

力和称重传感器应用技术

北京钢铁学院 王志正

上海市计量测试学会

1983 · 4

前 言

测力和称重是当前各行各业都非常关心的问题。近几年来有关这方面的全国性学术会议，许多学会都纷纷召开有关这方面的专门会议，有的拟成立学会分会或专业委员会。可以预料测力和称重技术将会在我国工业，国防、科研及农业等方面发挥其巨大的作用，促进我国的四个现代化的进程。

正确选定测量元件、组成测量系统这是实现测量的必备条件。如何做到既节省投资、投入使用周期短、精度符合要求及维护简便等这取决于对测量中各个环节的熟悉程度。

本讲义是为上海市计量测试学会传感器技术讲座写的。书中总结了作者近几年看到的和遇到的一些有关传感器应用方面的问题，其中加上作者的一些看法。由于作者水平有限，一些提法不一定合适，务请读者指正。

北京钢铁学院 王志正

1982.11.

目 录

≈≈≈≈≈≈≈

第一章	概 述	1
第二章	传感器分类及特性	4
2.1	传感器分类方法	4
2.2	根据用途分类	4
2.2.1	力传递用传感器	4
2.2.2	称重传感器	4
2.2.3	测力传感器	5
A.	单向力传感器	5
B.	多分力传感器	5
C.	特殊力传感器	6
2.3	按传感器机械结构形式分类	6
2.3.1	杆类传感器	7
A.	柱式传感器	7
B.	垫圈式传感器	7
C.	复合式传感器	8
2.3.2	梁类传感器	9
A.	悬臂梁式传感器	9
B.	简支梁及两端嵌入梁式传感器	11
C.	复合梁式传感器	11
2.3.3	环式传感器	12
2.4	按电阻片检测的应力划分	13
2.4.1	正应力式传感器	14
2.4.2	弯曲应力式传感器	14
2.4.3	剪应力式传感器	15
2.5	传感器性能指标	15
2.6	如何选用传感器	16
2.6.1	传感器容量选择	16
2.6.2	传感器寿命	18

2.6.3.	精度选择	1 9
2.6.4.	传感器刚度和自振频率	1 9
第三章	传感器过负荷防护	2 1
3.1.	概 述	2 1
3.2.	静载过负荷防护	2 1
3.2.1.	S形传感器过负荷防护结构	2 3
3.2.2.	梁式传感器过负荷防护	2 4
3.2.3.	柱式传感器过负荷防护	2 5
3.2.4.	环式传感器过负荷防护	2 6
3.2.5.	防护间隙测量	2 6
3.2.6.	防护杆(垫)问题	2 7
3.3.	传感器的动态过负荷防护	2 8
3.4.	过负荷安全防护	3 0
第四章	传感器的加荷系统	3 2
4.1.	概 述	3 2
4.2.	影响传感器测量精度的因素	3 2
4.3.	传感器加荷系统	3 6
4.3.1.	柱式传感器的加荷系统	3 8
4.3.2.	拉式传感器的加荷系统	4 4
4.3.3.	剪切梁式传感器的加荷系统	4 5
第五章	传感器安装	4 8
5.1.	概 述	4 8
5.2.	由底座引入的误差	4 8
5.3.	安装螺钉及紧固力造成的误差	4 9
5.4.	传感器安装	4 9
5.5.	关于安装螺钉	5 0
第六章	秤台紧固及限位	5 3
6.1.	概 述	5 3
6.2.	紧固器综述	5 3
6.3.	秤台紧固系统	5 5

6.4	由紧固器引入的测量误差	5 7
6.5	常用紧固器形式	5 7
6.5.1	尾端带螺纹的杆式紧固器	5 8
6.5.2	尾端带轴承的杆式紧固器	6 0
6.5.3	滑动配合杆式紧固器	6 0
6.5.4	板带式紧固器	6 2
6.6	秤台限位器	6 2
第七章	几种由传感器组成的电子秤	6 4
7.1	概 述	6 4
7.2	吊车秤	6 4
7.2.1	传感器安装部位	6 4
7.2.2	新型吊车秤	6 5
7.3	无坑秤	6 7
7.3.1	无坑汽车秤、平台秤	6 7
7.3.2	台秤	6 8
7.4	料斗秤	6 9

第一章 概 述

对力和物料重量的测量自古以来在人类经济生活、物质生产、商品交换及生产建设等方面均占有重要的地位。

随着科学技术的不断发展，对力及物料的计量又成了生产过程控制、产品成份配比、节能、质量管理及生产管理等部门中不可缺少的技术措施。对力的自动检测及对物料重量的计量自动化是实现生产过程控制自动化及生产管理现代化的必要条件之一。

对力及物料重量的自动检测就是通过测力称重传感器（或称负荷传感器）将此物理量变换成相应的电量，然后经过仪表或直接送到数据处理环节进行处理。其相应的经过变换的信息根据需要作为指示仪表的示数，或者作为控制系统的反馈信息控制生产过程，或者作为统计记录。

几乎各行各业都会遇到测力和称重问题。往往此种测量问题一旦解决，就会使生产或管理取得一重大发展。例如在冶金系统中，带钢轧机如何保证钢板的厚度误差在允许的范围内是生产中的一个关键问题。此问题不解决无论是产品质量还是产量都将是低水平的。目前现代化钢板轧机均装上了轧制压力测量仪。轧制压力测量仪包括测力传感器及二次仪表。它将生产过程中轧制力的变化送到控制器去，经过控制器将此信息与其它有关信息进行运算后算出瞬时钢板厚度，并求出与给定厚度的偏差。执行机构根据此偏差对压下装置进行调整，使其厚度差一直保持在给定范围内。由于采用了这种测力装置及厚度调节系统，以每秒十几米至几十米轧制速度轧制的钢板，其沿长度方向钢板厚度偏差只有 ± 0.05 毫米左右。轧制力测量的应用为钢板生产现代化奠定了基础。

其它部门的力参数测量同样具有非常大的使用价值。例如铁路系统中道岔转换时的力的大小反映了道岔安装维护质量，是保证列车安全运行的一个重要参数。通过测力传感器定期检验可以使道岔处于良好状态防止行车事故。其它如机车牵引力的测量、工程机械中的力参数测量等均对经济建设、工业生产具有重要的作用。

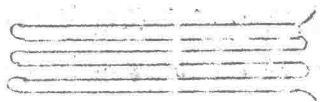
电子秤现在已被社会上所公认它能完成一般机械秤所不能实现的许多计量问题。国内对电子秤已不是研究它能否秤量而是对它提出完成更多的功能及长期稳定的要求。随着国民经济的不断发展，它要求电子秤能快速、自动、多路及连续地完成各种物料计量。其中许多问题已不是原始状态的负荷传感器加二次仪表所能完成的，现在需要的是组成一个称量系统。它不仅完成称量，而且要控制被称料的输入、输出及数据传输等。

无论是测力或是称重系统配有何种功能的仪表、微处理机、记录及控制设备。它们的基本测量元件仍是以负荷传感器（以下均简称传感器）为基础。传感器像人的五官一样不断的感受着外界传来的各种信息，并传输至后续变换及处理环节以组成完整地称量系统。传感器的质量优劣将直接影响到称量精度及可靠程度。

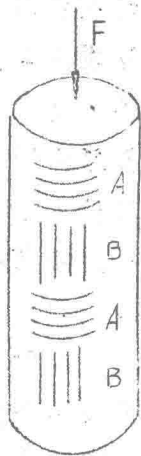
目前使用的传感器最通用的为电阻应变式负荷传感器。传感器的基本结构如图1所示。它是在一特制的弹性体上（它可以是金属或其它材料）粘贴着如图中所示的电阻应变片。

当外加负荷 F 作用于弹性体上时，弹性体将产生微小的变形。它使弹性体变短及变粗。其直径变化使电阻片A的阻值增加。同样，长度变短使电阻片B的电阻值变小。这些电阻阻值变化可由电阻片组成的应变电桥检测出来。电桥的输出和外加负荷 F 的变化基本成线性关系。

实际使用的传感器形式是多种多样的。人们为了满足测量的需要，设计了各种形式的弹性体结构及其它附件，同样也发展了各种形式的电阻片。目前已能做



1A 电阻片



1B 传感器

图 1

到精度为 $0.015 \sim 0.03\%$ 的称量用传感器及额定负荷高至 8,000 吨的测力传感器。

使用传感器的目的是取得一定精度的测量。目前所谓的精度是在标准环境条件下得出来的。它是在一定的温度、湿度及大气压力的实验室中用已知精度的测力机上检定得出。这种在理想条件下取得的精度能否在实际使用中得到重视将取决于多种因素。传感器在设计制造时已经有意识地使其不受温度、湿度、大气压力及非测负荷的影响。但实际组成的传感器往往达不到预期效果，尤其是最后一项，多数传感器达不到预期的精度。

非测负荷是指加于传感器上的负荷除被测负荷外，它尚伴有水平负荷、扭矩及弯曲等因素。产生非测负荷的原因很多，它包括实际测量的负荷中伴有非测负荷及由于加荷条件引起的分力造成的。有时因传感器结构、加荷装置结构设计得不合理也会产生偏心、非均匀布及弯矩等传感器自身产生的因素。

对于一从事测力称重工作的技术人员来讲，其一个重要的任务就是：根据待测力或重量的形式及精度要求选择合适的传感器，并根据传感器的特点配以力传递系统及如称台之类的承受负荷的装置，以重现传感器的精度。

本文就是从这几个方面进行讨论，介绍一些基本概念，基本原则及一些行之有效的使用方法以供参考。

第二章 传感器分类及特性

2.1 传感器分类方法

传感器的种类繁多，无论是按用途分类、按精度分类还是按结构形式分类都可以列出一个很长的清单。在实际应用中无论是按用途分类或是按结构形式分类，它都包含有精度问题。为此，下面的分类与一般计量的分类不同，即不是按精度分成高精密、精密及普通精度各级，而是从计量实际应用出发，分别按其用途及结构形式分类或是按传感器测量负荷时的应力性质分类。

鉴于没有见到有关的分类专著，本书中介绍的分类型一方面不一定概括了传感器的用途或结构形式，另一方面在分类法上也是不成熟的，有待今后进一步发展和探讨。

2.2 根据用途分类

根据传感器的使用范围它大致可分为

2.2.1 力传递用传感器

用于力传递用传感器又称作标准传感器。它是以牛顿来标志其承受负荷的单位。它主要用来进行测力机间的比对或在一般力源上作为负荷标准。它是当前对传感器进行无砝码检定的重要标准器具。

这种用途的传感器要求具有高精度或超高精度的精度，它还必须具有长期的灵敏度稳定性。

目前国内在研制和生产这种类型的传感器方面仍是一个空白。现在多数在用的是引进的产品。研制标准传感器问题已引起国内有关单位的重视，估计最近几年便将有产品供应。

2.2.2 称重传感器

这种传感器主要用途是用于电子秤。根据计量部门对秤的要求，电子秤用传感器必须具有足够高的精度，一般为 $0.03 \sim 0.1\%$ F.S。为了适应不同的工作环境，传感器应具有较宽的使用温度范围及抗水平力作用的能力。

适合于组成电子秤的传感器结构形式很多，选用何种形式的传感器则应根据称量精度、周围环境条件附加非测负荷的性质及传感

器安装部位的空间尺寸等因素来确定。

2.2.3. 测力传感器

这种形式的传感器是用来检测物体或机构在力源的驱动下产生运动所受的力值大小。它是工、交、农业等各行各业普遍用来检测机械设备、土木建筑结构等系统的有关力参数。它是过程自动控制中的一个重要自动化元件。

由于测力的用途非常广泛，各种机构的条件也是千变万化，测力传感器除一些与电子秤传感器具有标准形式的外，在实际上应用的力传感器必须满足一个安装条件，即：传感器尺寸及外形必须与被测设备有较好的吻合。

这种类型的传感器由于其用途特点，它只需具备0.1~1 % F.S 的精度就可以，而其它指标如长期稳定性、过荷能力、可靠性及抗外界环境干扰能力等则必须足够高。对精度及后叙的能力应具备到何种程度，应视具体条件而定。

在测力传感器中，由于其用途差异很大，它又可以分为：单向力传感器、多分力传感器及特殊力学传感器。下面分别进行简单介绍。

A. 单向力传感器

这种形式的传感器的输出与沿传感器加荷轴线方向施加于其上的负荷成正比。它对非轴向施加的负荷有抑制能力而无输出或输出甚小。

这种类型的传感器在本质上与称重传感器是一样的，只不过称重传感器更侧重于精度，而测力传感器更着眼于与被测设备相配合。在一般测力情况下均选用一般与称重传感器毫无区别的负荷传感器。

B. 多分力传感器

这是一种新发展起来的测力传感器分支。

在实际测力过程中往往遇到的不是如前所述的单向力，而多数情况下是多向力即 P_x , P_y , P_z , M_x , M_y 及 M_z 。使用单向力传感器测量多向力的作用结果将引入很大的误差。例如：机床的切削力，它要测出工件对传感器的垂直压力、刀行走方向的水平力及因切

削刀具受到的力矩等。如果使用单向力传感器将无法测量。有些被测量的机构一直处于运动状态，传感器从几个座标方向受到变化的负荷，在这种情况下只能使用多分力传感器才能检测出机构的真正受力状况。

多分力传感器中又根据测力的数量分成不同的种类，例如测量 X 、 Y 向力的两分力， X 、 Y 、 Z 向的三分力以及在三分力基础上加上两个弯矩及一个扭矩的六分力传感器等。

由于多分力传感器只需要一个传感器便可同时测出多至六个分力的力参数它特别适用于测量各种机构在运动过程的受力，目前已受到国内外有关单位的重视并开始得到应用。国内用的最多的部门是机械制造业。国外则除用于机械制造业外也用于石油勘探、农业机械航空发动机等领域。

多分力传感器目前没有通用的标准形式。它一般以专用传感器的形式出现，例如切削力传感器、铣削力传感器等。

这种形式的传感器更侧重于做成被测设备的一个部件。其精度则受到各分力间相互干扰的影响，因而评价多分力传感器的质量指标时首先考虑的是分力间干扰程度。

C. 特种力传感器

现在测力已以原来的专门用于机械、建筑等领域扩展到用来研究像骨骼的受力，肌肉在运动时的受力及呼吸压力等生物力学等领域。因而，在测力传感器的分支中又多了一个新的品种——生物力学传感器。

在特种传感器中还有像压力传感器等也应属于一些特殊用途的传感器。

2.3 按传感器机械结构形式分类

电阻应变式负荷传感器最早的用途是测力。只是随着传感器制造技术的不断提高及电子秤的出现才发展了用于称重传感器。出于测力的原因，传感器弹性体一般均设计成机件另件形式，如杆、梁、销、环、垫圈及底座等形式。有的传感器弹性体虽做成了其它形式，但多数通过外壳等将其变换成上述形式。

所谓按机械结构形式分类，一方面是根据其外形，另一方面是考虑到电阻片在弹性体上的变形性质来划分。其中有许多相互交叉的如现在通用的筒式传感器与垫圈式传感器只是在外形的高低上略有区别，两者的工作原理均与柱式传感器相同。因此，在分类时将三者分在一类。

2.3.1 杆类传感器

杆类传感器一般具有拉压灵敏度一致（严格地说的不一致的），它既可用于拉力测量也可用于压力测量。

杆类传感器弹性体结构是一根具有一定长度的杆，负荷作用于杆的两个端面。电阻片如图1所示的在杆的侧表面上一横一竖的粘贴着。其工作原理如前所述。

实际的杆类传感器包括有柱式传感器、筒式传感器、垫圈式传感器、复合柱式传感器等多种形式。

A. 柱式传感器

柱式传感器的弹性体如图1所示。一般为了改善传感器性能，多数弹性体是装于外壳中并加了抗横向力的膜板。图2画出了一种柱式传感器的结构形式。柱式传感器的截面除了圆形外尚有方形、矩形等形状。

与柱式传感器相似的，并且是由柱式传感器演变而来的筒式传感器是许多传感器生产厂的传统产品。图3画出了筒式传感器的典型结构。

柱式及筒式传感器因其结构是细长杆，因而为避免水平力造成的附加弯矩影响传感器精度。所有传感器必须加抗横向力膜片。图2清楚的表明了这一点。

B. 垫圈式传感器

垫圈式传感器是一种大截面低外形的筒式传感器。把它单独划分出来是由于它主要用来检测大负荷。

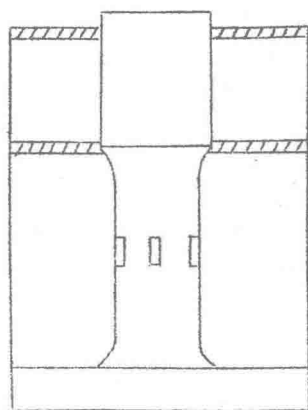
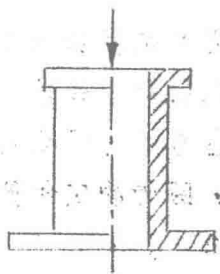


图2 柱式传感器

另外，因为其外形低，它所受的力学干扰性质与柱式或筒式有很大区别。处理垫圈式的安装与加荷方式有其特殊性。

图4画出了用来测量轧钢机轧制力的垫圈式传感器。



C. 复合式柱式传感器

为了改善柱式或筒式传感器的性能及降低传感器的高度，许多厂家发展了多种结构形式的多柱式复合传感器。它是用多个立柱代替原来的立柱或是圆筒。图5画出了几种复合式柱式传感器结构示意图

采用多个立柱使得在外加负荷时弹性体产生的应力集中于几个立柱上。这样做的优点是提高了横向刚度，减小了水平负荷对测量精度的影响；将应力集中于几个立柱上，减小了非均布负荷，偏心负荷等引起的应力分布不均匀产生的测量误差。采用复合式可以降低柱式传感器高度，提高传感器自振频率，减小动态误差。

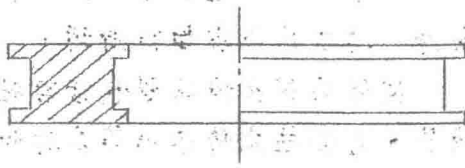


图4 垫圈式传感器

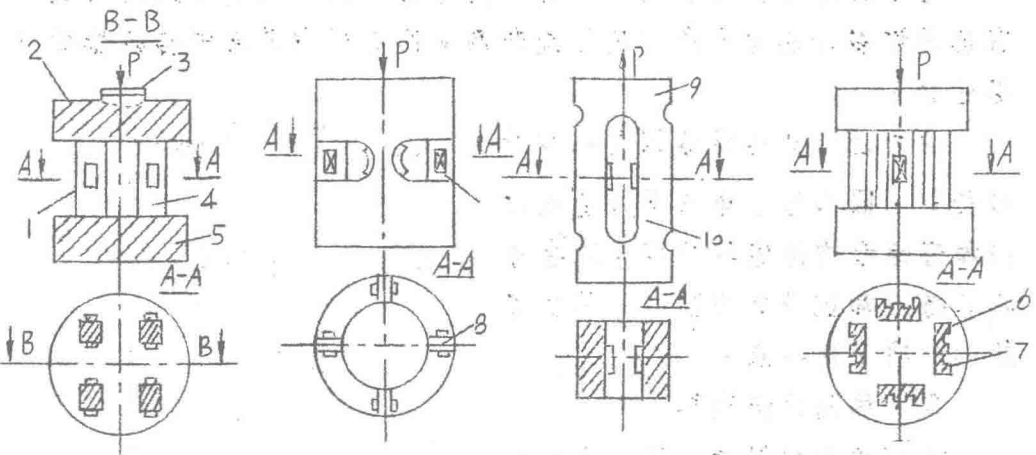


图5 复合柱式传感器

2.3.2 梁类传感器

梁类的传感器像杆类传感器一样在测力和称重系统中得到了广泛的应用。

属于梁类传感器包括悬臂梁式、S式、平行梁式（双联孔式）、简支梁式、销式、双端嵌入梁式及复合梁式等多种形式。

由于梁类传感器易于安装、拉压灵敏度一致、外形低、承受负荷的范围宽等优点，近几年用于称重的传感器采用这种形式的越来越多。尤其是在高精度传感器中其优点更为突出。

A. 悬臂梁式传感器

悬臂梁式传感器的一端与基础作刚性固定。其另一端为加荷端，外加负荷直接作用于此加荷点。图6画出了二种当前用得最多的悬臂梁式传感器。

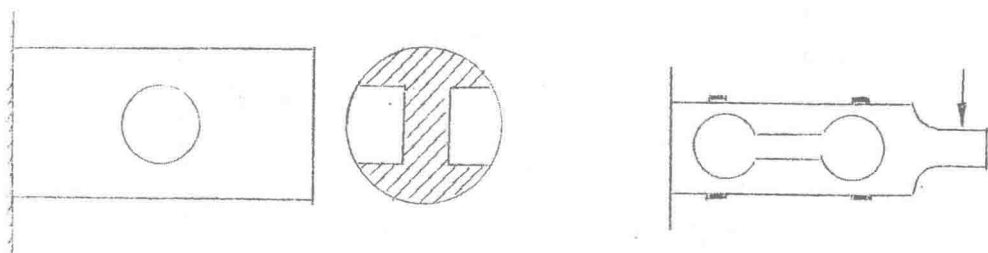


图 6 a

图 6 b

图 6 悬臂梁式传感器

图6 a为剪切梁式传感器,图6 b为平行梁式传感器。前者多用于0.5吨至50吨的量程范围,而后者则多用于几十公斤的称量装置上。这两种形式的传感器除具有前述的优点外,它们对于加荷作用点位置的变化不敏感,都具有高的测量精度和抗水平力作用的能力。图7示出了两种由悬臂梁、外壳及弹性膜片组成的外形如柱式一样的传感器。由于加了弹性膜片,其抗水平力的能力进一步得到提高。

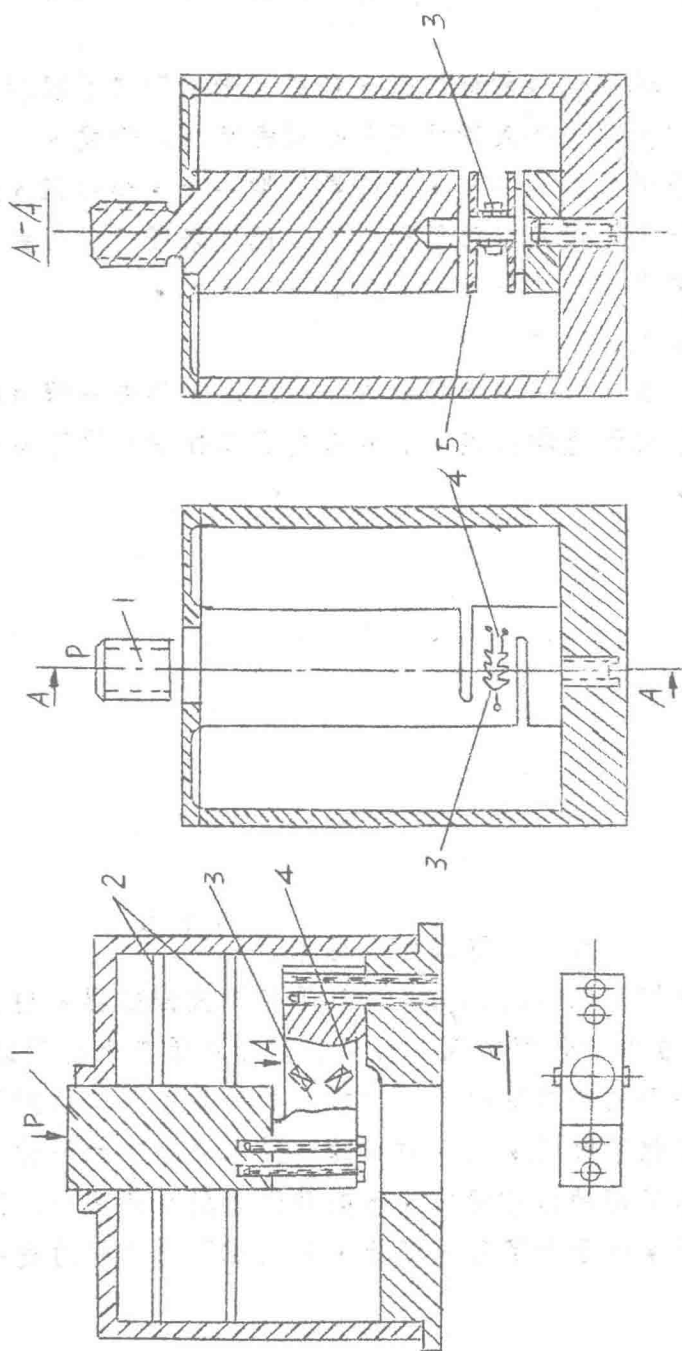


图7 加膜片臂梁式传感器

B · 简支梁及两端嵌入梁式传感器

这种形式的传感器包括销式传感器及国内称之为桥式传感器等形式。它是在梁的两端固定在中部加荷，也有的是在梁的中部固定在梁的两端加荷。前者为两端嵌入型，后者为简支梁型。图8示出了几种典型的形式。

这种形式的传感器结构简单，安装使用方便，新近发展起来的还具有精度高，抗横向力能力强等特点。它是一种用途广泛的新型称重传感器。

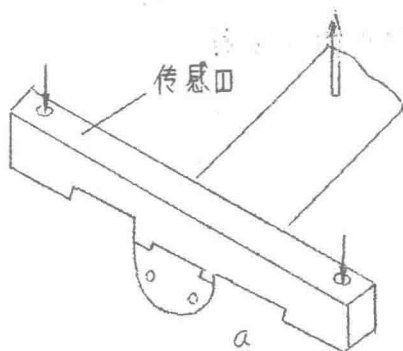


图 8 a

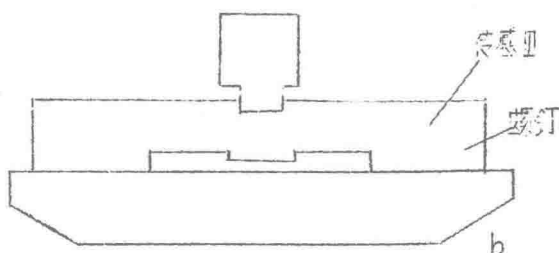


图 8 b

图 8 简支梁及二端嵌入梁式传感器

当前用作称重用的传感器以剪切式的为多，图9示出了两端嵌入及简支梁在力学上的区别。由图中可以看出，图9 a 中梁的两端作刚性固定，其弯矩图中有两个过零点，即在此断面处弯矩为零；而简支梁可以看成是两个悬臂梁的组合物，它的弯矩没有过零点。后者对于消除弯矩影响的措施较前者要苛刻一些。

C · 复合梁式传感器

传感器研制单位及制造厂为了改善梁式传感器的各种性能，如增加额定负荷容量、加强传感器刚度、增加梁的抗横向力影响的能力等，往往把几个梁组合在一起的复合梁式传感器。

复合梁式传感器的形式大致按组合方式可分成多层复合梁式传

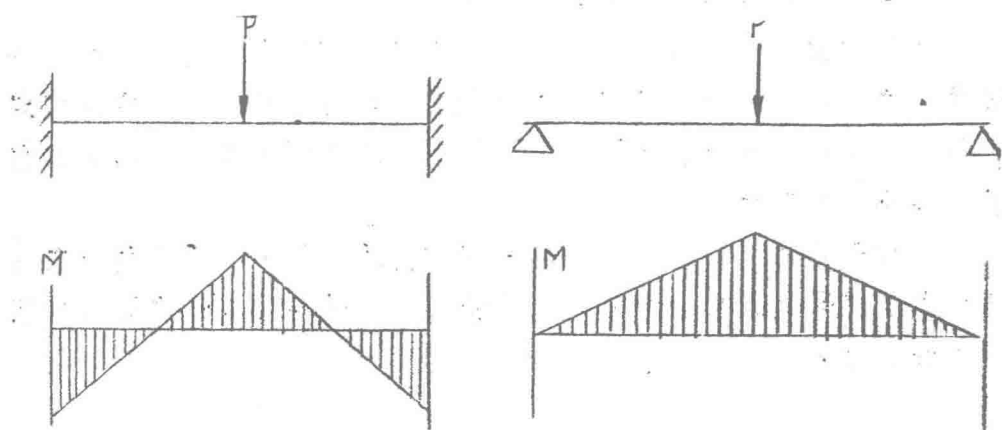


图9 二种剪切式传感器的力学分析

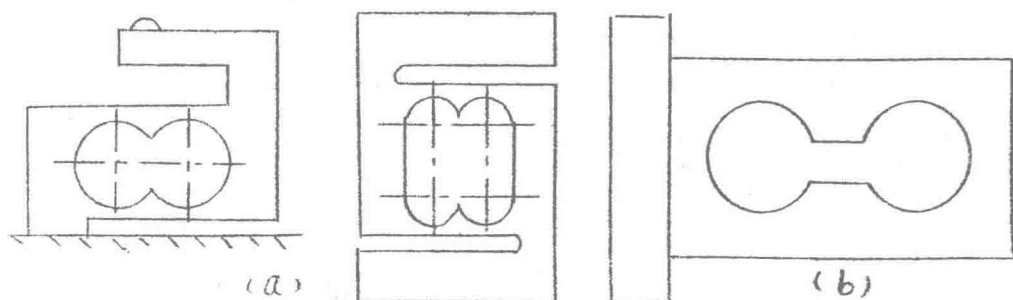


图10a S形传感器

图10b 双联孔传感器

图10 复合梁式传感器

感器(如图10所示),沿圆周分布的复合梁式传感器(如图11所示)井及径向分布的复合梁式传感器(如图12所示)。这些复合式传感器各有其自己的名称,此处的名称只是按分类称呼的。

2.3.3. 环式传感器

环式传感器在国内外称重系统中得到了广泛的应用。国内产品有:由环、压块、弹性板及箱体组成的箱式传感器(又称做诺尔登式传感器),板环式传感器等。

环式传感器是由电阻片粘贴在环形弹性体上而得名。环式传感