

发电厂的 计算机控制

上海交通大学 廖培鸿 编

21.6

水利电力出版社

发电厂的计算机控制

上海交通大学 廖培鸿 编

*

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 6.25印张 136千字

1987年8月第一版 1987年8月北京第一次印刷

印数0001—6580册 定价1.30元

书号 15143·6427

前 言

随着我国电力工业的迅速发展,电子计算机在电力系统中得到日益广泛的应用。目前,在实时控制方面,除各大电网将配备计算机调度系统外,对于发电厂、超高压变电站的计算机控制亦十分重视。

大型发电厂实现计算机控制是客观的需要。由于单机容量的增大、运行参数的提高,对机组运行与操作的要求变得非常严格。在这种情况下,靠运行人员进行监视与控制就显得十分困难。所以,有必要借助于计算机来提高运行的安全性和经济性。

要实现计算机控制,必须配置一套以计算机为核心的控制系统。它主要包括中央处理机、外围设备、外部设备与测量变送器,常称为硬件系统。

要使硬件系统完成预定的功能,必须要预先根据功能的要求,写出数学模型,然后按数学模型编出计算程序,计算机才能按程序一步一步地工作。一系列的计算机程序称为软件系统。

本书主要讲述发电厂计算机控制的软件系统,并着重介绍各种控制方式中功能的作用、数学模型及计算流程图。对目前用得较多的几种最优化方法,也分别在有关章节中从工程应用的角度作了简单介绍。

本书根据电力系统及其自动化专业学生的《发电厂的计算机控制》选修课要求编写的,并适当地补充了一些有关的基础知识,可供发电厂、变电站从事计算机应用的工程技术

人员阅读，也可做为高等院校电力系统专业高年级学生的选修课教材。

本书由成都科技大学黄初曙同志审阅，并提出了许多宝贵的意见，在此表示感谢。

编 者

一九八六年八月

内 容 提 要

全书共分九章，主要内容有：计算机控制系统概述；数据采集及处理；运行的安全监视；生产过程的计算机监督控制；直接数字控制基础；直接数字控制系统的设计；数字控制系统的时域分析法；火电机组经济负荷分配与最优开停机计划；自动发电控制。书中着重介绍各种控制功能的作用、数学模型及计算流程图。另外，结合应用，还简单介绍一些最优化方法。

本书可供从事发电厂、变电站计算机监控的工程技术人员阅读，也可作为高等院校电力系统专业高年级学生的选修课教材。



目 录

前 言

第一章 计算机控制系统概述	1
§ 1-1 计算机控制系统的结构	1
§ 1-2 计算机控制的软件系统	3
§ 1-3 各种类型的计算机控制方式	5
第二章 数据采集 (DAS) 及处理	11
§ 2-1 数据采集与前置处理	11
§ 2-2 二次参数的计算	24
§ 2-3 经济指标的计算	27
第三章 运行的安全监视 (OSS)	29
§ 3-1 运行参数的监视 (巡回检测)	29
§ 3-2 运行参数的制表打印	31
§ 3-3 屏幕显示	32
§ 3-4 报警原因分析	41
§ 3-5 运行参数的趋势预测	47
第四章 生产过程的计算机监督控制 (SCC)	56
§ 4-1 模拟调节器简介	57
§ 4-2 火电厂正常工况的计算机监督控制	64
§ 4-3 火电厂机组起停的计算机监督控制	66
第五章 直接数字控制 (DDC) 基础	74
§ 5-1 数字控制系统简介	74
§ 5-2 采样器和采样定理	75
§ 5-3 保持器	79
§ 5-4 Z变换和Z反变换	83
§ 5-5 Z传递函数	93

§ 5-6 数字控制系统的稳定性·····	101
第六章 直接数字控制系统 (DDC) 的设计·····	108
§ 6-1 PID调节规律的计算机实现·····	108
§ 6-2 具有最快响应调节规律的计算机实现·····	112
第七章 数字控制系统的时域分析法·····	121
§ 7-1 线性离散系统状态方程的建立·····	121
§ 7-2 连续时间系统状态方程的建立·····	123
§ 7-3 能控性、能观性与稳定性·····	131
§ 7-4 具有最快响应的时域设计法·····	136
§ 7-5 伪逆矩阵·····	146
§ 7-6 最小能量控制·····	150
第八章 火电机组经济负荷分配 (ELD) 与最优 开停机计划 (UC) ·····	158
§ 8-1 概述·····	158
§ 8-2 动态规划方法简介·····	164
§ 8-3 考虑机组启动、停机、压火费用的经济功率分配·····	170
第九章 自动发电控制 (AGC) ·····	174
§ 9-1 发电机组的功率频率特性·····	174
§ 9-2 电力系统的功率频率控制·····	179
§ 9-3 互联电力系统频率与联络线交换功率的实时控制·····	181
§ 9-4 线性规划方法的解算步骤·····	186

第一章 计算机控制系统概述

§ 1-1 计算机控制系统的结构

近年来，发电厂的规模越来越大，机组向大容量、高参数发展。随着单机容量的不断增大，对运行参数与操作的要求变得非常严格，仅靠人工来进行控制已十分困难。故国外对单机容量 200MW 以上的发电机组，一般都配备计算机，以提高运行的安全性和可靠性，并能获得较好的经济效益。

计算机控制系统由中央处理机（CPU）、外围设备和外部设备组成。图 1-1 为一个计算机控制系统示意图。图中画出了计算机控制系统与生产过程的联系。生产过程中的运行参数通过外围设备送入CPU，经CPU进行计算、分析、判断。然后，再通过外围设备送到执行机构对生产过程进行控制，或送到外部设备去进行打印、制表和显示。

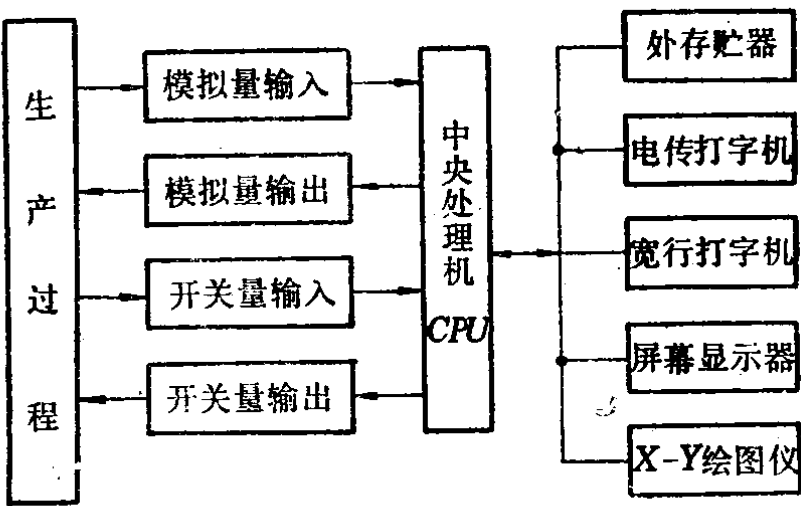


图 1-1 计算机控制系统示意图

对计算机控制系统的要求为：

1. 中央处理机 (CPU)

为了使生产过程的各种参数按一定的调节规律或数学模型进行计算和分析，CPU 必须具备与通用计算机相类似的运算功能。另外，还应有下列性能。

(1) 高度的可靠性。发电厂是连续生产的部门，故要求CPU能够长期稳定地运行。

(2) 应有较强的中断系统。计算机控制系统必须具有实时性能。在生产过程发生紧急情况时，就立即申请中断。CPU 响应中断后，就暂停原来执行的程序，转而执行相应的中断处理程序，对生产过程进行紧急处理。处理完毕以后，再返回断点继续执行原来的程序。

计算机的中断功能，还带来了其它好处。例如，指出某个规定时间的到达，以便执行某一任务。又如，外部设备工作速度相对 CPU 来说是很慢的，宽行打字机每秒只能打几十行，在 CPU 使用外部设备时，如果等它工作完后再继续执行程序，则将严重浪费 CPU 的工作能力，因此，可通过中断系统使CPU同时承担几个任务。

(3) 具有实时时钟。在对生产过程的控制中，往往要求记录某些事件发生的时间；按照规定的时间表进行各种操作；在发生某事件后，经过规定的时间就必须进行某种操作等等。因此，在 CPU 执行的程序中，就需要有一个时间参数，而这个时间参数就靠实时时钟来提供。通常，有两种实施方法：一种是有一个实时时钟作为外部设备，程序可以去读时间，也可以给实时时钟规定用多少时间来申请一次中断；另一种是在 CPU 或外部设备中有一个基本的时标发生器，再利用中断及软件配合来产生各种时间间隔。后一种方

法虽然要占用CPU的时间，但较经济。

2. 外围设备

发电厂生产过程的运行参数，大致可归纳为两类：模拟量和开关量。模拟量是指连续变化的量，如压力、温度、流量、电流、电压等。开关量是指仅有两个状态的变量，如某断路器的“合”与“断”，某台水泵的“开”与“停”等。计算机控制系统要对生产过程进行监视与控制，必须把这些模拟量与开关量输入CPU中，经计算、分析、判断后，再输出模拟量和开关量，以进行调节和操作。这些模拟量的输入与输出设备称为外围设备，或称过程输入、输出装置。

3. 外部设备

外部设备包括计算机控制系统正常工作所必需的设备，如外存贮器（磁盘、磁鼓、软盘）、宽行打字机、屏幕显示器、电传打字机、X-Y绘图仪等设备。通过这些设备，可以存贮大量信息、可以输入程序、可以进行人机联系等等。

§ 1-2 计算机控制的软件系统

发电厂的计算机监视与控制，其功能举例如下：

1. 正常工况下的监控

在正常工况下需要监视与控制的项目相当多，主要有：

（1）运行参数的监视。计算机按照生产过程运行参数的重要程度分成几类，按不同周期进行检查和监视。如发现异常，能立即显示、打印并报警；另外，也可由运行人员通过控制台要求计算机对某些参数作检查，并把检查结果通过显示或打印向运行人员报告。

（2）制表。计算机通过宽行打字机每天24h准点打印

必要的生产参数，代替运行人员抄表，以做运行分析的依据。

(3) 工况计算和最优控制。通过一定的数学模型对运行工况进行计算和调节，从而使机组维持在安全和经济的最优工况下运行。

(4) 运行人员通过控制台命令计算机按规定的负荷发电。

(5) 趋势分析和趋势预报。计算机除随时响应和处理被控对象发生的异常现象外，还应不断地对某些关键运行参数的趋势进行预测及分析。

2. 机组的启动和停止

计算机能完成单元机组启停过程中的绝大部分操作和调整。运行人员只要发出一个“启动”命令，机组就能从自动点火开始，以滑参数的方式启动，直到并入电网，达到额定负荷为止。同样，若机组正在运行，需要它停下来，则发一个“停役”命令，机组就可以滑参数的方式逐步降温、降压减负荷，直到与电网解列，全部停役为止。在机组启停过程中，运行人员亦可通过控制台直接干预计算机的工作。

3. 事故分析与处理

机组在运行时，偶然出现了事故情况，如锅炉水位因某种原因而超越了限值，计算机将立即进行事故分析与处理，对有关的参数和设备进行调整，使其恢复正常。如果通过处理无法使事故消除，则应紧急停机。

计算机控制系统要完成上述的功能，必须预先编制一套程序（软件），才能有规律地工作。所以，软件系统是计算机控制系统的重要组成部分。软件可以分为三类：

(1) 应用程序（目的程序）。包括为所有监视和控制

功能而专门编制的一系列程序。

(2) 管理程序(操作系统)。要使发电厂在计算机控制下运行,按其功能范围不同,上述的这种应用程序往往有几十个甚至上百个。计算机每一时刻应当执行什么程序,这是一个复杂的管理和调度问题。如果没有统一的管理和调度,势必将发生混乱或造成生产事故。因此,统一管理和调度的任务就由单独的一个程序——管理程序来完成。

管理程序除调度与管理应用程序外,还应包括以下内容:

- 1) 外部、外围设备管理;
- 2) 外存贮器管理;
- 3) 中断管理;
- 4) 时钟管理;
- 5) 人机联系程序;
- 6) 服务性子程序库。

(3) 自诊断程序。自诊断程序是用来发现硬件故障的程序。一系列的诊断可以在诊断执行程序的操纵下找出故障元件或部件所在的部位。故障的定位可以准确到接插件或某印刷板。

§ 1-3 各种类型的计算机控制方式

1. 数据采集(DAS)

计算机在电厂生产中最简单的应用是数据采集,如图1-2所示。把需要收集的运行参数(数据)通过外围设备,变为数字量后送入内存。这时的数据是检测仪表所输出的相应电压值。计算机再把这些数据用适当的公式换算成以相应

运行参数的工程单位表示的数。需要时，计算机还可以进行一些其它的数据处理。计算的结果，通过外部设备输出，记录在外存贮器或直接打印出来。

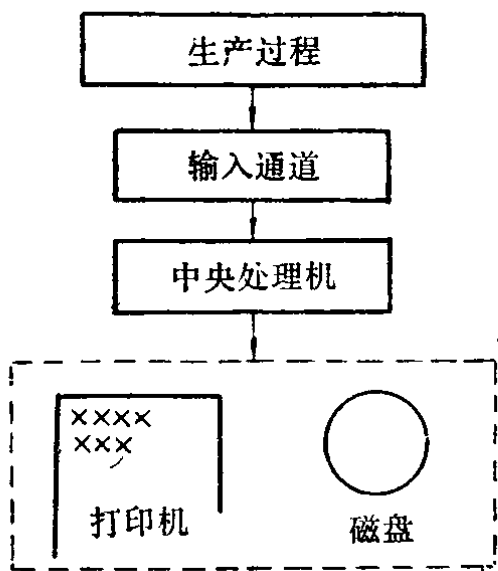


图 1-2 数据采集系统 (DAS)

通常，数据采集只是作为计算机控制系统的一部分工作。它的目的是记录生产过程的历史资料和在各种不同情况下研究生产过程，以建立或改善生产过程的数学模型。

2. 操作指导 (OG)

在发电厂控制中，操作指导的方式就是运行的安全监视 (OSS)。在这种方式中，计算机的输出不直接去控制生产过程，而仅输出一些数据或操作建议，然后由操作人员去进行操作。这种方式

的安全监视 (OSS)。在这种方式中，计算机的输出不直接去控制生产过程，而仅输出一些数据或操作建议，然后由操作人员去进行操作。这种方式

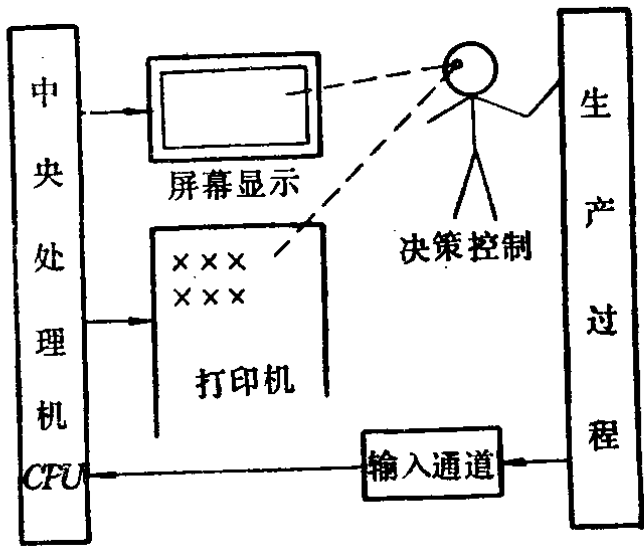


图 1-3 操作指导系统

在这种方式中，每隔一定的时间，就把运行参数送入计算机。计算机就按生产流程的要求，计算出各控制量应有的合适或最优的数值，在屏幕显示器上显示出来，或者由打字机打印出来。运行人员就按这些数据去改变各调节器的设定值，或操作执行机构。这样，计算机控制系统就起了一种操作指导的作用。此外，越限或事故报警，也是操作指导的一部分工作。

如对锅炉燃烧来讲，当燃料种类改变时，计算机就可以进行计算，以便确定各调节系统中的设定值。这样，可以使锅炉维持在合理的情况下运行。

采用计算机操作指导方式的优点，是比较灵活和可靠。计算机给出的操作指导，运行人员认为不合适就可以不采纳。所以，这种方式常常用于计算机控制系统设置的初期阶段，或用于试验新的数学模型和调试新的控制程序。

3. 监督控制 (SCC)

在上面所述的操作指导方式中，实际去调整调节系统设定值的是运行人员。而在监督控制方式中，则是由计算机输出，通过外围设备直接去调整调节系统的设定值。所以这种方式又称为设定值控制 (SPC) 方式，如图1-4所示。

在计算机数据输入方面，SCC方式与操作指导方式无多大差别，计算机进行的控制计算也大致相似。但在计算机的输出方面，两者却有很大差别。SCC方式中，计算机的输出要直接去调整调节系统的设定值。如果调节系统需要电压输入，则计算机就要通过外围设备中的模拟量输出装置进行输出。如果调节系统设定值的改变采用步进电机驱动，则计算机就应算出步进电机必须转动的步数，并要规定其转向。

SCC的优点是：能使生产过程始终在最合理的状态下运

行，从而避免了不同的运行人员用各自的办法去调整调节系统的设定值所造成的控制差异；另外，计算机因某种原因而退出运行时，生产过程仍可由各调节系统独立控制而不会受到严重影响，当然，此时的控制品质就会降低。

要实施SCC，主要是软件问题，也就是说其控制效益主要在于数学模型的精度、算法的优劣和程序的技巧。

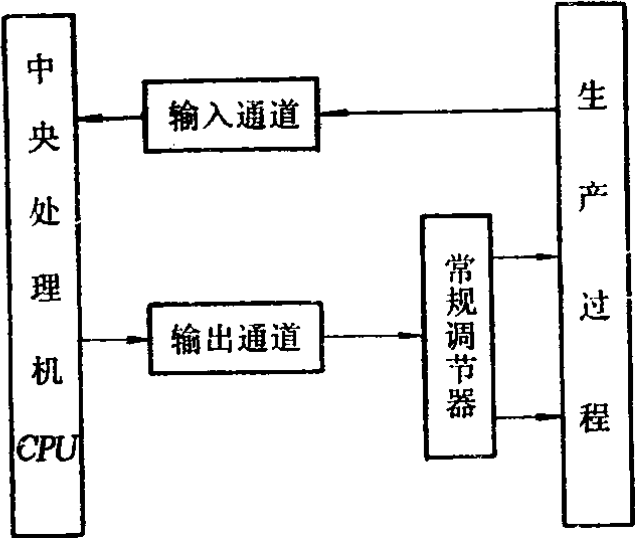


图 1-4 监督控制系统 (SCC)

4. 直接数字控制 (DDC) 方式

在一个生产过程中，往往要用到若干套模拟量调节器，它们各自按照其设定值工作，使整个生产过程维持在正常的工况。DDC 方式是用一台计算机或数台微处理机来代替过程中所有的模拟调节器。这样，就可以得到很大的经济效益。计算机数据输入与SCC方式无什么差异，其输出则不是去改变调节系统的设定值，而是直接去控制生产过程，因此，称为直接数字控制。

DDC方式的原理图如图 1-5 所示，DDC 方式要求计算机控制系统有很高的可靠性，并且当计算机万一发生故障

时，能安全地转入人工控制。另外，当计算机故障被排除后，从人工控制返回计算机控制时，应该对生产过程无冲击现象。

DDC 方式的优点是灵活性大。因为计算机有很强的计算能力，可以适应复杂的控制规律；而且控制规律要改变时，仅改变其应用程序就可以了，故比较简便。

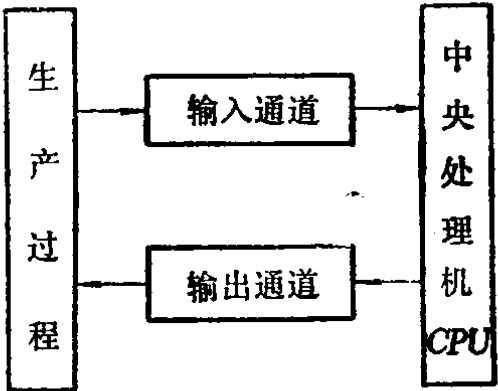


图 1-5 直接数字控制系统(DDC)

5. 分层控制 (HC) 方式

在工业生产中开始应用计算机时，是分别在生产管理和过程控制两方面同时发展的。后来，由于生产规模越来越大，信息量越来越多，对计划管理和信息收集的及时性要求越来越高，这就要求计算机管理系统能直接指挥生产过程的

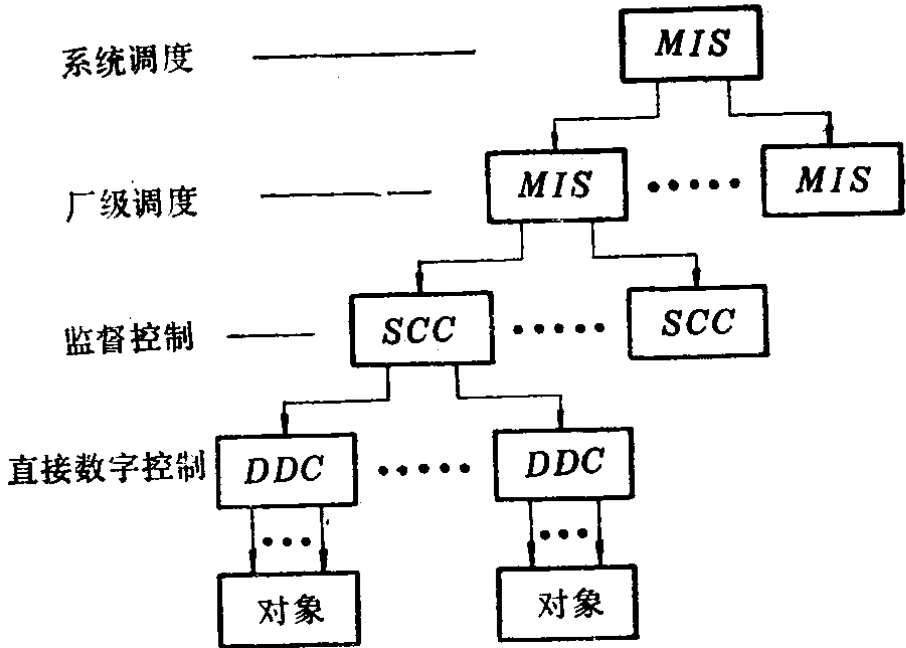


图 1-6 分层控制系统(HC)

计算机控制系统，也就是说要建立多层计算机控制系统。

图1-6是分层计算机控制系统的概念图。*DDC*层直接用于控制生产过程。在这一层中，主要进行*PID*等各种直接数字控制，并可进行数据采集、监视报警等工作。

*SCC*层主要进行最优控制计算，指挥*DDC*层工作，调整*DDC*层中计算公式的参数并对运行人员发出操作指示等。

厂级调度层（*MIS*）主要进行生产的计划和调度，并指挥*SCC*层工作。在发电厂计算机控制中，主要实现全厂经济调度（*ELD*）及最优开停机计划（*UC*）等。

系统调度层就是电力系统总调计算机监控层，通过远动装置与各发电厂进行信息传送。对发电厂的厂级调度层发出指令，实现自动发电控制（*AGC*）等功能。