

激光卡计的自动热平衡补偿

周复正 沈丽青 王瑞华 李瑞铭

(中国科学院上海光机所)

提要: 提出了激光卡计的自动热平衡补偿方法, 研制了相应电路。采用这种补偿技术, 使卡计“零漂”减小两个量级, 能量探测率提高 20 倍。

Automatic thermal balance and compensation of laser calorimeters

Zhou Fuzheng, Shen Liqing, Wang Ruihua, Li Ruiming

(Shanghai Institute of Optic and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The method of automatic thermal balance and compensation of laser calorimeters is presented and the corresponding circuit has been fabricated. Using this technique, “zero drift” is reduced by two orders of magnitude and detectivity of energy increased by 20 times.

一、高功率激光能量测量中的问题

近几年来, 为适应高功率激光的能量测量, 国内外都研制了平面对称型体吸收卡计^[1~5]。因为激光是在一定厚度的介质体内被吸收, 因此卡计的破坏阈值可达到激光器的破坏水平。

但是, 正由于采用了一定厚度的吸收体, 使卡计灵敏度较低, 热平衡恢复时间较长。更严重的是由于卡计的结构和工艺水平限制, 如吸收盘和参考盘的体积差异、热电元件的不一致性、粘接技术等因素的不对称性, 使卡计存在一定的“零点”热漂移。尤其是当测量环境的温度、气流变化较大, 或接放大器测小能量时, 零漂就更大, 往往很长时间都不能稳定下来, 以至测量无法进行。

为了克服这个问题, 美国阿波罗激光公司研制了一种具有手动复零的激光卡计^[6]。根据激光输入能量的大小, 机械启动附在卡计内的电加热器, 使参考盘加热, 从而使差分热电势输出趋向于零。其缺点是手动加热, 仅起瞬态热补偿作用, 不能克服卡计本身的零漂。因此, 这种方法只能加快平衡速度, 缩短实验周期, 而不能使卡计探测更小的能量。

我们从热力学角度, 设想了一种动态热平衡自补偿机构, 利用卡计本身的不平衡温差信号, 进行自动跟随补偿, 实现了卡计的稳态热平衡。

二、卡计的自动热平衡补偿

卡计自动热平衡补偿结构如图 1 所示。

收稿日期: 1984 年 4 月 16 日。

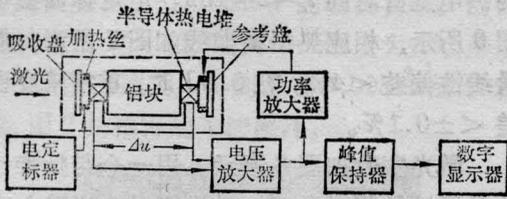


图1 自动热平衡补偿卡计结构

虚线内为平面对称型体吸收卡计。接收盘口径为 $\phi 80\text{ mm}$ ，吸收体为 AB_{10} 玻璃，加热丝电阻为 $220\ \Omega$ ，热电转换元件为半导体热电堆，冷端为大铝块，参考盘参数设计和吸收盘一致。两组半导体热电堆反向串联，差分热电信号输出到自动热平衡补偿电路。

补偿电路由二级低漂移直流放大器和一级功率放大器组成，总增益 $10^4 \sim 10^5$ 。补偿原理如图2所示。无激光输入时，由于卡计内部结构的不对称性和环境温度起伏、对流等，使吸收盘温度 (t_1) 大于参考盘温度 (t_0)，温差 ($\Delta t = t_1 - t_0$) 产生热电信号 Δu_1 ，经放大加到参考盘加热丝上，对参考盘加热。调节加热系数，可使参考盘很快升温到吸收盘温度 t_1 ，使差分热电信号降到零。于是，任意时刻、任何微小的热扰动，都自动通过电路反馈加热，构成自适应稳态热力学平衡闭环系

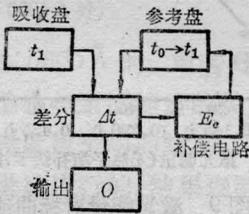


图2 自补偿原理

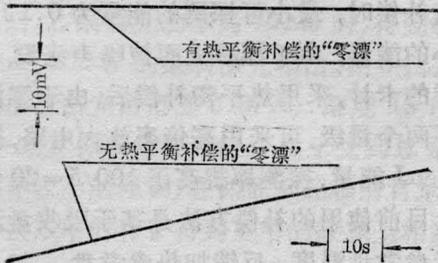


图3 卡计的“零漂”曲线

统。图3示出不加自热平衡补偿时， $\phi 80\text{ mm}$ 大卡计的热零漂为 1.7 mV/s ，在同样条件下，加热平衡补偿时的零漂为 $7\ \mu\text{V/s}$ ，漂移量减小了 $1.7 \times 10^3 / 7 = 243$ 倍。

当激光辐照卡计或电模拟输入能量时，吸收盘温度从 t_1 升到 t_2 ，它和参考盘温度 t_1 差分，产生差分热电势 Δu_2 输出到峰保、显示电路，同时也经放大反馈加热参考盘，使卡计很快达到热平衡。图4示出无热平衡补偿时， $\phi 80\text{ mm}$ 大卡计的自然冷却曲线，达到热平衡的时间为 $20 \sim 30$ 分钟。有热平衡补偿时，缩短为 1 分钟。由曲线可知，有平衡补偿时，幅度接近无平衡补偿时的幅度，峰值仅差 6% ，且略有提前。这是由于参考盘的热温升速率比电信号要缓慢得多，只有当输出热电势接近峰值时，反馈加热作用才逐渐显露出来。显然，反馈加热量愈大，峰值时间愈提前，和无

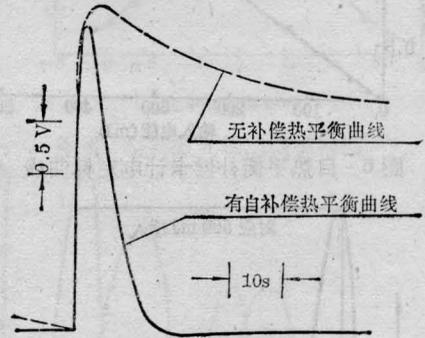


图4 典型热平衡自补偿曲线

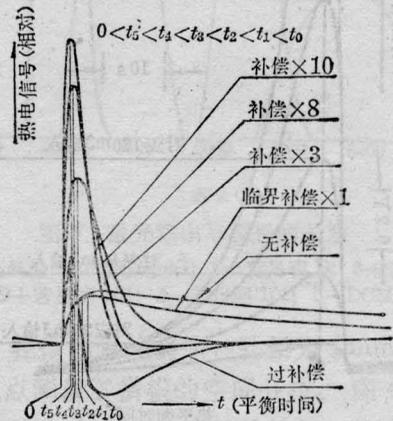


图5 不同补偿的热平衡曲线

补偿时的幅度差愈大。当反馈太大时,很小的热电信号前沿就产生过度加热,以至使参考盘温度高于吸收盘温度,出现负热电信号输出。改变放大器倍率,不同补偿情况下的合成输出热电信号如图5所示。我们选择幅度损失小、平衡时间短、不出现过补偿负峰为最佳热平衡补偿(如图5中补偿 $\times 5 \sim \times 8$)。

三、电定标和激光实验

用水银开关导通电容脉冲放电模拟激光输入,输入能量 $5 \sim 500 \text{ mJ}$,脉冲前沿 $t_r < 1 \text{ ns}$,放电时间常数 $\tau \approx 20 \text{ ms}$,远小于卡计

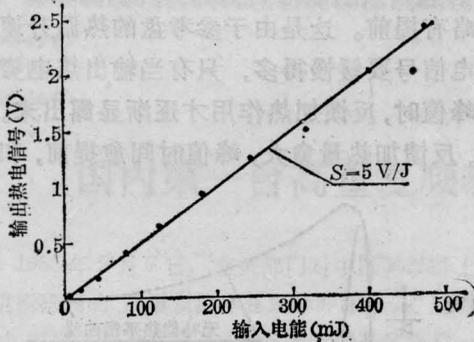


图6 自热平衡补偿卡计电定标曲线

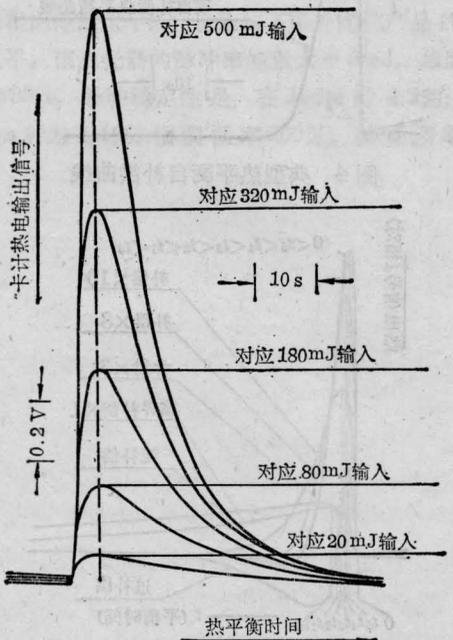


图7 补偿卡计热平衡曲线

的热电上升时间 $t_r = 2 \sim 10 \text{ s}$ 。电定标曲线如图6所示,相应热平衡曲线如图7所示。能量线性偏差 $< 4\%$,在 0.5 J 时,重复精度误差 $< \pm 0.1\%$ 。

激光实验如图8所示。用一个与标准卡计对标过的能量计监视激光能量。当输入有热平衡补偿卡计的激光能量在 $20 \sim 800 \text{ mJ}$ 范围时,得到曲线如图9所示。线性误差小于 3% ,重复精度小于 $\pm 0.9\%$ 。

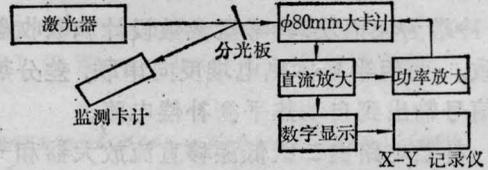


图8 激光能量标定实验框图

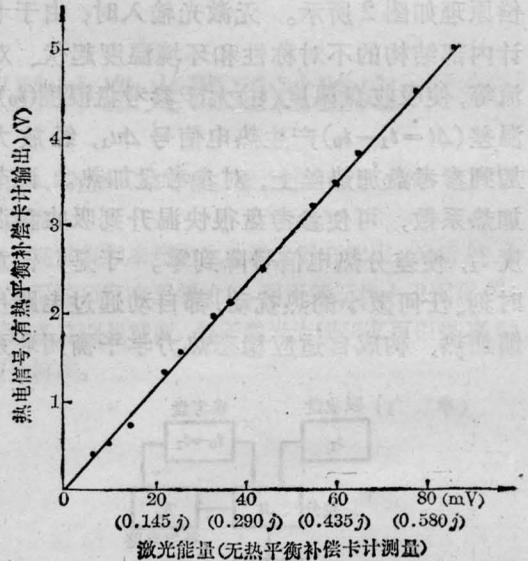


图9 激光能量对标曲线

这种 $\phi 80 \text{ mm}$ 大口径卡计,当不采用热平衡补偿时,最小可探测的能量为 0.1 J ,对更小的能量,由于漂移大而被噪声淹没。而同样的卡计,采用热平衡补偿后,由于零漂减小了两个量级,可采用高倍率放大电路,探测到 5 mJ 能量,探测率提高了 $100/5 = 20$ 倍。

目前使用的补偿方法是基于吸收盘温度高于参考盘温度,反馈加热参考盘。如果某种原因使参考盘温度高于吸收盘温度时,必

