

图解传感器入门

[日] 雨宫好文著 陈怀祥 诸静译

俞士谔审校



上海科学普及出版社

73.274
317

图解传感器入门

[日] 雨宫好文 著
陈怀祥 诸 静 译
俞士谔 审校



上海科学普及出版社

9110059

0403/09

责任编辑 胡名正

封面设计 毛增南

图解传感器入门

【日】雨宫好文 著

陈怀祥 诸 静 译

俞士潆 审校

上海科学普及出版社出版

(上海曹杨路500号 邮政编码 200053)

新华书店上海发行所发行 上海译文印刷厂印刷

开本850×1168 1/32 印张 5 字数 172000

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

ISBN 7-5427-0211-4/TP·5 定价: 3.75 元

译者的话

对于自动化系统来说,传感器是必不可少的部件之一,特别是计算机技术高度发展的今日,传感器的地位尤其显得重要。

传感器技术是一门专业性强、普及面广的新兴学科,在我国已越来越受到各行各业有关专家的关注。近年来,虽然已有专著,但在“入门”方面的阅读书籍尚属少见。《图解传感器入门》一书的翻译出版,将可满足工科大学低年级学生和中学生的基础技术学习,同时对轻工、冶金、机械、化工等领域从事自动化及自动检测工作的科技人员也颇有参考价值。

本书把电气基础知识和传感器技术有机地结合起来,图文并茂,语言简洁,举例广泛,实用性强,具有知识性、趣味性和启发性,是一本普及性书籍。读完本书以后,对于深入学习专业书籍和应用传感器将会带来很大帮助。

俞士谔同志在百忙中对本书进行了认真的审校,史伯华同志参加了部分翻译工作,谨表示衷心的感谢。

译者

1990.6

内 容 提 要

本书用图解的形式介绍传感器的原理和应用基础,内容包括:力、温度、距离、重量、流量、液面、光、气体和湿度等传感器,以及自动平衡仪、差动变压器等。本书把电气基础知识和传感器技术有机地结合起来,图文并茂,语言简洁,举例广泛,实用性强,具有知识性、趣味性和启发性,可供技术工人和技术人员在生产自动化的小改小革中参考,是一本普及性技术书籍。

目 录

1 力传感器

1.1	力传感器的例子	1
1.2	应变片的导线	1
1.3	导体的电阻	4
1.4	电流和电位差	5
1.5	导体和绝缘体	7
1.6	电压、电流和电阻间的关系	8
1.7	应用电阻应变片的其他类型传感器	9
1.8	半导体压力传感器	10

2 温度传感器

2.1	温度传感器的例子	12
2.2	温度对金属电阻的影响	12
2.3	温度对半导体电阻值的影响	14
2.4	热敏电阻温度传感器的其他用途	16
2.5	热电偶温度传感器	18

3 自动平衡计量仪

3.1	取用电阻的变化分量	21
3.2	欧姆定律	22
3.3	电阻器的发热	24
3.4	功率和电能	25
3.5	实物图和电路图	26
3.6	电流表和电压表的接法	27
3.7	总电阻	28
3.8	电压降	30
3.9	电桥的应用	32
3.10	电桥式自动平衡仪	33
3.11	电位计式自动平衡仪	35

3.12 克希霍夫定律	37
-------------------	----

4 差动变压器

4.1 位移传感器	40
4.2 差动变压器的构造和工作特点	40
4.3 由电流产生的电磁力	44
4.4 磁通	45
4.5 磁感应和吸力	48
4.6 电磁感应	52
4.7 线圈上外加电压的情况	55
4.8 交流	58
4.9 差动变压器的原理	61
4.10 整流	64
4.11 差动变压器的应用例子	66

5 距离传感器

5.1 接近开关和距离传感器	67
5.2 涡流距离传感器	68
5.3 金属体内产生的涡流	70
5.4 差动变压器型涡流式距离传感器原理	71
5.5 线圈自感	73
5.6 交流和自感	75
5.7 有电感桥臂的电桥回路	79
5.8 电桥型涡流式距离传感器原理	81
5.9 电磁屏蔽	82
5.10 集肤效应	83
5.11 利用涡流加热	85
5.12 集肤效应的应用	88
5.13 其他利用涡流效应的传感器	90

6 重量传感器

6.1 重量传感器的例子	92
6.2 电磁力	93
6.3 电流表和电压表	95

6.4	可动线圈型测量仪表	97
6.5	整流型测量仪器	98
6.6	可动铁片型仪表	99
6.7	电路测试器(万用表)	102
6.8	电动扬声器	104
6.9	利用力平衡方式的其他传感器	105
 7 流量传感器		
7.1	流量传感器的例子	106
7.2	发电现象	108
7.3	发电机	110
7.4	电动式话筒	111
7.5	电磁流量计原理	111
7.6	制动作用	112
7.7	作用于金属板上的制动作用	113
7.8	应用发电效应的其他传感器	115
 8 液面传感器		
8.1	液面传感器的例子	117
8.2	静电感应和静电场	119
8.3	静电力的应用	121
8.4	静电电容	122
8.5	电容器	124
8.6	利用静电电容的其他传感器	126
8.7	交流和电容	127
8.8	含有电容的桥式电路	129
8.9	电路的谐振现象	130
 9 光传感器		
9.1	光传感器种类	134
9.2	光开关的应用	136
9.3	光模拟的应用	138
9.4	光计数的应用	140
9.5	光对时间的变化信号的形成	142

9.6 光纤传感器的应用	143
--------------------	-----

10 气体传感器和湿度传感器

10.1 气体传感器	147
------------------	-----

10.2 氧化传感器	148
------------------	-----

10.3 湿度传感器	149
------------------	-----

1 力 传 感 器

1.1 力传感器的例子

人们在日常生活中经常会发现,在关抽屉时,如果用力不当,抽屉就难以关上;欲把圆棒插入孔内(图 1.1),如果角度偏斜,则圆棒就被卡住,可见如何用力得当是个关键。对于上述圆棒插孔场合,若采用机器人工作,则问题易获解决。请看机器人是这样工作的:夹紧圆棒的手臂动作后,首先寻

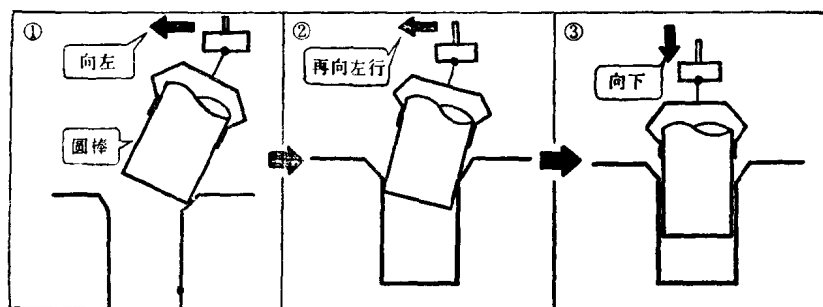


图 1.1 装配操作时手臂的运动

找孔的位置,继之根据棒孔间的接触情况检测出上、下、左、右方向上力的大小,自动调整角度,最终将圆棒顺利插入孔内。用来检测力的元件,称为力传感器。最常用的是金属电阻丝应变片,这种金属丝的特点是:拉长时电阻增大,缩短时电阻减小。根据所测电阻的变化,即应变量的变化,就可知道力的变化,其关系是:

电阻 $\rightarrow$ 应变 $\rightarrow$ 力

实际上常用方法是把金属丝粘附在弹性材料上来检测力的,如图 1.2 所示。那么应变片又怎样起作用的呢?

1.2 应变片的导线

当金属导线的形状发生变化时,其电阻也相应改变。设导线截面为 S ,

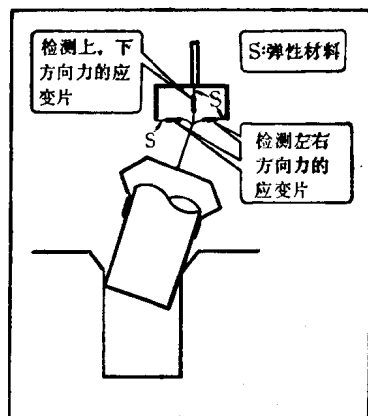


图 1.2 用电阻应变片检测力的大小

长度为 l , 拉伸长度为 Δl , 截面减小量为 ΔS (图 1.3), 电阻初始值为 R , 而增加值为 ΔR , 最终电阻为 $R + \Delta R$, 引入材料的杨氏模量和泊松比等系数

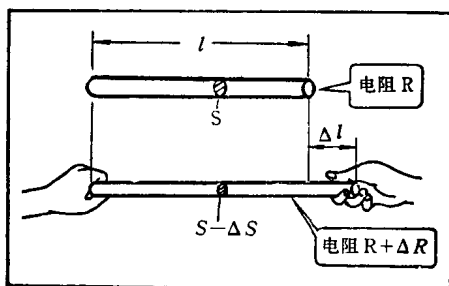


图 1.3 导体拉长后电阻增大

后, 可得出如下关系式:

$$\frac{\Delta R}{R} \approx F \frac{\Delta l}{l} \quad (1.1)$$

式中 $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻变化率, $\frac{\Delta l}{l}$ 为应变, $F \approx 2$, 称之为应变率, 如果把金属丝

(电阻丝)牢固地粘附在被试物体上,当测出电阻变化率 $\frac{\Delta R}{R}$ 后,就能求得应变,亦即求出加在试验体上的力。

除了上述线式应变片外,还有箔式应变片。所谓线式应变片,是将直径极细的电阻丝弯曲成若干个回纹形状后粘固在绝缘基板上制成的应变片。而箔式应变片则是将数微米厚的金属膜粘固在环氧树脂基板上,再利用拍照、蚀刻制成的(图 1.4)。无论那种形式,最后总是再把基板粘结在被试物体上来进行测定的。

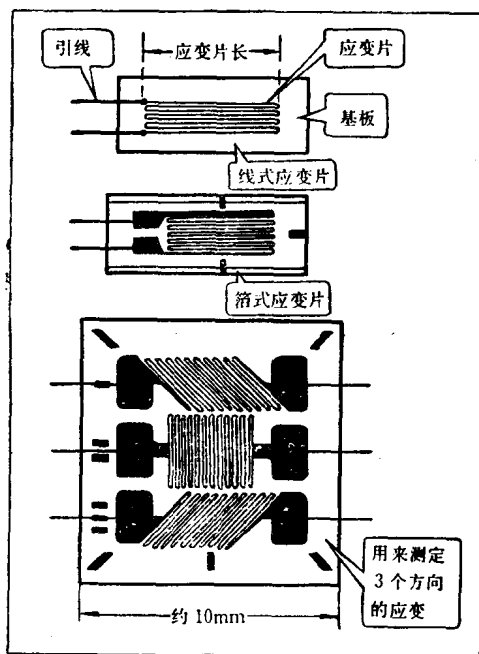


图 1.4 应变片类型举例

线式应变片的其他用法,如图 1.5 所示。这是一种偏差检测器,用来检测被试物体尺寸与标准尺寸的偏差。在回过火的钢板内、外两侧分别粘结以电阻应变片,当被试物体的尺寸大于标准体时,回火钢板会更加弯曲,使 G_1 缩短,电阻变小;而 G_2 拉长,电阻增大。根据这些电阻值的变化量,就能求得被试物体的尺寸偏差。

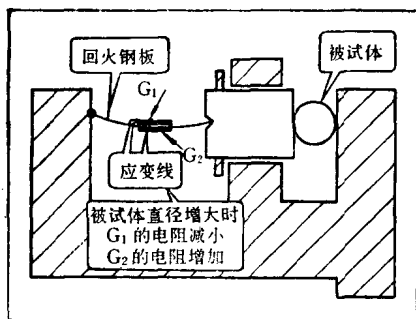


图 1.5 检测被试物体直径偏差

举例

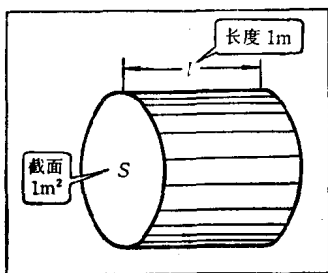
钢材的应力为 10kg/mm^2 其应变 $\Delta l/l = 500 \times 10^{-6}$ 。在这种场合，由 (1.1) 式求得 $\Delta R/R = 0.001$ 。欲稳定地测如此微小的，仅 0.1% 的电阻变化率，可依赖于先进电子技术。如果 $R = 120\Omega$ ，则 $\Delta R = 0.12\Omega$ 。

1.3 导体的电阻

以上我们说过，金属导线的长度拉长时，电阻增加，而截面减小时，电阻也是增加。对于长度为 l ，截面积为 S 的金属导线其电阻 R 由下式给定：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.2)$$

式中： l/S 取决于导线尺寸，比例常数 ρ 称为电阻率，材料不同，电阻率也不一样，银、铜、铝等电阻率较小，阿范斯电阻合金 (Cu56%，Mn 1.5%，其余为 Ni)，是一种高铜镍合金，也常用作应变电阻丝材料) 和铬镍合金电阻丝 (用于电热器) 等电阻率较大。



电阻单位是欧姆 (Ω)，取自于德国物理学家欧姆的名字。

对于截面为 1m^2 ，长度为 1m 的导体 (图 1.6)，其电阻由 (1.2) 式求得：

$$R = \rho \times \frac{1\text{m}}{1\text{m}^2}$$

电阻单位是 Ω ，所以 ρ 的单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧姆·米) 图 1.7 表示

图 1.6 为确定电阻率单位而选用的导体尺寸 各种导体的电阻率。

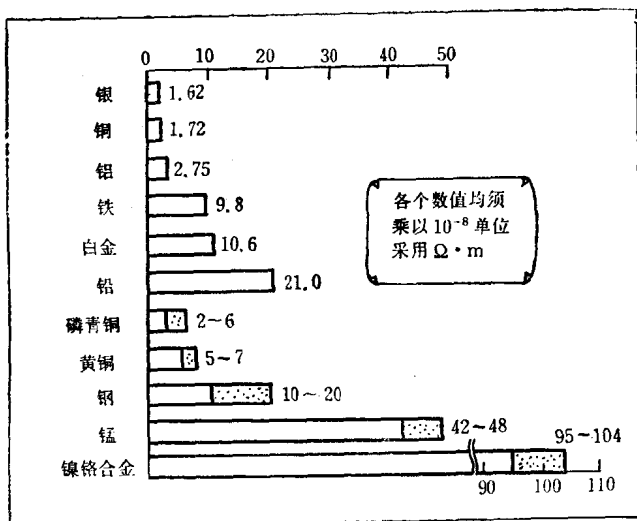


图1.7 各种导体在20℃时电阻率

举例

① 截面 $S=1\text{mm}^2$ 长度 $l=1\text{m}$ 的铜丝电阻值,可按(1.2)式和图(1.7)求得

$$R=1.72 \times 10^{-8} \times \frac{1}{1 \times 10^{-6}} = 1.72 \times 10^{-2} \Omega$$

② 以铝与铜作比较,铝的电阻率是铜的1.6倍,比重为铜的1/3,因此在相同长度情况下,要制成具有相同电阻值的导线时,铝线截面积应是铜线的1.6倍,重量则为 $1.6 \times 1/3 = 0.5$ 倍。

注释 MKS 单位制

一个式子中同时含有电压、电流、电阻等电量和长度、质量等力学量时,采用的电量单位为伏特、安培、欧姆,力学量单位为米、公斤,时间单位为秒,这就是 MKS 单位制,但须假定截面积为 1m^2 那样大的尺寸,如图1.6中的情形。

电量单位都取自于以前物理学家的名字。

1.4 电流和电位差

由(1.2)式可知,截面相等的两根导线,长的一根电阻较大;而对于长度相等的两根导线来说,则截面大的一根电阻较小(图1.8),这种情况就和水管一样,总是又细又长的管子的水阻较大。

所谓“电阻较大”,它是怎样的含义呢?就水管而言,假定给截面相同的

水管以相同的“水位差”，那么长的一根水管的“流量”就减少，这就叫“水阻大”。而在电学中“水位差”、“流量”相对应的量，称之为“电位差”和“电流”。

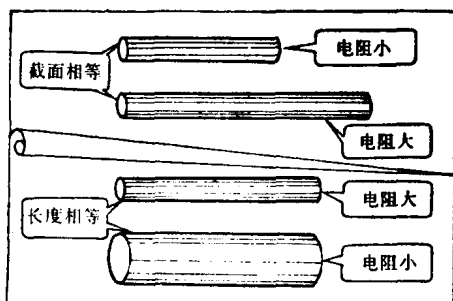


图 1.8 导体长度、截面和电阻的关系

所谓“电流”，即为自由电子的流动。如果把电池按图 1.9 那样连接起来，则在电池的 $\oplus\ominus$ 极之间的“电压力”作用下，产生电流，我们把“电压力”称为“电压”，流过电流的道路称为“回路(电路)”。

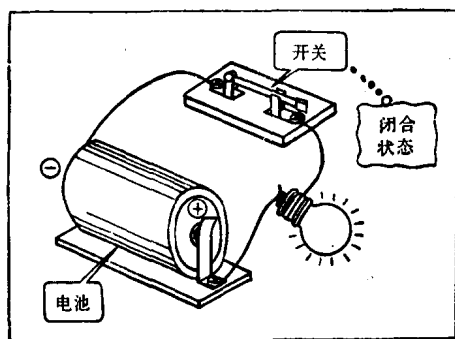


图 1.9 电流流通路径——回路

把水和电的情况作一比较，如图 1.10 所示。在图(a)中，如果有水位差，当打开阀门时，水就流动，当然没有水位差就没有水的流动。在图(b)中，假如有电压，当合上开关时，即产生电流，若没有电压，则也没有电流，比较图(a)、(b)，就自然产生了电位和电位差的概念。

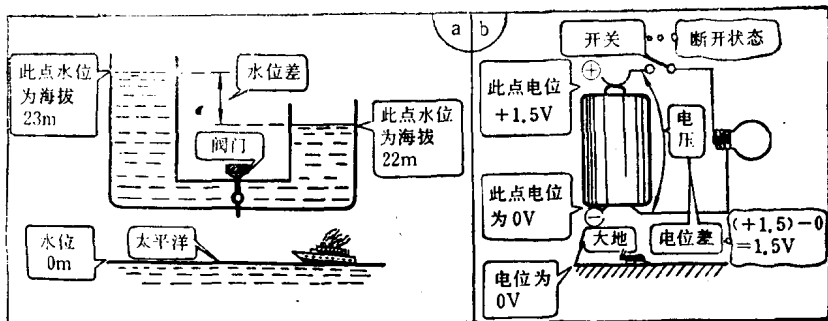


图 1.10 贮水槽与电路对比

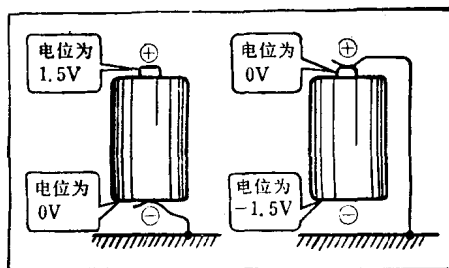


图 1.11 通过接地来确定⊕极和⊖极的电位

人们也常称电压为电位差。对所谓⊕极、⊖极的电位,若规定一个基准点,就无法确定。通常总是把大地作为基准点的,即把该点电位作为 0 伏。电压、电位差和电位的单位都是伏(V),在图 1.11 中与大地相连(称为接地)的那一个极电位即为 0 伏,极和极间的电位差不变,经常保持 1.5 伏。电位的单位取自于最初发明电池的意大利物理学家伏特的名字。

我们把像电池那样的具有供给电流功能的装置,称之为电源,而把电源电压称为电动势,其单位也是伏。

1.5 导体和绝缘体

容易流过电流的材料(图 1.12),称为导体(电阻小),例如金属、石墨,此外含盐水、稀硫酸等电解液也属于导体。而不能流过电流的材料,则称为绝缘体(电阻大)。例如玻璃、橡胶、陶瓷、塑料和油等物质。

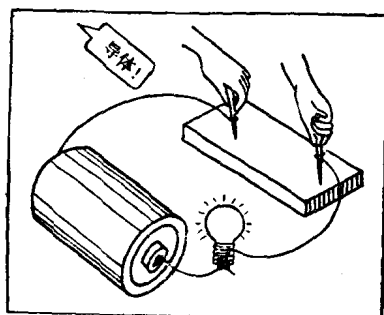


图 1.12 决定是否为导体的方法

介于导体和绝缘体性能之间的材料称为半导体,例如硅、锗、硒等。半导体有一种特殊性能,当所加的热、光或电压超过某个界限后,自由电子的数量急剧增加(产生电流),利用这一性质可以制成温度传感器(见第2章)和光传感器(见第9章)。

电阻率举例(单位 $\Omega \cdot m$)

锗(纯质)	5×10^{-1}	} 一旦混入杂质,电阻率则减小
硅(纯质)	2.5×10^3	
含盐水((5% 浓度)	1.55×10^7	
普通水	$10^9 \sim 10^{10}$	
玻璃	$10^{10} \sim 10^{13}$	
聚四乙烯	10^{16} 以上	

【火焰传感器】 它具有可以导通火焰和电气量的性能,利用这一特性,可以检测出煤气取暖机火焰的熄灭状态。把两根金属棒插下,并排触及火焰中心处,在棒间施以电压后则有电流流过,当火焰熄灭时,电流消失,将其检出后,即行自动关闭煤气阀门。

【位置传感器】 工作机械不仅要把工件正确地固定在工作台上,还装有位置传感器,这样当装在刀具上的测头与工件接触时,会产生微小电流,藉以决定工件的位置,从而达到边工作边检测切削状态的要求。

【测谎器】 将电极放在身体的某一部位,加上电压后,说谎时因发冷、出汗会使皮肤表面电阻减小,从电流增大的迹象可以发现是否说谎。

【漏水传感器】 在水箱壁上同时并排放置两根电线作为电极,并加上电压,当有水流过时,电极之间电阻减小,电流增大,于是发出报警。

1.6 电压、电流和电阻间的关系

电流单位为安培(A),取自于法国物理学家安培的名字。在电动势为