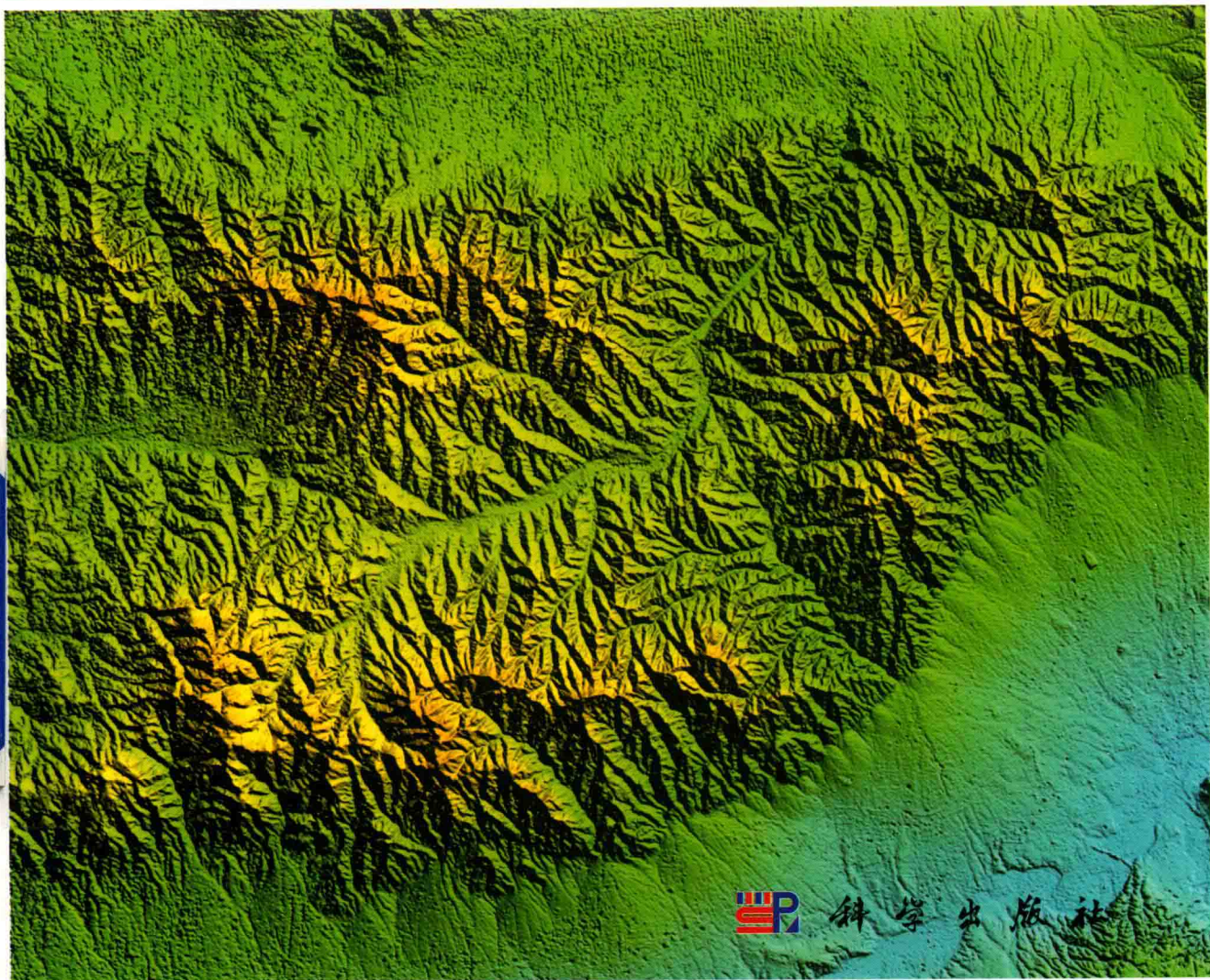




卫星测绘系列专著

资源三号卫星 影像产品及其应用

唐新明 周 平等 / 著



科学出版社

卫星测绘系列专著

资源三号卫星 影像产品及其应用

唐新明 周 平等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“卫星测绘系列专著”的第三册,书中在介绍国内外主要测绘遥感卫星影像产品基础上,提出资源三号卫星影像产品的分级分类体系,阐述了我国资源三号卫星影像产品的生产技术及其应用情况。主要内容包括基础测绘遥感影像产品、高级测绘影像产品以及专题影像产品的生产方法、流程以及精度验证,资源三号卫星海量影像管理以及服务平台的建立,以及产品的应用情况。

本书紧密围绕资源三号卫星影像和专题产品业务化生产和应用服务展开,实用性强,可作为测绘、遥感、摄影测量专业及其他相关专业的工程技术人员研究参考书。

审图号: GS(2017)3095 号

图书在版编目(CIP)数据

资源三号卫星影像产品及其应用 / 唐新明, 周平等著. —北京: 科学出版社, 2018.1

(卫星测绘系列专著)

ISBN 978-7-03-054035-5

I. ①资… II. ①唐…②周… III. ①卫星图像—研究 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 180928 号

责任编辑: 彭胜潮 赵 晶 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 17

字数: 409 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 一

人类的活动 80%和空间位置相关。随着对地观测技术水平的提高,人民的生活、政府的决策越来越依赖空间信息。现在,老百姓的出行很多都依靠导航电子地图,几乎各行各业都需要地理空间信息服务,政府的规划、管理和决策均离不开地理空间信息。在现代生活中,我们大家越来越需要精准的地理空间信息服务。

遥感影像是地理空间信息的基本组成部分。随着对地观测技术的不断发展,光学卫星影像的分辨率和精度不断提高。资源遥感卫星从 20 世纪 70 年代发展至今,以美国的陆地卫星为代表,空间分辨率从最初的 70 m 到目前的 0.31 m,短短 40 多年,分辨率提高了约 200 倍。具有代表性的有 Landsat-5 卫星,其分辨率为 30 m,IKONOS 卫星全色谱段分辨率 1 m,GeoEye 卫星全色谱段分辨率 0.41 m,WorldView-3 卫星全色谱段达到 0.31 m。目前,美国军方还有分辨率更高的卫星。影像无控制点的平面定位精度从 Landsat-5 的 400 m 左右,发展到 WorldView-3 的 2~3 m;高程精度从法国 SPOT 5 的 30 m 提高到美国 WorldView-3 的 3 m 左右。在有控制点的情况下,法国 SPOT 5 卫星的高程定位精度可以达到 5 m 左右,WorldView-3 则可以达到 1 m 以内。

除了光学遥感卫星之外,其他类型的遥感卫星也如雨后春笋般涌现,雷达卫星、激光测高卫星、重力卫星、电磁测量卫星等大批新型卫星发展迅猛,使得卫星遥感测绘能力不断提升。2000 年,美国发射的航天飞机搭载的 SRTM 系统,实现了双天线雷达干涉测量,短短的 11 天内对全球 80%的陆地表面进行了高精度地形测绘,高程精度达到 16 m。目前德国的 TerraSAR-X 卫星与 TanDEM-X 构成卫星星座,提供格网尺寸 12 m、高程精度 4 m 的数字高程模型数据。美国的 ICESat 卫星采用激光测高仪获取地面高程点,高程精度可以达到 0.15 m。

我国的对地观测技术也取得了大力发展。1999 年发射首颗中巴地球资源卫星,其影像分辨率达到 20 m,定位精度在 1.4 km 左右;资源一号卫星 02B 星的分辨率达到 2.36 m,无控制点的定位精度达到 700 m。

卫星测绘对我国的测绘事业发展起着举足轻重的作用。但直到 20 世纪末、21 世纪初,我国的地形测绘主要还是依靠航空摄影测量,由于天气、空域等方面的影响,航空摄影测量的效率一直不是很高,每年完成的航空摄影测量的面积只占国土面积的 10%左右,致使我国 1:5 万地形图的更新周期在 10 年以上。在国民经济迅猛发展的时期,10~20 年的更新周期完全不能满足国家需求。和航空摄影测量相比,航天摄影测量可以不受地域和时间的限制,而且一次成像可以获得大范围的遥感影像,大大缩短成图周期。

我国对测绘卫星发展非常重视,从 20 世纪 90 年代就开展了相关方面研究。对卫星测绘来说,分辨率和定位精度是两个最重要的方面。到 21 世纪初,我国卫星影像的分辨率取得了较大突破,但卫星定位的精度还是不高。如何提高卫星影像的定位精度迫在眉

睫。在国家测绘地理信息局的领导下,在国家国防科技工业局的鼎力支持下,我国开展了资源三号卫星的立项研制工作。资源三号卫星的核心是要解决卫星测图问题,能否测图的关键之一是卫星影像的定位精度和高程精度能否达到1:5万比例尺的要求。该书作者及其团队围绕这一问题,开展了大量的理论探索和实践,对涉及卫星影像精度的问题进行了全方位的梳理;他们对影响卫星影像精度的几乎所有参数都进行了论证和分析,并完成大量实验。实践证明,他们的工作是卓有成效的。资源三号卫星已经在轨运行近五年,经过地面几何检校和数据处理之后,卫星影像的无控制点定位精度从开始的25 m提高到目前的10 m,高程精度从开始的15 m提高到5 m;在有控制点条件下,影像的平面精度为3~5 m,高程精度为2~3 m。卫星影像的定位精度比原先的设计有较大提高,整体上完成了资源三号卫星测绘技术上的突破,全面实现了1:5万立体测图技术指标,获取大量的卫星影像,结束我国遥感卫星难以测图的历史,向国家交上了一份圆满的答卷,为我国的卫星测绘事业做出了重要贡献。

这套“卫星测绘系列专著”就是他们对这一工作的理论和技术总结。系列专著回顾了资源三号卫星的技术发展历程,开展了资源三号卫星的需求分析,在理论推导和仿真分析基础上,提出资源三号卫星的总体技术指标。系列专著的作者以满足高程精度要求为突破口,对卫星的几乎所有几何误差源进行了分析论证,包括卫星的轨道误差、姿态误差、CCD安装误差以及成像模型误差等方面进行了深入地探讨,建立了资源三号卫星的轨道模型、姿态模型、CCD指向角模型,提出了卫星几何检校的方法,构建了高精度的严密成像模型和有理函数模型,实现了国产1:5万立体测图。在此基础上,他们还建立了资源三号卫星数据处理系统、影像数据库管理系统和分发服务系统,完成资源三号卫星应用系统的工程化,处理后的卫星影像已经广泛应用于测绘、国土、水利、农业、林业、城市建设、环境保护和科学研究等诸多方面,实现我国卫星应用从试验应用到应用服务型的转变。

2015年,我国发布了国家空间基础设施中长期规划,提出要发展更高精度、更高水平的测绘遥感卫星,包括资源三号后续卫星、1:1万立体测图卫星、干涉测量卫星、重力测量卫星等,希望他们继续努力,不断创新,取得突破,谱写卫星测绘的新篇章,为实现卫星测绘强国梦而努力奋斗!

中国工程院院士

张祖勋

2016年9月

序 二

岁月荏苒，光阴似箭。一眨眼，8年过去了。2008年资源三号卫星立项的情景还历历在目。如果从2004年开展资源三号卫星的前期论证算起，到现在已经有12年了。12年前，我们国家卫星遥感事业正处于蓬勃发展的起步阶段。那时候，资源卫星已经发射了01星、02星和02B星，环境减灾小卫星星座也已经起步。1999年中巴地球资源卫星的发射，开创了我国资源卫星的先河，为我国的生态环境监测与保护提供了大量的遥感影像。2007年资源卫星02B的发射，将我国卫星遥感的分辨率从20 m提高到2.36 m，实现了我国高分辨率民用遥感的突破。

然而，当时我国卫星影像的定位精度不高，影像质量欠佳。国产卫星影像的无控制点定位精度和国外同类卫星相比存在较大差距，影像直接定位误差有时甚至超过1 km，难以满足测绘等行业的精度要求。而法国的SPOT 5卫星影像的地面分辨率从原来的10 m提高到2.5 m，影像无控定位精度达到30 m左右；美国的IKONOS卫星影像分辨率达到1 m，无控定位精度达到12 m左右；这个精度可以直接满足1:5万地形图的测图和更新要求。GeoEye-1、WorldView-3等卫星的分辨率更是达到分米级，无控定位精度在10 m以内。由于国外卫星的影像质量和精度大大优于国产卫星，长期以来，我国每年不得不花费数亿美元采购国外卫星影像数据。高精度卫星影像数据基本依赖进口，使得我国的国家安全、民族权益难以得到有效保障，高质量、高精度遥感数据的获取已经成为制约我国测绘地理信息发展的最大瓶颈。

卫星测绘的难点是精度，如何在距离地球500 km的太空实现5 m的高程精度，是一项巨大的挑战。我和本书作者一起，从卫星的天地一体化大总体设计开始，不断探索卫星影像高精度定位的理论和方法。对摄影测量来说，卫星测绘实际上是航空摄影测量学向航天摄影测量学的发展。这种发展，不仅仅是从原来的中心投影变成多中心投影，还涉及卫星及载荷的参数设计、卫星发射过程以及在轨运行时参数的变化。因此，在卫星的总体设计时，必须仔细推敲所有可能发生的情况。航天摄影测量还有一个显著特点，就是卫星发射上天后，所有参数只能通过地面方法去验证，不可能像航空摄影测量那样拿回实验室重新测量。另外，航天摄影测量需要考虑过度参数化的问题，因为地面和卫星相距遥远，卫星平台和相机的参数都集中在卫星本体内，过度的参数化会导致模型的不一致性。需要考虑的问题很多，需要试验的内容也很多，需要解决的事情则更多。

通过几年的努力，我们终于厘清了1:5万光学卫星立体测绘的技术途径，以及影响成像质量与测图精度的主要因素。这套“卫星测绘系列专著”实际上就是我国首颗立体测图卫星进行技术攻关的结晶。针对立体测图卫星需要解决的各种问题，作者从卫星的指标设计与论证开始，提出了卫星测图误差指标分解方法，解决了卫星与传感器精度指标设计的理论难题，论证了资源三号卫星影像高程精度达到5 m的技术方案，构建了资

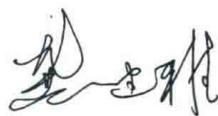
源三号卫星的总体技术指标体系。在此基础上,建立高分辨率光学遥感卫星辐射几何一体化仿真平台,构建星地闭环验证的卫星与传感器精度指标预估体系,解决了测绘卫星总体技术指标设计的仿真难题。针对卫星几何检校问题,提出了天地一体化几何检校技术和几何检校场建设方案,自主研制了高分辨率光学遥感卫星的几何检校系统,攻克了光学遥感卫星几何检校的技术难题,实现了我国高分辨率卫星几何检校技术的重大创新。针对卫星测图,提出了高精度的成像几何模型,实现了测绘卫星的高精度事后定姿和定轨,突破了航天摄影测量的大规模区域网平差技术、数字高程模型与数字正射影像高精度快速处理等核心技术,最终形成了基于资源三号卫星的1:5万立体测图技术体系。

资源三号卫星上天后,有关部门对卫星的总体技术指标、仿真系统、几何检校等诸多技术进行了一系列验证,全面证明了该书方法的可行性和可用性。由于卫星系统的改进,有些指标比最初设计得更为先进。

资源三号卫星已经顺利在轨运行4年多,在基础测绘、国土资源、生态环境、防灾减灾等多个领域发挥了巨大作用,已经成为测绘及相关部门不可或缺的数据源。

希望能发射更多、更好的测绘卫星,解决数据覆盖不足的问题。同时,也希望大家再接再厉,攻克更高精度的光学测绘卫星,发展更多的其他测绘卫星,为我国攀登世界卫星测绘高峰而努力奋斗!

中国科学院院士



2016年9月

前 言

测绘是对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置(包括经度、纬度和高程)及其相关信息等进行测定、采集、表述,以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动,是一个技术密集型行业。20 世纪末,人类在空间技术和信息技术领域取得了一系列重大突破,对测绘行业产生了新的变革,也正在全方位地影响着测绘的发展。对地观测系统的发展正深刻地改变着测绘产品的形式和地图更新的手段,卫星遥感数据已成为继航空摄影之后最重要的信息源之一,可被用于制作多种满足精度要求的测绘地理信息产品,为国民经济建设和社会发展、国家安全及人民生活等提供基础保障。

测绘卫星是遥感卫星的重要组成部分。一般来说,我们把能够制作测绘产品的、满足测绘精度要求的卫星称为测绘卫星,其主要特征是几何精度高,包括平面精度、高程精度及重力测量精度。按照工作方式划分,测绘卫星主要有 5 种类型,即高分辨率光学测图卫星、干涉雷达卫星、激光测高卫星、重力卫星和导航定位卫星。光学测绘卫星及雷达卫星可以用于多种比例尺地形图的测制;激光测高卫星主要用于获取全球高程点,甚至是直接获取数字高程模型;重力卫星主要用于反演地球重力场,提高高程基准精度;导航定位卫星主要用于获取地面物体的高精度平面和高程,为各种导航和定位提供服务。

测绘卫星是对地观测卫星中难度较大的卫星。卫星测绘的特点是高精度测量地球。除了要看清地球表面物体之外,还要满足可量测的要求。卫星测绘实际上是国家高新技术的标志。随着对地观测应用的进一步深入,各国都把测绘卫星的发展列为重点,并积极开展自主的测绘卫星。法国、美国、印度等国都制定了本国的高精度测绘卫星和卫星测绘的发展计划,已经发射了多颗高分辨率、高定位精度的卫星,并且其数据产品在包括中国在内的国家得到了推广应用。美国在全球卫星技术领域中处于优势地位,高分辨率卫星连续发射,并且还将不断增加,仅在商业应用方面,在轨分辨率优于 1 m 的卫星已经达到 6 颗,其中 WorldView-3 卫星分辨率高达 0.31 m。美国卫星对地观测已根据不同的应用领域、应用尺度分工明确,形成了系列化、系统化和常态化的态势;同时美国卫星产业已经不单纯依靠政府出资,商业化卫星公司的运作模式较为成功。

相比而言,我国的测绘卫星还处于起步阶段,在卫星性能和星系运行体系上与国际先进水平尚存在一定差距,研制高分辨率立体测绘卫星的能力亟待加强。由于我国经济基础和工业基础还比较薄弱,基础工业水平,尤其是原材料、元器件和工艺技术等方面与发达国家尚有差距,并且发达国家对我国航天技术、航天材料等实行封锁和限制,致使我国超高、甚高分辨率测绘卫星,以及雷达测图卫星、重力测量卫星等的研制能力与美国、加拿大、法国、俄罗斯、德国等航天强国相比还有一定差距。过去,由于缺少高分辨率国产测绘卫星系统,我国卫星测绘长期处于零散状态,一直在利用国外高分辨率遥感卫星进行测图和资源调查。遥感数据源依赖于国外卫星,给我国测绘应用工作的顺

利及时开展带来了极大限制,进一步深化发展具有我国自主知识产权的民用遥感卫星事业迫在眉睫。

党和国家领导人对测绘工作高度重视,李克强总理在视察国家测绘地理信息局时指出,要发展我国的立体测图卫星。国家测绘局于 2005 年编制的《测绘部门“十一五”航天规划(草案)》中建议启动测绘卫星计划,研制发射我国自主的高分辨率测绘系列卫星,建立自主版权的测绘卫星综合应用服务体系。《国务院办公厅关于促进地理信息产业发展的意见》(国办发〔2014〕2 号)指出:“用 5 至 10 年时间,使我国地理信息获取能力明显提升,发展测绘应用卫星,形成光学、雷达、激光等遥感数据获取体系,加强遥感数据处理技术研发,进一步提高数据处理、分析能力”。国务院已经批复的《国家地理信息产业发展规划(2013~2020)》指出:“要加快产业发展基础设施建设,加快我国卫星遥感基础设施建设,尤其是光学立体测图卫星、干涉雷达卫星、激光测高卫星等的建设”。我国是发展中国家,国民经济建设和社会发展迅速、变化频繁。为满足测绘部门和国民经济各部门对地理信息的需求,必须大力发展我国自主的测绘卫星,满足国家对地理信息的迫切需求。根据目前国内测绘卫星发展现状和国际遥感卫星发展趋势,以及国家基础测绘和地理信息产业发展的需求特点,我国测绘卫星的发展应在注重数据精度和保持连续稳定数据源的基础上,发展满足国民经济和社会发展、国家安全和人民生活需求的多种测绘卫星,服务政府、服务行业、服务大众。

在国家测绘地理信息局、国家国防科技工业局、国家发展和改革委员会、财政部以及国土资源部等多个部门的支持下,资源三号高分辨率立体测图卫星作为我国首颗民用测绘卫星,于 2008 年 3 月经国务院批准立项。卫星装载三线阵测绘相机,其中,正视全色相机分辨率 2.1 m,前后视相机 3.5 m,一台多光谱相机,分辨率为 5.8 m;卫星基高比为 0.89,轨道高度为 505 km,回归周期为 59 天,重访周期为 5 天。卫星主要用于全国,乃至全世界高分辨率基础地理信息的获取,进行 1:5 万立体测绘和 1:2.5 万地图修测,以及国土资源详查、区域地质、矿产资源调查等。卫星影像还将在城市规划和建设、生态环境调查、农业、林业、交通、通信等各个行业发挥巨大作用,为国土资源、生态环境和防灾减灾等领域服务。

自资源三号卫星发射以来,截至 2015 年年底,已累计获取原始数据 6850 轨,原始数据总量为 1027.8 TB,影像数据为 176 万景。中国区域有效覆盖面积达 1121 万 km^2 ,已实现中国全国陆地国土面积 98.8% 的有效覆盖。全球范围内有效覆盖面积达 7122.4 万 km^2 ,有效覆盖率接近 14%。资源三号卫星的成功应用,促使国外同类卫星影像及其产品的价格在国内大幅下降。

卫星测绘的难点是精度,如何在 500 km 的太空实现 5 m 的高程精度是一项巨大的挑战。在此之前,我国卫星影像在无控制点情况下的定位精度可以达到 300 m 左右,影像定位误差有时甚至超过 1 km,影像常常需要数十个、甚至上百个控制点才能进行较高精度的平面纠正,影像质量和国外相比存在较大差距;国产卫星影像基本不能测图,无法满足测绘等高精度需求。

实现 1:5 万立体测图是资源三号卫星重大而艰巨的使命。笔者和项目组其他同仁一起,在院士和专家的大力帮助下,在航天科技集团五院以及相关单位的支持下,开展了

艰难的探索。经过 5 年左右的技术攻关,资源三号卫星终于突破我国卫星测绘的技术难题,建立起高精度光学卫星立体测图理论和技术体系,圆满实现了 1:5 万高精度立体测图,填补了我国民用自主高分辨率卫星测绘的空白,实现了我国资源卫星从难以测图到立体测图的技术跨越,促进了航天摄影测量学的发展,推动了我国航天测绘的关键技术创新。资源三号卫星打破国外的技术封锁和数据垄断,实现我国 1:5 万测绘从依赖国外卫星到使用国产卫星的根本性变革,使我国一举成为国际上少数几个掌握成套卫星测绘技术的国家,是我国测绘行业技术进步的划时代标志。

资源三号卫星几何数据处理的核心是航天摄影测量。过去,由于我国没有发射传输型测绘卫星,我国的航天摄影测量重点研究的是如何对国外已经处理好的传感器校正产品进行平差等处理,生成满足各种比例尺要求的地理信息产品。而在对航天摄影测量中,特别是卫星指标体系设计和与卫星传感器相关的几何处理研究不多。王任享院士提出了等效框幅的卫星设计方法,张祖勋院士提出了高精度影像匹配以及大区域网平差理论和方法,李德仁院士提出了发展我国测绘卫星的设想,刘先林院士建立的 JX3、JX4 摄影测量系统可直接用于卫星测图。胡莘、方勇等为测绘卫星的设计提出了不少建设性方案。

对航天摄影测量来说,我们不仅需要对卫星获取的影像进行平差、接边等数据处理,还需要对影响测绘精度的卫星参数进行总体设计和分析。卫星升空过程对卫星的几何参数将产生重要影响,卫星上天后,由于重力的释放,也使卫星的技术参数发生变化。为保证卫星的测绘精度达到要求,需要天地一体化的检校。这些问题是航天摄影测量与其他摄影测量的主要差别,也是航天摄影测量必须解决的难题。

“卫星测绘系列专著”实际上是摄影测量在航天领域的延伸,这种延伸不仅是从航空摄影测量到航天摄影测量的延伸,还包括卫星的精密定轨等大地测量学方面;是摄影测量在卫星指标设计、卫星精密定轨、卫星几何检校和数据处理方面对方法和技术的拓展。

本套系列专著是资源三号卫星测绘在理论、技术和实现方面的总结,共分三册。第一册是《资源三号卫星测绘技术总体设计》,主要分析卫星测绘误差的来源,研究卫星测绘的总体技术指标,从理论上推导卫星测图精度,并进行仿真分析,建立资源三号卫星影像仿真系统,并对模拟的影像进行测图精度验证。第二册是《资源三号卫星数据几何处理方法》,包括卫星轨道的数据处理、姿态的数据处理、成像模型的建立、卫星几何检校场建设方法和卫星几何检校方法,并对资源三号卫星实际的测图精度进行验证。第三册是《资源三号卫星影像产品及其应用》,重点阐述资源三号卫星各类各级产品的生产方法、流程,介绍资源三号卫星海量影像管理技术和服务系统构建技术,最后概括资源三号卫星影像产品的应用情况,包括在测绘地理信息、国土资源、农林水利、生态环境、城市建设、交通和防灾减灾等领域的应用情况。

本书是本套系列专著中的第三册,主要介绍资源三号卫星影像产品及其应用。第 1 章概述,介绍本书的内容,由唐新明执笔。第 2 章国内外主要测绘卫星影像产品,由周平、高小明执笔。第 3 章资源三号卫星产品分级分类体系,由潘红播、祝小勇执笔。第 4 章基础测绘遥感影像产品制作方法,由唐新明、唐洪钊执笔。第 5 章高级测绘产品生产方法,由唐新明、周平执笔。第 6 章卫星影像产品测图精度验证,由周平、汪韬阳执笔。第 7 章专题产品生产方法,由周平、赵世湖执笔。第 8 章海量卫星影像数据管理,

由史绍雨、汪汇兵执笔。第9章资源三号卫星影像服务平台，由唐新明、王鸿燕执笔。第10章资源三号卫星影像产品应用，由王鸿燕、卢刚执笔。全书由唐新明统稿，高小明和莫凡协助。

资源三号卫星已经顺利运行五年，本书的许多内容来自2004年开始的论证分析和卫星应用系统建设工程。由于本书时间跨度较长，当时的认识不够全面，虽然做了很多修改，但书中疏漏之处在所难免，请各位读者批评指正。

唐新明

2016年1月30日

目 录

序一
序二
前言

第 1 章 概述	1
1.1 资源三号卫星概况	1
1.2 资源三号卫星影像处理概况	4
1.3 资源三号卫星影像管理概况	5
1.4 资源三号卫星影像应用概况	6
第 2 章 国内外主要测绘遥感卫星影像产品	8
2.1 国外光学测绘遥感卫星影像产品	8
2.1.1 美国光学测绘遥感卫星影像产品	9
2.1.2 欧盟测绘遥感卫星及其影像产品	13
2.1.3 亚洲测绘遥感卫星影像产品	14
2.2 国内光学遥感卫星影像产品	16
第 3 章 资源三号卫星产品分类分级体系	18
3.1 测绘遥感影像产品体系	20
3.1.1 产品分级	20
3.1.2 产品波段配置	26
3.1.3 产品立体配置	27
3.1.4 资源三号产品体系与国外主流商业卫星产品体系对应表	27
3.2 数字地形产品体系	28
3.3 专题产品体系	31
第 4 章 基础测绘遥感影像产品制作方法	35
4.1 辐射校正影像产品生产	35
4.1.1 相对辐射校正产品生产	36
4.1.2 资源三号卫星绝对辐射定标	50
4.2 传感器校正影像产品生产	54
4.2.1 内方位元素观测数据处理	55
4.2.2 外方位元素观测数据处理	55
4.2.3 CCD 影像拼接模型	61
4.2.4 传感器校正影像成像几何模型构建	66
4.2.5 传感器校正影像重采样生成	78
4.2.6 传感器校正影像生产过程中精度保障措施	80
4.3 系统几何纠正影像和精纠正影像产品生产	82
4.4 核线影像产品生产	87

第5章 高级测绘产品生产方法	93
5.1 资源三号影像区域网平差	93
5.1.1 区域平差概述	93
5.1.2 基于RFM的区域网平差模型	94
5.1.3 资源三号影像区域网平差流程	97
5.2 正射纠正影像产品生产	101
5.2.1 影像正射纠正原理与主要流程	101
5.2.2 基于资源三号卫星影像的正射纠正影像生产过程	104
5.3 数字表面模型产品生产	105
5.3.1 立体像对提取DSM原理	105
5.3.2 基于资源三号影像的DSM产品生产过程	108
第6章 卫星影像产品测图精度验证	111
6.1 标准景影像产品几何精度验证	111
6.1.1 实验区域及实验数据	111
6.1.2 传感器校正产品精度	112
6.1.3 GEC、eGEC与DOM精度验证	114
6.2 长条带影像产品及外推几何精度验证	119
6.2.1 长条带影像产品精度验证	119
6.2.2 轨道外推条件下影像几何精度验证	120
6.3 卫星影像区域网平差精度验证	123
6.3.1 卫星影像区域网平差平面精度验证	123
6.3.2 卫星影像区域网平差高程精度验证	125
6.4 卫星影像测图适宜性实验及精度验证	131
6.4.1 实验方案设计	131
6.4.2 实验结果与分析	132
第7章 专题产品生产方法	139
7.1 表观反射率专题产品	140
7.2 气溶胶光学厚度专题产品	141
7.3 地表反射率专题产品	142
7.4 植被指数专题产品	143
7.5 叶面积指数专题产品	146
7.6 叶绿素a浓度专题产品	146
7.7 悬浮物浓度专题产品	148
7.8 海冰覆盖专题产品	149
7.9 地表坡向、坡度专题产品	150
7.10 道路提取专题产品	152
7.11 多期专题变化专题产品	154
第8章 海量卫星影像数据管理	156
8.1 概述	156
8.1.1 海量卫星影像数据管理现状	156

8.1.2 卫星影像数据特点分析	158
8.2 海量立体影像数据管理技术	158
8.2.1 数据整合技术	159
8.2.2 并行归档技术	159
8.2.3 数据检索技术	160
8.2.4 动态编目技术	162
8.3 海量立体影像数据库	163
8.3.1 数据库设计原则	163
8.3.2 数据库设计	164
8.4 卫星影像存储系统	169
8.4.1 存储网络	169
8.4.2 分级存储	170
8.5 海量卫星影像数据管理平台研制	171
8.5.1 平台设计目标	171
8.5.2 平台功能设计	172
8.5.3 数据整合系统	172
8.5.4 数据迁移系统	173
8.5.5 数据管理系统	176
8.5.6 平台建设与运行	178
第9章 资源三号卫星影像服务平台	181
9.1 资源三号卫星影像服务平台关键技术	181
9.1.1 兼顾资源三号数据特点的数据优化查询技术	181
9.1.2 基于资源三号卫星的海量立体影像在线服务技术	182
9.1.3 统一计算架构下的在线影像快速处理技术	188
9.1.4 面向非专业用户的分步引导式 在线快速地图制图技术	197
9.1.5 自助式遥感影像服务链的按需构建技术	203
9.1.6 公共影像底图瓦片服务技术	211
9.2 资源三号卫星影像服务平台设计	214
9.2.1 平台设计目标	214
9.2.2 平台架构设计	214
9.2.3 平台功能设计	216
9.2.4 影像服务策略设计	218
9.3 资源三号卫星影像服务平台构建	221
9.3.1 平台建设与运行情况	221
9.3.2 资源三号卫星影像数据分发系统	223
9.3.3 资源三号卫星立体影像在线服务系统	227
9.3.4 资源三号卫星在线定制服务系统	229
第10章 资源三号卫星影像产品应用	235
10.1 在重大测绘工程中的应用	235
10.2 在省级测绘工作中的应用	238
10.3 在应急测绘保障中的应用	240
10.4 在其他行业的应用	243

10.5 在科学研究中的应用	247
10.6 资源三号卫星影像应用展望	248
参考文献	249
致谢	256

第 1 章 概 述

1.1 资源三号卫星概况

随着我国国民经济和社会信息化建设的飞速发展,社会各界迫切要求加快空间信息基础设施建设和测绘信息产品生产更新的速度,而传统测绘技术和手段已远远不能满足需求,必须采用航天技术,发射测绘卫星,实时获取各种空间信息,与现有的航空及地面数据获取手段相结合,以建立和维持我国高精度的时空基准,及时更新各种比例尺地形图,快速生产现势性强的基础地理信息数据。在我国自主高分辨率民用测绘卫星发射之前,为了满足各方面的应用需求,我国每年不得不花费大量资金购买国外的商用卫星资料,用于基础测绘和其他行业,然而这些资料既不能完全满足应用要求,也得不到保证。因此,加紧建设我国自主的测绘卫星体系,提高自主信息保障能力和独立获取空间信息的能力,一直是我国测绘人梦寐以求的理想。2008 年 3 月,经国务院批准,“资源三号”(ZY-3)卫星工程正式立项,建设周期为 36 个月,卫星系统由中国航天科技集团公司研制。2012 年 1 月 9 日 11 时 17 分,卫星在太原卫星发射中心由长征-4B 运载火箭成功发射。2012 年 7 月 30 日,卫星正式由中国航天科技集团公司移交到卫星主用户——国家测绘地理信息局开展业务运行,如图 1.1 所示。资源三号卫星是我国首颗高分辨率光学传输型民用立体测图卫星,卫星集测绘和资源调查功能于一体,用于长期、连续、稳定地获取覆盖全国高分辨率立体影像和多光谱影像,生产全国基础地理信息 1:5 万测绘产品,开展 1:2.5 万及更大比例尺地图的修测和更新,开展国土资源调查和监测,全面服务于地理国情监测等国家重大工程(唐新明和周平,2013)。



图 1.1 资源三号卫星在轨效果图

资源三号卫星研制过程中,根据 1:5 万立体测图的精度和技术要求,在国家国防科技工业局、中国航天科技集团公司等有关部门的大力支持下,国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心联合相关科研院所的研究人员,通过理论推导、模拟仿真、试验验证,全面系统地论证了资源三号卫星所需的平台及主要传感器,并与卫星研制部门一起制定了资源三号卫星研制的总体技术指标,以保障卫星总体技术指标的控制和测图精度的实现。

资源三号卫星充分继承我国资源系列卫星使用的卫星平台技术,采用了近圆形、近极地的太阳同步轨道。通常,更高的轨道意味着可获取更大的地面覆盖范围和更长的卫星寿命,然而其代价是造成分辨率的损失。综合考虑多种因素,资源三号卫星轨道高度设计为 505 km,设计寿命为 5 年。考虑到卫星成像时的光照条件及卫星能源系统的要求,采用太阳同步轨道,降交点地方时为 10:30 a.m.。近极地轨道保证了卫星对地的总观测范围,其 97.4°倾角保证了对地球南北纬 84°以内的地区实现无缝影像覆盖。资源三号卫星的轨道设计决定了其回归周期为 59 天,而其-32°~32°的侧摆能力实现了 5 天的重访周期。为保证卫星定轨精度,卫星上配置有双频 GPS 接收机和激光测距(satellite laser ranging, SLR)角反射器。GPS 设备采用双频差分手段获取轨道数据,实时轨道测量精度优于 5 m,地面处理系统采用卫星下传的双频 GPS 导航原始信号,事后处理的轨道数据在切向、法向、径向 3 个方向的精度均优于 0.1 m(赵春梅和唐新明, 2013)。地面定位精度首次达到国际先进水平,将无控制点条件下国产卫星原有的几百米的目标定位精度提高到米级,并能保持长期稳定。

资源三号卫星搭载 4 台线阵推扫式光学相机,其中 3 台全色延迟积分电荷耦合器件(time delay and integration charge coupled device, TDI CCD)相机按照前视 22°、正视和后视 22° 设计安装,正视相机地面分辨率优于 2.1 m,前视、后视相机地面分辨率优于 3.5 m,构成了三线阵立体测图相机;另一台多光谱 TDI CCD 相机包含红、绿、蓝和红外 4 个波段,地面分辨率优于 5.8 m,如图 1.2 所示。为保证相机成像过程中 CCD 的法线方向与地物在像面上的运动方向重合,进而确保多级积分时地物不发生横向移动,需要对卫星进行偏流角校正,并通过偏流角校正,有效保证同轨立体前后视影像的重叠度。为了确保卫星获取影像达到较高的几何质量,卫星配置 3 台高精度星敏感器和 4 组(每组 3 个)陀螺作为姿态测量元件,通过最优滤波技术,实现两种测姿系统的优势互补和联合定姿,并最终提供 4Hz 的姿态测量数据(李德仁和张过, 2013),卫星三轴姿态稳定度优于 $5\times10^{-4} (^{\circ})/s(3\sigma)$,实时姿态测量精度优于 5"(三轴, 1σ),采用卫星下传星图、星敏和陀

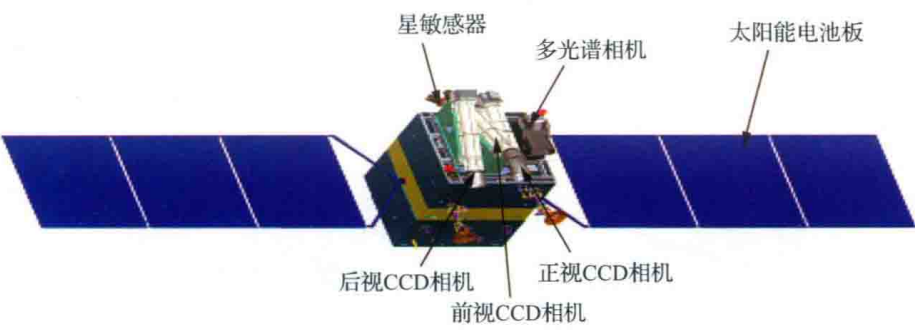


图 1.2 资源三号卫星结构图