

水表绝对位置编码器工作原理

宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院） 姚灵

位置编码传感技术是一项应用较为普遍的数字量输出传感技术，它通常应用于角度、位移和旋转量的测量等方面。由于它能将不同零部件直线或角度的运动位置通过数字编码方式进行位置定位，而且具有方法简便、直接数字量输出（多数情况下可不用 A/D 转换）、工作稳定可靠、抗干扰性能好等特点，因此在精密测量的各个领域得到了广泛的应用。

位置编码技术主要分为“绝对位置编码技术”和“增量脉冲编码技术”两种。其中增量脉冲编码技术主要用于旋转器件，如水表、电机等旋转零件的角速度测量（如本书第 3 章所介绍的旋转量传感技术就是建立在增量脉冲编码原理之上的）。增量脉冲编码技术应用于角速度测量，其初始值的设定非常重要，否则它将失去测量的意义。

将绝对位置编码技术引入机械水表的历史并不太长，所经历的道路也不平坦和风顺。由于绝对位置编码技术确实拥有其它传感与转换方式所不具有的特色和优点，因此虽遇困难和曲折，但在有识之士多年来孜孜不倦的努力探索和研究之下，经过设计、工艺的不断改进与完善，使该项技术目前已进入到实用阶段，并且得到了快速发展和应用，进步长足、成绩可喜。可以这么说，在机械式水表计数器上采用位置编码传感方式是一种技术进步的体现，也是新型传感技术在水表测量数据传感与转换方面的成功案例。

位置编码传感方式既可用于干式水表的传感与转换，又可用于湿式水表。由于它平时可以不用电源，只有在需要数据采集时给予供电，因此通常称它为“无源”形式；又因为它采集到的数据可以基本做到与机械计数器读到的数据完全保持一致，所以也称它为“直读”方式。据此，习惯上常将采用绝对位置编码传感方式的机械水表称作为“无源直读式电子远传水表”。

1. 绝对位置编码器工作原理

位置编码器能给出与每个角位置相对应的完整的数字量输出，由单个编码盘组成的位置编码器，其所测得的角位移范围为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。

位置编码器通常采用非接触式编码读数技术、接触式编码读数技术和磁传编码读数技术等几种。由于非接触式光电编码读数技术具有工作可靠，使用寿命长，安装调试相对方便等特点，因此是当前的主流编码读数技术，它的工作原理及结构形式见图 4-1 的示意图。

当码盘转到任一位置时，由光电发射元件发出的光经过该扇区上的码道后，在光电敏感元件上就会形成高、低不同电平的数字编码信号，将这些编码信号输出并分析，即可识别出

码盘所处的几何位置。在图 1 中，码盘上浅色区域表示为非通孔部分，光不能穿透过去，此时光敏元件输出为低电平，假设用“0”来表示；黑色区域表示为通孔部分，光能穿透过去，光敏元件因接收到光信号而输出高电平，可用“1”来表示该状态。因此，图中码盘所处的几何位置可用 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 读出的二进制码分别来表示，如：0001 代表“1”的位置、0010 代表“2”的位置、0011 代表“3”的位置、0100 代表“4”的位置、0101 代表“5”的位置，等等。

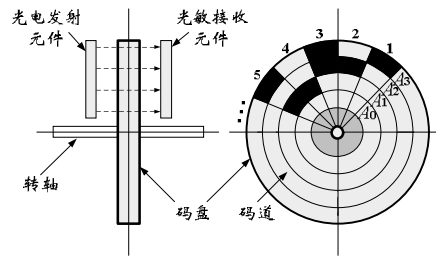


图 1 光电编码器工作示意图

绝对位置编码器具有固定零点，输出代码是轴角的单值函数，可靠性高，抗干扰性能强，掉电后再启动无须重新设定初始值等特点。

绝对位置编码器如要提高其分辨力，关键在于提高码盘的划分精细度和制造、安装的准确度。

1.1 位置编码器的构成

光电式位置编码器主要由光电发射元件、码盘和光敏接收元件等组成。

码盘上有一系列通孔和不通孔区域（即码道）构成的编码区，在光电发射元件照射下，光敏接收元件会根据码道上不同编码状态输出相应的编码值，而不同编码值则代表了码盘所处的位置；通孔码区应采用精密加工方式，位置应准确、边缘不能留有毛刺，否则在工作时光敏接收元件上会有噪声引入，影响码值识别。

选择光电发射元件应考虑其与光敏接收元件间的光谱匹配，这样做可以使光敏接收元件获得较高的接收灵敏度。在有条件情况下，光电发射元件前应设置光学透镜，使发散光源变成平行光源，以减少光学噪声，提高光通量。与仪用白炽灯泡相比，选用发光二极管（LED）做光电发射元件具有使用寿命长、体积小、功耗低、发光效率高等优点。

光敏接收元件可选用光电二极管、光电三极管或硅光电池等光敏元件，但用得较多的则是光电三极管。

1.2 光电发射元件

当前多数情况下采用发光二极管作为光电发射元件。发光二极管是一种固体发光光源，它由 P 型半导体和 N 型半导体组合而成，当在 PN 结上施加正向电压时就会发出光线，图 2 是发光二极管的发光特性。

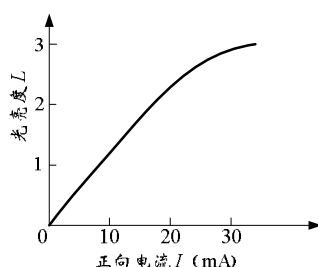


图 2 发光二极管的发光特性

当前发光二极管使用的主要材料有：磷化镓 (GaP)、砷化镓 (GaAs) 及磷砷化镓 ($\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$) 等几种。

1.3 光敏接收元件

当半导体的 PN 结受到光照射时，即使没有外加偏压，PN 结自身也会产生一个开路电压，即光生伏特效应。这时如果将 PN 结两端短接，便有短路电流通过回路。利用光生伏特效应制成的结型器件主要有光电池和光电二极管及光电三极管。

1) 光电二极管

光电二极管通常以高电阻 P 型硅材料为基体材料，然后再在其基体上用扩散磷的方法形成 N 型光敏面构成 PN 结。光电二极管的频率特性很好，因此可以用于检测快速变化的光信号；光电二极管的温度特性并不太好，当温度变化量达到 $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 时，其暗电流可以增大近十倍；光电二极管的频谱特性在红外线区，可用于红外探测或作为该频谱范围的光敏器件。表 1 列出了早期国产光电二极管的主要技术性能特性。硅光电二极管光谱响应曲线、伏安特性曲线、光照特性曲线分别见图 3、图 4、图 5。

表 1 硅光电二极管性能特性表

型号	最高反向工作电压 V	暗电流 μA	光电流 μA	型号	最高反向工作电压 V	暗电流 μA	光电流 μA
2CU1A	10	≤ 0.20	≥ 80.0	2CU2A	10	≤ 0.10	≥ 30.0
2CU1B	20	≤ 0.20	≥ 80.0	2CU2B	20	≤ 0.10	≥ 30.0
2CU1C	30	≤ 0.20	≥ 80.0	2CU2C	30	≤ 0.10	≥ 30.0
2CU1D	49	≤ 0.20	≥ 80.0	2CU2D	40	≤ 0.10	≥ 30.0
2CU1E	50	≤ 0.20	≥ 80.0	2CU2E	50	≤ 0.10	≥ 30.0

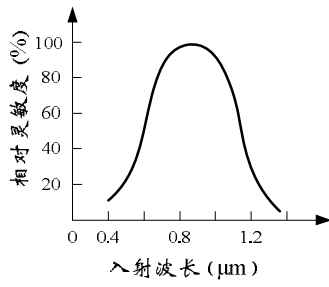


图3 硅光电二极管光谱响应曲线

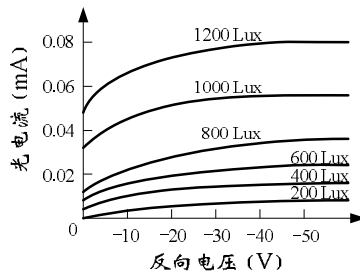


图4 硅光电二极管伏安特性曲线

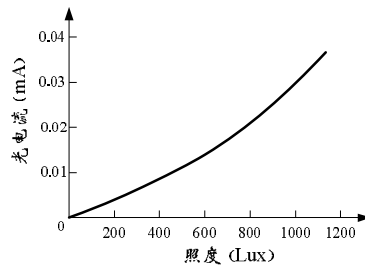


图5 硅光电二极管光照特性曲线

2) 光电三极管

光电三极管是利用二个PN结的光电晶体管，见图6。它和普通晶体三极管的结构十分相似，所不同的只是基区不接引线。应用时只要将发射极 e 接地，在集电极 c 上加电压即可。当光照射在发射极 e 与基极 b 的PN结上时，就能获得较大的电流输出。

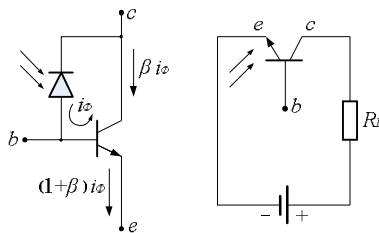


图6 光电三极管工作原理图

光电三极管的频谱特性由构成光电三极管的材料所决定,如硅的峰值波长为 0.9 微米左右,锗的峰值波长为 1.5 微米左右。

光电三极管的伏安特性曲线见图 7。光电三极管在不同照度下的伏安特性就像一般三极管在不同的基极电流时的输出特性,因此只要将入射光在发射极 e 与基极 b 之间的 PN 结附近产生的光电流看作基极电流,就可将光电三极管看作一般的晶体三极管。

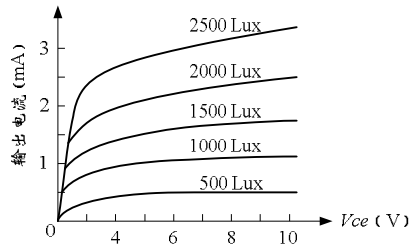


图 7 光电三极管伏安特性曲线

光电三极管的输出电流和照度之间的关系可近似看作线性关系。

温度变化对光电三极管的影响较大。温度影响主要表现在对光电三极管暗电流的影响上,所以在应用时应在电路上采取相应措施进行温度补偿,否则会导致输出电流的增加而造成误差。光电三极管的频率特性比较好,它的时间常数一般小于 10^{-5} 秒。国产早期光电三极管的主要性能特性见表 2。

表 2 硅光电三极管性能特性表

参数名称	最高工作电压	暗电流	光电流	上升时间	下降时间	响应波长	峰值波长	耗散功率	
符号	V_{max}	I_d	I_L	t_v	t_f	λ	λ_{max}	P_c	
单位	V	μA	μA	μS	μS	μm	μm	mW	
测试条件	$I_{CEO}=I_d$	$V_{CE}=V_{max}$	1000Lux; $V_{CE}=10V$	$V_{CE}=10V$ $R_L=100\Omega$		$V_{CE}=10V$		—	
3DU2	A	≥ 15	≤ 0.5	≤ 200	≤ 5	≤ 5	0.5 ~ 1.0	0.88	30
	B	≥ 30	≤ 0.1	≤ 300					
	C	≥ 39	≤ 0.1	≤ 1000					
3DU5	A	≥ 15	≤ 1.0	≤ 2000	≤ 5	≤ 5	0.5 ~ 1.0	0.88	100
	B	≥ 30	≤ 0.5	≤ 2000					
	C	≥ 30	≤ 0.2	≤ 3000					