

多源光学遥感 数据归一化处理技术与方法

仲 波 柳钦火
单小军 穆西晗 等著



科学出版社

多源光学遥感数据归一化处理技术与方法

仲 波 柳钦火 单小军 穆西晗 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

在卫星平台与传感器技术的发展壮大过程中,超过上百颗卫星近千个传感器实施了对地观测任务,积累了大量的卫星遥感数据;这些遥感数据实现了对地的多波段、多角度、多方式、多尺度、多时间频率观测。为了充分利用这些数据,首先需要解决数据之间的一致性问题 and 标准化。本书针对这些问题,主要从五个方面进行了论述:①多源多尺度遥感数据几何归一化技术;②多源遥感数据光谱归一化技术;③多源多尺度遥感数据交叉辐射定标技术;④多源多尺度遥感数据大气校正技术;⑤多源多尺度遥感数据标准化技术。在以上技术的支撑下,通过系统研发集成,形成了多源多尺度遥感数据归一化处理系统,可用于全球及重点区域定量遥感产品生产并协助实现了基于时间序列中高分辨率遥感数据的土地覆盖分类技术等应用。

本书可供从事遥感数据处理、定量遥感研究、遥感应用研究以及遥感应用系统建设的科技与管理人员参考,也可作为高等院校遥感和地理信息系统专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

多源光学遥感数据归一化处理技术与方法/仲波等著. —北京:科学出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-03-045719-7

I. ①多… II. ①仲… III. ①光学遥感—遥感数据—数据处理
IV. ①TP722

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 133845 号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 / 责任校对:赵桂芬
责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 10 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:335 000

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着 NASA 的 Television Infrared Observation Satellite (TIROS-1) 卫星在 1960 年 4 月 1 日发射后, 全球的对地观测技术已经发展了超过 50 年。在卫星平台与传感器技术的发展壮大过程中, 越来越多的对地观测计划应运而生, 至 2014 年已有上百颗卫星近千个传感器实施了对地观测任务。在此基础上, 卫星平台、传感器、遥感数据、定量反演算法、定量遥感产品生产与免费发布及各种遥感应用系统的建立, 使得遥感在社会方方面面的应用得到了蓬勃的发展。尽管遥感数据的种类越来越多, 但大部分遥感应用和产品生产系统都使用单一的遥感数据源来完成, 在信息获取的种类、精度以及时空属性等方面都有较大的缺陷, 从而阻止了遥感数据的进一步应用。因此, 多源协同的反演思想应运而生, 为遥感科学及应用的发展提供了一种思路。在这种背景下, 科学技术部国家遥感中心在“十二五”规划目标中, 针对“发展天空地一体化的全国遥感网, 显著提高空间信息服务能力”的核心内容, 启动了“星机地综合定量遥感系统与应用示范”项目(简称“星机地项目”), 作为“十二五”规划中的两个重大项目之一。星机地综合定量遥感是充分发挥卫星、航空、地面协同对地观测能力, 提高遥感数据量化获取与应用的重要方式, 也是国际地球观测领域发展的必然趋势。星机地综合定量遥感将对我国在矿产、森林、水、粮食等资源和环境监测中的高精度信息提取和高效分发起到重要推动作用。该项目第四课题“多尺度遥感数据按需快速处理与定量遥感产品生成关键技术(2012AA12A304)”的目标为: 攻克多源遥感协同高精度定量反演与多尺度定量遥感产品生产关键技术, 建立全球陆表综合观测的定量遥感产品技术体系; 制定全球陆表综合观测定量遥感产品技术体系标准规范; 建立按需流程的多尺度遥感数据按需快速处理与定量遥感产品生产原型系统, 初步形成全球陆表综合观测多尺度定量遥感产品生产能力。该项目的核心目标就是多源遥感数据协同使用。由于技术发展的原因, 传感器技术也在不断地发展, 不同时期发展的传感器在性能上具有明显差异; 而且不同国家发展的传感器在性能上也参差不齐。因此, 需要首先将不同的传感器, 尤其是不同源的传感器, 进行归一化处理。本书就是在该课题的研究基础上总结了多源遥感数据归一化处理方面的研究成果和实用技术来编写的。该课题所研发的技术集成于“星机地项目(二期)”第一课题“星机地综合观测定量遥感融合处理与共性产品生产系统(2013AA12A301)”所研发的综合系统中; 该课题的部分技术及所生产的定量遥感产品也被应用于中国科学院西部行动计划项目“黑河流域生态-水文遥感产品生产算法研究与应用试验”第二课题“黑河流域生态过程关键参量遥感产品(KZCX2-XB3-15)”。本书为相关项目研究成果的总结。

全书共分为 7 章, 第 1 章介绍了国内外主要对地观测计划的发展现状以及由这些计划所产生的多源遥感数据; 第 2 章阐述了为协同使用多源遥感数据而建立的归一化处理框

架,以及支撑该框架的主要技术,包括几何归一化、光谱归一化、辐射归一化及数据产品标准化等技术;第3~6章详细介绍了支撑第2章中归一化处理框架的每种技术的细节;第3章介绍了中高和中低两个尺度的几何归一化技术的研究进展、关键技术、解决方案及应用案例等;第4章介绍了光谱归一化技术的研究进展、关键技术、解决方案及应用案例等;第5章介绍了中高和中低两个尺度的可见光近红外传感器交叉辐射定标技术及热红外交叉辐射定标技术的研究进展、关键技术、解决方案及应用案例等;第6章介绍了中高和中低两个尺度的大气校正技术的研究进展、关键技术、解决方案及应用案例等;第7章简要介绍了多源遥感归一化数据产品及其应用。

本书第1章由仲波、柳钦火等编写;第2章由仲波、李宏益、单小军、穆西晗、吴骅、刘元波、陈晓玲等编写;第3章由单小军、唐娉等编写;第4章由穆西晗、任华忠等编写;第5章由仲波、吴骅、刘元波、杨爱霞、吴善龙、范兴旺等编写;第6章由仲波、陈晓玲、吴善龙、袁冉胤、孙昆等编写;第7章由仲波、吴善龙、李宏益、李静、张海龙、赵静等编写。全书由仲波统一定稿。

郝莹莹、吴俊君、葛美香、王楹颖、王守志等同学参与了本书的修订工作;参与课题研究的其他老师和同学也为本书的出版做出了极大的贡献,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限,加上多源遥感数据归一化处理技术等研究依然是国际遥感科学前沿热点领域,书中难免有疏漏和不足,敬请读者和同行专家批评指正。

仲 波

2015年8月于北京

目 录

前言

第 1 章 对地观测计划与多源遥感数据	1
1.1 对地观测计划发展现状	1
1.1.1 欧盟哥白尼计划	1
1.1.2 美国的对地观测计划	4
1.1.3 中国的对地观测计划	8
1.2 多源遥感数据及其应用前景	14
1.2.1 遥感数据的应用	15
1.2.2 多源遥感数据协同的优势及发展趋势	20
1.3 多源遥感数据协同使用的关键问题	22
参考文献	25
第 2 章 多源遥感数据归一化处理框架	27
2.1 多源遥感数据归一化处理框架总体设计	27
2.1.1 多源遥感数据归一化处理目的	27
2.1.2 多源遥感数据简介	28
2.1.3 多源遥感数据处理框架	29
2.2 几何归一化处理技术	32
2.2.1 中高分辨率遥感数据的几何归一化处理	32
2.2.2 中低分辨率遥感数据的几何归一化处理	33
2.3 辐射归一化处理技术	33
2.3.1 光谱转换技术	34
2.3.2 交叉辐射定标	34
2.3.3 大气校正技术	36
2.4 不同尺度数据剖分标准	37
2.5 标准归一化数据产品	39
2.5.1 数据产品存储格式	40
2.5.2 标准归一化数据产品文件命名	42
2.5.3 标准归一化数据产品的产品名	42
2.5.4 标准归一化数据产品属性命名	43
2.5.5 标准归一化数据产品组命名	44
2.5.6 标准归一化数据产品组的属性命名	44
2.5.7 标准归一化数据产品组的数据集命名	45

2.5.8 标准归一化数据产品数据集的属性命名	45
参考文献	47
第3章 几何归一化处理技术	49
3.1 引言	49
3.2 中高分辨率数据几何归一化处理技术	49
3.2.1 引言	49
3.2.2 算法原理	50
3.2.3 技术流程与实现	54
3.2.4 精度评价	55
3.3 中低分辨率数据几何归一化处理技术	60
3.3.1 引言	60
3.3.2 算法原理	61
3.3.3 技术流程与实现	65
3.3.4 精度评价	66
参考文献	73
第4章 光谱归一化技术	75
4.1 引言	75
4.2 国内外研究现状及存在的问题	76
4.2.1 研究现状	76
4.2.2 存在的问题	77
4.3 主要卫星传感器光谱响应函数	77
4.4 光谱归一化处理技术	80
4.4.1 基本原理	80
4.4.2 主要方法	81
4.4.3 技术流程	81
4.4.4 光谱归一化软件及案例说明	85
4.5 小结	88
参考文献	88
第5章 交叉辐射定标技术	89
5.1 引言	89
5.2 辐射归一化处理技术分类	89
5.2.1 相对辐射校正	90
5.2.2 绝对辐射校正	90
5.2.3 传感器定标	91
5.3 中高分辨率 VNIR 数据交叉辐射定标技术	93
5.3.1 基本原理和方法	93
5.3.2 技术流程	107
5.3.3 案例说明: 基于 Landsat ETM+ 的 HJ-1/CCD 交叉辐射定标	111

5.4 中低分辨率 VNIR 数据交叉辐射定标技术	123
5.4.1 基本原理和方法	123
5.4.2 技术流程	124
5.4.3 案例说明	127
5.5 热红外数据交叉辐射定标技术	138
5.5.1 几种常见热红外数据交叉辐射定标方法	139
5.5.2 全球天基交叉定标系统	139
5.5.3 改进的高光谱热红外数据交叉辐射定标算法	142
5.5.4 小结	148
参考文献	149
第 6 章 大气校正技术	153
6.1 引言	153
6.1.1 AOD 反演算法介绍	154
6.1.2 中高分辨率 VNIR 数据的大气校正算法介绍	159
6.1.3 存在的问题	162
6.2 中高空间分辨率 VNIR 数据大气校正技术	163
6.2.1 基本原理和方法	163
6.2.2 技术路线	166
6.2.3 案例说明	173
6.3 中低空间分辨率 VNIR 数据大气校正技术	179
6.3.1 基本原理和方法	179
6.3.2 技术路线	183
6.3.3 案例说明	188
参考文献	196
第 7 章 多源遥感归一化数据产品及其应用	200
7.1 多源遥感归一化数据产品及其使用方法	200
7.2 大湄公河次区域十天合成 30m 植被指数产品	203
7.3 基于时间序列 HJ-1/CCD 数据的土地覆盖分类产品	206
7.4 五天合成 1km 植被指数产品	212
7.5 三小时 5km 光合有效辐射产品	214
7.6 小结	216
参考文献	216

第 1 章 对地观测计划与多源遥感数据

随着 NASA (National Aeronautics and Space Administration, 美国国家航空航天局) 的 Television Infrared Observation Satellite (TIROS-1) (Allison and Neil, 1962) 卫星在 1960 年 4 月 1 日发射后, 全球的对地观测技术已经发展了超过 50 年。在卫星平台与传感器技术的发展壮大过程中, 越来越多的对地观测计划应运而生, 到 2014 年为止已有上百颗卫星近千个传感器实施了对地观测任务。近 10 年来, 我国已经发射了 30 余颗卫星, 搭载了 130 余种载荷, 数量位居世界前列。这些对地观测任务积累了大量的遥感数据, 其中 Landsat 系列卫星所搭载的多光谱扫描仪 (MultiSpectral Scanner, MSS)、专题制图仪 (Thematic Mapper, TM)、增强型专题制图仪 (Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+), 以及 2013 年 2 月 11 日发射升空的陆地成像仪 (Operational Land Imager, OLI) 传感器已经积累了 30m 分辨率的对地观测 40 多年的数据, 是 30m 分辨率对地观测数据中历史最长的; NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 美国国家海洋和大气管理局) 系列卫星搭载的 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 数据则是 1km 分辨率数据中最长的, 也超过了 40 年。这两种数据, 再加上近年来发射的新型卫星遥感数据, 组成了有效的对地观测。这些数据的对地观测包含了从近紫外到微波波段、从垂直到多角度观测、从被动到主动、从低分辨率到甚高分辨率、10 多天到每小时甚至每半小时的观测频率, 具有覆盖不同光谱、时间、空间、方式的综合对地观测能力。

1.1 对地观测计划发展现状

20 世纪 60 年代以来, 对地观测领域得到了极大的发展, 正在逐步完善。早期的对地观测计划主要针对气象及陆地资源的监测等领域; 如今对地观测计划已经涵盖了包括陆地资源与环境监测、海洋资源与环境监测、大气监测、灾害及应急响应、国家安全和全球变化 (气候变化) 6 个领域, 形成了一个较为完整的体系。对地观测在这 6 个领域的发展起初是分开的, 各个领域都在发展相应的对地观测计划; 随着对地观测领域的完善, 现在的对地观测计划开始趋向于综合地考虑这 6 个领域。最具代表性的是欧盟从 1998 年开始筹划, 2014 ~ 2015 年进入业务化运行的哥白尼计划 (Copernicus Programme, <http://copernicus.eu/>)。

1.1.1 欧盟哥白尼计划

哥白尼计划原名为全球环境与安全监测计划, 欧盟委员会计划在 1998 ~ 2020 年投入

84 亿欧元建立一个自主的、多层次的业务化对地观测计划。该计划的主要目标是利用多源数据（以遥感数据为主）来获取及时且高质量的信息、服务和知识，从而能够在全球范围内提供自主和独立的环境及安全信息，实现获取地球“健康”的综合且全面的知识。而哥白尼计划所获取的数据，将涵盖现阶段对地观测的全部 6 个领域。

为了实现以上目标，哥白尼计划制订了具体的对地观测任务，该任务由 Sentinel 任务（Mission）和可贡献于哥白尼计划的其他对地观测任务两个部分组成。具体组成结构如表 1.1 所示。

表 1.1 哥白尼计划组成

Sentinel 任务卫星	任务组成	Sentinel-1
		Sentinel-2
		Sentinel-3
		Sentinel-4
		Sentinel-5（先驱）
		Sentinel-5
		Sentinel-6
已发射	Sentinel-1 A	
可贡献于哥白尼计划的其他对地观测任务及卫星 (Contributing Missions)	合成孔径雷达（SAR）	ERS-2
		Envisat
		COSMO-SkyMed
		Radarsat-2
		TerraSAR-X
		TanDEM-X
		PAZ
	光学传感器（Optical Sensors）	ERS-2
		Envisat
		Deimos-2
		Disaster Monitoring Constellation（DMC）
		EnMAP
		HiROS
		Pléiades
		Prisma
		Proba-V
		RapidEye
		SEOSat/Ingenio
		SPOT
		VENμS

续表

可贡献于哥白尼计划的其他对地观测任务及卫星 (Contributing Missions)	高度计 (Altimetry Systems)	Envisat
		CryoSat
		Ocean Surface Topography Mission (OSTM)
		SARAL
	大气 (Atmosphere)	CALIPSO
		Envisat
		Merlin
		Meteosat Second Generation (MSG)
		MetOp

注：DMC 为灾害监测卫星星座；MSG 为第二代静止气象卫星。

Sentinel 任务由 7 个子任务组成，包括雷达、超光谱成像仪，主要用于陆地、大气和海洋监测。这 7 个子任务具体如下。

1) Sentinel-1：提供全天候的雷达影像，用于陆地和海洋领域的相关服务。Sentinel-1 是一个卫星星座，包括两颗卫星，其中 Sentinel-1A 已于 2014 年 4 月 3 日成功发射。

2) Sentinel-2：提供高分辨率光学遥感数据，用于陆地资源监测（包括植被、土壤、水体、河道及海岸带等）和应急响应。Sentinel-2 也是一个卫星星座，其中第一颗卫星已于 2015 年 6 月 23 日成功发射。

3) Sentinel-3：主要用于海洋和全球陆地监测服务。计划于 2015 年年底发射。

4) Sentinel-4：是欧洲的第三代气象卫星，它是一个静止卫星，主要用于气象预报和大气成分监测。计划于 2021 年发射。

5) Sentinel-5（先驱）：是介于 Sentinel-5 和 Envisat 之间的卫星，主要用于弥补这两个计划之间的空缺。Sentinel-5（先驱）主要用于大气监测和全球变化研究。计划于 2016 年发射。

6) Sentinel-5：是欧洲极轨气象卫星的后续卫星，主要用于大气监测、天气预报和全球变化研究。计划于 2021 年发射。

7) Sentinel-6：是继 Jason-2 卫星之后的高精度的高度计观测卫星。

可贡献于哥白尼计划的其他任务是在 Sentinel 任务之前可向哥白尼计划提供数据的一些对地观测任务。这些任务具体如下。

1) ERS：欧洲遥感卫星计划，包括一期（1991 ~ 2000 年）和二期（1995 年至今），主要用于海洋表面温度、海面风速及大气臭氧监测。

2) Envisat：全球最大的对地观测平台（2002 ~ 2012 年），搭载了包括先进的合成孔径雷达（ASAR）和中分辨率光谱成像仪（MERIS）等仪器，主要用于地球陆表、大气、海洋、冰盖等领域的监测。

3) 地球探索计划（Earth Explorers）：该计划是专门致力于地球环境监测的对地观测计划，是小型的研究计划；该计划主要集中于大气圈、生物圈、水圈、冰雪圈及地球内部的观测，研究这些圈层之间以及圈层与人类活动之间的相互作用与过程。该计划包括以下 7 个子计划：①GOCE，主要用于地球重力场与海洋稳定状态观测，发射于 2009 年 3 月；

②SMOS, 主要用于土壤水分和海洋盐度观测, 发射于 2009 年 11 月; ③CryoSat-2, 主要用于浮冰的厚度观测, 发射于 2010 年 4 月; ④Swarm, 主要用于地磁观测, 发射于 2013 年 11 月; ⑤ADM-Aeolus, 用于大气动力监测, 计划于 2016 年发射; ⑥EarthCARE, 主要用于地球云、气溶胶和辐射监测, 计划于 2016 年发射; ⑦BIOMASS, 主要用于地球生物量监测, 计划于 2020 年发射。

4) MSG: 第二代欧洲静止气象卫星。

5) MetOp: 欧洲第一代用于气象的业务化极轨卫星计划。该计划从 2006 年开始在 14 年的时间里发射 3 颗卫星。这些数据将用于欧洲气象业务化应用和气候变化研究。

6) SPOT: 由一系列的高分辨率光学传感器组成, 可以提供陆地和海洋资源的监测。另外, SPOT-4/5 所搭载的 VEGETATION 传感器, 还可以实现全球植被的高频次监测。

7) TerraSAR-X: 是用于地形测算的卫星, 还可以用于土地利用与土地覆盖、地形制图、森林监测、应急响应和环境监测等领域。

8) COSMO-SkyMed: 是用于地震波分析、灾害监测、农业制图等领域的小卫星星座, 包括 4 个独立的小卫星。

9) DMC: 灾害监测星座, 由 5 个遥感小卫星组成。

10) Jason-2: OSTM 仪器搭载于 Jason-2 上, 用于海洋表面地形、洋面风速及浪高等观测。

11) Pléiades: 是由两颗甚高分辨率光学卫星组成的星座, 主要用于城市规划、农业和环境监测等领域。

1.1.2 美国的对地观测计划

在卫星对地观测领域, 美国是最早开始的。与欧洲不同, 美国的卫星对地观测计划分散于多个机构, 不同的机构根据各自的需求有不同的对地观测计划。主要机构包括 NASA、NOAA、USGS (美国地质调查局) 和 DoD (美国国防部) 等。其中, NASA 是以新型卫星平台、传感器研发及全球变化研究为主导; NOAA 则以海洋和大气监测业务为主导; USGS 则以陆地资源调查为主导; DoD 则以国防需要为主导。随着卫星平台及传感器技术的日趋完善, 各个机构之间也在开始相互协作和融合。

目前, 美国已经开展的主要卫星对地观测计划如下。

(1) Landsat (陆地卫星)

Landsat 系列卫星是在 30m 空间分辨率领域全球最长的对地观测计划, 从 1972 年开始已经持续获取了全球 43 年的卫星遥感数据, 该卫星是由 USGS 运行的。其中, Landsat-1~3 搭载的是多光谱扫描仪; Landsat-4, 5 搭载的是专题制图仪; Landsat-7 搭载的是增强专题制图仪; 最新的卫星为 Landsat-8, 搭载了全色、多光谱 (从可见光到中红外) 和热红外等不同的传感器, 空间分辨率分别为 15m、30m 和 100m。Landsat-1~8 的数据具有非常好的继承性, 成为资源环境调查领域全球利用最为广泛的一种数据。这些数据被广泛应用于农业、林业、地质、地图制图、区域规划、资源调查及教学等多个领域。图 1.1 展示了 Landsat 系列卫星的服役时间。

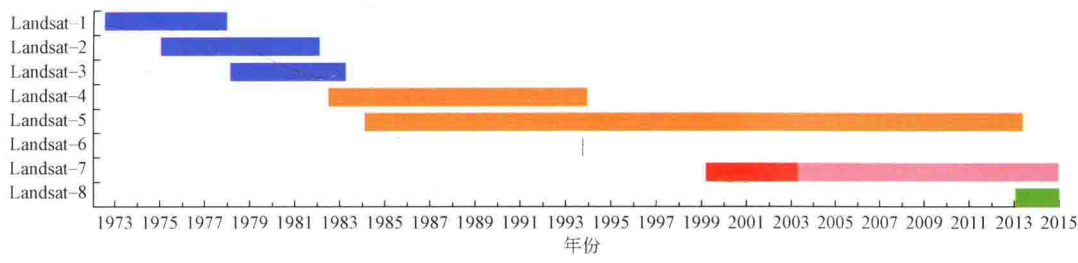


图 1.1 Landsat 系列卫星服役时间

不同颜色代表不同传感器，蓝色 (MSS)、橙色 (TM)、红色和粉色 (ETM+)、绿色 (OLI)、红色正常运行，粉色仪器故障但仍在运行

(2) POES (极轨业务化环境卫星计划)

POES 系列卫星是由 NOAA 运维的，主要是用于气象业务化运行的卫星群，也可用于全球陆地和海洋监测以及全球变化研究；POES 系列卫星所获取的数据是全球持续时间最长的中低分辨率对地观测记录，最早可以追溯至 20 世纪 50 年代，对于全球变化研究具有极其重要的作用。POES 系列卫星是从 TIROS (Allison and Neil, 1962) 系列卫星演化而来，现阶段被称为 NOAA 系列卫星，搭载的传感器包括 AVHRR/3 (辐射计)、HIRS/4 (红外辐射探测器)、AMSU (微波探测单元)、SEM (空间环境监测仪)、MHS (微波湿度探测器) 等。可以实现对陆地、海洋和大气的多手段、全天候观测。图 1.2 展示了 NOAA-POES 系列卫星的发展阶段。

(3) GOES (地球同步业务化环境卫星计划)

GOES 系列卫星是由 NOAA 运维的，与 POES 相同，主要是用于气象业务化运行的卫星群，但 GOES 是地球同步卫星，主要集中于北美洲及邻近区域的观测。静止卫星与极轨卫星相比，时间分辨率更高，可以实现小时乃至半小时的对地观测。搭载的主要仪器为辐射计。图 1.3 展示了 NOAA-GOES 系列卫星的发展阶段。

(4) EOS (地球观测系统)

EOS 系列卫星是由 NASA 运维的，由一系列的卫星计划组成，主要搭载了一些性能更高的用于科学研究的实验性传感器，主要聚焦于对陆地表面、生物圈、大气和海洋的长期的全球观测。主要的卫星计划如表 1.2 所示。

(5) JPSS (联合极轨卫星系统)

JPSS 是继 NOAA 系列卫星之后用于天气和气候监测与研究的对地观测卫星计划。该计划与 NOAA 系统相比融入了 EOS 计划中先进的仪器。该卫星计划搭载了下列传感器。

1) VIIRS (Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite, 可见光及红外成像仪和辐射计套设备): VIIRS 是一个具有多波段成像能力的光电成像仪，其数据可用于云和气溶胶属性参数、地表类型、植被指数、海色、海洋及陆表温度以及低光下可见光成像等领域。VIIRS 具有 22 个通道，具有全球逐日观测等能力，波段范围包括可见光、近红外、短波红外、中红外到长波红外。VIIRS 是 JPSS 的首要仪器，用于全球 21 种环境参数的获取。

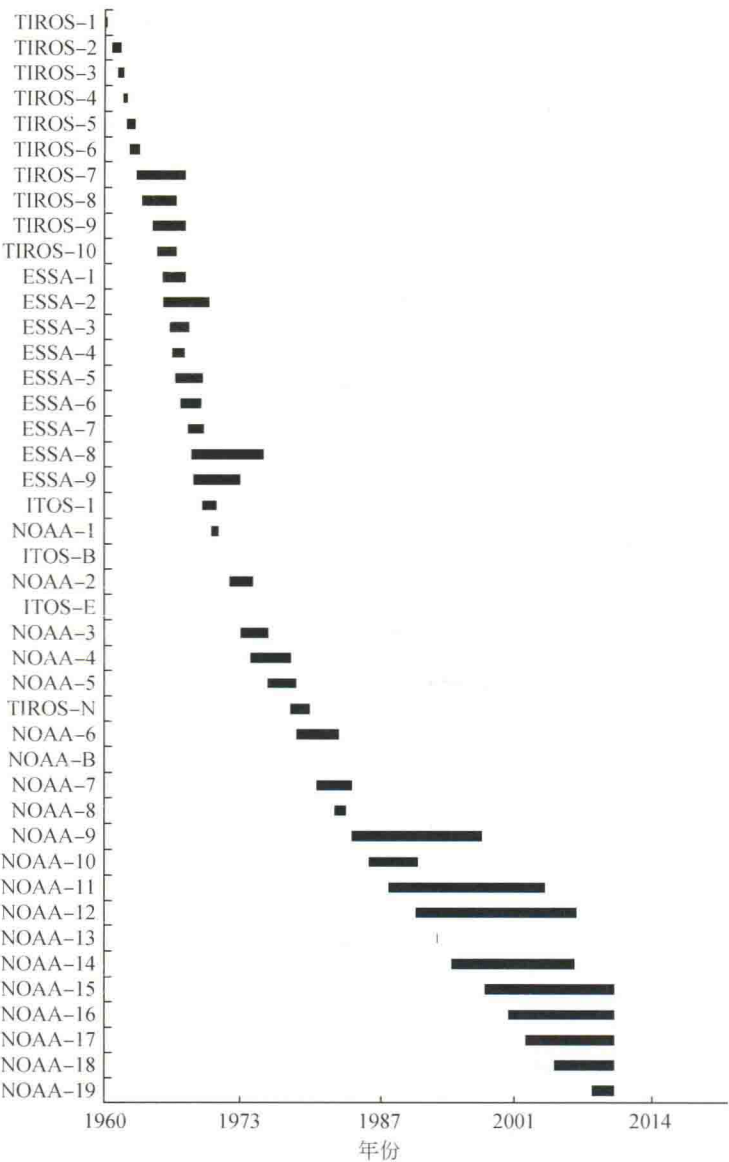


图 1.2 NOAA-POES 系列卫星的服役时间
截至 2011 年 6 月 1 日 (Davis, 2007)

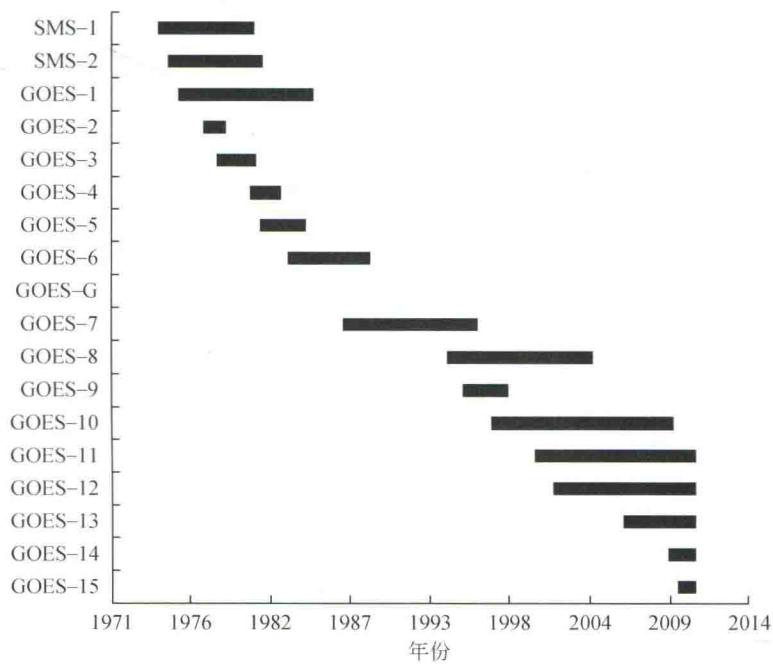


图 1.3 NOAA-GOES 系列卫星的服役时间
截至 2011 年 6 月 1 日 (Davis, 2007)

表 1.2 EOS 系列卫星计划信息列表

卫星	发射日期	运维机构	任务描述
ACRIMSAT	1999-12-20	NASA/JPL	太阳总辐照度研究
ADEOS II (Midori II)	2002-12-14	JAXA/NASA	水和能量循环监测
SeaWiFS	1997-08-01	NASA	获取定量化的生物光学参数
TRMM	1997-11-28	NASA/JAXA	热带降水监测与研究
Landsat-7	1999-04-15	NASA	获取全球地表影像
QuikSCAT	1999-06-19	NASA/JPL	全球近地表风速获取
Terra (EOS-AM)	1999-12-08	多个机构	获取全球海洋、陆地和大气状态参数
NMP/EO-1	2000-11-21	NASA/GSFC	对地观测新技术
Jason-1	2001-12-07	NASA/CNES	洋流速度和高度获取
Meteor 3M-1/Sage III	2001-12-10	USSR	地球大气观测
GRACE	2002-03-17	NASA/DLR	地球重力场观测
Aqua	2002-05-04	多个机构	地球系统水循环信息获取

续表

卫星	发射日期	运维机构	任务描述
ICESat	2003-01-12	NASA	冰雪质量、云及气溶胶高度、地形及植被观测
SORCE	2003-01-15	NASA	太阳观测
Aura	2004-07-15	多个机构	臭氧和空气质量观测
CloudSat	2006-04-28	NASA	云垂直结构和冰水含量观测
CALIPSO	2006-04-28	NASA/CNES	气溶胶和云在气候变化中的作用研究
SMAP	2015-01-31	JAXA	表层土壤水分及冻融观测
OCO-2	2014-07-12	NASA	二氧化碳监测
Aquarius	2011-06-11	NASA/CONAE	海洋盐度的时空分布
Landsat-8	2013-02-11	NASA/USGS	获取全球地表影像

2) CrIS (Cross-track Infrared Sounder, 红外探测仪): CrIS 是一个基于傅里叶变化的光谱仪, 具有非常高的光谱分辨率, 在 3 ~ 16 μm 具有约 1300 个通道, 通过测量 3 ~ 16 μm 的上行辐射 LAI (Leaf Area Index, 叶面积指数) 获取大气廓线, 包括温度、湿度和压力等, 具有 2200km 的幅宽。

3) ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder, 高技术微波探测仪): ATMS 是具有高空间分辨率的微波探测器, 具有 22 个微波通道, 可以获取有云情况下的温度和湿度监测。ATMS 的主要波段包括 23/31GHz、50GHz、89GHz、150GHz 及 183GHz。

4) OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite, 臭氧制图及廓线组件设备): OMPS 用于从太空中监测大气臭氧。OMPS 可以获取臭氧的垂直分布信息和总含量。

5) CERES (Cloud and Earth Radiant Energy System, 云及地球辐射能量系统): CERES 试图通过对地球辐射收支成分的时空分布观测 LAI 提高天气预报和气候模型的预测精度。CERES 搭载了宽波段的辐射计, 将和 VIIRS 一起用于研究地球能量平衡的变化及云和气溶胶等参数的变化对能量平衡的影响。

6) TSIS (Total Solar Irradiance Sensor, 总太阳辐射探测仪): TSIS 用于测量太阳的总输出, 包括总太阳辐照度。

1.1.3 中国的对地观测计划

经过几十年的发展, 中国的对地观测计划也有了翻天覆地的变化, 形成了与欧美相对应的一系列观测计划, 具体如下。

(1) 资源系列卫星: 用于资源调查与环境监测及减灾救灾等

中巴地球资源卫星: 中巴地球资源卫星是 1988 年中国和巴西两国政府联合议定书批准, 由中国和巴西共同投资, 联合研制的卫星 (代号 CBERS)。1999 年 10 月 14 日, 中巴地球资源卫星 01 星 (CBERS-01) 成功发射, 在轨运行 3 年 10 个月; 02 星 (CBERS-02)

于 2003 年 10 月 21 日发射升空，目前仍在轨运行（CBERS-01 星传感器基本参数如表 1.3 所示）。2004 年中国和巴西正式签署补充合作协议，启动 CBERS-02B 星研制工作。2007 年 9 月 19 日，卫星在中国太原卫星发射中心发射，并成功入轨，2007 年 9 月 22 日首次获取了对地观测图像。2007 年 10 月 29 日，国防科学技术工业委员会与国土资源部签署协议，国土资源部成为 CBERS-02B 星的主用户。CBERS-02B 是具有高、中、低 3 种空间分辨率的对地观测卫星，搭载的 2.36m 分辨率的 HR 相机改变了国外高分辨率卫星数据长期垄断国内市场的局面，在国土资源、城市规划、环境监测、减灾防灾、农业、林业、水利等众多领域发挥了重要作用。CBERS-02B 的应用在国际上也产生了广泛的影响，2007 年 5 月，中国政府以资源系列卫星加入国际空间及重大灾害宪章机制，承担为全球重大灾害提供监测服务的义务；2007 年 11 月在南非召开的国际对地观测组织会议上，中国政府代表宣布与非洲共享资源卫星数据。CBERS-02B 星传感器基本参数如表 1.3 所示。

表 1.3 中巴资源卫星有效载荷及性能指标

平台	有效载荷	波段号	光谱范围 /μm	空间分辨率 /m	幅宽 /km	侧摆能力	重访时间 /天	传输速率 /（Mbit/s）
CBERS-01	CCD 相机	B01	0.45 ~ 0.52	20	113	±32°	26	106
		B02	0.52 ~ 0.59	20				
		B03	0.63 ~ 0.69	20				
		B04	0.77 ~ 0.89	20				
		B05	0.51 ~ 0.73	20				
	红外多光谱扫描仪 （IRMSS）	B06	0.50 ~ 0.90	78	119.5	无	26	60
		B07	1.55 ~ 1.75	78				
		B08	2.08 ~ 2.35	78				
		B09	10.4 ~ 12.5	156				
	宽视场成像仪（WFI）	B10	0.63 ~ 0.69	258	890	无	5	1.1
		B11	0.77 ~ 0.89	258				
CBERS-02B	CCD 相机	B01	0.45 ~ 0.52	20	113	±32°	26	106
		B02	0.52 ~ 0.59	20				
		B03	0.63 ~ 0.69	20				
		B04	0.77 ~ 0.89	20				
		B05	0.51 ~ 0.73	20				
	高分辨率相机（HR）	B06	0.50 ~ 0.80	2.36	27	无	104	60
	宽视场成像仪（WFI）	B07	0.63 ~ 0.69	258	890	无	5	1.1
		B08	0.77 ~ 0.89	258				

环境与灾害监测预报小卫星星座（简称环境星）：该星座 A、B 星（HJ-1A/B 卫星）于 2008 年 9 月 6 日 11 时 25 分成功发射，HJ-1A 卫星搭载了 CCD 相机和超光谱成像仪（HSI），HJ-1B 卫星搭载了 CCD 相机和红外相机（IRS）。在 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星上均装载的两台 CCD 相机设计原理完全相同，以星下点对称放置，平分视场、并行观测，联合完成对地幅宽为 700km、地面像元分辨率为 30m、4 个谱段的推扫成像。此外，在 HJ