



**CETC**  
中国电科

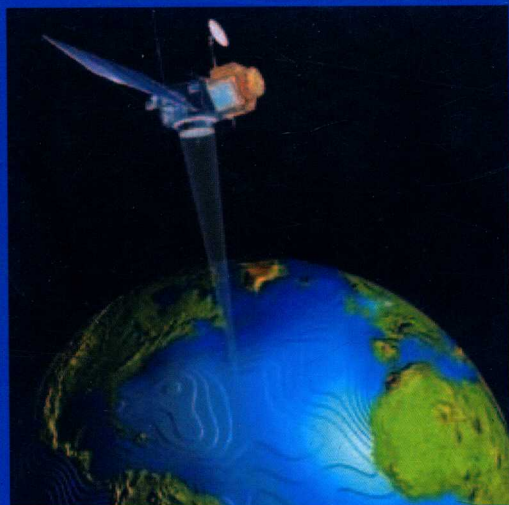
RESEARCH ON THE DEVELOPMENT  
OF ELECTRONIC INFORMATION  
ENGINEERING TECHNOLOGY IN CHINA

# 中国电子信息工程 科技发展研究 (领域篇)

## 遥感技术及其应用

■ 中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

龚惠兴 等 编著



科学出版社

# 中国电子信息工程科技发展研究 (领域篇)

——遥感技术及其应用

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

龚惠兴 等 编著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是“中国电子信息工程技术发展研究(领域篇)”蓝皮书感知专题单行本的上篇——“遥感技术及其应用”,从可见光、红外、激光、微波遥感技术及其在测绘、气象、海洋、国土资源与生态环境等方面的应用两个层面出发,综述近年来遥感技术发展态势和国内外应用现状,分析发展趋势,探讨前沿技术和关注的热点问题。

本书可供光电、红外、雷达遥感行业的专业研究人员和科技管理者阅读参考,也可供高等学校的在校大学生、研究生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国电子信息工程技术发展研究. 领域篇. 遥感技术及其应用/中国信息与电子工程科技发展战略研究中心编著. —北京: 科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057244-8

I. ①中… II. ①中… III. ①中国信息-信息工程-科技发展-研究-中国  
②遥感技术-科技发展-研究-中国 IV. ①G203 ②TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018) 第 076548 号

责任编辑: 赵敬伟 / 责任校对: 邹慧卿  
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市荣展印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 5 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 5 月第一次印刷 印张: 16 3/4 插页: 4

字数: 330 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 中国电子信息工程科技发展研究（领域篇）

## ——遥感技术及其应用

### 编写组

编写组织部门 中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

编写责任人 龚惠兴

编写组成员（按姓氏笔画排序）

丁赤飏	王 飞	王 宇	王 密	王跃明
王德江	卢乃锰	田大鹏	朱小华	刘 勋
刘 薇	刘金国	刘顺喜	刘继桥	刘银年
闫 锋	安 达	李传荣	李梦男	李睿深
李增元	李德仁	杨 磊	杨秉新	谷松岩
沈 欣	张 毅	张文昱	张学军	张绪国
陆 燕	陈卫标	陈振海	胡 坚	林明森
柳钦火	施建成	姜景山	郭建恩	龚惠兴
董晓龙	喻忠军	傅雨田	雷 斌	魏君成

# 《中国电子信息工程科技发展研究（领域篇） ——遥感技术及其应用》编写说明

遥感技术经过半个多世纪的发展，探测能力不断拓展，波段覆盖了从 X 射线、 $\gamma$  射线、紫外、可见光一直到微波的全电磁谱段。随着计算机和电子通信技术迅速发展，基于平台的信息获取、传感器等技术水平大幅提升，使光学、雷达、微波等遥感仪器的空间分辨率和探测灵敏度得到很大提高。遥感数据的应用涵盖了气象观测、资源探测、环境监测、土地利用、森林植被覆盖和国土安全等各领域，近十年来随着互联网、云计算、大数据等信息技术的兴起，为遥感技术的应用提供了新的技术支撑。我国遥感技术及应用的总体水平处于国际前列，已成为全球态势感知和支撑“一带一路”发展战略的重要手段。

《中国电子信息工程科技发展研究》（以下简称“蓝皮书”）感知领域的单行本——遥感技术及其应用，主要从技术和应用两个层面出发，总结国际和国内的发展现状，分析本领域方向的发展趋势，凝练出我国未来发展的建议，供本行业及相关领域的专家参考。

参与本专题编写和研究的著名专家来自中国气象局卫星气象中心、航天科技集团五院 508 所、61646 部队、武汉大学、中国科学院光电研究院、中国科学院空间科学与研究中心、中国科学院遥感与数字地球研究所、中国科学院电子研究所、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院上海技术物理研究所等单位，在此一并表示感谢。

“蓝皮书”单行本的编撰尚在尝试阶段，难免存在疏漏和不足之处，敬请批评指正。



2017 年 12 月 18 日

# 前 言

遥感是从远处感知目标场景的电磁波特征,从而获得地球或行星表面、大气层、海洋表层等自然和人类生存环境的信息,增强对自然环境的认识和理解,其目的是更好地保护自然,维持人与自然的和谐。

遥感技术经过半个多世纪的发展,探测能力不断拓展,波长覆盖范围从 X 射线、 $\gamma$ 射线、紫外、可见光一直到太赫兹、微波的全部电磁谱段。随着电子和信息技术的迅猛发展,基于航空和航天等平台的遥感探测能力和技术水平不断提高,遥感仪器的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率都得到了迅速提升。

遥感数据的应用涵盖了气象观测、资源探测、环境监测、土地利用、国土安全和深空探测等领域,近十年来互联网、云计算、大数据、机器学习、人工智能等信息技术的兴起,为遥感技术的应用提供了新的技术支撑,使其应用更加精准,信息发布更加及时。遥感图像和数据信息呈大数据发展的态势,数据应用和发布商业化的趋势彰显。

目前,美国、欧洲、俄罗斯、日本等国家和地区,都在积极研发各种类型的遥感仪器,其中美国的技术和应用水平都远远领先于其他国家,而欧洲在微波遥感方面有很强的优势。近年来国际上商业遥感渐入佳境,以美国 DigitalGlobe 公司为代表的一批商业遥感公司,在国家政策的指导下其运营步入良性发展。2014 年 DigitalGlobe 公司得到美国政府的许可开放 0.25m 分辨率图像,使其在国际市场上取得领先优势。

中国电子信息工程科技发展研究(领域篇)——遥感技术及其应用,是中国信息与电子工程科技发展研究中心组织和策划的战略“蓝皮书”——《中国电子信息工程科技发展研究》的单行本之一。它由中国工程院电子信息学部的龚惠兴院士领衔,组织全国来自中国科学院、航天科技集团、气象局等部门的科研院所和高校共 44 位专家共同编写,最后由中国科学院上海技术物理研究所的陆燕研究员完成统稿。本书从可见光、红外、激光、微波遥感技术及其在测绘、气象、海洋、国土资源与生态环境等方面的应用两个层面出发,综述国内外发展状况,分析发展趋势、凝练前沿科学问题,可供本行业及相关领域专家参考。

本书共分 11 章,第 1 章“绪论”,由中国科学院光电研究院的李传荣研究员负责;第 2 章“高分辨率光学成像遥感技术与应用”,由航天科技集团公司五院 508

所的杨秉新研究员负责；第3章“航空光学遥感”和第4章“测绘遥感技术与应用”，由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的张学军研究员负责；第5章“红外成像技术的发展与应用”，由中国科学院上海技术物理研究所的龚惠兴院士负责；第6章“微波遥感技术”，由中国科学院空间科学与研究中心的姜景山院士负责；第7章“国外合成孔径雷达载荷与应用技术发展现状”，由中国科学院电子学研究所的丁赤飏研究员负责；第8章“激光遥感技术及应用发展现状与趋势”，由中国科学院上海光学精密机械研究所的陈卫标研究员负责；第9章“大气海洋卫星遥感技术及应用发展现状与趋势”，由中国气象局卫星气象中心的卢乃锰研究员负责；第10章“国土资源与生态环境遥感应用”，由中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室的施建成研究员负责；第11章“遥感技术发展新趋势”，由武汉大学的李德仁院士负责。

遥感技术与应用的涉及面很广，本书目前研究的几个专题主要侧重于在对地观测领域应用相对成熟的遥感技术，还有一些专题方向因各种因素未做深入研究，如深空探测遥感技术与应用、太赫兹遥感技术与应用、遥感的军事应用等。

本次出版“蓝皮书”的单行本，是本战略研究中心的首次尝试，尚有不足之处，望各位读者及时反馈意见。

中国信息与电子工程科技发展战略研究中心

2017年8月26日

# 目 录

《中国电子信息工程科技发展研究（领域篇）——遥感技术及其应用》编写说明	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 全球发展态势与特点	2
1.2 我国遥感技术发展现状与全球定位	6
1.3 我国在遥感领域的未来展望	9
参考文献	10
第 2 章 高分辨率光学成像遥感技术与应用	12
2.1 卫星高分辨率可见光成像遥感技术	12
2.1.1 国外发展现状及趋势	12
2.1.2 国内发展现状及差距	16
2.1.3 发展建议	24
2.2 卫星高分辨率可见光遥感数据应用	25
2.2.1 国外卫星遥感数据应用现状和趋势	25
2.2.2 国内遥感数据应用现状和趋势	27
2.2.3 发展建议	30
2.3 航空高分辨率可见光成像遥感技术	31
2.3.1 国外发展现状及趋势	31
2.3.2 我国现状及发展建议	32
2.4 2016 年重要进展与突破	33
2.5 总结	33
参考文献	34
第 3 章 航空光学遥感	35
3.1 国内外技术现状	35
3.1.1 国外战略型机载光电侦察装备	35
3.1.2 国外战术型光学侦察装备	37
3.1.3 国外机载光学测量装备	43
3.1.4 国内机载光学侦察载荷	47

3.2	发展需求及趋势	48
3.2.1	军事需求	48
3.2.2	发展趋势	49
	参考文献	51
<b>第4章</b>	<b>测绘遥感技术与应用</b>	<b>53</b>
4.1	测绘遥感技术的发展	53
4.1.1	国外发展现状	53
4.1.2	国内发展现状	61
4.2	发展需求及趋势	63
4.2.1	军事需求	63
4.2.2	民用测绘主体业务需求	64
4.2.3	发展趋势	70
	参考文献	74
<b>第5章</b>	<b>红外成像技术的发展与应用</b>	<b>76</b>
5.1	气象卫星应用中的红外遥感技术	76
5.1.1	国外下一代地球同步轨道气象卫星中的红外遥感技术	77
5.1.2	国外下一代极轨轨道气象卫星中的红外遥感技术	86
5.1.3	我国红外遥感技术在气象卫星中的应用现状	92
5.2	高分辨率多光谱成像技术及其应用状况	93
5.2.1	成像侦察应用状况	93
5.2.2	导弹预警系统中应用的红外探测技术	95
5.3	高光谱成像技术发展与应用状况	104
5.3.1	机载高光谱成像仪发展现状	106
5.3.2	星载高光谱成像仪发展现状	111
5.3.3	光谱成像技术的应用状况	115
5.4	发展趋势分析	117
	参考文献	118
<b>第6章</b>	<b>微波遥感技术</b>	<b>120</b>
6.1	国际发展概况与趋势	120
6.1.1	微波遥感技术及其特点	120
6.1.2	国际微波遥感技术发展情况	121
6.1.3	国际微波遥感技术发展趋势	127
6.2	学科体系与需求	128
6.3	我国微波遥感技术发展成果与存在的问题	129
6.3.1	我国微波遥感技术及应用主要发展成果	129

6.3.2 我国空间微波遥感及应用发展的不足和面临的挑战 .....	134
6.4 发展对策和建议 .....	136
参考文献 .....	136
<b>第7章 国外合成孔径雷达载荷与应用技术发展现状 .....</b>	<b>138</b>
7.1 总体概述 .....	138
7.1.1 合成孔径雷达的概念与特点 .....	138
7.1.2 合成孔径雷达应用的总体方向 .....	139
7.2 国外星载 SAR 载荷与应用技术 .....	140
7.2.1 国外星载 SAR 发展现状 .....	140
7.2.2 星载 SAR 应用技术 .....	149
7.3 机载/无人机载 SAR 技术 .....	153
7.3.1 国外机载/无人机载 SAR 发展现状 .....	153
7.3.2 机载/无人机载 SAR 应用 .....	156
参考文献 .....	156
<b>第8章 激光遥感技术及应用发展现状与趋势 .....</b>	<b>160</b>
8.1 激光遥感技术 .....	160
8.1.1 概述 .....	160
8.1.2 激光遥感技术种类 .....	161
8.1.3 激光遥感技术国外发展现状与趋势 .....	167
8.1.4 国际激光遥感技术发展趋势 .....	185
8.2 激光遥感应用 .....	186
8.2.1 后向散射激光雷达的应用 .....	186
8.2.2 激光高度计的应用 .....	187
8.2.3 多普勒测风激光雷达的应用 .....	191
8.2.4 测控激光雷达的应用 .....	193
参考文献 .....	194
<b>第9章 大气海洋卫星遥感技术及应用发展现状与趋势 .....</b>	<b>197</b>
9.1 引言 .....	197
9.2 发展历史 .....	197
9.2.1 国际气象海洋卫星遥感的发展历程 .....	197
9.2.2 我国气象海洋卫星遥感技术的发展历程 .....	200
9.3 技术现状 .....	203
9.3.1 国际气象海洋遥感卫星技术现状 .....	203
9.3.2 我国气象海洋遥感卫星技术现状 .....	203
9.3.3 国内外气象海洋卫星的技术对比 .....	204

9.4	未来展望	205
9.4.1	发达国家气象海洋遥感卫星的发展态势	205
9.4.2	我国气象卫星技术发展与规划	206
9.4.3	我国海洋卫星技术发展与规划	207
9.5	战略建议	207
	参考文献	210
<b>第 10 章</b>	<b>国土资源与生态环境遥感应用</b>	<b>211</b>
10.1	国内外发展现状与态势	211
10.1.1	技术发展现状	212
10.1.2	技术发展态势	213
10.1.3	我国国土资源与生态环境行业发展态势	216
10.2	发展建议和思路	221
10.2.1	科学、应用和国家重大需求驱动	221
10.2.2	国土资源与生态环境行业发展建议	223
10.2.3	建设我国全球地球综合观测系统的建议	226
10.2.4	遥感数据在科学数据上的效果	231
10.2.5	科技成果转化	232
	参考文献	232
<b>第 11 章</b>	<b>遥感技术发展新趋势</b>	<b>234</b>
11.1	发展现状	234
11.1.1	航天遥感技术	234
11.1.2	航空遥感技术	239
11.1.3	无人机遥感技术	241
11.2	发展趋势	242
11.2.1	遥感技术向“三高”方向持续发展	242
11.2.2	遥感大数据方兴未艾	243
11.2.3	遥感、通信、导航的一体化	245
11.2.4	对地观测脑	245
11.3	前沿科学技术问题	246
11.3.1	精细化的遥感数据处理技术	246
11.3.2	智能化的遥感信息提取技术	246
11.3.3	遥感、通信一体的空间信息服务系统构建技术	249
11.3.4	对地观测脑理论与技术	250
	参考文献	252

# 第 1 章 绪 论

遥感技术是从高空或外层空间探测目标物体辐射或反射电磁波信息，并通过仪器机械扫描、摄影和电子信息处理、信号传输等技术，转换为能够识别的图像或数据，以揭示被测物体的性质、形状和变化规律等。遥感仪器（简称遥感器）就是利用目标物反射的或其自身辐射出的电磁波特性，分析判定目标物特性的仪器。一般将通过自带的辐射源发射电磁波，然后再接收目标物体反射或散射的电磁波信息的遥感仪器称为主动遥感，如微波成像雷达和激光雷达。直接接收目标物体发出的红外辐射或反射的太阳光等电磁波信息的遥感仪器称为被动遥感，大部分光学遥感仪器就是其中之一。遥感仪器种类概括见图 1.1。

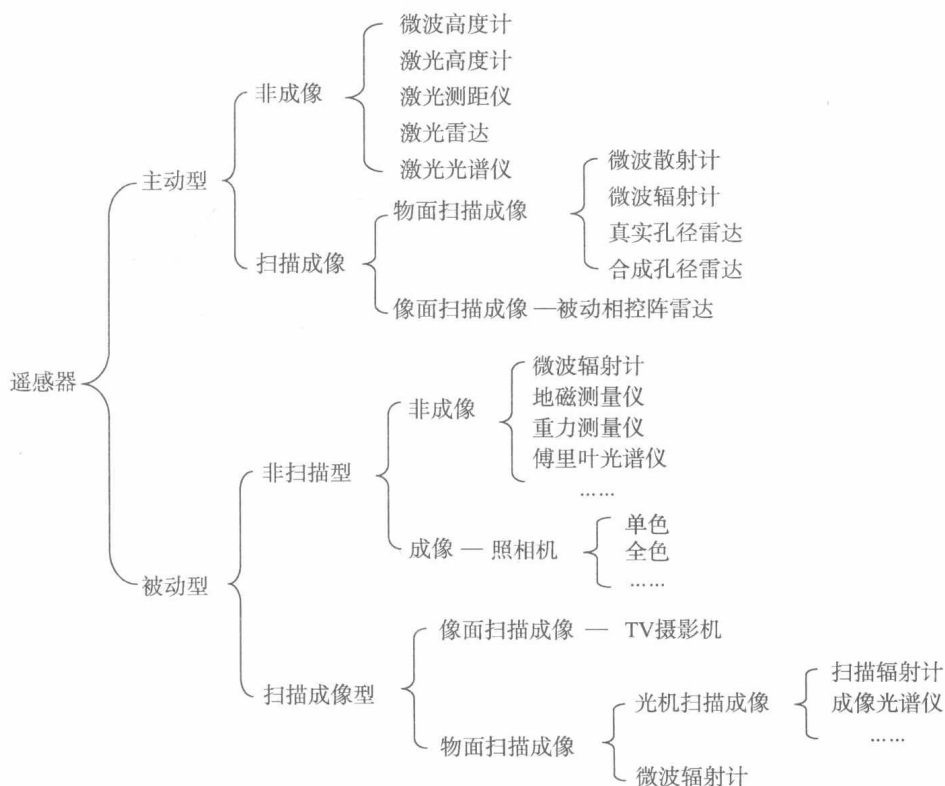


图 1.1 遥感仪器种类

经常用于遥感探测的电磁波涵盖了从紫外、可见光、红外，一直到微波的波段（图 1.2）。

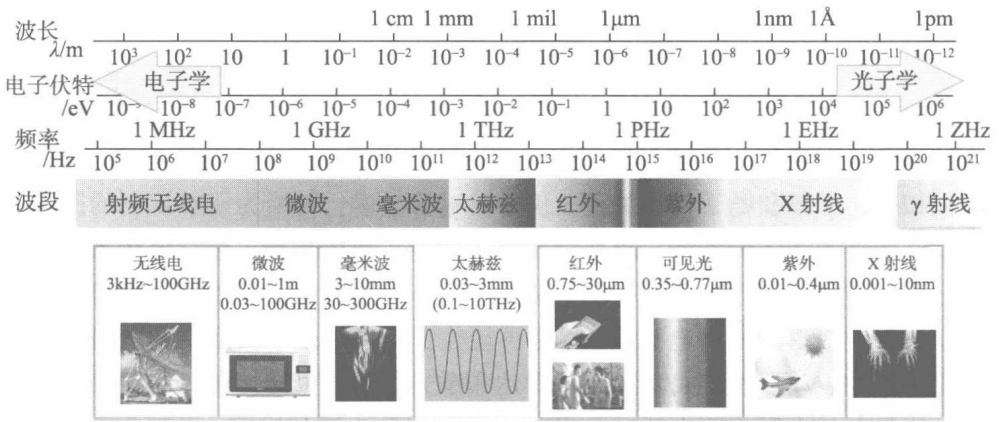


图 1.2 电磁波谱段划分

根据目前遥感技术的整体发展，本书围绕高分辨率光学成像技术、测绘遥感、红外成像技术、微波遥感、激光遥感及其在环境监测、国土资源探测、生态变化监测的应用，展开对发展综述和趋势的分析研究。

### 1.1 全球发展态势与特点

对地球系统进行全面了解、对地球环境资源进行高效掌控已成为世界各航空和航天领域持续推进遥感技术发展的源动力。遥感技术以其快速、准确、客观和全覆盖的观测能力成为当前迅猛发展的战略高技术之一，其综合观测与信息获取能力已经成为国家经济社会发展、国际竞争的重要保障，是国际航空航天技术强国重点关注和部署的战略性热点技术发展方向。

由美国卫星产业协会委托 Tauri Group 咨询公司完成的第 11 版《卫星产业状况年度报告（2016）》指出：2015 年全球卫星产业总产值约为 2083 亿美元，十年间增长约 2 倍，其中面向对地观测的卫星服务行业产值为 18 亿美元。

近十年来世界各国政府机构加强对地球观测计划的投入，遥感技术呈现出关联技术广、价值链路长、支撑服务行业多的综合发展特征。全球化、体系化、专门化、智能化、大尺度、长周期、量化、实时化的信息产品需求对遥感技术的发展提出了新的需求；遥感技术发展重点正从静态信息获取向动态变化监测扩展，从国家区域性观测向全球尺度上战略性信息获取延伸，从对地物形貌的精细可视化识别向地物物理属性的定量分析发展，从地球资源静态信息获取向公共活动动态信息观测和

个性化服务发展。因此,建立全面而持续的综合地球观测系统,提供系统化、可持续、可比较和共享的地球观测数据,是当今国际地球观测技术发展的共识。

卫星遥感是遥感技术发展的重要组成部分和主流。遥感卫星能够长时间、周期性地对地球成像,具备数据获取快速、成本低且不受区域限制的优势,已经成为人们获取地球空间信息的重要手段。长期以来,世界各国竞相发展航天遥感技术,陆续发射了一系列遥感卫星,包括光学卫星、高光谱卫星、合成孔径雷达(SAR)卫星,为各国国防建设、经济建设、科学研究、民生服务和社会可持续发展等提供了大量的数据。而航空遥感作为卫星遥感的补充,具有机动灵活的特点,尤其是无人机技术的提高为航空遥感提供了更加广阔的平台,为遥感市场起到了更好的支撑作用。国际总体发展态势特点体现在如下几方面<sup>[1]</sup>。

### 1. 体系化部署面向全球变化遥感持续监测科学研究的空观测计划

在遥感技术积累与总体水平上,欧美等空间技术强国在天基平台、遥感载荷性能、数据质量方面均占据较大优势。美国遥感卫星光谱分辨率在可见光-近红外波段达 $1.3\text{nm}$ <sup>[2]</sup>、可公开无歧视分发的卫星图像数据的全色分辨率高达 $0.25\text{m}$ 、多光谱分辨率为 $1\text{m}$ ,德国合成孔径雷达成像观测的空间分辨率达 $0.25\text{m}$ <sup>[3]</sup>。更为重要的是,欧美等国际空间机构十分重视利用空间对地观测的优势,针对地球系统和环境资源探测与管理的应用需求,部署成体系的地球观测计划、开展专门化的关键技术研究,以支撑冰川与海平面变化、大尺度降雨与水资源变化、洲际空气污染影响、地球生态结构演变、人类健康与气候变化、极端事件预警等一系列全球性科学问题的研究。

研究面向地球环境变化的全球性科学问题正成为各国航天机构大力发展遥感技术的目标之一。21世纪伊始,欧洲空间局(ESA)就启动了“地球生存计划”(The Living Planet Programme, LPP)新科学发展战略,旨在进一步地提供面向地球环境变化的遥感定量观测以及公益性服务<sup>[4-6]</sup>。在部署了GOCE、SMOS、CryoSat-2和Swarm等成体系的地球探索卫星的基础上,为了满足全球环境变化定量观测对任务系统性、持续性的要求,欧空局计划于2017年发射ADM-Aeolus大气动力学探测卫星以推进对全球三维风场的观测<sup>[7]</sup>,于2018年发射EarthCARE卫星以加强对地球云、气溶胶和辐射的探测研究<sup>[8]</sup>,于2020年发射BIOMASS卫星测量森林生物量以全面评估全球陆地碳循环情况<sup>[9]</sup>。法国空间中心(CNES)在未来几年将推出MERLIN<sup>[10]</sup>和Microcarb<sup>[11]</sup>卫星计划,用来估计温室气体减排协议执行的实际效果,同时部署MetOp-SG卫星计划以搭载新一代的大气检测装置IASI-NG,用以协助开展全球大气、天气预报的研究<sup>[12]</sup>。同时,为接替Pleiades星座,法国空间中心规划超高空间分辨率、高重返能力的THR-NG项目<sup>[13]</sup>,其对地观测能力将提高到现有卫星的2~3倍( $25\sim 30\text{cm}$ )。由欧盟和欧空局联合启动的预算经费近百亿美元的GMES(2013

年更名为“哥白尼”)计划,在 SPOT 系列和 ENVISAT 系列卫星观测任务的基础上,系统地规划了涵盖陆地、海洋、大气、气候变化、应急管理和安全六大领域监测目标的 Sentinel 系列卫星观测任务,并统筹建设多平台数据管理与处理系统,旨在促进海量数据集成管理与分发共享,以便全面服务于欧盟的全球环境与公共安全监测及其外交政策<sup>[14]</sup>。美国空间机构也积极响应对地球环境资源研究的需求,逐步推进全球性、体系化的地球探测任务。2014~2015年,美国国家航空航天局(NASA)就启动了五项对地观测科学任务,包括美日合作的全球降雨量测量(GPM)卫星计划<sup>[15]</sup>,在轨碳观测系列(OCO-2)卫星计划<sup>[16]</sup>,土壤湿度主被动探测(SMAP)卫星计划<sup>[17]</sup>,用于气象预报、海洋和飓风监测的国际空间站快速散射仪(ISS-RapidScat)计划<sup>[18]</sup>,以及低成本快速监测气溶胶、云层的国际空间站云、气溶胶转移系统(CATS)计划<sup>[19]</sup>等。同时,NASA计划在2013~2020年陆续启动 HypIRI、ASCENDS、SWOT、GEO-CAPE、ACE、LIST、PATH、GRACE-II、SCLP、GACM以及3D-Winds等多个地球观测任务,以支持针对空气污染、天气预报、海洋生态、淡水资源、人类健康等全球性环境资源问题的系列研究,总投入预计54.5亿美元<sup>[20]</sup>。

## 2. 高度重视遥感数据和定量遥感产品的质量控制技术

针对高精度、高稳定对地物理属性监测的遥感技术应用需求,国际空间机构非常重视遥感数据的质量控制研究。2007年,国际对地观测卫星委员会(CEOS)提出了“对地观测质量保证框架”(QA4EO)的概念<sup>[21]</sup>,以实现全球质量标准一致的遥感信息共享为目标,研究建立测量目标、方法、误差传递与追溯等遥感产品的质量规范体系。为了促进全球民用卫星对地观测任务的协调及多星资源的综合利用,CEOS定标与真实性检验工作组(WGCV)近年来主导开展的定标研究主要聚焦于全球多试验场联合检测、多传感器交叉比对,以及高频次无人值守的自动定标技术,先后提出伪不变场和仪器装备场计划,并于2014年综合上述两类理念,进一步启动了全球自主辐射定标场网(RadCalNet)计划<sup>[22]</sup>,这是基于高频次、高精度、可溯源的最新理念,旨在建立全球范围的辐射定标网络体系,提供全球统一的与载荷无关的辐射定标标准产品。目前,由中国科学院光电研究院(AOE)、欧空局、美国国家航空航天局、法国空间中心、英国国家物理实验室(NPL)五家单位合作开展的RadCalNet自主辐射定标技术攻关和示范应用阶段任务已接近尾声,建立了有严格质量控制的统一基准数据处理中心,并开展了基于Landsat8、SPOT5、Sentinel等典型卫星数据质量控制的示范应用,即在2017年转入常态化运行并预计纳入更多全球范围分布的定标场<sup>[22]</sup>。合成孔径雷达定标与真实性检验子工作组也于2015年提出了地面参考目标网络计划,截至目前已汇集了55个点目标和11个分布

式目标,为全球联网高频次 SAR 定标及一致性分析发挥了重要作用<sup>[23]</sup>。美国国家科学基金会(NSF)计划于2020年建成的国家生态观测站网络(NEON)<sup>[24]</sup>,目前已实现在AOP机载观测平台的支持下,天空地一体化、多站点联网的分级真实性检验能力,并与CEOS框架下的陆面产品真实性检验技术组(LPVI)合作,为全球多产品联合分级真实性检验提供支持。另外,欧美空间技术强国正在致力于寻求填补定标“溯源”环节的星上辐射基准。英国国家物理实验室提出欧洲TRUTHS定标星建议<sup>[25]</sup>,希望实现辐射基准载荷反射波段定标不确定性达到优于0.1%的水平;美国于2007年提出了CLARREO定标星计划<sup>[26]</sup>,希望实现辐射基准载荷发射波段定标不确定性达到优于0.1K的水平,并列入NASA卫星发射计划中,后由于预算调整,相关关键技术及验证的任务已并入国际空间站(ISS)的任务计划中。

### 3. 遥感信息技术作为信息产业链的重要组成之一,正进入快速发展的关键时期

遥感信息服务是对地观测遥感技术发挥应用价值不可或缺的环节,是对地观测技术系统为国民经济各行业和社会大众提供社会化服务的基础性技术保障。在目前科技与产业深度融合,以新的规则推动技术、产业和资本的高效组合,政府的战略投资方式发生转变、市场资源配置得到强化的战略环境下,遥感信息技术产业的市场化、开放式、融合式发展是大势所趋。欧美各航天大国的政府相继出台多项政策,鼓励支持商业航天遥感的发展。目前,全球遥感信息技术产业正处于能力和市场快速发展的鼎盛时期,商业遥感成为助推遥感信息技术服务产业发展的强劲动力。

在传统的遥感信息服务方面,欧美等遥感大国已构建了成熟的航空遥感技术体系,其已形成了军事化、公益性、商业化协同发展,具有高精度、轻小型、集成化应用以及规模化、集群化、产业化发展等特点;无论是航空摄影测量处理软件,还是机载激光雷达(LiDAR)、机载微波/高光谱/测绘相机等遥感载荷以及航空遥感飞行平台,相比于我国,其技术水平、系统工程化和产品商业化以及市场占有率等方面均具有巨大优势。在航天遥感技术服务方面,以美国、法国为代表的欧美航天大国通过积极的政策导向和资金扶持,迅速开展了高性能遥感卫星的研制和商业化运营,形成了政府监督管理引导、企业自主运营的良性循环的商业模式,大部分商业遥感卫星以服务政府和国防用户为主,主要的商业遥感公司均与政府和军事用户建立了长期合作关系。在整个发展过程中,美国的首颗商业遥感卫星IKONOS、首颗亚米级分辨率商业卫星QuickBird,以及目前全球分辨率最高的商业遥感卫星WorldView-3见证了商业遥感卫星服务发展的进程;而法国的SPOT系列、美国的

WorldView 系列、意大利 Cosmo-SkyMed 系列卫星星座则是商业遥感卫星服务体系建立历程中不可或缺的部分。

尽管目前传统的国际商业遥感信息服务公司巨头仍占据主流市场，但面对遥感信息技术社会化服务的应用需求，欧美等空间技术强国在积极发展传统高分辨率商业遥感卫星技术的同时，也正积极部署和研发高分辨率微小卫星技术，力求将遥感技术与遥感大数据结合，发展遥感信息服务技术；在互联网和云服务思维的引领下，卫星遥感业务呈现出了许多新特点，主要包括：注重组网海量中高分辨率卫星数据的获取，对传统卫星遥感企业的发展起到补充、备份甚至竞争作用；从传统图像产品向视频产品扩展；从出售数据向出售信息或提供云服务转变，更加高效地满足了用户的个性化需要；从按需订购、等待交付向实现快速访问转变，通过大规模微小卫星组网实现对地球连续监视来大幅提高卫星信息服务的交付能力；吸引互联网巨头、风险投资公司等社会资源多渠道获得资金支持。这些特点进一步丰富了遥感信息技术服务的产品类型，并试图在传统企业之外谋求和扩大市场份额。2007年，美国国防高级研究计划局提出了“Future、Fast、Flexible、Free-Flying、Fractionated Spacecraft”的 F6 计划<sup>[27]</sup>；2013年，美国 SkyBox Imaging 公司发布了世界首个从太空拍摄的高清地面视频，该公司计划构建一个 24 颗微小卫星组网的高分辨率成像卫星群，实现全球数据的 8 小时更新，为用户提供高性价比、高时空分辨率的对地观测数据<sup>[28]</sup>；美国 Planet Labs 公司构建的“Flock”星座是目前世界上最大的对地观测卫星星座，2014 年共发射了 3 批次共计 68 颗 Flock-1 星座卫星，具有 3~5m 中分辨率成像能力，计划 2016 年度实现近 200 颗卫星发射，通过采用对陆地连续开机的工作模式实现全球近实时覆盖<sup>[29,30]</sup>。此外，欧空局、俄罗斯等也纷纷启动一箭多星计划，如欧空局曾在 2012 年启动了 1 箭 50 星 QB50 计划<sup>[31]</sup>。微小卫星技术的发展将开启以低成本为核心、面向遥感产业化应用的空间信息服务新模式，推动先进遥感技术创新与遥感信息社会化服务相结合的发展新思路。

全球遥感信息技术服务市场业务收入整体呈增长趋势，根据《ASPRS/NASA 十年产业预测》对全球卫星遥感市场两个十年间行业产值的分析，2010~2019 年，全球遥感卫星产值将快速增长至约 1140 亿美元，是 2000~2009 年产值总和的两倍多，其中综合运营服务（数据生产业和应用服务业）市场规模年增长率将保持每年 14% 左右的高增长率，综合运营服务产值占到整个产业链 70%，成为最具价值的环节。

## 1.2 我国遥感技术发展现状与全球定位

随着我国社会经济的高速发展，农业、资源、环境、减灾、测绘以及大型基础