

2-281

国外机械技术资料

自动检测仪表

译文集

第一机械工业部情报所

前 言

在我国，生产过程自动化已经得到了较大的发展，特别是无产阶级文化大革命以来，不少的工业部门已采用或正在采用计算机控制，以进一步提高工业生产的自动化水平。

但是，检测仪表和检测元件等仍不能适应计算机的需要，这是自动化系统的薄弱环节之一。

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们选译了日本关于检测仪表及传感器等方面的文章共九篇，供从事自动化仪表的广大工人和技术人员参考。

限于我们的水平，在编译过程中，难免存在许多缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者
1975年8月

目 录

1. 机械工业的自动化测量和传感器	1
2. 尺寸测量传感器的选择和使用问题	4
3. 重量、扭矩和变形测量传感器的选择和使用问题	12
4. 振动、速度和转速测量传感器的择选和使用问题	17
5. 钢铁工业中的电子式检测仪表	21
6. 轧机负荷传感器的殊特性和电容式负荷传感器	32
7. 传感技术	39
8. 半导体应变片及其应用	48
9. 半导体在生产过程控制中的作用	60

机械工业的自动化测量和传感器

近年来,机械工业的自动化进展很快,目前,越发明显地朝着深度和广度的方向发展。这个进步是以半导体技术、数字技术和电子技术的发展作为背景,根据生产的机械化和高效化要求发展起来的。现阶段不是停留在简单地的自动化水平上、而是明显地表现出了新的系统倾向,是把生产体系作为一个整体机构来考虑的。这个方案是把自动化的各个子系统巧妙地相互连接起来,在提高整体机构生产效率的想法基础上,充分利用测量和控制的新技术,使整个系统能作到稳定操作、确保产品质量。如果把整个生产系统比作人的话,那么,测量技术正好相当于人的中枢神经和感觉器官,许许多多的仪表也就自然成了神经系统的通道。

(一) 机械工业的自动测量

机械工业和流程工业的测量系统各有不同的特点。流程工业的测量参数有温度、流量、液位、压力等,而机械工业的测量参数大部分是尺寸和重量等。

流程变量的自动测量在很早以前就被采用了并在这方面积累了很多经验,也出现了某种程度的标准作法,所以容易向自动化测量系统过渡。因此,随着流程控制系统的不断大型化,测量系统的规模也大了。电子计算机的应用已经得到了比较好的经济效果。像超高温测量方面、因找不到适当传感器和没有耐久性等而不能进行直接测量的情况下,那么就可以根据其它的测量值进行加、减、乘、除等运算,间接地求出所需要的参数或者把在流程的上流控制被检测不到的部分编入到下流的控制段中去,用软件来进行精确的测量和控制。另外,把许多回路的反复测定值进行积算之后,消除随机噪音,提高信号噪音比,由在线实时系统来保证测量信号的准确性。

而机械量的测量,也已有相当长的历史,过去,主要是以稳定为主的静态测量,重点是提高测量精度或灵敏度和测量的稳定性,基本上没有考虑加工中的测量。

过去,一般说来,测量系统的设计通常是在生产系统的设计终了之后,它多半是作为附加性设计来进行的。测量传感器的选择和配置往往由于受设计上的约束而不能把最好的元件安装在最合适的地方,由此引起整个控制系统的品质变坏的例子是不少的。

近来,在机械加工测量系统中出现了新的情况,即一边车削,一边测量,当得到所需要的尺寸时则立即停止加工。在这种测量方法中尺寸检测元件——差动变压器是安装在由机床后面装上去的活动式长支臂端上。

从所需要的测量时间看,机械加工测量比流程设备的温度等测量要求要快,但是从测量对象的性质和测量方法上看,不大可能进行多次反复地测量,也难于在短时间内通过一次测量就得到所需要的精度。

一般地说,机械加工用测量装置大都是与主机组合在一起的,因为不能直接选用样本上的定型产品,所以这是使可靠性下降的原因所在。因此,机械工业用的自动化测量系统与流程自动化测量系统相比不得不处于落后阶段。

(二) 机械自动化的发展阶段

机械工业自动化测量技术的发展可分成若干阶段,第一个阶段的目标是单个机床的自动化测量。这种类型的例子能举出很多,如像前面举过的,车削外圆和测量直径同时进行,当达到规定尺寸时就立即停车的在加工中测量;一边输送线材、板材,一边按顺序把它们切割成一定长度的自动定尺寸装置;另外还有正在研制的,根据预先编制的程序,把变形的材料切割成任意长度并能指示和记录其尺寸的装置等。

位置传感器——微型开关是一种用于限位、工件的定位、确定加工深度并在加工终了时能发出信号的检测元件,一边测量质量,一边装袋的定量装袋机等设备当然也属于这个阶段的自动化装置。当工件在自动生产线上移动时,机械手在用规定的加紧力夹持工件的同时,就测完其尺寸的生产线也有2~3个工业部门在试用。在各种配装线上,能使装配件在安装位置上自动定位、自动配置附件等用的各种检测装置也都研制成功并达到实用程度。

在这些装置中,测量和控制是不可分割的,数控机床可以说是个例外的情况。因为,一般的数控系统是开环的,工件的尺寸测定值被反馈到控制系统以后,位置指令并不改变。但是,温度等测量值作为预测的控制参数却能够有效地用来达到控制的目的。

第二阶段是将这些一个个的机械装置在某种程度上需要相互连结成一个一体的自动装配机等设备。这种设备与流体以一定的速度流过管道的流程设备不同,半成品部件向加工位置的传送,定位,插销子,固紧,然后再向下段传送等断续地反复操作是装配机的综合工序。但是,只单纯地考虑把几个独立的单元在空间连接在一起是很不够的。除每个单元的测量和控制以外,还需要检测各加工单元相互之间需要的时间,附件的有无或位置以及方向等,还必须考虑到这些测量值不正确时的处理方法等。在各加工单元行程之间混入不合格的工件或缺损件或错位的工件并原封不动地进入下一个加工单元时,以后的生产工序定会出现废品,会使许多的优质部件变成废品,白白地耗费了装配机。

为了免避这种事故的发生,在这个阶段中采用了大量的系统化方案。为了得到有效地控制信息,把许多传感器有机地连接在一起。

因此,在某种程度上合并成系统化的自动机,不管形状和规模的大小怎样,都是现在和不久将来要研究的课题。可以认为,自动化仓库充分利用了电子计算机的存贮性能就是这个阶段的代表例子。

最后一阶段是材料的选择、装卸、加工、装配、检验和包装等完全借助于自动化检测而实现的无人化工厂。达到这种目的还有很多问题,现在难以预测。

(三) 对传感器的要求

随着测量的系统化或测量和控制一体化的发展,对所使用的传感器又追加了一些限制条件。气动测微仪虽然很简单,且能得到较高的灵敏度,很早就作为尺寸测量仪器使用了,但是它与带有电子式控制装置的自动化测量系统相比,收发信号较困难,所以不适宜作自动化系统的传感器使用。气动测微仪的适用场合,只限于以射流元件为主的控制装置。所以,选择传感器时,要根据传感器本身的测量性能以及从它与系统的连接性好坏上来看。一般认为,能把测量结果转换成电压、电流等电信号输出的传感器为最有利。

对于测量系统用的传感器来说,最大的焦点是故障问题。测量系统的故障不仅会导致停

产或出现废品,甚至还会损坏设备。所以,用户对于故障是非常害怕的,不管在什么样的情况下,用户对传感器和测量系统(包括信号传送系统)的可靠性和寿命的要求都是放在第一位的。虽然传感器在恶劣环境中的可靠性和寿命都有了很大提高,但还存在着一定的问题。例如自动化仓库,因为采用了一万多个开关,即使故障率很小,其故障件数也是相当可观的。

自动测量系统的故障率(故障时间/必要的运转时间),如果按日本电子振兴协会的调查,则平均在2%以上。若是把这个故障率分为流程自动化测量和机械自动化测量系统两部分加以比较的话,那么前者为1%,后者则为4%。这就说明机械加工测量系统的故障率高。其原因是在机械加工测量系统中,机械的可动部件多。在4%的故障率中,由传感器本身的故障而造成整个机械测量系统产生故障的约占40%。

制造厂为了提高传感器的可靠性,往往采用以下几种办法:

1. 彻底搞清可靠性的基本概念,同时把这个概念编入到设计方法或具体的设计中去。
2. 把可靠性的稳定方法标准化并确定评比标准。
3. 通过提高元件和材料的性能或自动化等,稳定产品质量,借此提高可靠性。

通过以上手段、充分自觉地不断努力去解决。

另一方面从用户的立场来看,今后也需要努力与制造厂互通情报,密切合作,共同解决传感器的可靠性问题。

1. 用户要求的性能规格和使用环境反映给制造厂的设计部门,充分交换双方的意图。
2. 充分了解使用条件等问题,做到使用合理化。
3. 进行适当的维修和管理。

在机械加工的自动化测量中要检测的参数很多,最普通的是与尺寸有关的质量、力、扭矩和变形等。其次是与时间有关的速度和转速等。虽然实现自动化需要测量这些参数,但目前缺乏合适的传感器,阻碍着自动测量的进展。在机械工业中,有1/3的检测参数找不到合适的传感器。例如,粉体流量的测量,清洁度的判定和图像的识别等。物体表面缺陷的测量和内部缺陷的非破坏性检查等方面的自动化,都是与图像识别相关的问题,这些问题的解决与其在传感器上下功夫,不如利用电子计算机的软件通过数据处理的方法加以解决为好。

除此之外,分析出设备噪音的频率成分,预测由此而产生的事故等,对数据的相互影响或综合利用也要给予必要的关注。

在机械工业中,制造工序之后就是检验工序。因此,一般来说,主要是为了检验产品的性能。最近,从过去的抽检过渡到全部检验,在检验部门,为了减少生产线上的工作人员,更促进了自动化的发展。如果全部自动检验,则对传感器的可靠性和反应速度的要求就更高。

另外,为了具备检验产品性能的这种高度判断机能,使用专用小型计算机的生产线正在普及。这样,就要求传感器与小型计算机能容易连接而且噪音的影响要小。

在一次产业中,自动化测量所取得的进展,很快就会渗透到二次产业乃至三次产业之中,同时由单项自动化测量正在向全部自动化测量过渡。与流程控制技术密切相关的先进测量技术和测量传感器,如果用于机械工业,同时再加上机械工业特有的新技术,那末,一定会出现新的机械自动化,因此,今后需继续努力研制和改进出新的测量传感器。

以上,把最近与测量有关的一些比较明显的进展即系统化的动向作了介绍,这种系统是以测量和控制的一体化为前提的,今后,对测量仪表和传感器的影响问题是值得注意的。

译自日刊《オートメーション》1973年18卷12号

尺寸（长度、厚度和宽度）测量传感器的 的选择和使用问题

最近，在机械工业中，随着数控机床和加工中心等加工自动化的发展，测量、自动确定尺寸和自动选形等测量自动化也获得了进展。在加工过程中测量工件的尺寸是所希望的，其结果是随着加工的完结，选形也结束了。因此，像这种自动化测量用的传感器需要时时刻刻地正确反映加工尺寸，所以在有很多的尘埃和油污等物质的加工环境中，高可靠性就成了传感器所必须具备的重要条件。

在机械工业中，尺寸（工件的长度、度厚、宽度和间隙等）测量传感器有的已经采用了，有的不久将要被采用。这里介绍其工作原理、结构和使用中存的问题，并把各种形式的传感器归纳在一起作一比较。

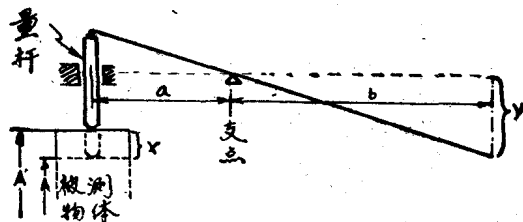
（一）传感器的分类、原理和应用实例

尺寸测量传感器，按其工作原理大致可以分为以下几种类型：机械式传感器，光学式传感器，电气式传感器，流体式传感器和磁气式传感器五种。实际上，这些传感器是由一个或几个传感器组合而成的。下面介绍一下各种类型传感器的代表性产品。

1. 机械式传感器

这种形式的传感器如图 1 所示。

当机械长度 A 变成 A' 的时候，把其增量 X 变成量杆（一般叫测量头）的位移，通过杠杆、齿轮和斜面等放大机构，传到测量部分。因为这种传感器很早就应用了，所以，这里不作详述，仅介绍目前最常用的带接点的测微计。在图 2 (A) 中，测量杆的上下移动，变成了销子（固定在测量杆上的） P_1 、 P_2 的上下位移，就像



$$\text{放大倍数: } \frac{y}{x} = \frac{b}{a}$$

图 1 机械式传感器

图 2 (B) 那样使电接点 J 、 K 断开和关闭。基于这种开闭来自动地判断 + 不合格，合格和 - 不合格三种情况。旋钮 d_1 和 d_2 是按产品允许的误差作微调（调节接点 J 、 K ）用的。

这种传感器的应用实例如图 3 所示。这是一种平面磨床上用的自动测量工件尺寸的简易装置。如图 (A) 所示那样，工作台上的工件先是用砂轮研磨，一旦工件接近所规定的尺寸时，像 (B) 图所示那样，工作台就移动，工件则运动到传感器的下面进行测量。若是工件尺寸大的时候，再送回原来研磨工位进行研磨。一旦工件的尺寸达到允许值时，继电器就动作，停止研磨。

电触点式测微计的附属装置是用来防止测量杆落在工件之间的沟槽里和接触头顶尖磨损的。

附属装置上面的平面部分，在所规定的尺寸范围内必须安装得像水面一样平。在工件的一端调整好所规定的尺寸基准以后，在研磨过程中经过与这个基准进行比较，就可知道所产

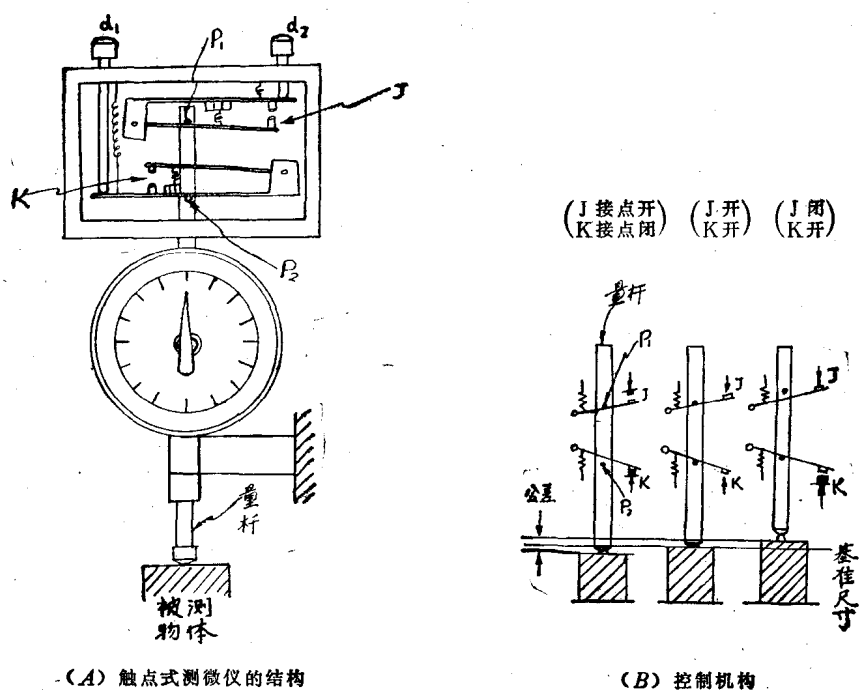


图2 带触点的测微仪

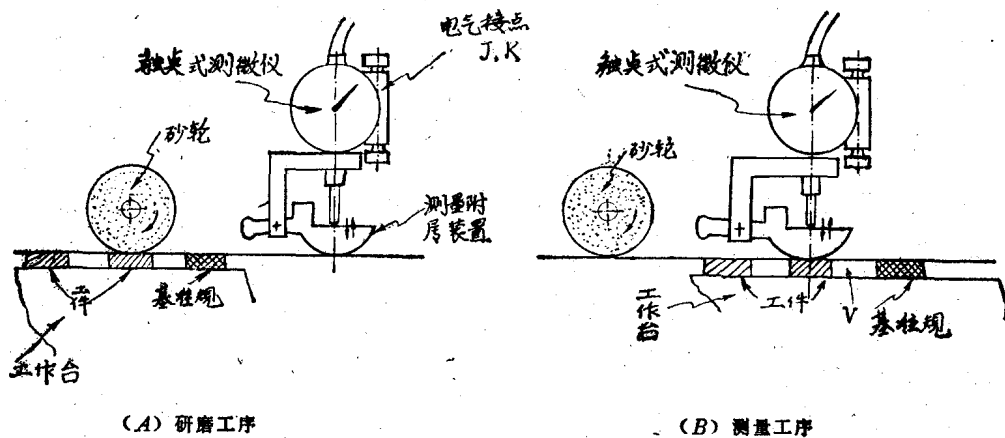


图3 在平面磨床上自动确定尺寸的装置

生的测量误差。

2. 光学式传感器

光学式传感器是把光射到被测物体上并将其影像放大或利用光的透射和反射等性能进行检测的装置。虽然很早以前的光杠杆和透镜之类的东西就用在这方面了，但是最近作为重要自动检测元件的光电元件、光栅、激光、莫尔条纹和光学纤维等都出现了。这里介绍一下前两种检测元件。

(1) 光电元件

光电元件有光电倍增管、光电池和发光二极管等。这些元件通过光电效应，将入射光变

成光电流。

这种传感器的应用实例如图 4 所示。从光源发出的光，经过透镜 L_1 变成平行光，通过被测物之后，用透镜 L_2 聚光并进入光电元件 P 。图 4 (A) 表明，由于被测物体大(图 M_1) 小(图 M_2) 不同，显然，进入光电元件的光量也不同，所以，像图 4 (B) 所示那样，光电流是变化的，其大小可以检测出来。采用这种方法的金属棒直径在线自动测量装置正在研制，其结果在参考资料 (1) (2) 之中，直径为 5~75 毫米的圆棒，测量精度为 25 微米。

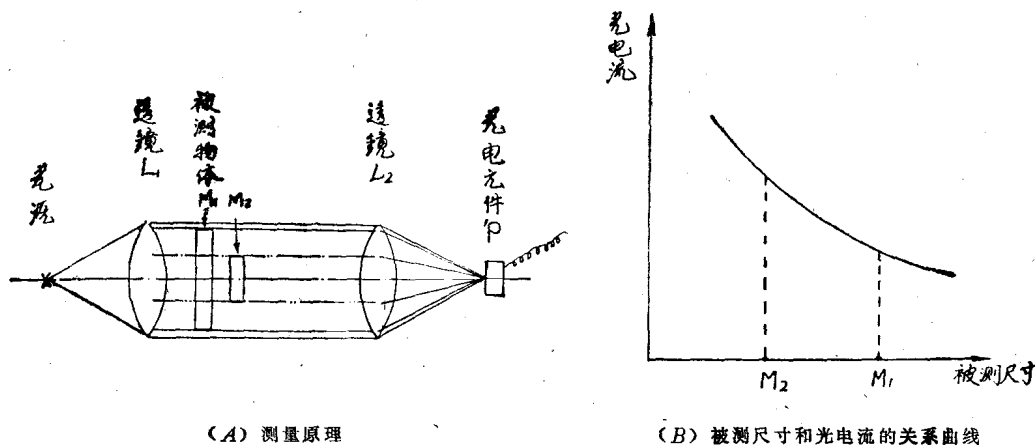


图 4 光学式传感器

(2) 光栅

像图 5 (A) 那样，等距并排的许多细线叫作栅，从线的间隙通过光的栅叫作光栅。

把这种光栅像图 6 那样用光源 Q 照射，把通过栅的光经过狭缝 S_1 和 S_2 用透镜 L_2 聚光，由光电元件 P 接收，于是，透明的光栅刻线从狭缝前每通过一次，在光电元件上都会有入射光，并产生与光量成正比的电流峰值，用计数器把这个数计下来，再移动刻线，就可知道光栅的移动距离。为了读取各刻度线的中间值，像图 5 (A) 所示那样，规定按栅的黑白等距排列下去，从光电元件输出的电流像图 5 (B) 那样，是规则的正弦波。因为这种正弦波容易被分割成电气性地 $1/2$ 、 $1/4$ ……，所以，刻度线之间的小数也容易读出。需知道栅的移动方向，即向左还是向右，所以，像图 6 那样，两个狭缝 S_1 和 S_2 的配置只错开光栅间隔

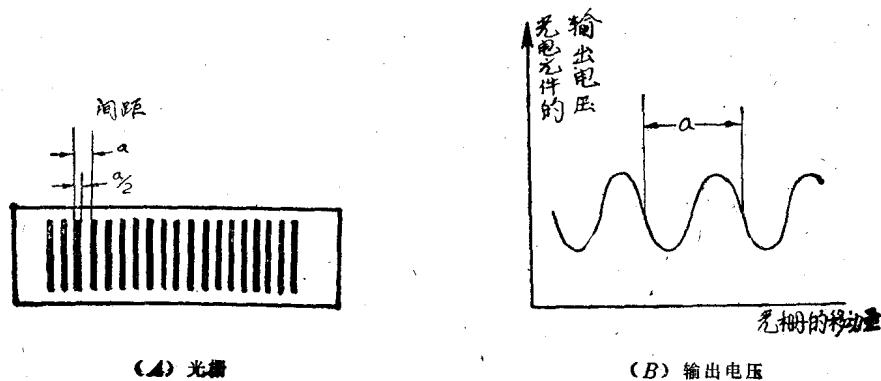


图 5 光栅

的1/4。这时，光栅如果向左移动，则处于狭缝 S_2 后方的光电元件由于比 S_1 快，而首先产生输出信号，反之，当光栅向右移动时，则处于 S_1 后方的光电元件首先产生输出信号。通过这种方法来辨别光栅的移动方向。

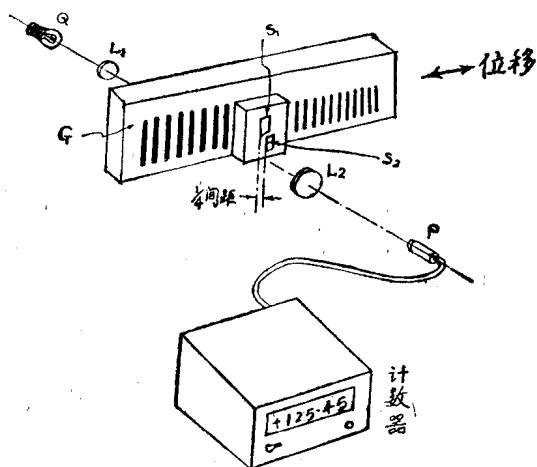


图6 用光栅测量尺寸的原理

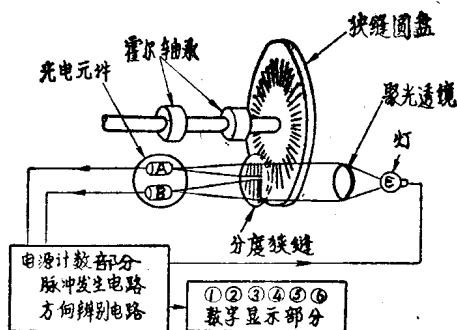


图7 圆盘编码器的测量原理

边缘刻有这种光栅的圆盘叫作圆盘编码器，它可以很方便地对转速和转角进行自动测量。图7就是圆盘编码器的测量原理，图8是应用实例。在图8中，当工作台的转速（即工件的转速）为 P ，工件直径为 D ，压在工件外圆上的测量圆盘（直径为 d ）转速为 p 时，则它们之间有下列关系：

$$D = d \cdot \frac{p}{P}$$

$\frac{p}{P}$ 是用图7那种圆盘编码器在加工过程中工作台回转的瞬时测量值。因为 d 是已知的，所以加工中的工件直径 D 就能自动求出来。这种方法的测量误差主要是由工件和测量圆盘之间的滑动造成的，其次是由测量圆盘的磨损，回转工作台和测量圆盘两轴线的倾斜等原因造成的，综合精度为10微米左右。

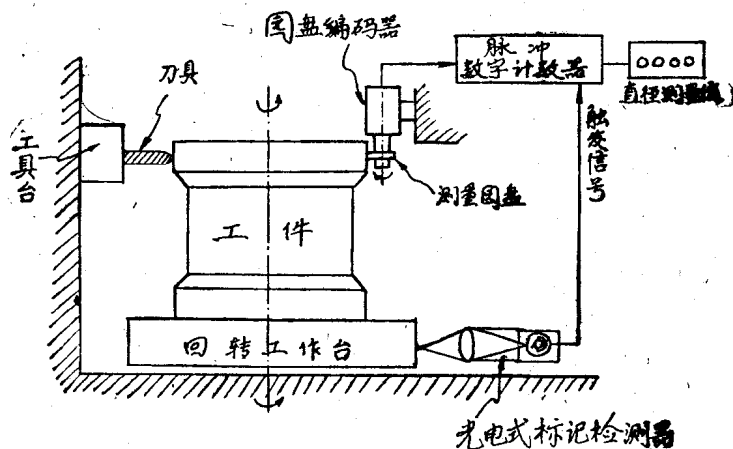


图8 大型工件的直径在加工中的自动测量例

3. 电气式传感器

电气式传感器有差动变压器式，电阻式和电磁感应式等几种。这里介绍一下最普通的差动变压器式和电阻式传感器。

(1) 差动变压器式传感器

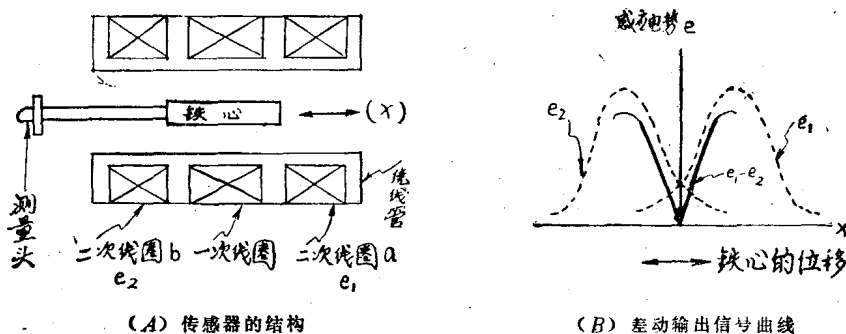


图9 差动变压器式传感器测量原理

当铁心在线圈中移动时，则会产生一个与这个位移量相应的电压变化。如图9 (A) 所示那样，向中间的一次线圈加一定的交流电压，这时如果让测量头一端的铁心在两个二次线圈中移动时，那么这两个二次线圈就能分别得到图9 (B) 虚线这样的输出电压 e_1 和 e_2 。这两个电压之差 ($e_1 - e_2$) 就是图9 (B) 中的实线，线圈的中间等于零，左右对称部分是直线性最好的部分，是传感器的使用范围。如果这个范围与运算回路通用的话，那么，就能够对两个以上的被测量进行简单地加减、乘除、微分和积分等运算。

图10是采用这种传感器进行自动测量的典型实例。它能像 (A) 图所示那样直接读出不同直径的两个同心圆筒的相互偏心量 ($X - Y$)，又能像 (B) 图所示那样把传感器支承在工件上，直接读出圆筒工件的直径差 ($X + Y$)。

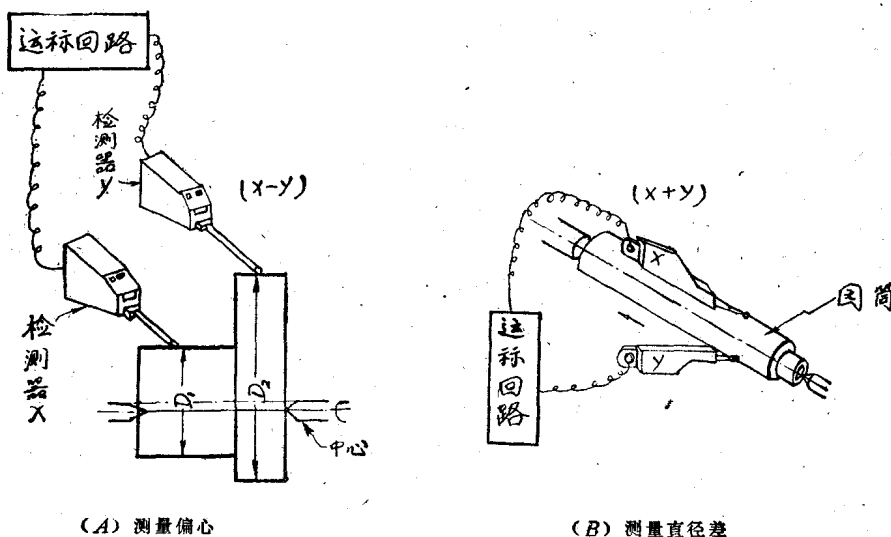
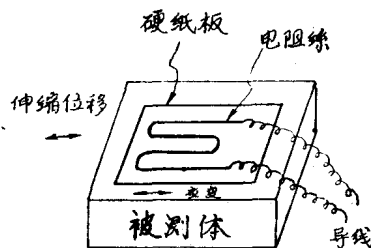


图10 用差动变压器式传感器进行自动测量

(2) 电阻式传感器

金属丝受拉在伸长的同时变细，其电阻增加。把直径约为 0.025 毫米的康铜、阿范斯电阻合金和镍铬耐热合金等金属丝，像图 11 那样，贴在纸上和酚醛树脂等硬纸板上，与被测体全部接触，这叫应变计。由被测物体的伸缩而引起尺寸的微小变化就是电阻丝的伸缩，这个伸缩再变成电阻值就可被检测出来了。

这种测量方法，在工业上往往用在力和重量等参数的自动测量中。也就是利用负荷(力)及由它而产生的变形(伸缩的位移量)在弹性极限内的比例关系，据根伸缩位移量的测定值求出负荷量。这种例子在我们日常生活中是常见的，如测量卡车、货车装货量的磅称，码头用的大吨位秤量设备等。

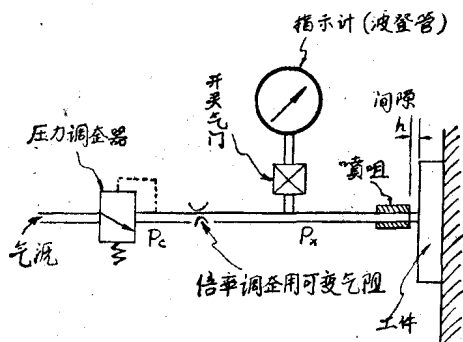


应变计的原理

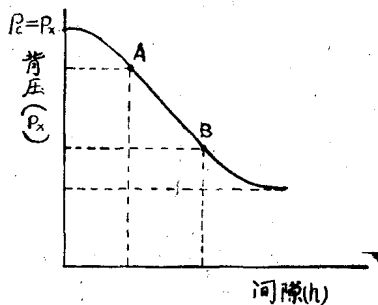
图11 电阻式传感器的原理

4. 流体式传感器

压力一定的流体，从间隙喷出的流量与间隙的大小有一定的关系。图 12 (A) 就是利用这种原理的测微仪。图中，用压力调整器保持有一定压力 P_c 的空气，经过倍率调整用的气阻从喷嘴向与工件之间的间隙 h 喷去，这时，背压 P_x 则随间隙的大小而变化。间隙和背压



(A) 测量装置



(B) 间隙和背压的关系

图12 气动测微仪的测量原理

两者的关系曲线如图 12 (B) 所示， AB 两点之间的直线部分是长度测量传感器的使用范围。

图 13 是工业实际应用的例子。它把气动测微仪的喷嘴安装在刀具的下面，自动检测出刀具和工件的相对距离（图中的 h ），是一种求刀具磨损量的方法。这种在加工中自动测量工具磨损量的方法是目前最可靠的，但由冷却润滑油和铁屑所造成的测量误差仍是存在的。

5. 磁式传感器

磁带录音机能把磁带录的声音再重放出来听，这是众所周知的。利用同样的原理，如果用磁刻度线代替声音录在磁带上，那么，通过每条刻度线就能从再生部分得到输出信号。

通过计量这种输出信号的数目进行测长的装置叫作磁刻度盘。传感器的测量原理如图 14 (A)。

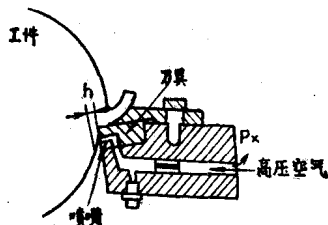


图13 用气动式传感器自动测定工具的磨损

所示，在金属制的刻度底盘上，涂一层厚度为 0.01~0.02 毫米的磁性薄膜，在这种磁性膜上以一定的间隔（一般为 0.2 毫米）刻上 NS、SN、NS……这样极性交错的磁性刻度线（这叫磁栅）。通过许多并排的磁头（读取磁栅用的）把这种输出信号放大，同时，把不等的磁刻度线间隔平均化。图 14（B）是采用反馈原理的电子传动装置，在车削螺钉的工序中，根据回转式磁刻度盘（与回转轴直接连接） MS_1 与直线式磁刻度盘（安装在刀架上） MS_2 两者的输出信号来测量螺钉的节距误差、齿轮误差及其啮合误差。这种装置能车削高精度的螺钉。

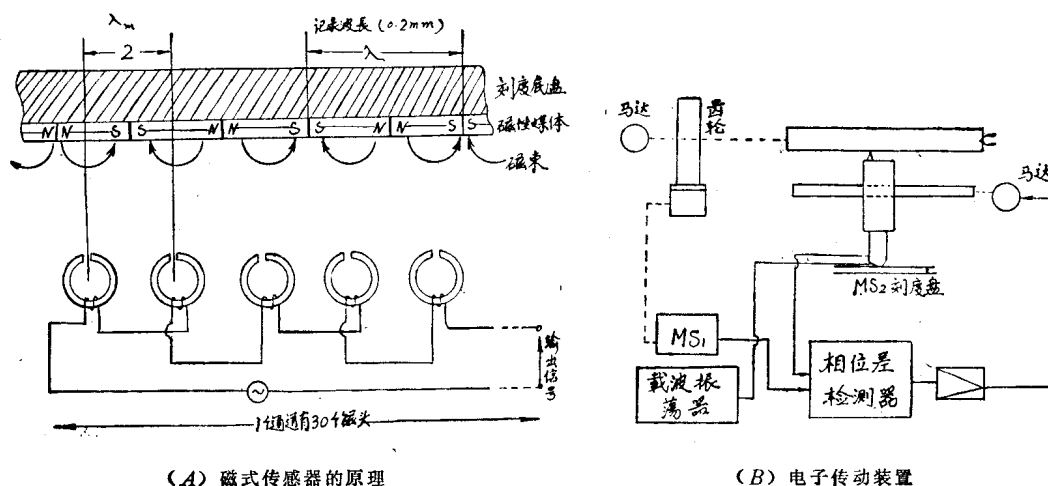


图14 磁式传感器

（二）各种传感器的特点

以上叙述了机械工业自动测量用主要传感器的工作原理、结构特点和应用实例。这里把这些传感器的特点归纳在一起加以比较，如表 1 所示。

表 1 各种尺寸测量传感器的优缺点比较

特点 类别	优 点	缺 点
机 械 式	1. 结构简单，使用方便。 2. 便宜。	1. 因为是接触法，所以有接触误差。 2. 不能进行运算测量。 3. 不易同时进行多点测量。
光 学 式	1. 是非接触测量。 2. 可数字显示。	1. 受光源变化的影响。 2. 抗尘埃和油分的能力弱。
电 气 式	1. 容易得到很高的放大倍数。 2. 反应速度快。 3. 能同时进行多点测量。 4. 测量范围宽。 5. 能作各种运算测量。 6. 能远距离测量。 7. 可数字显示。	1. 受电源变化的影响。 2. 发生故障时不易判断。 3. 价格高。

续

类别 \ 特点	优点	缺点
气动式	1. 因为是非接触法, 故容易得到很高的精度。 2. 能同时测量许多尺寸。 3. 能进行加减运算测量。 4. 测量部分抗尘埃性强。	1. 反应速度慢。 2. 测量范围窄。 3. 气源需要空气过滤器。 4. 需要标准。 5. 数字化显示困难。
磁式传感器	1. 数字显示容易。 2. 能测量大尺寸的工件。 3. 可以使各条刻度线的误差平均化。	1. 抗铁屑等金属粉末的能力弱。 2. 不能刻密的刻度线。

当进行自动测量时, 首先要充分认识这些传感器的特点, 当然要根据所要求的精度来选择, 对于使用环境也要充分发挥其抗环境性这是个很重要的问题; 无论哪个工业部门, 价格便宜比什么都重要, 可靠性也是一个很重要的问题。

参 考 文 献

- 〔1〕 Mechanical Engineering, Jan (1970) P46.
- 〔2〕 S.D.Binks, The Development of a Laser-Operated Scanning Rod Gauge, Measurement and Control. 4, Apr. (1971) P49.
- 〔8〕 T.E.Simms, English Electric Diadem equipment for In-process Measurement of large Machined diameters, Machinery and Prod. Eng. July 16 (1968) P88.
- 〔4〕 吉田: 轮廓形状の自动测定, 精密机械, 38 (1972) 10, P809.
佐田, 小屋: 工作机械の适应制御ためのインプロセス测定法, 精密机械, 38 (1972) 10, P12
- 〔5〕 沢辺: 知りたい测定の自动化, ジャパンマシニスト社 (1971), 278 ほか

译自《オートメーション》第 18 卷第 12 号 1973 年 12 月

重量、扭矩和变形测量传感器的 选择和使用问题

重量和温度、压力一样，都是工业上最基本的测量参数之一。过去，往往由于交易而进行测量；今天，则往往由于以原料管理为中心的产品质量、机械装置的控制和自动化而进行测量。

还有大型构件应力分析的变形测量，装配精密元件时的固紧扭力的管理和与车辆性能有关的传递扭矩的测量等。这些重量、变形、扭矩的测量都是通过测量加在弹性体上的力来完成的，换句话说，除了测量弹性体的变形而外，没有别的办法。

为此，有各种各样的传感器供使用，这里只举几个有代表性的例子，谈谈存在的问题、选择和使用上的注意事项等内容。

(一) 变形的测量

应变计有很多种，即机械式、光学式、电气式或混合式等。这里主要叙述广泛应用的电阻丝应变计最近的动向及有关的内容。

近年来，由于应力分析，新装置和新方法获得了很大的进步，发表了许多研究报告。就应变计本身来说，一方面研制了用于常温以外的应变计（高温应变计及其粘合剂、低温应变计等），与此同时，还能把元件用陶瓷粘合剂贴在耐 500°C 的网状金属底盘上。不论是粘合还是焊接都能使用的高温应变计也制造出来了。另外，能够有效分析应力集中的体积最小的应变计和集成化的三坐标应变计以及具有良好的稳定性、蠕变性和耐热性等等的聚酰胺应变计之类的产品也都制造出来了。

测量装置一方面发展了数字化，另一方面自动平衡式测量装置也增多了。这种装置能使最复杂的操作——应变计的初期平衡实现自动化。

在高达数百点的测量中，采用了数字式多点测量装置。这种装置主要包括两大部分：一部分是自动切换装置，它能代替过去使用切换箱的手动切换方式；另一部分是把初期的不平衡值存贮在磁心存贮器里，并具有计算、处理和显示等功能的装置。

本来就适合作应力分析用的光弹性法、莫尔条纹法和全息照相法，其测量分析的精度都提高了，这些方法也能相互并用，它们在材料力学的研究方面获得了广泛的应用，在材料试验的拉伸测量中也被采用了。

半导体技术的应用有了很大的进步，除在微小位移的测量方面发挥了其特点之外，作为超小型传感器用的半导体还采用了真空镀膜的新工艺。

与这些方法略有不同的是应力涂料，虽然这种方法在小应变范围内有种种缺点，但最近已试制了具有高灵敏度的测量仪器。在了解复杂产品的应力分布时，采用应力涂料却是很方便的。

1. 应变计的使用

在所有的电阻丝应变计中，分为箔应变计、线应变计和特殊应变计等多种。一般常用的

是自身温度补偿式箔应变计。

还有，耐热性和蠕变性好的聚酰胺应变计，使用方便的聚酯应变计、大变形用的应变计，高温应变计和防水应变计、埋入式应变计和对变形具有高灵敏度的半导体应变计等。就形状来说，用于压力测量、扭矩测量和应力分析等方面的图像应变计也都有了产品。使用时，要根据使用目的、被测对象和测量条件进行适当地选择。

当变形测量精度要求很高的时候，测量仪器本身的校正也是很重要的问题。因此，准备了标准变形发生器。

(二) 重量的测量

重量和质量常常混合使用。重量和质量是完全不同的两个概念，虽然在工业上往往不是什么问题，但应该经常想到两者的区别。

重量或力的测量仪表有以下几种。

- (1) 利用所测量的力与杠杆、砝码直接平衡的方式。
- (2) 油压的方式。
- (3) 利用弹性变形，根据位移和变形判断所施加的力。
- (4) 利用磁致伸缩、压电、电磁和压敏元件等物性变化的方式。

其中(1)为古典的重量测量法，(3)(4)多数作为变送器用来测量各种物理量。

1. 荷重传感器

典型的油压式荷重传感器，有的是采用刚玉膜片元件，并已用于材料试验机的荷重检测和油压秤等方面，其精度虽然稍微差些，但所用的柱塞式油压室的结构比较简单，能用在室外的环境中，因其本身又有减震的功能，所以通常是作吊秤使用。

把弹性变形通过机械放大进行指示的代表性仪器是测微仪式荷重计(见图1)。在日本这种仪器的位移指示机构多数是用千分表。

通过水银和毛细管把弹性体容积的变化放大并指示出来的仪表有的叫作容积式测力计。这些仪表(二次标准仪表)用来鉴定一般的荷重测量装置和荷重检测器等。

电阻应变计式荷重计，常作为控制用和远距离指示用，往往把位移或变形变成电气信号加以放大并指示出来。

图2就是应变计式荷重计的一般结构。当弹性体的比容量小的时候，采用恒壁梁、膜片等结构，如果重量大的时候，则采用圆筒、圆柱和方柱等结构。

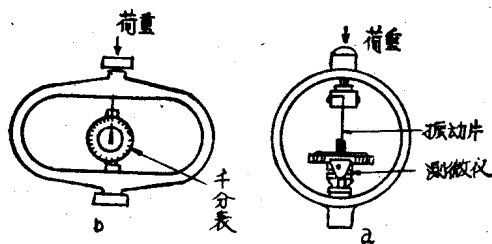


图1 测微仪式荷重计

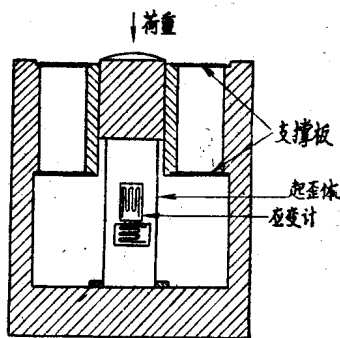


图2 应变计式荷重计

图3是环形荷重计。用于测量轧机的压入力，断面为工字形，应变计贴在内外面上。为了防止时间长了发生变化，需封入惰性气体，使用时，如果不用耐压块（上下面加工得很精密）夹紧就不能得到很高的精度。

大容量荷重计是利用电容的变化来检测弹性体的位移。虽然在缩小荷重分布的影响方面下了功夫，但温度的影响比其他的稍微大些。

利用物性变化的荷重计有磁致伸缩式，其典型产品如图4所示。这种荷重计，输出信号大，耐恶劣环境，但输出信号的直线性差。把弹性体的变形（由其他负荷产生的）按弹性体上张弦振动的变化测出来，这种方式用于应变计和重量计方面。由于荷重产生的位移用磁力平衡的方式有很好的阻尼效应，所以用于重量选别机上。

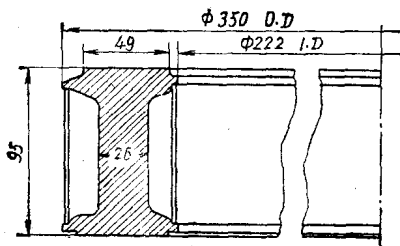


图3 环形荷重计

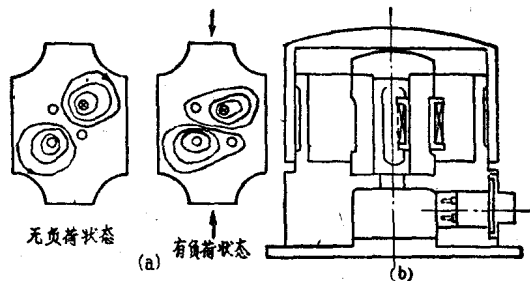


图4 磁致伸缩式荷重计

2. 荷重传感器的选择

当使用荷重计时，首先考虑以下几个方面的条件。

- (1) 测量对象：被测量的种类及其状态。
- (2) 比容量（单位体积、单位面积或单位重量的容量）：最大值和安全系数。
- (3) 所要求的精度：仪表误差、再现性和灵敏度等。
- (4) 荷重种类：是动荷重还是静荷重。
- (5) 使用条件：有没有冲击荷重。

是否经常有游动荷重的作用。

使用的频率

控制、记录和远距离指示。

- (6) 安装方式：由于所要求的精度不同而有相当大的差别。

- (7) 环境条件：温度、湿度、水、直射日光、风压、灰尘、药品和腐蚀性气体等。

- (8) 维修管理：能否定期校正等等。在确定采用什么工作原理的同时，就应该根据所有传感器的特点，确定所需要的品种。

3. 使用注意事项和存在的问题

采用荷重传感器的测重系统，其精度在很大程度上取决于传感器的安装方式。垂直荷重要经常作用于传感器上。

由热膨胀和风头等产生的横向负荷不能作用于传感器。为了使安装场所的平面度不受影响，需要把从热源和日光来的热辐射遮蔽住，防止水蒸汽和尘埃的浸蚀，避开电缆、电力线及其他处的电噪声等。