

材料成型设备与 计算机控制技术

刘立君 杜贤昌 孙振忠 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统讲述材料成型设备与计算机控制技术的基础知识, 主要介绍了 PID 控制技术、模糊控制技术、微计算机接口技术和通信技术; 详细阐述材料成型设备微计算机控制系统的抗干扰技术和设计方法; 在材料成型设备部分主要介绍焊接电源、焊接机器人、差压铸造设备、通用压力机、冲压机、塑料注射成型机等典型设备, 并通过典型应用实例阐述关于材料成型设备与计算机控制系统的设计步骤和设计原则以及总体方案的分析和设计问题。

本书突出计算机控制技术, 不仅可作为材料成型专业教材, 也可以作为机电一体化、自动化、计算机应用等专业教材。由于本教材的实例和一些章节都是作者多年的科研成果, 实用性和工程性较强, 亦可供从事材料成型过程控制或工控领域机电一体化工程技术的人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型设备与计算机控制技术/刘立君, 杜贤昌, 孙振忠编著. —北京: 电子工业出版社, 2004.2
ISBN 7-5053-9621-8

I. 材… II. ①刘… ②杜… ③孙… III. 工程材料—成型—计算机控制 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004556 号

责任编辑: 许 楷

印 刷: 北京东光印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.5 字数: 473.6 千字

印 次: 2004 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 24.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

当前, 计算机技术的飞速发展已经给人类生产和生活的各个领域带来了深刻的影响。近年来, 随着微型计算机存储容量逐步增大、运算速度逐步提高和图形功能逐步完善, 使得计算机的应用更加普及, 并进一步向深层次拓展。在材料成型行业中, 计算机的应用正在向科研、生产、管理等领域发展。一般应用主要集中在材料成型生产工艺管理、专家系统、数据库与应用软件、数值分析、数值模拟和生产过程控制等方面。一些先进技术和理论(如人工智能、神经网络、模糊控制、软件设计方法学等)也已引入到材料成型领域中。这些技术的成功运用使材料成型微机控制系统的整体设计水平得以提高, 并具有较强的实用性。

由于材料成型设备的广泛应用及工作条件的特殊性, 且其涉及的学科较多, 材料成型设备的设计需要相关学科的支持。计算机技术、网络技术、控制技术、电力电子技术及相关学科的发展加速了材料成型设备的推陈出新和进一步应用。材料成型设备与计算机技术和智能技术相结合的智能型材料成型设备是今后的主要发展方向。

材料成型设备是材料成型过程中的重要工具, 其自动化程度反映了材料成型行业发展的状况。鉴于计算机技术在材料成型设备中应用的普遍性和重要性, 本书在编写过程中, 力求理论联系实际, 突出计算机控制技术在材料成型设备中的应用。书中实例可供实际产品开发借鉴。

本书的第1章绪论部分简要叙述了计算机技术在材料成型设备中的应用概况; 第2章和第3章介绍了PID控制技术和模糊控制技术, 作为材料成型设备的计算机控制技术基础知识; 第4章至第6章系统地阐述了材料成型设备微型计算机控制系统的设计基础、抗干扰技术和设计方法; 第7章和第8章介绍了材料成型设备及其计算机控制技术。本书重点突出实用性和工程性, 减少了复杂的理论推导。

本书编审人员及其分工如下: 刘立君副教授(哈尔滨理工大学)负责全书统稿并编写第1、2、4、5、6章; 杜贤昌副教授(长春工程学院)编写第3、7(1、2、4节)章; 孙振忠副教授(哈尔滨理工大学)编写第8章; 戴鸿滨讲师(哈尔滨理工大学)编写第7(3、5节)章; 郭立伟副教授(哈尔滨理工大学)担任本书主审。

对在立项及编写过程中提出过许多宝贵意见的哈尔滨工业大学吴林教授、哈尔滨理工大学尤波教授、于彦东教授和张永德教授及本书援引的参考文献作者, 在此一并致以深切的谢意。

哈尔滨理工大学张启永同志代为绘制本书大部分图表, 谨此致谢。

由于编者水平有限, 疏漏和错误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编者

2003年9月

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	计算机控制技术在材料成型设备中的应用	1
1.1.1	焊接设备计算机控制技术	1
1.1.2	锻压设备计算机控制技术	4
1.1.3	铸造设备计算机控制技术	5
1.2	计算机抗干扰技术在材料成型设备中的应用	7
1.3	学习本课程的目的与要求	7
1.3.1	学习本课程目的	7
1.3.2	课程要求	7
1.3.3	本课程与其他课程的联系和分工	8
第 2 章	PID 微机控制	9
2.1	PID 控制器数字化	9
2.1.1	模拟 PID 控制器	9
2.1.2	PID 控制算法的数字实现	9
2.2	PID 算法优化	11
2.2.1	PID 积分分离控制	11
2.2.2	可变增量 PID 控制	12
2.2.3	时间最优的 PID 控制	13
2.2.4	智能 PID 控制	14
2.3	PID 参数整定方法	17
2.3.1	工程整定法	17
2.3.2	经验法	18
2.3.3	凑试法确定 PID 调节参数	19
2.4	PID 控制系统实例	19
2.4.1	厚壁管全位置焊接变增益 PID 弧长调节的必要性	19
2.4.2	弧长调节系统的硬件组成	20
2.4.3	弧长调节可变增益 PID 控制器的设计	21
第 3 章	模糊控制技术	24
3.1	模糊推理基础	24
3.1.1	模糊集合	24
3.1.2	模糊关系	25
3.1.3	模糊推理	28
3.2	模糊控制器设计	30
3.2.1	模糊系统结构	30
3.2.2	精确量 Fuzzy 化	31
3.2.3	模糊控制算法设计	33
3.2.4	输出信息的 Fuzzy 判决	36

3.2.5	Fuzzy 控制器查询表建立	37
3.2.6	Fuzzy 控制器的设计	38
3.3	自组织模糊控制器的设计	41
3.3.1	修正因子自寻优 Fuzzy 控制器的设计	41
3.3.2	带修正函数的 Fuzzy 控制器的设计	42
3.3.3	自调整、自修正 Fuzzy 控制器的设计	43
3.4	模糊控制焊接电弧	45
3.4.1	系统框图	45
3.4.2	设计步骤	46
第 4 章	微计算机控制系统设计基础	49
4.1	微计算机控制基本原理	49
4.1.1	单片机内部结构及应用系统	49
4.1.2	8031 微处理器	50
4.1.3	存储器	52
4.1.4	微计算机最小应用系统设计实例	57
4.2	微计算机接口技术	60
4.2.1	集成 D/A 转换器 DAC0832	61
4.2.2	集成 A/D 转换器 ADC0809	65
4.3	微计算机通信技术	69
4.3.1	上位机串行接口	69
4.3.2	下位机串行接口	71
4.3.3	电弧强干扰下的计算机多机通信	81
4.3.4	高可靠性 RS-485 总线及应用	83
4.3.5	USB 接口设计	86
第 5 章	材料成型设备计算机控制系统抗干扰技术	92
5.1	材料成型设备计算机控制系统干扰途径与分类	92
5.1.1	干扰途径	92
5.1.2	干扰分类	92
5.2	电子元器件选择原则	94
5.2.1	元器件筛选方案的设计原则	94
5.2.2	元器件选择的一般原则	94
5.2.3	元器件的降额设计	95
5.2.4	集成电路选用时应注意的问题	96
5.3	材料成型设备计算机控制系统硬件抗干扰技术	96
5.3.1	接地技术	97
5.3.2	屏蔽技术	100
5.3.3	硬件“看门狗”技术（微处理器监控器 MAX690A/MAX692A）	105
5.3.4	电源的抗干扰技术	109
5.3.5	计算机接口电路隔离技术	114
5.4	材料成型设备计算机控制系统软件抗干扰技术	116
5.4.1	软件冗余技术	116

5.4.2	软件陷阱技术·····	117
5.4.3	软件“看门狗”技术·····	121
5.4.4	无扰动重恢复技术·····	124
5.4.5	数字滤波·····	127
5.4.6	其他软件抗干扰技术·····	133
5.5	计算机控制交流 TIG 焊系统抗干扰设计·····	134
5.5.1	设计抗干扰电路·····	134
5.5.2	抑制干扰源·····	139
5.5.3	削弱耦合通道·····	141
5.5.4	采用屏蔽双绞线·····	141
5.5.5	合理布线·····	143
第 6 章	材料成型设备计算机控制系统设计·····	147
6.1	材料成型设备计算机控制系统设计的基本要求及步骤·····	147
6.1.1	设计要求·····	147
6.1.2	设计步骤·····	148
6.2	材料成型设备控制单元电路板设计原则·····	152
6.2.1	印制电路板的可靠性与可预测性设计原则·····	152
6.2.2	印制电路板的抗干扰设计原则·····	154
6.2.3	印制电路板的热设计·····	156
6.2.4	印制电路板的接地原则·····	156
6.3	材料成型设备计算机控制系统软件设计·····	157
6.3.1	计算机控制系统软件设计原则·····	157
6.3.2	计算机软件模块化设计·····	158
6.3.3	软件可靠性设计·····	163
6.3.4	计算机软件的系统工程方法设计·····	167
6.4	材料成型设备计算机控制系统设计应考虑的问题·····	169
6.4.1	主机选择的原则·····	169
6.4.2	微机控制系统的组成方式·····	169
6.4.3	软件和硬件的协调与分配·····	171
6.4.4	硬件的设计·····	171
第 7 章	焊接与铸造设备及其计算机控制技术·····	176
7.1	弧焊电源·····	176
7.1.1	弧焊电源的分类、特点和用途·····	177
7.1.2	弧焊电源外特性的种类·····	177
7.1.3	弧焊电源调节特性与动特性·····	178
7.1.4	晶闸管式弧焊整流器·····	179
7.2	弧焊电源的计算机控制技术·····	190
7.2.1	微机控制弧焊电源·····	190
7.2.2	数字化弧焊电源·····	193
7.3	焊接机器人·····	202
7.3.1	机器人基础·····	202

7.3.2	弧焊机器人	216
7.4	管道全位置焊接机器人计算机控制系统设计	224
7.4.1	控制系统总体方案的选择	224
7.4.2	主机计算机控制系统	225
7.4.3	各从机控制功能	226
7.4.4	计算机间的通信	236
7.4.5	全位置脉冲 TIG 焊弧压传感弧长调节	238
7.4.6	基于图像传感二维跟踪控制系统	240
7.5	铸造设备计算机控制技术	242
7.5.1	差压铸造系统	243
7.5.2	差压铸造控制原理及控制系统的构成	244
7.5.3	开关量的输入/输出与光电隔离	247
7.5.4	调节算法及软件程序	248
第 8 章	锻压与塑压设备及其计算机控制技术	253
8.1	通用压力机	253
8.1.1	通用压力机的工作原理和结构组成	253
8.1.2	通用压力机的技术参数	255
8.2	液压机	259
8.2.1	液压机的工作原理	259
8.2.2	液压机的液压系统	259
8.2.3	液压机的特点	261
8.2.4	液压机的基本参数	262
8.3	塑料注射成型机	263
8.3.1	注射成型机的组成	263
8.3.2	注射成型机的分类	264
8.3.3	注射成型机型号规格的表达法	266
8.3.4	注射成型机的工作过程	267
8.3.5	注射成型机的技术参数	269
8.3.6	液压传动系统	274
8.4	全自动螺杆式注射成型机	278
8.4.1	注射装置	278
8.4.2	合模装置	278
8.4.3	工艺参数的调整	278
8.4.4	模具注射参数的存储	280
8.5	塑料注射成型机计算机控制系统设计	280
8.5.1	注射过程控制策略	281
8.5.2	智能控制器的设计	281
8.5.3	注射机过程控制简介	282
参考文献		283

第 1 章 绪 论

计算机是本世纪中最重要的技术发展项目之一，具有进行最普遍意义的信息自动化处理能力。同时，由于工业控制机和微机的性能价格比和可靠性的不断提高，使得实现整个工业和工业体系生产过程的综合自动化具有可能性和现实性。可见，计算机在工业生产过程自动化方面起着其他技术不可代替的作用。

1.1 计算机控制技术在材料成型设备中的应用

计算机控制技术在材料成型设备中的应用已经越来越普遍。由于材料成型设备较多，本书只对焊接、锻压、冲压、塑压和铸造中典型设备的计算机控制技术加以介绍，而对于焊接设备主要以焊接电源和弧焊机器人为例加以说明。

1.1.1 焊接设备计算机控制技术

1. 计算机控制技术在弧焊电源中的应用

随着电子技术的高度发展和微机技术的广泛应用，微机在电弧焊机中的应用已不再局限于使用其记忆功能（如用来存储熟练焊工的经验数据、焊接规范、焊接程序等），现在已扩展到用于控制弧焊电源的大批动态、静态特性，并自动调节焊接规范或焊接参数，改善焊接性能，保证焊缝一致性，获得高质量焊缝。传统的弧焊电源控制系统多采用分立元件组成的模拟电路和数字电路，微机控制的实质是用微机控制系统取代之。目前常用的微机有单板机、单片机、可编程控制器、个人计算机等，而单片机无论是在质量控制还是在焊接程序控制方面，都有其独特的优点：

- 记忆功能，可以记忆很多组规范参数，然后按要求顺序出现；
- 控制灵活，在不改变硬件和布线的情况下，可通过执行不同的软件程序而获得不同的性能，可以做到一机多用；
- 故障分析能力，利用微机的逻辑判断功能对电源故障进行自诊断和报警；
- 进行二次开发，适应性强。

微机控制的弧焊电源，在国外早有商品出售，如 ESAB 公司的 LAK500 型微机控制电源，日本松下公司的 PULSE MEMOR ZX 系列电源，大阪变压器公司的 AUTO 380 超高频逆变电源等。国内也已开发出多种产品，微机已由低档的 Z-80.6520 等 8 位机到 MCS-51 系列单片机，进而发展到 MCS-96 系列 16 位单片机，焊接电源的微机控制最基本的功能是实现其调节特性，即对焊接电源外特性的调节。焊接电源类型很多，从理论上讲，每种电源均可实现微机控制。目前，易于计算机控制、比较普及和比较先进的电源主要有可控硅电源、晶体管电源、逆变电源等。

1) 可控硅电源

以阻性负载的三相桥式电路为例，如图 1-1 所示为主电路原理图。 U_f 为负载电压， α 为可控硅触发的控制角。微机对 α 控制时有两种方法：一是含触发电路，如图 1-2 (a) 所示，即由

CPU 经 D/A 输出模拟控制信号，控制触发电路以得到不同的 α ；二是不含触发电路，如图 1-2 (b) 所示，即由 CPU 经并行接口的某些位直接输出触发信号，经过由数字电路组成的触发信号分配电路，分时触发三个可控硅，并用定时器进行定时。

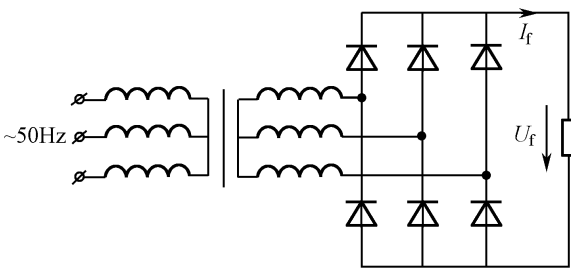
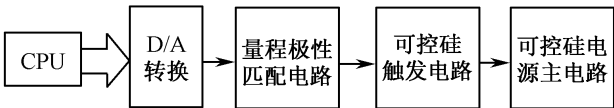
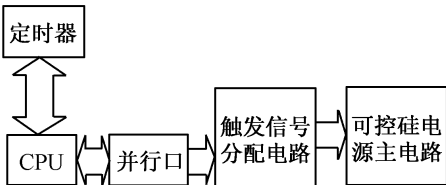


图 1-1 可控硅电源主电路原理



(a) 含触发电路



(b) 不含触发电路

图 1-2 可控硅电源触发电路

2) 晶体管电源

图 1-3 是模拟式晶体管电源的组成示意图。晶体管组工作在线性放大区，其焊接电流 I_f 可由模拟量 U_g 控制，该模拟量可直接由微机通过 D/A 转换接口输出得到，如图 1-4 所示。在使用 D/A 转换器时，要注意量程和极性。

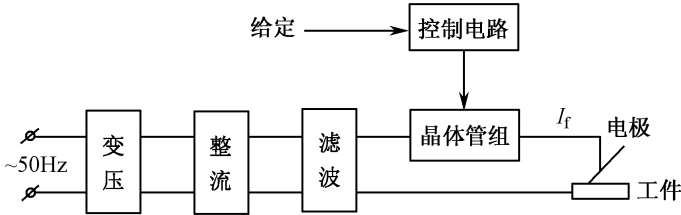


图 1-3 模拟式晶体管电源的组成示意图

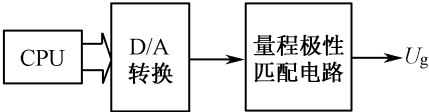


图 1-4 模拟式晶体管电源的微机控制

3) 逆变电源

逆变电源的组成示意图如图 1-5 所示，它具有许多优点，如抗干扰性强、功率消耗小、体

积小等，是目前科研人员普遍研究的电源。通过调节大功率开关元件开关的占空比，可达到调节焊接电流 I_f 的目的。占空比的调节有定频率调脉宽和定脉宽调频率两种方法，以前者较常见。微机实现定频率调脉宽的占空比调节，多采用脉宽调节器，由微机经 D/A 转换器输出模拟量，控制脉宽调节器的输出脉宽最终实现对 I_f 的控制，如图 1-6 所示。

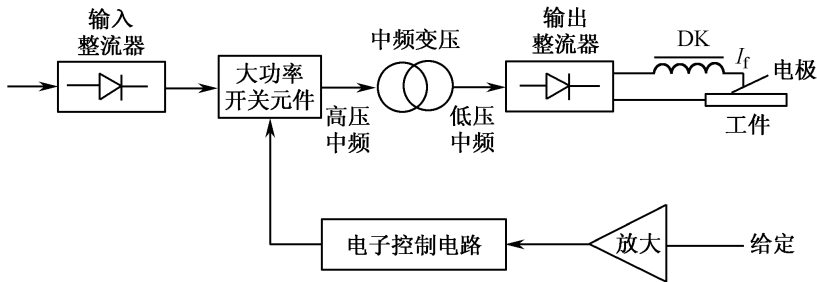


图 1-5 逆变电源的组成示意图

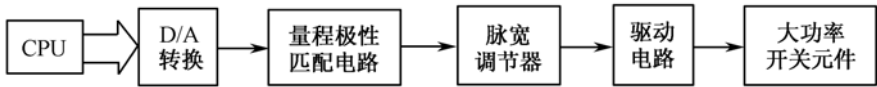


图 1-6 逆变电源的微机控制

微机控制的弧焊电源无论是从提高电源质量，还是从推进弧焊机器人的应用来讲，都具有明显价值。目前，此项研究工作正在通过以下几方面深入开展：

- 加强焊机过程智能化控制的总体研究，使包括弧焊电源在内的整个焊接系统协调、最优地工作；
- 优化选择目前已成熟的微机控制弧焊电源，使生产制造批量化、系列化，扩大在实际生产中的应用；
- 加强控制算法的研究，通过引入自校正、PID、模糊控制、神经网络控制等先进控制策略，将会进一步提高控制效果。

目前已经有将自适应控制、专家系统、模糊控制和人工神经网络用于弧焊电源的控制中的例子。在这种控制中，将弧焊规范参数（如熔深、熔宽等）当做直接焊接参数，将电源的输出电压、电流当做间接焊接参数，并考虑工作环境的因素。根据所需要的直接焊接参数，通过专家系统、神经网络或其他的方式决定间接焊接参数，从而控制弧焊逆变器的工作，以获得所需的焊接效果。这类控制方式方法目前已有成功用于弧焊电源中的例子。特别是在自动弧焊系统中，采用先进的功能模块化结构进行软件设计，可以使软件规范化、简单化，便于现场人员掌握；在研制新器件的弧焊电源的同时，还要加强配套微机系统的研究。

随着电力电子技术、计算机技术、控制理论等相关科学技术的发展，微机控制的弧焊电源无论是在控制算法、计算速度及精度上，还是在主电路器件上，都必然会有大的变革，相信在不久的将来，高质量的微机控制弧焊电源必将会在生产中发挥巨大作用。

数字化焊机的研究目前还仅仅处于起步阶段，但是从数字化焊机所表现出来的性能来看，它必将成为今后焊接设备发展的潮流。具体表现在，数字化焊机实现了柔性化控制和多功能集成。系统的控制策略可以通过软件的方式加以实现（以软代硬），即系统的控制是柔性的，利于进行控制系统的优化设计与多功能集成；并且控制精度高。数字系统的控制精度主要取决于系统的位数。以一个 16 位系统来说，它的精度可以达到 2^{-15} 。随着系统位数的增加，如 32 位、64 位，系统的控制精度还将进一步提高；并且稳定性也相对较好。DSP 系统以数字处

理为基础，受环境温度及噪声的影响较小，可靠性高；并且产品的一致性较好。模拟系统的性能受元器件参数性能变化的影响比较大，而数字系统基本不受影响。因此数字系统具有如下特点：

- 便于测试、调试和大规模生产；
- 接口兼容性好，DSP 系统与其他的现代数字技术为基础的系统或设备都是相互兼容的，与这样的系统接口以实现某种功能要比模拟系统与这些系统接口容易得多；
- 焊机功能升级方便，DSP 系统中的可编程芯片可使设计人员在开发过程中能灵活方便地对软件进行修改和升级。

为此，我国的焊接工作者必须加大这一方面的研究力度，早日研究开发出自己的数字化焊机。增强国产焊机的市场竞争力，振兴民族工业。

2. 计算机控制技术在弧焊机器人中的应用

近几年，随着微电子技术的大力发展，以 PC 为代表的计算机软、硬件得到了空前的发展，制造业也以建立 FMS 为目标，向“开放的工厂自动化”方向发展。为顺应这一趋势，焊缝跟踪控制系统中弧焊机器人的计算机控制器必须由专用的控制器向基于 PC 的开放通用型控制器过渡。PC 与焊接机器人的结合应用，不但能够解决专用控制器计算负担重、实时性差等问题，同时能够将其他领域（例如，图像处理、声音识别、最优控制、人工智能等）先进的研究成果应用到该系统的实时操作中。另外，PC 具有良好的开放性、安全性和联网性、标准的实时多任务操作系统、标准的总线结构及标准接口等，可以打破机器人专用控制器结构封闭的局面，开发出结构开放、功能模块化的标准化焊接机器人系统。系统中应用 PC 的方式一般是在原来的机器人专用控制器中配置与 PC 通信的总线及接口板。加上相应的通信软件并开发相应的应用软件及接口板，用户即可在 PC 上编程读取机器人跟踪焊缝的当前位置，对机器人的运动进行实时控制，从而监控焊接机器人的工作状态。

目前的工业生产系统正在向大型、复杂、动态和开放的方向发展，为了解决传统工业系统和多机器人技术在许多关键问题上遇到的严重挑战，并将分布式人工智能和多智能体系统理论充分应用于工业生产系统和多机器人系统中，便产生了一门新兴的机器人技术领域——多智能体机器人系统。焊接是工业生产的一大领域，焊接机器人的发展基本上同步于整个机器人行业的发展。所以，多智能体机器人的研究与发展将要很快应用于焊接机器人领域。随着工业生产系统向大型、复杂、动态和开放的方向发展，以及焊接过程向高度自动化及完全智能化的方向发展，多智能体焊接机器人系统终将成为热点的研究领域，该系统的具体内容为：机器人焊接技术任务规划软件系统设计；机器人焊接传感技术；焊接机器人系统用电源配套设备技术；机器人运动轨道控制实现技术；焊接动态过程的实时智能控制器设计；焊接机器人焊接智能化复杂技术的控制与优化管理技术；遥控焊接技术。但要把这些研究成果应用于生产实际，还有待做出更大的努力。

1.1.2 锻压设备计算机控制技术

锻压设备的计算机控制除有一般数控的共性问题之外，还有其本身的特性：

- 锻压生产的环境条件恶劣，如振动、高温、灰尘等较严重，许多通用检测及执行元件不能适应。
- 可靠性差，寿命短，必须从元件到系统采取相应的措施。

- 可靠性要求高。锻压一般是在高压、高速度、高温下进行的生产工艺，控制系统一旦失灵则可能造成重大人身伤亡、机床事故和经济损失，所以要求系统十分可靠，必须采用完善的保险措施（如冗余技术）。
- 所需检测 and 控制的参数种类复杂，包括位移、速度、力、力矩、压力、流量、温度、形状等，其中不少为模拟量，给检测、执行及控制均带来了一定的困难。
- 工艺本身复杂，常常不易稳定。生产过程中可能出现种种异常情况，且事先难以完全预料（如温度对锻件成型的影响，板材性质对冲压件质量的影响，润滑对脱模的影响等），所以在控制硬件和软件方面要有相应的措施，例如，应设置多种过程参数的检测，能及时、方便地实现自动/手动转换，在自动生产过程中可随时插入必要的人工干预。
- 要求的驱动功率大，响应速度快。如锻压设备所用的液压系统大多采用高压、大流量，并要求在极短的时间内进行动作变换，以保证工件精度和生产率，避免因温度下降而造成废品。
- 控制精度相对冷加工控制系统的要求较低，如位置精度一般低于 0.01 mm，但系统必须坚固耐用。

由以上分析可见，必须研制适合于锻压特点的计算机控制系统，而不能简单套用现有冷加工设备的控制。计算机在锻压设备控制系统中的应用主要有以下几方面：

- 在锻压过程的计算机监测中，计算机通过传感器和接口电路采集、显示和记录锻压过程参数，它只能为操作人员的决策、控制提供依据，而不能自动控制生产过程。
- 在锻压过程的计算机直接控制中，计算机除具有上述第一类系统的作用之外，还可通过接口电路和执行器件控制过程参数，使生产过程能按事先编制的程序和输入的数据自动进行，从而得到符合要求的工件。系统又可分为开环控制系统与闭环控制系统两大类。前者比较简单，但精度较低；后者具有反馈环节，以便检查和校正控制的效果，因此性能较好，然而成本也较高。
- 在锻压过程的计算机优化控制中，计算机除具有上述两类系统的作用之外，还能按照预先选定的目标函数（例如，生产率最高、材料最省或功率消耗最少等），对过程参数进行优化，使系统在最佳状态下运行。
- 锻压生产的计算机控制一体化包括锻压生产的管理、工艺过程和模具的计算机辅助设计（CAD）、模具的计算机辅助制造（CAM）及过程的直接控制等。

随着锻压设备计算机控制技术的发展，锻压设备计算机控制系统将逐渐向高可靠性、易维护性和可扩展性方向发展。可靠性是锻压设备控制系统的首要要求。可靠性不高，不仅其他先进性能无法得到充分发挥，而且可能造成恶性事故，严重危及工人与设备安全。

由于锻压车间的工作条件较差，现有操作人员的电子技术水平不够高，因此在先进的控制系统中都应配备完善的自诊断功能。系统的构成方式也趋向由集中改为分散，使操作者能迅速发现故障出现的原因及部位，并尽可能用更换单个小型插件板的方式来进行现场维修以使设备能在短时间内恢复正常运行。同时考虑到锻压设备的更新换代，应使锻压设备计算机控制系统具有升级、扩展功能。

1.1.3 铸造设备计算机控制技术

近年来，由于大规模集成电路的发展，微处理器和微型计算机已在铸造工业中获得广泛应用。例如，美国 Bamlhan 钢管公司 1972 年建成的 100t/h 冲天炉，冲天炉熔化全部采用计算

机控制；自动配料、自动调节炉料成分，自动检测铁水中 C、Si 的含量，在加料口自动测试炉气成分。当炉气成分超出范围时，计算机自动报警。在日本铸造车间，生产过程已实现了在线控制、在线管理，并进行了计算机监控。计算机在我国铸造工业中的应用起步较晚，20 世纪 80 年代，随着对外开放，铸造工业的大规模技术改造，中外先进生产线及铸造技术的引入，计算机技术开始在铸造界得到推广，并经我国铸造工作者消化吸收，进行了大量研究开发，例如，苏州铸机厂和清华大学合作研制生产的气冲造型线，在其主要工位实现了 PC 控制。济南铸锻所还研制出自动型变储运及自动更换系统——造型柔性加工单元（Fmc）。

计算机控制铸造设备首先把生产过程的有关参数，如温度、压力、流量等进行采样，并通过过程输入通道把模拟量（也可直接输入数字量信息）转换成相应的数字量。这些数字是反映生产过程的原始信息，计算机根据这些信息或是按一定关系进行处理后显示或打印，或是按一定的控制算式进行计算，计算结果由过程输出通道输出，通过执行器去控制生产过程。

根据控制目的的不同，铸造设备计算机控制系统分为计算机数据检测处理系统和计算机控制系统。

计算机数据检测处理是计算机在铸造工业中最基本的也是非常重要的一种应用。它收集铸造生产过程的参数，如混砂时的水分、湿度、紧实度、成型性等，经 A/D 转换器换算成相应的工程单位和数值。计算机数据检测处理的自动化、数字化，为生产过程数据模型的建立提供了必不可少的条件，从而在很大程度上减少废品，稳定生产，提高了产品的质量。国内外在计算机质量检测与测量手段上的发展趋势是：主要围绕严重影响铸件质量的环节进行研究，如配料成分控制、型砂混制、型砂性能检测、铸件成品的外表与内在质量的无损检测；快速检测，如熔化工位铁水成分的测量，为熔化控制、提高铁水质量创造了条件。

计算机控制系统是利用计算机的处理能力，对各控制回路由检测元件、变送器所送来的温度、压力、流量、物位、机械量、成分等被控量的信号进行数字化处理，与给定值比较，根据必要的控制算式对执行器（数模转换器）送去应有的控制量，从而对多个回路完成 PID 控制、前馈控制、自适应控制、多参数协调控制等任何一种计算机控制方式。如对于冲天炉微机控制系统，其信息因子——铁水温度，出铁量，有焦高度，炉顶气中 CO/CO₂ 的比值等；控制因子——风量，金属，炉料配比，铁焦比等；特性值——铁水化学成分；控制方法为配料自动控制，自动记录及调整信息因子与控制因子的联合，监测与调节，以达到最佳目标，实现从各种原材料的加入与计量到各工艺参数的检测与控制的全自动化操作，有效地提高了铁水质量。砂处理微机控制系统有以下几方面的应用：

- 把微机作为顺序控制器使用，使砂处理系统中各种工艺设备和运输设备按一定动作顺序联动，并具备连锁要求。
- 单台工艺设备，如混砂机，按时间表完成预定作业循环。使某调节对象自动保持在预定参数范围内，如型砂水分自动调节，旧砂冷却控制等。

电子计算机已在铸造设备中得到广泛应用，其中包括熔炼与浇注设备、造型与制芯设备、金属型设备（其中尤以压铸机应用最多）、砂处理设备、清理设备、低压及差压铸造设备等。在机电一体化大力推广与发展的今天，工程技术人员应该掌握微机技术，并能根据生产工艺过程要求提出系统控制方案，编制软件程序，组成硬件系统，并对系统进行稳定性分析和模拟化设计。

1.2 计算机抗干扰技术在材料成型设备中的应用

随着微电子技术、计算机技术、现代控制论的飞速发展，材料成型生产过程中的工控微机已经迅速代替了常规的模拟控制器，发挥了巨大的作用。如果不能很好地解决工控微机抗干扰的问题，就会给材料成型控制过程带来很大的危害，甚至使控制系统失灵、崩溃。所以，一定要充分认识干扰的危害，认真分析各类干扰，找出源头，并采取有效的抑制和解决办法。

利用计算机可以使材料成型过程的自动控制由简单的过程程序控制和恒定参数控制发展为多参数综合控制、自适应控制和智能控制。为保证计算机系统能够在材料成型生产环境中稳定可靠地运行并达到预期的效果，系统必须具备优良的抗干扰能力。

干扰可以使指令系统失效，测量产生误差，计算机不能正常进行数据检测和处理，使控制效果变差，甚至会导致系统的紊乱和破坏。干扰将产生干扰源，有的干扰来自系统内部，如交流声、不同信号的感应、多点接地造成的电位差、寄生器的振荡等。对处在较恶劣的现场工作条件下的计算机系统，更多的干扰来自外部，例如，大型设备的启动造成的电网波动，高压电器产生的电晕放电和接触器通断，旋转电机换向产生的火花放电造成的高频干扰，以及电弧焊产生的电磁干扰。微机应用系统抑制电磁干扰的技术分为硬件和软件两个方面，以往主要侧重于采用硬件技术，如电磁隔离、去除滤波、噪声补偿等，但单靠硬件处理电磁干扰问题，不能完全满足应用系统的要求，另外还需要注重软件抗干扰技术的应用。硬件技术和软件技术的巧妙结合，将是抵抗电磁干扰的有力手段。

干扰是一种不希望交互影响的现象，我们应该对材料成型过程中的微机控制系统在工业中的抗干扰问题进行研究，应用一系列经济、有效的抗干扰技术，大大地提高系统的可靠性。

计算机控制系统的可靠性是描述系统长期稳定、正常运行能力的一个通用概念，也是产品质量在时间方面的特征表示。同时，可靠性又是一个统计概念，表明在某一时间内某个产品或系统稳定正常完成预定功能指标的情况。描述可靠性的定量指标常常包括可靠度、失效率、平均无故障时间这些特性量。一个复杂的系统总是由多个基本元件或部分组成的，如何根据这些元部件的可靠性去估计系统的可靠性，是系统可靠性工程研究的重要内容。在微机测控系统中，元器件怎样在保证完成特定功能的前提下，去合理地组成一个高可靠性的电路，这对工程实践有着十分重要的意义。微机控制系统的可靠性技术涉及到生产过程的方方面面，不仅与技术、制造、检验、安装、维护有关，还与生产管理、质量监控系统体系，以及使用人员的专业技术水平与素质有关。由于篇幅有限，本书只从设计角度对计算机控制系统的可靠性、抗干扰性加以论述，其他内容读者可参考相关资料进行查阅。

1.3 学习本课程的目的与要求

1.3.1 学习本课程目的

通过本课程的学习，可以使学生较好地掌握材料成型设备计算机控制的相关知识，提高学生多学科融合思维能力，增强学生的社会适应能力，为其将来进入社会创造良好条件。

1.3.2 课程要求

(1) 掌握弧焊电源、焊接机器人、差压铸造设备、通用压力机、冲压机和塑料注射成型

机的基本工作原理及实际应用的特点。

(2) 掌握 PID、模糊控制基本原理及一些典型 PID 和模糊控制器的设计。

(3) 理解工业现场材料成型设备计算机控制系统的抗干扰技术，并能在实际工程中解决相关计算机控制系统可靠性方面的问题。

(4) 掌握材料成型设备计算机控制系统的设计步骤及其原则，熟悉控制系统软、硬件设计具体要求，基本掌握材料成型设备计算机控制系统的集成技巧，并能初步进行总体方案的分析和设计。

1.3.3 本课程与其他课程的联系和分工

(1) 本课程的先修课程为《电工学》、《电子学》、《电力电子技术》、《机械原理》、《单片机原理与应用》和《计算机基础》等与本课程相关的基础理论知识教材。

(2) 本课程为专业基础课，侧重于将学生以前所学计算机等方面的基础知识融入到材料成型设备控制中，使学生掌握如何设计材料成型设备计算机控制系统，为后续其他专业课提供材料成型设备及计算机控制设计方法等方面知识。

(3) 因为材料成型设备非常多，所以本课程只讲授材料成型设备中的典型设备，其他设备可在相关课程中进行学习。

第 2 章 PID 微机控制

按照偏差的比例、积分和微分进行控制的调节器（简称为 PID 调节器），是连续系统中技术成熟、应用最为广泛的一种调节器。它的结构简单，参数易于调整，在长期应用中已积累了丰富的经验。特别在材料成型设备控制中，由于控制对象的精确数学模型难以建立，系统的参数又要经常发生变化，运用现代控制理论分析、综合要耗费很大代价进行模型辨识。所以人们常采用 PID 调节器，并根据经验进行在线整定。整定即采用实验和分析的方法来确定 PID 调节器的参数。随着计算机特别是微机技术的发展，PID 算法可以得到修正从而更加完善。

2.1 PID 控制器数字化

2.1.1 模拟 PID 控制器

PID 控制是过程控制中应用最广泛的一种控制规律。而且，用计算机来实现 PID 控制的算法也在相应地扩展，出现了非线性 PID、选择性 PID 以及增益自适应 PID 算法等。然而，这些算法都是基于 PID 基本算法而发展起来的。

众所周知，PID 控制器的理想化方程为：

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2-1)$$

式中， $e(t)$ ——控制器输入信号，一般为输入信号与反馈信号之差；

$u(t)$ ——控制器输出信号，一般为给予受控对象的控制信号；

K_p ——控制器放大系数；

T_i ——控制器积分时间常数；

T_d ——控制器微分时间常数。

式 (2-1) 为时域内互不影响的控制规律。“互不影响”是指当改变一个控制作用参数（如 K_p , T_i 或 T_d ）时，只影响一个调节作用，而不影响其他两个调节作用。

2.1.2 PID 控制算法的数字实现

采用单片机作为控制器核心的自动控制系统简化框图，如图 2-1 所示。它是由 MCS-51 系列单片机系统通过 A/D 电路检测过程变量 Y ，并计算误差 e 和控制变量 u ，通过 D/A 变换后输出到执行机构，使过程变量 Y 稳定在设定的点上。可见计算机控制是一种采样控制，它只能根据采样时刻的误差值计算控制变量 u 。因此模拟 PID 控制算法公式中的积分项和微分项不能直接准确地计算，只能用数值计算的方法逼近。

为了用计算机实现 PID 控制规律，当采样时间 T 很小时，可以通过离散化，将这一方程直接化为差分方程。为此用一阶差分代替一阶微分，用累加代替积分。这时可用矩形或梯形积分来作为连续积分的近似值。用矩形积分时得：

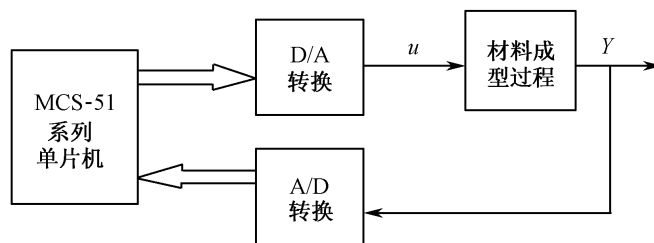


图 2-1 单片微机闭环控制系统框图

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} (e(k) - e(k-1)) \right] \quad (2-2)$$

式中， T ——采样周期。

这是控制算法的一种非递推公式。按照式 (2-2) 计算 $u(k)$ 不仅需要用到本次与上次采样的输入值 $e(k)$ 和 $e(k-1)$ ，而且还需要用到 $e(0)$ 到 $e(k)$ 的所有值。当 k 很大时，要占用很大内存，且要花费计算机大量的时间去计算。因此，直接使用式 (2-2) 计算是很不方便的。为此，应把它化成递推公式。由于结果是控制量的绝对值 $u(k)$ ，故这种算法有时称为“位置算法”。

根据式 (2-2) 可写出 $k-1$ 次采样的输出为：

$$u(k-1) = K_p \left[e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i-1) + \frac{T_d}{T} (e(k-1) - e(k-2)) \right] \quad (2-3)$$

用式 (2-2) 减去式 (2-3) 得：

$$u(k) - u(k-1) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \quad (2-4)$$

式中， $q_0 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right)$

$$q_1 = -K_p \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} \right)$$

$$q_2 = K_p \cdot \frac{T_d}{T}$$

因此，按式 (2-4) 计算 k 次采样的数字控制器的输出 $u(k)$ ，只需用到本次偏差 $e(k)$ ，前两次偏差 $e(k-1)$ 和 $e(k-2)$ 以及计算的输出值 $u(k-1)$ 。

在许多情况下，DDC 系统控制信号是控制步进电机的，为了增加可靠性，常采用增量式 PID 控制规律，即只计算控制量的变化量，即：

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (2-5)$$

我们将位置式算法和增量式算法的控制方框图示于图 2-2。由图 2-2 可见，对整个系统而言，这两种算法无本质区别。只不过增量式算法是将计算机的一部分功能： $u(k) = \int \Delta u$ 分给其他部件去承担了。

增量式控制的优点：

- 计算机只输出增量，误差动作影响小；
- 算式中不需要累加，增量值与最近几次采样值有关；
- 当出现任何故障或者进行切换时，冲击较小。