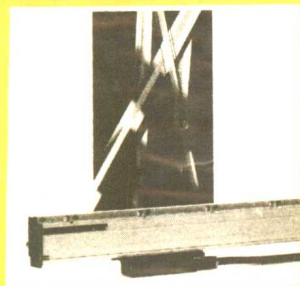


尤田鍊 编著

---

# 参数检测与过程控制

---



浙江大学出版社

# 参数检测与过程控制

尤田鍊 编著

浙江大学出版社

# 参数检测与过程控制

尤田铎 编著

责任编辑 陈晓嘉

\*

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路 20 号 邮政编码 310027)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

杭州金融管理干部学院印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

\*

850×1168 32 开 9.25 印张 262 千字

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷

印数:0001—1000

ISBN 7-308-01882-2/O · 198 定价: 9.50 元

# 前 言

“参数检测”又称“过程检测”(Process Measurement),系指连续性工业生产过程中的有关物理参数(尤指温度、压力、流量和物位这四个参数)的检测技术。

检测技术、计算机技术、信息技术和控制技术构成现代自动化控制系统的“四大支柱”,是工业生产过程中确保安全、稳定生产、提高质量和节约能源的重要手段。80年代以来,检测与控制技术有了很大发展,一方面是各种新型传感器的大量涌现和新的传感器原理的应用;另一方面是微电子技术和计算机技术的普遍应用。编写本书的目的正是为了适应这一情况,希望能给工科大学非电类专业(冶金、化工、轻工和纺织等)提供一本既实用,又尽可能反映当前这一领域技术发展状况的教学参考书。

全书共分8章:第1章为非电量电测技术的基础知识;第2,3,4和7章为本书重点;第5,6章的大部分内容供自学参考。温度是一个很重要的物理参数,据统计,温度测量约占工业检测总数的50%,所以,本书以温度测量为主线,并在第8章给出一个单板微型机在温度控制应用中的实例。

近年来,数字式测温仪表,尤其是内含微处理器的智能化数字测温仪表和控制系统,获得了高速发展。它们具有传统模拟式测温仪表和控制系统所无法比拟的优点。单片微型计算机的应用在这一变革中起着核心的作用。所以,在本书附录中,介绍了单片机8098在温控中的应用。

由于作者学识水平和实践经验有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

尤田鍊  
1996年7月

# 目 录

1 绪 论 .....	(1)
1.1 非电量电测技术在国民经济中的作用 .....	(1)
1.2 非电量电测系统的组成 .....	(4)
1.3 传感器在科学技术中的地位 .....	(5)
1.4 非电量电测技术的发展趋势 .....	(6)
2 自动调节.....	(10)
2.1 生产过程的调节.....	(10)
2.2 自动调节系统的组成.....	(12)
2.3 基本调节规律.....	(15)
2.4 实现PID调节规律的电路 .....	(35)
习题与思考题 .....	(39)
3 温度测量.....	(40)
3.1 温标简介.....	(40)
3.2 测温仪表.....	(42)
3.3 热电偶测温.....	(44)
3.4 热电阻测温.....	(61)
3.5 热辐射测温.....	(73)
3.6 冶金过程温度检测的特殊问题.....	(87)
3.7 其它方法测温.....	(95)
习题与思考题 .....	(96)

<b>4 温度的调节和控制</b> .....	(98)
4.1 动圈式指示仪表.....	(98)
4.2 动圈式两位指示调节仪 .....	(113)
4.3 动圈式PID调节仪 .....	(118)
4.4 DWT-702精密温度控制仪 .....	(123)
4.5 自动平衡记录调节仪 .....	(129)
4.6 DDZ型电动调节器 .....	(137)
习题与思考题.....	(145)
<b>5 传感器应用举例</b> .....	(148)
5.1 传感器概述 .....	(148)
5.2 应变片式压力传感器 .....	(154)
5.3 霍尔片的位移和压力传感器 .....	(157)
5.4 电容式压力传感器 .....	(160)
5.5 激光长度检测 .....	(162)
5.6 应用流体振荡原理测量流量 .....	(164)
5.7 新型传感器简介 .....	(168)
<b>6 超声波检测</b> .....	(194)
6.1 超声波检测的物理基础 .....	(194)
6.2 超声波换能器(超声波传感器) .....	(202)
6.3 超声波检测的基本原理 .....	(205)
6.4 声参数的测量方法 .....	(206)
6.5 超声波检测的应用举例 .....	(209)
<b>7 微型机工业控制系统</b> .....	(214)
7.1 微型机控制系统的发展过程 .....	(214)
7.2 微型机工业控制系统的特点、组成及其类型.....	(215)
7.3 微型机工业控制系统的外围设备 .....	(224)

8	微型机控制应用实例 .....	(228)
8.1	工艺要求 .....	(228)
8.2	系统的组成和基本工作原理 .....	(230)
8.3	装置硬件介绍 .....	(231)
8.4	对象特性的测量和识别 .....	(237)
8.5	控制规律的选择和参数的计算 .....	(242)
8.6	数字控制器的程序实现 .....	(245)
8.7	程序流程图 .....	(250)
8.8	程序清单 .....	(257)
8.9	程序说明 .....	(264)
8.10	调试步骤和方法 .....	(267)
8.11	调试结果及分析 .....	(270)
附录	单片机 8098 在温度控制中的应用 .....	(272)
参考文献	.....	(282)

# 1 绪 论

## 1.1 非电量电测技术在国民经济中的作用

在科学技术的发展过程中,一些科学研究,必须通过实验来证实,这就需要由一定的测量手段来完成;在工业生产过程中,为了保证能正常、高效率的生产,也要有一定的测量手段进行检查或监控,这些测量手段就是仪器仪表。中国有句古话:工欲善其事,必先利其器,用这句话来说明仪器仪表在科学技术中的重要性是很恰当的,所谓“事”,指现代化科学技术,而“器”则指仪器仪表、工具等。所以说现代化的仪器仪表是科学实验和生产实践的必要手段,它的水平高低,也是科学技术现代化的重要标志,没有现代化的仪器仪表,要发展国民经济是会有一定困难的。

关于仪器仪表,最早是机械式仪表,以后发展到光学的、电学的、……等等,而这些发展也是随着科学技术的发展而发展的。因为每当科学技术要前进一步,就要求能提供新的测试手段,这样就促进了仪器仪表的发展;而科学技术的成果也为发展新型的仪器仪表提供了条件。近二三十年来,由于电子技术的飞速发展,对电量的测量技术相应地得到提高,如准确度高、灵敏度高、反应速度快、能连续进行测量、便于自动记录等。可是在科学技术和工程上所要测量的参数大多为非电量,如机械量(位移、尺寸、力、振动、速度等)、热工量(温度、压力、流量、物位等)、成分量(化学成分、浓度等)和状态量(颜色、透明度、磨损量、裂纹等),因而促使人们研究用电测的方法来测量非电量,这样就形成了一门叫做“非电量电测技术”的测试技术。非电量电测技术包括两方面的内容:一是研究用电测方法测量非电量;另一是研究如何能正确和快速



地测得非电量。

由于非电量电测技术具有测量精度高,反应速度快,能够自动、连续地进行测量,可以进行遥测,便于自动记录,可以与电子计算机联接进行处理,可采用微处理机做成智能仪器等优点,所以很快地在各个科学技术部门得到广泛的应用,并陆续发展了各种类型的非电量电测仪器。特别是由于现代科学技术的测试都是由静态向动态发展,因此非电量电测技术更显出它的优越性。

在机械制造工业中,以机床为例,以前只是测量一些静态或稳态下的性能参数,而现在提出了要测量动态特性,如对切削状态下的动态稳定性、自激现象、加工精度等的测量。因此就要利用压电加速度计、测力仪和速度传感器等非电量电测仪器,通过测量刀架、床身等有关点的振动、机械阻抗等参数来检验其动态特性,找出薄弱环节,提出改进意见。又如对切削力的大小和变化进行可靠的检测,可监视刀具磨损、工件表面质量的变化,防止机床过载,控制切削过程的稳定性。同时通过切削力的测量,可为研究金属切削原理、制定切削用量、设计机床和夹具提供必要的切削力数据。在自动化机床中,大量的非电量电测仪器在生产过程中被用于检验工件尺寸、形状和表面质量;还被用作自动反馈系统中的敏感元件(如光栅、磁尺、……等),以控制机床的行程、起动、停止和换向。在农业机械中,非电量电测技术主要用于对拖拉机和其它农业机械的试验和检测,如测量履带拖拉机大梁的工作应力分布、牵引力和悬杆应力的大小、牵引效率、轴的传递功率和强度、行驶加速度等。

在电力、石油、冶金、化学工业中,通常有两类参数必须加以检测。一类是为了保证生产过程能正常高效地进行,对工艺参数(如温度、压力、流量等)进行检测和控制。例如,在化工厂的合成塔中利用氮气和氢气合成氨时,压力和温度是这个化学反应的主要因素,它们将影响化学反应速度,必须加以控制,而要控制则首先要能测量出过程中的有关参数的数值,所以在一个自动化生产过程中,必须采用非电量电测仪器进行自动控制和集中管理。另一类是动力设备的检测,由于现代化工业的生产规模越来越大,在高度集中的自动控制情况下,为确保生产安全,防止事故发生,对于动力设备(作业机器)的检查,成为十分重要的内

容。例如对汽轮机的轴向位移和径向振动的监视、对压力容器和蒸汽锅炉在运行中的泄漏、裂纹的检测,这些均需要非电量电测仪器。目前在这方面已形成了监视系统或保护系统,随着微处理机和微型电子计算机的发展,现在又发展了故障自动诊断系统。

在轻工业部门,现在也大量地采用了非电量电测技术,以纺织工业为例,在纺织机械中有很多运动的机件,纺织原材料就是依靠这些机件的相互运动关系编织成为产品。因此对一台纺织机来说,必须检查机件间的相互运动关系,如经编机成圈机件(包括钩针、沉降片、压板、导纱针)的编织运动、织机的打纬运动是否正确等。而要测量这些机构在工作瞬间的运动关系,就需要非电量电测仪器把它们在运动过程中的相对位置测量并记录下来。又如经纱张力的变化,以前用机械式张力仪,只能测出纱线在静态或低速时的张力(一般只能看出平均值),精度较低,难以看出波动幅值,且不能记录;现在采用应变式张力仪、电容式张力仪、电涡流式张力仪(这些都是非电量电测仪器),不仅可以测得纱线张力变化的波形,而且还可以测量高速经编机编织时经纱张力的变化。在造纸工业中,则需要使用流量计、纸浆浓度计、白度计、湿度计等非电量电测仪器。

在国防工业中,非电量电测仪器用得更多。事实上,许多新型的非电量电测仪器都是因国防工业的需要而发展起来的。例如研制一架飞机,从设计、制造到样机试飞,都要经过严格的测试。为了研究飞机的强度,要在机身、机翼上贴上几百块应变片;为了研究它的运动特性,必须进行多点激振和机械阻抗测定;在试飞时要测量发动机的参数(转速、转矩、振动……等)以及机身上有关点的应力、温度、振动、管道内的压力、流量等。对这些参数,不仅要测量,而且还要记录下来进行分析,这就需要采用非电量电测技术。在导弹和卫星的研究制造过程中,对构件需要进行一系列强度和动力特性的研究,如测量有关点的应变、振动,发动机的推力,燃烧室和喷管的压力、温度,管路中液体燃料的流量等。

总之,各类科学研究和工程部门,都需要用非电量电测仪器测量有关的参数。从上面的一些例子,已可以看出非电量电测技术的重要性及其应用的广泛性。

## 1.2 非电量电测系统的组成

现代自动测量系统中,各个组成部分常常以信息流的过程来划分,一般可以分为:信息的获得、信息的转换、信息的显示、信息的处理。因此,作为一个完整的非电量电测系统,包括这几个部分。因为它首先要获得被测量的信息,把它变换成电量,然后通过信息的转换,把获得的信息变换、放大,再用指示仪或记录仪将信息显示出来,有的还需要对信息进行处理。因此具体来说,非电量电测系统一般包括传感器(信息的获得)、测量电路、放大器(信息的转换)、指示器、记录仪(信息的显示)等几部分,有时还有数据处理仪器(信息的处理),它们间的关系可用图 1.1 的框图来表示。

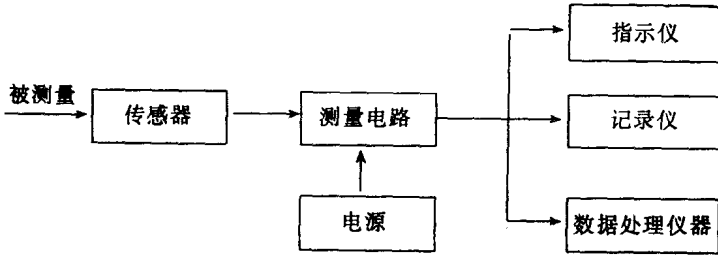


图1.1 非电量电测系统的组成

传感器(Transducer)是一个把被测的非电量变换成电量的装置,因此是一种获得信息的手段,在非电量电测系统中占有重要的位置。传感器获得信息的正确与否,关系到整个测量系统的精度,如果传感器的误差很大,后面的测量电路、放大器、指示仪等的精度再高也将难以提高测量系统的精度。传感器以前也称为变送器、发送器、换能器,现在过程检测仪表装置中已统一称为传感器,而把输出标准信号的传感器称为变送器(Transmitter),在生物医学仪器、超声检测仪器中,则习惯上称为换能器。

测量电路的作用是把传感器的输出变量变成电压或电流信号,使

能在指示仪上指示或在记录仪中记录。测量电路的种类常由传感器的类型而定,如电阻式传感器需要采用一个电桥电路把电阻值变换成电流或电压信号输出,所以它属于信号的转换部分。由于测量电路的输出信号一般比较小,为了能使指示仪工作或记录机构运动,常常要将信号加以放大,所以在测量电路中一般还带有放大器,这也是一种信息的转换。

测量的目的是使人们了解要测的数值,所以必须有显示装置,这就是信息的显示。显示的方式,目前常用的有三类:模拟显示、数字显示和图象显示。模拟显示就是利用指针对标尺的相对位置来表示读数,常用的有毫伏表、毫安表、微安表等指示器。数字显示是用数字形式来显示读数,实际上往往是一只专用的数字电压表、数字电流表或数字频率计。图象显示是用屏幕显示读数或者被测参数变化的曲线。在测量过程中,有时不仅要读出被测参数的数值,而且还要了解它的变化过程,特别是动态过程的变化,根本无法用显示仪表指示,那么就要把信号送至记录仪自动记录下来,现在常用的自动记录仪器有笔式记录仪(如电平记录仪、 $x-y$  函数记录仪、电子电位差计等)、光线示波器、磁带记录仪、电传打字机等。记录仪记录信号的作用,在信息流过程中,仍然属于信息的显示。

对于动态信号,有时还需要对测得的信号数值加以分析和数据处理,例如对复杂的波形要进行频谱分析,有时还要进行运算。属于这方面的仪器有频谱分析仪、波形分析仪、实时信号分析仪、快速傅里叶变换仪等,它们的功能都是信息处理。

### 1.3 传感器在科学技术中的地位

前面已经指出,传感器是一种获得信息的装置,它在非电量电测系统中占有重要的位置。近年来,由于计算机技术的突飞猛进和微处理机的兴起,使国民经济中的任何一个部门中,各种物理量、化学量和生物量形态的信息都有可能通过计算机来进行准确、及时地处理。但是各种大规模集成电路的计算机还必须通过传感器来获得信息,所以有人把

计算机比喻为一个人的大脑,传感器则是人的五官。

70年代初,美国、日本及欧洲一些国家的决策人由于首先抓住了计算机而对传感器技术略有偏废,如今尝到了由于传感器拖了后腿而使整个系统不能配套的苦头。传感器技术与计算机技术的发展很不平衡,因此近几年世界上掀起了一股“传感器热潮”,花大力气来发展传感器,如美国和欧洲传感器市场投资总值的年增长率为32%,其增长速度是很快的。在这种“处理过剩,信息不足”的状况下,传感器技术成为国外80年代以来技术更新的重要技术,甚至领先于大规模集成电路技术。

我国随着四个现代化进程的加速,对传感器需求的增长速度也很快。60年代传感器技术的研究与制造比较集中在一些国防尖端部门与高等院校;到了70年代,一些能源、热电、化工、机械等行业对传感器的应用逐渐普遍,80年代初则在轻工、纺织、农业以及人们日常生活中的家用电器中,传感器的需求量骤增,形成了一个广阔的传感器市场。但是我国目前生产的传感器,无论在品种、数量和质量上都远远满足不了市场的需要,因而一股“传感器热”也逐渐在我国出现。

根据传感器在科学技术中的地位和在非电量电测系统中的重要位置,在本书中将专门用一章进行介绍。

## 1.4 非电量电测技术的发展趋势

非电量电测技术虽然已经得到广泛的应用,但是随着现代科学技术的发展,对它提出的要求愈来愈高,因此得到了更迅速的发展。当前除了不断提高传感器的性能、可靠性外,总的趋向是使之小型化、智能化、图象化、无接触化、多功能化。具体说,有以下几个方面。

### 1.4.1 不断提高仪器的性能、可靠性,扩大应用范围

随着科学技术的发展,对仪器仪表性能的要求相应地在提高,同时需要研究、制造在生产工艺过程中测量极端参数用的仪器,例如液态金

属温度的连续测量、高温介质(2500~3000℃)的长时间连续测量、固体物表面高温的测量、极低温度测量(超导)、混相流量测量、脉动流量测量、微差压(几十个帕)测量、超高压测量、高温高压下的成分测量、高精度(0.01%)重量称重等,所以仪器要在原有的基础上不断地提高技术性能指标,扩大应用范围。

仪器仪表的可靠性对仪表的质量来说已成为一个重要因素,从60年代开始,一直在对仪表可靠性进行研究,这方面内容包括仪表可靠性和故障率的数学模型和计算方法的研究,仪表可靠性设计、分配、预测、检验和分析试验的研究;仪表系统组件可靠性对仪表整机性能的影响和确定整机可靠性的方法的研究等。

#### 1.4.2 开发传感器的新型敏感元件材料

新型的传感器敏感元件材料的开发与应用是当前非电量电测技术中的一项迫切任务,因为非电量电测技术的应用领域已扩大到各个部门,要获得的信息种类又是那么多,同时进入到人们生活中去的仪器又要求有低廉的价格,因此必须开发新型的传感器敏感元件,特别是物性型的敏感材料,如半导体材料、陶瓷材料以及高分子聚合材料等。大家也在注意把各个专业领域中萌发出来的新型材料引入到传感器技术的领域中来,不断满足各种物理、化学和生物领域中提出来的新型传感器的需要,以及人民生活和家用电器要求各种优质廉价的传感器的需要。

#### 1.4.3 微电子技术、微处理器与传感器结合,使仪器智能化

以大规模集成电路为基础的微处理器从70年代问世后,已逐步地应用到测量技术中。将微电子技术、微处理器与传感器结合,形成新一代智能传感器,将是非电量电测技术发展的一种新的趋势。所谓智能传感器,就是这种传感器,不仅具有检测信息的能量转换功能,而且具有测量、判断和处理信息的能力。由于微电子技术的发展,微型信号调节与微机接口电路、信号处理电路(包含微处理器)可与传感器封装成一体,使得传感器不仅有检测信号的能力,同时可以判断信号和处理信号,即它本身已经成为一个非电量电测系统。只要传感器本身的性能稳

定,即使某个性能指标不高,在智能化后,也可大大地提高精度。

#### 1.4.4 研究多维化、多功能化的仪器

目前的传感器主要是用来测量一个点的参数,但是在科学技术和工程上有时需要测量在一条线上或一个面上的参数,因此需要相应地研究一维、二维甚至三维的仪器。现在已经研制出一些二维的传感器,如 CCD 光电传感器就是一个例子,它可以用来识别图形和文字。又如利用聚偏氟乙烯压电薄膜(它是一种高分子聚合物),可以测出一个物体的形状和它上面各点受压的情况,这就形成一种三维的传感器,配合相应的测量电路和微处理器就能得到物体的图形和各受压点的读数。

在有些场合,希望能在某一点同时测得两个参数,甚至更多的参数,因此就要求能有测量多参数的仪器,亦即要使一台仪器多功能化,譬如说能同时测得某一点的温度和湿度。为此,人们在探索和寻求一些敏感元件材料,这种材料不仅能同时感受两个以上参数而且要变换成不同的电量,并互不影响。如利用钛酸钡—钛酸锶组成的多孔陶瓷,其电容量与温度有关,电阻量与湿度有关,这样从测得的电容和电阻就可以分别知道温度和湿度值。

#### 1.4.5 研究无接触测量技术

在测量过程中,把传感器置于被测对象上,相当于加一负载在其上,这样多少会影响测量的精度,而在有些被测物上,根本不可能安装仪器,例如测量高速旋转轴的振动、转矩等,因此国际上都在研究采用无接触式的测试技术,目前已采用的一些光电式传感器、电涡流式传感器、超声波仪表、同位素仪表都是在这个要求上发展起来的。微波技术原来是用于通讯的,现在也被用来作为非电量电测技术的一种手段,而且还在研究用其它的原理和方法来进行无接触式的测量。

#### 1.4.6 研究新型原理的传感器

由于科学技术的发展,需要测量极端参数值(超高压、超高温、超低温)和特种参数(如识别颜色、味觉、嗅觉)等,因此促使人们不断地在探

讨新的测量机理,以研制新型原理的传感器和仪表。目前这方面除研究利用新的物理效应、化学反应和生物功能外,还不断研究仿生学,仿照生物的感觉功能和人的视、听、触、嗅、味五官感觉,来开发新型的传感器。例如研究狗的鼻结构来探索嗅觉传感器,因为狗辨别气味的能力是相当高的,它可以从 14~15 种混杂的气味中找出特定的一种气味,能感受普通人嗅觉千万分之一的稀释液的气味。又如鸟的方位感觉很强,一种海燕能从 4910km 外飞回来,对这种归巢性研究,希望能得到一种方位传感器。



## 2 自动调节

### 2.1 生产过程的调节

#### 2.1.1 生产过程的调节

某些生产过程要求在规定的温度、压力、浓度等工艺参数条件下进行,但由于种种原因,这些数值总会发生一些变化,与工艺参数规定值发生偏差。为了保持参数规定值,就必须对工艺过程施加一个作用以消除这种偏差而使参数回到规定值来。这样的控制过程就叫生产过程的调节。

下面,我们来看一个蒸汽加热的热交换器的例子。工艺需要把冷物料加热到一定的温度,高于或低于这个温度均不符合要求。如果进入热交换器的物料比热、进口温度、流量以及加热蒸汽的压力、流量等等是恒定不变的,则根据热平衡的原则,可以知道被加热物料的出口温度也将是恒定不变的。但是实际上,上述条件往往是要变动的。例如,冷流体的处理量因为前后工序的需要有时就要变动,冷流体的入口温度也可能不同,加热蒸汽的压力也会波动(引起蒸汽流量的波动)。因此,被加热物体的出口温度就不可能是恒定的。为了要保证这一温度为规定值,就必须根据出口温度与规定值的偏差来开大或者关小蒸汽进口阀门,以改变加热蒸汽的流量,使被加热流体的出口温度符合规定值,这就是热交换器的调节过程。

#### 2.1.2 人工调节和自动调节

上述工艺过程如果由人工来完成,则称为人工调节;如果由仪表及必要的装置代替人工来完成则称为自动调节。