

应用单片机对放射性测量误差进行控制*

杜志中 沈银保

冯晓波 梁学禹

(吉林省农科院原子能利用所)

(吉林省计算机技术研究所)

一、目的与意义

在进行放射性测量时,由于放射性计数存在着涨落现象。即使同一套实验装置,对同一个样本,在完全相同的测量条件下,反复重复测量得到的测量结果是各不相同的,它们围绕着某一最可几值上下涨落,它产生的原因在于放射性物质中每一个原子的衰变是完全独立的,哪一个核先衰变,哪一个核后衰变并无规定的次序,另外探测器对射线的探测过程也是随机的。即使单位时间内发射出来的粒子数相同,探测器产生的脉冲数也不一定相同。因此放射性测量误差只能服从统计规律。可以用高斯分布理论和泊松分布理论来处理误差。

对某一样本进行放射性测量,设在时间 t 内测得 N 个计数,样本的计数率 n 可以写成:

$n = \frac{N}{t}$,以后我们重点讨论计数率 n 的标准误差 σ 及相对标准误差 Δ 。考虑到样本的计数包括本底计数和样本净计数两部分,用 n_c 来表示样本的计数率, n 表示样本的净计数率,用 n_b 表示本底计数率。当本底计数很小,即 $n_c \geq n_b$ 时, n_b 可以忽略不计,可以用 n 代表 n_c 。对样本进行重复测量时,有 $n = \bar{n} \pm \sqrt{\bar{n}/m}$ 。 \bar{n} 为样本的计数率的算术平均值, m 为测量次数。

对放射性样本还可以采用延长测量时间的方法降低测量标准误差及相对标准误差。假定在 t 时间得到的总计数为 N ,那么计数率可以写成 $n_c = \frac{N}{t} \pm \frac{\sqrt{N}}{t}$;这里 $\sigma = \frac{\sqrt{N}}{t}$

由 $n_c = \frac{N}{t}$,得到 $n_c = \frac{N}{t} \pm \sqrt{\frac{n_c}{t}}$ 。可见样本的计数率的标准误差与计数率的平方根成正比,与其测量时间平方根成反比。

若本底计数 n_b 与样本计数 n_c 相比在数值上不能忽略时,单次测量的标准误差可以写成

$\sigma = \sqrt{\frac{n_c}{t_c} + \frac{n_b}{t_b}} \dots\dots (1)$ 这里 t_c 与 t_b 分别代表样本(包括本底计数)的计数时间和本底计数的计数时间。单位均为分。

从这个公式里我们可以看出:标准误差 σ 的大小由 n_c 、 n_b 、 t_c 、 t_b 4个变量决定,当

* 此项工作是在高金方研究员指导下进行的,特此致谢。

n_c 、 n_b 确定时 σ 的数值仅与 t_c 、 t_b 有关。当 $n_c \gg n_b$ 时, 即可以不考虑本底计数时, 公式1 可以化简为 $\sigma = \sqrt{n_c / t_c}$, 这表明标准误差与样本计数率的平方根成正比, 与样本的测量时间的平方根成反比。为了降低样本测量标准误差可以用增加样本的测量时间的方法解决。

在实际测量中, 特别是样本计数较少的时候, 降低样本的标准误差能得到相对准确的计数值, 因为样本标准误差的大小标志着测量的可信程度。所以降低样本的计数率的标准误差对实验有重要的意义。

以往我们在工作中常常采用的方法是: 对于某一放射性样本进行测量时, 事先对样本进行粗测得到计数率 n_c , 再粗测本底得到本底计数率 n_b , 用 k 表示 n_c / n_b , 假定我们选相对标准误差 Δ 为某一数值, 通过查表(见附表1), 得到 Δ 与 k 相应的样本计数值, 即满足相对标准误差 Δ 的样本应该测量的计数值。即满足相对标准误差 Δ 的样本应该测量的计数值。我们就可以在仪器上做数定时测量。结果用 $n_c = N / t$ 来表示。如果定标器上没有数定时测量功能, 也可以将数定时测量转变为时定数测量。

表1 能保证给定的计量相对标准误差 Δ 的脉冲数之测定 本底计数 $n_b = 30/\text{分}$

样本计数+本底计数/本底计数= k	$\Delta = 1\%$		$\Delta = 2\%$		$\Delta = 3\%$		$\Delta = 5\%$		$\Delta = 10\%$	
	本底	样本+本底	本底	样本+本底	本底	样本+本底	本底	样本+本底	本底	样本+本底
1.3	2.4×10^5	3.5×10^5	6×10^4	9×10^4	2.7×10^4	4×10^4	9.5×10^3	1.4×10^4	2.4×10^3	3.5×10^3
1.5	8.9×10^4	1.635×10^5	2.2×10^4	4.1×10^4	1×10^4	1.8×10^4	3.6×10^3	6.5×10^3	9×10^2	1.6×10^3
1.7	4.7×10^4	1.05×10^5	1.2×10^4	2.6×10^4	5×10^3	1.2×10^4	2×10^3	4.0×10^3	4.7×10^2	1×10^3
2.0	2.4×10^4	6.8×10^4	6×10^3	1.7×10^4	2.7×10^3	7.6×10^3	1×10^3	2.7×10^3	2.4×10^2	7.1×10^2
3.0	1.05×10^4	4.6×10^4	3×10^3	1.1×10^4	1.3×10^3	5.1×10^3	4.5×10^2	1.8×10^3	1.15×10^2	4.5×10^2
5.0	2×10^3	2.3×10^4	5×10^2	5.7×10^3	2×10^2	2.6×10^3	8×10^1	9×10^2	2×10^1	2.3×10^2
10.0	5×10^2	1.6×10^4	1.3×10^2	4×10^3	6×10^1	1.8×10^3	2×10^1	6.5×10^2	5	1.6×10^2
20.0	1.5×10^2	1.3×10^4	4×10^1	3.3×10^3	2×10^1	1.5×10^3	6	5.4×10^2	(1.5)	1.3×10^2
50.0	3.4×10^1	1.19×10^4	9	3×10^3	4	1.3×10^3	1.3	4.8×10^2	—	1.12×10^2
100.0	1.1×10^1	1.12×10^4	3	2.8×10^3	—	1.2×10^3	10.41	4.5×10^2	—	1.12×10^2
∞	(0)	1×10^4	—	2.5×10^3	—	1.1×10^3	—	4×10^2	—	1×10^2

这样做起来实际操作比较麻烦, 每测一个样本都要去估算一次 n_c 和 n_b , 然后再根据 k 与 Δ 查表, 测量速度缓慢。在我们研制的HFC-1型放射性植物活体测量仪上, 应用单片机使测量实现自动化。过程不需要人干预, 同时自动打印测量结果。

二、测量原理

由前边提到的公式1, 在等式右边除以 $n_c - n_b$, 公式1即改写成:

$$\Delta\% = \sqrt{\frac{n_c}{t_c} + \frac{n_b}{t_b}} \quad (n_c - n_b) \quad \dots\dots (2)$$

这里 $\Delta\%$ 表示为样本计数的相对标准误差用百分数表示, 其余 n_c 、 n_b , t_c , t_b 于前述意义相同, 从公式2中看到5个变量, 其中 t_c 与 t_b 是二个相互独立的变量, t_c 与 t_b 都对 $\Delta\%$ 的数值有贡献, 因为对同一探头样本计数与本底计数不能同时测量, 所以必须想办法

将 t_c 与 t_b 中的一个变量固定。从最佳测量时间分配公式: $t_c / t_b = \sqrt{n_c / n_b}$, 得到 $t_b = t_c \cdot \sqrt{n_b / n_c}$, 将此公式代入公式 2, 消去 t_b , 改写公式 2, 得到 t_c 的表达式如下:

$$t_c = \frac{n_c + \sqrt{n_c \cdot n_b}}{(\Delta\%)^2 \cdot (n_c - n_b)^2} \dots\dots (3)$$

这是一个样本计数时间 (包括样本净计数+本底计数的时间), 与样本计数率, 本底计数率, 及相对标准误差之间的关系式, 只要 n_c 与 n_b 和 $\Delta\%$ 已知的话, t_c 就可以通过公式计算出来。 n_c 与 n_b 我们可以预先粗测出来, $\Delta\%$ 可以预选, 这样计算机就可以由控制测量时间 t_c 来达到控制测量样本计数的目的。而这个测量时间 t_c 是满足相对标准误差 $\Delta\%$ 要求的。参看表 2, 表 2 是由公式 3 计算得到的测量时间与查表得到的测量时间之对照, 表 2 上的对照栏中的对照时间是由表 1 中给出满足一定误差要求的脉冲计数除以 n_c 得到的。

表 2 计算测量时间与资料所列测量时间之对照 $k = \frac{n_c}{n_b}$ $n_b = 30/\text{分}$

$\Delta\%$ t_c (分) k	1%		2%		3%		5%		10%	
	计算	对照	计算	对照	计算	对照	计算	对照	计算	对照
1.3	9037.7	8974.4	2259.4	2307.7	1004.2	1025.6	361.50	358.97	90.37	89.74
1.5	3633.0	3633.3	908.25	911.11	403.67	400.00	145.32	144.44	36.37	35.55
1.7	2042.4	2058.8	510.86	509.80	277.05	235.29	81.74	78.43	20.43	19.61
2.0	1138.1	1133.3	284.52	283.33	126.45	126.66	45.52	45.00	11.38	11.83
3.0	394.34	511.11	98.58	122.22	43.21	56.67	15.77	20.00	3.94	5.00
5.0	150.75	153.33	37.69	38.00	16.75	17.33	6.030	6.000	1.597	1.533
10.0	54.17	53.33	13.69	13.33	6.018	6.000	2.167	2.167	5.46×10^{-1}	5.33×10^{-1}
20.0	22.69	21.67	5.65	5.50	2.57	2.50	0.904	0.900	2.26×10^{-1}	2.17×10^{-1}
50.0	7.923	7.930	1.981	2.000	0.803	0.867	0.317	0.287	7.90×10^{-2}	8.00×10^{-2}
100.0	3.741	3.733	0.9353	0.9330	0.416	0.400	0.149	0.150	3.74×10^{-2}	3.73×10^{-2}

同理利用 $t_c / t_b = \sqrt{n_c / n_b}$, 可以得到 $t_c = t_b \cdot \sqrt{n_c / n_b}$, 代入公式 2 得到

$$t_b = \frac{n_b + \sqrt{n_c \cdot n_b}}{(\Delta\%)^2 \cdot (n_c - n_b)^2}$$

利用上述公式可以获得满足误差 Δ 要求的本底计数的测量时间 t_b , 因为本底计数一般较低, 而且可以事先准确测得, 所以我们只注意测量满足相对标准误差要求的样本计数时间 t_c 。

三、应用实例

将此方法应用在新研制的 FHC-1 型放射性植物活体测量仪上。该仪器是带有三个盖革计数管探头的多点测定植物活体放射性的仪器, 可以测定活体植物茎叶及根部的放射性。主机芯片采用 8031 单片机, 带有由 8 位数码管组成的显示器和 1 台小型打印机。

该机有 16 个键, 包括 10 个数字键及 6 个功能键, 它们是回车键 ENT, 删除键 DEL, 复位键 RST, 中断键 INT, 打印键 PRT。主机体积小, 适合于田间实验用。

下图是计算机工作流程框图, 按着框图编制工作程序。

具体操作如下：开机后按下ENT键，先输入年、月、日、时、分、温度、照度及测量效率，然后输入预选的探头号，以确定那一探头参加工作，然后再输入预选的相对标准误差 Δ ，以小数的形式输入，当 $\Delta > 1$ 时无效，每次输入后都要按回车键。这时仪器进入本底测量状态，计数时间1分，测量过程中显示器上显示为时间值。测量结束后，显示本底计数值。这时将探头对准待测样本，按回车键，仪器进入了自动测量状态，此刻仪器先粗测样本计数值，时间1分钟，1分钟后仪器显示样本计数值，接着仪器显示样本测量时间T，此测量时间T即是满足预选相对标准误差 Δ 所需的测量时间，之后仪器开始测量样本。同时计算出Nc及Cpm、Dpm及测量时间。

附打印格式：

1990年3月2日 10:30

WB: 15 TT: 1

Lx: 10000 F: 2

E: 0.10

ER: 0.05

T: 0分45

NB: 10

CPM: 617

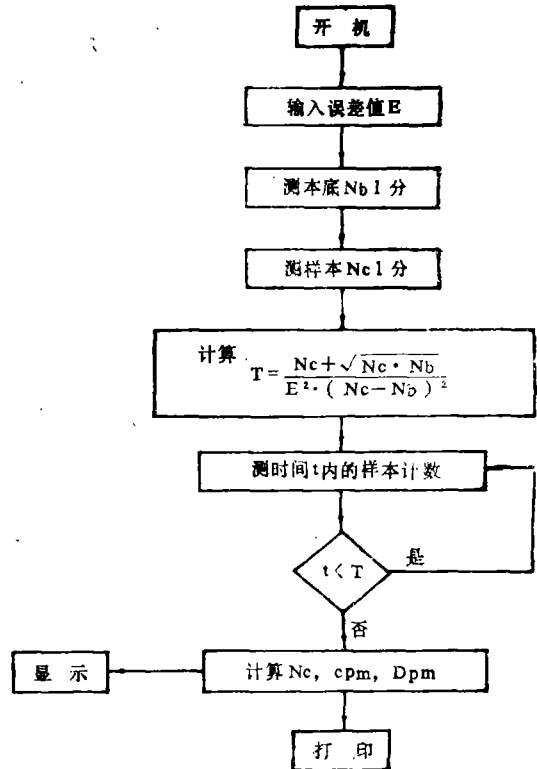
DpM: 6170.00

四、结束语

通过对仪器的实测表明，由于使用了单片机对测量施行了控制和计算测量结果，使测量过程实现了自动化，使得按预选误差测量法测量所需时间大大缩短。由于仪器带有小型打印机打印测量结果，从而保证了测量结果的可靠性，但是我们也发现当测量时间t小于0.5分钟时，实际计算得到的样本净计数值cpm与用手动测量得到的结果比较，偏离较大，测量时间越短，所得到的计数值偏离的越大。再经过计算机换算成cpm后又可产生几倍的误差，这里除了换算中产生的误差外，还有统计涨落现象造成的误差。

因此建议当样本计数与本底计数相比，本底计数可以忽略不计，即当 $k > 100$ 时，样本测量应采用定时测量法。从表1中也可以看出当 $k = 100$ 时，测量时间达到1分钟时，相对标准误差 Δ 已经降到3%以下。已经有相当高的精确度了。因此可以采用定时测量法，例如测量时间选择1分钟，不应再按预选误差测量法进行测量。

工作框图如下：



注：为输入方便将 Δ 改写成E