

文章编号: 1672-8785(2014)11-0005-05

红外遥感技术在民用对地观测卫星中的应用现状(下)

陆 燕

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 利用卫星遥感技术对地球资源、海洋和大气等环境状况进行监测, 可以为人类生存环境提供预测信息和安全保障。红外遥感仪器是对地观测卫星的主要探测载荷。随着红外探测器性能和系统集成技术的不断提高, 空间红外遥感仪器的探测能力也得到了长足发展。介绍了近五年各国相继发射的各类高性能对地观测卫星, 总结了主要红外遥感仪器的应用状况、功能和特性, 并对其未来的发展趋势进行了分析。

关键词: 对地观测; 卫星; 红外; 遥感技术

中图分类号: TP7 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.11.002

Application of Infrared Remote Sensing in Earth Observation Satellites (II)

LU Yan

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Monitoring the resources, ocean and atmospheric environment on earth by space remote sensing can provide predictive information and security for human's living environment. Infrared remote sensing instruments are the main detection payloads for earth observation satellites. With the improvement of the performance of infrared detectors and system integration technology, the detection capability of space-based infrared remote sensing instruments is developing greatly. Various kinds of high-performance earth observation satellites launched all over the world over last five years are presented. The application status, function and characteristics of some important infrared remote sensing instruments are summarized. Their future development trends are analyzed.

Key words: earth observation; satellite; infrared; remote sensing technology

2 红外遥感仪器的应用及发展状况

由表 1 可见, 对于以地球成像为目的的对地观测卫星上装载的高分辨率成像仪器, 其光谱范围主要集中在可见光和近红外波段。大多数资源探测、海洋环境和灾害监测卫星都采用基于硅探测器和 CCD 焦平面的高分辨率光电遥感

仪器, 其探测波长覆盖可见光、近红外和短波红外波段。而基于长波红外探测器的红外遥感仪器主要用于气象和资源环境卫星。根据性能和功能的不同, 目前星载红外遥感仪器可以分为中等分辨率多光谱成像仪、红外光谱探测仪和高分辨率光谱成像仪三种。

收稿日期: 2014-09-04

作者简介: 陆燕 (1965-), 上海人, 研究员, 博士生导师, 主要从事空间制冷、低温光学热控以及空间红外遥感方面的研究。 E-mail: luyan420@mail.sitp.ac.cn

2.1 中等分辨率多光谱成像仪

中等分辨率多光谱成像仪的光谱范围一般为 $0.4 \sim 15 \mu\text{m}$ (分为可见光、近红外、短波红外、中波红外和长波红外波段)。通过滤光片等技术可以将光谱分成几个到几十个独立通道,其光谱带宽一般为 $10 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ 。通过连续采样可以实现 1 km 左右的空间分辨率以及几百到几千千米的刈幅宽度。扫描规律一般采取横轨方式,有时为多角度,有时为多极化。

气象监测是覆盖可见光到长波红外波段的中等分辨率多光谱成像仪的主要应用。目前在轨运行的美国 NOAA-15~19 卫星和欧空局 MetOp 极轨气象卫星均采用了美国 ITT 宇航公司研制的先进甚高分辨率辐射计 (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR/3)。该仪器基于直径为 20.3 mm 的卡赛格伦反射式望远镜,通过中继光路分为 6 个波段。其空间分辨率为 1.1 km ,刈幅为 2900 km ,红外波段 ($10.8 \mu\text{m}$ 和 $12.0 \mu\text{m}$) 选择 HgCdTe 探测器,采用两级辐射制冷器,工作温度为 105 K 。俄罗斯 Meteor-3M 气象卫星的 MSU-MR 成像仪也具有类似性能。美国 NOAA 规划的 JPSS 系列下一代极轨气象卫星的主要红外探测仪器为可见光红外成像仪组件 (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite, VIIRS)。该组件继承了所有前期气象卫星辐射计 (如 OLS、AVHRR/3、MODIS 和 SeaWiFS) 的全部优点,可提供全球陆地、海洋和大气参数数据,并具有高时间分辨率和中等空间分辨率。它是用摆扫型望远镜系统将入射辐射聚焦在 3 个焦面平面上的。这三个焦平面的工作波段分别为可见光-近红外 (9 个波段)、短波红外/中波红外 (8 个波段) 和热红外波段 (4 个波段)。另外,它还有一个 DNB 波段 (CCD),以上共计 22 个波段。其中,可见光-近红外波段采用 32×32 元硅二极管焦平面,短波红外/中波红外和热红外波段采用 16×16 元 PV 型 HgCdTe 焦平面,其空间分辨率为 $0.4 \sim 0.8 \text{ km}$,刈幅为 3000 km 。与 VIIRS 性能接近的另一台气象成像辐射计——METImager 将是欧洲下一代 MetOp-SG 卫星上搭载的主要红外遥感仪器。表 2 列出了这两种下一代多光谱探测仪器的主要参数。

在地球同步轨道上工作的中等分辨率多光谱成像仪中,用于三轴稳定气象卫星的有美国 GOES-12~15 卫星和日本 MTSAT-2 卫星的 5 通道成像仪、日本 MTSAT-1R 卫星的 JAMI 成像仪、韩国 COMS-1 卫星的 5 通道 MI 成像仪以及印度 INSAT-3D 卫星的 6 通道成像仪。这几台仪器的性能基本接近,均采用了美国的 GEOS 技术。美国 GEOS-12~15 卫星载成像仪的 5 个通道分别为 1 个可见光 ($0.55 \sim 0.75 \mu\text{m}$)、2 个中波红外 ($3.80 \sim 4.00 \mu\text{m}$ 、 $5.80 \sim 7.30 \mu\text{m}$) 和 2 个长波红外通道 ($10.2 \sim 11.2 \mu\text{m}$ 、 $13.0 \sim 13.7 \mu\text{m}$)。该成像仪采用南北步进、东西连续的两维扫描方式,其全圆盘覆盖时间为 30 min ,红外通道和可见光通道的空间分辨率分别为 4 km 和 1 km 。美国计划于 2016 年发射的下一代 GEOS-R 卫星上装载的先进基线成像仪 (Advanced Baseline Imager, ABI)、日本 Himawari-8/9 卫星的 AHI 成像仪、韩国 GEO-KOMPSAT-2A 卫星的 AMI 成像仪以及欧空局 MTG-I 卫星的 FCI 成像仪均具有类似的性能特点^[1],即采用焦平面探测器,并具有 16 个通道,其可见光通道和红外通道的空间分辨率分别为 $0.5 \sim 1 \text{ km}$ 和 2 km 。

由此可见,中等分辨率多光谱成像仪的主要发展趋势是,空间分辨率将提高到 $0.5 \sim 1 \text{ km}$,光谱通道数也将由几个增加到一二十个。

2.2 红外光谱探测仪

红外大气探测仪器通过测量大气光谱获得温度及湿度立体分布、云厚度以及大气成分等数据,是气象卫星上搭载的另一类红外探测仪器,比如 NOAA-15~19 和 MetOp-A/B 卫星的 HIR/3 和 HIR/4 探测仪。它们采用了滤光片轮分光技术,其探测波长为 $0.69 \sim 14.95 \mu\text{m}$ (分 20 个波段),空间分辨率为 20.3 m (对应的瞬时视场为 1.4°),刈幅为 2160 km 。NOAA 的下一代极轨气象卫星上将装载 ITT Exeils 公司研制的穿轨红外探测仪 (Cross-track Infrared Sounder, CrIS)。该探测仪将继承 HIR/4 和 AIRS 探测仪 (搭载于 2002 年发射的 Aqua 对球观测卫星) 的相关技术,是高光谱分辨率和高空间分辨率的大气性能分析应用。CrIS 采用迈克耳逊干涉仪和基于四级分离

表 2 METimager 与 VIIRS 的通道参数

METimager					VIIRS					
λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	L_{typical} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	$\text{SNR}@$ L_{typical}	IFOV (m)	通道编号	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	L_{typical} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	$\text{SNR}@$ L_{typical}	IFOV (m)
					DNB	700	40	6.70E-05	6	742
					M1	412	20	44.9	352	742
443	30	42	221	500	M2	445	18	40	380	742
					M3	488	20	32	416	742
555	20	22	215	500	M4	555	20	21	362	742
670	20	9.5	66	250	I1	640	80	22	119	371
763	10	20	333	1000	M5	672	20	10	242	742
763	40	20	500	1000	M6	746	15	9.6	199	742
865	20	6.04	60	250	I2	865	39	25	150	371
940	50	15	250	500	M7	865	39	6.4	215	742
1240	20	5.4	90	1000	M8	1240	20	5.4	74	742
1365	40	6	300	500	M9	1378	15	6	83	742
1630	20	7.3	300	500	I3	1610	60	7.3	6.0	371
2250	50	1	110	500	M10	1610	60	7.3	342	742
					M11	2250	50	0.12	10	
λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	T_{typical} (K)	$\text{NE}\Delta T@$ T_{typical}	IFOV (m)	通道编号	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	T_{typical}	$\text{NE}\Delta T@$ T_{typical}	IFOV (m)
3740	180	300	0.050	500	I4	3740	380	270	2.5	371
3959	40	300	0.074	1000	M12	3700	180	270	0.396	742
4040	60	300	0.074	1000	M13	4050	155	300K/ 380K	0.107/ 0.423	742
6725	370	238	0.215	500						
7325	290	250	0.200	500						
8540	290	300	0.050	500	M14	8550	300	270	0.091	742
10790	500	300	0.050	500	M15	10763	1000	300	0.07	742
12020	500	300	0.050	500	I5	11450	1900	210	1.5	371
13345	310	260	0.100	500	M16	12013	950	300	0.072	742

冷块的辐射制冷器 (81 K 冷块用于冷却长波红外部分, 98 K 冷块用于冷却短波红外/中波红外部分), 并具有 1300 个光谱通道。其光谱范围为 $650 \sim 2550 \text{ cm}^{-1}$ ($3.9 \sim 15.4 \mu\text{m}$), 光谱分辨率为 0.6525 cm^{-1} (长波红外), 地面空间分辨率为 14 km, 刈幅为 2300 km。

欧洲 MetOp 极轨气象卫星载红外大气探测干涉仪 (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer, IASI) 通过测量大气辐射光谱反演温度、湿度以及微量气体 (O_3 、 CO_2 、 CH_4 和 NO_2) 数据。法国空间中心 (CNES) 和欧洲气象卫星应用组织 (EUMETSAT) 联合研制的 IASI 仪器由傅里叶变换干涉仪以及相关的成像仪组成。IASI 采用离轴反射式望远镜, 光线经干涉仪后进入冷的后

光路。3 个探测器组件被安装在辐射制冷器的冷块上, 其工作温度为 $95 \sim 100 \text{ K}$, 辐射制冷器为三级制冷。IASI 为摆扫型仪器, 其刈幅为 2052 km (对应的视场为 $\pm 47.85^\circ$), 瞬时视场为 $3.33^\circ \times 3.33^\circ$ (星下点约为 $48 \text{ km} \times 48 \text{ km}$), 光谱覆盖范围为 $3.62 \sim 15.5 \mu\text{m}$ ($2760 \sim 645 \text{ cm}^{-1}$), 光谱分辨率为 $8 \sim 70 \text{ nm}$ ($0.35 \sim 0.5 \text{ cm}^{-1}$), 空间分辨率为 12 km。下一代红外大气探测干涉仪 (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer – Next Generation, IASI-NG) 将被装载在 MetOp-SG 卫星上。与目前工作的 IASI 相比, IASI-NG 主要是提高了光谱分辨率。表 3 列出了 IASI、CrIS 和 IASI-NG 的性能对比情况。

正在地球同步轨道上运行的有美国 GOES-

表 3 IASI、CrIS 和 IASI-NG 的性能对比

		IASI			CrIS			IASI-NG			
卫星		MetOp-A/B			JPSS-1, Soumi NPP			MetOp-NG			
光谱范围		3.62~15.5 μm (2760~645 cm ⁻¹)			3.92~15.4 μm (2550~650 cm ⁻¹)			3.62~15.5 μm (2760~645cm ⁻¹)			
通道数		8461			1300			16920			
波段划分 (μm)		波段 1	波段 2	波段 3	LWIR	MWIR	SWIR	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4
		8.26~15.5	5.00~8.26	3.62~5.00	9.13~15.40	5.71~8.26	3.92~4.64	8.70~15.5	5.26~8.70	4.35~5.26	3.62~4.35
光谱分辨率		0.25cm ⁻¹	0.25cm ⁻¹	0.25cm ⁻¹	0.625cm ⁻¹	1.25cm ⁻¹	2.5cm ⁻¹	0.125cm ⁻¹	0.125cm ⁻¹	0.125cm ⁻¹	0.125cm ⁻¹
NEΔT (K)		0.2-0.3@ 280K	0.2-0.5@ 280K	0.5-2.0@ 280K	0.24-0.39 @287K	0.19-0.28 @287K	0.18-0.21 @287K	0.08-0.18 @280K	0.03-0.38 @280K	0.19-0.32 @287K	0.17-1.10 @287K
扫描方法	穿轨	30 步/48 km			32 步/48 km			20 步/75 km			
	沿轨	48 km@8 s			48 km@8 s			75 km@12 s			
采样间距		24 km			16 km			25 km			
IFOV (星下点)		2×2 个探测区直径 12 km 48×48 km ²			3×3 个探测区直径 14 km 48×48 km ²			4×4 个探测区直径 12 km 75×75 km ²			
FOV		±48.33°			±50°			±48.33°			
刈幅 (km)		2130			2200			2130			

8~15 和印度 INSAT-3D 卫星的红外大气探测仪, 它们采用了滤光片轮分光技术。而美国在下一代高轨气象卫星上暂停了红外大气探测仪计划。欧空局的第三代气象卫星 (Meteosat Third Generation, MTG) 计划则将分为 MTG-I 成像卫星和 MTG-S 探测卫星, 后者将搭载红外探测仪 (Infrared Sounder, IRS) [1]。IRS 采用迈克耳逊干涉仪以及焦平面技术, 其空间分辨率为 4 km, 光谱分辨率为 0.625 cm^{-1} (基本性能见表 4)。IRS 主要用于大气温度及湿度探测和风廓线分析 (详见参考文献 [1])。

日本在 2009 年发射了用于温室气体探测的 GOSAT 卫星, 其主载荷为碳观测用热红外和近红外传感器 (Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation, TANSO)。TANSO 由傅里叶变换光谱仪 (TANSO-FTS) 以及云和气溶胶成像仪 (TANSO-CAI) 组成。前者采用摆扫光学系统, 主要用于探测大气中的 CO_2 、 CH_4 和 O_3 等温室气体, 其空间分辨率为 10.5 km, 刈幅为 750 km, 光谱特性见表 5; 后者是一个覆盖紫外、可见光和短波红外波段的辐射计, 具有连续的空间覆盖、更宽的视场 (刈幅为 1000 km) 以及更高的空间分辨率 (紫外和近红外波段为 0.5 km, 短波红

外波段为 1 km)。美国于 2009 年首次发射了用于大气 CO_2 监测的 OCO 卫星, 但因火箭整流罩分离失败而造成卫星损失。他们又立即启动了 OCO-2 计划, 其卫星平台和有效载荷均在 OCO 卫星的基础上进行了改进。该有效载荷采用光栅分光技术, 具有 $0.765 \mu\text{m}$ (O_2)、 $1.61 \mu\text{m}$ (CO_2) 和 $2.06 \mu\text{m}$ (CO_2) 等 3 个探测波段。

红外光谱探测仪将是大气环境探测应用中的主要遥感仪器, 其主要发展趋势是采用干涉式分光 and 冷的后光路。

2.3 高分辨率光谱成像仪

高分辨率光谱成像仪具有以下几个特点:

(1) 空间分辨率处在从 1 m 以内到几十米的范围内; (2) 光谱波长主要在可见光、近红外和短波红外波段, 也有可能延伸到中波红外和长波红外波段; (3) 通道数量和频率带宽呈现多样化, 需要一个波长在 $0.4 \mu\text{m}$ 左右、具有特定带宽的全色信号通道。对于多光谱系统, 通道数量一般为 3~10 个, 带宽约为 $0.1 \mu\text{m}$; 而对于连续光谱 (即高光谱) 系统, 通道数量一般为 100 个, 带宽约为 10 nm。

高分辨率光谱成像仪主要分为用于识别和立体观测的全色相机、用于监测陆地覆盖、植被

表 4 IRS 的性能参数

波段	波长范围 (cm ⁻¹)	主要成分	分辨率 (@中心波长)	NEDT@280 K	GSD, km
IRS-0	667-700	CO ₂	1367	TBD	6
IRS-1	700-770	CO ₂	1470	0.2 K	6
IRS-2	770-980	表面, 云	1400	0.24 K	6
IRS-3	980-1070	O ₃	2070	0.2 K	6
IRS-4	1070-1210	源, 云	1344	0.3 K	6
IRS-5	1210-1600	H ₂ O, N ₂ O, CH ₄	2248	0.2 K	3
IRS-6	1600-2000	H ₂ O, NO	2880	0.2 K	3
IRS-7	2000-2250	CO ₂ , N ₂ O	3400	0.2 K	3
IRS-8	2250-2400	CO ₂	1860	TBD	3
IRS-9	2400-2500	表面, 云, N ₂ O	1000	TBD	3

表 5 TANSO-FTS 和 OCO 有效载荷的性能对比

TANSO-FTS (GOSAT)					OCO-2		
光谱编号	1	2	3	4	1	2	3
光谱区	VIS	SWIR	SWIR	MWIR/TIR	0.76 μm	1.61 μm	2.06 μm
光谱覆盖范围 (μm)	0.758-0.775 (12900-13200cm ⁻¹)	1.56-1.72 (5800-6400cm ⁻¹)	1.92-2.08 (4800-5200cm ⁻¹)	5.5-14.3 (700-1800cm ⁻¹)	0.758-0.772	1.61-2.06	2.042-2.082
探测目标	O ₂	CO ₂ , CH ₄	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , O ₃	O ₂	CO ₂	CO ₂
光谱分辨率	0.5 cm ⁻¹	0.2 cm ⁻¹	0.2 cm ⁻¹	0.2 cm ⁻¹	>20000:1		
探测器类型	Si	InGaAs	InGaAs	PC-MCT	Si	HgCdTe	HgCdTe
温度					120 K	120 K	120 K
定标方式	太阳、冷空间、月亮、激光器			黑体, 冷空间			

表 6 OLI 与 ETM+ 的性能对比

OLI (LDCM)				ETM+ (Landsat-7)			
光谱通道	波长 (μm)	GSD(m)	SNR or NEΔT	光谱通道	波长(μm)	GSD(m)	SNR or NEΔT
8 (PAN)	0.500-0.680	15	80@23 W/(m ² ·sr·μm)	8 (PAN)	0.52-0.90	15	14@22.9 W/(m ² ·sr·μm)
1	0.433-0.453	30	130@40 W/(m ² ·sr·μm)				
2	0.450-0.515	30	130@40 W/(m ² ·sr·μm)	1	0.45-0.52	30	36@40 W/(m ² ·sr·μm)
3	0.525-0.600	30	100@30 W/(m ² ·sr·μm)	2	0.53-0.61	30	37@30 W/(m ² ·sr·μm)
4	0.630-0.680	30	90@22 W/(m ² ·sr·μm)	3	0.63-0.69	30	24@21.7 W/(m ² ·sr·μm)
				4	0.78-0.90	30	33@13.6 W/(m ² ·sr·μm)
5	0.845-0.885	30	90@14 W/(m ² ·sr·μm)				
9	1.360-1.390	30	50@6.0 W/(m ² ·sr·μm)				
6	1.560-1.660	30	100@4.0 W/(m ² ·sr·μm)	5	1.55-1.75	30	34@4.0 W/(m ² ·sr·μm)
7	2.100-2.300	30	100@1.7 W/(m ² ·sr·μm)	7	2.09-2.35	30	27@1.7 W/(m ² ·sr·μm)
TIRS (LDCM)							
	10.3-11.3	120	0.4K@300K; 0.35K@320K	6 (TIR)	10.40-12.50	60	0.2 K@300 K
	11.5-12.5	120	0.4K@300K; 0.35K@320K				

和灾害信息的多光谱成像仪以及用于研究植被过程和碳循环的高光谱成像仪三种。

美国“陆地”系列资源卫星是高分辨率多光谱红外成像仪的典型应用。2013 年发射的 Landsat-8 卫星上搭载了业务陆地成像仪 (Operational Land Imager, OLI) 和热红外传感器 (Thermal Infrared

Sensor, TIRS)。其中, OLI 是 Landsat-7 卫星增强型专题绘图仪 (Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+) 的改进型产品, 它增加了一个海岸气溶胶探测波段和一个卷云探测波段, 取消了热红外波段。其主光学部分采用推扫系统, 而 ETM+ (下转第 19 页)

表 5 白光干涉仪测得的各样品粗糙度

衬底号	位置	Ra(nm)	Rq(nm)	ΔZ (nm)
A	边缘	0.841	1.057	9.533
	中间	0.651	0.814	6.743
B	边缘	1.083	1.351	10.981
	中间	1.349	1.68	13.42
C	边缘	1.235	1.559	14.571
	中间	1.113	1.396	13.152
D	边缘	0.921	1.119	9.268
	中间	0.435	0.548	4.884

3 结论

以 Vegard 定律为依据, 通过测量 InAlSb 分子束外延薄膜的晶格常数, 间接计算出了 Al 组分, 解决了低 Al 组分难以表征的问题。通过测量 (400) 和 (511) 方向的晶格常数, 对其应变弛豫做出研究。结果表明, 弛豫的大小与生长温度之间存在一定的关系。当生长温度升高时, 应变弛豫会变小。使用光学显微镜和白光干涉仪可以观察到部分样品表面存在交叉网格线, 其产生与 Al 组分的大小以及退火密切相关, 通过退火可以一定程度上减少交叉网格线。研究表明, 通过优化生长温度、束流比、升降温速率以及退火

工艺等生长条件, 可以获得高质量的 InAlSb 分子束外延膜。

参考文献

- [1] Nesher O, Klipstein P C. High Performance IR Detectors at SCD Present and Future[J]. *Opto-Electronics Review*, 2006, 14(1), 61-70.
- [2] Ashley T. Higher Operating Temperature, High Performance Infrared Focal Plane Arrays[J]. *SPIE*, 2004, 5359:89-100.
- [3] Klin O. Molecular Beam Epitaxy Grown $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}/\text{InSb}$ Structures for Infrared Detectors [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 2006, 24(3):1607-1615.
- [4] 周立庆, 刘铭, 巩峰, 等. 3 英寸 CdTe/Si 复合衬底外延技术研究 [J]. *激光与红外*, 2011, 41(5):537-541.
- [5] 刘铭, 程鹏, 肖钰, 等. InSb 薄膜分子束外延技术研究 [J]. *激光与红外*, 2013, 43(11):1256-1259.
- [6] 熊敏. GaAs 基 InSb 薄膜的分子束外延生长及其结构与性能 [D]. 哈尔滨工业大学硕士论文, 2006:36-38.
- [7] Maigne P. Relaxation in Tensile-strained InAlSb-InSb Heterostructures[J]. *J. Appl. Phys.*, 1995, 77(4):1466-1470.
- [8] Maigne P. Strain Relaxation in InAlSb Epilayers Grown on InSb Substrates[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 65(12):1543-1545.

(上接第 9 页)

则采用摆扫光学系统。表 6 列出了 OLI 与 ETM+ 的性能对比情况。另外, TIRS 具有 2 个热红外波段 ($10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ 和 $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$) 的成像能力, 弥补了 OLI 的不足。TIRS 采用量子阱红外焦平面探测器, 并利用两级机械制冷机将其冷却至 43 K; 其主光学部分采用折射式推扫系统, 地面分辨率为 100 m, 刈幅为 185 km。

3 结束语

对地观测是红外遥感技术的主要应用领域。经过半个多世纪的发展, 红外遥感技术在满足气象和地球环境探测需求的同时也得到了很大发展。随着红外焦平面技术的不断成熟, 红外遥感仪器将会在探测灵敏度、空间分辨率、光

谱分辨率和时间响应等技术指标上得到进一步提高。为对地探测应用提供高性能红外遥感仪器, 将是红外遥感技术长期不变的发展目标。近年来, 随着环保意识的不断增强, 各国更加注重地球监测研究, 并频繁发射对地观测卫星, 因此红外遥感技术将会具有更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 陆燕. 欧洲下一代气象卫星及其红外遥感仪器概要 [J]. *红外*, 2013, 34(11): 1-7.
- [2] ESA. Satellite Missions Database [EB/OL]. <http://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>, 2014.
- [3] World Meteorological Organization. List of All Instruments [EB/OL]. <http://www.wmosat.info/osc-ar/instruments>, 2014.