

# 一个通用激光波长测量系统\*

梁培辉 沃敏政 张峭峰

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文报道了一个可测量连续与脉冲激光波长的通用激光波长测量系统。系统主要包括一台光栅光谱仪和一台光学多道分析仪。运用低密度光栅并工作在高衍射级次,在输出谱面处 He-Ne 激光线和被测激光谱线的间距由光学多道分析仪的列阵实时读出,激光波长由个人计算机给出,精度达  $0.01 \text{ \AA}$ 。文中给出对精度的分析。

## 一、引 言

在激光光谱研究工作中,常要对激光波长进行实时、精确的测定。通常的2米光栅光谱仪的分辨本领为  $0.1 \text{ \AA}$  量级,瞄准精度在  $10^{-6}$  量级。原则上可用于激光波长测量,但操作要花相当长的时间。这些年出现各种专用于激光的激光波长计产品和实验装置。典型的产品有利用扫描迈克耳孙干涉仪比较干涉条纹周期的激光波长计(如美国的 Burleigh 公司和国内类似的产品),以及扫描 F-P 干涉仪,定标精度亦也达  $10^{-6}$ 。但是它们都只能对稳定的连续激光进行测试。采用干涉法定标波长如斐索干涉仪法<sup>[1]</sup>或双缝杨氏干涉法,然后用列阵光电接收元件接收条纹信号,将查测到的干涉条纹再经计算机处理,检测波长的精度可达  $10^{-5} \sim 10^{-8}$ 。然而这种干涉方法测量对待测激光的波面要求很高。用多级标准具作色散元件,列阵接收器和计算机处理数据,这种激光波长计的测量精度可以优于  $10^{-6}$ <sup>[2]</sup>。但这样一组标准具对稳定性要求很苛刻,且如果待测谱线和基准谱线相距较远时,考虑到反射膜层的位相色散,精确地确定反射位相也是个困难的问题。

本文介绍将光栅摄谱仪和光学多道分析技术结合起来的激光波长测试系统,既可用于连续稳定激光,也可实时用于脉冲激光的高精度测量。定标精度可达  $10^{-6}$ 。对激光束的波面质量和调整技术等无过苛的特殊要求。

将光栅摄谱仪改成通用激光波长计的基本出发点是:①调谐激光器的输出波长范围是预先知道的。(若不知道,可用光谱仪先粗测)。工作时波长变化也是在一个不大的范围内,因此可以在高阶次作测量。②激光的谱线是有限的,(一般只有一支),故光栅光谱仪对波长测量的限制不是分辨本领,而是谱线的瞄准精度。后者的精确性要比前者高一个数量级以上。③激光的光强无疑是强的,可采用不很高的灵敏度的列阵接收器件进行实时测量。

收稿日期:1985年10月31日;收到修改稿日期:1985年12月20日

\* 曾在中国光学学会1985年学术年会上报告。

## 二、工作原理

设  $n$  阶标定光谱线  $\lambda_0$  和  $m$  阶待测光谱线  $\lambda_x$  同时出现在光栅光谱仪的输出谱面上。两束光的入射角均为  $\theta$ , 衍射角分别为  $\theta_0$  和  $\theta_x$ 。光栅间距为  $d$ , 根据光栅理论<sup>[3]</sup>

$$d(\sin\theta + \sin\theta_0) = n\lambda_0, \quad (1)$$

$$d(\sin\theta + \sin\theta_x) = m\lambda_x, \quad (2)$$

特殊情形下,  $\theta_0 = \theta_x$ , 即两谱线重合, 从(1)、(2)式可得出  $\lambda_x = \frac{n}{m}\lambda_0$ 。一般情况下, 被测谱线出现于标定谱线的左侧或右侧, 两谱线在谱面上的间距为  $S$ 。此时  $\lambda_x = \frac{n}{m}\lambda_0 + \Delta\lambda$ 。

由(2)导出光谱仪的角色散率为

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{\cos\theta} \frac{m}{d}, \quad (3)$$

光谱仪的焦距为  $F$ ,  $\Delta\lambda$  与  $S$  的关系可写成

$$S = F\Delta\theta = \frac{Fm}{\cos\theta d} \Delta\lambda, \quad (4)$$

最后便得出被测谱线的波长表达式

$$\lambda_x = \frac{n}{m}\lambda_0 + \frac{d \cos\theta}{mF} S_0. \quad (5)$$

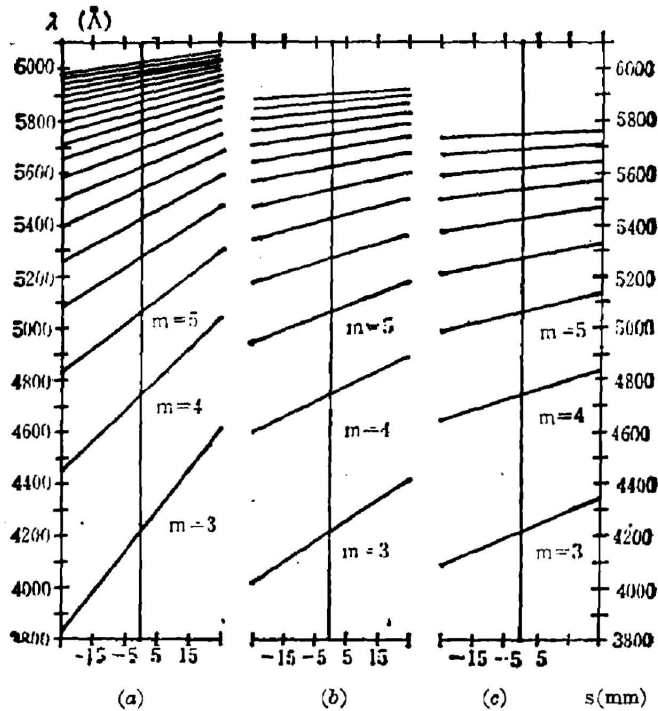


Fig. 1 Wavelength vs. separation at various diffraction orders for several grating parameters  
(a)—1001/mm; (b)—2001/mm; (c)—3001/mm

(5)式表明,只要知道光栅光谱仪的参数,便能由 $S$ 求得 $\lambda_c$ ,换言之,波长的测量转换为空间距离的测量。而光谱仪的参数,则可以通过多种已知波长的标定而得出。

简单地说,本方法的目的是通过采用不同的衍射级次,将待测谱线“拉”到标定谱线附近进行比较。显然 $S$ 值不应该很大,以便用列阵接收器作实时测量。下面我们就 $F=2M$ ,  $\lambda_0=6328.17 \text{ \AA}$ ,  $\frac{d \cos \theta}{mF}=3.831$ , 将公式(5)绘成图1。图中 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别对应于三种光栅,即 $1001/\text{mm}$ ,  $2001/\text{mm}$ 和 $3001/\text{mm}$ 。图1中横坐标是 $m$ 级的标定谱线与 $(m+1)$ 级被测谱线间的距离(以 $\text{mm}$ 为单位),纵坐标是待测谱线的波长(单位是 $\text{Å}$ ),各条斜线是对应于不同级次的光栅色散曲线。中心直线是标定谱线 $6328.17 \text{ \AA}$ 的位置。例如,我们要测定的谱线波长在 $5100 \text{ \AA}$ 附近,光栅 $3001/\text{mm}$ ,由图1c中在 $5100 \text{ \AA}$ 作一横线,它与第5级色散曲线相交,相应标定谱线是第4级。利用这张图对不同的待测谱线,就可以很方便地确定能被列阵接收到的相应级次。

### 三、实验装置和数据处理

实验的关键在于采用光学多道分析技术<sup>[4]</sup>,我们使用自己建立的组合式一维光学多道分析仪,列阵接收器是1024单元的Reticon-1024G,列阵中每个单元中心间距为 $25 \mu\text{m}$ ,它的饱和幅度为 $2 \text{ V}$ ,列阵的光谱响应范围为 $0.2 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 。将列阵输出信号送入BC-VI瞬态波形存储器,通过波存储器中8位快速A/D变换器,将模拟电信号转换成相应的数字量,这1024个数字量依次存入相应存储单元中。信号幅度分辨率为 $1/256$ 。每次采样-变换-存储过程只要 $4 \text{ ms}$ 。串接的IBM-PC微型计算机将存储器中的1024个单元数据读入,进行数据处理,整个系统装置如图2所示。

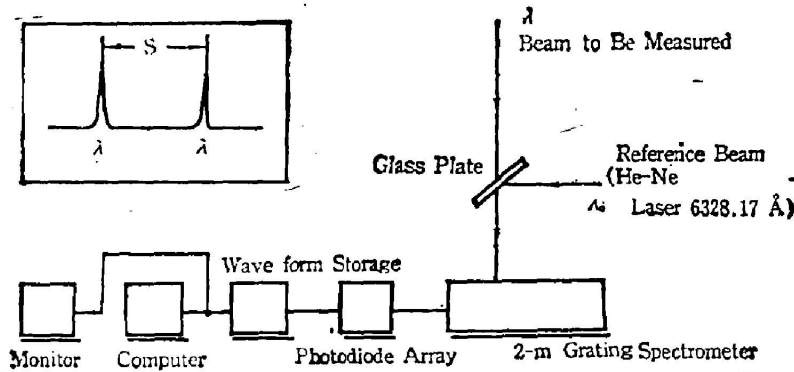


Fig. 2 Schematic of the wavelength meter

实验中使用 $2 \text{ m}$ 光栅光谱仪,光栅密度 $2881/\text{mm}$ ,工作的衍射级次为 $4$ ,其线色散率约 $4 \text{ \AA}/\text{mm}$ ,因此在谱面上一个列阵单元对应的波长间隔是 $0.1 \text{ \AA}$ ,与仪器的分辨本领相同。如果读数取 $1/10$ 单元为精度,则瞄准精度即波长的测量精度为 $0.01 \text{ \AA}$ 。光谱仪调整正常,谱线轮廓呈轴对称,对于轴对称分布的光谱线,我们用一阶矩对中心的方法,轴线位置可精确给出。图3是经10倍放大后He-Ne激光 $6328 \text{ \AA}$ 谱线的轮廓。

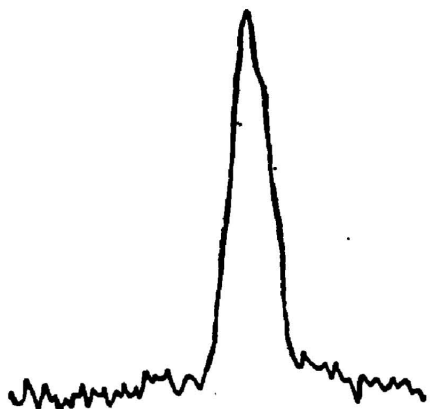


Fig. 3 Spectral profile of the He-Ne 6328.17 Å line (magnified by 10) to examine the symmetry of the line. Slit width of the spectrometer is 40 μm

我们所用的 8 位 A/D 变换器幅度分辨率为 1/256, 被测谱线宽度约占 7 个单元。所以对对称中心的位置可以精确到 0.7 μm。波长测量的极限精度为  $0.5 \times 10^{-6}$ 。

#### 四、结果与讨论

运用上述的装置和处理方式, 我们测量了铜蒸气激光器的绿光谱线的波长, 结果为 5105.53 Å, 与铜原子的谱线 5105.54 Å 吻合得很好<sup>[5]</sup>。

实验所测的铜蒸气激光器是重复率为 6 kHz, 脉宽约 20 ns 的重复率脉冲激光器<sup>[6]</sup>。说明这个激光波长测量系统兼容连续与脉冲工作方式。

由图 1 可见, 以 6328.17 Å 为标定激光光源, 采用 100 l/mm 光栅而要测量 6000 Å 附近的波长时, 会出现叠级, 即在输出谱面上同时出现不只一对的谱线, 实验时必须逐个定级, 带来了一定的麻烦。如能采用波长较长的标定激光光源(或强度较大的普通光谱线), 使之工作在较低的级次, 叠级的现象就可以避免。

感谢王之江教授对本工作的支持和指导。

#### 参 考 文 献

- [1] M. B. Morris *et al.*; *Appl. Optics*, 1984, 23, No. 21 (Nov), 3862.
- [2] J. L. Hall *et al.*; *In Laser Spectroscopy*, 7, 412. (Springer in Optical Sciences, Springer-Verlag, New York, 1977).
- [3] M. 玻恩, E. 沃耳夫;《光学原理(上册)》, (杨葭荪等译校, 科学出版社, 1978), 527.
- [4] 梁培辉等,《中国激光》, 1984, 11, No. 11 (Nov), 310.
- [5] B. Beck *et al.*; *Table of Laser Lines in Gases and Vapors*, (Springer Verlag, 1978).
- [6] 梁培辉等;《中国激光》, 待发表。

## A general system for laser wavelength measurement

LIANG PEIHUI, WO MINZHENG AND ZHANG SHAOFUNG  
(*Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics Academia Sinica*)

(Received 31 October 1985; revised 20 December 1985)

### Abstract

In this paper we report a general system for measuring wavelengths of lasers, both CW lasers and pulse lasers. The system consists of a grating spectrometer and a one-dimension optical multichannel analyser. We use a low-density grating and operate in high-order diffraction. The distance between the He-Ne laser line and the laser line to be measured on the output spectral plane is read out in real time by the array of the OMA, the laser wavelength is then calculated by a personal computer with an error of  $0.01 \text{ \AA}$ . An analysis on the error is presented.