

高等学校通用教材

材料工程计算机测控

王振清 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书主要内容是介绍材料工程领域中参数测试的信息传感、信号变送及计算机数据采集、计算、仿真与控制等方面的原理和方法。其中所涉及的欲测参数包括温度、压力、流量及化学成分;计算机方面介绍了 IPC、MCS—51 系列单片机及 PLC 的前、后通道与人机界面的各种硬件配置及其软件编程。

本书可作为材料专业的本科生和研究生新的专业方向的教科书或参考书;也可以作为有关方面的工程技术人员培训、自学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

材料工程计算机测控/王振清编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2004.1

ISBN 7-81077-394-1

I. 材… II. 王… III. 工程材料—计算机控制
IV. TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098876 号

材料工程计算机测控

王振清 编著

责任编辑 刘宝俊

责任校对 陈 坤

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:294 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 7-81077-394-1 定价:16.00 元

前 言

测量与控制,体现出人类对宇宙万物的了解与掌握。对于材料科学与工程,更是如此:前者体现在材料组织与性能的表征上;后者集中于工艺与设备的参数、过程的控制中。

计算机的高速发展,使其广泛应用于测控方面。它的信息数字化、海量存储、运行高速、多媒体及网络的发展等,都促使它在测控中起到越来越重要的作用。

纵观材料工程的发展,材料研究的结果应验于工程应用;工程应用的状态依靠于设备;设备的精度、效率与可靠性依赖于控制环节;控制的先进性取决于计算机的介入程度。

以上所述,为本教材在学术综合发展方面的考虑;从学生的素质培养角度,在材料学科,应教会学生把所学的数字电路、模拟电路及微机原理综合应用于材料工程之中,本教材欲对此进行启示与训练。上述基本观点在教材的“绪论”中进行了阐述。

测量即为材料性能的表征;它又是控制的前提与关键。因此,第一章全面地介绍了材料工程中可能涉及的参数测试方法与传感器。计算机测控配置是本教材的核心,在进行传统的结构介绍时,常把计算机的“测”与“控”分为“前向通道”及“后向通道”两个环节。由此,第二章顺第一章之序,介绍计算机测试参数中的配置,即“前向通道”及人机界面环节。第三章介绍计算机控制,即“后向通道”环节。第四章专门介绍了“顺序控制”的概念与方法,其中,重点介绍了 PLC 技术。第五章主要介绍材料工程中模拟量的(变化)过程仿真的数学模型与计算机编程,以及被测控流程目标的动态实时仿真的动画方法。第六章介绍在材料工程参数测控中,数字信息串行通信的基本概念与实用技术。

本教材成形过程中,得到材料学院马壮宇等老师的大力支持,本人所带的研究生们也给予了帮助,在此表示感谢。

北京航空航天大学自动化学院的张平教授及夏洁副教授审阅了全书,并提出宝贵意见。在此表示真诚的谢意。

由于本人学术水平有限,加之编写时间仓促,教材中会有一些错误,望读者给予批评指正。计算机发展很快,书中的举例会趋于落后,望读者谅解为盼。

编者:于北京航空航天大学材料学院

2003 年 10 月

目 录

绪 论

0.1 计算机在材料工程中应用概述	1
0.2 测量的定义和意义	2
0.3 材料工程中参数的测量与控制	3
0.4 计算机在材料工程测控中的优势	4
0.5 材料工程计算机测控的基本概念	6
习题与思考题	8

第一章 材料加工过程中的参数测试与传感器

1.1 温度测量	9
1.1.1 测温与温标	9
1.1.2 膨胀式温度计	10
1.1.3 热电偶	11
1.1.4 热敏电阻测温元件	16
1.1.5 辐射温度计	17
1.1.6 PN 结测温元件	18
1.2 压力测量	18
1.2.1 压力的定义、单位及分类	18
1.2.2 压力测量方法	20
1.2.3 真空测量方法	23
1.3 流量测量	25
1.3.1 节流式流量计	25
1.3.2 变截面式流量计(浮子流量计)	26
1.3.3 涡轮流量计	27
1.3.4 质量流量计	28
1.4 气体成分测试	29
1.4.1 红外线气体分析仪	29
1.4.2 氧浓差电势探头	30
1.4.3 热导式气体分析仪	32
1.5 测试仪表	33
1.5.1 动圈式仪表	33
1.5.2 自动平衡式仪表	36
习题与思考题	37

第二章 材料工程参数测试的计算机系统配置

2.1	计算机测试系统的组成	39
2.1.1	计算机参数测试系统的结构原理	39
2.1.2	专用数字化仪表	40
2.1.3	IPC 系统配置	41
2.1.4	集成分散测控系统	45
2.2	模拟参数的数值采集	48
2.2.1	模拟参数数值采集系统的组成	48
2.2.2	MCS—51 微控制器的结构与组成	49
2.2.3	微机测试系统前向通道环节	51
2.2.4	A/D 转换电路、软件与地址	56
2.2.5	数值滤波	58
2.3	参数测控系统人机界面的配置	59
2.3.1	七段(LED)码显示	59
2.3.2	点阵(液晶)屏显示	61
2.3.3	键盘电路与编程	62
2.4	MCS—51 微控制器测控系统的开发步骤	64
2.4.1	计算机测试系统的硬件配置选择与制备	64
2.4.2	软件的编制、固化与调试	65
2.4.3	系统的“冷调试”与“热调试”	66
	习题与思考题	67

第三章 材料加工工艺参数的计算机控制

3.1	工艺参数的闭环控制原理	68
3.1.1	调节对象的动态特性及迟延	69
3.1.2	经典控制原理与数值 PID 应用	70
3.1.3	模糊控制原理与应用	72
3.1.4	模糊控制与 PID 组合(Fuzzy - PID)应用	74
3.2	材料加工中的施能与控制	75
3.2.1	材料加工施能的目的与种类	75
3.2.2	材料加工施能执行器和控制器	76
3.2.3	D/A 转换电路与编程	79
3.2.4	I/O 接口的隔离与驱动	81
3.3	高能束流的控制	84
3.3.1	激光束流强度与轨迹控制	84
3.3.2	电子束流强度与轨迹控制	87
3.3.3	离子束的控制	89
3.3.4	束流加工中的工件位移控制	91

习题与思考题	94
第四章 材料加工过程的顺序控制	
4.1 顺序控制的基本概念.....	95
4.1.1 加工自动化的发展与分类.....	95
4.1.2 顺序控制的基本概念.....	95
4.1.3 顺序控制的处理方法.....	96
4.2 纯硬件(继电器)组合顺序自控与梯形图.....	97
4.2.1 常用控制电路器件及其符号.....	97
4.2.2 纯硬件(继电器)组合顺序控制简例.....	97
4.3 可编程逻辑控制器(PLC)的应用	98
4.3.1 PLC 的组成原理与配置	98
4.3.2 PLC 的应用资源及选型	100
4.3.3 PLC 应用简例(步骤)	101
习题与思考题.....	106
第五章 材料加工过程的实时仿真与控制	
5.1 材料加工中的传质传热数值解	108
5.1.1 显式计算格式	109
5.1.2 隐式计算格式	109
5.1.3 边界条件的表示	110
5.1.4 隐式计算格式浓度梯度方程组	111
5.2 溶质扩散浓度梯度仿真计算	112
5.2.1 用“追赶”法求解隐式浓度梯度方程组	112
5.2.2 VB 视窗软件概要简述	113
5.2.3 实时仿真及其编程	116
5.3 浓度梯度的实时仿真与控制	118
5.3.1 IPC 实时仿真系统	118
5.3.2 渗碳浓度梯度的三点控制方法	119
5.3.3 渗碳浓度梯度的简洁实时仿真	121
5.4 材料加工工艺及设备的流程动态实时仿真	123
5.4.1 平面动画的实现方法	123
5.4.2 PCVD 测控动态视屏的编制	126
5.4.3 燃油精制测控动态视屏的编制	128
习题与思考题.....	132
第六章 材料自动加工过程的串行通信与局域网	
6.1 数字传输方法	134
6.1.1 二进制数值的并行传输与时序	134

6.1.2	二进制数值的串行传输与节拍	134
6.2	串行通信总线 RS—232C 标准及接口技术	135
6.2.1	RS—232C 总线接口信号线的定义、功能及连接	135
6.2.2	PC(上位机)串行通信	137
6.2.3	MCS—51 微控制器(下位机)串行通信	138
6.3	现场总线及局域网	140
6.3.1	CAN 的概念与结构	141
6.3.2	CAN 报文传送及其帧结构	143
6.3.3	CAN 信息控制器	144
6.3.4	CAN 总线收发接口电路(82C250)	147
6.3.5	PC 机端的接口卡	147
6.4	CAN 总线局域网应用	150
6.4.1	MCS—51 微控制器的 CAN 总线接口硬件	150
6.4.2	MCS—51 微控制器的 CAN 总线系统软件	151
	习题与思考题	153

附 录

附录 1	IPC 测控演示系统 VB 程序及运行结果界面	154
附录 2	PCVD 计算机测控软件中相关动画程序	158
附录 3	燃油精制计算机测控视屏中管道“流动”相关程序	162
附录 4	MCS—51 微机 CAN 总线通信系统主要软件环节 C51 程序	169

参考文献

绪 论

0.1 计算机在材料工程中应用概述

电子计算机的出现仅有半个多世纪的历史,发展却很快。尤其近十几年来,发展速度惊人,以 PC(Personal Computer)为例,其 CPU 集成度几乎两年翻一番,运算速度及存储量等性能增长一个数量级;各种系统软件及高级语言也不断翻新。由于计算机性能大幅度提高,而成本却不断下降,因此其应用范围越来越广,几乎涉及到各个行业。近几年,计算机在多媒体(multimedia)及网络(net)方面的发展,把世界带进一个新的信息时代。

以上所述的发展除了由于众多的计算机专业人员不懈努力外,还得益于广大社会各行各业的积极应用,甚至后者成为推动其发展的强大动力。

谈及计算机应用,大致可分为四个方面:首先是科学计算与数字模拟;再是(工业)过程测量与控制;三是办公自动化与多媒体;四是人工智能。具体到材料工程领域的计算机应用也不例外。

科学计算包括热力学、动力学等参数计算,相图计算及材料微观(量子力学层面的)设计等;材料工艺数字模拟主要是热工艺过程中的温度场、组织场及应力场的仿真计算。

材料加工参数及过程的计算机测控与自动化是发展最快、社会经济效益最为明显的应用方面。它是本教材欲介绍的主要内容。

办公自动化最初只是数据库及管理(dBASE*)技术、文稿处理系统(WPS)等内容。随着多媒体(MPC)的发展,它把图、文、声、像的数值信息结合信息存取(快速、压缩、解压技术)及传送(网络通信技术)等技术,为人们提供全新的服务。它的进一步发展可以实现办公自动化方面的“无纸世界”以及实现“无旅交往”、“无旅推销”、“无旅会议”和“远程学习”等。在材料工程中,以数理统计及经验计算为基础的工业合金设计、工艺的计算机辅助设计(CAPP)等也可看作是办公自动化应用。

人工智能分为两个方面:一是机器人和机械手,在材料加工中有广阔的前途。很多高温、有害、繁重、烦琐、重复、枯燥的工种可成为这些“铁领工人”的用武之地。机器人、机械手可看作是计算机自动控制在智能化方面的发展。二是专家系统。它积累众多的专业知识与信息组织成知识库和数据库,把专家的成熟的思维、判断方法编制为计算机可运行的推理机。专家系统可以积累众多专家的智慧,在工作过程中还有再学习能力。因此,它在专业知识和分析能力方面来源于专家且高于专家。它能日复一日、不计报酬、不知疲倦地工作;在作出结论时能确保中肯而不带有个人感情。对于材料的特殊工艺领域,涉及的知识面宽,对工作经验的依赖性强,因此,建立专家系统尤其重要。上述的工业合金设计及工艺的计算机辅助设计在加强智能化的基础上即可成为“合金设计”及“加工工艺”的专家系统。材料工程中的“失效分析与防护”是专家系统的另一发展领域。它的结构及功能与医学领域的专家系统大有相似之处;材料结构的实效分析很像“法医”,分析失效的原因是“自杀”还是“他杀”;结构目标的服役寿命分

析又像“保健医生”，检查的“缺陷”即为其“病态”及“病因”，“治疗”即为提高结构寿命的工程实施。

0.2 测量的定义和意义

如上所述，材料加工参数的计算机测控是本教材的主要内容。在此，首先对“测量”一词作些讨论。

“测量”意在对宇宙万物的了解和把握；“测量”随着人类的交往而发展，随着科学的发展而进步。

1. 定性测量 作为人类，其思维中多有好奇，了解周围的事物成为必然。原始的测量完全依靠人的“感觉器官”，这也是现代测试领域中“传感器”一词的起源。感觉的结果用于两个方面：记录与交流。前者的方式多种多样；语言的“形容词”可视为事物定性测量结果的交流而创建。详见表 0.1。

表 0.1 初步定性测量项目的“感官”及结果描述列表

感觉器官	测试项目	定性描述
观感—视觉	几何尺寸	大、小、长、短、高、低；
	距离	远、近；
	色度	明、暗、赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫
口感—味觉	味道	酸、甜、苦、辣、麻、咸、淡
鼻感—嗅觉	气味	香、臭、平、刺
皮感—触觉	温度	冷、热、烫；
	平整度	涩、滑
耳感—听觉	声音	大、小、乐、噪；
	话语	语言信息

在表 0.1 所述项目的定性测量之后，用“较”、“很”、“特别”、“最”等副词可以对定性测量进行细分。

2. 初步定量测试 为了交流（换），人们对物质、物品进行定量测试。测试的方法和量度与人类对周围环境和事物的掌握程度相关。人类最初只了解自身（且极少），因此数、量、度均与人的肢体或身边的物品相关。数的十进制与人的十个手指有关；“英尺”的长度与当时国王的鞋子有关；中国的尺与人的“手抓”（两抓）有关，丈与人的“步长”（两步）有关；斗、圭、斤均与古代人身边的器械相关。

显然，上述的量度不够精确，也不够规范，只能适应小范围较为粗略的定量测试。

3. 量度的发展 世界范围的交流、交换必须有公认的标准和更精确的度量。前期，人们以同居的地球为标准来规定国际基本单位（SI）：地球赤道的 $1/48\,060\,000$ 为长度基本单位“米（m）”；地球自传一周的 $1/(24\times60\times60)$ 为时间基本单位“秒（s）”；国际原器质量为质量基本单位“千克（kg）”。乍看上述的量度足够精确，但是，随着人们对地球的深入了解，发现地壳的变化会造成量度的不稳定性；科学发展中发现了比地球更稳定的事物——量子力学中某些原子的能级。于是，国际基本长度单位米定义为：氮—86 原子的 $2p^{10}$ 和 $5d^5$ 能级之间跃迁所对应的

辐射在真空中的 $1\,650\,763.73$ 个波长的长度。基本时间单位秒定义为: 铯—133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期的持续时间。

由此看来, 交流的范围越大, 对测量要求越趋于规范; 随着科学的发展, 对测试的度量精度要求会越来越精确, 也越来越科学。具体到材料加工, 其过程参数的测试精度也越来越高: 上世纪初(甚至现在落后地区)的锻造(及热处理)工艺是靠人工目测工件温度, 一般误差可达近百摄氏度; 上世纪中直至现在热加工使用的“圆图”温度模拟电路测控仪, 其温度控制波动可达 $10\,^{\circ}\text{C}$ 左右。铝合金的固溶处理温度范围仅为 $\pm(2\sim3)\,^{\circ}\text{C}$, 考虑到系统误差, 其仪表测控温度需在 $\pm 1\,^{\circ}\text{C}$ 之内。随着材料研究的进一步发展, 对其参数的测控会有更加精密的要求, 即对测控技术提出越来越高的精度要求。

0.3 材料工程中参数的测量与控制

材料加工是指锻、铸、焊、热处理、表面处理及非金属成形等加工工艺过程。国防工业中习惯称之“特殊加工”。它涉及材料工程和机械制造两个领域; 它不仅重视产品的外形尺寸, 更重视产品的内在(组织与)性能。这就是“特殊加工”的“特殊”意义。“特殊加工”的内在质量关系到加工过程中的实时参数状态: 温度、压力、流量及气氛等。上述诸参数的精确测量与控制对产品质量的优化、稳定和重现性等均有决定性作用。由此, 即可看出材料加工过程中参数测控任务的重要性。

材料工程的另一重要方面是材料的合成及应用研究。此领域中研究设备的测控与上述加工工艺领域的要求完全相同; 不同之处是欲研材料的表征, 其大的方面分为组织表征和性能表征。前者有各种显微技术和无损探测技术; 后者有各种物理试验和化学分析方法。

力学性能试验: 材料试样的(受)力—(变形)位移测试。

温度场试验: 材料膨胀系数测试及相变机理研究。

电磁场试验: 测试材料的磁致伸缩性能。

光学试验: 测试材料的受光表现。

振动(声)试验: 材料及结构的声质研究。

材料性能测试的方法、方面还很多, 不胜枚举, 从中体现出测量(测试)在材料工程中的重要性。

材料工程测控的类别很多, 从上述的参数种类上, 可以列出众多的物理、化学参量, 均可组成不同类别的测控系统。从材料加工的各种工艺方面也可以列出众多的类别。从大的范畴可把欲测控的目标分为连续的模拟量和离散的位式信号两种。前者一般组成带有反馈的“闭环控制系统”, 其功能方框图如图 0.1 所示; 以位置开关(空间)和时间继电器为输入信号, 各种机械动作(线圈)为输出的自动线是后者的典型实例, 称之“顺序自控系统”。

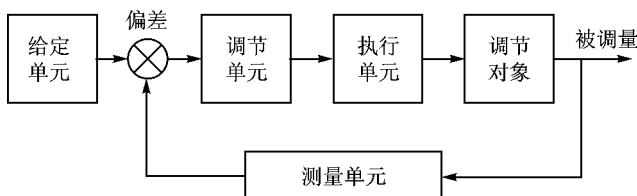


图 0.1 闭环自动控制调节系统功能方框图

从测控硬件配置方法上可分为模拟仪表、数字(计算机)系统及其两者的混合型。尤其是如图 0.1 所示的模拟量参数的测控,即便欲配置为数字系统,也难以彻底去除模拟电路环节。

对于要求不高的单参数测控,一般情况下,均可选择到对应的模拟仪表。其特点是系统简单,操作、使用方便,成本低廉。

随着计算机(数字)测控的发展,上述模拟仪表的特点越来越不明显。信息数值方式的稳定性、多通道采集的机动性、间接参数产生的综合性、快速运算的实时性、程序的智能性、存储的永久性及远程传输的网络性等使数字测控显示出明显的优势。

0.4 计算机在材料工程测控中的优势

1. 数字信号的稳定性 运行、存放参数电子信息的器件一般由半导体(TTL)及金属氧化物(MOC)组成;两者均存在随时间及温度变化的特性,称之为“时漂”和“温漂”,是模拟电路中极有危害的特性,虽经全世界电子器件专家多年努力克服,使之降至很小的量级,但是很难彻底解决。数字信息呈位式(两种电平)状态:高电平 V_{CC} 为数字 1,低电平 V_{SS} 为数字 0;电平的状态范围可允许达到系统电源 V_{CC} 的 20%,显然可以忽略任何的器件电位“漂移”特性。

2. 一机多通道采集 由于计算机具有快速采集能力,可在瞬间取得多路信号的 A/D 数值。这本是其很普通的功能,却可以使材料工程测试产生很多的突破:

在相互影响的参数之间易于建立关联关系,从而实现工艺过程的智能性分析与控制。

利用多个参数的采集和计算机数值计算的特点,可以产生间接的工艺参数。例如,渗碳工艺中的炉内碳势 w_C ,很难直接测试(传感);但是,按照炉内气氛化学反应式,与其相关的温度(T)、氧(O_2)、一氧化碳(CO)及甲烷(CH_4)等参数均可获得,由此,可以从中计算出炉内碳势 w_C :

$$w_C = f(T, O_2, CO, CH_4, \dots) \quad (0.1)$$

显然,与上述类似的例子有很多。由此看来,计算机最基本的能力产生了原模拟仪表不可能实现的功能。

3. 参数信息的智能性采集 参数的数值采集,其目的是为计算机输入与实际物理(化学)量相符的数值信息。此前向通道中的传感、变送及 A/D 诸环节都可能出现信号干扰,造成信号采集的误差。其中电磁场的噪声干扰可采用硬件电路中的阻容滤波及软件中的数字滤波方法。后者的表达式为

$$\text{均值法} \quad \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (0.2)$$

$$\text{加权法} \quad X_n = A \cdot X_{n-1} + B \cdot X_n \quad (0.3)$$

$$\text{中值限幅} \quad X_n = \begin{cases} X_n & |X_n - X_{n-1}| < \delta \\ X_{n-1} & |X_n - X_{n-1}| \geq \delta \end{cases} \quad (0.4)$$

式(0.2)及(0.3)表达的数字滤波方法可以由硬件电路实现;式(0.4)所示的中值限幅却很难由电路完成,可以看出其中略带一点智能处理的特点。

在新发展的参数采集中,传感器性能的不稳定性能否靠计算机的智能处理来加以解决,这是材料工程领域特别感兴趣的问题。典型的例子为氧(浓差电势)探头。它插入封闭的渗碳炉内,当炉内、外的氧分压有大的差别时,使得探头传感器件(ZrO_2)的两侧之间产生与内、外的

氧分压差相关的电流。因此,氧分压高的一侧成为电池的阳极,氧分压低的一侧成为阴极。这个电池的电势称为氧浓差电势,可用仪表检测出来。氧浓差电势可用能斯特(Nernst)公式表示,即

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \frac{p_A}{p_C} \quad (0.5)$$

式中: R 和 F 分别为气体常数和法拉第常数; T 为热力学温度值; p_A 为参比气中的氧分压(如用空气作参比气,即 $p_A=20.8\%$); p_C 为被测气体的氧分压。

渗碳工艺过程中,炉中碳势偏高时会出现“碳黑”;如果其较多地附着在 ZrO_2 表面就会影响电极的反应。如图0.2所示,其中的实线为炉中氧势的真实曲线;虚线即为“碳黑”引起的信号失真(下降)现象。此问题的解决方法是对“碳黑”的局部加入空(氧)气,使“碳黑”燃烧——消失。但是,此空气进入时恰使测试处的氧分压升高,氧浓差减小,氧势信号降低;待局部空气停止进入后,氧势信号才可逐步恢复,图0.2中的点划线表示出这一过程。显然,模拟仪表或一般的数字仪表很难解决此问题。计算机测控系统内部精确的时钟管理、时序节拍、I/O资源及编程控制即可圆满地解决这一问题。如图0.2中的点划曲线所示:根据实际情况,在快要出现“碳黑”之际(图中的 a_1 点),用计算机的“位式”输出启动为探头传感部分吹入空(氧)气的气泵;待氧势产生一定幅度的下降之后气泵停止(图中的 b_1 点);之后气氛经一段时间的恢复(图中的 c_1 点),即可进行正常的参数采集。

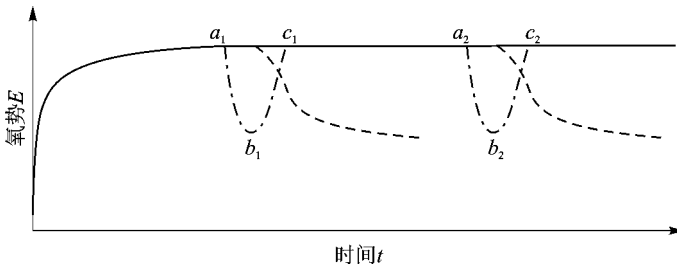


图 0.2 氧浓差电势探头信号计算机智能处理示意图

图0.2所示智能处理的开泵 a 、停泵 b 及恢复 c 三点,可以靠经验定出的时序周期管理,也可以在参数信息采集中结合智能判断来完成整个处理过程。

4. 参数的智能分析 材料性能的某些表征值或相变点可能与测得的参数曲线斜率、拐点相关。例如:材料屈服强度 $\sigma_{0.2}$,差热分析中的相变(开始、结束)点 T_S 、 T_E ,试验曲线分别如图0.3中的(a)、(b)所示。在传统的X—Y记录仪方式中,需对曲线进行人工测量获得数值;在计算机采集的方式下,可对采集的数值信息进行幅度、斜率、波谱、频谱各种数值分析,进而得到各种准确、有用的信息。

5. 参数的智能(模糊逻辑)控制 著名的自动控制权威 Austrom 曾经指出:模糊逻辑控制、神经网络控制与专家控制是三种典型的智能控制方法。它的发展是发挥了计算机智能化的优势,可以实现靠传统模拟控制理论很难进行的控制。在材料工程领域,以反应滞后的成分分析传感器为输入的参数控制、加热执行器与温度传感器相距很远且热阻较大的电炉控制都有这样的特点。例如,人工控制一个电炉的经验可以表述为:

炉温较低时,加热功率尽量大一些;

炉温与给定值相差不太小时,功率减小一些,还要注意升温速度;

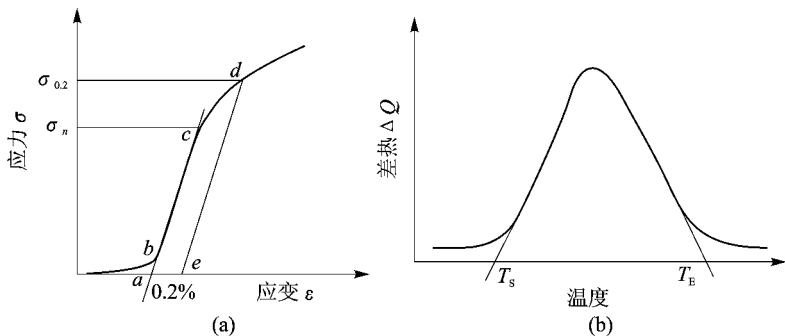


图 0.3 计算机测试中参数智能分析示意图

炉温接近给定值时,功率调节为一最佳值;
炉温稍微超越给定值时,功率应更小些;
炉温超越给定值较多时,停止功率输出。

在以上经验规则表达中,“较低”、“不大”、“接近”、“稍高”、“较多”表示被调量的状态;“大一些”、“减少一些”、“最佳值”、“停止”表示控制状态。它们都带有模糊性。这些规则的形式正是模糊条件语句的形式。可以用模糊数学的方法来描述过程变量和控制作用,表示它们之间的模糊关系;再根据其模糊关系,用模糊逻辑推理方法得到合适的控制值。这就是模糊控制的基本思路。实践证明,用上述思路编制的控制软件,在实际应用中稍加调节,即可产生良好的控制效果。此模糊逻辑加以专家的分析处理,即可称之为“专家控制系统”;在小的偏差范围内,数字 PID 调节运算又能起到很好的作用。上述几个部分的合理结合,就能使“智能化”在控制环节发挥很高的水平。

6. 信息时代特征 信息的数字化、多媒体及远程(网络)传输是信息时代的主要特性。上述皆为信息数字化的优势。多媒体在测控工程中主要体现在系统“实时仿真”的图示方面,使得潜行的工艺过程变得逼真和透明。涉及到材料工程测控方面的信息网络化是设备系统的“远程诊断”及工艺过程的“远程控制”等。信息数字化、网络化的发展会对材料工程测控的发展起到难以估量的作用。

0.5 材料工程计算机测控的基本概念

一、测量环节

1. 测试变量:工艺过程中欲了解的重要参数信息。如材料加工工程中的温度、压力、流量、气氛及物位等。

2. 量程(F):每个具体的测量都有其测量范围,该范围的最小值和最大值分别成为测量下限和测量上限,量程即为此上限与下限的代数差,可表示为

$$F = \text{测量上限} - \text{测量下限} \tag{0.6}$$

3. 传感器和变送器:把欲测试的物理量(或化学量)转变为可测试的电量的材料或器件称之为传感器。把传感信号变换为能与计算机采集接口相匹配信息的电路环节称之为变送器。

4. 数值转换位数(B)及满度值(FD): B 是指所采集的模拟量向数字量(A/D)转换的二进制(最大)位数; FD 是此转换的最大数值。两者的关系为

$$FD = 2^B \quad (0.7)$$

5. 识别精度(D):在模拟仪表中称之“灵敏度”和“分辨率”;在数字测试中, D 与量程 F 和满度值的比值相关,表达式如下:

$$D = \frac{F}{2^B - 1} \quad (0.8)$$

6. 零点迁移和压缩量程:此操作涉及上述的三个概念。零点迁移一般即为测量下限的增高,如果上限不变,即式(0.8)的量程 F 减小——压缩量程;如果 A/D 转换位数不变,显然也提高了识别精度 D 。

7. 误差:测试的(显)示值一般不等于被测量的理论真值,实际中把较高精度的测量值视为约定真值。由此定义各种误差:

$$\text{绝对误差} = \text{测量示值} - \text{约定真值} \quad (0.9)$$

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差} / \text{约定真值} \quad (0.10)$$

$$\text{引用误差} = \text{绝对误差} / \text{量程} \quad (0.11)$$

$$\text{最大引用误差} = \text{最大绝对误差} / \text{量程} \quad (0.12)$$

8. 精确度:系统的最大引用误差去掉百分号即为其精确度。按仪表工业规定,精确度可划分为若干等级,如0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级等。等级数字越小,精度越高。

二、控制环节

1. 被调量:能表征材料、工艺状态并需加以调节的物理(或化学)量称为被调量,也是上述测量环节的测试变量。

2. 给定量:又称设定值,是根据工艺要求,调节量应达到和保持的数值。

3. 偏差:反映被调量实际值与给定值的差值大小,一般用百分数表示:

$$\text{偏差} = [(\text{测量值} - \text{给定值}) / \text{测量范围}] 100\% \quad (0.13)$$

4. 控制调节运算:在模拟仪表中称为调节器,意在获得好的控制品质,即偏差尽快等于零且能稳定保持。显然,它是自动调节的核心部分,一般由模拟计算(放大、微分、积分等)电路组成。在计算机控制系统中,调节电路变换为数值运算,此外还有各种智能调节处理及运算等。

5. 控制输出值:经上述各种调节运算及智能处理之后确定出的控制调节量数值称为控制输出值。一般为以满输出(功率)值为分母的真分数,1为100%的满(全功率)输出。

6. 调节对象:指被调量所属的具体生产(或试验)设备。

7. 执行器:按控制输出值,对调节对象施加能量的器件称为执行器。

三、系统品质

1. 控制精度:在保持阶段内,被调量的波动范围。它有两种表示方法:一是保持段被调量与给定量的最大差值(最大偏差不带百分数);二是保持段被调量“峰峰”(最大、最小值之差)值的 $1/2$,用 $\pm$ 号表示。

2. 可靠性:表征测控系统可靠性的尺度很多,综合考虑常规要求,在要求平均无故障工作时间尽可能长的同时,又要求平均故障修复时间尽可能短,因此,引出综合指标有效度的概念。其定义如下:

$$\text{有效度} = \text{平均无故障工作时间} / (\text{平均无故障工作时间} + \text{平均故障修复时间}) \quad (0.14)$$

以上仅是测控方面的部分概念。这里暂不讨论计算机环节的概念问题。

习题与思考题

1. 简述计算机应用的四个方面。
2. 简述测量的定义、意义与量度定义的发展。
3. 计算机在材料工程的测控中有何优点？
4. 简述测试系统的几种误差。
5. 何谓系统可靠性？

第一章 材料加工过程中的参数测试与传感器

在材料加工过程中,涉及众多的工艺参数,其中重要的参数有温度、压力和气氛,称之为材料工程三要素。

1.1 温度测量

温度是一个表征物体冷、热程度的物理量,它反映分子热运动平均动能的大小。在自然界中,物体的许多物理特性及化学特性均与温度密切相关。在材料加工中更是如此:锻、铸、焊等工艺均是在特定温度下进行的;热处理中的相变对应着精确的温度变化;电镀槽液、塑料成形及现代加工工程等都涉及严格的温度要求。由此可知,温度是材料加工过程中最重要的工艺参数,也是七个基本物理量之一。

1.1.1 测温与温标

测量温度只能采用间接方法。它是利用某些物体的一些性能或状态,如体积、电阻、电势等与温度的对应关系进行的测量。具有特定关系单值、稳定且明确的物体称为“感温元件”;能把温度转换为直接可测的电量的感温元件称为“测温传感器”。

目前,可使用的测温传感器较多,按测试方法可将其分为接触式和非接触式两大类。接触式又可分为机械式和非机械式。非接触式日前主要为辐射式,其中又分红外型、热噪声型及光纤型等。上述常用测温装置的原理及使用范围见表 1.1。

表 1.1 温度测量的传感原理与分类

测温类型			传感原理	使用温度范围/℃
接 触 式	机械式 (膨胀式)		利用物体热胀冷缩的特性,得到随温度的标度感观变化。其中又分气体、液体及固体等类	—50~150 —200~400
	电 器 式	热电	利用热电偶的热电原理测试电偶两端的相对温度	200~1 800
		热阻	利用物体的内阻随温度变化的原理得到可电测的信息	—150~400
		半导体	利用 PN 结正向电压随温度变化的效应来测试温度	—200~200
非接 触式	辐射式		利用物体热辐射能量随温度变化的特性测试温度。此方式主要测试较高的温度。该类型又分全辐射、红外型及光纤型几种	100~2 000

从表 1.1 可以看出,测温原理和方法很多,但是,它们感受同一温度时,提供的敏感信号的种类、大小却不相同。因此,为了给温度以定量描述,并保证测量结果的精确性和一致性,需要建立一个科学的、严格的、统一的标尺,简称“温标”。

作为一个温标,应包含三条基本内容:具有可重现的固定温度点;具有固定点温度上的标准温度计;具有确定相邻固定温度点间的内插公式。目前使用的主要温标有摄氏温标、华氏温

标、热力学温标及国际温标,分别定义如下:

1. 摄氏温标 分度方法是,规定在标准大气压下,水的冰点为零摄氏度,水的沸点为 100 摄氏度。选用测温物质是水银(Hg),认为它的体膨胀随温度变化是线性的。将从水的冰点到沸点之间水银体膨胀值分成 100 等份,每份为 1 摄氏度,记作 1°C 。

2. 华氏温标 当时(1906 年,Fahrenheit)规定一种氯化铵和冰水混合的温度为零华氏度,而认为人体的稳定温度为 100 华氏度,把这中间水银体膨胀量分为 100 份,每份为 1 华氏度。于是,水的冰点就相当于 32 华氏度,水的沸点为 212 华氏度。两点之间为 180 等份,每份为 1 华氏度,记作 1°F 。

摄氏温度与华氏温度之间的换算关系为:

$$\frac{F}{^{\circ}\text{F}} = \frac{9}{5} \frac{C}{^{\circ}\text{C}} + 32 \quad (1.1)$$

例如水的沸点 100°C , 相当于 $F = \left[\frac{9}{5} \times \frac{100}{^{\circ}\text{C}} + 32 \right]^{\circ}\text{F} = 212^{\circ}\text{F}$, 摄氏 20°C 相当于 $F =$

$$\left[\frac{9}{5} \times \frac{20}{^{\circ}\text{C}} + 32 \right]^{\circ}\text{F} = 68^{\circ}\text{F}。$$

3. 热力学温标 由气体压力定律(查理定律)知:

$$p = p_0(1 + \beta C) \quad (1.2)$$

$\beta = \frac{1}{273.15} 1/^{\circ}\text{C}$ (气体压力系数), $C = -273.15^{\circ}\text{C}$ 时, $p = 0 \text{ Pa}$, 这是一种极限情况。开尔

文创立了把 -273.15°C 作为热力学温度起点的温标,叫做热力学温标,而分度法与摄氏分度法相同,以 K 表示。即摄氏 $C = 0^{\circ}\text{C}$ 时, $T_0 = 273.15 \text{ K}$ 。热力学温度与摄氏温度的关系为

$$\frac{T}{\text{K}} = \frac{T_0}{\text{K}} + \frac{C}{^{\circ}\text{C}} = 273.15 + \frac{C}{^{\circ}\text{C}} \quad (1.3)$$

热力学温标的 0 K 是低温极限,能无限接近,但不能达到。

4. 国际实用温标 为了复现热力学温标,并且有利于国际上量值的传递,通过国际协议,制定了国际实用温标。它是利用气体温度计测出一系列化学纯物质的相平衡点温度,在这些固定点之间用规定传递仪器(例如铂电阻或铂铑热电偶)和内插公式分度温度值。1968 年制定的称为“国际实用温标 IPTS—1968”,标记为“K”。国际实用温标是协议性温标。由于科学技术的不断发展,这个温标的数值不断向热力学温标靠近,每过若干年将对其修正一次,1990 年改为 ITS—90。

1.1.2 膨胀式温度计

液体膨胀式温度计是应用最早的温度计,如玻璃棒式水银(或酒精)温度计。酒精温度计可测最低达 -100°C 的低温。人体温度计最小分度值为 0.1°C ,但其量程只有 7°C ($35^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$),相对精度并不高。有些标准的玻璃棒式温度计,量程分段划分,如 $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$, $50 \sim 100^{\circ}\text{C}$, ..., 其分度值为 0.1°C 。工业用水银温度计(例如 $0 \sim 200^{\circ}\text{C}$),一般最小分度值为 1°C 。

固体膨胀式温度计常见的多为双金属式(见图 1.1),其敏感元件是双金属螺旋管,其一端固定,另一端为自由端与指针相连。由于两金属(复合在一起)膨胀系数不同,当温度变化时,使敏感元件的曲率发生变化,从而带动指针转动一定角度。这种温度计比玻璃温度计抗震性好,读数方便,但精度不高,一般应用在 600°C 以下。