

计算机控制

闵应骅 编著



中国铁道出版社

计 算 机 控 制

闵应骅 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1978.11.年 8 北京

内 容 简 介

本书从过程控制计算机、生产过程通道、实时操作系统、可靠性等方面介绍计算机控制系统。内容包括：逻辑网络的一些基础知识，主机、接口与总线，开关量输入输出及模拟量输入通道，系统软件——实时操作系统及使用方法和可靠性理论。对各种系统设备侧重于框图描述、相互连接和使用方法，理论部分则侧重于严格论证及通俗解释。在叙述方法上，本书以简明扼要、“粗中有细”为特点，结合铁路驼峰自动控制的一些具体实例，着重于基本原理和概念，既照顾到内容比较全面，又对重点问题作了较深入细致的介绍。

“粗中有细”为特点，结合铁路驼峰自动控制的一些具体实例，着重于基本原理和概念，既照顾到内容比较全面，又对重点问题作了较深入细致的介绍。

本书可供从事过程控制计算机以及计算机控制系统的设计、使用、施工、维修各方面的工作者阅读，也可供高等院校有关专业师生参考。

计 算 机 控 制

闵应骅 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 陈广存

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：11.375 字数：259 千

1981年11月 第1版 1981年11月 第1次印刷

印数：0001—8,000 册 定价：1.20 元

前 言

当代电子数字计算机已经渗入人类生产和生活各个领域，而且正在日新月异地发展着。电子计算机应用于生产过程的自动控制已经取得明显的效果。本书以小型多功能计算机为对象，介绍以过程控制计算机为核心的计算机控制系统。希望能对关心或者从事电子计算机及其在自动控制上应用的同志们有所帮助。

本书结合驼峰自动控制的一些具体实例，介绍计算机控制系统，并着重于基本原理和概念的叙述。全书共分十章。第一、二章介绍一些基础知识。这些基础知识，不但对于理解全书是必要的，对于系统设计也是有益的。第三、四章讲主机，第五、六、七章讲生产过程通道，第八、九章讲实时操作系统，第十章简要介绍控制系统的一个重要问题——可靠性。

本书也不同于主机、通道及实时操作系统的说明书或使用手册，它不可能那样面面俱到，而是着重讲清基本原理和概念。根据作者近年来工作的体会，计算机控制系统的设计、使用、施工、维修各方面的工作者，对于整个计算机系统的概括的粗线条的了解是很重要的。但是，这些粗线条的了解必须建立在对各个具体细节的深入掌握的基础上。因此，作者在叙述方法上，力求做到“粗中有细”。譬如，在第三章介绍主机时，重点讲述了一张总框图，以便形成计算机的总概念，搞清各部分的相互关系。同时在第四章又详细地介绍了为了与生产过程通道连接所必须的接口与总线，既

36366

为以后各章讲述通道打好基础，同时也是用户自己设计专用外围设备或修改已有外围设备所必须掌握的。

本书除在各章中尽量注意结合铁路驼峰自动控制的实际以外，还有专门章节介绍测阻检轴器的输入、测速雷达及测长的输入等内容。作者以为，这对从事其他计算机控制系统工作的同志们也有一定参考价值。

由于作者水平有限，书中可能存在很多缺点和错误，欢迎同志们批评指正。最后，谨向上海无线电十三厂、铁道科学研究院通信信号研究所及上海铁路局编组站自动化指挥部的同志们对作者的帮助，北方交通大学马桂祥同志对原稿的详细审阅，表示衷心感谢。

闵应骅

一九八〇年于北京

目 录

第一章 概述	1
第一节 过程控制计算机	1
第二节 过程控制计算机的一般性和特殊性	5
第二章 逻辑网络的一些基础知识	10
第一节 布尔代数	10
第二节 逻辑函数	15
第三节 逻辑网络	25
第四节 时序网络	42
第三章 一台小型多功能计算机的总框图	59
第一节 控制器	61
第二节 运算器	76
第三节 存储器	80
第四节 通道	83
第四章 接口与总线	85
第一节 输入输出指令	85
第二节 程序中斷	91
第三节 数据通道	100
第四节 接口	107
第五节 总线	118
第五章 开关量输入	127
第一节 开关量输入通道框图	127
第二节 驼峰现场接点输入	141
第三节 毫秒时钟	143
第四节 检轴器输入	145
第六章 开关量输出	151
第一节 开关量输出通道框图	151

第二节 时间监视器	160
第七章 低速模拟量输入	163
第一节 级联式模数转换器	163
第二节 逐级比较式模数转换器	170
第三节 采样器	183
第四节 低速模拟量输入通道总框图	192
第五节 <i>M R D</i> 程序使用方法	193
第八章 实时操作系统	198
第一节 怎样读程序	198
第二节 什么是实时操作系统	201
第三节 中断处理	215
第四节 任务的管理和通讯	223
第五节 设备管理	242
第六节 时钟管理	262
第九章 实时操作系统的使用	267
第一节 驼峰自动控制上使用 <i>RTOS</i> 有何好处	267
第二节 用户程序方案的确定	269
第三节 检轴器检查程序	273
第四节 用户程序的汇编、装入与调试	282
第十章 计算机控制系统的可靠性	291
第一节 可靠性问题的提出	291
第二节 可靠性理论的进展	292
第三节 故障率和平均故障间隔时间	298
第四节 可修复系统的可靠性	309
第五节 提高控制系统可靠性的途径	338
附 录	347
附录一 小型多功能计算机指令系统	347
附录二 <i>RTOS</i> 命令表	352
附录三 硬件缩写符号表	356

第一章 概 述

第一节 过程控制计算机

今天，电子计算机已经渗透到人们的社会生产、科学实验和人类生活的各个方面。电子计算机技术获得如此高速、如此广泛的发展，除了说明今天人类的物质文明已发展到相当的水平以外，也说明电子计算机本身具有何等强大的生命力。

在铁路方面，不但用电子计算机进行运营管理，而且可以对调度指挥、编组作业等各方面进行自动控制。用来对生产过程进行控制的电子计算机，我们称之为过程控制计算机。而以过程控制计算机为中心所组成的控制系统，我们称之为计算机控制系统。本书将从过程控制计算机、生产过程通道、实时操作系统、可靠性等方面介绍计算机控制系统。

下面我们就较详细地谈谈电子计算机在驼峰编组站的应用。

编组站是铁路运输不可缺少的环节，是生产列车的加工厂。随着铁路运输的发展，铁路上出现了驼峰编组站。美国最早的驼峰编组站是1883年在宾夕法尼亚铁路修建的。1924年美国开始在编组站应用车辆减速器制动溜放车组。五十多年来，驼峰编组站的自动控制技术在世界各国都得到了很大的发展，在运输生产上发挥了显著的作用。

电子计算机在铁路编组站自动控制上的应用是从六十年代初期开始的，到现在也不过十多年的历史。真正把数字电子计算机应用于驼峰编组站的自动控制，无论是在美国、日

本或其他各国都是六十年代以后才开始的。但在最近十几年来发展极为迅速，许多国家都出现了用数字电子计算机控制的自动化驼峰编组站。在这同时，我国也进行了这方面的大量研究试验工作，而且已经在生产上收到了一定的效果。

电子计算机对于编组站的自动化可以在数据处理、实时控制两方面发挥它的作用。

一、数据处理

任何一个编组站都是整个铁路运输的一个环节。局部离不开整体，同时，它又影响全局。它与各方面的联系如图 1—1 所示。

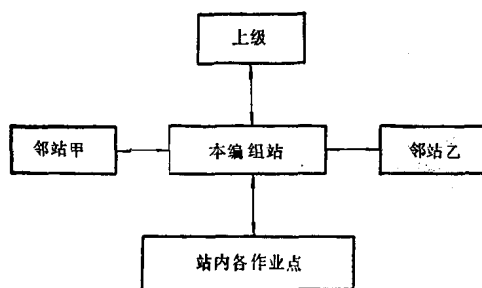


图 1—1 编组站与各方的联系示意图

(1) 本编组站要接收邻站送来的到达列车编组顺序表，以便得到到达列车的组成情况、装载情况、始发站、目的地、货主要求的特种继送车等各种数据。在该列车进站时，要核对车数，检查货车偏载情况。

(2) 当本编组站已经编好一个新的列车时，也要向有关邻站传送列车编组顺序表。

(3) 本编组站要接收上级的各种命令。例如根据分局、局的命令变更车站作业计划（列车停运、加开等）。并

且要将货报统计等数据及时报送上级。这里所说的“上级”，可以是上级机关，也可以是上一级数据处理中心。

(4) 本编组站的指挥中心要收集到达场、编组场、出发场等各作业点的输入信息，掌握列车到达、解体、编组等项作业的实际情况，掌握编组线内货车数和每一股道内停放货车的数量。

(5) 本编组站的指挥中心在得到了以上各种信息以后，根据货车基本运行图、车站技术作业表和列车编组方案，来确定货物列车的到达、解体、编组、发车等项作业计划。必要时进行作业计划的变更和修改。分别向站内各作业点发出相应的命令。

以上这些，正是编组站数据处理系统要完成的工作。这些工作按工作性质来分可以分为以下几类：

① 信息的收集和传送。信息的来源包括键盘设备、纸带输入机、远距离数据传输机，以及实时控制计算机。

② 信息的处理和存储。要对收集到的信息进行去伪存真的处理。判定信息的正确性，并尽最大可能，纠正一些错误。

③ 信息的分析、整理。代替调度人员的部分脑力劳动，对于各种信息进行分析、思考，制定各种作业计划。

完成这些任务的数据处理系统的核心就是数据处理计算机。或者叫中央数据处理装置。

二、实时控制

对于编组站的现场设备进行控制有一个“实时性”的要求。譬如列车到达进路必须在列车到达以前办理好。推峰机车遥控必须及时发出加速、减速等命令，才能有效的提高运输效率，保证安全。车辆的速度控制必须在有效控制时间内进行。对于其他检测设备，如果不能把信息及时送入计算

机，就有丢失信息，造成错误的危险。

(一) 进路控制

根据数据处理机预先编制的作业计划和储存的到发、调车进路表，指挥电气集中设备，自动排列进路。

(1) 列车到达进路。根据邻站传来的列车车次，自动构成通向指定到达股道的进路。

(2) 推峰机车进路。包括推峰机车的预推、迂回、折返、推送进路。

(3) 溜放进路。根据预先编制的解体计划，自动排列溜放进路。

(4) 峰尾调车进路。

(5) 本务机车调车进路。

(6) 机车出入库进路。包括本务机车和推峰机车的出入库。

(7) 发车进路。当一个新的列车已编组完毕，发车作业准备完了以后，自动构成站内发车进路。

所有这些进路控制的控制对象是道岔和信号机。道岔的错误扳动和信号机的错误开放可能造成严重的行车事故。为了保障安全，对于进路控制的“安全性”要求是很高的。所以，在计算机发出控制命令，等现场执行——道岔扳动或信号机开放以后，通过反馈输入，再送入计算机，以便计算机得到在它的命令发出若干时间以后，现场是否已经执行的回答，实现闭环控制。

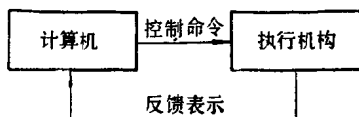


图 1—2 进路闭环控制框图

(二) 货车溜放速度控制

欲解体的列车，按解体计划分成溜放车组通过驼峰，进

入各自的编组线，为了与编组线内已有车组安全连挂，就必须对溜放车组进行速度控制。

(1) 溜放车组的间隔控制。在驼峰道岔区段，前后车组必须保持一定的间隔，保证道岔转换时间，才能使前后车组进入各自应该进的股道，不致溜错。同时，这个间隔又必须尽可能小，才能提高解体效率。因此，必须对溜放车组进行速度控制以保证间隔。

(2) 溜放车组目的制动的控制。溜放车组进入预定的编组线以后，必须与该编组线上原有车辆以允许的速度连挂。根据我国车辆装载和车辆结构情况，连挂速度不允许超过5公里/小时。同时，又不允许留天窗。否则，就浪费了编组线的长度，该编组线内预计可以进入的车数就可能放不下，必须机车下峰整理，影响作业效率。

控制货车溜放速度的工具已经有很多种。例如车辆减速器、绳索牵引加减速小车、直线电机、加减速顶等等。这些就是速度控制的执行机构。

(三) 推峰机车速度控制

当推峰机车把列车从到达线推向驼峰峰顶时，可以用较快的速度。解体开始以后，就必须以较慢的速度推送。而且，应该根据溜放车组的长度、分路道岔的位置，在保证车组溜放间隔的条件下确定最佳的推峰速度，由计算机发出命令，自动控制推峰机车的启动、停止、加速和减速。

第二节 过程控制计算机的一般性和特殊性

过程控制计算机一般是作为计算机控制系统的核心部件。计算机控制系统尽管可以千差万别，但其基本组成皆可归结如图1—3所示。

检测设备把现场的有关信息，通过信息输入环节送到主

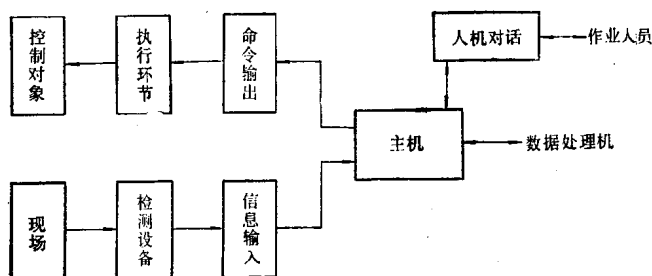


图 1-3 计算机控制系统基本组成框图

机，主机根据现场情况，作出最佳控制决策，通过命令输出环节送到执行环节，以便动作被控制对象。同时，主机通过人机对话设备与作业人员联系，并通过高速数据通道与数据处理机交换信息。

有时我们把作工业控制用的过程控制计算机叫做控制机，而把作数据处理和科学计算用的计算机叫做通用机。近年来，随着技术的进步，许多小型控制机也可以进行数据处理，必要时还可以进行一些小型的科学计算。使用小型控制机作直接面向生产现场的控制以后，又需要较大型的二级、三级计算机作为公司和工厂一级的管理用。所以，最近以来，专为某一种生产过程控制用而设计一种专用机的企图已经越来越少，控制机与通用机之间的共性已经被大家所公认。但是，随着近年来微处理机的发展，用微处理机的各种不同类型芯片组成最适合某一特定用户需要的系统的企图又有所发展。

不论是用微处理机还是小型机，只要是作控制用的计算机，与作为科学计算和数据处理的计算机比较起来，总有它自身的特殊性。

(1) 字长。控制机处理的数据，许多是由模拟量经过模数转换使之数字化的。根据模数转换的精度，字长位数太多是没有意义的。同时，根据控制的数学模型进行计算，精度也毋需很高。所以，一般都是字长16位。作为不带符号的整数，所表示的数的范围是 $[0, 2^{16}-1]$ 即 $[0, 65535]$ 。作为带符号整数，其数的范围是 $[-2^{15}, 2^{15}-1]$ 即 $[-32768, 32767]$ 。作为定点二进制小数，其数的范围是 $[-1, 1-2^{-15}]$ 即 $[-1, 0.99997]$ 。如果在某些特殊情况下，嫌精度不够，可以用程序实现双倍字长、三倍字长的运算。

(2) 内存容量。至今大多是采用磁芯存储器，其容量大体都是 $4K \sim 32K$ ($1K$ 是指1024字)可扩，由用户选定。一般在下述三种情况下，可以使用外存储器，如磁鼓、磁带等：

① 需要永久保存的文件。例如编组站控制机的控制程序、本编组站站场情况等参数一般是不经常变化的，需要永久保存。封锁写入操作就可以保证这些文件不会被破坏。只有在刚开机或者发生故障以后重新开始工作时才需要调出这些文件，进驻内存。

② 大量的控制过程中的实际数据需要暂时保留，以备考查。例如对铁路驼峰溜放车组在减速器上减速的情况，每0.1秒雷达采样一次，每秒10个数据，车组从进入减速器之轨道电路到出清，一般要经过15秒左右，就有150个数据。一个车组至少要通过三个部位的减速器，就有450个数据。解一列车按24钩车计算，单是这一项就需要暂存10000个数据。象这样大量的数据如果需要暂存的话，就可以写入外存储器。但是，在控制过程中启用外存，必须考虑实时性的问题。因为磁鼓转一圈就需要约四十毫秒，所以，主机从发写鼓命令到写完可能需要经过四十毫秒，当占用某一段内存的

文件准备好以后，主机发写鼓命令。在长达四十毫秒的等待时间内，内存中的文件可能被实时信息所修改，甚至破坏。所以必须慎重地选择写鼓的时机。

③ 同一台外存储器有两套读写设备，分别与两台主机相联系。这样，这一台外存就成了两台主机交换信息的途径。例如数据处理机把已经编制好的解体计划存入磁鼓的一个确定区域。当峰顶开始解体某一列时，控制机就到磁鼓该区域去取解体计划。双机并行运转时，如果主机故障或者掉电，就可以将全部内存写入磁鼓，以便副机调用，或者电源恢复以后自己继续工作。

(3) 运算机能。控制机一般都用二进制定点加减运算指令，不带乘除和浮点运算。乘除法可以用子程序来实现，也可以用乘除部件作为一个外部设备来实现。对于控制机来说，逻辑运算指令极为常用。譬如逻辑乘、按位加、取反、取补等。

(4) 输入输出机能。在控制机的全部工作中，输入输出占有很重要地位。因为它经常要与现场设备联系。

① 控制机除配备像纸带输入机、穿孔机、控制台打字机、电传打字机等通常的外部设备以外，还有卡片机、带键盘输入的字符显示器或图形显示器。而且要有一定距离的远程接口设备，以便实现离主机较远的作业人员与主机之间的通信。

② 控制机还必须配备与现场直接联系的过程输入输出通道。由于现场检测点、控制点很多，过程输入输出通道的设备数量是很大的。

③ 要有比较完善的中断系统。控制机必须能自动快速地响应生产过程和计算机内部发出的各种中断请求，并有多重中断机能。对于各种外围设备的中断请求信号，不但不应丢

失，而且应能作出及时的响应。

④ 时间监视器对于控制机来说，也常常是不可缺少的。时间监视器的构成方式多种多样，但目的都是监视主机的工作。当主机发生某些故障时，能自动地产生一种特殊的输出，以便控制上采取措施。

(5) 与其他计算机的配合。从现在控制机发展的趋势来看，单独用一台控制机的情况是很少的。从纵的方面说，控制机要和数据处理机或各级管理计算机组成分层系统。从横的方面说，为了提高可用性，常用几台控制机并行运转，或者由于系统过大，用几台分担控制任务。这就需要具有数据传输和多机通信设备。

(6) 对外界环境的适应性。控制机安装的环境是多种多样的。安装在飞机上的计算机，要能耐较大的震动，安装在电站的控制机就要能抗电的强干扰。这些要求比通用机更加苛刻。

(7) 可靠性。通用机可以定期的进行停机维修，算错了可以重算，系统失灵也不会造成致命的破坏性的后果。而控制机大多要求长期不停顿的运转。一般要求平均故障间隔时间为几千小时以上。故障最多每年一次，停机时间每年约4~8小时。对于铁路信号上用的控制机，可靠性更有特殊的要求。后面将详加说明。

目前，堆栈、微程序控制等技术已经在小型控制机上采用，微处理机的发展也给控制机系统的发展提供了广阔的前景。

第二章 逻辑网络的一些基础知识

无论是各种铁路自动控制设备,或者是数字电子计算机,除了一部分属于线性放大电路之外,大部分是逻辑网络。它们所包含的逻辑元件成千上万,但是,每一个逻辑元件无非是两种稳定状态。例如继电器的吸起和落下,晶体管的导通与关闭,集成电路与非门输出为高电位或低电位。逻辑上分别称它们为“1”和“0”。虽然每一个元件只有“1”和“0”两种状态,但是,由许多元件却可以构成完成各种复杂功能的设备。给定一个设备,要确定它可以完成那些功能,这叫做逻辑网络的分析。反之,给定各种技术条件,要做出满足这些要求的设备,谓之逻辑网络的综合。近四十年来,人们开始广泛采用数学的方法来研究逻辑网络的分析、综合,逐步形成了逻辑网络理论这样一门学科。为了阅读本书的需要,本章将简述逻辑网络有关的一些基础知识。

第一节 布尔代数

“布尔代数”一词,几乎已为人们所熟知。但是,究竟什么叫布尔代数呢?下面,我们首先给出形式的定义。

定义1:

设 Ω 是一个非空集合, α, β, γ 等表示它的元素。四元集合 $(\Omega, \odot, \sim, \cong)$ 称为一个布尔代数,如果下列条件成立:

A_0 : “ $\cong$ ”是 Ω 上的等价关系。即满足,

(I) 反身性: $\alpha \cong \alpha$,