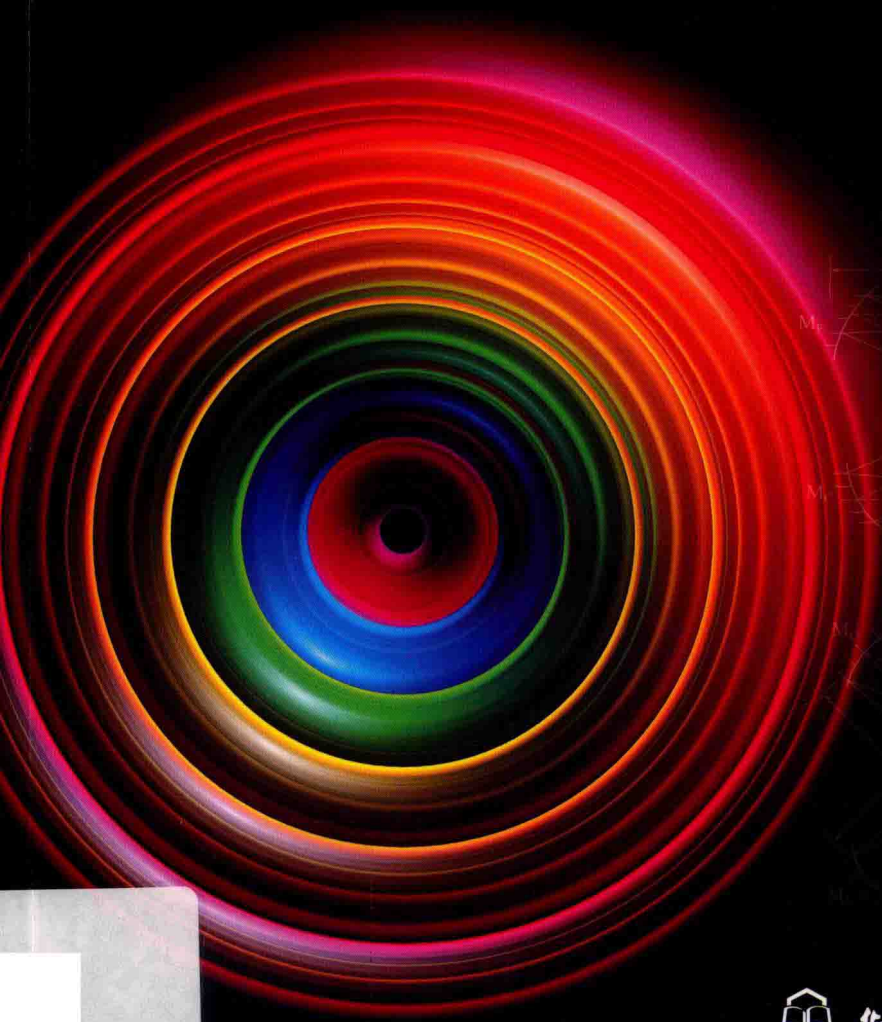


GUANGPUYI YUNDONG CHENGXIANG TUIHUA YU
FUYUAN JISHU YANJIU

光谱仪运动成像退化与 复原技术研究

王晓燕 著



化学工业出版社

GUANGPUYI YUNDONG CHENGXIANG TUIHUA YU
FUYUAN JISHU YANJIU

光谱仪运动成像退化与 复原技术研究

王晓燕 著



化学工业出版社

· 北京 ·

高光谱成像技术作为一种新型对地观测技术,能够同时获取地物目标的几何图像和波谱信息,在航天航空、医学影像、军事等领域具有良好的应用前景,目前是国内外研究的前沿与热点。本书主要介绍了光谱成像技术、光谱仪的分类和作用原理、光谱仪器在航天卫星上的应用环境、光谱仪在轨动态成像模型、卫星平台的振动规律及仿真、高光谱图像的退化和复原,以及光谱图像处理的一体化软件及其应用实例、高光谱技术存在的问题及解决途径等内容。

本书可供光学仪器、光学图像处理、模式识别等行业的科研与技术开发人员以及高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

光谱仪运动成像退化与复原技术研究/王晓燕著. —北京:化学工业出版社, 2018.11

ISBN 978-7-122-33019-2

I. ①光… II. ①王… III. ①遥感图像-图像处理-研究 IV. ①TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 214100 号

责任编辑:冉海滢 咎景岩 刘 军
责任校对:宋 夏

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:中煤(北京)印务有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张9¼ 字数208千字 2018年12月北京第1次印刷

购书咨询:010-64518888 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。



定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

高光谱遥感是当前遥感技术的前沿领域。地球上不同的元素及其化合物都有自己独特的光谱特征，光谱因此被视为辨别物质的“指纹”，是用以识别和分析不同物体特征的一种重要的“身份证”。成像光谱仪技术起源于 20 世纪 70 年代初期的多光谱遥感的应用，是一种结合成像技术和光谱技术的新兴领域。成像光谱仪能够同时获取待测目标的空间信息和光谱信息，具有“图谱合一”的优势。1983 年，世界上的第一台成像光谱仪 AIS-1 在美国喷气推进实验室研制成功，并在矿物填图、植被化学、大气水分等方面的研究中取得成功，显示出巨大的生命力和发展潜力。随后世界上许多国家如法国、德国、日本、加拿大、澳大利亚和中国等，均投入大量人力物力进行成像光谱仪技术的研究，取得了大量成果。目前，成像光谱仪技术主要应用在航空航天遥感领域，搭载于航天器上的成像高光谱仪载荷代表了这项技术的最高水平，并且引领其发展方向。2018 年 5 月 9 日 2 时 28 分，我国在太原卫星发射中心用长征四号丙运载火箭成功发射高分五号卫星。高分五号卫星是高分专项的重要组成部分，标志着我国实现高光谱分辨率对地观测的能力，掌握高光谱遥感信息资源自主权，对建设现代化强国具有重要意义。

高分辨力对地观测系统在载荷运动成像时，平台非理想运动导致遥感影像质量退化，难以实时获得高分辨力高精度的遥感影像，严重时甚至无法成像。准确了解遥感影像的退化机理并进行理想的抑制与补偿，是目前亟需解决的问题之一。

本书对色散型成像光谱仪在轨运动成像退化机理及高精度补偿进行了深入的探讨，主要包含以下几个方面：根据色散型成像光谱仪的结构原理，从光学成像、探测、重建和显示等四个模块建立了色散型光谱仪整体模型，介绍了卫星平台振动对色散型成像光谱仪光谱成像质量影响的研究，介绍了振动模糊高光谱数据复原技术研究，最后集成了色散型成像光谱仪运动成像退化、光谱数据复原校正和光谱质量评价于一体的光谱仪运动误差分析与计算的系统软件。

高光谱遥感是当前遥感技术的前沿领域，能够有效探测和精细识别观测目标的光谱特性，对遥感事业发展具有重要推动作用。近年来随着遥感技术和应用迅猛发展，高光谱遥感的相关研究逐步向更高层次的光谱分辨率、空间分辨率和多维集成方向发展，并广泛应用于遥感科学、辐射定标、农业遥感、环境遥感、林业监测、地质勘查、土壤遥感、水体遥感、大气科学、材料研究以及伪装识别等众多研究领

域。本书所述的研究工作主要是对高光谱遥感的重要设备——色散型光谱仪在轨运动成像退化、光谱数据复原和解混等做了系列的建模和分析，希望对研究高光谱对地观测和光谱数据测量、处理的学者有启示和借鉴作用。

本书所述的研究工作开始于作者在博士期间的研究，此项研究最终能够成功，离不开导师倪国强教授的亲切关怀和悉心指导。在北京物资学院工作的几年间，作者将研究内容不断地进行丰富和完善，最终形成了这本著作。在此期间，领导和同事给予了指导和帮助，并提出宝贵的修改意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者学识水平有限，书中难免有疏漏与不足之处，请各位专家和学者指正。

王晓燕
2018年7月

第 1 章 绪论 / 001

- 1.1 高分辨力对地观测 / 001
- 1.2 成像光谱技术现状 / 002
 - 1.2.1 成像光谱技术及其发展 / 002
 - 1.2.2 航天光学遥感成像技术的复杂性 / 008
 - 1.2.3 色散型成像光谱仪概况 / 009
 - 1.2.4 高光谱运动模糊图像复原 / 011
 - 1.2.5 高光谱数据质量评价 / 014

第 2 章 光谱仪光学系统的相关理论 / 019

- 2.1 引言 / 019
- 2.2 成像光谱仪分光技术 / 020
 - 2.2.1 成像光谱仪分光技术种类 / 020
 - 2.2.2 光栅色散型成像光谱仪光学系统 / 020
- 2.3 光栅色散型成像光谱仪的色散原理 / 023
 - 2.3.1 角色散 / 025
 - 2.3.2 线色散 / 025
 - 2.3.3 闪耀光栅 / 025
- 2.4 成像光谱仪光学系统的像差 / 027
 - 2.4.1 像差理论 / 027
 - 2.4.2 宽波段成像时的像面离焦 / 031
 - 2.4.3 谱线弯曲 / 032
- 2.5 成像光谱仪的主要性能指标 / 034
 - 2.5.1 光谱分辨力 / 034
 - 2.5.2 空间分辨力 / 038
- 2.6 成像光谱仪的工作原理 / 039

第 3 章 色散型光谱仪建模及卫星平台振动信号仿真 / 041

- 3.1 引言 / 041
- 3.2 色散型成像光谱仪 / 041
- 3.3 色散型成像光谱仪静态整体建模与分析 / 043
 - 3.3.1 色散型成像光谱仪整体模型 / 043
 - 3.3.2 色散型成像光谱仪的调制传递函数 / 046
- 3.4 色散型成像光谱仪在轨动态建模与仿真 / 047
 - 3.4.1 物空间到像空间的坐标变换 / 047
 - 3.4.2 色散型推扫光谱仪在轨动态成像模型 / 049
 - 3.4.3 光谱仪动态成像仿真 / 051
- 3.5 卫星平台振动规律及其振动信号仿真 / 056
 - 3.5.1 卫星平台的姿态 / 056
 - 3.5.2 卫星平台的振动来源 / 058
 - 3.5.3 卫星平台振动模型及仿真 / 059

第 4 章 卫星平台振动对色散型光谱仪光谱成像质量的影响分析 / 063

- 4.1 引言 / 063
- 4.2 平台振动引起狭缝像点的运动 / 063
 - 4.2.1 俯仰振动 / 066
 - 4.2.2 侧滚振动 / 067
 - 4.2.3 偏航振动 / 069
 - 4.2.4 综合振动 / 070
- 4.3 振动对光谱成像质量的影响 / 071
 - 4.3.1 对像质的影响分析 / 071
 - 4.3.2 对光谱的影响分析 / 073
- 4.4 光谱数据仿真分析 / 078
 - 4.4.1 微分动态成像仿真方法 / 078
 - 4.4.2 卫星平台振动光谱数据仿真分析 / 081
 - 4.4.3 谐波振动的光谱数据仿真分析 / 087

第 5 章 振动模糊高光谱数据复原 / 090

- 5.1 引言 / 090
- 5.2 运动模糊高光谱数据复原模型 / 090

- 5.3 振动模糊图像的点扩散函数 / 092
 - 5.3.1 卫星平台振动模糊图像的点扩散函数 / 092
 - 5.3.2 谐波振动模糊图像的点扩散函数 / 093
 - 5.3.3 高频振动图像的方向及振幅检测 / 095
- 5.4 基于动态混沌扰动遗传算法的高光谱图像复原 / 101
 - 5.4.1 遗传算法 / 101
 - 5.4.2 混沌扰动 / 102
 - 5.4.3 混沌遗传算法 / 103
- 5.5 混沌遗传算法在高光谱数据复原中的应用 / 106
 - 5.5.1 卫星平台振动模糊高光谱数据复原 / 107
 - 5.5.2 平台谐波振动模糊高光谱数据复原 / 110
 - 5.5.3 高频振动模糊高光谱数据复原 / 112

第 6 章 色散型光谱仪系统软件设计 / 115

- 6.1 引言 / 115
- 6.2 需求分析 / 115
- 6.3 色散型成像光谱仪系统软件的基本功能 / 116
 - 6.3.1 数据读取 / 117
 - 6.3.2 光谱重建 / 119
 - 6.3.3 光谱数据运动退化 / 120
 - 6.3.4 光谱数据复原 / 124
 - 6.3.5 光谱数据质量评价 / 126

第 7 章 光谱遥感大数据的应用 / 129

- 7.1 高分辨遥感数据在环境调查和资源中的应用 / 129
- 7.2 高分辨遥感数据在灾害监测预报中的应用 / 130
- 7.3 小结和展望 / 135

参考文献 / 138

第1章

绪 论

1.1 高分辨力对地观测

随着认识地球、研究地球的深入,人类逐渐将视点从地面、低空扩展到太空,对地球的观测的连续性、快速性、精确性等提出了更高的要求。高分辨力对地观测随之进入人类的视野,它们“身怀绝技”,能够更全面、更清楚、更深刻地了解地球和周围的环境,成为人类在太空安装的高效“监控眼”。高分辨力对地观测在军用和民用上都有广阔的应用市场。我国也一直在大力发展高分辨力对地观测卫星。成像光谱仪就是高分辨力对地观测的一种重要设备,能够同时获取待测目标的空间信息和光谱信息,具有“图谱合一”的优势。本研究来源于国家重点基础研究发展计划(973计划)对地观测与导航领域“高分辨力对地观测系统中的高精度实时运动成像基础研究”重大项目(项目编号:2009CB724005)的子课题“高光谱成像运动误差形成机理分析与高精度实时校正”。围绕科学问题“遥感图像退化的高精度实时抑制与补偿”开展研究,针对不同类型的典型高光谱成像仪、成像环境及平台特性,进行动态误差溯源,分析高光谱成像误差形成机理与分布规律,研究基于平台运动误差估计的高光谱成像实时几何误差校正与补偿、高精度光谱图像复原的理论与方法,为实现高精度实时高光谱对地观测奠定理论基础。

成像光谱仪(imaging spectrometer)为每个像元提供数十至数百个窄波段(通常波段宽度 $<10\text{nm}$)的光谱信息,能产生一条完整而连续的光谱曲线。成像光谱仪将观测到的各种地物以完整的光谱曲线记录下来,记录的光谱数据能用于多学科的研究和应用中。从成像光谱仪的连续影像上,可以获取连续的光谱信息,这是高光谱遥感数据与常规遥感数据的主要区别。

高光谱成像技术作为一种新型对地观测技术,能够同时获取地物目标的几何图像和波谱信息,真正实现成像仪和光谱仪的集成,可以有效地实现地物物化属性的反演,提高地物的分类、识别精度,揭露伪装、降低虚警率,在诸多领域得到了广泛的应用。作为一种运动成像载荷,高光谱成像仪对地观测过程中一系列的内在和外在误差——特别是平台运动误差将极大地影响其数据质量,增加遥感数据的不确定性,降低了光谱探测、识别、分类的精度。如何有效地分析仪器对地观测过程中的动态误差分布,建立数据质量与运动误差体系之间的表征模型,构建高精度光谱成像遥感的理论支撑体系,是实现高精度实时光谱成像对地观测的重要保障。面对日益丰富的空间影像信息来源,深入地研究高时空分辨率遥感成像的技术,提高遥感图像的质量,已成为当前遥感、数字摄影测量、地理信息系统及相关科学的重点研究领域。

在各种环境因素和载体内部干扰的共同作用下,载荷平台不能保持理想运动状态,致使载荷像质严重退化,甚至无法成像。必须对图像进行运动补偿才能实现遥感载荷的高精度实时运动成像。在光谱仪推扫过程中,载体的姿态一旦发生变化,如侧滚(roll)、俯仰(pitch)、偏航(yaw)等,探测器接收到的图像信号就会发生像点漂移、模糊、变形、像素混叠,造成图像质量下降、光谱信息失真或调制度降低,甚至使仪器无法正常工作。因此,针对卫星姿态变化对光谱图像的影响,研究光谱图像的校正算法,才能保证最终反演出的物体光谱的真实性。所以光谱图像复原校正技术的研究具有非常重要的意义,它是高光谱成像系统实用化的关键技术。此外,高光谱成像系统的独创性,也赋予了光谱图像校正技术的特殊性及复杂性。

1.2 成像光谱技术现状

随着人类对自然界地物光谱的了解和对光谱偏移规律的认识不断深入,探查自然环境的手段发展到了一个新的领域——成像光谱技术。由于成像光谱技术能够获得探测目标较丰富的空间和光谱信息,因此在航天和航空遥感、军事探索识别、环境监测和资源勘探等方面具有广阔的应用前景^[1,2]。光谱技术的发展提高了遥感的量化水平,丰富了地球科学的研究手段和人们对地球资源环境的认知能力^[3,4]。

1.2.1 成像光谱技术及其发展

成像光谱技术又称为高光谱分辨率遥感技术(hyper-spectral remote sensing)^[5],它是集光学、光谱学、精密仪器、电子技术和计算机技术于一体的高新技术^[6],其理论基础是地表物质与电磁波的相互作用及其所形成的光谱辐射特

性,包括光谱反射、投射、吸收及发射等特性。与传统的遥感相比,高光谱成像技术将传统的二维成像遥感技术和光谱技术有机地结合在一起,在获得被测物空间信息的同时,提供每个像元数十至数百个窄谱段($<10\text{nm}$)的光谱信息,从而产生一条完整而连续的光谱曲线^[7]。图1-1展示了成像光谱仪的数据结构特点,还列举了光谱数据中记录的不同地物的光谱曲线。

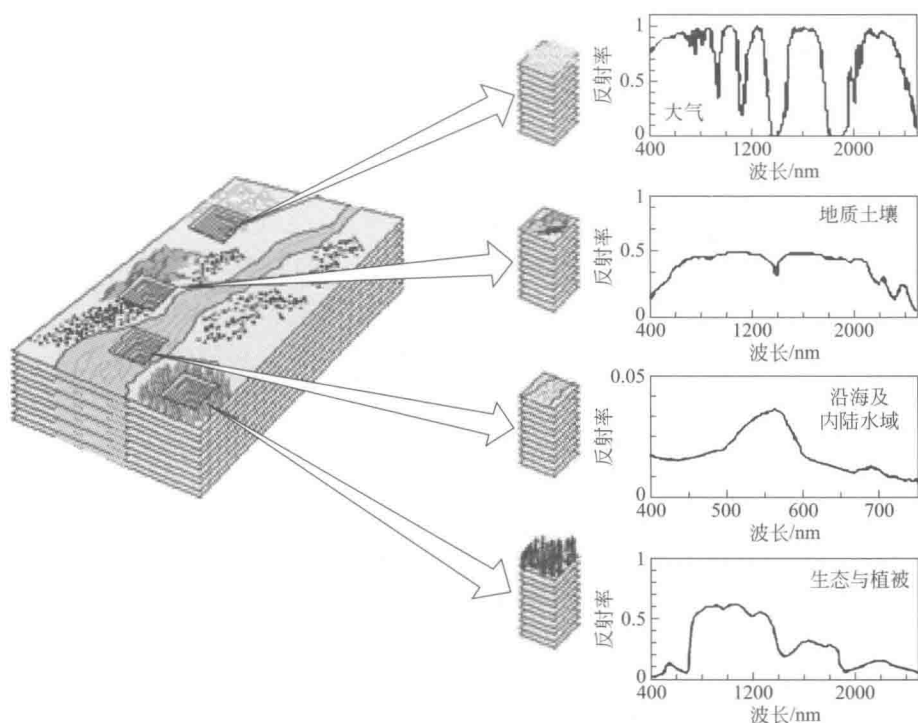


图 1-1 成像光谱仪的数据结构特点

成像光谱仪技术是 20 世纪 70 年代末首先在美国发展起来的,由于当时其应用具有一定的军事色彩,因此发展非常迅速,当时的研究工作主要集中在加州理工大学和美国国家航空航天局(NASA)的喷气推动实验室(JPL)^[8]。它的发展主要经过了以下几个阶段^[9]:

- ① 成像光谱概念的提出(1980—1982);
- ② 航空成像光谱仪研制成功和实验应用(1982—1985);
- ③ 新一代成像光谱仪的发展和完善阶段(1985—1990);
- ④ 成像光谱遥感全面发展阶段(1990—1997)。

按照光谱分辨率的不同,成像光谱技术可以分为以下三种类型^[10,11]。

(1) 多光谱成像仪 光谱分辨率一般在几十个谱段以内,谱段少,谱段带宽窄,光谱范围 $0.4\sim14\mu\text{m}$, 光谱分辨率 $\Delta\lambda/\lambda\approx0.1$, 如 AVHRR、TM、HRV 等。

(2) 超光谱成像仪 光谱分辨力一般在几百个谱段以内，谱段带宽窄，应用时经常采用可编程选择谱段数和带宽，使光谱分辨力和谱段能达到要求，光谱分辨力 $\Delta\lambda/\lambda\approx0.01$ 。如 MERIS、ROSI、PRISM、VIMS、HIS、COIS 等。

(3) 超高光谱成像仪 光谱分辨力超过 1000 个谱段，光谱分辨力 $\Delta\lambda/\lambda\leq0.001$ ，主要用来研究气体的化学组成。如 ATOMS、AES、TES 等。

成像光谱仪技术分类方法很多，从原理上还可以分为色散型、干涉型和计算层析型，如图 1-2 所示^[12]。

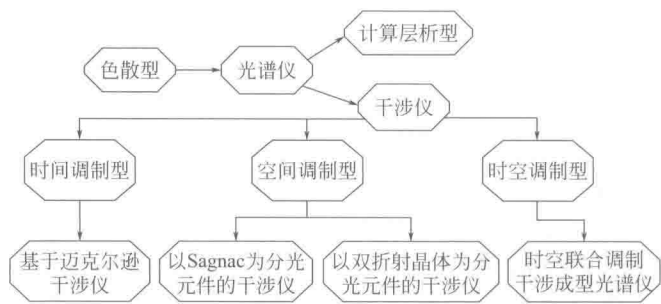


图 1-2 成像光谱仪技术分类

色散型成像光谱仪技术出现较早，技术比较成熟，是最实用的成像光谱仪之一^[13]。色散型成像光谱仪中的关键分光器件为棱镜、光栅和棱镜光栅混合型。棱镜类型包括：简单三棱镜、李特洛棱镜、科纽棱镜、直视光谱棱镜、阿贝恒偏向棱镜、瓦茨沃斯棱镜系统和阿贝棱镜系统，光栅的形式一般包括凸面光栅、凹面光栅、平面光栅以及阶梯光栅。色散型光谱仪原理及光路图如图 1-3 所示。

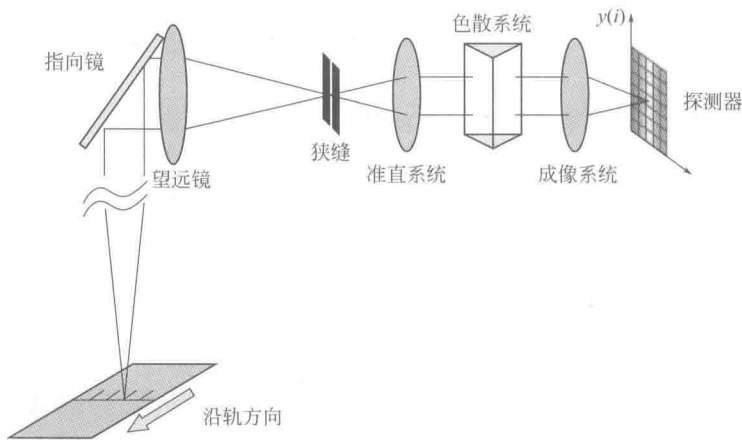


图 1-3 色散型光谱仪原理及光路图

色散型成像光谱仪的分辨力受到狭缝宽度的限制,中等空间分辨力光谱仪的光谱分辨力很难做到 5nm 以下,高空间分辨力的色散型光谱仪的光谱分辨力可以很高,但是光通量很低,信噪比也低。计算层析型光谱仪处于理论和方法的研究阶段,短时间很难实用化。干涉型成像光谱仪按照干涉调制原理,可以分为时间调制型(temporarily modulated),空间调制型(spatially modulated)和时空联合调制型(temporarily-spatially modulated),是通过测量所有谱线元的干涉强度,对干涉图进行傅里叶变换^[14,15],得到目标的光谱。典型的时间调制型干涉成像光谱仪是迈克尔逊干涉仪,其光路图如图 1-4 所示。空间调制干涉仪典型的有 Sagnac 空间调制干涉仪和双折射晶体干涉仪,其结构原理及光路图分别如图 1-5、图 1-6 所示。时空联合调制干涉光谱仪原理及光路图如图 1-7 所示。

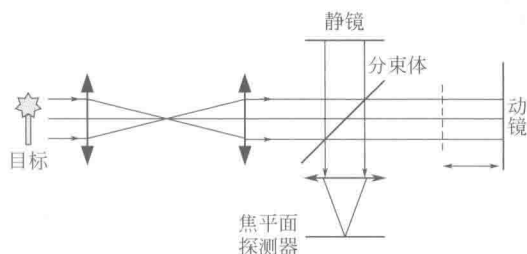


图 1-4 迈克尔逊干涉仪光路图

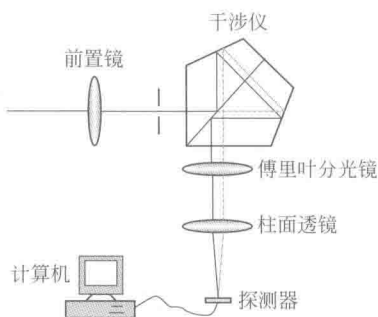


图 1-5 Sagnac 空间调制干涉仪结构原理及光路图

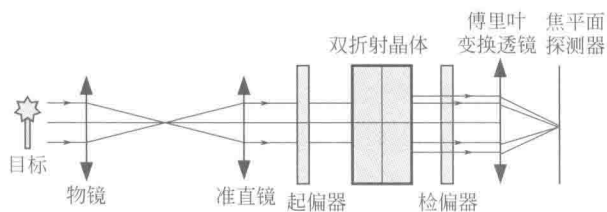


图 1-6 双折射晶体干涉仪结构原理及光路图

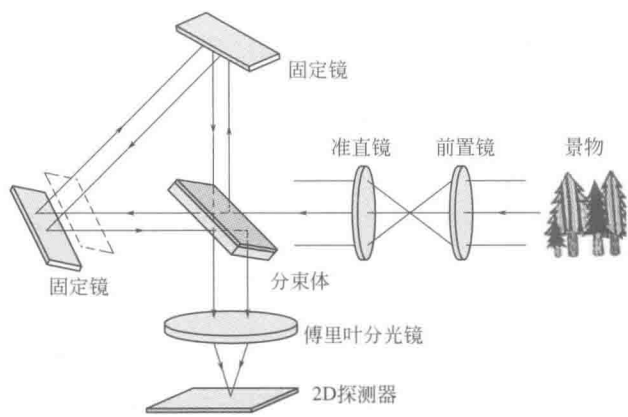


图 1-7 时空联合调制干涉光谱仪原理及光路图

由于光谱仪能够获得被测目标的空间信息和丰富的光谱信息，在航天遥感、农业和环境方面均具有很重要的应用价值^[3,16]，因此世界各国都投入大量的物力、人力和财力研制高分辨力的超光谱成像仪。1983 年，世界上第一台成像光谱仪 AIS-1 (Aero Imaging Spectrometer-1) 在美国喷气推进实验室研制成功。此后，美国的航空机载可见光红外成像光谱仪 (AVIRIS)、加拿大的荧光成像光谱仪 (FLI) 和小型机载成像光谱仪 (AIS)、美国 DEadalus 公司的 MIVIS、芬兰的机载成像光谱仪 (DAISA)、德国的反射式成像光谱仪 (ROSIS) 等又相继被研制出来。

目前正在研制的高分辨成像光谱仪较多^[17~23]，主要有美国海军 NEMO (Naval Earth Map Observe) 计划中的海岸带海洋成像光谱仪 COIS (Coastal Ocean Imaging Spectrometer)、美国 EO-1 卫星上的高陆成像仪 ALI (Advanced Land Imager)、欧空局 (欧洲太空局) PROBA 小卫星上的小型高分辨力成像光谱仪 (Compact High Resolution Imaging Spectrometer, 简称 CHRIS) 等。另外澳大利亚和加拿大等国也加入了研制高分辨光谱成像仪的行列。最近几年也有多台高分辨力的成像光谱仪发射^[24]，如表 1-1 所示。

国内高分辨力成像光谱仪的研制工作与欧美等国家同步，近年来取得了巨大的进展。2002 年 3 月，我国发射的第三艘试验飞船——神舟三号搭载了我国自行研制的中分辨力成像光谱仪，它是继美国 EOS 计划的 MODIS 之后，与欧洲环境卫星上的 MERIS 同时进入轨道的同类光谱仪器。2007 年 10 月 24 日，我国的嫦娥一号搭载了由西安光学精密机械研究所 (简称“西安光机所”) 研制的我国第一台傅里叶变换干涉成像仪。2008 年 9 月 6 日，我国发射的环境与减灾小卫星 (HJ-1-A) 搭载了西安光机所研究的星载调制干涉型超光谱成像仪。截至目前，该仪器已顺利在轨运行将近 3 年，其获取的数据已在灾害检测、环境评估、资源调查、土地分

类、农业林业等领域发挥了重要的作用^[25]。

表 1-1 世界各国研制的高分辨力成像光谱仪的主要性能指标

仪器	HSI	HRIS	CHRIS	COIS	HYPERION
研制国家或单位	美国	欧洲太空局	中国	美国 NRL	美国 EO-1
卫星高度/km	523	800	400	605	705
扫描方式	面阵推扫	面阵推扫	面阵推扫	面阵推扫	面阵推扫
地面分辨力/m	30,PAN 5	40	20	30,PAN 5	30
幅宽度/km	768,PAN 129	30	16	30	96
像元数	256	768	800	1024	320
光谱范围/ μm	VNIR 0.43~1.0 SWIR 0.9~2.5 PAN 0.48~0.75	VNIR 0.45~1.0 SWIR 1.0~2.35	VNIR 0.43~1.03 SWIR 1.0~2.4	VNIR 和 SWIR 双光谱仪 0.4~2.5 PAN 0.49~0.69	0.4~2.5
光谱分辨力/nm	VNIR:5 SWIR:6	10	VNIR:10 SWIR:20	10	10
谱段数	384	192	120	210	315
焦距/m	1.048	0.6	0.6	0.36	
F 数	8.3	3	3	3	
探测器	CCD(PAN) CCD,HgCdTe	CCD,HgCdTe	CCD,HgCdTe	CCD,HgCdTe	
帧频/Hz	240	175	360	230	
数据率/Mbps	30(PAN) 283(MS)	272(12bit) 下传<100	346(12bit) 下传<100	290(12bit)	383(12bit)
重量/kg	39	<300 设计 217.2	<300 设计 230	<61	55
外形尺寸/cm	80×43×70	110×123×87	160×60×70	100×90×15	0.23m ³
功耗/W	67	<300	<200	<90	75

2018 年 5 月 9 日 2 时 28 分，我国在太原卫星发射中心用长征四号丙运载火箭成功发射高分五号卫星（图 1-8）。高分五号是世界首颗实现对大气和陆地综合观测的全谱段高光谱卫星，也是我国光谱分辨率最高的卫星，设计寿命 8 年，装载 2 台全新研制的陆地观测载荷和 4 台全新研制的大气类观测载荷。这 6 大载荷“神器”让高分五号卫星练就了“火眼金睛”。高分五号卫星与此前发射的高分一号、二号、四号卫星有所不同。光学成像只能看到物质的形状、尺寸等信息，高分五号卫星具备的光谱成像技术，可使光谱与图像结合为一体，探测物质的具体成分。高分五号卫星将填补国产卫星无法有效探测区域大气污染气体的空白，通过对大气污

染气体、温室气体、气溶胶等物理要素的监测，动态反映我国大气污染状况。同时，高分五号卫星还可对内陆水体、陆表生态环境、蚀变矿物、岩矿类别进行探测，为我国环境监测、资源勘查、防灾减灾等行业提供高质量、高可靠性的高光谱数据。高分五号卫星谱段范围宽、光谱分辨率高，可实现紫外至长波红外谱段的高光谱观测。其中，可见短波红外高光谱相机的可见光谱段光谱分辨率为 5nm，相当于一张纸厚度的万分之一。高分五号卫星探测手段丰富，具有高光谱/多光谱对地成像观测、多角度观测等探测手段，是国内探测手段最多的光学遥感卫星，工作模式多达 26 种。此外，该星定标精度高，星上载荷光谱定标精度达 0.008 波数，为国内卫星之最。就像一把尺子是否准确需要标校一样，高精度定标是高光谱卫星量化应用的基础，是卫星探测信息准确不失真的重要保证。



图 1-8 高分五号卫星发射

高分辨力对地观测系统重大专项（简称“高分专项”）的实施大幅度提升了我国民用遥感卫星技术水平，使低轨卫星空间分辨率由实施前的最高 2.1m 提高到 0.8m，地球同步遥感卫星分辨率由千米级提高到 50m，低轨遥感卫星设计寿命由 3 年大幅提高到 8 年。在卫星数据应用方面，高分专项突破了数据遥感政策、共性关键技术、数据与资源共享、服务创业平台等方面的管理技术瓶颈，为卫星数据应用和推广扫清了障碍。目前，高分卫星数据已在 20 余个行业、30 个省（自治区、直辖市）得到广泛应用，成为相关部门主体业务不可或缺的手段，有力支撑了各级政府治理能力和治理体系现代化，在军民融合发展战略、“一带一路”倡议、精准扶贫中发挥了重要作用。在国际合作方面，高分专项成为中国航天国际交流与合作的新名片，为推进“一带一路”空间信息走廊实施、金砖五国遥感卫星星座及亚太空间合作组织多任务小卫星星座建设奠定了坚实基础。

1.2.2 航天光学遥感成像技术的复杂性

航天光学遥感成像主要是依靠航天器（包括卫星、航天飞机、载人航天器和载

人空间站等)载体平台上安装的对地观测设备,如成像雷达、成像光谱仪和大型相机观测系统等,来获取大量的图像信息^[26]。空间光学成像遥感器具有成像直观,图像便于利用、对比、分析和存储等优点,提供大量的信息,在社会的各个领域都具有广阔的应用前景和巨大的发展潜力,对国防和经济建设起到十分重要的作用。

航天光学遥感器在200~10000km的轨道上对地面目标进行成像,影像的分辨力不仅受航天光学遥感器本身性能的限制,还受到运载平台控制技术,轨道设计,太阳、地球、大气、目标等特性,星上振源等多种因素的影响,因此,要实现航天光学成像遥感器影像的高分辨力,必须解决好影响分辨力的各个问题。

就目前的研究看,按照航天器的状态,一般分两种情况研究,一种是考虑航天器在进入空间环境的运载过程中,受到冲击、挤压、过载和随机振动等激励,使得航天器与光学遥感器之间的装调关系发生改变,从而影响遥感器影像质量,一般运载阶段的振动、冲击对光学遥感器和航天器的影响通过分析和地面试验能够加以解决。一种是航天器在轨运行阶段,航天器处于自由状态,只受到微小的重力,轻微的外力就使得航天器的动量发生改变和姿态发生改变,并且空间干扰源多,涉及的范围广,随机性大,例如:太阳帆板调姿,航天器调姿和动量轮调姿,空间碎片的撞击等,无法用地面试验模拟解决。因此,在轨各种干扰因素对影像质量的影响规律一直备受关注。参考文献[27~29]中论述了摆镜摆动、磁带机运转、太阳帆板振动对CCD相机成像的影响。文献[30~32]分析了颤振、随机振动对TDICCD相机成像质量的影响,对TDICCD相机动态成像质量进行了分析。文献[33,34]分析了卫星平台姿态抖动对时空联合调制干涉成像光谱仪和大孔径静态干涉成像光谱仪的成像质量的影响。从资料上看,美国和俄罗斯在积累同类型航天器经验的基础上,通过分析大量的实验数据来解决这一问题^[35~37],耗费了大量的人力、物力和财力,取得了一定的成绩,但是没有从根本上解决问题。

1.2.3 色散型成像光谱仪概况

色散型成像光谱仪是一种采用光栅或者棱镜分光的一种光谱仪器。复合光经过仪器介质时,不同波长的光有不同的折射率,复合光被色散元件按光波依次分离,探测器逐波段进行图像采集。色散型光谱仪结构简单,技术成熟,不会产生几何失真,缺点是色散中心波长易产生漂移,光通量受到狭缝的限制,使得中等空间分辨力的色散型光谱的光谱分辨力很难做到5nm以下,在高空间分辨力的色散型光谱中,光谱分辨力可以很高,但光通量低使得图像的信噪比也很低。

色散型成像光谱仪按照其探测器的结构,可分为线阵与面阵两大类,分别称为摆扫型成像光谱仪和推扫型成像光谱仪^[38,39]。线阵列摆扫型成像光谱仪结构原理如图1-9所示,此种成像光谱仪的代表有AVIRIS、MODIS-N等;面阵列推扫型成像光谱仪结构原理如图1-10所示,代表有AIS、HRIS、HIS、MODIS-T等。