

# 略论“透射”式光谱仪与纯反射式矫像差光谱仪的异同

单锦安

(北京师范大学分析测试中心 北京 100875)

摘 要 对两种光栅成像光谱仪在通光效率、杂散光、准直及像差等的比较。对其不同的成像品质进行探讨。

关键词 光谱仪；通光效率；矫像差

中图分类号 0 433

## The Difference between "Transmissive" Spectrometer and Czerny-Turner Imaging Spectrometer

Shan Jin'an

(Analytical and Testing Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Study the imaging quality of two kinds of spectrometers by Comparing the throughput, stray light, collimation, aberration and others.

Key words Spectrometer; throughput; corrected aberration

### 1 “透射”式光谱仪和全反射式矫像差光谱仪

以反射光栅为色散器件的光谱仪和“透射”式光谱仪的共同点都是成像光学系统,因而成像质量的优劣势必成为考核的重点。本文试就两种光栅光谱仪在通光效率、杂散光、准直及像差进行比较,探讨各自的特点。

图1 所示光谱仪色散器件是反射光栅,用一(组)透镜准直;另一(组)透镜聚焦。光路中使用一个棱镜的两表面作为转向镜。在本文里称之为“透射”式光谱仪。

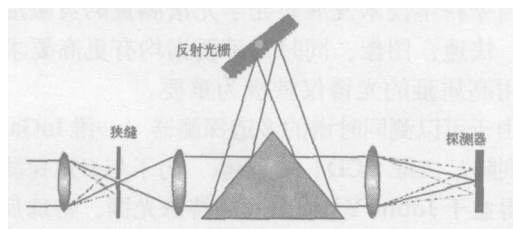


图1 “透射”式光谱仪

图2 所示全反射式矫像差光谱仪为了减少信号损失将光学元器件减到最少:一块反射光栅,两块凹面反射镜。

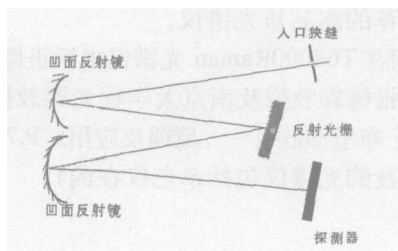
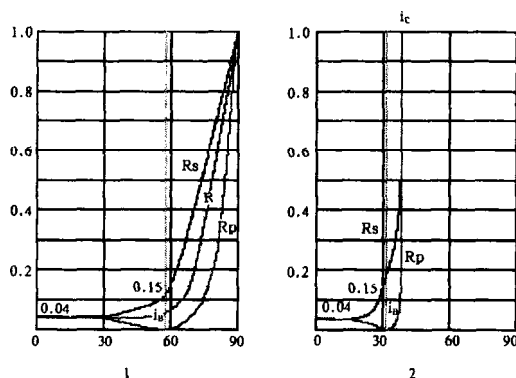


图2 全反射式矫像差光谱仪

在比较上述两种设计的通光效率前,我们先回顾一下透镜的透射率。

### 2 光学玻璃表面的反射

图3 所示为空气与玻璃界面的反射系数( $R_p, R_s$ )、反射率( $R$ )相对于入射角的变化曲线。1 为由空气入射到玻璃( $n=1.5$ ), 2 为由玻璃入射到空气。在入射角不大的情况下,两者的反射率均为0.04,即4%。



图中  $i_b$  是布儒斯特角,  $i_c$  是全反射角

图3 空气与玻璃界面的反射系数、反射率相对于入射角的变化曲线

对于光学元件有:

入射总能量 = 反射 + 透射 + 吸收

即:  $R + T + A = 1$

一个单透镜的透射率在忽略吸收的情况下应为:

$T = (1 - R) \times (1 - R) = 0.96 \times 0.96 = 92.16\%$

两个单透镜的透射率应为:  $0.9216 \times 0.9216 = 84.93\%$

收稿日期: 2005-04-11

作者简介: 单锦安(1939-), 研究员, 主要从事光学光谱工作。

现代科学仪器 2005 2

49

### 3 两种类型光谱仪的对比

#### 3.1 透光效率, 杂散光

“透射”光谱仪由于使用了两个以上的透镜, 其透光效率显然将低于用凹面镜为准直、聚焦镜的光谱仪。同时透镜表面的反射光无疑将提高杂散光水平, 这不利于微弱信号的测量。对透镜表面进行增透处理虽可提高透射率, 但反射依然存在。一般来说, 光谱仪透镜表面进行增透处理是不可取的。

#### 3.2 准直, 像差

以透镜为准直器的光谱仪中准直系统存在着由于透镜的色差(透镜的折射率随不同波长而异)引起的平行准直的问题, 如图4所示。

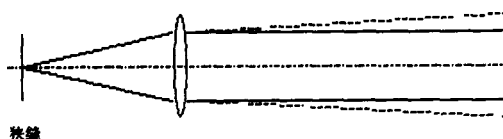


图4 色差引起的平行准直问题

为此, 使用者不得不针对不同的波长范围, 采用不同的透镜或者调整狭缝以获得该波长的平行光。

透镜对在轴的物点成像不存在像散, 但对离轴光线存在像散。可以对透镜进行消像散处理, 使得对于视场角为一定值的元光束像散差为零。但不可能使来自所有方向的元光束都不产生像散差。对光谱仪而言, 离轴光线的存在是必然的。

用透镜为聚焦镜, 色差造成焦平面与光轴不垂直, 存在像散及像场弯曲。这种谱仪在用二维的CCD采样时, 成像质量很差。采用复合透镜可以作部份校正, 但又将进一步降低透光效率。

由于折射率随波长而变, 用透镜作聚焦镜时, 焦点的位置将随波长而变(见图5(1))。为了使焦点正好落在狭缝处, 不同的波长范围需要采用不同的透镜来聚焦。更换聚焦镜则不可避免。使用者将不得不将光谱仪揭盖, 更换透镜组并调整仪器的准直与聚焦。这不仅需技术, 花时间, 还会因开盖造成光学器件积尘, 导致透光效率下降。

对于纯反射式光学系统, 由于光线经各面反射时, 反射角总等于入射角, 光路不随波长改变。不存在色差问题(见图5(2))。

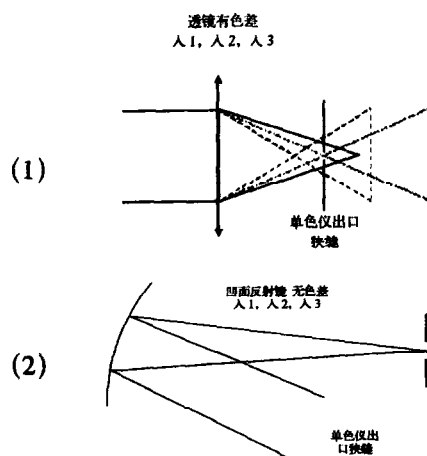


图5 (1) 透镜作聚焦镜, 焦点位置将随波长而变——有色差  
(2) 反射式光学系统, 光路不随波长而改变——无色差

一块平面光栅加两块球面反射镜的简单纯反射式光谱仪光学系统, 由于存在像散及像场弯曲, 仅适合与单道探测器配合使用。

全反射式矫像差光谱仪的成像质量高。究其原因在于所用的光栅及凹面镜以平场、矫正像差为目的进行了特别处理。

综上所述, 与图1所示的“透射”式光谱仪光学系统相比, 纯反射式光学系统具有透光效率高, 杂散光小, 无色差, 使用者无需在不同波长范围工作时更换透镜, 调正光路等优点。这也是为什么大多数光谱仪厂商采用纯反射式光学系统的原因。

当今科学技术发展对光学光谱测量的灵敏度、准确度、快速、图像、同时谱等要素均有更高要求。因之选用高质量的光谱仪就极为重要。

由于可以测同时谱的多道探测器(一维 InGaAs 近红外阵列, 二维 CCD)的崛起, 为了与多道探测器配合, 得益于 Jobin Yvon 公司的特殊光栅、特殊反射镜制造能力, Jobin Yvon 公司早已生产了不同等级的矫像差平场光栅、矫像差平场复曲面反射镜配用于 Jobin Yvon 公司不同档次的纯反射式矫像差光谱仪中, 其标志便是可以配用 1 英寸的 CCD 芯片。这一系列的产品是值得推荐的高品质光谱仪。

(如何在 T64000 Raman 光谱仪中矫正像差, 可参阅北京大学张树霖教授及南京大学程光照教授的有关论作。《拉曼 布里渊散射 - 原理及应用》P.709---P.727。本文所提及的光谱仪包括单色仪在内)。