

YS-1 型自动液体闪烁谱仪

中国科学院生物物理研究所自动液体闪烁谱仪研制组

在毛主席革命路线指引下,在无产阶级文化大革命伟大胜利的推动下,我国无产阶级专政不断巩固,社会主义建设迅速发展。随着国民经济的发展,原子能科学技术也在大踏步前进,放射性同位素的标记技术在各个领域得到了广泛的应用。标记技术的应用需要解决标记物的合成和制造测量仪器两项基本条件,试制各种测量仪器就成为当务之急。为了解决放射性同位素标记物的测量问题,特别是解决在工农业生产、生物学、医疗卫生、化学、环境保护、水文、气象、考古等方面广泛应用的氚和碳-14 的测量,需要发展低能量 β 辐射的测量技术和仪器。液体闪烁计数是测量低能 β 辐射的常规方法,还可用于测量几乎是所有的放射性元素,具有很多优点。

为了适应生物、医学以及各条战线测量低能量核素,特别是测量氚的需要,我们于 1972 年 5 月开始研制自动液体闪烁谱仪。遵照毛主席“自力更生为主,争取外援为辅,破除迷信,独立自主的干工业、干农业、干技术革命和文化革命。打倒奴隶思想,埋葬教条主义,认真学习外国的好经验,也一定研究外国的坏经验——引以为戒,这就是我们的路线”的教导,坚持科研为无产阶级政治服务,科研与生产劳动相结合的方向,坚决依靠党的领导,充分发挥群众的积极性,大力开展所内外大协作,经过二年多的备战,在批林批孔运动的推动下,于 1974 年研制成功了全部用国产元件的全自动液体闪烁谱仪。经过几个月的试运转,又在 1975 年三月经有关单位鉴定,证实这台仪器的主要性能

指标达到了设计要求,具有目前国际上同类商品仪器的水平。

一、原理和总方框图

闪烁计数是放射性测量的一种重要方法,利用核辐射在特定介质中产生荧光的性质来进行探测。在液体闪烁计数中,放射性样品分散在闪烁溶液内。放射性核素首先将辐射能量转移给溶剂(如甲苯),使溶剂分子处于激发态,在溶剂分子之间也可以相互转移能量;受激的溶剂分子在退激时将其能量转移给第一溶质(如 PPO),使第一溶质分子处于激发态,当它退激时将其能量以荧光的形式发射出来;若存在第二溶质(如 POPOP),则荧光使后者分子处于激发态,当它退激时发射出与光电倍增管的光电阴极匹配得更好的荧光(波长在 4200 埃左右)。核辐射能量线性地转换为荧光能量,效率约为百分之几。荧光光子通过光收集系统达到光电倍增管的光电阴极,与后者作用,打出光电子(量子转换效率为 10—30%,决定于阴极材料)。在光电倍增管内部电场作用下,电子数目倍增(增益为 10^5 — 10^6),被阳极收集后输出形成电脉冲。由荧光引起的信号电脉冲,其幅度决定于核辐射粒子的能量,上升时间很快(10—20 毫微秒)。利用电子学线路中的放大器,脉冲幅度分析器和定标器,可以得到信号电脉冲的幅度谱,因而就得到大致的核辐射能谱。

液体闪烁计数作为一种“内部样品计数”方法,具有明显的优点。由于样品放在探测器介质内部,避免了一般探测器的窗或壁的吸收因

题;又由于样品一般是均匀分散的,也避免了样品的自吸收问题,其几何效率也是 100%;这就克服了低能量放射性测量中遇到的困难。事物总是一分为二的。由于样品进入探测器内部,就影响了后者的性能,会使由闪烁液发射出的荧光光子数目减少(称为“淬灭”现象)。样品的数量和性质不同,淬灭的程度就不同,探测效率也就不同。因此,对于不同数量或种类的样品,都需要分别确定效率(通常称为“淬灭校正”)。

对于低能量测量来说,将样品制成气态并引入充气计数管的方法,会有更高的效率和准确度。但是这种方法在制样和操作上都要复杂很多,因此在常规测量时还要让位于液体闪烁计数法。

YS-1 型自动液体闪烁谱仪的试制是为了解决常规测量低能量放射性核素(特别是氚)的问题,还要能满足生物、医学领域中样品种类多、数量大的要求。故其设计要求是:灵敏度高、操作和数据处理实现全自动化。

仪器的灵敏度决定于探测器系统的测量效率和本底计数率。为提高效率,采用阴极灵敏度高的 GDB-52L 型双碱光电阴极的光电倍增管,并改善光收集以使阴极能得到更多的荧光光子。用两只倍增管配合快符合线路进行符合测量,以减小室温下倍增管热噪声(无规则的,因而两只管子的热噪声不是同时产生的)以及磷光现象(其每个光子的能量不足以使两个管子都产生光电子)等所产生的高本底。探测器

及其周围尽可能采用天然放射性含量低 的材料,并用重金属和夹层屏蔽来降低外界辐射所产生的本底。此外,两只倍增管对称运用,即将其信号由相加电路实现叠加,可以提高信号-噪声比,这又同时改进了不同核素的能谱的分离程度,有利于测量含有几种核素的样品。

生物医学样品种类繁多,需经常进行淬灭校正,因此仪器应能简便,可靠地自动进行淬灭校正。本仪器采用优越性最大的一种方法,即“外部 γ 标准源道比方法”来自动进行校正。为此,进行电脉冲分析、记录的电子学线路共分五道,组成一个“3 + 2”道的系统,其中两道就是用来测量仪器所附的外部 γ 源的。另三道可供分析样品中同时存在的、最大能量有一定差别的 β 放射性核素。

为适应医学或环境样品测量时样品数量多的需要,仪器有自动更换样品的装置。为自动处理测量数据并及时得到结果,仪器附有联机的数据处理计算机。每一个样品测完后,由数字打印机及时打印出测量数据和各种计算结果。

仪器除可以全自动运行外,为了特殊测量或调试、检修的需要,各项功能(换样、测量、淬灭校正、计算、记录等)也可由人手操作。为某些测量需要(如放射性层析样品),还要有低计数样品自动舍弃功能,以便能用较短的时间从许多样品中选择其中强度够高的来测量。

YS-1 型仪器的方框图见图 1。

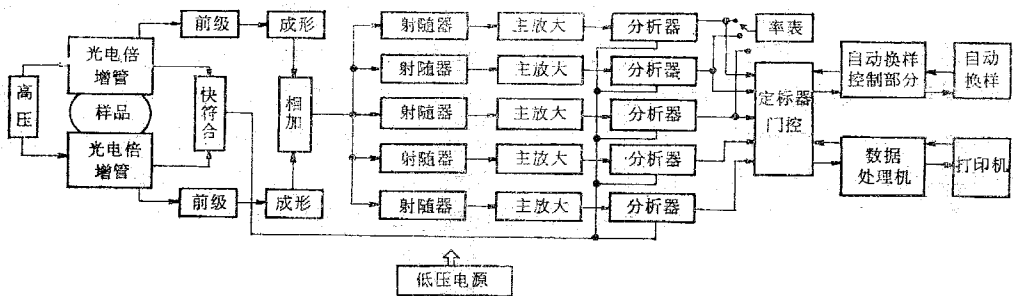


图 1 YS-1 型自动液体闪烁谱仪方框图

放射性核素蜕变在闪烁溶液中产生的光子同时进入两只光电倍增管,两管的阳极同时有信号电脉冲输出,分别分成两路。一路是分析

信号路,在此路中,两管的信号分别经过两个前级,再输入到两个成形级,然后一同到相加电路;相加后之脉冲被送到五个放大器,放大后分

别输送至五个分析器；脉冲经过幅度甄别后通过符合门然后到定标器。另一路就是作为符合门的开门信号。定标器与门控电路、自动换样控制部分一起，按预定程序对每个样品进行测量，并将原始数据送到计算机，计算机按固定程序进行数据处理，原始数据和计算结果由打印机打印在纸带上。

二、仪器结构

整个仪器由四个部分组成，即：探测器部分，电子学线路，自动换样装置和换样控制电路，数据处理计算机。前三部分放在一个机箱中组成仪器的主体，数据处理机放在主体之外，用导线与主体联接。见图 2。

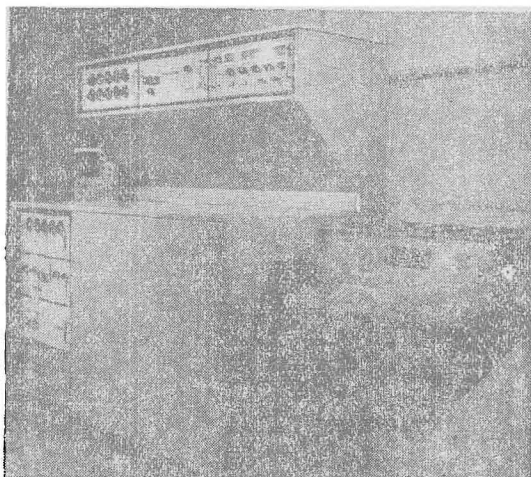


图 2 YS-1 型自动液体闪烁谱仪外型图

各部分分述如下。

1. 探测器部分

探测器部分由样品室(样品瓶、光导)、光电倍增管、屏蔽套等组成。

样品室由一个垂直的圆柱形空腔(直径 28 毫米)与一个水平的圆柱形空腔(直径 74 毫米)相交而成，垂直空腔供样品瓶及其托杆升降之用，水平腔安放光电倍增管。

盛闪烁溶液和样品的小瓶用透明度好、天然放射性含量低、价廉的低钾玻璃制成，外径 27 毫米，壁厚 1 毫米。塑料螺口瓶盖内衬 0.5 毫米厚的聚四氟乙烯片，以对荧光进行漫反射。

瓶的四周被有机玻璃光导环抱。光导外形为长方体，中央有垂直的圆柱形空腔，内径 30

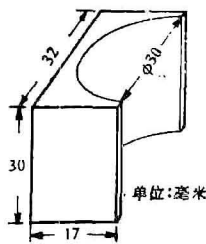


图 3 光导

毫米；由两半组成，分别固定在两只倍增管上，用硅油与光阴极耦合。光导其它外表面有氧化镁反射层。这些都是为了使荧光光子更多地到达光阴极。半个光导的形状见图 3。

两只光电倍增管管身水平安放，端窗相对。端窗除与光导相接触的区域外，均被遮挡。样品瓶在瓶托(即升降杆)上，可在光导的垂直空腔内升降。杆顶衬有电镀铝板形成的光反射层。

为减弱外部辐射以降低本底，探测器部分整个放在有铸铁外壳的 5 厘米铅屏蔽套内。套内又有夹层屏蔽，从外向里依次为镭(厚 1.25 毫米)、铜(厚 0.5 毫米)、有机玻璃(厚 7.25 毫米)，可以依次吸收外层屏蔽物质的特征 X 射线。

2. 电子学线路

这部分对电脉冲信号进行放大、分析和记录，还包括一部分控制线路，共分前级、相加放大器、快符合线路、主放大器、脉冲幅度分析器、定标器及门控电路、高压电源、低压电源、对数计数率表等单元。

(1) 放大、分析电路 前级是一个射极跟随器，动态范围较大，扩大了可测量的放射性核素的能量范围，例如 ^3H 和 ^{32}P ，其最大能量即相差两个量级。

由两个前级来的脉冲，分别经过延迟线成形后，进入相加放大器。相加放大器中有一个电阻网络，输入信号衰减一半然后叠加。对于噪声脉冲或单光子事件引起的脉冲，只有一个输入端有信号，则输出幅度少了一半。而信号脉冲是同时加在两个输入端的，衰减后互相叠加。这就提高了信号-噪声比，同时改进了脉冲谱的线性，因而也就改进了两种核素的分离度。

相加网络之后接入一个具有深度负反馈的十倍放大器，再用五个射极跟随器接到五个主

放大器。主放大器由两级深度负反馈的差分放大节组成,线性、温度稳定性和抗过载能力都比较好。五个放大器的放大倍数可连续衰减,第一、二道最大倍数为200倍,第三、四、五道为100倍。

主放大器输出的脉冲经射随器分压一半后进入幅度分析器。分析器的上、下甄别阈都可以单独调节(由0.5伏至10伏),使得在测量不同核素时选择合适的工作条件,在测量双标记样品时减少两种核素计数的重叠。

五个放大器和分析器,组成“3+2”道的系统。每道的放大倍数和分析器的上、下阈都连续可调,便于选择工作条件。

闪烁溶液中的核蜕变产生的荧光光子,使两只倍增管同时产生信号脉冲,它们除送至相加放大器外,还送至快符合线路。由于它们是同时产生的,快符合线路即输出一个开门信号到分析器单元中的符合门电路,使得幅度在上、下甄别阈之间的脉冲得以通过,输出至定标器而被记录下来。至于单个倍增管产生的脉冲(如热噪声或磷光事件),则快符合线路没有输出,符合门电路闭塞,不会被记录下来。

快符合线路的两个输入通路,分别有一个深度负反馈的快放大器和由2BS4C型隧道二极管构成的单稳成形级。两个成形级后面是一个由隧道二极管构成的符合级,分辨时间为40毫秒。

一个对数刻度的计数率表,可以接到任一个分析器的输出端,由该表指针的偏转角度可以看出脉冲计数率的大小。这对于调节分析器上、下阈值以选择合适的工作条件,或对于寻找“平衡点”条件要观察是否达到最大计数率时,都会带来很大的方便。

(2) 计数、显示电路 五台七位十进制定标器,分别记录五道分析器输出之脉冲数,其计数容量为 10^7 个脉冲,最高工作频率为500千周。

第六台定标器实际上是一个四位十进制定时计时电路和一个二位十进制计瓶号电路。自动定时电路的预置时间有1、2、5、10、30分钟

五档,时间精度为0.05秒。在达到预置的时间时,计数即自动停止。计瓶号电路除接受由自动换样装置来的瓶号计数脉冲,以记录和显示正在测量的瓶号以外,还可由手动按钮改变所显示的瓶号。

仪器前面板上有一套由七个辉光放电数码管组成的数字显示器,可显示六台定标器中任一台的计数。另外还有两个数码管单独显示瓶号。

一个台号选择电路,可借手动波段开关选择六台定标器中任一台之计数,送至面板显示,或自动逐台送到数据处理计算机进行计算或直接打印。

(3) 计数控制电路 低计数舍弃电路只对测量 β 放射性核素的第一、二、三道定标器进行控制,在测量外部 γ 标准源及测对照样品(不含放射性)时不起作用。在测放射性样品时,一分钟结束时若某台定标器之计数小于(由面板开关)预置的低舍水平,则低舍触发器关断定标器的计数门。若三台都低于各自的预置低舍水平,则整个测量结束,样品瓶上升。低舍水平共分0、20、40、100、500、1000个计数六档,三台定标器可分别预置。

门控电路是控制分析器输出之脉冲是否能进入定标器和启动计时电路的。门控电路之动作又决定于下列各信号:计数方式(自动或手动)、样品种类信号 C_v (对照样品或放射性样品)、一分钟信号(外标准源测量时间及低计数舍弃判断时间)或预置时间信号,以及自动换样装置中样品瓶及外标准源就位信号。

为了使测量时间分配的更合理,对于放射性样品和对照样品(本底)可分别预置不同的测量时间。为了在处理数据时自动减本底以求出每个样品的净计数率,在自动换样装置的蛇形样品链中,把对照样品排列在前十个位置。当瓶号计数器计满10号后,使瓶号触发器发出 C_v 信号, C_v 信号可以确定是由放射性样品还是由对照样品的预置时间进行控制。

门控电路担任了整个仪器自动化程序的大部分逻辑功能,它与自动定时电路,以及自动换

样装置中之程序控制部分, 共同控制整机全部程序。

计数, 显示电路和计数控制电路, 放在定标器和门控电路单元内, 其示意图见图 4。全部由 MOS 型门电路和 MOS 型计数集成电路组成。此部分通过十根导线与自动换样部分联接, 通过 40 根导线和屏蔽线与数据处理机联接。

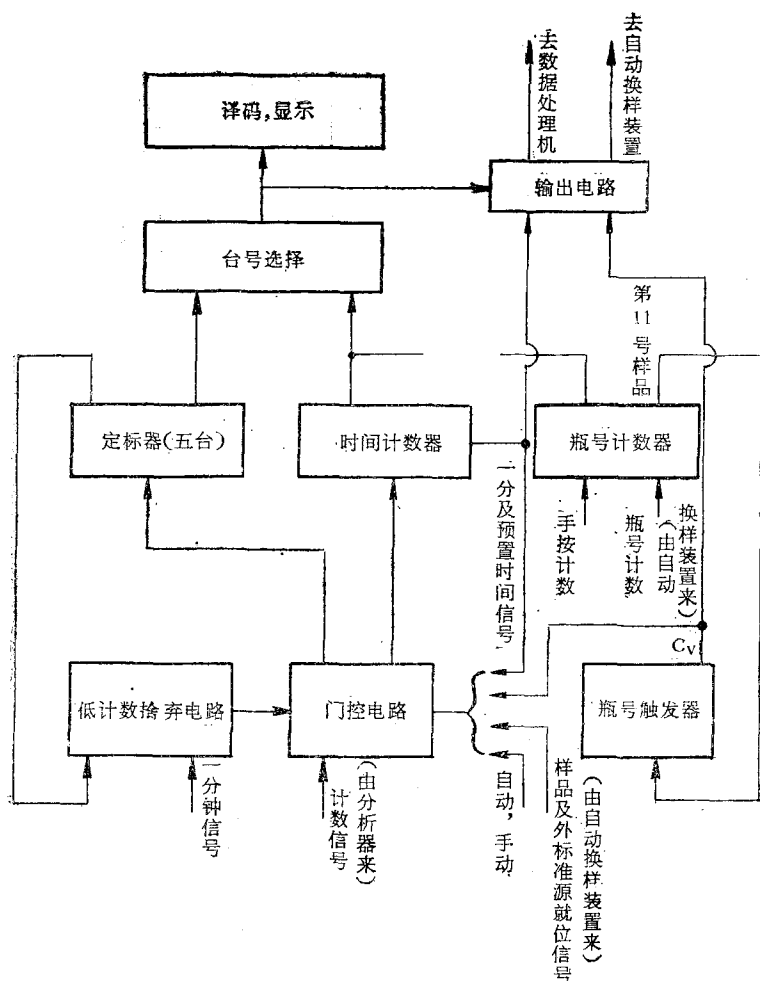


图 4 “定标器及门控电路”单元示意图

(4) 高压电源 稳定高压电源, 输出电压由 500 伏至 2,000 伏连续可调。照顾到两只光电倍增管之工作电压略有不同, 一台电源有两个输出端, 可分别细调, 输出电压相差可达 400 伏左右。

3. 自动换样装置和换样控制电路

自动换样装置由机械部分和换样控制电路

组成。

(1) 机械部分包括探头、运载器、升降器、外标准源推进器, 可以完成样品瓶和外标准源之各种动作。采用电机作为动力(图 5)。

探头见探测器部分。

运载器采用蛇形链传动机构。100 个铝环由铜销钉连接, 由一个中心链轮驱动, 另有四个

张紧轮、两块圆弧靠环组成首尾相接的封闭蛇形。每个铝环中放一个样品瓶。传动时间每步约 8.3 秒, 每分钟可步进 7.2 个瓶子。步进动作由间歇机构实现。

升降器是完成样品瓶上升、下降动作之机构。样品瓶步进至探测器部分垂直升降孔上方后, 下降至两个光电倍增管之间的光导内, 进行测量, 测量结束后上升。垂直升降运动由偏心轮带动滑块及升降杆而实现。升降高度为 194.5 毫米。

外标准源推进机构, 通过螺旋槽轮及直线槽之合成轨迹来完成外标准源之进退动作。外标准源是将含 ^{137}Cs 之放射性溶液约 15 微居里滴在一个圆形滤纸片上, 放在用螺纹密封之不锈钢盒内而制成。进退机构之前端设有

小窗口, 在作淬灭校正要测外 γ 标准源计数时, 外标准源自动前进, 通过小窗直接照射样品瓶。在测样品或本底时, 外标准源自动后退, 屏蔽起来。

光密封是采用柱塞式动配合与快门相结合的方法。升降孔与升降杆取精密之动配合, 以减小缝隙漏光。升降孔内在样品瓶测量位置上

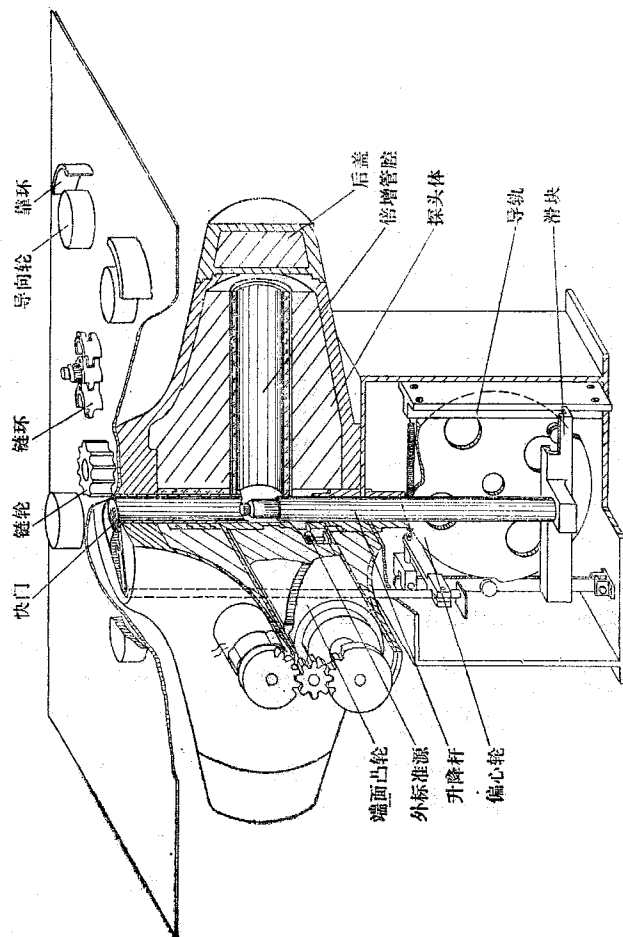


图 5 自动换样装置

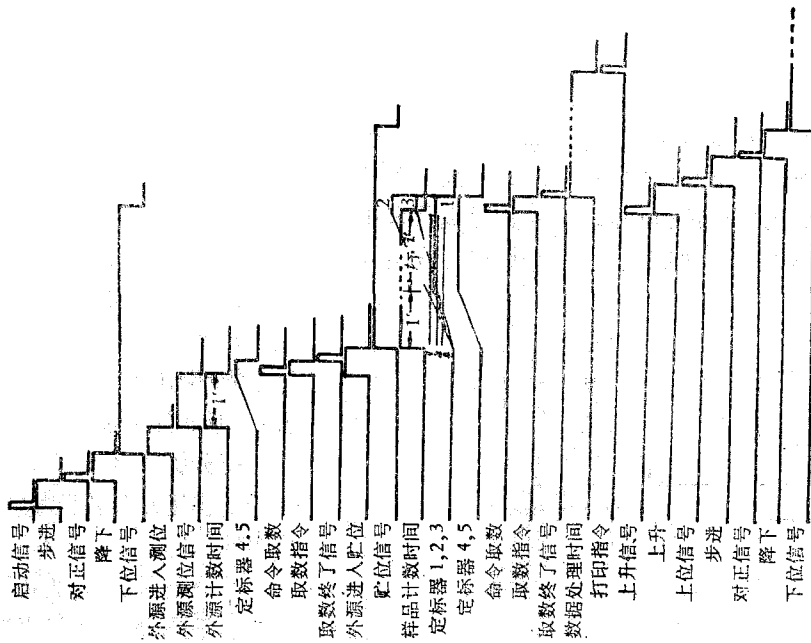


图 6 自动运行程序时间关系图
(放射性样品, 未发生低计数舍弃情况)

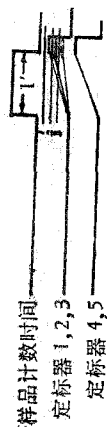


图 7 自动运行程序时间关系图
(放射性样品, 低计数舍弃情况)

方设有挡板式快门,快门采用单片结构,与升降杆用凸轮联动,以保证在换样品时光电倍增管不受光照。另外,在探头与升降器、运载器之结合处皆敷以真空泥,以减少缝隙露光。在加高压时,单管的噪声计数率约为每分钟几千至两万个计数。

在升降孔之上部,运载器运动平面上设有可卸式光迷路及3厘米厚的铅屏蔽,以便改进光密封性能,减弱来自上方的外部辐射。实际使用发现,取去光迷路及铅屏蔽后并未使本底计数明显增加。

运载器安装在由2毫米厚的不锈钢板和8毫米厚的铝板叠成的底板上。采用不锈钢一则便于清洗,另则可消除由于运载器运动而产生的静电荷。

(2) 换样控制电路 控制部分由光信号转换及甄别电路、功率输出电路和执行机构组成。样品瓶及外标准源之定位用光电开关控制,光敏元件为光电池。当瓶对准测量室升降孔,或在上位、下位时,外标准源在贮存位置或在测量位置时,光电池发出光信号。这些信号一方面送至门控电路,另一方面与由定标定时电路送来的计时信号和计数终了信号一起,按一定程序控制执行机构,完成规定动作。

当运载器某铝环到达升降孔上方,但环中无瓶时,运载器自动步进,直至有了瓶子为止。设置此种“无瓶通过”功能,是为了节省不必要的升降动作时间。

4. 数据处理计算机

为了能对每个样品的测量数据立刻进行运算,及时得到结果,需要实现联机计算,我们参加了北京大学工农兵学员和教师所设计的J₃₋₀型多用途数据处理机的试制工作。

J₃₋₀机是采用微程序控制的集成电路小型电子计算机。它可以按照液体闪烁谱仪的要求对测量结果自动进行数据处理,并将测量数据及处理结果送至数字打印机。

通过改变固定存贮器穿线方式而改编微程序,J₃₋₀机可进行其它运算,或配合其它物理、化学分析的数字仪表或工业中实时分析仪表进

行自动计算。J₃₋₀机有台式运算键盘,可以脱机作为台式计算机使用。

J₃₋₀机主要功能如下。

(1) 输入、输出 输入方式包括液体闪烁谱仪定标器数据实时输入和面板键盘输入两种,五个定标器和一个计时器的7位十进制数字按规定程序输入,并送入内存贮器。利用面板键盘可人工操作选择运算程序(如选用某种方法进行淬灭校正、计算衰变率或作 χ^2 检验等)和输入常数(如样品量、淬灭校正曲线方程之参数等)。

J₃₋₀机配有和打印机连接的接口,可自动控制打印机打印输入的数据和运算结果,每启动一次可打印出8位十进制数字。另外,还有面板数码管显示。

(2) 数据的存放 数据存放于磁芯存贮器内。存贮器容量为 4096×4 (二进制),工作方式采用三度三线电流重合法。存贮周期2.4微秒。

(3) 运算 J₃₋₀机在微程序控制下以串行方式进行十进制浮点运算、取数和打印。浮点数的字长为8位十进制数字(包括2位阶码、6位尾数)。浮点总运算速度为:加减法每秒1000次,乘法每秒300次,除法每秒200次。

存放微程序的固定存贮器,是利用U形磁芯以预先固定穿线方式组成的只读存贮器,容量为 2048×36 (二进制)。

根据需要对存贮器容量,编好的运算程序包括计算平均本底,计算道比并利用由键盘送入之淬灭校正曲线参数或由内标准法计算衰变率、计算比放射性、 χ^2 检验、由淬灭样品组之数据计算淬灭校正曲线等。淬灭校正方法可由三种(内标准法、样品道比法和外部 γ 标准源道比法)中选用一种,在测量前由面板键盘选择。若扩充存贮容量,还可对双标记样品进行淬灭校正计算。

三、运行程序

本仪器的运行程序有手动运行和自动运行两部分。

1. 手动运行程序

换样装置: 样品瓶步进一位(无瓶时, 步进至有瓶时为止)、降入测量室、由测量室升至运载器中, 外标准源进入测量位置、退回贮藏位置。

定标器和定时器: 开始计数计时、停计、复零(还原)。

计算机和打印机: 台式机运算, 打印。

2. 自动运行程序

在预置了各种测量参数和送入了各项计算参数后, 只要将仪器启动, 即可按照自动运行程序完成全部操作。放入之样品, 全部测完后, 自动停止操作, 欲继续使用可再行启动。

自动运行程序基本上包括换样程序、外标准源计数程序和样品计数程序三部分。

(1) 换样程序 启动后, 样品瓶(例如第一号对照样品或第 11 号放射性样品)由运载器传输到测量室上部, 对准升降孔; 瓶下降入测量室; 外标准源由贮藏位置进入测量位置; 到达时, 发出测位信号, 于是就开始了外标准源的计数程序。外标准源计数程序结束后, 外标准源退回贮藏位置; 到达时发出贮位信号, 又开始了样品计数程序。样品计数程序结束后, 瓶上升; 升至运载器后, 下一个样品(例如第 2 号对照样品或第 12 号放射性样品)传输到测量室上部, 对准升降孔; 依此类推, 直到全部样品测完为止。

计数程序结束时, 定标器停止计数, 发出“命令取数”信号, 除送至计算机外, 还送至换样装置以启动换样程序中的子程序, 使外标准源退回贮位或使瓶上升。

(2) 外标准源计数程序 外标准源的测位信号送至定标器和定时电路部分, 启动外标准源计数程序。在此程序中, 第 4、5 台定标器对外标准源计数 1 分钟; 到达 1 分钟时, 停止计数计时, 定标器发出“命令取数”信号; 计算机取第 4、5 台定标器及定时器的计数, 然后发回取数終了信号, 使定标器和定时器清零。

(3) 样品计数程序 外标准源计数结束, 到达贮位时发出的信号, 启动了样品计数程序。

第 4、5 台定标器计数 1 分钟。第 1、2、3 台定标器根据所测的是对照样品还是放射性样品, 分别按照各自的预置时间进行计数。对于放射性样品, 在 1 分钟时, 若某台定标器所累积的脉冲数未达到其预置低舍水平, 则停止计数, 其它的继续计数(未发生低计数舍弃情况, 见图 6); 若三台都未达到低舍水平, 则计数程序终止(低计数舍弃情况, 时间关系图与图 6 基本相同, 只是在放射性样品计数程序中, “样品计数时间”、“定标器 1、2、3”与“定标器 4、5”的时间关系见图 7。“贮位信号”的延续时间也相应缩短。)计数终止, 定标器发出“命令取数”信号; 计算机取数后发回取数終了信号使全部定标器及定时器清零, 并进行数据处理。

在此程序中, 放射性样品和对照样品的测量, 只是预置时间不同; 在发生低计数舍弃情况时, 前者到 1 分钟时即终止计数。

在自动运行程序中, 除上述基本程序外, 还可以实现样品运载的“中断”、“重复测量”和“无瓶通过”三种功能。在运载器之样品链中, 可将 100 个分为四组, 每组 25 个样品, 实验者可测一、二、三或四组。某实验者如用一组, 当第 25 个样品测完后仪器即自动停止运行, 瓶号复零。另外的实验者可在事先同时将样品放在另一组, 在第一组测完后, 重新预置测量参数和送入计算参数, 将中断开关易位, 重行启动。通过面板上开关选择, 样品还可以在测量室中多次重复计数, 不上升。至于“无瓶通过”功能, 在手动和自动程序中都能实现, 已在前面自动换样装置一段内叙述过。

四、主要性能

1. 灵敏度

仪器的灵敏度决定于其测量效率(E)和本底计数率(B), 并常以优值(E^2/B)来比较仪器

表 1 ^3H 和 ^{14}C 的效率及本底

	^3H	^{14}C
$E(\%)$	54.4	91.8
$B(\text{计数/分})$	22.5 ± 0.13	27.3 ± 0.15
E^2/B	132	309

的灵敏度。本仪器在测量 ^3H 和 ^{14}C 时的效率、本底和优值见表 1。

2. 分离度

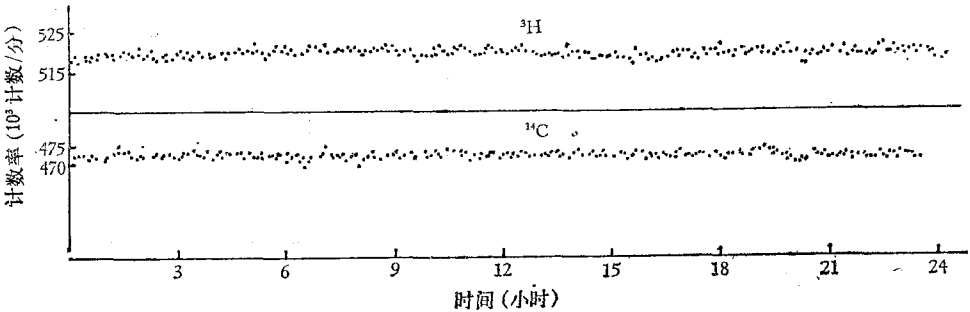
样品中同时含有几种放射性核素时，为了测定各个强度，需要它们的能谱有足够的分离程度。常用 ^3H 和 ^{14}C 的分离度来表示这项重要性能。选择 ^3H 和 ^{14}C 测量道的界限使 ^{14}C 道刚好没有 ^3H 计数，在此工作条件下两道的效率和本底就是仪器分离度的指标。本仪器的分离度见表 2。

表 2 ^3H 和 ^{14}C 的分离度

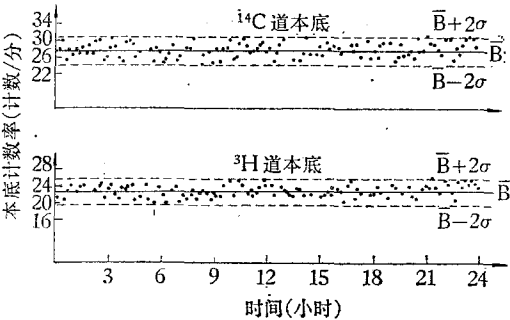
	^3H 道	^{14}C 道
^3H 效率(%)	~54	<0.1
^{14}C 效率(%)	~22	~64
本底(计数/分)	~23	~11

3. 稳定性

24 小时连续测量 ^3H 和 ^{14}C 的效率和本底，结果见图 8，可以看见仪器的效率是稳定的，本底计数也几乎全在平均值的两倍标准偏差范围之内。



(a) ^3H 和 ^{14}C 效率的 24 小时测量结果



(b) 本底的 24 小时连续测量结果

图 8 效率和本底的 24 小时连续测量结果

4. 电脉冲信号的分析、记录采用了“3 + 2”道的系统。其中三道可用来测量含有三种 β 放射性核素的样品，两个外标准计数道可供采用外部 γ 标准源道比方法作淬灭校正。

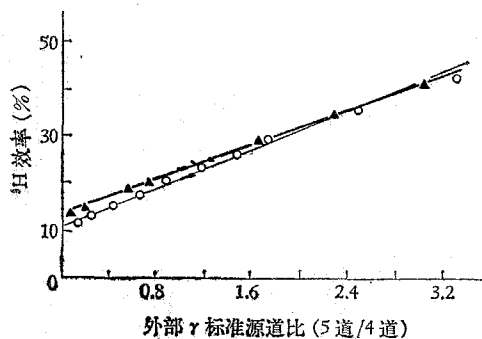
5. 仪器可以采用样品道比法和外部 γ 标准源道比法自动进行淬灭校正(自动测量、计算效率和衰变率)。推荐采用优越性最大的外部 γ 标准源道比方法。

对于一组已知强度而淬灭程度不同的样品，测出其外部 γ 标准源道比值，可以画出效率

与道比值关系的一条淬灭校正曲线。在测完此组样品后，数据处理机也自动计算出淬灭校正曲线方程的参数。

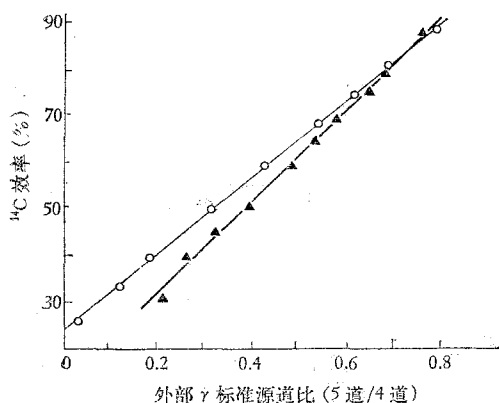
将曲线参数用键盘送入数据处理机。在以后测量同类样品时，即可对每个样品自动进行淬灭校正，即自动算出样品的强度(衰变率)。

生物样品的淬灭现象主要可分为化学淬灭与颜色淬灭两类。适当地选择两个外标准道的位置，淬灭校正曲线可以接近直线。用四氯化碳作为化学淬灭剂，用甲基红作为颜色淬灭剂，



(a) ^3H 的淬灭校正曲线

▲ $^3\text{H}+\text{CCl}_4$ ○ $^3\text{H}+\text{甲基红}$



(b) ^{14}C 的淬灭校正曲线

▲ $^{14}\text{C}+\text{CCl}_4$ ○ $^{14}\text{C}+\text{甲基红}$

图 9

本仪器分别对 ^3H 和 ^{14}C 测出的淬灭校正曲线见图 9。

6. 自动换样装置的样品容量是 100 个。

7. 有联机的数据处理计算机, 可以对样品自动进行液体闪烁计数所需要的各种计算。并通过数字打印机自动打印在纸带上。脱机时可以作为台式计算机使用。

8. 本仪器在换样品、测量、淬灭校正、处理数据、记录原始数据和计算结果等方面可全部实现自动化, 必要时也可以手动操作。全自动化运行时, 一次将样品全部放入仪器, 在面板上选择好测量参数。送入计算参数后, 实验人员即可离开仪器, 进行其它工作, 等到样品全部测量完毕后, 即可从纸带上得到全部原始数据和计算结果。

五、结 语

YS-1 型自动液体闪烁谱仪经过测试鉴定, 达到了设计指标。用 YS-1 型与国外产品 NE-8312 型和 LKB-81000 型仪器所附的 ^3H 、 ^{14}C 和本底标准样品, 分别测试三种仪器, 结果列于表 3。

我所及兄弟单位用本仪器在生物科研、环境监测及肿瘤临床等方面, 对于含氚生物样品进行了一个时期的测量, 所进行的实验及测量

表 3 YS-1、NE-8312、LKB-81000 实测结果对照表

标准样品来源		测 量 仪 器									闪烁液 体积 (毫升)	闪烁液配方
		YS-1			NE-8312			LKB-81000				
		效率 (%)	本底 (计数/分)	优值	效率 (%)	本底 (计数/分)	优值	效率 (%)	本底 (计数/分)	优值		
YS-1	³ H	54.4	22.5±0.13	132	47.3 53.0	12.6 21.9	178 128	*51.5	*21	126	10	5 克 PPO+0.1 克 POPOP 1 升甲苯
	¹⁴ C	91.8	27.3±0.15	309	89.2	21.9	363	*93.1	*32	271		
NE-8312	³ H	54.7	26.3	114	48.1 53.8	14.8 25.4	156 114				10	NE-216
	¹⁴ C		26.7		86.7	25.4	296					
LKB-81000	³ H	49.4	23.6	103	46.7 53.9	10.8 21.9	202 132	53.9	16.5	176	15	NES-204
	¹⁴ C	92.4	29.3	291	88.8	21.9	360	95.1	31	292		

* 在此所用标准源的瓶壁厚 1.3 毫米

(下转第 10 页)

在营养分析方面,重点分析了几种维生素在受照后长期保存中的含量变化情况。先后测定了小麦(照射剂量 8×10^4 伦)、大米 (8×10^4

表 1 经 γ 射线照射后玉米中胡萝卜素含量变化

处 理	胡萝卜素含量 (毫克/100 克)	照后损失情况 (%)
照 射 粮	0.08	27.3
未 照 粮	0.11	

表 2 经 γ 射线照射后,小麦、玉米、大米中硫胺素、核黄素、尼克酸的含量变化

样品	硫胺素 (毫克/100 克)		核黄素 (毫克/100 克)		尼克酸 (毫克/100 克)	
	照射	未照射	照射	未照射	照射	未照射
小麦	0.67	0.66	0.25	0.24	4.96	5.00
大米	0.29	0.29	0.15	0.14	5.72	5.31
玉米	0.30	0.30	0.16	0.16	2.55	2.79

(上接第 23 页)

组成的自动增益控制电路。

BG₃ 为共发射极低频放大器,通过解调后约 200 毫伏的电压在该极放大至数伏级的电压。由于低电压方波直接刺激机体效果低,且易产生极化,所以要通过 C₁₀R₁₀BG₄ 和脉冲变压器进行微分、放大、升压后输出一个高幅双向尖脉冲信号。BG₄ 基极受 BG₃ 集电极输出方波的作用,在集电极回路中产生了脉冲电流。设当 BG₄ 集电极电流上升时, L₇ 由于串联在集电极回路内,其两端电压升高,在变压器耦合作用下, L₈ 便感应出快速上升电压,在输出端产生一个正向尖脉冲。当电流保持不变时,由于变压器的直流磁饱和,将继续导通的直流成

(上接第 20 页)

例如:以 [³H]-胸腺嘧啶核苷参入 DNA 作“淋巴细胞转化”的测定;饮水水源及雨水中的氚含量;在中西医结合抗癌研究中用放射免疫分析法测定 [³H]-皮质醇的含量;以及外科手术用针刺麻醉时测定血浆皮质醇的变化等等。实验结果表明,仪器的灵敏度和稳定性是能令人满意的。

表 3 经 γ 射线照射后小麦、玉米、大米中维生素 E 含量变化

样品	维生素 E 含量(毫克/100 克)		照后损失情况 (%)
	照 射	未照射	
小麦	0.28	0.26	—
玉米	0.15	0.16	—
大米	0.34	0.41	18

伦)、玉米 (100×10^4 伦)、马铃薯 (0.5×10^4 — 2×10^4 伦)等的胡萝卜素(V_A)、硫胺素(V_{B₁})、核黄素(V_{B₂})、尼克酸(P-P)及维生素 E 的含量。实验结果见表 1、2、3。从结果看照射后的粮食,只有玉米经 100×10^4 伦照射后,对脂溶性胡萝卜素及维生素 E 有一定破坏作用,但并不严重,其他含量则变化不大,以上实验证明,利用辐射保藏粮食是一个可行的办法。

分隔绝,脉冲迅速降至零。脉冲持续时间与变压器的导磁率、分布电容和漏电感有关。当 BG₄ 集电极电流下降时, L₇ 中原有储备能量再度释放,在输出端又产生一个负的尖脉冲。可见,变压器 T 起了隔离作用。并由于 L₇L₈ 的匝数比,使输出脉冲的峰值满足刺激要求。我们选用了饱和压降小的锗管 BG₄。

本仪器在我们所进行的慢性动物实验中,已初步取得较满意的效果。如能将接收机改成集成电路,并作进一步改进,使仪器的体积缩小,并可将其埋入实验动物的体内,则效果将更为理想。

[本文于 1975 年 8 月 25 日收到]

本仪器由于研制时间仓促,还有不少需要改进的地方。仪器的灵敏度还可以进一步提高。目前采用的是线性放大器,若改用对数放大器后,只需要一个放大器,就将使结构简化;在使用时就可不必调节几个放大器的放大倍数,操作也大为简化。此外,在逻辑设计、选用元件和结构安排上,还可将体积更为缩小。

[本文于 1975 年 11 月 15 日收到]