



南京工业大学
NANJING TECH
UNIVERSITY

光电信息科学与工程

第8章 非光物理量的光电检测

8.1 光强型光电检测系统

本节主要包括以下几部分内容：

8.1.1 直接测量法

8.1.2 差动测量法

8.1.3 补偿测量法

8.1.4 补偿式轴径检测装置

8.1.5 利用比较法检测透明薄膜的厚度

8.1.6 利用 α 射线测量块规厚度的装置

8.1.7 圆形物体偏心度的光电检测

8.1.8 利用补偿法测量线材直径

8.1.9 对圆柱形零件的外观检查

8.1.1 直接测量法

1. 直接测量法原理

将携带被检测物理量信息的光量，投射到光电探测器上转换为电信号，经放大后由检测机构直接读出待测量。图8-1所示为采用微安表直接读出入射到光电探测器GD上的光通量。

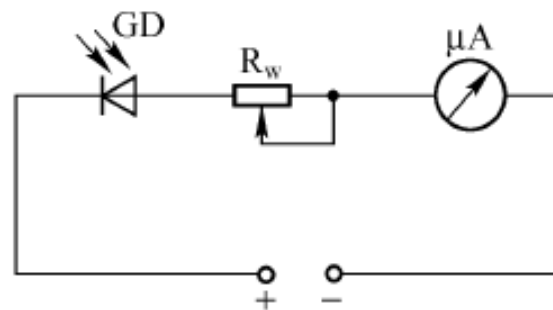


图8-1 直接测量电路

R_w 为校正电阻，用以校正回路的灵敏度。 μA 表为读出机构。当探测器处于线性工作区中，则有

$$\Phi = I / S = C_i (\alpha - \alpha_0) / S \quad (8-1)$$

式中， Φ 为信号光通量； I 为探测器产生的光电流； S 为探测器的积分灵敏度； C_i 为比例常数； α_0 为表针指零时的角度； α 为输出电流 I 所对应指针的转角。

选定满度时对应的转角为 α_0 ，则有

$$\Phi = C_i (\alpha - \alpha_0) / S \cdot K \quad (8-2)$$

在检测回路中，重要特性是仪表指针的灵敏度 S_y ，可表示为：

$$S_y = \Delta\alpha / \Delta\Phi = S / C_i \quad (8-3)$$

式中， K 为晶体管回路的放大倍数。

在上述检测回路中引入简单的晶体管或其它放大器，如图8-2所示。

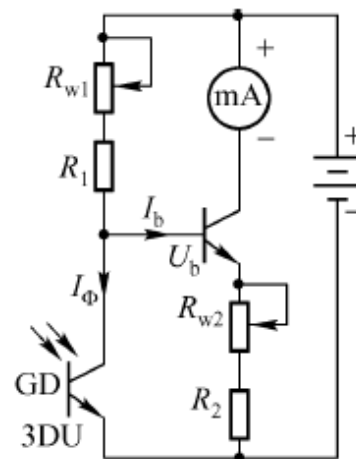


图8-2 利用放大器提高灵敏度

仪表指针的灵敏度为

$$\Phi = C_i (\alpha - \alpha_0) / S \cdot K \quad (8-4)$$

2. 系统相对误差和性能评定

设某检测关系为 $A=B \cdot C/D$ ，则增量间关系为

$$\Delta A = |C/D \cdot \Delta B| + |B/D \cdot \Delta C| + |BC/D^2 \cdot \Delta D|$$

最大相对误差 ε 为

$$\varepsilon = \Delta A / A = \Delta B / B + \Delta C / C + \Delta D / D \quad (8-5)$$

直读法系统的最大相对误差为

$$\varepsilon = \Delta \Phi / \Phi = \Delta K / K + \Delta S / S + \Delta \alpha / \alpha \quad (8-6)$$

式中， $\Delta K / K$ 为放大系统放大率不稳定所引起的相对误差，它与放大电路中的电压波动，环境温度的变化，晶体管工作点的选择等参量变化有关； $\Delta S / S$ 为光电器件灵敏度的相对误差，它与探测器特性的不稳定性有关； $\Delta \alpha / \alpha$ 为测量机械指示值的相对误差，它与机械结构不稳定性有关。

8.1.2 差动测量法

1. 测量原理

该方法采用被测量与标准量相比较，利用它们之间的差或比，经放大后的测量数据去控制检测机构。图8-3所示为利用电差动原理进行光通量检测的例子。

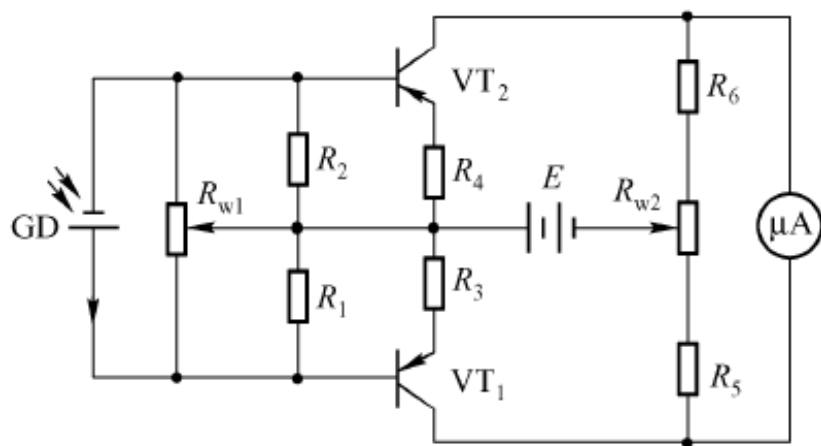


图8-3 差动检测系统

2. 光电差动装置

为进一步提高检测精度，消除不稳定因素对检测结果的影响，设计了由双光路和电桥组成的光电差动装置，其原理如图8-4所示。

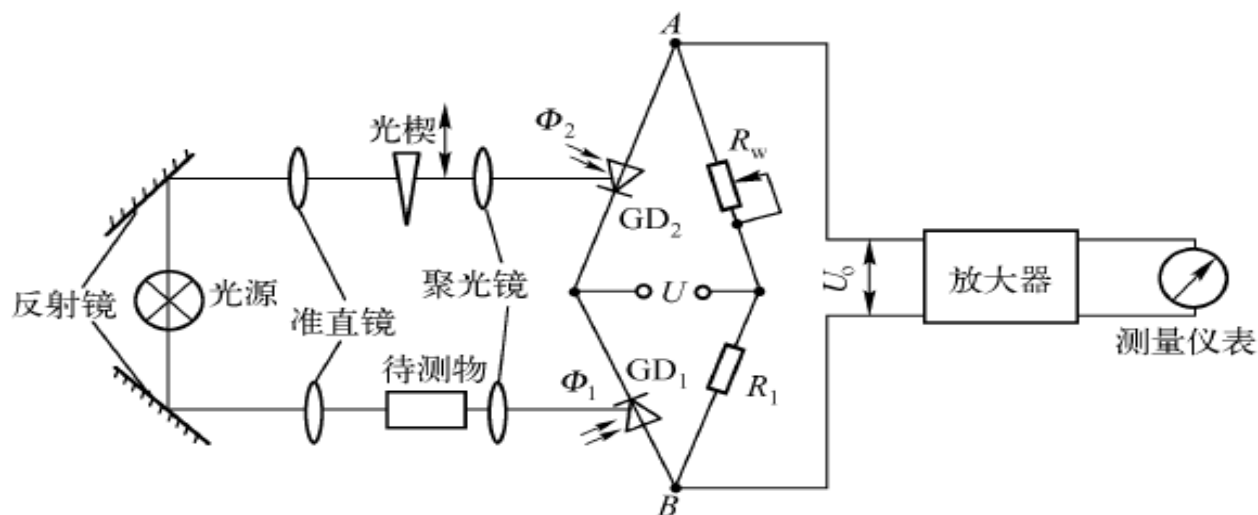


图8-4 双光路光电差动系统

当两电路光通量相差较小时，光电探测器 GD_1 和 GD_2 的灵敏度分别为 S_1 和 S_2 ，在线性段中它们近似为常数。于是 GD_1 产生的光电流 $I_1=S_1\Phi_1$ ， R_1 上产生的压降 $I_1R_1=S_1\Phi_1R_1$ ； GD_2 产生的光电流 $I_2=S_2\Phi_2$ ， R_w 上产生的压降 $I_2R_w=S_2\Phi_2R_w$ ，所以电桥输出的电压 U_0 为

$$U_0 = S_1\Phi_1R_1 - S_2\Phi_2R_w \quad (8-7)$$

如果 $S_1=S_2=S$ ， $R_w=R_1$ 则有

$$U_0 = SR_1(\Phi_1 - \Phi_2) = SR_1\Delta\Phi \quad (8-8)$$

两光电探测器接收光通量波动的影响分析如下：设图中两探测器接收到光通量 Φ_1 和 Φ_2 ，因电源电压波动等原因使光源输出光通量发生变化，在两光路上的光通量也将发生变化，其变化值为 $\Delta\Phi_1$ 和 $\Delta\Phi_2$ ，两者间关系为

$$\Delta\Phi_1 / \Delta\Phi_2 = n$$

即两光束光通量分别为由 $\Phi_1' = \Phi_1 + \Delta\Phi_1$ 和 $\Phi_2' = \Phi_2 + \Delta\Phi_2$

接收的光通量差为

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= \Phi_1' - \Phi_2' = (\Phi_1 + \Delta\Phi_1) - (\Phi_2 + \Delta\Phi_2) \\ &= (\Phi_1 - \Phi_2) + \Delta\Phi_1(1-n)\end{aligned}\quad (8-9)$$

式中右边第一项是原信号，第二项是因波动引起的误差。当 $n \rightarrow 1$ ， $\Delta\Phi_1(1-n) \rightarrow 0$ 。

在有些电路中，采用两光通量比(除)的信号处理方法，那么光源波动的影响可以完全消除。设 $\Phi_1 / \Phi_2 = n$ ， $\Delta\Phi_1 / \Delta\Phi_2 = n$

$$\Phi_1' / \Phi_2' = ((\Phi_2 + \Delta\Phi_2) / (\Phi_1 + \Delta\Phi_1)) = n \quad (8-10)$$

3. 单个探测器的差动测量

在光电差动测量中，精度在很大程度上取决于两光电探测器性能上的差异，两者完全一致将十分困难。因此提出采用单光电探测器的设想，其装置原理如图8-5所示。其通量波形图如图8-6(a)所示。当 $\Phi_1 \neq \Phi_2$ 时，则产生交变信号，经放大和相敏整流后输出，波形如图8-6(b)所示，幅值的大小表示两通量的差值 $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ ，信号的正、负表示 $\Delta\Phi$ 的正负。

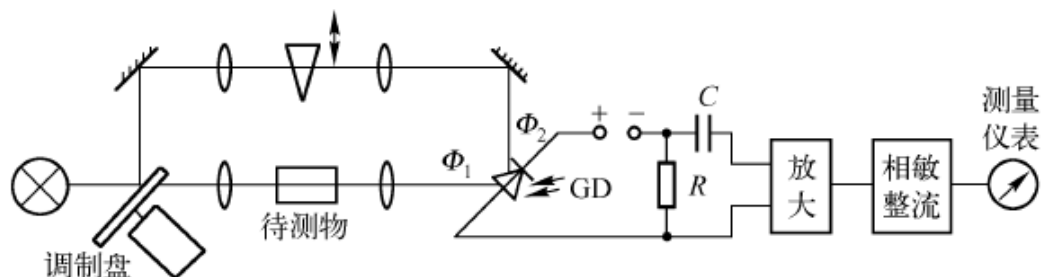


图8-5 单接受器差动系统

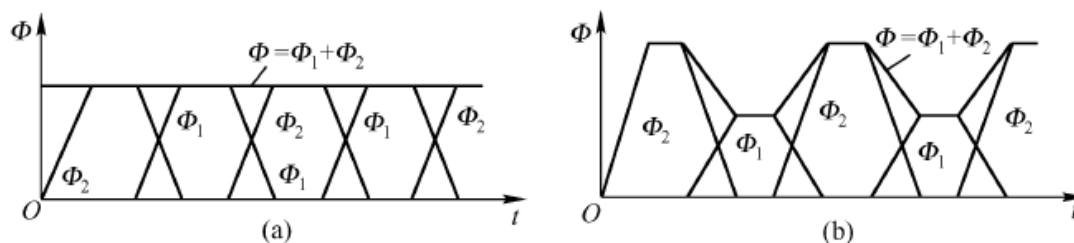


图8-6 单接受器差动系统

8.1.3 补偿测量法

1. 单通道光电补偿式测量

该检测方法又称补偿直读法，测量原理如图8-7所示。

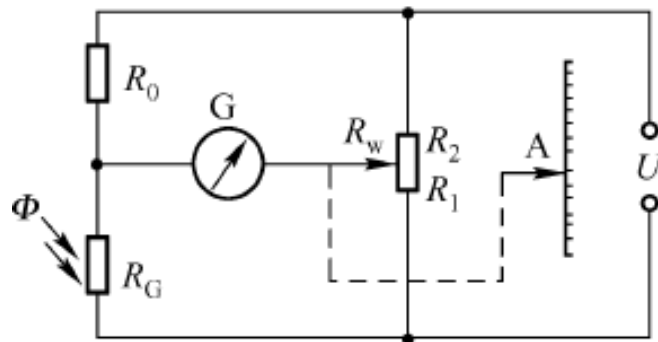


图8-7 单通道补偿系统

图8-8所示是单通道利用光楔补偿的例子。该系统增加了晶体管放大环节，由 R_1 、 R_w 、 R_c 和 R_0 及晶体三极管BG构成电桥，检流计G作输出指示。

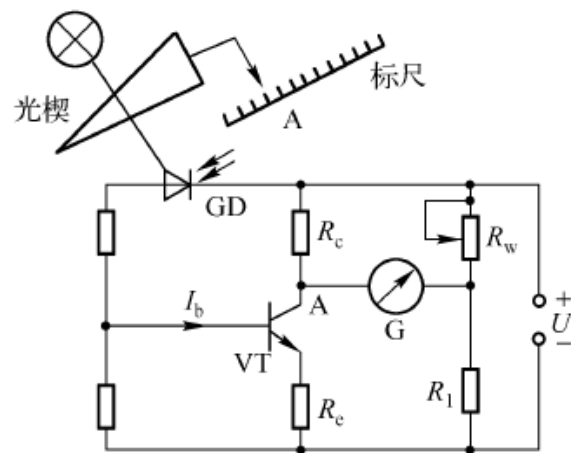


图8-8 单通道光楔补偿系统

2. 双通道光电补偿式测量

采用双光路双元件进行补偿测量时，信息光通量 Φ_1 可由下式导出

$$\Phi_1 S_1 = \Phi_2 S_2 K$$

即

$$\Phi_1 = (S_2 / S_1) \Phi_2 K \quad (8-11)$$

式中， K 为补偿系数。

这时相对误差的最大值 ε 为：

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi_1}{\Phi_1} = \frac{\Delta S_1}{S_1} + \frac{\Delta S_2}{S_2} + \frac{\Delta \Phi_2}{\Phi_2} + \frac{\Delta K}{K} \quad (8-12)$$

采用双光路单元件进行补偿测量时，则有 $S_1 = S_2 = S$ ， $\Phi_1 = \Phi_2 K$ ，最大相对误差为

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi_1}{\Phi_1} = \frac{\Delta \Phi_2}{\Phi_2} + \frac{\Delta K}{K} \quad (8-13)$$

图8-9所示是一种双通道单探测器光电自动补偿系统的原理图。

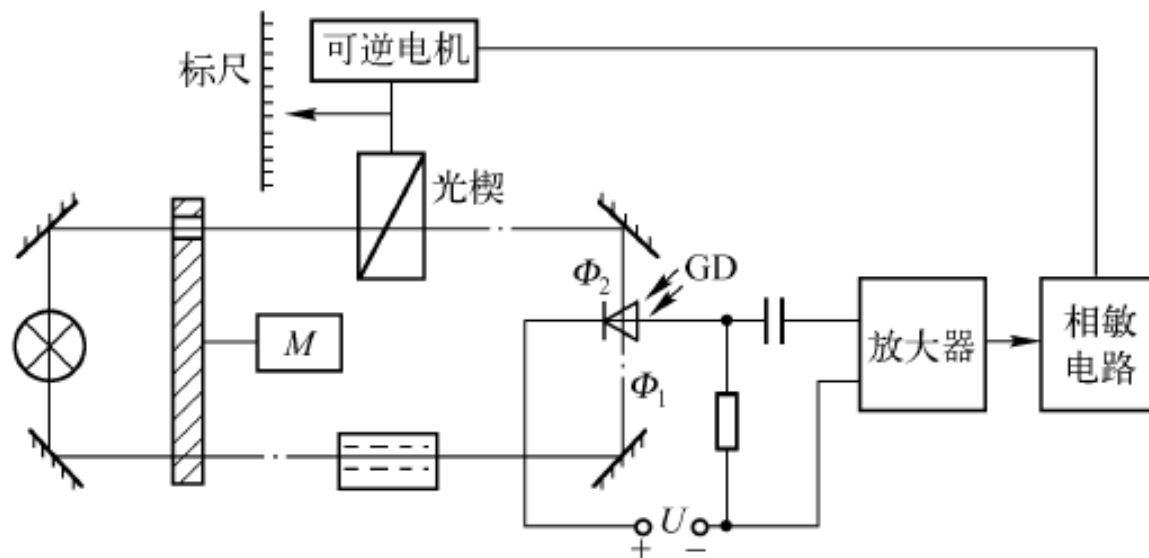


图8-9 双通道单探测器自动补偿系统

3. 对快速变化过程的测量

(1) 光楔动态补偿法

在图8-9所示双光路补偿装置的基础上，将可逆电机换成恒速旋转的电机，通过必要的传动装置带动光楔不停地往返运动，造成光楔对入射光通量的不断扫描，其补偿作用从最小到最大，再从最大到最小往复进行。同时电机带着刻有读数的圆筒旋转，电路也作相应改变。当光楔到达其补偿位置时，双光路达到平衡，这时恰是放大器输出电信号的过零点，利用脉冲电路产生信号脉冲，控制发光管使其短暂发光，照亮读数筒上的被测读数，供人眼观察读出。由于电机连续旋转，该装置测速较快，其测速主要受人眼观察速度的限制。

(2) 电动态补偿法

利用电信号的动态补偿法是将信号电流直接控制惯性极小的可控阻值元件，如晶体二极管或三极管等，把它们作为补偿器来实现电动态补偿测量。这种纯电路的处理方法可将检测速度提高很多。

这里的关键是选用可控阻值元件，通常要求其阻值与控制电流或电压成线性关系，且稳定性好。图8-10所示是锗晶体二极管的 $R=f(I)$ 曲线。由曲线可知，当电流 I 由0变化到 I_0 之间，阻值变化基本呈线性，作为可控阻值元件只应使用这一范围。

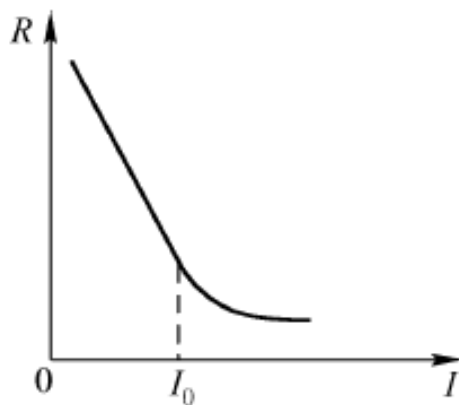


图8-10 锗晶体二极管的 $R=f(I)$ 曲线

利用晶体二极管实现快速电动态补偿的一个例子如图8-11所示。

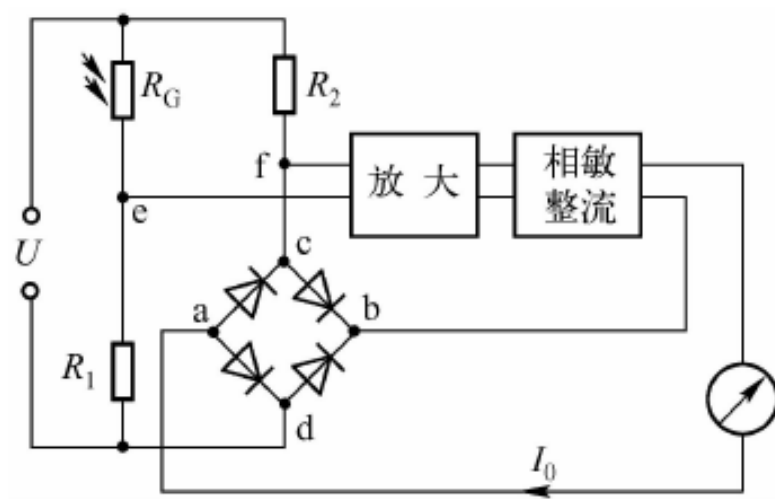


图8-11 利用二极管的快速动态补偿系统

8.1.4 补偿式轴径检测装置

该装置利用光量变化对轴径进行补偿式检测。其工作原理如图8-12所示。

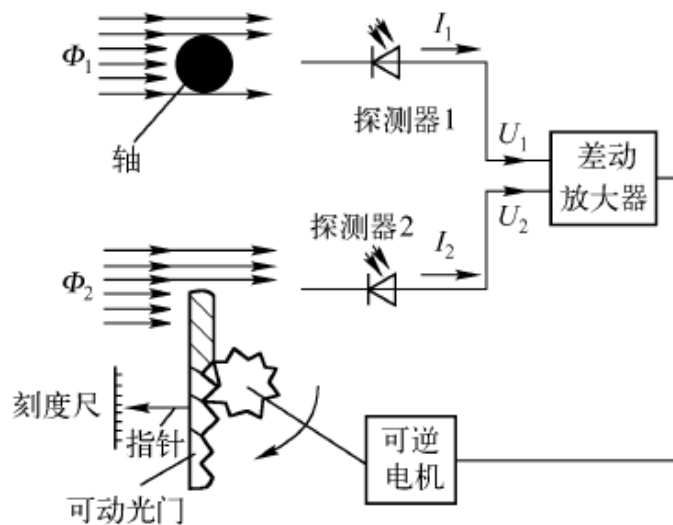


图 8-12 光门补偿式轴径检测原理图

其中放大器输出电压 U_0 为

$$U_0 = K(U_1 - U_2) \quad (8-15)$$

式中， K 为放大器的放大倍数。

8.1.5 利用比较法检测透明薄膜的厚度

采用比较法原理测量透明薄膜厚度的装置如图8-13所示。

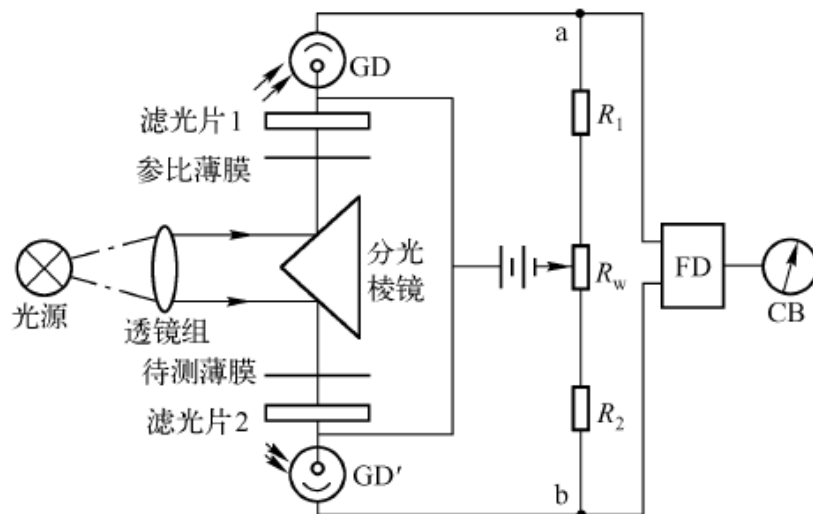


图8-13 比较法薄膜厚度检测原理

按照介质对光吸收的指数衰减定律有

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} e^{-k_{\lambda} d} \quad (8-15)$$

式中， I_{λ} 为透过物体的单色光强度； $I_{\lambda 0}$ 为射入物体的单色光强度； d 为吸收物体的厚度； k_{λ} 为物体对单色光的吸收系数。

8.1.6 利用 α 射线测量块规厚度的装置

利用 α 射线测定微小的偏差或微厚度的装置如图8-14所示。

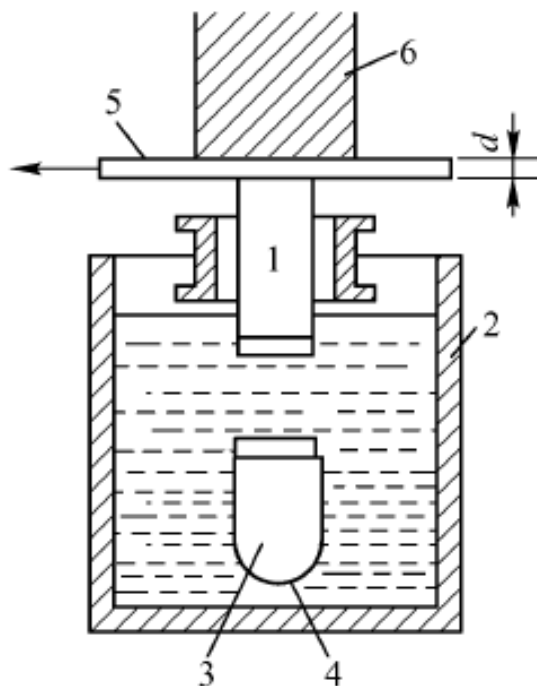


图8-14 α 射线厚度检测原理

8.1.7 圆形物体偏心度的光电检测

测定圆形回转体偏心度的原理如图8-15所示。

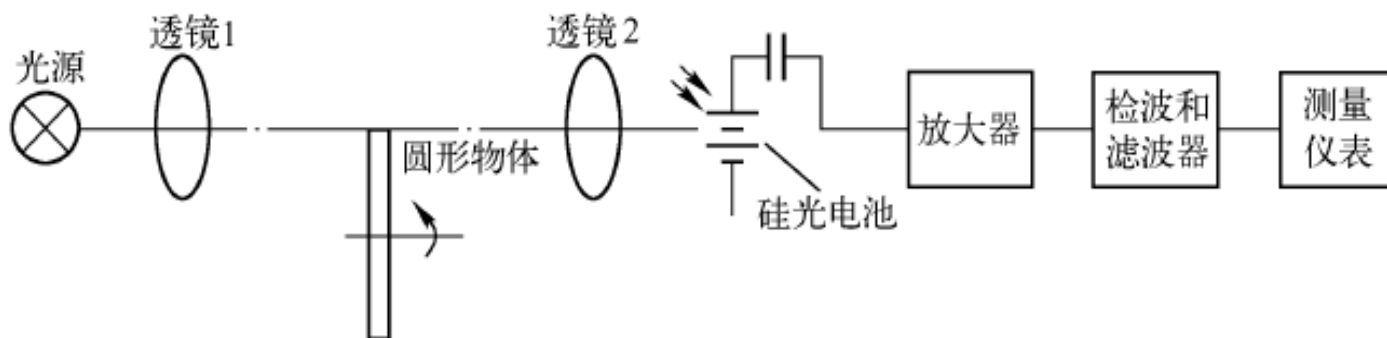


图8-15 偏心度的检测原理

8.1.8 利用补偿法测量线材直径

该装置的工作原理如图8-16所示。

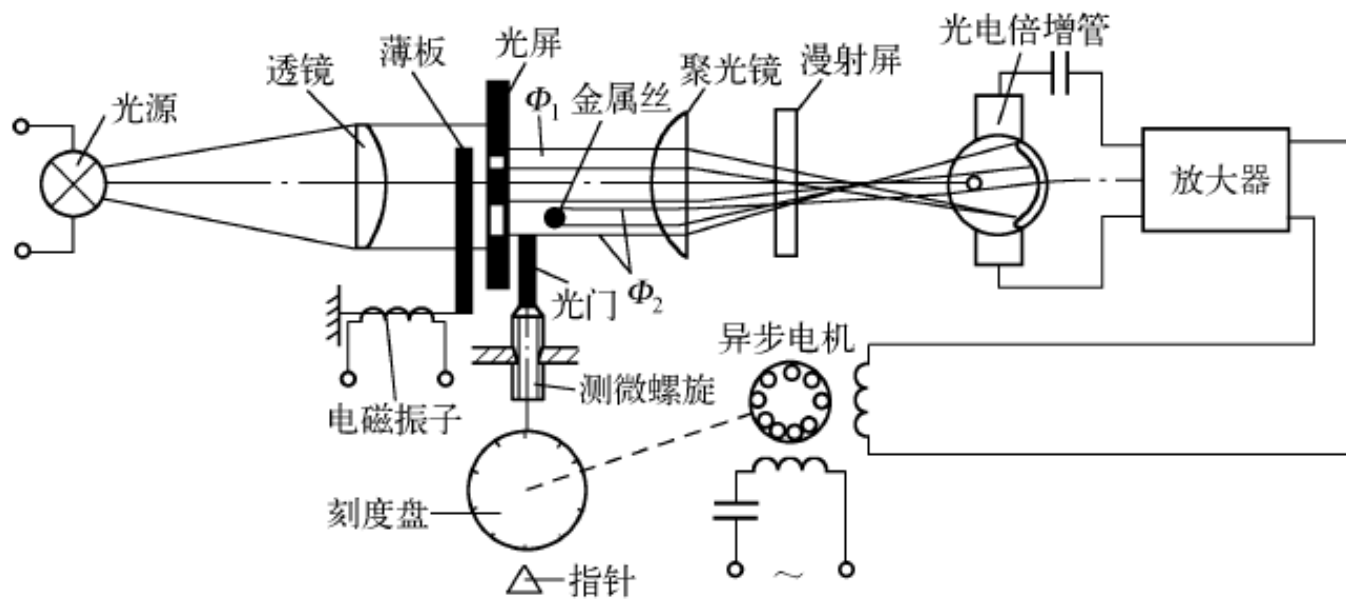


图8-16 补偿法线径检测装置

实际检测时采用电磁振子和薄板构成光调制器，调制频率为50Hz。检测和调制的关系，如图8-17所示。

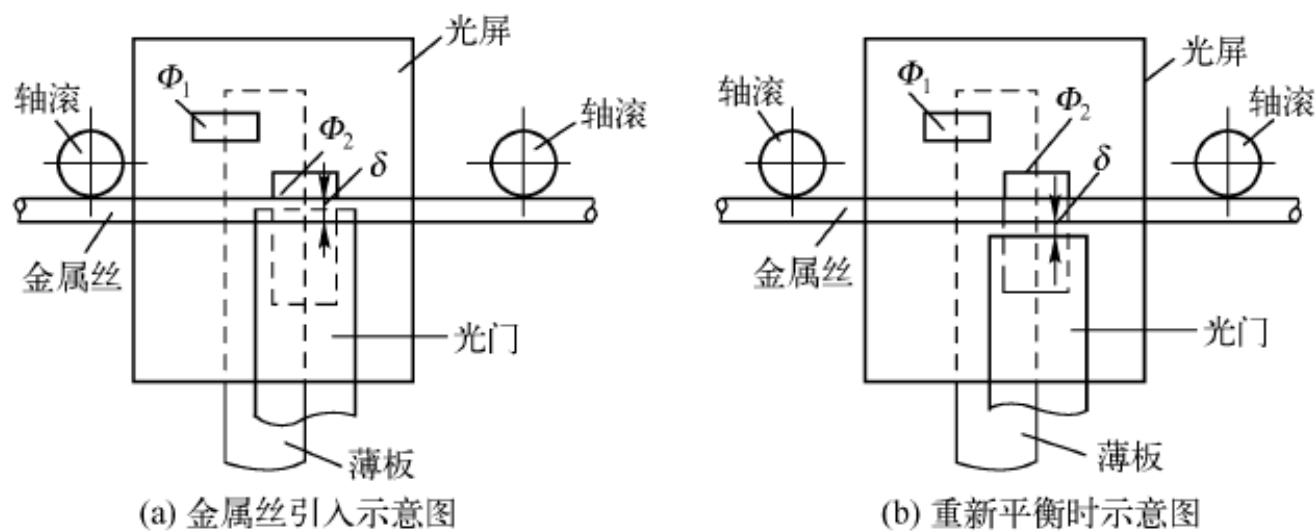


图8-17 线径检测及调制原理

8.1.9 对圆柱形零件的外观检查

该装置原理如图8-18所示。采用反射扫描方式进行检测。

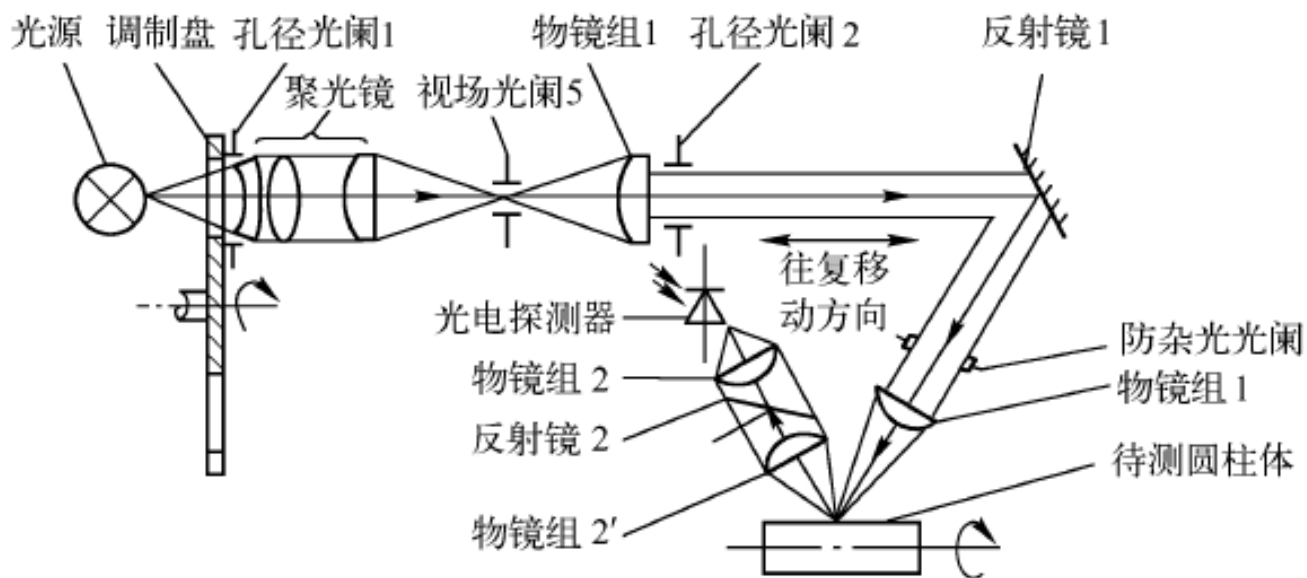


图8-18 圆柱外观检测机构原理

8.2 脉冲型光电检测系统

本节主要包括以下几部分内容：

8.2.1 物体长度分检装置原理

8.2.2 液位高度控制器

8.2.3 光电探测信号码的工作原理

8.2.4 气体流量自动检控装置

8.2.5 利用测量脉冲频率测定转盘转速

8.2.6 利用脉冲持续时间测定零件尺寸

8.2.7 全脉冲法测定零件尺寸

8.2.8 光栅数字测径仪

8.2.9 脉冲激光测距

8.2.1 物体长度分检装置原理

如图8-19所示为按长度自动分选的装置，在传送带的两侧分别配制两组光源—探测器对5、7和6、8，它们光轴间的距离恰应等于产品4所需分类的长度。

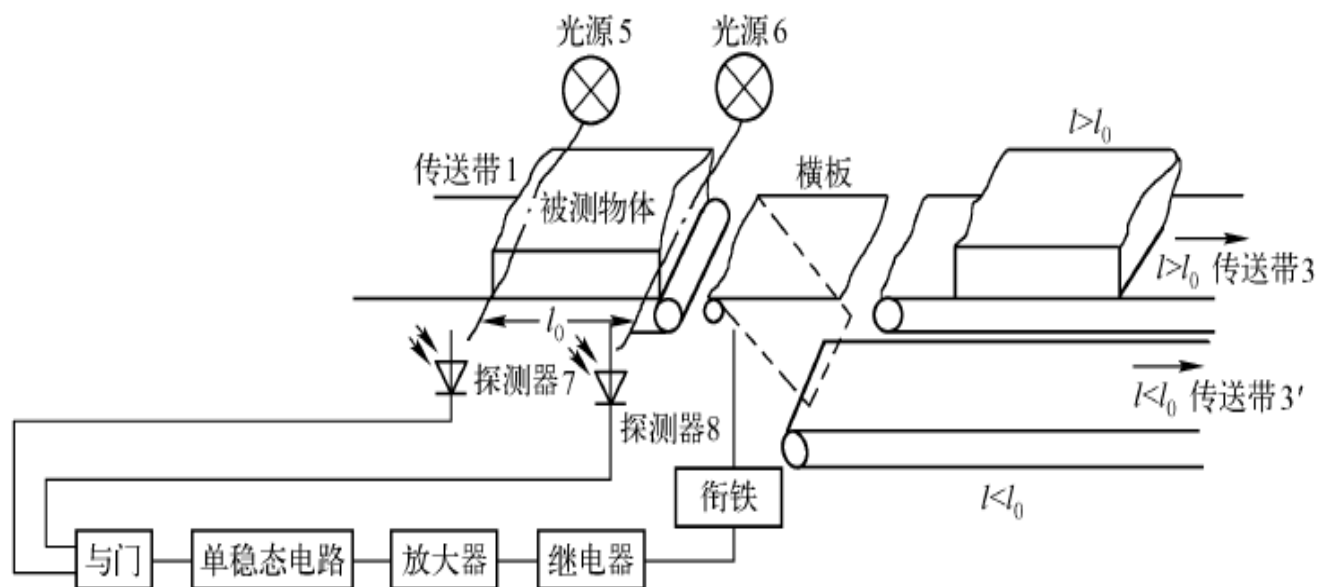


图8-19 按长度自动分选的装置

如果工作中要对产品长度进行控制，则可采用图8-20所示的三组光源—探测器对的方法。

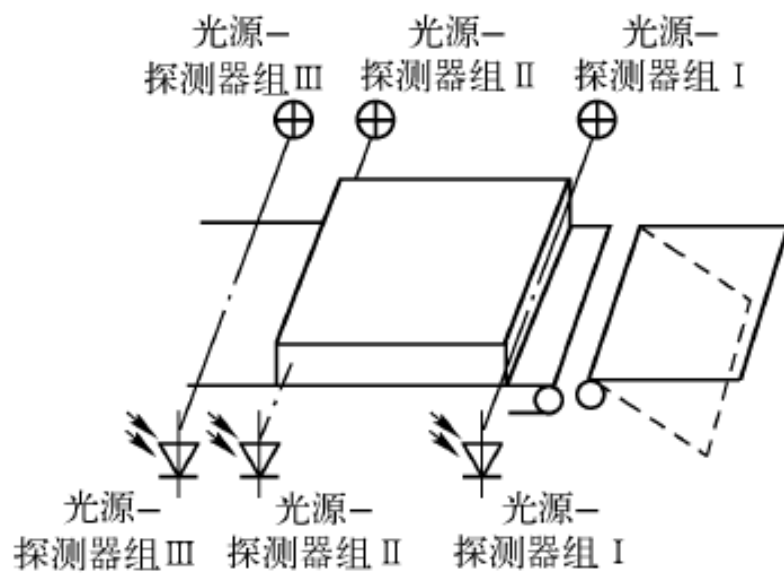


图8-20 产品长度检控装置

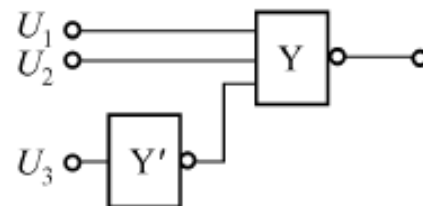


图8-21 长度检控逻辑图

8.2.2 液位高度控制器

液位高度的控制方法很多，这里介绍一种光电脉冲继电器型的方法。其工作原理如图8-22所示。

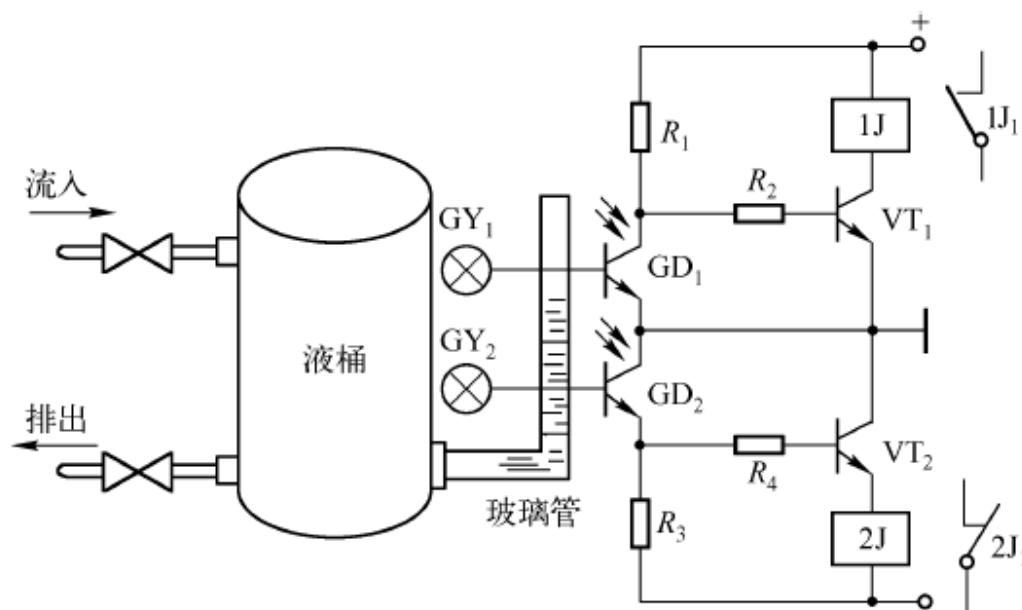


图8-22 继电器型液位高度控制器

8.2.3 光电探测信号码的工作原理

为区别传送带上同样大小箱子中的不同物体，可在箱体外部某个确定的位置上，统一按物类信息预先印上不同的二进制信号码。分类时用光电探测这些信号码，来区分不同的物类或其它所需的物类特征信息。光电探测信号码的工作原理如图8-23所示。

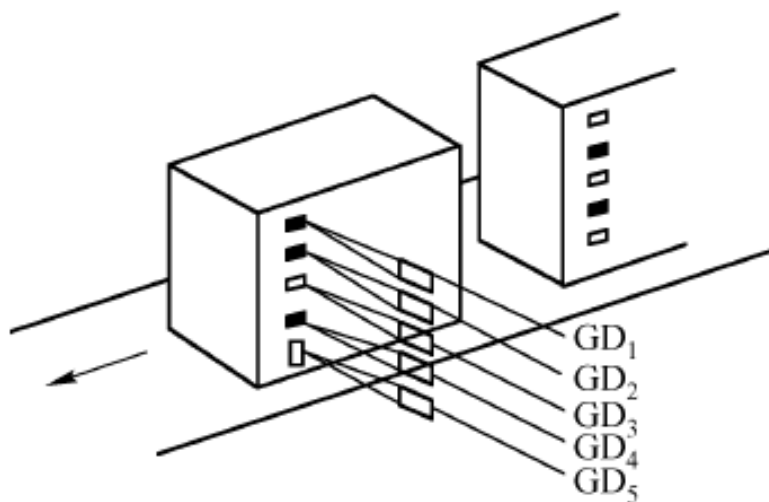


图8-23 光电信号码探测器

8.2.4 气体流量自动检控装置

该装置是由转子式流量计和光电探测器组成，原理如图8-24所示。

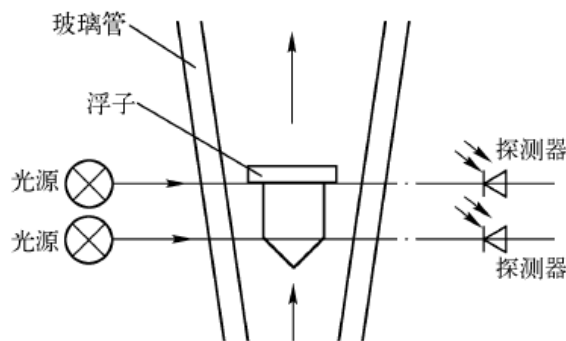


图 8—24 气体流量检控器

当流量变化时，可产生表8-1所示的几种状态，表中接收器受光照为“1”，不受光照为“0”，利用这些状态的变化，通过放大器、数字电路，译码器和阀门等，就可进行流量控制，也可用指示灯进行报警。

表 8-1 几种输出状态

接收器	1	0	0	1
接收器	0	0	1	1
信号含义	流量小	正常	流量大	不允许

8.2.5 利用测量脉冲频率测定转盘转速

脉冲法测定圆盘转速的原理如图8-25所示。

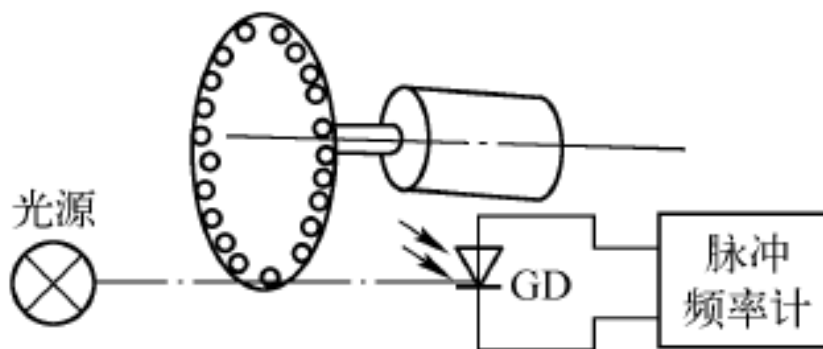


图8-25 脉冲法转速测定原理

光源通过转动圆盘上的小孔为光电接收器GD提供光脉冲。经光电转换、放大和整形等电路输出脉冲信号。设电机转速是 $n(r/min)$ ，圆盘上均匀开口数目为 m ，于是输出脉冲的频率为 $f = n \cdot m / 60(\text{Hz})$ ，则有

$$n = 60 f / m \quad (8-17)$$

8.2.6 利用脉冲持续时间测定零件尺寸

脉冲法测定轴径的原理如图8-26所示。

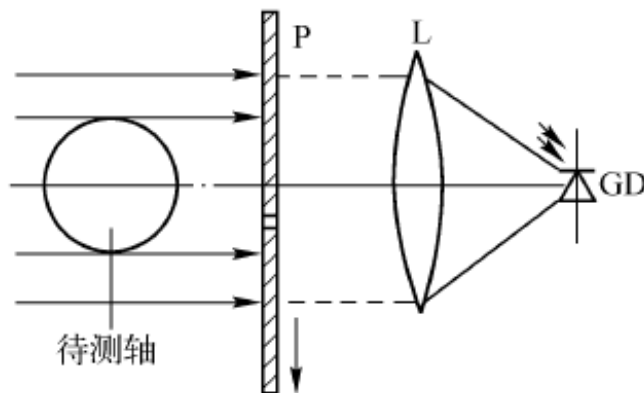


图8-26 脉冲法测定轴直径原理

脉宽的脉冲计数原理如图8-27所示。

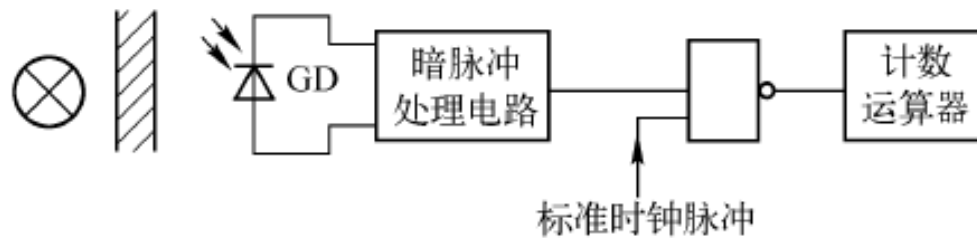


图8-27 脉宽的脉冲计数原理

如图8-28所示是利用光电方法在匀速运动速度为 v 的传送带上测定零件长度的方法。通过测定光电探测器产生暗脉冲的持续时间 t ，测定零件的长度 l 。其关系为 $L = vt$ 。

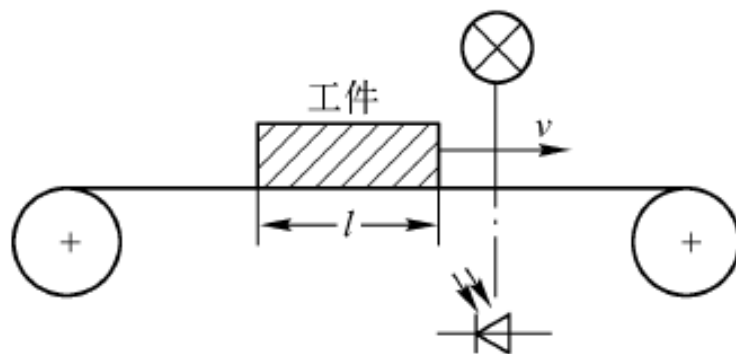


图8-28 传送带上工件长度检测

8.2.7 全脉冲法测定零件尺寸

它是一种与零件运动速度无关的测试方法。只要被测零件移动单位长度。不管其运动速度的快慢均使检测系统产生固定的 n 个脉冲，当被测物全部移过。共计产生 m 个脉冲，则零件长度为 $l = m / n$ 。图8-29所示是利用全脉冲法检测零件尺寸的例子。其工作原理如下。

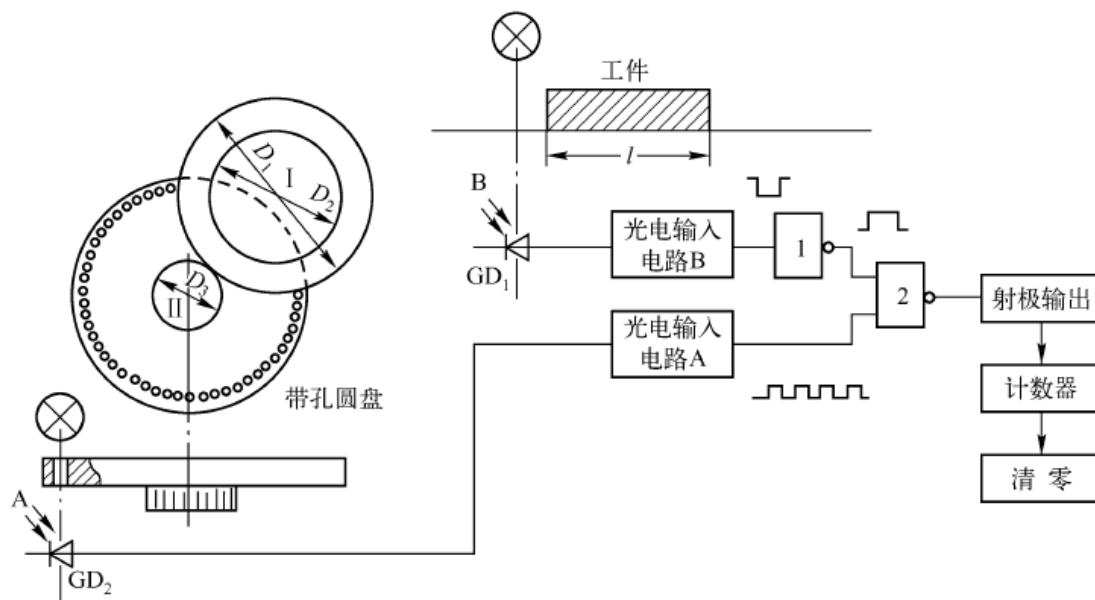


图8-29 全脉冲法零件长度检测原理

1. 计数脉冲发生系统

光电输入系统**A**的作用是产生计数脉冲。工件置于传送带上，主动轮 I 带动传送带移动的同时，也带动轮 II 转动。轮 II 的周边打有均匀分布的小孔共 n 个。在周边的某个位置上安装光电探测器与光源对，构成脉冲发生系统。主动轮每转动一周，对应工件移动距离是 πD_2 ，与此对应产生的脉冲数是 $D_1 n / D_3$ 。则一个脉冲对应零件移动的距离 Δl 为

$$\Delta l = \pi D_2 D_3 / n D_1 \quad (8-18)$$

2. 控制脉冲发生电路

光电输入系统**B**的作用是产生控制脉冲。光源与对应的光电探测器安装在待测零件的两侧。当无零件挡光时，光束照射光电探测器产生正信号；当零件挡光时，无光输入光电探测器，无信号产生。零件挡光过程产生暗脉冲，也就是控制脉冲，由光电输入电路**B**输出。

3. 系统检测原理

随着主动轮I的不断转动，由计数脉冲发生电路不断产生代表一定移动量的计数脉冲，并从光电输入电路**A**传送给门**2**。而门**2**的开关是由待测零件是否挡光决定。当零件挡光时，由光电输入电路**B**给与非门**1**传送暗脉冲信号，经门**1**反相后成为控制脉冲，将门**2**打开，对应暗脉冲或控制脉冲持续时间内门**2**一直打开，计数脉冲经门**2**给计数器计数，暗脉冲结束门**2**关闭，计数器停止计数。这时计数器所计数如果是**N**，那么零件的长度为

$$l = \Delta l \cdot N = (\pi D_2 D_3 / n D_1) \cdot N \quad (8-19)$$

8.2.8 光栅数字测径仪

脉冲式光栅数字测径仪工作原理如图8-30所示。这种测试仪的测量范围可达100mm，分辨尺寸是0.01mm，误差0.025mm；最小分辨尺寸可达1 μ m，误差5 μ m。

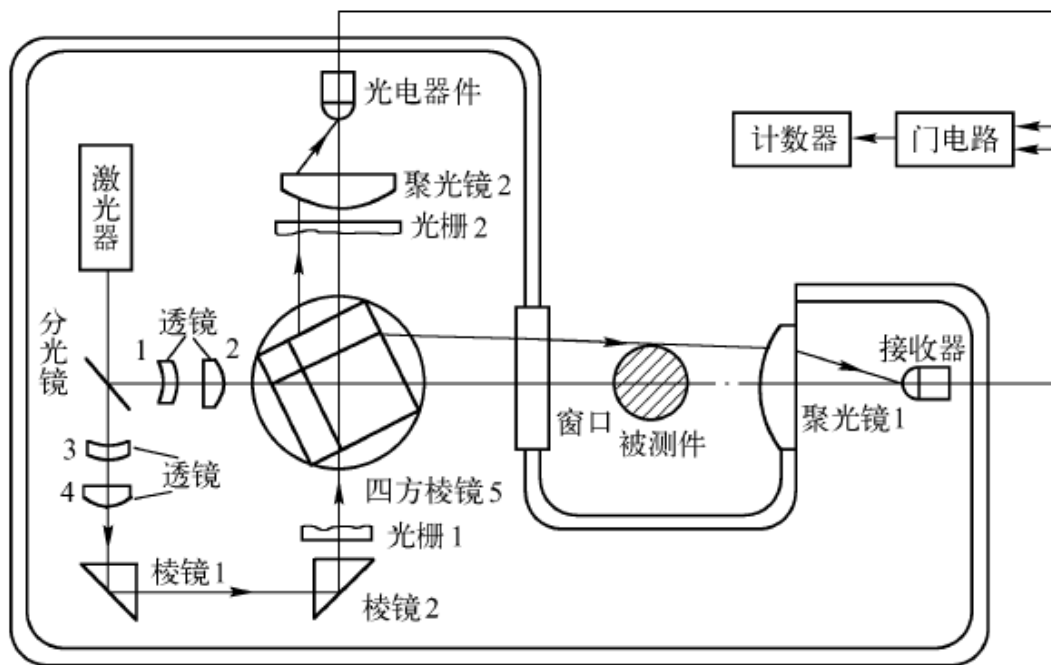


图 8-30 光栅数字测径仪

8.2.9 脉冲激光测距

脉冲激光测距原理是利用对激光传播往返时间的测量来完成测距。当所计往返时间为 t 、光速为 c ，那么所测距离 l 为

$$l = \frac{1}{2} ct \quad (8-20)$$

脉冲激光测距的方框图如图8-31所示。由脉冲激光发射系统、接收系统、控制电路、时钟脉冲振荡器和计数显示电路等组成。各脉冲波形之间的相互关系如图8-32所示。

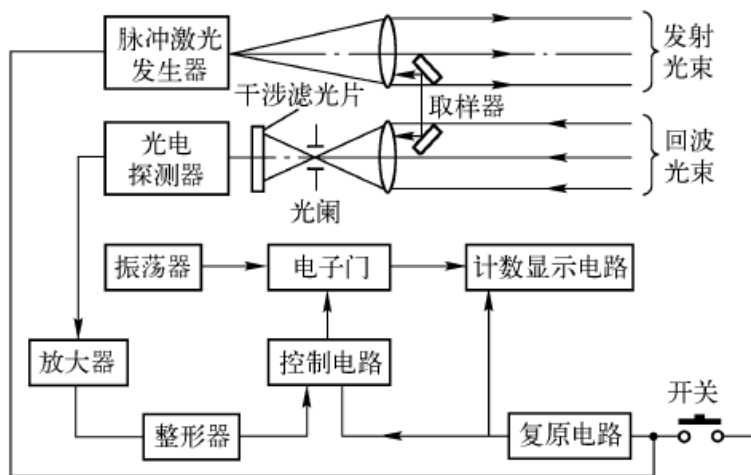


图8-31 脉冲激光测距方框图

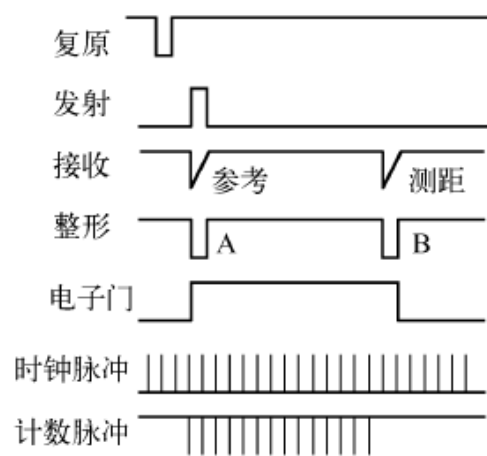


图8-32 脉冲波间的关系

8.3 相位型和频率型光电检测系统

本节主要包括以下几部分内容：

8.3.1 激光相位测距法

8.3.2 激光光波比长仪

8.3.3 双频激光干涉测长系统

8.3.4 激光流速计

8.3.1 激光相位测距法

该方法的原理是基于受正弦调制的激光波束，通过测定波束传播过程中相位的变化来确定待测的距离。设调制波形如图8-33所示，若调制频率为 f ，光速为 c ，调制波波长 $\lambda = c/f$ 。

调制光波的相位在传播中不断变化，设调制波从A到B的传播过程中相位的变化为 φ ，其值可用下式表示

$$\varphi = M \cdot 2\pi + \Delta\varphi = (M + \Delta m) \cdot 2\pi \quad (8-21)$$

式中， M 为零或正整数，相位变化的整周期数； Δm 为小数，为 $\Delta\varphi/2\pi$ 相位变化不足一周期的尾数。

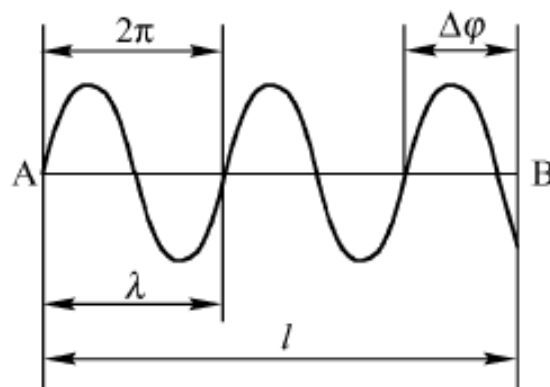


图 8-33 调制波形

调制光波每前进一个波长 λ ，相当于相位变化 2π 。与相位 φ 变化相对应的传播距离 l 为

$$l = \lambda(M + \Delta m) \quad (8-22)$$

实际测距时，在调制波形**B**点的对应处设置角反射器，使调制波束返回到测距机处，由专门的测相系统测定经**2l**距离传播后相位的变化量。可用图8-34所示的展开波形来说明。 **$AB=BA'$** ， **$AA'=2l$** ，于是有

$$2l = \lambda(M + \Delta m) \quad (8-23)$$

或
$$l = \frac{\lambda}{2}(M + \Delta m) = L_s(M + \Delta m) \quad (8-24)$$

式中， $L_s = \frac{\lambda}{2}$ 相当于测尺的长度。

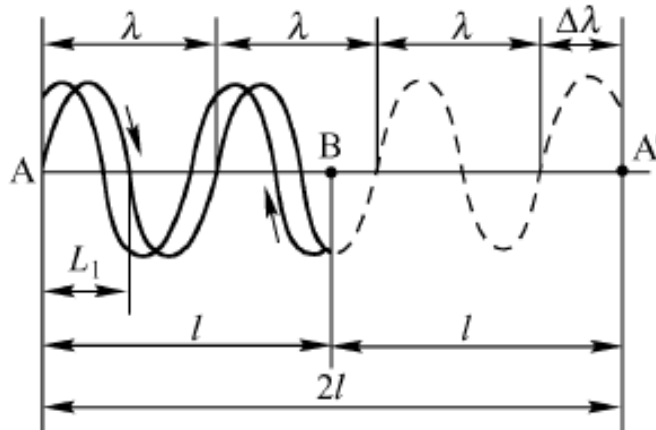


图8-34 往返波形展开图

8.3.2 激光光波比长仪

激光光波比长仪是以激光器作为光源的干涉仪，如图8-35所示。它以迈克尔逊干涉仪为基础。

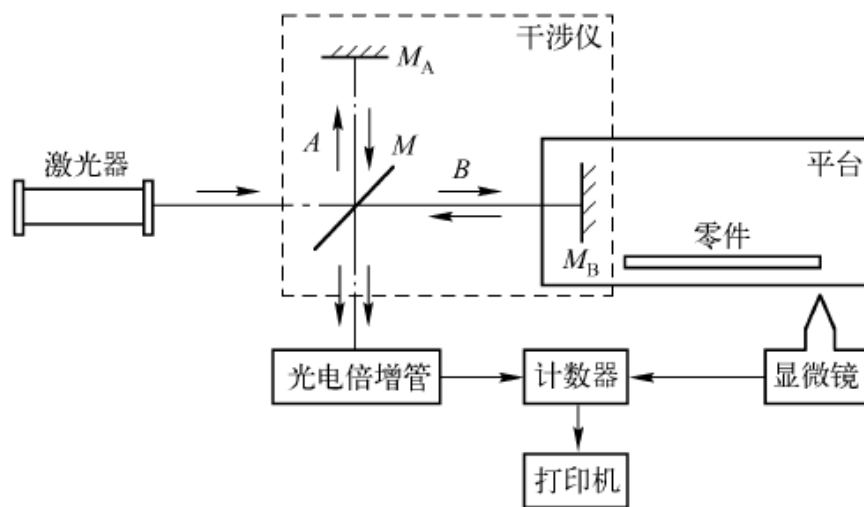


图 8-35 激光光波比长仪的工作原理

待测零件的长度可由下式得出

$$l = N \cdot \lambda / 2 \quad (8-25)$$

式中， l 为待测物体长度； λ 为激光的波长； N 为计数器测得的脉冲数。

8.3.3 双频激光干涉测长系统

该系统采用了双频激光干涉法，除可获得高测量精度外，对环境要求不高，适合现场使用。

双频激光群是利用塞曼效应的氦氖激光器。即在氦氖激光器的轴向增加一磁场，使其原发射的主频线分解为两个旋转方向相反的圆偏振光，且这两束光之间有着不大的频差。由于激光具有良好的空间和时间的相干性，因此上述两束光之间虽有少量的频差，但相遇时仍能产生干涉。这样的干涉常称为“拍”。

设振幅相同的两束光，其频率稍有不同，则其合成振动为：

$$y(t) = A \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + A \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$$

将其分解并组合后有

$$y(t) = 2A \cos(\pi \Delta f t + \frac{1}{2} \Delta \varphi) \cos(2\pi f t + \varphi) \quad (8-26)$$

式中， A 为光波的振幅； f_1, f_2 为两束光的频率， φ_1, φ_2 —两束光的初相角； Δf 为两束光的频差；其他参量间的关系为

$$f = (f_1 + f_2) / 2 \quad \Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \varphi = (\varphi_1 + \varphi_2) / 2$$

合成振动的光强与振幅平方成正比：

$$I \propto 4A^2 \cos^2(\pi\Delta f t + \frac{1}{2}\Delta\varphi) \propto 2A^2[1 + \cos(2\pi\Delta f t + \frac{1}{2}\Delta\varphi)] \quad (8-27)$$

光强随时间变化，相邻两最大光强或两对应光强间的时间间隔为

$$T = 1/\Delta f \quad (8-28)$$

可见光强以 Δf 为频率，在 $0 \sim 4A^2$ 之间变化，把 Δf 叫作拍频。采用光电探测器接收这一光强变化，就可获得以 Δf 为拍频的周期性电信号。

图8-36是双频干涉测长仪的光学系统和信号处理系统原理图。

设棱镜移动速度为 v ，则引起的频率变化为：

$$\Delta f_2 = \pm 2v/c \cdot f_2 \quad (8-29)$$

减法器输出的脉冲数 N 为

$$N = \int \Delta f_2 dt = \int \frac{2v}{c} f_2 dt = \frac{2}{\lambda_2} \int dl = \frac{2}{\lambda_2} l \quad (8-30)$$

则有

$$l = N \cdot \frac{\lambda_2}{2} \quad (8-31)$$

式中， λ_2 频率为 f_2 的激光波长， $c = \lambda_2 f_2$ $dl = vdt$

8.3.4 激光流速计

激光测速是利用多普勒效应原理。当光源和探测器之间存在相对运动时，光探测器接收到的光束的频率不再是光源发出的频率。如图8-37所示。以 v 表示光源 S 对观察者 P 的相对速度，以 α 表示相对速度方向和光传播方向之间的夹角，按多普勒效应原理，观察者在 P 点接收到光波的频率 f 为

$$f = f_0(1 + v \cos \alpha / c) \quad (8-32)$$

式中， f_0 为光源发光的频率； c 为所处介质中的光速。

对应多普勒频移为

$$\Delta f = f - f_0 = f_0 \cdot v \cos \alpha / c \quad (8-33)$$

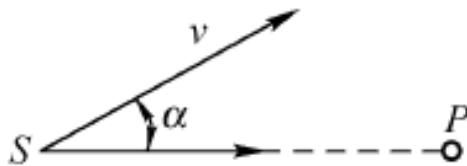


图 8-37 多普勒效应关系图

激光流速计，如图8-38所示。

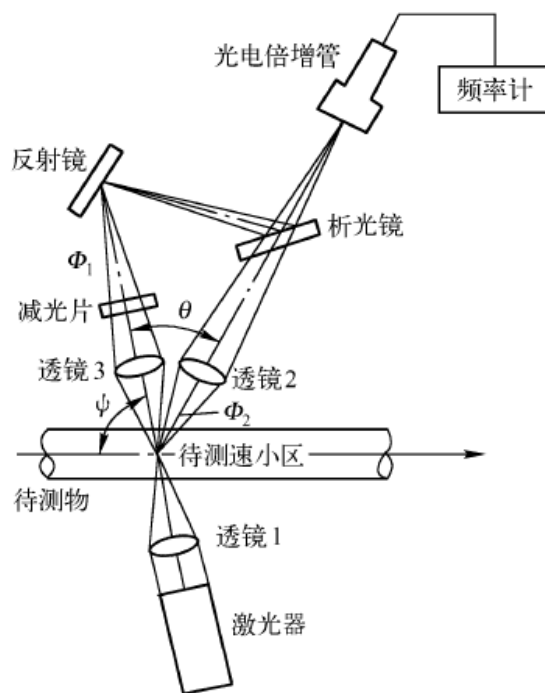


图8-38 激光流速计

频差 Δf 与流体流速间的关系为

$$\Delta f = \frac{2nv}{\lambda_0} \sin \frac{\theta}{2} \sin(\varphi + \frac{\theta}{2}) \quad (8-34)$$

式中， n 为流体的折射率； v 为流速； λ_0 为激光在真空中的波长； φ 为流动方向和激光入射方向的补角； θ 为散射方向与激光入射方向的夹角。

8.4 利用物理光学原理的光电检测系统

本节主要包括以下几部分内容：

8.4.1 利用衍射测量细丝的直径

8.4.2 利用全反射检测液面的装置

8.4.3 利用偏振光全反射检测液面的装置

8.4.4 利用全发射和干涉原理的测力计

8.4.1 利用衍射测量细丝的直径

测量装置原理如图8—39所示。当用激光器或平行光束照射细丝2时，在其后较远的屏幕3上能获得细丝的夫琅和菲衍射图。O点为中央亮纹，能量最多，各级暗纹和亮纹对称地分布在两侧。被测细丝2的直径 d 可依据衍射定律计算

$$d = \lambda L / s \quad (8-35)$$

式中, λ 为光束的波长, L 为细丝到屏幕之间的距离, s 为衍射条纹相邻两暗纹之间或除中央亮纹外,相邻亮纹之间的距离。

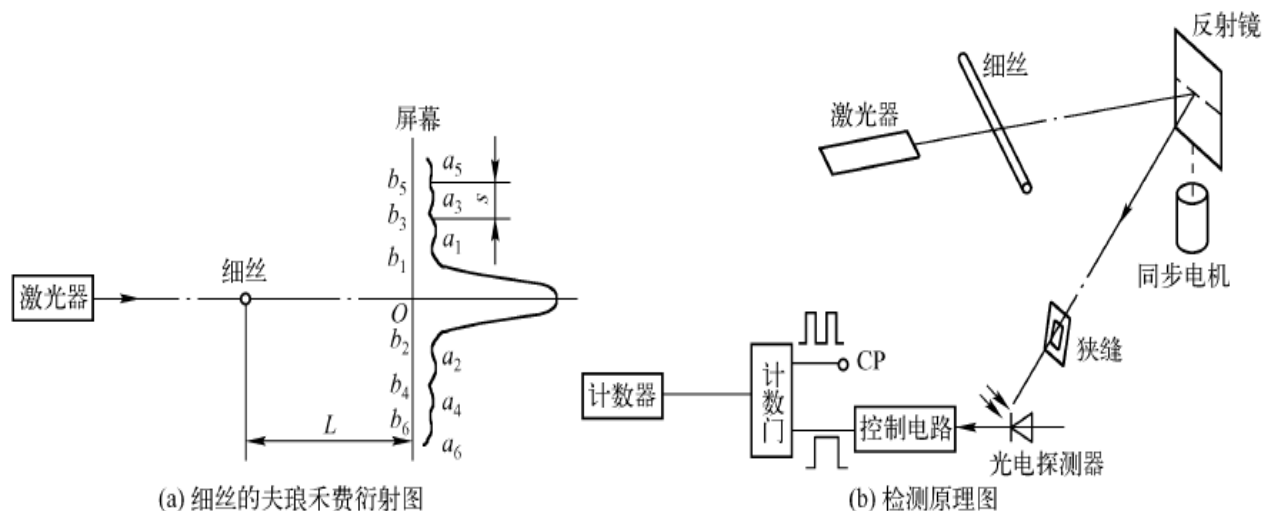


图8-39 利用衍射测定丝径

8.4.2 利用全反射检测液面的装置

当光束从折射率为 n_1 的光密介质向折射率为 n_2 的光疏介质传输时，如果入射角大于或等于临界角 i_0 ，这时光束在两介质介面处不产生折射，只将光束全部反射，临界角 i_0 可用下式表示

$$i_0 = \arcsin(n_2 / n_1) \quad (8-36)$$

利用全反射制成液面控制装置的工作原理如图8-40所示。

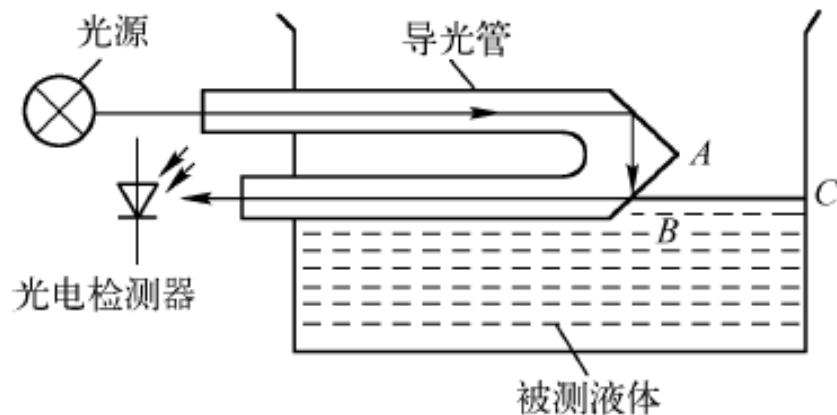


图8-40 液面全反射检测装置

8.4.3 利用偏振光全反射检测液面的装置

全偏振角 i_c 又叫作布儒斯特角，表示为

$$\operatorname{tgi}_c = n_2 / n_1 \quad (8-37)$$

自然光以全偏振角入射到两介质界面上时，反射光中只有垂直于入射面振动的光束，而无平行于入射面振动的光束。也就是说，反射光是线偏振光。

利用偏振光全反射检测液面位置的原理如图8-41所示。

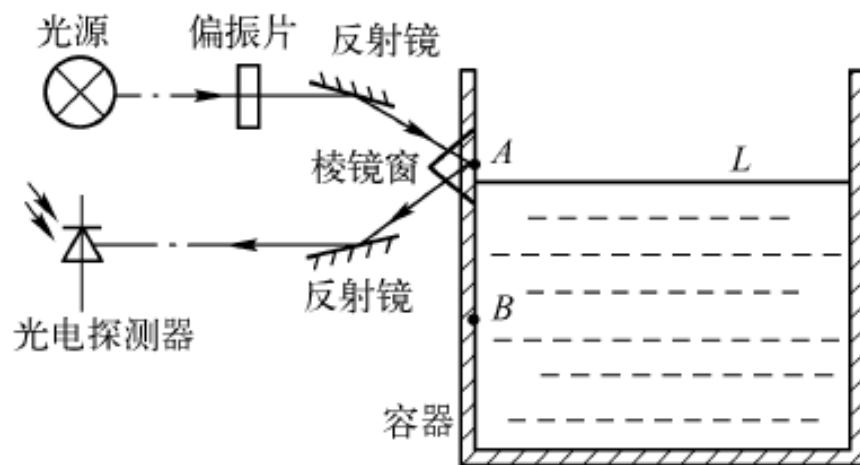


图8-41 偏振光全反射检测液面的原理

设棱镜折射率为 n_1 ，液体折射率为 n_2 ，液面以上折射率为 n_2' 。于是满足全偏振角的关系为

$$\operatorname{tgi} = \operatorname{tgi}_0 = n_2 / n_1 \quad (8-38)$$

满足全反射角的关系为

$$\sin i = \sin i_0 = n_2' / n_1$$

利用 $\sin^2 i + \cos^2 i = 1$ 的关系，整理后有

$$n_1 = n_2' / \sqrt{1 - (n_2' / n_2)^2} \quad (8-39)$$

8.4.4 利用双折射和干涉原理的测力计

该装置利用人工双折射原理和偏振光干涉原理设计而成。当起偏振器、检偏振器和双折射晶体按图8-42放置，从检偏振器输出的光通量 Φ 与通过起偏振器的光通量 Φ_0 间有以下关系

$$\Phi = \Phi_0 \sin^2 \frac{\delta}{2} = \Phi \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} \Delta \quad (8-40)$$

式中， Δ 、 δ 分别为通过晶体寻常光与非寻常光之间的光程差和相位差。

在图8-42的装置中，由双折射产生的寻常光与非寻常光的光程差 Δ 为

$$\Delta = CF \quad (8-40)$$

式中， F 为垂直作用于人工双折射晶体表面的力； C 为由材料决定的常数。
通过检偏振器的光通量为

$$\Phi = \Phi_0 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} (CF) \quad (8-41)$$

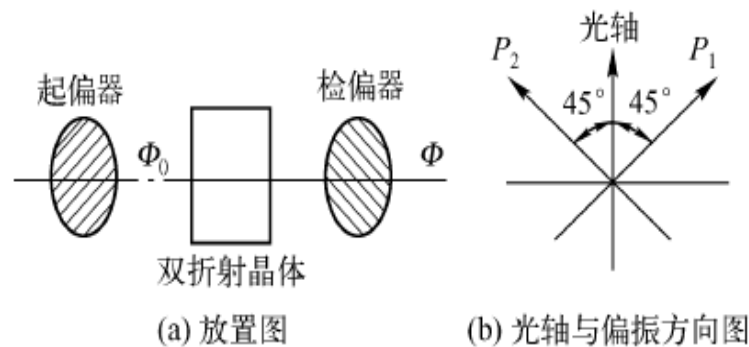


图8-42 偏振器与晶体的放置

图8-43所示为光电测力计的结构原理。

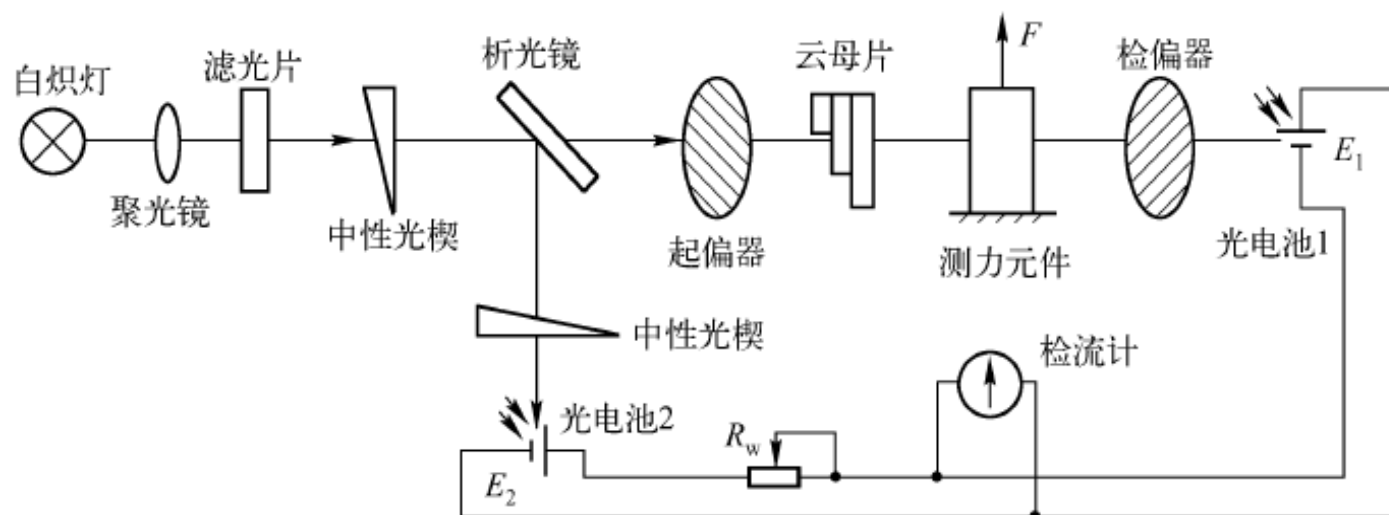


图8-43 光电测力计的原理图

8.5 其他光电检测系统

本节主要包括以下几部分内容：

8.5.1 利用示波器检测线材直径的方案

8.5.2 光电跟踪装置的工作原理

8.5.3 石英沙色选机

8.5.1 利用示波器检测线材直径的方案

该装置的原理如图8-44所示。

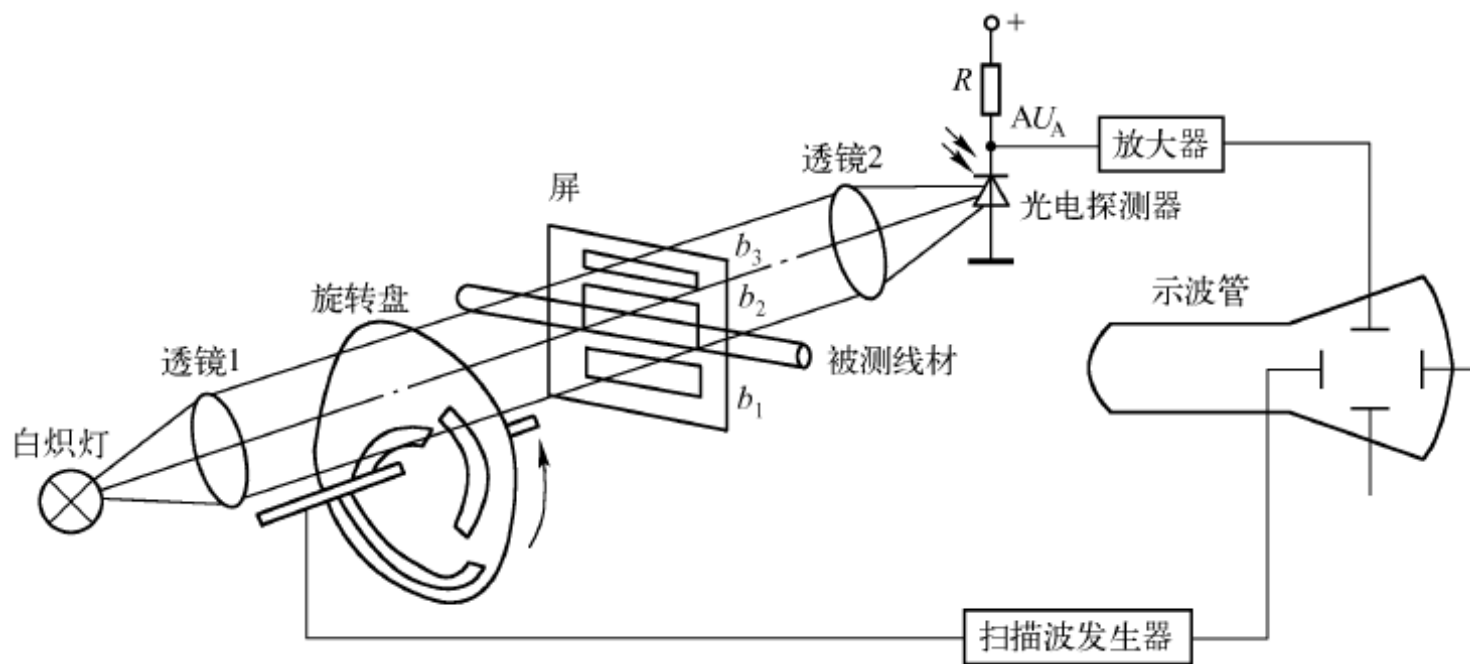


图8-44 示波器检测线材的方案

设被测线材直径为 D ，其允许的下限值为 D_{\min} ，上限值为 D_{\max} 。下孔、中孔和上孔的宽度分别为 b_1 、 b_2 和 b_3 ，它们应满足下述关系

$$b_1 = b_2 - D_{\min} \quad (8-43)$$

$$b_3 = b_2 - D_{\max} \quad (8-44)$$

中间孔的宽度 b_2 一定，于是 $b_1 > b_3$ 。通过 b_1 的光通量 Φ_1 大于通过 b_3 的光通量 Φ_2 ，所以 Φ_1 产生的光电流和电阻 R 上的压降大，A点的电位 U_{A1} 低，在示波器上示出 U_{A1} 线亦低，见图8-45。而对应 Φ_3 产生光电流小，A点的电位 U_{A3} 高，在示波器示出 U_{A3} 线亦高。

当被测直径 D 在允许范围内，满足下式

$$D_{\max} \geq D \geq D_{\min} \quad (8-45)$$

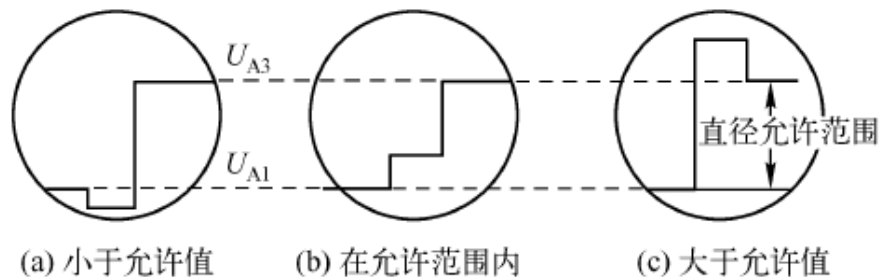


图8-45 示波器输出波形

8.5.2 光电跟踪转置的工作原理

该装置的应用很广，如用于线切割机、铣床、自动刻线、自动跟踪等设备中。实质上它是一种光电仿形跟踪装置。将预定的工件形状或线路制成仿型图，用光电头对所要求的方位进行跟踪。仿形原理如图8-46所示。

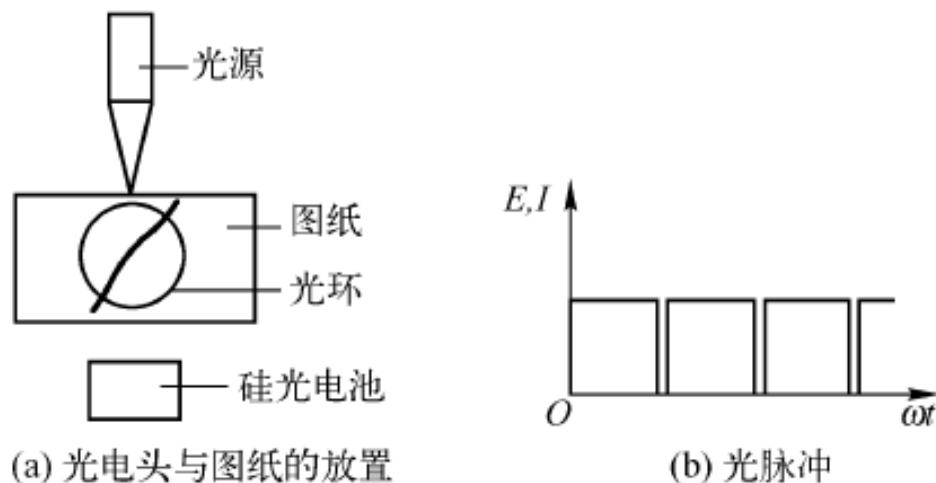


图8-46 仿形原理

通常光环与线条的相对位置可有三种基本情况，如图8-48所示。

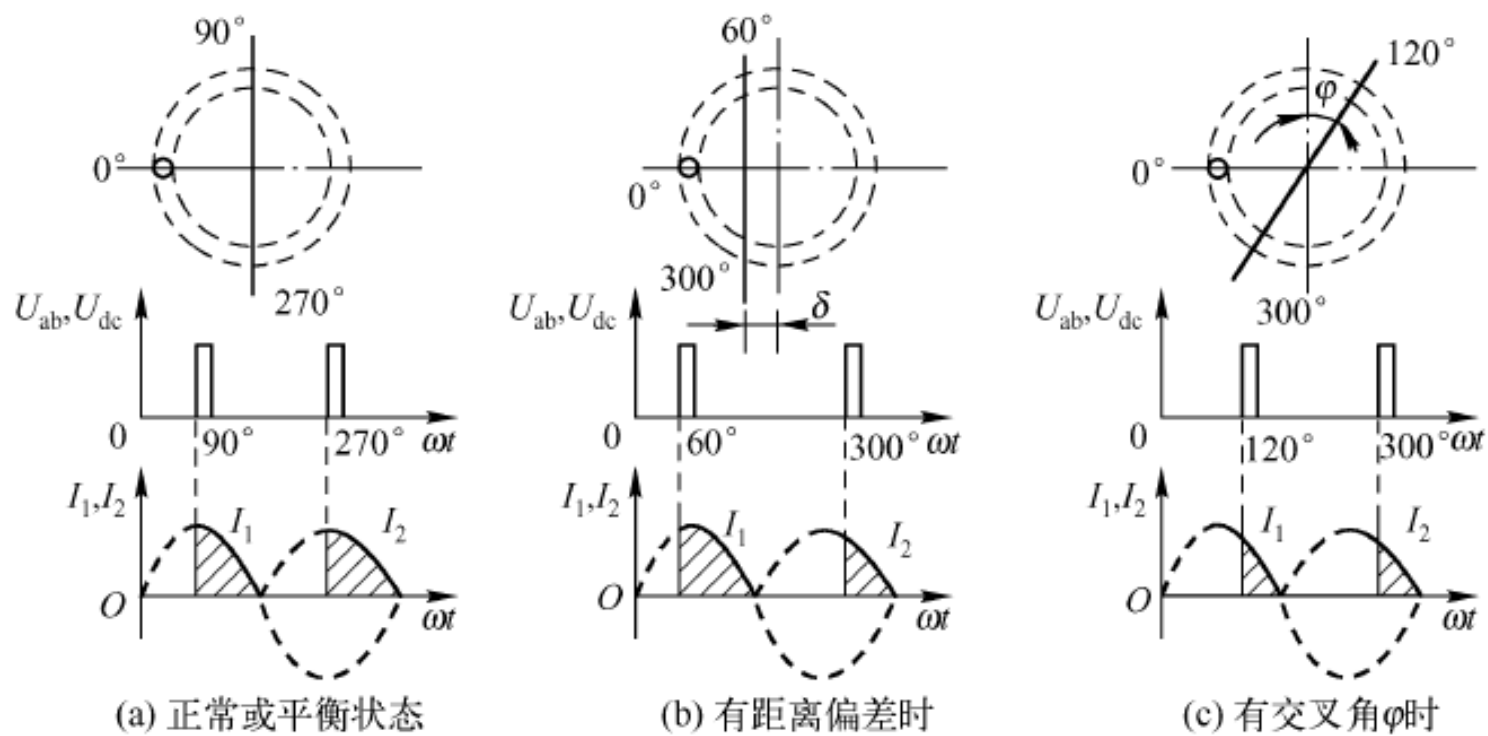


图8-48 光环位于不同线条位置时的输出信号

“差信号”电压与光环在线条上的距离偏差关系见图8-50所示。

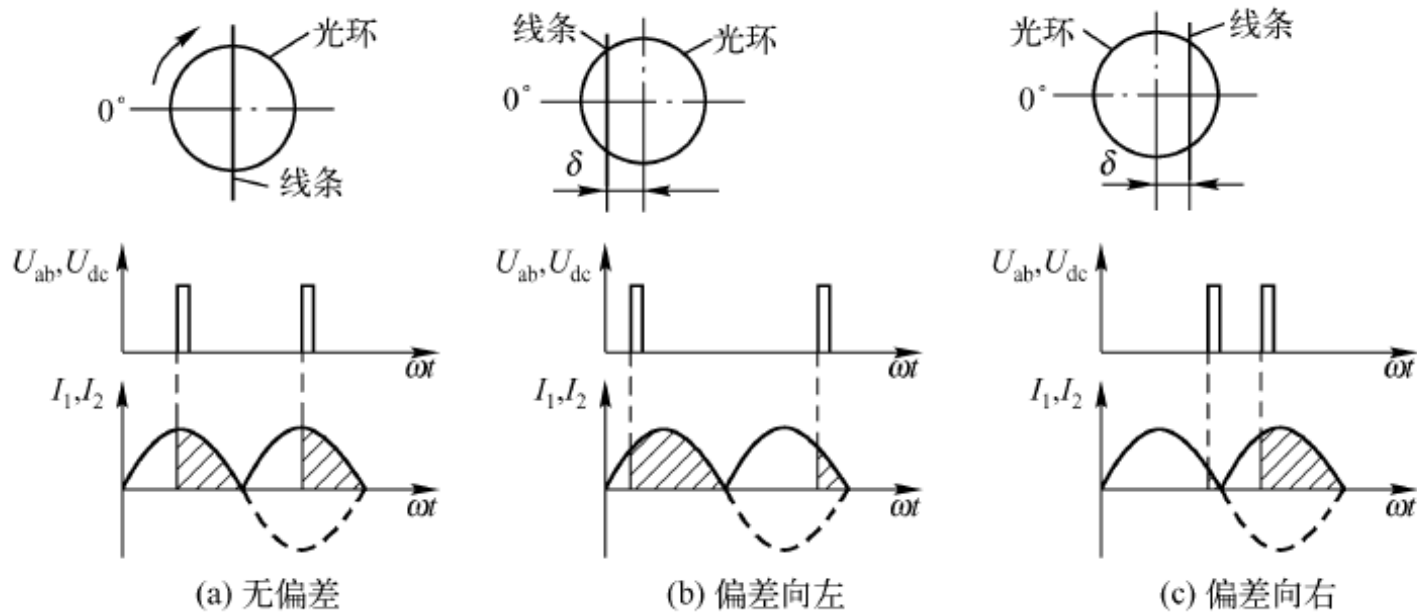


图8-50 光环与线条有距离偏差时的输出信号

8.5.3 石英沙色选机

石英沙是炼制石英玻璃的材料，其颗粒的线度约为2~3mm。为保证石英玻璃的质量，需将其中的杂粒和带有共生铁质的黄色颗粒去除，而保留洁白的纯度较高的石英沙颗粒。这一精选工艺可利用石英沙色选机来完成。其原理框图如图8-51所示。

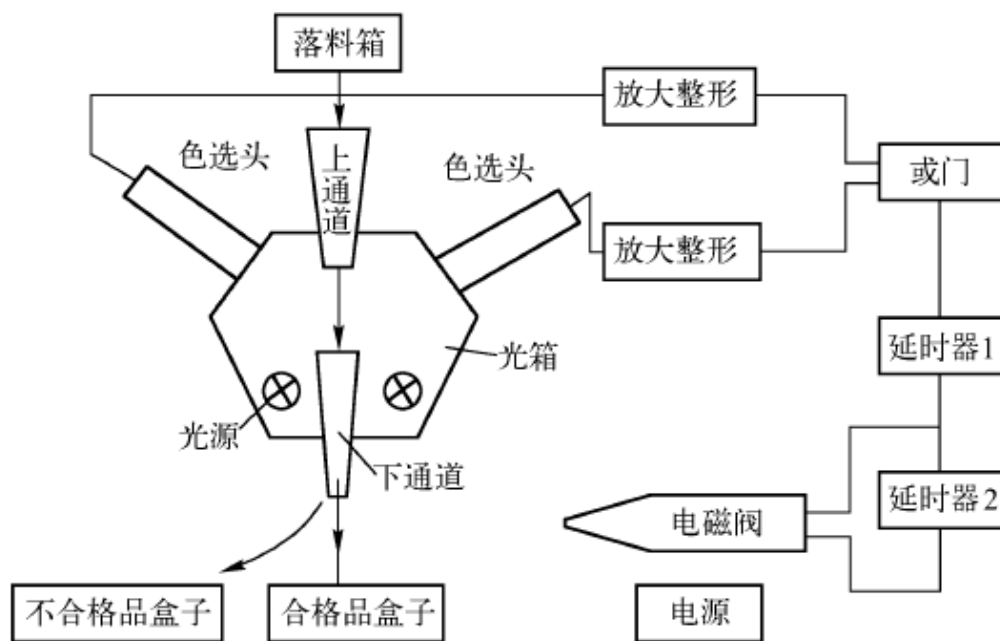


图8-51 石英沙色选机原理框图

在光箱的两侧各装有一个色选头。色选头的结构原理如图8-52所示。

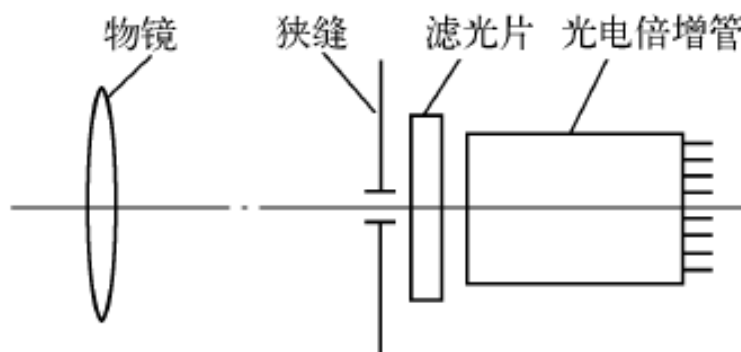


图8-51 石英沙色选机原理框图