

# 计算机控制的窄脉冲 光谱/时间分辨测量系统

钱 神 恩

**摘要:** 本文介绍一种由Boxcar积分器与光栅单色仪配合、计算机控制的光谱、时间分辨测量系统。结果表明该系统能够测量波长—时间—强度 ( $W-t-I$ ) 三维关系和进行某一剖面如波长—强度 ( $W-I$ )、时间—强度 ( $t-I$ ) 的二维测量, 而且能够将淹没在噪声中的窄脉冲波形恢复出来。在计算机数据站管理下, 可实现测量数据实时或事后处理和绘图。

## 一、引 言

随着科学技术的不断发展, 对各种测量的要求越来越高。对于窄脉冲信号的光谱特性和随时间变化的情况, 通常是我们所感兴趣的问题。本文介绍一种由Boxcar积分器与光栅单色仪配合组成的光谱、时间分辨测量系统。

我们知道, 光栅单色仪可测量不同波长的光谱特性, 而Boxcar积分器可测量周期的窄脉冲信号, 大幅度地改善信噪比, 将淹没在噪声中的脉冲信号恢复出来。窄脉冲富氏级数展开式中高频分量由Boxcar的取样门宽  $T$  决定, 门宽越窄通过的高频分量频率越高, 可测量的脉冲就越窄, 恢复的信号失真度越小。计算机控制的Boxcar—光栅单色仪光谱、时间分辨测量系统是由计算机组成的一个智能测试系统, 能实现光栅单色仪的自动波长扫描、滤光片切换; Boxcar积分器的操作控制; 测量数据实时或事后绘图, 数据实时或二次处理。既可进行某一段上的时间分辨率测量, 绘出波长—时间—强度 ( $W-t-I$ ) 三维图, 又可进行某一剖面的测量, 如波长—强度 ( $W-I$ ) 或时间—强度 ( $t-I$ )。

## 二、系统的硬件构成

图1是该系统的构成框图。采用微型机作为系统主机, 使用计算机常用外设和接口电路使计算机作为整个测试系统的控制中枢。

接口电路 ( $I$ ) 是为计算机控制光栅单色仪而设计的专用接口 (配备这种接口卡的计算机数据站的GDS50—2A型光栅双单色仪测试系统已作为长春光机所的定型产品投入小批量生产)。计算机通过读各种握手信号, 判断单色仪的各种状态, 并发出相应的命令来控制其运行。为保证波长测量精度, 设置了粗、精两级定位装置, 在每次初始化时, 波长自动回到物理原点, 计算机先读位于丝杠运行方向的粗定位信号, 一旦粗定位信号升起, 计算机先减速, 然后再逐步搜索位于丝杠转动方向的精定位信号, 直到探测到精定位信号升起为止。粗、精定

• 该电路工作为谷尚贤同志完成。

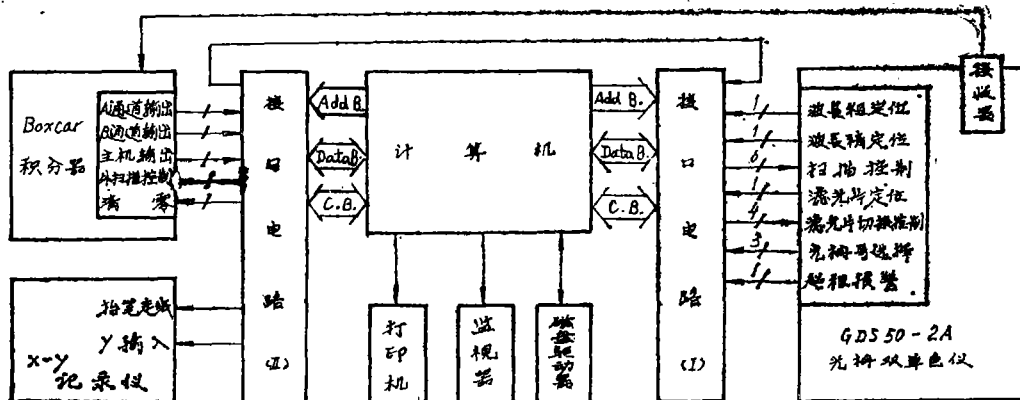


图 1 系统构成框图

位信号共同配合可保证定位精度优于仪器重复精度一个数量级。扫描控制是计算机发出的一列有序的脉冲串，经驱动功放电路直接驱动步进电机，由计算机软件取代了传统的环形脉冲分配器这样繁琐的硬件电路，既降低成本又使系统变得简单、可靠。滤光片切换是在测量过程中由计算机自动进行的，无需操作者关心，同样在初始化时也需归位，由于滤光片切换精度要求低，只需设置一个定位信号即可。为不致使由于某种原因引起波长扫描超程，走到丝杠两端而损坏仪器，还设置了超程报警，一旦出现异常，计算机自动停止扫描。光栅号选择拨码开关是为单色仪提供用户选择不同波段的光栅时而设置的，当选择不同光栅时，必须将拨码开关拨到相应的号数，以便计算机在每次初始化时查找该光栅对应的各种与测量有关的参数。

数据采集器位于接口电路 (I) 中，由于扫描测量对采集的速率要求不高，为提高测量精度，本系统中的数据采集器的模—数变换不是采用  $A/D$  变换器，而是采用一个最高频率为  $1\text{MHz}$  的  $V/F$  变换器与若干 TTL 芯片组成的电路完成的，若欲达到 12 位分辨精度只需  $4\text{ms}$  的采集时间，由于这种形式的数据采集器的门时间低通滤波作用，还具有平滑功能，可克服通常的  $A/D$  变换器在变换过程中由于随机干扰而产生的毛刺。

由于目前大量使用的是模拟式 Boxcar 平均器，只提供若干模拟输入、触发和时基信号，可供输出选用的，得另购 162/99 数字存储附件，一般都不配备。这时可由计算机提供必要的控制信号或时基信号。控制接口电路 (II)\* 就是为联接 Boxcar 与计算机而设计的专门接口。Boxcar 模拟输出有主机、通道输出两种情况。通道输出又有 A、B 两个通道，是直接将测量获得的信号引出，而主机输出则是将测得的信号经过一些内部电路并做某些运算后的输出。为了能有选择地将信号送到计算机中，在接口电路 (II) 中设有一组模拟开关，分时地切换、接通某一路输出到接口电路 (I) 中的数据采集器。清零是计算机发出的一个负脉冲，在每次时间分辨率测量前，使 Boxcar 回到零点。外扫描控制输入信号是在 Boxcar 扫描选择旋钮置在“外”(EXT) 控制方式情况下，由计算机控制发出的一个  $0 \sim 10^V$  阶梯形锯齿波，用来控制 Boxcar 取样门的移动，进行时间扫描。设一个门延迟范围 (Aperture Delay Range) 为  $100\%$ ，若欲取得  $0.1\%$  的时间间隔，或者说在一个门延迟范围内，取样门移动 1000 次，即时间轴分为 1000 等分，阶梯形锯齿波的阶梯增量  $\Delta y$  应满  $100\% : 10^V = 0.1\% : \Delta y$ ，可算得  $\Delta y = 10^{mV}$  这就要求计算机产生的模拟电压有足够的精度，以保证时间分辨率的准确度。若采用 12 位  $D/A$  变换器，对应  $10^V$  满度电压一个量化电压为  $2.44\text{mV}$ ，可满足精度要求。

若再调整量化电压至 2.5mV，则每增加 4 个量化电压，外扫描锯齿波就增加一个台阶，采样门就移动千分之一门延迟范围。

接口电路 (II) 上还装有控制  $x-y$  记录仪的接口，可将测得的数字量转换成模拟电压，送记录仪的  $y$  轴输入端，进行记录，并具有抬、落笔和走纸控制功能。

### 三、系统软件设计

整个测量系统在系统软件控制、协调下，通过接口完成外设的各种操作，数据采集，并对测得的数据实时或事后进行处理和显示。通过人机对话，由操作者干预，实现各种测量功能。图 2 是系统软件总流程图。由于测量前需设置较多的控制测量参数，为便于操作，在各种参数的设置中均采用菜单调号式选择，设置一次测量参数只需键入若干个数字键即可。在主菜单中键入 1—4 这四个数字键之一，便进入相应的子菜单。

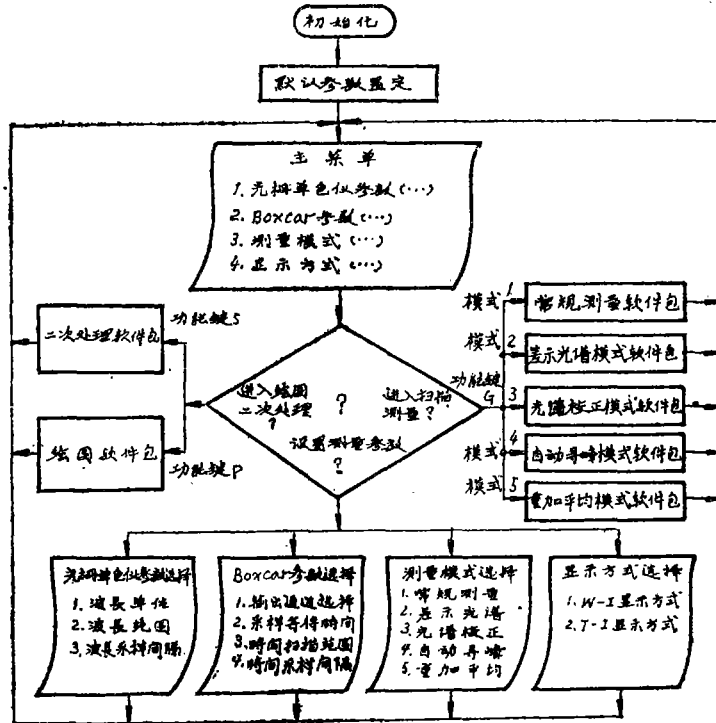


图 2 系统软件总流程图

在单色仪参数设置分菜单中，可选择设置其中任何参数。初始化后计算机自动将该光栅对应的波长上、下限默认为波长测量范围，若操作者欲重新设置，只需键入相应期望值即可。为防止由于操作不当而将超出波长范围上、下限的值置入，引起系统故障，设有非法参数输入侦错功能，一旦非法参数输入，计算机不予接受，并给出警告。当波长范围的起始与终心值相等时，即为定波长测量。有 8 种可选择的波长采样间隔，最小 0.1 Å，最大 20 Å，按 1—2—5 分档。

Boxcar参数选择包括：Boxcar输出通道、Boxcar采样时间、时间轴采样间隔和时间轴测量范围。对于Boxcar通道输出有主机输出 (Mainframe) 和 A、B通道交替输出 (A&B)

两种,由操作者根据实际测量需要灵活设定。主机输出是经仪器内部电路处理后的输出,而A、B两通道交替输出可由计算机对两路信号做各种处理,两路相差可实现背景扣除,两路相除可进行光源补偿,两路相乘可做简单的相关。Boxcar采样时间提供一个1至255秒之间供选择的延迟时间,使计算机每改变一次阶梯形外扫描锯齿波电压,将取样门移到下一个时刻时,Boxcar有足够的时间来响应该取样门位置的输入信号,待信号响应达到稳态值后再采集到计算机。这个延迟时间的长短即为该电压值的阶梯形锯齿波的持续时间, $n$ 个采样延迟时间之和,为一个外扫描锯齿波的周期 $T_s$  ( $n$ 为在一个门延迟范围内,采样门的移动次数)。

Boxcar积分器若满足  $T_{min} \geq \frac{5RC}{(T_s/T_p)^2}$  就可保证恢复波形 $y$ 轴的精度优于1%,式中 $T_s$ 为Boxcar采样门宽, $RC$ 为积分时间常数, $T_p$ 为信号的重复周期,为保证时间分辨率和窄脉冲恢复精度应合理选择采样延迟时间。时间轴采样间隔实际上就是Boxcar平均器取样门移动的多少,时间间隔小,门移动就小,对于外扫描控制方式,就是设定计算机产生的阶梯形锯齿波的台阶,对应最小时间间隔0.1%,锯齿波的台阶为 $10^mV$ ,最大时间间隔10%时,台阶为 $1V$ ,共有九种供选择的时间轴采样间隔。时间轴测量范围,考虑到Boxcar取采样门在低端的不稳定性,规定时间轴的测量范围上、下限为5~100%。初始化后默认这个范围,若欲改变只需输入相应的值即可。亦有非法参数输入侦错功能。

测量模式选择,根据不同的测量要求有不同的测量模式。目前开发了 1. 常规; 2. 差示光谱; 3. 光谱校正; 4. 自动寻峰; 和 5. 重加平均五种测量模式。常规模式是最常用的一种测量模式,可测量某一光谱波段以及固定波长的时间分辨率。2和3两种模式与常规模式的不同之处在于进行两次类似于常规模式的测量,并将两次的结果实时地做减运算和除运算。模式4是在确定某一时间轴百分数,即将Boxcar的采样门固定在某一位置上的情况下,寻找该分辨时间对应的波长与强度的峰值。一旦找到峰值就将波长自动地扫描到该位置。模式5对每一时间分辨测量,进行 $m$ 次时间扫描重复测量,并按一定的数学模型实时地进行重加,可获得 $\sqrt{m}$ 倍信噪比改善度。

若测量参数设置完毕,按下运行开始功能键,计算机便按照事先设置的各种测量参数进入指定的测量模式程序包,进行逐一波长的时间分辨测量。扫描测量过程中边测量边实时地将测量数据绘成曲线,还可同时显示当前波长、时间百分数及其对应的强度(见图3、4)。测量结果自动存盘。

为了充分发挥人的主观能动性,简化人机对话,利用计算机固有键盘设置了若干个功能键,基本上分三类。一类是扫描测量过程中使用的,如中止或暂停正在进行的测量等。第二类是扫描测量完毕之后,控制各种返回、拷贝实时测量曲线等。第三类是参数选择主菜单中,用于选择各种参数和控制出口。

#### 四、系统数据站功能

一个测量系统如何有效地管理和利用测量获得的数据,以提高测量效率是评价一个测量系统优劣的重要标志。系统数据站就是为有效地管理和利用测量数据而设置的。它包括数据库管理、数据二次处理和绘图软件三部分。

二次处理软件可对存放在数据库中的测量数据进行分析、处理。目前开发了6种二次处理功能:

1. 数据平滑, 可对原始数据进行 9 点或 15 点移动点平滑, 以期取得更好的信噪比;
2. 倒数、对数变换;
3. 峰谷列表, 对一系列数据自动进行寻峰 (谷), 并开列出所有峰 (谷) 的位置、强度;
4. 求峰 (谷) 面积;
5. 1—4 阶微分;
6. 两个数据文件对应点四则运算。

为了事后描绘测量数据或经二次处理后的结果可调用绘图软件包。该软件可绘制扫描测量获得的波长—时间—强度 ( $W-t-I$ ) 三维图, 又可根据需要选择描绘波长—强度 ( $W-I$ ), 或时间—强度 ( $t-I$ ) 某一剖面的二维切面图。在二维显示中具有键盘控制的游标尺精确测量功能, 还具有图形局部多重扩展功能, 可将微小区域放大, 进行精确测量显示。

系统数据库包括五种测量模式下扫描测量时存储的数据文件; 绘图软件包中存储的  $t-I$ 、 $W-I$  和  $W-t-I$  数据文件; 二次处理软件包中存储的处理后的数据文件; 以及表征各种测量条件、参数的状态文件四种。数据库管理就是正确地区分各类文件, 在测量过程中合理地调用、存储各类文件, 在二次处理中迅速找寻欲进行处理的文件, 并自动地进行检索, 绘出  $W-I$  剖面图、 $t-I$  剖面图, 或三维图, 在图形拷贝时自动地将对应该图形的各种测量条件、参数的状态文件调回, 一并打印出来。

## 五、实验结果

图 3 是用该系统测得的某个样品的激光窄脉冲在某个特定波长随时间变化的特性。Boxcar 积分器的主要参数为门宽 2 ns, 门延迟范围 100 ns, 时间轴间隔 1%, 即采样门每次移动 1 ns, 其它参数如图所示。图 (a) 是在常规模式下测得的结果, 由图得峰的半宽度为 25%, 即 25 ns。图 (b) 是另一波长时, 在光谱校正模式下测得的第一次结果, 峰的半宽度为 16 ns。

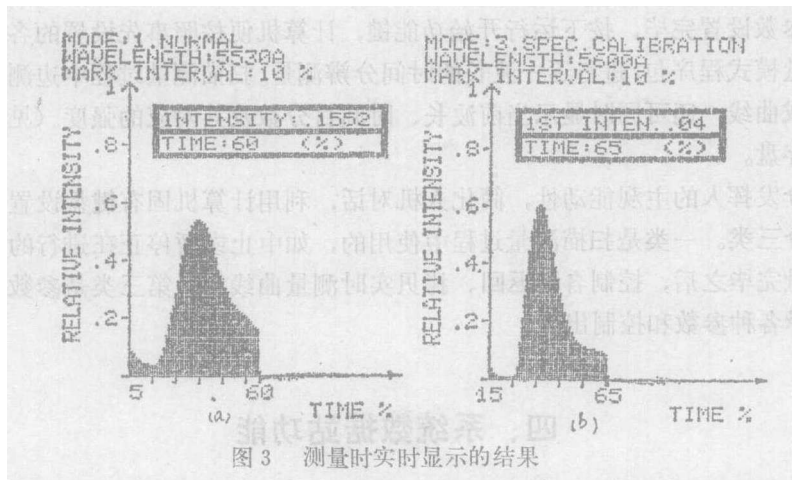


图 3 测量时实时显示的结果

图 4 是重加平均模式的测量结果。左图为常规模式测得的结果, 由于信噪比低, 曲线很毛糙, 测量精度差。右图为经 5 次重加平均后的结果, 这时的曲线较一次测量时光滑得多。

图 5 是由绘图软件事后绘制的某次测量的图形。波长扫描范围为  $5400 \text{ \AA} \sim 5800 \text{ \AA}$ , 间隔  $20 \text{ \AA}$ , 时间轴范围为  $15 \sim 65\%$ , 间隔 1%; Boxcar 门宽 5 ns, 门延迟范围为 200 ns。图 (a) 是该次测量的  $W-t-I$  三维关系图, 由图可见, 峰的强度随波长增加而增加, 峰的时间轴位置

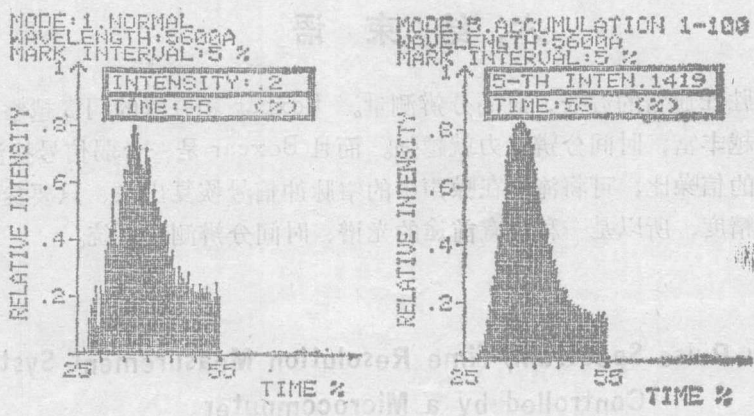


图4 重加平均模式的测量结果

随波长增加而逐渐向左偏移。图 (b)、(c) 分别是  $W-I$  和  $t-I$  二维剖面图, 从这些选取的剖面图可详细分析这三维关系的相应特性。

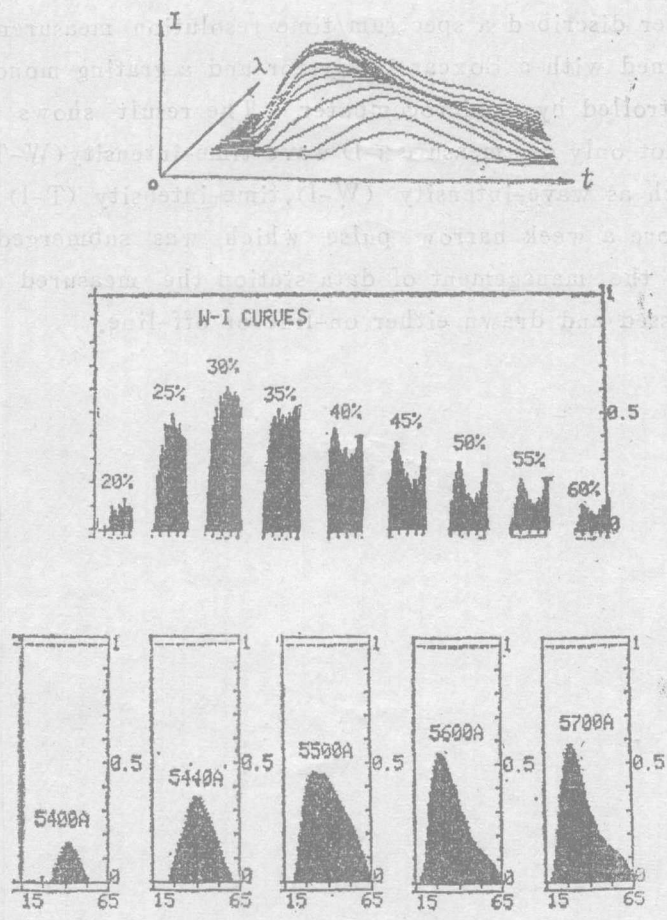


图5 绘图软件包绘制的测量结果

## 六、结 束 语

这种系统能够胜任通常的波长、时间分辨测量。Boxcar 积分器的门宽越窄, 恢复窄脉冲信号的高频分量越丰富, 时间分辨能力就越强。而且 Boxcar 是一台弱信号检测仪器, 可大幅度地改善系统的信噪比, 可将淹没在噪声中的窄脉冲信号恢复出来。只要参数选择合理可达到一定的测量精度, 所以是一种很有前途的光谱、时间分辨测量系统。

### A Narrow Pulse Spectrum/Time Resolution Measurement System Controlled by a Microcomputer

Qian Shenan

#### Abstract

This paper described a spectrum/time resolution measurement system combined with a Boxcar integrator and a grating monochromator controlled by a microcomputer. The result shows that this system not only can measure 3-D wave-time-intensity (W-T-I) and 2-D, such as wave-intensity (W-I), time-intensity (T-I), but also can restore a weak narrow pulse which was submerged by noise. Under the management of data station the measured data can be processed and drawn either on-line or off-line.