

激光卡计修正温升的计算

王瑞华

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了从所测的激光卡计的时间-温度曲线上,选取等时间间隔的数据来计算修正温升的方法。

Calculation of corrected temperature rise for laser calorimeters

Wang Ruihua

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

Abstract: A method for calculating the corrected temperature rise is described. Data points are selected from equal time intervals on the plot of time-temperature for the laser calorimeter.

用激光卡计测量激光能量时,通常都是记录卡计输出的最大值来求出能量的,这种方法需要使卡计接收激光后恢复到环境温度才能开始下一次测量,这就使测量周期较长。

为了提高测量精度和改善稳定性,往往使研制的卡计热容量大一些,然而较大的热容,时间常数也就较长。时间常数为390秒的体吸收卡计,恢复到环境温度的时间约30分钟,这意味着每隔30分钟才能测量一次。如在卡计的测期内选取等时间间隔数据来计算修正温升,进而求出激光能量,就可缩短测量周期。

一、计算的理论根据

根据恒温卡计的理论分析,卡计所测的

激光能量为

$$\begin{aligned} W &= E \left[T_F - T_I + \varepsilon \int_{t_I}^{t_F} (T - T_\infty) dt \right] \\ &= E \Delta T_0 \end{aligned} \quad (1)$$

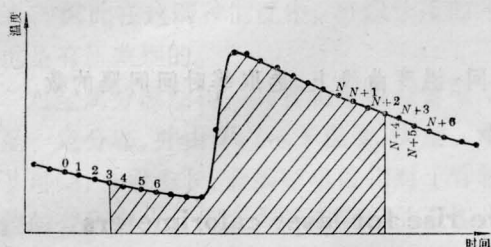
式中 W 为激光或校准电能; E 为能当量; ε 为冷却常数; T 为观测的温度; T_∞ 为 $\frac{dT}{dt} = 0$ 时的温度; T_I 和 T_F 分别为前测期 t_I 和后测期 t_F 时观测的温度。

分析(1)式看出, $(T_F - T_I)$ 表征内能的变化, ε 与积分项的乘积表征热交换,中括号里的量叫作修正温升,用 ΔT_0 表示。只要根据观测量 T_I 、 T_F 、 ε 和 T_∞ 求出修正温升,就可按(1)式求出激光能量。

收稿日期: 1982年3月9日。

二、修正温升的计算公式

通过实验,测得了卡计在激光(或校准电能)作用下的时间-温度曲线如图所示。图中数据点由等时间间隔 Z 秒分开。曲线的前一部分表示温度作为时间的单指数函数衰减,随后输入一激光或电能,使卡计的温度升高,相隔一段时间以后,温度再次作为时间的单指数函数衰减。



体吸收卡计的时间-温度曲线

为了计算修正温升,需分别求出 $(T_F - T_I)$ 、 ε 、 T_∞ 以及 t_I 到 t_F 的积分。为此在图示曲线上取 0 到 $(N+6)$ 个数据点,即前测期和后测期分别取 7 个数据点。实际使用中,7 点不足以剔出数据中的噪声,应取几十个为宜。

从前测期内可写出下列三个方程,

$$\begin{cases} \frac{T_4 - T_0}{4Z} = -\varepsilon(T_2 - T_\infty) \\ \frac{T_5 - T_1}{4Z} = -\varepsilon(T_3 - T_\infty) \\ \frac{T_6 - T_2}{4Z} = -\varepsilon(T_4 - T_\infty) \end{cases} \quad (2)$$

相加并整理得

$$\frac{1}{4Z} [(T_4 + T_5 + T_6) - (T_0 + T_1 + T_2)] = -\varepsilon(T_2 + T_3 + T_4) + 3\varepsilon T_\infty \quad (3)$$

同样,后测期内也可写出,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4Z} [(T_{N+4} + T_{N+5} + T_{N+6}) \\ & \quad - (T_N + T_{N+1} + T_{N+2})] \\ & = -\varepsilon(T_{N+2} + T_{N+3} + T_{N+4}) + 3\varepsilon T_\infty \quad (4) \end{aligned}$$

假如取 $2K$ 个等间隔, K 为奇数,并推

广到更多的点,则有:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(K+1)Z} \left(\sum_{i=K+1}^{2K} T_i - \sum_{i=0}^{K-1} T_i \right) \\ & = -\varepsilon \sum_{i=\frac{1}{2}(K+1)}^{\frac{1}{2}(3K-1)} T_i + K\varepsilon T_\infty \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(K+1)Z} \left(\sum_{i=N+K+1}^{N+2K} T_i - \sum_{i=N}^{N+K-1} T_i \right) \\ & = -\varepsilon \sum_{i=N+\frac{1}{2}(K+1)}^{N+\frac{1}{2}(3K-1)} T_i + K\varepsilon T_\infty \quad (6) \end{aligned}$$

而 ε 的计算公式为:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{(K+1)Z} \\ & \times \frac{\sum_{i=N+K+1}^{N+2K} T_i - \sum_{i=N}^{N+K-1} T_i - \sum_{i=K+1}^{2K} T_i + \sum_{i=0}^{K-1} T_i}{\sum_{i=\frac{1}{2}(K+1)}^{\frac{1}{2}(3K-1)} T_i - \sum_{i=N+\frac{1}{2}(K+1)}^{N+\frac{1}{2}(3K-1)} T_i} \quad (7) \end{aligned}$$

将 ε 代入式(5)或(6)即可求出 T_∞ 。

根据曲线,测期中点的平均温度为

$$\begin{cases} T_I = \frac{1}{K} \sum_{i=\frac{1}{2}(K+1)}^{\frac{1}{2}(3K-1)} T_i \\ T_F = \frac{1}{K} \sum_{i=N+\frac{1}{2}(K+1)}^{N+\frac{1}{2}(3K-1)} T_i \end{cases} \quad (8)$$

(1)式中所需的积分,可在测期中点进行,积分范围从 $t_I = t_K$ 到 $t_F = t_{N+K}$,积分用梯形法则完成,即

$$I = Z \left(\frac{1}{2} t_K + \frac{1}{2} t_{N+K} + \sum_{i=K+1}^{N+K-1} T_i \right) \quad (9)$$

将上面求得的 ε 、 T_∞ 、 $T_F - T_I$ 以及积分 I ,代入(1)式中的中括号内,即可得出修正温升为

$$\begin{aligned} \Delta T_c &= \frac{1}{K} \left(\sum_{i=N+\frac{1}{2}(K+1)}^{N+\frac{1}{2}(3K-1)} T_i - \sum_{i=\frac{1}{2}(K+1)}^{\frac{1}{2}(3K-1)} T_i \right) \\ & \quad + \varepsilon I - \varepsilon NZ T_\infty \quad (10) \end{aligned}$$

三、计算实例

根据上述计算方法,现从体吸收卡计中任取一组实验数据: $T_0 = 5.65$ 毫伏, $T_1 =$

表1 体吸收卡计中观测的温度

实验次数	前 测 期							后 测 期						
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_N	T_{N+1}	T_{N+2}	T_{N+3}	T_{N+4}	T_{N+5}	T_{N+6}
1	5.35	5.17	5.01	4.86	4.70	4.57	4.45	14.95	14.43	13.94	13.49	13.05	12.63	12.23
2	5.65	5.48	5.31	5.16	5.00	4.85	4.70	7.49	7.25	7.03	6.82	6.60	6.40	6.20
3	4.52	4.39	4.27	4.16	4.05	3.94	3.84	11.36	11.01	10.67	10.34	10.02	9.72	9.43
4	8.77	8.51	8.26	8.02	7.78	7.55	7.33	13.51	13.10	12.68	12.29	11.90	11.54	11.18
5	11.54	11.18	10.84	10.51	10.18	9.87	9.57	14.70	14.24	13.79	13.35	12.93	12.53	12.14

注：对于从 t_I 到 t_F 时观测的温度未一一列出。

表2 计算的修正温升

实验次数	ε	T_∞	T_I	T_F	ΔT_c	ΔT_m	$\Delta s = \frac{\Delta T_c - \Delta T_m}{\Delta T_c} \%$
1	0.0034	0.52	5.16	6.82	4.69	4.70	-0.2
2	0.0034	0.42	4.86	13.49	10.90	10.92	-0.2
3	0.0034	0.83	4.16	10.34	10.00	10.03	-0.3
4	0.0035	1.17	8.02	12.29	9.41	9.46	-0.5
5	0.0035	1.12	10.51	13.36	9.23	9.23	0

5.48 毫伏, $T_2=5.31$ 毫伏, $T_3=5.16$ 毫伏, $T_4=5.00$ 毫伏, $T_5=4.85$ 毫伏, $T_6=4.70$ 毫伏, $T_N=7.49$ 毫伏, $T_{N+1}=7.25$ 毫伏, $T_{N+2}=7.03$ 毫伏, $T_{N+3}=6.82$ 毫伏, $T_{N+4}=6.60$ 毫伏, $T_{N+5}=6.40$ 毫伏, $T_{N+6}=6.20$ 毫伏, 并选取 $Z=10$ 秒。

上述数据代入(7)式, 解得 $\varepsilon=0.0034$ 。将 ε 代入(5)解得 $T_\infty=0.52$ 毫伏。

根据(8)式, 求得 $T_I=5.17$ 毫伏, $T_F=6.82$ 毫伏。从(9)式, 求得积分 $I=966.95$ 毫伏。

将 $\varepsilon, T_\infty, T_F-T_I$ 以及 I 代入(10)式,

得出修正温升为 $\Delta T_c=4.69$ 毫伏。

表1列出了五组体吸收卡计的实验数据。按上述方法逐一进行了计算, 计算所得的 $\varepsilon, T_\infty, T_I, T_F$ 以及修正温升 ΔT_c 。如表2中前五五行所示, 第六行表示观测的最大温升 ΔT_m , 第七行表示修正温升 ΔT_c 与最大温升 ΔT_m 之间的相对偏差。可见二者的相对偏差小于0.5%。

参 考 文 献

- [1] E. D. West et al.; *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**, 2705.
- [2] E. D. West; NBS TN-396, 1971.
- [3] 王瑞华, 林文清;《激光》, 1980, **7**, No. 8, 51.