

科学出版社
出版
中国地理学会环境遥感分会
中国科学院遥感与数字地球研究所
主办

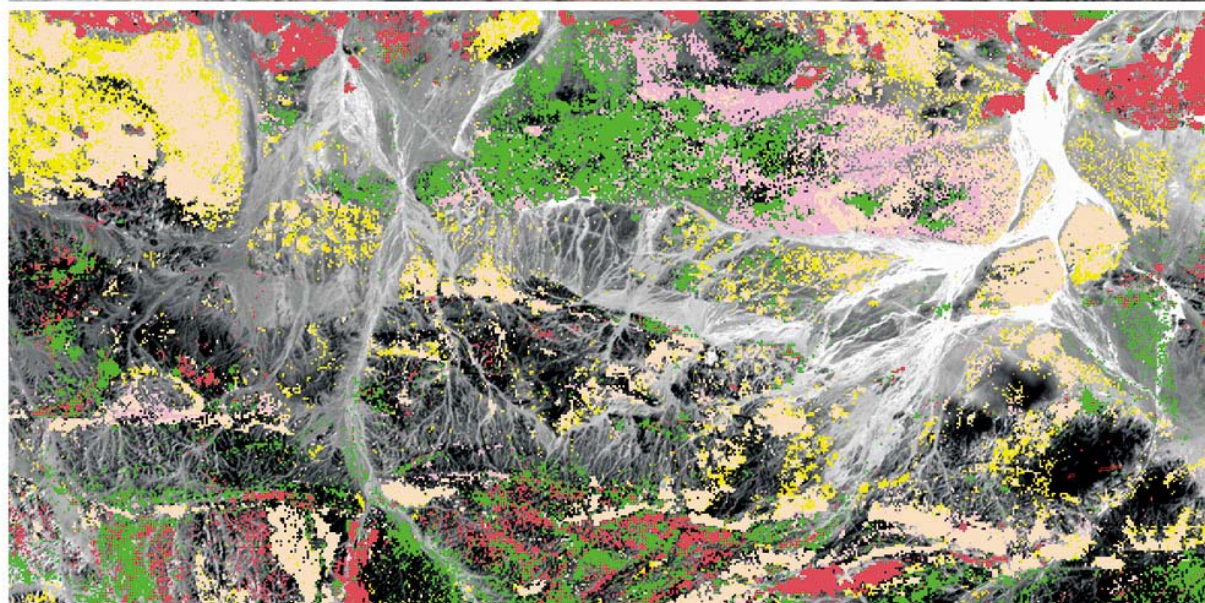
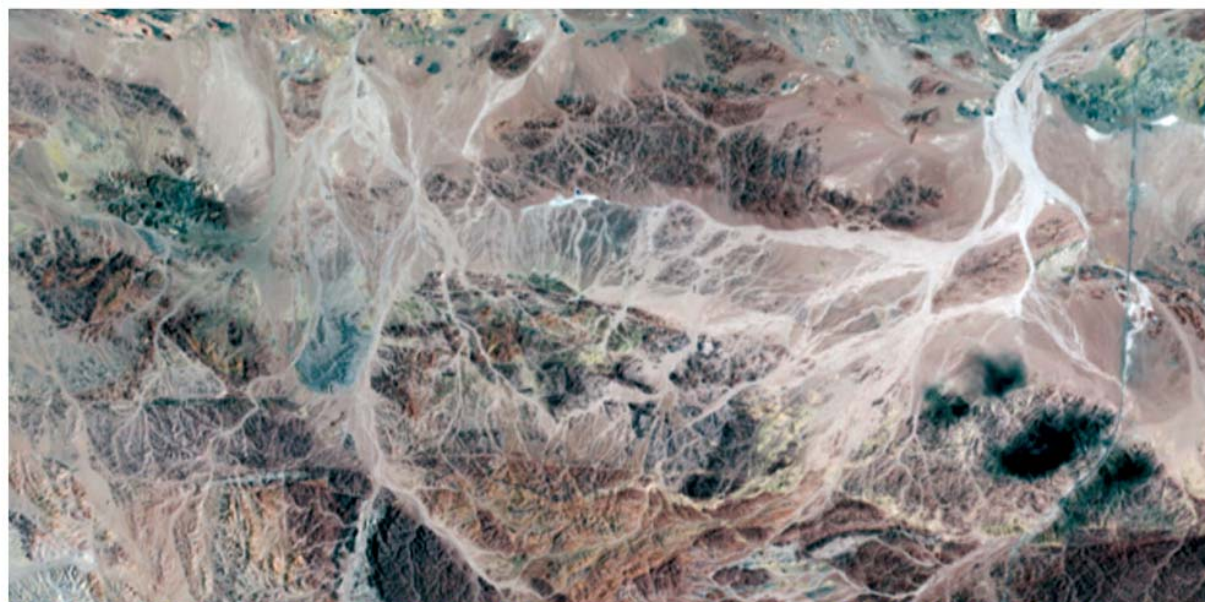
JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥感学报

2014年 Vol.18 第18卷 增刊

ISSN 1007-4619 CN11-3841/TP CODEN YXAUAB

“天宫一号” 遥感应用专刊



中铝白云母 贫铝白云母 富铝白云母 白云石 绿泥石

遥感学报

Yaogan Xuebao

第 18 卷 增刊 2014 年

目 次

序言	(1)
综述	
天宫一号高光谱成像仪遥感应用	高铭, 张善从, 李盛阳 (2)
光谱成像技术	
高光谱成像仪发展简况	颜昌翔 (11)
可编程红外焦平面光谱成像技术研究	庄晓琼, 王晟玮, 王跃明 (20)
红外遥感自身引起的背景辐射研究	陈永和, 陈洪达, 傅雨田 (25)
红外焦平面探测器信息获取与预处理电路设计	范文龙, 董峰, 傅雨田 (30)
天宫一号超光谱仪红外谱段的实验室定标	黄小仙, 傅雨田 (35)
地面处理技术	
基于高性能计算平台的天宫一号遥感数据地面预处理系统	张万峰, 赵灵军, 刘志文 (42)
天宫一号高光谱数据辐射校正的 CUDA 并行优化	赵海娜, 吴远峰, 张兵 (49)
天宫一号高光谱成像仪系统光谱辐射校正	张文娟, 吴远峰, 刘良云, 张兵, 李绪志, 张九星 (56)
天宫一号高光谱成像仪严密成像几何模型研究	刘志文, 刘定生, 魏静波 (62)
高光谱红外谱段交叉定标与近海遥感应用试验	邢前国, 娄明静, 张九星, 李绪志, 宁吉才, 高志强 (68)
遥感应用	
面向地质应用的天宫一号成像光谱数据评价	林健, 闫柏琨, 董新丰, 杨苏明, 杨日红, 崔静, 郭鼎, 王润生 (74)
天宫一号高光谱数据相关检测法蚀变信息提取	张良中, 吴太夏, 刘佳, 张立福, 童庆禧 (84)
天宫一号高光谱数据的船只检测实验	邹亚荣, 赵崑, 阎宇 (92)
利用天宫一号高光谱数据识别植被类型的评估研究	范应龙, 谭炳香, 东启亮 (98)
面向对象规则和支持向量机的天宫一号高光谱影像分类	李雪轲, 王晋年, 张立福, 吴太夏, 杨杭, 刘凯, 姜海玲 (107)
基于天宫一号高光谱数据与 Landsat TM 数据的湿地利用变化监测	胡勇, 刘良云 (116)
利用天宫一号和 Landsat 7 对地观测数据的森林变化检测	庞勇, 张连华, 李增元, 覃先林, 李绪志, 张九星, 刘志文 (121)
利用天宫一号高光谱红外谱段估算青藏高原地表通量与蒸散量	仲雷, 马耀明, 秦军, 傅云飞, 冯璐, 潘晓 (126)
天宫一号数据地表温度反演及其在城市热岛效应中的应用	历华, 杜永明, 柳钦火, 徐大琦, 曹彪, 蒋金雄, 王合顺 (133)
应用天宫一号高光谱红外谱段数据反演地表温度产品及验证	于文凭, 马明国 (144)
天宫一号空间应用推广服务平台介绍	(152)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol.18 Sup 2014)

CONTENTS

Overview

Tiangong-1 hyperspectral remote sensing and application	GAO Ming, ZHANG Shancong, LI Shengyang (10)
---	---

Spectral Imaging Technology

A brief introduction to the development of hyperspectral imager	YAN Changxiang (19)
Study on programmable infrared hyperspectral imaging technology	ZHUANG Xiaoqiong, WANG Shengwei, WANG Yueming (24)
Study on background of space infrared optical system caused by self-emission	CHEN Yonghe, CHEN Hongda, FU Yutian (29)
Information acquisition and pre-processing circuit design of infrared focal plane detector	FAN Wenlong, DONG Feng, FU Yutian (34)
Calibration for the thermal band of hyperspectral imager in Tiangong-1	HUANG xiaoxian, FU Yutian (41)

Ground Processing Technology

Tiangong-1 ground-based remote sensing data preprocessing system for high-performance computing platform	ZHANG Wanfeng, ZHAO Lingjun, LIU Zhiwen (48)
Parallel computing for Tiangong-1 hyperspectral image radiometric normalization using CUDA	ZHAO Haina, WU Yuanfeng, ZHANG Bing (55)
Tiangong-1 hyperspectral imager radiometric and spectral correction	ZHANG Wenjuan, WU Yuanfeng, LIU Liangyun, ZHANG Bing, LI Xuzhi, ZHANG Jiuxing (61)
Rigorous geometric model of Tiangong-1 hyperspectral spectrometer	LIU Zhiwen, LIU Dingsheng, WEI Jingbo (67)
Radiometric cross-calibration of Tiangong-1 and MODIS infrared bands and applications in monitoring coastal sea surface temperature	XING Qianguo, LOU Mingjing, ZHANG Jiuxing, LI Xuzhi, NING Jicai, GAO Zhiqiang (73)

Application of Remote Sensing

Evaluating of Tiangong-1 imaging spectrometer data oriented to geological applications	LIN Jian, YAN Bokun, DONG Xinfeng, YANG Suming, YANG Rihong, CUI Jing, GUO Ding, WANG Runsheng (83)
Alteration information extraction of Tiangong-1 hyperspectral data based on band correlation detection	ZHANG Genzhong, WU Taixia, LIU Jia, ZHANG Lifu, TONG Qingxi (91)
Ships detection from the Tiangong-1 hyperspectral data	ZOU Yarong, ZHAO Wei, YAN Yu (97)

(to be continued to Inside Back Cover)

(continued from Contents page)

Assessing classification capacity of hyperspectral data of Tiangong-1 based on See5.0	
.....	<i>FAN Yinglong, TAN Bingxiang, DONG Qiliang</i> (106)
A combined object-based segmentation and support vector machines approach for classification of Tiangong-1 hyperspectral image	
.....	<i>LI Xueke, WANG Jinnian, ZHANG Lifu, WU Taixia, YANG Hang, LIU Kai, JIANG Hailing</i> (115)
Monitoring wetlands changes using Tiangong-1 hyperspectral data and landsat TM imagery	
.....	<i>HU Yong, LIU Liangyun</i> (120)
Forest change detection using Tiangong-1 and Landsat 7 earth observation data	
.....	<i>PANG Yong, ZHANG Lianhua, LI Zengyuan, QIN Xianlin, LI Xuzhi, ZHANG Jiuxing, LIU Zhiwen</i> (125)
Estimation of turbulent heat fluxes and evapotranspiration over the Tibetan Plateau from Thermal IR imaging based on Tiangong-1	
.....	<i>ZHONG Lei, MA Yaoming, QIN Jun, FU Yunfei, FENG Lu, PAN Xiao</i> (132)
Land surface temperature retrieval from Tiangong-1 data and its applications in urban heat island effect	
.....	<i>LI Hua, DU Yongming, LIU Qinhuo, XU Daqi, CAO Biao, JIANG Jinxiong, WANG Heshun</i> (143)
Retrieving the high-spatial-resolution land surface temperature products from the thermal infrared domain of the Tiangong-1	
.....	<i>YU Wenping, MA Mingguo</i> (151)

高光谱成像仪发展简况

颜昌翔

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033

摘要:高光谱遥感由于“图谱合一”的技术特点,能够提供更加丰富的对地观测信息,是一种较为先进的探测技术,目前已应用到地球科学的各个方面。本文首先介绍了高光谱成像仪的成像特点,进而从航空高光谱和航天高光谱两个角度分别介绍了成像仪的工程应用概况。最后,根据近几年国内外的有关论文及研究报告,综述了国内外高光谱成像仪最新发展态势,重点介绍了天宫一号高光谱成像仪的研制技术情况,与目前国际上的在轨运行的卫星高光谱仪相比,其在空间分辨率、波谱范围和波段数目等成像技术参数上具有相当优势,是我国光谱仪技术发展的里程碑。

关键词:航空高光谱成像仪,航天高光谱成像仪,发展态势,光谱分辨率

中图分类号:TP79 **文献标志码:**A

引用格式:颜昌翔. 2014. 高光谱成像仪发展简况. 遥感学报, 18(增刊): 11-19

Yan C X. 2014. A brief introduction to the development of hyperspectral imager. Journal of Remote Sensing, 18(Sup): 11-19 [DOI: 10.11834/jrs.2014z02]

1 引言

高光谱遥感是在原有的多光谱成像遥感基础上发展起来的新型探测识别技术,从20世纪80年代末开始研究,目前已经发展成为一种成熟的探测技术,能够提供更为丰富的地球表面信息,其应用领域已涵盖地球科学的各个方面。起源于地址矿物识别填图研究,逐渐扩展到大气和环境监测、农业和森林调查、海洋生物和物理研究等领域并发挥着越来越重要的作用(韩昌元,2010)。

一直以来高光谱成像,受到国内外学者的广泛关注,各式各样的航空、航天成像仪相继问世。1983年,世界第一台成像光谱仪 AIS-1 在美国研制成功,并在矿物填图、植被生化特征等研究方面取得了成功,初显了高光谱遥感的魅力。此后,许多国家先后研制了多种类型的航空成像光谱仪。如美国的 AVIRIS、DAIS,加拿大的 FLI、CASI,德国的 ROSIS,澳大利亚的 HyMap 等。在经过航空试验和成功运行应用之后,20世纪90年代末期终于迎来了高光谱遥感的航天发展。1999年美国地球观测计划

(EOS)的 Terra 综合平台上的中分辨率成像光谱仪 MODIS、号称新千年计划第一星的 EO-1,欧洲环境卫星 ENVISAT 上的 MERIS,以及欧洲的 CHRIS 卫星相继升空,宣告了航天高光谱时代的来临(徐福祥,2003)。

2 高光谱成像光谱仪

成像光谱是在特定光谱域以高光谱分辨率同时获得连续的地物光谱图像,这使得遥感应用更可以在光谱维上进行空间展开,定量分析地表层生物物理化学过程与参数。成像光谱仪主要性能参数有噪声反射率差、瞬时视场、光谱分辨率等,直观的表现信噪比、地面空间分辨率、波段宽度和波段数等。高光谱成像光谱仪用很窄且连续的光谱通道对地物持续成像,主要工作波段为可见光、近红外、短波红外,光谱分辨率能达到纳米数量级,光谱通道数达到数百个以上。高光谱成像仪又因搭载运行平台的不同分为航空高光谱成像仪和航天高光谱成像仪。中国载人航天工程神舟三号、天宫一

收稿日期:2014-01-10;修订日期:2014-04-10

基金项目:载人航天工程天宫一号民用试应用项目

第一作者简介:颜昌翔(1973—),男,研究员,目前主要从事高光谱仪器研制。E-mail:yanxcx@lion.ac.cn

号分别搭载了研制的中分辨率成像光谱仪与高光光谱成像仪,属于航天高光谱成像仪范畴。本文将根据近几年国内外主要学术刊物上发表的有关论文及研究报告,给出典型航空、航天高光谱成像仪的工程应用相关技术参数等概况。

2.1 航空高光谱成像仪工程应用概况

近年来,世界上一些有条件的国家竞相投入到成像光谱仪的研制和应用中来,到目前为止,全世界大概有近 50 台套成像光谱仪投入使用([2013-12-03] http://www.nrscc.gov.cn/Upfiles/2006-108-10-26-53-2006-17_.pdf; Bignamig 等,2005)。在 20 世纪 90 年代,航空光谱仪已经得到了比较迅猛的发展。其中,具有代表性的有:澳大利亚的 HyMap,美国的 Probe,加拿大的 ITRES 公司的系列产品以及由美国 GER 公司为德士古石油公司专门研制的 TEEMS 系统等。

2.1.1 澳大利亚的 HyMap 和美国的 Probe

HyMap 是澳大利亚 Integrated Spectronics 公司为主研制的,在 0.45—2.5 μm 光谱范围内有 126 个波段,同时在 3—5 μm 和 8—10 μm 两个波长区设置了两个可供选择的波段,共有 128 个波段。总体光谱定标精度优于 0.5 nm,短波红外波段(2.0—2.5 μm)的信噪比都高于 500:1,有的波段其信噪比甚至高达 1000:1。该系统配有德国蔡司公司的三轴稳定平台,减小了几何畸变,使得其各波段之间的几何配准精度达到了 1/10 像元。

Probe-1 和 Probe-2 是 Earth Search Sciences 公司开发的,该系统在 0.4—2.5 μm 范围内有 128 个波段,光谱分辨率为 11—18 nm,其他参数和上述的 HyMap 系统类似。

2.1.2 加拿大的 ITRES 公司的系列产品

加拿大 ITRES 公司是世界上最早从事机载成像光谱仪及其相关设备研制和发展的企业之一,其成像光谱仪分为 3 个系列:在可见光-近红外成像的 CASI 系列,在短波红外成像的 SASI 系列,在热红外成像的 TABI 系列。该系统的突出特点包括图像动态范围高达 12—14 bit,具有较高的光谱分辨率,可见光-近红外波段达到 2.2 nm,视场角大,图像的扫描宽度可达 1480 个像元。成像的波段和视场宽度都可以编程控制,可组成 3 种成像模式:空间模式,光谱模式和全帧模式。

2.1.3 美国 GER 公司和 TRW 公司研制的产品

TEEMS 是德士古能源和环境成像光谱仪的简称。该系统具有 200 多个波段,在紫外、可见光、近红外、短波红外和热红外波段具有光谱成像能力,在石油地质勘探中发挥了很大的作用。其最显著的特点就是它与一台高分辨合成孔径雷达集成一体,实现了被动光学遥感器与主动微波雷达的合成工作模式。

美国著名的 TRW 公司研制的高光谱成像仪代号为 Trwis-3,它是该公司最新的一种成像光谱仪。Trwis-3 的波段范围很宽,从 0.4—2.5 μm ,具有 384 个连续光谱通道,且可见光近红外(VNIR)带宽仅为 5 nm,短波红外(SWIR)也只有 6.25 nm,信噪比又很高(几百比一),其具体参数如下表 1 所示:

表 1 Trwis-3 的技术参数
Table 1 Technical parameters of Trwis-3

参数	性能
质量/kg	<39
电源(28V 直流)/W	<800
瞬时视场/mrad	0.9
全视场/(°)	13.1(256 横向像素)
光谱通道数	384
波长范围/nm	400—2500
光谱波段宽度/nm	5(VNIR), 6.25(SWIR)
光谱波段纯度	<24%(相邻通道), <3%(隔两个通道), <2%(隔 3 个通道或者更远)
横迹光谱误差/nm	<1.0(VNIR) <1.3
光谱通道的空间配准	小于瞬时视场的 20%
帧速率/Hz	15, 30 或 60
位置/m	<5(当可得到差分信号时)
指向/urad	<100(滚动,倾斜和偏航)
绝对辐射测量精度	<5%
光谱定标精度/nm	<1.0
像素-像素相对标定	<2%
量化/bit	12
数据存储能量/GB	16

2.2 航天高光谱成像仪工程应用概况

1997 年,美国发射了第一颗高光谱遥感卫星(LEWIS),遗憾的是搭载在其上面的高光谱成像仪 HSI 发射后并没能正常工作,但这却是航天高光谱成像仪的开端。随后新千年计划的 EO-1 卫星发射

成功(Pearlman 等,2004),搭载有 3 个光学载荷,分别是先进陆地多光谱成像仪 ALI、高光谱成像仪 Hyperion 以及大气校正仪 LAC,其中 Hyperion 和 LAC 均是高光谱成像仪(吴培忠,1999;James,2004)。

Hyperion 是新一代航天成像光谱仪的代表,空间分辨率为 30 m,在 0.4—2.5 μm 范围内有 220 个波段,其中在可见光-近红外(400—1000 nm)范围内 60 个波段,在短波红外(900—2500 nm)范围内有 160 个波段,其主要技术参数如表 2 所示:

表 2 Hyperion 的技术参数
Table 2 Technical Parameters of Hyperion

参数	性能
705 km 高度地面分辨率/m	30
刈宽/km	7.5
光谱范围/ μm	0.4—2.5
成像孔径/cm	直径 12.5
在轨寿命/a	1(目标 2a)
瞬时视场/urad	42.5
通道数	220
光谱带宽/nm	10
畸变/nm	<1.5(VNR), <2.5(SWIR)
光谱波段的空间配准/%	<20(TBR)
定标精度/%	优于<6
数据量化/bit	12
载荷重量/kg	49
平均功率/W	78

LAC 是具有 256 个波段的大气校正仪,它在 890—1600 nm 光谱段具有 256 个波段,其主要功能是对 Landsat 7 的 ETM+和 EO-1 的 ALI 遥感数据

进行水汽校正,同时其 1380 nm 光谱段也能获得卷云的信息。

2000 年 7 月,美国发射的 Might- II 卫星上搭载的傅里叶变换高光谱成像仪是干涉型成像光谱仪的成功典范。Might- II 星载成像光谱仪的主要技术参数如表 3 所示:

表 3 Might- II (FTHSI) 星载干涉型成像光谱仪的主要参数

Table 3 Parameters of Might- II (FTHSI)

载荷特性	实际参数
光谱范围/nm	475—1050
光谱分辨率/nm	84.4/0.1
有用谱段数	146
视场角 FOV/($^{\circ}$)	3
瞬时视场角/($^{\circ}$)	0.0058 或 0.0029
500 km 轨道处幅宽/km	7.5—30
幅宽/km	10—15.3
地面分辨率/km	30
定位精度/($^{\circ}$)	0.15
成像方式	推扫
载荷重量/kg	20.45
功率(峰值/稳定)/W	55/47
体积/ cm^3	17.043
辐射校准精度(RMS)/%	10—15
寿命/a	>2

2001 年 10 月,欧洲空间局(ESA)成功发射了基于空中自治小卫星的紧密型高分辨率成像光谱仪(CHRIS)并成功发射,它和 PROBA 的技术参数几乎完全一致,如表 4 所示:

表 4 CHRIS/PROBA 的几个关键参数

Table 4 Main parameters of CHRIS/PROBA

模式	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4	模式 5
波段数	62	18	18	18	34
波段范围/nm	406—992	406—1003	438—1035	486—788	438—1003
波段宽度/nm	6—20	6—33	6—33	6—11	6—33
星下点空间分辨率/m	34	17	17	17	17

澳大利亚 2002 年发射了一颗称为 ARIES-1 的高光谱遥感卫星,这颗卫星的重要研究目的之一是对澳大利亚丰富的矿产资源进行调查和研究,并进一步研究环境问题,该系统在短波红外区具有较高的分辨率。其设计寿命为 5 年,工作光谱范围为 400—2500 nm,空间分辨率达到 30 m,VNIR 波段数为 60,SWIR 波段数为 160。

3 高光谱成像仪的最新发展动态

近几年,世界各国都在积极开展空间探测研究,其中高光谱成像仪成为竞相争夺的制高点,无论是在民用还是军用领域都显示了其广阔的应用前景(Karmer,2002;Zhou,2002)。在高光谱成像仪

工程应用方面有所作为的主要有美国、欧盟、德国、日本、加拿大、法国、挪威、芬兰和印度等(王毅,2005;国家遥感中心发展战略专家组,2009),中国中科院长春光机所也研制了机载和星载高光谱成像仪。

3.1 美国

美国国家研究理事会 NRC(National Research Council)2007 年发布了地球科学十年发展规划,建议在未来 10 年分 3 个阶段发射 15 颗卫星。这 3 个阶段分别称为 Tier 1, Tier 2 和 Tier 3。高光谱红外成像仪 HyspIRI(Hyper-spectral Infrared Imager)和地球静止轨道海岸和空气污染事件 GEO-CAPE(The Geostationary Coastal and Air Pollution Events)是 Tier 2 阶段计划发射的两颗卫星。这两颗卫星上的载荷以高光谱为主。

HyspIRI 计划于 2013—2016 年发射,它将有利用人们更深入地了解世界的生物多样性以及陆地、岛屿水体、海滨和大洋中各种生物群体的作用。HyspIRI 搭载的可见短波红外高光谱成像仪 VSWIR 工作于 0.38—2.5 μm ,地面像元分辨率 60 m,幅宽 145 km,其具体参数见表 5 所示。

GEO-CAPE 卫星的主要任务是发现气溶胶及臭氧先驱体的人为和自然来源,研究大气污染的输运,了解海岸生态系统对河流、大气以及风暴等输入的短期动力学过程。它有助于为研究气候变化及

人类活动对目前知之甚少但却是地球生物圈重要组成部分的海岸生态系统提供高时间分辨率的重要信息。GEO-CAPE 计划搭载 3 个有效载荷,分别是 Multi Discipline Imager (MDI),UV/Vis 光谱仪和 CO 探测器,3 个载荷的参数见表 6 所示:

表 5 VSWIR 技术参数

Table 5 Technical parameters of VSWIR

特性	参数
光谱	
范围/nm	380—2500
分辨率/nm	≤ 10 (均匀分布在波段范围内)
响应	$\leq 1.2 \times$ 采样 (FWHM)
标定精度/nm	< 0.5
辐射	
范围与采样	0 to 1.5 X 最大辐射基准, 14 bits
定标精度/%	> 95 绝对辐射定标, > 98 在轨反射, 99.5 稳定
定位精度	由光谱在辐射参考基准上的位置决定
线性度/%	> 99
偏振极化/%	灵敏度 < 2 , 0.5 估量
散射光	$< 1 : 200$, 0.1% 估量
空间	
范围/km	> 150 (12° , 700 km)
轨道交叉样本	> 2500
分辨率/km	≤ 60
响应	$\leq 1.2 \times$ 采样 (FWHM)
均匀性	
光谱轨道交叉	$> 95\%$ 均匀性(幅宽内最大值-最小值 < 0.5 nm)
光谱 IFOV 变异	$> 95\%$ 均匀性(谱段范围内变异小于 $< 5\%$)

表 6 GEO-CAPE 有效载荷技术参数

Table 6 Technical parameters of GEO-CAPE

参数	MDI	UV/Vis 光谱仪	CO 探测器
光谱范围/nm	波段 1:300—556 波段 2:340—1139 波段 3:1240 & 1640	300—480	2299—2364, 3877—4728
光谱分辨率	波段 1:0.75 nm 波段 2:0.8 nm 波段 3:40 nm	0.8 nm	0.1 cm^{-1}
空间采样	波段 1:0.25 nm 波段 2:0.8 nm	4 pixels	NA
空间范围	$(250 \text{ km})^2$ 可控	$(5000 \text{ km})^2$ 可控	$(5000 \text{ km})^2$ 可控
空间分辨率/km	0.250×250 最低	1.25×5 最低	5 FOR 中心
重访时间/min	30	60	60
信噪比	波段 1:750 : 1 波段 2:750 : 1 波段 3:375 : 1 & 180 : 1	700 : 1 (320 nm 处) 1500 : 1 (430 nm 处)	2500/9500 (2.3 μm 处) 700 (4.67 μm 处)
数据速率/(Mb/s)	63	17	40
重量/kg	958	181	147
功率/W	532	208	190

2009 年 9 月 10 日,由美国海军实验室等单位研制的高光谱成像仪 HICO(Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean)搭载日本的太空飞船飞往国际空间站,并实现了成功的对接,这是第一颗专门为研究海洋而研制的空间探测器。主要工作在可见光(400—1000 nm)波段,光谱分辨率为 5 nm,空间分辨率为 100 m,设计寿命时间为 3—5 年。

美国目前开展的火星探测计划中都包含了高光谱成像仪有效载荷,火星探测器(Mars rover)上搭载的光谱仪光谱范围覆盖 1.8—2.5 μm ,其光谱分辨率达到了 4 nm,角分辨率为 0.5 mrad。图 1 为其结构示意图。

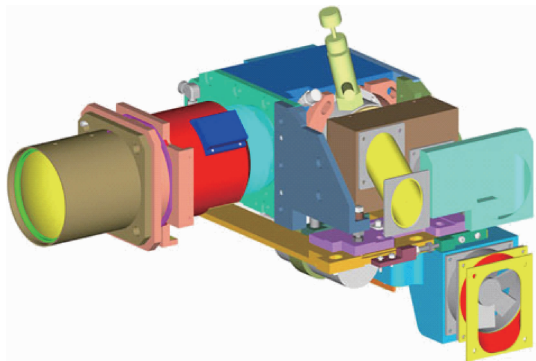


图 1 火星探测器上光谱仪的结构示意图
Fig.1 Structure of spectrometer in mars decetor

3.2 德国

德国太空署目前正在开展一个高光谱成像仪的项目研究工程 EnMAP (The Environmental Mapping and Analysis Program),图 2 为其内部结构示意图。该光谱仪包括可见近红外(VNIR)波段和短波红外(SWIR)谱段,主要用来监测全球气候变化,其相关设计参数如表 7 所示:

表 7 EnMAP 的主要参数

Table 7 Main parameters of EnMAP

参数	性能
光谱范围/nm	420—2450
噪声等效反射率差	VNIR (420—1030 nm) :0.005
	SWIR I (950—1390 nm) :0.003
	SWIR II (1480—1760 nm) :0.003
	SWIR III (1950—2450 nm) :0.001
光谱采样/nm	VNIR :5/10
	SWIR :10
光谱稳定性(VIS-NIR-SWIR)/nm	0.2
辐射稳定性/%	≤2.5
地面采样距离/m	海平面最低处 30×30
幅宽/km	30
色畸变/像元	≤0.2
谱段间隙定位(VNIR-SWIR)/像元	≤0.2
赤道横穿当地时间	11:00

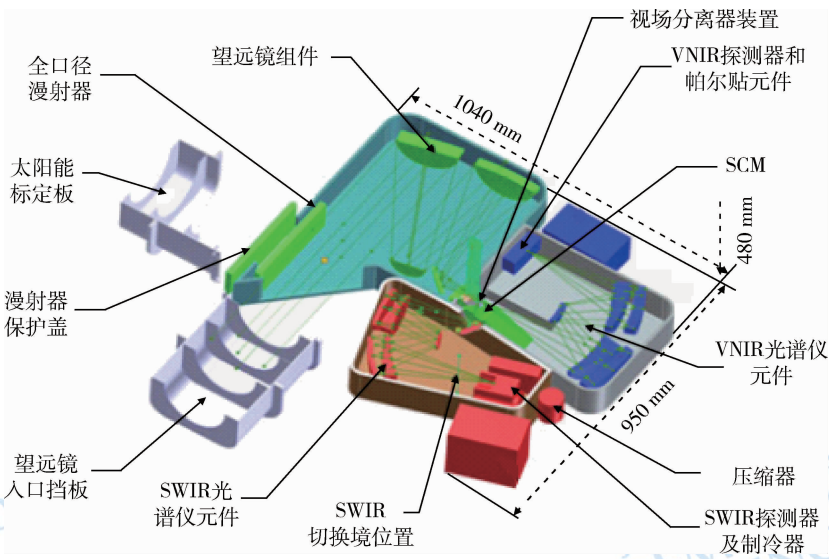


图 2 EnMAP 内部结构示意图
Fig.2 Internal structure of EnMAP

3.3 欧盟

ESA 计划 2012 年发射水星探测器 BepiColombo。

该探测器将于 2016 年到达水星轨道,并将绕水星运行两年,主要对水星表面进行地形测绘和表面矿物成分鉴别。高光谱成像仪 VIHI(Visual and Infrared

Hyper-spectral Imager channel)是其中的一个有效载荷。高光谱成像仪的主要技术参数如表 8 所示:

表 8 VIHI 的主要参数
Table 8 The main parameters of VIHI

参数	性能
空间采样/mrad	0.25
光谱分辨率/nm	6.25
光谱范围/nm	400—2000
空间维像素	256
视场/mrad	64

3.4 其他

日本最近几年正在加快研究超小型号的高光谱成像仪设备,主要用于将来搭载在小型商业卫星上,被称作为 NANO 光谱仪,总重量将被限制在 20 kg 以内,是非常先进的精密光学探测仪器。其现在的系列代号为 HSC,HSC 的初级原理样机已经在实验室被研制出来的了,目前计划在 HSC-1700 的基础上开发更为先进的 HSC-3000 型号的高光谱成像仪。该项计划于 2008 年启动,将于近几年完成原理样机的研制,发射试验暂时还未能纳入计划。HSC-3000 的主要技术参数如表 9 所示:

表 9 HSC-3000 的主要技术参数
Table 9 Main technical parameters of HSC-3000

参数	性能
重量/kg	<10
尺寸/cm ³	<78×24×24
功率/W	<10(最大)
轨道高度/km	600
望远镜	Ritchey-Chretien 望远镜
地面抽样间隔/m	30
拍摄宽度/km	20.6
望远镜口径/m	0.20
成像光谱仪	光栅传输
光谱范围/nm	400—1000(61 波段)
光谱分辨率/nm	10
光谱精度/%	±2(0.2 nm)
辐射精度/%	<5
最大输入/%	70
信噪比	>300@620 nm
数据量化/bit	10

Northrop Grumman Aerospace Systems (NGAS) 最近开发了一个机载的高光谱成像仪 HATI(Hyper-spectral Airborne Tactical Instrument),该光谱仪是一个十分紧凑的小成像设备,可在 VNIR 和 SWIR 光谱段上成像,能够装载在多种商业飞机的运行平台上,如图 3 所示。其主要的技术参数如表 10 所示:

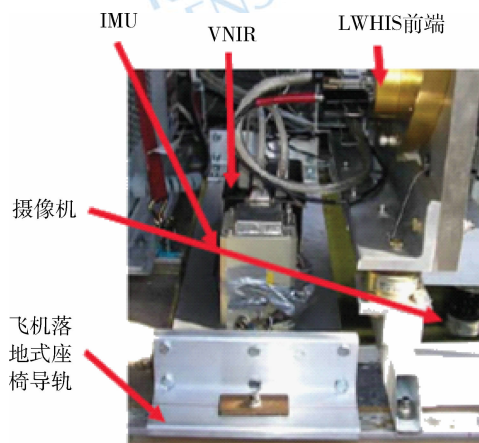


图 3 HATI 在飞机装载平台上的安装情况

Fig.3 HATI in the aircraft loading platform

表 10 HATI 的主要技术参数
Table 10 Main technical parameters of HATI

传感器	VNIR	SWIR
空间/像元	890	320
波段数	448	256
光谱分辨率/nm	1.5	1.5
空间分辨率/m	0.5—11	0.5—11
光谱范围/nm	400—1000	900—1700
视场/(°)	45	
瞬时视场/mrad	1	1.3
F 数	2.4	
焦平面	1024×512 背照式	
效率(450—800 nm)/%	>70	
重量/kg	1.2	
工作温度/°C	10—35	

加拿大的 Telops 公司近几年开发了比较先进的机载高光谱成像仪 Hyper-Cam,该光谱仪是世界上第一台用于商业的基于傅里叶变换的干涉型机载高光谱成像仪,结构紧凑,体积小,重量轻,如图 4

所示。主要应用于森林,水体监测,搜索救援和农林预测评估等等。主要的技术参数如表 11 所示。



图 4 Hyper-Cam 的外观图
Fig.4 Hyper-Cam

表 11 Hyper-Cam 的主要技术参数

Table 11 The main technical parameters of Hyper-Cam

参数	性能
光谱范围/ μm	3—12
空间分辨率/像元	320×256
光谱分辨率/nm	2.5

3.5 长春光机所完成的高光谱成像仪

(1)面向矿物填图的机载宽覆盖高光谱成像仪,该成像仪从 2011 年开始启动设计,系统分两个通道,分别独立采用了望远镜+狭缝+光栅光谱仪+探测器,由一套控制系统来控制方案(图 5,表 12)。设备于 2013 年进行了外场试验和首次试验飞行,取得了初步结果,并计划于 2014 年进行验收飞行。

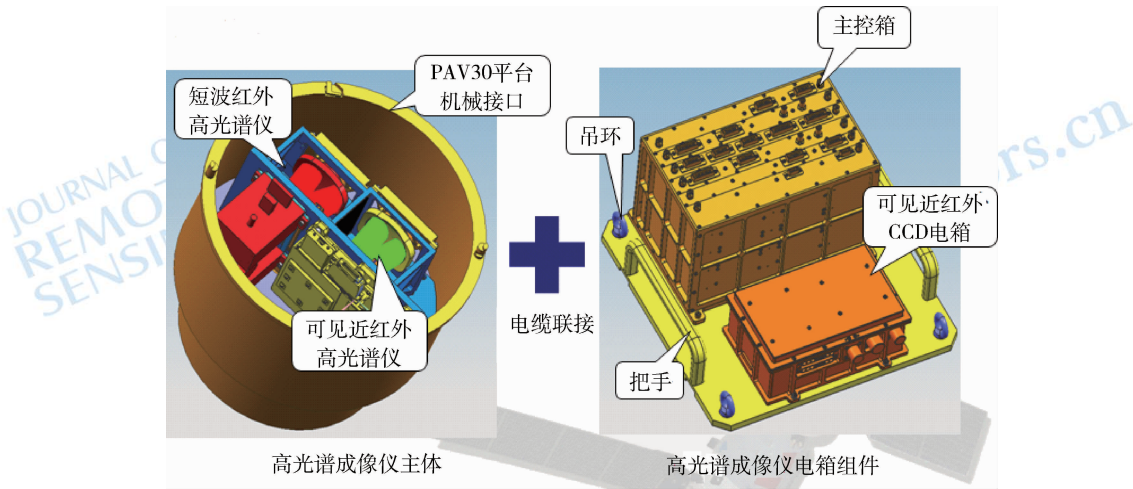


图 5 机载宽覆盖高光谱成像仪的外观图
Fig.5 The airborne wide coverage hyperspectral imager

表 12 机载宽覆盖高光谱成像仪的主要技术参数

Table 12 The mian technical parameters of airborne wide coverage hyperspectral imger

传感器	VNIR	SWIR
空间/像元	1000	500
波段数	240	240
光谱分辨率/nm	2.5	6.25
光谱范围/nm	400—1000	1000—2500
视场/(°)	90	90
瞬时视场/mrad	2	4
F 数	2.4	2.4

(2)天宫一号高光谱成像仪,天宫一号高光谱成像仪于 2011 年随天宫一号发射入轨,是我国迄今为止研制成功并发射的空间分辨率最高、像质最好、谱段最多的航天高分辨率高光谱成像仪,在复合棱镜分光、指向镜实时高精度运动补偿、高精度光谱和辐射定标等关键技术方面取得突破性成果。该设备采用离轴望远镜系统经视场分离器分为全色、VNIR 和 SWIR 等成像,以较小的资源开销完成了多功能高性能的技术要求,实现了最优化的分光成像设计;为增加探测器的积分时间,采用了指向反射镜按一定的规律进行运动补偿,较好地解决了光谱分辨率和高空间分辨率成像之间的问题;并利用

星上定标积分球光路结合指向反射镜实现星上定标功能。天宫一号高光谱成像仪是目前中国空间分辨率和光谱分辨率综合指标最高的空间光谱仪,技术指标为国际先进,与目前国际上尚在运行的卫星高光谱遥感器相比,其在空间分辨率、波段范围和波段数目等成像技术参数上拥有相当优势,是中国高光谱成像仪技术发展的重要里程碑,天宫一号高光谱成像仪的技术参数如表 13 所示,示意图如图 6 所示。

表 13 天宫一号高光谱成像仪主要光谱通道技术参数

Table 13 The main technical parameters of
Tiangong-1 hyperspectral imager

传感器	VNIR	SWIR
空间/像元	1000	500
有效波段数	64	64
光谱分辨率/nm	10	23
光谱范围/nm	400—1000	1000—2500
视场/(°)	1.43	1.43
瞬时视场/mrad	0.025	0.05
F 数	4.5	3.75

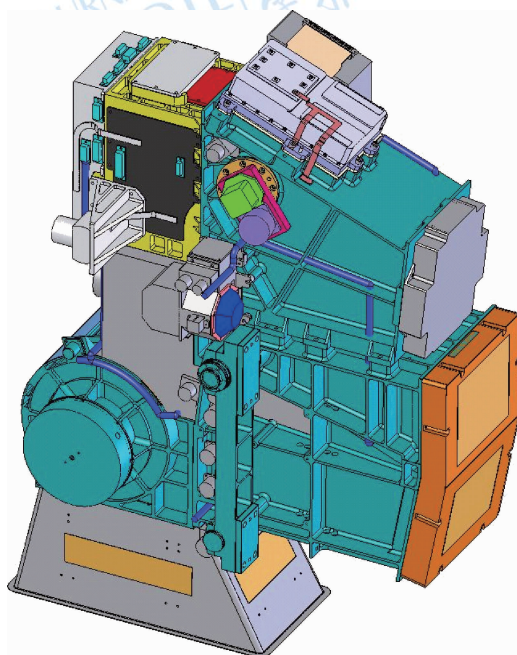


图 6 天宫一号高光谱成像仪的外观图

Fig.6 The Tiangong-1 hyper spectral imger

4 结 论

空间遥感技术成为国家综合国力和科技实力

的标志,越来越受各国的普遍重视(Goran, 2004; Tanya 等,2004)。各国不断调整的空间发展计划预示着世界遥感技术面临着突飞猛进的发展,携带高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率成像仪的卫星将不断研制并在轨运行。

参考文献 (References)

- Bignamig, Cargill P and Schutz B. 2005. Cosmic Vision: Space Science for Europe 2015 – 2025. Noordwijk: ESA Publications Division
- Goran L P. 2004. Herschel-mission and observing opportunities. SPIE, 5487: 1473–1483 [DOI: 10.1117/12.552081]
- The development strategy expert group of national remote sensing center of China. 2009. The annual report of the geo-spatial information technology and industry development. Beijing: hational remote sensing center of China (国家遥感中心发展战略专家组. 2009. 地理空间信息技术和产业发展年度报告. 北京: 国家遥感中心)
- Han C Y. 2010. Recent earth imaging commercial satellites with high resolutions. Chinese Journal of Optics and Applied Optics. 3(3): 201–208 (韩昌元. 2010. 近代高分辨率地球成像商业卫星. 中国光学与应用光学, 3(3): 201–208)
- James B B. 2004. Space optics: challenge and opportunity. SPIE, 5524: 8–13 [DOI: 10.1117/12.560474]
- Karmer H J. 2002. Observation of the Earth and Its Environment-Survey of Missions and Sensors. Berlin, New York: Springer: 1–164
- Pearlman J, Segal C, Liao L, Carman S and Folkman M. 2004. Development and operations of the EO-1 hyperion imaging spectrometer. Proceedings of SPIE, 4135: 243–253 [DOI: 10.1117/12.494251]
- Tanya L, Bruce S, Asier A, Ferbet M and King K. 2004. First results from Herschel-SPIRE performance tests. SPIE, 5487: 460–468 [DOI: 10.1117/12.551684]
- Wang Y. 2005. The development of the earth observation system. Advances in Earth Science, 20(9): 980–989(王毅. 2005. 国际新一代对地观测系统的发展. 地球科学进展, 20(9): 980–989)
- Wu P Z. 1999. Technical features and data applications of satellite_based hyperspectral imaging instrument. Remote Sensing For Land & Resources, 41(3): 31–39(吴培忠. 1999. 星载高光谱成像光谱仪的特性与应用. 国土资源与遥感, 41(3): 31–39)
- Xu F X. 2003. Satellite Engineering. Beijing: Chinese Aerospace Press(徐福祥. 2003. 卫星工程概论(上). 北京: 中国宇航出版社)
- Zhou G Q. 2002. Oktay Baysal. Paul Laultmann. Current status and future tendence of sensors in earth observing stellites. Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002 conference Proceedings

A brief introduction to the development of hyperspectral imager

YAN Changxiang

Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033

Abstract: Hyperspectral sensing can provide richer information in earth observation, because of the technical characteristic of the combining image and spectrum. It has been applied to all aspects of the earth sciences, as a more advanced detection technology. Firstly, the author describes the imaging characteristics of hyperspectral imager, and then introduces engineering applications both in the aviation and aerospace. Finally, the author summarizes the latest development of hyperspectral imager according to the papers and research reports which published in major academic journals in domestic and foreign in recent years.

Key words: aerial hyper-spectral imager, aerospace hyperspectral imager, development trends, spectral resolution



封面说明

About the Cover

"天宫一号" 卫星高光谱影像数据

The hyper spectral image acquired by "Tiangong-1" satellite

"天宫一号" 高光谱成像仪是中国自主研制的目前空间分辨率和光谱分辨率综合指标最高的高光谱成像仪。封面图片为"天宫一号"卫星获取的内蒙古额济纳旗西部地区的影像数据, 上图为高光谱短波红外谱段影像, 下图为矿物成分信息空间分布图。"天宫一号"高光谱数据可广泛应用于矿物分布调查、森林资源详查、水文生态监测、海岛海岸带环境监测、土地利用和城市环境监测等领域。

"Tiangong-1" hyper spectral imager is a new generation of aerospace remote sensing equipment, which is independently developed by China and has the highest comprehensive index of spatial and spectral resolution. The cover shows the data captured by "Tiangong-1" satellite in the western region of Ejinaqi, Inner Mongolia, northern China. The top image is high spectral shortwave infrared spectral image and the bottom image is the spatial distribution map of mineral composition. These data are also expected to play a significant role in mineral distribution investigation, detailed investigation of forest resources, hydrology ecological monitoring, environmental monitoring coastal islands, land use, urban environmental monitoring and other fields.

遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第18卷 增刊 2014年6月25日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.18 Sup. June 25, 2014

主 管 中国科学院
主 办 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国地理学会环境遥感分会
主 编 顾行发
编 辑 《遥感学报》编委会
北京市安外大屯路中国科学院遥感与数字地球研究所
邮编: 100101 电话: 86-10-64806643
http://www.jors.cn
E-mail: jrs@irsa.ac.cn
出 版 科 学 出 版 社
印刷装订 北京科信印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
电话: 86-10-64017032
E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行 中国国际图书贸易总公司
北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
The Associate on Environment Remote Sensing of China
Editor-in-Chief GU Xing-fa
Edited by Editorial Board of Journal of Remote Sensing
Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China
Tel: 86-10-64806643
http://www.jors.cn
E-mail: jrs@irsa.ac.cn
Published by Science Press
Printed by Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Tel: 86-10-64017032
E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
Overseas distributed by China International Book Trading Corporation
Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号: ISSN 1007-4619
CN 11-3841/TP
CODEN YXAUAB

国内邮发代号: 82-324
国外发行代号: BM 1002

定价: 70.00元

ISSN 1007-4619

国内外公开发行

