

# 傅里叶变换光谱学相位校正的新方法

范世福 徐晓初  
(天津大学精仪系)

## 提 要

本文提出一种校正干涉图不对称性的新方法。采用本方法进行一次处理,就可把严重失对称的干涉图变成对称,从而可校正因相位误差而造成的复原光谱畸变。理论和实验都证明此方法比目前通用的各种相位校正方法有更好的效果。

关键词: 相位差校正,干涉图处理,傅里叶变换光谱学。

## 一、引 言

傅里叶变换光谱仪是通过记录所得的干涉图进行傅里叶变换而获得光谱的。在理想情况下,干涉图应是以零光程差点为对称的偶对称函数;但在实际傅里叶变换光谱仪中,由于干涉仪制造和调整误差、分束板的吸收损失和波长色散特性、电子系统相位滞后等等原因,实际记录得到的干涉图不是以零光程差点为对称的偶函数<sup>[1,2]</sup>。当采用单边傅里叶变换计算复原光谱时,干涉图的失对称会引入相位误差  $\exp[-i\phi(\tilde{\nu})]$ , 导致复原光谱畸变。因此,为了获得真实的复原光谱,必须对产生的相位误差进行校正。目前,国际上通用的相位校正方法主要有以下三种:

1. Connes 求平方根法<sup>[3]</sup>,此法理论简单、明确,但要花费很长时间记录双边干涉图、对双边干涉图作傅氏变换,更会因平方和开方运算而使噪声都变为正值,降低测试精度。

2. Mertz 乘法<sup>[4]</sup>,这种方法对线性相位误差效果较好,校正非线性相位误差效果不佳,存在较大的残余误差<sup>[5]</sup>。

3. Forman 卷积法<sup>[6,7]</sup>,此法对线性和非线性相位误差都有较好的校正效果,但因作卷积运算需较长的计算时间,若干涉图严重非对称,还需再次进行卷积才能获得满意的对称干涉图。

本文提出一种新的校正方法,无论原始干涉图非对称性如何严重,只需一次处理即可获得对称的干涉图。

## 二、基本 原 理

新方法的基本原理为:以仪器记录下的非对称干涉图的双边数据构成一个偶对称函数,用在零光程差点两边小范围内数据求得的相位校正函数对其进行校正。其数学证明过程如下:

在  $|x| < L$  区间内构成新的偶函数

$$g(x) = \frac{1}{2} [I_D(x) + I_D(-x)], \quad (1)$$

式中  $L$  为干涉仪动镜扫描最大行程,  $I_D(x)$  为记录下的干涉图函数。  $g(x)$  的傅里叶变换为

$$\begin{aligned} G(\tilde{\nu}) &= \int_{-L}^L g(x) \exp(-i2\pi\tilde{\nu}x) dx \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \int_{-L}^L I_D(x) \exp(-i2\pi\tilde{\nu}x) dx + \int_{-L}^L I_D(x) \exp[-i2\pi\tilde{\nu}(-x)] d(-x) \right\} \\ &= \frac{1}{2} \{ B(\tilde{\nu}) \exp[i\phi(\tilde{\nu})] + B(-\tilde{\nu}) \exp[i\phi(-\tilde{\nu})] \}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $B(\tilde{\nu})$  为复原光谱函数。根据傅里叶变换特性及干涉图  $I_D(x)$  与光谱函数  $B(\tilde{\nu})$  的实数性, 应有  $B(\tilde{\nu}) = B(-\tilde{\nu})$  和  $\phi(-\tilde{\nu}) = -\phi(\tilde{\nu})$ , 因此可得

$$G(\tilde{\nu}) = \frac{1}{2} \{ B(\tilde{\nu}) \exp[i\phi(\tilde{\nu})] + B(\tilde{\nu}) \exp[-i\phi(\tilde{\nu})] \} = B(\tilde{\nu}) \cos[\phi(\tilde{\nu})]. \quad (3)$$

对  $B(\tilde{\nu}) = \{ G(\tilde{\nu}) / \cos[\phi(\tilde{\nu})] \}$  两边作傅里叶逆变换, 即可得

$$I_D = g(x) \otimes h(x), \quad h(x) = \mathcal{F}^{-1} \left[ \frac{1}{\cos \phi(\tilde{\nu})} \right]. \quad (4)$$

由傅里叶变换的唯一性和偶对称函数的傅里叶变换为实函数的特性, 可判断  $h(x)$  为偶对称函数; 又因  $g(x)$  是所构成的偶对称函数, 所以由两个偶对称函数  $g(x)$  和  $h(x)$  卷积而得的函数  $I_D(x)$  也必然是偶对称函数。

由此可知, 不论原始记录干涉图函数  $I_D(x)$  如何不对称, 采用本方法经过一次卷积就可获得以零光程差点为对称的、无相位误差的干涉图。

### 三、实验结果与讨论

在 Nicolet 5DX 型和 Nicolet 170SX 型傅里叶变换红外光谱仪上分别取出空气和聚乙烯试样的干涉图数, 如图 1 和图 2 所示, 显然, 在这两种仪器中, 所记录下的原始光谱图在零光程差点附近经过扩展后还是存在可察觉的不对称情况。图 3, 图 4 分别为用本文介绍的方法作相位校正后, 空气和聚乙烯的复原光谱。

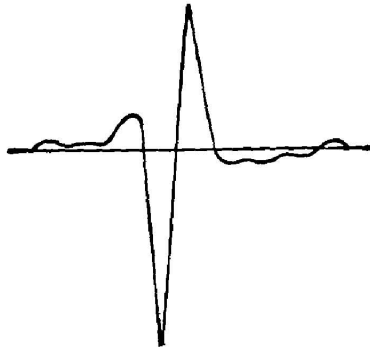


Fig. 1 Extended central portion of air interferogram

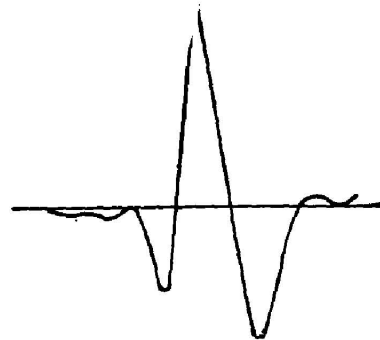


Fig. 2 Extended central portion of polyethylene interferogram

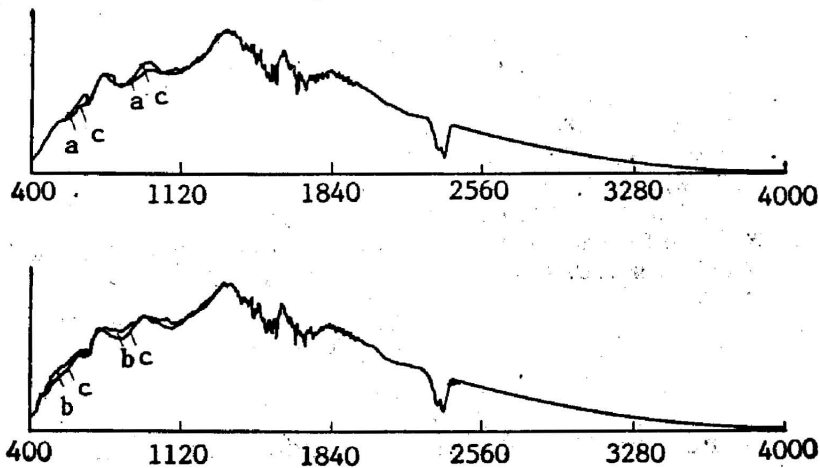


Fig. 3 Spectra of air

- (a) Spectrum obtained by the method presented in this paper;
- (b) Processed by Förman's method;
- (c) Obtained by double-sided transform

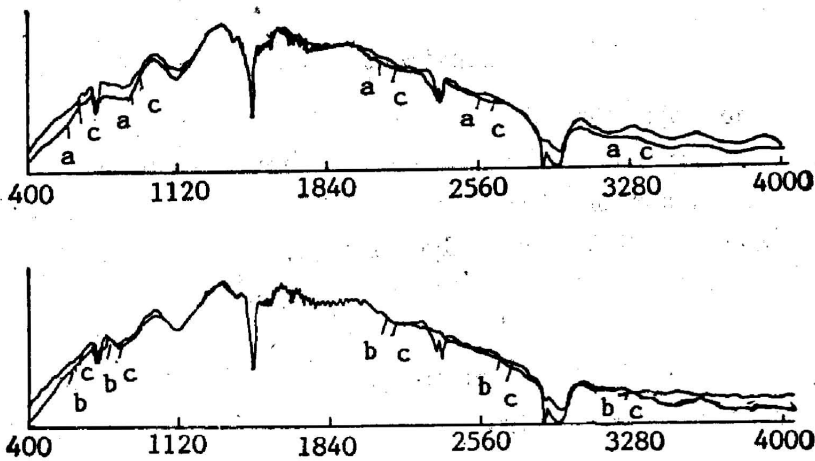


Fig. 4 Spectra of polyethylene

- (a) Spectrum obtained by the method presented in this paper
- (b) Processed by Forman's method
- (c) Obtained by double-sided transform

由实验结果可知, 本文提出的方法能获得满意的校正效果, 比 Forman 法更接近双边变换校正的结果; 若初始记录干涉图非对称性严重时, 本方法的优点将更突出, 而运算时间几乎与采用 Forman 法一样。

由于可以容许原始记录干涉图有较大的不对称性, 从仪器制造和调整角度来说直接表明可以允许干涉仪有较宽容的制造和调整公差量。因此, 采用本方法可以降低对仪器制造、调整的严酷要求, 这将可导致制造成本下降、更加便于使用的实际效益。

在进行本研究工作过程中, 得到南开大学和天津大学的林林、徐谨民、李润卿等同志的热情帮助, 特此致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 沈学础:《物理的进展》,1982, 2, No. 3 (Sep), 275~322.
- [2] R. J. Bell; *Introductory Fourier Transform Spectroscopy*, (Academic Press., New York, 1972), 151~168.
- [3] J. Connes: *Aspen International Conference on Fourier Spectroscopy*, 1970, 83.
- [4] L. Mertz: *Infrared Phys.*, 1967, 7, No. 1 (Mar), 17~23.
- [5] R. B. Sanderson, E. E. Bell: *Appl. Opt.*, 1973, 12, No. 2 (Feb), 266~270.
- [6] M. L. Forman, W. H. Steel *et al.*; *J. O. S. A.*, 1966, 53, No. 1 (Jan), 59~63.
- [7] H. Sakai, G. A. Vanasse *et al.* *J. O. S. A.*, 1968, 55, No. 1 (Jan), 84~90.

**A new method for phase correction in FTS**

FAN SHIFU AND XU XIAOCHU

*(Department of Precision Instrumentation, Tianjin University)*

(Received 1 July 1987; revised 14 September 1987)

**Abstract**

A new method for correction of asymmetrical interferogram is presented. After once application of this new method a asymmetrical interferogram will be absolutely symmetric so that the distortion of complete spectrum will be corrected. The theory and experiments show that this new method is more efficient than other available phase correcting methods in FTS.

**Key words:** correction of phase error; processing for interferogram; Fourier transform spectroscopy.