

高分辨率地球观测系统进展综述

吴俊君¹, 李蒙², 梁亮², 柳钦火^{1*}, 仲波¹, 杨爱霞¹

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100101;

2. 江苏师范大学, 地理信息与城乡规划学院, 徐州 210023

摘要: 随着科技的飞速发展, 高分辨率地球观测系统已成为现代社会不可或缺的重要工具。它不仅为我们提供了详尽的地球表面信息, 还在多个领域发挥着至关重要的作用, 人们对高分辨率地球观测系统的需求日益增加。为了应对这一增长需求, 相关科研人员不懈努力, 国内外高分辨率地球观测系统在技术和应用领域都有不断的进步和完善, 为地球环境监测和资源管理提供了重要的支持。本文综述了高分辨率地球观测系统的发展现状, 高级产品和应用, 并探讨了高分辨率地球观测系统未来发展趋势。

关键词: 高分辨率; 地球观测系统; 遥感卫星; 高级产品; 发展趋势

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.04.02>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.04.02>

1 前言

高分辨率地球观测系统是一种利用卫星、飞机或其他遥感技术进行地球观测和监测的系统。它能够提供高分辨率、高精度的地球表面信息, 包括地形、植被覆盖、土壤类型、城市分布等信息, 为土地利用规划、资源管理、环境监测、灾害防范等领域的科学研究和决策提供重要的数据支持。

21世纪以来, 越来越多的国家为建设新一代高分辨率对地观测系统, 大力发展空间遥感技术。美国、中国、法国、俄罗斯、日本、欧空局等国家和机构都建设规划了高分辨率对地观测系统, 旨在通过先进的空间技术手段, 实现对地球表面的高精度、实时性、大范围监测。有代表性的高分辨率对地成像观测系统包括美国的 WorldView、SBIRS 系统, 法国的 SPOT 系列、加拿大的 RadarSat 系列、德国的 TerraX-SAR 系列等^[1]。世界范围内军用、民用和商业遥感卫星蓬勃发展, 探测能力日趋提升, 应用广度和深度不断延伸^[2]。

中国高分辨率对地观测系统重大专项(简称高分专项)的主要使命是加快中国空间信息与应用技术发展, 提升自主创新能力, 建设高分辨率先进对地观测系统, 满足国民经济建设、社会发展和国家安全的需要^[3]。在政府的高度重视和高分辨率对地观测系统重大科技专项的引导下, 中国高分辨率遥感成像技术也不断取得突破和进步。国内高分辨率遥感

收稿日期: 2024-09-02; 修订日期: 2024-12-02; 出版日期: 2024-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2021YFE0117400); 国家自然科学基金(42371322); 徐州市(KC23079)

*通讯作者: 柳钦火, 中国科学院空天信息创新研究院, liuqh@aircas.ac.cn

引用方式: 吴俊君, 李蒙, 梁亮等. 高分辨率地球观测系统进展综述[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(4): 347-455.
<https://doi.org/10.3974/geodp.2024.04.02>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.04.02>.

卫星发展势头强劲,形成了较为稳定、完善的高分辨率对地观测体系^[4]。

本文通过文献研究和情报分析探讨了国内外高分辨率地球观测系统的发展、应用及其未来发展前景,为相关领域的科研和应用提供有益的参考和借鉴。

2 国外高分辨率地球观测系统进展

国外高分辨率成像观测系统发展较早,已具备较高的技术水平和广泛的应用价值。简单来讲,高分辨率对地观测卫星可以划分为军用和民用两类用途,两者在成像原理上并无二致,主要区别体现在卫星所使用的谱段和对地分辨率要求上的差异。军用遥感卫星主要在可见光或近红外谱段成像,分辨率优于 1 m,而民用遥感卫星则主要在多光谱成像,以便识别地面各种特征,其分辨率高低差异参差不齐,但其总体水平普遍在军用卫星之下。

2.1 民用高分辨率对地观测系统

在民用高分辨率光学地球观测系统中,法国率先推出了 SPOT 系列卫星,作为世界上首先具有立体成像能力的多光谱高分辨率遥感卫星,为地球观测领域带来了高分辨率的光学影像。2005 年,印度发射了 IRS-P5 (Cartosat-1) 卫星,主要用于印度的地形测绘和资源调查。2006 年,韩国成功将 KOMPSAT 卫星系列送入轨道,实现了高精度的领土测绘和高程建模。2007 年,美国 Digital Globe 公司于发射了由 5 颗卫星组成的星座,目前这是全球覆盖范围最广、空间分辨率最高的民用地球观测系统,全色模式的空间分辨率从 WorldView1 的 0.5 m 提高到 WorldView3 和 4 的 0.31 m。2008 年,德国的 Rapid Eye 星座也成功部署,为全球范围内的环境监测和城市规划提供了连续、稳定的高分辨率数据。随后不久,美国的 Planet Scope 和 Sky Sat 星座也相继发射,这两个星座均由多颗小型卫星组成,能够快速响应并捕捉地球表面的变化。与此同时,法意联合设计的 Pleiades 星座作为双民用/军用系统,由两颗极高分辨率光学地球成像卫星组成,在 26 天内提供完整的全球覆盖。

在民用高分辨率雷达成像遥感卫星系列中,20 世纪 70 年代至 80 年代加拿大开始发展 RADARSAT 系列卫星,为后续的 RADARSAT Constellation Mission (RCM) 奠定了基础。美国航空航天局 (NASA) 和喷气推进实验室 (JPL) 开始研制并应用 SAR 技术^[5],如麦哲伦号太空飞船对金星地表区域的探测。2006 年 1 月 24 日,日本宇宙航空研究开发机构 (JAXA) 发射了先进陆地观测卫星 ALOS-1。该卫星搭载了包括 L 波段 SAR 传感器 PALSAR 在内的三个传感器。2007 年 6 月 15 日,德国宇航中心 (DLR) 和 EADS Astrium 公司共建的 TerraSAR-X 卫星顺利发射升空。2010 年 6 月 21 日, TerraSAR-X 的伴星 TanDEM-X 也成功发射,两者组网编队飞行,主要应用于地形测量、地表形变监测和地震研究等领域。2013 年韩国宇航研究机构 (KARI) 在俄罗斯亚斯内发射场成功发射了 KOMPSAT-5 卫星,该卫星主要载荷是 X 波段 COSI 传感器,用于获取高分辨率 SAR 影像。2014 年 5 月 24 日,日本发射了 ALOS-2 卫星,只搭载了 PALSAR-2 传感器,在平台的稳定性、数据传输速率等方面有显著的提高。2014 年 4 月 3 日,欧洲空间局 (ESA) 的 Sentinel-1A 卫星发射升空,作为 ERS-1/2、EnviSat 卫星的后继星。2016 年 4 月 25 日, Sentinel-1B 卫星也成功发射,与 Sentinel-1A 组成 SAR 卫星星座,重访周期缩短至 6 天。2019 年加拿大 RADARSAT

Constellation Mission (RCM) 卫星星座由 Space X 公司于 2019 年 6 月 12 日在加利福尼亚州范登堡空军基地成功发射, 主要由三颗类似 RadarSAT-1/2 的卫星组成, 目标是在未来十年内确保 C 波段数据的连续性。

2.2 军用高分辨率对地观测系统

在军用高分辨率光学成像遥感卫星领域, 分辨率最高的军用对地观测卫星为美国的“锁眼”卫星。其中, KH-12 卫星的空间分辨率达到 0.1 m, 新一代的锁眼卫星有望达到 0.05 m。同时, 美国空军研制的下一代 SBIRS 系统(天基红外系统)是导弹防御系统的重要组成部分, SBIRS 系统承担了导弹预警、导弹防御、战场态势感知和提供技术情报(描述导弹特征所需的数据及其他目标数据)四类任务; 除了导弹预警功能外, 其短波和中波红外传感器还可以探测到地球上许多红外特征明显的事件, 如爆炸、火灾和飞机失事等, SBIRS 系统每年提供数千个非导弹相关事件的红外数据^[6]。由法国、比利时、西班牙、意大利和希腊联合出资发射的 Helios2A 和 2B 卫星, 空间分辨率达 0.35 m, Helios 系列卫星系统除具备可见光谱段的高分辨率观测能力外, 还具备红外夜视能力。Helios-2B 卫星的光学影像分辨率达到了 0.25 m, 其军民两用光学成像遥感卫星“昴宿星”的分辨率达 0.7 m。以色列的地平线 9 号小型光学成像遥感卫星分辨率达 0.5 m, 日本的“情报收集卫星”分辨率为 0.6 m。

在军用高分辨率雷达成像遥感卫星领域, 美国“长曲棍球”系列卫星分辨率达 0.3 m, 不仅能全天候、全天时工作, 还可以发现伪装的武器和识别假目标, 甚至能穿透干燥的地表, 发现藏在地下一定深度的设施, 并对活动目标有一定跟踪能力。从 2010 年开始逐步发射的 FIA 雷达卫星系列是现役“长曲棍球”卫星的替代型号, 它提高了雷达功率, 其对地观测性能得到了大幅度的提升, 最新的 FIA 雷达卫星的空间分辨率已达到了 0.15 m。德国军用卫星“合成孔径雷达-放大镜”系列和意大利军民两用卫星“宇宙-地中海”系列, 分辨率分别能达到 0.5 m 和 1 m。此外, 分辨率达 1 m 的还有日本第二代雷达成像“情报收集卫星”、以色列的“技术合成孔径雷达”卫星、印度军民两用的雷达成像卫星 1 号、2 号等。

3 国内高分辨率地球观测系统进展

我国在国家高分辨率对地观测系统重大专项的推动下, 实现了一系列卫星遥感关键技术突破, 使高分辨率遥感卫星性能实现跨越式提升, 民用遥感卫星分辨率提升至亚米级, 达到世界先进水平^[7]。

自 2007 年中国与巴西联合发射 CBERS-02B 卫星以来, 中国在高分辨率遥感卫星领域取得了显著进展。CBERS-02B 卫星, 由中国和巴西联合制造, 配备了 2.36 m 高分辨率相机^[8]。该卫星于 2010 年 4 月退役。从 2011 年的资源一号 02C 星到 2020 年的高分多模卫星, 中国自主研制并发射了多颗高分辨率遥感卫星, 包括资源三号、高分一号至七号以及高光谱观测卫星等。这些卫星不仅提升了中国对地球观测的能力, 还广泛应用于自然资源调查、防灾减灾、生态环境监测、农业林业水利、国家重大工程等多个领域。特别是高分系列卫星, 如高分二号实现了亚米级分辨率, 高分三号作为首颗 C 频段多极化 SAR 卫星, 高分四号作为首颗地球同步轨道遥感卫星, 以及高分五号和高光谱观测卫星对大气和陆地的综合

观测，都标志着中国遥感卫星技术的重大突破。此外，中国还发射了首个民用高分辨率卫星星座，由高分一号 02/03/04 三颗卫星组成，实现了全球覆盖和快速重访的成像能力。这些成就不仅提升了中国在国际遥感领域的地位，也为国民经济建设和社会发展提供了重要的数据支持。

我国遥感产业长期以来由国家主导，科研性质的任务对产业链的辐射带动效应日益增强，逐渐成为经济增长点。卫星作为重资产，研发技术和成本门槛高，投资回报周期长，商业化进程面临挑战。为转变经济发展方式，建设自主开放、安全可靠、长期连续稳定运行的国家民用空间基础设施，我国近年来开始大力发展商业卫星及应用产业^[9]。

2014 年，国务院出台《关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意见》，正式开启我国遥感卫星商业化的进程。近年来，随着商业航天的发展，中国也培育了众多的商业遥感及卫星研制单位，如 2014 年成立的长光卫星技术股份有限公司、中国科学院微小卫星创新研究院、中国航天科技集团公司等，表 1 是中国各商业遥感卫星公司运营星座的概况。

表 1 中国各商业遥感卫星公司运营星座概览表

公司名称	星座名称	计划卫星发射数目	备注
长光卫星	吉林一号	2025 年底前实现 300 颗卫星在轨	已建成全球最大的亚米级商业遥感卫星星座
世纪空间	“北京”系列	目前在轨 8 颗卫星	通过自主投资和国际合作结合建设
中国四维	“高景”系列、高分多模	计划未来 5 年内陆续发射 20 余颗具有国际领先水平的商业遥感卫星	代理 WorldView 等 17 颗国外主流商业遥感卫星
航宇微	珠海一号	整个星座由 34 颗卫星组成，该星座目前有 12 颗在轨卫星	中国首家由民营上市公司建设并运营的卫星星座
天仪研究院	天仪 SAR	天仪 SAR 星座卫星总数为 120 颗，该公司目前已累计发射 30 颗卫星	国际轻小型商业 SAR 遥感卫星的先行者之一
微纳星空	“泰景”系列等	该公司目前已累计发射 24 颗卫星	一家以卫星整星制造为核心业务的领军企业
航天宏图	“女娲”	一期工程 54 颗卫星，由 44 颗雷达卫星和 10 颗光学卫星组成	目前已有 8 颗 SAR 卫星在轨运行
椭圆时空	“星池”计划	计划发射一百余颗智能卫星	目前在轨星池一号 4 颗卫星

随着国家在自然资源管理、城市规划建设、农业生产优化及生态环境保护等领域对遥感信息需求的日益增长，商业遥感卫星的信息数据服务能力将得到显著增强。得益于国家政策的积极引导和资金的持续投入，加之产业内部技术创新的不断加速与成熟，我国商业遥感卫星的数量将迎来爆发式增长，进而推动整个产业链步入一个长期稳定且充满活力的繁荣发展期。

4 高分辨率地球观测高级产品及应用

高分辨率地球观测高级产品是指利用高分辨率对地观测卫星获取的数据，经过高级处

理和分析提取出地表物体的特定信息得到的一系列产品。高分辨率地球观测数据以其卓越的细节展现能力,正广泛应用于农业、林业、水资源管理、城市规划、环境保护、灾害预警与响应等多个行业。它不仅为这些领域提供了精准的数据支持,还极大地促进了决策的科学性和效率。随着技术的不断进步和应用的深入拓展,高分辨率地球观测技术将在更多领域发挥重要作用。

在气象与气候变化研究领域,高分辨率地球观测数据提供了丰富的信息和精准的观测,可以在多个方面发挥关键作用。在改进天气预报方面,高分辨率地球观测数据,例如卫星云图、地表温度数据集、降水量、湿度和风速等,可以极大地提高天气预报的准确性。数据的高时空分辨率使得气象预报模型能够以更细腻的尺度捕捉天气系统的演变与运动,减少预报误差。例如,雷达和红外观测数据可以实时跟踪和预测极端天气事件如飓风、龙卷风、和暴雨的发生时间和路径,从而提供早期预警,减少经济损失和人员伤亡。在气候变化监测方面,高分辨率遥感数据可以提供关于地球气候系统各个方面的信息,包括海洋表面温度、冰盖融化、植被变化、大气气溶胶含量等。这些数据帮助科学家绘制更加详细和准确的气候变化地图,发现和分析气候变化的模式和趋势^[10]。

在地表参数反演方面,高分辨率地球观测数据可以用于反演多种地表参数,如土壤湿度、地表温度、植被指数和地形等。这些参数是气象和气候模型的重要输入。土壤湿度数据对大气水分循环和干旱监测尤为重要,如胡欣森^[11]基于全球导航卫星系统干涉反射技术的信噪比获取的归一化微波反射指数与土壤湿度可以反应植被含水量和土壤水分的变化。而高精度的植被指数数据可以帮助理解生态系统的反应与适应机制,以及评估生态系统对气候变化的反馈作用。如张红梅^[12]利用 Sentinel-2A 与 Sentinel-2B 卫星遥感数据,结合多种植被指数开展福建省龙岩市上杭县庐丰畬族乡烟草花叶病特征研究。

高分辨率地球观测数据在农业与农村发展中扮演着举足轻重的角色,它通过提供详尽的作物生长状态、土壤特性、病虫害监测以及灾害损失评估等信息,极大地促进了现代农业的精细化管理。这些高精度数据不仅帮助农民实时了解作物健康状况,优化灌溉与施肥策略,还能有效预警和防控病虫害,减少产量损失。同时,在灾害发生后,高分辨率数据能迅速绘制损失地图,为灾后恢复提供科学依据,例如赵安周等人^[13]基于 HJ 小卫星影像对北京市冬小麦产量进行了估测。随着技术的不断进步,这些数据的应用正逐步向星座化和高分辨率方向发展,为农业与农村的可持续发展注入了新的活力。

高分辨率遥感技术在灾害管理领域发挥着至关重要的作用,它能够实时捕捉受灾地区的详细影像,迅速确定灾害的范围和严重程度,为紧急救援和灾害评估提供宝贵的第一手资料。例如高伟等人^[14]基于多源遥感数据,采用数据协同的方式进行洪涝淹没范围时序监测分析,以重现淹没情形,反映灾情特征,相关结果可为灾情评估奠定基础。通过对比灾前与灾后的遥感数据,可以精确分析房屋损毁、道路通行状况以及农田受损等关键信息,为灾后重建规划提供科学依据。此外,该技术还能有效监测潜在的自然灾害隐患,如通过长时间序列的遥感数据分析,识别出易受灾区域,提前进行风险评估和预警,从而采取针对性的预防和应对措施。例如,在洪水、地震等自然灾害发生时,高分辨率遥感技术能够迅速

生成淹没范围、地质破坏等空间分布图,为灾害应急响应和后续恢复工作提供决策支持。

高分辨率遥感技术在地质勘探与工程勘察领域的应用极大地推动了该领域的进步,它以其高效、准确的特点,成为了一种不可或缺的技术手段。通过高分辨率影像的获取与分析,遥感技术为地质勘探人员提供了丰富的地表和地下信息,这不仅提高了资源勘探的效率,还增强了勘探的准确性。在铁路工程地质勘察中,遥感技术结合三维可视化等手段,使得不良地质的解译与圈定更加精确,为铁路选线提供了科学依据,有效减轻了外业调查的工作量。例如刘桂卫^[15]在蒙华铁路地质勘察中,将高分辨率遥感和三维遥感相结合,开展不良地质解译圈定,为铁路地质选线提供了参考;张占忠^[16]通过制作大场景立体影像模型,恢复三维立体环境,有效减轻了外业调查工作量,为川藏铁路选线及勘察设计提供了重要信息支持;吕希奎等^[17]利用遥感技术和数字摄影测量技术建立三维真实地形及地理环境,虚拟铁路选线,取得良好效果。同时,在矿山地质环境监测中,遥感技术通过红外线辐射发现不同的磁力,实现对矿山地质环境的准确监测,并通过计算机处理平台精细化处理数据,为矿山管理提供了有力支持。这些应用为资源管理和环境保护提供了全面、客观、丰富的信息支持,实现了资源勘探与环境保护的可持续发展,推动了地质勘探与工程勘察领域的不断进步。

高分辨率遥感数据在现代城市规划与管理中扮演着至关重要的角色,其详尽的地表覆盖、地形地貌以及水资源管理等信息为城市的可持续发展提供了坚实的基础。这些数据不仅支持土地利用规划和城市扩展规划的制定,帮助决策者优化城市空间布局和资源配臵,还广泛应用于城市污染的监测与管理中。通过高分辨率遥感技术,可以精确识别大气、水体和固体废弃物等污染源,揭示污染性质、扩散规律,为制定有效的污染控制措施提供科学依据。此外,该技术还能轻松监测和识别大型基础建设工程、街道、高速公路、桥梁、铁路以及各种大小的建筑物,提取其动态变化信息,为城市规划管理工作提供精确、及时的数据支持。在建筑物类型与密度调查中,高分辨率遥感数据更是发挥着不可替代的作用,帮助城市规划者更好地了解城市建筑现状,为城市更新和改造提供有力依据。

高分辨率遥感数据凭借其广泛的覆盖范围、强大的时效性、低廉的成本以及高度真实和丰富的信息内容,在交通运输行业中发挥着举足轻重的作用,展现出极为广阔的应用前景。在路网灾害监测方面,它能够实时捕捉并监测自然灾害和人为因素对交通网络的影响,为迅速响应和有效应对灾害提供关键信息。在公路勘测设计与交通制图领域,高分辨率遥感数据能够精确描绘地形地貌、地质构造和地表覆盖特征,为公路选线、工程地质调查以及交通网络规划提供科学依据和详细资料。同时,它还能有效支持公路交通调查,包括车流量、交通拥堵情况等,为交通管理和优化提供有力帮助。此外,在路域环境监测与评估中,高分辨率遥感数据能够实时监测环境变化,如植被覆盖、水体质量、土壤侵蚀等,为公路建设和运维中的环境保护提供重要参考。

5 高分辨率地球观测系统配套能力建设与政策决策支持

国内外高分辨率地球观测系统配套能力建设在计算平台和软件系统方面取得了显著进展。在计算平台方面,GEE云平台、PIE-Engine、GEOVIS等地球科学引擎作为代表性平

台，提供了强大的地理空间数据处理、分析和可视化能力，广泛应用于环境监测、农业管理、城市规划等领域。其中，PIE-Engine 作为国内首个自主可控的遥感数据处理与服务引擎，致力于打破国外平台垄断，推动遥感应用产业化发展。

高分辨率地球观测技术作为衡量国家科技实力和国际竞争力的重要指标，受到国内外政府的高度重视。为了提升自主观测能力，满足多领域应用需求，推动科技创新与产业升级，并加强国际合作与交流，各国纷纷出台相关政策。地球观测组织（Group on Earth Observations, GEO）也出台相关政策支持高分辨率地球观测系统在四大优先事项（气候变化、防灾减灾、韧性城市建设和实现可持续发展领域）的应用。在气候变化方面，《巴黎协定》等国际协议旨在通过高分辨率遥感系统精确监测气候变化，控制全球平均气温上升，推动绿色可持续发展。防灾减灾领域，如《2015–2030 年仙台减灾框架》等全球性政策框架，强调利用高分辨率遥感技术深入理解和评估灾害风险，加强减灾投入和能力建设，减少自然灾害损失。同时，联合国可持续发展目标（SDGs）将高分辨率遥感技术视为实现资源合理利用和保护、推动可持续发展的关键工具。在韧性城市建设方面，国内外政府和相关机构发布了一系列政策文件，鼓励将高分辨率遥感技术应用于城市防洪、抗震、防灾等领域，提高城市应对自然灾害的能力，并通过制定国际标准和规范，确保遥感数据的质量和可比性。这些政策决策不仅推动了高分辨率地球观测技术的发展和應用，也为全球应对气候变化、防灾减灾、可持续发展和韧性城市建设提供了有力支持。

为支持高分辨率地球观测平台的应用，各国也相继出台数据共享政策，提供数据共享平台，为用户提供丰富的对地观测数据资源和分析服务。比较常用的国际遥感数据共享平台有 NASA 地球观测系统数据共享平台、Copernicus Open Access Hub 等；国内常用的遥感数据共享平台有国家综合地球观测数据共享平台、自然资源部卫星遥感云服务平台等。国内外主要遥感数据共享平台如表 2 所示。

表 2 国内外主要遥感数据共享平台概览表

类别	名称	网址
国际平台	EOSDIS	https://earthdata.nasa.gov/
	Copernicus Open Access Hub	https://scihub.copernicus.eu/
	USGS	https://www.usgs.gov/
	GeoPlatform	https://www.geoplatform.gov/
	G-Portal	https://gportal.jaxa.jp/
	CSA	https://www.asc-csa.gc.ca/eng
	ISRO	https://www.isro.gov.in/
	CNES	https://regards.cnes.fr/
	Roscosmos	http://www.roskosmos.ru/
国内平台	国家综合地球观测数据共享平台	http://chinageoss.cn/
	自然资源卫星遥感云服务平台	http://www.sasclouds.com/
	国家遥感数据与应用服务平台	https://www.cpeos.org.cn/
	国家地球系统科学数据中心	http://www.geodata.cn/
	国家青藏高原科学数据中心	https://data.tpc.ac.cn/

6 高分辨地球观测系统未来发展前景和趋势

随着科技的不断进步,高分辨地球观测系统正朝着更高时空分辨率、多谱段观测、智能化与自动化处理的方向发展,为经济社会可持续发展提供强大支持。未来,通导遥一体化将成为卫星系统发展的重要趋势,通过集成物联双向通信、天基导航定位增强和同源多模遥感功能,实现卫星系统综合性能的提升,为多个领域提供即时广域综合感知服务。同时,天基信息实时智能服务 PNTRC 将成为下一代天基信息系统的核心,通过多星协同、多网互联,集成定位、导航、授时、遥感和通信功能,提供快速、准确、灵活的天基信息综合服务。星上数据处理技术的发展将减少数据传输量,提高遥感数据使用效率,为实时响应的应用场景提供即时处理和分析能力。此外,遥感智能解译技术利用计算机技术和人工智能算法对遥感图像进行分析和解释,实现对地球表面特征的自动识别、分类和提取;随着技术的不断优化,将实现更精细化的解译需求,提高解译效率和准确性。面对技术挑战和资金需求,需加强技术研发、政策支持和资金投入,推动高分辨地球观测系统的持续健康发展,促进全球对地观测能力的提升。

7 小结

本文综述了国内外高分辨率遥感卫星的发展及其应用。国内外高分辨率遥感卫星研制取得重大进展,标志着地球观测技术迈入了一个全新的发展阶段。这些进步不仅体现在卫星设计、制造以及发射技术的不断提升上,还体现在卫星所载遥感设备的性能飞跃和数据处理能力的显著增强。国内外高分辨率遥感卫星的发展同样迅猛,商业高分辨率遥感卫星的崛起为这一领域注入了新的活力。这些商业卫星以其灵活的发射计划、高效的数据处理能力以及定制化的数据服务,成为政府项目之外的有益补充,进一步丰富了高分辨率遥感卫星观测系统的多样性和实用性。在商业高分辨率遥感卫星的推动下,国内外高分辨率遥感卫星观测系统日益丰富和完善。这些系统不仅提升了地球观测的精度和时效性,还通过与其他信息技术如物联网、大数据、人工智能的深度融合,催生出了一系列创新应用和服务模式。例如,在农业领域,高分辨率遥感卫星可以帮助农民精准施肥、灌溉和病虫害防治;在城市规划中,卫星数据可以支持智慧城市的建设,提高城市管理的效率和水平;在环境保护方面,遥感技术能够实时监测水质、空气质量以及森林覆盖情况,为环境保护和可持续发展提供科学依据。

作者分工: 吴俊君、柳钦火对文章综述框架做了总体设计;李蒙、吴俊君、梁亮收集和调研了高分辨率地球观测系统相关进展;吴俊君、李蒙撰写了论文初稿;仲波和杨爱霞对文章进行了修改。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 周拥军, 羌丽, 李元祥. 国外高分辨率对地成像观测系统现状与发展趋势[J]. 飞控与探测, 2021, 4(5): 1–8.
- [2] 马聪丽. 高分辨率测绘卫星应用及其标准建设研究初探[J]. 地理空间信息, 2020, 18(5): 8–13.
- [3] 程三友, 李英杰. SPOT 系列卫星的特点与应用[J]. 地质学刊, 2010, 34(4): 400–405.
- [4] Li, D. R., Wang, M., Jiang, J. China's high-resolution optical remote sensing satellites and their mapping applications [J]. *Geo-spatial Information Science*, 2021, 24(1): 85–94.
- [5] 周建民, 何秀凤. SAR 差分干涉测量技术及其在地表形变监测中的应用现状[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005(4): 463–465.
- [6] 王虎. 美国天基红外系统发展研究[J]. 战术导弹技术, 2018(3): 19–23+29. DOI: 10.16358/j.issn.1009-1300.2018.8.004.
- [7] 李劲东. 中国高分辨率对地观测卫星遥感技术进展[J]. 前瞻科技, 2022, 1(1): 112–125.
- [8] Yuan, X. X., Wang, T. Y. Block adjustment for CBERS-02 B satellite images [J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2012, 16(2): 310–324.
- [9] 崔少伟, 张晓磊, 张宜坤. 国内外商业遥感卫星行业发展概述[J]. 卫星应用, 2024(5): 33–38.
- [10] 张翠兰, 曹香芹, 冀琴. 1990–2020 年冬克玛底流域冰川变化遥感监测[J]. 测绘通报, 2024(4): 61–68. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2024.0411.
- [11] 胡欣森. GNSS-IR 与多源数据融合的植被含水量和土壤湿度同步反演研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2023. DOI: 10.27050/d.cnki.gglgc.2023.001070.
- [12] 张红梅, 吴作航, 林梦凡等. 基于 Sentinel-2 卫星数据与植被指数的烟草花叶病特征研究[J]. 海峡科学, 2023(12): 17–21.
- [13] 赵安周, 朱秀芳, 李天祺. 基于 HJ 小卫星影像的北京市冬小麦测产研究[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 573–577.
- [14] 高伟, 沈秋, 李梦璠等. 基于多源遥感数据的洪涝淹没范围时序监测分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(7): 8–10+14.
- [15] 刘桂卫. 多尺度三维遥感技术在某铁路地质勘察中应用[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(8): 40–43.
- [16] 张占忠. 铁路大场景立体影像模型制作关键技术及应用[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(4): 6.
- [17] 吕希奎, 陈进杰. 铁路数字化选线三维地质环境建模方法[J]. 铁道学报, 2015, 37(8): 91–97.