

第三章

过程装备控制技术应用

过程检测技术

目 录

CONTENTS

■ 3.1

测量基本知识

■ 3.4

温度测量

■ 3.7

液位测量

■ 3.2

误差

■ 3.5

流量测量

■ 3.3

压力测量

■ 3.6

转速和转矩测量






■ 3.6 转速和转矩测量

转速和转矩表征了各种机械的生产能力、功率消耗、机械效率和机械寿命等性能。

一、转速测量

- 离心力式转速传感器
- 电磁式转速传感器
- 直射式光电转速传感器
- 光断续式转速传感器
- 电涡流式转速传感器
- 霍尔式转速传感器

二、转矩测量

- 应变式转矩传感器
 - 磁电式转矩传感器
- 

■ 3.6 转速和转矩测量

一. 转速的测量

1. 离心力法

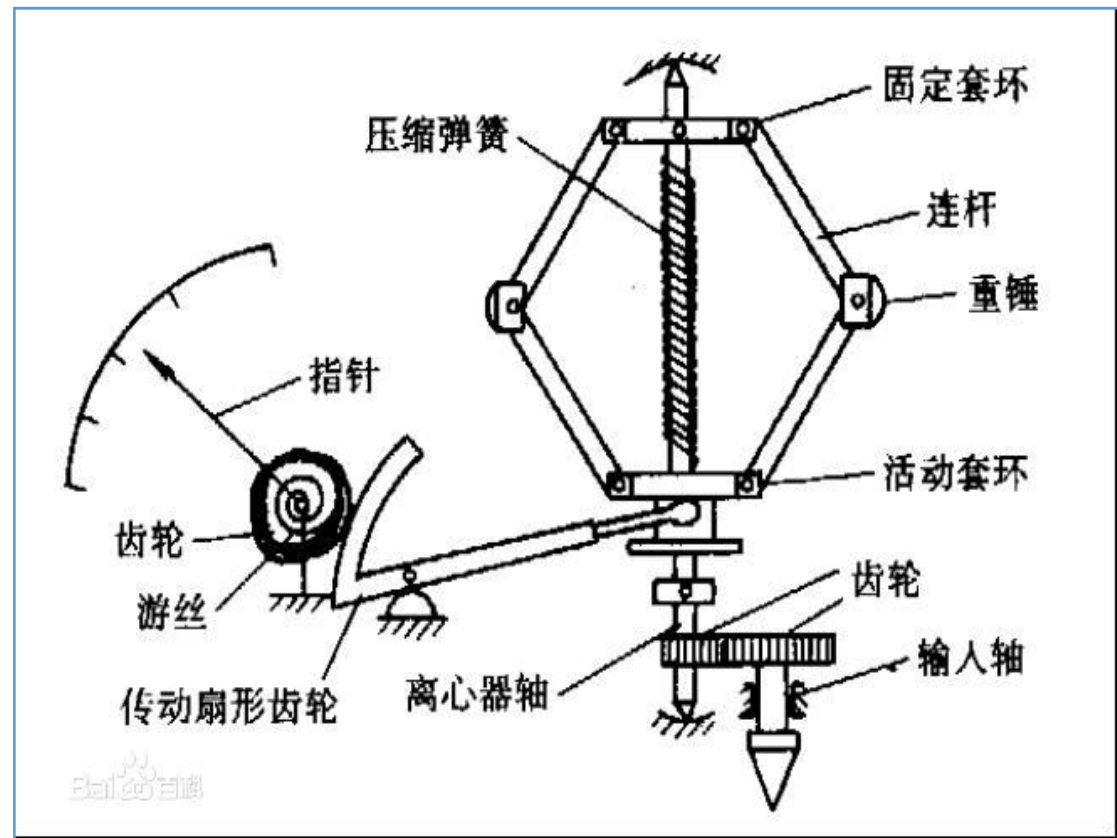
$$f = mr\omega^2$$

f —离心力;

m ---质量;

r ---矢径;

ω ---角速度。



当离心机旋转时，重锤随着旋转所产生的离心力通过连杆使活动套环向上移动并压缩弹簧。当转速一定时，活动套环向上的作用力与弹簧的反作用力相平衡，套环将停在相应位置。同时，活动套环的移动通过传动机构的扇形齿轮传递给指针，在表盘上指示出被测转速的大小。

■ 3.6 转速和转矩测量

离心式转速表

- ◆ 离心力与旋转角速度的平方成正比，因而离心式转速表的刻度盘是不等分度的。
- ◆ 便携式转速表通常利用变速器来改变转速表的量程。
- ◆ 在这种转速表的表盘上通常标有两列刻度，如分度盘的外围标有3~12，内圈标有10~40，它分别适用于两组量程。



■ 3.6 转速和转矩测量

2. 磁电式转速传感器

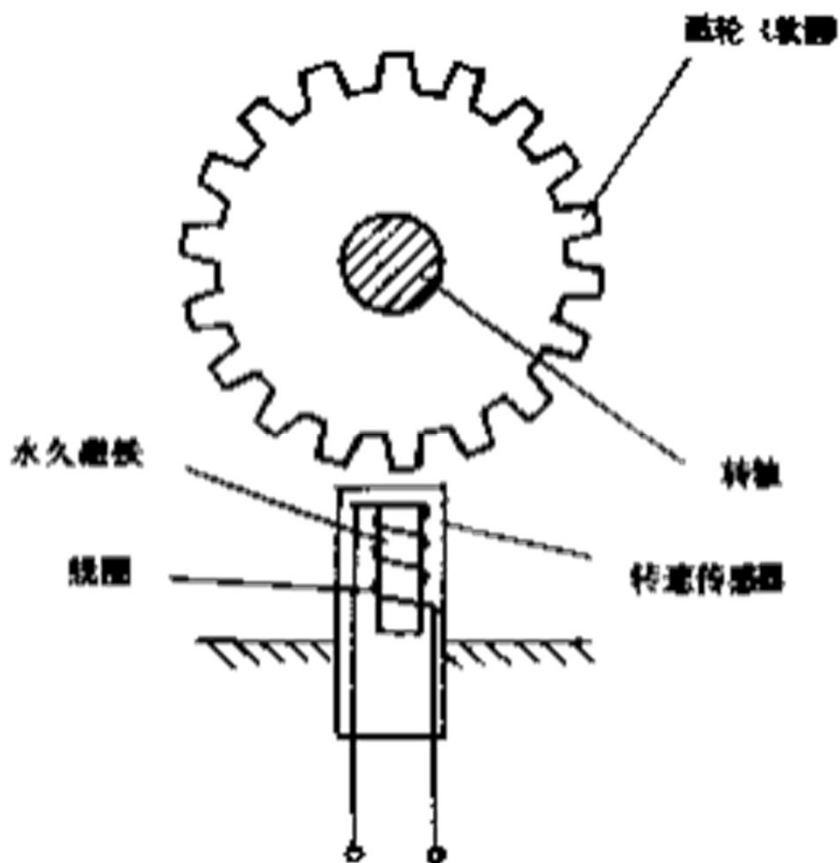
$$e = N \Delta \phi / \Delta t$$

e — 感应电动势；

N — 线圈匝数；

ϕ — 磁通量；

t — 时间。



■ 3.6 转速和转矩测量

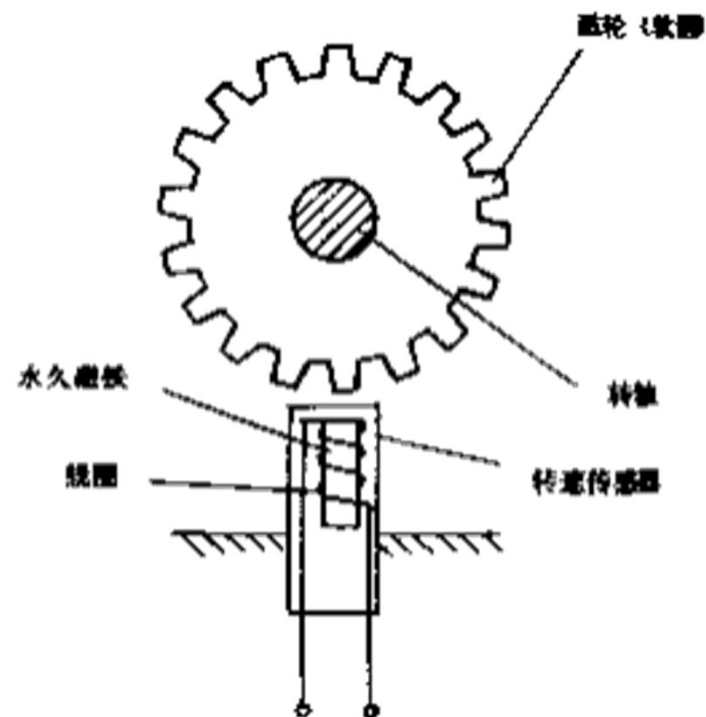
$$f = Z \cdot n$$

Z—齿轮齿数

n—齿轮转速

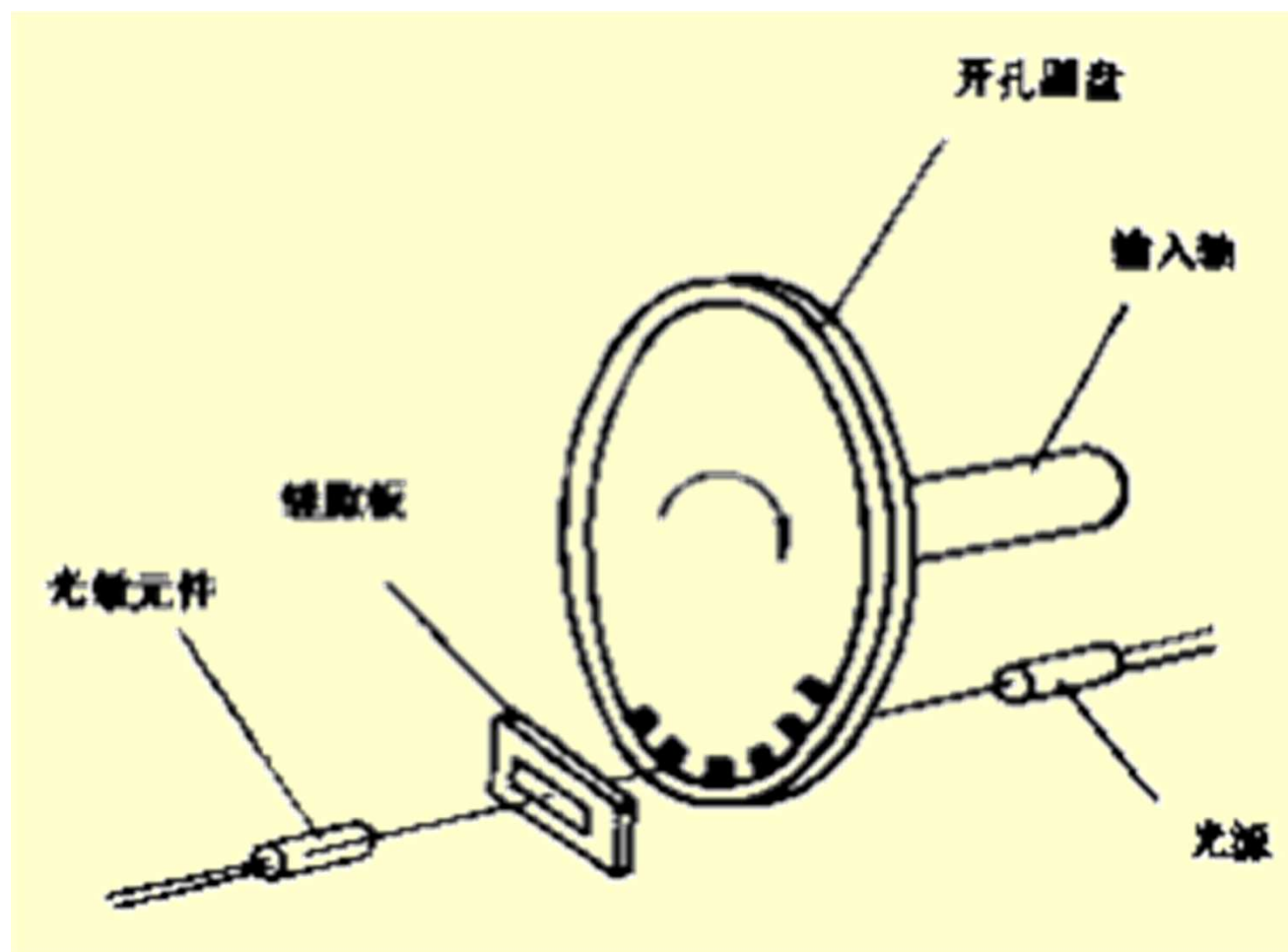
f—脉冲频率

$$n = \frac{f}{Z}$$



■ 3.6 转速和转矩测量

3. 直射式光电转速传感器



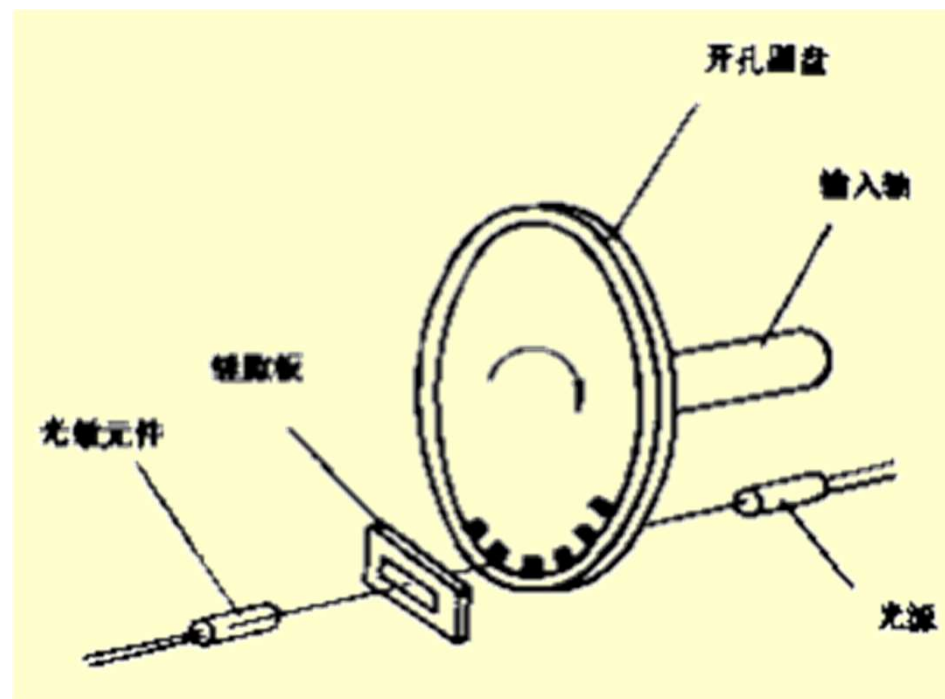
■ 3.6 转速和转矩测量

$$n = \frac{f}{Z}$$

Z —圆盘开孔数

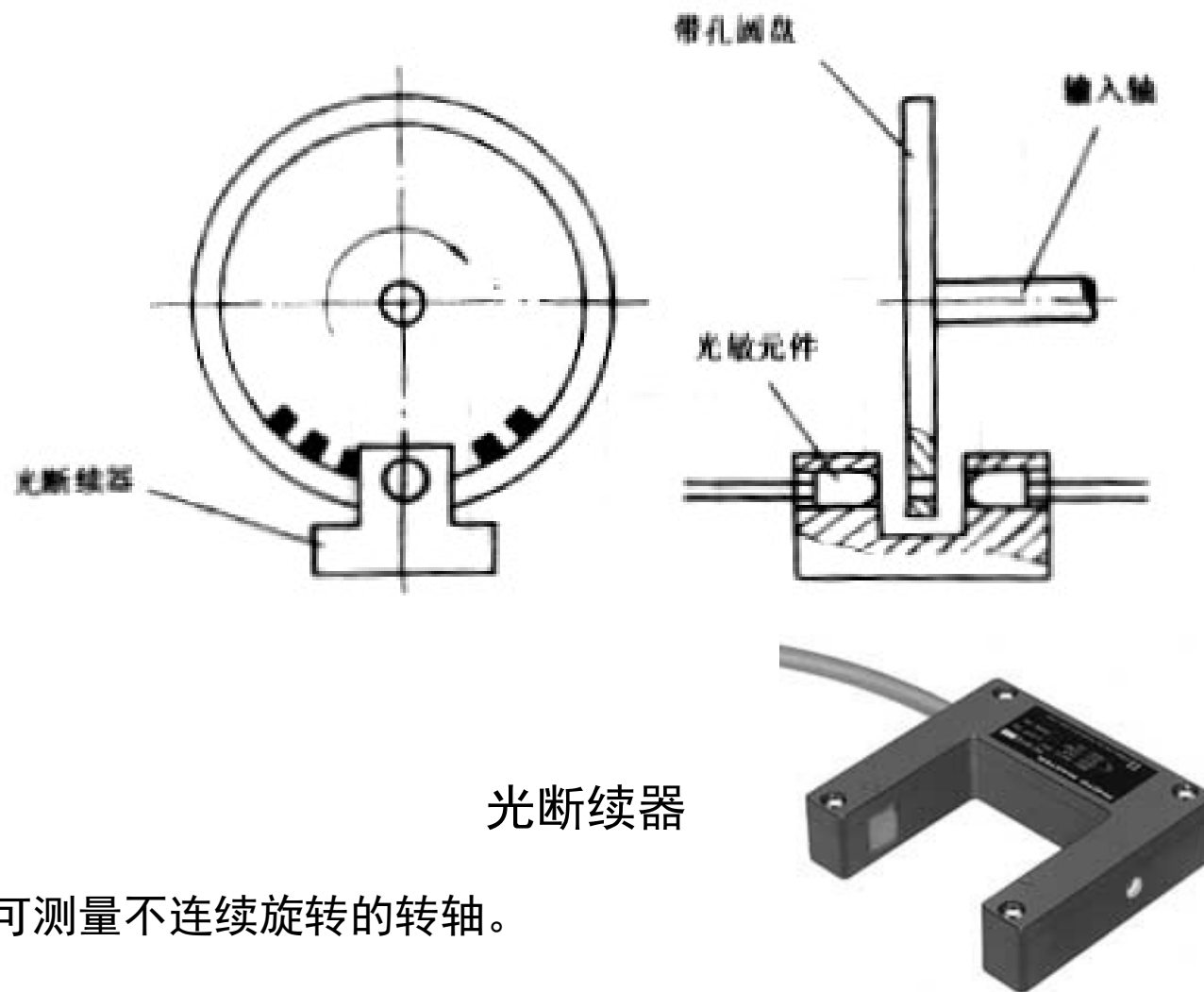
n —齿轮转速

f —脉冲频率



■ 3.6 转速和转矩测量

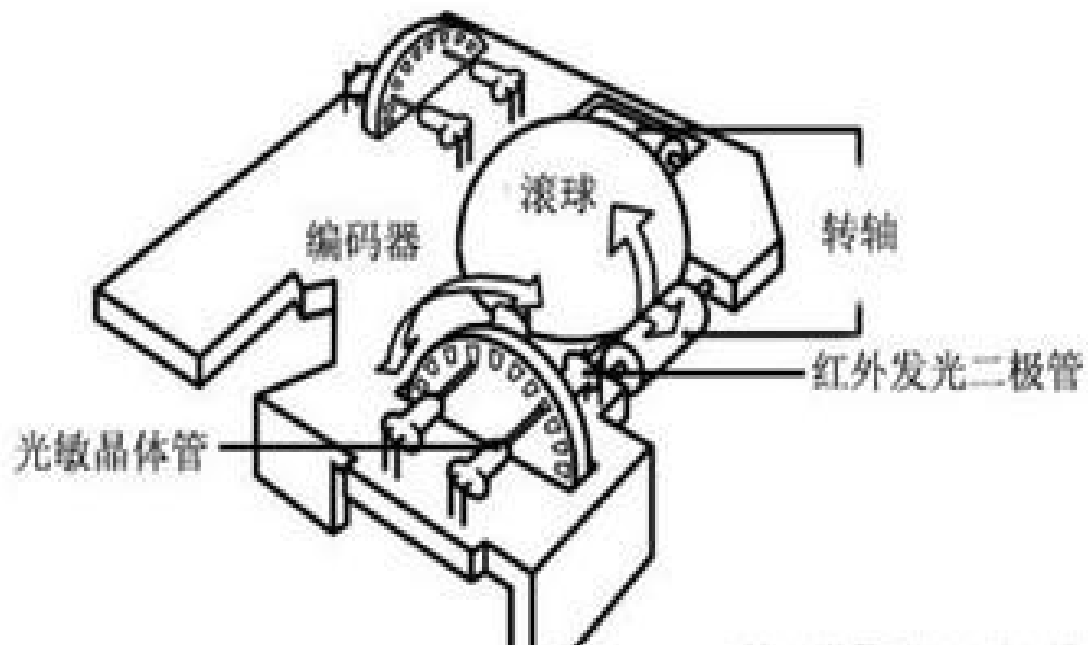
4. 光断续式转速传感器



■ 3.6 转速和转矩测量

机械式鼠标

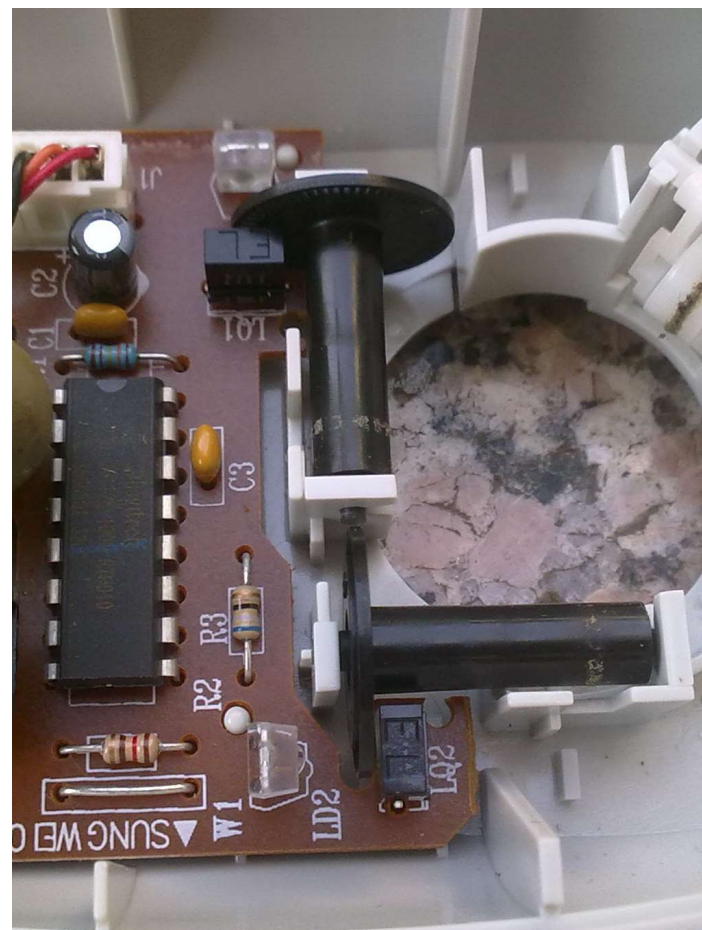
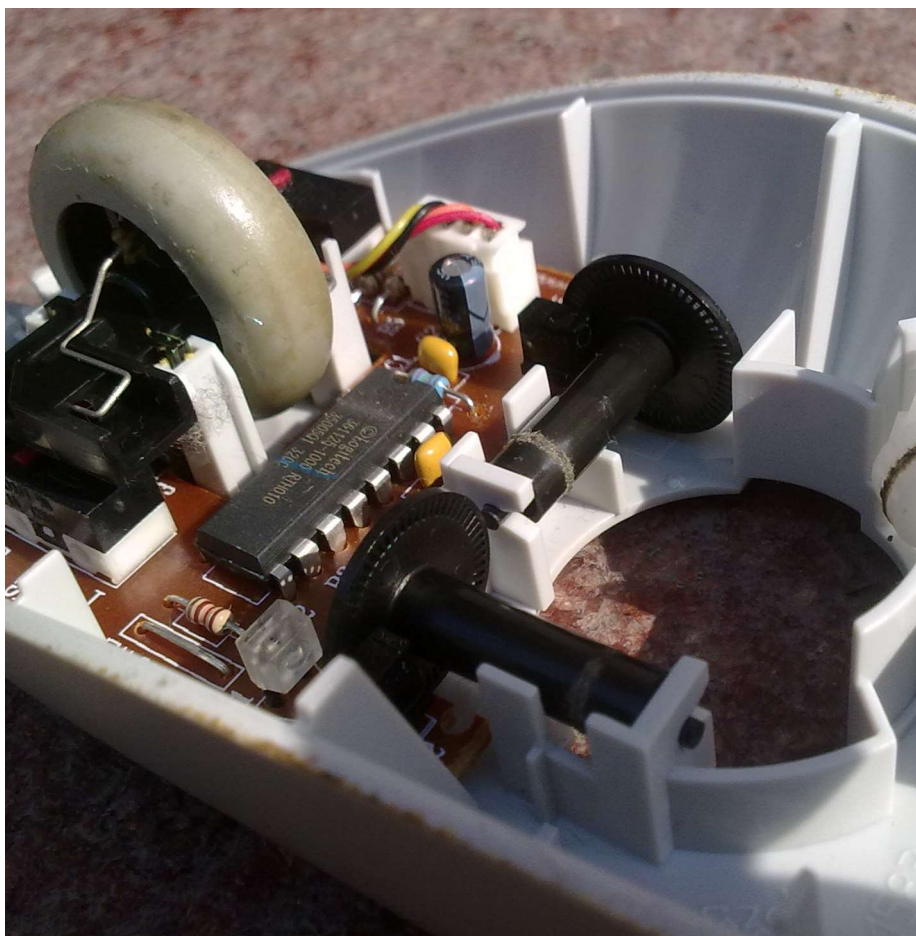
□ 鼠标在平面上移动，滚球就会带动转轴转动，进而使译码轮的通断情况发生变化，产生一组组不同的坐标偏移量，反应到屏幕上，就是光标可随着鼠标的移动而移动。



■ 3.6 转速和转矩测量



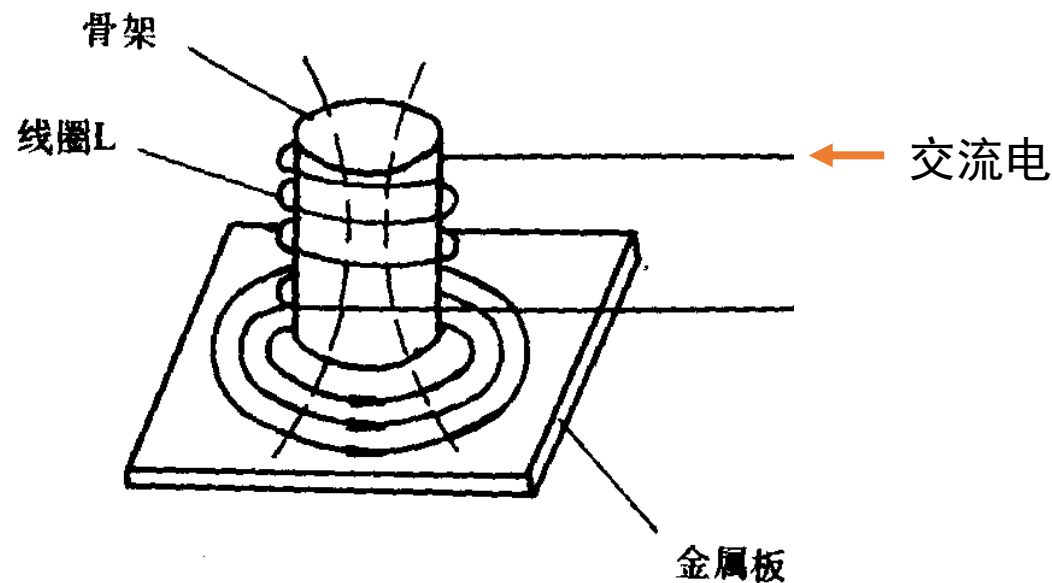
■ 3.6 转速和转矩测量



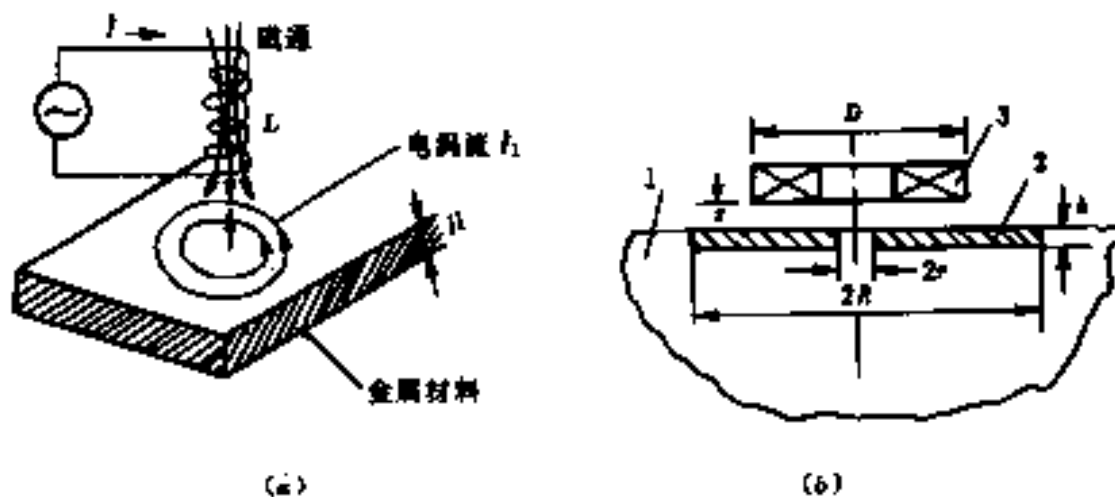
5. 电涡流式转速传感器

(1) 电涡流效应

a. 根据法拉第电磁感应定律，将一块金属置于交变磁场中，或使金属块在磁场中作切割磁力线的运动，那么在金属体内将产生呈涡旋状的感应电流，这种电流叫做**电涡流**。



■ 3.6 转速和转矩测量



电涡流式传感器原理图

1—金属导体 2—电涡流区 3—电感线圈 L

b. 在金属表面生成的电涡流将产生一个与电感线圈相反的磁场。

c. 电涡流产生的磁场又反作用于线圈 L 上，力图改变线圈品质因数的大小，其变化程度与金属磁导率及电导率、线圈的形状及尺寸、线圈到金属导体表面的距离等参数有关。

■ 3.6 转速和转矩测量

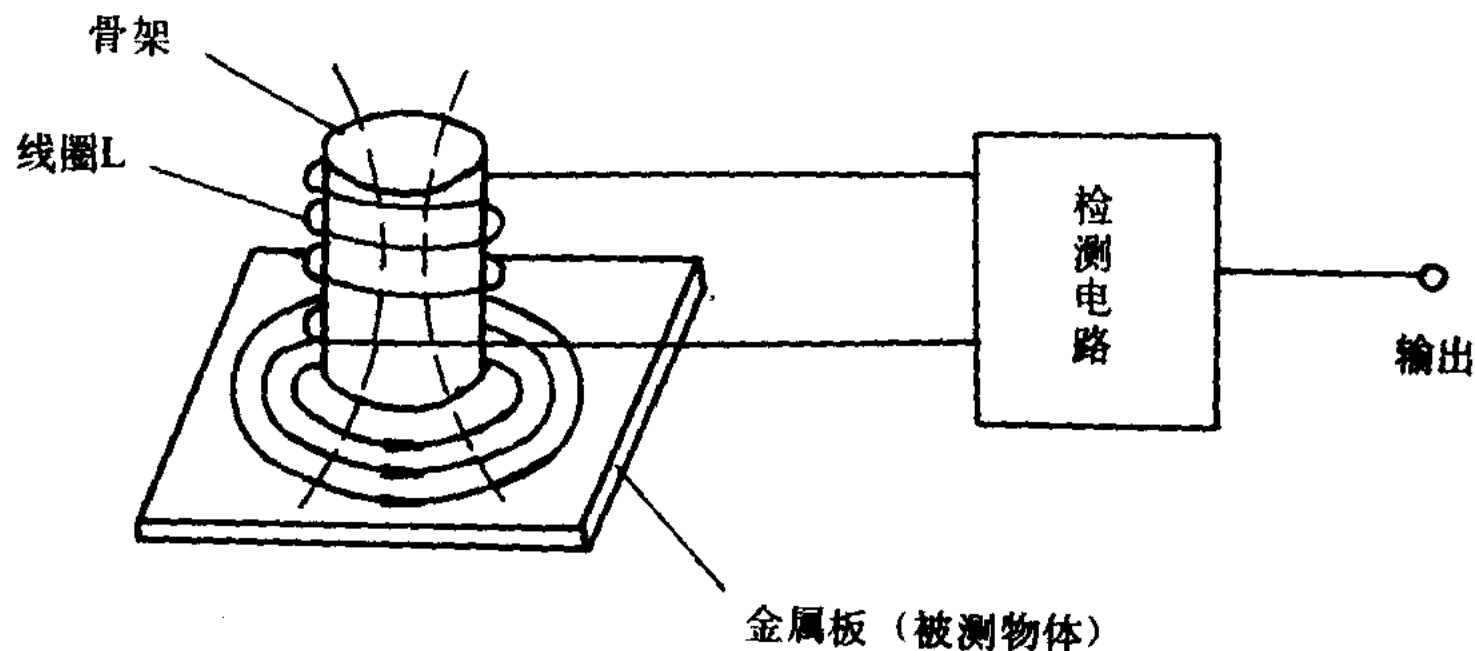
利用电涡流效应制成的传感器称为涡流式传感器。涡流式传感器可分为反射式和透射式两类，它们主要用于位移、振幅、尺寸、厚度及无损探伤等方面。

电涡流位移传感器系统中的前置器中高频振荡电流通过延伸电缆流入探头线圈，在探头头部的线圈中产生交变的磁场。当被测金属体靠近这一磁场，则在此金属表面产生感应电流，与此同时该电涡流场也产生一个方向与线圈方向相反的交变磁场，由于其反作用，使头部线圈高频电流的幅度和相位得到改变（线圈的有效阻抗）。



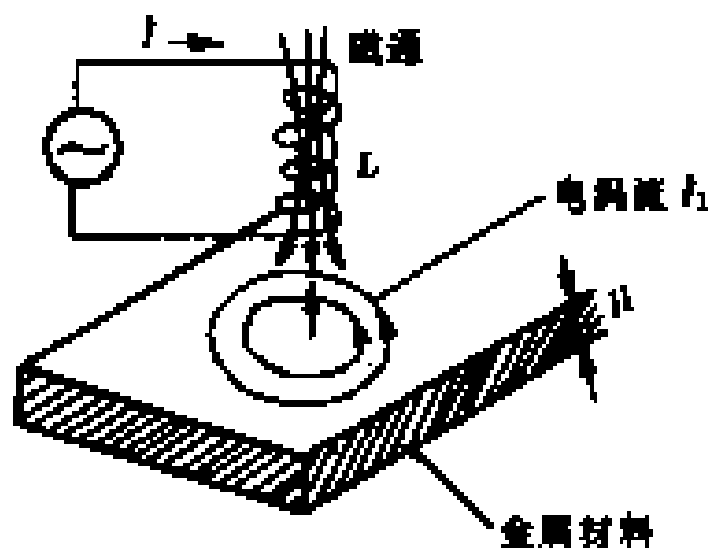
■ 3.6 转速和转矩测量

传感器主要由**探头**和**检测电路**两部分构成。探头主要由线圈及骨架组成，检测电路由振荡器、检波器及放大器等组成。

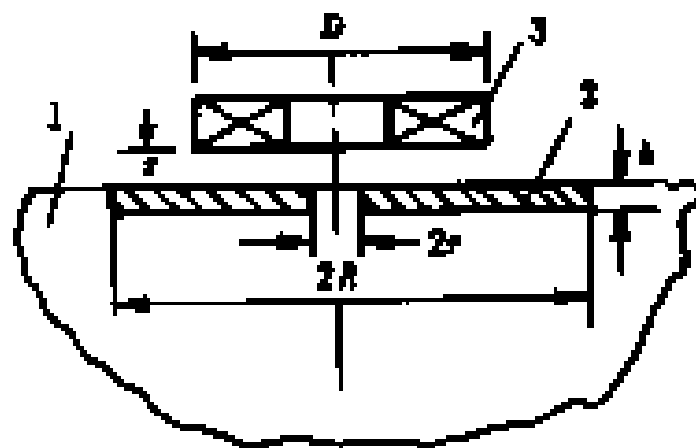


■ 3.6 转速和转矩测量

当被测物体和传感器探头被确定以后，只有线圈与被测导体之间的距离 x 的变化量和阻抗 Z 有关，如果我们通过检测电路测出阻抗 z 的变化量，也就实现了对被测导体位移量的检测。



(a)



(b)

电涡流式传感器原理图

1—金属导体

2—电涡流区

3—电感线圈 L

■ 3.6 转速和转矩测量

(2) 电涡流式传感器的特性

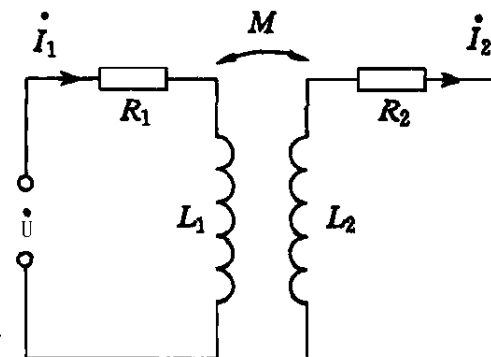
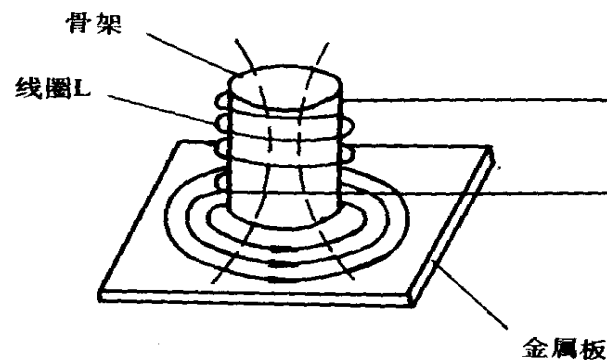
$$R_1 \dot{i}_1 + j\omega L_1 \dot{i}_1 - j\omega M \dot{i}_2 = u$$

$$R_2 \dot{i}_2 + j\omega L_2 \dot{i}_2 - j\omega M \dot{i}_1 = 0$$

解出：

$$\dot{i}_1 = \frac{u}{R_1 + \frac{\omega^2 M^2 R_2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} + j\omega \left[L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \right]}$$

$$\dot{i}_2 = \frac{j\omega M \dot{i}_1}{R_2 + j\omega L_2}$$



■ 3.6 转速和转矩测量

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{u}}{R_1 + \frac{\omega^2 M^2 R_2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} + j\omega \left[L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \right]}$$
$$\dot{i}_2 = \frac{j\omega M \dot{i}_1}{R_2 + j\omega L_2}$$

式中：

R_1 ——传感器线圈不受涡流影响时的电阻；

L_1 ——传感器线圈不受涡流影响时的电感；

R_2 ——被测导体的等效电阻；

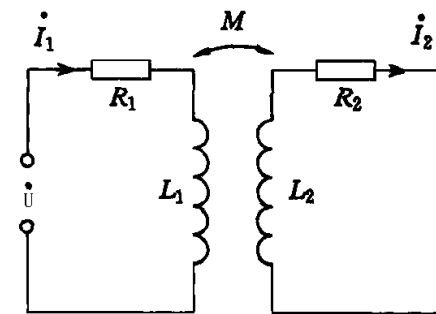
L_2 ——被测导体的等效电感；

U ——激励电压；

ω ——激励电压的角频率；

i_1 ——激励电流；

M ——传感器线圈与被测物体之间的互感系数，与传感器线圈到被测导体之间距离有关。



■ 3.6 转速和转矩测量

传感器线圈L受金属涡流影响后的等效阻抗Z为：

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_1} = \left[R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} R_2 \right] + j\omega \left[L_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} L_2 \right]$$
$$= R_{ed} + j\omega L_{ed}$$

式中：

R_{ed} ——传感器线圈受涡流影响后的等效电阻；

$$R_{ed} = R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} R_2$$

L_{ed} ——传感器线圈受涡流影响后的等效电感；

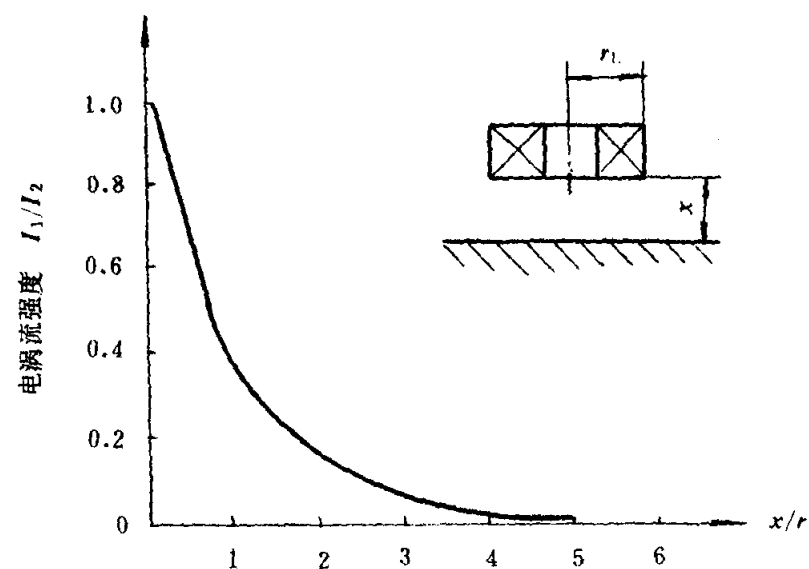
$$L_{ed} = L_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} L_2$$

■ 3.6 转速和转矩测量

(3) 电涡流强度与距离的关系

实验证明：

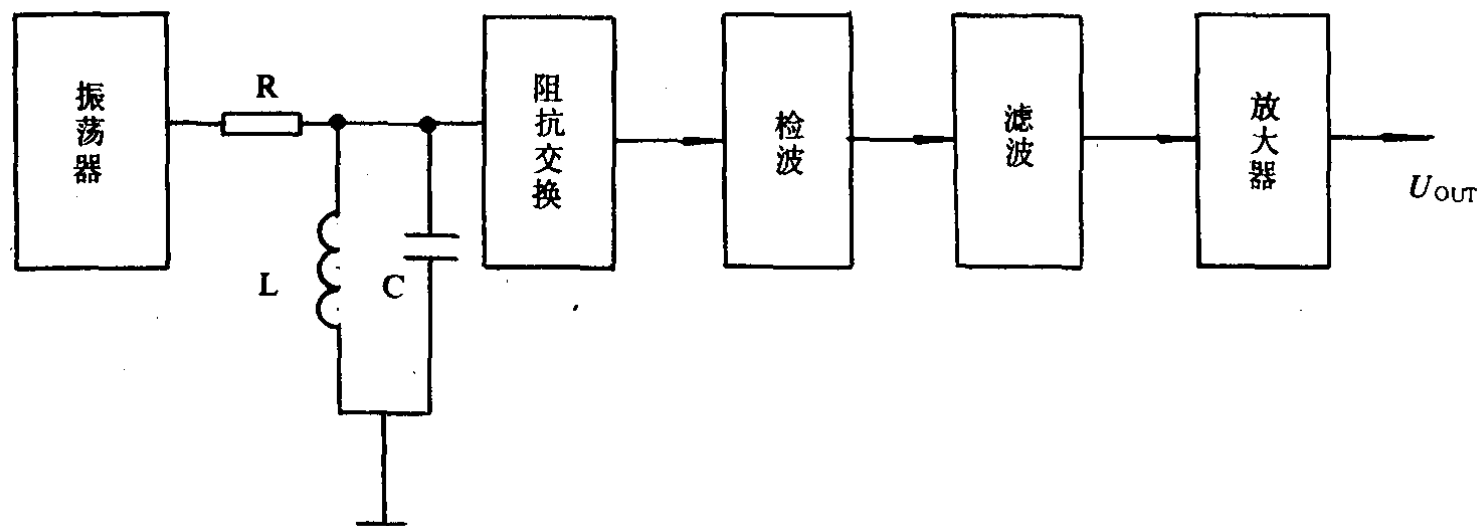
当传感器线圈与被测导体的距离 x 发生变化时，电涡流分布特性并不改变，但电涡流密度将发生相应的变化，即电涡流强度将随距离 x 的变化而变化，且呈非线性关系，且随距离的增加而迅速减小。



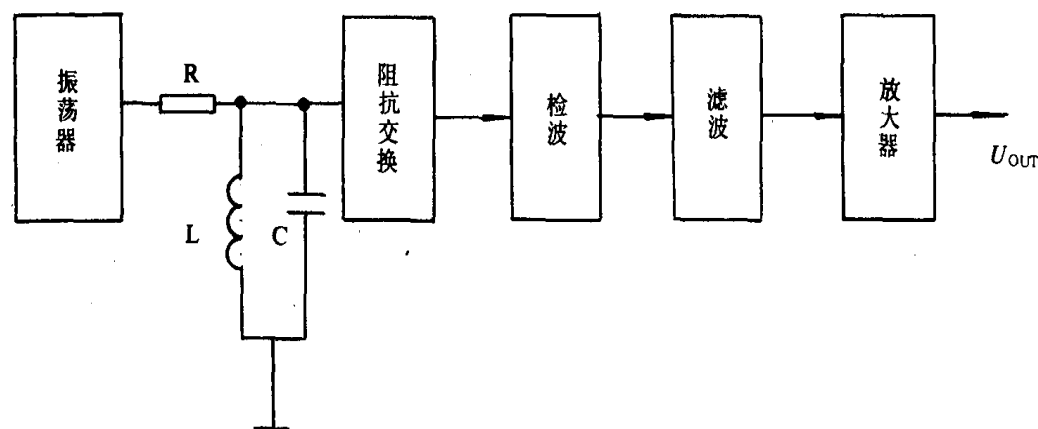
■ 3.6 转速和转矩测量

(4) 涡流式位移传感器的检测电路

根据涡流式位移传感器基本工作原理和特性，传感器线圈与被测导体间的距离 x 的变化可以转换为品质因数 Q 、阻抗 Z 、线圈电感 L 三个参数的变化。检测电路的任务就是将这种变化转换为相应的电压、电流或频率输出。



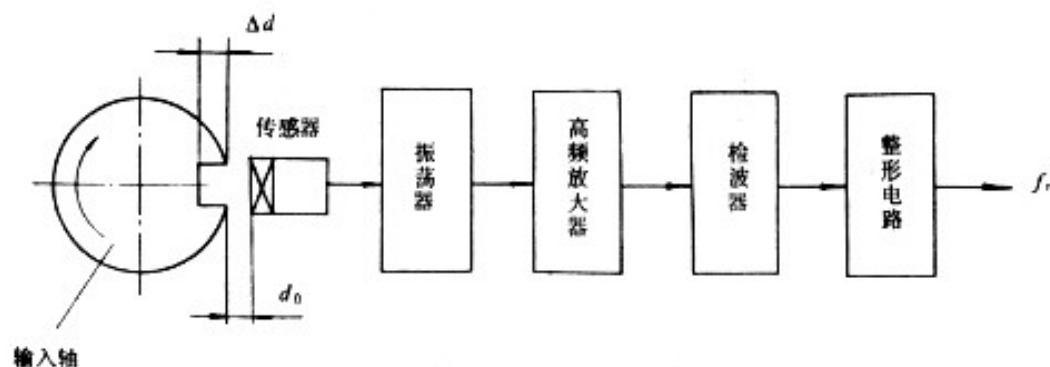
■ 3.6 转速和转矩测量



- 当被测导体距传感器线圈相当远时，传感器谐振回路的谐振频率为回路的固有频率，此时谐振回路的品质因数 Q 值最高，阻抗最大。
- 当被测导体与传感器线圈的距离减小时，由于电涡流效应使传感器谐振回路的品质因数 Q 值下降，回路输出的电压也越来越小。
- 谐振回路输出的信号经检波、滤波和放大后输送给后续电路，可直接显示出被测物体的位移量。

■ 3.6 转速和转矩测量

(5) 电涡流式转速传感器



当轴转动时，传感器与轴的距离发生 $d_0 + \Delta d$ 变化，由于电涡流效应，导致振荡谐振回路的品质因数变化，传感器线圈电感随 Δd 改变而变化，直接影响到振荡器的电压幅值和频率。

随着轴的旋转，振荡器输出的信号包含了与轴转速成正比的脉冲频率信号。

特点：抗干扰能力强；

测量的最高转速达60万转/分。

6. 霍尔式转速传感器

(1) 霍尔效应

将半导体薄片置于磁感应强度为 B 的磁场中，在其两侧通入电流 I ，在半导体的另外两侧将产生电势 U_H ：

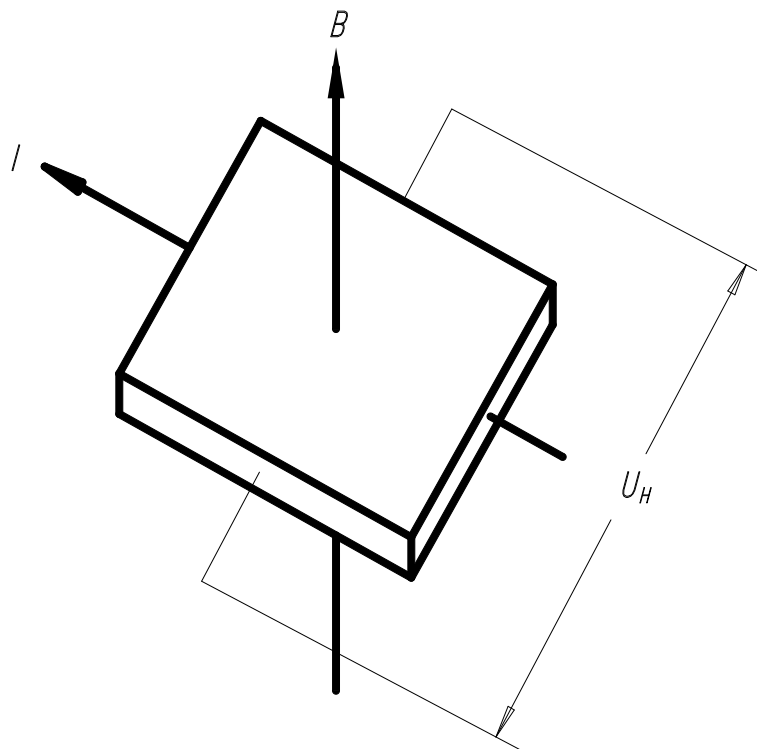
$$U_H = S_H IB$$

U_H — 霍尔电势

S_H — 霍尔元件灵敏度

半导体薄片—霍尔元件

霍尔效应



■ 3.6 转速和转矩测量

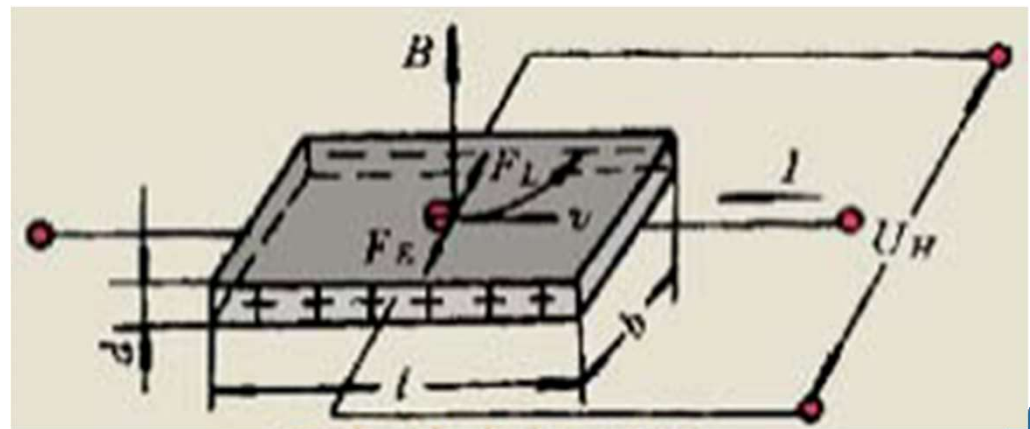
(2) 工作原理

霍尔效应—半导体中自由电荷受磁场中洛伦兹力作用而产生的。

设霍尔元件为N型半导体，当它通入电流 I ，半导体中的自由电荷（电子）受到磁场中洛伦兹力 F_L 的作用：

$$F_L = -evB$$

F_L —洛伦兹力；
 e — 电子电量；
 v — 电子速度；
 B —垂直于霍尔元件的磁感应强度。



■ 3.6 转速和转矩测量

在洛伦兹力的作用下，自由电子向垂直于磁场的方向运动，并在端面上产生电子积累。

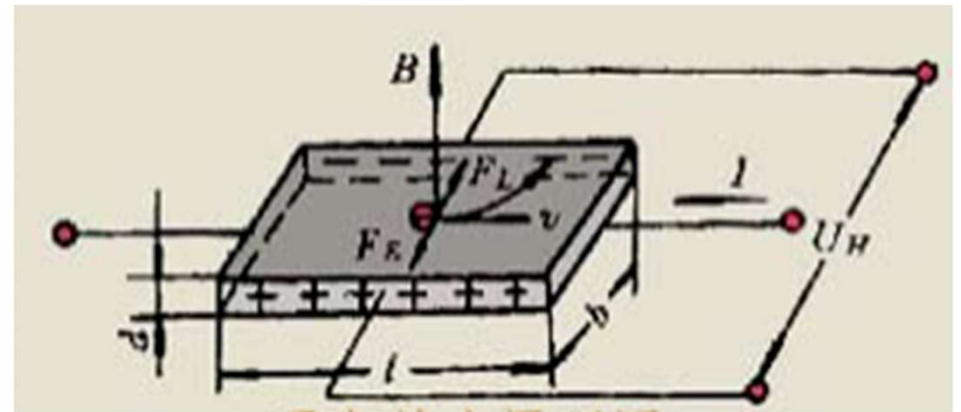
同时由于电子的积累，产生了霍尔电场，该静电场对电子的作用力 F_E — 电场力

$$F_E = -eE_H = -eU_H / b$$

E_H — 霍尔电场强度；

U_H — 霍尔电势；

b ——— 霍尔元件的宽度。



电场力 F_E 与洛伦兹力 F_L 的方向相反，将阻止电子继续偏转。

■ 3.6 转速和转矩测量

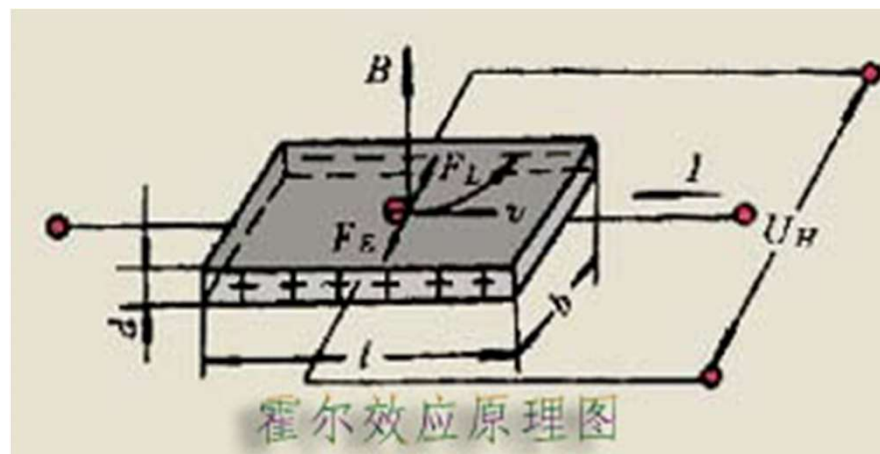
当静电场作用于运动电子上的 F_E 与洛伦兹力 F_L 相等时，电子积累达到动态平衡：

$$F_L = F_E$$

即：

$$-evB = -e \frac{U_H}{b}$$

$$U_H = bvB$$



流过霍尔元件的电流 I 为：

$$I = \frac{dQ}{dt} = b d v n (-e)$$

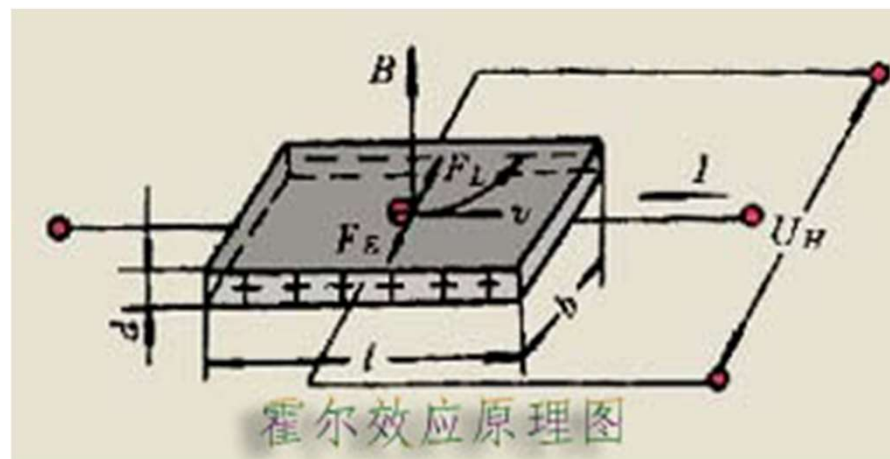
bd —与电流方向垂直的截面积；
 n —单位体积内自由电子数。

■ 3.6 转速和转矩测量

将 $I = \frac{dQ}{dt} = b d v n (-e)$ 代入 $U_H = b v B$ 得：

$$U_H = \frac{IB}{ned}$$

d 一霍尔元件的厚度；
 n 一单位体积内自由电子数；
 e 一电子电量；
 U_H 一霍尔电势。





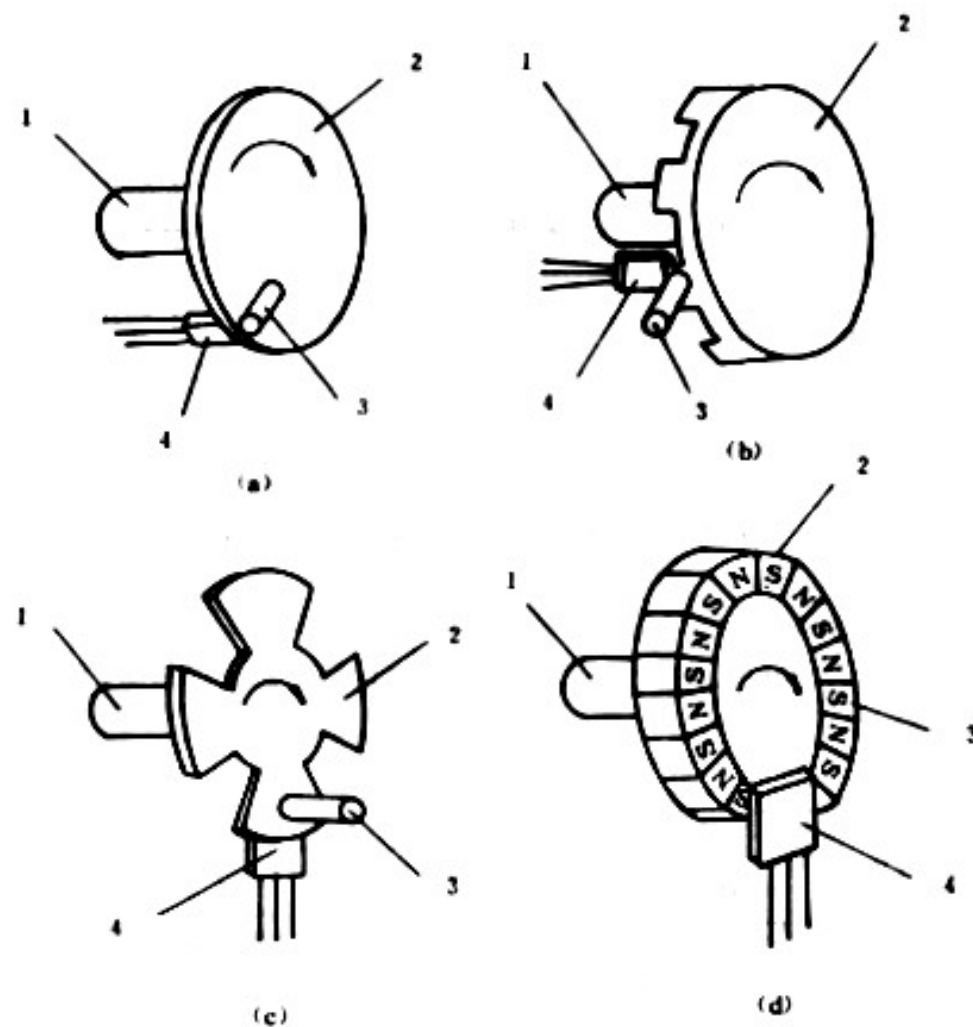
■ 3.6 转速和转矩测量

(3) 霍尔传感器

- ◆ 利用霍尔开关集成器和磁性圆盘可组成霍尔式转速传感器。
- ◆ 霍尔开关集成器用于将被测磁场强度变为高低电平输出。
- ◆ 磁性圆盘与轴一起转动，磁铁通过霍尔开关时，霍尔开关集成传感器就产生相应的脉冲信号，只要检测出该信号的频率 f ，即可得到转速 n 。



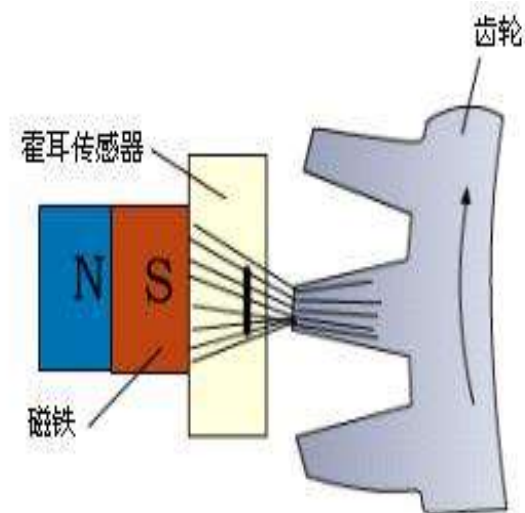
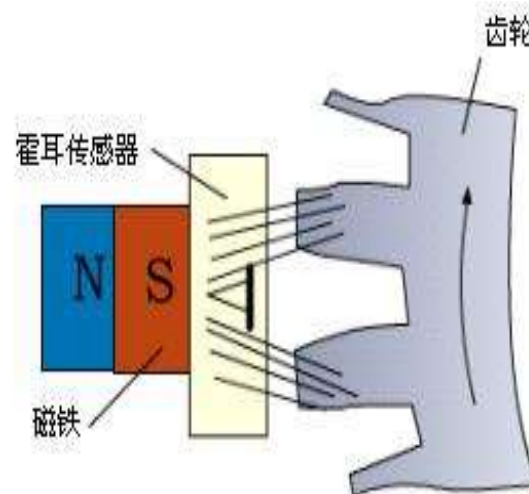
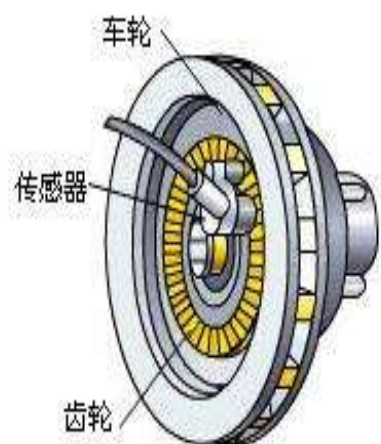
■ 3.6 转速和转矩测量



1—输入轴 2—磁性转子 3—永久磁铁 4—霍尔传感器

图 8.10 一些霍尔式转速传感器的结构


■ 3.6 转速和转矩测量



二. 转矩的测

轴的**转矩**也称为**扭矩**，单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

测量方法：

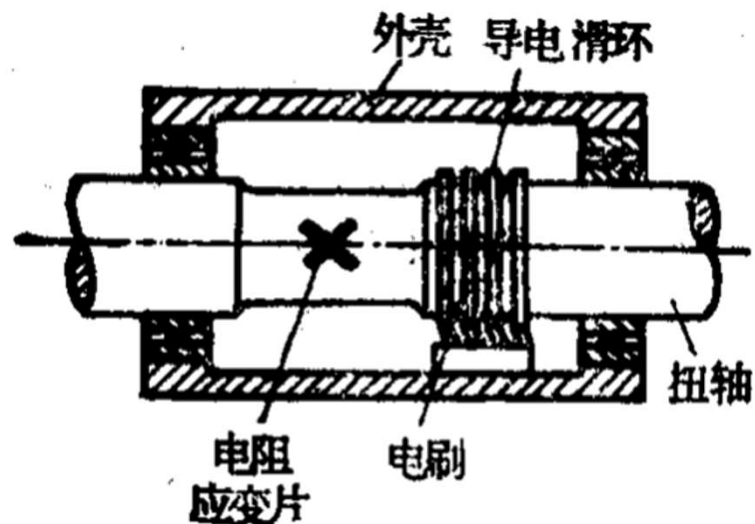
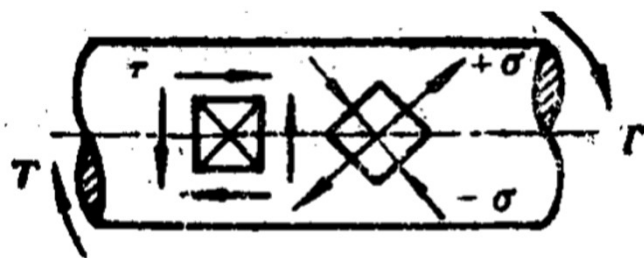
- 用轴的**扭转弹性变形程度**来衡量转矩的大小；
 - 用**敏感轴**连接原动机和负载；
 - 在敏感轴上安装适当的传感器，以测出相距一定长度处两个截面的相对**扭转角度**，据此角度和标定结果比较，求出转矩。
- 

■ 3.6 转速和转矩测量

1. 应变式转矩传感器

应变片传感器扭矩测量采用应变电测技术。在弹性轴上粘贴应变计组成测量电桥，当弹性轴受扭矩产生微小变形后引起电桥电阻值变化，应变电桥电阻的变化转变为电信号的变化从而实现扭矩测量。

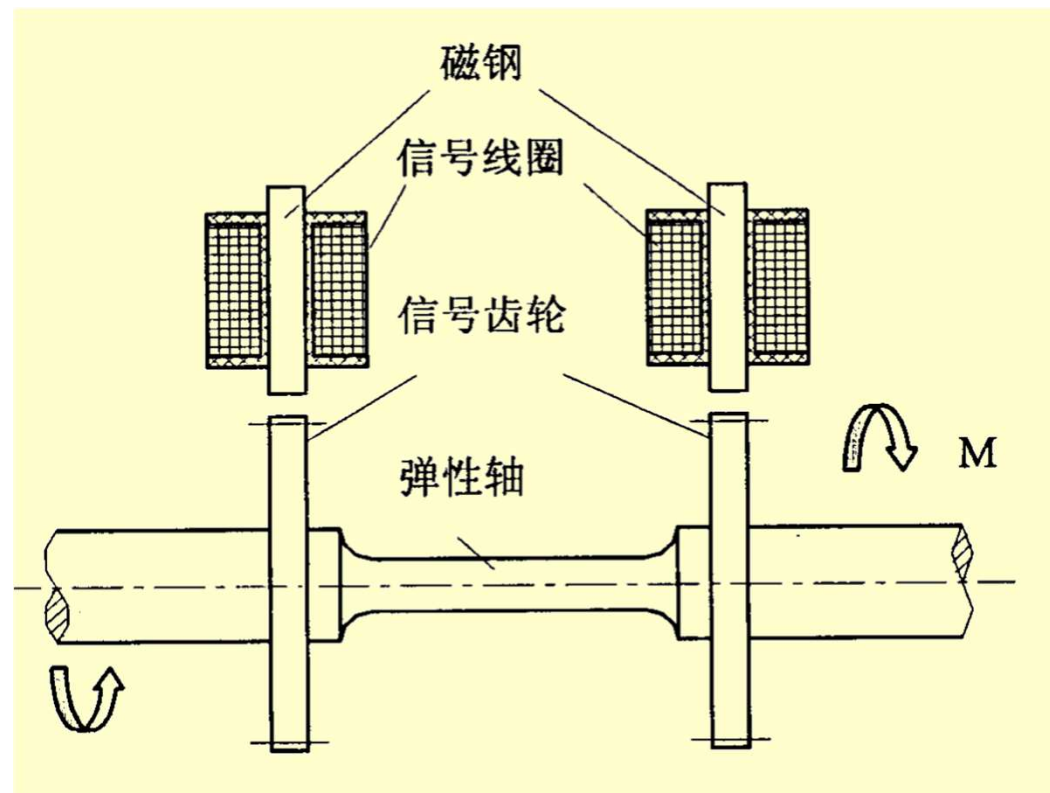
传感器由弹性轴、测量电桥、仪器用放大器、接口电路组成。



■ 3.6 转速和转矩测量

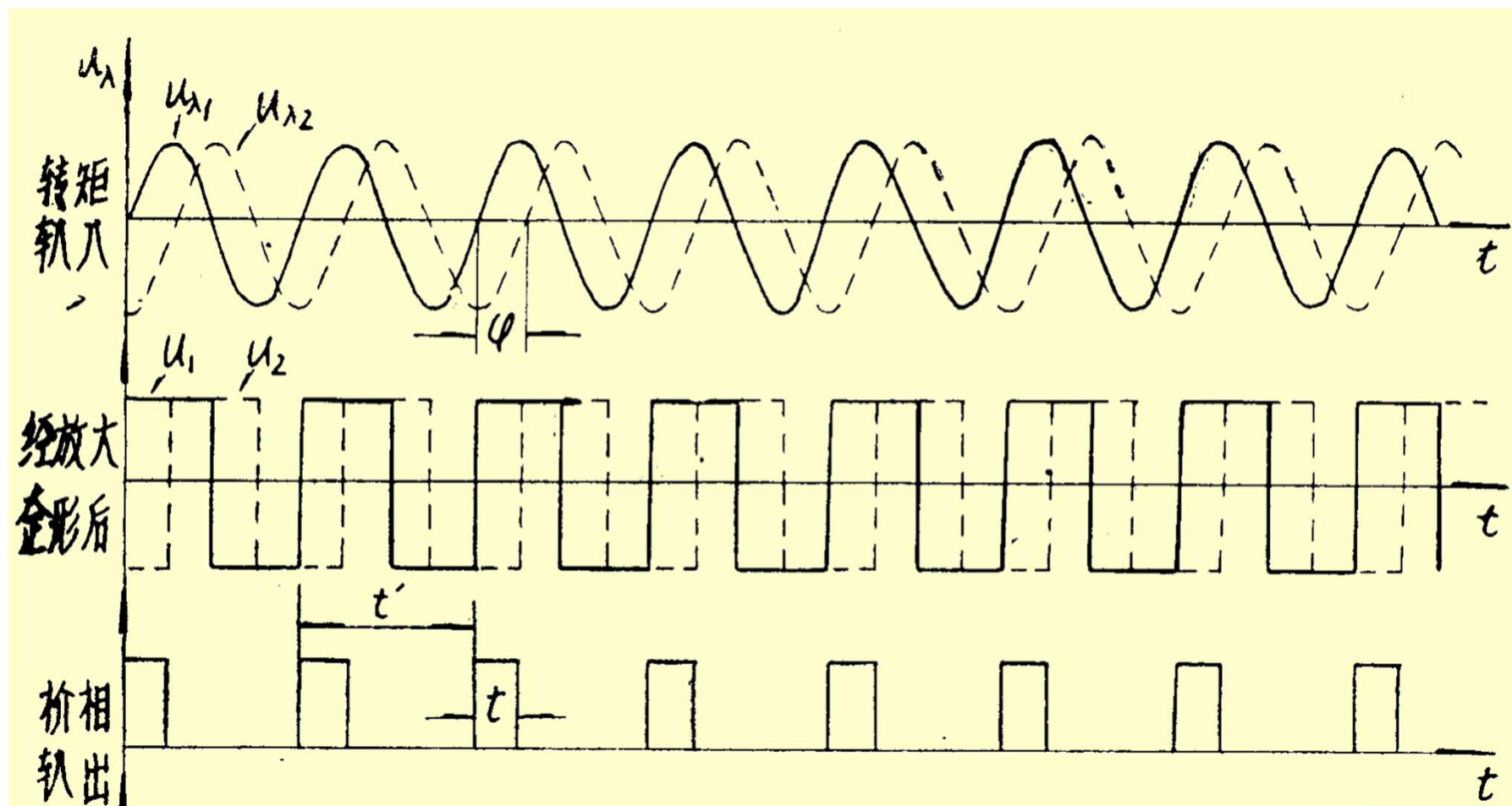
2. 磁电式转矩传感器

- 在轴上安装相隔一定距离的两个齿轮，其材质必须是铁磁性金属。
- 基座上装有两个磁头，位置正对着齿轮。
- 当齿轮的齿经过磁头时，气隙磁阻突变，将使磁头线圈产生电脉冲。

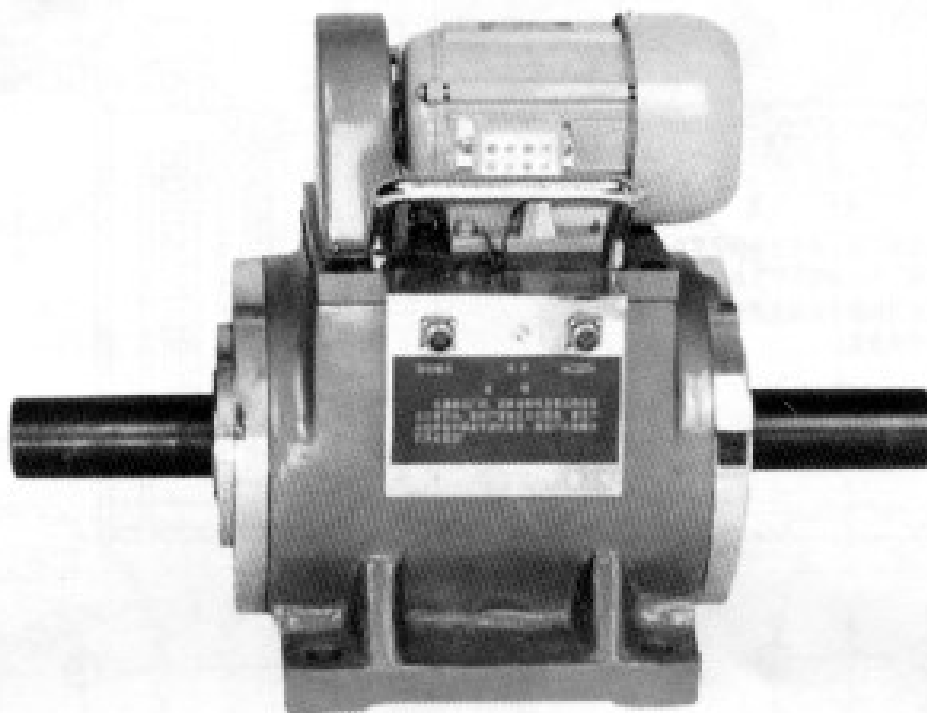


■ 3.6 转速和转矩测量

在 $M=0$ 状态，调整好磁头位置，使两个磁头的电脉冲信号相位一致，当存在转矩时，两个脉冲信号会产生相位差，转矩越大相位差也越大。



■ 3.6 转速和转矩测量





本章结束

