

机电技术应用专业教材


自动检测与 转换技术



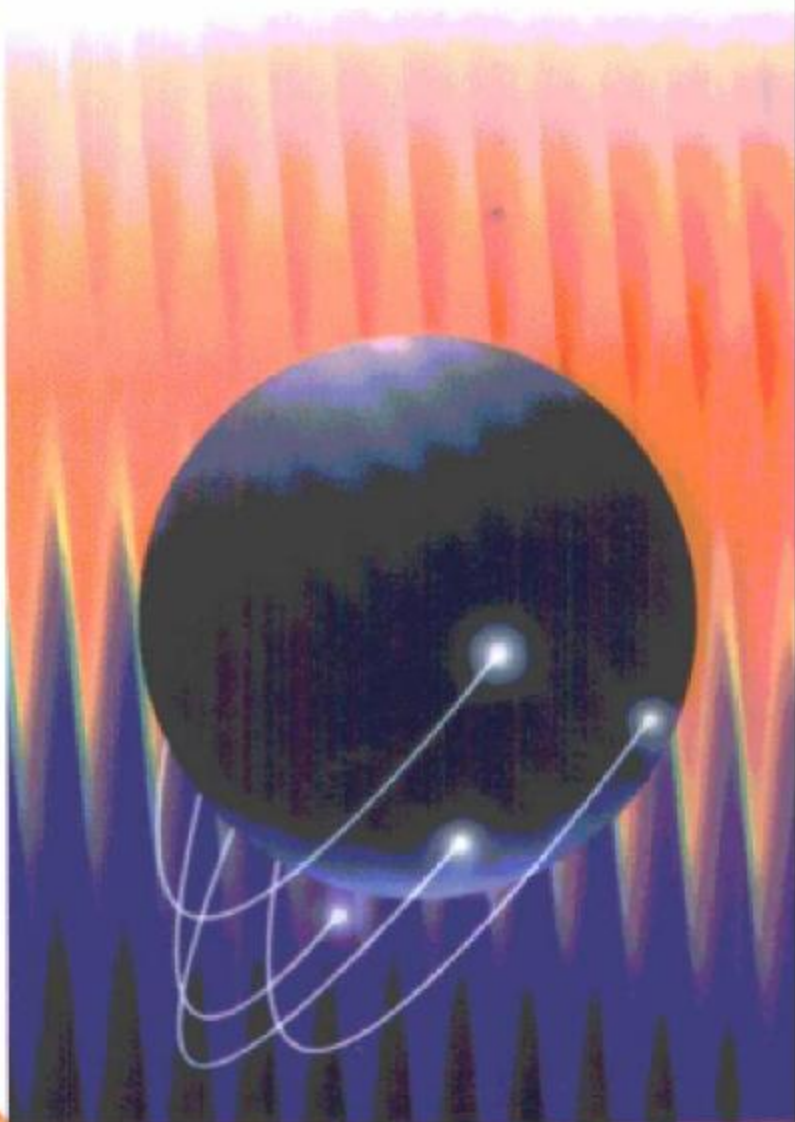
邓海龙 主编

274
8b

ZDJCY ZHHJSH

 中国纺织出版社

责任编辑：马进 封面设计：李强



机电技术应用专业教材

《自动检测与转换技术》★

《电机与控制系统》

《机电控制技术》

《机械制造基础》

《液压与气动基础》



ISBN 7-5064-1463-5



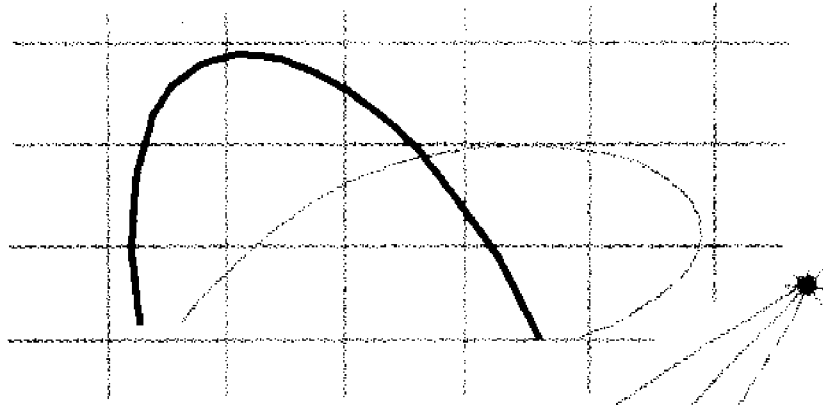
9 787506 414630 >

定价：15.00 元

TP274
D386

750

机电技术应用专业教材
邓海龙 主编



自动检测

与

转换技术



A0925211



中国纺织出版社

内 容 提 要

本教材是根据国家纺织局纺织教育学会组织制定的《自动检测与转换技术》课程教学大纲编写的。本教材阐明了自动检测系统中的各个环节及其相互关系,着重讨论了工业中常用传感器的工作原理、转换电路及其典型应用,在叙述上能做到深入浅出,并尽可能反映自动检测技术领域的新成果、新进展。对微机在自动检测中的应用也作了简要介绍,每章均有思考题与习题,全书最后还配有实验指导。

本教材适用于中等专业学校、职业技术学院与技校等机电技术、电气自动化、计算机控制等专业的教学,也可供其他专业师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与转换技术/邓海龙主编. —北京:中国纺织出版社,2000.2

ISBN 7-5064-1463-5/ TP·0020

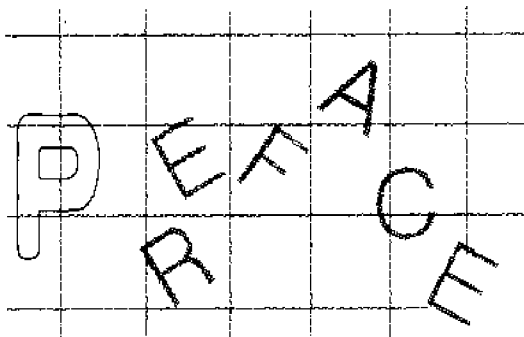
I.自… II.邓… III.①自动检测—基本知识②转换—电路—基本知识 IV.TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第76570号

责任编辑:马 涟 特约编辑:王云红 责任校对:楼旭红
责任设计:何 建 责任印制:刘 强

中国纺织出版社出版发行
地址:北京东直门南大街6号
邮政编码:100027 电话:010—64168226
中国纺织出版社印刷厂印刷 各地新华书店经销
2000年2月第一版第一次印刷
开本:787×1092 1/16 印张:8
字数:175千字 印数:1—3000 定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换



前 言

本教材是国家纺织局纺织教育学会规划并组织编写的系列教材之一。整套系列教材共5本,包括《自动检测与转换技术》、《机械制造基础》、《液压与气动基础》、《机电控制技术》、《电机与控制系统》。

本教材内容丰富,层次清晰,重点突出,注重实用。压缩和删除了一些不必要的理论及公式推导过程,在叙述上能做到深入浅出,并尽可能反映自动检测技术领域的新成果、新进展。

本教材由江苏省南通纺织职业技术学院邓海龙担任主编,并编写绪论,第一、三、五、十章,第四章第五节,第九章第一、二节;山西省纺织工业学校郑改成编写第八、十一章,第九章第三节,第十章第五节;沈阳纺织工业学校张洪峰编写第六、七章,第四章第一、二、三、四节;南通纺织职业技术学院陈群编写第二、十二章。全书由山西省纺织工业学校王建国主审,参加审稿工作的还有河北省纺织工业学校杨秦建、上海纺织机电学校许德平、吉林省纺织工业学校刘树卿、南通第二棉纺织厂曹德明。他们对本书提出了许多宝贵的意见,编者在此谨表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,殷切地希望广大读者批评指正。

编 者
1999年7月

绪 论

当今社会是一个信息社会,时时处处充满着大量表征客观世界万物时空特性的信息。人们为了达到某些特定的目的,总希望从纷繁众多的信息中挑选出自己所需要的那部分信息,加以测量与分析。客观世界的信息虽然很多,但一般可分为电量与非电量两种信息。电量可以借助于电压表、电流表等仪器仪表加以测量,但诸如机床的切削速度、炉窑的温度、棉层的厚度等这类非电量却难以直接进行测试,必须通过一定的方法,借助必要的仪器设备加以检查与测量,从而达到调整工艺参数、控制加工质量等目的,简单地讲,这就是所谓的检测。严格讲,检测就是利用各种物理特性,采集客观世界的有关非电量信息,并加以测量赋予定性或定量结果的过程。能够自动完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术,它是自动检测技术和自动转换技术的总称。

一、自动检测与转换技术的作用

自动检测与转换技术的发展非常迅速,应用日益广泛,现已渗透到信息社会的一切活动领域。

自动检测与转换技术是科学实验中必不可少的手段。任何一项现代自然科学成就或技术发明,总是离不开通过自动检测与转换技术获取的大量的准确的数据。自动检测与转换技术能够涉及到的测量范围与能够达到的测量精度,在很大程度上,决定着现代科技进步的广度与深度。例如在国防科技中,没有自动检测与转换技术,导弹发射与卫星上天是不可能的。

自动检测与转换技术是工业生产中的一项重要的基础技术。利用自动检测与转换技术处理获取的数据信息,能为产品的质量和性能作出客观的评价,能为设计人员进行最佳设计或改进制造工艺提供依据。在现代大工业生产中,没有自动检测与转换技术,新设备的研制、以及复杂工艺流程的具体实现也是不可能的。

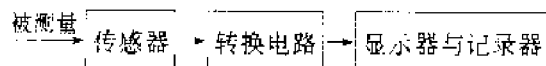
自动检测与转换技术是自动控制系统中一个十分重要的环节。利用自动检测与转换技术可以对生产过程中的一些非电参数及其变化及时进行检测,最终可作为反馈信号对自动控制系统进行调节控制,使系统运行在最佳工作状态。

自动检测与转换技术也为生活水平的提高注入了新的活力。家电业中的冰箱、空调可以说就是自动检测与转换技术带来的高科技产品,它们能够自动测试与控制温度。

自动检测与转换技术在纺织业中的作用也是十分重要的。纺织业从劳动密集型生产向技术密集型生产跨越的过程中,工艺的实施,新设备、新产品的研制、开发、维修都离不开自动检测与转换技术。

二、自动检测系统的组成

自动检测系统是帮助完成整个检测处理过程的系统。目前,非电量的检测常常采用电测法,即先将采集到的各种非电量转换为电量,然后再进行处理,最后将非电量值显示出来或记录下来,系统的组成框图如下所示。



在系统组成框图中,传感器处于整个检测系统的第一环节,其作用是将采集到的被测非电量转换为容易进行测试的电量。例如将机床的切削速度、炉窑的温度、棉层的厚度等转换为电阻、电容、电感和电压等电量。

转换电路是检测系统的中间环节,其作用是对传感器输出的电量进行处理,使之成为电压或电流,或进行整流、检波,或进行放大、调制与解调,以求能更方便地进行显示或记录。

显示器、记录器部分是检测系统的最后一个环节,其作用是将转换电路送来的信号显示出来或记录下来,供观测与研究。

信号的显示或记录方式,可分为数字方式和模拟方式两大类。显示器多采用数字方式,如LED数码管与液晶显示等,可以直接

将测量值显示出来。记录器多采用模拟方式,常见的有笔记录仪、光线示波器等,主要用来记录被测量的动态变化过程。

三、本课程的主要教学任务

作为机电类专业的一门非常重要的课程,本课程的主要教学任务是:在阐明测量的基本理论的基础上,重点介绍常用传感器的结构特点、工作原理、转换电路及其在工业中的应用等内容,以对新型传感器与微机控制的自动检测与转换技术进行简单介绍,培养学生选用、使用与维护传感器的实际能力。

本课程是一门综合性的技术学科,涉及的知识面广,实践性又较强,因此在教学过程中,应理论联系实际,重视实验环节,加强现场教学,以自动检测与转换技术的应用为出发点和归宿。

第一章 自动检测与转换技术基本知识

第一节 测量误差及数据处理

一、测量的概念与国际单位制

(一)测量的概念

测量是人们借助于仪器设备,通过一定的方法,对被测对象进行定性认识或定量认识的过程。所谓定性认识,就像用电笔测试电源插孔是否有电,能够大致判断被测量存在或是不存在。所谓定量认识,就像用万用表去测量电源插孔间的电压值,能够得到一个比较准确的数值。

测量过程实际上是一个比较过程,即将被测量与同性质的标准量进行比较,从而确定被测量与标准量比值的过程。例如,用直尺与直立人体进行比较,可以确定人体的身高。但在一般情况下,测量过程需要将被测量与标准量同时转换为另一种性质的中间量后才能进行。例如,指针式万用表是将被测电流、电压等转换为指针的角位移与刻度盘上的标定值进行比较后,才能确定出被测量的数据。由此可见,测量的概念是与被测量的转换概念密不可分的,自动检测与转换技术正是从这一重要现象出发而逐步发展与完善起来的。

测量结果一般表现为一定的数值或曲线,或者是某种形式的图形与现象,但作为定量测量的结果总包括数值和单位两方面的内容。例如,对电源插孔间电压的测量值为220伏特,220是数值,伏特是单位。显然,测量单位是测量结果必不可少的一部分,没有单位的测量结果是毫无意义的。

(二)国际单位制

由于历史的原因,世界各国及各个地区出现了许多不同的计量单位,这对于世界性科技、生产、经济及文化交流等十分不利。1960年在十一届国际计量大会上正式通过了一种新的国际单位制(SI制),并得到了全世界大多数工业发达国家的积极响应。我国也于1978年成立了中国国际单位推广委员会,专门从事SI制的推广工作。

SI单位由SI基本单位、SI导出单位及SI单位的倍数单位三部分构成。SI基本单位是国际单位制的基础,由国际计量局严格定义的SI基本单位共有七个,如表1-1所示。

表 1-1 SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

SI导出单位是用SI基本单位以代数形式表示的单位,其中还包括SI单位弧度和球面两个尚未确定是基本单位还是导出单位的

单位,这两个单位被称为 SI 辅助单位。表 1-2 给出了包括 SI 辅助单位在内的常见的 SI 导出单位。

表 1-2 包括 SI 辅助单位在内的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面]角	弧度	rad	1 rad = 1 m/m = 1
立体角	球面度	sr	1 sr = 1 m ² /m ² = 1
频率	赫[兹]	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
力	牛[顿]	N	1 N = 1 kg·m/s ²
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	1 Pa = 1 N·m ⁻²
能[量],功,热量	焦[耳]	J	1 J = 1 N·m
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	1 W = 1 J/s
电荷[量]	库[仑]	C	1 C = 1 A·s
电压,电动势,电位,(电势)	伏[特]	V	1 V = 1 W/A
电容	法[拉]	F	1 F = 1 C/V
电阻	欧[姆]	Ω	1 Ω = 1 V/A
电导	西[门子]	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
磁通[量]	韦[伯]	Wb	1 Wb = 1 V·s
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	1 T = 1 Wb/m ²
电感	亨[利]	H	1 H = 1 Wb/A
摄氏温度	摄氏度	℃	1 ℃ = 1 K
光通量	流[明]	lm	1 lm = 1 cd·sr
[光]照度	勒[克斯]	lx	1 lx = 1 lm/m ²

二、测量误差及其分类

测量的目的是希望求取被测量的真实值。真实值简称真值,是在一定条件下,被测量客观存在的实际值。在测量过程中,由于受到仪器设备、测量方法等因素的限制,总是存在着一定的误差,使被测量的真值很难确定,因而人们常用约定真值代替真值。所谓约定真值,是指在实际测量中用上一级标准仪器为下一级仪器标定的真值。测量结果与

约定真值之间的偏差称为测量误差。通过对测量误差的研究,可以分析测量误差产生的原因,并采取相应的措施克服误差,或将误差限制在允许的范围之内。

归纳起来测量误差一般有按误差的性质分类和按误差的表达方式分类两种方法。

(一)按误差的性质分类

按此种分类方法,误差可分为系统误差、随机误差与粗大误差。

1. 系统误差 系统误差是指具有确定变化规律的误差,反映的是测量结果偏离真值的程度。系统误差越小,说明测量结果越正确,所以系统误差可用来评价测量结果的准确度。系统误差有两种,一种是定值系统误差,另一种是变值系统误差。定值系统误差对每次测量值的影响都是相同的,如由于仪表刻度盘的偏移所产生的测量误差。变值系统误差对每次测量值的影响按某种规律变化,如由于蓄电池在使用过程中因放电而使其电动势逐渐减小所产生的测量误差。

引起系统误差的原因一般有以下几个:一是仪器本身的精度不够;二是使用测量仪器方法不当;三是检测的原理不完善;四是检测系统所处的环境不理想。由于系统误差呈现一定的规律,因而在认真分析产生系统误差原因的基础上,可通过实验方法或引入修正值加以消除,使测量结果尽量接近约定真值,以提高测量结果的准确度。

2. 随机误差 随机误差是指误差的大小和符号都发生变化而且没有规律可循的测量误差。引起随机误差的原因往往是由于偶然因素(如测量仪器本身元件性能不稳定)的影响而随机产生的,因而随机误差不能用实验方法或引入修改值加以消除,也不可避免,但可以通过概率统计处理的方法来减少其影响。随机误差能够反映测量结果的分散程度。随机误差越小,说明多次测量时的分散性越小,通常称为精密度。应当指出:一个精

密的测量结果可能是不准确的,因为它包括有系统误差在内。一个既精密又准确的测量结果,才能比较全面地反映检测的质量。检测技术中,用精确度(简称精度,它从精密度和准确度中各取一字)反映精密度和准确度

的综合结果。如图 1-1 所示的射击例子有助于加深对准确度、精密度和精度三个概念的理解。图(a)精密度高但准确度低,图(b)精密度低,图(c)精确度高。

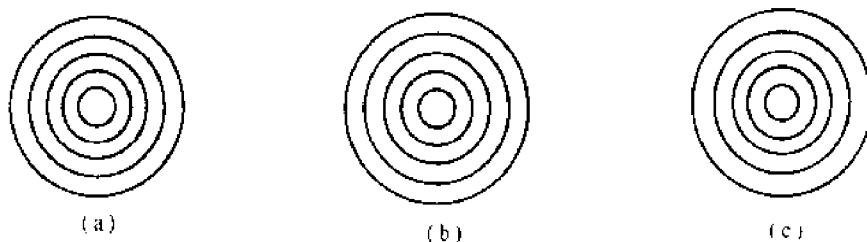


图 1-1 准确度、精密度及精度示意图

3. **粗大误差** 粗大误差是指明显偏离约定真值的误差。引起粗大误差的根本原因主要是由测量人员操作失误或读错与记错数据而引起的,也完全没有规律。当发现有粗大误差的测量数据时应及时去除。

(二)按误差的表示方式分类

按此种分类方法,误差可分为绝对误差与相对误差。

1. **绝对误差** 绝对误差是指测量值 A_x 与约定真值 A_0 间的差值,可用下式表示:

$$\Delta X = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差可以直接反映测量结果与约定真值间的偏差值,但不可作为衡量测量精度的指标。例如,在两次测量电压时,绝对误差都是 $\Delta X = 0.2\text{mV}$,当测量值 A_x 为 1V 时,可以认为误差很小,精度很高。当测量值 A_x 为 1mV 时,就不能认为误差还是很小,精度还是很高,而是误差很大,精度很低。

2. **相对误差** 绝对误差不能作为完全反映测量精度的指标,相对误差则完全可以。相对误差有实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差三种表示方法。

实际相对误差用绝对误差对约定真值 A_0 的百分比表示,即:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

示值相对误差用绝对误差 ΔX 对测量值 A_x 的百分比表示,即:

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

满度相对误差用绝对误差 ΔX 对测量仪器满度值 A_m 的百分比表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

满度相对误差是常用的一种相对误差表示方式。我国的电工仪表精度分为七级,而其精度等级 S 的确定是利用最大满度相对误差得到的,即

$$S = \frac{|\Delta X_m|}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: ΔX_m ——绝对误差 ΔX 的最大值。

当测量仪表的下限刻度值不为零时, S 由下式表示:

$$S = \frac{|\Delta X|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中: A_{\max} ——测量仪器的上限刻度值;

A_{\min} ——测量仪器的下限刻度值。

电工仪表精度等级 S 规定取一系列标称值,分别称为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级、5.0 级。5.0 级即表示该等级的电工仪表的满度相对误差的最大值不超过 5.0%。

例:两只电压表的精度等级及量程范围分别是 0.5 级 0~500V、1.0 级 0~100V, 现要测 80V 的电压, 问选用哪只电压表较好?

解:用最大示值相对误差来比较, 则有

$$\gamma_{X1} = \frac{\Delta X_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{500 \times 0.5\%}{80} \times 100\% = 3.125\%$$

$$\gamma_{X2} = \frac{\Delta X_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times 1.0\%}{80} \times 100\% = 1.25\%$$

计算结果表明, 用 1.0 级表比用 0.5 级表更合适。这说明在选用电工仪表时应兼顾精度等级与量程两个方面, 而不应片面追求仪表的精度等级。同时在测量中要合理选择量程, 尽量让指示值接近满量程值, 以减小测量误差。

测量误差的分类除了以上这两种方法外, 还可根据被测量随不随时间变化而分成静态误差与动态误差两种。被测量不随时间变化所产生的测量误差称为静态误差, 否则就称为动态误差。

三、数据处理

在测量过程中, 测量误差总是不可避免地存在着。为了评价测量数据的质量, 往往要对它们进行必要的处理, 这就是数据处理。如前所述, 系统误差是可以修正或在测量中设法消除的, 因而数据处理主要是指剔除粗大误差和估算随机误差。

(一) 剔除粗大误差

理论和实践证明, 绝大多数测量数据的随机误差服从正态分布规律, 标准误差 σ 是对正态分布曲线产生影响的唯一参数。正态分布理论中的分布范围虽为无穷大, 但其实际分布范围通常取为 $\pm 3\sigma$, 这是由于测量数据超出 $\pm 3\sigma$ 的概率仅为 0.27%, 因而一般将 $\pm 3\sigma$ 称为测量结果的极限误差。当有测量数据的剩余误差较极限误差大, 则认为该数据有粗大误差存在, 必须剔除。这里所谓

的剩余误差是指每一个测量数据 A_i 与算术平均值 \bar{A} 的差值, 用 U_i 表示, 表明该次测量数据对平均值的偏离程度。算术平均值是指相同的测量条件下, 对同一被测量进行 n 次测量所得的数据之和与测量次数 n 的比值。

(二) 估算随机误差

在实际测量中, 对于某一被测值, 重复测量的次数 n 是有限的。由于 n 次测量的数据带有随机性, 在算术平均值中仍然不可避免地存在着误差, 因此在数据处理中, 采用算术平均值的标准误差 $\bar{\sigma}$ 来评价算术平均值的精度。根据误差理论, $\bar{\sigma}$ 与 σ 存在下列关系:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

这样就使随机误差减小为原来的 $1/\sqrt{n}$ 。

(三) 数据处理的一般步骤

1. 计算 n 次测量数据的算术平均值 \bar{A}

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}$$

2. 计算标准误差 σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}}$$

3. 检查有无粗大误差数据 若有剩余误差超过 $\pm 3\sigma$, 则加以剔除, 然后重复以上步骤, 直到无粗大误差数据存在。

4. 计算算术平均值的标准误差

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

5. 写出测量结果的表达式

$$A_0 = \bar{A} \pm 3\bar{\sigma}$$

例: 现对某液体测量温度 11 次, 测量序号与测量数据如表 1-3 所示。

表 1-3 某液体测量温度

测量序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
测量数据/ $^{\circ}\text{C}$	20.72	20.75	20.65	20.71	20.62	20.45	20.62	20.70	20.67	20.73	20.74

解: 1. 算术平均值

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} = 20.67^{\circ}\text{C}$$

2. 标准误差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} = 0.086^{\circ}\text{C}$$

3. 检查有无粗大误差数据

通过计算发现, A_6 的剩余误差最大

$U_6 = 0.22^{\circ}\text{C}$, 而极限误差为 0.258°C , 大于 U_6 , 因而可以认为 11 个测量数据中无粗大误差数据存在。

4. 算术平均值的标准误差

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.026^{\circ}\text{C}$$

5. 测量结果表达式:

$$A_0 = \bar{A} \pm 3\bar{\sigma} = 20.67^{\circ}\text{C} \pm 0.078^{\circ}\text{C}$$

第二节 传感器及其基本特性

一、传感器的组成

传感器是一种转换器件, 以一定的精度将被测非电量转换为与之有确定关系并易于

测量的电量。它一般由敏感元件、传感元件和转换电路三部分组成。其框图如图 1-2 所示。

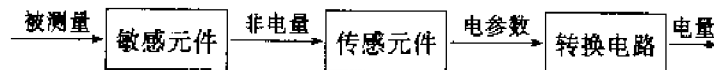


图 1-2 传感器的组成

在传感器框图中, 敏感元件的作用是将直接被感受到的非电量转换为另一种非电量, 这两种非电量在数值上具有确定关系。传感元件的作用是将敏感元件送出的非电量再转换为与其有确定关系的电参数, 如电阻、电容、电感等。转换电路的作用则是将传感元件送出的电参数转换为电压、电流等电量。应该指出, 不是所有的传感器都有传感元件这部分, 例如, 热电偶传感器中就没有传感元件; 也不是所有的传感器都具备转换电路, 例如, 光电式传感器中的光电池就能直接将入射光转换为光生电动势。因此图 1-2 所示的传感器的组成框图只是一个一般形式。

二、传感器的分类

自动检测技术中所使用的传感器种类繁多, 分类方法也不尽相同, 下面就几种常用的分类方法作简要介绍。

(一) 按输入被测量进行分类

可分为速度传感器、温度传感器、位移传感器、压力传感器等。这种分类方法直接反映了检测的目的, 给传感器的实际选用提供了一定的方便。

(二) 按转换原理进行分类

可分为电阻式、电容式、电感式、压电式、光电式、热电式传感器等。这种分类方法基本上反映了传感器的工作原理, 对于掌握传感器的工作原理、性能特点及选用较为有利。一般在教材中也采用这种分类方法。

(三)按工作机理进行分类

可分为结构型传感器和物性型传感器两类。结构型传感器是依靠其结构参数变化来实现传感功能的,如电容式传感器中的变极距型电容传感器是依靠改变电容极板间距的结构参数工作的。物性型传感器是依靠其敏感元件物理性质、化学性质的变化来实现传感功能的,而与传感元件的结构参数无关,如光电式传感器就属于这类传感器。

(四)按输出量形式进行分类

可分为数字传感器与模拟传感器两类。数字传感器输出量为数字量,如光栅传感器、码盘等。模拟传感器输出量为模拟量,如光电式传感器、电感式传感器等。

(五)按输入输出特性的线性与否分类

可分为线性传感器和非线性传感器两类。本教材主要介绍各种线性传感器。

三、传感器基本特性与指标

传感器的基本特性是指其输出输入之间的关系特性。传感器的基本特性又分为静态特性和动态特性。所谓静态特性是指静态信号作用下的输出输入关系特性,所谓动态特性是指动态信号作用下的输出输入关系特性。下面主要介绍传感器静态特性中几个衡量传感器基本特性优劣的重要性能指标:线性度、灵敏度、迟滞、重复性与分辨力。

(一)线性度

线性度是指传感器实际特性曲线与拟合直线间的最大偏差 L_{\max} 对传感器满量程输出值 Y_{\max} 的百分比(如图 1-3 所示),可用下式表示:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{\max}} \times 100\% \quad (1-7)$$

图中 1 为拟合直线,2 为实际特性曲线。

(二)灵敏度

灵敏度是指传感器输出变化量 Δy 与输入变化量 Δx 之比,用下式表示:

$$K = \Delta y / \Delta x \quad (1-8)$$

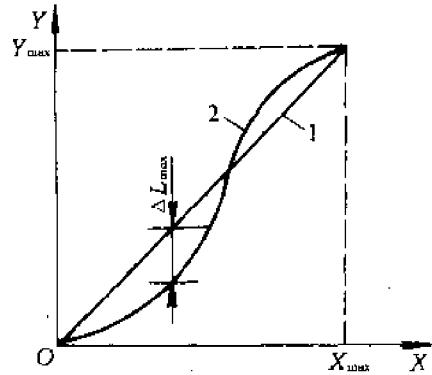


图 1-3 传感器线性度示意图

对于理想线性传感器,灵敏度特性曲线显然是一条直线,直线的斜率就是传感器的灵敏度。当检测系统的输入量与输出量的单位相同时,传感器的灵敏度就是该系统的放大倍数。灵敏度的高低,表明了传感器检测能力的强弱,但在选择时,应注意其合理性,因为传感器灵敏度越高,检测系统的抗扰能力就越弱,稳定性就越差,同时检测的范围也越窄。

(三)迟滞

迟滞是指传感器正向特性曲线和反向特性曲线间不一致的程度,又称回程误差,其值越小越好。迟滞大小一般由实验方法确定。迟滞定义为正反行程间最大输出的偏差 ΔH_{\max} 对满量程输出 Y_{\max} 的百分比(如图 1-4 所示),可用下式表示:

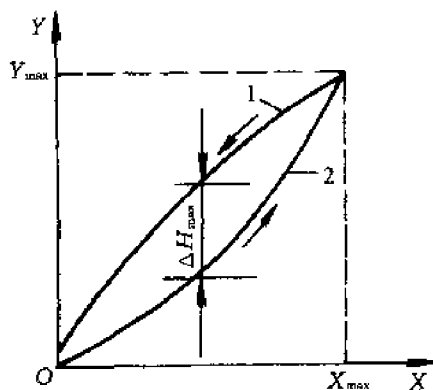


图 1-4 迟滞特性示意图

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{\max}} \times 100\% \quad (1-9)$$

图中 1 为反向特性, 2 为正向特性。在实际测量中, 迟滞会使传感器出现滞后现象与工作死区, 带来测量误差。

(四) 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全程多次测试时所得特性曲线不一致的程度, 定义为正反两个行程的两个最大重复性偏差 Δm_1 与 Δm_2 中较大的值 Δm 对满量程输出 Y_{\max} 的百分比 (如图 1-5 所示), 可用下式表示:

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{Y_{\max}} \times 100\% \quad (1-10)$$

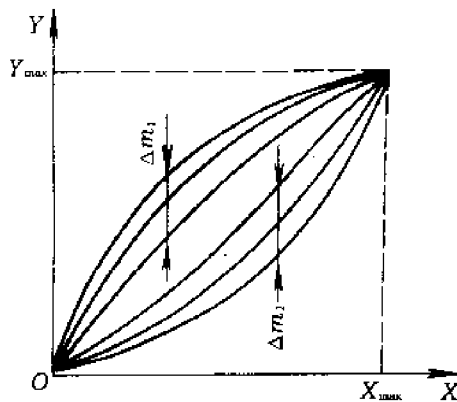


图 1-5 重复性示意图

(五) 分辨力

分辨力是指传感器能够检测出的被测量

的最小变化量。当被测量的变化值小于分辨力时, 传感器对输出量的变化无任何反应。分辨力从输出方面看有一定的模糊性, 通常认为数字式传感器的分辨力为最后一位的一个字, 而模拟式传感器的分辨力为最小刻度分格值的一半。

在选用传感器时, 不应片面追求其线性度要好、灵敏度要高、迟滞要小、重复性要优、分辨力要强, 而是应该根据检测的具体需要, 保证主要性能指标满足要求即可。

思考题与习题:

1. 什么叫测量? 测量结果的形式有哪些? 试举例说明。
2. 国际单位制由哪几部分组成? 其基本单位有几个?
3. 测量误差有哪几种表示方法? 分别写出其表达式。
4. 现有精度为 0.5 级的温度表, 量程有 150℃ 和 300℃ 两档, 欲测量 100℃ 的温度, 应选用哪个量程? 为什么?
5. 现有精度 0.5 级、量程 0~300V 和 1.5 级、量程 0~100V 的两个电压表, 欲测量 80V 的电压, 应选用哪只电压表?
6. 试叙述数据处理的一般步骤。
7. 传感器有哪几部分组成? 各有什么作用?
8. 传感器的静态特性性能指标及其各自的意义是什么?

第二章 电阻应变式传感器

传感器的种类很多,电阻应变式传感器是自动检测技术中用途十分广泛的一类传感器,它的基本原理是利用电阻应变片将被测非电量的变化所产生的应力或应变转换成电阻值的变化,然后通过测量该电阻值达到检

测非电量的目的。电阻应变式传感器具有结构简单、使用方便、灵敏度高、误差小、测量范围大等一系列优点,被广泛用于力、加速度、扭矩、压力等非电量的检测及其科学实验中。

第一节 应变片

一、应变片的工作原理

(一)电阻应变效应

金属或半导体材料在外力作用下产生机械变形时,其电阻值也随之发生变化的现象,称为电阻应变效应。材料单位长度的变形称为应变。根据电阻应变效应,可将应变片粘贴在被测试件或弹性元件的表面,在外力作用下,应变片将会随同被测试件或弹性元件一起变形,其电阻值发生变化。通过测量应变片电阻值的变化就可测出被测非电量的大小。下面我们以金属丝应变片为例分析电阻应变片的工作原理。

(二)基本工作原理

设有一长度为 l 、半径为 r 、电阻率为 ρ 的金属丝,其电阻值 R 为:

$$R = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{l}{\pi r^2} \quad (2-1)$$

当金属丝在轴线方向受到拉力 F 作用时,式(2-1)中的 ρ 、 r 、 l 都将发生变化,如图 2-1 所示,长度伸长了 dl ,半径缩小了 dr ,电阻率也因金属晶格发生变形而变化了 $d\rho$,这些量的变化使金属丝的电阻值也有相应的变化 dR 。 dR 值可按下式求取:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - 2 \frac{dr}{r} \quad (2-2)$$

令: $\epsilon_l = \frac{dl}{l}, \epsilon_r = \frac{dr}{r}$

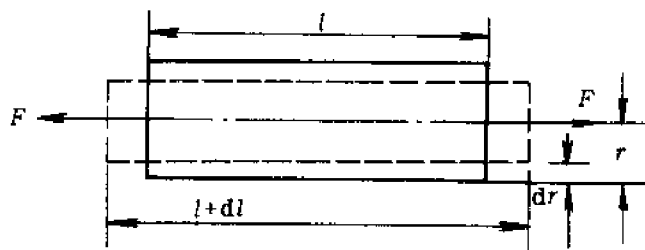


图 2-1 金属丝的电阻应变效应

$$\text{则有: } \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \epsilon_1 - 2\epsilon_r \quad (2-3)$$

式中: ϵ_1 ——电阻丝的轴向应变, 又称纵向应变, 简称应变;

ϵ_r ——电阻丝的径向应变, 又称横向应变。

由材料力学知识可知, 径向应变 ϵ_r 与轴向应变 ϵ_1 间存在着比例关系, 其比例系数为泊松比 μ , 且两者符号相反, 表达式为: $\epsilon_r = -\mu\epsilon_1$, 故式(2-3)可变换为:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \epsilon_1 + 2\mu\epsilon_1 = \left(1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\epsilon_1}\right)\epsilon_1 \quad (2-4)$$

令: $K_0 = \left(1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\epsilon_1}\right)$ 称为电阻应变灵敏系数,

$$\text{则有: } \frac{dR}{R} = K_0\epsilon_1 \quad (2-5)$$

式(2-4)表达了金属电阻丝在外力作用下其电阻值的相对变化量与应变之间的转换关系, 它就是应变片将被测力引起的应变转换为电阻参数变化的基本理论依据。它是在拉伸情况下得出来的, 但也适用于压缩情况。

应变灵敏系数 K_0 表示单位应变所引起的电阻相对变化量。它受两方面因素影响, 一方面是由材料几何尺寸发生变化所引起的, 体现在 $(1 + 2\mu)$ 这项中; 另一方面是材料发生变形时, 晶格结构变化所引起的, 体现在 $\frac{d\rho/\rho}{\epsilon_1}$ 这项中。对于金属材料来讲, 以前一因素为主, 而对于半导体材料, 则以后一因素为主。

对于大多数金属电阻材料, 在其弹性范围内, 无论是拉伸还是压缩, K_0 是一个常数, 一般在 1.6~3.6 之间。

实验证明, 电阻应变片的电阻相对变化量 $\Delta R/R$ (ΔR 很小时相对变化量就写成 dR/R) 与 ϵ_1 的关系在很大范围内是线性的, 即

$$\frac{\Delta R}{R} = K_0\epsilon_1 \quad (2-6)$$

式(2-6)中的 ϵ_1 是应变片受力后的应变, 它代表了测试件在应变处的应变。严格来讲, 由于试件与应变片之间存在胶体的传递变形失真等影响, 所以应变片与试件这两者的应变实际上是稍有差异的。

二、应变片的结构类型与粘贴

(一)应变片的结构类型

电阻应变片的种类较多, 但基本结构都差不多, 如图 2-2 所示。从图中可以看出, 电阻应变片主要由以下几部分组成: 电阻丝 1 (也称敏感栅), 它是应变片的核心部分, 为提高灵敏度, 电阻丝排列成栅网状; 基底 2 和覆盖层 3, 基底是将传感器弹性体表面的应变传递到电阻丝上的中间介质, 并起到电阻丝和弹性体之间的绝缘作用, 覆盖层起着保护电阻丝的作用, 电阻丝与基底及覆盖层是通过粘合剂粘在一起的; 引出线 4, 电阻丝两端焊有引出线, 作为连接测量导线之用。

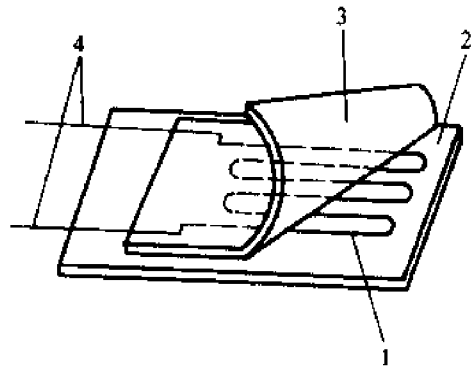


图 2-2 电阻丝应变片结构示意图

按应变片敏感栅材料不同, 可把应变片分为金属电阻应变片和半导体应变片两大类。

1. 金属电阻应变片 目前, 金属电阻应变片有丝式、箔式和薄膜式三种, 用得较多的是前两种, 如图 2-3 所示。

在图(a)所示的丝式应变片中, 是以具有高电阻率的金属丝作敏感栅, 金属丝直径一

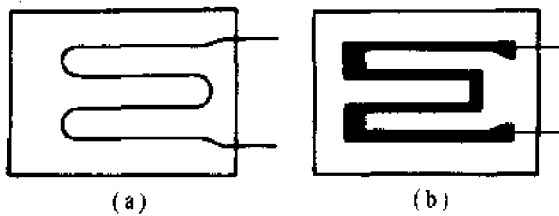


图 2-3 几种金属电阻应变片敏感栅形状
(a)丝式应变片 (b)箔式应变片

一般为 0.025mm, 电阻值不小于 30Ω, 一般在 50~1000Ω 之间。

在图(b)所示的箔式应变片中, 其敏感栅是用很薄的金属箔片经过照相制版或光刻腐蚀制成。箔片厚度约为 0.003~0.01mm。与丝式应变片相比, 箔式应变片有许多优点: 片面积大, 散热条件好, 允许通过较大的电流; 栅片极薄, 感受的应力较接近试件表面应力状态, 测量精度高; 易加工, 可按需要做成各种形状, 便于批量生产, 成本低。因而箔式应变片已在许多应用场合取代了丝式应变片。

在金属薄膜应变片中, 其敏感栅是将金属材料在基片上采用真空蒸镀或真空沉淀技术, 最后加上保护层制成。这种应变片灵敏系数高, 允许通过较大电流, 易实现批量生产。

2. 半导体应变片 半导体应变片是利用半导体材料作敏感栅制成的, 其工作原理是基于半导体材料的电阻率随外力作用而变化的所谓压阻效应。半导体应变片的灵敏系数可用下式表示:

$$K_0 = \pi_1 E \quad (2-7)$$

式中: π_1 ——半导体材料的压阻系数;

E ——半导体材料的弹性模量。

半导体应变片的主要优点是灵敏系数高(一般 K_0 在 50~100 之间)、体积小。但是, 它与金属应变片相比也有一些较为严重的缺陷, 主要表现在灵敏系数受温度影响较大、允

许工作温度较低、电阻与应变间非线性严重, 因此, 在使用中需采取温度补偿及非线性补偿措施。不过, 近年来相继出现了扩散型、外延型及薄膜型半导体应变片, 已使其缺陷得到了很大改善。

(二)应变片的使用

应变片工作时总是被粘合剂粘贴到被测试件或弹性元件的表面, 因此如何使被测试件或弹性元件表面的应变能准确传递给应变片是应变片使用的关键之一。此外, 粘贴应变片所用的粘合剂形成的胶层以及粘贴技术也起着非常重要的作用。粘合剂的种类很多, 选用时要根据基片材料、工作温度、潮湿程度、稳定性要求、粘贴时间等因素合理选择。

应变片的粘贴质量将直接影晌应变测量的精度, 在粘贴时必须遵循正确的粘贴工艺, 保证粘贴质量。粘贴工艺包括: 被测试件或弹性元件贴片处的表面处理、贴片位置的确定、应变片的粘贴、固化、引出线的焊接和保护处理等。一般先用细纱布将被测试件或弹性元件表面打磨平整光洁, 清除杂质及表面氧化层, 接着按要求划线定位, 再用甲苯、四氯化碳等溶剂清洗被测试件或弹性元件表面。贴片时先在被测试件或弹性元件表面处理处和应变片的底面各涂一层粘合剂, 稍干后将应变片贴于划线位置处, 手指滚压挤出气泡及多余的粘合剂。贴好后, 按固化工艺要求进行固化处理。最后还应对贴片质量进行检查, 包括敏感栅是否短路或开路、绝缘性能是否合格、粘贴位置是否准确等, 检查合格后才可焊接引出线。

此外还应指出, 尽管能使应变片有较好的粘贴质量, 但不能正确选用应变片也不会得到满意的检测结果。应变片的选用是否恰当, 将直接影响着传感器测量精度, 必须加以重视。

第二节 电阻应变式传感器的转换电路

应变片将应变转换为电阻的变化以后,为了显示或记录,必须将电阻的变化转换为电压或电流的变化,这一任务由转换电路来完成,常用的转换电路是电桥电路。按电源性质的不同,电桥可分为直流电桥和交流电桥两大类。

一、直流电桥

(一)直流电桥的工作原理

图 2-4 所示为直流电桥的一般结构形式。图中 U_i 为直流电源电压, U_o 为电桥输出电压,四个桥臂电阻分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ,它们可以全部或部分为应变片。为使电桥在测量前处于平衡状态,即桥路输出 $U_o=0$,应该选择四个桥臂电阻满足:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2-8)$$

式(2-8)称为电桥平衡条件。

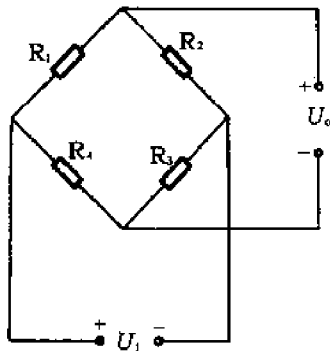


图 2-4 直流电桥电路

根据电路分析,当电桥负载为无穷大时,可求出输出电压 U_o 为:

$$U_o = U_i \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2-9)$$

由式(2-9)可知,在测量前当电桥处于平衡状态时,可消除电桥的恒定输出,使其输出电压只与应变片电阻变化有关。

同样通过分析可知,当四个桥臂都为应变片并感受应变而有电阻变化、且变化值远小于桥臂电阻,即 $\Delta R_i \ll R_i$ 、电桥负载为无穷大时,输出电压 U_o 可近似地用下式表示:

$$U_o = U_i \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (2-10)$$

一般应变式传感器中转换电路采用全等臂桥形式,即 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$,这样式(2-10)可变换为:

$$U_o = \frac{U_i}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (2-11)$$

当各桥臂应变片的灵敏系数相同且都为 K_0 时,根据式(2-6),式(2-11)可变换为:

$$U_o = \frac{U_i}{4} K_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \quad (2-12)$$

式(2-12)表示电桥输出电压 U_o 与四桥臂电阻相对变化量之间的关系,这就是电桥转换电路的基本工作原理,式中 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 、 ϵ_4 分别是四个应变片的应变。若为拉应变, ϵ 为正值;若为压应变, ϵ 为负值。

(二)直流电桥的工作方式

根据不同的需要,电桥有不同的工作方式。通常有单臂、双臂、四臂等三种典型的方式。

1. 单臂工作方式 即只有一个桥臂电阻是应变片,其余三臂接固定电阻的情况。若令 R_1 为应变片,则在测量过程中有 $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \epsilon_4 = 0$,当 $\Delta R_1 \ll R_1$ 时,由式(2-12)可得:

$$U_o = \frac{U_i}{4} K_0 \epsilon_1 \quad (2-13)$$

式(2-13)表明,桥路输出电压 U_o 与应变片所感受的应变 ϵ_1 成正比,传感器具有线性特性,但前提是应变片承受的应变较小,即 $\Delta R_1 \ll R_1$, 否则非线性误差会增大。因此这种工作方式很少使用。

2. 双臂工作方式 即四桥臂中有两臂接应变片、另两臂接固定电阻的情况。根据两应变片的位置不同,这里又可分为相邻桥臂和相对桥臂两种方式。

当两型号相同的应变片接于相邻桥臂充当 R_1 与 R_2 (或 R_3 与 R_4)时,由式(2-11)可得:

$$U_o = \frac{U_i}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_2} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) = \frac{U_i}{4} K_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2) \quad (2-14)$$

如果两应变片的电阻变化量 ΔR_1 与 ΔR_2 不仅大小相等而且符号相反,即 $\Delta R_1 = \Delta R$, $\Delta R_2 = -\Delta R$, 则式(2-14)可变换为:

$$U_o = \frac{U_i}{4} 2 \left(\frac{\Delta R}{R} \right) = \frac{U_i}{2} K_0 \epsilon \quad (2-15)$$

此时,灵敏度提高为单臂电桥的两倍。可见相邻桥臂工作时,正确的用法是两个应变片所感受的应变大小相等,性质相反,例如 R_1 感受拉应变时, R_2 应感受相同位置上的压应变。

当 R_1 与 R_3 (或 R_2 与 R_4)接应变片时,就形成了相对桥臂工作方式。此时若 $\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R$, 即应变片 R_1 与 R_3 粘贴在试件的同一部位上, $\Delta R_2 = \Delta R_4 = 0$, 则有:

$$U_o = \frac{U_i}{4} K_0 (\epsilon_1 + \epsilon_3) = \frac{U_i}{2} K_0 \epsilon$$

结论与式(2-15)相同。但是,如果两应变片感受的应变大小相等而符号相反,就没有输出了。

3. 四臂工作方式 此时四个桥臂全接应变片,则桥路输出为: $U_o = \frac{U_i}{4} K_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$ 。同样假设 $\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R$,

$\Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R$, 则有:

$$U_o = U_i \frac{\Delta R}{R} = U_i K_0 \epsilon \quad (2-16)$$

这时灵敏度最高,为单臂桥的四倍,同时电路还具有温度补偿作用,改善了电桥的测量性能,是实际使用最为广泛的一种形式。

二、交流电桥

实际电阻应变式传感器中的转换电路通常都采用交流电桥,并且电源频率也较高,这主要是为了避免在测量电路中使用直流放大器和防止工频干扰。交流电桥比直流电桥复杂,四个桥臂除了电阻外还需考虑电抗元件(电感、电容)的影响,此时电阻电桥必须按阻抗电桥来对待。如图2-5所示为交流电桥的一般形式,其输出电压 U_o 为:

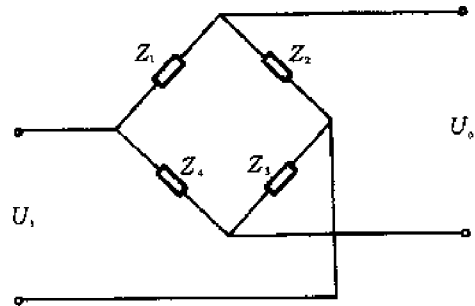


图2-5 交流电桥电路

$$U_o = U_i \frac{Z_1 Z_3 - Z_2 Z_4}{(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4)} \quad (2-17)$$

电桥平衡条件为:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (2-18)$$

由于 $Z_i = z_i e^{j\varphi_i}$, 故式(2-18)可改写成:

$$z_1 z_3 e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)} = z_2 z_4 e^{j(\varphi_2 + \varphi_4)} \quad (2-19)$$

式(2-19)表明,交流电桥的平衡条件包括两个部分;一是相对桥臂阻抗模的乘积必须相等,二是相对桥臂的幅角之和必须相等,即为:

$$\begin{cases} z_1 z_3 = z_2 z_4 \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4 \end{cases} \quad (2-20)$$

在应变测量中,由于电桥四臂的应变片阻值实际上不会绝对相等,连线电阻与分布电容也会有差异,因此,即使在应变片未感受外力时,电桥也处于不平衡状态,产生零位输出。所以交流电桥一般需设置调零电路,在应变片未感受应变前,将交流电桥预先调至平衡而使电桥输出为零。

广泛使用的是电阻、电容调零电路。电阻解决阻抗模相等问题,电容解决幅角相等

的问题。

如图 2-6 所示为电阻调零电路。图(a)中调零电位器 W 与 R_1 、 R_2 串联,其滑线触点接于输出的一个引线端。对于图(b),若将电阻 R_b 与电位器 W 构成的星形接线变换成等效三角形接线后就可以看出,其等效电阻与 R_1 、 R_2 是并联关系。它们的调零原理都是通过改变 W 的滑动触点以达到改变桥臂的等效电阻来满足式(2-20)。

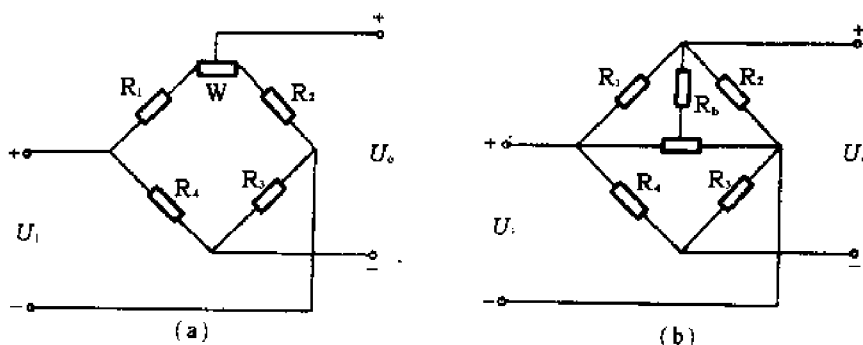


图 2-6 电阻调零电路
(a)电阻串联式 (b)电阻并联式

如图 2-7 所示为交流电桥的电容调零电路。图(a)中 C_1 、 C_2 为差动可调电容器,当调节 C_1 使其增加 ΔC 时, C_2 同时动作并减少 ΔC ,使并联到相邻桥臂上的电容值改变,从而满足电桥幅角和相等的平衡条件。图(b)为阻容式调零电路,固定电容 C 与电位

器 W 实际上也是星形连接,将它等效为三角形接法时, R_1 与 R_2 上分别并联了一个阻容支路,改变 W 的滑动触点,等效并联支路的阻抗随之改变。当然,模和幅角互有影响,测量前必须耐心地反复进行调试,才能获得较好的效果。

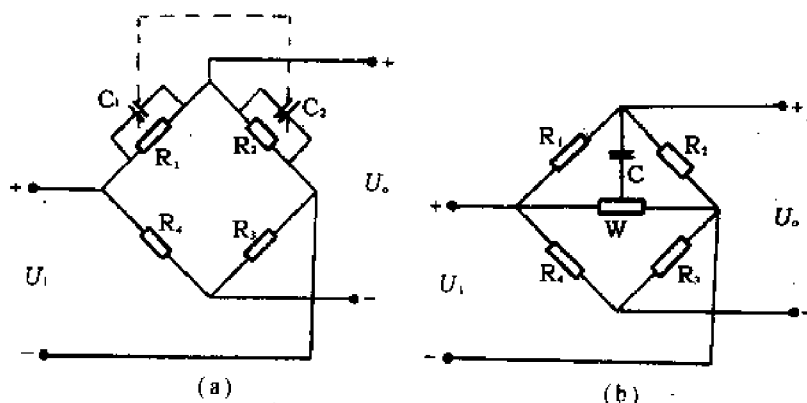


图 2-7 电容调零电路
(a)差动电容式 (b)阻容式

三、电桥电路的温度补偿

在实际应用中,除了应变会导致应变片电阻变化外,环境温度的变化也会引起应变片的电阻变化,给检测带来误差,因此有必要进行温度补偿以消除这种误差。下面介绍两种较为常用的温度补偿方法。

(一)差动电路法

如前所述,直流电桥工作时,若将相同温度系数的两个或四个应变片组成双臂(相邻)或四臂工作方式的差动电路(应变片相对于中性层对称粘贴),此时既可提高灵敏度,又能进行温度补偿。

检测如图 2-8 所示的纯弯曲试件时,可采用四个相同的应变片按图示方向粘贴并接成四臂工作方式。图中应变片 1、3 贴于一侧,2、4 贴在对称于中性层的另一侧,感受的应变与 1、3 性质相反。当试件受力并有温度变化时,各桥臂电阻变化率为:

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)\epsilon + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)t \quad (2-21)$$

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = -\left(\frac{\Delta R}{R}\right)\epsilon + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)t \quad (2-22)$$

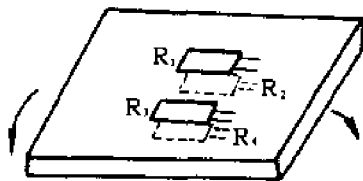


图 2-8 四臂桥路温度补偿示意图

式中: $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)\epsilon$ ——由应变引起的电阻变化;

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)t$ ——由温度变化引起的电阻变化。

将式(2-21)、(2-22)代入式(2-11)可得:

$$U_o = 4\left[\frac{U_i}{4}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)\epsilon\right] = U_i\left(\frac{\Delta R}{R}\right)\epsilon$$

上式表明温度影响被消除,从而减小了测量误差。这种温度补偿方法在检测中经常采用。

(二)热敏电阻法

如图 2-9 所示,在桥路工作电源回路中串联一个具有正温度系数的热敏电阻 R_t ,就可起到温度补偿作用。其原理如下:假设 R_1 、 R_2 为应变片,并感受的应变性质相反,当温度升高时, R_1 总的电阻相对变化值增大,而 R_2 总的电阻相对变化值也增大,两者之和使输出电压增加,出现了测量误差。当有热敏电阻 R_t 存在时,温度升高使 R_t 阻值增大,在输入电压 U_i 不变的条件下,桥路实际工作电压减小,使输出电压相应降低,从而对温度变化引起的输出升高起到了抵消作用。为了提高检测精度,应尽量将 R_t 靠近应变片,力求使两者环境温度相同。

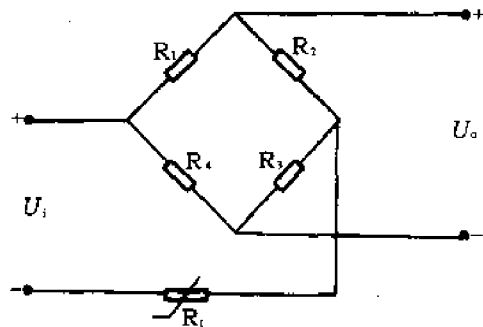


图 2-9 热敏电阻温度补偿示意图

第三节 电阻应变式传感器的应用

电阻应变式传感器中电阻应变片的应用可分两大类:一类是电阻应变仪,它是直接将

应变片粘贴在被测试件元件上,然后再将其接到应变仪的测量电路中,这样就可以直接

从应变仪上读到相应的被测非电量的应变值；一类是将应变片粘贴在弹性敏感元件上，如等截面轴、等截面环、悬臂梁、波纹管等。所谓弹性敏感元件是指作用外力去掉后能完全恢复其原来形状和尺寸的元件，它是很多传感器的核心部分，能将感测到的各种形式的非电量转变为应变，然后由应变片作为传

感元件将应变转化为电阻的变化，再通过测量电路进行检测，这样就可以组成各种专用的应变式传感器。图 2-10 所示为常用的弹性敏感元件(a)、(b)、(c)、(d)、(e)，它们分别为实心轴、空心轴等强度悬臂梁、等截面环和波纹管。下面将主要介绍后一类应用的一些实例。

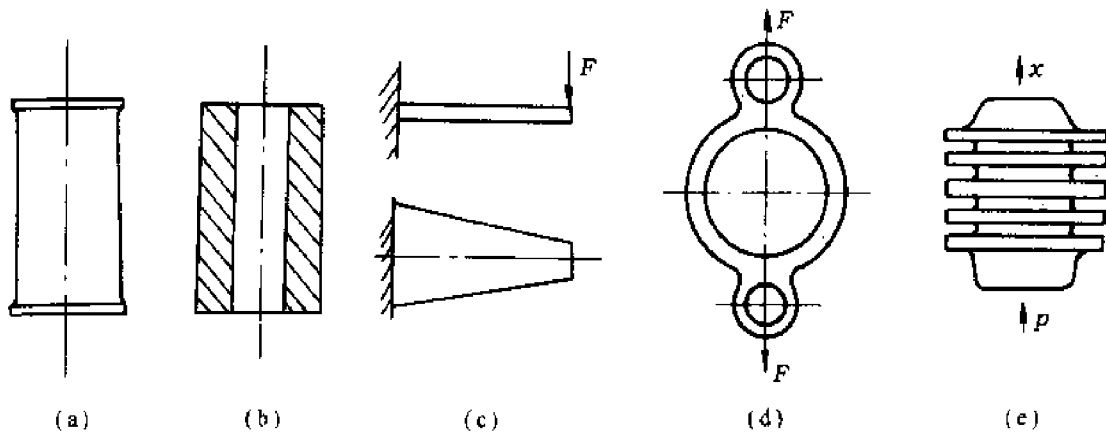


图 2-10 常用弹性敏感元件示意图

一、电阻应变式力传感器

应变式力传感器是测量拉伸力、压缩力、弯曲和扭矩等各种力和荷重的传感器，主要作为材料试验机和各种电子秤的测力元件。根据弹性敏感元件的不同形状，可制成柱式、环式和悬臂梁式等测力和荷重传感器。如图 2-11 和 2-12 所示，分别为柱式传感器与悬臂梁式传感器示意图。

面轴，其特点是结构简单、加工方便，但灵敏度低，多用于载荷较大的场合，最大量程可达 10^7N 。等截面轴也常制成空心型，以提高轴的抗弯能力。

设轴的截面积为 S 、材料弹性模量为 E 、泊松比为 μ ，四个特性相同的应变片贴在轴的外表面，并接成四臂工作方式，当轴承受轴向拉力(或压力) F 时，轴向及径向应变分别为

$$\epsilon_1 = \frac{F}{SE} \tag{2-23}$$

$$\epsilon_r = \mu\epsilon_1 = -\mu \frac{F}{SE} \tag{2-24}$$

传感器的输出电压为

$$U_o = \frac{U_i}{4} K_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \tag{2-25}$$

图 2-11 中应变片 1、3 感受的是轴向应变，即 $\epsilon_1 = \epsilon_3 = \epsilon_1$ ；2、4 感受的是径向应变，即 $\epsilon_2 = \epsilon_4 = \epsilon_r$ ，将这些关系代入式(2-25)，可得：

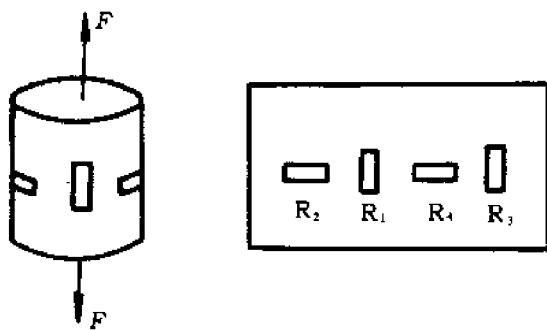


图 2-11 柱式力传感器示意图

在柱式力传感器中，弹性元件多为等截

$$U_o = \frac{U_i}{2} K_0 (1 + \mu) \epsilon_1 = \frac{U_i}{2} K_0 (1 + \mu) \frac{F}{SE} \quad (2-26)$$

式(2-26)表明,输出电压 U_o 正比于力 F , 由此实现了对被测量力的转换。

悬臂梁式力传感器中的弹性元件为等截面悬臂梁,其灵敏度高,但承载能力小,多用于较小力的测量。设梁的截面厚度为 δ 、宽度为 b ,总长度为 l_0 ,当力 F 作用于悬臂梁的自由端时,如图 2-12 所示,则在距固定端 l 处的应变为:

$$\epsilon_1 = \frac{b(l_0 - l)}{Ebd^2} F \quad (2-27)$$

显然,应变大小与应变片粘贴位置有关,最大应变产生在梁的固定端。

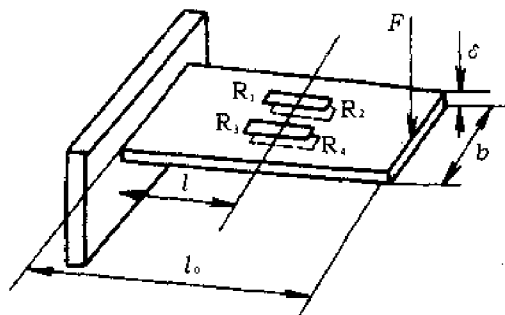


图 2-12 悬臂梁式力传感器示意图

二、应变式加速度传感器

加速度传感器实质上是一种力的检测装置,它通过质量弹簧的惯性系统将加速度转换为力,然后再作用于弹性元件上,其结构原理如图 2-13 所示。它由质量块 1、等截面悬臂梁 2、基座 3 和应变片 4 等主要部件组成。测量时,将该装置固定在被测物体上,当被测物体以加速度 a 运动时,质量块受到一个与加速度方向相反的惯性力 $F(F = ma)$ 作用,使悬臂梁产生弯曲变形,根据梁上粘贴的应变片的变形便可测出力的大小,在已知 m 的情况下可算出被测加速度的大小。

三、应变式纱线张力传感器

如图 2-14 所示是纺织业上使用较普通

的一种纱线动态张力仪的传感器结构示意图,其中 1 为悬臂梁的自由端,上压纱线,左有固定的压纱导柱 2,右有位置偏离轴线的托纱导柱 3。当纱线运动时,纱线张力 T 使悬臂梁受到作用力 F ,粘贴在梁上的应变片将 F 引起的应变转换为电阻值的变化,再经测量电路处理后,由显示记录仪进行现场显示或绘出动态张力变化曲线。为了提高传感器的灵敏度,应变片多采用半导体应变片,悬臂梁用硬铝材料,其固有频率远大于纱线张力的变化频率,使测量动态张力时具有较高的精度。

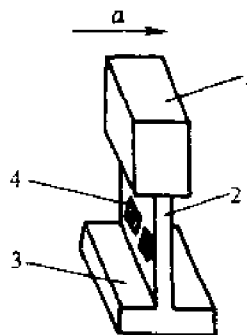


图 2-13 加速度传感器结构示意图

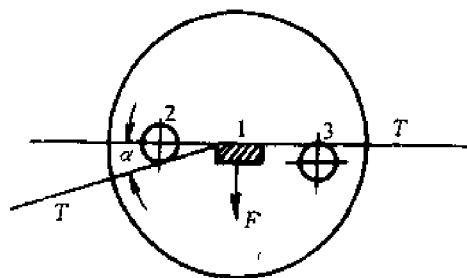


图 2-14 纱线动态张力仪传感器结构示意图

四、电子秤

电阻应变式传感器在电子衡器中的应用也很广泛,如商用电子秤、电子汽车秤、电子容器秤、电子皮带秤等。下面以电子皮带秤为例作简单介绍。

电子皮带秤是一种能连续称量散装颗粒物料(如水泥、煤炭、矿石等)重量的装置。它不仅称出某一瞬间输送皮带上的物料重

量,而且还可以称出某段时间内输送的物料总重量,其测量原理框图如图 2-15 所示。图中称量传感器通过秤架可直接感受秤量段 l 上的物料重量 $W(t)$, 称量传感器对应的输出信号经放大后为电压值 U_1 , 测速传感器经 F/U 转换器将皮带的速度 $v(t)$ 也转换为电压值 U_2 , 再经乘法器处理后即得到皮带在单位时间内的输送量 $Q(t)$, 它们之间

的关系为:

$$Q(t) = \frac{W(t) \cdot v(t)}{l} \quad (2-28)$$

将此重量通过积分器积分即可得到在 $0 \sim t$ 段时间内的物料总重量 $G(t)$ 。

$$G(t) = \int_0^t Q(t) dt \quad (2-29)$$

通过显示器可将该重量显示出来。

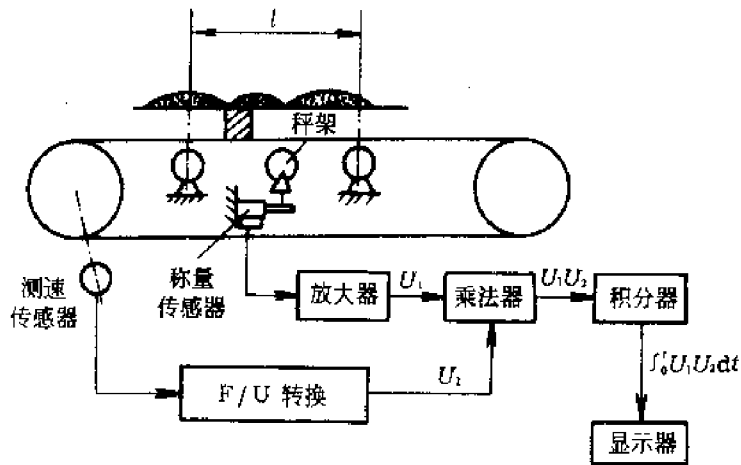


图 2-15 电子皮带秤测量原理框图

思考题与习题:

1. 何谓电阻应变效应? 试利用应变效应解释金属电阻应变片的工作原理。
2. 试说明应变片的差动电路法温度补偿原理。

3. 简要说明应变式加速度传感器的工作原理。
4. 有一测量吊车起吊物重量的拉力传感器如图 2-16 所示。 R_1, R_2, R_3, R_4 贴在等截面轴上。已知轴的截面积为 0.00196mm^2 , 弹性模量 E 为 2×10^{11}

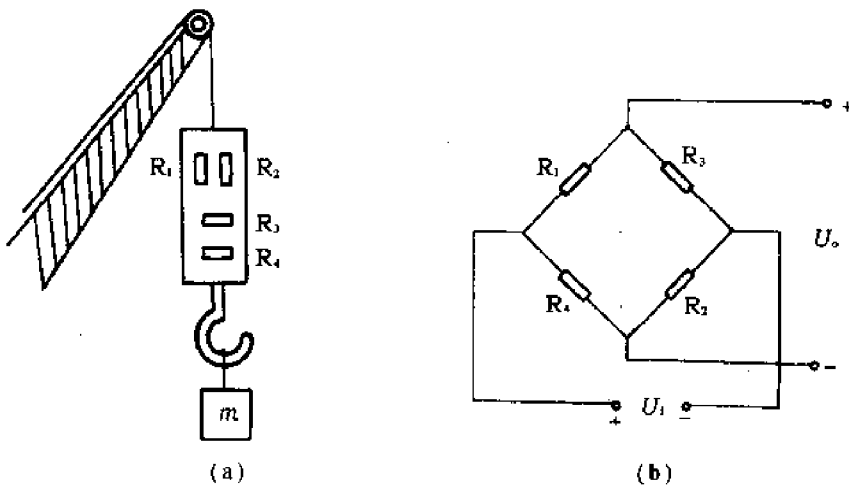


图 2-16 测量吊车起吊重物的拉力传感器示意图

N/m^2 , 泊松比为 0.3。 R_1, R_2, R_3, R_4 的标准电阻值均为 120Ω , 灵敏度为 2.0, 它们组成全桥, 桥路输入

电压为 2V, 测得输出电压为 2.6mV。求: (1) 等截面轴的轴向应变及径向应变。(2) 重物 m 有多少吨?

第三章 电容式传感器

电容式传感器能将被测非电量的变化转换成电容量的变化,然后通过测量变化的电容值达到检测非电量的目的。实质上,这种传感器就是一个可变参量的电容器。由于电

容式传感器具有结构简单、灵敏度高、动态特性好等一系列优点,目前在检测技术中广泛应用于位移、振动、角度、加速度、压力等非电量的测量。

第一节 电容式传感器的工作原理与结构形式

电容式传感器的基本工作原理可用图3-1所示的平板电容器加以说明。若忽略平板电容器边缘效应的影响,其电容值为

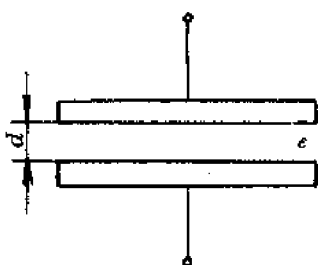


图3-1 平板电容器示意图

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3-1)$$

式中: S ——两极板相对面积;

d ——极板间距;

ϵ_r ——介质的相对介电常数;

ϵ_0 ——真空介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{Fm}^{-1}$;

ϵ ——电容极板间介质的介电常数。

由式(3-1)可知,在 S 、 d 、 ϵ 三个参数中,只要改变其中一个,而保持其余两个不变,均可使电容量改变,这就是电容式传感

器的基本工作原理。实际应用中,电容式传感器也因此分为三种类型:改变极板距离的变极距型传感器;改变极板相对面积的变面积型传感器;改变介质类型的变介电常数型传感器。

一、变极距型电容式传感器

这种类型的电容式传感器的原理如图3-2所示,图中1为静止的极板,称为定板,2为与可动被测物相连的极板,称为动板。极板面积为 S ,初始极板间距为 d_0 ,当动板向定板方向移动 Δd 后,极距就变为 $d_0 - \Delta d$,此时电容器容量为:

$$C = \frac{\epsilon S}{d_0 - \Delta d} \quad (3-2)$$

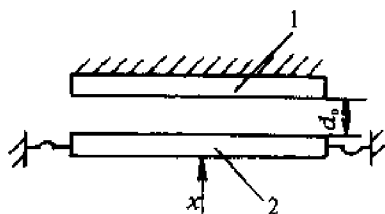


图3-2 变极距型电容式传感器

将式(3-2)变换并化简:

$$C = \frac{\epsilon S}{d_0 - \Delta d} = \frac{\epsilon S}{d_0(1 - \frac{\Delta d}{d_0})} = \frac{\epsilon S(1 + \frac{\Delta d}{d_0})}{d_0[1 - (\frac{\Delta d}{d_0})^2]}$$

当 $\Delta d \ll d_0$ 时有:

$$C = \frac{\epsilon S}{d_0} (1 + \frac{\Delta d}{d_0}) = C_0 (1 + \frac{\Delta d}{d_0}) \quad (3-3)$$

式中 C_0 为动板静止时的初始电容值。

从式(3-3)可看出,当动板位移 Δd 远小于极板间距 d_0 时, C 与 Δd 呈近似的线性关系,其灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C - C_0}{\Delta d} = \frac{C_0(\Delta d/d_0)}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0} = \frac{\epsilon S}{d_0^2} \quad (3-4)$$

式(3-4)表明灵敏度 K 受到 d_0 的限制。若减小 d_0 , 灵敏度 K 会提高,但同时又受到电容器击穿电压的牵制,不可以很小。在实际应用中,为提高灵敏度 K , 往往采用差动结构的可变极距型电容式传感器,如图 3-3 所示。

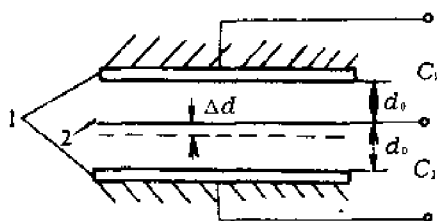


图 3-3 差动结构可变极距型电容式传感器

图中 1 为定板, 2 为动板。当动板向上或向下移动 Δd 后, 两电容将有一个增大, 一个减少, 且有相同的变化量。设动板向下移动 Δd , 则定板与动板间的电容 C_1 与 C_2 分别为:

$$C_1 = \frac{\epsilon S}{d_0 + \Delta d}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon S}{d_0 - \Delta d}$$

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{2\epsilon S \Delta d}{d_0^2 - \Delta d^2}$$

当 $\Delta d \ll d_0$ 时有:

$$\Delta C = \frac{2\epsilon S \Delta d}{d_0^2}$$

灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{2\epsilon S}{d_0^2} = \frac{2C_0}{d_0} \quad (3-5)$$

式(3-5)表明,采用差动结构后,传感器的灵敏度在理论上比原来提高了一倍,转换特性的线性也得到了改善。

在实际应用中,当输入的非电量为直线距离时,传感器的一个极板通常就是被测金属物体的一个局部表面,但适用面窄,一般说来,变极距型用于微小的线位移测量。

二、变面积型的电容式传感器

变面积型电容式传感器有角位移型和线位移型两种。相应的结构示意图如图 3-4 所示。

图 3-4(a)所示为角位移型示意图, 1 为定板, 2 为动板。当动板相对于定板转动 $\Delta \theta$ 角后, 两极板间相对面积就发生了变化, 输出电容值也随之变化。当 $\Delta \theta = 0$ 时有:

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{d_0}$$

当 $\Delta \theta$ 角不为零时, 则有:

$$C = \frac{\epsilon S(1 - \frac{\Delta \theta}{\pi})}{d_0} = C_0(1 - \frac{\Delta \theta}{\pi})$$

$$\Delta C = C_0 - C = \frac{\Delta \theta}{\pi} C_0$$

灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta \theta} = \frac{C_0(\Delta \theta/\pi)}{\Delta \theta} = C_0/\pi \quad (3-6)$$

这种型式的传感器, 电容值 C 的变化与角位移成线性关系, 线性度好, 灵敏度为 C_0/π , 是一个常数。

图 3-4(b)所示为线位移型示意图, 1 为定板, 2 为动板, 当动板相对定板移动距离 Δx 后, 两极板间相对面积就发生了变化, 输出电容值也随之变化。当 $\Delta x = 0$ 时有:

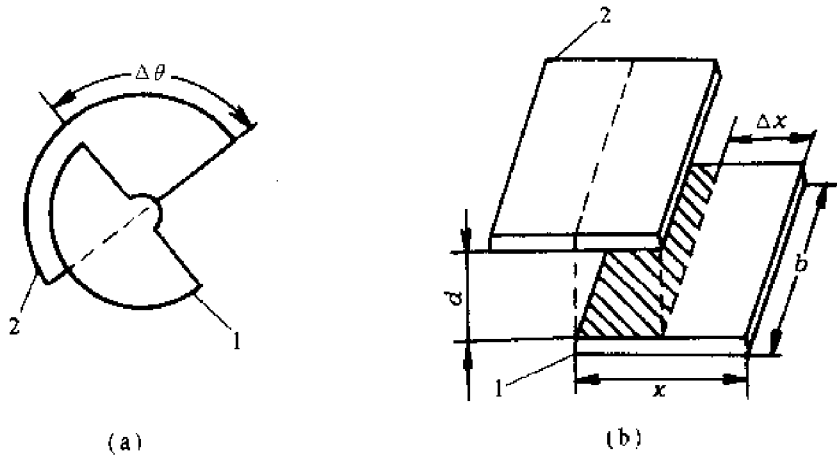


图 3-4 变面积型电容式传感器

(a)角位移型 (b)线位移型

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{d_0} = \frac{\epsilon x b}{d_0}$$

当 Δx 不为零时, 则有

$$C = \frac{\epsilon(x - \Delta x)b}{d_0} = C_0 - \frac{\epsilon \Delta x b}{d_0} = C_0 - \frac{\epsilon b}{d_0} \Delta x$$

$$\Delta C = C_0 - C = \frac{\epsilon b}{d_0} \Delta x$$

灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_0 - C}{\Delta x} = \frac{\epsilon b}{d_0} \quad (3-7)$$

这种型式的传感器, 电容值 C 的变化与线位移的变化也成线性关系, 灵敏度也是一个常数, 其值为 $\epsilon b/d_0$ 。在实际使用中, 变面积型一般用于角位移的测量或较大线位移的测量。为提高灵敏度, 可适当减小 d_0 , 增加 b 值。

三、变介电常数型电容式传感器

前面讨论的变极距与变面积型传感器没有考虑介质情况, 都认为在空气介质下。当

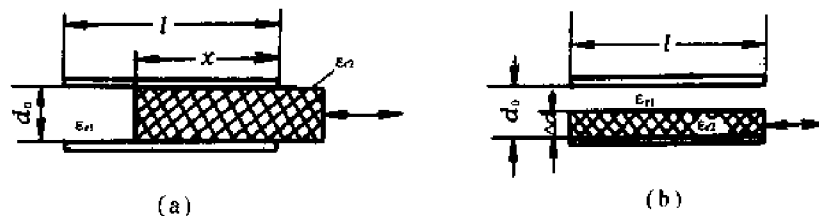


图 3-5 变介电常数型电容式传感器

加入不同介质后, 由于介电常数不同也会使电容量发生变化, 这就是变介电常数型电容式传感器的工作原理, 如图 3-5 所示。(a) 图中两极板间有空气介质与固体介质, 相对介电常数分别为 ϵ_{r1} 与 ϵ_{r2} 。

相对介电常数为 ϵ_{r1} 的电容值为:

$$C_1 = \frac{b(l-x)\epsilon_0\epsilon_{r1}}{d_0}$$

相对介电常数为 ϵ_{r2} 的电容值为:

$$C_2 = \frac{x b \epsilon_0 \epsilon_{r2}}{d_0}$$

整个电容器的电容值为:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{b(l-x)\epsilon_0\epsilon_{r1} + x b \epsilon_0 \epsilon_{r2}}{d_0} =$$

$$C_0 \left[1 + \frac{x}{l} \left(\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}} - 1 \right) \right] \quad (3-8)$$

式中: x —— 固体介质的位移量;

C_0 —— 全空气介质电容值。

式(3-8)表明, 整个电容器的电容值 C

与固体介质的位移 x 成线性关系。

(b)图中某种运动介质处于有空气介质的极板间, ϵ_{r1} 与 ϵ_{r2} 分别为空气介质与运动介质的相对介电常数。

相对介电常数为 ϵ_{r1} 的电容值:

$$C_1 = \frac{S\epsilon_0\epsilon_{r1}}{d_0 - \Delta d}$$

相对介电常数为 ϵ_{r2} 的电容值:

$$C_2 = \frac{S\epsilon_0\epsilon_{r2}}{\Delta d}$$

整个电容器的电容值为:

$$C = C_1 // C_2$$

可推导出:

$$C = C_0 \frac{1}{1 + \frac{\Delta d}{d_0} \left(\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}} - 1 \right)} \quad (3-9)$$

式中: Δd ——运动介质的厚度;

b ——极板宽度;

C_0 ——全空气介质电容值。

实际应用中, 这类电容传感器常用于固体或液体的物位测量以及各种介质的湿度与密度的测定, 在纺织生产上用于检查纱疵等。

如图 3-6 所示为一些电容式传感器的原理结构形式。其中(a)和(b)为变极距型; (c)、(d)、(e)和(f)为变面积型; (g)和(h)为

变介电常数型。图中(a)和(b)是线位移传感器; (f)为角位移传感器; (b)、(d)和(f)是差动式传感器。

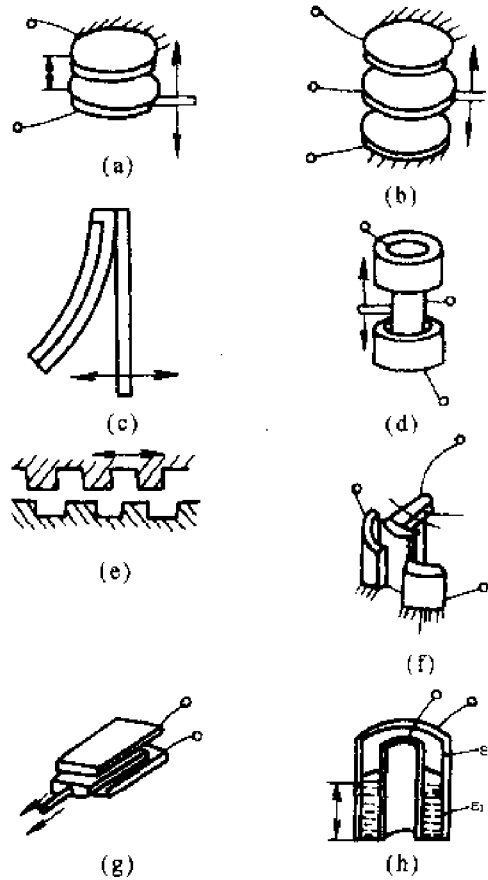


图 3-6 几种不同的电容式传感器原理结构图

第二节 电容式传感器的转换电路

电容式传感器的电容变化量非常小, 必须借助于转换电路转换后才能进行测量。电容式传感器的转换电路主要有电桥电路、谐振电路、脉冲调宽电路与双 T 型充放电电路等。

一、电桥电路

电桥电路如图 3-7 所示, 一般包括传感器在内, C_1 、 C_2 为差动接法的变极距型传感器电容。电桥用稳幅稳频和固定波形的低阻

电压原加以激励。电桥电路的平衡条件为:

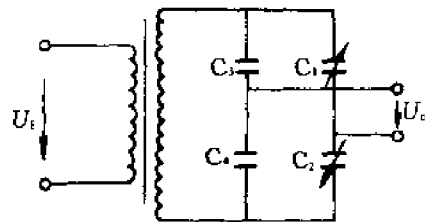


图 3-7 电桥电路

$$\frac{Z_1}{Z_1+Z_2} = \frac{C_1}{C_1+C_2} = \frac{d_2}{d_1+d_2}$$

式中 d_1, d_2 为 C_1, C_2 相对应的极距, 当中心极板移动 Δd 后, 电桥失去平衡, 输出 U_o 不等于零。

$$U_o = \left(\frac{Z_1}{Z_1+Z_2} - \frac{d_2+\Delta d}{d_1+d_2} \right) U_i$$

在实际测量中, Z_1, Z_2 常用阻抗相等的电阻、电感或电阻、电容桥臂。若采用如图 3-8 所示的中心抽头接地的变压器式电桥电路, 则有:

$$U_o = \left(\frac{1}{2} - \frac{d_0+\Delta d}{2d_0} \right) U_i = \frac{\Delta d}{2d_0} U_i = \frac{\Delta C}{2C_0} U_i \quad (3-10)$$

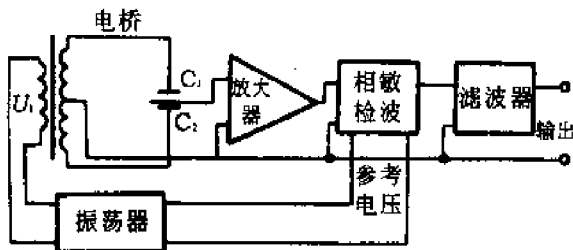


图 3-8 电桥电路

式(3-10)表明电容电桥的输出电压与电容值的变化成线性关系。

另一种常用的电桥电路是紧耦合(百分之百耦合)电桥电路, 如图 3-9 所示, 它由两个差动接法的传感器电容 $C_0 + \Delta C, C_0 - \Delta C$

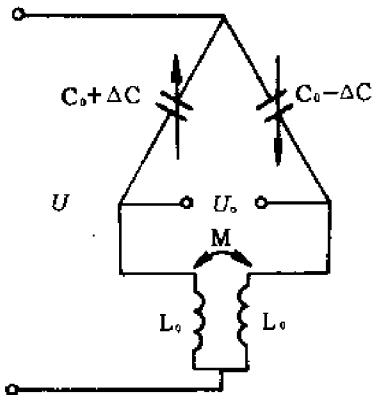


图 3-9 紧耦合电桥电路

和两个固定的紧耦合电感线圈 L_0 组成。与一般电桥电路相比, 它的灵敏度高, 输出特性好。

二、谐振电路

谐振电路的原理框图如图 3-10 所示。 L_2, C_2, C_3 组成谐振回路, 通过电感耦合, 从振荡器取得振荡电压。电容传感器电容 C_3 是谐振回路调谐电容的一部分, 当 C_3 发生变化时, 谐振回路阻抗就发生相应的变化, 而这个变化经整流放大后即可得出输出量的大小。

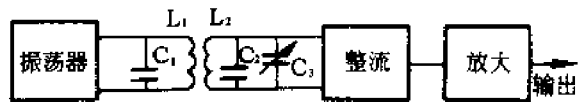


图 3-10 谐振电路框图

为了获得较好的线性关系, 一般谐振电路的工作点选在谐振曲线一边最大振幅 70% 附近, 且工作范围在 BC 段内。如图 3-11 所示。

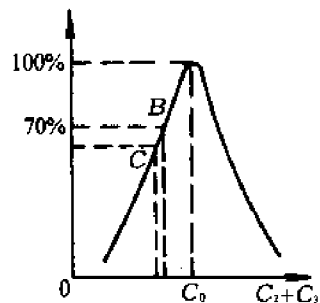


图 3-11 谐振电路工作特性

灵敏度高是谐振电路的最大优点, 这是因为在工作点附近谐振曲线的斜率大, 但此电路也有几点不足:

(1) 工作点不易选, 变化范围较窄, 给检测带来不便。

(2) 传感器与谐振回路距离要尽可能近, 否则杂散电容较大, 影响测量精度。

(3) 振荡器的频率稳定性要尽可能高, 否则会产生测量误差。

三、脉冲调频电路

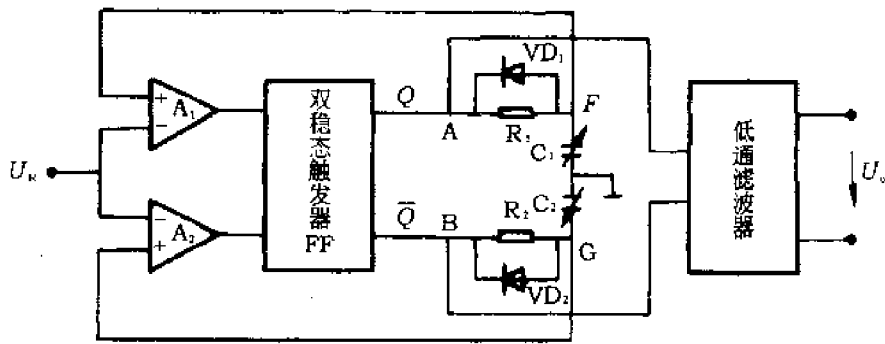


图 3-12 脉冲调宽电路

脉冲调宽电路如图 3-12 所示, C_1 、 C_2 为传感器差动电容。

A_1 、 A_2 为电压比较器, 双稳态触发器 FF 由 SR 基本触发器构成, R_1 、 R_2 、 VD_1 、 VD_2 构成充放电回路。一般 $R_1 = R_2$, VD_1 、 VD_2 特性相同。

当 SR 触发器的 Q 端即 A 点输出为高电平时, C_1 通过 R_1 被充电, 而此时 SR 触发器的 \bar{Q} 端即 B 点输出为低电平, C_2 通过 VD_2 迅速放电, G 点被箝位在低电平, 直至 C_1 充电使 F 点电位超过参考电压 U_R 时, 比较器 A_1 产生一脉冲, 使 SR 触发器翻转, Q 端(A 点)输出变为低电平, \bar{Q} 端(B 点)输出变为高电平。G 点电位因 C_1 充电而升高, 当 G 点电位超过 U_R 时, A_2 产生一脉冲又使 SR 触发器翻转一次。A 点重新变为高电平, B 点回到低电平, 如此周而复始, 在 SR 触发器两端各自产生一宽度受 C_1 、 C_2 影响的脉冲波形。当 $C_1 = C_2$ 时, 电路上各点电压波形如图 3-13 所示, 输出电压 U_o 为零。但当 C_1 、 C_2 不相等时, 如 $C_1 = C_0 + \Delta C$ 、 $C_2 = C_0 - \Delta C$ 时, C_1 、 C_2 的充放电时间常数就发生变化, 电压波形发生变化, 输出 U_o 不为零, 当 AB 间的矩形电压经低通滤波器滤波后, 获得的输出电压的平均值为:

$$U_o = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} U_1 \quad (3-11)$$

式中: T_1 ——电容 C_1 的充电时间;

T_2 ——电容 C_2 的充电时间;

U_1 ——FF 输出的高电平(方波的幅值)。

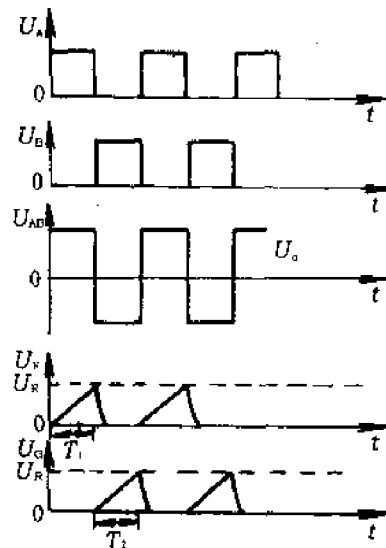


图 3-13 脉冲调宽电路工作波形

由式(3-11)可知, 由于 U_1 值是不变的, U_o 值只与 T_1 、 T_2 有关, 从而实现了脉冲调宽。 T_1 、 T_2 与 C_1 、 C_2 的关系如下:

$$T_1 = R_1 C_1 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_R}$$

$$T_2 = R_2 C_2 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_R}$$

从而得出:

$$U_o = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} U_1 = \frac{2\Delta C U_1}{2C_0} = \frac{\Delta C}{C_0} U_1 \quad (3-12)$$

如果差动电容是变极距型的, 则式(3-12)可

变换为:

$$U_o = \frac{\Delta d}{d_0} U_1 \quad (3-13)$$

如果差动电容是变面积型的, 则式(3-12)可变换为:

$$U_o = \frac{\Delta S}{S_0} U_1 \quad (3-14)$$

脉冲调宽电路应用极为广泛, 主要有如下几个优点:

- (1) 输出电压与被测位移量成线性关系。
- (2) 调宽频率的变化对输出没有影响。
- (3) 对电路元件无线性要求。

四、双 T 型充放电电路

双 T 型充放电电路如图 3-14 所示; 其中 E 为方波激励电源, C_1 、 C_2 为传感器差动电容。此电路因 C_1 、 VD_1 、 R_1 与 C_2 、 VD_2 、 R_2 分别构成 T 型充放电电路, 故得名为双 T 型充放电电路。电路中 VD_1 与 VD_2 特性相同, R_1 与 R_2 阻值相等, $R_1 = R_2 = R_0$, $C_1 = C_2 = C_0$ 。

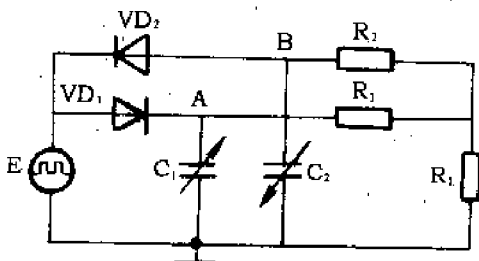


图 3-14 双 T 型充放电电路

当电源在正半周时, VD_1 导通, C_1 充电。当电源在负半周时, VD_1 截止, C_1 经 R_1 负载电阻 R_L 和 R_1 、 R_2 、 VD_2 放电, VD_2 导通, C_2 充电。在下一个正半周时, C_1 又被充电, 而 C_2 经 R_L 、 R_2 和 VD_1 、 R_1 、 R_2 放电。放电时间常数为:

$$\tau = C_0 \left(R_0 + \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L} \right)$$

当 $e^{-T/2\tau} \ll 1$ 时, 可推导出负载上的平均电压为:

$$U_o = \frac{EfR_0R_L(C_1 - C_2)}{R_0 + R_L} \quad (3-15)$$

当差动电容容量发生变化时, 即 $C_1 = C_0 + \Delta C$ 、 $C_2 = C_0 - \Delta C$ 时, 则有:

$$U_o = 2Ef \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L} \Delta C \quad (3-16)$$

式中: E ——方波激励电源电压幅值;

f ——方波激励电源的频率。

由于 $\Delta C = Kx$ (K 为比例系数, x 为被测非电量), 则有:

$$U_o = 2EfK \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L} x \quad (3-17)$$

输出电压较高并有较好的线性度是该电路的主要优点, 但不足的是由于灵敏度与 f 、 E 成正比, 故要求方波激励电源不但要稳频稳幅, 而且要高频高幅。

第三节 电容式传感器的特点及应用

一、电容式传感器的特点

电容式传感器的应用非常广泛, 它不仅可应用于位移、振动、角度、加速度等量的测量, 还可用于压力、液面、成分含量等方面的测量。纺织生产中常用于检测纤维层或纱线捻度的变化, 这主要是由于电容式传感器有着如下的一些特点:

(1) 结构简单, 基本结构就是一平板电容器。

(2) 适应性强, 能在高温、低温、强辐射、强振动下工作。

(3) 动作能量低, 电板间的静电引力小, 较小的作用力可获得较大的电容变化。

(4) 动态响应快, 电容器动片质量轻, 动

态响应快。

(5)可进行非接触测量,这一点对纺织量测量非常有用。

二、使用电容式传感器的注意事项

(一)非线性问题

电容式传感器的电容值与其极板间距具有双曲线的特性,呈非线性关系,这一点在使用中应加以注意,以免产生较大的测量误差。当极板间距很小时,电容值与极板间距间线性关系较好,但电容有被击穿的危险,在实际使用时应使极板间距为一适当的值以兼顾灵敏度。

(二)分布电容问题

电容式传感器的电容值都很小,一般在皮法级,连接线产生的分布电容其数值也在皮法级,从而会影响测量精度,因此要求传感器与转换电路之间的连接线选用自身分布电容极小的高频电缆,并尽量缩短传感器到转换电路间的距离,有条件时可以将传感器、连接线、转换电路整体屏蔽。

三、电容式传感器的应用

(一)电容式加速度传感器

如图3-15所示为一种空气阻尼的电容式加速度传感器原理结构图,电容传感器接成差动结构。有两个固定极板1,两极板间有一用弹簧2支撑的质量块3,此质量块的两个端平面经过磨平抛光后作为可动极板。在传感器测量垂直方向上的直线加速度时,由于质量块的惯性力 $F(F=ma)$ 的作用,使

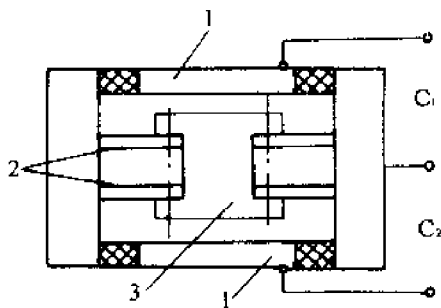


图 3-15 电容式加速度传感器结构示意图

其与两极板产生位移,此时,上下两个电容一个增大,一个减少,使传感器有一个差动的电容变化量输出,从而检测出加速度 a 值。

(二)电容式油量表

电容式油量表可用来测量油箱液位,其结构如图3-16所示,置于油箱中的传感器电容 C_x 为电桥转换电路的一桥臂电容。当油箱中无油时,传感器电容值为 C_{x_0} ,调节匹配电容 C ,使其值与 C_{x_0} 相等,并调节可变电阻 W 的滑动臂位于零点,使电桥处于平衡状态,此时电桥输出为零。伺服电动机由于无励磁电压而不会转动,故油量表指针不会偏转, $\Delta\theta=0$ 。当油箱中有油,假设液位高度为 h ,油箱中的传感器电容由于其极板间部分区域介质的变化,使其电容值增大 ΔC_x , $C_x=C_{x_0}+\Delta C_x$ 。由式(3-8)可知, ΔC_x 与 h 成正比。电桥失去平衡后的输出电压,经放大后驱动伺服电动机转动,从而带动油量表指针偏转,同时带动 W 的滑动臂,使其阻值增大。当 W 阻值达到一定值时,电桥又达到新的平衡,于是伺服电动机停转,油量表指针则停留在转角 $\Delta\theta$ 处,从而可以从刻度盘上读出油箱液面高度 h 值。

(三)电容测厚仪

测量原理如图3-17所示,电容式测厚仪是用来测量物体厚度的仪器。(a)图用于测量金属物体的厚度;(b)图用于测量非金属物体的厚度。(a)图中被测金属置于检测电容两极板中间位置,构成两个容量相等的电容器。当被测金属厚度变化时,会引起电容量的变化。(b)图中检测电容中原是空气介质,当被测物进入两极板后,会引起电容量的变化。

(a)、(b)两图中电容量发生的变化,经过交流电桥检测并放大后,即可由显示器显示出被测物的厚度变化,或在记录器上记录下被测物的厚度变化。

当然被测非金属物体可以是纤维与纱

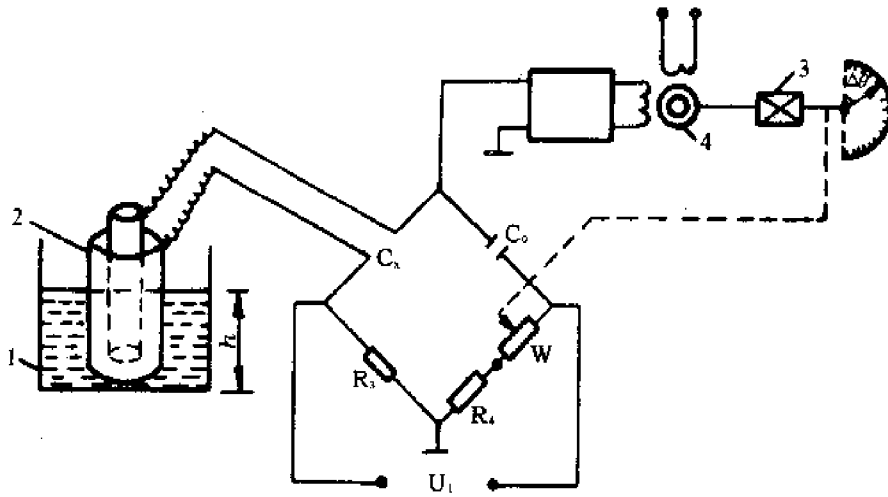


图 3-16 电容式油量表示意图

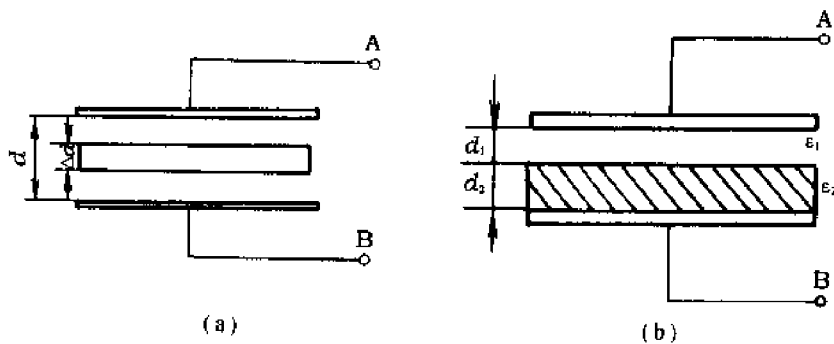


图 3-17 电容测厚仪原理图

线,因而电容测厚仪可以用来检测纤维层与纱线厚度的变化。由此也就出现了用于测量纱条不匀的电容式均匀度测试仪、电容式电子清纱器以及梳棉机和并条机上的自调匀整装置等。

(四)GY-81 均匀度仪

如图 3-18 所示为 GY-81 均匀度仪测量头线路原理图,本电路采用谐振式转换电路,检测电容通过电感 L_1 、 L_0 反射到次级,和次级 C_1 、 C_2 、 C_3 及 C_6 、 C_7 、 R_3 、 R_4 构成谐振回路,而这一回路又与 VD_1 、 VD_2 和 C_4 、 C_5 、 R_1 、 R_2 等元件构成相位检波器,由 T 所组成 27MHz 左右的石英振荡器所产生的高频电压从 L_3 两端送出,成为两组相位相反的高频电源用为载波。

仪器无纱条喂入时,整个回路处于谐振状态,输出电压为零。当检测电容中喂入纱条时,电容量增大,形成次级反射电感量增大,使电路工作在失谐状态,从而有电压信号输出,此值基本上与检测电容两极板中的纱线量成正比。此电压信号经放大后可显示出来,从而测试出纱条的均匀度情况。

(五)电容式电子清纱器

电子清纱器是用于纺织工业络筒工序中的清纱设备,在现代纺织生产中必不可少。电子清纱器不仅能够提高纱线质量,而且还可以监督前道工序的质量和提高了后道工序的劳动生产率。

QS-6 型多功能电子清纱器是具有短粗节、长粗节、细节三大功能的电容式清纱

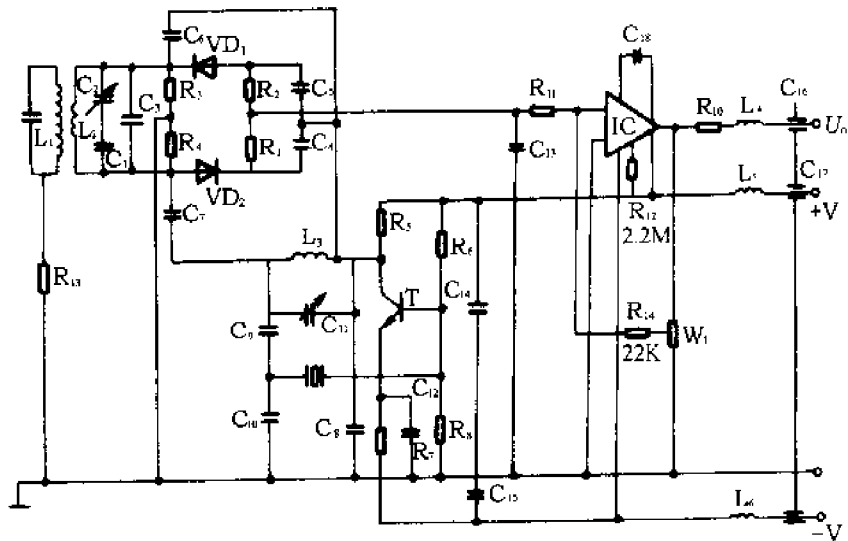


图 3-18 均匀度仪测量头线路原理图

器,可广泛用于棉、毛、绢、化纤等纺织厂清除纱线有害纱疵,其清除特性曲线及纱疵分级表(样照)均与国际通用 USTER 电容清纱器标准相同。

QS-6 型电子清纱器检测器的作用是对纱疵体积增量(重量)实现电信号线性转换。见图 3-19 所示。当纱线进入检测电容

后,电容量增量与纱线充满度的关系为:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \lambda \quad (3-18)$$

式中: C_0 ——未放入纱线时检测电容器电容量;

ΔC ——放入纱线后电容量的改变量;

ϵ ——纱线的介电系数;

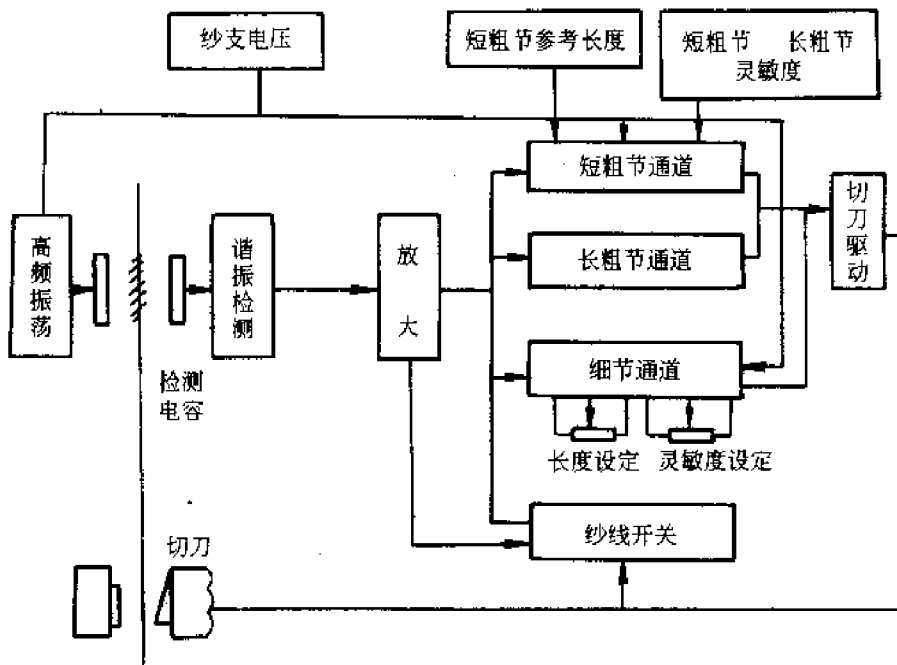


图 3-19 QS-6 型电子清纱器框图

λ ——极板介质充满度。

当 $\lambda \ll 1$ 时,式(3-18)可变换为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \lambda$$

由此证明纱疵引起的电容相对变化量与纱疵的体积成正比,在纱线比重一定时则与纱疵的重量成正比,这就是电容检测原理。

检测放大器由高频振荡、谐振检测、放大、参考长度鉴别、灵敏度鉴别、纱线开头和

切刀驱动电路等组成。当纱疵经过检测电容时,检测器将纱线截面积增量线性地转换为电脉冲信号,即纱疵脉冲信号幅度与检测电容内纱线体积增量成正比,脉冲宽度与纱疵长度相对应。该脉冲信号放大后,经设定的参考长度积分电路进行长度积分,然后按灵敏度设定值在参考长度内对纱线截面积增量鉴别,当达到临界鉴别值时,鉴别电路翻转,触发切刀驱动电路动作,将有害纱疵切除。

思考题与习题:

1. 试说明电容式传感器的基本工作原理及其分类。

2. 试说明为什么变极距型电容传感器测量位移范围小。

3. 电容式传感器的转换电路有哪几种? 它们的主要特点是什么?

4. 试说明电容式传感器的主要特点及使用注意事项。

5. 试说明电容式液位传感器的工作原理。

6. 试绘出用电容式传感器构成的粮食水分含量检测仪简图,并说明它的工作原理。

第四章 电感式传感器

电感式传感器是利用电感元件把被测非电量的变化先转换成电感的自感系数或互感系数的变化,再由转换电路转换为电压或电流信号,从而实现非电量的检测。电感传感

器具有结构简单、灵敏度高,输出功率大及测量精度高等优点,在检测技术中得到了广泛的应用,常用于位移、压力、比重及振动等非电量的检测。

第一节 自感式传感器

自感式传感器能实现被测非电量与线圈自感之间的转换,就其结构形式而言,有单线圈型和双线圈差动型两种。

一、单线圈自感传感器

(一)基本工作原理

如图4-1所示为单线圈自感式传感器原理图。单线圈自感式传感器主要由线圈1、铁芯2和衔铁3三部分构成,衔铁和铁芯之间留有气隙,当衔铁移动时,气隙长度发生变化,磁路中气隙磁阻随之改变,从而引起线圈自感系数的相应改变。因此,只要能检测

出这种自感量的变化,就可以得到衔铁位移量的值,这就是单线圈自感式传感器的基本工作原理。

设传感器中线圈匝数为 N ,气隙长度为 δ ,气隙导磁截面积为 S ,根据欧姆定律、磁路理论与电感定义可得线圈自感 L 为:

$$L = \frac{N^2 \mu_0 S}{2\delta} \quad (4-1)$$

式中: μ_0 ——空气磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/cm}$ 。

式(4-1)表明,在线圈匝数 N 确定之后,线圈自感大小与气隙长度 δ 及其导磁面积 S 有关,只要改变其中一个参数,保持另一个参数不变,就可使自感改变。单线圈自感传感器有变气隙型和变面积型两种基本类型,前者灵敏度高,但转换特性为非线性;后者转换特性线性好,但灵敏度低。下面以变气隙型传感器为例进行介绍。

(二)变气隙型自感传感器

当线圈匝数确定后,保持气隙导磁面积不变,改变气隙长度,就构成了变气隙型自感传感器。从式(4-1)可以看出,线圈自感 L

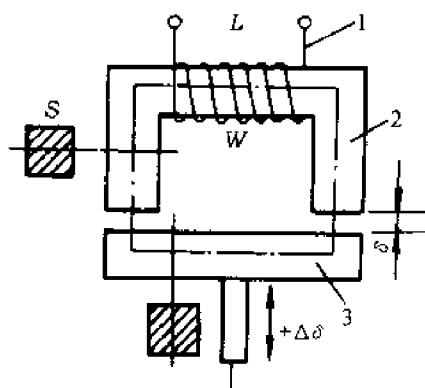


图4-1 单线圈自感式传感器原理图

与气隙长度 δ 成反比关系。图4-2所示为变气隙型自感传感器的转换特性($L-\delta$ 关系)曲线,设传感器的初始气隙长度为 δ_0 ,初始气隙导磁截面积为 S_0 ,线圈的初始自感为 L_0 。

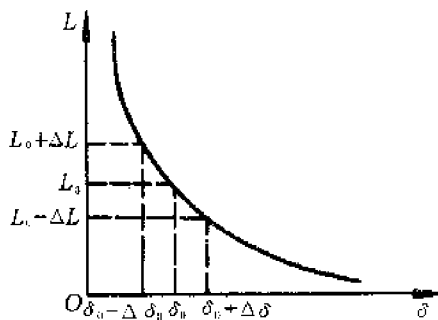


图 4-2 转换特性曲线

$$L_0 = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2\delta_0}$$

当衔铁有一个微小位移 $\Delta\delta$ 后,初始气隙减少,线圈自感变为 L 。

$$L = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2(\delta_0 - \Delta\delta)}$$

线圈的自感变化量为:

$$\Delta L = L - L_0 = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2(\delta_0 - \Delta\delta)} - \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2\delta_0} = L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0 - \Delta\delta} \quad (4-2)$$

当 $\Delta\delta \ll \delta_0$ 时,有

$$\Delta L = L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (4-3)$$

则灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = \frac{L_0}{\delta_0} = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2\delta_0^2} \quad (4-4)$$

式(4-4)表明,传感器的灵敏度与其初始气隙长度的平方值成反比。初始气隙越小,传感器灵敏度越高,转换特性就越接近为线性,但其测量范围相应越小。因此在实际应用中,常采用差动结构形式。

二、差动自感式传感器

(一)结构特点

如果两只完全对称的单线圈传感器合用的是一个活动衔铁,便构成了差动传感器,如图4-3所示。其特点是两个线圈和铁芯的几何尺寸与材料特性完全相同,线圈的参数如匝数、自感系数、电阻也完全一样。

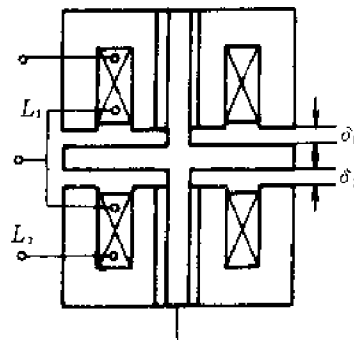


图 4-3 差动自感式传感器原理图

(二)工作原理

设衔铁处在中间初始位置时, $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$, $L_1 = L_2 = L_0$ 。当衔铁向上或向下移动 $\Delta\delta$ 后,上下两个线圈的自感量将有一个增大,一个减小,且变化量相同。设衔铁向上移动 $\Delta\delta$,则有

$$L_1 = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2(\delta_0 - \Delta\delta)}$$

$$L_2 = \frac{N^2 \mu_0 S_0}{2(\delta_0 + \Delta\delta)}$$

传感器的电感变化量为:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \frac{N^2 \mu_0 S_0 \Delta\delta}{\delta_0^2 - \Delta\delta^2} \quad (4-5)$$

当 $\Delta\delta \ll \delta_0$ 时, $\delta_0^2 - \Delta\delta^2 \approx \delta_0^2$,式(4-5)可变换为:

$$\Delta L \approx \frac{N^2 \mu_0 S_0 \Delta\delta}{\delta_0^2} = 2L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (4-6)$$

传感器的灵敏度为:

$$K = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = \frac{2L_0}{\delta_0} \quad (4-7)$$

式(4-6)表明,差动式自感传感器同样可以实现位移到自感的转换,但其性能与单线圈自感传感器相比有了许多改善。一是减小了传感器转换特性的非线性程度,如图

4-4所示为差动式自感传感器的转换特性曲线:二是提高了传感器的灵敏度,式(4-7)表明,差动式自感传感器的灵敏度理论上比单线圈式提高了一倍;三是拓展了测量范围,在较大的测量范围内,传感器能保持较好的线性转换特性;四是减小了测量误差,差动结构本身的对称性减少了温度等外界干扰的影响,克服了单线圈的衔铁在初始中间位置承受的电磁吸引力,从而提高了测量精度。

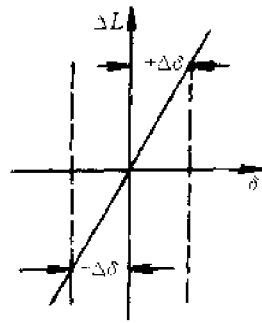


图 4-4 差动式传感器转换特性曲线

第二节 差动变压器式传感器

差动变压器式传感器简称差动变压器, 能实现被测非电量与线圈互感之间的转换。差动变压器的结构形式主要有变气隙型、变面积型和螺管型三大类。螺管型传感器主要由线圈与铁芯组成, 线圈的电感与铁芯插入线圈的深度有关, 与其它两类结构的差动变压器相比较, 螺管型差动变压器的优点是测量范围大, 自由行程可任意安排, 制造装配较方便, 因而应用广泛, 主要不足是其灵敏度较低。下面将以螺管型为例对差动变压器进行介绍。

一、结构特点

螺管型差动变压器的线圈由一次线圈和二次线圈组成, 并且二次线圈是由两个结构、参数完全相同的线圈反极性串联而成, 二次线圈的输出电压为两个线圈的电压之差, 故有差动变压器之称。螺管型差动变压器的结构特点则由其线圈的排列方式决定。按线圈排列方式的不同, 螺管型差动变压器有二段型、三段型、四段型与五段型等多种结构。如图 4-5(a)、(b)所示分别为二段型和三段型的结构图。从图中可以看出, 对于二段型, 其结构特点是一次线圈在内层、两个二次线圈

对称分布于外层; 对于三段型, 其结构特点是单层排列, 一次线圈在中间, 两个二次线圈分布于两侧。

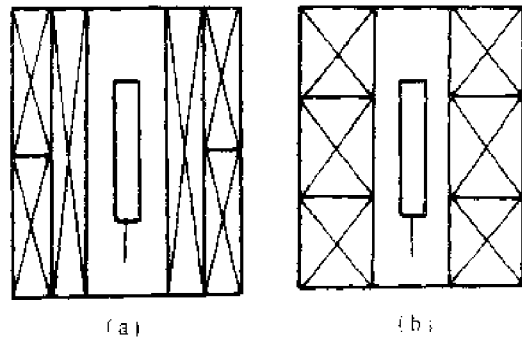


图 4-5 差动变压器原理图

二、工作原理

差动变压器的工作原理与普通变压器的工作原理较为相似, 当其一次线圈有交流电压励磁后, 由于互感的作用, 二次线圈中会产生感应电动势。如图 4-6 所示为三段型差动变压器等效电路图。

显然, 当铁芯处在中间初始位置时有:

$$M_1 = M_2 = M_0 \quad \dot{E}_{21} = \dot{E}_{22}$$

$$\dot{U}_0 = \dot{E}_{21} - \dot{E}_{22} = 0$$

差动变压器输出为零。

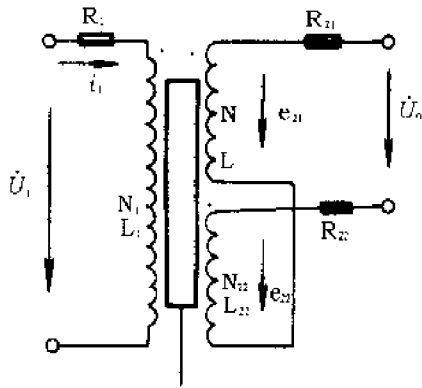


图 4-6 差动变压器等效电路图

当铁芯产生上下位置的移动时, M_1 与 M_2 不相等, 则电压输出为:

$$\begin{aligned} \dot{U}_o &= \dot{E}_{21} - \dot{E}_{22} = -j\omega(M_1 + M_2)\dot{I}_1 = \\ &= \frac{j\omega(M_1 + M_2)}{R_1 + j\omega L_1} \dot{U}_1 = \\ &= -j\omega \frac{M_1 - M_2}{Z_1} \dot{U}_1 \end{aligned} \quad (4-8)$$

当铁芯上移时:

$$M_1 = M_0 + \Delta M \quad M_2 = M_0 - \Delta M$$

式(4-8)变换

$$\dot{U}_o = -2 \dot{U}_1 \frac{j\omega}{Z_1} \Delta M \quad (4-9)$$

同样当铁芯下移时:

$$\dot{U}_o = 2 \dot{U}_1 \frac{j\omega}{Z_1} \Delta M \quad (4-10)$$

式(4-9)与(4-10)可综合表达为:

$$\dot{U} = \pm 2 \dot{U}_1 \frac{j\omega}{Z_1} \Delta M \quad (4-11)$$

这样, 当铁芯移动后, 在励磁电压幅值及其频率不变时, 差动变压器的输出电压的幅值 U_o 取决于 ΔM , 即取决于铁芯移动的距离 x , 且与 x 成正比, 从而实现了位移——互感——电压的转换。如图 4-7 所示为差动变压器的转换特性曲线, 图中实线表示为理想情况下的输出特性曲线。

三、主要特性

(一) 零点残余电压

在如图 4-7 所示的差动变压器输出特性曲线中的虚线为实际的输出特性曲线, 它是非线性的, 并且在零移位点, 即铁芯处于中间初始位置时输出电压 U_o 不为零, 而是 E_o 。称为零点残余电压。零点残余电压的存在, 会使传感器在中间初始位置附近的灵敏度下降、非线性误差增大。当零点残余电压过大时, 甚至会引起转换与放大电路饱和, 使系统无法正常工作。

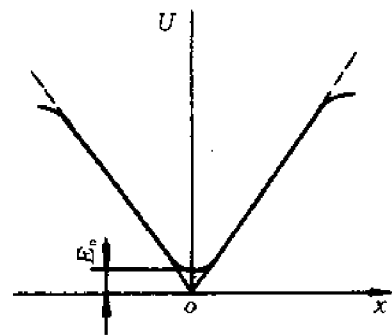


图 4-7 差动变压器转换特性曲线

产生零点残余电压的原因比较多, 主要是由于两个二次线圈的电参数不完全相同以及磁路结构尺寸不完全对称, 从而引起两个二次线圈输出的感应电动势数值不等。另外由于线圈匝间电容的存在, 使两个二次线圈输出的感应电动势不仅在数值上产生了偏差, 而且在相位上也产生了偏差。

消除和减少零点残余电压的方法, 除在传感器的设计和制造工艺方面采取相应的措施外, 在实际使用中常通过选择合适的转换电路并采用适当的补偿电路来实现。

(二) 灵敏度

差动变压器的灵敏度是指其输出电压 U_o 与产生 U_o 的铁芯位移 Δx 间的比值, 其表达式为:

$$K = \frac{U_o}{\Delta x} \quad (4-12)$$

灵敏度的单位一般用 mV/mm 或 V/mm 表示。

式(4-11)与(4-12)表明, 加大励磁电

压 U_i 可提高差动变压器的灵敏度, 但 U_i 过大会使一次线圈温升超过允许值。另外加大励磁电压的频率也可提高差动变压器的灵敏度, 但频率过高时由于集肤效应, 会使一次线圈的阻抗 Z_1 增大, 导致 U_o 下降, 反而不利于灵敏度的提高, 为此一般选择励磁电压的工作频率为 $400 \sim 5000\text{Hz}$ 。

(三) 线性度

理想差动变压器的输出电压应与铁芯位移成线性关系, 但实际上由于线圈结构形式

与铁芯直径、长度及材料等因素影响, 使线性度受到影响。要使差动变压器有较好的线性度, 应合理选择测量范围。对于二段型结构, 一般取测量范围为线圈骨架长度的 $1/5 \sim 1/3$, 对于三段型结构, 一般取测量范围为线圈骨架长度的 $1/10 \sim 1/5$ 。

总的说来, 二段型比三段型灵敏度高, 线性范围大, 三段型零点残余电压较小, 四段型和五段型的线性度较好。

第三节 电感式传感器的转换电路

一、自感式传感器的转换电路

(一) 变压器电桥电路

如图 4-8 所示为变压器电桥电路, 差动式传感器中的两个线圈作为相邻桥臂, 电源变压器的二次线圈经中心抽头后作为电桥的另两个桥臂。电桥的输出电压为:

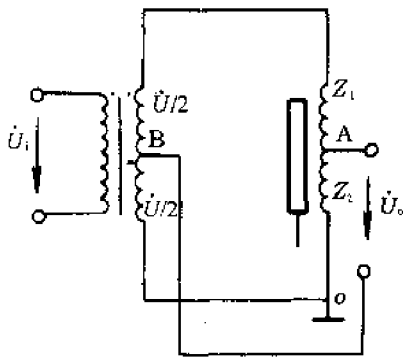


图 4-8 变压器电桥电路

$$\dot{U}_o = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \dot{U}_i - \frac{1}{2} \dot{U}_i = \frac{1}{2} \dot{U}_i \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

当铁芯处在中间初始位置时, $Z_1 = Z_2 = Z_0$, 电桥平衡, 电桥输出电压 U_o 为零。

当铁芯下移时, 两线圈的阻抗发生变化, 由于是差动工作状态, 故有:

$$Z_1 = Z_0 - \Delta Z \quad Z_2 = Z_0 + \Delta Z$$

电桥失去平衡, 输出电压为:

$$\dot{U}_o = \frac{1}{2} \dot{U}_i \frac{\Delta Z}{Z_0}$$

同理, 当铁芯上移时:

$$\dot{U}_o = \frac{1}{2} \dot{U}_i \frac{\Delta Z}{Z_0}$$

若忽略线圈的直流电阻, 则有:

$$\dot{U}_o = \pm \frac{1}{2} \dot{U}_i \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4-13)$$

式(4-13)表明, 通过变压器电桥电路的转换, 实现了传感器线圈自感与输出电压信号之间的转换。同时还说明, 输出电压的相位与铁芯移动的方向有关。但当使用交流电压表测量时, 铁芯的移动方向无法判别, 其转换特性曲线如图 4-9 所示, 要判别铁芯移动的方向, 需采用其它形式的转换电路。

(二) 相敏整流电路

图 4-10 所示为相敏整流电路, 与变压器电桥电路相比, 其最大的特点是该电路具有相敏特性, 即电路输出电压的极性能反映传感器铁芯位移的方向, 图 4-11 所示为相敏整流电路转换特性曲线。当铁芯从中间初始位置向上或向下移动时, 对应输出的电压

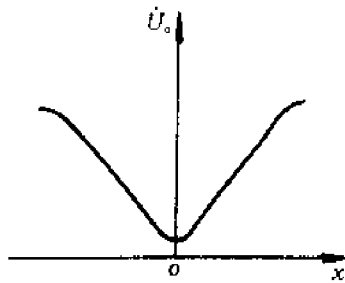


图 4-9 电桥电路转换特性曲线

为负极性或正极性。电路中 U_R 为参考电压,其作用是对 U_o 进行整流控制,它应与励磁电压 U_1 具有相同的频率,且同相(或反相)。在 $U_R \gg U_o$ 时,相敏整流电路的转换特性线性度较好。另外此电路还能较好地消除零点残余电压,因而得到了较广泛的应用。

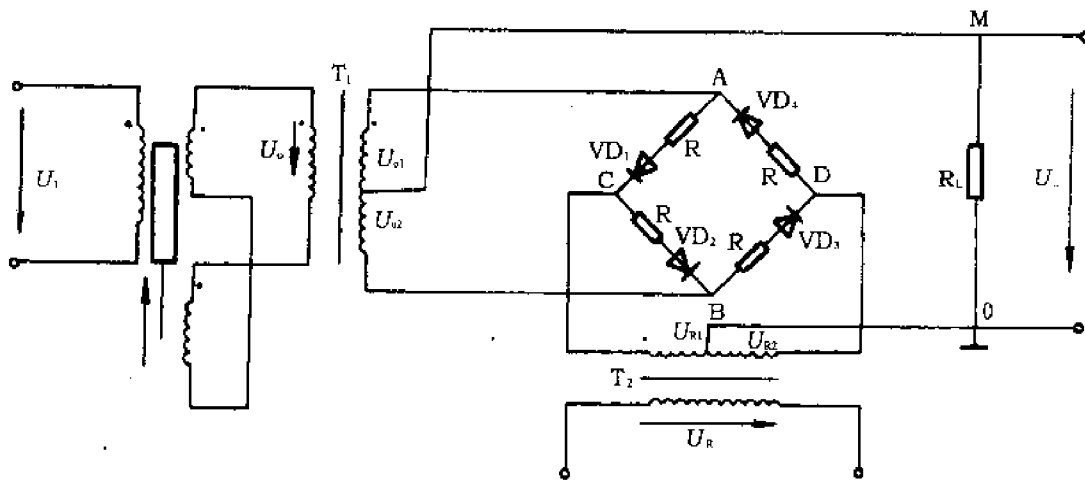


图 4-10 相敏整流电路

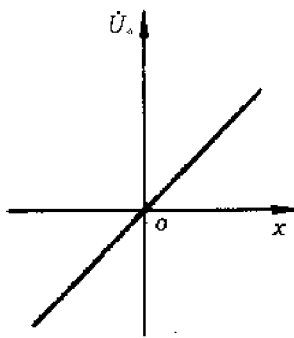


图 4-11 相敏整流电路转换特性曲线

二、差动变压器的转换电路

相敏整流电路也常用作差动变压器的转换电路,但这种转换电路的不足是参考电压 U_R 的相位必须与励磁电压 U_1 的相位一致,而且要求 $U_R \gg U_o$,当 U_R 与 U_o 大小差不多时,转换特性的线性度将变差,因此在差动变压器的转换电路中以差动整流电路最为常

用。

图 4-12 所示为几种常见的差动整流电路。(a)与(b)是电流输出型的全波与半波差动整流电路,(c)与(d)是电压输出型的全波与半波差动整流电路。电流输出型差动整流电路的线性基本上与负载无关,常用于连接低阻抗负载。电压输出型差动整流电路常用于连接高阻抗负载,若负载阻抗小,线性将变坏。下面以电压输出型全波差动整流电路为例说明其工作原理。

电压输出型全波差动整流电路有两组整流二极管,分别将二次线圈中的电压转换为直流电,由 $VD_1 \sim VD_4$ 组成的整流电路将 U_1 转换为直流电压 U_{o1} , $VD_5 \sim VD_8$ 组成的整流电路将 U_2 转换为直流电压 U_{o2} ,而整个差动整流电路的输出电压 U_o 是 U_{o1} 与 U_{o2} 的差值,这就是差动整流的基本含义。当差动变压器

的铁芯处于中间初始位置时,调节 R_0 , 使

$U_0 = 0$, 可以消除零点残余电压的影响。

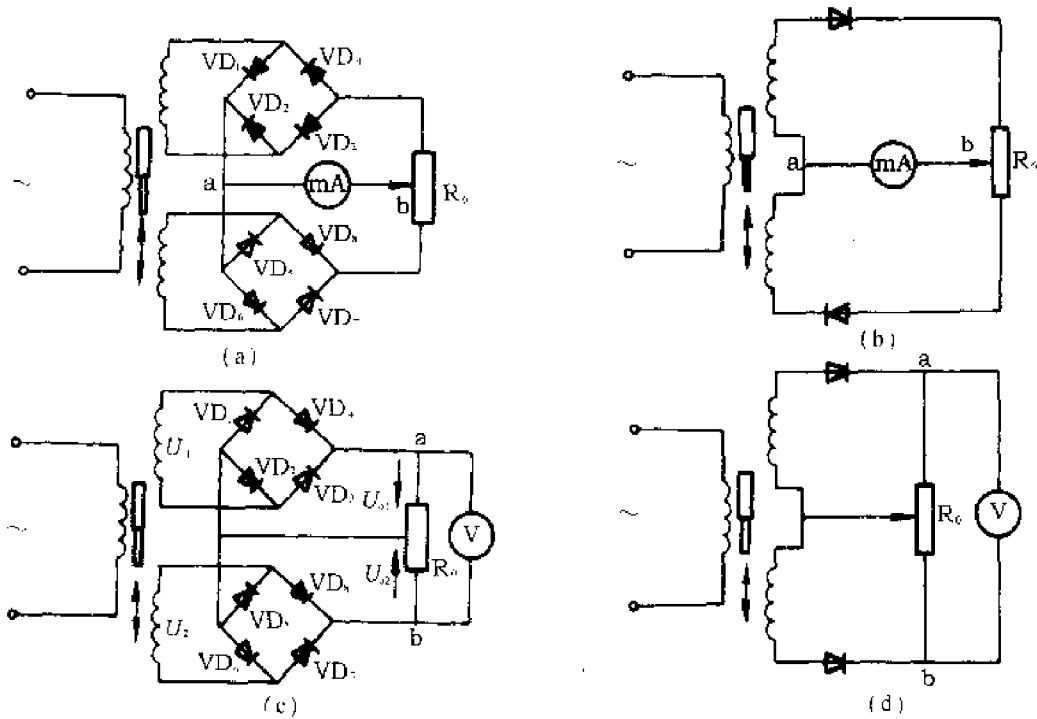


图 4-12 差动整流电路

第四节 电感式传感器的应用

一、电感测微仪

电感测微仪可用来对微小位移进行检测。图 4-13 所示为电感测微仪的典型框图,差动变压器接成电桥电路,电桥的输出电压与铁芯的位移成正比。交流放大电路将电桥输出的较小的电压信号放大后送入相敏整流电路,振荡电路的输出电压一方面供给交流电桥,一方面作为相敏整流电路的参考电压信号,用以对交流放大电路的输出信号进行整流控制,使相敏整流电路的输出信号既正比于铁芯的位移量,又能反映铁芯的移动方向。

图 4-14 所示为自感式测微仪原理图,变气隙型自感传感器采用差动结构。当被测

物的厚度 3 发生变化时,引起测杆 2 带动铁芯 1 上下移动,从而改变气隙的长度,使线圈的电感量发生相应的变化,再经相敏整流电路转换,这样在测量仪表显示出来的输出信号就能反映出被测物的厚度。

二、加速度测量

图 4-15 所示为测量加速度的转换测量电路框图及加速度传感器的结构示意图,差动变压器 2 充当测量加速度的传感器。当被测物体带动铁芯运动时,惯性力 $F(F = ma)$ 导致差动变压器中的铁芯产生位移,其输出电压与加速度 a 成正比,再经差动整流电路转换及滤波电路处理后,便可由显示器显示出被测物体加速度的大小。测量时,差动变

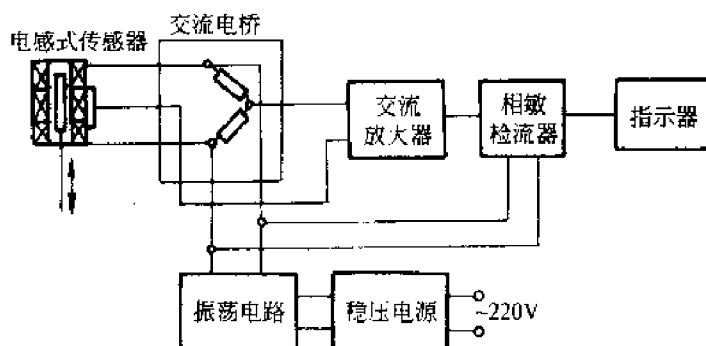


图 4-13 电感测微仪典型框图

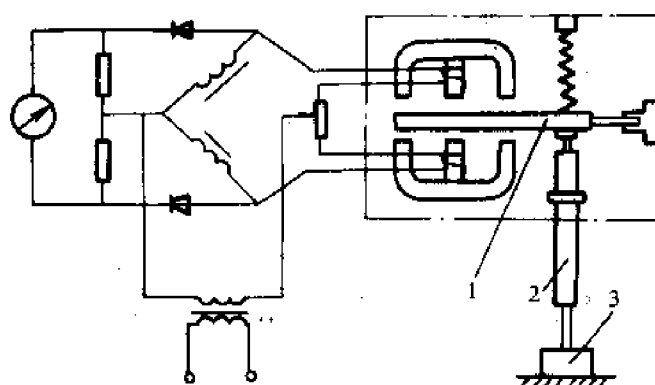


图 4-14 自感式测微仪原理图

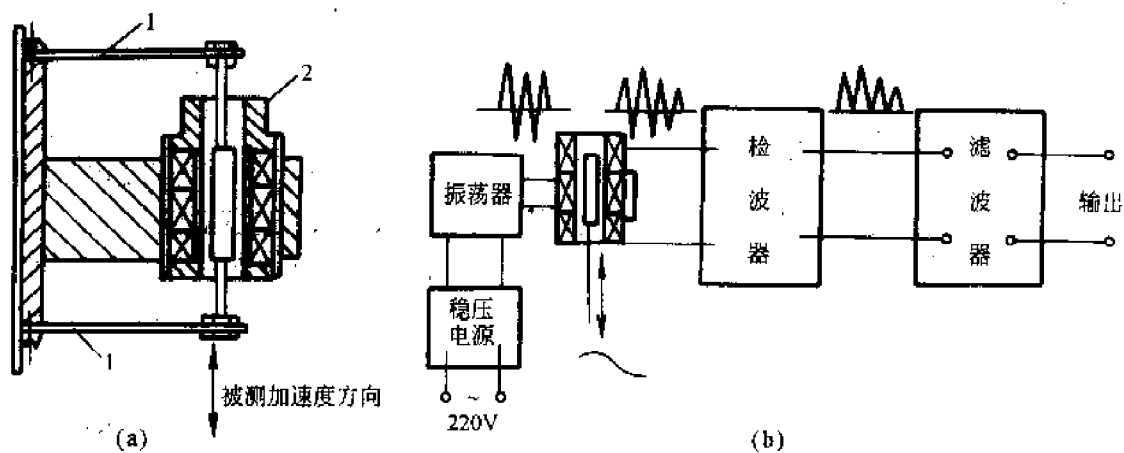


图 4-15 加速度测量示意图

压器铁芯的一端与被测物相连，线圈架固定在弹性悬臂梁之间，悬臂 1 梁起支撑和动平衡作用。

三、清钢联自调匀整检测装置

纺纱厂清钢联棉箱输出的棉层厚度的不

匀率，是影响纺纱产量和质量的一个重要因素，采用自调匀整装置后，对提高生条质量具有重大意义。下面将对自调匀整装置中的有关检测电路进行介绍。

图 4-16 所示为喂入棉层厚度检测装置

的示意图。给棉罗拉 1 与给棉板 2 之间的棉层厚度发生变化时,给棉罗拉产生相应的上下位移,经加压杠杆 3 进行机械放大后,使差动变压器 4 的铁芯发生相应的位移变化,并输出相应的电压信号。加压重锤 5 的作用是调整零位。

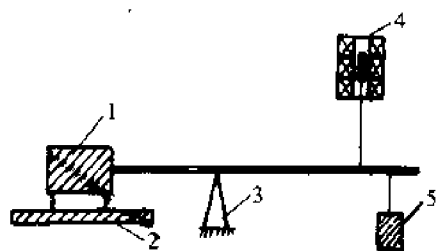


图 4-16 棉层厚度检测装置示意图

图 4-17 所示为生条质量检测装置示意

图。经过匀整后纺出的生条通过两个压辊间间隙时,厚度变化就反映了生条质量的变化。在上压板 1 和加压弹簧 2 调定的情况下,上凸沟槽压辊 3 随生条质量即厚度的变化而带动升降信号传递板 4 产生上下位移,从而使差动变压器 5 的铁芯产生位移,并发出质量显示信号供观察和监视之用。

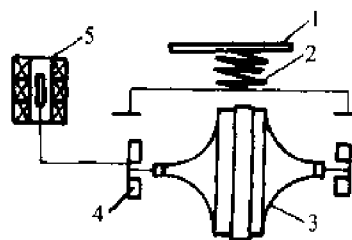
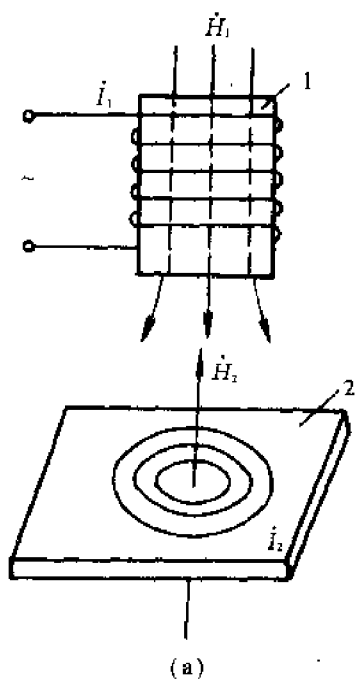


图 4-17 生条质量检测装置示意图

第五节 电涡流式传感器

将块状金属导体置于变化的磁场中,或使其在磁场中运动,那么在块状金属导体中

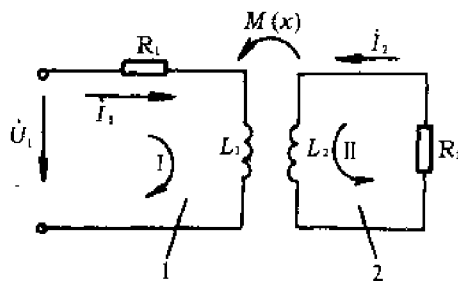


(a)

就会感应出一圈圈自行闭合的感应电流,这种感应电流通常被称为电涡流。电涡流式传感器就是根据以上电涡流现象制造出来的。电涡流式传感器主要有高频反射式和低频透射式两类,其中高频反射式应用较为广泛。本章主要介绍高频反射式电涡流传感器。

一、基本工作原理及结构

图 4-18(a)所示为高频反射式电涡流传感器示意图,包括一个通电线圈和一个被



(b)

图 4-18 电涡流传感器示意图与等效电路

(a)传感器示意图 (b)等效电路

测金属导体。当线圈中流过角频率为 ω 的交变电流 I_1 时,在线圈周围就会产生一个交变磁场 H_1 ,当被测金属导体进入 H_1 磁场范围以内时,由法拉弟电磁感应定律可知,被测金属导体内便会有电涡流 I_2 产生, I_2 又能够产生一个新的交变磁场 H_2 ,且 H_2 与 H_1 的方向相反。由于 H_2 对 H_1 的反作用,导致传感器通电线圈的等效阻抗发生变化。假设被测金属导体的磁导率为 μ ,电导率为 σ ,厚度为 d ,通电线圈半径为 r ,且与被测金属导体相距 x ,则通电线圈的阻抗可用下式函数描述:

$$Z = f(\mu, \sigma, r, x, d, \omega, I_1) \quad (4-14)$$

从式(4-14)可以看出,当只改变其中的一个参数,而保持其它参数不变时,线圈阻抗 Z 就是这个参数的单值函数,由此可以实现对该参数的检测,如只改变 x 而保持 μ, σ 等其它参数恒定,则可构成用于位移测量的电涡流传感器。

为简化对电涡流式传感器工作原理的分析,一般将金属导体上形成的电涡流视为一个短路的线圈,其阻值设为 R_2 ,电感量设为 L_2 ,则传感器工作时的等效电路如图 4-18(b)所示, M 为两线圈的互感系数, L_1 和 R_1 分别是通电线圈的电感值和电阻值, U_1 为其励磁电压。根据基尔霍夫定律,则有:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 R_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2 = \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 R_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 - j\omega M \dot{I}_1 = 0 \end{cases} \quad (4-15)$$

解式(4-15)所示方程,可得到通电线圈受电涡流影响后的等效阻抗 Z :

$$Z = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \left[R_1 + R_2 \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + (\omega L_2)^2} \right] + j\omega \left[L_1 - L_2 \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + (\omega L_2)^2} \right] = R + j\omega L \quad (4-16)$$

式中: R ——通电线圈受电涡流影响后的等效电阻,其值为 $R_1 + R_2 \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + (\omega L_2)^2}$;

L ——通电线圈受电涡流影响后的等效电感,其值为 $L_1 - L_2 \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + (\omega L_2)^2}$ 。

式(4-16)表明,当通电线圈接近被测金属导体时,其等效电阻与等效电感均为互感系数平方的函数,因而要使传感器具有一定的线性度和灵敏度,应保证 x 值在较小范围内。

高频反射式电涡流传感器的结构比较简单,主要是一个固定在框架 2 上的扁平线圈 1,如图 4-19 所示为国产 CZF-1 型电涡流传感器示意图,线圈选用的是电阻率较小的高强度漆包线,框架由聚四氟乙烯制成。表 4-1 所示为 CZF-1 型电涡流式传感器性能一览表,供使用时参考。

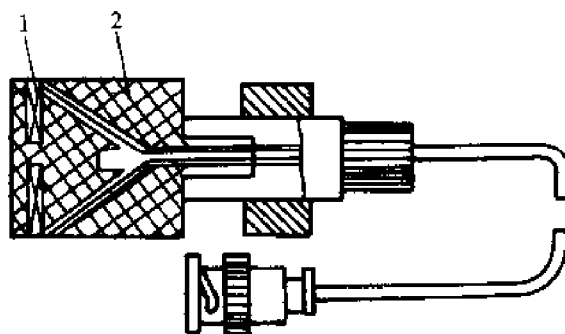


图 4-19 电涡流式传感器结构图

表 4-1 CZF-1 系列传感器性能一览表

型号	线性范围 μm	线性误差 %	分辨力 μm	线圈外径 μm	使用温度范围 $^{\circ}\text{C}$
CZF1-1000	1000	≤ 3	1	$\Phi 7$	-15~80
CZF1-3000	3000	≤ 3	3	$\Phi 15$	-15~80
CZF1-5000	5000	≤ 3	5	$\Phi 28$	-15~80

二、转换电路

电涡流传感器常用的转换电路有电桥电路、调频电路和调幅电路。下面简要介绍电桥电路与调频电路的工作原理。

(一)电桥电路

电桥电路如图 4-20(a)所示,图中 L_1 、 L_2 分别是传感器的两个差动式电涡流线圈,分别与 C_1 、 C_2 及 R_1 、 R_2 组成电桥的四个桥臂。当电桥处于平衡状态时,检波器输出为零。当有被测金属导体接近时,两线圈的阻抗发生变化,电桥失去平衡,其输出值经放大和检波后,就可以得到位移的变化值。

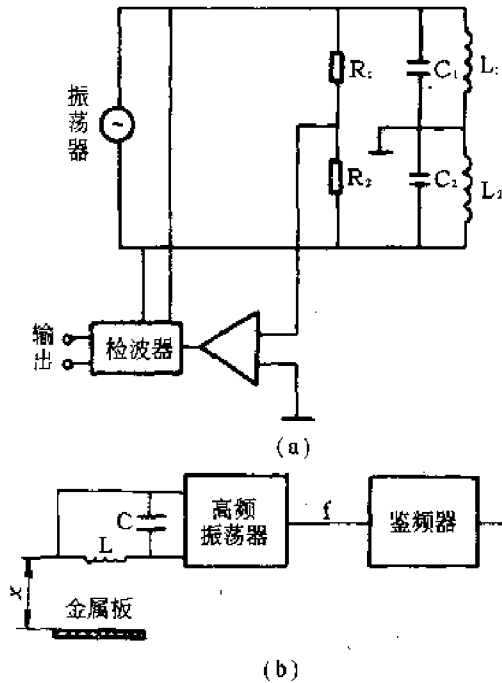


图 4-20 电涡流传感器转换电路

(a)电桥电路 (b)调频电路

(二)调频电路

调频电路如图 4-20(b)所示,将传感器接在一个 LC 振荡器中,传感器作为 LC 振荡器中的电感。当传感器线圈与被测物体间的距离发生变化时,会引起传感器线圈的电感量 L 发生相应的变化,从而使振荡器的频率改变,然后通过鉴频器将频率变化再转变为电压输出。

三、电涡流传感器的应用

电涡流传感器因其结构简单,又能实现非接触测量,因而应用广泛。它不但能用于位移测量,还可用于金属探伤,测量金属表面温度与表面粗糙度、金属层厚度等各个方面。

例如电涡流的金属探伤,可以检查金属表面裂纹、热处理裂纹,以及焊接处的缺陷等,在探伤时,保持传感器与被测金属导体距离恒定,如果被测金属导体中有裂纹出现,会引起其电导率、磁导率的变化,使涡流损耗改变,从而引出输出电压的突变。

又如检测金属表面温度,其依据是下式所表示的金属电阻率与温度的关系:

$$\rho_1 = \rho_0 + [1 + \alpha(t_1 - t_0)] \quad (4-17)$$

式中: ρ_1 ——金属在 $t_1^\circ\text{C}$ 时的电阻率;

ρ_0 ——金属在 0°C 时的电阻率;

α ——金属电阻温度系数。

若能保持线圈与导体间距离 x ,导体的磁导率 μ 以及线圈的几何尺寸等不变,只要能测出导体电阻率随温度变化的值,就可以求出相应的温度变化值。而金属导体电阻率的变化,会使传感器线圈的等效阻抗发生相应的变化,它和电容组成的谐振回路的振荡频率就会发生变化。这样用计数器测出振荡频率就可以测量出金属表面温度,如图 4-21 所示为涡流式温度计结构示意图,其中 1 为电涡流传感器,2 为被测金属体。

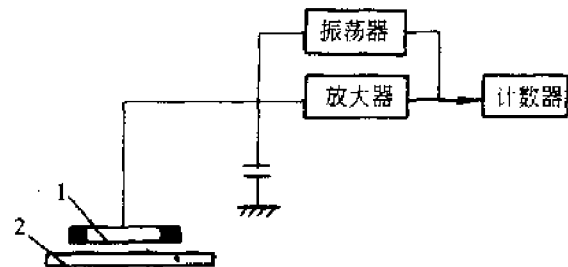


图 4-21 涡流式温度计结构示意图

思考题与习题：

1. 试说明电感式传感器有哪几类？各有何特点？

2. 试说明变气隙型电感传感器的输出特性与哪些因素有关。

3. 什么是差动变压器的零点残余电压？产生的

原因是什么？怎样减小和消除它的影响？

4. 试说明差动变压器的线性度和灵敏度的主要影响因素。

5. 试说明电涡流式传感器的基本工作原理。

6. 试绘出用电涡流传感器组成的接近开关的原理框图。

第五章

光电式传感器

光电式传感器是将光信号转换为电量的一种传感器。光电式传感器有两类,一类能直接实现光信号与电量的转换,另一类则是实现光与光电元件特性参数间的转换。在用光电式传感器检测非电量之前,应先将被测非电量的变化转换为光信号的变化,然后再

通过光电式传感器转换为电量的变化。与其它类型传感器相比,光电式传感器的最大特点是能进行非接触测量,另外还具有结构简单、性能可靠、响应速度快等优点,因而在很多场合都得到广泛应用。而它的工作原理是基于物质的光电效应。

第一节 光电效应

光具有能量,因为光波被认为是由一连串具有一定能量的光子构成的。每个光子的能量为 $h\nu$ 其中 ν 为光的频率, h 是普朗克常数。光与物质的作用以物质中的电子为媒介,光照射物质后,能将光子能量一次全部传递给物质中的电子。光电效应就是指物质中的电子吸收光子能量而发生相应电效应的物理现象。具有光电效应的敏感元件称为光电元件。根据物理现象的不同,光电效应通常分为以下三类。

一、内光电效应

物质在光照下使其电阻率发生改变的现象称为内光电效应。光敏电阻、光敏晶体管等光电元件都是根据内光电效应制成的。

二、外光电效应

物质在光照下使其电子逸出其表面的现象称为外光电效应。光电管、光电倍增管都是根据外光电效应制成的。

三、光生伏特效应

物质在光照下,在其内部产生一定方向的电动势的现象,称为光生伏特效应。光电池就是根据光生伏特效应制成的。

第二节 光电元件

一、光敏电阻

(一)工作原理

光敏电阻又称光导管,是基于内光电效应的光电元件。有些半导体材料在无光照

时,其阻值很高,当有光照时,由于内光电效应,激发出一定数量的空穴电子对,使半导体导电性能提高,阻值下降,且光照愈强,阻值下降愈多。这种现象称为光导效应。具有光

导效应的半导体材料称为光敏材料,常见的
光敏材料有金属的硫化物、硒化物等半导体。

图 5-1 所示为光敏电阻结构示意图及

图形符号。由示意图可知在光敏材料的两端
装上电极引线,并将其封装在带透明窗的管
壳内时就构成了光敏电阻。

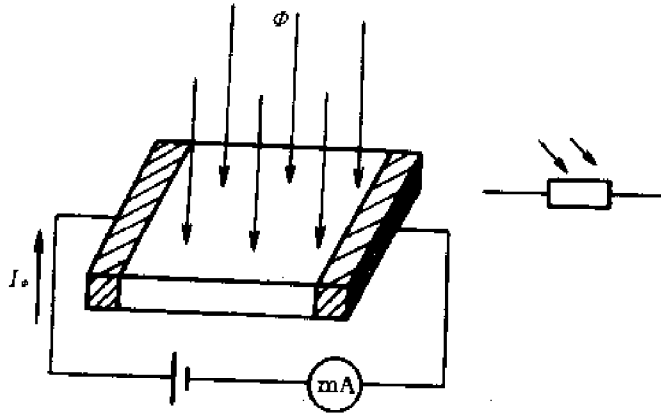


图 5-1 光敏电阻结构示意图及图形符号

当有光照射透明窗时,电路中就有电流
产生,从而实现了光信号与电量的转换。

(二)光敏电阻的主要参数

1. 暗电阻与暗电流 光敏电阻在室温条
件下,没有光照时所测得的稳定电阻值称为
暗电阻。此时流过光敏电阻的电流,则称为
暗电流。

2. 亮电阻与亮电流 光敏电阻在某一光
照下测得的稳定电阻值,称为该光照下的亮
电阻,此时流过光敏电阻的电流称为亮电流。

3. 光电流 亮电流与暗电流之差,称为
光电流。光电流愈大,表明光敏电阻的灵敏
度愈高。实际上,大多数光敏电阻的暗电阻
值往往超过 $1M\Omega$,有的甚至达到 $100M\Omega$,而
亮电阻值常常在 $1k\Omega$ 以下,可见光敏电阻具
有相当高的灵敏度。

(三)光敏电阻的主要特性

为了合理选择和使用光敏电阻等光敏元
件,了解它们的一些主要特性是非常必要的,
在此主要介绍光照特性、伏安特性、光谱特
性与温度特性。

1. 光照特性 光敏电阻的亮电流与光照
度之间的关系,称为光敏电阻的光照特性,有
时也称为光电特性,特性曲线如图 5-2 所

示。从图中可看出,光敏电阻的光照特性是
非线性的,随着光强度的增大,灵敏度将下
降。由于非线性这个缺点,光敏电阻不宜作
为检测元件使用。

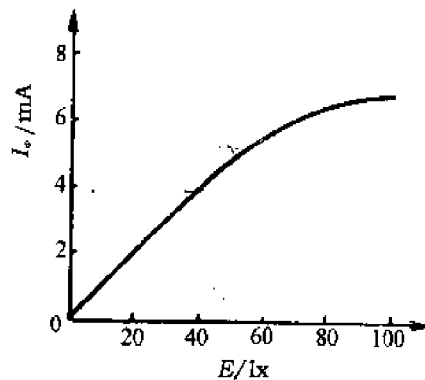


图 5-2 光照特性曲线

2. 伏安特性 在一定的光照度下,光敏
电阻两端所加电压与流过光敏电阻电流间的
关系称为伏安特性,特性曲线如图 5-3 所
示。从图中可看出,伏安特性呈近似直线。
在给定偏压下,光照度愈大,光电流也就愈
大。对于偏置电压可以是直流,也可以是交
流,但必须注意偏置电压值的大小,以免超
过规定值而使光敏电阻损坏。

3. 光谱特性 光敏电阻的灵敏度与入射

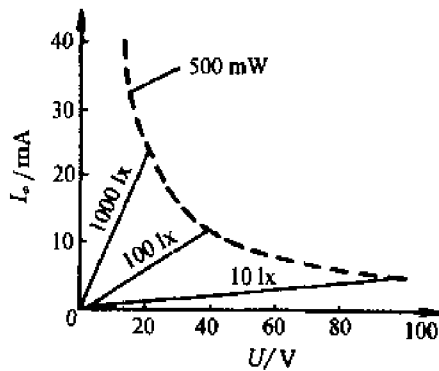


图 5-3 伏安特性曲线

光波长间的关系,称为光敏电阻的光谱特性。不同光敏材料的光谱特性是有差异的,因此在选用光敏电阻时应将元件和光源结合起来考虑,以期获得较为满意的检测效果。例如:硫化镉光敏电阻用于检测可见光,硫化铅光敏电阻用于检测红外光。

4. 温度特性 光敏电阻的光电流与测试环境温度间的关系称为光敏电阻的温度特性。当温度升高时,光敏电阻的暗电阻及灵

敏度都随之下降。

二、光敏晶体管

光敏二极管、光敏三极管、光敏晶闸管与光敏电阻一样,都是基于内光电效应的光电元件。

(一)光敏二极管

光敏二极管的结构与一般二极管相似,有一个PN结,四周封装有透明窗口,在电路中PN结应加有反向偏置电压。在没有光照时,光敏二极管中只有很小的反向饱和电流,即为光敏二极管的暗电流,光敏二极管呈高阻截止状态。当有光照时,由于内光电效应,在PN结附近激发出空穴电子对,使少数载流子的浓度大大提高,PN结的反向阻值下降,光敏二极管中流过较大电流,此电流称为光敏二极管光电流,光敏二极管呈低阻导通状态。由此光敏二极管实现了光信号到电量的转换。如图5-4所示为光敏二极管图形符号及基本应用电路。

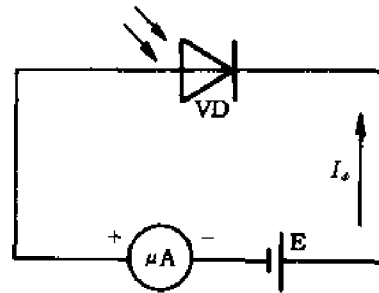
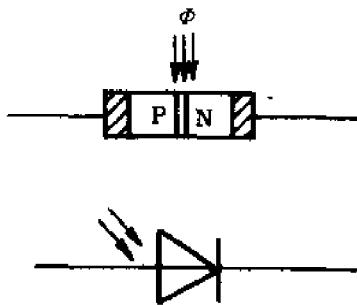


图 5-4 光敏二极管图形符号及基本应用电路

(二)光敏三极管

光敏三极管的结构与一般三极管相似,有集电结与发射结两个PN结,在工作时应分别加有反向与正向偏置电压。在没有光照时,无基极电流产生,光敏三极管截止,回路中无光电流。当基区有光照时,则有基极电流产生,并且回路电流是光生电流的 β 倍。可见光敏三极管把光信号转换为电量的同时,还能够放大信号电流,因而比光敏二极管的灵敏度高。图5-5所示为光敏三极管图

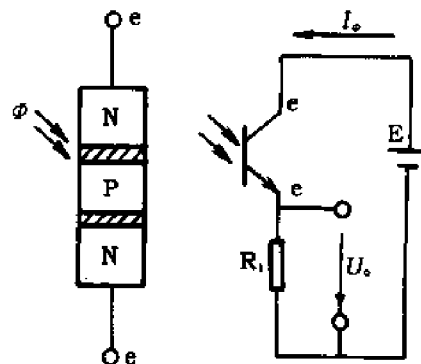


图 5-5 光敏三极管图形符号及基本应用电路

形符号及基本应用电路。

从光敏三极管的图形符号可以看出,其与普通三极管不同之处是它的基极往往不接引线,仅在集电极和发射极两端接有引线。

(三)光敏晶体管的主要特性

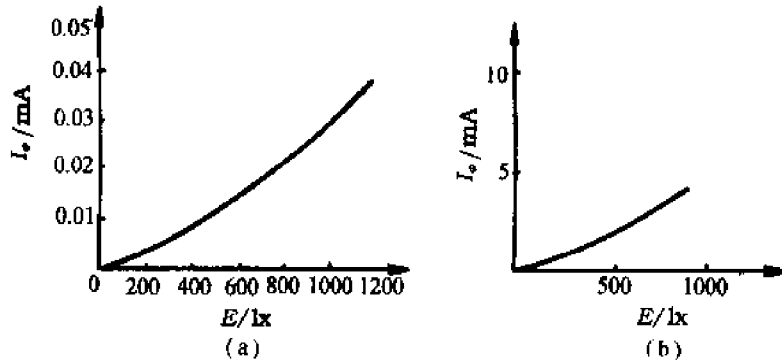


图 5-6 光敏晶体管的光照特性曲线

(a)光敏二极管 (b)光敏三极管

性比较明显,特别在小电流阶段。

2. 伏安特性 图 5-7(a)、(b) 所示分别为光敏二极管与光敏三极管的伏安特性曲线。从(a)图可以看出,光敏二极管在反向偏置电压下工作,灵敏度低。且在零偏置时,光

敏二极管仍有光电流输出,这是光敏二极管的不足之处。从(b)图可以看出,光敏三极管的工作状态和要求与普通三极管一样,灵敏度高,在零偏置时,光敏三极管没有光电流输出。

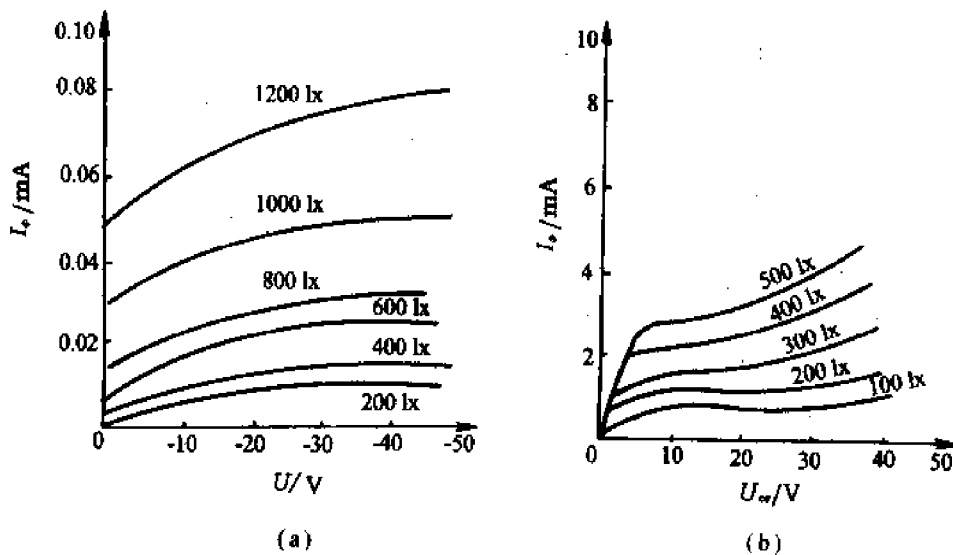


图 5-7 光敏晶体管的伏安特性曲线

(a)光敏二极管 (b)光敏三极管

3. 光谱特性 图 5-8 所示为光敏三极管的光谱特性曲线。从图中可看出,不同材料制成的光敏三极管或光敏二极管,对不同波长的入射光,其灵敏度是不同的。例如,硅光敏三极管灵敏度峰值对应的入射光波长约为 $0.8\mu\text{m}$, 锗光敏三极管灵敏度峰值对应的入射光波长约为 $1.5\mu\text{m}$ 。由于硅管暗电流较锗管小,所以硅管常用于可见光与近红外光的检测,锗管常用于远红外光的检测。

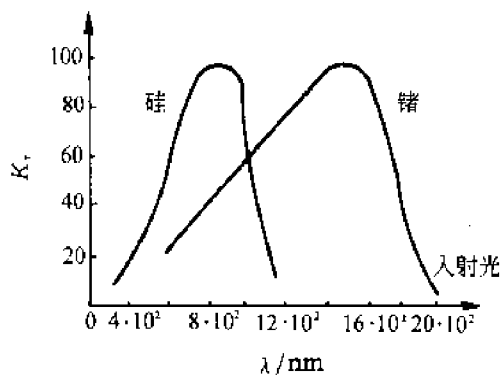


图 5-8 光敏晶体管的光谱特性曲线

4. 温度特性 光敏二极管与光敏三极管的温度特性指的是其暗电流及光电流与温度的关系。由于暗电流受温度的影响很大,且是非线性的,所以在应用中应对暗电流进行温度补偿,以尽量减小测量误差。

(四)光敏晶闸管

光敏晶闸管与普通晶闸管一样具有四层三结的结构,主要区别在于光敏晶闸管的管壳顶端窗口有一个玻璃透镜,以便使入射光能集中照射到中间 PN 结上。光敏晶闸管的可控性与普通晶闸管的可控性完全一样,区别仅在于光敏晶闸管的门极控制电流是由入射光激发出的电子空穴对引起的。

光敏晶闸管一般不用于检测,常作为大功率开关元件使用,其工作电流与入射光光强之间无函数关系,光敏晶体管的基本特性主要是对光敏二极管与光敏三极管而言。

三、光电池

光电池又叫太阳能电池,是常用的一种光电转换元件,其工作原理是基于光生伏特效应。

(一)工作原理

光电池是具有一个 PN 结的半导体元件,其与普通半导体二极管的最大区别是 PN 结的结面积远大于二极管。光电池的种类众多,有硅、硒、锗、砷化镓、硫化镉等,其中硅光电池较其它光电池,具有转换效率高、稳定性能好、光谱范围广的优点,因而获得了广泛的应用。

硅光电池一般是在 N 型半导体硅片上用扩散法渗入 P 型杂质形成一个 PN 结而成,其结构示意图及图形符号如图 5-9 所示。

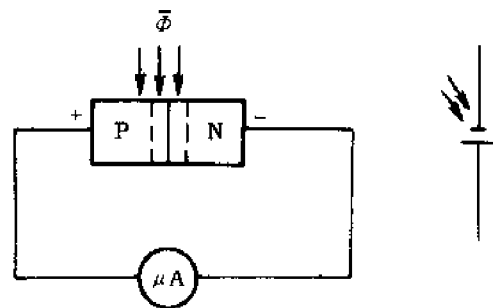


图 5-9 光电池结构示意图及图形符号

当有足够能量的光照射到 PN 结周围时,价电子吸收能量成为自由电子并产生了电子空穴对,在 PN 结内电场作用下,电子进入 N 区,空穴进入 P 区,结果在 N 区一边积累了大量过剩电子,P 区一边积累了大量过剩空穴,形成了 P 区为正、N 区为负的光生电动势。若 P 区、N 区用导线相连,则其中就有电流流过。

光电池在检测中常用作两种情况,一是在自动检测与工业控制中作为光电信号转换的传感器;二是作为小功耗测量仪器的工作电源。

(二)基本特性

1. 光照特性 图 5-10 所示为硅光电池

的光照特性曲线,其包括两种曲线,一种是表示光生电动势与照度间特性关系的开路电压曲线,一种是表示光电流与照度间特性关系的短路电流曲线。从图中可看出,开路电压与光照度之间呈非线性关系,照度较小时灵敏度很高,而当照度超过 2000lx 时,灵敏度急剧变小。短路电流特性线性较好。在实际应用中,光电池应作为电流源使用,实现光照度与光电流间的线性转换。

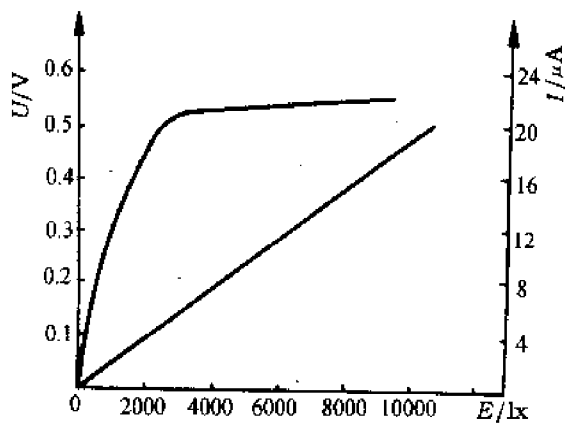


图 5-10 硅光电池的光照特性曲线

2. 伏安特性 图 5-11 所示为硅光电池的伏安特性曲线,又称光电池的外特性曲线。特性曲线与负载线的交点为工作点 Q ,工作点对应的电压与电流的乘积 $U \cdot I$ 为光电池的输出功率。通过选取适当的负载电阻,可使光电池获得最大的输出功率。光电池的最大输出功率与光电池接收的入射光功率之比

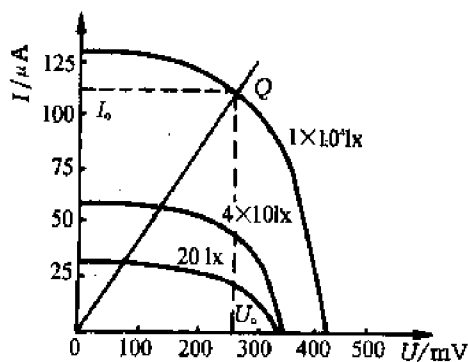


图 5-11 硅光电池的伏安特性曲线

称为光电池的转换效率。由于光电池的电阻很高,使其转换效率比较低,硅光电池虽有较高的转换效率,也只有 10%~15%。从硅光电池的伏安特性曲线也可看出,光电池使用时应作为电流源使用。

3. 光谱特性 图 5-12 所示为硅光电池的光谱特性曲线。从图中可看出,硅光电池对不同波长的入射光,其灵敏度是不同的,其光谱响应峰值在 800nm 附近。另外硅光电池的光谱响应波长范围为 400~1200nm,有着很宽的波长范围。

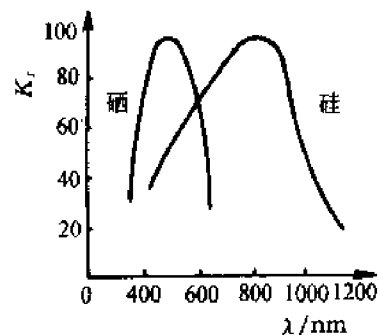


图 5-12 硅光电池的光谱特性曲线

4. 温度特性 光电池的温度特性是指开路电压和短路电流随温度变化的关系。图 5-13 所示为硅光电池在 100lx 照度下的温度特性曲线。从图中可看出,短路电流受温度的影响较小,而开路电压受温度的影响较大。因此光电池用于检测时,要减小测量误差,仍应作为电流源使用,并视其环境温度变化情况采取恒温措施或进行温度补偿。

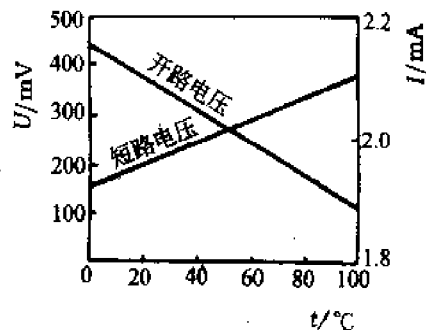


图 5-13 硅光电池的温度特性曲线

第三节 光电式传感器及其应用

一、光电式传感器的应用类型

在光电式传感器的实际应用中,针对具体情况有着不同的检测形式,因而构成了光电式传感器的多种应用类型,大致可归纳成以下四种。其示意图如图 5-14 所示,其中 1 为被测物,2 为光电元件,3 为恒光源。

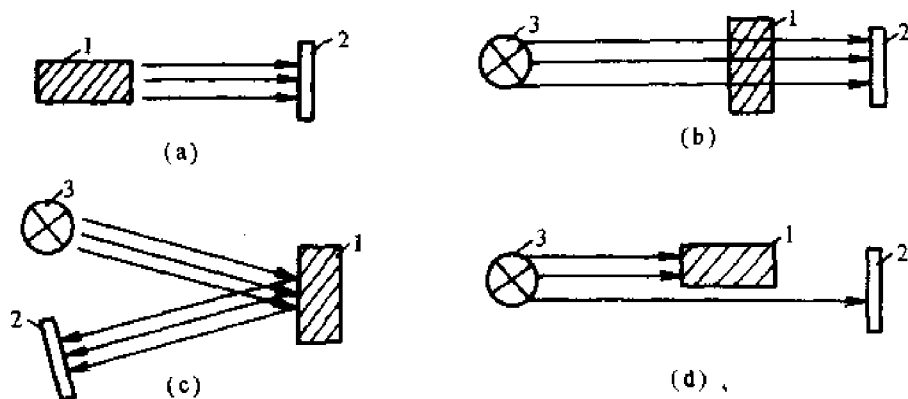


图 5-14 光电式传感器的应用类型
(a)辐射型 (b)透射型 (c)反射型 (d)遮射型

(一)辐射型

图 5-14(a)所示,光电元件检测的非电量是被测物体辐射出的光,并将其转换为电量,由此反映出被测物体的某些特征参数,从而达到检测的目的。像光电比色高温计中就是采用的这种类型。

图 5-14(b)所示,被测物体位于恒光源与光电元件之间,恒光源发出的光在透过被测物体时,一部分被其吸收,另一部分被光电元件接受并进行光电转换。根据被测物体对光的吸收量或对频谱的选择性来达到检测某些参数特性的目的。像透明度计与浊度计就是采用的这种类型。

(二)透射型

图 5-14(c)所示,被测物体反射恒光源发出的光,经光电元件接收并进行光电转换,从而实现了对被测物体某些表面参数的检测。像检测纸张的光洁度、机械零件的表面粗糙度等就是采用的这种类型。

(三)反射型

图 5-14(d)所示,被测物体位于恒光源与光电元件之间,恒光源的光被被测对象遮挡一部分后,再投射到光电元件上进行光电转换,从而达到检测被测物体的几何尺寸或运动状态的目的,像光电式电子清纱器中就采用了这种类型。

以上讨论的四种应用类型均属于模拟式光电传感器,其工作原理是基于光电元件的光电流随光通量而发生变化,是光通量的函数。除了模拟式光电传感器外,还有一种称为数字式光电传感器,其工作原理是利用光电元件的输出仅有两个稳定状态,即“通”与“断”的开关状态,当此类光电元件受光照时,有电量输出,光电元件不受光照时,无电量输出。

(四)遮射型

二、光源、光路元件与光路调整

一个性能良好的光电式传感器,除了要有特性优良的光电元件之外,还必须有与光电元件相配合的光源与光路元件。下面从使用的角度对光源、光路元件及光路调整进行介绍。

(一)光源

光电式传感器常用的光源有白炽灯、发光二极管、充气灯、激光器等。从光谱特性来讲,主要有各种可见光、红外光及激光等。

白炽灯产生可见光,并含有丰富的红外光,品种全,价格低,发光效率随电压增大而提高,但体积大、易损坏。当电源电压降低时,白炽灯的使用寿命会迅速增大,因而在光电检测仪器中,常用低压白炽灯作为光源。

发光二极管的基本原理是利用半导体中的复合发光现象,产生出各种单色可见光和红外光,其发出的光的波长与其释放的能量有关,释放能量越多、光波长越短,发光二极管释放能量的多少决定于半导体中电子与空穴复合运动的强弱,即与半导体的掺杂浓度有关。发光二极管体积小,耗电省,寿命长,且辐射出的光的波长范围狭小。

充气灯属于冷光源,荧光灯就属于这一类,其光辐射是由在电极间辉光放电区被激发的气体分子或金属蒸气分子产生的。充气灯辐射光谱的最大值靠近红外区或它附近的可见光区。

光电检测装置所采用的光源中,激光器有特别重要的地位。激光器产生的激光,其主要特点是高方向性、高亮度性和高单色性,但激光器结构复杂、价格昂贵。检测技术中主要使用气体激光器和半导体激光器。

(二)光路元件

光电式传感器的光路是指光路元件构成的光的传播路径。常用的光路元件及作用如下:

透镜是应用最广的光路元件,它可以单

独使用或组合使用,主要作用是将平行光进行聚焦,或作相反的转换。

棱镜也是常用的光路元件,包括直角棱镜与色散棱镜等。直角棱镜用于全反射以改变光的传播方向,或者进行光路分离。色散棱镜主要用于将光按波长进行色散。

半透膜又称半反半透镜或分光镜,用于光路分离或按波长分光。

滤光片用于对光按波长过滤,只让某种颜色的光通过。

(三)光路调整

为了使光电式传感器获得最佳的检测效果,除要考虑光源、光路元件外,还有个光路调整的问题。

一般说来,光从透明窗口照射到光敏元件的芯体上时存在着一个视角。所谓视角,就是芯体透过窗口能够接受到光的最大张角。不同类型的光敏元件,其视角大小是不同的,因而带来了光路调整的问题,即通过细心安排光路、使被测光源自发射体或反射体发出的光能更多地为光敏元件所接收。图5-15所示为用光敏管测点光源的示意图。从图中可看出,调整光源1、透镜2和光敏管3间的相对位置,使通过透镜后的光线处在光敏管的视角之内,光敏管能接收到最大的光通量,灵敏度得以提高。

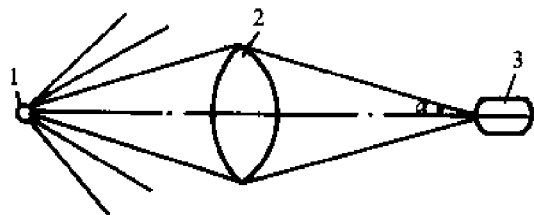


图5-15 光敏管检测点光源示意图

三、光电元件的选择

光电元件的选择应根据被测量的要求及光源特点,并同时考虑光电元件的特性来进行,主要是光谱特性,光电特性和灵敏度三个方面。

(一)光谱特性

光电元件的光谱特性应当与光源的光谱特性相匹配。可以根据光源选择光电元件,也可以根据光电元件确定光源。例如,进行某种检测时,需要采用光谱能量主要分布在红外区的硫化铅或碲化铟材料的光电元件,那么光源应选用红外光的砷化镓发光二极管。

(二)光照特性

各种光照元件的光电特性,一般有一定程度的非线性,如果用于检测,应选用线性好的光电元件,以减小测量误差。如果是在控制系统中作为开关元件使用,则光照元件光电特性的线性问题不是主要的,灵敏度应是重点考虑的问题。

(三)灵敏度

对光电元件灵敏度的要求,要注意它所接收的光的强弱情况。对强光检测时,灵敏度易满足,对弱光检测时,可采用感光面大的光电池,并保证光线照到整个感光面上,以获取较高的灵敏度。

四、光电传感器的应用

(一)光电耦合器件

光电耦合器件是发光二极管和光敏元件封装在体的光电传感器件,以实现电信号的传递与耦合。图 5-16 所示为光电耦合器件的几种结构形式。工作时电信号加至输入端,使发光二极管发光,光敏元件接收发光二极管的光辐射在输出端输出光电流,从而实现电—光—电的转换,并实现了输入端与输出端的耦合。

在图 5-16 中,(a)图结构简单,由一个发光二极管和一个光敏三极管组成,常用于 50Hz 以下工作频率的装置中。(b)图由一个发光二极管与一个达林顿管组成,有较高的传输效率,常用于直接驱动较低频率的装置中。(c)图是由高速开关构成的高速光电耦合器件,常用在较高频率的装置中。(d)图是用集成电路构成的高速、高传输效率的光电耦合器件。它们共同的优点是体积小、无触点、寿命长、输入与输出间绝缘,隔离性好,响应速度快、工作稳定可靠,因而被广泛用作固

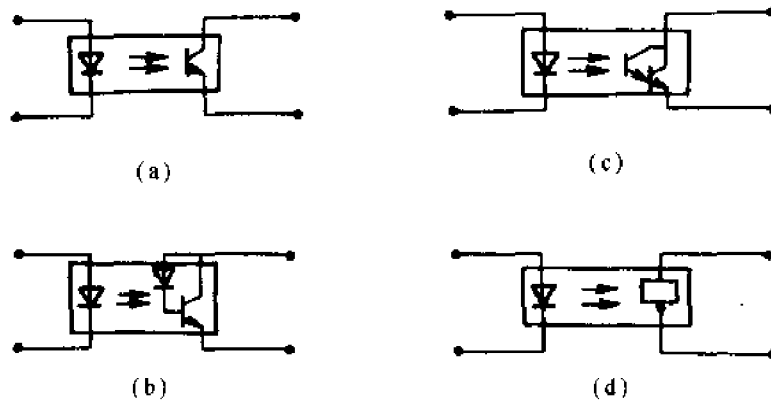


图 5-16 光电耦合器件的几种结构形式

体继电器、稳压电路、信号调制电路等。下面简要介绍一下光电耦合在数控机床中的应用。

图 5-17 所示为数控铣床的输出电路。微机芯片 8255 输出的正脉冲信号经过光电耦合器传输后,作为步进电动机的驱动信号。

由于 8255 输出的电流较小不足以使光电耦合器中的发光二极管 VD_1 发光,所以要经过复合管射极跟随器将 8255 的输出电流放大。 VD_1 发光后光敏三极管 VT_1 导通控制面板上的发光二极管 VD_2 发光,并同时在 VT_1 的集电极输出一个负脉冲经步进电动机功率放

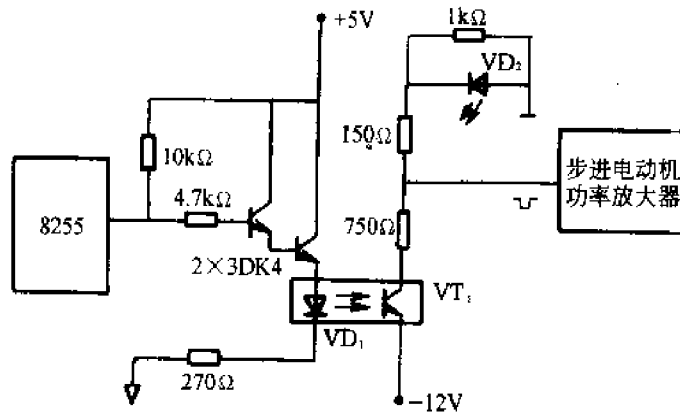


图 5-17 数控铣床的输出电路

大器放大后,再控制步进电动机的工作。

(二)光电开关器件

光电开关器件是以光电元件、三极管为核心,配以继电器组成的一种电子开关。当开关中的光敏元件受到一定强度的光辐射时就会产生开关动作。图 5-18 所示为基本光电开关电路。图(a)与图(b)中的 V_1 、 V_2 光电元件在无光照时处于截止,继电器 K 不得电,有光照时, V_1 、 V_2 导通,继电器得电后动作,实现光电开关控制。图(c)中, V_1 无光照时截止, V_2 导通,继电器动作,一旦有光照时, V_1 导通,使 V_2 截止,继电器掉电后动作,

实现了光电开关控制。

光电开关器件与光电耦合器件一样,无触点、寿命长、工作稳定可靠。

(三)光电转速计

图 5-19 为光电转速计的结构示意图,由光源 1、光路元件 2、光电元件 3、转盘 4、信号转换显示电路 5 组成。其中作为核心的光电元件是利用其开关特性工作的,即光线每照射光电元件一次,光电元件就发出一个电脉冲。整个工作原理如下:光源发出的光经透镜、半透膜、透镜组成的第一光路照射到与被测旋转物体相连的转盘上,该转盘上涂有

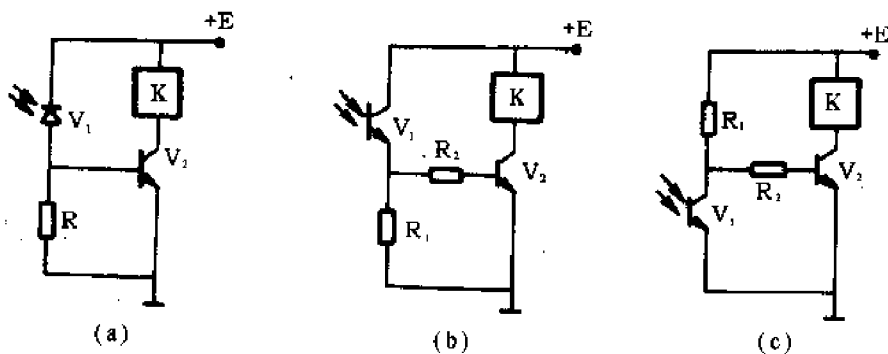


图 5-18 基本光电开关电路

等间距的黑白相间的标志。当光照射到黑色标志上时,因没有反射光,光电元件没有光照,处于截止状态,无电脉冲输出。当光照射到白色标志上时,反射光经透镜、半透膜、透镜组成的第二光路照射到光电元件上,使其

由截止变为导通,发出一个电脉冲。发出的电脉冲通过放大整形电路处理后送入数字频率计显示,从而测量出旋转物体的转速。

(四)光电式边缘位置传感器

光电式边缘位置传感器是光电式带材跑

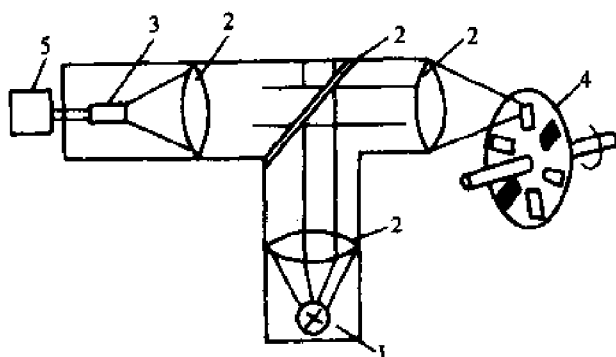


图 5-19 光电转速计结构示意图

偏仪中的传感器部分,它由白炽灯光源,光学系统和光敏晶体管组成,其结构原理如图 5-20所示。

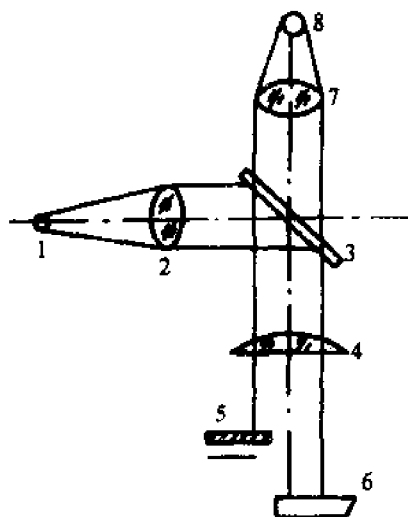


图 5-20 光电式边缘位置传感器

白炽灯光源 1 所发出的光经透镜 2 会聚,然后由半透膜 3 反射使光路折转 90° ,经透镜 4 会聚后成为平行光束。此光束由带材 5 遮挡一部分,另一部分投射到反射镜 6 后被反射又经透镜 4、半透膜 3 和透镜 7 会聚于光敏晶体管 8 上。

当带材处于平行光束的中间位置时,光敏晶体管输出电流为常数 I ,使带材纠偏执行机构不产生动作。当带材向左偏移或向右偏置时,反射镜反射回去的光通量增加或减少,光敏晶体管输出电流为 $I + \Delta I$ 或 $I - \Delta I$,

这个电流变化信号则作为控制信号通过执行机构纠正带材的偏移。

(五)QS-5 型光电式电子清纱器检测电路

光电式电子清纱器和第三节所介绍的电容式电子清纱器一样,是为络筒机配套的专用电子设备,它除了可以自动检测和清除纱线上的短粗节、长粗节和细节纱疵等功能外,还能按纱线的质量要求对短小纱疵是否清除作出选择。QS-5 型光电式电子清纱器以光电检测头为核心,包括积分、放大、鉴别、切刀驱动等电路。下面对检测电路的工作原理进行介绍。

检测电路主要由光源和光电元件组成,如图 5-21 所示。光源采用白炽灯泡,光电元件采用硅光电池。通过光电转换,将纱疵

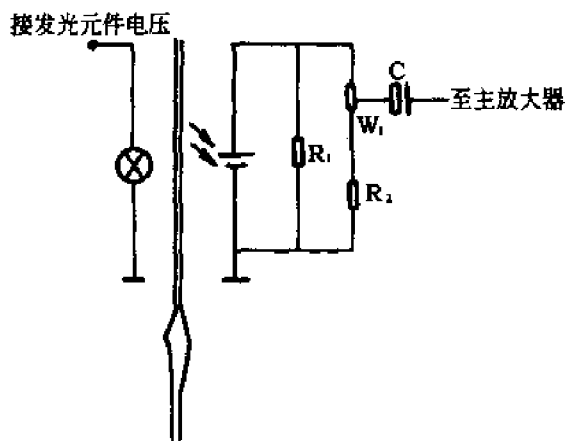


图 5-21 清纱器检测电路示意图

粗细和长短两个几何量转换成相应幅度和宽度的电脉冲信号送入放大器与鉴别电路,用以推动切刀驱动电路机构的执行。

当在光电检测器间运行的纱线出现粗节或细节疵点时,硅光电池的受光面积将因疵点阴影的遮挡而减小,使硅光电池的受光量下降,从而引起硅光电池两端的电位发生变化,光生电压变化的幅值与疵点直径的相对变化量成正比。当纱线运行速度恒定时,疵点越长,通过检测器所需的时间也就越长。因此疵点直径与长度两个几何量的变化都可以转变为硅光电池相应的输出电脉冲幅值和宽度的变化。

思考题与习题:

1. 试说明光电式传感器的光电效应分为哪几

类? 与之对应的光电元件有哪些?

2. 试说明为什么光敏电阻不宜作为检测元件使用?

3. 试说明为什么光电池应作为电流源使用?

4. 光电式传感器可分为哪几类? 试举出相应的例子。

5. 试说明常用的光路元件及其作用。

6. 试说明光电元件的选择原则。

7. 某光敏二极管在强光照射时光电流为 2.5mA ,选用的继电器吸合电流为 50mA ,直流电阻为 250Ω 。现欲设计两个简单的光电开关,其中一个是有强光照射时继电器吸合,另一个则是在有强光照射时继电器释放。请分别画出两个光电开关的电路图(采用普通三极管放大),并标出电源极性及其选用的电压值。

8. 试设计一个能自动检测纸张“白度”的测量仪,要求画出传感器简图并简要说明其工作原理。

第六章

压电式传感器

压电式传感器是利用压电材料的压电效应为工作原理,将力的变化转换为电信号输出,从而实现非电量检测的一种传感器。压

电式传感器具有体积小、重量轻、结构简单、工作可靠和灵敏度高等优点,被广泛应用于力、压力、振动、加速度等非电量的测量。

第一节 压电效应与压电元件

一、压电效应

某些电介质物质,在受到一定方向的外力作用下发生形变时,内部会产生极化现象,同时在其表面会产生电荷,且所产生的电荷量与外力的大小成正比,当外力方向改变时,电荷的极性也随之改变,当外力取消后,该物质又能恢复到原来不带电状态,这种现象称为顺压电效应或压电效应。如果在该物质的极化方向上施加交变电场,它就会产生机械变形,当外加电场取消后,变形又随之消失,这种现象称为逆压电效应或电致伸缩效应。

二、压电元件及其等效电路

(一)压电材料

具有压电效应并能构成压电元件的材料称为压电材料。在压电材料的线性弹性范围内,其所产生的电荷量 Q 与作用外力 F 成正比:

$$Q = F \cdot D \quad (6-1)$$

式中: D —— 压电材料的压电系数, C/N ;

F —— 沿极化方向的作用力, N 。

常见的压电材料有三类:天然晶体、人造晶体和高分子压电材料。前两种应用较为广泛。天然晶体的典型代表是石英,人造晶体

的典型代表是压电陶瓷,高分子压电材料的典型代表是聚二氯乙烯。

1. 石英 石英亦称为水晶,它是重要的压电材料,具有很多独特的优点,是目前高精度压电式传感器中常用的压电材料。由于天然石英晶体产量有限,所以近年来广泛采用人造石英晶体。

天然结构的石英晶体呈六角形晶柱,如图 6-1 所示,两端为一对称的棱锥。纵轴线 z 称为光轴,通过六角棱线而垂直于光轴的轴线 x 称为电轴,垂直于棱面的轴线 y 称为机械轴,如果从石英晶体中切割一个平行六面体的切片,如图 6-2 所示,使切片的六面分别垂直于光轴、电轴和机械轴,当晶体切片

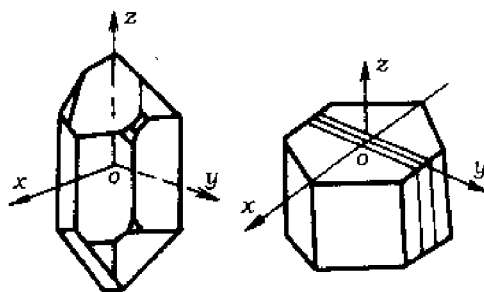


图 6-1 石英晶体天然结构

受到沿 x 轴方向的作用外力时,在垂直于 x 轴的晶面上便会产生电荷,此压电效应称为纵向压电效应,当晶片受到沿 y 轴方向的作用外力时,在垂直于 x 轴的晶面上同样会产生电荷,此压电效应称为横向压电效应,而沿着 z 轴施加外力时,则不会有压电效应产生。

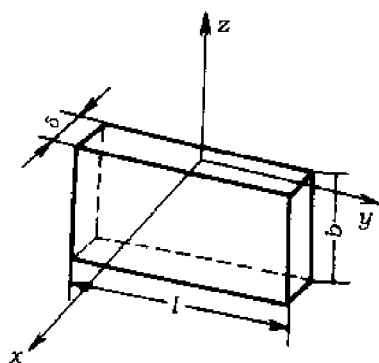


图 6-2 石英晶体切片

石英的压电系数的温度稳定性相当好,在常温下,几乎不随温度变化。当温度超过 500°C 以后,压电系数急剧下降。继续升高温度,其压电效应完全消失。压电效应完全消失的温度的转折点,称为居里点。石英的居里点为 575°C 。

石英晶体的另两个优点是机械强度高,绝缘性好。但是它的价格昂贵,压电系数小 ($D = 2.3 \times 10^{-12} \text{C/N}$),因此石英压电材料常作为校准用标准传感器和精度要求很高的场合。

2. 压电陶瓷 压电陶瓷是人工制造的由无数细微单晶组成的多晶体,如图 6-3 所示。各单晶的自发极化方向完全是任意排列。这样的排列使得各单晶的压电效应互相抵消。这种陶瓷只有经过极化处理,使其内部的单晶的极性轴转到接近电场的方向才能

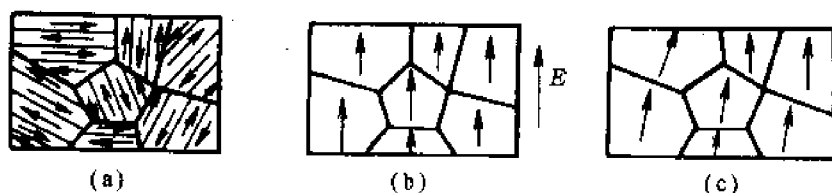


图 6-3 压电陶瓷结构示意图

(a)未极化的陶瓷 (b)正在极化的陶瓷 (c)极化后的陶瓷

作为压电材料使用。当压电陶瓷受到外力作用时,极化强度就会发生变化,在垂直于极化方向的平面上就会出现电荷。

压电陶瓷具有非常好的压电效应。常用的压电陶瓷有:

钛酸钡 (BaTiO_3) 具有较高的压电系数 ($D = 1.0 \times 10^{-10} \text{C/N}$),抗湿性好,价格低。使用温度在 70°C 以下。

锆钛酸铅 (PZT) 具有较高的压电系数 ($D = 5 \times 10^{-10} \text{C/N}$),工作温度达 200°C ,稳定性能好,是目前应用最广泛的压电材料。

3. 高分子压电材料 高分子压电材料有聚二氟乙烯 (PVF_2)、聚氯乙烯 (PVC)、聚氟乙烯 (PVF) 等,其中聚二氟乙烯压电系数最

高。高分子压电材料是一种柔软的压电材料,不易损坏,可以大量生产和制成较大面积,这些优点是其它两类压电材料所没有的,因而在一些特殊用途的传感器中获得了广泛使用。

三、测量电路

在压电晶片产生电荷的两个平面上装上金属电极,就构成了一个压电元件。由于压电元件可以把力转换为电荷,因此可以利用它做成各种传感器。应该指出的是,压电式传感器只适用于动态测量。当压电晶片受力时,在晶体的一个表面会聚集正电荷,而在另一个表面会聚集等量的负电荷。所以它可以被看做是一个电荷发生器。由电工学知识可

知,在晶体的上下表面聚集电荷,中间为绝缘介质,可看成是一个电容器,其电容量为:

$$C_s = \frac{\epsilon S}{d} \quad (6-2)$$

式中: S —— 压电元件聚集电荷的表面面积;

d —— 压电元件的厚度;

ϵ —— 压电元件的介电常数。

压电元件的等效电路可以有两种形式,一是电荷源电容器,其电路如图 6-4(a)所示。由于电容器上的电压为

$$u_a = \frac{q}{C_s} \quad (6-3)$$

因此它又可以等效为一个电压源电容器,其等效电路如图 6-4(b)所示。等效电路中 q 为压电元件的电荷, u_a 为压电元件的电压, C_s 为压电元件的电容, R_s 为压电元件的泄漏电阻。

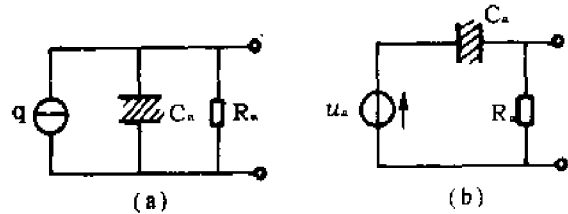


图 6-4 压电元件等效电路

第二节 压电式传感器的转换电路

由于压电式传感器的输出信号(电荷或电压)非常微弱,需要放大才能进行测量,但因传感器内阻抗非常高,普通放大器是不能够放大的,同时连接导线(电缆)的长度和噪声也是影响测量的突出问题。为解决这些问题,通常的将传感器的输出信号先由低噪声电缆输入具有高输入阻抗的前置放大器。前置放大器的主要作用是将压电式传感器的高阻抗输出变换成低阻抗输出,其次将传感器微弱信号放大。根据压电式传感器的转换原理及其等效电路,它的输出可以是电压,也可以是电荷,为此,前置放大器有两种形式,一种为电压放大器,其输出电压与输入电压(即传感器的输出电压)成比例,通常将此种前置放大器称作阻抗变换器,它对整个测量系统电缆电容的变化非常敏感,尤其是连接电缆长度的变化更为明显。另一种是电荷放大器,其输出电压与输入电荷成比例。这种放大器对电缆长度变化的影响极为迟钝,所以对其造成的影响可忽略不计。

一、电压放大器

压电式传感器是一个高内阻、弱信号的信号电源,所以与转换电路连接时需要考虑电缆电容的影响。另外,电压放大器的输入电阻 R_i 与输入电容 C_i 构成了传感器的负载,这样得到等效电路如图 6-5 所示。

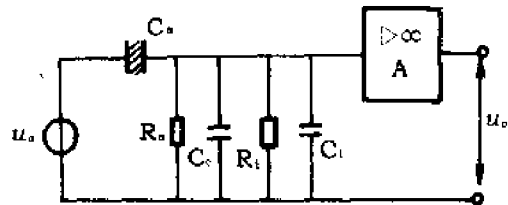


图 6-5 电压放大器等效电路

在压电传感器与电压放大器等效电路图中, U_a 为压电式传感器电压, C_s 为压电式传感器等效电容, R_s 为压电式传感器泄漏电阻, C_c 为连接电缆电容, R_i 为电压放大器输入电阻, C_i 为电压放大器输入电容。

令 $R = R_s // R_i$, $C = C_i + C_c$, 当对压电材料施加力 $F = F_m \sin \omega t$ 时,电压放大器输入电压的幅值 U_{im} 可由下式表示:

$$U_{im} = \frac{\omega R D F_m}{\sqrt{1 + (\omega R)^2 (C_s + C)^2}}$$

$$\frac{\omega R D F_m}{\sqrt{1 + (\omega \tau)^2}} \quad (6-4)$$

式中： τ ——测量回路的时间常数，其值为
 $\tau = R(C + C_a)$ 。

式(6-4)表明，当 $\omega = 0$ 时，即在恒定压力情况下，电压放大器输入电压也就是传感器输出电压为零。所以压电传感器是不能测量恒定压力的。因为恒压产生的电荷会通过压电传感器泄漏电阻和放大器输入电阻放掉。

当 $\omega \tau \gg 1$ 时，式(6-4)可变换为：

$$U_{im} = \frac{D F_m}{C_c + C_a + C_i} \quad (6-5)$$

式(6-5)表明，当 $\omega \tau \gg 1$ 时，压电传感器的输出与施加力的频率无关。在高频时，压电传感器有着平坦的高频响应曲线，但是在低频时要满足 $\omega \tau \gg 1$ 的条件，则要求时间常数足够大。加大时间常数的方法有两种，一是提高传感器的绝缘电阻和电压放大器的输入电阻；一是加大电缆电容 C_c ，电压放大器的输入电容 C_i 以及传感器电容 C_a 。但是加大电容的办法是不可取的，因为由式(6-5)可知加大电容反而会使传感器输出下降。在加大电阻的办法中，由于传感器的绝缘电阻都相当高，所以主要是提高电压放大器的输入电阻。

由式(6-5)可得压电式传感器的电压灵敏度 K ：

$$K = \frac{U_{im}}{F_m} = \frac{D}{C_c + C_a + C_i} \quad (6-6)$$

式(6-6)表明， K 与压电元件的压电系数成正比，与元件的等效电容 C_a 、电压放大器的输入电容 C_i 及联接电缆电容 C_c 之和成反比。当传感器及电压放大器一经校正，仪器便不能更换，电缆长度不能改变，否则将导致电压灵敏度 K 的变化。

二、电荷放大器

电荷放大器是将高内阻的电荷源转换为低输出阻抗的电压源的压电传感器专用前置放大器，它的输出电压正比于输入电荷。电荷放大器同样起着阻抗变换的作用，其输入阻抗高达 $10^{10} \sim 10^{12} \Omega$ ，输出阻抗小于 100Ω 。电荷放大器的等效电路如图6-6所示。根据运算放大器的“虚地”原理，反馈电容 C_f 折合成到放大器输入端的等效电容 C_f' 为：

$$C_f' = (1 + A) C_f \quad (6-7)$$

电容 C_f' 与放大器的输入电容 C_i 并联。因此电荷源对反馈电容 C_f' 、放大器输入电容 C_i 、传感器内部电容 C_a 以及电缆电容 C_c 共同充电。这时放大器的输出电压 U_o 为：

$$U_o = \frac{-AQ}{C_a + C_c + C_i + (1 + K)C_f} \quad (6-8)$$

式(6-8)表明，电荷放大器的输出电压与电缆电容、放大器输入电容及反馈电容等有关。当运算放大器的开环增益足够高时，可以忽略 C_a 、 C_i 、 C_c 的影响，式(6-8)可变换为：

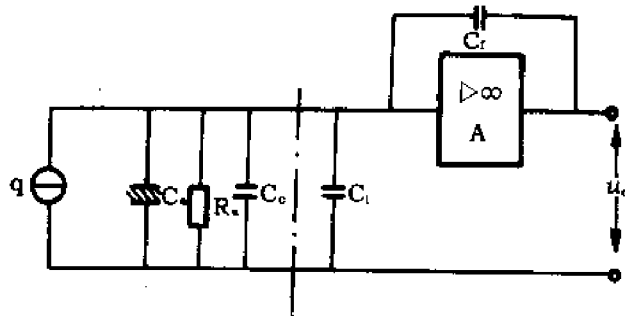


图 6-6 电荷放大器等效电路

$$U_o = -\frac{Q}{C_f} \quad (6-9)$$

式(6-9)表明,在运算放大器开环增益足够高时,电荷放大器的输出电压 U_o 只与压电传感器的电荷量和运算放大器的反馈电容 C_f 有关,而与电缆电容等无关。这是电荷放大器的一个突出优点。即使在连接电缆长达数百米的情况下,电荷放大器的输出也无明显的损失。

在电荷放大器的实际电路中,考虑到检

测的不同量程,以及后级放大器不致因输入信号太大而饱和,反馈电容 C_f 的容量是可变的。变化范围为 $100 \sim 1000 \mu\text{F}$ 。选择不同的 C_f 值,可以改变前置级的输出电压的大小。同时,考虑到采用电容负反馈后,对直流工作点相当于开路,因此放大器零漂较大。为了减小零漂,使放大器工作稳定,一般在 C_f 两端并联一个大电阻 R_f ,取值为 $10^8 \Omega \sim 10^{10} \Omega$,用来提供直流反馈以稳定放大倍数。

第三节 压电式传感器的应用

一、压电式力传感器

图 6-7 所示为压电式力传感器的结构示意图,被测力 F 施加于钢珠 1 上,再通过钢板 2 和 3 传递给石英晶片 4 和 5 上。石英晶片 4 和 5 中两个产生负电荷的面粘贴在钢板 3 上,并由导杆 6 引出作为输出线。两石英晶片的另外两个正极面与传感器壳体相连,并由壳体 7 引出作为另一根输出线。石英晶片受压后产生电荷或电压,由导杆 6 和壳体 7 输出,然后接入电荷放大器或电压放大器。此处石英晶片的连接方式称为并联连接,其主要作用是用以提高传感器的灵敏度。

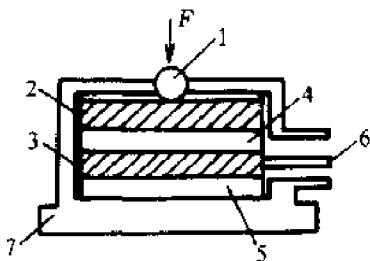


图 6-7 压电式力传感器结构示意图

式(6-1)表明,晶片上产生的电荷 Q 与作用力 F 成正比,作用力越大,产生的电荷

越多,电荷放大器的输出是正比于作用力的。同样从式(6-9)可得到,作为电压式放大器而言,电压输出也是正比于作用力 F 的,由此可以检测出被测力的大小。

二、压电式加速度传感器

压电式加速度传感器又称压电式加速度计,图 6-8 为加速度传感器结构示意图,其主要组成有压电元件 1、质量块 2 和信号输出线 3,质量块被放置在压电片上。它们都由预紧弹簧固定在传感器的基座上。同样为提高传感器的灵敏度,压电元件由两片压电

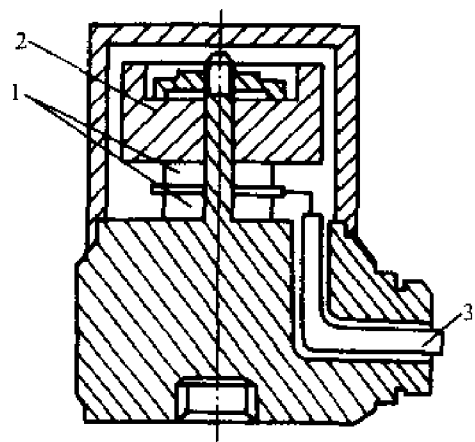


图 6-8 加速度传感器的结构示意图

片组成,它们中间常夹有一金属薄片,并由此引出一根输出线,另一根输出线直接与传感器基座相连。

检测时,将传感器基座与试件刚性固定,质量块感受与基座相同的运动,此时,压电元件会受到质量块惯性力 F 的作用而使压电片发生微小变形,于是在压电元件内部产生压电效应,并在其表面出现电荷,其大小与惯性力 F 成正比。由 $F = ma$ 的关系可知,惯性力 F 又与加速度 a 值成正比。这样只要通过转换电路测量出压电元件上产生的电荷的大小就可以得到被测物体的加速度值。

增加质量块的质量,可以提高传感器的灵敏度,但是也增加了传感器的重量,会给试

件的测试带来影响,因此通常不采取增加质量块质量的办法来提高灵敏度,而是通过选择压电系数较大的压电元件来实现,或者通过增加压电片的数目来实现。

图 6-9(a)所示为压电片的并联连接。两个产生相同电荷的压电片的面粘接在一起,由引线引出作为输出线。另外两个面由引线连接在一起引出作为另一根输出线。并联连接,能使输出电荷量增加。图 6-9(b)所示为压电片的串联连接。把两个产生不同电荷的压电片的面粘接到一起,于是两个面的正负电荷相互抵消。另外两个面分别引出输出线。串联连接,使输出电压增加了一倍,同样可以提高压电元件的灵敏度。

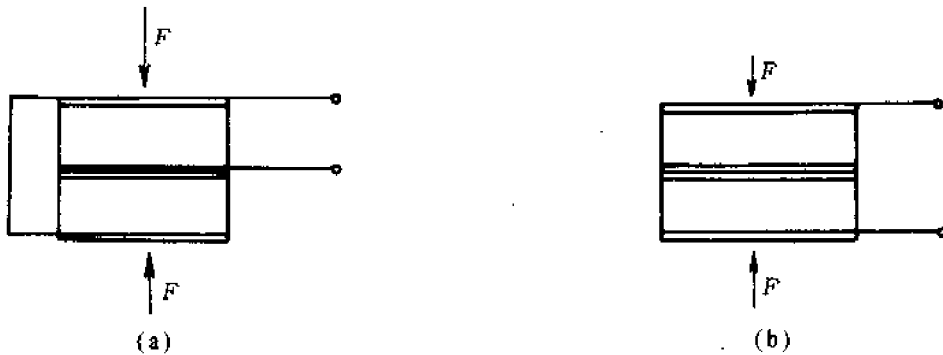


图 6-9 多层压电片的连接

(a)并联 (b)串联

采用多层压电片的方法,主要适用于石英晶体传感器。因为石英的压电系数低。压电陶瓷一般采用两片压电片。

压电式传感器除了做加速度计之外,还可制成压电流量计,压电测厚计,压电振动计等。

三、剑杆织机压电陶瓷断纬自停装置

剑杆织机在引纬时,送剑杆将纬纱引入梭口,同时接剑杆也向梭口中间运动。到梭口中部,送剑杆将纬纱传递给接剑杆,然后两者反向运动退出梭口,从而将纬纱由织物一侧引至另一侧。接下来,剪刀将纬纱切断,织边机构完成织边动作。

在引纬过程中,当纬纱断掉或用完时,为了使织机在一定位置准确、及时停车,防止织疵,可采用压电传感器进行检测。

图 6-10 所示为纬纱引出示意图,纬纱 2 自筒子 1 引出,经过导纱器 3、张力器 4 后进入传感器压电陶瓷体 5 的孔眼,并接触其下部,由剑杆 6 引入梭口。当有纬纱通过压

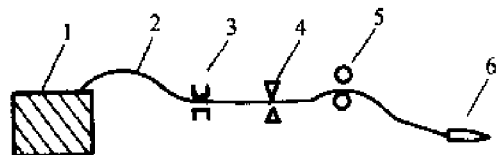


图 6-10 纬纱引出示意图

电陶瓷体上的孔眼时,由于产生摩擦振动,而产生压电效应,并连续发出信号(如图 6-11

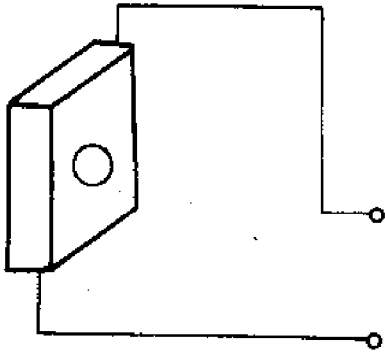


图 6-11 压电陶瓷体示意图

所示)。如果纬纱断头或纬纱用完时,则无压电效应产生。当织机同步信号来到时,符合停车条件使织机停车。

思考题与习题:

1. 什么叫压电效应? 试举例说明实际压电式传感器中是如何利用压电效应的?
2. 常用的压电材料有哪几类? 各有什么特点?
3. 压电式传感器能否用于静态测量? 为什么?
4. 压电式传感器的转换电路有哪几类? 各有什么特点?

第七章 霍尔传感器

霍尔传感器是利用霍尔元件制成的,其工作原理是基于霍尔材料的霍尔效应。由于霍尔传感器具有对磁场敏感、结构简单可靠、

使用方便等特点,现已广泛应用于检测大电流、微弱磁场及微位移等方面。

第一节 霍尔效应

一、霍尔效应

图 7-1 所示为霍尔效应原理图,在一个半导体薄片(称为霍尔元件)相对两侧面通以激励电流 I ,在薄片垂直方向加以磁场 B ,则在半导体另两侧面会产生一个大小与控制电流 I 和磁场 B 乘积成正比的电势 U_H ,这一现象称为霍尔效应,所产生的电势 U_H 称为霍尔电势,其值可表示为:

$$U_H = K_H IB \quad (7-1)$$

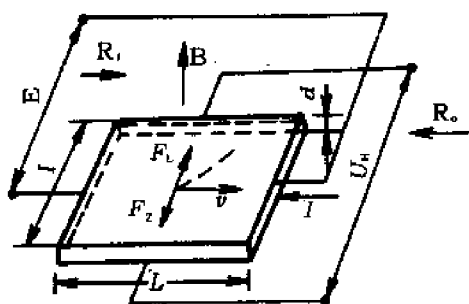


图 7-1 霍尔效应原理图

式(7-1)中的 K_H 称为霍尔元件的灵敏度,是指在单位激励电流和单位磁场作用下霍尔元件输出的开路电势值,定义为:

$$K_H = R_H/d \quad (7-2)$$

式中: d ——霍尔元件的厚度;

R_H ——霍尔系数。其值为常数,由霍尔材料所决定。

霍尔效应在半导体材料中表现较为显著。N型硅是常用的霍尔材料,它有着较好的灵敏度、线性度、温度特性等。另外,锗、砷化镓(InAs)、砷化镓(GaAs)和铟化镓(InSb)也是常用的霍尔元件材料。

二、霍尔元件的结构及其基本电路

霍尔元件的结构如图 7-2 所示。图中的矩形薄片状的立方晶体称为基片。在它的两垂直侧面上各装有一对电极。电极 1-1 用以加激励电压或流过激励电流,故称为激励电极。电极 2-2 作为霍尔电势的输出电

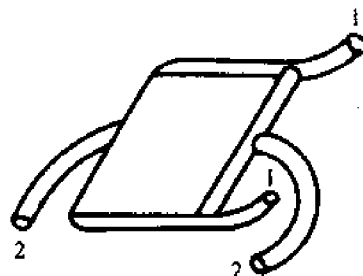


图 7-2 霍尔元件的结构

极,故称为霍尔电极。基片由上述半导体材料中的某一种制成,它的尺寸要求是厚度 d 尽可能薄,以提高霍尔元件的灵敏度。

霍尔电极在基片上的位置以及基片宽度对霍尔电势 U_H 值影响甚大。霍尔电极的宽度应远小于基片的长度,而电极位置应在霍尔元件基片长度的中间。

在电路中,霍尔元件的符号如图 7-3(a)所示。其基本电路如图 7-3(b)所示,激励电流由电源 E 供给,可变电阻 R 用以调节激励电流, R_L 为输出霍尔电势的负载电阻,通常它是显示仪表、记录装置或放大器的输入阻抗。

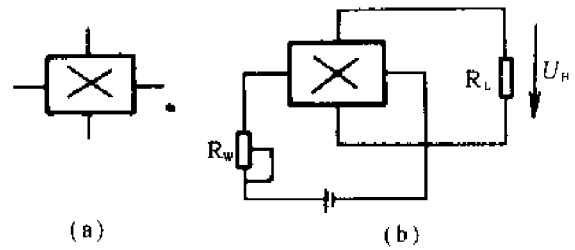


图 7-3 霍尔元件的符号与基本电路

最后应该指出的是,在实际应用中,当磁感应强度 B 和霍尔元件基片平面法线方向成角度 α 时,霍尔电势 U_H 的计算公式应当变为:

$$U_H = K_H IB \cos \alpha \quad (7-3)$$

第二节 霍尔元件的特性参数及相关补偿

一、输入电阻与输出电阻

霍尔元件激励电极之间的电阻称为输入电阻 R_i 。由于霍尔元件是由半导体材料制成的,因而输入电阻值受温度影响较大,温度升高,输入电阻值减小,从而使激励电流变大,最终会引起霍尔电势的变化。为了减少温度对输入电阻的影响,应采用恒流源作为激励源。

霍尔电极之间的电阻称为输出电阻 R_o 。同样输出电阻也受到温度的影响,使霍尔电势发生变化,通过选择适当的电阻与之匹配,可以使温度引起的霍尔电势的漂移减至最小。

二、额定激励电流和最大允许激励电流

额定激励电流 I_c 是指使霍尔元件温度升高 10°C 时所对应的激励电流值,此值的大小主要受散热条件的限制。由于霍尔元件的输出霍尔电势随激励电流的增大而增大,所以在实际使用中,总希望选用较大的激励电流值。但激励电流 I_c 过大时,元件的温度会

升高超过元件允许的最高温升值使元件损坏,因此将元件允许的最高温升值所对应的激励电流称为最大允许激励电流 I_{cm} 。对应于最大允许激励电流时的输出霍尔电势称为最大开路霍尔电势 U_{Hm} 。

三、不等位电势及其补偿

霍尔元件在额定激励电流作用下,外加磁场为零时霍尔电极间的空载电势,称为不等位电势 U_o 。不等位电势 U_o 与额定激励电流 I_c 之比,称为霍尔元件的不等位电阻 r_{oc} 。

在实际使用时,补偿不等位电势是必要的。根据不等位电势的定义可知:在直流激励情况下,不等位电势的量值与极性决定于激励电流的方向和大小,而在交流激励情况下,不等位电势的量值和相位则随激励电流而改变。而且不等位电势与激励电流之间的关系是非线性的。不等位电势还受温度的影响,所有这些因素都造成了补偿不等位电势的困难程度。

在分析霍尔元件的不等位电势时,可把霍尔元件视为一电桥,不等位电势 U_0 就相当于电桥的不平衡输出,因此所有能够使电桥达到平衡的方法都可以补偿不等位电势。由于霍尔元件的不等位电势是其工作温度的函数,所以上述方法只能在某一工作温度下,使不等位电势得到补偿,当工作温度变化时,这种补偿关系就将遭到破坏。如图 7-4(a)

所示为不对称补偿电路,补偿电阻 R_w 与霍尔元件等效桥臂电阻的电阻温度系数一般不相同,因此工作温度变化后原补偿关系立即遭到破坏。但这种电路结构简单,调整方便,能量损失小,而且在不等位电势较小时,这种电路不致降低输出的霍尔电势。如图 7-4(b)、(c)、(d)所示的三种电路都是对称电路,因而在温度变化时补偿的稳定性要好些。但

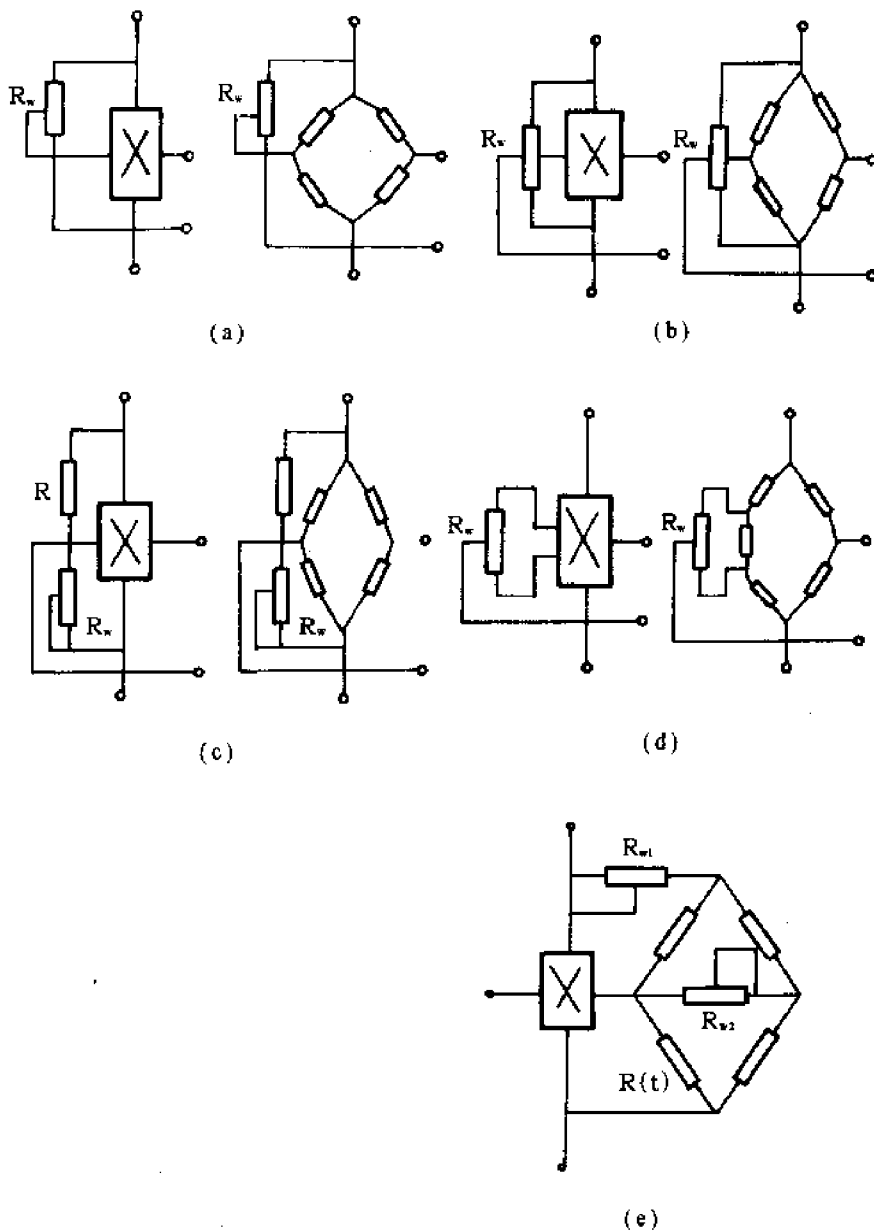


图 7-4 不等位电势的补偿电路

图(b)、(c)所示电路减小了霍尔元件的输入电阻,增大了输入功率,降低了霍尔电势的输出。图(a)所示电路对输入电阻的减小和激励功率的增大比图(c)所示电路要小一些,但它要求霍尔元件必须做成五端元件。图(c)、(d)所示电路共同的缺点是使输出电阻增大。

图7-4(e)所示为具有温度补偿的不等位电势补偿电路。不等位电势是温度的函数,可表示为: $U_o = U_{oL} + \Delta U_{oL}$,式中 U_{oL} 是相应于工作温度下限时不等位电势值,而 ΔU_o 则是不等位电势 U_o 中随温度变化的部分。要在整个工作温度范围内补偿不等位电势,补偿分量必须有两个组成部分,一个是恒定补偿部分,它补偿温度下限时不等位电势 U_{oL} ;另一个是随温度的补偿部分,用于补偿由于温度变化所引起不等位电势的增量 ΔU_{oL} 。图7-4(e)中电桥对角线所获得的补偿电压与元件输出的霍尔电势相串联。在电桥的一个桥臂上接有热敏电阻 R_t ,在下限工作温度时,调节电位计 R_{w1} 来补偿不等位电势 U_o 中的恒定部分 U_{oL} ,在上限工作温度时,补偿电桥因热敏电阻 R_t 阻值变化而有不平衡输出。通过调整电位计 R_{w2} 来补偿由于温度升高使不等位电势相应产生的增量 ΔU_{oL} ,这样随工作温度变化而变值的不等位电势 U_o ,在工作温度的上、下限两点都得到了补偿。适当选择热敏电阻 R_t 的值及其温

度特性,可使之在整个工作温度区间各点都得到比较好的补偿。这种电路的优点是补偿调节过程简单,补偿电压的两个部分彼此单独调节,互不影响,所以可以达到相当高的精度。

四、霍尔电势温度系数及温度误差

在一定磁感应强度和激励电流下,温度每变化 1°C 时,霍尔电势值变化的百分率称为霍尔电势温度系数 α 。

不同材料制成的霍尔元件,霍尔电势温度系数不同。锑化铟对温度最敏感,温度系数最大,其次是硅、锗;而砷化铟的温度系数较小。

由于霍尔元件对温度较为敏感,势必会造成其输出随温度变化,从而带来测量误差。在实际使用中应对此进行补偿。

1. 采用恒流源激励 温度变化会引起霍尔元件输入电阻的变化,而输入电阻的变化又会使激励电流发生变化,最后影响到霍尔电势。为减小这种影响,可采用恒流源电源,如图7-5所示。图(a)是一种最简单的恒流源电路,电阻 R 的取值需大一些,霍尔元件输入电阻的变化引起激励电流变化就会相对减小,电阻 R 越大,恒流效果越好,但是电路的功耗大多集中到 R 上去了。图(b)给出一种简单的晶体管恒流源电路,通过调节 R_w 可改变激励电流的大小。

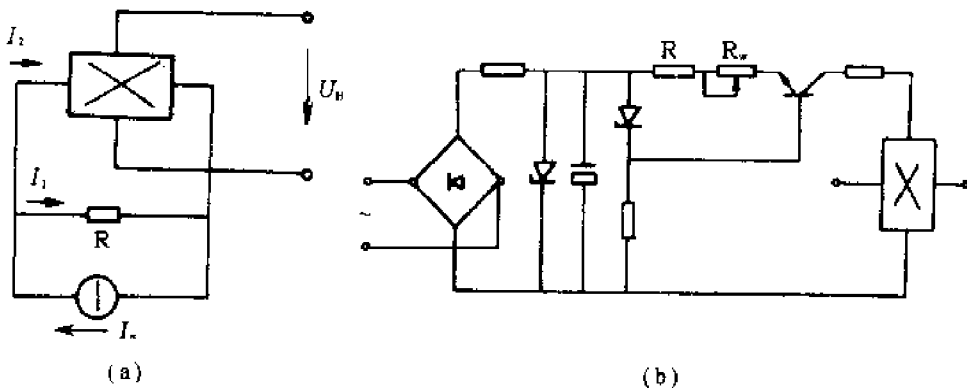


图7-5 恒流源电路

2. 适当选取负载电阻 R_L 的阻值 由于霍尔电势和负载电阻都是温度的函数, 因而可以通过选取适当的负载电阻的阻值进行温度补偿。负载电阻的选取可由下式决定:

$$R_L = R_{H_0}(\beta/\alpha - 1) \quad (7-4)$$

式中: R_{H_0} ——温度为 t_0 时的霍尔元件输出电阻;

α ——霍尔电势温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

β ——霍尔元件的电阻温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

霍尔电势的负载通常是放大器、显示器或记录仪表的输入电阻, 其值是一定的, 常用串、并联的方法使式(7-4)得到满足。

3. 利用输入回路的串联电阻进行补偿 霍尔元件在如图 7-6 所示情况下使用, 激励

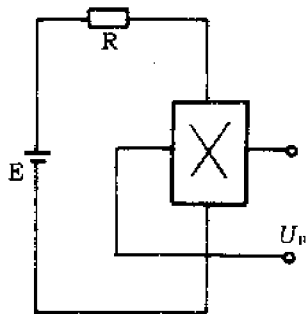


图 7-6 输入回路补偿原理图

电流回路即输入回路接稳定电源 E 、霍尔输出回路处于开路状态时, 当输入回路串联适当的电阻 R 时, 霍尔电势随温度的变化可得到补偿。

4. 采用温度补偿元件 这是最常用的温度补偿方法。图 7-7 所示为几种不同连接方式的例子。图中 R_i 为激励源内阻, R_t 为热敏元件如热电阻或热敏电阻。

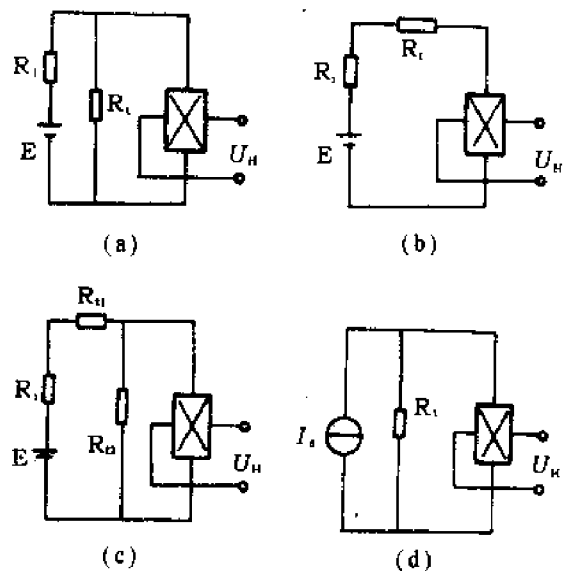


图 7-7 采用敏感元件的温度误差补偿电路

(a) 并联补偿电路 (b) 串联补偿电路
(c) 串、并联补偿电路 (d) 电流源补偿电路

第三节 霍尔集成传感器

将霍尔元件、放大器、温度补偿电路及稳压电源等做在一个芯片上, 称为霍尔集成传感器。霍尔集成传感器因体积小、温漂小、灵敏度高和输出电压大等优点, 在检测技术中得到了广泛的使用。就其输出特性而言, 霍尔集成传感器可分为线性型和开关型两种。

一、线性型集成霍尔传感器

较典型的线性集成霍尔传感器为 UGN3501, 其外形及内部电路框图如图 7-8

所示, 可以看出, UGN3501 有三只引脚, 分别为电源端、接地端和霍尔电势输出端。其内部电路主要有霍尔元件、恒流源及线性放大电路等。图 7-9 所示为 UGN3501 的输出特性。由于其特性曲线在一定的磁场强度内呈线性关系, 故称为线性型集成霍尔传感器。线性型霍尔集成传感器的主要特点是输出电压值较大, 使用也非常方便。UGN3501 的主要参数如表 7-1 所示。

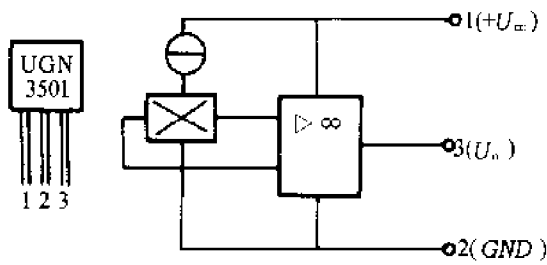


图 7-8 线性型集成霍尔传感器外形及内部电路框图

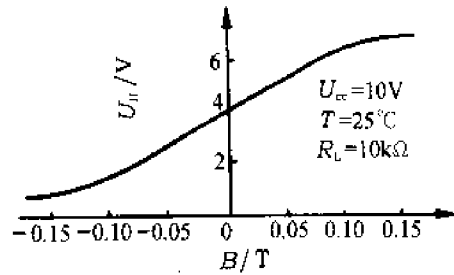


图 7-9 线性型集成霍尔传感器输出特性曲线

表 7-1 UGN3501 主要参数

电源电压	电源电流	静态输出	灵敏度	工作温度	线性范围
8~12V	10~20mA	2.5~5V	3.5~7mV/mAT	0~70°C	0.15~-0.15T

二、开关型霍尔集成传感器

典型的开关集成传感器为 UGN3020, 其外型及内部电路框图如图 7-10 所示, 与 UGN3501 一样, 它也有三只引脚, 分别为电源端、接地端及霍尔电势输出端。其内部电路主要有霍尔元件、放大电路、整形电路与集电极开路输出等部分。它的输出特性具有明显的开关特性, 如图 7-11 所示, 故称为开关型霍尔集成传感器。从其输出特性可以看出, 当外加磁场强度超过规定的工作点磁场强度 B_1 时, 传感器输出为低电平。当外加磁场强度低于工作点磁场强度 B_2 时, 传感器输出为高电平。输出特性中的磁滞现象使传感器开关动作更为可靠。另外还有一种锁键型传感器, 典型的如 UGN3075, 当磁场强度超过工作点时, 其输出导通, 而在磁场去除后, 输出保持不变, 必须施加反向磁场并使之通过释放点后才能使其关断。

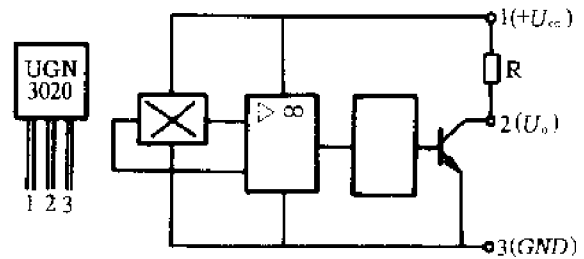


图 7-10 开关型霍尔集成传感器外形及内部电路框图

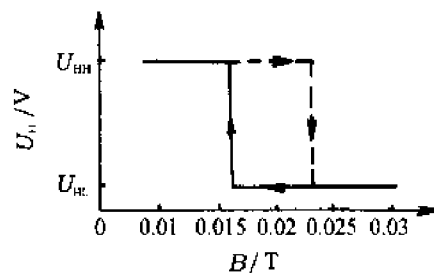


图 7-11 开关型霍尔集成传感器输出特性曲线

第四节 霍尔传感器的应用

一、霍尔元件的连接

为了获得较大的霍尔电势输出, 可采用

输出送加连接方式, 如图 7-12 所示。

图(a)为直流供电情况。激励电流端并

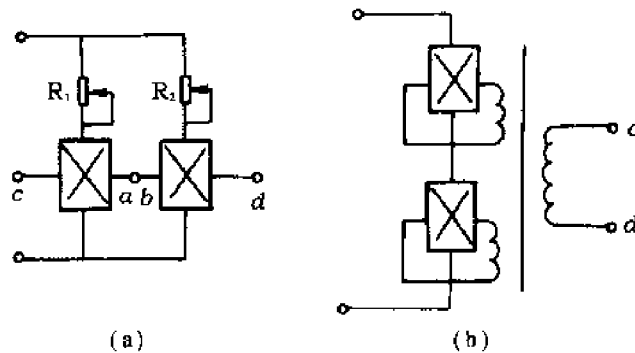


图 7-12 霍尔元件的连接
(a)直流供电 (b)交流供电

联, R_1 、 R_2 为可调电阻。通过调整 R_1 、 R_2 , 使二元件输出的霍尔电势相等。c、d 为输出端, 它的输出电势为单个霍尔元件的两倍。

图(b)为交流供电情况。激励电流端串联, 各元件输出端接至输出变压器各初级绕组, 变压器的次级便得到霍尔输出信号的迭加值。

二、霍尔传感器的应用

(一)霍尔传感器的应用领域

根据霍尔电势的表达式, 霍尔传感器常用于下列三个方面:

(1)当控制电流不变时, 使传感器处于非均匀或变化磁场中, 传感器输出正比于磁感应强度或决定于磁场的有无。因此, 对能转换为磁感应强度变化的物理量都能进行检测, 例如磁场、位移、角度、转速、加速度等。

(2)磁场不变时, 传感器输出值正比于激

励电流值。因此, 凡能转换成电流变化的物理量, 均能进行检测。

(3)传感器输出值正比于磁感应强度和激励电流之乘积。因此, 它可以用于乘法、功率等方面的计算与检测。

(二)应用举例

1. 计算机键盘开关 键盘是计算机典型的输入设备, 开关型集成霍尔传感器常在计算机键盘中用作无触点电子开关。图 7-13 所示为计算机键盘开关的结构示意图。

它主要由一个开关型集成霍尔传感器和两个小块永久磁铁组成, 图(a)为按钮 1 未按下示意图, 霍尔传感器 2 受到磁力线方向由上向下的磁场作用。当按钮 1 按下时, 磁铁位置变化到图(b)所示的位置, 此时霍尔传感器 2 受到磁力线方向由下向上的磁场作用, 这样就使霍尔传感器在按钮按下前后输出处

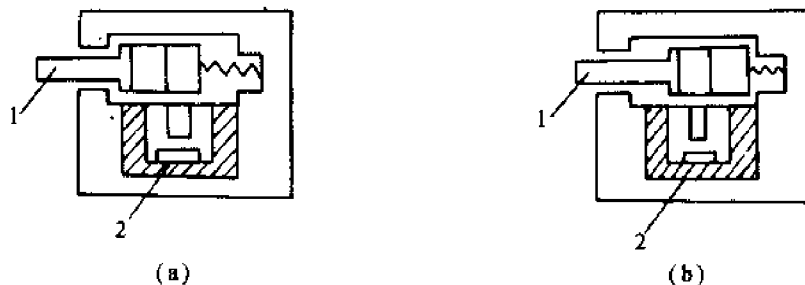


图 7-13 霍尔传感器构成的键盘开关
(a)按钮放开状态 (b)按钮按下状态

于不同的状态,从键盘输入的信号将被后面的逻辑电路判别后送入计算机内部。由霍尔传感器构成的键盘开关特点是工作稳定、性能可靠、寿命长久。

2. 霍尔式微压力传感器 霍尔式微压力传感器的原理示意图如图 7-14 所示,主要由霍尔元件 1、磁铁 2 和弹性波纹膜盒 3 组

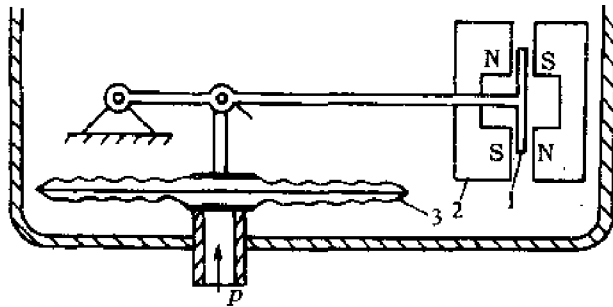


图 7-14 霍尔式微压力传感器的原理示意图

3. 霍尔式图书磁条检测仪 现在图书馆大多采用开架借阅的方式,图书失窃现象常常发生。由霍尔集成传感器 UGN3501 为核心元件制成的图书磁条检测仪能检测图书中磁条有无经过图书管理人员的消磁,还能够检测图书中磁条的有无。没有经过消磁的磁条,其磁感应强度较大,超过磁条检测仪设定的最大工作点磁感应强度,输出较大的霍尔电势,经放大电路处理后输出高电平,推动执行电路发出报警信号。当图书磁条被抽出后,其磁感应强度为零,低于磁条检测仪设定的最小工作点磁感应强度,输出霍尔电势为零,经反相放大电路处理后输出高电平,推动执行电路发出报警信号。

4. 霍尔式计数装置 霍尔集成传感器 UGN3501 具有较高的灵敏度,能感受到很小的磁场变化,因而能检测黑色金属的有无及个数,利用这一特性可制成钢球计数装置。其基本工作原理是:当钢球滚过传感器上方时,传感器输出峰值为 200mV 的脉冲,脉冲信号经运算放大器放大后送入计数器进行计

数。当有压力作用在弹性波纹膜盒上时,弹性波纹膜盒膨胀使杠杆向上移动,从而使作用在霍尔元件上的磁场大小及方向发生变化,引起传感器输出电势的大小发生变化,由此检测出压力的大小。由于霍尔元件和弹性波纹膜盒的灵敏度很高,常用于微压力的检测。

数。

5. 电子护经检测 在剑杆织机中,剑头进道后只要能按时退出,则织机为正常工作状态。如果剑头不能按时退出剑道,则可能产生因剑头被夹而导致断经现象。为了不使该现象发生,故在左右剑道中央(225°)处各安一个霍尔传感器,作为剑头是否正常到位的检测信号。因为织机机械运动的误差,允许剑头有 2°的偏差,故在主轴圆盘上 227°处安装一个传感器作为比较信号。当左右 225°的信号在 227°信号之前到时,织机为正常运转。如果左右 225°信号其中一个或两个没在 227°以前到位时,检测信号经逻辑电路发出一个故障信号,使离合器制动线圈通电,织机立即停车报警,以便对织机调整,达到报警的目的。

思考题与习题:

1. 什么是半导体材料的霍尔效应? 霍尔电势与哪些因素有关?
2. 不等位电势的影响因素有哪些? 怎样补偿?

3. 温度变化对霍尔元件输出电势有哪些影响? 怎样补偿?

4. 霍尔式传感器有何特点? 可以应用到哪些方面的检测?

5. 欲进行两个电压 U_1 、 U_2 乘法运算, 若采用霍尔元件作为运算器, 请提出设计方案, 画出检测系统的原理图。

6. 图 7-15 所示为转速测量系统, 转轮以转速 n 转动, 在磁铁 N 极端面上贴有霍尔元件, 试说明它的工作原理。

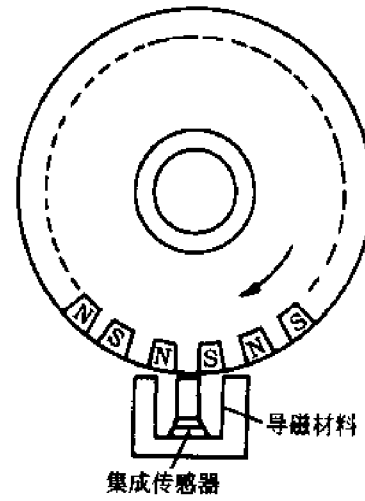


图 7-15 转速测量系统

第八章

热电式传感器

热电式传感器是一种测量温度及与温度有关的参数的传感器,它能实现温度到电阻或电势的连续转换过程。其种类很多,在自动检测中,主要有热电阻和热电偶两种。一般来讲,热电阻用于检测中、低温(500℃以下),而热电偶用于检测中、高温(500℃以上)。使用时,可采用显示器直接显示温度

值,也可采用温度变送器将它们转换成标准电信号(4~20mA或1~5V)进行信号远传和实现工业温度控制。这两种传感器都具有结构简单、使用方便、测量精度高的优点,因此,在自动检测和工业控制中占有十分重要的地位。

第一节 热电阻传感器

热电阻传感器是利用材料电阻随温度变化而变化的特性制成的。按所用材料电阻性质的不同,热电阻传感器可分为金属热电阻传感器和半导体热电阻传感器两类。前者通常简称为热电阻,后者则称为热敏电阻。

一、热电阻

热电阻传感器广泛用来测量-120~500℃的温度。随着材料科学技术的发展,其使用范围也在不断扩展,例如,在特殊情况下,可用于检测1~5K(0℃=273K)的超低温和1000~1300℃的高温,并表现出足够好的特性。其特点是准确度高,检测中、低温时输出信号比热电偶大得多,灵敏度高,可实现远传、自动记录和多点检测。

(一)测温原理

金属导体的电阻值是随温度的变化而变化的。实践表明,大多数金属在温度每升高10℃时,电阻值要增加0.4%~0.6%。一般来说,它们之间的关系为:

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t + t_0)] \quad (8-1)$$

或 $\Delta R_t = R_t - R_0 = \alpha R_0 \Delta t \quad (8-2)$

式中: R_t ——温度为 t 时的电阻值;

R_0 ——温度为 t_0 (通常为0℃)时的电阻值;

α ——电阻温度系数,即温度变化1℃时电阻值的相对变化量,单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

Δt ——温度变化量,即 $\Delta t = t - t_0$;

ΔR_t ——温度改变 Δt 时的电阻变化量。

由式(8-2)表明,由于温度的变化,使金属导体的电阻值也变化,因此通过测量该电阻值的大小即可检测温度,且温度值和电阻值之间是一一对应关系,这就是热电阻的测温原理。

(二)常见热电阻的种类和特性

虽然大多数金属电阻值随温度的变化而变化,但它们并不都能作为测温用的热电阻。

对用来制作热电阻丝的材料特性有以下要求:电阻温度系数要大,以获得较高的灵敏度;电阻率要高,以减小热电阻材料体积;热容量要小,以提高动态特性;电阻—温度特性尽可能为线性,以便于分度和读数;具有稳定的物理化学性质,且易加工、重复性好、价格便宜等。

根据上述要求,工业上常用的热电阻材料有铂、铜、铁和镍等,其中以铂和铜应用最

广,已成为工业上定型生产的热电阻材料。

我国自 20 世纪 80 年代以来已制定出等效于国际标准(IEC 标准)的热电阻的国家标准,其分度号分别是:Pt50 铂电阻、Pt100 铂电阻和 Cu50 铜电阻、Cu100 铜电阻。在此,分度号是指起始电阻为某一值的某一种特定热电阻的电阻值与温度关系对照表(也称分度表)的代号。常用热电阻主要技术数据及特性如表 8-1 所示。

表 8-1 工业常用热电阻性能比较

名称	分度号	0℃时的电阻值 (Ω)	特 点	用 途
铜电阻	Cu50	50	①物理、化学性能较稳定,特别是在 -50~100℃ 范围内,使用性能良好 ②电阻温度系数大,灵敏度较高,且线性好 ③缺点是电阻率小,体积要大,故热惰性较大 ④价格低	适用于测量 -50~100℃ 温度范围内各种管道、化学反应器、锅炉等工业设备中各种介质的温度。还可用于测量室温
	Cu100	100		
铂电阻	Pt50	50	①物理、化学性能较稳定,复现性好 ②精确度高 ③测温范围宽,为 -200~650℃ ④其缺点是在抗还原性介质中性能差、价格高	①适用于 -200~500℃ 范围内,各种管道、化学反应器、锅炉等工业设备的介质温度测量 ②可用于精密测温及作为基准热电阻使用
	Pt100	100		

由表 8-1 可知,电阻值与温度值间的分度关系和起始电阻 R_0 的选择有关。 R_0 的选择从以下两方面考虑:一方面从减少引出线和连接导线电阻因环境温度变化所引起的测量误差考虑, R_0 应取较大的值;另一方面从减小热电阻体积以减小热容量和热惯性,提高热电阻对温度变化的反应速度来看, R_0 应取较小的值,而且 R_0 越小,在检测时电流流过电阻体时所产生的热量越小,由此而引起的附加误差也越小。

铁和镍虽然其电阻温度系数小、电阻率高,但由于易氧化、难提纯,而且重复性和线性度差,因此,目前应用还不多。近年来,随着低温和超低温的发展,已开始采用铟、锰、

碳等作热电阻材料。例如:铟电阻温度计可测 3.4K 的低温,其灵敏度比铂高 10 倍;碳电阻可测量 1K 左右的温度。

(三)热电阻结构与转换电路

图 8-1 所示为热电阻传感器的基本结构形式,其中电阻体 1 是敏感元件,引线 2 有二、三、四根等几种情况,瓷套管 3 的长度视使用场合的不同而不同,它与电阻体一起装于保护管 4 内。接线盒 6 的一面为上盖 9,另一面为密封塞 7,外加压紧螺帽 8,引线通过拉线座 5 和接线柱 10 与外电路接通。

热电阻传感器的转换电路一般也用电桥电路。为了减小或消除热电阻引出线电阻随温度的变化而变化对检测造成的影响,热电

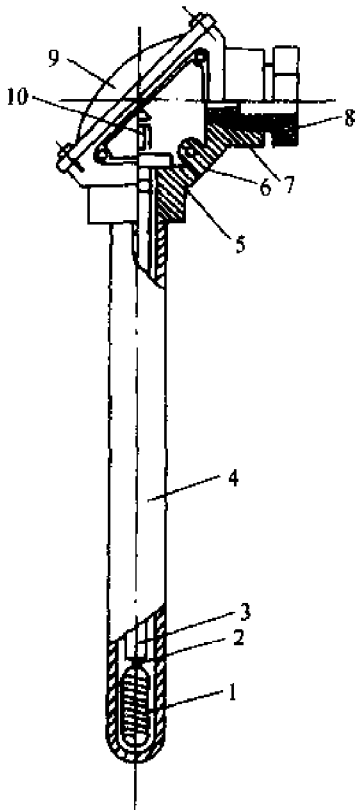


图 8-1 热电阻基本结构示意图

阻的引线多采用三线制,如图 8-2 所示。图中 1 为电阻体,2 为引出线,3 为显示仪表,第

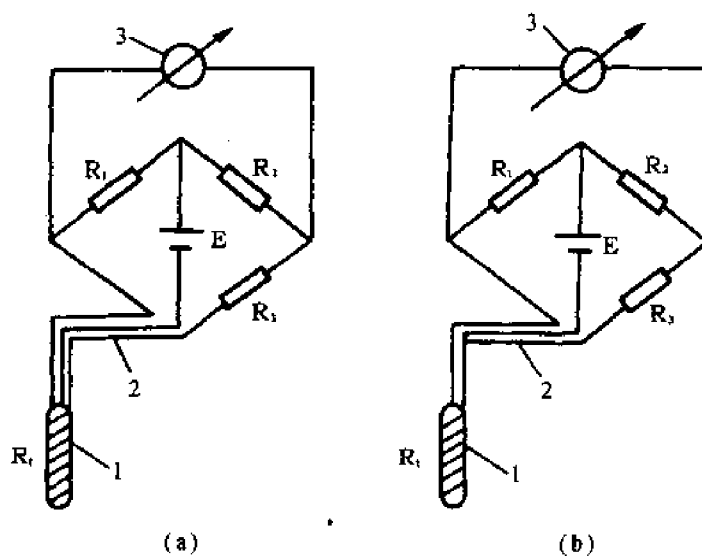


图 8-2 热电阻转换电路

三根线可从电阻体或热电阻传感器的一个接线柱上直接引出,其作用是作为桥路电源的一根引线,而把电阻体本身的两根引线及引线电阻分布到电桥的两个相邻的桥臂上,这样就可以利用桥路的补偿特性来克服引线电阻随温度变化对测量造成的误差。

在标准检测或实验室精密检测中常用四线制,如图 8-3 所示。该接法测量精度更高,不仅可以完全消除连接导线电阻的影响,而且还可以消除转换电路中寄生电势引起的误差。

二、热敏电阻

热敏电阻是由某些金属氧化物和其它化合物烧结而成的,它与金属热电阻的主要区别是:电阻温度系数很大,即灵敏度很高,故称热敏电阻。热敏电阻的阻值与温度之间为非线性关系(指数函数),按照非线性的不同特征,可将热敏电阻分为:负温度系数(NTC)缓变型、正温度系数(PTC)剧变型和临界温度系数(CTR)型,它们的电阻率随温度变化曲线如图 8-4 所示。

图中,NTC 热敏电阻阻值随温度升高而减小,且变化较慢,常用于温度检测、温度补

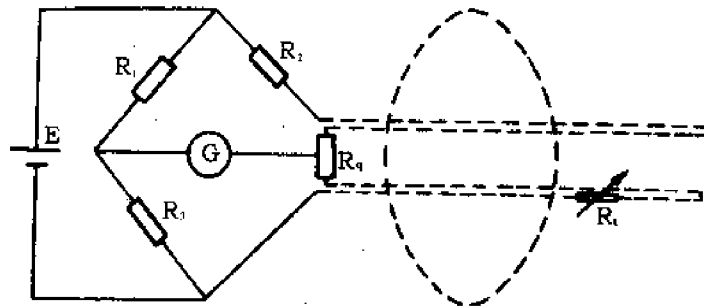


图 8-3 热电阻测温线路的四线制接法

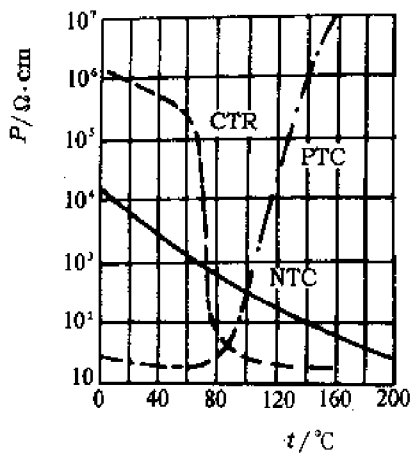


图 8-4 三种热敏电阻的特性曲线

偿与温度控制中; PTC 热敏电阻值随温度升高而增大, 其非线性很大, 一般作温度补偿元件使用; 而 CTR 型热敏电阻是具有开关特性 (即温度达到某临界值时, 电阻率发生阶跃性变化) 的负温度系数热敏电阻, 一般作热保护元件使用。

三、热电阻在维纶中的应用

(一) 维纶生产中烘仓温度检测及控制

在维纶生产中, 为了增加纤维的强度和耐热水性, 要对维纶在一定温度(230℃)下加热拉伸, 该过程在一加热烘仓中进行, 如图 8-5 所示。烘仓内温度检测采用铂电阻 1 (三线制接法)。铂电阻信号经处理后送入温度记录调节仪 3 进行记录显示和偏差 PID 运算, 然后送出一个控制信号给可控硅调功器 4 以改变电加热丝 2 的加热功率, 从而实

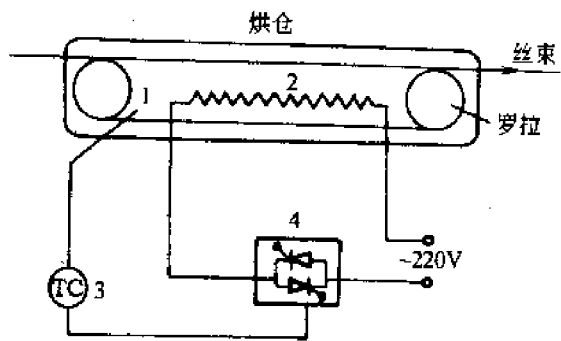


图 8-5 烘仓温度自动调节系统示意图

现烘仓内温度的自动控制。

(二) 温度补偿

温度补偿, 是指将周围环境温度变化对检测造成的误差补偿掉, 以提高测量精度。在一些测量桥路、三极管电路、磁电式仪表表头电路中常采用热敏电阻进行温度补偿。如图 8-6 所示为磁电式动圈表头的温度补偿线路。由于动圈是由铜导线绕制而成, 当周围环境温度升高时, 其阻值必然增大, 从而使流过动圈的电流减小, 导致示值减小而产生

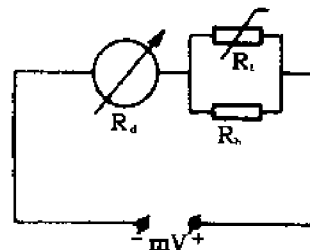


图 8-6 动圈阻值的温度补偿线路

误差。若采用 NTC 型热敏电阻进行补偿可解决这一问题。图中的热敏电阻 R_t 和锰铜电阻 R_b 并联,再与动圈电阻 R_d 串联,当环境温度升高时, R_d 线性增大, R_t 非线性减小, $R_t // R_b$ 则是近似线性减小。当选择合适阻值的 R_t 和 R_b 时,会使总电阻 $R_d + R_t // R_b$ 基本保持不变,获得较好的补偿效果。如图 8-7 所示为补偿关系图,由于 $R_t // R_b$ 是近似线性的,因此只能在某两点完全得到补偿,通常选择 50°C 和 20°C 两点。

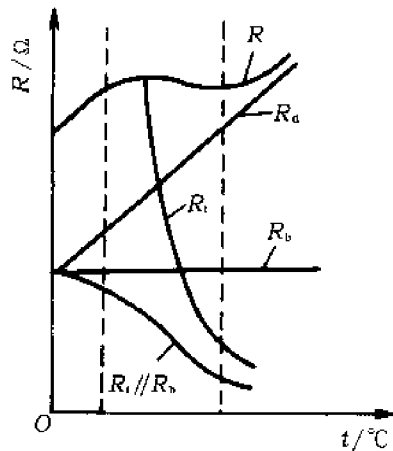


图 8-7 温度补偿中电阻与温度的关系

第二节 热电偶传感器

热电偶传感器能方便地将温度信号转换成电势信号。其性能稳定,结构简单,测量范围广,一般在 $-180 \sim 2800^\circ\text{C}$ 之间。尤其在高温范围内,灵敏度要比热电阻高得多,并且热惯性小、反应快,所以应用很广。在中、低温区,灵敏度较低,且参比端温度的变化显得很突出,不易得到补偿,因此,在中低温区一般不用热电偶对温度进行检测。

一、热电效应

热电效应是热电偶测温的基本原理,如图 8-8 所示。由两种不同的金属或半导体 A、B 焊接或绞接所形成的热电偶,当其两端温度不同(设 $t > t_0$)时,则在回路中会产生一定的电势,这就是热电效应。若两端温差愈大,则产生的热电势也愈大。

在热电偶回路中, A、B 称为热电极,其两个接点,一个称为工作端(热端或测量端) i , 检测时,置于被测温度场中;另一个称为自由端(冷端或参比端) i_0 , 检测时置于被测温度场之外,且要保持温度的恒定,以保证只检测工作端的温度。

热电效应所产生的热电势是由接触电势和温差电势两部分构成的。

(一)接触电势

在图 8-8 中,设 A 的自由电子浓度大于 B,则在 A、B 的两接触点,会形成 A 导体向 B 导体扩散自由电子的现象。当扩散达到平衡时,会产生一稳定的电势 $E_{AB}(t)$ 和 $E_{AB}(t_0)$, 即接触电势。且 $E_{AB}(t)$ 和 $E_{AB}(t_0)$ 的大小与 A、B 的自由电子浓度及接点温度 t, t_0 的大小有关,方向由 A 到 B。符号 E_{AB} 中的 A 表示正极导体, B 表示负极导体,若下标次序改为 BA, 则有 $E_{AB}(t) = -E_{BA}(t)$ 。

(二)温差电势

在图 8-8 中,设接点温度 $t > t_0$, 则在同一导体 A、B 内部形成自由电子从高温端 t 向低温端 t_0 扩散的现象。当扩散达到平衡时,在 A、B 内部会形成一定的与 t 和 t_0 差值有直接关系的电势 $E_A(t, t_0)$ 和 $E_B(t, t_0)$, 即温差电势。但由于温差电势的实际值远小于接触电势,它在总电势中所占的百分比很

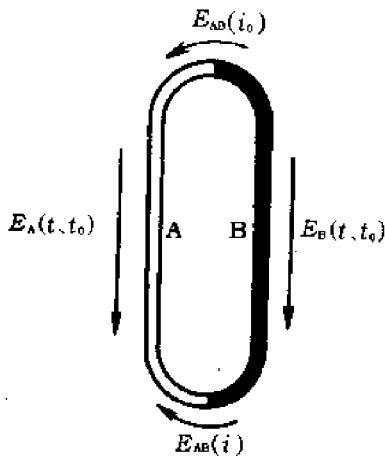


图 8-8 热电偶的热电势

小,因而常常忽略不计。

综上所述,热电偶回路中总的热电势主要是由接触电势构成,即:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - E_{AB}(t_0) \quad (8-3)$$

式(8-3)表明,当 A、B 材料确定后,总的热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 为热电偶两点温度 t, t_0 的函数之差,而不是 t, t_0 差的函数。

设 t 为工作端待测温度,若保持自由端温度 t_0 不变,即保持 $E_{AB}(t_0) = C$ 为常数,则总的热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 就仅为 t 的单值函数,即

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - C \quad (8-4)$$

那么,只要测出总热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 的大小,就能够得出待测温度的高低,这就是热电偶测温的基本原理。

由式(8-3)还可进一步分析得到,当 A、B 两电极材料相同时,尽管 $t \neq t_0$,但 $E_{AB}(t) = E_{AB}(t_0) = 0$, $E_A(t, t_0)$ 和 $E_B(t, t_0)$ 也大小相等,方向相反,而相互抵消,所以总热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 为零;当 A、B 材料不同时,若 $t = t_0$,则 $E_{AB}(t)$ 和 $E_{AB}(t_0)$ 大小相等,方向相反,而相互抵消,且 $E_A(t, t_0) = E_B(t, t_0) = 0$,所以总的热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 也为零。以上这两种情况,均不能实现温度的测量。

但用不同热电极材料制成的热电偶在相

同温度下所产生的热电势是不同的,而形成不同种类的热电偶传感器,它们是规定冷端 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 时进行分度的,并列成分度表格形式。若 $t \neq 0^\circ\text{C}$,则用所测量的 $E_{AB}(t, t_0)$ 去查分度表所得到的温度值,若比实际温度要低,在应用中要加以补偿。

二、热电偶的基本定律

在使用热电偶时,还需要应用几条基本定律,它们已由实验所确定。

(一)均质导体定律

由两种均匀材料构成的热电偶,其热电势的大小与热电极直径、长度及温度梯度的分布无关,而只与热电极材料的接点温度有关。该定律说明对组成热电偶的热电极材料的均匀性要求很高,否则会影响热电偶的性能。就是说,如果热电极材料不均匀,则当热电极各处温度不同时,将会产生附加热电势,而造成附加误差。因此在制造热电偶时,应注意材料的均匀性。

(二)中间导体定律

在热电偶回路中,插入第三种、第四种……导体时,只要所插入的导体是均匀的,且两端温度相等时,就不会影响原来热电偶热电势的大小。根据该定律,只要将冷端断开而用导线将其和毫伏表相连,并保证两结点温度相同,就可以对工作温度进行检测,而不影响热电偶的输出。同时,利用该定律还可以采用开路热电偶对液态金属或金属壁面的温度进行检测。

(三)中间温度定律

即热电偶在热端温度为 t 、冷端温度为 t_0 时的热电势,等于该两端温度分别为 t, t_n 和 t_n, t_0 时所产生热电势的代数和,即

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0) \quad (8-5)$$

由此定律可得到如下结论:

1. 只要列出冷端 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 的热电势—温度关系,则对于 $t_0 \neq 0^\circ\text{C}$ 时的热电势,均可按

式(8-5)求出,即:

$$E_{AB}(t, 0^{\circ}\text{C}) = E_{AB}(t, t_0) + E_{AB}(t_0, 0^{\circ}\text{C}) \quad (8-6)$$

从而为制定热电偶分度表奠定了理论基础。

2. 和热电偶具有相同热电性质的补偿导线引入热电偶回路中,相当于将热电偶延长,而不影响其热电势。从而为检测中使用补偿导线提供了理论依据。

三、热电偶的结构形式与种类

(一) 热电偶的结构型式

普通热电偶的结构如图 8-9 所示,它由热端 1、热电极 2、绝缘子 3、冷端 4、保护套管 5 和接线盒 6 等组成。其热接点采用电弧、乙炔焰或氢氧焰对接或绞接焊成光滑小圆点。绝缘子(绝缘瓷圈或绝缘瓷套管)是为了防止两电极短路,保护套管(不锈钢或其它材料)是为了防止热电极受化学腐蚀或机械损伤,同时还起到支持热电极的作用,以使热电偶获得较长的使用寿命和准确性。

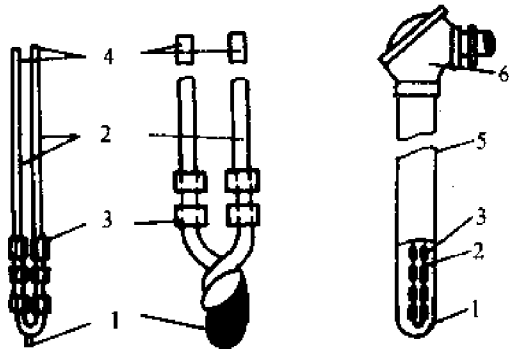


图 8-9 普通热电偶结构

另一种结构形式是铠装式热电偶(又称套管热电偶),它是将热电极,绝缘材料和金属保护套管组合在一起,经拉伸加工而成的坚实的组合刚体,如图 8-10 所示。它可以拉得很细很长,在使用中根据需要可进行弯曲,故此,又称为缆式热电偶。其特点是:测量端热容量小而动态响应快,机械性能好,结实牢靠、耐振动、耐压和耐冲击等。因此,铠

装式热电偶适合于安装在环境恶劣且位置狭小的工业设备上,目前已被广泛使用。

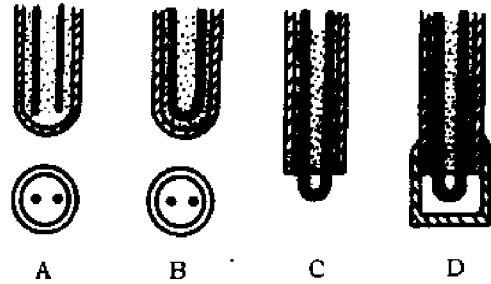


图 8-10 套管热电偶测量端结构形式

除上述两种结构外,还有用于快速测量壁温的薄膜式热电偶,用于快速测量钢水温度的快速微型热电偶等结构形式,可根据需要进行选择。

(二) 热电偶的种类

热电偶传感器的生产已经标准化。所谓标准化是指制造工艺成熟、应用广泛、能成批生产、性能优良而稳定并列入工业标准化文件中的那些热电偶。工业标准化文件对同一型号的标准热电偶规定了统一的热电极材料及化学成分、热电性质和允许偏差。故同一型号的标准热电偶互换性好,具有统一的分度表,并有其配套显示仪表。

20 世纪 80 年代以来,我国对常用热电偶按照国际标准的统一要求,已全部制定出等效于国际标准的热电偶的国家标准,分度具有 S、B、K、E、T 等,它们过去的旧分度号、分度表已不再使用,这一点在应用中要注意。

同热电阻分度号一样,热电偶的分度号是对某一种标准热电偶的温度—电势特性所列表格的编号或代号,它代表该热电偶。如分度号 K 代表镍铬—镍硅热电偶,分度号 S 代表铂铑—铂热电偶。

现将工业上常用热电偶及其性能比较列于表 8-2 中。其中,热电偶 K 是工业上用得最多的热电偶,因为它的复现性好,产生的热电势要高于热电偶 S,且线性好、价格便宜

等,虽然测量精度较低,但完全能满足工业测量要求,而热电偶 S、B 等虽然测量精度高、范围大,但它们是贵金属热电偶,价格高,且灵敏度低,热电偶 E 虽然灵敏度最高、价格便宜,但检测范围较小,易氧化等,而使应用

受到限制。这几种热电偶的检测特性可通过图 8-11 所示的特性曲线图进行比较对照。总之,各种热电偶都具有不同的优缺点,在选择使用时,应根据测温范围、灵敏度、精度、使用环境、测量介质等情况综合考虑。

表 8-2 工业常用热电偶性能比较

名称	分度号	测温范围(℃)		特点	用途
		长期	短期		
镍铬—镍铝 (镍铬—镍硅)	K	-50~1000	1300	①热电势较大,即灵敏度较高 ②热电特性线性较好 ③抗氧化性能好,长期使用稳定 ④价格较低	①测温范围较宽,应用极大 ②适用于氧化性或中性介质中测温 ③测量 500℃ 以下温度时,也可用于还原性介质中测温
铂铑 ₁₀ —铂	S	-20~1300	1600	①耐高温,不易氧化,稳定性好 ②测温上限高 ③测温精确度高 ④热电势小,线性较差,价格高	①广泛用于高温测量 ②适用于氧化性或中性介质中测温 ③可用于精密测温 and 作为基准热电偶
铂铑 ₃₀ —铂铑	B	-300~1600	1800	①耐高温,不易氧化,稳定性好 ②测温上限高 ③冷端温度在 0~100℃ 内,可不用补偿导线 ④热电势小,线性较差,价格高	用途同铂铑 ₁₀ —铂热电偶,但测温上限更高
镍铬—康铜 (镍铬—铜镍)	E	0~600	800	①测中低温时,稳定性好 ②灵敏度高 ③价廉	①广泛用于中低温测量 ②适用于氧化性及弱还原性介质中测温

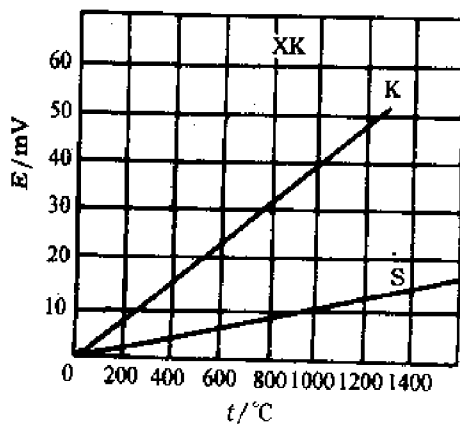


图 8-11 几种常用热电偶特性曲线

四、热电偶的冷端温度补偿及测温线路

(一) 冷端温度补偿

如前所述,热电偶及其配套显示仪表是在冷端 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 时进行分度和检测显示温度的,即必须保证 $t_0 = 0^\circ\text{C}$,才能准确地进行测量。但在工业环境中, t_0 一般不为 0°C ,而是大于 0°C ,且随环境温度的变化而变化,给检测带来温差。因此,在使用中必须采取适当的修正或补偿措施将这一误差消除掉,即进行冷端补偿,以保证测量精度。

在实际应用中,可根据不同的使用条件及不同的测量精度要求而采用不同的补偿方法。

1. 0℃ 恒温法 该方法直接将热电偶冷端置于装有冰水混合物的容器中,使冷端温度保持在 0℃ 不变。该方法一般只适合于实验室中,在工业生产中使用极为不便。

2. 冷端温度修正法 当冷端温度不为 0℃,而为不变的 t_n 时,根据中间温度定律,可将热电势修正到冷端为 0℃ 时的电势值,即

$$E(t, 0^\circ\text{C}) = E(t, t_n) + E(t_n, 0^\circ\text{C}) \quad (8-7)$$

式(8-7)表明:实际温度值 = 热电偶测量值 + 修正值

该方法适用于冷端 $t_0 \neq 0^\circ\text{C}$,但能保持恒定不变的情况。在检测中,若用毫伏表作显示仪表,则只要用螺丝刀将指针的机械零点调到 $t_0 = t_n$ 处,即可实现补偿。该方法虽有误差,但简单方便,在工业上经常采用。

3. 补偿导线法 所谓补偿导线是指这些导线在工业环境温度(0~100℃)中的热电特性和与它们配套的热电偶电极材料的热电特性基本一致,这样就可以使用补偿导线将热电偶的冷端延长至温度恒定的地方去,而有利于被补偿。如图 8-12 所示,加入补偿导体 C、D 相当于热电极进行延长,由中间温度定律可知,C、D 的加入不会引起附加误差。

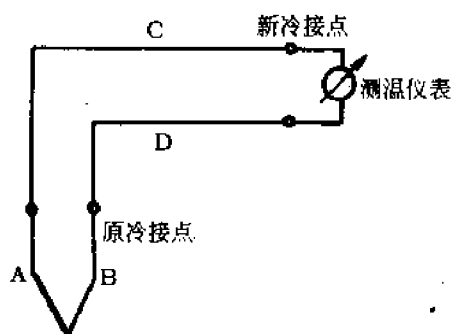


图 8-12 补偿导线示意图

在此,需要说明几点:

(1)不同的热电偶所配套的补偿导线材料是不同的(读者可参阅有关资料)。

(2)补偿导线和热电极连接处两结点温度必须相同,并且不能超过规定范围(一般为 0~100℃)。

(3)补偿导线的加入只是移动了冷端的位置,若该处温度不为 0℃,则仍需进行温度补偿。

4. 补偿电桥法 此方法也称电势补偿法,如图 8-13 所示。图中,采用补偿导线将热电偶冷端引至温度较恒定(一般为 20℃)的控制室中。在该温度下,电桥处于平衡而无输出,但需将显示器机械零点调至 20℃;当控制室环境温度变化时,补偿电桥中的铜电阻 R_H 的电阻值也改变(其余电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 是用温度系数很小的锰铜丝绕制而成,其阻值基本不受温度影响,而保持恒定)而使电桥失去平衡,输出不平衡电势 ΔE ,且与热电偶输出值叠加,而进行补偿。若桥路参数的设计正好能使 $\Delta E = E(t_0, 0)$,则就能实现完全补偿。

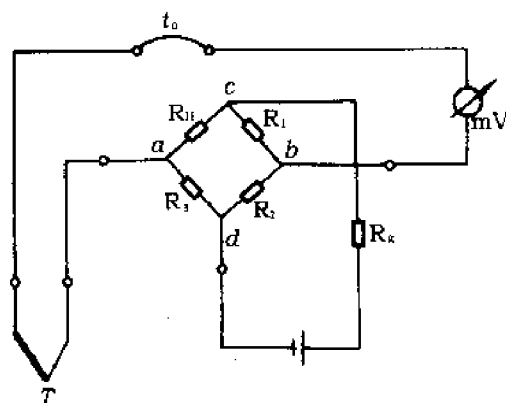


图 8-13 补偿电桥线路图

以上几种补偿方法,总的来说遵循两个规律。第一个规律是将冷端温度保持恒定,若不为 0℃,还要再进行补偿;第二个规律是利用公式(8-7),采取一定措施将修正值($t_0, 0^\circ\text{C}$)弥补上即可。目前,还有采用不需要冷端补偿的热电偶;如铂铑—铂铑在 50℃ 以下,镍铁—镍铜在 50℃ 以下,镍钴—镍铝在 300℃ 以下的热电势都非常小,只要实际

的冷端温度在其范围内,则使用这些热电偶可以不考虑冷端补偿。另外,在使用中,有的与热电偶配套的显示器、变送器等,其内部已设计好冷端温度自动补偿线路,故无需再考虑补偿问题。

(二) 热电偶的测温线路及应用

1. 热电偶的测温基本线路 如图 8-14 所示为几种测温的基本线路。图 8-14(a) 为测量某点温度的基本测温线路,其中 A、B 为热电偶, C、D 为补偿导线,冷端温度为 t_0 , E 为铜导线(在实际使用时就把补偿导线一直延伸到配用仪表的接线端子,这时冷端温度即为仪表接线端所处的环境温度), G 为配用的仪表。

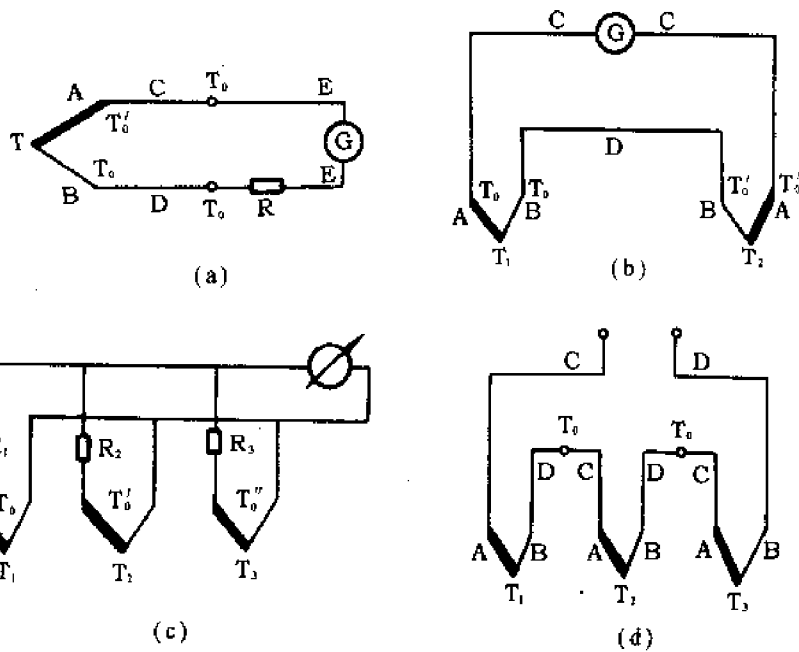


图 8-14 热电偶测温基本线路

图 8-14(d) 是测量几点温度之和的线路,即输入到仪表两端的电势值为 $E = E_1 + E_2 + E_3$,三个同型号的热电偶之间为串联关系,该电路特点是热电偶烧坏时可立即知道,另外可获得较大的热电势,也可根据总电势 E 的值求解出平均温度。

在以上测量线路中,显示仪表通常有动圈表、电子自动平衡电位差计及各种数字式

图 8-14(b) 是测量两个温度之差的一种实用线路。两支同型号的热电偶配用相同的补偿导线,接线使两热电势相互抵销,就可测得 t_1 和 t_2 的温度之差。

图 8-14(c) 是测量平均温度的线路,三个同型号的热电偶并联在一起,使输入到仪表两端的毫伏值为三个热电偶输出热电势的平均值,即 $E = (E_1 + E_2 + E_3)/3$,如三个热电偶均工作在特性曲线的线性部分时,则 E 代表了各点温度的算术平均值,为此,每个热电偶需串联较大电阻(相对于热电偶本身电阻而言)。此种电路的特点是仪表的分度仍和单独配用一个热电偶时一样;缺点是当某一热电偶烧断时,不能很快觉察出来。

显示仪表。其中动圈表较常用,如国产 X CZ-101, X CT-101 等。其结构简单,价格便宜,使用方便,缺点是精度较低,抗干扰能力差;电子自动平衡电位计优点是测量精度高,抗干扰能力强,缺点是结构复杂,体积较大和成本较高,数字式显示仪表特点是:测量速度快、精度高,读数清晰直观,无读数误差,也易克服传感器的非线性误差,便于和工业控制

计算机联网,组成多点温度巡检系统、直接数字控制系统(DDC)及计算机设定系统(SPC)等大规模控制系统,因此在工业生产中,也应用得愈来愈普遍。

2. 应用举例

(1)热电偶炉温检测系统。图 8-15 所示为热电偶炉温检测系统示意图,图中由毫伏表定值器给出设定温度的相应毫伏值,如热电偶的热电势与定值器的输出值有偏差,则说明炉温偏离给定,此偏差经放大器送入调节器,调节器对偏差处理后,去触发晶闸管执行器,从而调整炉丝的加热功率,消除偏差,达到控温的目的。

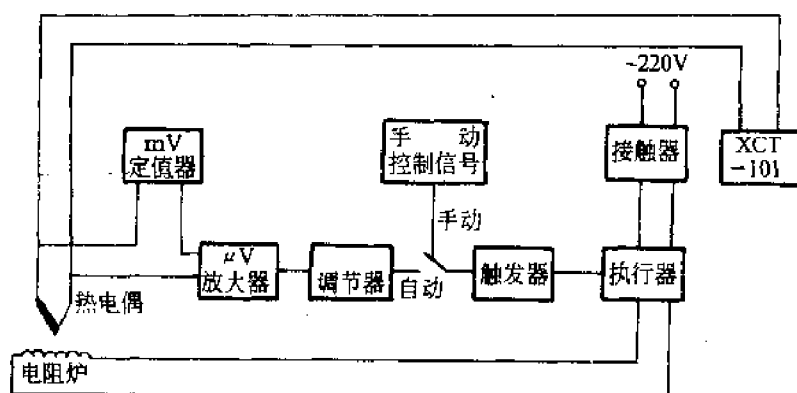


图 8-15 热电偶测温系统图

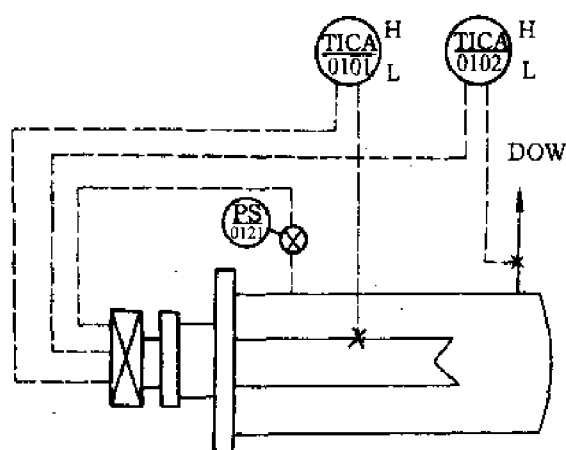


图 8-16 液相热媒炉控制系统

(2)液相热媒炉温度测控系统。在化纤生产中,纺丝温度是影响纺丝的主要因素。为了得到适宜的温度,必须对熔体管道和纺丝箱进行保温,热媒是由联苯和联苯醚经一定比例混合的有机化合物,有液相和气相两种形式,由于液相热媒温度稳定,不易波动,所以熔体管道采用液相热媒进行保温。

图 8-16 所示为液相热媒炉温度测控系统原理图。图中有两套控制系统,一套为热媒出口温度控制 TICA-01(全名为温度显示控制和报警系统),另一套为温度联锁控制系统 TICA-02。

1~5V 标准信号送入计算机中的数字控制器,数控器经 PID 运算输出 4~20mA 信号给电气控制柜,控制加热器的输出功率,以稳定热媒出口温度。

TICA-02 是以热电偶为测温元件,它焊接在电加热器的电热棒上,当加热炉内热媒液位过低时,电热棒露出液面,造成过热,使温度迅速上升,热电偶的输出值也迅速增加,该信号送入通断调节器,当该信号超过设定值时,调节器输出立即切断加热器电源,以保证电加热器和炉子的安全。

2. 热电阻传感器有哪几种? 其分度号含义是什么?

3. 试述热敏电阻的三种类型, 它们的特点及应用范围如何?

4. 试述热电偶为何适合于测量中、高温, 而热电阻适合于测中、低温?

5. 试述常用热电偶的类型, 画出它们的温度—

电势特性曲线做比较。

6. 热电偶为何要进行冷端温度补偿? 补偿方法有哪几种? 各有何特点?

7. 什么叫补偿导线? 为何要使用补偿导线?

8. 磁电式显示仪表为何要进行温度补偿? 采用什么方法补偿? 画出补偿电路图, 并叙述补偿原理。

第九章

数字式传感器

前面所介绍的七种传感器均为模拟式传感器。随着科学技术和工业生产的迅速发展,模拟式传感器精度不算高、可靠性不够好、不能实现检测系统数字化等不足,已不能

完全满足要求。因而数字式传感器越来越受到重视。本章将对原理较为简单且较常用的编码式数字传感器、光栅传感器和磁栅传感器进行介绍。

第一节 编码式数字传感器

编码式数字传感器又称码盘,其实质是一按角度直接输出多位二进制编码的转换器。由于具有较高的分辨率、测量精度和可靠性,编码式数字传感器是测量转轴角度最常用的检测元件。按其结构,编码式数字传感器可分为接触式、光电式和电磁式三种。

一、接触式码盘

如图9-1所示为四位二进制接触式码盘示意图,涂黑区域是导电区,输出为二进制编码“1”;空白区域是绝缘区,输出为二进制

编码“0”。所有导电区域连在一起接高电位。图示码盘2由四圈组成,每圈称为一个码道,故有四个码道,在每个码道上都安装有一个独立的电刷1,各电刷经电阻接地。当被测轴带动码盘一起转动时,四个电刷上输出相应的四位二进制编码。例如,当电刷与图中所示第9区接触时,输出的编码为1001。

接触式码盘的精度取决于码盘的码道数,若采用有 n 条码道的 n 位码盘,则其能够分辨的角度为:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2^n} \quad (9-1)$$

显然,位数 n 越大,码盘所能分辨的角度就越小,测量精度也就越高。

接触式码盘的结构原理尽管很简单,但在实际应用中,对码盘的制作和电刷的安装要求却十分高,否则就会出现差错。例如,当电刷由第9区向第10区过渡时,输出编码应由1001变为1010,当电刷安装不准而使四个刷造成过渡时刻不同步时,则可能产生另外三个编码:1000、1001和1011,这是不允许的。

为了避免因电刷过渡时刻不同步而产生

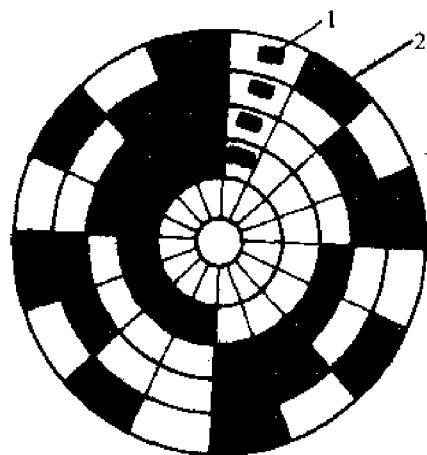


图 9-1 接触式码盘示意图

的这种差错,常用循环码盘代替二进制码盘。循环码盘中采用的是循环码。循环码又称格雷码,其特点是相邻两个数码间只有一位是不同的,也就是说相邻两个编码只有一位是要发生变化的。因此,即使在过渡中有电刷不同步,产生的误差也只是最低的一位数。如图9-2所示为四位循环码盘。表9-1给出了十进制数、二进制码和循环码之间的转换对照关系。



图 9-2 循环码盘示意图

表 9-1 十进制、二进制码和循环码转换对照关系

十进制	二进制码	循环码	十进制	二进制码	循环码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

应该指出的是,由于循环码的各位没有固定的权,因此需要用相应的转换电路把它转换成二进制编码。

接触式码盘的优点是结构简单,缺点是有接触磨损而会影响使用寿命,且不能高速旋转,否则电刷的跳动会产生误差。

二、光电式码盘

光电式码盘是目前用得较多的一种码盘,一般由玻璃制成,盘上按一定编码顺序排列着透明区域和不透明区域,盘上码道的条数也就是输出编码的位数,对应每一条码道有一套光电元件,如图9-3所示。其中1为光源,2为透镜,3为码盘,4为狭缝,5为光电元件。当码盘随着被测物体一起旋转时,每转过一个透明的区域,光电转换电路就产生一次电信号的变化,从而输出相应的编码。当码盘处于不同角度时,输出的编码也是不同的。

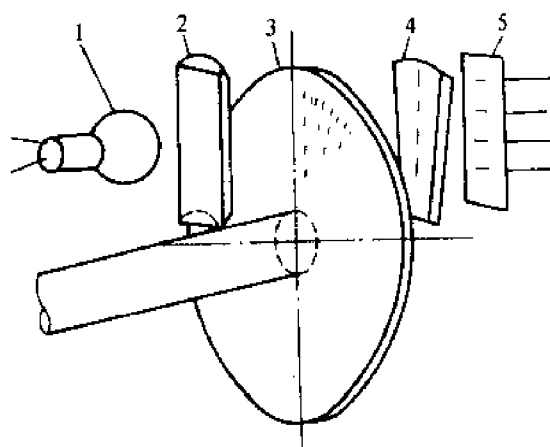


图 9-3 光电式码盘示意图

光电式码盘由于没有电刷,因而也就没有接触磨损,寿命较接触式码盘长,且允许工作转速高,最外圈码道缝隙宽度可做得很小,因而分辨率也极高,能达到 $1/2^{19}$ 。其缺点是结构复杂,价格昂贵,光源寿命不长。

三、电磁式码盘

电磁式码盘的类型有两种,一种是在导磁材料圆盘上用腐蚀的方法做成一定的编码图形,使其导磁性有的地方高,有的地方低,以此来表示相应的数字代码。另一种是在非导磁材料圆盘上涂满导磁材料,然后用磁化的方法在磁性层上预先录下相应的代码。数码的读出是用一个很小的马蹄形磁芯作磁头,上面绕有两组线圈,一组为励磁线圈,用正弦电流激励,一组是读出线圈,读出相应的

感应电势。当磁头对准一个非磁化区时,感应电势就高,而对准磁化区时,感应电势就

低,感应电势与整个磁路磁导有关,从而测出码盘随被测物转动的角度。

第二节 光栅传感器

光栅有计量光栅和物理光栅两种,光栅传感器是利用计量光栅的莫尔条纹现象来测量线位移和角位移的一种常用的高精度的数字式传感器,当然它也可以测量那些能够转换成线位移和角位移的物理量。

一、莫尔条纹的形成原理及特性

计量光栅有长光栅和圆光栅两类,前者用于线位移的测量,后者用于角位移的测量。计量光栅按其表面刻线形成的不同分为黑白光栅和相位光栅;按光线的走向不同分为透射式光栅和反射式光栅。下面主要以黑白透射式长光栅为例介绍莫尔条纹的形成原理。

(一)莫尔条纹的形成原理

如图 9-4 所示为光栅传感器的构成示意图,包括主光栅 3、测量光栅 4 和一套光路系统(1 为光源,2 为透镜,5 为光电元件)。主光栅又称标尺光栅,长度较指示光栅长,通常随被测物体一起移动。指示光栅较短,固

定在相应的部件上,主光栅和指示光栅上都均匀刻有一定宽度且距离相等的线纹,形成有规律排列的黑白栅,黑栅不透光,而白栅透光。通常黑栅宽用 a 表示,白栅宽用 b 表示, $W = a + b$ 称为光栅栅距或称光栅常数,一般有 $a = b = W/2$,也有 $a : b = 1.1 : 0.9$ 。栅线密度一般有 25 线/mm、50 线/mm、100 线/mm 等几种。主光栅和指示光栅线密度相同。

把主光栅和指示光栅的刻线面相对而叠合在一起,片间只留有很小的间隙,并使两光栅的栅线保持很小的相交角 θ ,那么在刻线的重合处,光从白栅透过形成亮带,在光栅刻线彼此错开处,由于黑栅不透光而形成暗带,如图 9-5 所示。这种亮带和暗带形成的明暗相间的条纹就是莫尔条纹。

因为莫尔条纹的方向与光栅刻线方向近似垂直,故又称为横向莫尔条纹。

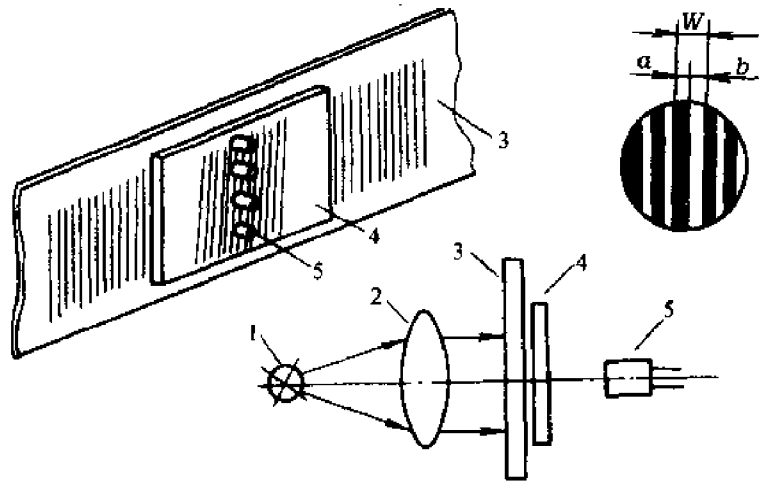


图 9-4 光栅传感器构成示意图

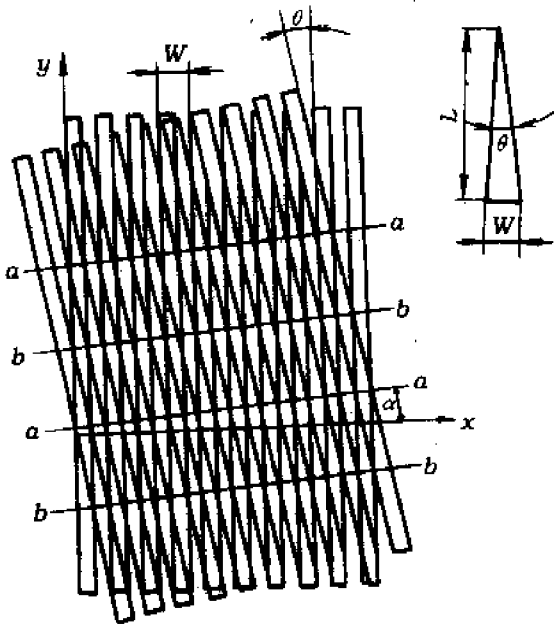


图 9-5 莫尔条纹形成示意图

(二)莫尔条纹的特性

1. 莫尔条纹的间距是放大的光栅栅距,它随着主光栅与指示光栅间的夹角改变而改变。由于 θ 小,其关系可用下式表示:

$$L = \frac{W}{\theta} \quad (9-2)$$

式中: L —— 莫尔条纹间距;

W —— 光栅栅距;

θ —— 主光栅与指示光栅间夹角。

式(9-2)表明,两光栅夹角越小,莫尔条纹间距就越大。此特性称为莫尔条纹的位移放大特性。

2. 莫尔条纹移过的条纹数与光栅移过的刻线数相等。即光栅移动一个栅距,莫尔条纹的光强就经历了一次由亮到暗、由暗到亮的变化周期(近似于正弦波)。此特性称为莫尔条纹的位移量转换特性。若照射到光电元件上,就可转换成电信号,如图 9-6 所示,当主光栅相对于指示光栅移动 N 个栅距时,移动 N 条的莫尔条纹使光电元件上的输出信号变化了 N 个周期。若将此信号整形后,送入计数器中计数,则在栅距已知的条件下,主

光栅的实际位移也就可以算出了。

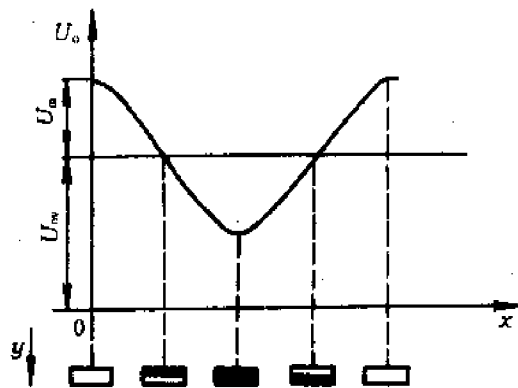


图 9-6 光栅位移与光强输出电压的关系

3. 莫尔条纹由光栅上的众多刻线共同形成,从而能在很大程度上消除由于光栅刻线不均匀所引起的误差。此特性称为莫尔条纹的平均特性。

4. 当主光栅沿栅线的垂直方向相对于指示光栅移动时,莫尔条纹的位移方向与主光栅相对于指示光栅的位移方向相对应。此特性称为莫尔条纹的方向特性。

二、辨向细分

(一)辨向

在实际应用中,大部分被测物体的移动往往既有正向移动,也有反向移动。用单个光电元件接受到的莫尔条纹信号是无法辨别其移动方向的,为此必须采用辨向电路进行辨向。

为了辨别主光栅的移动方向,采取的方法是在莫尔条纹相距 $L/4$ (相当于电角度 $\pi/2$) 的距离位置点上放置两个光电元件,从光电元件上获取两个相位差为 $\pi/2$ 的电信号 U_{01} 和 U_{02} 作为辨向电路的输入控制信号,然后辨向电路发出表示光栅左右移动方向的加计数脉冲与减计数脉冲,在计数器中进行累加,从而反应出主光栅相对于上次位置的位移增量,测出实际移动的距离。

(二)细分

为了提高光栅传感器的测量精度,可以

采用细分电路,即使电路在莫尔条纹移过一个间距 L 时能输出若干个而不是一个计数脉冲。由于细分后计数脉冲的频率提高了,因此细分电路又称倍频电路。细分电路有多种,四倍频细分电路是常用的一种。所谓四倍频细分,就是使莫尔条纹在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 都有脉冲输出,使测量精度提高四倍。

四倍频细分的方法是在莫尔条纹每相距

$L/4$ 的位置上共设置四个光电元件,使每个光电元件的输出电信号在相位上依次相差 90° ,例如一个 100 线/mm 的光栅采用四倍频细分后,每移动一个栅距,就输出四个脉冲,每个脉冲的分频力为 $2.5\mu\text{m}$,如果提高倍频数目,则分辨力及测量精度都会进一步提高。

第三节 磁栅传感器

与光栅传感器一样,磁栅传感器也是一种高精度的数字式传感器。磁栅式传感器主要由磁栅、磁头和检测电路等三部分构成。磁栅上录有等间距的磁信号,利用磁带录音原理将节距的周期变化电信号用录磁方法记录在磁性尺子或圆盘上;磁头的作用是把磁栅上磁信号检测出来并转换成电信号的转换元件;检测电路是把磁头送来的电信号经变换后进行计数或再经细分后进行计数的数字测量电路。由此可见,磁栅传感器也是把位移直接转换成数字量的转换器。

一、磁栅

(一)结构

如图 9-7 所示为磁栅结构示意图,磁栅基体 1 是用不导磁材料做成的,上面镀上一层均匀的磁性薄膜 2,经过录磁,其磁信号排列情况如图中所示。目前长磁栅节距一般为 0.05mm 和 0.2mm 两种,圆磁栅角节距一般为几分至几十分(角度)。

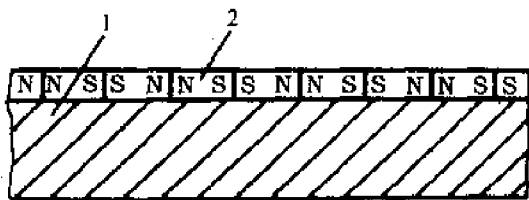


图 9-7 磁栅结构示意图

(二)类型

磁栅的类型有长磁栅和圆磁栅两大类。前者用于测直线位移,后者用于测角位移。长磁栅又可分为尺型、带型和同轴型三种。一般常用尺型磁栅外形如图 9-8 所示。它是在非导磁材料(如铜或玻璃)制成的尺基上镀一层 Ni—Co—P 或 Ni—Co 磁性薄膜,然后录磁而成。磁头一般用片簧机构固定在磁头架上,与磁尺不接触。工作时磁头架沿磁尺基准面运动。尺型磁栅主要用于精度要求较高的场合。

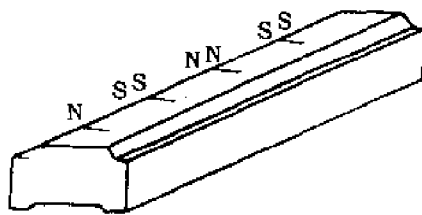


图 9-8 长磁栅外形示意图

二、磁头

磁栅上的磁信号由读取磁头读出。根据读取信号方式的不同,磁头可分为动态磁头和静态磁头两种。动态磁头为非调制式磁头,又称为响应式磁头。常见的录音机信号读取就属于此类。它只有一组输出绕组,当磁头和磁栅间有相对运动时,由于电磁感应

将在该绕组上有信号输出。如图 9-9 所示, 读出为正弦波信号, 在 N、N 处为正的最强, 在 S、S 处为负的最强, W 为磁信号节距。静态磁头为调制式磁头, 又称磁通响应式磁头。与动态磁头的根本不同在于: 当磁头磁栅间没有相对运动时也有信号输出。静态磁头输出信号的频率为激磁电源频率的两倍, 其幅值则与磁栅磁头的相对位移成正弦、余弦关系。

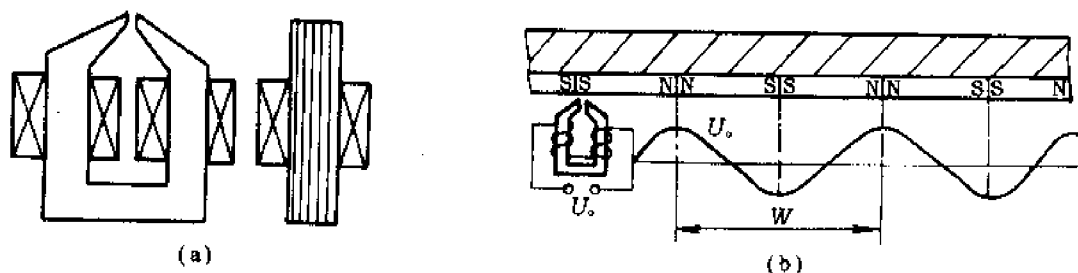


图 9-9 动态磁头结构与读出信号

的间距为 $(n \pm W/4)$, 其中 n 为正整数, W 为磁信号节距, 也就是两个磁头布置成在空间相差 90° , 其信号处理方式分为鉴幅与鉴相两种。

(一) 鉴幅方式

这种方式是给两个磁头的激磁绕组分别供以等频、等相但幅值不等(即分别按正、余弦变化)的交流激磁电压, 此时, 两组磁头的输出电压如下式:

$$\begin{cases} U_{01} = U_m \sin \frac{2\pi x}{W} \cdot \cos 2\omega t \\ U_{02} = U_m \cos \frac{2\pi x}{W} \cdot \cos 2\omega t \end{cases} \quad (9-3)$$

式中: x ——位移量;

U_m ——磁头读出信号的幅值;

ω ——激磁电压的角频率。

经检波去掉高频载波后可得:

$$\begin{cases} U_{01}' = U_m \sin \frac{2\pi x}{W} \\ U_{02}' = U_m \cos \frac{2\pi x}{W} \end{cases} \quad (9-4)$$

将此两路信号送有关电路进行细分, 然后送

三、信号处理方式

动态磁头利用磁栅磁头以一定的速度的相对移动读出磁栅上的信号, 将这些信号进行处理后使用。例如某些动态丝杠检查仪, 就是利用动态磁头读取磁尺上的磁信号, 作为长度基准去同圆光栅盘(或者磁盘)上读取的圆基准信号进行相位比较, 以检测丝杠的精度。

静态磁头一般总是成对使用, 两个磁头

到相应的显示器上即可显示出位移 x 。

(二) 鉴相方式

这种方式是给两个磁头的激磁绕组分别供以等幅、等频, 但相位相差 90° 的交流激磁电压, 此时, 两磁头的输出分别为:

$$\begin{cases} U_{01} = U_m \sin \frac{2\pi x}{W} \cdot \cos 2\omega t \\ U_{02} = U_m \cos \frac{2\pi x}{W} \cdot \cos 2\omega t \end{cases} \quad (9-5)$$

将 U_{01} 和 U_{02} 相减后得输出电压:

$$U_0 = U_m \sin\left(\frac{2\pi x}{W} - 2\omega t\right) \quad (9-6)$$

可见, 输出信号是一个幅值不变、相位随磁头与磁栅的相对位置而变化的信号, 可用鉴相电路检测出来。

思考题与习题:

1. 试简述码盘的分类及其工作原理。
2. 什么是细分? 什么是辨向? 各自的目的是什么?
3. 试简述莫尔条纹的特性。

4. 若指示光栅相对于主光栅逆时针偏转一个正角, 当主光栅左右移动时, 产生的莫尔条纹将如何移动?

第十章 其它类型传感器

传感器的类型很多,除前面介绍的几种常用的模拟式和数字式以外,还有一些较常

见的传感器及新型传感器,本章将对它们进行简要的介绍。

第一节 湿度传感器

湿度传感器属于新型传感器的一种,它能够对各种场合的湿度进行检测,在众多行业、特别是在纺织生产中得到了广泛的应用。

检测空气湿度是湿度传感器的基本功能。湿度作为表示大气干湿程度的物理量,有两种表示方法,一是绝对湿度,表示单位体积空气里所含水蒸气量的多少;一是相对湿度,定义为绝对湿度与同温度不饱和水蒸气密度的百分比值。湿度传感器检测的则是空气的相对湿度。

湿度传感器的种类较多,按工作原理分,主要有物性型和结构型两类;若按湿度传感元件分,则有电解质系、半导体及陶瓷系、有机物及高分子聚合物系三大系列。这里仅对氯化锂电阻湿度传感器和电容式薄膜湿度传感器进行简单介绍。

一、氯化锂电阻湿度传感器

湿度传感器中常以湿敏电阻作为感湿元件,典型的湿敏电阻为氯化锂湿敏电阻,其阻值能随环境相对湿度变化而变化。氯化锂湿敏电阻主要由感湿膜 1、一对金属电极 2 及绝缘基片 3 组成,如图 10-1 所示。当氯化锂电阻的感湿层吸湿或脱湿后,会使感湿层中氯化锂的浓度改变,导致其电阻率发生改

变,引起两金属电极间阻值的变化,从而能够将湿度的变化转换为感湿膜电阻值的变化。通过对感湿膜电阻值的标定,即可检测出环境湿度。

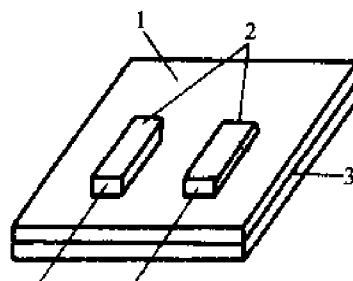


图 10-1 氯化锂湿敏电阻结构示意图

图 10-2 所示为氯化锂电阻—湿度特性曲线。

氯化锂电阻湿度传感器的优点是灵敏度

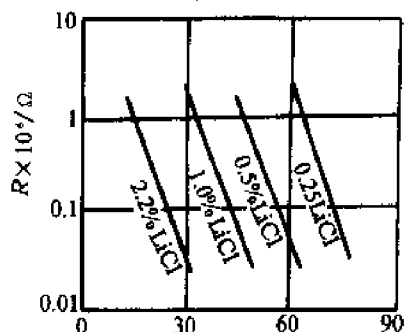


图 10-2 氯化锂电阻—湿度特性曲线

高、准确性好、工作性能可靠,缺点是在高湿环境中检测时会减少使用寿命,若有灰尘附着在感湿膜上时,会降低传感器的吸湿或脱湿功能,降低测量精度。

二、电容式薄膜湿度传感器

电容式薄膜湿度传感器中采用高分子薄膜式湿敏电容,其平面结构与侧面结构如图

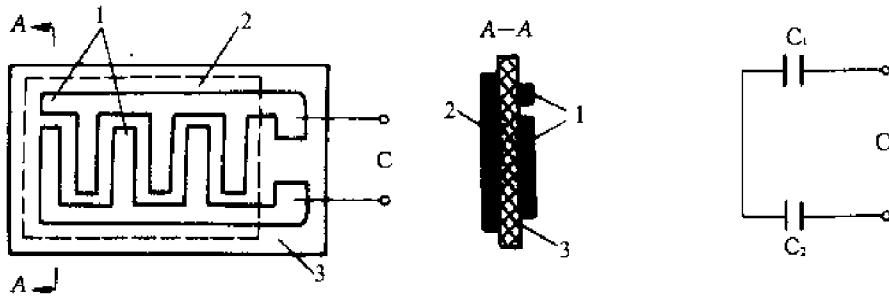


图 10-3 电容式薄膜湿度传感器

三、应用举例

图 10-4 所示为用于汽车驾驶室挡风玻璃自动去湿装置的电原理图, R_h 为嵌在玻璃上的加热电阻丝, H 为感湿元件, 三极管 VT_1 与 VT_2 构成施密特触发器, 继电器 K 为 VT_2

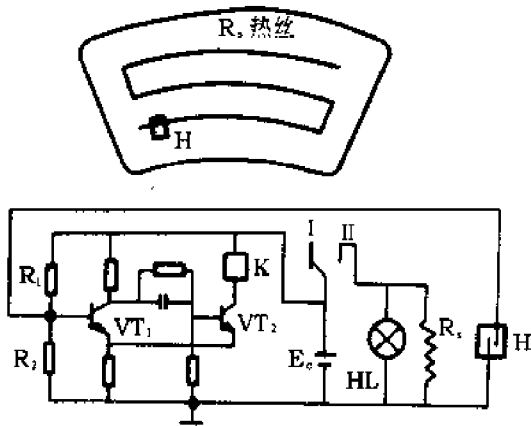


图 10-4 汽车挡风玻璃自动去湿电路

10-3 所示,由两个下电极 1、上电极 2、质膜 3 及引线构成。其实际结构是两只串联的电容。当环境相对湿度变化时,高分子薄膜能通过网状多孔上电极吸收或释放出水分,使其介电常数发生变化,从而导致电容量的变化。通过对电容值的标定,即可以检测出环境的湿度。

的集电极负载,感湿元件 H 的等效电阻 R_p 与 R_2 并联作为 VT_1 的下偏流电阻。此装置在正常工作前必须先调整好各电阻值,在常温常湿下,使 VT_1 导通, VT_2 截止。一旦由于阴雨使驾驶室内相对湿度增大而使感湿元件 H 的阻值 R_p 下降到某一特定值时, VT_1 的下偏流电阻值小到使 VT_1 的基极电位不足以维持 VT_1 导通,会致使施密特触发器发生翻转, VT_2 导通、 VT_1 截止。这样 VT_2 的集电极负载 K 得电,使其打开触点 II 接通电流,加热电阻丝 R_h 通电散发热量,就起到去湿的作用。当驾驶室中湿度下降到一定值时, R_p 增大、 VT_1 的下偏流电阻值也增大,使 VT_1 重新导通, VT_2 截止,施密特触发器又翻转到初始状态, R_h 即停止加热,从而实现了去湿的自动检测与控制。

第二节 超声波传感器

超声波是一种频率超过 20000Hz 的机

械波,具有波长短、传播方向性好、穿透能力

强等特点。超声波传感器就是利用超声波的以上特性工作的传感器,其在工业探伤、厚度测量等领域有广泛应用。

一、超声波的传播特性

超声波的波形主要有横波、纵波、表面波三种。横波中,质点的振动方向与波的传播方向垂直;纵波中,质点的振动方向与波的传播方向一致;表面波中,质点的振动方向与波的传播方向既不垂直也不一致,且沿着表面传播,振幅随深度的增加而迅速衰减。纵波能在固体、液体、气体中传播,而横波与表面波只能在固体中传播。但无论哪种超声波,其频率越高,就越与光波的某些传播特性相接近,产生折射现象与反射现象,如图 10-5 所示。

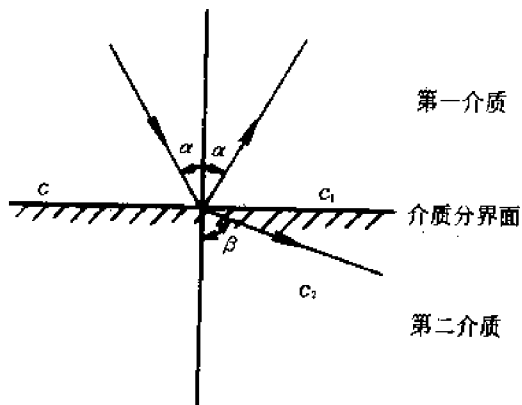


图 10-5 超声波的反射与折射

(一) 超声波的折射定律

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C_1}{C_2} \quad (10-1)$$

式中: C_1 —— 超声波在第一介质中的传播速度;

α —— 超声波在第一介质中的入射角度;

C_2 —— 超声波在第二介质中的传播速度;

β —— 超声波在第二介质中的折射角度。

(二) 超声波的反射定律

当 $\beta = 90^\circ$ 时, 超声波沿介质分界面传播, 对应于 $\beta = 90^\circ$ 时的入射角称为临界入射角, 用 α' 表示。当 $\alpha > \alpha'$ 时, $\beta > 90^\circ$, 超声波产生反射现象。

$$\sin \alpha' = \frac{C_1}{C_2} \quad (10-2)$$

(三) 超声波的衰减

随着传播距离的增加, 超声波在介质中的能量损耗也会增加而导致其能量逐渐衰减。设超声波进入介质前的强度为 I_0 , 透过介质后的强度为 I , 则有以下式:

$$I = I_0 e^{-Ad} \quad (10-3)$$

式中: A —— 超声波在介质传播中的衰减系数;

d —— 超声波传播通过的介质厚度。

二、超声波的产生与接收

超声波产生于超声波的换能器。超声波换能器能够将电能转换为机械能, 常见的有压电式换能器与磁致伸缩换能器。压电式换能器是利用逆压电效应进行工作的。逆压电效应又称电致伸缩效应, 是指在压电晶体切片的两对面上加上交变电场或电压使晶片产生伸长与缩短的现象。压电材料的电致伸缩振动产生了超声波。磁致伸缩换能器是利用磁致伸缩效应进行工作的。磁致伸缩效应是指磁物质在交变的磁场中顺着磁场方向产生伸缩的现象。置于交变磁场中的铁磁物质磁致伸缩振动并产生了超声波。

超声波的接收一般是利用上述超声波换能器的逆效应做成的超声波接收器来实现的。

三、超声波传感器的应用

(一) 工业探伤

超声波工业探伤的方法有多种, 这里仅以穿透探伤法作简要介绍。穿透探伤法是依据超声波穿透被检测工件后能量变化的情况来判别工件内部有无缺陷的一种方法。如图 10-6 所示, 在被检测工件的相对两面有两

个超声波探头,一个用以发射超声波,一个用以接收超声波。在探测时,若工件内部有缺陷,超声波能量就会被部分反射,这样在另一面的接收探头接收到的超声波能量就比正常值小,转换为电信号后的显示值也比正常值小。而当工件内部无缺陷时,超声波能量不会被反射,接收探头接收到超声波能量的正常值,转换为电信号后显示的也是正常值。根据以上这两种不同情况,就可以判别被检测工件内部有无缺陷。

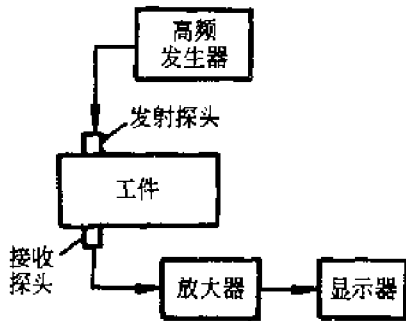


图 10-6 超声波工业探伤示意图

(二) 厚度测量

超声波测量厚度的常用方法是超声波脉冲反射法,其基本工作原理为:首先通过测量超声波脉冲穿透被测工件所需的时间,然后根据超声波脉冲在工件上的传播速度求出工件的厚度。图 10-7 所示为厚度测量示意图,超声波在同一均匀质中传播速度为一常数,用 c 表示。在不同介质的分界面上具有反射特性。发射探头发出的超声波在到达被测工件底面时,被反射并由接收探头接收。设从发射到接收超声波的时间间隔为 t ,则被测工件的厚度为:

$$d = \frac{1}{2} ct \quad (10-4)$$

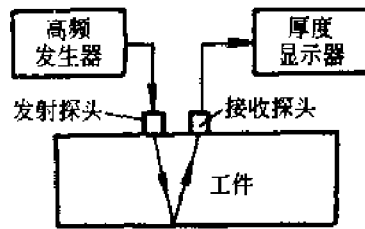


图 10-7 超声波厚度测量示意图

第三节 红外辐射检测

一、红外辐射概述

红外辐射就是常说的红外线或红外光,其波长在 $0.77 \sim 1000 \mu\text{m}$ 之间,在真空中的传播速度与光速相同,是不可见光。红外辐射在介质中传播时,由于介质的吸收和散射作用,其能量会发生衰减。

自然界中任何物体,只要具有的温度高于绝对零度 (-273°C) 时都会有红外辐射产生。红外辐射是以波动的方式传递出去的,物体温度越高,红外辐射的波动就越强。同样,自然界中任何物体对红外辐射都具有一定程度的吸收、透射或反射能力,大多数液体

对红外辐射的吸收能力强,多数半导体及部分塑料对红外辐射有一定的透射能力,玻璃及金属对红外辐射的透射能力很弱,气体对红外辐射也有不同程度的吸收能力。

二、红外辐射测量

红外辐射尽管是一种不可见光,但和其它光线一样,红外辐射照射到某些物体上会产生热效应,照射在另一些物体上则会产生光电效应。依据以上两种效应,可以利用红外敏感元件对红外辐射进行检测。红外探测器就是将红外辐射能转换为电能的一种传感器。按其工作原理,红外探测器可分为热敏

红外探测器和光电红外探测器两类。

(一)光电红外探测器

光电红外探测器是利用红外辐射的光电效应制成,根据光敏元件的种类不同,有光电导型和光生伏特型光电红外探测器。

1. **光电导型红外探测器** 当红外线照射在某些半导体材料表面时,半导体材料中的一部分电子和空穴将从原来束缚状态时的不导电变为自由状态而导电,使半导体材料的电导率增加,这种现象就是光电导现象。光电导型红外探测器就是利用光电导现象制成的。图 10-8 所示为光电导型红外探测器的转换电路。光敏电阻 R_1 与固定电阻 R 串联后接在一恒定的直流电源 E 上,红外线经光调制器 M 调制成为正弦波信号后以一定功率照射到 R_1 上,使其电阻值脉动变化,这样在 R 上降落的电压除直流成分外,还有一个与正弦波红外线同样频率的交流成分,将此交流信号经放大处理后就即可测量出红外辐射物体的温度。

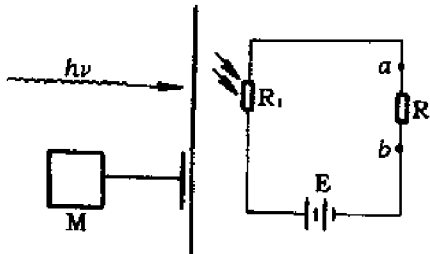


图 10-8 光电导型红外探测器转换电路

2. **光生伏特型红外探测器** 当红外线照

射在某些半导体材料的 PN 结上时,会在 PN 结两端产生一个附加电势,这种现象就是光生伏特现象。光生伏特型红外探测器就是利用光生伏特现象制成的。图 10-8 所示转换电路同样适用于光生伏特型红外探测器,只是要注意光生伏特型红外探测器一般加反向偏压。

(二)热敏红外探测器

热敏电阻在受到红外线照射时,其温度升高,电阻值减小。将图 10-8 中的光敏电阻 R_1 用热敏电阻代替后,即成为热敏红外探测器,通过测量热敏电阻值变化的大小即可得到产生红外辐射物体的温度。热敏电阻一般做成薄片状,并在其表面加一黑色涂层,使红外辐射尽可能被薄片吸收,以提高热敏红外探测器的灵敏度。

三、红外测量及其应用

检测温度的方法很多,红外测温是比较先进的一种方法。这种方法灵敏度高,反应速度快,测温范围广,几乎可在所有温度测量的场合使用,能够进行远距离和非接触检测,特别适合于高速运动物体、高压物体、带电物体的温度检测。

图 10-9 所示为红外测温仪示意图,它由光学系统 1、红外探测器 2、调制器 3、放大器 4 与指示器 5 等组成。被测目标所发出的红外辐射经过透射式光学系统后,集中照射到红外探测器上,使红外探测器内的热敏电

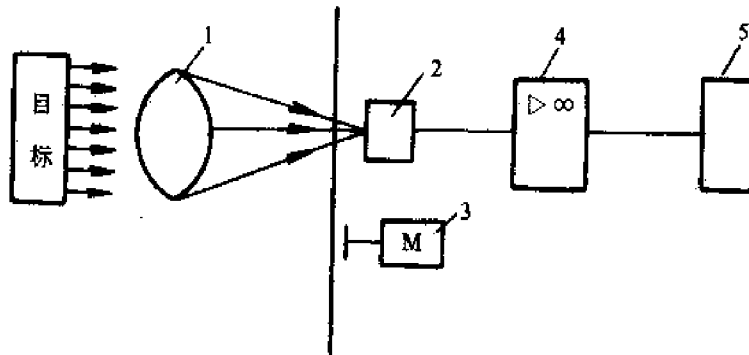


图 10-9 红外测温仪示意图

阻的阻值发生相应的变化,这样热敏电阻就将红外辐射所引起的温度变化转换为电量的变化,电量经调制与放大处理后再送至指示器,从而测出目标的温度值。

日常生活中,红外测温应用广泛,便池节水器是一个典型的例子。厕所的异味主要来自大小便池,不停地用水冲洗将会造成大量水源的浪费,便池节水器能够判断有无使用便池者而自动冲水清洗,即有人使用时,自动放水冲洗,当人离去后自动停水,一般可节约用水 80% 以上,具有良好的经济效益。便池节水器主要由电源盒和电磁阀两部分构成,采用红外探测器作为传感器。当电源盒内的红外探测器探测到人体的移动信号后,将温度变化转换为电量的变化,再经转换及放大电路处理后,推动电磁阀动作,控制水流的通断,从而达到节水的目的。

红外测温在纺织生产上也有较多的应用。如在织物印染加工的过程中,要求精确测量和控制织物的温度,以防止由于过热或温度不够影响产品质量。印花加工前,通过水洗以去除涂料及油污。水洗后需干燥,以去除织物中的水分。织物在干燥时,由于其湿度与温度有一定的关系,因此通过测温可控制织物的湿度,使用红外测温仪可对干燥过程进行湿度监控,避免织物干燥过度。

对于某些化学纤维织物的热定型,也要求精确的温度控制。如棉涤织物(的确良)的热定型,其热定型温度一般要求在 180 ~ 200℃ 之间,温度过高会使织物变脆,温度过低则不能达到预期的效果。为此,可使用红外测温仪对运动着的布面作连续的温度测量并同时给出控制信号来调节车速,使布面温度稳定在所需的温度范围内。

第四节 光纤传感器

光导纤维传感器,简称光纤传感器,是一种新型传感器。它是利用光纤传输的光波长(如光强、相位、频率等)受到外界环境的影响(如温度、压力、电磁场等)而发生相应变化的原理在 20 世纪 70 年代迅速发展起来的。光纤传感器具有灵敏度高、结构简单、体积小、耐腐蚀、可弯曲、能遥测、绝缘性能好等优点,在位移、速度、压力、流量、温度等方面得到了比较广泛的应用。

一、光纤传感器的基本知识

(一) 光纤及其传光原理

光纤结构如图 10-10 所示,它是由导光的纤芯 1、包层 2 和保护层 3 构成。为保证入射到光纤内的光波能集中在纤芯内传输,要求纤芯的折射率 n_1 略大于包层的折射率 n_2 。当光以各种不同的角度入射到纤芯与

包层的交界面时,光波在该处有一部分反射成为反射光,一部分折射成为折射光。当光波在纤芯与包层的界面处的入射角 φ_1 小于临界入射角 φ_c 时,光波就不会被折射,而实现全部内反射。光波在界面上经无数次反射,呈锯齿状路线在光纤内向前传输,最终从纤芯的另一端传出,这就是光纤的传光原理。

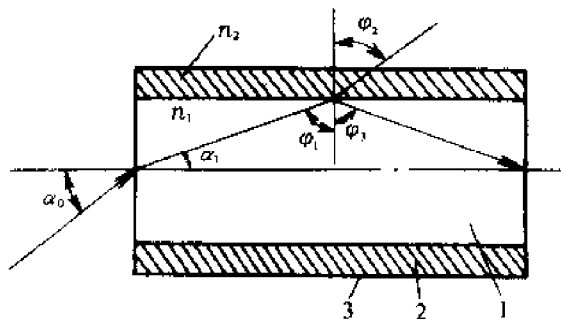


图 10-10 光纤结构示意图

临界入射角 φ_c 与光纤纤芯的折射率 n_1 及包层的折射率 n_2 有如下关系:

$$\varphi_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (10-5)$$

(二) 光纤传感器的分类

光纤传感器一般分为两大类,一是功能型传感器,又称物性型传感器;一是传光型传感器,又称结构型传感器。功能型传感器是利用光纤本身的某种功能或特性制成的,在这类传感器中,光纤不仅能传光,同时还起到敏感元件的作用。传光型光纤传感器中光纤仅仅起着传输光波的作用,必须在光纤端面加上其它敏感元件才能够成为传感器。功能型传感器相对于传光型传感器而言,结构复杂,制造难度大,但灵敏度高。其中传光型又分为两种,一种是在发送与接受的光纤之间放置敏感元件,使敏感元件遮断光路或使敏感元件的光穿透率发生变化,然后进行检测,一种是在光纤终端放置敏感元件进行检测。

根据对光调制手段的不同,光纤传感器又有光强度调制、相位调制、频率调制等不同工作原理的光纤传感器。光纤传感器一般由光源、光纤、光电元件组成。对光源的一般要求为,光源体积尽可能小,以便于它和光纤耦合;光源的波长尽量合适,以便于光传输中的损失减至最小;光源的亮度要足够大以便于传感器输出信号的提高;另外还要求光源稳定、噪声小、易安装、寿命长。常用的光源有半导体激光二极管、氦氖激光器、发光二极管和白炽灯等。

在光纤传感器中,光电元件的线性度、灵敏度等是直接影响传感器性能的因素,应认真进行选择。常用的光电元件有光敏二极管、光敏三极管等。

二、光纤传感器的应用

光纤传感器的应用极为广泛,它可以检测的物理量很多,这里主要介绍两种光纤传感器的典型应用。

(一) 简单光纤开关传感器

图 10-11 为两种简单的光纤开关传感器示意图。图(a)中光纤开关用作计数,传送带带动工件移动。当有工件通过光纤断开处时,光纤中光路被切断,从而在光纤输出端得到一个光脉冲,经计数电路与显示电路处理后,通过光纤的工件数被显示出来。图(b)中光纤开关用作测速,穿有透光孔的编码盘在转动过程中,当光纤光路与透光孔不对齐时,光路被切断,这样在光纤输出端就有光脉冲输出,从而测出转盘的速度。

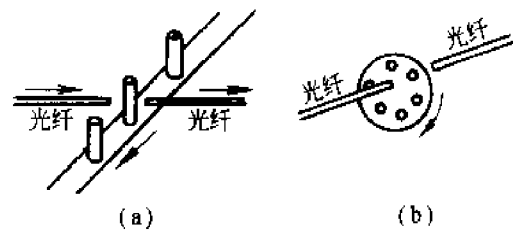


图 10-11 简单的光纤开关传感器示意图

(二) 光纤位移传感器

图 10-12 所示为移动球镜光纤位移传感器示意图。当球镜在中间初始位置时,两个接受光纤上得到的光强是相同的,如果球镜在垂直于光路的方向上产生微位移时,两个接受光纤上得到的光强会发生变化,光强比值的对数值与球镜位移量 x 呈线性关系,从而检测出位移量。

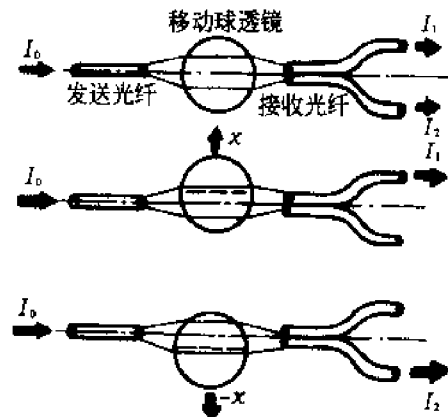


图 10-12 光纤位移传感器示意图

第五节 流量检测

流量属于工业生产过程中的重要参数之一,对其进行自动检测与控制特别重要。

一般所讲的流量大小是指单位时间内流过管道某一截面的流体(气体、液体、蒸气)数量的多少,称为瞬时流量,单位有:kg/h、t/h、m³/h、l/h等。而在某一段时间内流过管道某一截面的流体数量的总和,称为总量流量,单位有:kg、t、m³、l等。测量瞬时流量的仪表称为流量计,测量总量流量的仪表称为计量表。

从检测原理上讲,流量计可划分为三大类:

第一大类为速度式流量计,以测量流体在管道内的流速作为检测依据。种类有差压式、转子式、电磁式、涡轮式、靶式、卡门涡街式、超声波式等。此类流量计在实际中应用较广。

第二大类为容积式流量计。以单位时间内所排出流体的固定容积数作为检测依据。种类有椭圆齿轮式、活塞式、刮板式、腰轮式等。

第三大类为质量式流量计,以测量所流过的流体质量 M 为检测依据。种类有惯性式、补偿式、推导式等。这是一种正在发展中的仪表,检测结果不受流体温度、压力、密度、粘度等影响,精度较高。

由此可知,检测流量的传感器种类很多,本节以最常用的差压式流量计为例,介绍其组成、原理及传感器类型。最后介绍智能涡街流量计。

一、差压式流量计

差压式流量计也称节流式流量计。它是利用流体流动的节流原理,即流体流经节流

装置时产生的压力差进行检测的,适合于检测气体、液体和蒸气流量。其组成主要有两大部分:一部分是节流装置,其作用是使流体产生节流现象,即使流体产生局部收缩,并在其前后产生静压差;另一部分是差压计或差压变送器,它用来检测节流装置前后的静压差,根据静压差和流量的对应关系,可直接指示流量。

(一)标准节流装置

“标准”二字主要是指将常用的节流元件如孔板、喷嘴、文丘利管等进行标准化。标准节流装置包括以下三个组成部分:

(1)节流元件。

(2)取压装置。如角接取压环室、单独钻孔取压的夹紧环,带取压孔的法兰等等。

(3)节流装置前后的直管段要求节流元件之前有十倍管径长的直管段,节流元件之后有五倍长的直管段,以使流体均匀、稳定地流过节流元件。

三种标准节流元件如图 10-13 所示。检测时,将它们放置在流体管道内,则流体通过时,产生局部收缩,平均流速增大,静压不断下降,在流束的最小截面处,流速最高,静压力最低。理论证明,对于不可压缩的流体而言,流经节流元件的体积流量和压力差的平方根成正比。即:

$$Q_v = a \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2g}{r} (P_1 - P_2)} \quad (10-6)$$

式中: a ——流量系数,是一个用实验确定的常数;

F_0 ——节流元件的开孔面积;

r ——流体密度;

g ——重力加速度;

P_1 、 P_2 ——节流元件前、后流体对管壁产生的静压力。

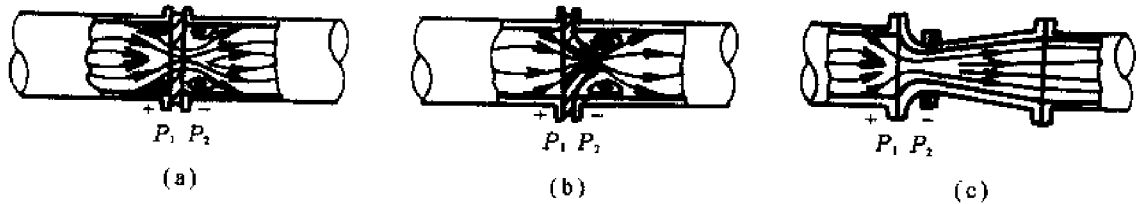


图 10-13 常用节流元件示意图

(a)孔板 (b)喷嘴 (c)文丘利管

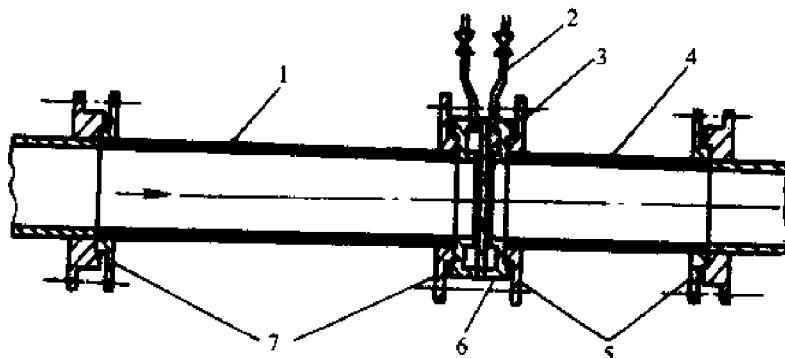


图 10-14 全套标准节流装置

三种节流元件中最常用的为孔板,由其构成的全套标准节流装置如图 10-14 所示。其中箭头为流体流动方向,1 为上游直管段,2 为导压管,3 为孔板,4 为下游直管段,5、7 为联接法兰,6 为取压环室。

(二)差压计

根据所使用的能源不同,差压计(或变送器)可分为气动型和电动型两类。其中,气动差压变送器是把被测压力差转换成 20~100kPa 的统一标准气压信号,然后送气动记录仪、显示仪进行记录和显示,或者送气动调节器进行处理和控制。气动表虽然安全、防爆,但体积笨重,测量滞后大,还需要专门的工作气源,现已基本淘汰。电动差压变送器目前应用最广,类型有 DDZ-Ⅱ型, DDZ-Ⅲ型,还有电容式、扩散硅式等新型或智能型差压变送器。其中, DDZ-Ⅱ型差压变送器是将被测差压转换成 0~10mA 的直流电流信号,电路板构成主要采用晶体管分立元件,

缺点是温漂大,故障多,且精度低。DDZ-Ⅲ型及电容式、扩散硅式差压变送器是把被测差压转换成 4~20mA 的国际统一标准直流电流信号,电路结构主要采用集成运算放大器,特点是结构简单,故障率低,目前应用较广。它们的信号经开方后,可送显示表显示,也可直接送入 DDZ-Ⅲ型调节器或单回路数字调节器(智能型调节器)进行处理、控制和显示。

二、智能涡街流量计

上述差压式流量计,虽然结构简单,但有诸如测量精度较低、误差难修正、导压管与冷凝器易泄漏及堵塞等缺点,而不方便用户使用。近年来,国内外仪表厂家不断研制开发出新一代流量仪表,使流量检测技术向前迈进了一大步。

智能型涡街流量计问世于 20 世纪 90 年代中期,属于小型的机电一体化产品。它已在一些大、中型企业中普遍使用,由于其功能丰

富、性能可靠,且使用方便,而受到用户青睐。

(一)检测原理

如图 10-15 所示,在管道流体中放置一个有对称形状的非流线型柱体时,在它的下游两侧就会交替出现旋转方向相反的漩涡,并轮流地从柱体上分离出来,在下游侧形成所谓的“涡街”,也称“卡门涡街”。实验表明,只有当两列漩涡的纵向间距 h 和横向距离 l 之间满足 $h/l = 0.281$ 时,则非对称的“卡门涡街”才是稳定的;并且每一列漩涡产生的频率 f 与流速 \bar{v} 成正比,与柱体的特征尺寸 d 成反比,即

$$f = S_r \cdot \bar{v} / (1 - 1.25d/D) \cdot d$$

式中: S_r ——为无量纲数,称斯特罗哈尔数;

\bar{v} ——被测介质的平均流速;

D ——被测管道直径。

因此,只要能测出涡街的频率 f ,就能反应流

量大小,并且 f 不受流体的温度、压力、密度、粘度及组成成分的影响,这是涡街流量计区别其它速度式流量计的显著特点。

检测涡街频率的方法较多,可以利用漩涡发生时发热体(如被加热成恒定阻值的热电阻或热敏电阻)散热条件变化的热检出;也可以用漩涡产生时漩涡发生体两侧产生的差压来检出,差压信号可通过电容或应变片等进行变送。本文所介绍的检测方法是:在非流线型柱体内部封装一压电元件,当漩涡在柱体两侧产生时,柱体受到与流体流向垂直的交变升力(即压力),该交变升力使柱体内产生交变应力,从而使压电元件产生与该交变应力变化频率相同的交变电荷,通过信号调理电路将这种电荷信号进行变换处理后,输出与流量成正比的脉冲信号。并将该脉冲信号换算成相应的流量值进行现场数字式显

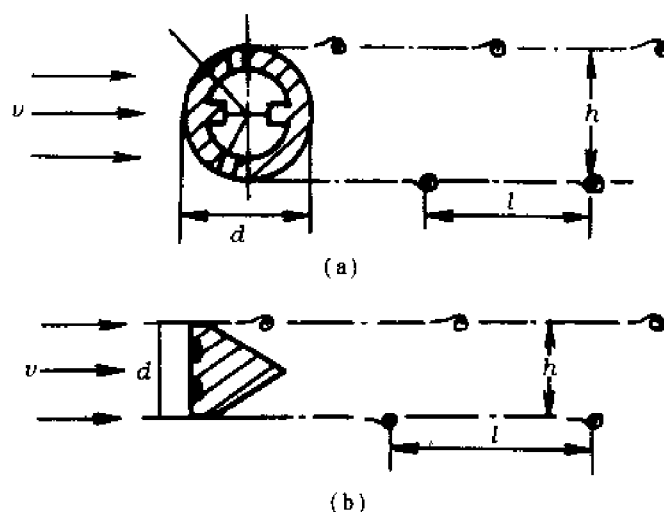


图 10-15 涡街发生的情况

(a)圆柱体 (b)等边三角形柱体

示和累计运算的总量流量显示,同时转换成 $4 \sim 20\text{mA}$ 的模拟信号送控制室仪表进行流量控制。

(二)仪表的基本工作原理及功能

图 10-16 所示为该流量计的整机原理框图。整个仪器可概括为两大部分:流量计

部分,也称流量变送器。其作用是对瞬时流量进行测量和显示,并转换成 $4 \sim 20\text{mA}$ 的直流电流信号送出;流量计量表部分,也称流量积算仪。其作用是对流量值进行累积运算,为生产用料控制和成本核算提供依据。

仪器设置有显示、预置、打印和选择等功

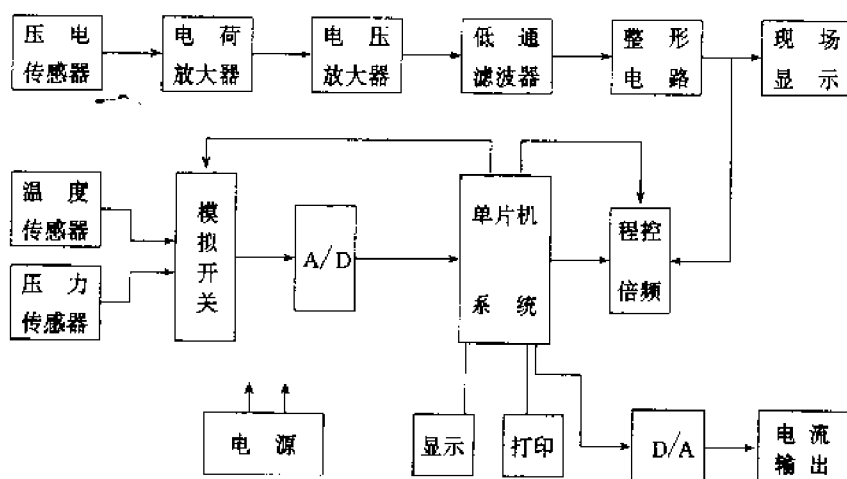


图 10-16 整机原理图

能。可用百分比值和工程单位两种形式显示瞬时流量,以工程单位显示累积流量;预置功能包括各种计算数字、仪表常数、量程、被测介质的密度和比重值等;可随时打印用户所需的瞬时流量、累积流量及现场的温度、压力等值。除此而外,仪表还具有超范围、量程设定错误、脉冲输出设定错误、EEPROM 错误、线路故障等各种自诊断功能。这些优点都是由于采用了计算机技术,并充分发挥其优势所具有的,是普通流量测量表所无法比拟的。

综上所述,智能涡街流量计属于智能化现场流量检测仪表,它采用先进的传感器技术和微处理器有机结合,使流量传感器及其检测技术更趋成熟与完善,性能更优越,精度

进一步提高(优于 $\pm 1\%$),且安装简单、维护方便,故障率低(资料表明,用户连续使用 8 年不出任何故障)。同时能和微型计算机终端以及集散控制系统(DCS)的中央控制室配套通讯,为实现计算机综合管理与控制创造良好的条件。

思考题与习题:

1. 试说明湿度传感器有哪三大系列?
2. 试说明超声波探伤与厚度检测的基本原理?
3. 试说明红外测温的基本原理。
4. 试说明光纤的基本结构?它是怎样传递信号的?

第十一章

微机在自动检测技术中的应用

随着计算机技术的快速发展,计算机在工业测量和工业控制中的应用日益广泛。目前,用微机构成的自动检测与控制系统在工业自动化生产和现代化管理中所占的比重越来越大,大有取代常规自动化装置的趋势。由先进的传感器技术与微型计算机相结合所构成的智能化传感器,不仅为微机自动检测

技术开辟了广阔的发展前景,而且它能实现检测系统自诊断、故障检测、量程的灵活改变、系统误差的自动修正等功能,为完善和提高微机自动检测系统奠定了良好的基础,是今后传感器技术发展的主要方向之一。

本章将介绍微机自动检测系统的基本概念、组成、工作过程及应用实例。

第一节 微机自动检测系统概述

一、微机自动检测系统的概念与功能

微机自动检测系统是以微处理器或微型计算机为核心构成的智能化测控系统。其特点是体积小、运行速度快、数字化运算精度高、开发性强、抗干扰能力强,能与管理计算机进行通讯组成综合管理系统,能一机完成多系统、多任务的处理等。目前在自动检测技术中,常用的微机有 TP801 单板机、8086 微机、M6800 微机、MCS—51、MCS—96 系列单片机以及各种专用的工业控制计算机等,其中以单片微型计算机和工业控制计算机应用最为普遍。

由计算机构成的工业自动化系统有以下几种类型:计算机巡回检测系统,计算机直接数字控制系统(即 DDC),计算机监督控制系统(即 SPC)以及集检测、控制、管理于一体的分散型综合控制系统(即 DCS)等,不管是哪一种类型的自动化系统,它们都离不开微机自动检测系统。

微机自动检测系统是将微型计算机和各种类型的传感器从硬件上联系起来,并利用采样、转换等程序将传感器输出的模拟量转换成数字量送入微机内部进行处理。处理的方法有两种,第一种是将转换后的数字量经滤波(去除干扰成分)和标度变换(即进行规格化和标准化)后送显示器进行显示,并进行打印和存盘;第二种方法是将滤波后的数字量送入数字控制器(即用程序编制的控制算法)进行运算处理,得到对被测参数进行控制的控制信号送往执行机构(即构成微机检测与控制系统)。以上诸多特点,使得微机检测系统的功能大大增强,具体表现为:

(1)能进行多参数(一般为几十至几百个相同或不同参数)或多通道的巡回检测。如对多个温度测量点的巡检或对温度、压力、流量、转速等多个不同参数的巡检。

(2)能进行数据分析与处理(包括非线性校正及动态特性校正)。

(3)作为自动控制系统的信息反馈环节,把检测与控制紧密联系起来,形成计算机直接数字控制系统。

(4)能提供所需要的各种形式的输出,如数字形式、光柱形式、坐标曲线形式等。

(5)可通过改变程序或采用可编程的方法来改变功能,如对系统自动改变量程、进行数制转换、自动诊断、对超限参数进行报警及连锁保护等。

综上所述,微机检测系统使得自动检测技术变得更加灵活,适用于各种要求,且具有多功能、高性能和高可靠性等优点。

二、微机自动检测系统的组成及工作原理

(一)微机自动检测系统的组成

微机自动检测系统的构成,不仅要从硬件上将微处理器与传感器联系起来,而且要配以合适的程序软件才能完成整个测量任务。因此,微机自动检测系统是由硬件系统和软件系统两大部分共同构成。

1. 硬件系统的组成 如图 11-1 所示为硬件系统的基本组成框图。由于大多数场合,在实现参数的自动检测同时,还要完成参数的自动控制,因此该图中也包括实现控制(发出控制信号)的硬件组成。由图可知,微机是整个系统的核心,它通过系统总线和输

入/输出接口与所有外设相连,以实现对他们的操作和控制。

(1)模拟量输入通道:该通道包括信号调理、放大器、采样保持器(S/H),多路开关和 A/D 等环节。作用是通过传感器将一系列能够检测到的模拟信号实时地转换为数字量,并送往微机。其中信号调整包含有标度变换、信号滤波和线性化处理三方面。标度变换的作用是进行规格化和标准化。信号滤波的作用是抑制输入通道中的干扰,通常有硬件和软件两种方法,硬件滤波常使用 RC 有源或无源滤波器,软件滤波也称数字滤波。线性化处理的作用是对传感器的非线性进行补偿,以减小测量误差,方法有近似折线法或采用反馈放大器等;采样/保持器是用来实现放大器输出的模拟信号在某一时刻的瞬时值与多种开关的接通,并将其保持下来供 A/D 转换用。这是由于 A/D 转换需要一定时间,而在这一段时间内只能转换某一时刻的值,因此必须将该值保持到 A/D 转换结束为止(有时,当被测信号变化缓慢时,可不加采样/保持器);多路开关的作用是实现多路输入信号的分时输入(由微机控制),以使计算机能将所有的传感器信号转换成数字量,并送入内存单元进行处理。

从以上各个环节的作用可以看出,由于

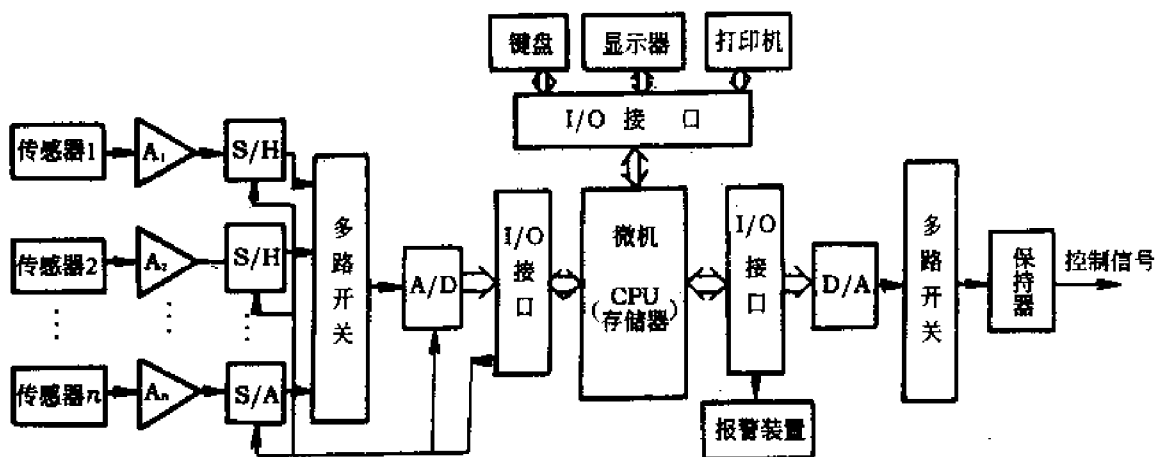


图 11-1 硬件系统基本组成框图

微机只能接受数字量,因此传感器输出的连续变化的模拟信号是不能够连续地转化成数字量的,而是通过间隔一定时间的采样周期(如 1ms、1s 等)定时地实现转换与采集,即使是检测多路模拟量也是如此。因此微机检测及控制系统实质上是一种离散化系统,但必须保证离散化的数字信号能够正确地反应原模拟信号的变化规律,因此要选取一个合适的采样周期。

(2)模拟量和数字量输出通道:该通道包括 D/A 转换、多路开关和输出保持等环节,作用是将微机处理后的数字信号转换成模拟信号(有时也不需转换,而直接采用数字脉冲输出),经功放后驱动执行机构,完成对所测参数的控制。对该通道的要求,除了提高可靠性和满足一定精度之外,还要具有信号的保持功能,即将控制信号保持到下次控制信号到来之前,以保证执行器能到位执行。若不加保持器,则计算机快速送出的控制信号只出现一瞬间便消失,使执行机构不能到位。

除上述两个通道之外,硬件系统还包括显示器、键盘、打印机、报警装置等。

2. 软件系统的组成 软件系统包括系统软件和应用软件两大块。其中,系统软件是用来实现对微机的管理,它包括操作系统、监控程序、诊断程序等;应用软件是为解决用户问题而编制的各种软件。

一个完整的微机检测应用软件应包括:采样程序、滤波程序、标度变换及线性化处理程序及显示程序等。这些子程序在系统软件的支持下,能按用户设计要求快速而准确地完成对参数的检测与显示任务。

(二)微机自动检测系统的工作过程

由图 11-1 可看出,各个传感器输出的模拟信号,接各个采样/保持器的输入端,时刻供 CPU 采集。系统工作时,根据用户程序,向多路开关的选通地址译码器写入要采集数据的传感器地址,经译码接通该地址对应的开关,再由传感器输出的模拟信号经高精度放大器 A 放大后,在采样/保持器中保存起来(一般为 0~5V 的标准信号)。然后 CPU 向 A/D 发出转换命令,转换结束后,通过输入接口和系统总线送入微机内部进行处理。但在进行数字滤波时,每个采样点可快速采样多次,并进行数学处理,才能作为一个测量结果供显示和打印。这就完成了一路传感器信号的采样,然后微机自动转向第二路传感器进行采集,直至全部采样信号被采集完为止,又转入下一周期的采样,重复以上过程。这就是多路参数的微机巡回检测。在每个采样点,微机还要对所采集的数据进行处理,或经 D/A 转换成模拟信号去驱动执行机构,当信号超限时,还要驱动声、光报警器进行报警。

第二节 微机在自动检测系统中的应用举例

一、PWM 变频调速同步传动系统

在工业生产中,有很多场合需采用多电机同速运转传送,如各种物料的输送、轧钢机轨道、电力机车传动、纺织工业中的印花、染色、纺丝、整理联合机等。近年来,随着微电

子技术、计算机技术及现代控制理论向电气传动领域的渗透,使交流调速传动有了飞速的发展,计算机以它独特的优势,为提高交流调速的功能及性能指标、缩小体积和提高竞争力提供了条件。

变频调速,就是通过改变供电电源的电

压及频率来实现对交流电机的调速。PWM(脉宽调制)变频调速是目前较为先进的一种交流调速方式,它将在某些领域内逐步取代传统的直流拖动系统。其特点是能使电源侧有较高的功率因素,输出电压中高次谐波少(波形好),调节速度快(动态响应好),且装置的体积小、造价低。

(一)整机构成

本系统采用 MCS-51 单片机控制,图 11-2 所示为系统构成示意图。其中 1 为拖

引辊,2 为异步电机,3 为光电传感器,4 为减速箱,5 为变频器,6 为单片机最小系统及接口电路,7 为驱动器,8 为检测装置。图中,每一台电机的主轴上设置一个与转速成正比的脉冲发生器,输出频率分别为 $f_1, f_2 \dots f_n$,由测速电路将对应于 $f_1, f_2 \dots$ 的转速 n_1 (主令), n_2 等存入计算机。首先对主令机进行转速闭环控制,然后再对从动机转速进行调整。只要有 $\Delta n = n_1 - n_2$ 存在,就对从动机进行调整,当 $\Delta n = 0$ 时,系统同步运行。

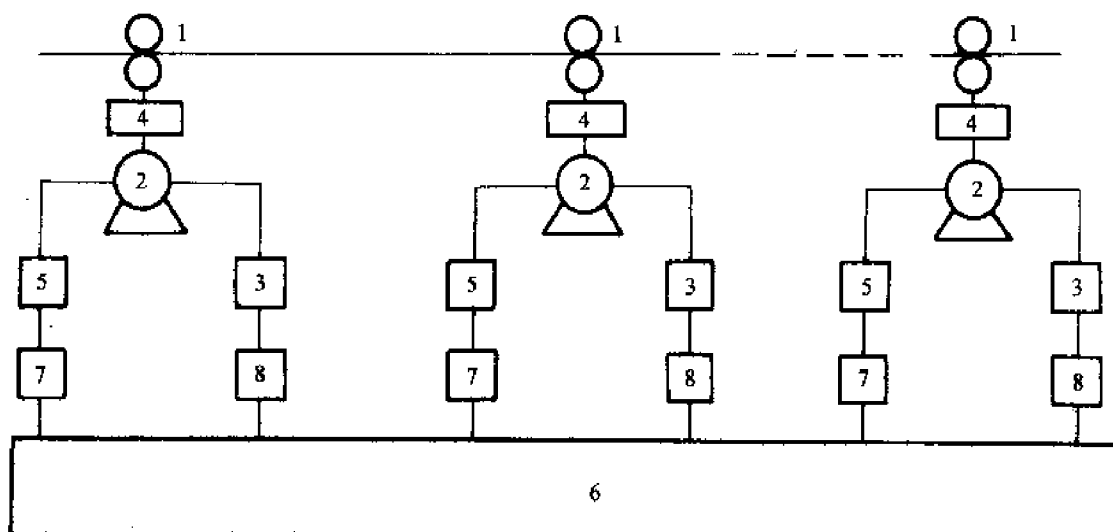


图 11-2 多电机同步系统构成示意图

(二)主回路

如图 11-3 所示为交—直—交变频器主回路电气原理图。首先将电网电压通过三相不可控桥电路整流成直流电压,再由六个大功率晶体管(GTR)开关 $VT_1 \sim VT_6$ 顺序导通将该直流电压逆变为频率可调的三相交流电压加在电动机上,从而达到调速目的。实质上 GTR 是作为开关元件使用,与其并联的二极管 $VD_1 \sim VD_6$ 起保护作用。电路设计时应尽可能缩短其开关时间,减小开关损耗,而且为了防止系统工作时出现的变压、大电流(超出额定值)对 GTR 造成损坏,在图中还设计有过电压、过电流保护电路,以提高系统的可靠性。

(三)测速原理

测速的基本原理是:在电机主轴上安装光电(测速)脉冲发生器,当电机旋转时,输出一个脉冲信号,通过在一定时间间隔内对脉冲计数,即可计算得到转速值。脉冲信号的测量和计数有三种方法:M 法、T 法、M/T 法。M 法由于在低速时脉冲数 m 值较小,故检测误差大;而 T 法在高速时脉冲数 m 值小,而使测速的分辨能力低。因此本系统采用 M/T 法来综合两者的优点,以保证宽范围内的测量精度和高分辨能力。采用 M/T 法的测速原理如图 11-4 所示,图中 T_c 为给定时间间隔,当 T_c 定时时间到时,若按 M 法,则测量到的脉冲数为 5 个,而实际上 T_c

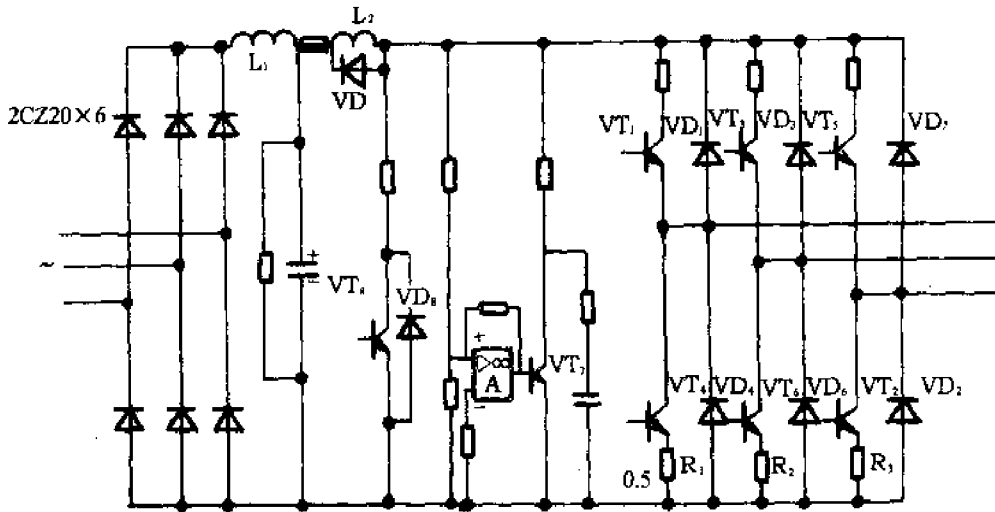


图 11-3 主回路原理图

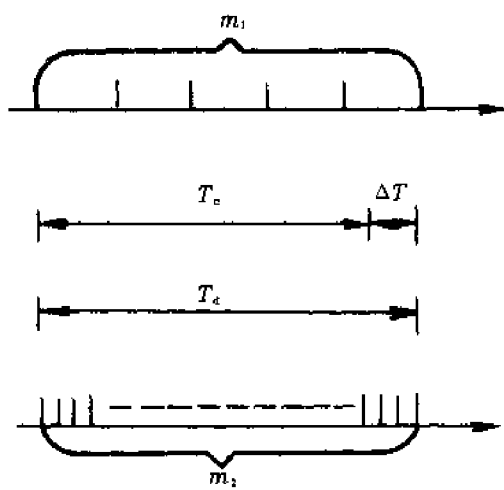


图 11-4 测速原理图

比 5 个脉冲周期大。因此，当 T_c 到时，再记录下下一个输入脉冲到达的时刻 T_d ，此时脉冲计数值 $m_1 = 5 + 1 = 6$ ，而在 T_d 时间内，单片机内的定时/计数器计数值为 m_2 （计数脉冲由定时器自动产生），因此实际测速时间 T_d 与定时时间 T_c 的差值 ΔT 是随着转速快慢变化的，是由 T_c 结束后同步产生第一个主轴脉冲的有效边沿决定的。设主轴脉冲发生器的每转脉冲数为 q ，单片机定时/计数器时钟脉冲频率为 f_p ，被测电机主轴脉冲频率为 f_i ，则有 $\frac{f_i}{f_p} = \frac{m_1}{m_2}$ ， $f_i = \frac{m_1}{m_2} f_p$ ， f_p 对应的转速为

$$n = 60 \cdot \frac{f_p}{q} \cdot \frac{m_1}{m_2} \text{ (r/min)}。$$

如图 11-5 所示为用 MCS-51 单片机最小系统组成的数字测速电路。用 8031 定时/计数器 T_0 对 m_1 进行计数，用 T_1 对 m_2 进行计数，用扩展接口 8155（图中未画出）的定时/计数器对 T_c 定时。测速过程如下：

1. 将开关 K 置位，测速开始，此时，两个 JK 触发器的清零端 CLR_1 、 CLR_2 无效。

2. 将 $P_{1.5}$ 复位，通过置位端 PR_2 使 $Q_2 = 1$ ，从而使 $J_1 = 1$ ， $K_1 = 0$ ，当电机主轴脉冲 (f_i) 下降沿到来时， $Q_1 = J_1 = 1$ ，打开各计数器的封锁门 G_1 、 G_2 、 G_3 ，使三个计数器同时工作。

3. 将 $P_{1.5}$ 置位，使 PR_2 无效。此时由于 $Q_1 = Q_2 = 1$ ，所以当 T_c 定时时间到时，8155 的 T_{out} 端产生一负脉冲，加在时钟触发端子 CP_2 上，而使 $Q_2 = 0$ ，则 $J_1 = 0$ ， $K_1 = 0$ 。此时根据 JK 触发器的性能，只有当主轴脉冲下降沿到来时， Q_1 才翻转为 0，而将计数门 G_1 、 G_2 、 G_3 封锁，停止 m_1 计数。同时 T_{out} 发出的负脉冲向单片机的 $\overline{INT_0}$ 申请中断（“低”有效），在 $\overline{INT_0}$ 的中断服务程序中，适当延长一段时间（即等待 ΔT ），然后读取 m_1 、 m_2 值，进行转速计算。

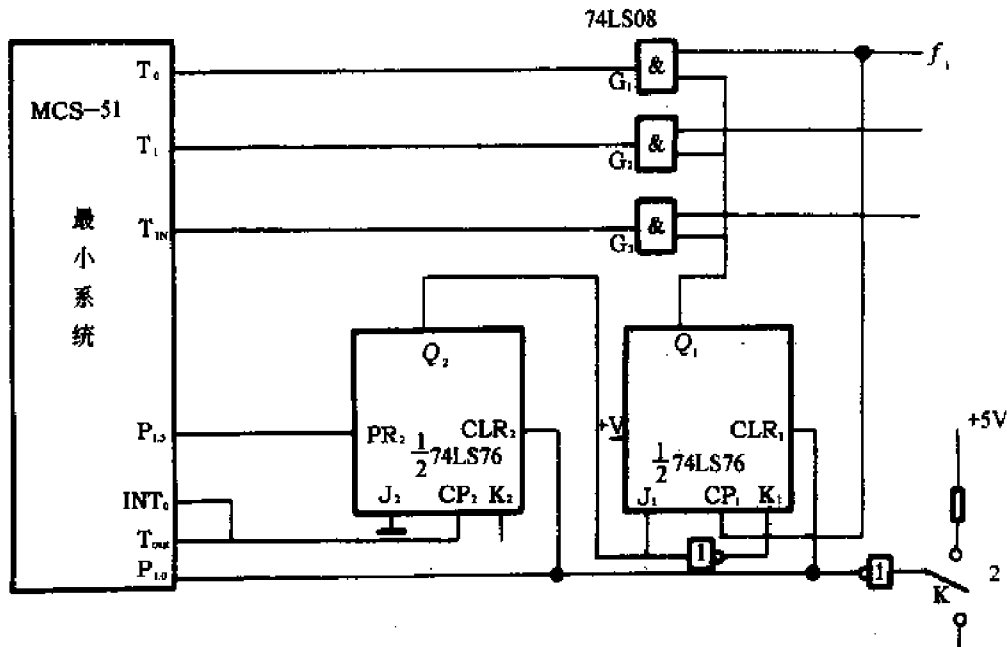


图 11-5 MCS-51 单片机最小系统的测速电路

4. 将定时/计数器 T_0 、 T_1 清零, 并返回至第 2 步, 进入下一轮速度采样。本系统中, $T_c = 200\text{ms}$, 即每 200ms 左右采集一次转速值。

(四) 系统硬件组成及工作过程

如图 11-6 所示为用 MCS-51 单片机最小系统构成的硬件组成图。其中测速电路已如前所述; 主从电机的给定是采用同轴电位器, 也可以是比率电位器, 以便使主从电机的数字量给定相等或遵循一定比率; 74LS373 为数据锁存输出接口, 可以控制主轴测速脉冲是否能进入测速电路; 0809 为 8 路 8 位模数转换器, 它与单片机直接相连, 用以实现主从电机的模拟量给定到数字量给定的转换; 两片 8253 为专用的可编程时钟脉冲发生器, 它接受单片机根据控制量计算出的分频数, 以改变其输出频率, 实现对输出 PWM 波形的宽度调节; HEF-4752V 为专用的集成 PWM 波发生器, 它接受 8253 输出的三路不同频率信号 (如图中 OUT_2 接 FCT、 OUT_1 接 VCT、 OUT_0 接 RCT 和 OCT), 而自动生成和控制量有关的 PWM 调

制输出, 因此 HEF-4752V 的使用大大节约了单片机的机时, 提高了 CPU 的工作效率; 由于 HEF-4752V 是 CMOS 逻辑, 而 8253 是 TTL 逻辑, 为了可靠传递信息, 实现它们之间的电平匹配, 应采用 7417 集成驱动器进行驱动; 74LS138 为三线~八线译码器, 用以实现对以上各个组成单元(外设)的译码及地址安排, 使单片机能分时有序地实现对它们的操作和控制。

应该说明的是, 由 HEF-4752V 输出的 PWM 调制波必须经光电耦合器件(实现干扰的隔离)和驱动电路的驱动后才能实现对主电路逆变器开关 GTR 的控制, 以达到小信号控制大电流的目的, 实现微机弱系统与主电路强电系统过渡联接。

本电路只能实现两台电机的同步调速, 若需要更多的电机同步调速, 可采用 8155 接口对以上主要环节电路进行扩展。

系统的工作过程为: 将启/停开关按向“1”, 系统启动(信号进入 $P_{1.0}$), 发光二极管 LDE_1 亮, 开始工作。同时启动信号使测速电路中 JK 触发器的 CLR_1 、 CLR_2 变为无效

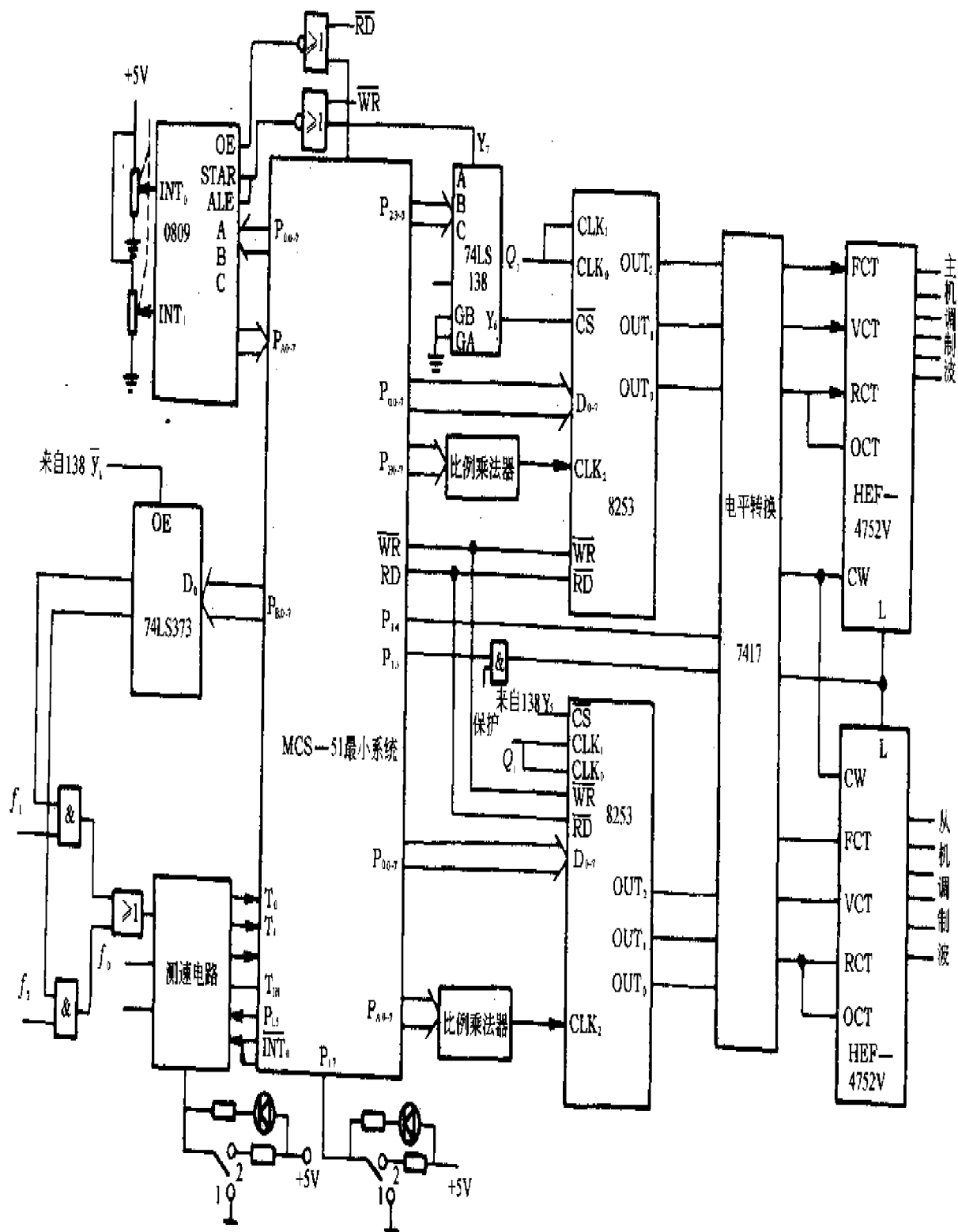


图 11-6 MCS-51 单片机最小系统构成的硬件组成

(启动之前是有效的,将 Q_1 、 Q_2 清零,以防止启动后产生测量误差),作好测速准备。然后,单片机发出启动模数转换的信号,当转换结束时,ADC0809 向 \overline{INT}_1 申请中断,在 \overline{INT}_1 中断服务程序中,由 8155 的 PA 口将主从电机的给定值存入内存;另一方面,测速部分开始工作,首先测量主电机转速,如前所述在 \overline{INT}_0 中断服务中,读取脉冲计数值 m_1 、 m_2 ,并计算出实际速度值,然后将实际值与给定值比较,确定出当前速度的控制量,并经程序转化为 HEF—4752V 的时钟输入端 FCT 的分频数,即确定 FCT 和 VCT 的频率,并将 VCT 的分频数由 P_0 口送至 8253 的数据口,将 FCT 的分频数由 8155 的 PB 口送到由两片 CD4572 组成的比例乘法器的数据输入端,然后经由 8253 的 OUT_1 、 OUT_2 输出相应频率的脉冲,经电平转移后输入给主机的 HEF—4752V 的 VCT 和 FCT 端,使 HEF—4752V 的主驱动器输出端输出相应的 PWM 调制波,经功放后驱动主回路开关元件,而实现主机的调速。等主机速度稳定后开始测量从动机转速,并将从动机转速与主机转速相比较,确定从动机的速度控制量,并用与控制主电机速度类似的方法控制从动机的速度,使主、从机同步运转。然后再进入下一个巡检控制周期,重复以上过程。

在此,比例乘法器的作用是为了实现逆变器输出频率在 0.5~50Hz 之间以 0.5Hz 的级差均匀变化,实现平滑调速。若不使用比例乘法器,则由于调速过程的频率控制是量化变化而存在分辨率的问题。如 FCT 分频数均匀变化时,逆变器输出频率 f_{out} 不是均匀变化的,即 FCT 的分辨率很大,而不能实现平滑调速。

有关 HEF—4752V、8253 及比例乘法器的硬件组成和性能以及各种有关频率的参数推算,由于篇幅限制,就不再详细叙述。

(五)系统软件组成

本系统软件分四部分,分别为:闭环控制主程序、 \overline{INT}_0 中断服务子程序、 \overline{INT}_1 中断服务子程序和转速处理子程序。

闭环控制主程序的作用是对系统各单元(如 8253、8155、 T_0 、 T_1 等)进行初始化,并读取电机转向信息(由 $P_{1.7}$ 读入),测启动信息、发测速命令,调转速处理子程序,求主从电机的控制量及其 FCT、VCT 分频数,实现同步调速。

\overline{INT}_0 中断服务子程序的作用是采用 M/T 法测速,并为下次测量作好准备工作;

中断服务子程序的作用是启动 ADC0809,求取主从电机的数字给定量;

转速处理子程序的作用是将主、从电机的实际测速值比较,确定从动电机速度控制量,并转化为 FCT 和 VCT 分频数,在主程序调用时,实现对主、从电机的同步调速。

二、抓棉机微机控制系统

(一)工艺概述

抓棉机是清钢联合机中开清棉的第一道工序,其作用是从棉包中抓取棉束与棉块,喂给后面的机械。它具有开松和混合作用。经开松与混合后的棉花原料再经混棉机、开棉机和清棉机进一步地开松和均匀混合,并除去杂质、疵点和短纤维,然后经梳棉机、自调匀整机、并条机和牵伸机制成具有一定强度和均匀度的生条和标准纱线,最后经过加捻、卷绕以增加捻度和强度。

本文以瑞士立达(RIETR)公司生产的清钢联为例,介绍其中的抓棉机微机控制系统。该设备具有 20 世纪 90 年代世界先进水平,为典型的机电一体化设备,且机械、电气及微机系统采用全封闭式装配,具有体积小、反应灵敏、自动化程度高、生产效率高、不污染及可靠性强、噪音低等优点。

(二)A1/2 往复式抓棉机的微机控制系统介绍

在清钢联合机中,A1/2 往复式抓棉机的

微机控制具有一定的代表性,其检测点和控制点都较多,适合于采用微机进行综合性管理和控制。图 11-7 所示为 A1/2 往复式抓棉机的外形图。它是由底座 1、控制箱 2、转塔 3、抓棉臂 4 和运行轨道 5 组成。工作时,不同品种的棉包分组堆放在轨道两侧,在微机的控制下,抓棉机可沿轨道往返于任何一组棉包之间,并控制抓棉臂根据棉包高度抓取棉束,在吸风电机的作用下把棉流送入下道工序。

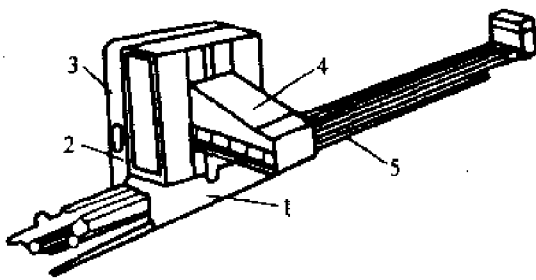


图 11-7 A1/2 往复式抓棉机外形图

由此可以看出,A1/2 抓棉机在工作中有以下参数需要检测与控制,轨道的起点和终点停车控制、每一组的棉包位置停车控制、抓棉臂的升降高度控制、棉层高度的检测与控制、转塔是否旋转检测与控制以及后道工序是否要棉检测与控制等。它们都属于开关量,即只有两种状态需要检测。其中,棉包组(即轨道)定位,抓棉臂升降高度控制等是采用电感式接近开关进行测量的;而棉层高度、后道工序是否要棉等信号是采用立体反射板式光电开关检测的。这两种传感器目前已全部国产化,它们体积小、性能优良、便于安装,灵敏度高(如电感式接近开关检测灵敏度为 1~120mm),因而广泛用于各种状态信号的检测。另外,轨道的起点和终点是由行程开关检测的。

以上各参数是采用 PLC 机(即可编程控制器)进行信号的采集和处理的。PLC 机是由工业控制计算机具体开发而成的一种智能型控制器,它的应用代替了常规的继电器—

接触器控制系统,主要实现各种以开关量为主的开环电气控制,且控制系统的构成极为简单,它只需要用简单的编程将程序存入存储器内,再接上相应的输入、输出信号线即可。不需要诸如继电器之类的固体电子器件及大量而繁琐的硬接线电路。

如图 11-8 所示为由 PLC 机组成的抓棉机控制系统方框图。可以看出,由抓棉机所提供的各种开关状态信号是经光电耦合器和输入继电器接口送入 CPU 的,CPU 经程序扫描读入后,用控制程序进行处理而得到控制信号,并经输出光电耦合器、继电器接口及功率驱动后控制抓棉机中相应的执行机械(即各种控制电机)。在此,输入及输出光电耦合器的作用是为了实现 PLC 机的弱电系统与输入输出通道中的强电系统的干扰隔离,即对 PLC 机的硬件系统实行隔离保护。

在 PLC 机的控制下,有关的控制电机为:

传动电机:带动整个机体沿轨道往返运行。在每一组棉包的附近轨道侧面,均安装有一金属检测块,当抓棉机运行到该金属块附近 1~5mm 时,其内部电感式接近开关动作,输出一脉冲信号,并输入 PLC 机内判断处理,以控制该电动机停止转动而使抓棉机机体停车等待抓棉;

抓棉罗拉电机:控制抓棉臂中的抓棉打手进行正转或者反转抓棉。且抓取棉层的深度是由 PLC 机进行程序定时控制的;

抓棉臂升降电机:根据棉包的位置高低控制抓棉机的升降高度,以决定被抓取棉层的厚度。在抓棉臂臂体内部,有一电感式接近开关和一个反射式光电开关。电感式接近开关是由一旋转的金属齿块旋转而动作的,它每输出一个脉冲,PLC 机控制该电动机运转使抓棉臂下降一步,同时由光电开关检测是否下降到棉层高度,若没有,则抓棉臂继续下降,否则,停止下降,使抓棉打手开始抓棉;

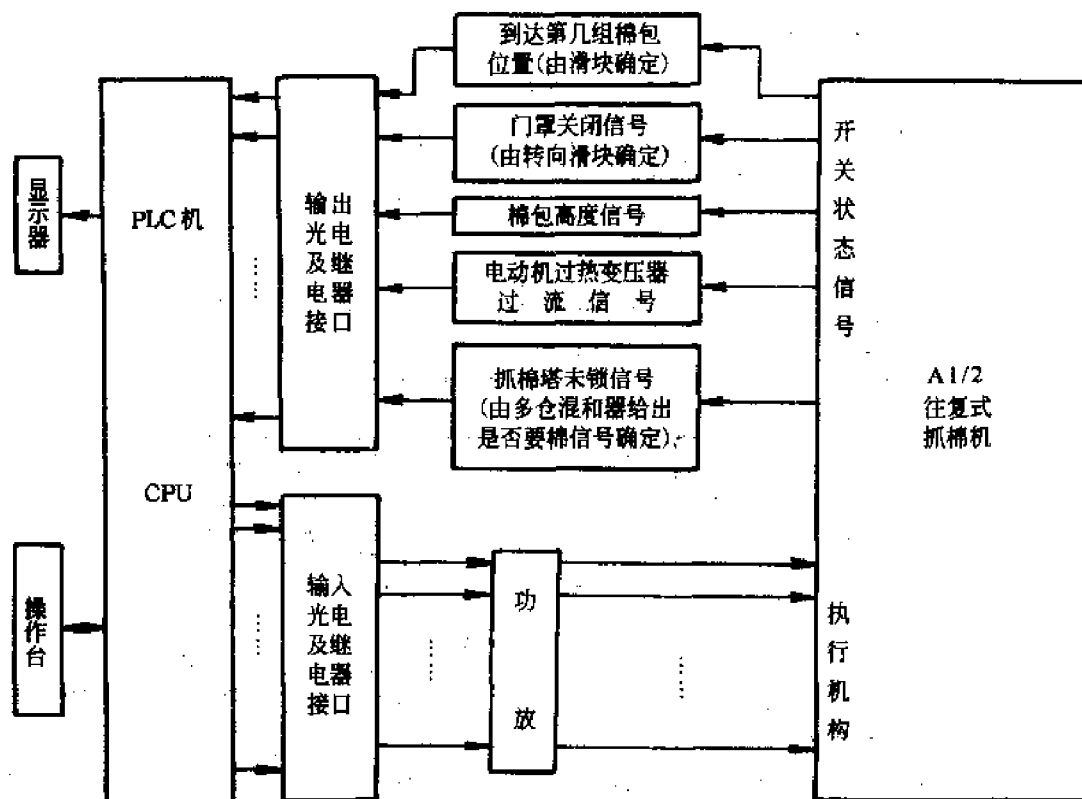


图 11-8 A1/2 往复式抓棉机 PLC 机控制系统框图

压棉罗拉电机：把棉层压平，使抓棉打手和棉层完全接触；

吸风电机：作用是产生一定的风力，把打手抓取的棉层靠风力传送至下道工序。

由以上各电机的工作过程可以看出，PLC 机是整个控制系统的核心，它对抓棉机的各种信号进行检测和判断，并发出控制命令。图 11-9 所示为 PLC 机的等效结构图。可以看出，其组成包括两部分，一部分为微机的基本组成部分，即 CPU、存储器、定时器、接口等；另一部分为扩展的专门用来实现开关量输入和输出的通道（包括光电耦合器和继电器等）。CPU 对开关量的处理是进行延时或逻辑等运算，并以逻辑量形式输出，实现对生产设备的控制。

本系统内，PLC 机有三种不同功能的控制程序，它们是针对开包后的棉包具有上下松软，而中间紧密的特点，编制的抓取不同棉

层厚度的程序，具体执行哪个程序是根据抓棉臂的高度决定的。这三种程序分别为：

运始程序：在一开始抓棉的时候，棉包上部棉层松软，为了使打手每次抓取的棉花数量一样，执行该程序，加大抓取深度；

正常运行程序：在抓至棉包中部时，由于棉层紧密，执行该程序，减小抓取厚度；

运终程序：在抓至棉包下部时，由于棉包重量减轻，使棉层也松软，因此，应加大抓取厚度，直到抓取快结束时，发出报警信号。

另外，系统在工作时，PLC 机要始终检查和处理的两个问题是：

第一，在任何一步操作过程中，都要判断后道工序中的多仓混棉机是否要棉（信号由光电检测棉层积存厚度确定），若要，就按操作程序送；若不要，就停机等待。

第二，时刻检查封闭系统的各种保护门是否正常，工作中的电动机是否过热，变压器

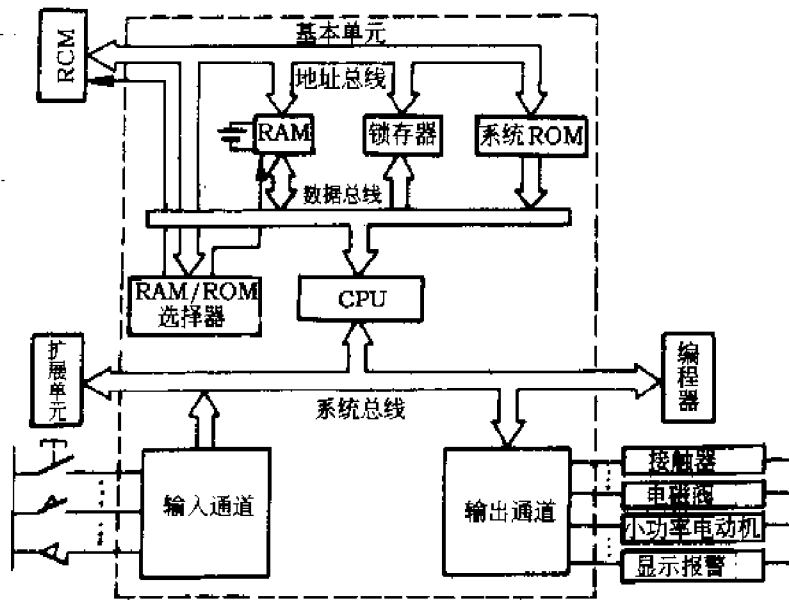


图 11-9 PLC 机等效组成图。

是否过流等。若有这些情况发生时，都发出报警信号，并且停车待处理。但当棉包被抓完后，只报警，而不停车，以提醒操作供应新的棉包，以准备下一次抓取。

以上对清钢联合机中抓棉机的微机控制系统的组成，工作程序及系统作了简要介绍。有关硬件电路及系统程序读者可参阅有关资料。

思考题与习题：

1. 什么叫微机检测系统？它有何特点和功能？微机检测系统的组成及工作过程如何？
2. 什么叫智能传感器？它有何功能？

3. 用微机检测系统构成的工业自动化系统有哪些？它们各有何特点？

4. 采样/保持器、标度变换、线性化处理、数字滤波等的作用是什么？

5. 输入通道、输出通道各包含哪些硬件环节，它们的作用是什么？

6. 什么叫变频调速？有何特点？PWM 变频调速是指什么？

7. 试叙述用微机实现 M/T 法测速的原理。它有什么特点？

8. 试述 A1/2 往复式抓棉机的组成及工作过程。它在工作过程中有哪些参数需要检测与控制？这些参数都属于什么性质的参数？

第十二章

自动检测与转换技术实验指导

本章包含五个实验,是参照杭州高联传感器技术公司生产的 CSY—I 型传感器系统实验仪设计的。该仪器的实验台上装有双平行悬臂梁、激振器、测微器及各类传感器。实验时,传感器的可移动部分与测微器的测杆连在一起。

测微器实质上是一个精密的螺杆和螺母结构,如图 12-1 所示,量杆 2 固定不动,测杆 1 和旋柄 3 可同步移动。量杆上刻有间隔为 0.5mm 的刻度线,旋柄的锥面圆周上刻有 50 小格,当旋柄转一周时,测杆(和旋柄)轴向移动 0.5mm;如果旋柄只转过它本身圆

周上刻度的一小格,则测杆的位移应为 0.01mm,这说明,旋柄把量杆上的 1mm 细分为 100 等份。

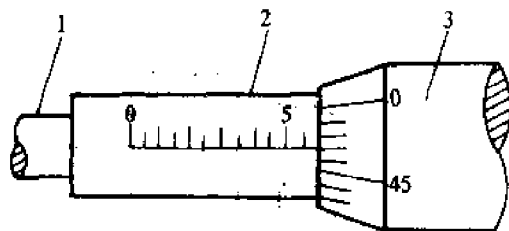


图 12-1 测微器示意图

实验一 电阻应变式传感器

一、实验目的

- (1)了解电阻应变式传感器的基本结构。
- (2)掌握电阻应变式传感器的使用方法。
- (3)验证单臂、双臂、全桥工作方式的性能。

二、实验所需器材及单元

直流稳压电源($\pm 4V$)、差动放大器、电桥、F/V 表、测微器、应变片(箔式)。

三、实验原理及电路

(1)电阻应变式传感器的核心是双平行悬臂梁,两片半导体应变片及六片金属箔式应变片对称地贴在梁的表面,其中箔式应变片中标有横向箭头的两片是温度补偿片,其余四片可接成单臂、双臂和全桥等几种工作

方式。

(2)实验电路如图 12-2 所示。

其中差动放大器电路和电桥示意图分别如图 12-3 和图 12-4 所示。

四、实验步骤

(1)直流稳压电源打到 0V 档,F/V 表电压量程打到 $\pm 2V$ 档,差动放大器增益旋钮打到最大,此后,接通主、辅电源。

(2)将差动放大器调零,方法是用导线把差放的正负输入端与接地端短接起来,将输出端接到电压表,调节差放的调零旋钮使电压表指示为零。调零完毕后,调零旋钮位置不得变动。

(3)按图 12-2 所示电路接线。图中

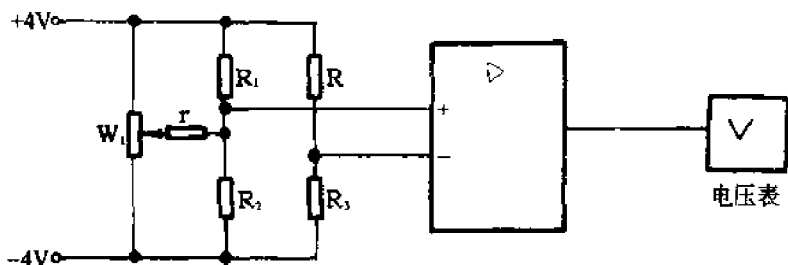


图 12-2 电阻应变式传感器实验电路图

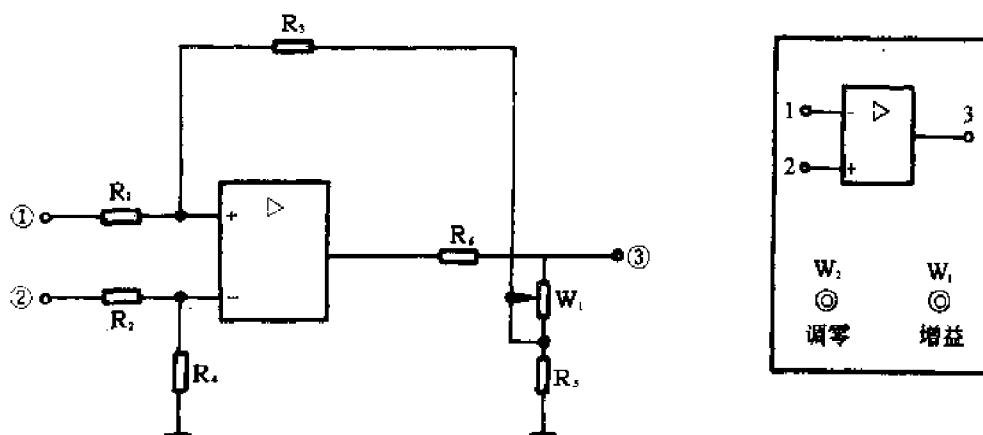


图 12-3 差动放大器电路图

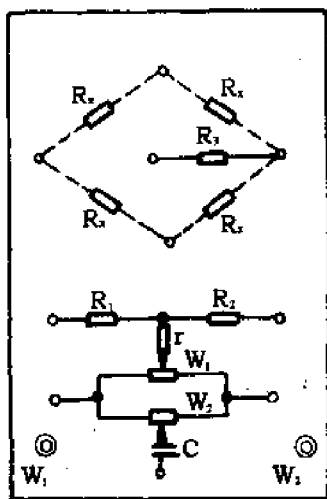


图 12-4 电桥示意图

R_1, R_2, R_3 为精密电阻, 阻值相同。 R 为箔式应变片, 故电路为单臂工作方式, r 及 W_1 为调平衡网络。

(4) 调整测微头使双平行梁处于水平状态(目测), 直流稳压电源打在 $\pm 4V$ 档, 差放

增益旋至适中位置, 调节 W_1 , 使电压表指示为零, 该状态可视作系统零位, 即位移量 $x = 0$ 。

(5) 向下旋动测微头, 每次移动 1mm(旋柄转两周), 将测得的电压表读数记入表 12-1 中。

(6) 返回系统零位, 向上旋动测微头(位移量视作负值), 每次仍为 1mm, 将测得的电压表读数记入表 12-1 中。

表 12-1

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

(7) 保持差放增益不变, 将 R_3 换成与 R 工作状态相反的另一应变片, 形成双臂工作方式, 调好系统零点, 同样将测出数据记录于表 12-2 中。

表 12-2

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

(8) 仍保持差放增益不变, 将 R_1 、 R_2 两个电阻换成另两个应变片(注意应为差动接法), 接成全桥四臂工作方式, 调好零点, 将测出数据记录于表 12-3 中。

表 12-3

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

五、实验注意事项

(1) 在更换应变片时应将直流稳压电源打到 0V 档。

(2) 在实验过程中如发现电压表读数超过量程, 应将量程扩大。

(3) 接全桥工作方式时应注意区别各应变片的工作状态与方向, 不得接错。

六、实验报告

(1) 根据实验记录数据, 在同一坐标纸上描出三种情况下的 $U-x$ 曲线, 并比较三种接法的灵敏度。

(2) 传感器的输入电压能否从 $\pm 4V$, 提高到 $\pm 10V$? 输入电压的大小取决于什么?

实验二 电容式传感器

一、实验目的

- (1) 了解电容式传感器的基本结构。
- (2) 掌握差动变面积型电容式传感器的测试方法。

二、实验所用部件及单元

电容式传感器、电容变换器、差动放大器、 F/V 表。

三、实验电路

实验电路如图 12-5 所示。其中电容变换器原理如图 12-6 所示。

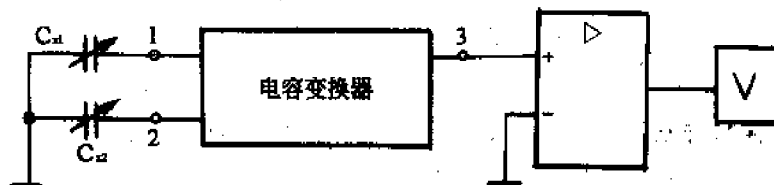


图 12-5 电容传感器实验电路框图

四、实验原理

上、下旋动测微头, 差动电容式传感器的动极板随之上下移动, 改变了动极板与定极板的正对面积, 从而使电容量也发生变化。

五、实验步骤

- (1) 同实验一, 先对差动放大器进行调零。
- (2) 调零完毕, 差放增益置于适中位置。

按图 12-5 所示电路接线, 调整测微头, 使 C_{x1} 与 C_{x2} 值基本相等, 进一步细调, 使电压表指示为零, 此状态为系统零位。

(3) 向下旋动测微头, 每次移动 0.5mm, 将对应的位移 x 与电压表读数记录于表 12-4 中, 直至电容动片与下静片覆盖面积最大为止。

(4) 退回系统零位, 向上旋动测微头, 每

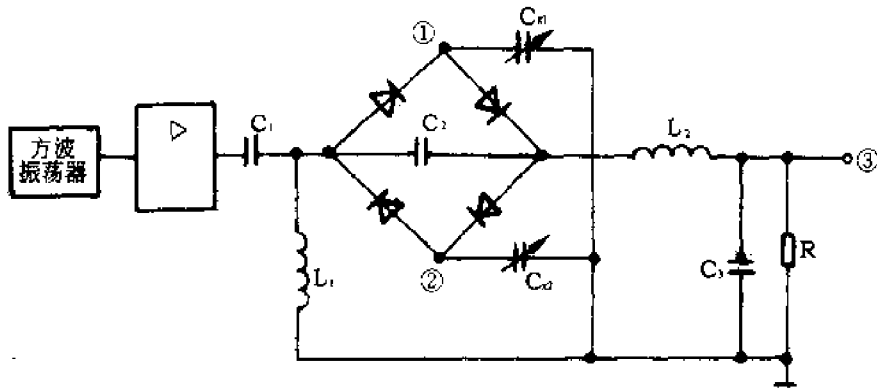


图 12-6 电容变换原理图

次仍 0.5mm, 测出数据记入表 12-4 中。

表 12-4

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

六、实验报告

(1) 根据表 12-4 中的数据, 作出 $U-x$ 曲线, 计算系统的灵敏度。

(2) 本实验系统的灵敏度取决于哪些因素?

实验三 电感式传感器

一、实验目的

- (1) 了解电感式传感器的基本结构。
- (2) 掌握差动螺管型电感式传感器的工作原理及测试方法。

二、实验所需器材

电感式传感器、音频振荡器、差动放大器、电桥、移相器、相敏检波器、低通滤波器、F/V 表、测微器。

三、实验电路

实验电路如图 12-7 所示。

四、实验步骤

- (1) 音频振荡器置 5kHz, 幅度旋钮旋至适中位置。
- (2) 差动放大器调零(步骤同实验一)。
- (3) 差动增益旋至适中位置。按图 12-4 所示电路接线, 调整测微头使铁芯处于两

线圈的中间位置(目测)。

(4) 调节 W_1 、 W_2 旋钮, 使电压表指示为零(系统零位)。

(5) 以系统零位为起点, 分别上旋、下旋测微头, 每次 0.5mm, 将位移 x 和输出电压 U 记入表 12-5 中。

表 12-5

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

五、实验注意事项

(1) 电桥激励必须从音频振荡器的 L_+ 插口输出。

(2) 两个线圈要求顺向串联。

六、实验报告

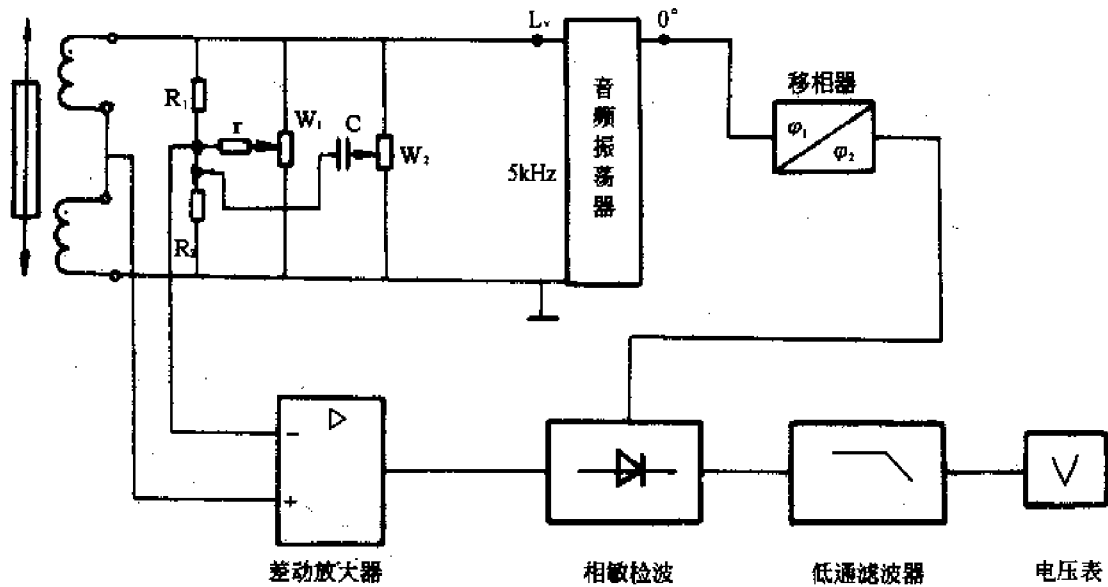


图 12-7 差动螺管型电感传感器实验线路

根据表 12-5 中的数据,作出 $U-x$ 曲线,并求出系统的灵敏度。

实验四 霍尔传感器

一、实验目的

- (1)了解霍尔传感器的原理及特性。
- (2)掌握霍尔传感器的测试方法。

二、实验所需部件及单元

霍尔传感器、电桥、差动放大器、F/V 表、直流稳压电源、测微头。

三、实验电路

实验电路如图 12-8 所示。

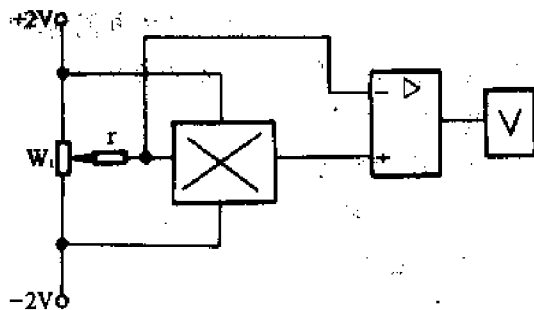


图 12-8 霍尔传感器实验电路

四、实验步骤

(1)差动放大器调零(方法同前)。

(2)按图 12-5 所示电路接线, W_1, r 为电桥单元中的直流调平衡网络。调整测微头使霍尔元件处于梯度磁场的中间位置(目测)。

(3)调节 W_1 , 使电压表指示为零(系统零位)。

(4)以系统零位为起点,分别上旋、下旋测微头,每次 0.5mm,测出数据,记录于表 12-6 中。

表 12-6

位移 x (mm)	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
输出电压 $U(V)$													

五、实验报告

根据表 12-6 中的数据,作出 $U-x$ 曲线,指出线性范围并求其灵敏度。

实验五 微机双温测控系统

一、实验目的

- (1) 掌握微机测控系统的基本组成及测控原理。
- (2) 掌握小信号检测及放大技术。
- (3) 掌握热电偶的工作原理。

二、实验设备

- (1) 15~30W 电烙铁(作为热源使用) 2 把。
- (2) 铜—考铜热电偶(也可选其它类型)

2 支。

(3) 微机测控通道板一块。

(4) 单片机开发装置(本实验中选用 DIEC—51—ED, 也可选用其它单片机开发装置)一台。

(5) 微机电源一只。

三、实验原理

(一) 原理框图

实验原理框图如图 12-9 所示。

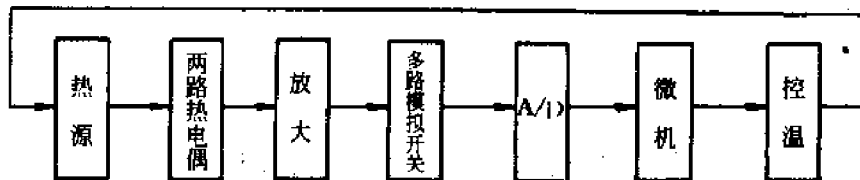


图 12-9 综合实验原理框图

(二) 综合实验原理图

实验原理图如图 12-10 所示。

(三) 原理概述

(1) 本测控系统测控范围 0~200℃, 采用软件查表法将温度变化显示在数码管上。

(2) 热电偶随温度变化其输出电压是毫伏级, 需经运放 LM324 放大至 0~5V, 作为 ADC0809 的输入。

(3) ADC0809 是逐次渐近型模数转换器, 其速度和精度都很高。

ADC0809 部分管脚功能:

- ① $IN_0 \sim IN_7$ ——八路模拟输入;
- ② ADDA、ADDB、ADDC——八路模拟输入选通地址;
- ③ $DB_0 \sim DB_7$ 八位数字输出;
- ④ START——启动信号;
- ⑤ EOC——结束标志;
- ⑥ OE——输出允许信号。

(4) LM324 是运放。调整电位器 R_w , 可将模拟输入电压放大至合适电压输出。

(5) 将铜—考铜热电偶分度表(BCD 码) 写入 EPROM, 微机根据电压变化查出相应的温度。

(6) 当某路热电偶的前端温度达到设定值时, 微机经 8255 接口输出控制信号, 经光电耦合器隔离后, 加在三极管 8050 上, 当三极管导通后, 继电器 K 得电, 其常闭触点断开, 电烙铁断电, 停止加温。当热电偶前端的温度低于设定值时, K 常闭触点闭合, 电烙铁得电, 继续加温。

(四) 程序框图

实验程序流程简图如图 12-11 所示。

四、实验步骤

(1) 按图 12-7 接线。

(2) 将两个热电偶的前端分别放在两个电烙铁的前端上, 以此来模拟测温现场。

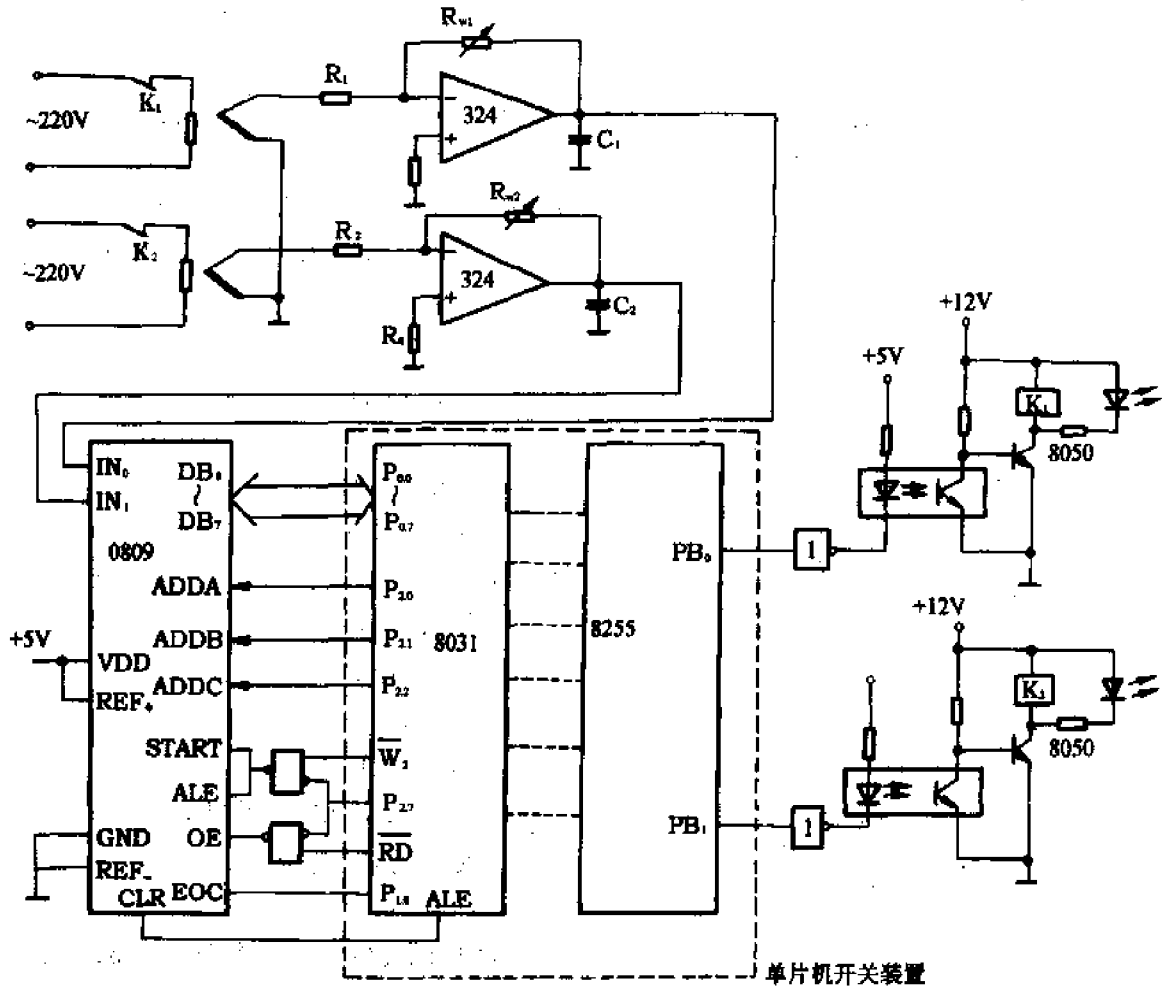


图 12-10 综合实验原理图

(3) 接通微机电源(注意不得将 ±12V、±5V 电源接错)。

(4) 键入温度设定值, 放入 2C、2D 单元中。

表 12-7 温度设定值表

按键	显示	说明
MOV	P. <input type="text"/>	待命状态 0
2.C	2C <input type="text"/>	键入第一路存储地址
REG	2C <input type="text"/> × ×	指向第一路存储地址
7.8	2C <input type="text"/> 78H	键入第一个设定温度值 (78 代表 120℃)

续表

按键	显示	说明
NEXT	2D <input type="text"/> × ×	指向第二存储地址
9.6	2D <input type="text"/> 96H	键入第二个设定温度值 (96 代表 150℃)
MON	P. <input type="text"/>	等待待命状态
2000	<input type="text"/> <input type="text"/>	键入程序地址
EXEC		开始运行

(5) 给电烙铁送电。

(6) 观察两组数码管显示的温度值, 当某组达到设定值, 继电器动作, 同时相应的发光

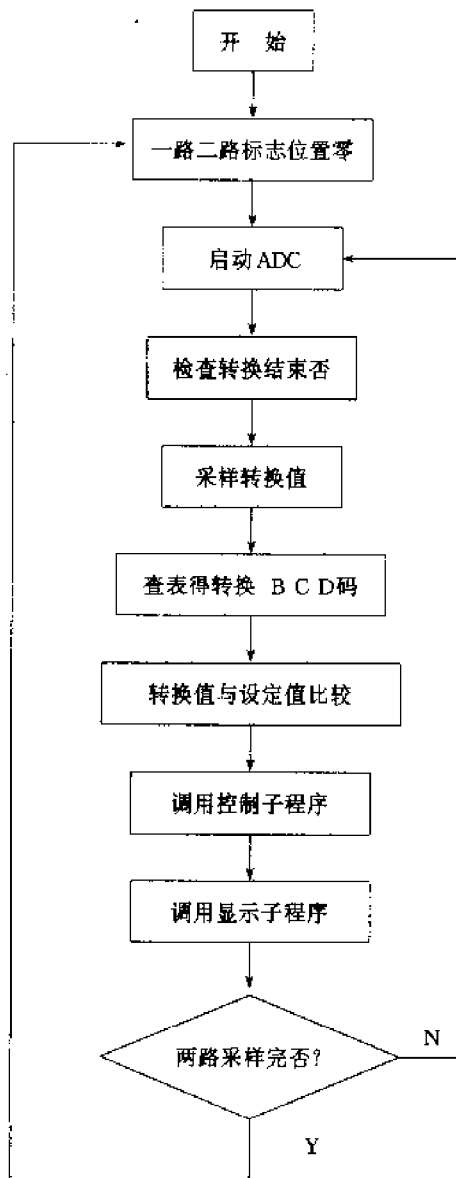


图 12-11 程序框图

二极管亮,表示该继电器得电。

(7)重新设定两组温度控制值,重复 4、5、6 步骤。

五、温度控制

PRG 2000H

START:MOV SP, #60H

MOV R₂, #02H

CLR F₀;标志位置零

MOV DPTR, #8000H;IN₀ 地址

STAR2:SETBP1,0

MOVX @DPTR, A;启动 ADC 0809

NOP

WAIT:JB P1.0 BASW;检测转换是否结束

SJMP WAIT

BASW:MOVX A, @DPTR;读取转换结果

MOV DPTR, #TAB;BCD 码表首址

MOV 2EH, A

MOV B, A; 暂存结果

ADD A, B

MOV B, A

JNC NCC

INC DPH

NCC:MOVC A, @A + DPTR; 查表得温

度 BCD 码百位

MOV R₆, A

INC B

MOV A, B

MOVC A, @A + DPTR; 查表得温

度 BCD 码十位与个位

MOV R₇, A

INB F₀, LOOP1; 查表是一路,还是二
路?

MOV R₄, #02H

MOV 7EH, R₄

MOV 2FH, #96H

SJMP LOOP2

LOOP1:MOV R₄, #01H

MOV 7EH, R₄

MOV 2FH, #78H

LOOP2:SETB F₀; 标志位置 1

CLR C

MOV A, 2EH; 取转换结果

SUBB A, 2FH

JNC LOOP3; 实测温度与设定温
度比较

MOV R₄, #00H

LOOP3:LCALL TTRL; 调用控制子程序

```

    LCALL DISS; 调用显示小程序
    MOV DPTR, #9000H; IN1 地址
    DJNE R2, STAR2
    SJMP START
TTRL: MOV R0, #2BH; 8255 初始化
    MOV A, #80H
    MOVX @R0, A
    MOV A, R4; 8255 输出
    MOV R0, #29H
    MOVX @R0, A
    RET
DISS: MOV R3, #20H; 显示遍数
    MOV R0, #79H; 显示缓冲区首址
    送 R0
    MOV A, R6; 取转换结果 BCD 码百位
    XCHD A, @R0; 存放在显示缓冲区
    中
    INC R0
    SWAP A
    XCHD A, @R0
    INC R0
    MOV A, R7; 取转结果 BCD 码十位、
    个位
    XCHD A, @R0
    INC R0
    SWAP A
    XCHD A, @R0
DISP: LCALL DISUP; 显示 79H~7EH 单
    元子程序
    DJNE R3, DISP
    RET
TAB: DW 0000H, 0001H, 0002H, 0003H,
    .....
    DW 0198H, 0199H

```

参考文献

1. 刘学军编. 检测与转换技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
2. 刘迎春编著. 传感器原理设计与应用. 北京: 国防科技大学出版社, 1989
3. 阮智利等编. 自动检测与转换技术. 北京: 机械工业出版社, 1989
4. 周光远等编. 非电物理量电测技术. 北京: 国防工业出版社, 1989
5. 严伯钧等编. 化纤生产过程自动化. 北京: 纺织工业出版社, 1987
6. 朱浩等编. 纺织电测技术. 北京: 纺织工业出版社, 1985
7. 孙同英主编. 纺织电气实用手册. 全国纺织机械科技情报站, 1990
8. 李兰友、王勇才、傅景仪主编. 单片机开发应用十例. 北京: 电子工业出版社, 1994
9. 何绍东. 微机用于光电整纬装置. 电子技术与应用, 1985. 10
10. 邵世煌主编. 计算机控制技术. 北京: 纺织工业出版社, 1991
11. 王建国等编. 纺织电测技术. 山西省纺织工业学校, 1994
12. 杜效荣编. 化工仪表及自动化. 北京: 化学工业出版社, 1996
13. 周志诚编. 石油化工仪表及自动化. 北京: 中国石化出版社, 1995
14. 王国壮编. 化纤仪表维修. 仪征化纤联合公司培训中心, 1992