

传 感 器 及 其 应 用

〔日〕 杉田 稔著

卢肇英
吴立龙 译

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 4 年 • 北 京

内 容 简 介

本书较全面系统地介绍了各种常用传感器的类型、基本原理、用法及注意事项，并说明了各种传感器的优缺点及其最佳使用条件等，还列举了较多的应用实例。

本书可供从事自动化工作和技术革新工作的人员、工厂和企业管理人员、技术人员、工人学习与参考，也可作为工科院校及有关技术学校的教学参考书。

検出器とその応用

杉田 稔著

日刊工業新聞社

1977年7月

★ ★ ★

传感器及其应用

〔日〕 杉田 稔著

卢肇英 吴立龙译

中国铁道出版社出版

责任编辑 苏国镇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：8.25 字数：183 千

1984年2月第1版 1984年2月第1次印刷

印数：0001—12,000册 定价：0.90元

目 录

第 1 章 传感器概述	1
1.1 什么是传感器	1
1.2 自动化与传感器	2
1.3 传感器与技术革新	4
1.4 传感器与新产品研制	7
1.5 传感器与降低成本	7
1.6 传感器与新的企业经营方法	8
1.7 传感器与科技人材	9
第 2 章 传感器的种类	11
2.1 廉价的检测元件	11
2.2 廉价传感器的应用	12
2.3 电阻型传感器的种类	14
2.3.1 电阻丝	14
2.3.2 应变片	19
2.3.3 电位器	22
2.3.4 热敏电阻	23
2.3.5 CdS	26
2.3.6 磁阻元件	27
2.4 感应型传感器	27
2.4.1 自感型	27
2.4.2 互感型	27
2.4.3 磁阻变化型	28

2.4.4 其他的感应型传感器	29
2.5 电容型传感器	29
2.6 电势型传感器	36
2.6.1 热电偶	36
2.6.2 电磁感应型	38
2.6.3 光电元件	39
2.6.4 压电元件	41
2.6.5 霍尔元件	42
2.7 其它传感器	43
第3章 各种传感器的使用方法	46
3.1 铂丝传感器的使用方法	46
3.2 应变片的使用方法	46
3.3 电位器的使用方法	50
3.4 热敏电阻的使用方法	53
3.5 CdS (硫化镉) 元件的用法	57
3.6 光电管的使用方法	59
3.7 光敏晶体管的使用方法	63
3.8 硅太阳能电池的使用方法	65
3.9 差动变压器的使用方法	65
3.10 热电偶的使用方法	69
3.11 磁致伸缩式传感器	71
3.12 压电元件	73
3.13 磁阻元件	76
3.14 磁敏二极管	77
3.15 霍尔元件	78
3.16 自动同步机的使用方法	79
3.17 其他传感器	80
第4章 传感器的电路	83

4.1	传感器电路中使用的部件和元件	83
4.2	示波器	85
4.3	运算放大器及其使用方法	88
4.4	普通放大器的使用方法	89
4.5	数字式IC及其使用方法	90
4.6	传感器与电路	91
4.7	其他有用的电路	96
4.8	有关电路的注意事项	99
第5章	正确使用传感器	103
5.1	温度传感器	103
5.2	光电传感器	104
5.3	测振传感器	106
5.4	其他传感器	107
第6章	传感器代用品	109
第7章	传感器的应用	125
7.1	廉价传感器的应用	125
7.2	在测定机械尺寸方面的应用	130
7.3	在测量机械设备角度方面的应用	139
7.4	在机械设备计数方面的应用	141
7.5	在检测机械振动方面的应用	144
7.6	在机械设备温度测量方面的应用	150
7.7	在机械设备测速方面的应用	161
7.8	在测量力和应变方面的应用	166
7.9	在检测颜色方面的应用	175
7.10	在检测重量方面的应用	177
7.11	在测量材料和产品散差方面的应用	178
7.12	在机械产品选配方面的应用	181
7.13	在产品包装方面的应用	182

7.14 在自动组装方面的应用	184
7.15 在测量技术参数方面的应用	185
7.16 在测量机械运转情况方面的应用	186
7.17 在其他测量方面的应用	187
第8章 传感器的其他用途	189
8.1 传感器的其他用途	189
8.2 传感器用例辑录	193
第9章 传感器的参考资料及某些应用设想	238
第10章 传感器与自动化的关系	251
10.1 传感器与顺序控制	251
10.2 传感器与伺服机构的关系	252
10.3 传感器与高级自动化的关系	253

第 1 章 传感器概述

1.1 什么是传感器

人们通常把能使物理量或化学量转变为电量（或电磁量）的器件或元件叫做传感器。传感器也叫做变换器，也就是换能器（transducer）或探测器（sensor）。

传感器的作用相当于人类的眼睛、耳朵等五官，人的五官如果出了毛病，他的行为就会陷入盲目性，不仅令人担心，而且很危险。传感器的重要性也与此相似。

我们希望了解的温度、尺寸、形状、颜色和压力、重量、振动等各种各样的状态，以及其他种种可以感觉的状态，都可以如图 1.1 所示那样，利用传感器把它们转变成电气信号。即使是我们不能感觉到的红外线、紫外线、超声波及微小的尺寸等等，也都能用传感器转变为电量。



图 1.1 检测的概念

如果我们能用传感器把各种信息转变为电量，那就不但可以依靠传感器，利用电测的方法来检测物理学或化学状态，而且能够对各种各样的状态任意地进行控制。

例如，常见的麦克风（话筒）就是一种传感器，它能把声音转变成电气信号。这种电信号可以说是电化了的声音。因为，即使它是电平很低的弱电信号，我们也可以任意地把它放大，然后通过扬声器（喇叭）还原为很强的声音。

总之，无论是在计测方面，或是在自动控制及其他方面，传感器都获得了广泛的应用，而且起着非常重要的作用。

把传感器和电子电路结合起来，就可以实现以下各种计测和其他工作：

- 1) 用机械方法不能够进行的各种计测；
- 2) 高速计测；
- 3) 微小量的计测；
- 4) 不扰乱事物状态的计测；
- 5) 非破坏性计测；
- 6) 遥测；

7) 由于能进行电气计测，所以可实现准确的自动化控制，还能完成显示、记录、存储、运算等各种信息处理。

1.2 自动化与传感器

图1.2所示是利用微动开关或限位开关来检测机械状态的示意图。

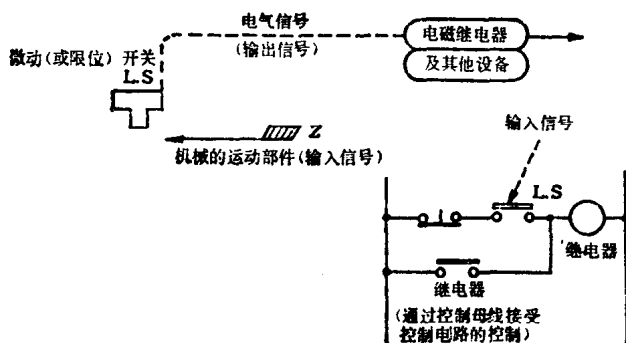


图1.2 用微动开关进行检测

这张简图说明，如果机械部分完成了某种动作，并且接触到某固定位置的微动开关，微动开关就可能改变状态。例如，从断开状态变成接通状态，就有电流通过它。这个电流仅是携带信息的电流，它由微动开关出发，流向另一个控制机械动作的开关。结果，微动开关电流就以电信号的形式控制电磁继电器或其他开关器件，从而实现了顺序控制。

所以说，如果可以输入机械性的信号，用微动开关就能进行多种检测工作。既能实现一定范围的自动化，也可以用来检测机械位置等各种状态参数。

但是，要检测光的状态、模拟性准确尺寸表示的任意状态、声音状态、气体状态以及其他的状态，或者要进行范围广、种类复杂的信息处理和自动化控制等，单靠微动开关就不行了。因为，微动开关的使用范围有限，它不能检测的状态非常多，因而有些设想不论构思怎样巧妙，仅用微动开关也都难以实现。

诚然，用微动开关是不能检测光的状态的。但是以光检测为基础，以光驱动的光电继电器电路（器件），或者以电磁感应为基础的接近开关等，都很容易买到，并且可直接拿来使用，因而用它们可轻而易举地扩大自动化的范围，使自动化在技术方面变得更加灵活自由。可是，光电继电器电路（器件）或接近开关等也不是万能的，它的应用也有一定的局限性。

总之，要想实现前所未有的自动化，或实现条件和范围都不受任何限制的自动化，首先必须广泛地研究传感器和考虑它的应用范围，并灵活自如地处理检测信号和设计控制电路。

在进行自动化的过程中，控制电路接受的是大量来自系统内外并且时刻变化着的信息；如果传感器不首先把它们变

成信号输入系统，控制电路就不可能确切地工作。

1.3 传感器与技术革新

今后，日本的技术和各种工业产品，必然是朝着高质量的方向发展。同时，由于微型计算机的销售价格大幅度降低、用户自行组装越来越容易，因此，在各种自动化系统中，推广应用电子计算机也是重要方向之一。

再者，除了农业机械设备、海洋开发技术和养殖业、渔业技术外，各种工业机械设备、生产工艺技术、科学研究等等，也都必须努力在技术上大大提高一步。而所有这一切，都与计测技术的发展有十分密切的关系。

图1.3所示是一根长度准确的棒形零件，下面就以它为例，对高精度加工及有关的问题作一些基本的说明。

如果这根棒料是用钢或铁制造的，在温差为 10°C 的情况下，它将随温度上升或下降而膨胀或收缩 0.12mm 左右。如果用铝合金或铜合金，膨胀或收缩的程度将更大一些。因此，一根在冬天加工的尺寸很准确的金属棒，到了夏天它的尺寸就会因膨胀而改变。例如，花费很大的气力进行高精度加工，使尺寸误差降到 0.01mm 以下，但是这要比材料热胀冷缩而造成的尺寸变化小得多。因此，如果忽略了这一点，

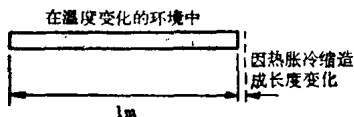


图1.3 长度准确的零件

往往使高精度加工失去意义。在日本，全年气温变化虽然平均 10°C 左右，但实际上温差为 30° 或 50°C 的情况是经常出现的。

大家知道，如果我们要制造高精度的机械设备，或是无声和低噪音的，或是体积小、功率大和效率高的，或是功能强的种种高级精密机械，那就必须对它们的零部件进行高精

度加工。然而如上所述，尽管精度很高，加工后的钢铁制品，仍然会因温度变化而膨胀或收缩。曾经有很多人以为，这时测量设备也同样是随温度变化而膨胀或收缩，只要把有关测量设备制成与钢铁的膨胀或收缩程度相同，那就不会有什么问题。

但实际上，温度变化对精密机械的影响是形形色色的。例如，作业人员的体温会使测量设备的温度变化；加工时工件和测量工具的温度也在变化；环境温度、机床设备运转时的温度等等都可能变化。这一切，对精密加工或精密测量都会造成极大的困难。

因此，在精密加工时如果忽略了温度的影响，是不可能实现精密测量的。另外，在温度测量当中，使用玻璃温度计测定机械设备各处的温度，困难也很多。为此，最好使用热敏电阻或其他温度传感器实现电气测量，而最重要的问题是应该灵活运用各种温度传感器。

至于机械技术人员经常使用的普通计测工具，例如象游标卡尺、千分尺、块规等等，都只能在适当的位置对机械零部件进行静态测量，对运动着的机械零件进行动态测量却无能为力。

例如，图1.4所示就是几个动态测量的例子。图中的齿轮A和齿轮B的转速比，虽然写做1:2，但实际上经常是1:1、1:20、5:1或20:1等，1:2的情况几乎没有。

进行车削加工的时候，如果能够知道车刀受力大小、冲击力大小以及振动状态等，也能取得良好的加工效果。然而，用机械技术人员通常使用的测量工具，是不可能测量这些状态参数的。

铣削加工是一种断续进行的机械加工，刀具与工件之间的作用力是振动性的。要得到这时力和振动特性等数据，采

用机械测量的办法也是不可能的。

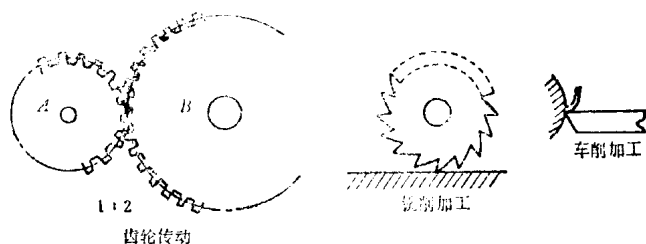


图1.4 动态测量的例子

此外，为了提高机械的性能，就必须了解象照相机快门的动作时间、子弹弹头等高速运动物体的速度和运动状态、机械各部分运动情况及它们的强度、应力和变形等等。为此，必须应用各种传感器进行电气计测，否则要实现动态测量几乎是不可能的。电子计算机具有优异的能力，如果能把各种状态转变为电气信号输入电子计算机，就可以使电子计算机得到更广泛的运用。

在农用机械方面，例如要研制一种能够在较小的面积上高速培育和收获某种作物的系统，那么这种系统就应该具有在种子或幼苗等进入系统后，能够提供最适宜的温度、水分、肥料、光照，并且具有调节空气成分、二氧化碳含量及湿度等的功能。为此，就必须采用便于测量温度、水分、肥料、二氧化碳等种种状态的传感器和相应的技术设备，否则要保证这种自动化系统获得成功，那是很困难的。

总之，目前正在普及集成电路（IC），价格也相当便宜，如果利用各种传感器取得符合一定目的的电气信号，就能依靠电路技术把有关的信息有效地联系起来。这样，就为电子设备、动力设备及其他技术设备的应用，开拓了极其广阔的领域。极而言之，如果从不计成本的观点来看，现在已

几乎没有技术上做不到的事情了。

1.4 传感器与新产品研制

在日本，由于在照相设备上广泛地应用传感器和其他新技术，因而新产品不断地涌现出来，并且在国际市场上已占有不可动摇的地位。今后在业务管理方面所用的设备上，也有进一步应用传感器的趋势，并且根据需要采用微型计算机，这就为研制新产品提供了无限的可能性。

由于应用各种传感器能够掌握机械设备内部的种种状态，因而可以研制出许多前所未有的新产品或新设备，例如自动化设备、操作简便的机械和设备、高精度设备、误差小的设备、功率大的机械、新工人也可安全可靠地使用的机器、高度安全的设备、可节省原材料的技术和设备、新型计测仪表设备等等。

在新产品研制中，首先要考虑的问题是如何利用传感器，使需要高度技能、操作复杂的机械、设备变成操纵简便的设备。

1.5 传感器与降低成本

在设计机械和设备时，不管设计人员花费多少时间，如果只靠理论计算，一般是很难准确求得机器零部件的强度和其他参数的。因而在试图准确地解决强度问题时，实际上往往有很多因素我们并没有搞清楚，例如，分析计算结果时，在很多情况下安全系数都是估计的。

如果应用传感器测量出机械各部分的受力状态、应变、振动及其他参数，并且以此为根据加以分析研究，我们就能达到节约原材料的目的。就是说，这对节省资源也是大有好处的。就工厂企业内部的生产技术来说，如果能恰当地运用

传感器，也必然会大大地促进生产技术的发展。例如，在消灭次品、保证安全、提高精度方面，在为节省人力而研制省力化或自动化设备时，需要取得管理数据、计数和显示等种种设备方面，在检查作业、产品包装等各个方面，传感器都能有无限广阔的应用前景。

有无数的实例说明，由于应用了传感器，因而能不断地改进和完善机械设备，不仅使某些过去不能实现的作业现在可以做了，而且可大幅度地降低成本。例如，要实现精密配合，目前已经可以不用最高加工精度的零部件进行装配的工艺方法，只要按合理的公差制造，然后加以适当选择、装配，就能达到很高的配合精度。另外，还有不少大幅度降低了生产成本的事例。

1.6 传感器与新的企业经营方法

根据以上所述，我们可按图1.5所示的关系，来理解传感器在企业经营管理方面的战略作用。除了在研制新产品和生产有竞争能力的商品方面，传感器能发挥重要作用外，在改进生产技术方面，它也能在实现高效率的省力化或自动化当中起充分的促进作用。在研制精度高、品质优良的设备时，也要使用传感器。为了消灭次品、提高作业效率，需要改善计测方法、手段和产品检验设备，这也离不开传感器。在生产管理方面，应用传感器就可以为提供或改善各种检测、处理和显示记录各种信息或数据的设备，以及改进管理方法等，创造充分的条件。

为了降低生产成本，应当在各种技术领域里，在管理用的机械、设备以及各种生产设备或工具方面，广泛而有效地采用传感器，必要时甚至要自己设计制造。如果再配上微型计算机和与其有关的电子设备，那就更理想了。因为这样做

并不需要增加太多的投资，就能取得更为显著的经营效果。

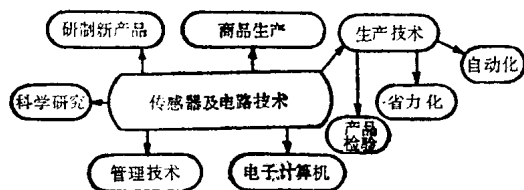


图1.5 传感器的应用

为了能应用传感器取得准确可靠的机械设计参数，并据此设计和制造出优良的产品，作为企业的领导人或管理人员，今后必须努力学习这方面的知识。机械设计人员也应当会熟练地运用传感器及有关的技术，例如可使用差动变压器来进行精密测量工作，其他还有如灵活自如地解决自动停止、温度测量、选择配合、自动选别等种种技术问题。生产技术人员也必须掌握各种工具进行检测工作，不仅是使用传感器进行产品检验工作，在实现省力化、无人化和自动化生产方面，也应当能有效地运用传感器。总之，凡是企业的技术人员，都应该了解、关心并参与研究改进和推广应用各种传感器的工作，以便为本企业增加新的经营能力做出贡献。

1.7 传感器与科技人材

如前所述，传感器的作用如同人类的眼睛和耳朵等五官一样，因此很容易理解，正象人在从事各种作业和工作时必须由五官获得外界信息一样，传感器对于各种机械、设备、系统等有效地工作或运转，也起着极其重要的作用。

但是，光有设备还不行，还必须有研制和运用设备的人。只有那些能想办法为节省人力而实现自动化、积极向工厂企业不断地出谋献策、提出技术上高明和效能强大的技术

对策，以及能实干的人，才能称得上是人材。而那些仅仅是学得某些机械技术、可以开动机器，或者只热心于图纸，至多会画图的人，很难说是今后所需的人材。

对于缺乏资源的日本企业来说，为了今后能在困难和矛盾重重的世界市场上站住脚和取得发展，只有那些善于运用传感器、微型计算机及有关电路技术、能够灵活而富有创造地研制和生产出物美价廉的产品，以及具有很强的经营管理能力的人，才是推动企业发展的原动力。对于资源贫乏、国土狭小的日本社会来说，唯有保有丰富的人材才是维持日本人民生活稳定的原动力。看起来，今后日本必将需要越来越多的人材。

第 2 章 传感器的种类

2.1 廉价的检测元件

使用微动开关、限位开关等元件，也能成功地实现自动化，但这时主要是把它们当作传感器使用。

它们所处理的电气信号是所谓强电产生的信号，例如有的信号是交流200V、15A。由于这种强电信号的功率很大，有的可直接启动电动机，有的也能够驱动电磁阀，也可以实现相当强的照明或显示，当然也能使诸如电磁继电器、定时器许多小功率器件动作了。

而且，用这类传感器组成的电路，都是可以在强电条件下工作的。由于它们的电路是以一系列的所谓强电为对象的控制器件组成的，例如定时器、电磁继电器、电磁接触器、预置计数器、指示灯等等，可以在相当大的功率条件下工作，因而这种电路的SN比（信号/噪声，又称信噪比）较大，在有一定的噪声干扰的环境里也能稳定地工作。

相反，如果采用在弱电（例如电压低于5V，电流小于数mA）条件下工作的电路时，那些在强电电路中本来不会产生影响或造成故障的各种噪声干扰，这时往往都成了问题。例如，它们使SN比降低，使动作过敏，也就是说常常使电路产生“神经质”那样的误动作。

如果我们采用一些廉价的检测元件来制做电路，就几乎不必担心上述的问题了。因为，就微动开关而言，它输出的信号很强，不需要象对待应变式传感器的信号那样采取放大措施。也就是说，采用这些成本低的检测元件所组成的电