



装备科技译著出版基金

现代光学工程精品译丛



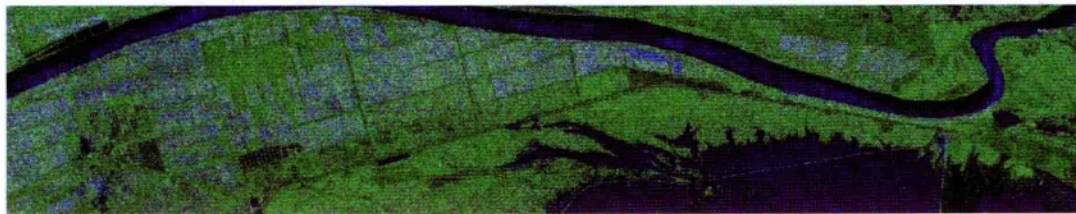
CRC Press  
Taylor & Francis Group

# 对地观测遥感 相机研制

Building Earth Observation Cameras

【印】乔治·约瑟夫 著

王小勇 何红艳 鲍云飞 谭 伟  
高慧婷 王殿中 王 芸 刘 薇  
张博文 齐文雯 张 智 译



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

## 内容简介

本书介绍了航天光学遥感载荷的成像机理、系统设计、系统优化、工程研制和应用等多方面知识和技术，从应用需求、成像机理、光学系统、光机结构等内容讲述了亚米级高分相机、高光谱相机和立体测绘相机等的指标优化与设计和性能评估技术。

本书可供从事遥感相机研制的工程人员、工程管理者 and 决策者以及空间对地观测领域的科学工作者、相关专业的研究人员参考。

Book

责任编辑：冯 晨 cfeng@ndip.cn

责任校对：苏向颖

封面设计：孔 铭



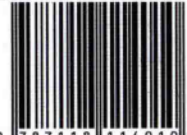
CRC Press  
Taylor & Francis Group



上架建议：遥 感

<http://www.ndip.cn>

ISBN 978-7-118-11401-0



9 787118 114010 >

定价：129.00 元



装备科技译著出版基金

# 对地观测遥感相机研制

## Building Earth Observation Cameras

[印] 乔治·约瑟夫 著

王小勇 何红艳 鲍云飞 谭 伟  
高慧婷 王殿中 王 芸 刘 薇 译  
张博文 齐文雯 张 智

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2016-053号

图书在版编目(CIP)数据

对地观测遥感相机研制 / (印) 乔治·约瑟夫  
(George Joseph) 著; 王小勇等译. —北京: 国防工  
业出版社, 2019. 3

书名原文: Building Earth Observation Cameras  
ISBN 978-7-118-11401-0

I. ①对… II. ①乔… ②王… III. ①遥感地面调查  
IV. ①TP79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 185724 号

Building Earth Observation Cameras/by George Joseph/ISBN:978-1-4665-6647-7

Copyright © 2015 by Taylor & Francis Group.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, an imprint of Taylor & CRC Francis Group LLC.

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天津嘉恒印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 17¼ 字数 312 千字

2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 129.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

对地观测相机是光学遥感卫星的重要组成部分,是卫星在轨发挥使命最重要的一个分系统,其功能和性能将直接影响到特定航天任务实现的品质。随着我国航天遥感事业的蓬勃发展,国内很多工程研究所和科研院所都在开展对地观测相机的设计及研制工作,大量工程人员对该领域的兴趣逐渐增加,但目前国内针对对地观测相机研制的书籍并不多。

印度科学院 George Joseph 博士所著作的 *Building Earth Observation Cameras* 一书是空间光学遥感器领域的一本优秀教材,本书介绍了航天光学遥感载荷的成像机理、系统设计、系统优化、工程研制和应用等多方面知识与技术,从应用需求、成像机理、光学系统、光机结构等内容分析了亚米级高分相机、高光谱相机和立体测绘相机等相机的指标优化与性能评估,同时,这本书也对法国 SPOT 系列卫星、美国 Landsat 系列卫星和印度资源卫星等案例进行了充分解读。本书可以作为一本参考教材,有效补充遥感器工程研制的理论知识和经验,我们很高兴将其翻译并推荐给国内相关领域的读者。

本书作者 George Joseph 博士 1973 年进入印度空间研究组织 (ISRO) 空间应用中心 (SAC), 开始从事地球观测系统的研发工作, 领导研制了一系列的高性能对地观测相机, 在遥感领域有着 40 余年的工作经验, 是行业内公认的著名专家。他曾经担任过国际摄影与遥感协会技术任务委员会主席、联合国亚太空间科学与教育中心主席。为表彰他做出的突出贡献, 1999 年印度政府授予其 Padma Bhushan 奖。George Joseph 博士总结多年研究经验, 参考了大量的国际对地观测相机资料, 完成了本书的编写。本书全面系统地介绍了对地观测相机研制的理论和方法, 是专业研究人员一本不可多得的参考书。

本书的翻译主要由王小勇、何红艳、鲍云飞等人完成, 其中第 1、3、6 章由王小勇、谭伟、齐文雯、张智完成; 第 2、4、5、9 章由鲍云飞、王殿中、高慧婷、谭伟完成; 第 7、8、10 章由何红艳、刘薇、王芸、张博文完成。译文中符号保持与原书一致, 术语等采用国家标准译名。

鉴于译者水平有限, 不当甚至错误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

人类总是惊叹于从高空观看地球,因为这种行为可以更广泛全面地观察地球表面。基于此,从太空对全球任何地方成像并获得地球上目标物的无缝观察的能力,已经成为一个重要的现代科技成就。今天,有很多颗卫星在太空利用先进的成像技术提供地球影像,给人类带来了深远的影响。即使最初使用空间图像是为了侦察和军事目的,但不久科学家们认识到这些图像对许多民用和公共应用的潜力,以及帮助他们科学理解地球系统的潜力,从而一个新的学科——遥感科学出现了。在当今世界上几乎每个国家都利用遥感开展了大量的社会、商业和研究应用。

遥感活动的一个重要组成部分是成像系统(“天空中的眼睛”),它不仅是一项太空中的技术奇迹,还是一个基于物理原理的优秀工程系统。本书的主要内容就是研究成像系统技术,并为空间平台建立成像系统提供不同方面的知识。原理上,大气窗口内的任何电磁辐射都是遥感的基础。本书特别涉及到光学红外光谱范围的光电传感器,这类光学成像系统的设计、开发和描述以及最终在太空中的使用都需要工程和科学多学科的大量知识。我相信,对整个成像系统的了解对于任何成像系统项目管理者来说都是必要的。尽管这里的很多知识可以从各种专业书籍、期刊等方面获得,但通常从一本教科书中很难获得如此广泛的知识。我试图通过本书来填补这一空白。

我写本书有多个目的。首先,本书应该可以帮助那些研究成像系统的项目管理者、学者和研究人员全面了解关于光电传感器系统的基本信息和成像系统的各种实体,因此,它应该帮助他们更深入了解他们正在开发的系统。其次,使用卫星图像的应用科学家也应该可以通过本书理解成像系统运行中的各种技术问题和专业术语,这样他们可以选择最合适的数据集以满足他们的应用需求。最后,我预计本书也可以指导这个领域的新入门者理解开发空间对地观测系统的概念与挑战。

写这本书对我来说一直是个人的挑战。在与光电传感器发展的深入结合中,我发现对地观测相机系统是如此巨大,以致完成它的每个分系统的撰写都是一个挑战,我尽可能涵盖全部内容并保持言简意赅。我所预见的另一个挑战是由于成像系统的多学科性质,读者会跨越科学与工程学科。因此,我一直牢记以读者可以理解的方式保持书的结构和呈现书的内容。因此,我决定做三件事:①本书必须尽可能服务于成像系统的所有技术方面;②本书应当有广泛的覆盖面,并且要简单而

有深度;③对于广泛的读者群体,它应该很有趣。当然,我在各章结尾给出一个具体的参考文献列表,如果有人想深入研究,这对他们会有帮助。

在开篇,本书回顾了成像系统的发展历史,介绍了世界上地球观测系统的演变、技术趋势和最终应用。第2章介绍了图像形成的基本概念、基本原理以及相关的物理规律和原理。接下来的7章涵盖不同类型成像系统的设计、系统优化和实现等,并以印度遥感(IRS)卫星系统为例具体说明设计和开发的问题。为了保持本书内容的连续性和促进非专业读者的轻松阅读,我有意识地在后面的章节重复一些之前所述的定义和解释。从过去到现在出现了许多地球观测系统,本书不可能覆盖所有这些。我已经尽可能努力去覆盖其他机构有代表性的成像系统,这样读者就可以理解和欣赏那些以不同的方式得到解决的各种工程挑战。最后一章给出了一个宽泛的任务框架,主要确保有效载荷的空间使用。我必须明确声明,我引用印度空间项目和 IRS 是我个人的看法,并没有得到印度空间研究组织(ISRO)的批准。

我很感谢 K. Radhakrishnan 博士,ISRO 的现任主席,他给了我在印度空间研究组织的荣誉职位,没有它我就不可能完成这个任务。我感谢 R. R. Navalgund 博士和 A. S. Kiran Kumar 教授,他们是空间应用中心(SAC)的前任和现任执行官,在准备本书的过程中,他们向我提供了必要的帮助。我在印度空间研究组织空间部(DOS)的许多同事给予宝贵意见,以及包括生成表格和数字、严格检查手稿等不同的方式给予了帮助。还有很多帮助我的非常棒的同事,但我没有提到他们每个人的名字,我在此深表感谢。我特别感谢 A. V. Rajesh 对许多图形生成、封面设计和文本编排做出的贡献。因为我的专业研究和事业追求,我的妻子 Mercy 多年来做出了许多牺牲,特别感谢她一直以来的支持和鼓励,没有这些,本书不会完成。我的孙子:Nishita、Reshawn 和 Riana 始终是我接受新挑战的灵感源泉。

乔治·约瑟夫

## 第1章 引言

1.1 遥感 .....	2
1.2 民用对地成像系统 .....	3
1.3 印度对地观测卫星发展历程 .....	4
1.4 对地观测系统:模式转换 .....	5

## 第2章 遥感影像的形成

2.1 概述 .....	8
2.2 电磁辐射 .....	8
2.2.1 电磁辐射量子特性 .....	9
2.2.2 热辐射 .....	10
2.2.3 电磁辐射在介质间的传播 .....	10
2.2.4 衍射 .....	11
2.3 成像系统专业术语 .....	12
2.4 像差 .....	14
2.4.1 球差 .....	15
2.4.2 彗差 .....	15
2.4.3 像散 .....	16
2.4.4 畸变 .....	17
2.4.5 场曲 .....	17
2.4.6 色差 .....	17
2.5 波动光学 .....	18
2.6 成像质量评价 .....	19
2.7 调制传递函数 .....	21
2.8 成像电磁辐射源 .....	24
2.9 辐射考虑 .....	24
参考文献 .....	26

## 第3章 成像光学系统

3.1 概述 .....	28
3.2 折射式光学系统 .....	28
3.2.1 远心镜头 .....	32
3.3 反射式和折反式光学系统 .....	34
3.3.1 反射式光学系统 .....	34
3.3.2 增加光学系统视场 .....	36
3.4 杂散光抑制与隔离 .....	41
3.5 反射式望远镜头的设计 .....	42
3.5.1 反射镜材料选择 .....	43
3.5.2 反射镜加工 .....	45
3.5.3 反射镜支撑结构 .....	49
3.5.4 反射镜装调 .....	52
参考文献 .....	54

## 第4章 对地观测遥感相机综述

4.1 概述 .....	58
4.2 空间分辨率 .....	59
4.3 光谱分辨率 .....	64
4.3.1 干涉滤光片 .....	66
4.4 辐射分辨率 .....	67
4.4.1 辐射质量 .....	68
4.5 时间分辨率 .....	69
4.6 性能指标 .....	70
4.7 成像模式 .....	71
4.8 在轨成像评价 .....	72
参考文献 .....	76

## 第5章 光机扫描仪

5.1 概述 .....	79
5.2 工作原理 .....	79
5.3 扫描系统 .....	81
5.3.1 扫描几何和畸变 .....	85
5.4 聚光系统 .....	87

5.5	色散型光学系统和焦平面布局 .....	87
5.6	探测器 .....	90
5.6.1	探测器性能参数 .....	90
5.6.2	热探测器 .....	92
5.6.3	光子探测器 .....	93
5.6.4	量子阱红外探测器 .....	96
5.6.5	温度控制 .....	97
5.6.6	信号处理 .....	100
5.7	系统设计 .....	103
5.8	增强型专题制图仪(ETM+) .....	107
	参考文献 .....	110

## 第6章 推扫式成像仪

6.1	概述 .....	112
6.2	工作原理 .....	112
6.3	线阵推扫器件 .....	113
6.3.1	电荷耦合器件 .....	114
6.3.2	CMOS 光子探测器阵列 .....	116
6.3.3	混合阵列 .....	117
6.4	CCD 信号发生和处理 .....	118
6.4.1	CCD 输出信号 .....	119
6.4.2	片外信号处理 .....	119
6.5	星载推扫式遥感相机 .....	123
6.6	IRS 相机:LISS-1 和 LISS-2 .....	123
6.6.1	探测器焦平面 .....	125
6.6.2	结构设计 .....	128
6.6.3	电子学 .....	129
6.6.4	装调与特性分析 .....	130
6.6.5	性能鉴定 .....	137
6.7	IRS-1C/D 相机 .....	138
6.7.1	LISS-3 设计 .....	139
6.7.2	宽视场传感器 .....	139
6.7.3	PAN 相机 .....	141
6.8	印度资源卫星系列 .....	144
6.8.1	资源卫星线阵自扫描相机三号 .....	145

6.8.2 高级宽视场相机 .....	146
6.8.3 LISS-4 多光谱相机 .....	146
6.9 法国 SPOT 对地观测相机 .....	149
6.10 陆地卫星数据连续性任务 Landsat-8 .....	153
6.10.1 陆地成像仪 OLI .....	153
6.10.2 热红外相机 TIRS .....	156
6.11 混合型扫描仪 .....	158
6.11.1 地球静止轨道高分成像系统技术挑战 .....	161
6.11.2 地球静止轨道资源调查卫星系统 .....	162
参考文献 .....	166

## 第7章 亚米级成像

7.1 概述 .....	170
7.2 高分辨率成像系统的实现 .....	171
7.3 增加积分时间 .....	172
7.3.1 时间延迟积分 .....	172
7.3.2 异步成像 .....	172
7.3.3 错排阵列结构 .....	174
7.4 选择小 $F$ 数光学系统 .....	176
7.4.1 选择 CCD 像素尺寸 .....	177
7.4.2 增加光学系统口径 .....	178
7.5 数据传输 .....	180
7.5.1 数据压缩 .....	181
7.6 卫星的约束 .....	182
7.7 亚米级相机 .....	185
7.7.1 IKONOS .....	185
7.7.2 QuickBird-2 .....	186
7.7.3 GeoEye-1 .....	187
7.7.4 WorldView 成像系统 .....	188
7.7.5 印度高分遥感卫星 .....	189
7.8 什么限制了空间分辨率? .....	192
参考文献 .....	193

## 第8章 高光谱成像

8.1 概述 .....	196
--------------	-----

8.2	高光谱成像系统构型 .....	199
8.2.1	扫描方法 .....	199
8.2.2	推扫方法 .....	200
8.3	光谱分析仪一览 .....	200
8.3.1	色散光谱仪 .....	201
8.3.2	傅里叶变换光谱仪 .....	204
8.3.3	基于滤光片的系统 .....	210
8.4	图像畸变:smile 效应和 Keystone 效应 .....	213
8.5	高光谱成像仪 .....	214
8.5.1	强力卫星 II:傅里叶变换高光谱成像仪 .....	215
8.5.2	NASAE0-1:Hyperion .....	215
8.5.3	NASAE0-1LAC .....	216
8.5.4	印度空间研究组织的高光谱成像仪 .....	216
	参考文献 .....	217

## 第9章 增加第三维:立体成像

9.1	概述 .....	220
9.2	立体像对产生的几何原理 .....	223
9.2.1	异轨立体成像 .....	223
9.2.2	沿轨立体成像 .....	224
9.3	沿轨多相机立体成像 .....	227
9.3.1	IRS CARTOSATI .....	227
9.3.2	SPOT 高分立体相机 .....	229
9.3.3	ALOS 立体制图相机:PRISM .....	230
9.4	单相机立体成像 .....	233
9.4.1	单镜头光电立体扫描仪 .....	233
9.4.2	印度“月船”1号地形测绘相机 .....	234
9.4.3	卫星倾斜沿轨立体成像 .....	234
	参考文献 .....	235

## 第10章 从地面到太空的历程

10.1	概述 .....	237
10.2	发射环境 .....	237
10.3	空间环境 .....	238
10.3.1	热环境 .....	238

10.3.2	真空	238
10.3.3	辐射环境	239
10.4	空间硬件研制方法	242
10.4.1	研制模型投产准则	244
10.5	环境试验	245
10.5.1	力学试验	246
10.5.2	热真空试验	247
10.5.3	电磁干扰/兼容性测试	248
10.5.4	环境试验等级	248
10.5.5	地面支持设备/设施	249
10.5.6	污染控制	250
10.6	评审	250
10.6.1	基线设计评审	250
10.6.2	初样设计评审	251
10.6.3	详细设计评审	251
10.6.4	出厂评审	251
10.6.5	技术状态更改控制和不合格品管理	251
10.6.6	故障审查委员会	252
10.7	零件/部件的获取	253
10.8	可靠性和质量保证	254
	参考文献	255

## 附录 代表性影像

## 第1章

# 引言

从公元1000年针孔相机简陋的发明开始到能从太空收集高度复杂数据,成像发展的历程已经成为一段技术进步及其应用的光辉历史。最古老的针孔相机,也俗称暗箱,仅能将一个场景颠倒着投影到可视表面上。在大约1816年,Nicéphore Niépce成为第一个用涂有氯化银的显像纸获取影像的人,氯化银涂层曝光后会变暗。在不久之后,George Eastman制造了一个非专业人士也能使用的商业相机,这开创了相机的新时代。1888年,第一台柯达相机进入市场,可预装满足100次曝光的胶卷。

早期人类习惯于爬上高山或树顶以更好的视角观察周围的环境,以寻找更好的草地或侦察接近敌方的威胁,换句话说,这种高瞻远瞩对他们的生存很重要。直到1858年人类才可以获取高空影像,当时Gaspard-Félix Tournachon(也称Félix Nadar)将相机放在气球上拍摄了第一张高空影像。其他拍摄高空影像的方法包括带有相机的风筝和鸽子。第一次世界大战期间信鸽得到广泛使用,而且世界大战期间航空器平台成为不可或缺的侦察手段。

战争的需要的确给相机和照相胶卷的发展提供了最大的动力。在世界大战期间,获取敌方及其活动的情报是敌对双方的关键需要之一。能够记录近红外(NIR)影像的胶卷的发展对于探测伪装目标非常有用,在NIR谱段成像时,绿色涂料或被砍断的树枝与活的树相比会产生不同的光谱响应。在第二次世界大战之后,特别是后来的冷战期间,侦察其他国家领土成为一种军事需要。根据第二次世界大战后执行的国际法,每个国家都有对其领空的自主权利,其任何飞行器只可以在自己领土上方一定高度大气层内飞行。因此对任何侵犯其他国家领空的行为,受侵国家有权进行自卫,甚至击落入侵者。军事侦察随着1957年苏联人造地球卫星的发射开启了新篇章,标志着太空时代的到来。太空被认为是全人类的领域,这保证了世界各国进行太空活动的合法性,因此从太空对他国领土的成像是不受限制的。实际上,在开始阶段从太空对地球的成像主要是用来侦察其他国家领土。

美国最初的光学侦察卫星叫“科罗娜”(CORONA),搭载了多台光学照相机,在完成拍摄任务后,曝光的胶卷从卫星上释放出来,并在半空中被收集以用于处理

和利用。这个相机系统的绰号为 KH(“锁眼”)。在 20 世纪 60 年代早期,发射的几颗“科罗娜”卫星系统都搭载了由 Itek 研发的相机,这种相机用的是 EASTMAN 柯达胶卷,早期的空间分辨率在 10~12m 之间,到 1972 年,空间分辨率提高到 2~3m。在美国第一个“科罗娜”任务之后,苏联很快也成功发射了多颗光学侦察卫星——ZENIT,这些成像系统与美国的 KH 相机大体上相似。随着技术进步,KH 相机变成了数字化的。1976 年发射的 KH-11(也称为 CRYSTAL)是美国第一颗使用光电数字成像的间谍卫星,它使用了 800×800 像素的电荷耦合器件(CCD)进行成像,因此它具有实时成像能力。KH-11 相机 2.4m 的光学口径可获得大约 15cm 的理论地面分辨率,但实际的空间分辨率会因为大气效应或其他影响而变差。由于高度机密,这些卫星的技术细节和能力无法从公开资料中获得。最新的侦察系统 KH-12(增强型 CRYSTAL)具有可见光、近红外和热红外的电磁波谱探测能力,这些遥感器可能具有微光 CCD 成像能力,能够进行夜间成像。因此在太空观测地球的早期,军事应用是这些技术进步的主要原因。

科学家们很快认识到太空影像对各种民用行业的潜力,如地质、林业、农业、制图等。在世界大战之后,科学家们积极地追求卫星影像在公益事业上的使用,一个新的术语“遥感”出现在了技术词典中。

### 1.1 遥 感

“遥感”从字面上讲是观察研究目标,但不与该目标发生物理接触。这与现场测量是相对的,例如与医生用温度计去测量人体的温度是不同的。尽管一定距离的任何观测都称为“遥感”,但 1986 年 12 月 3 日通过的联合国决议(41/65)“从外太空观测地球的相关遥感原理”(The Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Outer Space)是这样定义“遥感”的:

“遥感”是通过利用目标发射、反射和散射的电磁波特性从太空感知地球表面,以提高资源管理、土地利用和环境保护能力的一种手段。

*(The term “remote sensing” means the sensing of the Earth’s surface from space by making use of the properties of electromagnetic waves emitted, reflected or diffracted by the sensed objects, for the purpose of improving natural resources management, land use and the protection of the environment.)*

从遥感的科学角度看,我们主要研究目标反射或发射电磁波的不同特性以识别研究目标。因此遥感需要一个可以产生电磁辐射的源、一个能测量研究目标电磁辐射特性的遥感器和一个可搭载遥感器的平台。当电磁波辐射自然出现时,例如太阳辐射或目标自身辐射,这种遥感称为被动遥感;而当遥感器带有自己的电磁辐射源去照射目标时,例如雷达,这种遥感称为主动遥感。

当我们从太空观测地球时,中间的大气层不能透过所有谱段的电磁辐射,只对一部分电磁辐射是透明的,因此这些电磁谱段称为“大气窗口”。对地观测通常是在这些“大气窗口”进行,电磁波能量通过源(如太阳或自带发射器的遥感器)发射,在到达地球表面前与中间大气发生作用,其在空间和光谱上都发生了变化,与地球表面发生相互作用后,部分能量返回了大气中。另外,由于地表的温度也会产生自身辐射,目标的这些辐射信号可以被搭载于合适平台上的遥感器探测到,这些平台包括航空飞行器、气球、火箭、卫星或地面遥感器平台等。遥感器输出信号被处理并传回到地面,如果是无人航天器,可以通过遥测信号传回,如果是航空器或有人航天器,它可以通过胶卷、磁带等带回。这些数据被重定格式和处理以产生相片或存储于计算机的数字化介质内,然后被解译成专题图和其他信息。这些产生的解译数据需要与其他数据信息一起用于管理计划制定,这一般是由地理信息系统来完成的。

## 1.2 民用对地成像系统

航天对地观测成像的历史可以追溯到1891年,当时德国正在研发推进式火箭相机系统,到1907年开始采用陀螺稳定装置以提高图像质量。1959年8月,在第一颗人造卫星发射升空后不到2年,美国“探索者”6号从卫星上传回了第一张地球的照片。不久,气象学家认识到基于卫星的地球观测可以提供天气观测和全球覆盖观测,这对理解天气现象很重要。因此随着美国1960年4月1日发射红外视频观测卫星(TIROS-1),系统的航天对地观测开始了。它主要用于气象观测,搭载的相机是一个半英寸(1英寸=2.54cm)的摄像机。后续的航天器都搭载了越来越先进的设备和技术。这些低轨观测系统和后来的静轨成像系统都大大增强了天气预报能力。

地球资源调查管理民用卫星的诞生有着不同的故事。20世纪60年代,从Mercury、Gemini和Apollo任务中拍摄的地球照片对美国地质调查局的地质学家们很有用,他们认识到每一张航天影像与航空影像相比有更大的空间覆盖,这对地质研究和制图具有更大的价值。美国国家航空航天局(NASA)经过几次关于秘密与法律方面的协商之后,最终于1970年接受了发展一颗对地成像卫星的提议,并最初命名为地球资源技术卫星(ERTS),即后来熟知的美国陆地资源卫星(Landsat)。1972年发射的Landsat-1卫星搭载了两个成像系统:一个是返回式光学摄像机(RBV),其有三个谱段且空间分辨率为30m;另一个是多光谱扫描仪(MSS),带有四个谱段且空间分辨率为80m。当时RBV设备被认为是主要仪器,而MSS是一个试验设备,然而MSS影像却优于RBV影像。在Landsat-3之后,RBV就不再延续了,而MSS成为遥感数据的主要获取源,之后改进的遥感器——专题制图仪

(TM)搭载在 Landsat - 4 和 Landsat - 5 上。

Landsat/MSS 数据对美国之外的几个感兴趣的国家也很有用。在全球范围内提供不间断的 Landsat 数据为美国赢得了声誉。政府和私营机构分析了数据,并认识到通过这些光谱反射率和发射率特性可以对地球表面的特性及景观进行识别、分类和制图等,这使得对地质、农业和土地利用调查有了新的认识,可以以一种科学的方式进行资源探测和开发。很多国家均发现卫星影像对于资源管理的潜力,并意识到一旦卫星数据成为他们制订规划的一部分,则必须保障数据的有效来源。因此,其他国家也计划他们自己的卫星成像系统,法国自 1986 年发射 SPOT - 1 开始成为第二个发射多光谱对地观测系统系列的国家。日本于 1987 年发射了第一颗海洋观测卫星 MOS - I 以收集海洋表面数据,于 1992 年发射了日本对地资源卫星 JERS - I,其上搭载了一个可见光红外遥感器和一个合成孔径雷达(SAR)。印度于 1988 年发射了印度遥感卫星 IRS - 1A,这是印度对地观测系统系列的第一颗卫星。印度拥有世界上最好的对地观测系统之一,全球都在使用这些数据。更重要的是这些遥感数据正在印度各行各业中使用,以规划、管理和监测各种国家资源。

### 1.3 印度对地观测卫星发展历程

印度卫星项目起始于一颗科研卫星的设计和研发,这颗卫星于 1975 年 4 月 19 日在苏联人造卫星发射基地由苏联火箭发射升空,并以 5 世纪印度天文学家 Aryabhata 命名。受到此颗卫星发射成功的鼓舞,印度决定发展应用业务卫星以率先满足国家发展的需要。由于 Aryabhata 卫星是低轨卫星,作为遥感卫星是最合适的选择。由于认识到在首次任务中实现实用型或业务型遥感卫星的复杂性,因此印度决定研制一个试验系统,从而为用于地球资源调查的遥感卫星系统设计、研制和管理提供必要的试验。这颗试验卫星搭载了一个 1km 空间分辨率的双波段视频相机和一个多波段微波辐射计,于 1979 年 6 月 7 日在苏联发射。这颗卫星依 12 世纪印度数学家 Bhaskaracharya 的名字命名为 Bhaskara 命名。随后的 Bhaskara 2 号卫星于 1981 年 11 月 20 日在苏联发射升空。

Bhaskara 任务为资源调查管理遥感卫星系统的多个相关领域提供了有用的经验,接下来的目标就是研制高水平的对地观测系统。除了起步阶段所用到的 1km 相机,印度于 1988 年发射了第一颗印度遥感卫星 IRS - 1A,随后成功发射了一系列遥感卫星 IRS。1995 年发射的 IRS - 1C 卫星搭载了 5.8m 空间分辨率的全色相机,是当时世界上民用对地观测卫星中空间分辨率最高的卫星,这个“第一”的位置一直保持到 1999 年 IKONOS 卫星 1m 分辨率数据的出现。自此印度发射了多颗对地观测卫星用于陆地、海洋和气象研究,还有一系列的测绘卫星用于更新地形