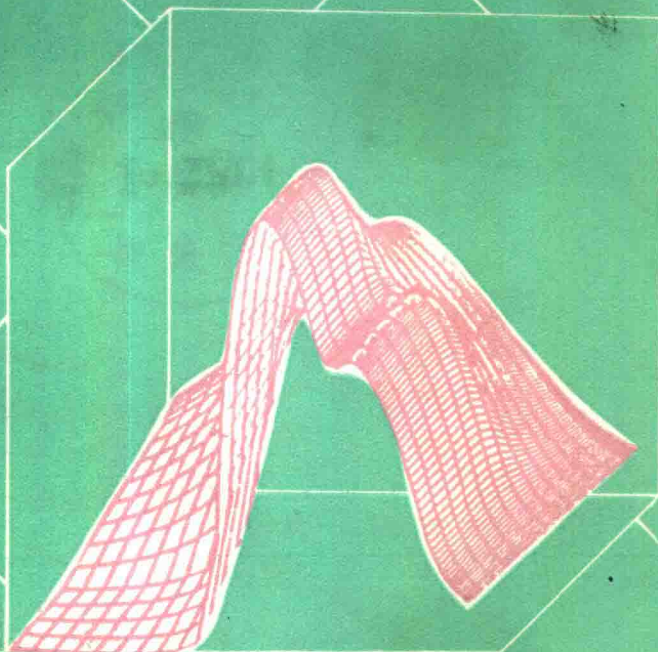
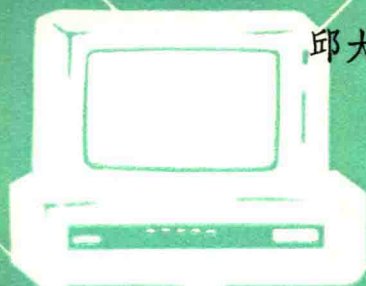


# 计算机 在材料科学中的应用

邱大年 阎承沛 左演声 编著



北京工业大学出版社

# 计算机在材料科学中的应用

邱大年 阎承沛 左演声  
编 著

北京工业大学出版社

## 内容简介

本书概括介绍了计算机在材料科学和热加工领域的应用,阐述了计算机测试与控制系统在热加工工艺过程控制中的应用和热处理工艺设计(CAD)等方面的基本理论、应用实例和国内外最新科技成果。内容包括:热处理工艺过程的计算机控制系统,传热学计算机分析,科技数据的计算机处理,相图研究与合金设计,热处理工艺设计(CAD),冷却介质研究中的计算机应用,热处理数据库,国内外热处理设备、仪器仪表装置计算机应用汇编等。

本书可作为高等学校热加工专业的教学参考书,也可供本专业广大科技人员和工程管理人员参阅。

## 计算机在材料科学中的应用

邱大年 等编著

\*

北京工业大学出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
人民教育出版社印刷厂印刷

\*

1990年1月第1版 第1次印刷

787×1092毫米 16开本 10.75印张 265千字

印数: 1~4000册

ISBN 7-5639-0023-3/TP·4

定价: 4.70元

## 引 言

材料科学与工程中的计算机应用正在开拓发展。可以预见到,当我们有针对性地采用数据处理、传热学计算机分析、仿真技术、数学模型研究、CAD/CAM技术、工艺过程自动化、网络技术、仪表仪器计算机化、数据库等计算机先进技术,逐步地、全面地解决材料科学与工程中的重大技术问题时,必将使计算机应用技术的发展提到一个新的高度,并产生质的飞跃。这样的深刻变化,终将为有远见的,有战略眼光的材料科学与工程界的同行们所逐步认识到的。

近年来,国内在计算机的应用方面已做过不少开拓性的工作。例举如下:

1. 温度的程序控制和群控;
2. 数值计算传热学在焊接、高能密度加热、相变潜热及设备设计中的热计算方面的应用;
3. 应用相图测定的计算机方法,将大量的、复杂的、高精度的、快速的计算工作量交由计算机去完成。采用计算机取代手工绘图;
4. 在体视学和微电子技术的帮助下,完成定量金相的计算机系统的研制工作;
5. 在相变研究中,通过研究加热和冷却过程中的组织—结构—性能(包括淬透性等)之间的关系,以数学模型形式,用以预测材料性能。将计算机技术引入材料微观结构的分析研究,这是材料科学与工程中的一个关键问题;
6. 冷却介质冷却性能研究的计算机方法是应用数值计算传热学的计算机分析、运算和解题方法,得到冷却性能的重要参数。现已有配备计算机的冷却介质冷却性能测定用的仪器;
7. 工艺的计算机仿真是模拟工艺过程中,探索工艺特点及其参数之间的关系,为优化工艺,保证产品质量打好基础。这也为实验推出新方法,如离子渗碳计算机仿真应用等;
8. 在计算机仿真技术支持下,把参数控制及其优化归结为数学模型的研究应用,进一步挖掘计算机控制生产工艺的潜力,如滴控渗碳数学模型的应用等;
9. 在取得仿真技术和数学模型研究的阶段成果的基础上,根据材料加工工艺特点,探索CAD/CAM技术在此领域中的实际应用,如渗碳、可控氮化工艺CAD等;
10. 专业数据库的筹建,包括材料、工艺、设备、检验、情报资料等在内的综合专业数据库是一项繁重的、新颖的基础工作。数据库技术与CAD技术的结合,将使在数据库支持下的CAD技术更加科学化和实用化。

实践经验告诉我们,在专业应用上要强调针对性、实践性,并注意多种技术的综合应用。这需把冶金学、金属学、热加工工艺学、自动控制技术、微电子技术、计算数学及计算机技术等方面技术加以综合,在结合上下功夫。因此,学习,实践,再学习是个重要方法。鉴于此,本书的编写着重从应用角度出发,注意到基础知识和多种技术综合应用的特点。在广泛介绍、开阔视野的同时,采用实例分析方法,使专业应用在内容、方法上更加具体化,便于在校师生和有志于合作研究的本专业以及有关其他专业的同志们参阅。

书中的“国内外热处理设备、仪器仪表装置计算机应用汇编”部分是从不同计算机应用发展时期,不同角度、不同生产场合、不同特点等方面选材汇编成的,值得一读。

# 目 录

## 引 言

第一章 微型计算机的测试与控制系统	(1)
一、采样及其处理	(1)
(一) 采样周期 $T_s$ 的选择	(2)
(二) 采样方式	(2)
(三) 数字滤波	(3)
(四) 标度变换(工程量变换)	(5)
(五) 非线性补偿	(5)
二、控制方式和控制规律	(6)
(一) 直接数字控制系统(DDC系统)	(7)
(二) 计算机监督控制系统(SCC系统)	(7)
(三) 分级控制系统	(7)
三、测试与控制系统及仪表设备	(9)
四、过程控制的数学模型	(10)
(一) 经验法	(10)
(二) 理论分析法	(10)
五、防止干扰的方法与选择	(14)
(一) 布线原则	(14)
(二) 触点抖动的抑制	(15)
(三) 电网干扰的抑制	(15)
(四) 接地	(15)
(五) 屏蔽	(16)
第二章 热加工工艺过程的微型计算机过程控制	(17)
一、微型计算机过程控制系统的设计	(17)
(一) 过程控制应用软件的内容	(17)
(二) 小型应用软件系统的开发示例	(18)
(三) 热处理工艺过程控制应用软件编制的特点	(18)
二、过程控制计算机控制的连续气体渗碳炉系统	(19)
(一) 过程控制计算机连续渗碳炉控制系统	(19)
(二) 过程控制计算机	(21)
(三) 应用实例	(23)
(四) 使用效果和展望	(24)
三、采用微机可编程序控制系统的全自动化轴承热处理生产车间	(24)

(一) 控制系统概况	(25)
(二) 渗碳过程的微机控制	(27)
(三) 经济效益和展望	(31)
<b>第三章 传热学计算机分析</b>	<b>(32)</b>
<b>一、材料科学与工程中的传热学问题</b>	<b>(32)</b>
(一) 温度场的计算	(32)
(二) 传热过程与热加工工艺	(32)
(三) 工艺装置	(33)
(四) 高能密度加热方法	(33)
(五) 冷却过程中的传热学	(33)
<b>二、传热学计算机方法</b>	<b>(33)</b>
(一) 工艺过程特点与分析方法	(34)
(二) 稳态导热的有限差分法的应用	(35)
(三) 非稳态导热的有限差分法的应用	(38)
(四) 伴有相变的热传导	(39)
<b>三、传热学计算机分析实例应用</b>	<b>(39)</b>
(一) 平板非稳态导热计算实例应用	(39)
(二) 薄板加热计算的实例应用	(42)
(三) 一维焊接热传导差分计算实例应用	(47)
<b>第四章 工程常用数学的计算机处理</b>	<b>(50)</b>
<b>一、误差分析</b>	<b>(50)</b>
(一) 粗大误差的剔除方法	(50)
(二) 系统误差判别	(55)
<b>二、数值分析</b>	<b>(55)</b>
(一) 方程求根	(56)
(二) 解方程组	(57)
(三) 插值法	(60)
(四) 最小二乘曲线拟合	(61)
<b>三、最优化方法</b>	<b>(63)</b>
(一) 一维搜索方法	(63)
(二) 多维搜索方法	(66)
<b>第五章 相图研究和合金设计</b>	<b>(69)</b>
<b>一、计算机相平衡计算方法</b>	<b>(69)</b>
(一) 热力学模型的用途	(69)
(二) 热力学数据的存储	(70)
(三) 相平衡的数值计算	(71)
(四) 相界的计算	(72)
(五) 软件的通用性	(73)
<b>二、合金设计中的计算机应用</b>	<b>(73)</b>

(一) 合金设计	73
(二) 合金设计中计算机应用示例	76
<b>第六章 热处理工艺设计(CAD)</b>	80
一、计算机辅助热处理与预测性能	80
二、用计算机预测钢的淬透性的研究	85
(一) 基本原理	86
(二) 计算机计算结果分析	87
(三) 计算机辅助设计法预测钢的淬透性的研究评价	89
三、采用强渗—扩散两段式渗碳工艺的计算机	90
(一) 概述	90
(二) 最优化公式	92
(三) 表面无限大钢板和圆柱体表面与心部碳浓度的统计模型	93
(四) 拟合的试验设计	94
(五) 拟合的多次回归分析	94
(六) 强渗—扩散处理工艺的非线性程序问题与最优化模型间的关系	95
(七) 最优化程序的选择	97
(八) 最优化问题的目标函数和限制条件程序的编排	97
(九) 最优化的结果	98
(十) 讨论与结论	99
四、利用电子计算机进行碳氮最佳渗层成分共渗的工艺设计	100
(一) 高温碳氮共渗时最佳化	100
(二) 用电子计算机模拟预示表面层合金元素浓度的分布	101
<b>第七章 冷却介质研究中的计算机应用</b>	103
一、冷却介质冷却能力的测定方法	103
二、用微处理机测定淬火介质的特性曲线	105
(一) 测试方法	106
(二) 实验数据的数学处理	106
(三) 计算机的程序设计	107
(四) 试验示例	108
三、淬火介质冷速测定中的计算机算法	109
(一) 算法的误差来源	110
(二) 几种常用算法的精度分析	111
(三) 拟合求导法	112
(四) 提高算法的有效性	113
<b>附录一、模拟数据误差对几种常用数值导数算法精度影响的计算实验</b>	113
<b>附录二、用拟合算法绘制的冷却曲线图</b>	114
四、水油两用淬火介质冷却速度测定仪	114
(一) 仪器特点及用途	115
(二) 仪器构成及主要参数	115

(三) 使用效果·····	(116)
<b>第八章 热处理数据库·····</b>	<b>(119)</b>
一、材料科学与工程中的数据库问题·····	(119)
二、数据库系统概述·····	(119)
三、热处理数据库设计及其特点·····	(121)
(一) 需求分析·····	(122)
(二) 概念结构·····	(122)
(三) 逻辑结构设计·····	(124)
(四) 物理结构设计·····	(126)
四、数据库支持的热处理 CAD 系统·····	(127)
<b>第九章 国内外材料科学与工程中的计算机应用汇编·····</b>	<b>(129)</b>
一、热处理工艺控制和材料科学研究的计算机应用·····	(129)
二、热处理装置、设备的计算机应用·····	(143)
三、热工测试仪器仪表与测试技术的计算机应用·····	(150)
四、信息与管理工程研究的计算机应用·····	(160)
<b>参考文献·····</b>	<b>(162)</b>



# 第一章 微型计算机的测试 与控制系统

## 一、采样及其处理

计算机控制是把被控对象(过程)的有关参数(如温度、压力、电压、流量、液位、成分等)进行采样,并通过输入通道,把模拟量变为数字量传送给计算机。计算机将这些数字信息按预定的控制规律(数字模型)进行计算,并通过输出通道把计算机结果转换成模拟量去控制被控对象,使被控量达到预期的要求。这种控制方法的特点是可靠性高、灵活性大、适应性强,可对生产过程实现高性能、高精度的自动检测和最优控制。

所谓采样就是将连续时间的模拟量信号、按周期 $T$ 采集后,输出为离散时间的数字量信号,如图1-1所示。

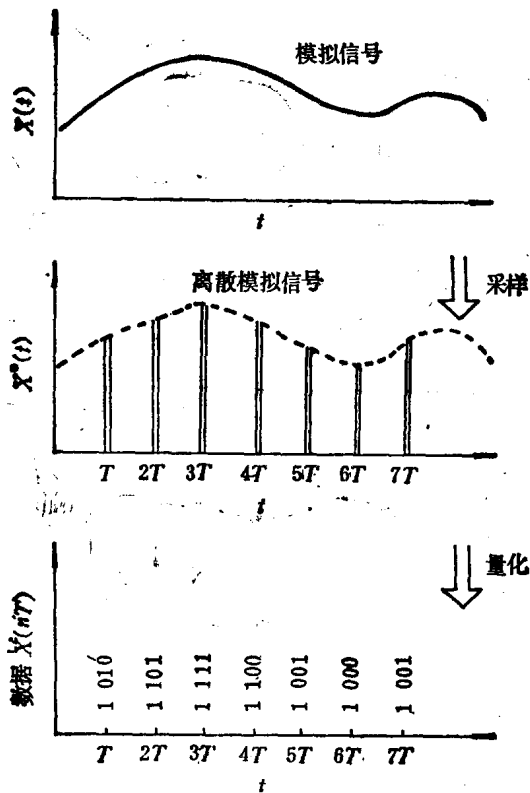


图1-1 采样示意图

## (一) 采样周期 $T_s$ 的选择

如上所述,采样过程中,每两次采样的间隔称为采样周期( $T_s$ )。每次采样所用的时间称为采样时间( $\tau$ )。在程序设计中 $\tau$ 的选择要保证在 $\tau$ 时间内被调量基本保持不变,这在工程实践中是易于实现的。比较重要的是 $T_s$ 的选择。一般从下面三点考虑选取。

### 1. 连续信号恢复

生产过程中被调参数是连续变化的。从输入方面看, $T_s$ 取值过大,损失信息,不能反映被调参数的变化和趋势。 $T_s$ 过小,导致过多的数据存贮和运算,计算机负担大,内存多,有时 $T_s$ 过小,被调参数的变化 $\Delta x$ 太小,反映不出信号变化,无意义。从输出方面看,如 $T_s$ 大,输出量 $\Delta y$ 变化量大,系统动态性能不佳,不稳定。采样基本定理指出,如信号变化的最高频率为 $f$ ,采样频率不应低于 $2f$ 。 $T_s \leq \frac{1}{2f}$ 。但是按采样定理计算选用的 $f_s$ 是理想的下限值,实际采样频率比 $f_s$ 大许多倍,通常选 $f_s$ 为模拟信号平均频率的10倍。

### 2. 不同对象的要求

一般说来,对延迟较小的对象,可取 $T_s$ 值较小些;而对延迟较大的对象,可取 $T_s \approx \tau$ 。不同物理参量采样周期的参考值如表1-1示。

表1-1 采样周期参考值

物理量	采样周期(s)	备注
流量	1~5	优选1~2s
压力	3~10	优选6~8s
液面	6~8	
温度	15~20	或取纯滞后时间
成分	15~20	

### 3. 给定值变化的影响

有的场合要求给定值是改变的,例如按某规定速度升温。这时系统应及时作出响应,要求系统较为灵敏,此时就希望 $T_s$ 较小些。

## (二) 采样方式

微型计算机测试与控制系统中,采样是由程序来控制的。采样程序的编制,取决于A/D转换器的型号,以及和CPU成接口的连接方式。通常采样方式有三种:延时方式、查询方式和中断方式。其程序如图1-2示。

### 1. 延时采样

采用延时程序等待A/D转换完成。延时程序发出启动A/D转换的命令后,当延时时间大于A/D转换器最大转换时间时,则A/D转换可确保完成。缺点是如待采集的信号正在发生变化时被读取,易于出错。

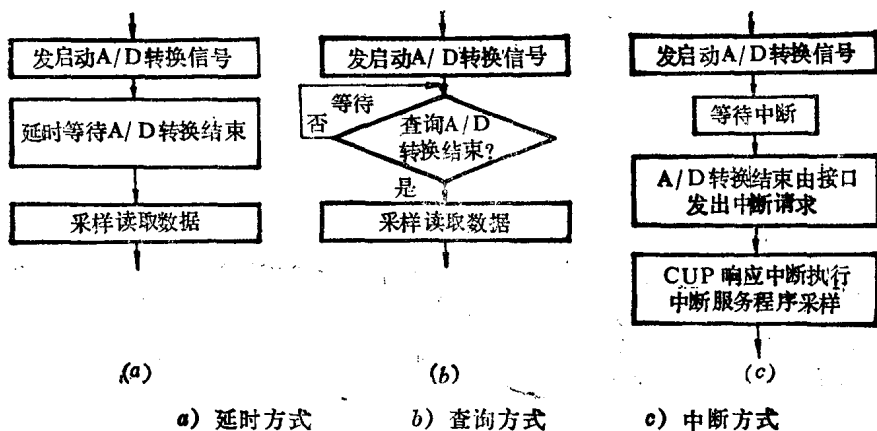


图 1-2 采样程序框图

## 2. 查询采样

采用程序指令查询 A/D 转换器是否完成转换。发出启动 A/D 转换信号后，用程序指令查询 A/D 转换器输出的电平信号变化以判断 A/D 转换是否完成。如转换完成，就进行读取转换后的数据。查询采样可以充分利用 A/D 转换器的转换速度，采样值准确无误。但接口电路需占用另一个输入接口作查询用。

## 3. 中断方式

采用将 A/D 转换后的信号送到 I/O 接口，并由 I/O 接口向 CPU 发出中断请求，CPU 响应中断时既执行中断服务子程序进行采样，读取 A/D 转换后的数据。

## (三) 数字滤波

在热加工车间现场，往往存在着较频繁大功率电磁场的干扰（如采用电加热法控制炉温，高频、中频发电机组设备、电焊机、熔化炉，电源与变压器等）。因而，热加工车间微型计算机应用的一个关键问题是抗干扰措施。在模拟仪表中，这个问题不难解决。在 DDC 系统中（Direct Digital Control 直接数字控制方法），信号是离散的，而且是小信号，当采样时出现干扰，就会造成错误，这是应该避免和排除的。

在生产现场中的干扰源一般可分为两类，一类是常态干扰或称串模干扰，这是一种横向干扰；另一类是共态干扰或称共模干扰，这是一种纵向干扰。串模干扰信号的作用是迭加到信号线的两端，一般频率高，可以通过滤波去除。共模干扰是信号源地与微机系统输入端地间的电位差引起的干扰。

通常抗干扰的措施可从两方面着手：从电路设备（硬件）方面采取措施和从数字滤波（软件）方面采取措施予以解决。

### 1. 电路设备（硬件）方面的措施

(1) 双端差分输入法；(2)  $V/F$  光电隔离法；(3) 线性光电耦合法；(4) 隔离放大器法；(5) 浮空加保护屏蔽法。

### 2. 数字滤波

数字滤波是通过设计的计算机程序进行判别和计算，以减少干扰的影响与出现的机会。数

字滤波是一种有针对性的滤波方法,是计算机克服低频干扰及脉冲干扰的有效方法,这些干扰用硬件措施克服很困难。常用的数字滤波方法有以下5种。

(1) 程序限幅滤波 为了防止误动作,对采样输入或输出的每一个信号进行限幅检查。

$$\text{当 } |M_n - M_{n-1}| \leq \lambda \text{ 时取 } M_n$$

$$\text{当 } |M_n - M_{n-1}| > \lambda \text{ 时取 } M_{n-1}$$

$\lambda$  是规定的限幅值,根据两次采样之差,判别其是否正常( $\leq \lambda$ ),超过  $\lambda$  则作废,而取上次采样值  $M_{n-1}$  送入计算机运算。

有的还增加一步,再次采样  $M_{n+1}$ ,再判断,如

$$|M_{n+1} - M_{n-1}| \leq \lambda,$$

说明  $M_n$  确是干扰脉冲造成。如果又出现

$$|M_{n+1} - M_{n-1}| > \lambda$$

这时应认为  $M_{n+1}$  是真值,即信号有了大幅度变化。 $M_{n+1}$  值有效,送入计算机。

(2) 递推平均滤波 取第  $n$  次采样值  $M_n$  和依次向前递推  $k$  次的采样值,然后取平均值,作为第  $n$  次采样值  $\bar{M}_n$  送入计算机。

$$\bar{M}_n = \frac{M_n + M_{n-1} + \dots + M_{n-k+1}}{k}$$

这种方法主要适用于对压力、流量控制中出现的低频振荡进行平滑加工。 $k$  取值越大,滤波效果越好,但滞后较大; $k$  取值小,快而及时,但滤波效果不好。根据资料介绍,对流量取  $k=12$ ,对压力取  $k=4$ 。温度可以不用平均滤波。一般使用平均滤波前先采用限幅滤波。

(3) 加权递推平均滤波 递推平均滤波,对所取  $k$  项采样值是平均看待的。为了更重视本次采样值(第  $n$  次)以及靠近第  $n$  次的采样值。采用乘加权系数的方法计算出平均值。

$$\bar{M}_n = C_0 M_0 + C_1 M_{n-1} + \dots + C_{k-1} M_{n-(k-1)}$$

各  $c$  值不同给予加权。

$$C_0 > C_1 > C_2 \dots > C_{k-1}$$

$$\text{且 } C_0 + C_1 + C_2 \dots + C_{k-1} = 1$$

可以看出,在计算  $\bar{M}_n$  时, $M_n$  所占的比重最大。

(4) 中位值法 对某被测参数,连续采样3次以上的值( $x_n$ ),取其中位值作为该参数这一次的采样值  $y_n$ 。即若  $x_1 < x_2 < x_3$ ,  $y = x_2$ 。中位值法对消除脉冲干扰比较有效,而对快速测量过程(如流量测量),不宜采用。

$$Y_n = (1 - \beta)x_n + \beta y_{n-1}$$

式中:  $x_n$  ——本次(第  $n$  次)采样值,即 A/D 转换值;

$y_{n-1}$  ——上次(第  $n-1$  次)滤波输出值;

$Y_n$  ——本次滤波输出值;

$\beta$  ——滤波系数,  $\beta = \frac{T_f}{T_f + T_s}$ ,  $0 < \beta \leq 1$ ;

$T_f$  ——滤波时间常数;

$T_s$  ——采样时间(周期)。

$T_f$  和  $T_s$  的值要根据被测参数和干扰的情况来选定,一般可通过实际运行情况来选取适当的值,使干扰消除或减至最小。这种滤波方法适用于克服周期性干扰。

## (四) 标度变换(工程量变换)

微型计算机测试与控制的各种物理量参数有不同的量纲,例如温度通常用 $^{\circ}\text{C}$ ,压力采用 $P_0$ ,流量采用 $\text{m}^3/\text{n}$ 等。这些参数经A/D转换后,变成数字量信息输出,这个数字量虽然代表参数值的大小,但是并不一定等于原来带有量纲的参数值,必须将它转换成原来参数的真实值才能进行显示,打印或使用。这种转换称为标度变换或工程量变换。

标度变换要求参数值与A/D转换结果(采样值)之间呈线性关系。在参数量程起点(输入信号为零),标度变换公式如下:

$$A_x = A_0 + (A_M - A_0) \frac{N_x - N_0}{M - N_0}$$

式中:  $A_0$ ——参数量程起点值;  $A_M$ ——参数量程终点值;  $A_x$ ——参数测量值;  $N_0$ ——量程起点对应的A/D转换后的值;  $M$ ——量程终点对应的A/D转换值;  $N_x$ ——测量值对应的A/D值(采样值),即滤波后的输出值。其中,  $A_0, A_M, N_0, M$  对于一个检测系统来说是常数。

通常,在参数量程起点(输入信号为零)A/D转换值为零(即 $N_0=0$ ),上式简化为:

$$A_x = A_0 + \frac{N_x}{M} (A_M - A_0)$$

例如,热分析中温度量程一般选取 $1100\sim 1355^{\circ}\text{C}$ ,用8位A/D转换器,即 $A_0=1100^{\circ}\text{C}$ , $A_M=1355^{\circ}\text{C}$ , $N_0=0$ , $M=255$ ,采样值为 $N_x$ ,标度变换式为:

$$A_x = 1100 + \frac{N_x}{255} \times 255(^{\circ}\text{C})$$

将上式编成程序,将采样值 $N_x$ 代入,微型计算机便可算出温度的真实值并予以显示和打印出来。

## (五) 非线性补偿

在工程应用和生产中,由微型计算机测试和控制的某些参数值与经A/D转换结果的数据(采样值)之间呈非线性关系,因而不能直接利用标度变换公式,从而引出了线性补偿问题。

最常遇到的是温度测量时,大多数情况下热电偶输出值和采样值呈线性关系,而测量温度值和采样值呈非线性关系,为了求得采样值所代表的温度值( $^{\circ}\text{C}$ ),可分两步处理。先用标度变换公式求出采样值(数字量)所代表的热电偶毫伏(mV)值,然后再由热电偶毫伏值求出温度值。但是,热电偶的mV值和实际温度值呈非线性关系,因而必须进行线性补偿(或称非线性校正)。通常采用分段线性法或称折线法。

### 1. 线性方程

将待测量温度范围分成若干段,根据热电偶分度表中的温度( $^{\circ}\text{C}$ )与毫伏(mV)值的对照表,计算机按最小二乘法经线性回归计算求出每段线段的线性方程为:

$$T = aU + b$$

式中:  $T$ ——测量点实际温度值( $^{\circ}\text{C}$ );

$U$ ——测量点热电偶毫伏值(mV);

$a, b$ ——线性方程系数, 由回归计算求出。

将上式编成程序, 把标度变换后得到的毫伏值代入, 便可求出实际温度值。

## 2. 插补公式

同样将待测温度范围分成若干段, 求出每一直线段的插补公式(如图 1-3 示)为:

$$T_x = N_k + \alpha(U_x - U_k)$$

式中:  $T_x$ ——测量点实际温度值( $^{\circ}\text{C}$ ),

$U_x$ ——测量点热电偶毫伏值(mV);

$T_k$ ——直线段起始点温度值;

$U_k$ ——直线段起始点毫伏值(mV);

$\alpha$ ——斜率系数。

应用分段线性法进行 mV— $^{\circ}\text{C}$  转换时, 首先要判断测量点热电偶毫伏值是在哪一个直线段区间, 然后用对应的线性方程或插补公式求出该点的实际温度值( $^{\circ}\text{C}$ )。直线段数量的划分应力求使上述方法(线性方程或插补公式)求出的温度值与分度表查出的温度值间误差最小。

另一个方法是将热电偶分度表值存入计算机内存中, 用查表法程序进行 mV— $^{\circ}\text{C}$  的转换。此法使用方便, 缺点是占用内存较多。

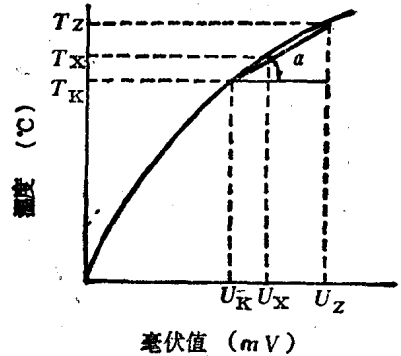


图 1-3 插补公式图

## 二、控制方式和控制规律

计算机控制是把被控对象(过程)的有关参数(如温度、压力、流量、液位等)进行采样, 并通过输入通道, 把模拟量变成数字量送给计算机。计算机根据数字信息, 按预定的控制规律(数学模型)进行计算, 并通过输出通道把计算结果转换成模拟量去控制被控对象, 使被控量达到要求的指标。

按控制方式可分为两大类, 开环控制系统和闭环控制系统。开环控制也称离线控制。离线控制中计算机将测量数据计算后, 将被控制数据显示或打印输出, 供操作人员参考, 以实现生产过程的控制。此时, 计算机本身不直接参与控制, 而是由人直接改变调节器的设定值或直接操作执行机构, 如图 1-4 所示的计算机操作指导控制系统。这种控制的优点是灵活、安全, 缺点是仍需人工操作。操作指导控制系统主要用于控制规律尚未掌握的生产过程中, 也用于计算机控制系统的初级阶段以及试验及调试新的数学模型或控制程序。

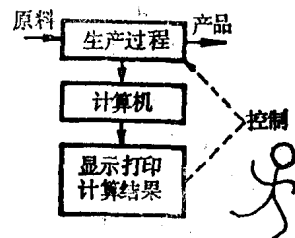


图 1-4 操作指导控制系统

闭环控制也称在线控制。计算机将控制参数的数据采样并计算后, 输出经过处理的数值, 直接改变常规调节器的给定值或操纵执行机构以控制生产过程。这种控制系统由计算机直接参与给定值整定或控制。

在闭环控制中, 常用的有: 直接数字控制系统(DDC—Direct Digital Control)、计算机

监督控制系统(SCC—Supervisorg Computer Control)、分级控制系统、分布控制系统及计算机网络系统等。

### (一) 直接数字控制系统(DDC系统)

计算机系统对多个被控物理量参数进行巡回检测(采样),根据给定的数学模型和控制规律(算法)进行运算,用输出控制信号控制被控对象。它代替了常规调节仪表,并可实现多回路和工艺程序控制。

DDC 系统是当前计算机控制的主要形式之一,它可以通过程序的编制来变更控制方案,并按人们要求的控制规律算法进行运算处理,以达到良好的控制效果。

### (二) 计算机监督控制系统(SCC 系统)

此系统由计算机按照一定的数学模型,计算出最佳给定值并送给调节器。而被控对象(物理量参数)的控制仍由常规调节仪表担任。

SCC 系统的优点是可以实现最优化控制,且较安全。缺点是仍需常规调节仪表。

### (三) 分级控制系统

如果在 SCC 系统中,两级都采用计算机,称为计算机分级控制系统。DDC 是直控级 SCC 是监控级。同时还可以再加一级 MIS 作为管理级,即所谓 3 级计算机控制系统。分级控制系统有很强的控制能力,主要适用于自动化程度很高的全自动化车间或自动化工厂的大型生产过程的控制。

人们所以采用计算机进行过程控制,其中最突出的优点是容易实现任意的控制规律,这是任何常规气动或电动控制仪表无法作到的。在微型计算机控制系统中,通常采用控制算法来实现各种控制规律。所谓控制算法,就是用表示某种控制规律的数学方程式,进行一定规则的计算,经计算机将计算结果输出给执行机构以实现预定的控制规律。也就是说,只要按人们的要求改变程序或修改控制算式(数学模型)的某些参数,就可以得到不同的控制效果。过程控制系统规律不同的主要区别就在于采用不同的控制算法。

在连续生产过程中,DDC 的基本控制方式是采用 PID 调节规律,即使在高级控制中,也是以 PID 为主,它能适应相当多的生产过程控制。

PID 调节规律的模拟表达式是:

$$Y = K_P \left( e + \frac{1}{T_I} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1.1)$$

式中: 偏差信号  $e = R - M$ ;  $R$ ——设定值;  $M$ ——测量值;  $K_P$ ——比例系数;  $T_I$ ——积分时间;  $T_d$ ——微分时间。

由于 DDC 是一种时间离散控制系统,它对多个回路以分时方式对生产过程参数进行断续控制。因此 PID 控制算式将用差分近似式表达。如积分项可写成:

$$\int e dt \approx \sum_{i=0}^n e_i \Delta t = \Delta t \sum_{i=0}^n e_i$$

微分项可写成:

$$\frac{de}{dt} \approx \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t}$$

把  $\Delta t$  定义成采样周期  $T_s$ , 则第  $n$  次采样的输出为:

$$Y_n = K_P \left[ e_n + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^n e_i + \frac{T_d}{T_s} (e_n - e_{n-1}) \right] \quad (1.2)$$

$Y_n$  是第  $n$  次采样后的输出值, 即阀门的开度。故上式称为 PID 位置控制算式。

同理, 第  $n-1$  次采样时的输出为:

$$Y_{n-1} = K_P \left[ e_{n-1} + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^{n-1} e_i + \frac{T_d}{T_s} (e_{n-1} - e_{n-2}) \right] \quad (1.3)$$

用(1.2)式减(1.3)式, 得

$$\Delta Y_n = K_P (e_n - e_{n-1}) + K_I e_n + K_D (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (1.4)$$

式中:

$$K_I = K_P \frac{T_s}{T_i} \quad \text{积分系数;}$$

$$K_D = K_P \frac{T_d}{T_s} \quad \text{微分系数。}$$

式(1.4)称为 PID 的增量控制算式。表示自第  $n-1$  次采样到第  $n$  次采样时对应输出的增量。它对应阀门开度的变化量, 即第  $n$  次比第  $n-1$  次阀门开度的变化量(增量或减量)。增量控制算式在微型计算机过程控制中常被采用, 通过编程序的方法予以实现。

除 PID 控制外, 还有两位控制、比例控制、比例积分控制和比例微分控制等多种控制规律, 兹将各控制规律的特点和算式简述如下。

两位控制中, 当被控制量低于设定值时, 两位调节器处于某一极限位置(导通), 反之, 当被控量高于设定值时, 两位调节器切断。通过偏差方向控制。由于存在不灵敏区, 被控量波动幅度较大。

比例控制时, 既按被控量偏差方向, 又按大小, 成比例地改变执行机构的开度。偏差大, 开度变化亦大, 反之亦然。比例控制可使被控量很快稳定下来, 但最后不能完全消除静态偏差。比例控制的算法方程为:

$$P = K_P e$$

式中:  $P$  为输出;  $K_P$  为比例系数;  $e$  为输入偏差。

比例积分控制中, 比例作用快, 作用在前, 但不能完全消除静态偏差。积分作用慢, 稍后于比例作用, 可最终消除静态偏差。然而被控量的波动振幅加大。其算法方程为:

$$P = K_P e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt$$

其中,  $T_i$ : 积分时间。

比例微分控制时, 比例作用是固定的, 而微分的超前作用能迅速抑制被控量偏差的增长。比例微分控制可减少暂时的偏差, 使被控量较快地稳定下来, 但也不能完全消除静态偏差。其算法方程为:



$$P = K_P \left( e + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

其中,  $T_D$ : 微分时间。

一般说来, 选取控制规律的原则是:

1. 满足稳定性和余差(静态偏差) 在这个前提下, 尽力提高比例作用。
2. 积分作用主要用于消除余差 余差满足时, 尽量减少积分作用。
3. 微分的引入可提高调节质量 但也需要注意利弊, 主要用于过程参数滞后、噪声很小的生产过程。

### 三、测试与控制系统及仪表设备

微型计算机的测试与控制系统, 通常由传感器、输入通道、微型计算机、输出通道和执行器所组成(见图 1-5)。

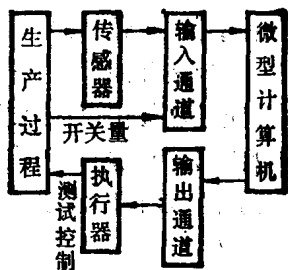


图 1-5 微型计算机测试与控制系统简图

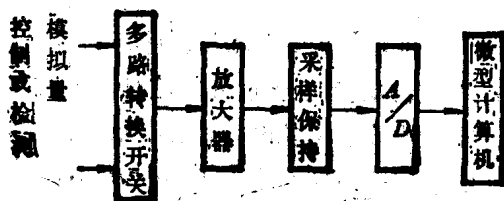


图 1-6 模拟量输入通道示意图

传感器是将被测生产过程的物理参数直接转换成相应的易于检测、传送或控制的模拟信号(多为 mV 值)的仪器或装置, 亦称变换器、换能器或探测器。

传感器品种繁多, 应用广泛。包括: 压力、压差、温度、湿度、重量、位移、力、速度、转速、成分、电压、电量等物理量检测和控制的传感器。

热加工生产和试验研究中常用的传感器有: 温度传感器, 压力、压差传感器, 氧探头, 红外线气体分析仪, VF 变换器, 氧势传感器等。

输入通道可接受模拟量和开关量输入。模拟量输入一般由多路转换开关, 放大器、采样保持器和数模转换器(A/D)组成(见图 1-6)。

由于传感器输出的电信号有不同形式, 而 A/D 转换器接受的直流电压信号的要求范围为 0V~5V, 因此必须将其它类型的电信号变换为统一的直流电压信号, 这个过程称为标度变换。标度变换包括电参数之间的转换和电压信号的放大或缩减。

传感器输入的模拟量电信号, 首先经多路采样开关采样, 然后进入放大器进行直流放大, 放大后的信号送入 A/D 转换器, 其中快速瞬变的信号须经采样保持处理, A/D 转换器将放大后的模拟电压信号转换成数字信号送入微型计算机进行计算和处理, 这就是微型计算机检测或控制系统输入通道的工作原理。

输入通道除可检测模拟量外, 同时可以检测开关量。生产设备的电磁阀的开与闭和继电