



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

材料成型

控制工程基础

主编 刘立君

主审 孙凤莲



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

材料成型控制工程基础

主 编	刘立君	
副主编	张华军	杜贤昌
参 编	石德全	蔡春波
主 审	孙凤莲	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书针对焊接、铸造和锻压过程检测与控制的特点,对信号检测和过程控制提出了不同的检测与控制方法,力求理论联系实际,通过实际应用例子对材料成型基础理论加以说明,突出计算机控制技术在材料成型过程控制中的应用,增强学生对材料成型过程控制相关知识的了解和掌握。本书首先详细介绍了材料成型过程计算机控制接口技术、基本算法和常用传感器,主要包括模拟量输入/输出接口设计、A/D和D/A转换器接口设计、开关量输入/输出接口设计、PID控制、专家系统、模糊控制、神经网络控制、图像传感器、电磁传感器、光学传感器和温度传感器等;其次给出了材料成型过程控制系统抗干扰设计方法,主要包括材料成型过程干扰途径与分类、硬件抗干扰技术设计和软件抗干扰技术设计;最后通过实例阐述了焊接、铸造和锻压过程控制特点,过程传感与控制方法及材料成型过程智能控制方法。

本书可作为全国高等学校材料成型与控制工程专业教材,由于本书实例大部分是作者多年的科研成果,实用性和工程性较强,也可供从事材料成型过程控制或工业控制领域机电一体化的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型控制工程基础/刘立君主编. —北京:北京大学出版社, 2009. 2

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-14456-5

I. 材… II. 刘… III. 工程材料—成型—自动控制—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 005928 号

书 名: 材料成型控制工程基础

著作责任者: 刘立君 主编

责 任 编 辑: 童君鑫

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-14456-5/TH·0118

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者:

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 498 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

在现代科技高速发展的今天，科技体系形成了纵横交错的网络系统，跨学科和交叉学科的研究，更将科技体系推向了更高的层次。自动化控制是典型的综合学科研究领域，它有效地将数学基础、技术科学和工程技术紧密地连接在一起，自动化程度的高低往往是检验工业技术水平的标准。材料成型作为与新兴学科发展紧密相关的综合性先进工艺技术，是制造业中重要的工艺技术之一，其自动化技术涉及材料、机械、电子、信息、控制等多学科交叉领域，其生产过程包括备料、成型、检验等工序，只有实现这一过程的机械化和自动化，才能得到稳定的材料成型产品质量，从而提高整个制造业的生产效率。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被引入到材料成型领域中，这些技术的成功运用使材料成型过程控制的整体设计水平得以提高，并具有较强的实用性。

目前，国内材料成型及控制工程专业教材主要涵盖材料成型原理、材料成型工艺、材料成型控制技术、材料成型设备等方面。其中材料成型原理、材料成型工艺方面的教材较多，而在材料成型控制技术方面的教材相对较少。对于材料成型与控制工程专业的工程技术人员来说，经常会遇到材料成型过程控制系统的设计、开发、使用等方面的技术问题，为此我们编写了《材料成型控制工程基础》一书。

本书的第1章简要叙述了材料成型过程控制的特点、分类和基本要求；第2章、3章、4章介绍了材料成型过程计算机控制接口技术、常用传感器和基本算法，作为材料成型过程控制技术基础知识；第5章系统地阐述了材料成型过程控制抗干扰技术；第6章、7章、8章介绍了焊接过程控制、铸造过程检测与控制 and 锻压过程检测与控制，重点突出实用性和工程性。

本书编写人员及其分工如下：刘立君教授负责全书统稿并编写第1章、2章、4章和5章；张华军博士编写第3章；杜贤昌副教授编写第6章；石德全博士编写第7章；蔡春波博士编写第8章。

本书由哈尔滨理工大学孙凤莲教授主审。对在立项及编写过程中提出宝贵意见的浙江大学宁波理工学院王振林教授、哈尔滨理工大学綦良群教授及参考文献的作者，在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2008年12月

目 录

第 1 章 绪论 1

- 1.1 材料成型过程控制的特点 1
- 1.2 材料成型过程控制的基本概念 1
- 1.3 材料成型过程控制系统分类 2
- 1.4 材料成型过程控制的基本要求 4

第 2 章 材料成型计算机控制基础 7

- 2.1 计算机输入/输出通道的组成与功能 7
- 2.2 计算机输入/输出通道的控制方式 7
 - 2.2.1 计算机输入/输出通道与 CPU 交换信息类型 7
 - 2.2.2 计算机通道的编址方式 8
 - 2.2.3 CPU 对计算机通道的控制方式 8
 - 2.2.4 计算机通道接口设计应考虑的问题 9
- 2.3 模拟量输入通道设计 10
 - 2.3.1 模拟量输入通道的结构 10
 - 2.3.2 模拟量输入通道设计应考虑的问题 10
 - 2.3.3 信号放大电路 11
 - 2.3.4 模拟多路转换器及其与 CPU 的接口 16
 - 2.3.5 采样保持器 19
- 2.4 A/D 转换器接口设计 20
 - 2.4.1 模/数转换器和数/模转换器的主要技术指标 20
 - 2.4.2 逐次逼近式 A/D 转换器及接口 21
 - 2.4.3 串行 A/D 转换器与单片机的接口 27
- 2.5 D/A 转换器接口设计 28
 - 2.5.1 模拟量输出通道的结构形式 28

- 2.5.2 D/A 转换接口设计的一般性问题 29
- 2.5.3 8 位 D/A 转换器及其接口 33
- 2.5.4 12 位 D/A 转换器及其接口 35
- 2.6 开关量输入采样 38
 - 2.6.1 开关量(数字量)输入通道的结构形式 38
 - 2.6.2 过程开关量(数字量)形式及变换 38
 - 2.6.3 整形与电平变换 40
 - 2.6.4 开关量输入通道与 CPU 的接口 42
- 2.7 开关量输出控制 44
 - 2.7.1 开关量输出通道的结构形式 44
 - 2.7.2 开关量输出通道与 CPU 的接口 45
 - 2.7.3 功率接口技术 45
- 习题 47

第 3 章 材料成型过程控制常用传感器 48

- 3.1 传感器基础 48
 - 3.1.1 传感器的概念 48
 - 3.1.2 传感器的组成 48
 - 3.1.3 传感器的分类 49
 - 3.1.4 传感器的基本特性 49
- 3.2 电参量型传感器 52
 - 3.2.1 电阻式传感器 52
 - 3.2.2 电容式传感器 63
 - 3.2.3 电感式传感器 66
- 3.3 电量型传感器 73
 - 3.3.1 磁电式传感器 74
 - 3.3.2 压电式传感器 76

3.3.3	压磁式传感器	77	5.1.2	干扰分类	156
3.3.4	霍尔元件式传感器	77	5.2	材料成型过程控制硬件	
3.3.5	光电式传感器	77	抗干扰技术	158	
3.4	材料成型过程传感器	84	5.2.1	接地技术	158
3.4.1	温度传感器	84	5.2.2	屏蔽技术	160
3.4.2	图像传感器	88	5.2.3	硬件“看门狗”技术	164
3.4.3	光栅数字传感器	91	5.2.4	电源的抗干扰技术	167
习题		95	5.2.5	计算机接口电路	
第4章	材料成型过程控制基本算法	96	隔离技术	171	
4.1	常规控制	96	5.3	材料成型过程控制软件	
4.1.1	PID控制器数字化	96	抗干扰技术	173	
4.1.2	PID算法优化	98	5.3.1	软件冗余技术	174
4.1.3	PID参数整定方法	102	5.3.2	软件陷阱技术	175
4.2	专家系统	105	5.3.3	软件“看门狗”技术	177
4.2.1	专家系统定义	105	5.3.4	数字滤波	178
4.2.2	专家系统的功能	106	5.4	材料成型过程控制抗干扰	
4.2.3	专家系统的结构	106	设计实例	180	
4.2.4	专家系统的基本特征	108	5.4.1	设计抗干扰电路	180
4.2.5	知识获取与知识库管理	109	5.4.2	抑制干扰源	185
4.2.6	推理控制策略	116	5.4.3	削弱耦合通道	186
4.2.7	解释机制	120	5.4.4	采用屏蔽双绞线	187
4.2.8	专家系统的设计与开发	122	5.4.5	合理布线	189
4.2.9	专家系统效能评估	129	习题		192
4.3	模糊控制	131	第6章	焊接过程控制	193
4.3.1	模糊推理基础	131	6.1	焊接过程控制特点	193
4.3.2	模糊控制器设计	136	6.1.1	焊接过程控制的	
4.4	神经网络控制	147	一般特点	193	
4.4.1	神经网络控制的优越性	147	6.1.2	电弧焊过程控制特点	195
4.4.2	神经元模型	148	6.1.3	电阻焊过程控制特点	200
4.4.3	神经网络的模型分类	149	6.1.4	其他熔焊工艺控制	
4.4.4	神经网络的学习算法	151	特点	202	
4.4.5	神经网络的泛化能力	151	6.2	焊接质量自动控制必要性	204
4.4.6	神经网络控制方案	152	6.2.1	焊接质量的概念	204
习题		155	6.2.2	焊接质量检测与	
第5章	材料成型过程控制		控制的必要性	205	
抗干扰技术	156		6.2.3	焊接质量传感与	
5.1	材料成型过程干扰途径与分类	156	控制对象	206	
5.1.1	干扰途径	156	6.3	焊接过程传感与控制	207
			6.3.1	焊接过程传感器的	
			作用	207	

6.3.2	焊接过程自动控制 系统	210
6.3.3	非熔化极氩弧焊 弧长控制	212
6.3.4	熔化极电弧焊熔滴 过渡控制	214
6.3.5	焊缝自动跟踪传感与 控制	220
6.3.6	焊缝熔透与熔深的 传感与控制	227
6.4	焊接过程智能控制	230
6.4.1	常规控制方法在焊接 中的应用	230
6.4.2	模糊系统理论在焊接 中的应用	234
6.4.3	焊接专家系统在焊接 中的应用	237
6.4.4	人工神经网络理论在 焊接中的应用	241
	习题	245

第 7 章 铸造过程检测与控制 246

7.1	铸造过程质量检测与控制的 重要性	246
7.1.1	铸造过程质量概念	246
7.1.2	铸造过程质量控制的 重要性和意义	247
7.2	铸造过程检测与控制特点	247
7.2.1	铸造过程控制一般特点	247
7.2.2	砂处理过程控制特点	248
7.2.3	造型(芯)过程控制特点	250
7.2.4	熔炼过程控制特点	252
7.3	铸造过程信号检测方法	254
7.3.1	铸造过程传感器的作用	254
7.3.2	砂处理过程信号 检测方法	255
7.3.3	造型过程信号检测方法	261
7.3.4	熔炼过程信号检测方法	262

7.4	铸造过程自动控制	266
7.4.1	砂处理过程自动控制	266
7.4.2	造型(芯)过程自动控制	278
7.4.3	熔炼过程自动控制	283
7.4.4	低压铸造过程自动控制	295
	习题	299

第 8 章 锻压过程检测与控制 300

8.1	锻压过程检测与控制特点	300
8.1.1	锻压过程检测与控制 一般特点	300
8.1.2	热模锻生产检测及 控制特点	302
8.1.3	锻压生产的发展趋势	303
8.2	锻压过程信号检测方法	303
8.2.1	锻压力的检测	303
8.2.2	锻压位移的检测	305
8.2.3	锻压速度及加速度 的检测	307
8.2.4	液体压力及流量的检测	308
8.2.5	锻压位置的检测方法	310
8.3	热模锻生产过程检测与控制	313
8.3.1	热模锻压力机的 检测与控制	313
8.3.2	热模锻液压机的 检测与控制	315
8.3.3	锻后热处理炉的 检测与控制	320
8.4	自由锻造生产过程检测与控制	322
8.4.1	自由锻造操作机的 检测与控制	322
8.4.2	自由锻造加热炉的 检测与控制	328
8.4.3	泵直接传动式锻造 液压机检测与控制	330
	习题	332

参考文献 333

第 1 章 绪 论

教学提示：通过本章的学习来了解材料成型过程控制的特点，掌握材料热加工过程控制系统的分析与设计，了解材料成型过程常用的控制理论和方法，了解材料热加工过程的计算机控制中的基本问题，掌握典型材料成型过程自动控制系统的设计。

1.1 材料成型过程控制的特点

材料成型主要指金属材料的铸造、锻压、焊接和热处理等需要材料被加热才能够完成材料成型的工艺过程。材料成型过程工艺复杂，影响成型质量的因素较多，劳动强度大，操作者易疲劳，效率低，人工操作以经验为主，质量不稳定，加工过程在高温下完成，因此实现生产过程的自动控制十分必要。

材料成型过程控制的基本特点有如下几个方面。

- (1) 多变量控制系统，建模困难。
- (2) 干扰因素相当多。
- (3) 加工过程复杂。
- (4) 被控对象多样化。
- (5) 传感方式多样化。
- (6) 执行机构多样化。
- (7) 动态响应速度低。
- (8) 惯性大。

1.2 材料成型过程控制的基本概念

1. 材料成型过程控制系统的基本组成

对于一个过程控制系统而言，无论其结果简单或复杂，无论其用途和所需要完成的任务单一或多样化，它都是由一些具有不同职能的基本元件(或单元)所组成的。最简单的过程控制系统的组成如图 1.1 所示。

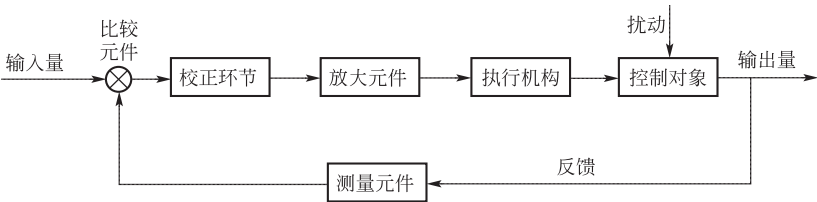


图 1.1 过程控制系统的组成

2. 名词术语

(1) 被控对象(p): 过程控制系统所要控制的对象。

(2) 被控参数(y): 在过程控制系统中需要控制的物理量, 如温度、压力等。

(3) 干扰(d): 影响过程控制系统输出值的信号, 如电磁噪声、负载的波动等。

(4) 调节介质(q): 在过程控制系统中, 实际需要调节的物理介质, 如电量的大小、流量的高低等。尤其要注意的是实际调节的物理参量并不一定是系统的输出参量, 但调节介质的尺寸一定会影响系统的输出参量的尺寸。

(5) 测量元件: 它产生与输出量有一定关系的反馈信号。

(6) 测量值($\bar{y}$): 测量元件的输出值, 与输出量之间存在着一定的函数关系。

(7) 给定值(r): 过程控制系统期望值。

(8) 偏差(e): 给定量与反馈量之差。

(9) 控制量(u): 也称为输出量, 是执行机构的输出量。

(10) 校正环节: 是为了改善系统的控制性能而加入的。在过程控制系统中, 它是实现按一定的调节规律或算法对偏差量进行运算的装置, 所以也称为校正装置。

(11) 放大元件: 把偏差信号放大(或缩小), 并能够实现信号能量的变换使之达到足够的幅值和功率, 以满足执行机构的需求。

(12) 执行机构: 它根据控制信号的运动规律直接对控制对象进行操作, 如控制电机的转动、液压元件的运动等。

3. 基本概念

1) 反馈

将被控对象输出的量经测量装置返回到输入端, 经与给定量进行比较后, 最终将影响过程控制系统的输出结果。

正反馈: $e=r+\bar{y}$, 使过程控制系统发散, 通常因无法满足过程控制系统的要求而不采用。

负反馈: $e=r-\bar{y}$, 有利于过程控制系统的稳定, 广泛地应用于各种过程控制系统中。

2) 控制系统

开环系统: 不包含反馈的过程控制系统, 即输出量对系统的控制作用没有影响。

闭环系统: 包含有反馈的过程控制系统, 即输出量对系统的给定有直接的影响。

复合控制系统: 将开环和闭环控制系统适当地结合在一起, 能够完成复杂且准确度较高的控制任务的控制系统。实际上, 它是在闭环控制系统的基础上用开环通路提供一个附加的输入量, 以提高系统的控制精度和动态性能。

3) 系统的控制精度

系统的输出量始终保持在系统允许的波动范围之内。

1.3 材料成型过程控制系统分类

1. 按系统给定量的运动规律划分

1) 恒值控制系统

这种系统的特点是给定量不随时间的变化而变化, 即给定量为一个常数, 如电弧焊接

过程的焊接速度、热处理过程的保温等。此时，过程控制系统的任务就是要尽量消除干扰的影响，以满足系统要求的准确度使被调量保持在希望的范围内(即系统的输出量保持在系统的控制精度之内)。

2) 程序控制系统

系统的给定量随时间变化且是时间的已知函数时，此系统称为程序控制系统。例如，金属材料热处理过程中对工件的加热速度和冷却速度的控制，焊接过程中对脉冲电流和电压的控制等。

3) 随动系统

系统的给定量随时间变化且是时间的未知函数时，此系统称为随动控制系统。由于在随动系统中给定量的变化规律是不确定的，过程控制系统的任务就是在各种情况下保证输出量以一定的控制精度跟随给定量的变化而变化。

2. 按系统中是否包含非线性元件划分

1) 线性系统

过程控制系统的状态和性能通常可以用微分(或差分)方程来描述。当系统各个元件输入、输出特性，系统的状态和性能可以用线性微分(或差分)方程来描述时，称这种系统为线性系统。简单地讲，由线性元件(或近似线性元件)组成的系统称为线性系统。线性系统的特点是可以运用叠加原理。这就是说，第一，当系统有几个输入时，系统的输出等于单个输入时系统输出之和；第二，当系统输入增大或缩小时，系统的输出量也相应的增大或缩小相同的倍数。

2) 非线性系统

只要系统中有一个非线性元件，系统就由非线性方程来描述，此系统即为非线性系统。注意，叠加原理不适用于非线性系统。

需要读者给予充分注意的是，从材料成型工程角度出发，真正意义上的线性系统是不存在的，一般总是具有不同程度的非线性。但是，当系统的信号或变量变化不大或者非线性不严重时，为了研究和控制的方便，常将这样的系统当做线性系统来处理。

3. 按系统的输入/输出是否是时间的函数划分

1) 连续系统

当系统各个元件的输入信号是时间 t 的连续函数，各元件响应的输出信号也是时间 t 的连续函数时，这种系统称为连续系统。连续系统的状态和性能一般可以用微分方程来描述。在连续系统中，信号的时间函数允许有间断点(即不连续点)或者在某一个时间范围内为连续函数。

2) 离散系统

离散系统又称为采样控制系统。只要在过程控制系统中任何一个部分的信号是脉冲序列或数码，这种系统就称为离散系统。离散系统的状态和性能可以用差分方程来描述。最常见的离散系统是计算机过程控制系统。计算机过程控制系统由计算机通过采样获取过程控制系统的输出量，经计算机按一定的控制规律(或算法)运算后改变给定量，最终实现过程控制。

4. 按系统的稳态值是否存在误差划分

1) 有差系统

有差系统即为有静差调节系统。这种系统的特征是：在稳定状态下，被调量与外来扰动量的大小有关，过程控制器可以减少外来扰动所引起的偏差，却不能使被调量准确地达到给定值。外来扰动量越大，被调量与给定值的偏差也就越大。

2) 无差系统

无差系统即为无静差调节系统。这种系统的特征是：在稳定状态下，被调量的值总保持恒定，与外来的作用无关。

1.4 材料成型过程控制的基本要求

1. 过程控制系统的动态特性

它是指被调量在系统给定值或扰动量的作用下，由原来的平衡状态(稳态)变化到新的平衡状态的过程，过渡过程包括以下 3 种。

- (1) 稳定系统(衰减振荡和非衰减系统)。
- (2) 非稳定系统(发散振荡系统)。
- (3) 临界系统(等幅振荡系统)。

2. 过程控制系统的基本要求

对过程控制系统的基本要求是稳定性、准确性(系统稳态精度)和动态性能指标，简单地说就是稳、准、快。

1) 稳

稳定性要求是过程控制系统正常工作的首要条件，也是最重要的条件。必须指出，实际控制系统不仅首先要满足稳定性要求，而且还要考虑到系统必须有一定的富裕量(即余量)，以便照顾到系统工作时参数可能会发生变化或有更严重的干扰侵入等。这就是说，系统不仅要绝对稳定，也要满足相对稳定性要求。

2) 准

准表示系统要有一定的稳态精度，即为系统的准确性。系统在调节过程结束(即系统进入稳态)后，系统的被调量(输出量)与稳态量(给定的输入量)之间的偏差称为稳态误差或静态误差，它是衡量系统稳定精度的一项指标。

3) 快

快表示动态性能指标要符合要求，它是衡量系统性能好坏的依据。动态响应又称为过渡过程，在过程控制系统中，它是指被调量在系统给定值或扰动量的作用下，由原来的平衡状态(稳态)变化到新的平衡状态的过程。在系统能稳定工作的条件下，系统的动态性能通常以系统对单位阶跃信号的响应特性来衡量。

3. 材料成型过程控制系统的基本性能指标要求

对于一个过程控制系统来说，在设定值发生变化或系统受到扰动作用时，被控量应平

稳、迅速和准确地趋近或恢复到设定值。因此，对过程控制系统而言，通常在稳、准、快 3 个方面提出各种单项性能指标。

1) 衰减比和衰减率

衰减比是衡量一个振荡过程的衰减程度的指标，等于两个相邻的同向波峰值 y_1 , y_2 之比，即：

$$n = \frac{y_1}{y_2} \quad (1-1)$$

衡量衰减程度的另一个指标是衰减率，是指经过一个周期以后，波动振幅衰减的百分数，即：

$$\varphi = \frac{y_1 - y_2}{y_1} \quad (1-2)$$

衰减比与衰减率两者之间有简单的对应关系，例如衰减比 n 为 4 : 1 就相当于衰减率 $\varphi = 0.75$ 。为了保证过程控制系统有一定的裕度，在控制过程中一般要求衰减比为 4 : 1 或 10 : 1，相当于衰减率为 75% 和 90%。这样大约经过两个周期后，系统就趋于稳态。

2) 最大动态偏差和超调量

最大动态偏差是指设定阶跃响应中，过渡过程开始后第一个波峰超过其新稳态值的幅度，最大动态误差占被控量稳态变化幅度的百分数为超调量，即：

$$\sigma = \frac{y_1}{y(\infty)} \times 100\% \quad (1-3)$$

3) 残余偏差

残余偏差是指过渡过程结束后，被控量新的稳态值 $y(\infty)$ 与设定值 r 之间的差值，它是控制系统稳态准确性的衡量指标，即：

$$e(\infty) = r - y(\infty) \quad (1-4)$$

在定值系统中， $r=0$ 。因此， $e(\infty) = -y(\infty)$ 。

4) 调节时间和振荡频率

过渡过程要绝对地达到新的稳态值，需要无限长的时间。而从扰动开始到被控量稳态值附近 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 以内区域，并保持在该区域内，需要的时间是有限的。调节时间就是从扰动开始到被控量进入新稳态值 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 范围内的这段时间，用 t_s 表示。调节时间是衡量过程控制系统快速性的指标。

5) 振荡次数

振荡次数指在调节时间内被调量的振荡次数，一般以一个完整的振荡波形为一次。

6) 积分指标

积分误差是一类综合指标，它越小越好。常用的有以下几种。

误差积分：

$$IE = \int_0^{\infty} e(t) dt \quad (1-5)$$

绝对误差积分：

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (1-6)$$

平方误差积分：

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (1-7)$$

时间与绝对误差乘积积分：

$$ITAE=\int_0^{\infty} t|e(t)|dt \tag{1-8}$$

材料热加工过程控制的要求是多方面的，归纳起来主要有如下 3 个方面。

- (1) 安全性：在整个生产过程中，确保人身和设备的安全，这是最重要也是最基本的要求。
- (2) 经济性：用最小的消耗(能源、原材料和人力)生产出最多的产品，也就是要求生产成本要低，效率要高。
- (3) 稳定性：要求系统具有抑制外部干扰，保持生产过程长期稳定运行的能力。

过程控制的任務就是在充分了解和掌握材料成型过程工艺流程的静态和动态特性的基础上，根据被控系统的要求，应用控制理论对被控系统进行全面的理论分析和综合，采用适当的控制方法(技术手段)实现材料成型过程的控制。

第 2 章 材料成型计算机控制基础

教学提示：在计算机控制系统中，为了实现对生产过程的控制，要将对象的被控参数及运行状态按要求的方式送入计算机，计算机经过计算、处理后，将结果以数字量的形式输出，同时将数字量变换为适合生产过程控制的量。因此在计算机和生产过程之间，必须设置信息的传递和变换装置，这个装置就称之为过程输入/输出通道。本章主要介绍过程输入/输出通道的组成、功能与控制方式，模拟量输入采样，数字量输入/输出，数/模转换和模/数转换及与 CPU 的接口技术。

2.1 计算机输入/输出通道的组成与功能

根据过程信息的性质及传送方向，计算机输入/输出通道包括模拟量输入通道、模拟量输出通道、数字量(开关量)输入通道和数字量(开关量)输出通道。

生产过程的被调参数(如温度、压力、流量、速度、位移等)一般是随时间连续变化的模拟量，通过检测元件和变换器可将其转换为对应的模拟电压和电流。由于计算机只识别数字量，故模拟电信号必须通过模拟量输入通道转化为数字量后才能送入计算机。生产现场的状态量(如开关、电平高低、脉冲量等)也不能被计算机直接识别，因此数字量(开关量)输入通道将状态信号转变为数字量送入计算机。

计算机控制生产现场的控制通道也有两个，即模拟量输出通道和数字量输出通道。计算机输出的控制信号以数字形式给出，若执行元件要求提供模拟电压或电流，则采用模拟量输出通道将数字量转换为模拟电压或电流；若执行元件要求提供数字量(开关量)，则应采用数字量输出通道将计算机输出的数字量经处理和放大后输出。由此可见，计算机输入/输出通道是计算机和工业生产过程相互交换信息的桥梁。

2.2 计算机输入/输出通道的控制方式

2.2.1 计算机输入/输出通道与 CPU 交换信息类型

计算机输入/输出通道与 CPU 交换的信息有如下 3 种。

(1) 数据信息：反映生产现场的参数及状态的信息，它包括数字量、开关量和模拟量。

(2) 状态信息：又叫做应答信息或握手信息，它反映计算机通道的状态，如准备就绪信号等。

(3) 控制信息：用来控制计算机通道的启动和停止等信息，如三态门的打开和关闭、触发器的启动等。

在计算机输入/输出通道中，必须设置一个与 CPU 联系的接口电路，传送数据信息、状态信息和控制信息。

2.2.2 计算机通道的编址方式

由于计算机控制系统一般都有多个输入/输出通道，因此需为每一个输入/输出通道安排地址。计算机通道的编址方式有如下两种。

1. 计算机通道与存储器独立编址方式

这种编址方式将存储器地址空间和计算机通道地址空间分开设置，互不影响。地址总线配合存储器操作信号实现存储器的访问控制，地址总线与 I/O 操作信号配合则可访问计算机通道。实现这种编址方式的 CPU 分别有存储器访问和 I/O 访问的指令及相应的控制信号，典型的微处理器 Z-80 具有这种功能。

2. 计算机通道与存储器统一编址方式

这种编址方式又称存储器映像方式，它把所有的 I/O 端口都当做存储单元一样对待，对 I/O 端口进行输入/输出操作跟对存储单元进行读写操作方式相同，只是地址不同。采用这种方式的 CPU 有 Intel 8031 和 Intel 80196 系列单片机等。

2.2.3 CPU 对计算机通道的控制方式

计算机的外围设备及过程通道种类繁多，它们的传送速率又很不相同。因此输入/输出存在复杂的定时问题，也就是 CPU 采用什么控制方式向过程通道输入和输出数据。常用的控制方式有 3 种：程序查询方式、中断控制方式和直接存储器存取(DMA)方式。

1. 程序查询方式

数据在 CPU 和输入/输出通道之间的传送采用程序控制。传送前必须查询 I/O 通道的状态，准备就绪则传送，反之则等待。图 2.1 为程序查询方式流程图。

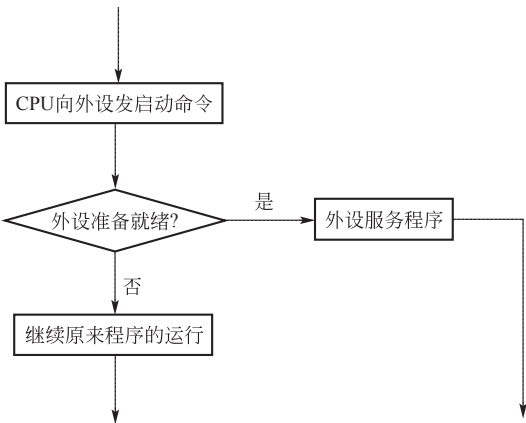


图 2.1 程序查询方式流程图

2. 中断控制方式

采用中断控制方式时，CPU 与 I/O 通道处于并行工作状态，当 CPU 与 I/O 通道需要传送数据时，CPU 启动 I/O 通道，I/O 通道准备好后便发出一个控制信号向 CPU 申请中断，CPU 响应中断后进行数据传送。

3. 直接存储器存取(DMA)方式

DMA 方式是一种完全由硬件完成输入/输出操作的工作方式。在这种方式下，I/O 通道和存储器之间不通过 CPU 而直接进行数据交换。DMA 方式的工作流程如图 2.2 所示。

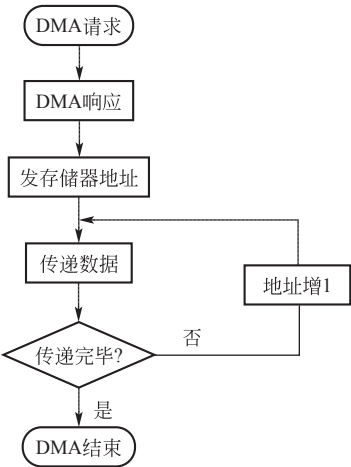


图 2.2 DMA 方式的工作流程图

2.2.4 计算机通道接口设计应考虑的问题

在实时控制系统中，输入通道实际上是一个信息检测—变换—传递—输入的通道，输出通道实际上是一个信息变换—传递—输出的通道。两类通道通过计算机这个信息处理中心有机地构成一个完整的控制系统，因此计算机通道必须通过接口电路来实现与 CPU 的信息交换。接口电路起着连接计算机通道与 CPU 的桥梁作用，它的基本任务是控制信息的传递路径，即根据控制任务在众多的信息源中进行选择，以确定该信息传送的路径和目的地；控制信息传送的顺序，计算机控制的过程就是执行程序的过程，为确保进程正确无误，接口电路应根据控制程序的要求，适时地发出一组有序的门控信号。在计算机通道接口电路设计中应解决以下问题。

1. 触发方式

有序的门控信号的主要作用就是严格遵循系统工作时序要求，适时对系统中某个或某些特定部件发出开启或关闭(触发)信号，这必然涉及同步触发和异步触发的方式。所谓同步触发是指系统的许多相关部件或功能块在同一门控信号作用下完成要求的操作，例如系统的复位信号就是确保系统中各相关部件或功能块回到初始状态的同步信号。异步触发则指各相关部件或功能块不在同一信号控制下完成自己的操作，接口电路中的各相关部件或功能块的内部各单元在外部同步信号作用下，要完成许多操作，这些操作可以是同步的，也可以是异步的，但必须要满足时序要求。因此计算机控制系统是一种复合的触发方式，在同步触发中隐含异步触发，在异步触发中隐含同步触发，但其触发方式和触发时机必须遵循系统的工作时序。

2. 时序

控制逻辑的结构有组合控制逻辑与存储控制逻辑两种类型，不管哪种类型都要严格遵守规定的操作步骤，每一个操作步骤又都是在的一组有序的控制信号驱动下实现的。所以，对于接口电路设计，首先要根据系统运行的要求标出每个控制信号发生的时间顺序和相互间的时间差，以及与系统时钟的关系，画出时序图，然后根据时序图来确定逻辑电路的结构。

3. 负载能力

一旦控制逻辑确定后，系统能否可靠运行与器件的选择正确与否关系密切，器件的选择除了要考虑电平的摆幅、数值、延时外，还应考虑器件所带负载是否匹配。

2.3 模拟量输入通道设计

2.3.1 模拟量输入通道的结构

模拟量输入通道的任务是对过程量(即模拟量)进行变换、放大、采样和模/数转换，使其变为二进制数字量并输入到计算机，典型的模拟量输入通道结构如图 2.3 所示。

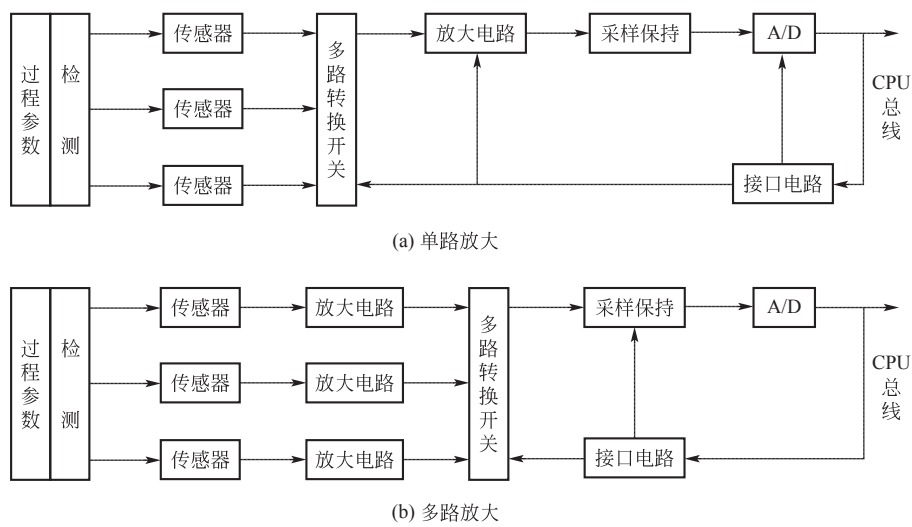


图 2.3 典型的模拟量输入通道结构

模拟量输入通道各部分电路的作用说明如下。

- (1) 传感器：将过程量转换为电信号；
- (2) 放大电路：对微弱的电信号进行放大；
- (3) 多路转换开关：将多路模拟信号按要求分时输出；
- (4) 采样保持：对模拟信号进行采样，在模/数转换期间对采样信号进行保持；
- (5) A/D 转换：即模/数转换，将模拟信号转换为二进制数字量；
- (6) 接口电路：提供模拟量输入通道与计算机之间的控制信号和数据传送通道。

2.3.2 模拟量输入通道设计应考虑的问题

模拟量输入通道是计算机控制系统的信号采集通道，从信号的传感、变换到计算机输入，都必须考虑信号拾取、信号调节、A/D 转换、电源配置和防止干扰等问题。

1. 信号的拾取方式

模拟量输入通道中，首先要将外界非电参量，如温度、压力、速度、位移等物理量转