



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

应变、力与扭矩的测量

力的测量

主讲：马怀祥

力的测量

1、力的测量原理及方法

1) 测力的基本原理

静力效应：力的静力效应使物体产生变形，通过测定物体的变形量或与内部应力相对应参量的物理效应来确定力值。

动力效应：力的动力效应使物体产生加速度，测定了物体的质量及所获得的加速度大小就测定了力值。

力的测量

2) 常用的测力方法

- 用已知重力或电磁力来平衡被测力
- 通过测量一个在被测力作用下的已知质量
的物体的加速度
- 通过测量由被测力产生的流体压力

力的测量

- 当被测力张紧一振动弦时，该弦的固有频率将随着被测力的大小而改变，通过测量频率的变化
- 通过测量在被测力作用下某弹性元件的变形或应变

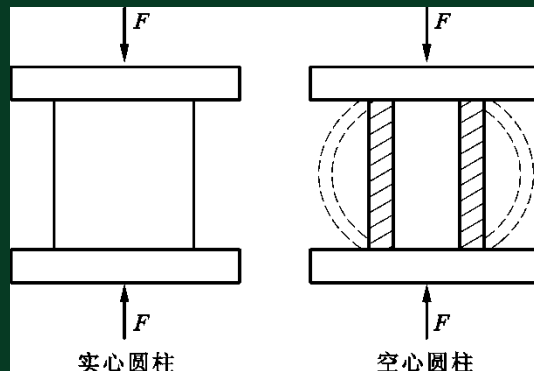
力的测量

2、力的测量装置

1) 电阻应变式测力装置

① 柱式弹性元件

分为实心 and 空心两种。在外力作用下，若应力在弹性范围内，则应力和应变成正比关系，即

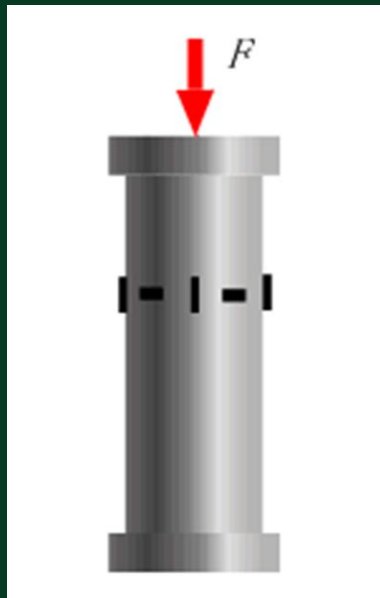


$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{AE}$$

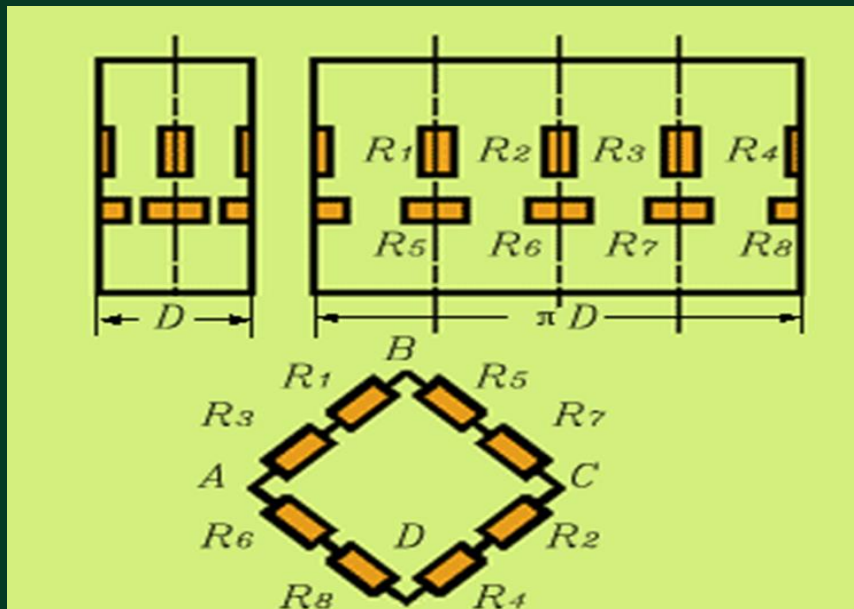
力的测量

通过柱式弹性元件表面的拉(压)变形测力。

应变片的粘贴和电桥的连接应尽可能消除偏心和弯矩的影响，一般将应变片对称地贴在应力均匀的圆柱表面中部。柱式力传感器可以测量0.1~3000吨的载荷，常用于大型轧钢设备的轧制力测量。



力的测量



纵向应变片串联，减小弯矩的影响
横向黏贴的应变片具有温度补偿作用

力的测量

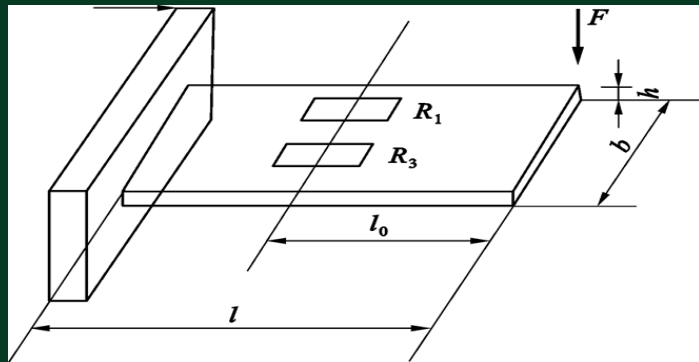
② 梁式弹性元件

梁式弹性元件有等截面梁、等强度梁和等截面双端固定梁等多种形式。

力的测量

等截面梁式弹性元件

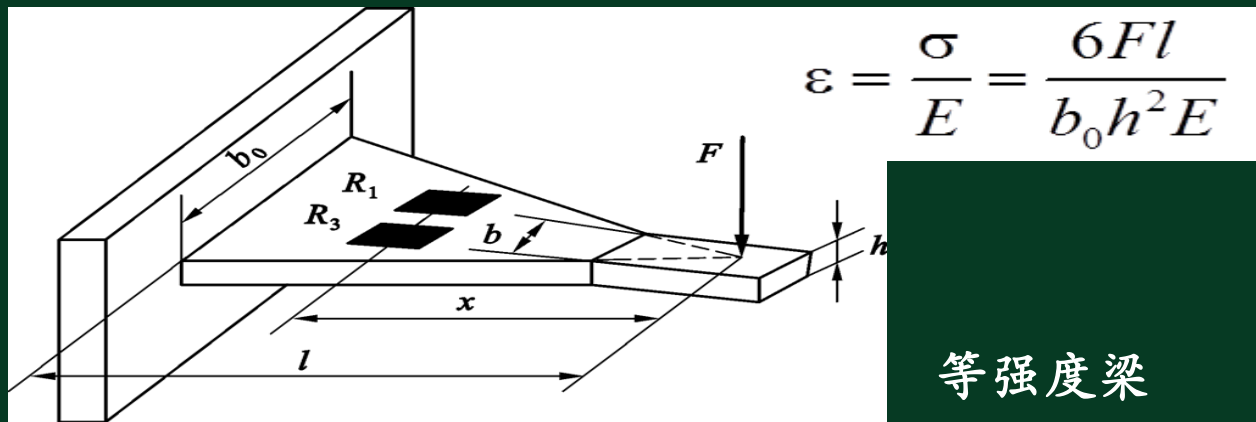
为一端固定的悬臂梁，当力作用在自由端时，刚性端截面的应力最大，而自由端挠度最大，在距受力点为 l_0 的上下表面，沿 l 向贴电阻应变片 R_1 ， R_2 和 R_3 ， R_4 。粘贴应变片处的应变为



$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6Fl_0}{bh^2E}$$

力的测量

等强度梁：梁的截面成等腰三角形，集中力作用在三角形顶点，梁内各横截面产生的应力是相等的，表面上任意位置的应变也相等。



力的测量

用梁式弹性元件制作的力传感器适于测量5000N以下的载荷，最小可测几克重的力。

这种传感器结构简单，加工容易，灵敏度高，常用于小压力测量中。

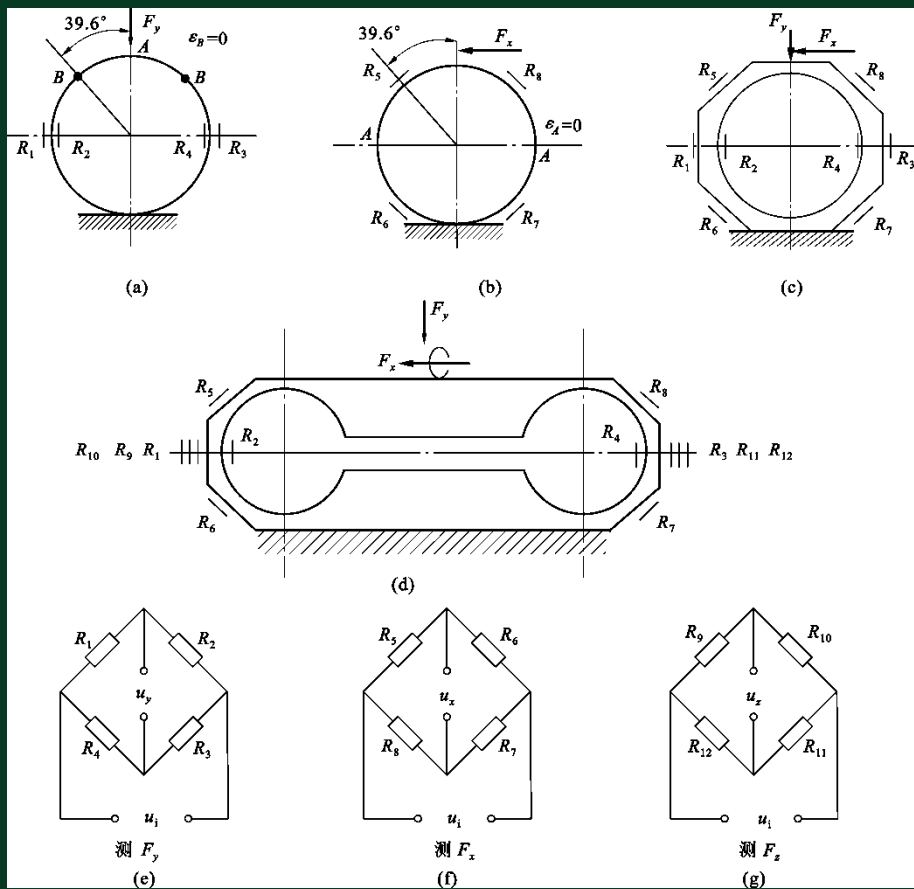
力的测量

③ 环式弹性元件

环式弹性元件主要包括**圆环式弹性元件**和**八角环式弹性元件**。

它也是通过元件的弯曲变形测力，结构紧凑。实际应用如**切削测力仪**。

力的测量

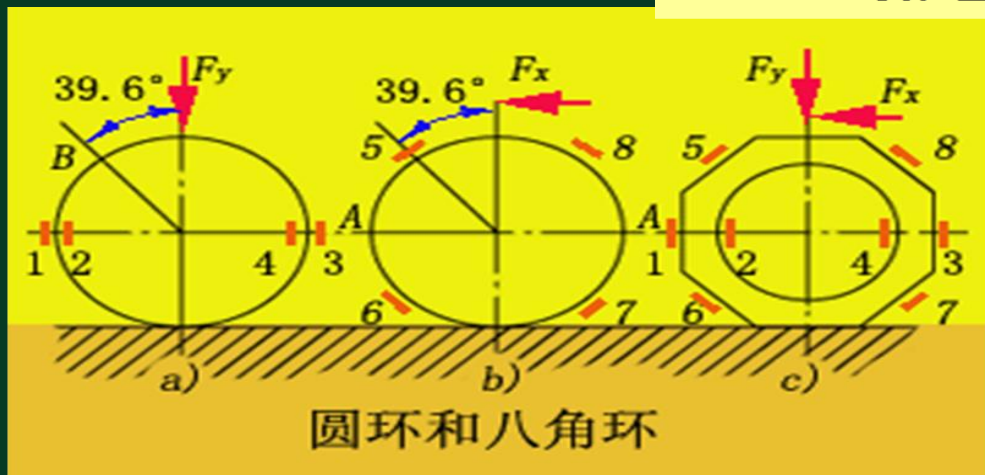


圆环式和八角环式

力的测量

- 1) 在圆环上施加径向力 F_y 时，圆环各处的应变不同，与作用力成 39.6° 处(图中B点)应变等于零。在水平中心线上则有最大的应变。

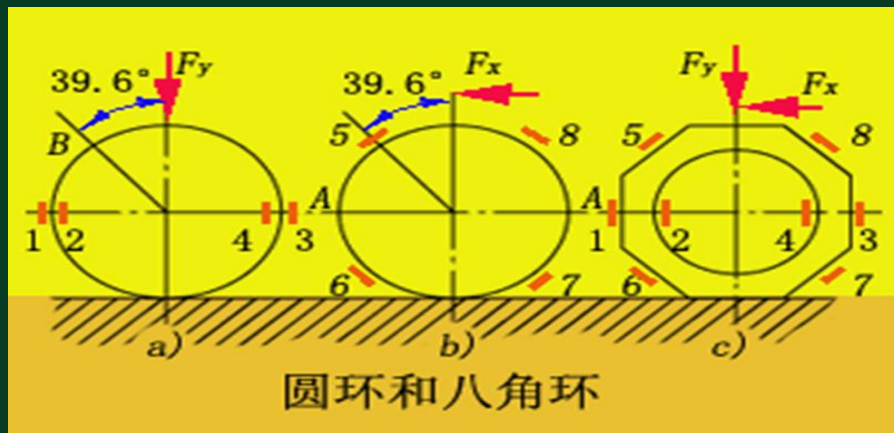
$$\varepsilon = \frac{3F[R - (h/2)]}{bh^2E} \left(1 - \frac{2}{\pi} \right)$$



R 为圆环外径， h 为圆环壁厚， b 为圆环宽度

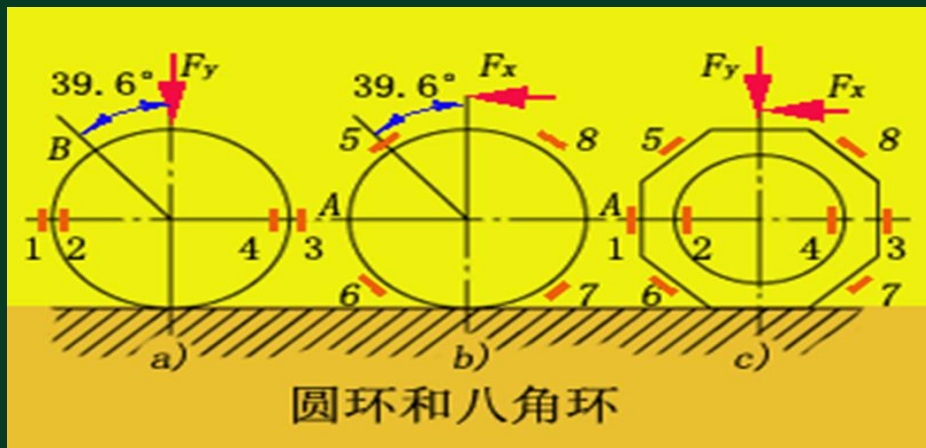
力的测量

2) 将应变片贴在1、2、3和4处，1、3处受拉；2、4处受压。如果圆环一侧固定，另一侧受切向力 F_x 时，与受力点成 90° 处(A点)应变等于零。



3) 将应变片贴在与垂直中心线成 39.6° 的5、6、7、8处，则5、7处受拉，6、8处受压。这样，当圆环上同时作用着 F_x 和 F_y 时，将1~4处和5~8处的应变片分别组成电桥，就可以互不干扰地测力 F_x 和 F_y 。

力的测量



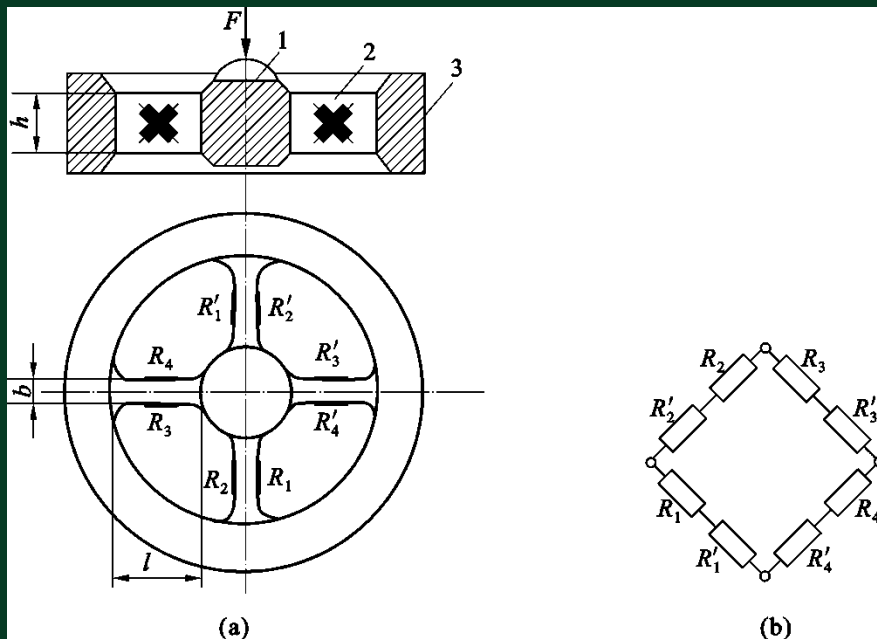
圆环和八角环

4) 由于圆环方式不易加紧固定,实际上常用八角环代替,如图所示。八角环厚度为 h ,平均半径为 r 。当 h/r 较小时,零应变点在 39.6° 附近。当 $h/r=0.4$ 时,零应变点在 45° 处,故一般八角环测力 F_x 时,应变片贴在 45° 处。

力的测量

④ 轮辐式弹性元件

受力状态可分为拉压、弯曲和剪切。

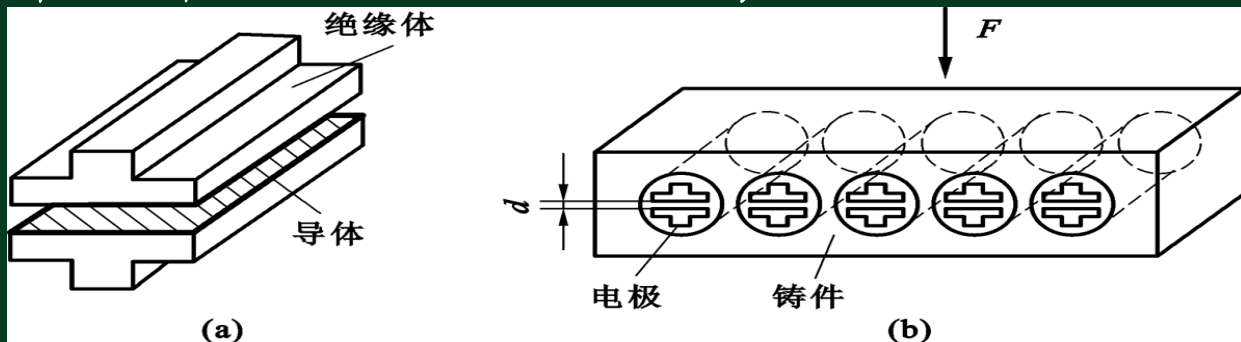


力的测量

2) 其他测力装置

① 电容式力传感器

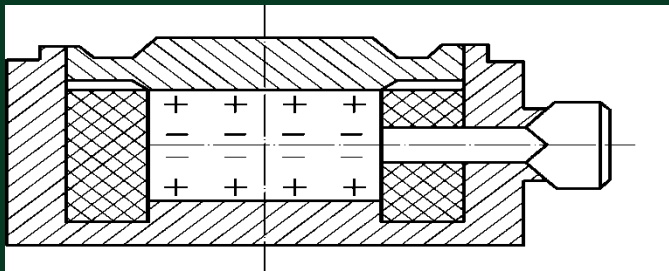
在矩形弹性元件上，加工若干个贯通的圆孔，每个圆孔内固定两个端面平行的丁字形电极，每个电极上贴有铜箔，构成由多个平行板电容器并联组成的测量电路。在力 F 作用下，弹性元件变形使极板间距发生变化，从而改变电容量。



力的测量

② 压电式力传感器

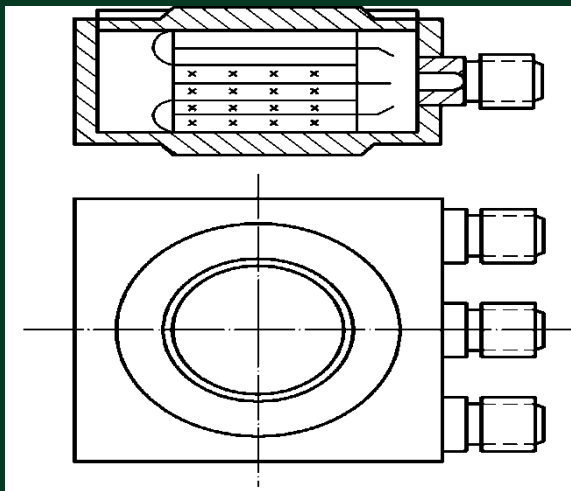
单向压电式力传感器：由基座、盖板、石英晶片、绝缘套以及信号引出插座等组成。采用两片压电石英并联，可使电荷量增加一倍，提高灵敏度。



其特点是体积小，动态响应快，但是也存在电荷泄漏不适宜静态力的测量，应防止承受横向力和施加予紧力。

力的测量

三向压电式测力传感器：由三对不同切形的压电石英片组成，其中一对具有纵向压电效应，可测主切削力 F_z ，另外两对具有横向压电效应，方向互成 90° ，可以实现 F_x 、 F_y 的测试。



力的测量

③ 压磁式测力仪

由硅钢等铁磁材料制成的铁芯在机械力的作用下磁导率会发生变化。称为**压磁效应**。

力的测量

压磁效应：

某些铁磁材料受压缩时，其导磁率沿应力方向降低，而沿着与应力垂直的方向则增加。

材料受拉时，其导磁率变化正好相反。

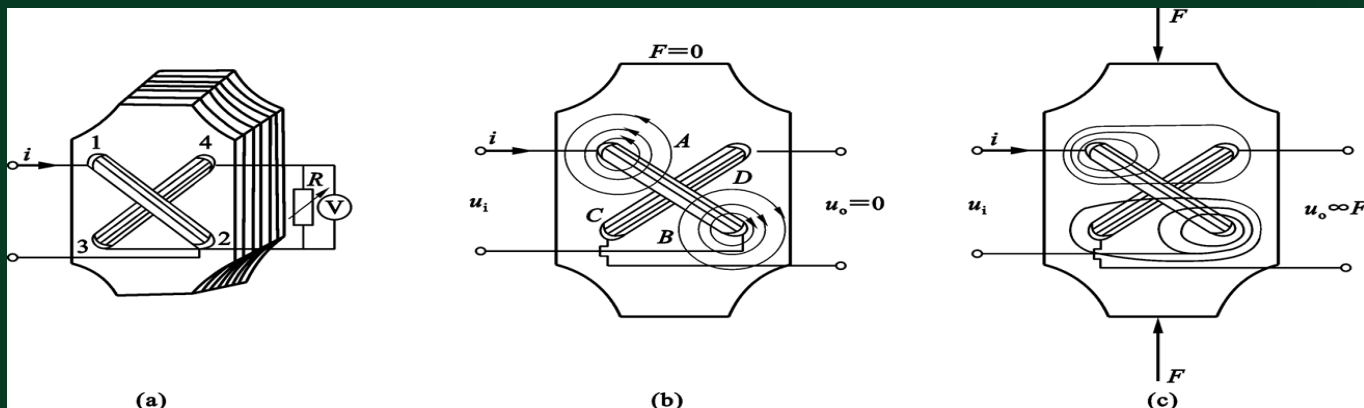


力的测量

如图 (a) 所示, 在铁芯上布置一对线圈——励磁线圈和测量线圈, 两线圈的平面互相垂直。

在无外力作用的情况下, 励磁线圈中心交流电流所建立的磁场对测量线圈没有输出, 如图 (b)。

当外力作用在铁芯上时, 铁芯导磁率发生改变, 则测量线圈被励磁线圈中的磁场交链而输出和外力大小成比例的信号, 如图 (c)。



压磁式测力仪

小结



在线开放课程

掌握力的测量原理及基本方法

