

VF921B 型地物光谱仪*

黄 鲁 洪 津 汪元钧 汪宗辉 张运杰 刘书珍 连翠华

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

摘 要

VF921B 型地物光谱仪是适用于野外测量的可见 / 近红外波段便携式光谱测量仪器。本文介绍了仪器的系统结构、工作原理和技术指标, 以及仪器的光学系统和模拟信号处理系统的电路原理; 同时阐述了软件的光谱处理功能, 并对仪器的测量误差进行了分析。

关键词 光谱仪, 光栅, 扫描驱动, 光学积分, 光谱处理

1 引 言

遥感领域中为了研究各种不同地物在野外自然条件下的可见和近红外波段反射光谱, 需要适用于野外测量的光谱仪器, VF921B 型地物光谱仪是中科院安徽光机所研制的测量 $0.4 \sim 1.05 \mu\text{m}$ 可见 / 近红外波段地物反射光谱的便携式仪器。由于该仪器技术性能优良, 使用方便, 已被多家科研、气象、海洋、地质、军工等部门购买, 用于获取地面物体的光谱数据、建立基础光谱数据库、支持遥感图像处理和目标光谱特性的研究工作。

2 系统组成与原理

2.1 系统组成

野外光谱仪器不仅要达到设计的光谱分辨率和信噪比, 还必须符合以下特点:

1) 省电, 要求蓄电池供电, 能连续测量 4 小时以上; 2) 体积小、重量轻, 可随身携带;

3) 测量时间短。

VF921B 型地物光谱仪的光机电系统围绕多元硅光二极管线阵探测器为核心进行设计, 采用多元探测器测量, 其优点是: 测量时间短、分光系统可采用固定光栅, 无须转动机构, 不仅体积小, 而且相应减少了电源功耗。仪器由光学头部和主控箱组成, 如图 1 所示。光学头部内安装光学系统和 256 元硅光二极管线阵探测器, 以及前放和线阵扫描电路, 主控箱中包括时序控制电路、线阵信号读出和程控放大电路、单片机采样系统、存储器、点阵液晶显示器 (LCD)、蓄电池和并行通讯接口等。

VF921B 光谱仪采用平面反射光栅构成的光学系统色散分光, 地物辐射经由光栅分光, 色散到 256 元硅光电二极管线阵探测器的各个单元上, 每个单元探测器将接收到的固定波长分量的分色光转换为电荷信号, 由线阵探测器的时序电路控制线阵扫描和信号读出, 串行读出探测器各元响应的积分电荷, 经程控放大后进行 12bit 精度的 A/D 模

* 本课题由 '中国遥感卫星辐射校正场' 项目资助

数转换, 得到由 256 个光谱波长点组成的目标辐射光谱特性曲线数据; 为提高仪器测量的信噪比, 将 16 条采样曲线相叠加形成 1 条光谱曲线, 存于带电保持 RAM 存储器中; 并行口的作用是将存储的光谱数据传输到计算机存盘。

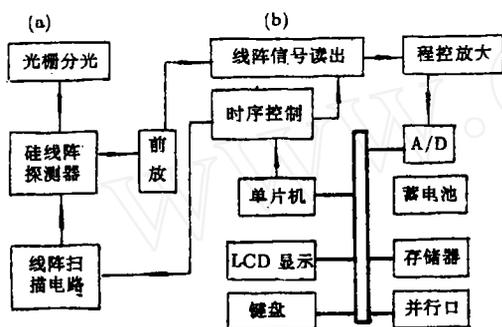


图 1 仪器结构方框图 (a) 光学头部; (b) 主控箱

2.2 光学系统

仪器的光学系统安装在光学头部中, 如图 2 所示, 由物镜 L1、场镜 L2、挡板 B、入缝 D、球面反射镜 M 和平面反射光栅 G 组成。场镜 L2 位于物镜 L1 的焦平面上, 并将物镜 L1 中心成像到入缝 D 中心, 其效果相当于入瞳 L1 与孔径光阑 D 重合, 使视场由长方形变成了圆形; 入缝 D 的宽度与探测器单个像元的大小相同, 球面反射镜 M 和光栅 G 构成水平非对称艾伯特多色仪, 入缝和硅光二极管线阵的光敏面位于球面反射镜的焦平面上, 球面反射镜起准直和成像双重作用; 由于多色仪的最佳谱面为圆柱面, 为获得平直谱面, 使光栅 G 表面到球面反射镜 M 顶点的距离等于球面反射镜焦距的 0.85 倍。根据衍射光栅的基本方程式 $b(\sin \alpha + \sin \beta) = k\lambda$ (式中 b 为光栅常数, α 、 β 分别为入射角和衍射角, $k = 1$ 为光谱级次, λ 为波长) 可知: 不同波长的分色光形成不同衍射角的平行光, 经球面镜 M 会聚到硅光二极管线阵探测器不同像元上,

多色仪色散为 2.7 nm/ 像元, 光谱区宽度为 0.4 ~ 1.05 μm ; 为消除光栅色散所产生的短波二级谱波的影响, 探测器窗口对应于长波分色光 ($> 0.7 \mu\text{m}$) 的区域贴有低截止波长约为 0.5 μm 的滤光片。

由于硅光电二极管线阵探测器存在与工作环境温度成正比的暗电流, 必须减去无入射光时探测器暗电流产生的本底信号, 才能正确得到与分色光光强成正比的光谱数据; 挡板 B 用于测量仪器本底时自动挡住入缝 D。

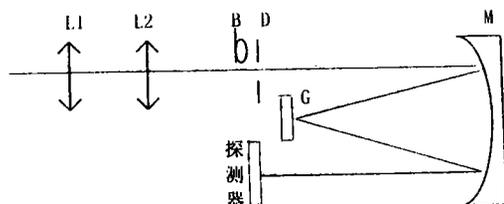


图 2 光路图

图 2 光路图

仪器测量时得到的是表征物体光谱辐射量和仪器光谱响应率的光谱测量数据, 将目标和参考板 (已知光谱反射率的漫反射板) 的测量数据相除, 即可消除仪器本身光谱响应的影响, 得到目标的光谱反射率曲线; 进行仪器响应率定标后, 能直接计算出目标光谱辐射的绝对量。

2.3 控制系统

仪器的控制系统包括探测器线阵时序控制电路、扫描电路、信号读出电路、程控放大、A/D 转换、8031 单片机系统、存储器和 LCD 点阵液晶显示器模块等。

探测器采用美国 EG&G 公司的 RL0256 SAQ 型 256 元硅光二极管线阵。光谱测量时, 分色光对线阵光敏窗口进行曝光, 光生电荷积分在每个单元硅光二极管的极间电容上; 在扫描电路发出的奇偶相时钟驱动下, 各个单元串行输出所产生的电荷, 电荷量与入射光强和光学积分时间成正比。信号读出电

路原理如图 3 所示, 其中的上、下积分电路, 用以消除探测器线阵各单元的电荷偏移, 将

探测器串行输出的信号恢复成与分光光强成正比的直流信号, 如图 4 所示。

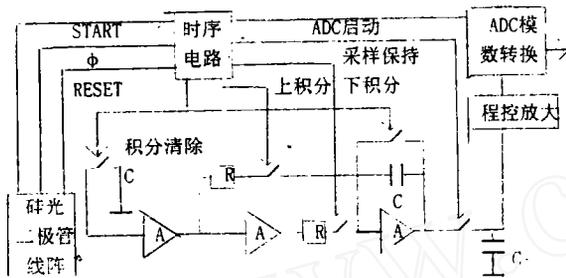


图 3 信号读出电路原理图

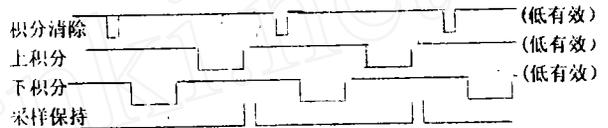


图 4 信号读出控制时序

2.4 技术指标

VF921 B 型地物光谱仪的主要技术指标如下:

- 光谱范围: 400 ~ 1050 nm
- 光谱分辨率: 优于 5.4 nm (256 元硅光二极管阵列, 每元光谱分布 2.7 nm)
- 视场角: ~ 10°
- 等效噪声辐照度: ~ 1 × 10⁻⁹ W · cm⁻² · nm⁻¹ · sr⁻¹ (550 nm, 光学积分单次 0.2 s)
- 动态范围: 增益及光学积分 > 35db
- 显示方式: 160 × 128 点阵液晶, 光谱曲线显示
- 连续测量时间: ≥ 4 h
- 仪器重量: ~ 6 kg

3 软件设计简介

3.1 仪器控制软件

仪器的控制软件用 8031 汇编语言编写。用仪器主控箱面板上的 LCD 点阵液晶显示菜单, 具有直观的人机界面, 主要功能有: 测量, 日期、时间、光谱号、增益、积分参数设置, LCD 液晶屏上光谱曲线显示, 与 PC 机并行通讯等。

3.2 计算机处理功能

计算机处理软件为用户提供了基本的光谱数据处理功能, 具有光谱处理、数据传输、数据转换和波长定标等功能。

光谱处理功能包括: 显示光谱曲线, 标

注曲线上的各波长及数值, 进行光谱曲线的加、减、乘、除运算和平滑, 打印屏幕曲线和数据;

光谱传输功能是通过并行口将 VF921B 中光谱曲线数据传输到 PC 机, 生成包含多条光谱曲线原始数据的 .DAT 文件;

数据转换功能是把包含多条光谱原始数据的 .DAT 文件分解成多个遵循规定数据格式的光谱文件, 以便光谱处理程序进行各种功能;

由光栅线色散公式 $Dl = kf / (d \times \cos \theta)$ 可知, 线阵探测器各单元上的波长分布不等。波长定标功能是由通过输入起始波长

和平均波长间隔，进行余弦修正运算确定各个探测器单元所对应的波长，生成波长数据文件；通过对测量的汞灯光谱特征谱线的比

对，生成的波长数据准确性优于 1.0 nm。

3.3 光谱曲线示例

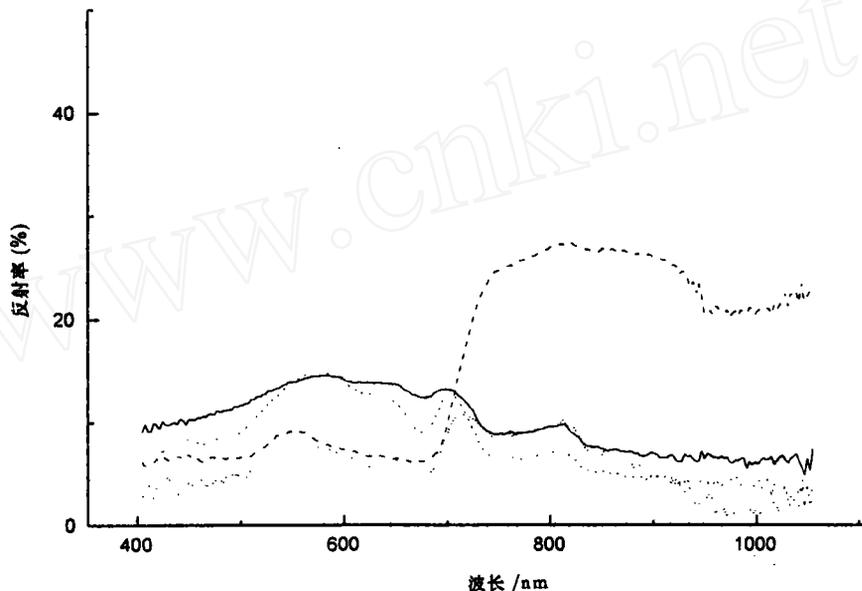


图 5 地物光谱仪获取的不同水体的光谱曲线
(红外反射率较高的曲线对应水体中含有浮游植物)

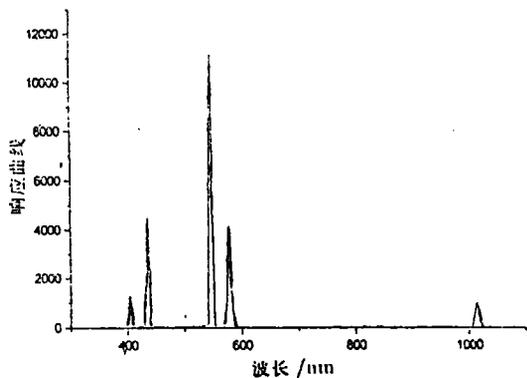


图 6 VF921B 测量的汞灯光谱响应曲线

4 仪器误差分析

光谱仪的波长准确性、光谱纯度和光度准确性决定了仪器测量精度。

由于仪器的光栅是固定式的，不存在波长重复性问题，通过余弦校正的波长定标可

使波长准确性优于 1 nm。但是由于实际测量同定标时环境温度不同，光学件定位机械的热胀冷缩导致了波长偏差，实验结果表明：当温差小于 20°C 时，波长误差小于一个单元探测器的波长分布 (2.7 nm)。

光谱纯度指光谱分辨率和杂散辐射的影响，取决于色散元件的分辨率和光学系统的质量，还与光路调试密切相关，要点是使入缝和硅光二极管线阵的光敏面位于球面反射镜的焦平面上，通过示波器监视线阵读出信号，以汞灯的特征谱线为指导将线阵光敏面调到最佳位置；为消除光栅的二级谱谱影响，在探测器对应 0.7~1.1 μm 波长位置，贴一低截止光学滤光片 (截止波长 0.5 μm)。

光度准确性取决于探测器和信号读出及放大电路的性能，另外电池电源安排、模拟

和数字电路的布线、接地对采集的光谱数据信噪比有较大影响；VF921B 的光谱测量数据重复性很好，对于一般野外地物峰值信噪比大于 1000，可测海水光谱；定标证明仪器的线性失真小于 2%。

5 结 束 语

VF921B 型地物光谱仪是在总结了“七五”国家攻关项目一“航空光谱辐射计”的研制经验基础上开发出来的，不仅信噪比高、使用方便，而且具有很高的性能价格比，已参加过多次大型野外遥感试验，为多家科研部门进行遥感基础研究和应用提供了手段，

并为研制短波红外便携式地物光谱仪积累了宝贵经验。

参 考 文 献

- 1 K.H. 塔拉索夫. 光谱仪器. 包学城译. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 2 胡玉禧. 应用光学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996
- 3 黄 鲁. HG-1C 型航空光谱辐射计. 安徽地质. 1997,1:18
- 4 EG&G RECTICON 公司. RL0256SAQ-011 说明书. USA:EG & G Co.,1996

Model VF921B Field Radiometer

*Huang Lu Hong Jin Wang Yuanjun Wang Zonghui
Zhang Yunjie Liu Shuzhen Lian Cuihua*

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica Hefei 230031)

Abstract

Model VF921B is a portable visible & near infrared field radiometer with grating and Si photodiode array. This paper introduces the global frame, the principle and the technical specifications of this radiometer. It explains the principle of optics system & analogous circuits, and expounds the functions of software of VF921B. This paper also analyses the instrumental errors.

Key words radiometer, grating, scanning driver, optical integration, spectrum process