

资源三号卫星在轨测试与应用分析

唐新明, 谢俊峰

(国家测绘地理信息局 卫星测绘应用中心, 北京 100830)

作者简介:

唐新明(1966-), 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 资源三号卫星应用系统总设计师。研究方向为: 卫星测绘、时空数据库、DEM, 以及模糊推理。

E-mail:

txm@sasmac.cn

收稿日期: 2013-02-26

【摘要】资源三号卫星是我国首颗民用高分辨率三线阵立体测绘卫星, 卫星在轨运行至今一年多, 卫星影像产品在测绘及其他行业得到了广泛的应用。本文主要阐述资源三号卫星发射后的总体运行状态及卫星数据的应用情况, 并在此基础上提出发展我国后续光学测绘卫星的建议与思考。

【关键词】资源三号; 测绘卫星; 应用现状; 后续卫星

On-orbit Test and Application Analysis of ZY-3 Satellite

TANG Xinming, XIE Junfeng

(Satellite Surveying and Mapping Application Center of SBSM, Beijing, 100830, China)

Abstract: As the first civil high-resolution three-line array stereo mapping satellite, ZY-3 satellite has been operating on orbit more than one year, and the satellite image products are widely used in surveying and mapping and related fields. This paper mainly illustrates the satellite operation and application status, and proposes a preliminary purpose for the future development of the subsequent optical mapping satellites.

Key Words: ZY-3; Surveying and Mapping Satellite; Application Status; Subsequent Satellite

0 引言

资源三号卫星(以下简称ZY-3卫星)作为我国首颗民用三线阵立体测绘卫星, 于2012年1月9日成功发射, 卫星具体设计指标见表1所列, 主要用于全国1:5万基础地理信息产品生产, 1:2.5万以及更大比例尺地形图的修测和更新, 同时为国土资源调查和监测、防灾减灾、农林水利、生态环境、城市规划与建设、交通等领域的应用提供服务和保障。

本文将简要介绍卫星发射以来在轨测试及应用系统建设等情况, 阐述卫星数据产品在测绘等各领域的应用现状, 并在此基础上, 提出发

表1 资源三号卫星设计指标
Tab.1. ZY-3 satellite design index

内容	指标
轨道	高度 505 km, 类型: 太阳同步, 降交点地方时上午 10:30 周期: 97 min
任务寿命	5 a
卫星重量	2 600kg
遥感器波段	全色+4 个多光谱段: 红、绿、蓝、近红外
遥感器分辨率	全色: 2.5 m(GSD), 前后视: 3.6 m(GSD) 多光谱: 星下点处: 6 m(GSD)
全色相机个数和夹角	3 台, 前后视夹角 44°
动态范围	每像元 10 bit, 延时积分成像
成像带宽	51 km
姿态测定与控制	三轴稳定, 敏感器: 星敏感器, 固体惯性参照器: GPS
指向精度	0.1°
侧摆能力	±32° 侧摆
标准数据产品	1:5 0000 DSM, DEM, DOM, DLG
周期	回归周期 59 d, 重返周期 5 d
几何精度	无地面控制点时: 平面精度 100 m 有地面控制点时: 25 m, 高程精度 5 m

展我国后续光学测绘卫星的建议和思路。

1 卫星在轨测试与初步运行

1.1 卫星在轨测试

2012年1月16日，在卫星完成飞行控制后，根据卫星工程主管部门安排，由应用系统牵头的在轨测试工作组开展卫星在轨测试工作。测试工作分为平台测试和载荷测试，卫星平台测试主要对卫星平台部分各服务分系统功能和性能进行检查；载荷测试主要对卫星各主要性能指标进行了全面深入的测试。在轨测试期间，应用系统在河北省安平县组织有关单位实施了大型野外试验，完成了数十个人工靶标布设和数百个自然地物采点工作。后续又组织相关人员在山西太行山困难山区进行长条带外业控制测量，顺利完成了卫星在轨几何标定、辐射参数检校、测图精度验证及部分卫星关键性能指标参数的测试分析工作。

2012年4月20日，在轨测试任务圆满完成。在轨测试结果表明，卫星系统功能和性能全面满足《资源三号卫星工程研制总要求》，关键项目性能优于指标要求，关键指标测试情况见表2所列，结果表明该卫星完全满足1:5万立体测图精度、1:2.5万地图修测与更新精度要求。2012年7月30日，国防科工局在北京组织召开了ZY-3卫星在轨交付仪式。ZY-3卫星由研制单位航天科技集团公司正式交付用户国家测绘地

表2 卫星关键指标在轨测试符合情况
Tab.2.The test result of ZY-3 satellite key indicators

功能、指标	具体要求	测试结果
地面像元分辨率	前视：优于 4 m	3.2 m(垂轨)，3.5 m(沿轨)
	后视：优于 4 m	3.2 m(垂轨)，3.5 m(沿轨)
	正视：优于 2.5 m	2.1 m(垂轨)，2.1 m(沿轨)
	多光谱影像：优于 10 m	5.8 m(垂轨)，5.8 m(沿轨)
立体有效覆盖宽度	大于 45 km	52.1 km
系统在轨动态 MTF	优于 0.1	正视：优于 0.12，前视：优于 0.16，后视：优于 0.14 多光谱 B1, B2, B3 均优于 0.20, 多光谱 B4: 优于 0.14
辐射定标精度	全色影像的相对辐射定标精度优于 3%	相对定标精度 0.52%
	多光谱影像的相对辐射定标精度优于 3%	相对定标精度 0.8%
测图精度要求	1:5万数字地形图基本产品	平面:4.7m,高程:1.2m (平地)
	1:5万数字高程模型	高程: 1.3m(平地)
	1:5万数字正射影像图	平面: 3.1m(平地)
轨道测量精度	≤10 m (实时, 1σ)	优于 4 m
姿态稳定度	姿态稳定度≤5×10 ⁻⁴ °/s	小于 3×10 ⁻⁴ °/s
系统动态范围和信噪比	太阳高度角 70° 地面反射率 0.3 条件下 SNR 优于 42dB	前视 44.3 dB, 后视 46.8dB 正视 43.6dB
	太阳高度角 30° 地面反射率 0.03 条件下 SNR 优于 28dB	前视 39.0dB, 后视 37.4dB, 正视 35.7dB
多光谱相机系统动态范围和信噪比	太阳高度角 70° 地面反射率 0.3 条件下 SNR 优于 40dB	B1: 41.3dB, B2: 40.4dB B3: 41.3dB, B4: 40.7dB
	太阳高度角 30° 地面反射率 0.03 条件下 SNR 优于 20dB	B1: 32.5dB, B2: 31.4dB B3: 30.5dB, B4: 32.9dB
几何检校	利用检校场对 CCD 探元指向角进行标定精度优于 0.3 像元	0.2 像元
平面和高程精度	有地面控制点平面精度：优于 25 m	1.7 m, (单景平差精度)
	有地面控制点高程精度：优于 5 m	1.3 m, (单景平差精度)
	无地面控制点平面精度：优于 100 m	25 m

理信息局，进入业务运行阶段。

1.2 卫星应用系统建设与初步运行

资源三号卫星应用系统作为卫星工程的重要组成部分，是卫星面向行业用户应用的基础。目前应用系统按照运行功能分为八个分系统同时建设，如图1所示。

作为我国首个民用立体测绘

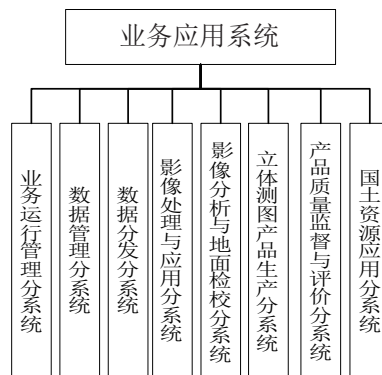


图1 资源三号卫星应用系统分系统组成
Fig.1.The composition of ZY-3 satellite application system

卫星业务应用系统，建设时间短，任务重。为了确保卫星上天后应用系统具备在轨测试以及产品生产能力，卫星发射前，在国防科工委项目支持下，资源三号应用系统对多项国产三线阵测绘卫星立体测图关键技术^[1]进行先期攻关，这些技术包括面向立体测图的辐射处理、卫星影像质量压缩与评价、卫星影像仿真、海量立体影像数据管理、严密几何模型和RPC模型构建、高精度几何检校、精密定姿与定轨、遥感影像控制点库构建、大区域无缝立体测图等，打通了国产高分辨率三线阵卫星立体测图生产流程中的关键环节。在此基础上，应用系统于2012年11月顺利完成前期建设目标，即在卫星发射前，构建了资源三号测绘卫星基本应用系统。

目前，ZY-3卫星在轨运行状态良好，卫星数据获取稳定，基本应用系统运行正常，基于该系统生产的影像产品精度完全满足测绘应用及其他行业的预期需求，从该系统对资源三号几何处理和精度验证来看，在有控制点的情况下，平面精度优于3 m，高程精度优于2 m，比原有资源卫星的有控制点的定位精度提高2倍^[2]，并且控制点数量较从前减少了10倍以上，更全面地实现了1:5万高精度立体测图。在无控制点情况下，平面精度优于10 m，高程精度优于6 m，较原有国产卫星影像的直接定位精度至少提高了20倍以上^[3]，可直接用于1:5万基础地理信息更新。未来在该系统的基础上将进一步完善，在2013年底前最终建

立一套业务化和自动化程度更高的应用系统。

2 卫星数据接收与应用

2.1 数据接收

截止到2012年12月15日，卫星共计运行5 195圈，计划获得1 481轨数据，实际获得1 470轨数据，接收数据总量约240TB，已对境外140多个国家和地区成像。ZY-3卫星全球及国内有效数据（单景云量小于20%）面积及覆盖情况见表3所列及图2、图3所示。

表3 ZY-3卫星有效数据覆盖统计表(云量≤20%)
Tab.3 The valid data coverage statics of ZY-3 satellite

区域	景数(正视)	面积(万km ²)
全球	31 374	3 160
中国	9 001	760
欧洲	788	120
亚洲	24 771	2 040
南美洲	1 296	220
北美洲	531	82
大洋洲	2 158	230
非洲	640	130

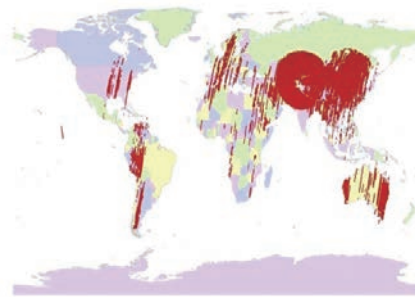


图2 ZY-3卫星全球区域有效数据覆盖图
Fig.2 The valid data coverage of ZY-3 satellite in global area

2.2 影像产品应用

基于资源三号卫星影像生产

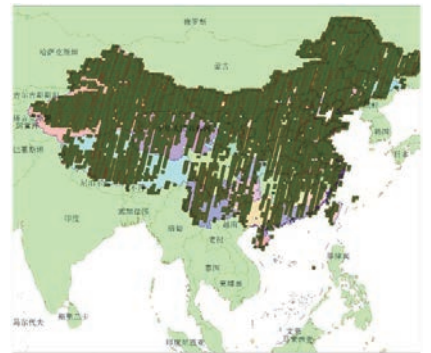


图3 ZY-3卫星中国陆地有效数据覆盖图
Fig.3 The valid data coverage of ZY-3 satellite in China

的各级数据产品在国家重大测绘工程，以及省级基础测绘中得到了大规模工程化应用。同时，也为国土资源监测、防灾减灾、地震遥感监测等领域提供了广泛的服务，并与阿根廷、澳大利亚、委内瑞拉等国家开展相应的国际合作。

2.2.1 国家重大测绘工程中的应用

在全国1:5万基础地理信息数据库更新任务中，截至2012年12月，ZY-3卫星提供覆盖面积达400万km²的影像数据产品，覆盖全国31个省级行政区范围。未来在轨运行期间，计划每年将向全国1:5万数据库更新任务提供两期卫星影像数据产品，保障数据库更新周期由五年一版缩短至一年一版。

在当前开展的地理国情普查工程中，ZY-3卫星主要承担包括约250万km²高山及人烟稀少区域的影像数据在内的普查工程数据获取，用于地理国情普查底图的生产，为外业调查和踏勘提供基础资料；此外，还将进一步用于普查工程中的典型地理要素提取，以及矿山环境动态监测、滩涂与海岸线动态监测、国

家自然保护区动态监测等地理省情监测中。

在国家测绘地理信息局“天地图”平台建设中,资源三号卫星提供的国内外影像数据产品覆盖面积超过200万km²,包括国内的主要城市及澳大利亚、美国、伊朗、印度等30个国家和地区的影像数据,填补了“天地图”国外影像的空白。同时,就国内外突发热点区域开展应急拍摄任务,向“天地图”平台及时提供了英国伦敦奥运场馆、叙利亚首都大马士革、中国黄岩岛等国内外热点地区影像,“天地图”平台数据在现势性和地面分辨率方面得到全面提升。

在国家海岛(礁)测绘专项工程中,资源三号卫星目前已提供包括黄岩岛、东岛、永兴岛等重要岛屿在内的约45万km²的自主高分辨率、多时相影像数据,制作了黄岩岛等岛屿的数字正射影像等专用测绘影像产品,大大缩短了我国海岛(礁)基础地理信息的更新周期,提高了海岛(礁)测绘应用产品的现势性。

2.2.2 省级基础测绘任务中的应用

ZY-3卫星在省级基础测绘更新方面,已相继提供经传感器校正处理后的正视全色和多光谱影像数据产品覆盖面积超过110万km²。并在四川若尔盖、新疆喀什和湖北宜昌等地开展了基于ZY-3卫星立体影像数据的地形图更新试生产,从空三加密、立体测图、地物判读提取、辅助调绘等各个环节对ZY-3卫星的

省级基础测绘更新能力进行生产试验和评价。

2.3 国土资源调查与监测、防灾减灾等其他领域的应用

在国土资源调查与监测管理方面,截至2012年12月,ZY-3卫星为国土资源“一张图”工程提供的影像产品覆盖面积超过200万km²,有效地保障了全国土地利用变更调查监测与核查工作的深入开展。

在灾情监测与评估方面,云南安宁晋宁山林火灾发生后,应用系统迅速启动应急保障机制,第一时间向云南省测绘局提供了晋宁县境内两处火灾区域的正视多光谱融合影像和有关解译信息用以制作出《云南省晋宁县3·28火灾灾后遥感影像图》,为灾情评估和救灾指导工作提供了有效的应急保障。

在干旱监测方面,ZY-3卫星在云南盈江、辽宁锦州、辽宁朝阳开展了ZY-3卫星的专题应用,卫星数据对于实现水源监测和生态干旱分析能够起到重要的监测作用。

在地震灾害方面,利用ZY-3卫星的全色数据、多光谱数据的高精度处理与精确解译,结合立体像对对地形进行三维分析,在内蒙古大青山断裂带实现了活动断层信息提取,为提升断层活动性机制的认识提供了重要帮助。

2.4 在国际合作中的应用

ZY-3卫星应用系统充分发挥ZY-3卫星影像产品的高精度优势,积极开展国际合作与国际市场开拓,先后为美国、英国、日本、法

国、德国、意大利、阿根廷、安哥拉、韩国、瑞士、土耳其等20多个国家提供了近百景ZY-3卫星样例试验数据,为ZY-3卫星影像产品的国际化市场开拓奠定了良好开端。比如高精度的ZY-3影像产品在南美阿根廷、非洲安哥拉等地区的电网勘查工程中得到广泛应用,为我国国际工程承建工作提供了重要的测绘数据支撑,并由此产生了显著的经济效益。

3 后续光学测绘卫星发展思考

ZY-3卫星成功发射与运行,打破了制约我国经济发展的自主高分辨率立体测绘影像数据瓶颈。然而,要全面形成我国立体测绘业务化能力,我国测绘卫星需要向体系化方向发展^[4]。

1) 后续光学测绘卫星发展需求

ZY-3卫星作为我国首颗民用立体测绘科学试验卫星,与发达国家相比,我国现有的测绘卫星无论在数量上还是质量上都存在较大差距。对于光学测绘卫星而言,由于拍摄时间、重访周期、天气等客观因素,单星数据源供给能力还无法完全满足实际应用的需求,也无法完全实现卫星测绘的大规模、体系化的业务应用能力。因此,有必要进一步发展和完善我国后续测绘卫星体系,早日立项研制并发射ZY-3后续星02星,实现对ZY-3的接续,实现多星同时在轨、组网观测,真正形成我国1:5万测绘立体观测能力。

(下转第51页)

- 225.
- [13] YAN Hao-wen, LI Zhi-lin, AI Ting-hua. System for automatic generalization of topographic maps[J]. CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE, 2006, (2):165-170.
- [14] 肖剑平, 刘美春, 艾廷华, 等. 基于要素操纵引擎实现地图综合缩编的技术方法[J]. 工程勘察, 2009, (1):58-60.
- [15] 朱宏斌, 陆海英, 盛琦, 等. 城市基础地理信息数据库更新方案研究[J]. 测绘通报, 2011, (1):25-27.
- [16] 张必胜, 肖剑平. 城市地理信息系统建设中若干问题及解决思路探讨[J]. 地理空间信息, 2007, 5(6):17-19.
- [17] YAN Haowen. Fundamental Theories of Spatial Similarity Relations in Multi-scale Map Spaces[J]. CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE, 2010, (1):18-22.
- [18] 张必胜. 数字城市地理空间框架安全策略研究与实现[C]. 2011年湖南科技论坛论文集. 长沙:湖南地图出版社, 2011.
- [19] 朱长青, 杨成松, 任娜. 论数字水印技术在地理空间数据安全中的应用[J]. 测绘通报, 2010, (10):1-3.

(上接第40页)

2) 后续光学测绘卫星发展思路
在后续光学测绘卫星发展方面, 建议参考ZY-3 卫星相关设计指标和原则, 在此基础上, 以应用需求为牵引, 进一步优化卫星关键载荷设计, 挖掘卫星的应用潜力。例如, 在测绘应用方面, ZY-3卫星几何精度不仅满足1:5万基础地理信息数据产品生产的指标要求, 相关指标甚至可达到部分地区1:1万地理信息更新, 然而受限于前后视相机分辨率限制, 更高比例尺的立体测图潜力没有得到完全发挥。如果在后续星加以改进, 则可进一步满足更

高精度的测绘应用需求。在其他领域的应用方面, 由于目前ZY-3卫星正视相机与多光谱相机安装指向存在6°夹角, 降低了正视全色与多光谱影像配准精度, 从而影响了影像的融合质量, 在后续星相机安装设计时适当调整, 可进一步拓宽卫星在遥感领域的深度应用。同样, 在影响卫星几何精度的姿轨控制系统方面, 可以采取提高测量设备的性能指标, 或者下传完整的原始数据进行后处理等方式, 提高卫星姿轨处理精度, 确保后续卫星几何精度得到更好的提升。

参考文献

- [1] Tang Xinming. Overview of the key technologies for high-resolution satellite mapping[J], International Journal of Digital Earth, 2012, 5(3):227-240.
- [2] 李庆鹏, 王志刚, 雷玉飞. CBERS-02B卫星HR相机遥感影像区域网平差技术[J]. 航天返回与遥感, 2011, 32(4):30-36.
- [3] 祝小勇, 张过, 等. 资源一号02B卫星影像几何外检校研究及应用[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(3):16-18.
- [4] 唐新明, 丛楠. 我国测绘卫星现状与发展思考[J]. 地理信息世界, 2011, 9(2):40-44.