

第二章 FJ427A1 型微机热释光剂量计（读出器）使用说明书

1. 概述

FJ-427A1 型微机热释光剂量计(读出器)系 2001 年推出的最新产品。该机采用最新设计的单片机和液晶显示器组成操作台，既可以独立使用，也可以和计算机通讯，由计算机连接数字打印机。该系统可以对经过 β 、 γ 、中子、X 射线等辐照后的热释光剂量元件进行测量，读出累计剂量值，具有参数编辑、发光曲线显示、数据处理、自动校准、自动扣除本底、数据库编辑与检索等功能。造型美观，操作方便。

本仪器主要用于放射性工作人员的个人剂量监督，也广泛用于环境测量、医疗卫生、科学研究等方面。

本仪器由 50Hz、交流 220V 工业电网供电，可在温度为+5℃~+40℃，相对湿度 $\leq 85\%$ （30℃）环境条件下正常工作。

本仪器的设计符合 GB10264-88 国家标准的规定。

2. 主要技术性能

2.1. 本仪器的线性度范围为 100 μ Gy~4Gy(此处系指用 JR1152A 型热释光剂量片标定的 $^{60}\text{Co}\gamma$ 源剂量, 该指标主要取决于所用剂量片的性能), 在线性度范围内响应的变化不大于 10%。

2.2. 仪器的加热系统采用线性程序升温, 可分为预热、读出、退火三个阶段, 见图 5, 其中预热阶段的升温速度为最大值, 温度为室温~+500℃, 持续时间为 0~500s; 读出阶段的升温速度为 0~40℃, 温度为预热温度~+500℃, 持续时间为 0~500s; 退火阶段的升温速度为最大值, 温度为读出温度~+500℃, 持续时间为 0~500s。以上参数均可通过键盘以数字方式在相应范围内设置, 但持续时间三个阶段之和不应超过 500s。亦可以采用两个阶段或一个阶段的升温程序或连续慢速线性升温。

2.3. 本仪器可适用于 5 种形式的剂量计: (1)方片, 最大面积为 5×5×0.8mm; (2)圆片, 最大直径为 ϕ 10mm; (3)圆棒, ϕ 2×12mm; (4)圆棒, ϕ 1×6mm; (5)粉末。

2.4. 仪器中可同时设置并储存 5 套测量参数, 通过键盘设置可调用其中任何一套。每套参数包括升温程序、高压值、本底、标准光源计数率、刻度系数和日历时钟等, 可适应测量不同剂量片的需要。参数存入仪器中, 关机时不丢失, 开机时自动调出。

2.5. 光电倍增管的高压可在仪器校准时设置, 其范围为-400~-1000V。

2.6. 校正系数在仪器校准时确定。每次测量结束, 抽屉拉出后仪器对标准光源进行测量, 根据标准光源产生的计数率对校正系数自动进行修正, 保持整机灵敏度不变。

2.7. 仪器启动后每 30min 可自动测量本底并自动存储, 从测量结果中自动扣除光电

倍增管暗电流及线路的零点漂移。

2.8. 操作台可设置和显示剂量计编号，其范围为 0000~9999；还可显示日期、时间、升温程序、计数率、温度和升温曲线；在读出阶段求出 ROI 积分值；显示积分值和剂量值。如果连接计算机，可显示发光曲线；还可以对发光曲线进行解谱分析等。

2.9. 连接计算机后，数据获取和处理软件具有数据库功能。并可查阅和打印。

2.10. 数据获取和处理软件具有打印功能。可打印出当前主页的内容和数据库的内容。

2.11. 测小剂量时为减小误差，可以通入氮气。

2.12. 仪器在环境温度为+5℃~+40℃，相对湿度 ≤ 85% (30℃)，大气压强为 86kPa~106kPa 环境条件下能正常工作，仪器灵敏度的变化 ≤ 5%。

2.13. 仪器可连续工作 8 小时，其最大相对误差 ≤ ±5%。

2.14. 仪器经运输振动后，可以正常工作。

3. 成套一览表

a. 操作台	1 台
b. 台式微机 (最低配置：PII 级 CPU、64M 内存、20G 硬盘、40 倍速光驱、15 吋显示器)	1 套
c. 喷墨打印机 (惠普 HP Deskjet200 型)	1 台
d. FJ427A1 微机热释光剂量计(读出器)数据获取和处理软件	1 套
e. 连接电缆	1 根
f. 氟化锂剂量片 (JR-1152A)	10 片
h. 产品合格证	1 张
i. 加热盘	8 个
g. 使用说明书	1 本

注：b,c,d,e 为可选件，如用户需要更高配置的计算机及打印机或愿意自行购置，均可在订货时商定。

4. 仪器工作原理

热释光剂量学的原理是基于某些物质 (例如 LiF、CaF₂、CaSO₄、Mg₂SiO₄、BeO 等) 所具有的热释光特性。他们经过放射性辐照后，物质结构内部的电子能级发生变化，部分电子跃迁到较高的能级，并被由于晶体掺杂后的缺陷所形成的陷阱所俘获。把经过照射的材料加热，则受热激发的电子返回基态能级，同时把储存的能量以发光的形式释放出来。发光强度与加热温度之间的关系曲线称为发光曲线，它通常具有一个或几个峰值，如图 1 所示。在某一温度范围内的发光峰的面积与材料所受到的剂量成正比。热释光材料可以做成方片、圆片、粉末等各种形式，由从事放

射性操作的人员佩带在身上，定期地用热释光剂量计(读出器)测量。在测量过程中，仪器对剂量计进行加热，同时测出在一定温度范围内释放出来的总光亮，便可以确定所受剂量的大小。利用特殊的设计，把若干个剂量片组合起来，构成卡片式剂量计，可同时测出 β 、 γ 、中子等剂量值。热释光技术具有测量范围宽、精度高、线性好、

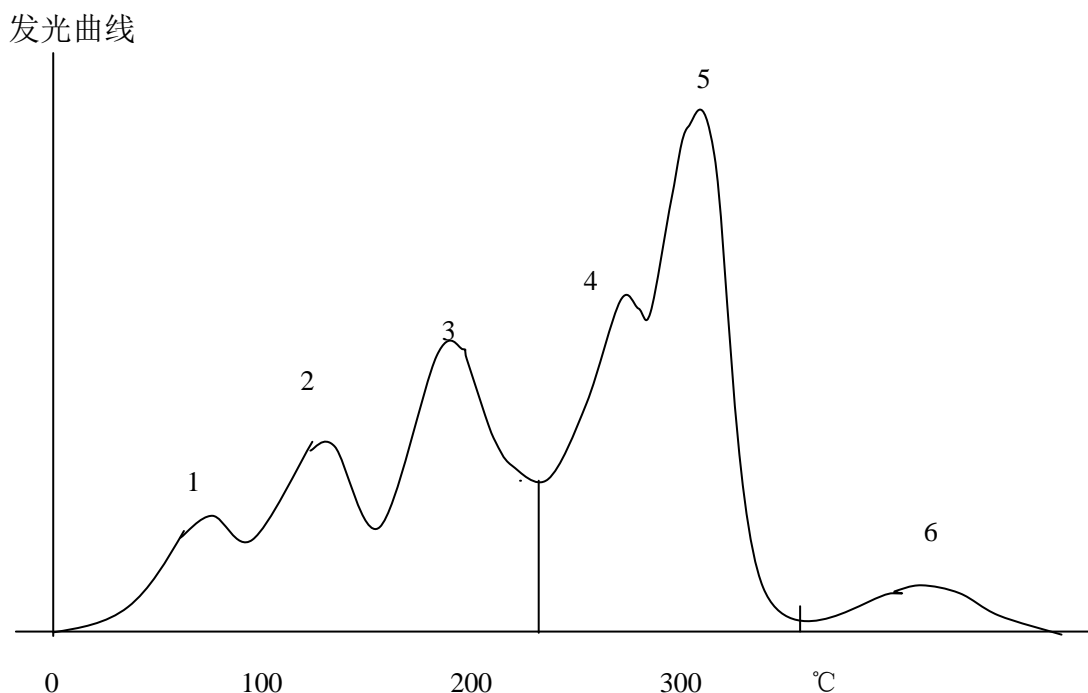


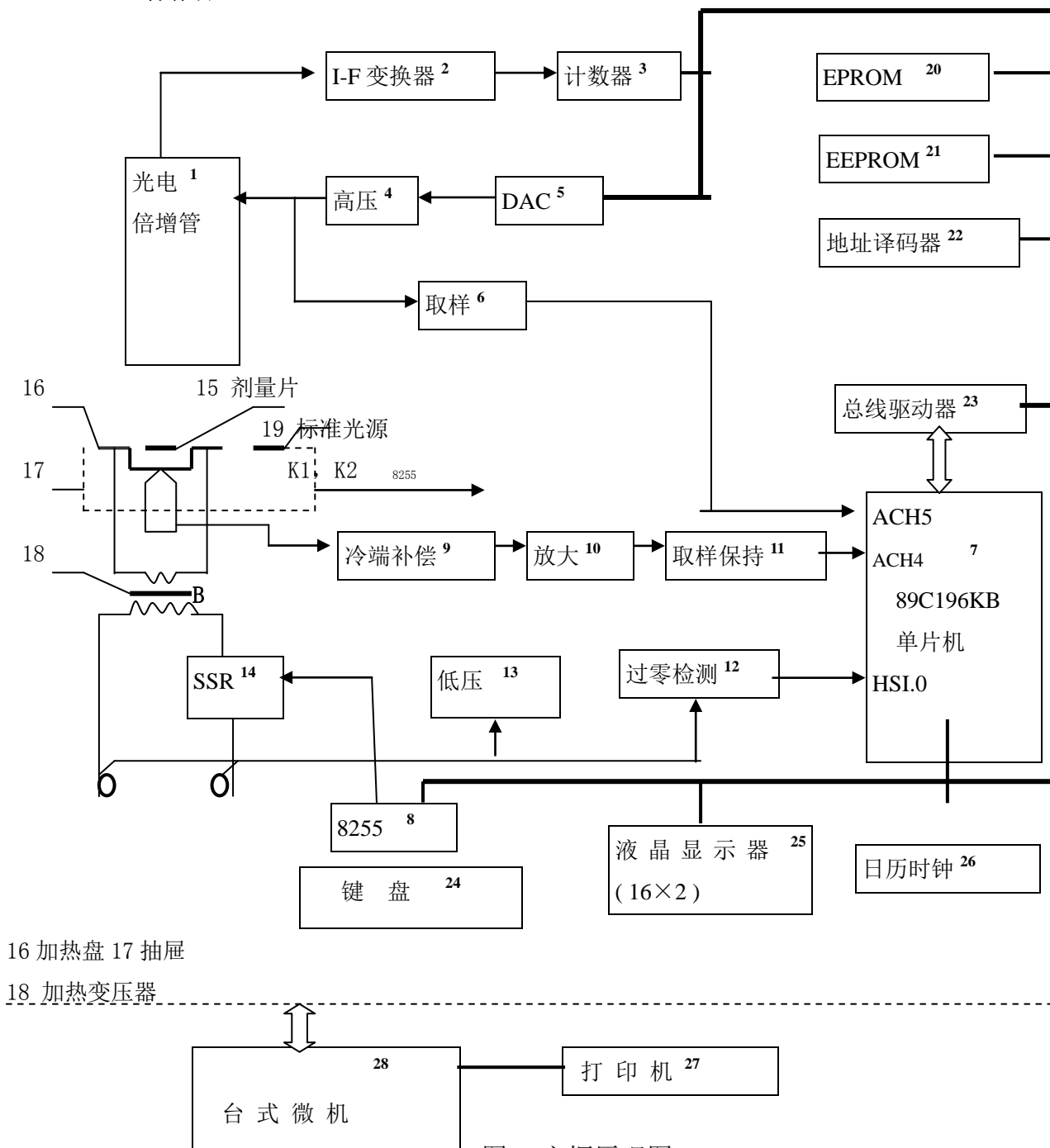
图 1. LiF: Mg, Ti 的典型发光曲线

携带方便、可重复使用等优点。

仪器由操作台、台式微机和打印机三部分组成。台式微机和打印机为可选件。微机通过标准接口与其余部分连接。仪器的操作及参数的设置可通过操作台上的键盘进行，也可以由微机的键盘进行直接操作控制。测量结果在操作台的液晶显示屏上显示，也可在微机的显示器上显示。本仪器操作台采用单片机控制。操作台包括液晶显示器、键盘、换样的抽屉、加热变压器、光电倍增管、I-F 变换器、高压和低压电源等。仪器中的计数、定时、显示、工作程序、升温程序、加热、数据处理等功能均由大规模集成电路芯片及专用软件完成，从而大大地简化了硬件电路设计，扩大了功能，降低了成本，并提高了工作可靠性。

仪器的方框图见图 2。待测的剂量片(15)放在加热盘(16)中，并随抽屉(17)一起被推入测量位置。单片机检测到抽屉被推入后给出信号，通过固体继电器 SSR(14)及加热变压器(18)进行加热。加热盘的反面焊有测量温度的镍铬-镍铝热电偶，其输出信号经过冷端补偿(9)和直流放大器(10)放大后加到取样保持电路(11)，然后由单片机的模拟-数字变换器转换成数字量，通过软件程序与设定的升温程序相比较。根据加热盘的实际温度低于或高于给定值来相应地控制固体继电器(14)SSR 的导通或截止。加热变压器

(18)的初级通过固体继电器(14)SSR 接入交流电网，从而完成了闭环反馈控制，使加热盘的温度变化规律与给定的程序相一致。加热程序通常包括预热、读出、退火三个阶段，每一阶段均可包括升温及恒温两部分；升温速度、恒温温度及持续时间均可根据需要设置。如果选择退火时间等于零，则程序只包括预热和读出两个阶段；如
操作台



预热和退火时间均等于零，则为一阶段（不分阶段）的线性升温。因此，本仪器具有很大的通用性和灵活性，可以适应不同材料和形状的剂量片及各种不同用途。典

型的多阶段升温程序和相应的发光曲线见图 5。其中只有在读出阶段才进行积分计数，而预热和退火阶段只用于消除低温和高温时的发光峰，达到预热和退火目的。升温程序结束后开始降温，在冷却后拉出抽屉，更换剂量片，同时进行自动校准。

剂量片在加热过程中释放出的光到达光电倍增管(1)的阴极。在剂量片与光电倍增管之间加有蓝色滤光片(QB21型)和红外滤光片(GRB1型)各一片，用于滤去与信号无关的干扰光,改善仪器的信噪比。光电倍增管采用本厂专门配套生产的GDB-20型,呈垂直位置。这是一种铯钾铯双碱光阴级的小直径倍增管,具有极小的暗电流和良好的温度稳定性,适合于测量微弱信号。光电倍增管把接收到的光信号变成电流信号,并进一步通过电流-频率变换器(I-F变换器,2)转变成脉冲频率,进入计数器3进行记录并显示。如果操作台与计算机相连,则计算机显示器上可以显示出发光曲线和升温曲线。

本仪器中采用了自动校准灵敏度和自动扣除本底的工作原理,可以对仪器长期工作中由光电倍增管和电路引起的灵敏度变化和零点漂移进行自动修正,从而大大提高了测量的准确性和稳定性,降低了误差,简化了操作。仪器用装在抽屉后部的标准光源(9)进行校准。该光源用塑料闪烁体加上 ^{14}C 同位素制成,其发光强度具有极高的稳定性。当拉出抽屉时光源恰好对准测量位置。仪器把光电倍增管的电流(与光源强度成正比)转换成脉冲频率后送入计数器进行显示。如发现该频率(每1s内的计数值)有变化,则说明灵敏度不稳定,需要进行补偿。本仪器对上述过程实现了自动化。每次当拉出抽屉更换剂量片时,标准光源产生的计数被送入单片机或计算机,与预置的光源计数相比较,如发现二者不一致,则通过单片机或计算机软件计算,确定新的校正系数。由于调整过程极快,不会影响正常的测量。每测一个片子(平均1分钟左右),即可自动校准一次灵敏度,使仪器保持极高的长期稳定性。

测量仪器本底可用二种方法。方法1是不放剂量片,不升温,这时的本底(BG1)主要来自光电倍增管(PMT)的暗电流和电子线路的零点漂移。方法2是用一组退火后未经照射的标准剂量片(本底片,通常为10片)放在仪器中加热并测量。这时测出的本底除了本底BG1外还包括高温时剂量片和加热盘发出的红外线。仪器可按事先设定的时间间隔(例如30min)自动测量本底BG1,也可以在认为需要时手动测量本底BG1。本底1测量结束时,自动计算出本底1的平均值BG1(c/s),同时修正本底2(BG2),并存入操纵台和计算机。在测量剂量片时,仪器自动从每个剂量片读数中扣除本底2(BG2)。

除了上述的测量状态外,仪器还具有“校准”工作状态。每次计数时间分为1s、10s、100s三档,可通过键盘相应的键进行选择。计数及显示过程周而复始,循环进行。“校准”状态时,抽屉处于拉出状态,仪器测量标准光源计数代表灵敏度。

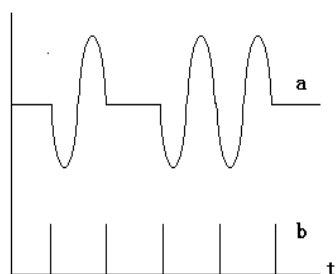
以下对各主要单元的工作原理作一简要说明:

a. I-F变换器(电流-频率变换器)

高输入阻抗运算放大器及反馈电容构成电流积分器。光电倍增管GDB20输出负电流,经积分后在放大器输出端形成正相锯齿电压,其斜率与输入电流成正比。当该电

压达到比较器的触发电平时，其输出端的电压发生负跳变，使单稳态触发器翻转，给出一个复原脉冲，通过复原网络加到输入端，使积分电压下降，比较器复原，然后又重复同样的周期。单稳态触发器（74LS122）的 Q 端输出的正脉冲为 TTL 电平，其重复频率 F 与输入电流 I 成正比，变换比为 $K=F/I=10^{11}/C$ （每库仑产生 10^{11} 个计数，即 $I=10^{-11}A$ 时， $F=1/s$ ），最大线性输出频率为 $F_{max}=300k/s$ （相应的计数为 300.0k/s）。

b. 加热电路



由于热电偶焊在加热盘的底面,而加热盘本身又直接与加热变压器次级相连,当 100A 左右的加热电流通过加热盘时,不可避免地对热电偶输出信号产生干扰,即在直流电动势上叠加一个交流 50Hz 的信号(图 3, a)。为了准确地测量温度,本仪器中采用了“过零检测”和“整周期加热”的方案,即当电网电压的每一个周期开始时交流电压通过零的瞬间产生“过零脉冲”(图 3, b),

通过取样保持电路(图 2, 11)对热电偶的信号进行采样和测量,避免了交流信号干扰。经过单片机判断,如果认为需要加热,则通过 8255 (图 2, 8) 时固体继电器 SSR (图 2, 14) 导通,接通加热变压器 B 的初级,进行加热。下一个周期开始时首先使 SSR 关断,然后重复同样的取样、判断和控制过程。因此加热变压器的导通均以整周期为单位,避免了由于正负半周不平衡可能引起的变压器磁饱和、发热甚至烧毁的现象,实现了“整周期加热”。过零脉冲还同时送入单片机,以申请中断的方式工作。

图 3 过零检测

c. 冷端补偿放大

热电偶的冷端温度补偿电路(图 2, 9)是用四个电阻构成的电桥,其中一个是用普通漆包线(铜线)绕成的电阻,具有一定的温度系数。当环境温度变化时,电桥失去平衡,其输出端产生电位差,用于补偿热电偶冷端温度变化引起的电动势变化。热电偶信号经过冷端补偿后由直流运算放大器(图 2, 10)放大,其输出电压经过取样保持电路(图 2, 11)加到单片机(图 2, 7) ACH4 端。该电压每 1V 相当于 $100^{\circ}C$,最大值为 5V。

d. 高压电源(图 2, 4)

探头中光电倍增管的工作高压 HV 由直流高压变换模块产生,在其输出端可获得 $-400 \sim -1000V$ 的负高压。单片机通过 DAC (12bit 图 2, 5) 对高压实行控制。高压值经过取样还同时输入单片机的 ACH5 进行显示,并与设定的高压值比较,如二者不符,则通过 DAC 实行负反馈调整。

e. 低压电源(图 2, 13)

本仪器中采用新型的电源模块,它可以从交流电网的电压经变换后直接获得

+5V、+15V 和-15V 三组低压，供测量装置的各部分线路使用。

5. 操作使用规则

5.1. 操作台使用方法

5.1.1. 安全事项

仪器与外部设备的连接均应在总电源开关断开的情况下进行。仪器工作时，底板上的“高压电源”模块有可高达 1kV 的直流高压；变压器、电源滤波器、保险丝、低压电源模块和电源开关等处也都带有 220V 交流电火线，在操作和检修时应注意绝对不能与人体直接接触，以确保人身安全。

5.1.2. 仪器的连接

仪器开箱后，应打开上盖检查，如发现因运输震动出现电路板从插座中脱出、连接电缆接触不良等现象，应予修复。

仪器电源插头座采用国家标准单相三芯插头座，插座的上脚为地线，应接大地；左脚为电网零线；右脚为电网火线。在交流电网不稳的地区，如使用交流稳压器或 UPS 电源，应注意电压正弦波形不得有畸变，否则将影响仪器正常工作。

使用计算机时，将信号电缆一端接仪器后面板 RS-232 插座，另一端接计算机的 RS-232 插座。

5.1.3. 开机及操作台参数的输入

仪器的电源插头接入交流电网插座，打开后面板的电源开关，液晶显示器亮。

仪器的操作及参数的输入和更改通过操作台面板上的 4×4 触摸式键盘进行。键盘示意图如图 4 所示。各键功能分述如下：

测量：启动/停止测量。第一次按下测量键，按当前测量参数启动升温程序，开始测量；测量过程中，用户可以手动终止测量，即再次按下测量键，则停止测量。测量时液晶显示屏上显示：

T**	C	HV	****.*V
****	****.*	****	μ Gy

显示当前温度和高压值。

显示剂量片编号、剂量率及单位 μ Gy。

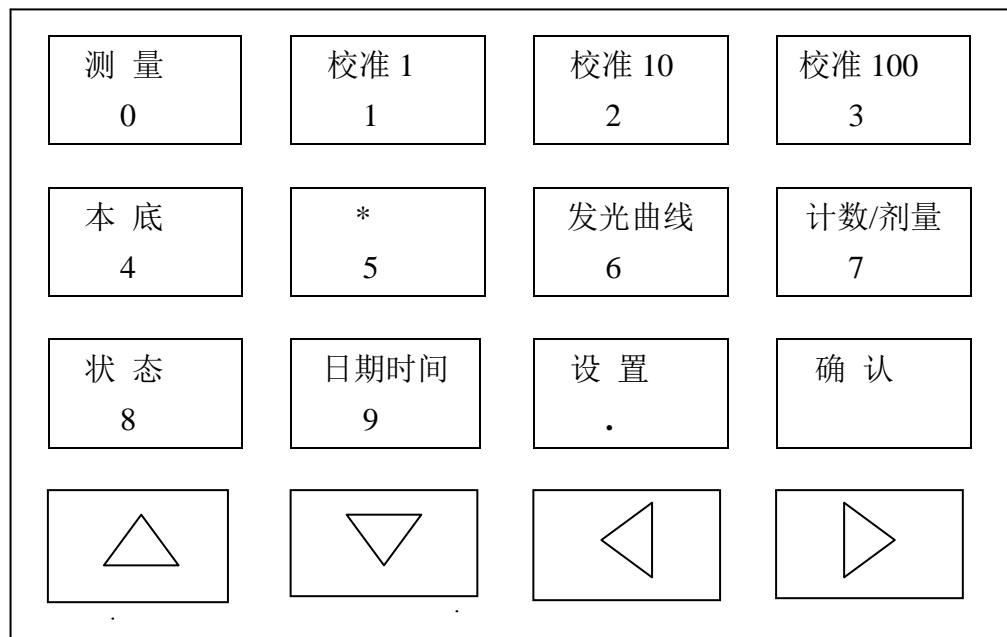


图 4 键盘示意图

校准 1: 校准 10: 校准 100: 均为启动/停止校准键。校准时间分别为 1s、10s、100s。第一次按校准键，启动测量标准光源计数，用户可以再次按该键手动停止校准测量。校准时液晶显示屏上显示：

LGT	*****	***	s
LGT	****.*		c/s

显示标准光源总计数和累计时间。

显示标准光源计数率，单位 c/s。

本底: 启动/停止本底测量键。本底测量时间为 100s。第一次按本底键，启动测量本底，用户可以再次按该键手动停止本底测量。本底测量时液晶显示屏上显示：

BG1	***	***	s
BG	**.*		c/s

显示本底总计数和累计时间。

显示本底计数率，单位 c/s。

发光曲线: 此键与←、→键配合使用，可同时在液晶显示屏上显示温度曲线和发光曲线的数值。例如，先按发光曲线键，显示：

20s	***	^C
20s	***	c/s

显示温度曲线，当前秒及温度。

显示发光曲线，当前秒及计数率，单位 c/s。

再按←键或→键，则显示其前一道或后一道的温度曲线和发光曲线的数值。若连续按发光曲线键两次，则自动翻页显示全部道的温度曲线和发光曲线的数值。道的数量与升温程序有关。

计数/剂量: 此键在测量过程中用于计数和剂量单位转换。例如，测量时显示：0001 ***.* μ Gy，按此键后则显示：0001 ***.* c。再按此键则返回原显示单位。

状态: 报告仪器工作状态。例如:

STA OP OK ! 仪器工作正常!
 t1+t2+t3 >500s! 时间设置超出范围!
 Temp. > 500 C !! 温度大于 500°C!!
 HV < 400V Too Low ! 高压小于 400V,太低了!
 HV > 999V Too High! 高压大于 999V,太高了!
 Comm. Error ! 通讯错误!

此键与←、→键配合使用,可显示同时发生的多种错误状态。

日期时间 (9 键): 在非测量状态此键可以显示日历时钟,即当前的日期和时间。

设置: 此键与↑、↓、←、→键、数字键(0-9)、小数点键及**确认**键配合使用,可以显示和设置操作台的5套测量参数,并可以修改日历时钟。↑、↓键用于更换页面;←、→键用于移动光标;数字键(0-9)和小数点键用于修改和设置参数。**确认**键在首页用于选择套号;在其他页面用于确认并保存参数,结束设置。每套参数包括升温程序、标准光源计数、高压值、校正系数和本底等,可适应测量不同剂量片的需要。参数存入仪器中,关机时不丢失,开机时自动调出。**设置**键在非测量状态下使用。按**设置**键,液晶显示屏上显示首页:

No: 1	CODE: ***
T1: ***	t1: ***

参数套号; 剂量片编号。
 预热温度(°C); 预热时间(s)。

光标在参数套号下,用户可以选择参数套号(1-5),然后按**确认**键,调出相应套号的参数;也可以用←、→键移动光标;用数字键(0-9)修改参数。本页如果无修改,可按↓键显示下一页,依此类推。或用↑键显示上一页。参数共有6页,内容如下:

页数	显示内容	说 明
1	No: 1 CODE: **** T1: *** t1: ***	参数套号: 1-5; 剂量片编号: 4位数字。 预热温度(°C); 预热时间(s)。
2	T2: *** t2: *** T3: *** t3: ***	读出温度(°C); 读出时间(s)。 退火温度(°C); 退火时间(s)。
3	HR2: ** HV: *** Unit: μGy	读出升温速度(°C/s); 高压: 400~999V。 剂量单位,固定。

4	<table border="1"> <tr> <td>BG1</td> <td>**. **</td> </tr> <tr> <td>BG2</td> <td>**. **</td> </tr> </table>	BG1	**. **	BG2	**. **	<p>本底 1 计数率，单位 c/s。</p> <p>本底 2 计数率，单位 c/s。</p>
BG1	**. **					
BG2	**. **					
5	<table border="1"> <tr> <td>Light(k)</td> <td>**. **</td> </tr> <tr> <td>Correct</td> <td>**. **</td> </tr> </table>	Light(k)	**. **	Correct	**. **	<p>标准光源计数率，单位 c/s。</p> <p>校正系数</p>
Light(k)	**. **					
Correct	**. **					
6	<table border="1"> <tr> <td>Y/M/D</td> <td>2000/06/30</td> </tr> <tr> <td>H:M:S</td> <td>08:35:00</td> </tr> </table>	Y/M/D	2000/06/30	H:M:S	08:35:00	<p>年/月/日</p> <p>时:分:秒</p>
Y/M/D	2000/06/30					
H:M:S	08:35:00					

仪器的加热系统采用线性程序升温，可分为预热、读出、退火三个阶段，其中预热阶段的升温速度为最大值，温度 T1 为室温~+500℃，持续时间 t1 为 0~500s；读出阶段的升温速度 HR2 为 0~40℃，温度 T2 为预热温度~+500℃，持续时间 t2 为 0~500s；退火阶段的升温速度为最大值，温度 T3 为读出温度~+500℃，持续时间 t3 为 0~500s。以上参数均可通过键盘以数字方式在相应范围内设置，但三个阶段之和 t1+t2+t3 不应超过 500s。亦可以采用两个阶段或一个阶段的升温程序或连续慢速线性升温。

参数显示或设置完按**确认**键，结束设置。液晶显示屏上显示：

<p>All Data OK!</p> <p>Please operate!</p>
--

表示参数设置好，可以进行其他操作。

5.2. 测量准备

5.2.1. 升温程序的确定

在首次使用某种未知的热释光材料之前，应当利用本仪器测量一次发光曲线，并据此准确地确定升温程序。以 JR1152A 型剂量片为例，热释光发光曲线有若干个发光峰（图 1），其中在较低温度下出现的 1、2、3 峰称为低温峰。它们是不稳定的，在室温条件下能自行衰退，因此必须在“预热”阶段予以清除。“测量”阶段的温度区间应与主发光峰 4、5 峰的温度相对应，即从 3、4 峰之间的谷点开始，到 5 峰下降到接近于零时结束。如“测量”阶段的温度起点过低，测量结果中可能包括一部分低温峰的贡献；温度终点过低，则主发光峰信号不能充分放出；温度终点过高，则由于“假荧光”和红外线热本底（6 峰）的影响会使读数偏大。确定退火温度时，应使残余的发光信号完全消除；同时还应考虑到超过某一温度后有些材料的物理和剂量性能会发生变化，因此温度也不能过高。各个阶段持续时间的选择应以剂量片各部分均匀受热并达到热平衡、热释光信号被充分放出为原则，同时又应尽量缩短，以提高工作效率。在测量片子时可通过操作台前面板上的液晶显示器或计算机屏幕观察计数率的变化，在“测量”阶段中计数率由低到高，又由高到底并趋于零。如在这时结束测量则可认为测量时间 t₂ 的选择是正确的；反之，如“测量”阶段结束时计数率仍很高，或计数已停止但“测量”仍未结束，则 t₂ 的选择是不正确的。

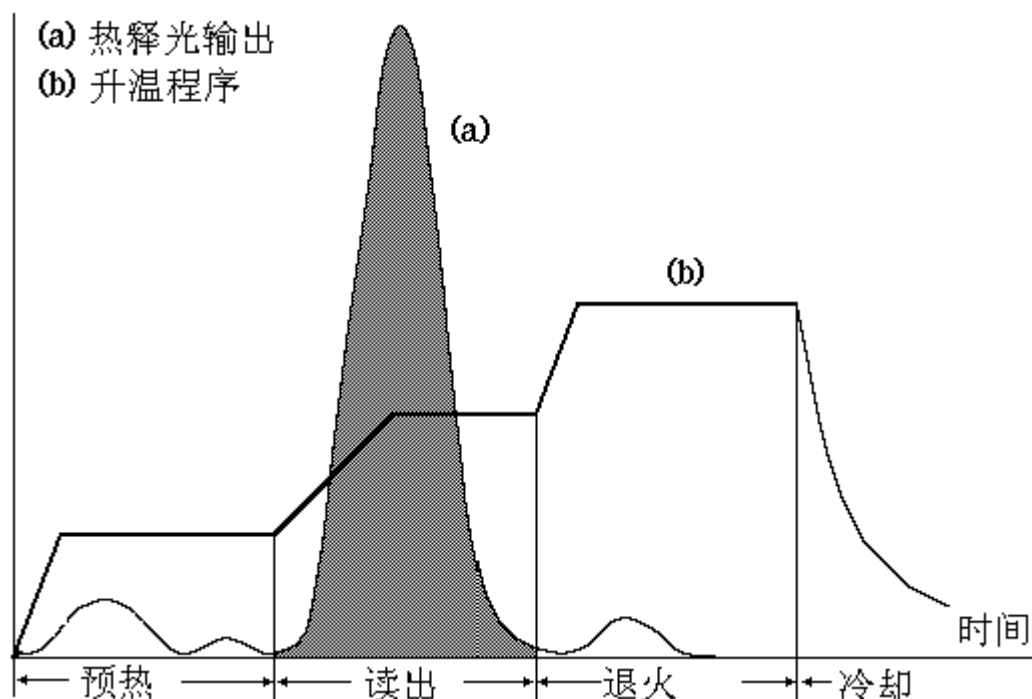


图 5. 升温程序示意图

图 5. 是一个典型的多台阶升温程序示意图，在 2.2 中已描述。其中热释光输出对应的是测量 LiF: Mg, Ti 剂量片产生的发光曲线。每一台阶由二个阶段组成，第一阶段从初始温度快速升温到指定温度，第二阶段保持该温度直到剂量片被充分加热。由于本仪器采用积分法进行测量，故加热速度 HR 在一定范围内变化时对最终测量结果没有影响。根据 HR 值可以计算出从 T_1 上升到 T_2 所需要的时间。如果该时间大于或等于 t_2 ，则恒温阶段等于零，相当于线性升温状态，可在测发光曲线等场合下使用。选择升温程序时，应主要根据材料的性质、发光曲线的形状、剂量片的大小、剂量片的厚度和导热性等因素，经反复试验，才能最后确定。对于 JR1152A 型氟化锂剂量片 (LiF: Mg, Ti, 方片 $5 \times 5 \times 0.8\text{mm}$)，测剂量时，带退火，建议升温程序如下：

$$T_1=140, T_2=240, T_3=400, t_1=t_3=20, t_2=15, HR=20;$$

由于被加热剂量片内有温度梯度，较快的升温速度可能使剂量片很快升到高温，所以为了记录剂量片的发光曲线，应当采用慢速线性升温程序。建议测量 JR1152A 型氟化锂剂量片发光曲线时，采用如下升温参数：

$$T_1=T_3=0, T_2=500, t_1=t_3=0, t_2=250, HR=02;$$

升温程序的全部参数可输入剂量计(读出器)，参见 5.1.3，**设置**键。为方便使用，测量发光曲线采用的升温参数可以固定在第五套参数中。

5.2.2. 退火

剂量片在每次使用前需经高温退火，以消除残留本底，并恢复原有的灵敏度。退火可在专用的退火炉中或在仪器中进行。退火炉可选用北京核仪器厂生产的 FJ411A 热释光退火炉。用外部退火炉可使大批剂量片同时退火，非常方便。如 JR1152 型剂量片用退火炉退火，可在 $+400^\circ\text{C}$ 下保持 1h，然后立即取出倒在金属板上快速冷却。

如在仪器中退火，则可在“测量”继续升温到+400℃下保持 20s，然后立即取出倒在金属板上快速冷却，或让片子在加热盘中自然冷却到+100℃以下后取出。如果照射的剂量值很小（10mGy 以下），残留值也不大，则经过严格试验对比后，也可以考虑不退火，即把 t_3 设置为 0。

5.2.3. 筛选

由于结晶和制造工艺中造成的剂量片灵敏度和本底不一致，片子在使用前必须经过仔细筛选，使一批剂量片达到较一致的灵敏度和本底。在按规定退火后，用 FJ417 热释光照射器在大剂量（10mGy）和小剂量（100 μ Gy）反复照射几次，每次照射后用同一台仪器测量，同一组片子的变异系数应不大于 4%。如某一编号的片子在多次重复测量中每次的读数均偏大或偏小，则应予以剔除。在筛选大量片子时，可按灵敏度的大小把片子分成几组使用，每组的测量结果乘以不同的校正系数。

5.2.4. 测量本底 2 (BG2)

准备一组退火后未经照射的标准剂量片（本底片，通常为 10 片）。本底 2 为正式测量样品时要扣除的本底，其值为测量‘本底样品’时读出阶段的计数率（总计数 C/读出时间 t_2 ）。本底 2 中除了包括光电倍增管暗电流和电子线路零点偏移外，还包括高温时‘本底样品’发出的红外线等因素。首先按照 5.1.3，**设置键** 介绍的步骤将仪器的本底 1 (BG1) 和本底 2 (BG2) 均设置为零，然后参照 5.3 中测量样品的步骤依次测量‘本底样品组’的每一样品，分别记下每一‘本底样品’在读出阶段的总计数 (C_i)，计算计数率 ($\bar{C}_i = C_i / t_2$)，对样品个数 (n) 求平均值 ($\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{C}_i$) 后即为本底 2。再按照 5.1.3，**设置键** 介绍的步骤修改仪器的参数本底 2 (BG2)。

5.2.5. 测量本底 1 (BG1)

本底 1 为仪器本底，由光电倍增管暗电流和电子线路零点偏移等因素造成，受仪器工作高压的影响。剂量计(读出器)在打开电源后首次推进抽屉或运行中间隔半小时自动测量仪器本底，用户也可以手动按‘**本底**’键测量仪器本底，本底 1 测量完毕后仪器将自动修改仪器内置参数 BG1，并根据本底 1 的变化修改本底 2 (BG2)，不需要用户手动修改此参数。

5.2.6. 校正系数 Correct 的确定

校正系数（即刻度因子）为正式测量样品时计算样品剂量的系数。其意义为样品在读出阶段的每个计数代表多少剂量（单位为 μ Gy/C）。仪器在正式使用前必须经过校准，以后在使用过程中每隔 3~6 个月定期校准一次。校准时采用的剂量片材料、尺寸、形状、射线种类和能量、以及仪器的升温程序等必须与正式使用时相同。先用退火后未经照射的剂量片测量本底，求出平均值 BG2，输入仪器中进行自动扣除。

然后用经过国家剂量管理部门检定认可的辐照装置或专用的 FJ417 热释光照射器对一组剂量片（10 片）进行辐照，取照射量为 $D = 10^4 \sim 10^5 \mu\text{Gy}$ ，参照 5.3 中测量样品的步骤依次测量‘标准样品组’的每一样品，分别记下每一‘标准样品’在读出阶段的总计数值 R_i ，对样品个数求平均读出值 R ，计算校准系数 C ：

$$C = D/R \quad (D \text{ 以 } \mu\text{Gy} \text{ 为单位, } R \text{ 以计数 } c \text{ 为单位, } \mu\text{Gy}/c)$$

最后按照 5.1.3，**设置**键介绍的步骤修改仪器的校正系数（Correct）。该校正系数用于在日常工作时计算每个剂量片的读出值，即：

$$D_i = C \times R_i$$

5.2.7. 标准光源计数 Light 和高压值（HV）的确定

在首次使用新仪器或新型剂量片之前，首先要确定标准光源计数 Light 和高压值（HV）。建议设置不同高压值，分别测量本底 1（BG1）和标准光源计数率，高压可以 10V 递增，随着高压上升，本底 1 和标准光源计数率不断上升，分别作出本底 1 和标准光源计数率与高压关系曲线，选择标准光源计数率较高且本底 1 较低的点的高压值为工作高压 HV，在此高压下，测量标准光源计数率。

在仪器处于非测量状态时，按‘*’号键，仪器在是否打开自动校正读数功能间进行切换。当液晶屏显示‘Auto correct ON’时，剂量计（读出器）根据仪器参数中设置的标准光源计数率自动修正读数；当液晶屏显示‘Auto correct OFF’时，剂量计（读出器）的自动校正读数的功能被关闭。在测量标准光源计数率前，必须关掉自动校正读数功能。拉出抽屉按‘校准 100’键启动标准光源测量，当 100 秒测量完毕时，记下仪器标准光源的平均计数率。如测 5 次，每次 10s，取平均值作为标准光源计数 Light 值。再按照按照 5.1.3，**设置**介绍的步骤修改仪器的标准光源计数率。

注意：参数中标准光源计数率以千计数为单位。例如：在本步中测得标准光源计数率为 6250c/s，应在仪器标准光源计数率参数处输入 6.250。

说明：仪器自动校正读数功能不修正测量仪器本底时的读数。在进行样品测量时，自动校正读数功能将自动打开。

5.3. 样品测量

在完成 5.2 测量准备和 5.1.3 参数**设置**后，仪器可以正式测量样品。每天开机后预热 30 分钟。用户检查高压 HV；拉出剂量计（读出器）抽屉，检查标准光源计数率；建议开始用没有剂量片的空盘加热一次，以便检查升温程序是否正常，同时消除加热盘上的残留本底。每天开机后，首次（拉出抽屉后）关上抽屉时，仪器自动测量本底 1，时间 100s，测量后自动保存本底 1（BG1），并修正本底 2（BG2）。按**测量**键可启动一次加热周期，经历预热、读出和/或退火阶段。抽屉只用在加热盘温度低于 100℃ 后，才允许推入。仪器工作正常即可开始测量。

5.3.1. 拉出剂量计（读出器）抽屉，在加热盘中放入样品。注意，样品应尽量放置于

加热盘中央并充分与加热盘接触以使样品均匀加热。

5.3.2. 平稳推入抽屉，速度不要太快，防止剂量片移动而离开其正常位置。若仪器是在开机后尚未进行仪器本底的测量，剂量计(读出器)将自动启动本底测量(100秒)，请在仪器测完本底后按‘测量’键启动测量。若仪器是在开机后已测量过仪器本底，剂量计(读出器)将自动启动样品测量。剂量计(读出器)液晶显示屏上显示当前温度(℃)、高压 HV (V)、剂量片编号、累计剂量值(μ Gy)。剂量片编号可以手动输入，详见 5.1.3 设置键，或者每次测量自动加 1。如果测量期间出现异常，可立即按**测量**键中止测量。

5.3.3. 加热周期结束后，拉出剂量计(读出器)抽屉，可以在加热盘冷却后取出剂量片，也可以在加热周期结束后立即取出剂量片，将其放到清洁的金属盘上快速冷却。仪器在样品测量完毕后将自动计算测量结果，您可以按‘计数/剂量’键查看样品剂量或样品在读出阶段的总计数(扣除本底 2)。您还可以按‘发光曲线’键并配合←、→键查看仪器的发光曲线和温度曲线。

5.3.4. 注意每次换样时，抽屉要全部拉出，直到指示灯亮启动自动校准。当仪器显示温度降至室温或低于 40℃后可进行下一次测量。在加热盘中放入新样品，推入抽屉继续新一轮测量过程。保持剂量片、加热盘、及所有与剂量片有表面接触的器皿的清洁非常重要。严格禁止用手拿剂量片，禁止让易燃物，如毛发、纤维制品、机油、油脂等进入测量室。严重污染的剂量片可以用合适的清洁剂清洗，然后用蒸馏水至少清洗 10 分钟，取出剂量片放到一个表面清洁光滑的器皿上干燥。

5.3.5. 当测量值很小低于 10mGy 时，加热期间必须引入氮气排除化学发光和摩擦发光的影响。从仪器后面板氮气孔引入的氮气应当是干燥的、无灰尘的、99.99%高纯度的，氮气的压力在 0.35~0.7 kg·m⁻²，流量控制在 0.4 升/分钟(1/min.)。

由于抽屉拉动需要润滑，请每使用一段时间(如 3 个月)在抽屉动板四周涂抹少量硅油。

5.4. 单机操作步骤

FJ427A1 型微机热释光剂量计(读出器)，以下简称剂量仪，可在计算机软件的控制下方便的完成所有功能，也可以在不连接计算机的情况下独立工作。以下提供剂量仪在独立工作时的操作步骤，供操作人员在使用时参考。

5.4.1 . 开机

连接好剂量仪电源后打开剂量仪后面板的电源开关，这时，剂量仪前面板上的液

晶屏将显示温度及高压等信息，若液晶屏无显示，请检查电源连接。

5.4.2. 设置参数

若测量条件(样品种类及灵敏度等)与上次测量结束时相同，可以跳过此步骤。

5.4.2.1. 选择参数套号

若测量所用的各套参数均已设置好，测量样品前只需选择相应套号的参数即可。

5.4.2.1.1. 仪器在非测量状态时，按仪器前面板的‘设置’键，仪器进入参数设置状态。此时仪器将显示参数套号等信息（参见仪器使用说明书）。

注意：仪器处于参数设置状态时，请勿推拉抽屉。

5.4.2.1.2. 用 ←、→键将光标移动到参数套号处，键入测量样品所用的参数套号（有效值 1-5），按‘确认’键。仪器将调出该套参数并在以后测量时使用此套参数。

注意：仪器处于参数设置第一页时，‘确认’键的作用是调出所选套号的参数并将该套参数设置为当前参数。

5.4.2.1.3. 按↓键翻页，当参数显示不处于第一页时，按‘确认’键，仪器显示“Please operate !”。若各参数均已设置正确，可跳过 2.2. 的所有步骤，进入样品的测量。

5.4.2.2. 修改参数

5.4.2.2.1 要修改仪器的某一套参数，首先调出该套参数，操作同 2.1.1. 和 2.1.2. 。

5.4.2.2.2. 要修改某一参数，请参见说明书中参数显示的每一页各参数的意义，使用↑、↓键翻页，用←、→键移动光标，在需要修改的参数处输入新值。

5.4.2.2.3. 参数修改完成后，按↓键翻页，当参数显示不处于第一页时，按‘确认’键，仪器显示“Please operate !”，这时仪器开始调节其高压，当高压稳定到所设定的值后，可进行其它操作。

5.4.3. 校准参数

剂量仪测样品剂量采用的是相对测量的方式，因而在使用剂量仪测样品剂量前必须进行校准。剂量仪可以存贮最多 5 套参数，因而您可以对至多 5 种不同的样品进行校准并存贮于剂量仪内。

5.4.3.1. 准备

请事先准备好经过筛选并已退火的一批样品（如 20 份），样品的筛选及退火方法请参见仪器使用说明书。然后将这批样品分为两组（如各 10 份），再将其中一组用照射源照射某一剂量 D(单位： μ Gy)用作‘标准样品组’；另一组不经任何辐照用作‘本底样品组’。

5.4.3.2. 设置仪器高压

参考仪器使用说明书介绍的方法确定仪器的高压，再按照 2.2. 介绍的步骤修改仪器的高压。

5.4.3.3. 设置升温程序

参考仪器使用说明书介绍的方法确定样品的升温程序参数预热温度 (T1)、预热时间 (t1)、读出温度 (T2)、读出时间 (t2)、退火温度 (T3)、退火时间 (t3) 以及读出阶段升温速度 (HR2)，再按照 2.2. 介绍的步骤修改这些参数。

5.4.3.4. 设置标准光源计数率

在仪器处于非测量状态时，按 ‘*’ 号键，仪器在是否打开自动校正读数功能间进行切换。当液晶屏显示 ‘Auto correct ON’ 时，剂量仪根据仪器参数中设置的标准光源计数率自动修正读数；当液晶屏显示 ‘Auto correct OFF’ 时，剂量仪的自动校正读数的功能被关闭。在测量标准光源计数率前，必须关掉自动校正读数功能。拉出抽屉按 ‘校准 100’ 键启动标准光源测量，当 100 秒测量完毕时，记下仪器标准光源的平均计数率，再按照 2.2. 介绍的步骤修改仪器的标准光源计数率。

注意：参数中标准光源计数率以千计数为单位。例如：在本步中测得标准光源计数率为 6250c/s，应在仪器标准光源计数率参数处输入 6.250。

说明：仪器自动校正读数功能不修正测量仪器本底时的读数。在进行样品测量时，自动校正读数功能将自动打开。

5.4.3.5. 测量本底 2 (BG2)

本底 2 为正式测量样品时要扣除的本底，其值为测量 ‘本底样品’ 时读出阶段的计数率 (总计数 C/读出时间 t2)。本底 2 中除了包括光电倍增管暗电流和电子线路零点偏移外，还包括高温时 ‘本底样品’ 发出的红外线等因素。首先按照 2.2. 介绍的步骤将仪器的本底 1 (BG1) 和本底 2 (BG2) 均设置为零，然后参照 4. 中测量样品的步骤依次测量 ‘本底样品组’ 的每一样品，分别记下每一 ‘本底样品’ 在读出阶段的总计数 (C_i)，计算计数率 ($\bar{C}_i = C_i / t2$)，对样品个数 (n) 求平均值 ($\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{C}_i$) 后即为本底 2，再按照 2.2. 介绍的步骤修改仪器的参数本底 2 (BG2)。

5.4.3.6. 测量本底 1 (BG1)

本底 1 为仪器本底，由光电倍增管暗电流和电子线路零点偏移等因素造成，受仪器工作高压的影响。剂量仪在打开电源后首次推进抽屉或运行中间隔半小时自动测量仪器本底，用户也可以手动按 ‘本底’ 键测量仪器本底，本底 1 测量完毕后仪器将自动修改仪器内置参数 BG1，并根据本底 1 的变化修改本底 2 (BG2)，不需要用户手动修改此参数。

5.4.3.7. 设置校正系数

校正系数（即刻度因子）为正式测量样品时计算样品剂量的系数。其意义为样品在读出阶段的每个计数代表多少剂量（单位为 $\mu\text{Gy/C}$ ）。参照第四步中测量样品的步骤依次测量‘标准样品组’的每一样品，分别记下每一‘标准样品’在读出阶段的总计数，对样品个数求平均值后得到计数 C_0 ，然后求出校正系数 $K=D/C_0$ ，最后按照 2.2. 介绍的步骤修改仪器的校正系数（Correct）。

5.4.4. 测量样品

5.4.4.1. 拉出剂量仪抽屉，在加热盘中放入样品。注意，样品应尽量放置于加热盘中央并充分与加热盘接触以使样品均匀加热。

5.4.4.2. 推进抽屉，若仪器是在开机后尚未进行仪器本底的测量，剂量仪将自动启动本底测量（100 秒），请在仪器测完本底后按‘测量’键启动测量。若仪器是在开机后已测量过仪器本底，剂量仪将自动启动样品测量。

5.4.4.3. 仪器在样品测量完毕后将自动计算测量结果，您可以按‘计数/剂量’键查看样品剂量或样品在读出阶段的总计数（扣除本底 2）。您还可以按‘发光曲线’键并配合←、→键查看仪器的发光曲线和温度曲线。

5.4.4.4. 当仪器显示温度降至室温后可进行下一次测量。

以上介绍的步骤为首次使用仪器的完整的操作步骤，当仪器参数全部设置好后，您测量样品的操作将仅仅是推拉抽屉、更换样品和记录结果。

5.5. 更换加热盘注意事项

5.5.1. 拆卸旧加热盘时要观察热偶丝原来连接的方式，两根热偶丝颜色有差别，一根发亮，一根发黄。将新加热盘按原来的连接方式装上即可。如果方向反了，升温时可看到显示屏上温度值向 0°C 处变化。此时**必须立即关机**将两根热偶丝反方向连接。

5.5.2. 换了加热盘后在升温程序下观察升温是否正常。如有异常，如预热温度在 120°C 左右停顿。可仔细调节母板（电源板）上的电位器 P7(20K) 至合适位置即可正常。调节时，先向一个方向调节，每旋转 180° ，启动一次升温程序，观察升温情况。如果电位器调至顶端还不能正常升温，可反方向调节，重复以上步骤。

5.5.3. 换好加热盘后，要空盘运行升温程序至退火温度 400°C 3~5 次将加热盘退火干净后再进行正常测量。

第三章 安装、维修手册

1. 安全事项

仪器与外部设备的连接均应在总电源开关断开的情况下进行。仪器工作时，底板上的“高压电源”模块有可高达 1kV 的直流高压；变压器、电源滤波器、保险丝、低压电源模块和电源开关等处也都带有 220V 交流电火线，在操作和检修时应注意绝对不能与人体直接接触，以确保人身安全。

2. 仪器的连接

仪器开箱后，应打开上盖检查，如发现因运输震动出现电路板从插座中脱出、连接电缆接触不良等现象，应予修复。

仪器电源插头座采用国家标准单相三芯插头座，插座的上脚为地线，应接大地；左脚为电网零线；右脚为电网火线。在交流电网不稳的地区，如使用交流稳压器或 UPS 电源，应注意电压正弦波形不得有畸变，否则将影响仪器正常工作。

使用计算机时，将信号电缆一端接仪器后面板 RS-232 插座，另一端接计算机的 RS-232 插座。

3. 仪器的维修方法

3.1 拆卸旧加热盘时要观察热偶丝原来连接的方式，两根热偶丝颜色有差别，一根发亮，一根发黄。将新加热盘按原来的连接方式装上即可。如果方向反了，升温时可看到显示屏上温度值向 0℃ 处变化。此时**必须立即关机**将两根热偶丝反方向连接。

3.2 换了加热盘后在升温程序下观察升温是否正常。如有异常，如预热温度在 120℃ 左右停顿。可仔细调节母板（电源板）上的电位器 P7 (20K) 至合适位置即可正常。调节时，先向一个方向调节，每旋转 180°，启动一次升温程序，观察升温情况。如果电位器调至顶端还不能正常升温，可反方向调节，重复以上步骤。

3.3 换好加热盘后，要空盘运行升温程序至退火温度 400℃ 3~5 次将加热盘退火干净后再进行正常测量。

3.4 本底大，推入抽屉后本底计数高。光电倍增管受潮，倍增管和管座用乙醚或纯酒精清洗，烘烤+70℃ 2h，乘热装入探头，避光 24h 如本底计数还高，光电倍增管不良更换光电倍增管。

有时本底计数高，是因为探头漏光需要检查探头密封状况，拧紧螺钉，消除漏光。

3.5 不计数，校准档无计数。有多种原因，一种 I-F 变换器坏，检修 I-F 变换器。如果变换器未坏，光电倍增管坏，无高压电源，接触不良等原因也能倒至不计数。需要检查高压插头和光电倍增管以及插座。

3. 6 不升温，加热变压器初级无电压。固体继电器 SSR 坏。检查、更换固体继电器 SSR。如果升温慢温度高时升不上去。检修导流柱与加热变压器次级或加热盘之间的螺钉。拧紧螺钉。温度失控温度持续上升固体继电器 SSR 坏。更换固体继电器 SSR。工作不正常,多种故障现象同时出现。低压电源坏。检查各组低压输出，检修或更换低压电源。

常见故障及检修办法列表：

No	故障	现象	原因	检修办法
1	本底大	推入抽屉后本底计数高，不能补偿。	光电倍增管受潮	倍增管和管座用乙醚或纯酒精清洗，烘烤+70℃ 2h，乘热装入探头，避光 24h。
	同上	同上	光电倍增管不良	更换光电倍增管。
	同上	同上，但用黑布遮挡探头后正常。	探头漏光	检查探头密封状况，拧紧螺钉，消除漏光。
2	不计数	I-F 变换器 V0 端加负压，校准档无计数。	I-F 变换器坏	检修 I-F 变换器。
	同上	变换器未坏，加光源后校准档无计数。	光电倍增管坏	换光电倍增管。
	同上	同上	无高压	检修高压电源。
	同上	同上	接触不良。	检查高压插头及光电倍增管插座
3	标准光源读数不对	定时或计数不对。	组件坏或组件插座接触不良。	检查或更换计算机板上的 8253。
4	不升温	加热变压器初级无电压。	固体继电器 SSR 或保险丝 BXII 坏。	检查、更换固体继电器 SSR 或保险丝 BXII。
5	升温慢	温度高时升不上去。	导流柱与加热变压器次级或加热盘之间接触不良。	拧紧螺钉。
6	温度失控	温度持续上升	固体继电器 SSR 坏。	更换固体继电器 SSR。
7	工作不正常	多种故障现象同时出现。	低压电源坏。	检查各组低压输出，检修或更换低压电源。
	同上	同上	软件程序运行混乱。	关机后，重新开机。