

文章编号: 1672-8785(2019)06-0044-05

光谱分析仪器分类及研究现状

聂建华 刘加庆 孟 鑫 韩顺利

(中电科仪器仪表有限公司, 电子测试技术重点实验室, 山东 青岛 266555)

摘 要: 为实现光谱分析仪器的合理分类, 从光谱仪的工作波段和分光技术原理两个角度进行了分类研究。在深入调研国内外现有光谱仪产品发展现状的基础上, 对其进行了归纳分析, 并给出了具体的分类方法和分类结果。同时, 根据掌握的光谱研究技术, 在结合光谱仪分类研究的基础上, 概括介绍了光谱仪的比较研究结论, 指出了其中的关键技术和核心部件。该结论能够为光谱仪研究人员提供一种全景的观察视角, 同时也可跟踪行业发展提供有价值的参考。

关键词: 光谱分析仪; 色散; 散射; 衍射; 荧光

中图分类号: TH744.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.06.007

Classification and Research Status of Optical Spectrometer

NIE Jian-hua, LIU Jia-qing, MENG Xin, HAN Shun-li

(China Electronics Technology Instruments Co., Ltd., Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, Qingdao 266555, China)

Abstract: In order to realize the reasonable classification of optical spectrometers, the classification study is carried out from the working band and spectroscopy of the spectrometer. On the basis of in-depth research on the development status of existing spectrometer products at home and abroad, the related research is summarized and analyzed, and the specific classification methods and classification results are given. At the same time, by using known spectrometry technology and the research result, the comparative research conclusions of spectrometers are introduced, and the key technologies and core components are pointed out. This conclusion can provide spectrometer researchers with a panoramic viewing angle and also provide a valuable reference for tracking industry development.

Key words: optical spectrometer; dispersion; scattering; diffraction; fluorescence

0 引言

光谱分析仪器(简称“光谱仪”)主要用于科学研究和生产过程中的目标光谱成分检测分析, 其产品种类多、用途范围广。国外的光谱仪厂商主要有日本的横河公司、安立公司、岛

津公司, 美国的 VIAVI 公司、安捷伦公司、赛默飞公司, 加拿大 EXFO 公司以及德国布鲁克公司等。国内的研发生产公司主要有北京北分瑞利公司、北京普析通用仪器公司、天津港东科技公司和中电科仪器仪表有限公司等。当

收稿日期: 2019-06-20

基金项目: 电子测试技术重点实验室稳定经费支持计划(JCKY2019XXXXC038)

作者简介: 聂建华(1983-), 男, 安徽人, 工程师, 主要从事光电子测试仪器研发工作。

E-mail: eiqd@ceyear.com

前, 光谱仪正朝着小型化、多功能、智能化的方向发展。随着光学和电子元器件、部件以及光机加工技术的进步, 光谱仪的性能获得了长足发展。

1 光谱仪分类

光谱仪类别众多、用途广泛。在对光谱仪进行分类研究时, 既涉及到多学科知识, 又高度依赖行业工作经验。如果从产品应用领域的角度来划分, 就会面临同一类型光谱仪用途众多的情况, 因此难以从统一的应用角度来认定。由于光谱仪具有工作波段和分光技术原理的专业特性, 本文从这两个角度来研究划分, 从而很好地解决分类问题。

1.1 按工作波段划分

电磁频谱有其固有的频段, 从光学角度看就是工作波段。因此, 根据工作波段划分光谱仪类别, 并结合科学表述规范, 可将光谱仪分为射线光谱仪($<10\text{ nm}$)、紫外光谱仪($10\sim 380\text{ nm}$)、可见光光谱仪($380\sim 760\text{ nm}$)、近红外光谱仪($760\text{ nm}\sim 2.5\text{ }\mu\text{m}$)、红外光谱仪($2.5\sim 30\text{ }\mu\text{m}$)以及太赫兹光谱仪($30\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$), 如图 1 所示。

1.2 按分光技术原理划分

研发各种光谱仪时都面临着一些共性的关键技术, 而分光技术恰恰是光谱仪要解决的核心问题。因此, 根据分光技术原理的不同, 可

将其分为衍射型光谱仪、干涉型光谱仪、散射型光谱仪、荧光型光谱仪、滤光片型光谱仪和棱镜色散型光谱仪, 如图 2 所示。

2 国内外现状

在光谱仪的产品技术水平方面, 发达国家的公司在总体上处于领先地位。下面根据光谱仪的分光技术原理, 从细分的光谱仪门类来介绍相关具体情况。

2.1 衍射型光谱仪

衍射型光谱仪通过基于光栅衍射的光学系统实现分光, 其关键技术包括高分辨率衍射分光技术、扫描单元控制与采样同步技术等, 核心部件是光栅、高精度码盘和精密电机^[1]。图 3 所示为典型衍射型光谱仪的基本光学结构。日本横河公司和安立公司的台式高分辨率光谱仪产品处于领先地位。在 $600\sim 1700\text{ nm}$ 波段, 其典型光谱分辨带宽达到 0.02 nm 。EXFO 公司和 VIAVI 公司的便携式光通信应用光谱仪处于领先地位。在 $1250\sim 1650\text{ nm}$ 波段, 其典型光谱带宽达到 0.03 nm 。在国内方面, 中电科仪器仪表有限公司能够量产工作在 $600\sim 1700\text{ nm}$ 波段的台式高性能扫描光栅型光谱仪, 其典型光谱带宽达到 0.05 nm 。虽然国产衍射型光谱仪已经取得了较好的应用推广, 但是与国际领先产品相比, 在光谱带宽、

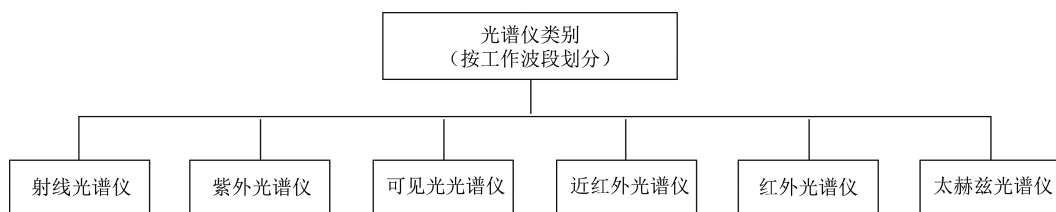


图 1 按工作波段划分的光谱仪类别

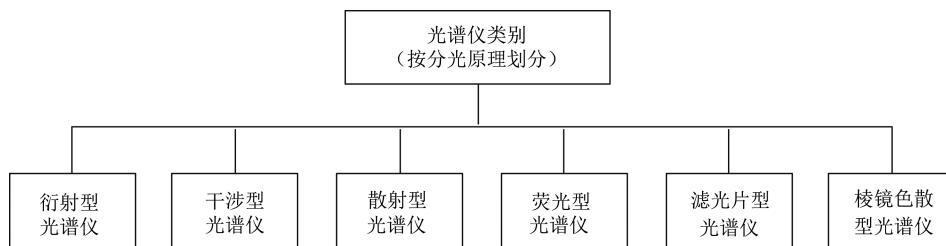


图 2 按分光原理划分的光谱仪类别

波长测量准确度等技术指标方面还有一些差距，其主要原因在于技术经验积累和配套光加工装调水平的差别。

2.2 干涉型光谱仪

干涉型光谱仪通过核心干涉仪部件实现分光并结合傅里叶反演实现光谱测量，其关键技术包括干涉仪制造装调技术、扫描单元控制与光谱反演技术等，核心部件是干涉仪^[2]。图4所示为典型干涉型光谱仪的基本光学结构。国外的代表性公司有美国赛默飞公司、日本岛津公司和德国布鲁克公司，其产品性能代表了世

界一流水平，在 $350\sim 7800\text{ cm}^{-1}$ 范围内的光谱分辨率可达 0.25 cm^{-1} 、信噪比达到 $60000:1$ ；国内主要有北京北分瑞利公司和天津港东科技公司，其产品的典型光谱分辨带宽可达 0.5 cm^{-1} ，信噪比达到 $15000:1$ 。从总体上来看，与国际领先产品相比，国内干涉型光谱仪在关键技术指标方面还有一定差距。值得注意的是，在应用分析软件的功能完备性上也存在这一情况。

2.3 散射型光谱仪

散射型光谱仪通过光纤受激布里渊散射等光学效应，同时结合可调谐泵浦扫描等方式来

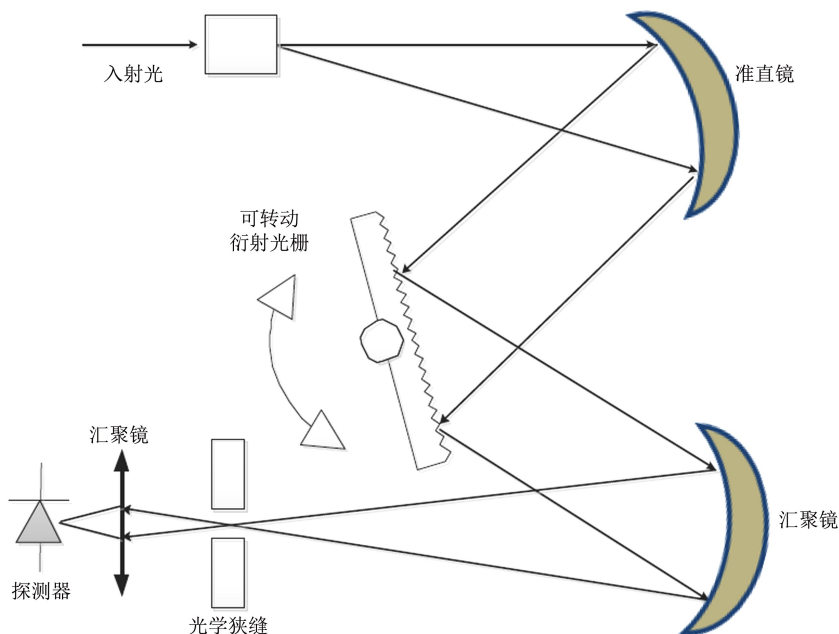


图3 衍射型光谱仪的基本光学结构

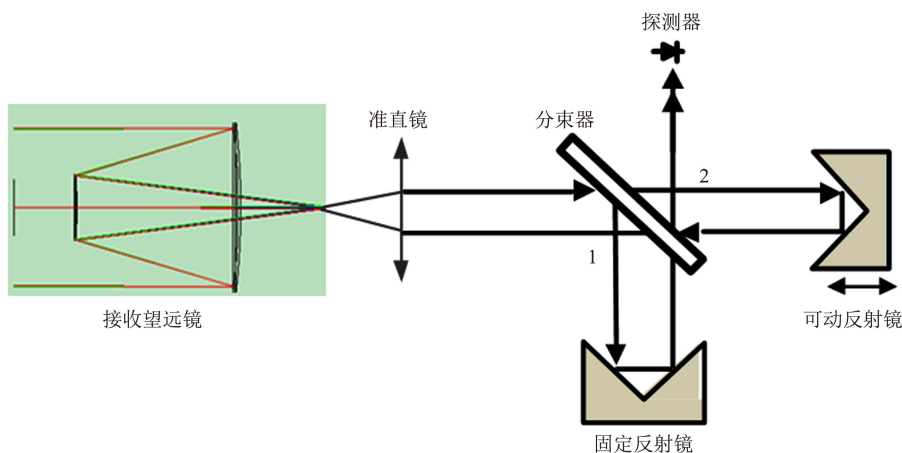


图4 干涉型光谱仪的基本光学结构

实现光谱分析。颇具代表性的有超分辨光谱仪, 其关键技术包括泵浦激光波长精细调谐技术和宽波段窄带光谱滤波技术, 核心部件是可调谐光源、调制器、光放大器以及偏振控制器。图 5 所示为典型散射型光谱仪的基本光学结构^[3-4]。其中, 超分辨光谱仪的指标水平极高, 在 O (1260~1360 nm)、C (1530~1565 nm)、L (1565~1625 nm) 等波段可以实现 0.08 pm 的光谱分辨带宽, 远超过其他类型的光谱仪。利用光纤受激布里渊效应实现光谱选频放大测量, 是一种新的光谱仪体制, 值得研究人员关注。国外已经发布了成熟的商业产品, 代表性企业是西班牙 Aragon Photonics Labs 公司。国内的华中科技大学已成功研制出了分辨带宽为 0.1 pm 的光谱分析仪。从散射型光谱仪的部分性能指标来看, 国内外水平相当, 但是国内在配套核心部件方面还存在很大不足。

2.4 荧光型光谱仪

荧光型光谱仪利用样品中含有的元素受激发后会发出特有能量的谱线荧光, 再通过检测系统实现光谱分析。它是重金属等材料成分检测的重要工具^[5]。常见的有 X 射线波长色散荧光光谱仪、X 射线能量色散荧光光谱仪和荧光分光光度计, 其关键技术包括光源设计制造技术和光学系统设计装调技术, 核心部件是 X 射线管和分光晶体(仅波长衍射型有此部件)。图 6 所示为典型荧光型光谱仪的基本光学结构。国外的代表性企业是日本岛津公司和日立公司。他们位居世界领先地位, 其产品采用

4 kW 薄窗 X 射线管, 并具备 250 μm 微区成像特有功能。国内有北京普析通用公司和天瑞仪器公司等, 其产品采用功率为 3 kW 的 X 射线管。从总体上来看, 国内在荧光型光谱仪领域与国际领先水平还存在较大差距, 尤其是在核心部件方面。

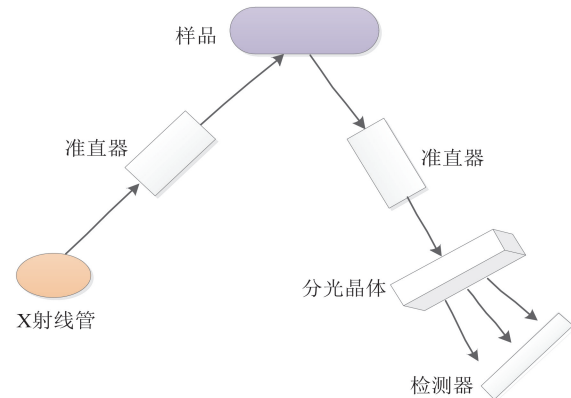


图 6 荧光型光谱仪的基本光学结构

2.5 滤光片型光谱仪

滤光片型光谱仪通过波长相关的渐变滤光片实现光谱分光, 其关键技术包括渐变滤光片扫描控制技术和光谱信号采样处理技术等, 核心部件是渐变滤光片和锁相放大器。图 7 所示为典型滤光片型光谱仪的基本光学结构。以色列 CI 系统公司在基于渐变滤光片的光谱仪方面处于领先地位, 其产品可在 1~14 μm 波段的光谱分辨带宽可以达到测量波长的 2%。在国内方面, 中电科仪器仪表有限公司研发出了 2~14 μm 的相关产品, 其光谱分辨带宽为测量波长的 2%。需要指出的是, 国内在核心部件——渐变滤光片的材料及工艺上还存在短板。

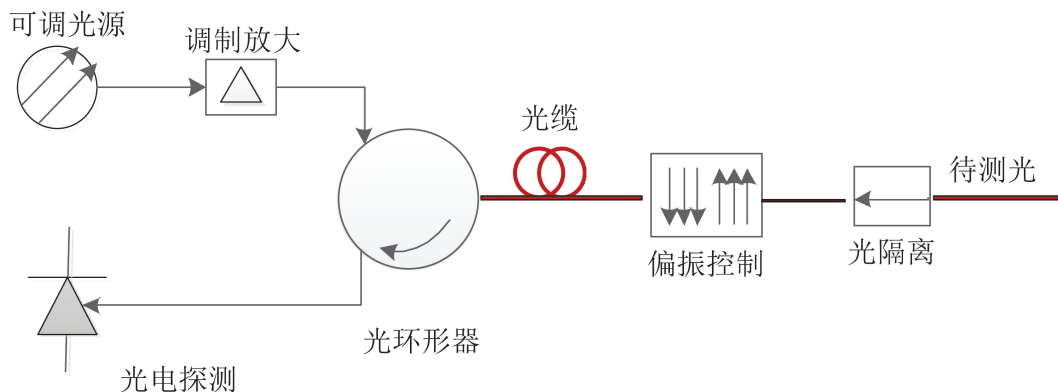


图 5 散射型光谱仪的基本光学结构

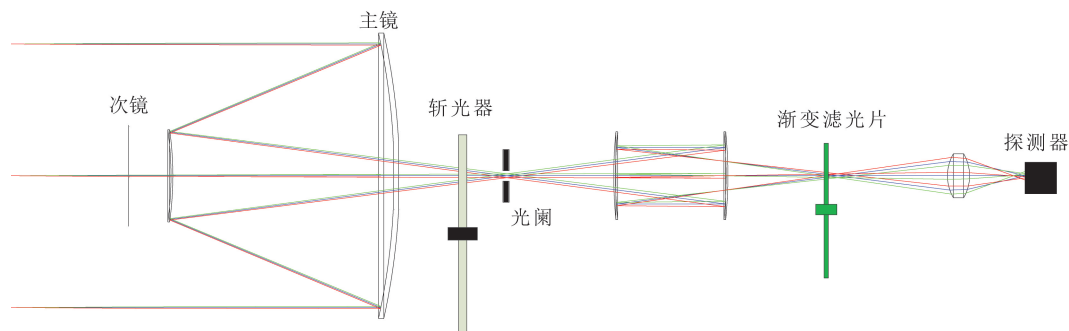


图 7 滤光片型光谱仪的基本光学结构

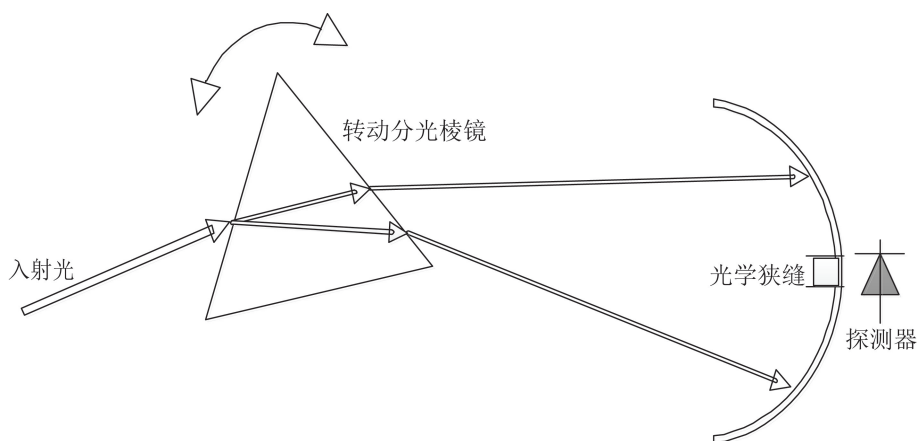


图 8 棱镜色散型光谱仪的基本光学结构

2.6 棱镜色散型光谱仪

棱镜色散型光谱仪基于棱镜波长色散实现光谱分光。这种技术出现较早，但是该类型光谱仪的性能也逐渐失去优势，目前市场占比很少，其关键技术包括色散棱镜设计加工技术和色散光路精密装调技术，核心部件是色散棱镜。图 8 所示为典型棱镜色散型光谱仪的基本光学结构。国外的代表性厂商是美国 ASD 公司，其产品的工作波段为 350~1025 nm，典型光谱带宽达到 3 nm，而国内则未见有相关仪器产品。

3 结束语

针对光谱仪本身的特点，本文提出了基于工作波长和分光技术原理的分类方法。在此基础上，综合调研和分析了国内外各类光谱仪的技术及产品现状，并用比较分析的方式给出了对比研究结论。该结论能够为光谱仪行业的研究人员提供一种全景的观察视角，同时也可

跟踪行业发展提供有价值的参考。

参考文献

- [1] 孟鑫, 李立功, 韩顺利, 等. 基于准 Littrow 结构的高动态近红外光谱仪研究 [J]. 光学学报, 2017, 37(10): 10300021-10300028.
- [2] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱仪 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] Sugavanam S, Fabbri S, Le S T. Real-time High-resolution Heterodyne-based Measurements of Spectral Dynamics in Filter Lasers [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 23152-23158.
- [4] Kim J, Kuzyk M C. None-reciprocal Brillouin Scattering Induced Transparency [J]. *Nature Physics*, 2016, 11(3): 275-280.
- [5] 胡波, 武晓梅, 余韬, 等. X 射线荧光光谱仪的发展及应用 [J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35(7): 696-706.