

串光效应的分析及简单排除

董家伦 罗高礼

(西北农学院同位素实验室)

自从双管符合型液体闪烁计数器问世以来,存在着一个重要问题,便是串光效应^[1,2](Cross-talk effect)。串光效应是一个光电倍增管产生的闪光被另一个面对着它的光电倍增管接受,而记录下来的现象。串光效应产生的原因主要来自光电倍增管包壳及计数室中其它材料中的放射性物质,宇宙射线在样品室及其周围介质中产生的契仑科夫辐射所引起的闪光,以及光电倍增管内剩余气体引起的放电等。串光效应是把偶然事件通过符合变成必然事件,与放射性在闪烁溶液中产生的信号相混,提高了本底,因此降低串光效应对降低本底,提高优值即对减少计数时间、提高测量精度有意义。降低串光效应的方法很多,大体上有电子学方法和光学方法两类;电子学方法大都增加了仪器的成本^[3];光学方法则是从改进计数室的光通路^[4]以及选择计数杯材料、计数管有关材料入手的^[5],当然,还有其他一些方法^[6],例如增加屏蔽、减少激发光源等。

光学方法中,P.E.Hartley及G.E.Calf等人作过努力,他们是从改进计数杯的设计着眼的。他们都用放射性含量低的Teflon作为杯材料;前者配合电子学方法;后者提出了计数杯的两种设计,不过他们都未指出有关光电通路的细节。我们所用的计数杯很象C.E.Carf的“B”设计,可是,我们的闪烁杯是废链霉素瓶,除探讨了串光通路的有关细节外,还初步摸索了降低串光的简单方法。

材料和试验设计

1. 材料

闪烁计数杯是华北制药厂的废安瓿瓶;检查串光用的遮光材料是“120”废胶卷的黑纸带。

放射性是³H-正十六烷标准。

闪烁液的配方为:PPO 5 g/l、+ POPOP 0.1 g/l、+ 蔡 80 g/l的甲苯闪烁液。

2. 试验设计

为了便于对串光进行分析,根据闪烁杯在计数室中的位置,我们将两个光电倍增管之间的光通路进行区分,如图1;

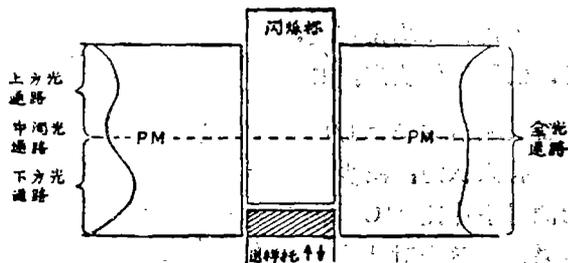


图1 计数室中光电倍增管间光通路示意图

由图1所见,产生串光的条件是:首先,有产生光子的条件;其次,产生的光子是经过哪部分光通路实现串光的。

基于上述设想,我们按表1安排进行设计,表1各闪烁溶液的高度,以及闪烁液上方光通路套以黑纸套的高度,汇总在表2中。

表1 试 验 处 理

处	理	对 照	闪 烁 溶 液 体 积 (ml)				
			1	2	3	4	5
有放射性	闪烁液上方套黑纸套	黑纸瓶	1	2	3	4	5
	无 黑 纸 套	空 瓶	1	2	3	4	5
无放射性	无 黑 纸 套	空 瓶	1	2	3	4	5
	闪烁液上方套有黑纸套	黑纸瓶	1	2	3	4	5
		黑纸瓶	0	0	0	0	0

根据表1要求,取脱脂的废链霉素瓶54个,分作两大组,其中一组的每个瓶中皆加入等量的 ^3H -正十六烷标准。而两大组的每个瓶中均依次加入不同体积的闪烁溶液。其中各半,又作闪烁溶液上方空间套以黑纸和不套黑纸套的两种处理,并设置空瓶及全用黑纸套隔断全部光通路的黑瓶作对照。相应地,和有闪烁液的瓶子一样,另取空瓶套以黑纸套,不过,其中不含闪烁液,作为对照,检查瓶子本身的串光贡献。

表 2 各 处 理 的 尺 寸

尺 寸 (mm)	空 瓶	黑 瓶	闪 烁 溶 液 体 积				
			1(ml)	2(ml)	3(ml)	4(ml)	5(ml)
闪烁溶液的高度	0	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0
闪烁液上方黑纸套高度	0	52.5	49.5	46.5	43.5	40.5	37.5
总 长	0	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5

上述样品均设重复,制好样品后,在262厂的FJ-353双道液体闪烁计数器中测定,仪器工作状态: $H.V = 1280V$ 、分析选择 = 1、 $U_{下} = U_{中} = 0.5V$ 、 $U_{上} = 5V$,放大器衰减倍数 $A = 1/8$ 、 $B = 1/4$ 。本底计数时间为6000 S。

有人认为:减少串光,对 ^{14}C 计数的效益要比 ^3H 计数的效益要大^[7],不过, ^3H 的测量条件比 ^{14}C 的条件要敏感的多,只要减少串光效应之后,对 ^3H 计数取得满意的结果,当然会对 ^{14}C 计数有较大的效益^[8]。因此,我们在设计当中,只用了 ^3H -正十六烷。

结 果 及 分 析

1. 各种处理对本底贡献的分析

这部分值只限于表1中那些未加放射性的样品，其中包括空杯、全黑杯以及空室的计数率，所得值列于表3。根据图1、表1设计，按表3要求进行逐项分析。

表 3 串 光 分 析 程 序

分 析 程 序		光 源	光 通 路	
Cpm — Cpm = Cpm			介 质	方 位
空 室	— 黑 瓶 = 总串光	光电信增管； 计数室材料； 契仑科夫辐射； 宇宙射线。	空 气	全 光 通 路
空 瓶	— 黑 瓶 = 杯材料串光	杯 材 料	空 杯	全 光 通 路
黑纸 空瓶	— 黑 瓶 = 空 瓶	下部各层杯材料 下部杯材料	下部各层杯 材料 不同高度杯材料	} 下 方 光 通 路
空 瓶	— 黑纸 空瓶 = 空 瓶	上 部 杯 材 料	空 杯	
黑纸 闪液	— 黑纸 空瓶 = 闪 液	闪 烁 液	闪烁液 + 杯材料	下 方 光 通 路
空瓶 闪液	— 空 瓶 = 闪 液	闪 烁 液	闪烁液 + 杯材料	全 光 通 路
空瓶 闪液	— 黑纸 闪液 = 空 瓶	上 部 杯 材 料	闪烁液 + 空杯	全 光 通 路

由表4中值，我们可以看出以下几点问题。

① 空室计数率是指在计数室中没有任何物体时的计数率，而黑瓶计数率则是在光电倍增管之间全光通路绝大部分被隔断之后的计数率。那么，前者减去后者的计数率，

表 4 各 处 理 本 底 值

Cpm		黑 瓶	空 室	空 瓶	闪 烁 液 体 积 (ml)				
					1	2	3	4	5
有 闪 烁 液	液面上方光通	6.16	23.88	30.20	33.61	38.57	44.08	47.46	51.51
	路未套黑纸套	± 0.35	± 0.69	± 1.73	± 0.57	± 0.69	± 0.74	± 0.76	± 0.80
无 闪 烁 液	液面上方光通 路均套以黑纸 套	6.16	23.88	30.20	16.65	23.42	25.48	27.66	32.83
	同 上	± 0.35	± 0.69	± 1.73	± 0.37	± 0.59	± 0.71	± 0.67	± 0.73
无 闪 烁 液	同 上	6.16	23.88	30.20	6.20	7.40	8.71	9.74	10.93
		± 0.35	± 0.69	± 1.73	± 0.16	± 0.18	± 0.19	± 0.21	± 0.23

就代表光电倍增管及其他材料引起的发光,经串光对本底的贡献,即总串光,总串光值为 17.2 ± 0.77 。它占总本底的 $34.40\% - 52.77\%$,这一结果和文献^[4]介绍的结果相符合。由此可见,通过降低串光达到降低本底的作法是合算的。

② 空瓶计数率减去黑瓶计数率的差值是 24.04 ± 1.76 。这部分计数率包括计数杯以及其他来源的串光效应,也就是说,空瓶计数率和空室计数率之间的差值为 6.32 ± 1.86 ,它是构成 24.04 ± 1.76 计数中的一部分,它代表计数杯材料对串光本底贡献,它约占上述串光的 2.6% 左右 ($[6.32 / (30.20 - 6.16)] \times 100\%$)。足见选择杯材料在降低串光本底方面也是有意义的。

③ 部分套有黑纸的空瓶计数率减去黑瓶计数率,表示相应于各液体闪烁溶液高度的那一段计数杯材料等发光的串光贡献,结果见表5。表5中的值,还意味着,这部分对串光的贡献,不属于上方光通路的值,因此在此条件下,上方光通路由黑纸套阻挡了,在下方光通路上的介质仍然是空计数杯。从各分层的贡献看,位于瓶子底部的值很小,中间稍高,这可能和这部分杯材料和光电倍增管光阴极之间所处的位置有关。

表 5 不同高度杯材料对串光贡献

Cpm	自 杯 底 计 算 的 高 度 (mm)				
	3	6	9	12	15
不同高度杯材 料对串光贡献	0.04	1.24	2.55	3.58	4.77
	± 0.38	± 0.39	± 0.39	± 0.40	± 0.41
各分层杯材料 对串光贡献	0—	3—	6—	9—	12—15
	0.04	1.20	1.31	1.03	1.19
	± 0.38	± 0.24	± 0.26	± 0.28	± 0.31

④ 空瓶计数率依次减去部分套有黑纸的空瓶计数率，则表示上方光通路部分计数杯材料等对串光贡献，结果见表 6。

表 6 不同部位闪烁杯材料的串光贡献

Cpm	对 照	自 计 数 杯 顶 部 计 算 高 度 (mm)				
	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5
液面上方杯材料串光贡献	19.27 ±1.74	20.46 ±1.74	21.49 ±1.74	22.8 ±1.73	24.00 ±1.73	24.04 ±1.76
各层杯材料串光贡献	0— 19.27 ±1.74	37.5— 1.99	40.5— 1.03	43.5— 1.31	46.5— 1.20	49.5—52.5 0.04

从表 5 及表 6 结果，我们可以看出：

首先，闪烁溶液上方光通路上，杯材料串光对本底贡献为 19.27 ± 1.74 至 24.00 ± 1.76 (表 6)，它分别占杯材料总串光 24.04 ± 1.76 的 80.15% 至 99.83%。而表 5 中值却低的多，这主要是因为表 6 中的值反映了闪烁杯材料的光子是通过全光通路达到串光的，而表 5 中值只是通过下方光通路而达到串光的，可见用光学方法隔断光通路的办法，是降低串光的一种简单而行之有效的方法。

其次，若以单位长度上串光贡献看，显然上方光通路、杯材料的串光贡献为 0.51Cpm/mm ，而下方光通路、杯材料的串光贡献为 0.72Cpm/mm ，即其值大于上方光通路。也就是说，在此条件下，在解决串光本底方面，用隔断光通路的办法，隔断下方光通路要比隔断上方光通路的效果要好些，这一结果正好说明了为什么 G. E. Calf 及 H. A. Polach 的“A”设计比他们的“B”设计要好的原因。他们的设计见图 2。

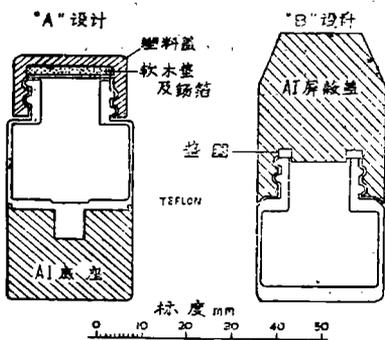


图 2 C.E. Calf 及 H.A. Polach 闪烁杯的两种设计

他们的“A”设计，优值可到 1780，而“B”设计却只徘徊在 1000 左右。不过，无论哪种设计，隔断串光通路都要比不隔断的要好得多。

我们的值为什么会如此呢？我们认为，这是和 FJ-353—双道液体闪烁计数器，计数室中闪烁杯与光电倍增管的几何位置的设计有关的。

⑤ 含有闪烁液且上方套以黑纸套计数杯的计数率，依次减去部分套以黑纸套空瓶计数率，其差值既反映杯材料、也反映闪烁液所产生的光子，不过这时仅仅是通过闪烁溶液加杯材料介质，即下方光通路而实现串光，结果见表 7。

表7 闪烁溶液的本底

Cpm	自杯底计算闪烁溶液的高度(mm)				
	3	6	9	12	15
闪烁液+杯材料本底	10.49 ±0.50	17.26 ±0.63	19.23 ±0.79	21.50 ±0.75	24.67 ±0.80
闪烁液本底	10.45 ±0.40	16.02 ±0.61	16.77 ±0.73	17.92 ±0.70	21.90 ±0.76
各层闪烁液本底	0—	3—	6—	9—	12—15
	4.33	6.77	2.06	2.18	5.17

表7中第三栏值不妨和表5第二栏的值作一比较。它们的条件都是通过下方光通路实现串光,不过处于下方光通路上的介质是不同的,其中之一,仅是玻璃,而另一种则不仅有计数杯介质,还有闪烁液介质,因此,最后的效果也是不同的。现将这两部分值汇总于表8中。

表8 不同介质对串光作用的影响

Cpm	自杯底计算高度(mm)				
	0—	3—	6—	9—	12—15
各层闪烁液+杯材料本底	4.33	6.77	2.06	2.18	5.17
各层杯材料本底	0.04	1.20	1.31	1.03	1.19

正如以上分析那样,在下方光通路上,由于和光电倍增管相处的位置不同,光的串光效应是不同的。介质仅为计数杯的,在6—9mm处得到增强,而介质为闪烁液加闪烁计数杯材料,在6—9mm处,反而降低,这可能是因为光在经过高密度介质时,在界面产生折射,从而,由一端所产生的光子达不到对面的光电倍增管,也就是降低了串光效应。这和G.E. Calf^[9]用厚壁计数杯降低串光本底的效果相吻合。不难设想,为要降低串光效应,在计数杯设计中,需采取综合措施,最好能达到:

- 杯材料不含放射性物质;
- 能透过放射性样品引起的闪烁光,并阻挡串光;
- 还应兼有闪烁液用量小、易清洗、适应性广、生产容易、便宜诸优点。

⑥ 从有闪烁液且上方空间未加黑纸套计数杯的计数率值中扣除空杯计数率,其值反映各层闪烁液通过全光通路时的本底计数率。

如果闪烁计数杯中都有不同体积的闪烁液,但闪烁液上方空间,一组加黑纸套、一组未加,再依次求出差值,则相应值表示来源于上部杯材料,这时虽和④的条件相仿,

但此时光通路的介质却和④分析的条件是不同的。前者仅为空杯，而后者还得考虑闪烁液的影响，结果见表9。

表9 不同闪烁液及杯材料介质的本底

Cpm	自杯底计算高度 (mm)				
	3	6	9	12	15
各层闪烁液本底	3.41	8.37	13.83	17.69	21.31
	±1.82	±1.86	±1.87	±1.88	±1.90
通过上方杯材料及闪烁液等介质时的本底	51.5	49.5	45.5	43.5	40.5
	16.96	15.15	18.24	19.8	18.68
	±0.67	±0.90	±1.02	±1.01	±1.08

我们看到，表9的结果，再一次说明要降低串光，不仅要阻隔光通路，还必须选择放射性低的材料，以及其他综合措施。这和最近的 I.C. Yang 及 R.L. Emerson^[10] 诸人的见解是一致的。这方面波兰人 K. Rozanski 及 T. Kuc^[11] 曾在 G.E. Calf “A” 类设计基础上，作过改进，取得满意的结果。

3. 在检查本底的基础上，向上述各杯中加入等量的 ^3H -正十六烷 6.2 μl (^3H -正十六烷的比活性 = 2.10 μcig^{-1})。在 ^3H 道中测定，测量结果分别见表10、表11。

表10 闪烁液上方光通路无黑纸套时放射性 ^3H -正十六烷的计数率

Cpm	闪 烁 液 体 积 (mm)				
	1	2	3	4	5
3775.0	3775.0	3769.2	3894.5	3910.2	3901.7
	±14.5	±15.3	±15.6	±15.6	±15.6
变 异 来 源	自 由 度	离均差平方和	均 方	F	
闪烁液体积间	4	0.0010	2.662×10^{-4}	0.363	
样 品 重 复	15	0.0109	7.332×10^{-4}	F.	
总 变 异	19	0.0120		= 4.89	

表10的结果，和我们前几年的结果是一致的，和闪烁溶液的体积关系不明显^[12]。若以 $V(E^2/B\%)$ 表示，体积增加，其值亦稍有增加，参看表12，但是可以看出，表11中值，在套以黑纸套的情况下，体积和计数率之间的关系就十分密切了。这方面的值也列在表12中。从表12，我们可以看出，用隔断闪烁液上方光通路的办法，显然可以提高优值、降低本底，这在提高测量精度以及减少测量时间是具有现实意义的。

表11 闪烁液上方光通路有黑纸套时放射性 ^3H -正十六烷的计数率

	闪 烁 液 体 积 (mm)				
	1	2	3	4	5
Cpm	2350.0 ±12.1	3724.5 ±12.2	4183.5 ±12.9	5052.5 ±14.2	5415.0 ±14.7
变 异 原 因	自 由 度	离均差平方和	均 方	F	P
闪烁液体积间	4	0.3309	8.47×10^{-2}	161.20	<0.01
样品重复间	15	0.0078	5.25×10^{-4}		
总 变 异	19	0.3388			

表12 优 值 比 较

	无 黑 纸 套				有 黑 纸 套			
	E %	B	$F = E^2/B$	$F = V \cdot E^2/B$	E %	B	$F = E^2/B$	$F = V \cdot E^2/B$
1	17.00	33.61	8.59	8.59	10.58	14.65	4.72	4.72
2	16.97	38.57	7.46	14.92	16.77	23.42	12.00	24.00
3	17.54	44.08	6.97	20.91	18.84	25.48	13.93	41.79
4	17.61	47.46	6.53	24.12	22.76	27.66	18.72	74.88
5	17.51	51.51	5.95	29.75	24.39	32.83	18.11	90.55

小 结

1. 隔断闪烁液上方光通路是降低串光本底的有效办法之一。
2. 在闪烁计数杯外分层套以黑纸套是分析串光的一种简单易行的方法, 所选最佳条件, 在测定中具有实用价值。
3. 用废安瓿瓶作闪烁杯, 4毫升闪烁液, 闪烁液上方套以黑纸套之后, 显然比同体积闪烁液, 但闪烁液上方未加黑纸套的优值, 有了很大的提高, 提高将近3倍。

参 考 文 献

1. 杨守礼 低水平液体闪烁测量, 放射医学 1977.2.P35.
2. P. E. Hartley and V. E. Chnrch A. Low background Liquid Scintillation

- Counter for ^{14}C Liquid Scintillation Counting Recent Developments Edited By Philip E. Stantey. Brace A. S cogings 1974 P67。
3. J. E. Noakes. M. P. Neary. J. D. Spaulding New Liquid scintillation Counter for Measurement of Trace Amounts of ^3H and ^{14}C 同1 P53。
 4. 液体闪烁计数及其在生物学中的应用, 科学出版社, 1979 P243。
 5. G. E. Calf and H. A. Polach Teflon vials for Liquid Scitillation Counting of Carbon-14 Samples 同1 P223。
 6. J. E. Noakes Low background Liquid Scintillation Counters Science and Technology edited by A. A. NonJaiaim 1976, P259。
 7. 液体闪烁计数及其在生物学中的应用, 科学出版社, 1979. P240。
 8. B. W. Fox Techniques of Sample preparation for Scintillation Counting P208。
 9. G. E. Calf The Counting of Carbon-14 using Thick-Walled vials, Int of Appl Rad and isotopes Vol 28 P735—737。
 10. I. C. Yan and R. L. Emerson Teflon Vials for Low Liquid Scintillation Counting Int of Appl Rad and isotopes Vol 31, 1980, P20。
 11. T. Kuc And Rozanski A Small Volume Teflon Copper Vial for ^{14}C Low Level L. S. C. Int of appl Rad and isotopes Vol 30 No7. P452。
 12. 董家伦、罗高礼、翟延路 废安瓿瓶可作闪烁计数杯 西北农学院学报 1980年第4期。

更 正

“弧形钢闸门支臂计算长度系数的确定”(载《西北农学院学报》1959年第3期)一文中(22)、(31)、(32)三式中的倒数第二项掉了一个“2”，特此更正。

作 者