

一种激光能量计标定装置

光学室激光组

(中国计量科学研究院)

一、前言

随着激光技术应用日益广泛,激光参量的准确测量和标定工作越来越显得重要。为了对各种激光能量计进行分度、校准和对比,就需要建立脉冲能量标定装置。这种标定装置大体有两类,一类是以标准激光能量计为基础^[1,2],另一类则以标准功率计为基础^[3,4]。本文叙述后一类型的激光能量计标定装置。它采用性能稳定的大功率白炽灯作为辐射源,把连续辐射变为较强的脉冲辐射,从辐射功率标准过渡到辐射能量标准。整个标定装置的光束辐射功率在10毫瓦至0.6瓦以上,可产生不同能量和脉宽的光束进行标定。

二、原理

我们知道,光辐射的能量是功率的累积结果。假定光束的辐射功率为 ϕ ,持续作用时间为 t ,那么,这一辐射能量

$$Q = \int_0^t \phi dt. \quad (1)$$

如果辐射功率恒定不变,便有下列简单关系式把连续辐射功率和脉冲辐射能量联系起来,

$$Q = \phi t. \quad (2)$$

因此,只要预先测出光束的辐射功率,并测定每个辐射脉冲的持续时间(曝光时间)就能算出该辐射脉冲的能量了。

然而,脉冲激光通常是一种脉宽较窄而能量较大的光束,因此,为了模拟这种脉冲激光,

首先要把寻常光源的发散光变为会聚光束,其次应设法提高光束的辐射功率。因为,从式(2)易见,为使脉冲能量 Q 大而脉宽 t 小,辐射功率 ϕ 必须大才行。下面的分析表明,利用适当的凹面镜或凸透镜光学系统,可以达到会聚光束和提高功率的目的。

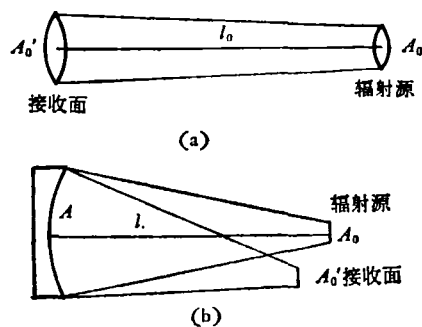


图1 辐射功率的接收情况

(a) 从辐射源直接接收 (b) 通过凹面镜接收

我们讨论从辐射源获取辐射功率的两种情况:一种直接从辐射源接收辐射功率,如图1(a)所示;一种通过凹面镜接收辐射源发出的辐射功率,如图1(b)所示。设辐射源的亮度为 L ,面积为 A_0 ,接收面的面积为 A_0' ,凹面镜的面积和反射系数分别为 A 和 e ;在图1(a)中,接收面和辐射面之间距离为 l_0 ;在图1(b)中,凹面镜和辐射面之间距离为 l 。接收面在这两种情况下接收到的辐射功率分别为

$$\phi_0 = L \frac{A_0 A_0'}{l_0^2}; \quad (3)$$

$$\phi = L e \frac{A A_0}{l^2}, \quad (4)$$

把上面两个式子相除,得到

$$\frac{\phi}{\phi_0} = e \frac{A l_0^2}{A_0 l^2}. \quad (5)$$

设接收面半径为 r , 凹面镜的半径为 R , 则 $A'_0 = \pi r^2$, $A = \pi R^2$; 一般 $e \approx 0.9$, 若 $l_0 = l$, 则有

$$\frac{\phi}{\phi_0} \approx \frac{0.9R^2}{r^2} \quad (6)$$

由上式可见, 经过凹面镜会聚的辐射光束功率可以比直接接收的辐射功率大得多。因为一般凹面镜的半径可以比接收面或激光光束半径大 10 多倍, 所以辐射功率可以由此提高 100 倍。对于凸透镜来说, 上述公式和讨论也基本适用。

式(4)指出, 辐射束的功率是与辐射面的亮度、面积和凹面镜的反射系数、面积成正比, 而与凹面镜和辐射面之间距离的平方成反比。我们据此可以设计所需的聚光系统。实际设计和调试所受到的限制是杂散辐射影响、接收器的孔径和可承受的最大功率、凹面镜的光学象质和调准接收器内光斑的观察距离等。

三、装置结构

按上述原理研制的装置主要由光源、聚光、计时和接收等部分组成, 如图 2 所示。下面具体说明装置各部分的结构和功能。

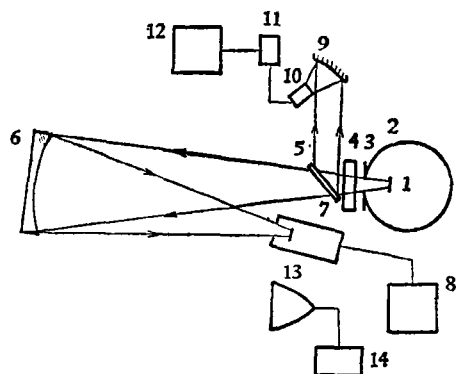


图 2 能量标定装置示意图

- 1—溴钨灯; 2—水冷屏罩; 3—光栏; 4—照相快门; 5—分束片; 6—大凹面镜; 7—标准功率计; 8—校准系统; 9—聚光镜; 10—光电二极管; 11—光电变换器; 12—数字频率计; 13—被标能量计; 14—指示器

光源部分

具有方形排丝的 500 瓦或 1000 瓦溴钨灯

物理

1, 由 110 伏稳压的直流或交流电源供电。为延长灯泡寿命和使其辐射稳定, 溴钨灯在比额定功率略低的功率下工作。用水冷屏罩 2 遮挡和吸收溴钨灯的杂散辐射, 而只利用通过光栏 3 的辐射光束。光栏孔径可根据所需的辐射功率大小、被标接收面尺寸以及聚光镜的孔径加以选择。光栏的一般孔径在 2 至 10 毫米。放置于溴钨灯前的这一水冷光栏, 有利于遮去灯泡的大尺寸灼热玻壳所发出的长波辐射。

聚光系统

采用孔径 150—200 毫米、焦距约 300 毫米的凹面反射聚光镜, 放在水冷光栏前约 500 毫米处, 把溴钨灯在此立体角内发出的辐射功率, 收集而形成较强的会聚光束。通常, 光束的最大辐射功率可超过 0.6 瓦, 在光栏象上产生的辐照度超过 1 瓦/厘米², 而同样灯泡在同样距离的辐照度仅为 10⁻² 瓦/厘米²量级。所以, 聚光较之不聚光, 辐射照度提高近两个数量级。显然, 在凹面镜光学加工质量良好的条件下, 会聚光束的任一截面通过的辐射功率都是相同的。

计时系统

脉冲辐射是通过照相快门 4 来产生的。但是, 照相快门的“曝光”时间的重复性不好, 所以, 不得不每次同时测量脉冲辐射的持续时间。为此在照相快门后方放置分束片 5。当快门打开时, 该片从主光束中取出一束光, 聚光后照射光电管 10, 使其达到足够幅度来推动计时系统工作。分束片是厚约 3 毫米的玻璃片或石英片。在特殊情况下, 使用镀膜的半反射片和全反射片。分束片还有滤掉温度较高的玻壳、光栏和屏罩所发出的易引起误差的中远红外辐射的作用。

接收系统

原则上, 任何中小标准功率计都可用来测定光栏象或整个光束的辐射功率。通常使用的一种标准功率计, 其接收面直径为 10 毫米, 灵敏度在 350 毫伏/瓦, 最大可承受的辐射功率低

于 1 瓦。它的电功率校准是以 25 伏以下的直流稳压电源或电池组对其电加热来实现的。从图 3 可以看出,标准功率计的热电势输出以及

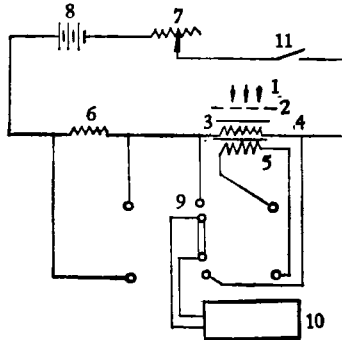


图 3 标准功率计的电校准回路

1—光辐射; 2—快门; 3—标准功率计; 4—加热电阻; 5—热电堆; 6—标准电阻; 7—可调电阻; 8—直流电源; 9—多档转换开关; 10—数字电压表; 11—开关

加热电压和加热电流,可通过转换开关用一台数字电压表准确方便地测定出来。因而能够经常对会聚光束的连续功率进行绝对测定。如果测得标准功率计电加热时的电压为 V , 加热回路的标准电阻为 R , 其上电压为 V_R , 辐射脉冲时间为 t , 而标准功率计的修正系数为 C (这是根据同国家激光功率基准相比较的数据得出的), 那么, 脉冲辐射能量由下式算出

$$Q = \frac{VV_R}{R} C t. \quad (7)$$

若在此脉冲能量下, 被标能量计的相应读数为 D , 则该能量计的灵敏度

$$S = \frac{D}{Q}. \quad (8)$$

由上述各部分组成的装置, 借助调节灯电流大小、灯丝和光栏的距离, 插入适当的减光器, 选择光栏尺寸和接收器在光束中的位置, 可以得到各种不同脉冲宽度、不同光束口径的各种量级的脉冲能量, 以标定各类无光谱选择性的能量计。

整个标定装置的一般特性和工作范围如下:

辐射功率	10 毫瓦—0.6 瓦
脉冲宽度	10^{-2} 秒—1 秒以上

脉冲能量	10^{-3} —1 焦耳以上
光束截面直径	2—40 毫米

四、误差分析

由式 (7) 易于得到本装置标定激光能量计的极限误差公式

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta V_R}{V_R} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta R}{R}. \quad (9)$$

式中各项误差估算如下: i) 标准功率计的修正系数误差, $\Delta C/C$ 估计为 $\pm 0.5\%$; ii) 光脉冲时间的测量误差, 根据三种计时系统的比对 (以光电二极管和三极管作接收器的两种计量系统和 410 电子毫秒计同时测量光脉冲宽度), 估计 $\Delta t/t$ 约为 $\pm 1\%$; iii) 显然, 电压和电阻的测量误差 $\Delta V/V$ 和 $\Delta R/R$ 都小于 0.1% ; 此外, iv) 光源不稳定带来的误差, 由于所用直流电源稳定在 0.05% , 相应产生的误差约为 0.2% ; v) 光束各截面的辐射通量的一致性 $\pm 1\%$. 综上所述, 可以确定该装置的准确度为 $\pm 3\%$.

利用本装置对各种标准能量计和功率计进行了比对和标定。实验表明, 相互量值的符合性在 $\pm 2\%$ 以内, 而本装置标定的重复性为 1% . 显然, 用该装置标定激光功率计, 由于没有时间测量带来的误差, 准确度和重复性还会更好。另外, 在该装置上也可用标准能量计作为标准接收器, 以抵消时间测量误差。需要说明的是, 这里分析的是标定装置本身的误差, 它不包括被标能量计的误差, 后者主要取决于该能量计的探测器的结构及其指示器的精度。

五、问题讨论

1. 关于光脉冲宽度的影响: 上述激标装置所使用的光脉冲持续时间即脉冲宽度在 10^{-2} —1 秒, 然而, 实际激光脉冲宽度则比较窄, 通常激光脉宽为 10^{-3} 秒, 脉冲 CO_2 激光脉宽为 10^{-6} 秒, 调 Q 激光脉宽在 10^{-7} — 10^{-8} 秒量级。那么, 本装置标定的结果, 是否适用于测定脉冲宽度窄的激光呢?

讨论能量计按最大读数法处理数据的情况。在一次近似的条件下,可以证明,能量计的最大读数由下式决定^[5]

$$\Delta T_{\text{最大}} = K \frac{1 - e^{-x}}{x}, \quad (10)$$

式中, $x = t/\tau$, t ——光脉冲宽度, τ ——能量计的时间常数, K 对于确定的能量计是常数。当 $x \rightarrow 0$ 时, $\frac{1 - e^{-x}}{x} \rightarrow 1, \Delta T_{\text{最大}, x \rightarrow 0} \rightarrow K$ 。因此,

$$Y = \frac{\Delta T_{\text{最大}}}{\Delta T_{\text{最大}, x \rightarrow 0}} = \frac{1 - e^{-x}}{x}. \quad (11)$$

这就是能量计的最大输出与脉冲宽度之间的关系。图4表示这种关系。脉宽的影响决定于 $x = t/\tau$ 项,即脉冲宽度与时间常数之比。由图可见,该比值小于0.01时,曲线即趋于平直。计算指出,当光脉冲的宽度为能量计的时间常数的1%时,对于能量计用于更短脉冲测量的影响,大约为0.4%;如果宽度仅为时间常数的10%,则有可能引入5%误差。

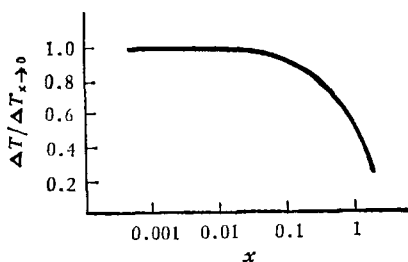


图4 脉宽和输出的关系

2. 关于光脉冲宽度的测量:在上述和类似的标定装置上,通常都用机械快门产生脉冲光辐射。然而,即使是优质的照相快门,它每次曝光时间也不严格相同,所以,每次都得同时测量

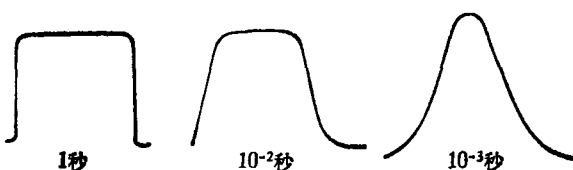


图5 通过快门的光脉冲波形

这一脉冲持续时间,而且,照相快门的开关动作不是无限快的。一般开关动作时间在毫秒量级,因而使光脉冲波形受到影响。用记忆示波器观测记录了通过照相快门的光脉冲的波形,如图5所示。由图可见,1秒光脉冲为矩形波, 10^{-2} 秒光脉冲为梯形波, 10^{-3} 秒光脉冲则变为钟形波了。因此,应当测量快门通过光脉冲波的中部宽度,它是光脉冲通量的平均持续时间;否则测量值将偏大或偏小。为达到这一目的,在本装置中,将对应光脉冲的电脉冲幅度进行控制,使有关电路的输入电平对应于电脉冲幅度的中值,当电脉冲前后沿幅度升到或降到整形电路的输入电平时,该电路状态反转,从而使其输出一个宽度相当于光脉冲平均持续时间的矩形波。当然,即使如此, 10^{-3} 秒的脉冲宽度也测不准,因为此时波形更不规则了。

参 考 文 献

- [1] E. D. West, W. E. Case, A. L. Rasmussen and L. B. Schmidt, *J. Res. Nat. Bur. Stand., (U. S.),* **76A** (Phys. and Chem.) (1972), No. 1, 13.
- [2] S. R. Gunn, *Rev. Sci. Instrum.,* **45**(1974), 936.
- [3] В. В. Бабушкин, Н. И. Протасов, *Измерительная Техника,* (1970), №. 8, 32.
- [4] J. S. Preston, *J. Phys. E: Sci. Instrum.,* **4-12** (1971), 969.
- [5] 三桥庆喜, 櫻井健二郎, 电气试验所汇报, **32-1**(1968), 82.

(上接第 353 页)

参 考 文 献

- [1] S. Sakata, *Prog. Theor. Phys.*, **16**(1956), 6.
[2] M. Gell-Mann, *Phys. Lett.*, **8**(1964), 214.
[3] 北京大学学报, **12-2**(1966), 103.
[4] 北京大学理论物理教研室基本粒子理论组, 高等学校自然科学学报(物理学版), **1-1**(1966), 57.
[5] N. P. Samios, M. Goldows, *Rev. Mod. Phys.*, **46**(1974), 49.
[6] F. Gunsey, L. A. Radicati, *Phys. Rev. Lett.*, **13**(1964), 173; B. Sakita, *Phys. Rev.*, **135B**(1964), 1756.
[7] J. Iizuka, *Prog. Theor. Phys.*, **35**(1966), 117, 309; N. P. Samios et al., *Rev. Mod. Phys.*, **46**(1974), 49; J. L. Rosner, *Phys. Reports*, **11**(1974), 189.
[8] R. P. Feynmann et al., *Phys. Rev.*, **D3**(1971), 2706; S. Ishida et al., *Prog. Theor. Phys.*, **50**(1973), 2000; **46**(1971), 1570; 1905; H. J. Lipkin, et al., *Phys. Rev.*, **143**(1966), 1269.
[9] 胡宁, 物理学报, **25**(1976), 494.
[10] Rujita et al., *Phys. Rev.*, **D3**(1972).
[11] R. G. Lipes, *Phys. Rev.*, **D5**(1972), 2849; K. Fujimula et al., *Prog. Theor. Phys.*, **43**(1970), 73; **44**(1970), 193; M. Blagojevic et al., *Prog. Theor. Phys.*, **51**(1974), 1152.
[12] 李炳安, 物理学报, **24**(1975), 124.
[13] 阮同泽, 李炳安, 物理学报, **26**(1977), 397.
[14] 朱重远, 物理学报, **24**(1975), 141.
[15] 胡宁, 高能物理与核物理, **2-5**(1978), 461.
[16] D. Gross, F. Wylzek, *Phys. Rev.*, **D8**(1973), 3477; H. Fritzsche et al., *Phys. Lett.*, **47B**(1973), 365.
[17] W. Greeberg, *Phys. Rev. Lett.*, **13**(1964), 598.
[18] O. W. Greeberg, et al., *Phys. Rev.*, **150**(1966), 1177; H. Shimodaira, *Phys. Rev.*, **D1**(1970), 2690; Y. Ohunki et al., *Prog. Theor. Phys.*, **50**(1973), 258.

知 识 和 进 展

固体表面态的一些实验研究

吴述尧 凌启芬 赵中仁

(中国科学院物理研究所)

固体表面的许多现象对我们是非常重要的,比如多相催化,金属腐蚀,许多固体电子器件和生物系统中的一些现象都与固体表面的电子特性有密切关系。表面电子特性包括静态特性和动态特性。前者指表面原子的化学成份、几何排列和最外层价电子的能级结构(表面态等物理性质);后者指在外来条件(如光子、电子、原子、分子等)影响下,表面物理性质的变化。当然,静态特性和动态特性总是没有明显的分界

线,这就给研究带来困难。但静态特性是表面固有的性质,相对来讲比较容易认识。许多近代的表面分析仪器都是基于静态特性制造的,又用它来观察动态特性。因此,只有深入地了解静态特性才能着手研究动态特性,以便解决实际问题的。

表面态(或表面能级)是固体的界面或自由表面上局域化的电子能态。表面原子的特殊结构决定了表面态的分布既不同于固体的能带,