

中华人民共和国

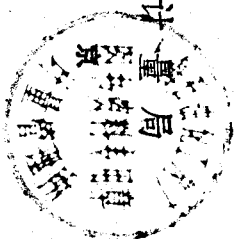
计量器具检定规程

激光能量计

JJG 312—83

国家计量局

北京



激光能量计检定规程

Verification Regulation of

Laser Energy Meter

JJG 312—83

本检定规程经国家计量局于1983年4月28日批准，并自1984年5月1日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

主要起草人：徐大刚

本规程技术条文由起草单位负责解释。

目 录

一、概述.....	(1)
二、技术要求.....	(2)
三、检定条件.....	(4)
四、检定方法.....	(6)
五、检定结果的处理.....	(12)
附录 1 激光能量量值传递系统.....	(14)
附录 2 装置和线路图.....	(15)
附表 1 能量计检定记录.....	(18)
附表 2 激光能量计检定记录.....	(19)
附表 3 能量计电校准实验记录.....	(20)
附表 4 检定证书格式.....	(21)
附表 5 检定结果通知书格式.....	(23)

激光能量计检定规程

本规程适用于新制造的、使用中和修理后的激光能量计工作标准和其它级别的热电型、光电型激光能量计的检定。主要能量检定范围为 $10^{-4} \sim 10^2 \text{ J}$ ，波长范围为 $0.3 \sim 15 \mu\text{m}$ ，其它工作范围能量计的检定可参照本规程。

一、概 述

1 激光能量计工作标准的用途

- 1.1 检定和分度各级热电型、光电型激光能量计；
- 1.2 精密测量脉冲激光光束的输出能量。

2 激光能量计工作标准的的工作原理

激光能量计工作标准和电校准的光能量计均属于可自校准的热电型能量计，其内装有合适的电加热器，允许用可以准确计算的电能模拟和替代光能产生等效的热效应，实现激光能量的绝对测量。

$$Q_{\text{光}} = C \frac{u_{\text{光}}}{u_{\text{电}}} Q_{\text{电}} \quad (1)$$

式中：

$Q_{\text{光}}$ ——激光束的能量；

$Q_{\text{电}}$ ——替代的电能量；

$u_{\text{光}}$ ——能量计在接收激光能后的净响应；

$u_{\text{电}}$ ——能量计在接收电能后的净响应；

C——光电不等效系数。对于结构良好的绝对能量计来说，光电不等效系数应接近于1，并且不随入射激光的波长变化而变化。

3 激光能量计的类型

按照它的接收器的作用原理，可以分为热电型和光电型等。按照它的指示器的显示方式，可分为指针式、光标式和数字式等。

按照它的指示器的分度情况,可分为直读式和通用线性分度式(非直读式)。

二、技术要求

4 能量计的接收器

4.1 接收面要保持清洁,黑层或光敏层要均匀,没有变色和脱落现象。

4.2 机械件应调节灵活、坚固牢靠,电插件接触良好。

4.3 热电堆和电校准加热丝等设有断路和短路现象,各自保持良好绝缘。

4.4 光电型接收器的前面,应配有漫射器。

4.5 接收器的玻璃窗口和所附的滤光片和减光板,应光洁均匀,不得有气泡、划痕、斑点和节子。

5 能量计的指示器

5.1 指针式或光标式指示器要求标尺清晰,不能有卡针现象;分挡开关转动灵活,接触良好,分挡指示正确。

5.2 数字式指示器应当采样正常,数码显示清晰正确。

5.3 指示器和接收器应当匹配良好,便于准确读数,调零正常。

6 能量计的误差和级别

6.1 工作标准的主要技术指标应符合表1要求。

表1

项 目	技 术 指 标	备 注
修正系数变化率	<2%	一年以内
电校准灵敏度变化	<0.5% <2%	连续电校准 一年以内
面响应的不均匀性	1 %	在接收面2/3 直径以内

6.2 激光能量计均应通过试验予以检定,满足以下最低要求。

6.2.1 灵敏度或示值的短期稳定度,即连续测量的重复性

±3%

6.2.2 灵敏度的年变化

±5%

6.2.3 面灵敏度的不均匀性

±5%

6.2.4 灵敏度随辐射能的变化(非线性)

±5%

6.2.5 灵敏度随波长的变化(光谱选择性)

±5%

(对宽波段使用的仪器)

6.2.6 零点漂移(10分钟内)

±5%

6.2.7 校准的不确定度

±10%

6.2.8 其它(光的人射角、偏振和环境温度)

±10%

6.3 激光能量计的测量不确定度,以总的绝对误差和方和根偏差来表示,如果能量测量结果 Q 与其它量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的测量或控制有关,即 $Q = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$,那么:

6.3.1 总的绝对误差(它是各误差之和),按下式计算

$$\Delta Q = \left| \frac{\partial F}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial F}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial F}{\partial x_n} \Delta x_n \right|$$

6.3.2 方和根偏差(它是总的标准偏差),按各标准偏差的合成公式计算:

$$S_Q = \sqrt{\left[\frac{\partial F}{\partial x_1} \right]^2 S_1^2 + \left[\frac{\partial F}{\partial x_2} \right]^2 S_2^2 + \dots + \left[\frac{\partial F}{\partial x_n} \right]^2 S_n^2}$$

6.4 激光能量计,按其测量的不确定度,分为以下几个级别:

6.4.1 20级: 误差能满足第6.2款所列要求的能量计。

6.4.2 10级: 总的绝对误差不超过20%,方和根偏差不大于8%。

6.4.3 5级: 总的绝对误差不超过10%,方和根偏差不大于4%。

6.4.4 2级: 总的绝对误差不超过4%,方和根偏差不大于1.6%。

应配有自校准器。

在本规程中,上面的各个误差都以相对误差表示。

6.5 能量计或其接收器和指示器的技术文件,均应写明它们具有的各种特征参数及曲线。

三、检定条件

7 环境要求

7.1 温度 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $<85\%$.

7.2 被检仪器不得有阳光或其它强辐射源直接照射, 并应预先放置于检定环境内, 达到稳定平衡.

7.3 检定仪器前, 电源、光源和其它测量系统应按各自的规定要求进行预热.

7.4 实验室应当保持洁净, 有良好的光屏蔽措施, 避免环境杂光干扰.

7.5 在检定时, 实验室内不当发生可能引起非光电和非热电效应的冲击和振动等现象, 也不应当有干扰指示器正常工作的高频强电场.

8 检定系统中的能量计

各级能量计检定时所需使用的上一级能量计的级别及检定中允许引入的不确定度(包括电测误差、检定中的随机误差, 不包括上一级能量计的误差), 应符合下表的要求.

表2

被 检 能 量 计	方和标准	检定引入的方和标准	上一级能量计的最低级别
级 别	方和标准	方和标准	标 准
工作标准	1.0%	0.7%	标准
2 级	1.6%	1%	工作标准
5 级	4%	3%	2 级
低于 10 级	8%以上	6%	5 级

9 检定装置

根据检定任务、对象及实验室的具体条件, 可以选用下列几种:

9.1 会聚白炽光模似脉冲激光的能量计检定装置, 它包括: 配有

水冷屏罩的稳定白炽光源、快门、分束片、光电计时电路、数字频率计、相对孔径大的凹面镜(透镜)聚光系统、标准接收器和滤光片调节架等(参看附图2-1). 该装置的测时相对误差, 在秒级时应不大于0.5%, 在0.1秒级时应不大于2%.

9.2 直接以脉冲激光为辐射源的检定装置, 它主要包括稳定的脉冲激光器、约1°楔形并以约5°反射的分束监视器、氦氖准直器和内调焦望远镜等(参看附图2-2).

9.3 变连续激光为脉冲激光的检定装置, 它包括稳定的连续激光器、快门-计时器和楔形分束监视器(参看附图2-3).

10 配套电测设备和其它

10.1 直流数字电压表: 多量程 $0.03\% \pm 2$ 字, 可显示和保存被测电压的峰值, 2台; 直流放大器: 分辨率 $0.1\mu\text{V}$, $1 \sim 2$ 台, 用于能量计的输出显示、监视和电能校准.

10.2 标准电阻: 1和 10Ω , 0.01 级, 用于电校准.

10.3 标准功率计: 它们的级别应与表2的要求相似, 用于9.1和9.3款描述的检定装置.

10.4 直流稳压电源: 输出电压 $0 \sim 50\text{V}$, 输出电流大于 2A , 用于电校准.

10.5 交流稳压器: 容量大于 1kVA , 电压 220V , 用于稳定供给电子仪器的市电电压. 稳定电源: 220 或 110V , 用于灯泡或其它辐射源供电.

以上两种电源及其有关电测仪表的级别要求参考表3.

表3

被检能量计级别	辐射源或其监视比的不稳定度	电源的不稳定度	电测仪表级别
工作标准	$<0.3\%$	10分钟内 $<0.1\%$	不低于0.1级
2 级	$<0.6\%$	10分钟内 $<0.2\%$	不低于0.2级
低于 5 级	$<1.5\%$	10分钟内 $<0.5\%$	不低于0.5级

四、检定方法

11 外观检查

11.1 能量计外貌、接收面或其吸收层、机械件和接插件、滤光片和减光板等,按第4.1、4.2、4.4、4.5款的要求,通过目视方法进行检查。

11.2 接通能量计的指示器的电源,必要时使指示器输入端短路,按第5.1和5.2款的要求检查其工作是否正常。

11.3 把能量计的接收器和指示器连接起来,接通电源,然后旋转零位调节器,并给接收器以适当辐射,观测指示器示值变化,按第4.3和5.3款检查。

11.4 用万用表测量电校准的回路的情况,必要时,通过通电实验进一步检查是否符合第4.3款要求。

12 检定灵敏度

12.1 在会聚白炽光模拟脉冲光的装置上(见第9.1款和附图2-1),检定的基本步骤是:

12.1.1 根据所需检定的能量级和光斑尺寸,选择水冷光阑尺寸,调节灯丝和光阑的距离或插入适当的滤光片,调到确定的灯电流。

12.1.2 用标准能量计或功率计测出模拟光束的辐射功率:

$$\Phi = \frac{u_{Q_0}}{S_{Q_0} t} \quad (2)$$

$$\Phi = \frac{u_{\Phi_0}}{S_{\Phi_0}} \quad (3)$$

式中: u_{Q_0} 和 u_{Φ_0} ——标准能量计和功率计的响应值,响应应是探测器接收能量后输出的信号的净值,或某一与输入能量成正比的计算值(如对数外推值或积分修正值等);

S_{Q_0} 和 S_{Φ_0} ——标准能量计和功率计的灵敏度;

t ——标准能量计所接收的脉冲光束的持续时间。

测量数次,得到光束的平均辐射功率。

置于接收面上的光斑大小。

12.1.4 借助精密快门产生光脉冲,同时读取能量计的净响应或示值 u ,计时系统测得的脉冲持续时间 t ,计算该脉冲光束的能量

$$Q = \bar{\Phi} t \quad (4)$$

被检能量计的灵敏度

$$S = \frac{u}{Q} \quad (5)$$

12.1.5 重复测量数次,取其平均值。

12.2 在脉冲激光器为辐射源的装置上(参见第9.2款和附图2-2),检定的基本步骤是:

12.2.1 借助氦氛激光,将标准能量计对准脉冲激光。

12.2.2 在脉冲激光器的一定放电电压下,用标准能量计接受脉冲激光,若它和监视能量计的响应分别为 u_0 和 u' ,则计算得该脉冲激光的能量

$$Q_0 = \frac{u_0}{S_{Q_0}} \quad (6)$$

相应的监视比

$$R = \frac{Q_0}{u'_0} \quad (7)$$

测量数次,取平均监视比 $\bar{R}$ 。

12.2.3 将被检能量计通过氦氛激光,调准到脉冲激光的光轴上。

12.2.4 在与12.2.2项相同的放电电压下触发激光,同时读取被检能量计和监视能量计的净响应 u 和 u' ,则被检能量计的灵敏度

$$S = \frac{u}{u' \bar{R}} \quad (8)$$

12.2.5 测量数次,取平均值。

12.3 对于变连续激光为脉冲激光的装置,若是按附图2-3a的方式进行能量监视,测量和计算与第12.2款大体相同:

首先用标准能量计和监视能量计测得能量监视比

$$R = \frac{Q_0}{u'_0} \quad (9)$$

同时,由记录得到的光脉冲持续时间 t_0 ,可算得连续激光的功率

$$\Phi_0 = \frac{Q_0}{t_0} \quad (10)$$

再将被检能量计取代标准能量计,调准它的位置,借助快门制造激光脉冲,同时读取被检能量计净响应 u 、监视能量计净响应 u' 和脉冲的持续时间 t_0 。

那么,被检能量计的灵敏度

$$S = \frac{u}{u'/R} \quad (11)$$

或

$$S = \frac{u}{\Phi t} \quad (12)$$

重复测量数次,取其平均值。

12.4 对于按附图2-3b方式进行功率监视的装置,测量的步骤如下
首先调准标准功率计的位置,打开快门,待其平衡后,同时读取标准功率计的净响应 $u\Phi_0$ 和监视功率计的净响应 $u'\Phi_0$ 。由此计算激光光束的功率

$$\Phi_0 = \frac{u\Phi_0}{S\Phi_0} \quad (13)$$

相应的功率监视比

$$R\Phi = \frac{\Phi_0}{u\Phi_0} \quad (14)$$

测量数次,取平均值。

用被检能量计取代标准功率计,并调准其位置。借助精密快门产生激光脉冲,同时记录被检能量计净响应 u ,监视功率计的净响应 $u'\Phi$ 和脉冲的持续时间 t_0 ,由下式计算被检能量计的灵敏度

$$S = \frac{u}{R\Phi u'\Phi t} \quad (15)$$

测量数次,取其平均值。

13 测定电校准灵敏度

13.1 直流电能校准,可参考附图2-4的原理线路,连接激光能量计的电加热器、电源和电测仪器。用转换开关接通能量计的电加热回路,同时记录加热电流 I 、电压 V 和时间 t ,以及能量计的净响应 u_e ,输入能量计内的直流电能

$$Q_e = IVt = \frac{V_R V t}{R} \quad (16)$$

$$I = \frac{V_R}{R} \quad (17)$$

式中: R ——串联于加热回路的标准电阻,

V_R ——在标准电阻 R 上测得的电压降。

能量计的电校准灵敏度

$$S_e = \frac{u_e}{Q_e} \quad (18)$$

测量数次,取其平均值。

13.2 电容放电法校准,参考附图2-5的原理线路,电容先由直流电源充电,随后对能量计内的加热电阻丝放电。如果电容的容量为 C ,充电到电压 V ,并且它所储藏的电能全部释放到能量计的电加热丝上,则在理想条件下电校准灵敏度易于由能量计的净响应和电容储能计算出来

$$Q_e = \frac{1}{2} CV^2 \quad (19)$$

$$S_e = \frac{2u_e}{CV^2} \quad (20)$$

14 灵敏度校准时的注意点

14.1 使用的光脉冲和电脉冲校准的持续时间,一般应比能量计的时间常数短10倍,特别是在净响应取为能量计的最大读数和原点之差的时候。

14.2 光校准或标定时投射在能量计接收面上的光斑大小或覆盖

面积,应当尽量与能量计欲测的光束大小一致,以减小因能量计面积度不均匀而带来的误差。

14.3 能量计的响应若随辐射波长的变化而变化,则应选择送检者所要测量的特定激光波长或波段进行检定,或用其它方式予以修正。

14.4 应注意能量计可能承受的最大能量和功率密度,严格防止它的接收面过载,避免发生非响应效应的其它任何物理化学变化。衰减器也应避免漂白效应和其它非线性效应。

14.5 所有平均值都应当由三次以上的测量数据求得,各测量数据本身的一致性应符合相应的精度要求。

15 修正系数和示值误差

15.1 自校准能量计的修正系数,可用下列方法之一得出:

15.1.1 按第12和13条的步骤,用上一级标准检定得到能量计灵敏度 $S_{\text{检}}$,电校准得到灵敏度 $S_{\text{电}}$,修正系数

$$c = \frac{S_{\text{电}}}{S_{\text{检}}} \quad (21)$$

15.1.2 或按第12.1.2项的步骤和公式,先用标准接收器测出恒定光束的辐射功率 $\Phi_{\text{标}}$,后用被检能量计测量,并由电校准灵敏度算出光束辐射功率 $\Phi_{\text{电}}$,修正系数

$$c = \frac{\Phi_{\text{电}}}{\Phi_{\text{标}}} \quad (22)$$

同样,按12.3或12.4款的类似步骤,并考虑监视比,也可得到修正系数。

15.1.3 按第12.2.2项的步骤和公式先用标准能量计求出平均监视比,后用被检能量计测量。若它和监视能量计的净响应分别为 u 和 u' ,修正系数

$$c = \frac{Q_{\text{检}}}{Q_{\text{标}}} = \bar{R} S_{\text{电}} \frac{u'}{u} \quad (23)$$

测量数次,取其平均值。

15.2 直读式能量计的修正系数

当其示值偏差超过仪器级别规定的误差而又不便调准时,或当送检者需要更高精度而仪器稳定性良好时,可由被检能量计的示值能量和检定时的实际能量,按下式求得修正系数

$$c = \frac{Q_{\text{标}}}{Q_{\text{检}}} \quad (24)$$

15.3 直读式能量计的测量误差用引用误差给出,它是被检能量计的示值误差与满刻度值之比

$$r = \frac{Q_{\text{检}} - Q_{\text{标}}}{Q_{\text{满刻度}}} \quad (25)$$

16 响应的不均匀性

16.1 面响应的不均匀性,以光斑直径为接收面直径五分之一但至少1mm直径的脉冲光束,在接收面的三分之二的中心面积内,照射其中心和上下左右,脉冲照射时间相同,观测能量计对于单位能量的响应(以下称相对响应) s_0 按下式估计面响应的不均匀性

$$\Delta_s = \frac{s_n - s_0}{s_0} \quad (26)$$

式中: s_0 ——接收面中心的相对响应;

s_n ——接收面上下左右部位的相对响应。

16.2 响应的非线性(量程中的响应的不均匀性)。把检定的能量调节到所需要的量级,使其接近能量计被检挡或被检量程的满刻度的十分之九和三分之一的能量量值。然后按12.1~12.4款的有关步骤用脉宽相同的辐射照射,观测能量计在该量程的相对响应,按下式估算响应的非线性

$$\Delta_L = 2 \frac{s_{9/10} - s_{1/8}}{s_{9/10} + s_{1/8}} \quad (27)$$

16.3 光谱响应的不均匀性。在宽波段使用的仪器的规定波长范围,采用单色的脉冲激光光束,按第12.1~12.4款的步骤,所用脉冲照射时间相同,确定能量计在各特定波长的灵敏度,按下式估算光谱响应的不均匀性

$$\Delta_1 = 2 \frac{s_1 - s_1'}{s_1 + s_1'} \quad (28)$$

17 时间常数

17.1 根据测量的需要和方便, 可选择下列任何一种方法测量热电型能量计的时间常数。

17.1.1 半峰法: 把光能或电能输入能量计内, 注意观察能量计响应的变化, 并在响应升到最大值时, 启动秒表计时, 待响应下降到最大值的一半时, 按停秒表。若秒表记下的时间为 $t_{1/2}$, 时间常数可按下式估算

$$\tau = 1.44 t_{1/2} \quad (29)$$

17.1.2 三分之一读数法: 和17.1.1项相同。当能量计响应升到最大值时, 按动秒表计时, 待响应下降到最大值的三分之一时, 停住秒表。若秒表记下的时间为 $t_{1/3}$, 时间常数

$$\tau = 0.91 t_{1/3} \quad (30)$$

17.1.3 一般步骤: 在能量计冷却复原期间, 记下时刻 t_1 的净响应 u_1 , 再记下时刻 t_2 的净响应 u_2 , 时间常数即按下式得出

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{u_1}{u_2}} \quad (31)$$

五、检定结果的处理

17.2 检定中的测量数据和计算结果, 参照附录的表1~3的格式记录下来。

17.3 灵敏度、修正系数和不均匀性等的数据计算和处理, 已在检定方法中逐项加以说明, 它们的结果应以适当的有效位数给出。

17.4 校准系数是灵敏度的倒数, 也可在检定证书中给出, 它们的单位是J/mV, J/分度 (格或字), mJ/ μ V, mJ/分度 (格或字)等。

17.5 灵敏度或示值测定的重复性和稳定性的估算, 可按标准误差公式

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \quad (32)$$

或按算术平均误差公式

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (33)$$

式中,

$$d_i = S - S_i$$

n ——测定次数;

S_i ——第 i 次测定得到的灵敏度;

$\bar{S}$ —— n 次测定得到的平均灵敏度。

这一结果应在检定结果中表示出来, 例如, 把能量计的灵敏度写为

$$(333 \pm 5) \mu\text{V/J}$$

表示能量计在该次检定中的数据离散性, 即标准误差是 $\pm 5 \mu\text{V/J}$ 。

17.6 激光能量工作标准和2级能量计的检定结果, 以检定证书的形式给出; 而其它各级能量计, 则以测试结果通知书的形式给出。

17.7 外观检查不合格者, 应予送修或降级使用。

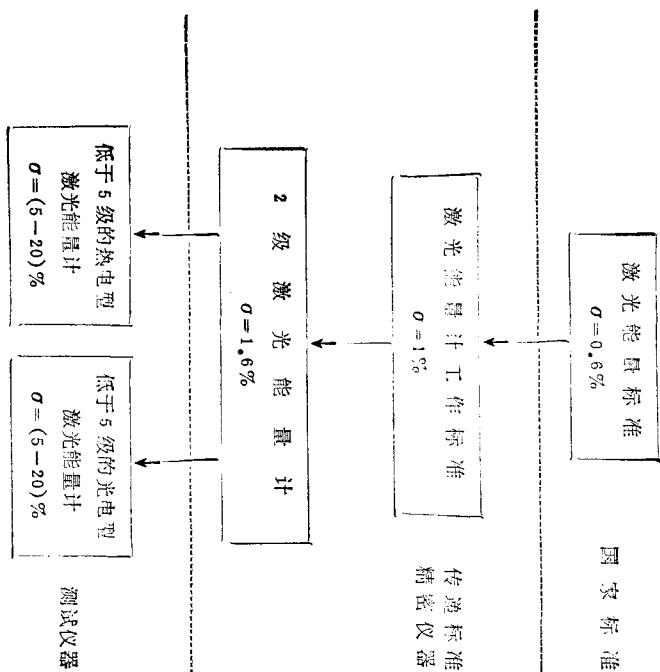
17.8 能量计的检定周期为一年, 每次送检应带上前一次的检定证书或测试结果通知书。

能量计修理后, 必须重新检定。

17.9 检定证书和测试结果通知书的格式参考附录4。

附录

附录 1 激光能量量值传递系统



附录 2

装置和线路图

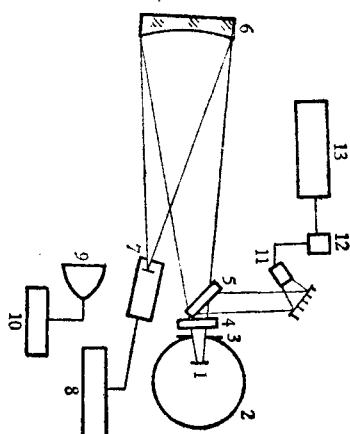


图2-1 会聚模拟激光的能量标定装置示意图

- 1—灯;
- 2—水冷屏罩;
- 3—光圈;
- 4—快门;
- 5—分束片;
- 6—聚光镜;
- 7—标准接收器;
- 8—电测仪器;
- 9—被标能量计;
- 10—指示器;
- 11—光电管;
- 12—光电前置放大器;
- 13—数字频率计

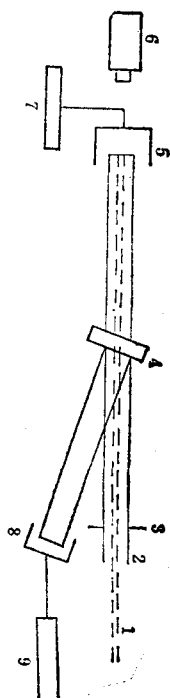


图2-2 以脉冲激光器为辐射源的检定装置示意图

- 1—氦氖激光;
- 2—脉冲激光;
- 3—光圈;
- 4—楔形分束器;
- 5—标准或被标能量计;
- 6—内调焦望远镜;
- 7—电测仪器;
- 8—监视能量计;
- 9—电测仪器;

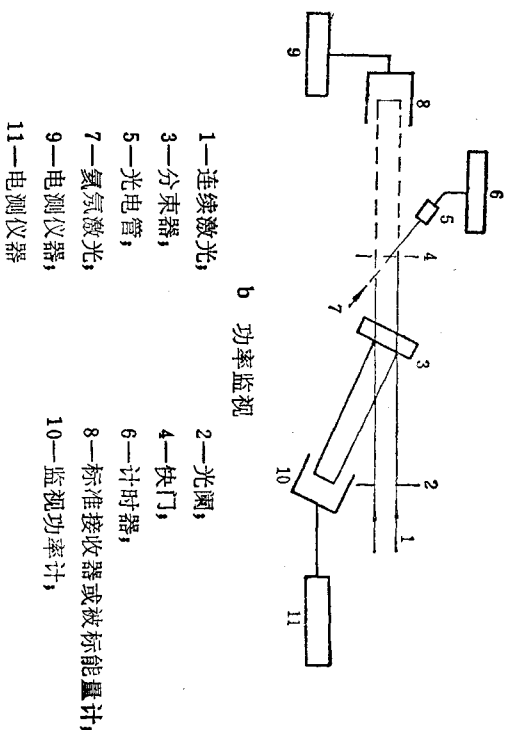
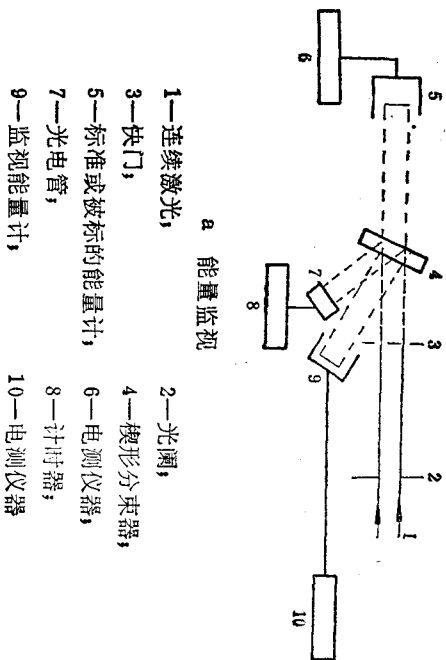


图2-3 变连续激光为脉冲激光的检定装置示意图

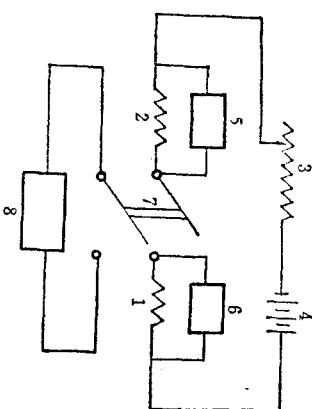


图2-4 能量计电校准的原理线路图

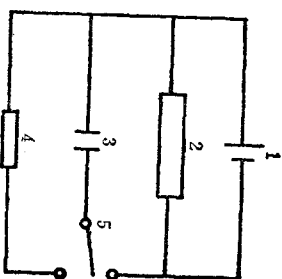


图2-5 电容放电校准的原理线路

实验目的: _____

实验条件: _____ 加热电源 _____ 标准电阻 _____

测试仪器 _____

能量计型号 _____

	序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
加 热 时 间	s									
加 热 电 流	A									
加 热 电 压	V									
加 热 电 能	J									
最大热电势	μV									
灵 敏 度	$\mu V/J$									
对 数 温 升	μV									
灵 敏 度	$\mu V/J$									
修 正 温 升	μV									
灵 敏 度	$\mu V/J$									

实验者:

有关参数
有关参数

计算者:

平均灵敏度
平均灵敏度
室温:

日期:

附表 4

检定证书格式

(封面)

检定证书

字 第 _____ 号



计量器具名称 _____
型 号 规 格 _____
制 造 厂 _____
出 厂 编 号 _____
送 检 单 位 _____
根据检定结果, 准予该计量器具作 _____ 使用

使用

(检定单位公章)

检 定 人 _____
核 验 人 _____
主 管 _____

检 定 日 期 _____ 年 _____ 月 _____ 日 检 定 周 期 _____ 年

(背面)

检定结果

时间常数:

检定能量级:

电校准灵敏度:

修正系数:

附表 5

检定结果通知书格式

(正面)

检定结果通知书

字第 号

中华人民共和国计量法

计量器具名称

型号规格

制造厂

出厂编号

送检单位

检定

核验

主管

(检定单位公章)

检定日期 年 月 日

(背 面)

测试结果

接收器：

指示器：

时间常数:

檢定輻射源：

挡位 灵敏度

[illegible]