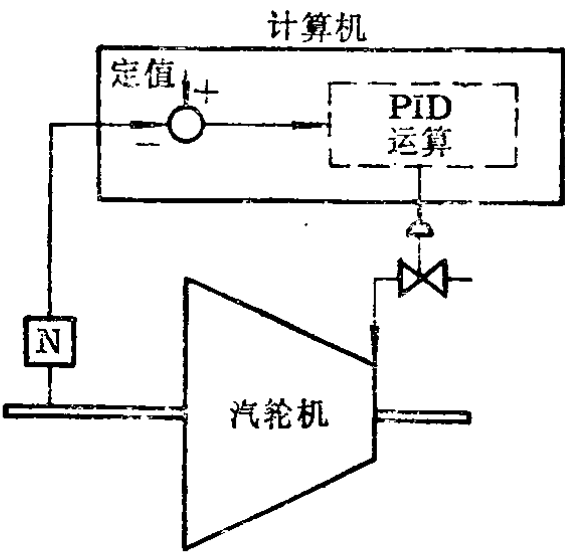


图 1-2 直接数字控制系统

这是一种较完善的控制方式, 虽然早在60年代世界许多国家就开始了DDC的试验, 但是真正的发展还是在最近几年内由于计算机可靠性的大幅度提高而普遍起来。这种控制方式适用于线性或非线性以及运算规律较复杂的控制, 适用