

§ 2.14 标定方法

前面已经介绍了电阻、电感、电容、核辐射、超声、微波、激光等测长、测厚的方法。关于电阻法、电感法和电容法的标定方法可参见第一章内容。这里就其它几种方法的标定分述如下。

· § 2.14.1 核辐射测厚的标定

要确定产品的厚度，通常用标准板来进行标定，即用同样的探测器和同样的辐射源分别对标准厚度板和被测厚度板的所测结果进行比较。

为了提高整机精度，需注意选择探测器及电子线路。就探测器的选择来说，若需测定 β 粒子，则可用 β 粒子计数器（它是盖革计数器的一种），它几乎可以 100% 地记录进入计数器的 β 粒子。对于装有质量厚度为 2~3 毫克/厘米² 薄的云母小窗的钟罩式计数管，可以探测能量在 0.5 百万电子伏特以上的 β 粒子。而高能量的 β 射线，可以用液态或固态井型圆筒状的闪光计数器测量。

对于 α 射线的测定，可用脉冲电离室、ZnS 闪烁计数器和正比计数器进行测定。最近已发展为采用硅二极管晶体的固态检测器测定。

对于 γ 射线的测定，可用碘化钠闪烁计数器和电离室（不是薄窗的）进行测定。

对 α 射线源强度的测量，用脉冲电离室或气流式正比计数管计数后，脉冲经前级放大器放大，再送到线性放大器放大，最后进入定标器。这两种探测器的探测效率均达 50%。若探测器的计数率为 m ，则源的衰变率 D 可由下式表示：

$$D = \frac{m}{0.5f_B} \quad (2.14-1)$$

式中 f_B —反射校正因数，它与源的托架材料性质有关。托架材料为铂时， $f_B = 1.04$ ；为石英时， $f_B = 1.01$ ；为黄铜时， $f_B = 1.02$ ；为镍时， $f_B = 1.02$ 。

对 β 射线源强度的测量，由于源放在计数管外，因此用盖革计数管计数时，还需对测量结果进行校正才能得到源的净计数率 m ，即

$$m = DEf_B f_w f_s \quad (2.14-2)$$

式中 D —源的衰变率；

E —计数管的效率。它包含三个因数，即计数管对放射源的相对立体角 $\Omega/4\pi$ 、粒子进入计数管后被计数的几率 ε_β 和多次计数的改正因数 f_M 。

$$E = \frac{\Omega \varepsilon_\beta f_M}{4\pi} \quad (2.14-3)$$

设源和计数管窗口间的距离为 S ，窗的半径为 r ，源的半径为 R ，令 $a = r^2/S^2$ ， $b = R^2/S^2$ ，则对于钟罩式计数管，相对立体角 Ω 为

$$\begin{aligned} \Omega/4\pi = & \{1 - (1+a^2)^{-1/2} - 3ab/8(1+a^2)^{5/2} - b^2[-5a/16(1+a^2)^{7/2} + 35a^2/64(1+a^2)^{9/2}] \\ & - b^3[35a/128(1+a^2)^{9/2} - 315a^2/256(1+a^2)^{11/2}] + 1155a^3/1024(1+a^2)^{13/2}\}/2 \end{aligned} \quad (2.14-4)$$

若计数管为一圆柱形， $2l$ 为管子的有效长度， R 为管子的半径， a 为点射源到管轴垂直平分线的距离， b 为射源到计数管一端的距离， $b = \sqrt{a^2 + l^2}$ ，则此时立体角 Ω 为

$$\begin{aligned} \Omega = & 4 \tan^{-1} lR / \sqrt{(a^2 - R^2)(b^2 - R^2)} + 2lR^2 [\cos^{-1} R/a - R\sqrt{1 - R^2/a^2} \\ & (1 - 3R^2/2b^2)/a + aR(1 - R^2/a^2)^{3/2}/b^2] / b^3 \end{aligned} \quad (2.14-5)$$

计数几率 ε_β 与源的位置有关，多次计数改正因数 f_M 与计数管寿命有关，因此作精确标定

时, E 的数值需随时测定。

f_B —反射因数, 它随源的托片厚度增加而增加。从理论上讲, 托片厚度 d 达到 射线射程一半 ($R/2$) 时, f_B 达到饱和值。但实际上, 当 $d = 0.2R$ 时, f_B 已达饱和值。射源可以直接放在托片上, 也可以先放在有机薄膜上, 然后再把薄膜放在反射体上, 所得 f_B (饱和值) 见表 2.14.1。

表 2.14.1

 f_B 值

托 片 或 反 射 体	f_B (饱和值)	
	用 反 射 体	同 托 片
有机玻璃	1.15	—
硬纸板	1.19	—
铝	1.29	1.33
铁	—	1.59
铜	1.48	—
银—钯	1.66	1.83
铂	1.78	—
铅	—	2.05

f_W —窗的改正因数, 它包括两个部分: 一部分是窗的吸收, 另一部分是源至窗的空气中的吸收。 f_W 的数值可由实验来标定。方法如下: 在源与窗之间放进吸收片, 改变吸收片厚度, 观察计数率的变化。设窗的厚度为 d_W , 空气层厚度为 d_a , 则

$$f_W = e^{-\mu_m (d_W + d_a)} \quad (2.14-6)$$

式中的质量吸收系数 μ_m 可由吸收曲线的斜率求得。

f_S —放射源的自吸收改正因数。设 t 为射源的总厚度, 则

$$f_S = (1 - e^{-\mu t}) / t\mu \quad (2.14-7)$$

f_r —计数管呆钝时间改正因数。设 τ 为计数管的呆钝时间, m 为计数值, 则

$$f_r = 1 - m\tau \quad (2.14-8)$$

由式 (2.14-2) 可知, 当确定了 E 、 f_r 、 f_B 、 f_W 、 f_S 大小之后, 并测得净计数率 m , 则源的衰变率就可由下式算得

$$D = \frac{m}{Ef_B f_W f_S f_r} \quad (2.14-9)$$

关于数据处理问题。在作重复性放射性测量时, 即便在相同的条件下, 每次测得的结果不会完全相同。这是由于放射性物质含有许多不稳定的原子, 它们衰变时才放出射线, 而哪个原子先衰变, 哪个原子后衰变, 全属偶然现象, 并无任何规定的次序。因此对所测得的数据, 要进行统计学方法的处理, 采用泊松分布和高斯分布。

§ 2.14.2 超声式传感器的标定

对于超声式液位计来讲, 若采用声速校正, 则液位测量就变为时间间隔的测量了。对回波时间的测量, 可采用两种方法: 第一为双稳测时法, 第二是回鸣测时法。双稳测时法就是

利用一个双稳电路来计时,即触发发射脉冲的同时触发这个双稳,当反射的回波前沿到达接收器时,再用这个接收波前沿脉冲触发双稳,使之翻转。因此,这个双稳电路输出的方波脉宽就是所要测的回波时间。如果采用数字显示,就可以利用一个门电路,使得在双稳输出方波的这段时间内对由脉冲信号发生器送来的脉冲计数,用脉冲数来表示方波延续的时间。最后用数字显示此脉冲数。如果校正具长度为1米(来回声程为2米),调整脉冲信号发生器的频率,使之在双稳输出的方波脉宽 t_0 时间内共有1000个脉冲,则每个脉冲对应的液位变化为1mm。因此,测量探头计得的脉冲个数就代表了对应的液位高度。

回鸣测时法是当触发探头发射的第一个超声脉冲经被测液面反射,回波回到探头上时,这个回波的前沿又触发探头,使探头发出第二个超声脉冲。从第一个脉冲前沿到第二个脉冲前沿所经过的时间就是被测时间。在进行校正时,同双稳法一样。如果校正具长度为1米,液位单位用mm,则应用1000倍频,得到1000个脉冲,每个脉冲相当于1mm。因此在调整时,只需将超声波脉冲的发射与接收切换到校正具上,调整振荡器(如可控硅振荡器)的振荡频率,使计数器显示部分正好等于校正具的定长即可。

标定时,只需用数字频率计标定振荡器的振荡频率。

超声波测相界面位置,主要是利用固定校正具测超声波在介质中的速度,而速度的标定工作仍然归于频率的标定。例如,若设声脉冲在被测介质中的速度为 $U_0 = 1300 \text{ m/s}$,以毫米作为计量单位时,则脉冲的周期为 $T_0 = 2/1300 \times 1000 = 20/13 \mu\text{s}$,而该脉冲的频率为 $f_0 = 1/T_0 = 650 \text{ kHz}$ 。如果校正具长度 $L_0 = 1 \text{ m}$,则调节振荡器的频率使校正探头发出的声脉冲到接收脉冲的时间 t_0 内,计数器刚好计数1000个脉冲。然后用这个650kHz脉冲去计量声脉冲从测量探头到液界面的往返时间 t ,从计数器计得的脉冲数目便可知液界面的具体位置。

§ 2.14.3 激光式传感器的标定

对于激光干涉法测长的标定,主要是标定干涉条纹的数目,然后再换算为距离。由于干涉条纹数目由光电检测器检出后,变为光电脉冲数目,因此可用精密的数字计数装置来标定。对于较为精密的干涉测长仪,需对激光采取稳频措施,并且在测长仪内部有反射镜的激光管的轴向附加一个磁场。由于塞曼效应,附加磁场将产生两个具有一定相位差的振荡频率。当移动反射镜时,两个振荡频率的差频波对其中心频率产生多普勒频偏,将它们分别记数,用计算机作信号处理。

对激光调制法测距的标定,可用相位计标定相位差。

对激光雷达测距的标定,主要标定起始脉冲和终止脉冲之间的时间。

对激光扫描法测厚的标定,主要标定旋转反射镜转速,并用示波器测得扫过厚度为 d 的扫描时间。

对微波测厚的标定,主要标定补偿短路器的位移。其位移可用千分表测量。