
文章编号 1674-2915(2009)06-0467-10

“NextView 计划”与光学遥感卫星的发展趋势

曲宏松, 金光, 张叶

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:美国国家地理空间情报局(NGA)发起的“NextView 计划”是在“未来成像体系”(Future Imagery Architecture, FIA)计划失败的背景下提出的。“NextView 计划”由 WorldView-1 和 GeoEye-1 两颗商业光学遥感卫星组成。卫星的地面像元分辨率分别为 0.5 m 和 0.41 m, 是目前世界商业卫星中分辨率最高的两颗卫星。本文介绍了“NextView 计划”项目实施的依据, 描述了 WorldView-1 和 GeoEye-1 两颗卫星的技术指标、工作模式和特点, 并对未来光学遥感卫星的发展趋势做出了预测, 认为未来光学遥感卫星将向“更高、更快、更小、更准、更艳”的方向发展。

关键词: Nextview 计划; WorldView-1 卫星; GeoEye-1 卫星; 光学遥感卫星; 综述

中图分类号: V474.261; TP79 **文献标识码:** A

NextView program and progress in optical remote sensing satellites

QU Hong-song, JIN Guang, ZHANG Ye

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: The NextView program initiated by the National Geospatial-intelligence Agency (NGA) was put forward in the background of the failure of Future Imagery Architecture (FIA) plan. The NextView program contained two commercial optical remote satellites, namely, WorldView-1 and GeoEye-1. With the GSD resolutions of 0.5 m and 0.41 m, respectively, both of them are the first two commercial optical remote satellites with the highest resolution in the world. This paper introduces the working objects of the NextView program and describes the technical specifications and characteristics of the WorldView-1 and GeoEye-1. It also gives the working modes of two satellites. Finally, it predicts the developing trends of remote sensing satellites, and points out that the future optical remote satellites will be higher, faster, smaller, higher precision and more colorful.

Key words: NextView program; WorldView-1 satellite; GeoEye-1 satellite; optical remote sensing satellite; review

1 引言

天基遥感最早是为了实现军事侦查而诞生的,1959年,第一颗 Corona 卫星(KH-1)的升空标志着天基侦查卫星时代的来临。然而,随着冷战的结束,体积重量巨大且需要巨资支持的军用侦查卫星的研制热情逐渐降温,取而代之的是商用、民用地球遥感卫星的异军突起。法国 SPOT 系列卫星、美国 QuickBird 和 IKONOS 卫星的在轨运行与成功的商业运作,使它们迅速成为商业光学遥感卫星中的翘楚。

GoogleEarth 的面世使以前遥不可及的航天遥感照片走进了普通百姓的视野,同时也使越来越多的行业与航天遥感结下不解之缘。商业遥感卫星催生了新的产业,而新兴的遥感产业也推进了商业遥感卫星的发展。法国与意大利发起了光学和雷达联合地球观察(ORFEO)计划,旨在建立军民两用的光学、雷达联合地球观测系统,其中意方负责两颗雷达星的研制,而法国负责光学星 Pleiades 的研制。美国则更加重视商业光学遥感卫星的发展,“NextView 计划”就是美国 NGA 发起的一项军民两用对地观测计划。该计划由两颗卫星组成,分别为 WorldView-1 和 GeoEye-1。这两颗卫星的最高地面像元分辨率分别为 0.5 m 和 0.41 m。两颗“NextView 计划”卫星除了为 Google、Microsoft 和 Yahoo 等公司提供高品质遥感图像之外,更重要的是为美国情报部门提供高分辨力图像信息。目前,两颗“NextView 计划”卫星已经成功入轨工作,并向地面传回了大量的高品质图像产品。

本文详细介绍了“NextView 计划”的来龙去脉,并剖析两颗“NextView 计划”卫星的技术指标和技术特点,通过对两颗卫星的分析研究,预测出未来光学遥感卫星的发展趋势。

2 “NextView 计划”的提出

2.1 FIA 计划的失败

国家侦察局(NRO)是美国最主要的情报侦察部门之一,负责间谍卫星的管理。NRO 掌管着

目前美国的主力侦察卫星体系,该体系由锁眼(Keyhole)系列卫星和长曲棍球(Lacrosse)系列卫星组成。现役的 KH-12 传输型光学成像卫星至今已经发射了 6 颗,成像分辨力达到惊人的 0.1 ~ 0.15 m,始终保持至少 3 颗卫星同时在轨服役。Lacrosse 系列雷达成像卫星是世界上第一种军用雷达成像卫星,已发展了两代,第二代卫星的精扫分辨力达到 0.3 m,可保持 2 ~ 3 颗卫星同时在轨工作。

然而,目前美国的间谍卫星体系是冷战时代的产物,随着军事战略、应用领域和战争形态的转变,被誉为“畸形巨兽”的 Keyhole 卫星和 Lacrosse 卫星逐渐暴露出许多不足或与现代战争不相适宜之处^[1]。1996 年,美国成立了一个名为“成像体系研究”(IAS)的研究小组,该小组建议推出一个由质量轻、体积小、相对便宜的卫星组成的星座,整体能力至少与当时在轨运行的 KH-12 和 Lacrosse 卫星相当。基于这个建议,NRO 联合当时的国家图像和测绘局(NIMA,现国家地理空间情报局 NGA)等单位,共同论证并提出了“未来成像体系”(FIA)。

FIA 立项后,Boeing 公司和 Lockheed-Martin 公司积极竞标。但出人意料的是,Boeing 公司击败了光学成像侦察卫星的传统承包商 Lockheed-Martin 公司,获得了 FIA 项目的独家承包权,FIA 光学星和雷达星的研制任务都被 Boeing 公司收入囊中。但好的标书并没有给 Boeing 公司带来好的结果,经验缺乏、研制混乱、质量失控导致光学星研制进度严重拖期,混乱的管理让 Boeing 公司研制成本迅速增长。为弥补资金缺口,Boeing 公司又进一步削减了一些试验以及备选方案的研究工作。就这样,Boeing 公司陷入了一个恶性循环,最终 NRO 失去了耐心,取消了 Boeing 公司 FIA 光学卫星项目,紧急采购了 Lockheed-Martin 公司库存中仅存的一颗 KH-12 卫星。虽然 Boeing 公司失去了光学卫星,但却没有失去雷达成像卫星。2006 年 12 月 14 日,Boeing 公司生产的第一颗 FIA 雷达卫星(NROL-21,也被称作 USA 193)发射,虽然卫星成功地进入了预定轨道,但很快与地面失去了联系,就这样“Boeing 制造”全线哑火。然而 NROL-21 的故事没有就此低调结

束,14 个月后,美国海军调集“提康德罗加”级导弹巡洋舰伊利湖号,利用 SM-3 型导弹拦截导弹将报废的 NROL-21 击毁^[2]。这一事件标志了 FIA 计划的彻底失败。

2.2 “NextView 计划”

进入 21 世纪以后,由于 FIA 计划进行得十分缓慢,美国情报部门逐渐反思其间谍卫星发展战略的正确性。由于 QuickBird 和 IKONOS 卫星在轨运行和商业运作的成功,以及商业卫星在阿富汗战争和伊拉克战争中发挥的作用,美国军方意识到商业卫星也能够提供高品质、高分辨力的地球影像情报。于是在 2001 年,美国 NGA(当时的 NIMA)提出了一项“下一代成像卫星”发展构想,该构想旨在投资商业卫星公司来研制生产高分辨力成像卫星,其图像产品可以军民两用,使战地指挥官和士兵可以通过 Internet 或其他非密手段很快地获取感兴趣地区的卫星图片,当然这些图片的分辨力一般大于 0.5 m。这一构想很快就开始实施,这就是美国至今尚未公开的“NextView 计划”。2003 年 9 月 30 日,DigitalGlobe 公司对外宣布其赢得了 NIMA 的 5 亿美元成像卫星合同,研制一颗下一代商业高分辨力成像卫星,于是 DigitalGlobe 公司成为“NextView 计划”第一颗卫星的承包商。次年,第二颗卫星也很快找到了主人,它就是 GeoEye 公司(当时名为 Orbital Imaging 公司)。两家“NextView 计划”承包商没有步 FIA 项目的后尘,成功地完成了“NextView 计划”项目。DigitalGlobe 公司的 WorldView-1 和 GeoEye 公司的 GeoEye-1 成为目前商业光学成像卫星中技术

指标最高、成像质量最佳的两颗卫星。

3 “NextView 计划”的两颗卫星

3.1 WorldView-1

3.1.1 从 WorldView 110 到 WorldView 60

在论证 WorldView-1 卫星之初,承研单位 Ball 宇航公司提出两个备选方案,一个是 WorldView 110 方案,另一个是 WorldView 60 方案。两个方案的最大区别是选用光学载荷的口径不同,从方案的名字可以看出,WorldView 110 方案选用的是 110 cm 口径,而 WorldView 60 方案选用的是 60 cm 口径。从应用上讲,WorldView 110 方案更优,因为该方案的轨道高度可以更高,而且传感器可以选用“全色 + 多光谱”的方案,显然这一方案更受用户欢迎。但 WorldView 110 方案也有其不利的一面,由于技术跨度比较大,研制周期必然拉长,而美国情报部门却急需“NextView 计划”项目能够很快弥补 FIA 项目失败造成的间谍卫星数量不足的现状。最终,2005 年 8 月 NGA 决定选用 WorldView 60 方案。

WorldView 60 方案可以继承很多成熟技术来缩短研制周期。如 WorldView 60 的载荷方案就沿用了 QuickBird 相机的光学系统,只是对焦平面进行了升级并使用了更先进的电子学系统。同时卫星平台也是在原有 QuickBird 卫星平台基础上进行了改进,使之成为高灵活性和高性能的卫星平台。图 1 是 WorldView 60 方案的示意图。

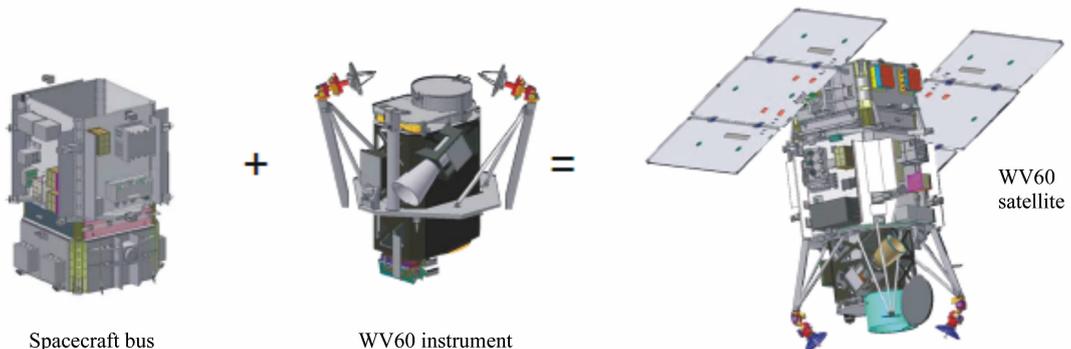


图 1 WorldView 60 方案示意图

Fig. 1 Sketch of WorldView 60 scheme

3.1.2 WorldView-1 卫星介绍

WorldView-1 卫星整体为立方体构型,分为载荷和平台两部分。载荷主体为光学成像相机,在相机上通过桁架杆安装了两个数传天线,一对正交的星敏感器也安装在相机的两侧。光学相机也成立方体构型,镜筒前端配有快门。WorldView-1 的平台设计为中空立方体。立方体外部4个面为仪器安装面,星上电子学系统均安装于此;而内部为中空舱体,舱体最低端安装有4个控制力矩陀螺,按照金字塔结构安装。控制力矩陀螺上端为推进剂储箱,储箱为球体。储箱上方就是相机,相机没有全部安装到舱体中,而是相机总长的1/4安装于舱内,3/4伸到了舱外。图2为WorldView-1 卫星结构示意图。

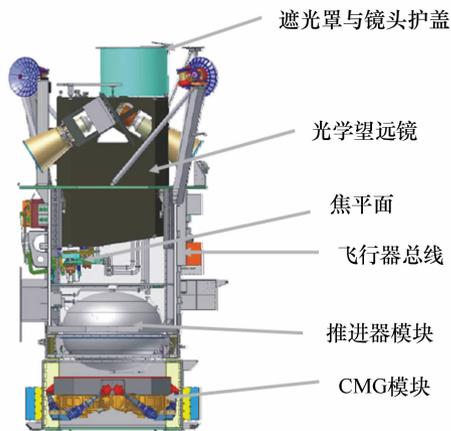


图2 WorldView-1 卫星结构图

Fig.2 Structure of WorldView-1 satellite

3.1.3 WorldView-1 卫星指标

WorldView-1 卫星虽然继承了很多 QuickBird 卫星的成熟技术,但也进行了一定程度的改进。表1对WorldView-1 卫星和 QuickBird 卫星技术指标进行了详细的对比。

从表中的指标可以看出,WorldView-1 的轨道高度较 QuickBird 提高了近 50 km。轨道提高带来了许多好处。首先,提高了成像的幅宽。在轨道高度相等的情况下,一般来讲,地面像元分辨率越高幅宽越窄,而通过指标对比,WorldView-1 地面像元分辨率为 0.5 m, QuickBird 为 0.61 m,从光学系统设计角度讲,在两者轨道高度相等的条

件下 WorldView-1 的幅宽应该更窄,但由于 WorldView-1 轨道高度的提高,使得其幅宽反而比 QuickBird 大。其次,轨道高度增加到 496 km 有利于卫星的回归与回访。根据对太阳同步回归轨道的研究^[3,4],496 km 轨道的回归特性优于 450 km 轨道,从表1也可以看出,对于纬度为 40° 的目标,QuickBird 回访需要 6 天时间,而 WorldView-1 仅需 5 天。轨道提高的第三个好处是,增加了卫星的轨道寿命。由于 WorldView-1 和 QuickBird 同属于低轨卫星,而低轨卫星的最主要摄动因素是大气摄动^[5],轨道越低大气密度越大,对卫星的摄动阻力也越大,所以 QuickBird 的轨道寿命要小于 WorldView-1。当然轨道寿命与卫星的工作寿命不是一个概念,但轨道寿命却可以影响工作寿命,所以从表1可以看出,WorldView-1 的工作寿命大于 QuickBird。

除了轨道高度为 WorldView-1 提供了很多超越 QuickBird 指标的优势外,WorldView-1 也在很多地方进行了升级,提升了指标。WorldView-1 对 QuickBird 的改造主要集中在姿控系统上,从表1可以看出,WorldView-1 的姿态敏感器和控制器都较 QuickBird 有了改变。WorldView-1 使用了精度更高的固态姿态敏感器(Solid state rate sensor),由于 WorldView-1 的重量约为 QuickBird 的 3 倍,所以姿态控制器选用了效力更高的控制力矩陀螺。而控制力矩陀螺的应用使 WorldView-1 更敏捷,也使其具有比 QuickBird 更灵活的拍照工作模式(下节重点介绍)。除此之外,由于地面像元分辨率的增加,使得星上数据率大幅度提高,这就使 WorldView-1 的星上存储系统的容量大幅度提高,而且增加了数据的传输率。由于 WorldView-1 的指标提高很多,使得其电源系统必须扩容,蓄电池从 40 Ahr 提高到 100 Ahr,而太阳帆板也增加了 2 节,使整体面积增加了接近 3 倍。

3.1.4 WorldView-1 卫星工作模式

上节介绍了 WorldView-1 使用控制力矩陀螺作为姿控部件时,可得 2.5 t 重的 WorldView-1 具有很高的敏捷性。表1给出的指标表明 WorldView-1 的重指向速度可达 $4.5^\circ/\text{s}$,加速度可达 $2.5^\circ/\text{s}^2$,灵敏的大角度机动能力实现了灵活的拍照工作方式。

表1 WorldView-1 卫星和 QuickBird 卫星技术指标对比

Tab.1 Technical specification comparison between WorldView-1 and QuickBird

指标	WorldView-1	QuickBird
轨道	496 km	450 km
重访(0~20° ONA@ 40° latitude target)	5 天 (1 m 分辨率 1.7 天)	6 天
工作寿命	7.25 年	7 年
重量	2 500 kg	900 kg
谱段	全色	全色 + 多光谱(4 MS)
全色分辨率	0.5 m	0.61 m
多光谱分辨率	N/A	2.4 m
幅宽	17.6 km	16.5 km
TDI 级数	8~64(6 级可变)	10~32(5 级可变)
量化位数	11 bit	11 bit
有效像元数	39 100	27 568
像元尺寸	8 μm	12 μm
焦距	8.832 m	8.832 m
视场角	2.04°	2.12°
星上存储	2 200 Gb/s	137 Gb/s
数传速率	800 Mb/s(双通道)	320 Mb/s(单通道)
姿态传感器	安装于相机上的星敏和固态姿态传感器(HRGs)	安装于相机上的星敏和安装于平台的陀螺
主要姿控器件	控制力矩陀螺	反作用飞轮
定位精度	CE90 = 4~5.5 m(无控点) CE90 = 2 m(有控点)	< 15 m(3-sigma)地面处理后
重指向速度	速度:4.5°/s 加速度:2.5°/s ²	速度:0.5~1.1°/s 20 s 10° 45 s 50°
指向精度	< 500 m(拍照始末)	< 0.5 mrad 单轴 = 0.028 65° = 103"
双向扫描	能	不能
单轨拍照面积	650 km 条带或 60 km × 110 km 区域	350 km 条带
太阳帆板	3 232 W 三节单轴双翼	1 140 W 单节点轴双翼
蓄电池	100 Ahr NiH ₂	40 Ahr NiH ₂

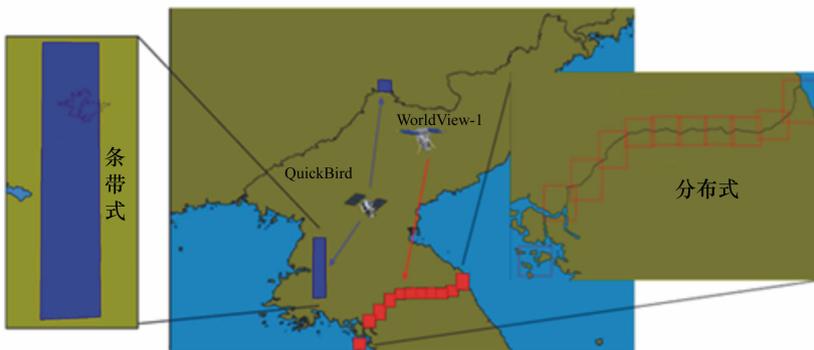


图3 WorldView-1 和 QuickBird 拍照工作模式示意图

Fig.3 Sketch of working modes of WorldView-1 and QuickBird

图3为WorldView-1和QuickBird拍照工作模式示意图。从图中可以看出,QuickBird采用传统的条带式拍照模式,即单个过目标轨道弧度不改变卫星姿态,使卫星姿态对准目标后一直保持不变,直至拍照结束,条带式工作模式的局限性是单轨只能拍摄沿轨方向上的目标,且幅宽很窄。而WorldView-1则可以采用分布式拍照模式,如图3所示,WorldView-1可以利用其敏捷性高的特点,在过顶弧段中快速频繁进行姿态机动,通过拼接一组连续拍摄的纵向条带图像,获得了穿轨方向上的范围图像。分布式拍照工作模式也被称作横拍模式或镶嵌模式。分布式拍照在无形中拓宽了图像的幅宽,增强了单轨抓拍目标的效率,尤其对一条轨道上可见多个目标的情况尤为有利。

3.2 GeoEye-1

3.2.1 GeoEye-1 简介

GeoEye-1是迄今为止设备最先进、最尖端的商用卫星。GeoEye-1重约1 950 kg,是目前世界分辨率最高的商业对地成像卫星。GeoEye-1在684 km的轨道上获取高精度的图像信息。

GeoEye-1由成熟的卫星平台(SA-200HP)和新一代光学载荷组成。GeoEye-1的平台系统沿用了早期项目中有过成功飞行经历的卫星平台,该平台具有高精度的姿轨敏感器,利用8个反作用飞轮作为姿态控制元件。为记录和下传海量地球影像信息,配备了840 Gbit 固态存储单元和高速数传链路。而ITT公司设计了一款新一代高品质光学相机作为GeoEye-1的有效载荷,该相机口径为1.1 m,宽视场,成像谱段覆盖了全色和多光谱。最值得GeoEye公司称道的是GeoEye-1骄人的地面像元分辨率指标,其多光谱分辨率达到1.65 m,而全色分辨率最高达到0.41 m(优于0.5 m分辨率的图像不能公开,只提供给美国军方),这也使GeoEye-1成为目前商业光学对地成像卫星中分辨率最高的卫星。

有着如此优异指标的GeoEye-1也自然有着广泛的应用,诸如在国防、国土安全、海空运输、油气勘探与采掘、地图绘制、定位服务、市政规划、灾害与危机管理、农业、环境保护等领域。

3.2.2 GeoEye-1 卫星指标

自从2008年9月6日GeoEye-1卫星成功入

轨并正常工作以后,之前WorldView-1保持的商业卫星最高分辨率的记录被打破,0.41 m地面像元分辨率的记录由GeoEye-1保持至今,如此高的分辨率使GeoEye-1无愧“地球之眼”的称谓。GeoEye-1除分辨率指标值得称道外,还有很多技术指标代表了世界卫星工业的最高水平。表2详细列出了GeoEye-1的各项技术指标。

表2 GeoEye-1的各项技术指标

Tab. 2 Technical specifications of GeoEye-1

指标名称	指标
轨道	684 km (10:30 am)
重访时间	<3 天
寿命	7 年(燃料够 15 年使用)
重量	1 955 kg(发射重量) 1 260 kg(平台重量)
尺寸	4.35 m × 2.7 m
太阳帆板	可展开, 7-panel, GaAs, 3862 W
蓄电池	160 Ahr NiH ₂
星上存储	1 000 Gbit = 1 Tb
数传通信	数传 X 频段 740 Mb/s 或 150 Mb/s 遥控 S 频段 64.0 kb/s 遥测 X 频段 59.7 kb/s
谱段	全色和多光谱(4 谱段)
分辨率	全色 0.41 m 多光谱 1.64 m
幅宽	15.2 km
口径	1.1 m
视场角	>1.28°
焦距	13.3 m
像元尺寸	8 μm
有效像元个数	37 000
量化位数	11 bit
CCD	TDI CCD
指向精度	75"
姿态稳定度	0.007"/s rms(25 ~ 2 000 Hz)
姿态敏感器件	星敏 × 2, scaleable space IRU 10-cell coarse sun sensor 磁力矩器 × 3, GPS × 2
姿控器件	零动量偏置飞轮 × 8
机动能力	速度: 2.4°/s 加速度: 0.16°/s ²
定位精度	圆误差 CE stereo 2 m 线误差 LE stereo 3 m 圆误差 CE mono 2.5 m

GeoEye-1选择了太阳同步回归轨道,其轨道高度为684 km,比WorldView-1轨道高近200 km。虽然轨道高度高于WorldView-1,但GeoEye-1的全色谱段的地面像元分辨率却高于WorldView-1,

说明 GeoEye-1 的光学载荷的性能要优于 WorldView-1 的相机,而且 GeoEye-1 相机配备了多光谱 CCD,在获取全色图像的同时还可以获取彩色图像。

由于地面像元分辨力越高数据率也就越高,所以对于 GeoEye-1 最高分辨力为 0.41 m 的相机而言,其数据率已达到 6.2 Gbps。为应对这样的海量图像数据,首先需要足够大的星上图像存储设备,其次需要高速的数传通道。GeoEye-1 配备了 1 000 Gbit 固存,固存容量已经达到了“T”级。而数传的传输速率高达 740 Mbps,这一传输率也居于世界领先水平。

GeoEye-1 的设计寿命为 7 年,而装载的燃料够 15 年使用,这种做法继承了 IKONOS 卫星的成功经验。GeoEye-1 前任卫星 IKONOS 的设计寿命也只有 7 年,IKONOS 卫星于 1999 年发射,目前仍正常工作,已经超期服役了 3 年,预计 IKONOS 将工作至 2011 年。

3.2.3 GeoEye-1 卫星构型

从卫星整体构型角度看 GeoEye-1,它继承了 GeoEye 公司众多卫星的构型特点。图 4 ~ 图 6 分

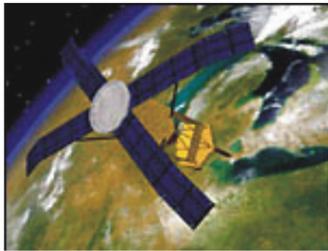


图 4 OrbView-2 卫星
Fig. 4 OrbView-2 satellite



图 5 IKONOS 卫星
Fig. 5 IKONOS satellite

别为 GeoEye 公司从 1997 年至 2003 年期间发射的 3 颗对地观测卫星。这 3 颗卫星的构型有两个共同特点,一是都使用了固定翼太阳帆板,太阳帆板没有驱动机构,这与 DigitalGlobe 公司卫星的特点恰恰相反;二是都采用了星载一体化的构型设计思路,即卫星构型以星上主载荷为中心进行布局,打破了传统卫星平台与卫星载荷分而置之的设计思想。

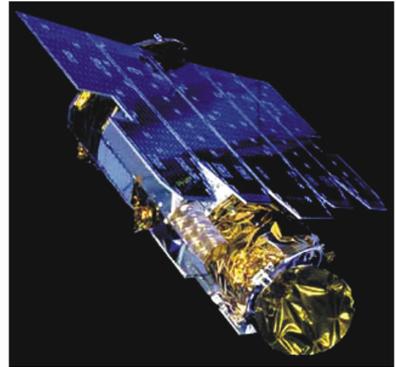


图 6 OrbView-3 卫星
Fig. 6 OrbView-3 satellite

GeoEye-1 秉承了 GeoEye 公司卫星的构型特点,从构型上看与 OrbView-3 卫星很相似,GeoEye-1 的构型如图 7 所示。GeoEye-1 的太阳帆板采用了固定单翼 7 块板的结构,选用的是砷化镓太阳电池片,功率高达 3 862 W。而整星结构也是以光学相机载荷为中心进行布局,相机的镜筒同时成为卫星各系统元件与机箱的安装板面,这

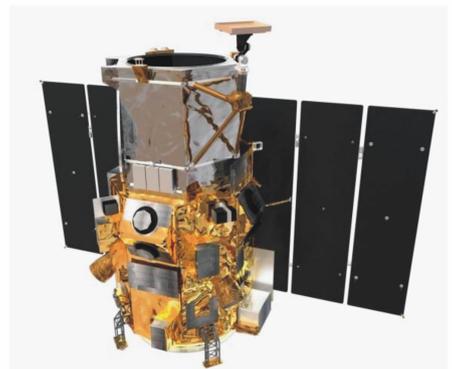


图 7 GeoEye-1 卫星
Fig. 7 GeoEye-1 satellite

种星载一体化的设计思想,使整星布局更合理,结构更紧凑,大大提高有效载荷比,已成为目前卫星设计的新潮流。

3.2.4 GeoEye-1 卫星工作模式

由表2的指标可以看出,GeoEye-1的姿态控制系统极其优异。除指向精度和姿态稳定度两个指标外,GeoEye-1的姿态机动能力更加出众,其姿态机动速度达到 $2.4^{\circ}/\text{s}$,加速度达到 $0.16^{\circ}/\text{s}^2$ 。按此指标计算,GeoEye-1可在10 s内机动 32° 。如此高的大角度机动速度,使其成为目前世界上最敏捷的卫星之一。

由于GeoEye-1的高敏捷性,使其具有与WorldView-1相似的工作模式。而由于GeoEye-1比WorldView-1更敏捷,使得GeoEye-1单轨机动的次数更多,这就意味着GeoEye-1可以在单轨中拍到更多的目标。为了提高拍摄效率,GeoEye-1还采用了一种“双组对排”的焦平面拼接方式,即

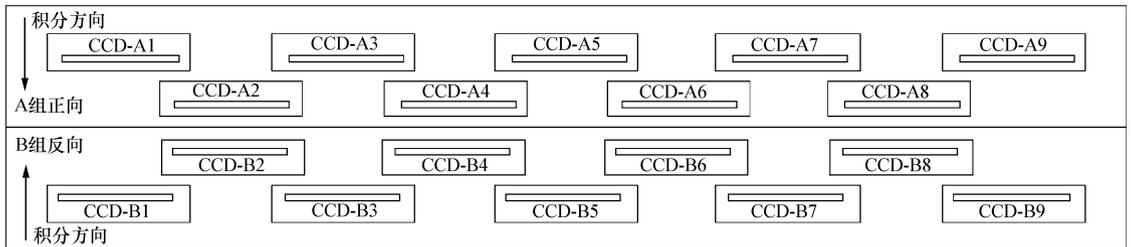


图8 GeoEye-1 焦平面拼接示意图

Fig. 8 Sketch of focal plane array of GeoEye-1

3.2.5 GeoEye-1 卫星相机的光学系统

GeoEye-1 值得标榜的重要指标是其高达0.41 m的地面像元分辨率,而实现这一指标的关键是GeoEye-1相机光学系统的设计。GeoEye-1使用了一种新型的全视场TMC(Full Field Three Mirror Cassegrain, FFTMC)光学系统^[6],实现了灵活多变的成像模式。图9为FFTMC光学系统的光路图。

FFTMC系统在三反射镜系统的一次像面放置了 45° 反射镜,经过三镜反射而成的出瞳位置与 45° 反射镜的位置重合。由于次镜遮拦,所以出瞳为圆环,在设计中通过调整主次镜组合焦距,使一次像面位于折叠镜附近,进而使折叠镜面积最小^[7]。

采用两组TDI CCD对称排列的方式,如图8所示。这种排布方式使得GeoEye-1无论在正程(沿飞行方向上)还是在逆程(反飞行方向上)都可以进行推扫成像,而不需要做偏航方向上 180° 的大角度机动,从而提高了图像获取的效率,又减少了机动的次数。

当然,如此灵活的工作模式依赖于高精度的姿态控制。为使姿态控制进度和机动能力达到任务要求,GeoEye-1动用了军用卫星上使用的姿控敏感器和控制器。双高精度星敏、高精度陀螺、10芯太阳敏感器、3个磁力矩器以及2个GPS构成了GeoEye-1姿态敏感器群,GeoEye-1的指向精度和姿态稳定度就依赖于这些美国军用高精度姿态敏感器群的协同工作;而姿态控制器同样选用了军用器件,使用了8个零动量偏置飞轮来为GeoEye-1提供灵活敏捷姿态机动的动力。

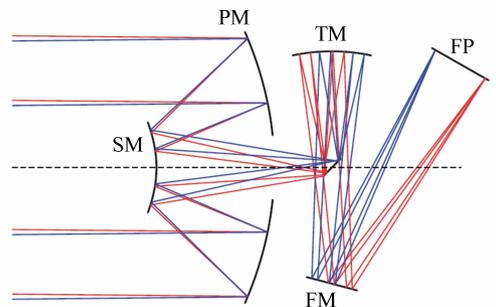


图9 GeoEye-1 的 FFTMC 光学系统

Fig. 9 FFTMC system of GeoEye-1

FFTMC系统在结构上的显著特点是主次镜间距较短,主镜曲率和相对孔径较大,主次镜组合

形成的卡塞格林系统的焦距为整个系统焦距的 $1/4 \sim 1/6$,因此三镜的放大率较大。从加工难度上看,FFTMC 系统的主镜是系统成败的关键。由于次镜间距小,因此支撑结构相对容易。

FFTMC 系统的焦平面为圆形,圆形焦面的优点是 TDI CCD 摆放方式非常灵活,并且可以进行 $\pm 180^\circ$ 的偏流角调整,这是普通线视场三反光学系统难以做到的。另外,还可以使用大面阵 CCD 器件,实现对空间目标的凝视成像功能。

4 未来光学遥感卫星的发展趋势

WorldView-1 和 GeoEye-1 是当代高分辨力光学遥感卫星中的佼佼者,代表了目前光学遥感卫星的最高水平。目前,DigitalGlobe 公司和 GeoEye 公司正在紧锣密鼓地研制更新一代光学遥感卫星,在不久的将来,性能更高的 WorldView-2 卫星和 GeoEye-2 卫星将会升空运行。通过对 WorldView 系列和 GeoEye 系列卫星的分析研究,推测出光学遥感卫星的发展趋势,可以用“五更”来描述,即“更高、更快、更小、更准、更艳”。

“更高”是指光学遥感卫星的地面像元分辨力会更高。目前 GeoEye-1 的分辨力已经高于美国军方对公开遥感图像分辨力的红线——“0.5 m”,这为未来商业卫星提高分辨力指标开了一个好头,据称 WorldView-2 的全色地面像元分辨力达到 0.46 m,而 GeoEye-2 的分辨力将提高到惊人的 0.25 m。未来光学遥感卫星的地面像元分辨力将越来越高,“-0.5 m 卫星”俱乐部中的成员也将越来越多。

“更快”是指卫星敏捷性会越来越高,其机动速度会越来越快,获取地面图像的效能会越来越高。WorldView-2 将会使用动力效能更高的控制力矩陀螺作为姿控部件,其姿态机动速度将达到 $3.5^\circ/\text{s}$,这意味着 WorldView-2 的大角度机动能力将优于 GeoEye-1。从 WorldView-2 对姿态机动能力的提高可以看出提高卫星敏捷性将成为未来光学遥感卫星研究重点,更快、更敏捷的卫星将越

来越多。

“更小”是指卫星的体积更小、质量更轻。卫星小型化是一个发展潮流,像 KH-11、KH-12 那样的庞然大物将会渐渐退出历史舞台。虽然 WorldView-1 和 GeoEye-1 卫星的重量都在 2 t 量级,从重量上说已经不属于小卫星范畴,但对于如此高的分辨力和 1 m 左右直径的主镜尺寸,重量能够控制在 2 t 左右,足见两个承建商在卫星轻量化上所下的功夫。光学系统设计的创新、光学加工工艺水平的提高,以及新材料、新技术的应用必将引领光学遥感卫星轻量化发展。

“更准”是指卫星指向精度、定位精度更高,所拍摄目标的位置更加准确。目前美国光学遥感卫星的地位精度已经达到 2.5 m 左右,据报道 WorldView-2 定位精度将会达到 2 m(有地面控制点)。如此高的定位精度,完全适合地理测绘与地图绘制,“照片即地图”将不再是遥远的梦想。

“更艳”是指相机探测器的谱段越来越多,获得图像的颜色更加艳丽。WorldView-1 只有全色谱段,而 WorldView-2 将增加多光谱探测器,而且谱段数量增加到 8 个,除 4 个标准谱段(红、绿、蓝、近红外)外,还增加了 4 个新的谱段—red edge、coastal、yellow 和 near-IR2。而对于 GeoEye-1 已经加了多光谱探测,未来 GeoEye-2 可能将谱段数扩展到 12^[8]。可以相信,今后遥感图像将向着真彩色的方向发展,这对商业用户极具吸引力。

5 结束语

由于 FIA 计划的失败,使美国情报部门下决心启动下一代商业光学遥感卫星发展计划,即 Nextview 计划。本文对 Nextview 计划的来龙去脉进行了介绍,并重点研究分析了两颗“NextView 计划”卫星的技术指标、工作模式和特点。通过对 WorldView-1 和 GeoEye-1 卫星的分析研究并结合其后续星的指标,推测出未来光学遥感卫星的发展趋势,认为未来光学遥感卫星将向着“更高、更快、更小、更准、更艳”的方向发展。

参考文献:

[1] 梁巍. 美国 FIA 光学成像卫星项目失败的启示[J]. 航天器工程, 2008, 17(4): 83-90.

- LIANG W. Lessons of the FIA optical imaging satellite program's abortion[J]. *Spacecraft Eng.*, 2008, 17(4): 83-90. (in Chinese)
- [2] SHANKER T. Missile strikes a spy satellite falling from its orbit[N]. *The New York Times*, 2008-02-21.
- [3] CASEY D, WAY J. Orbit selection for the EOS mission and its synergism implications[J]. *IEEE T. Geosci. Remote*, 1991, 29(6): 822-835.
- [4] 曲宏松, 张叶, 金光. 基于 Q 值选取的太阳同步回归轨道设计算法[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(9): 1688-1694.
QU H S, ZHANG Y, JIN G. Repeat sun-synchronous orbit design method based on Q value selection[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9): 1688-1694. (in Chinese)
- [5] 熊建宁, 吴连大, 赵长印. 大椭圆空间碎片轨道寿命分析[J]. *天文学报*, 2008, 3: 297-305.
XIONG J N, WU L D, ZHAO CH Y. Orbit lifetime research of GTO space debris[J]. *Acta Astronomica Sinica*, 2008, 3: 297-305. (in Chinese)
- [6] CORBLEY K P. GeoEye-1 satellite coming[EB/OL]. (2006-10-08)[2009-07-01]. <http://www.geoconnexion.com>.
- [7] 钟兴. 基于 TMC 光学系统的空间相机 MTF 研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
ZHONG X. MTF study of space camera based on TMC optical system[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Science, 2009. (in Chinese)
- [8] GeoEye. GeoEye makes progress on a Third-Generation Commercial Earth-Imaging Satellite; Primary mirror blank assembly delivered to ITT for GeoEye-2[EB/OL]. (2008-06-10)[2009-07-01] <http://geoeye.mediaroom.com/index.php?5=43&item=292>.

作者简介: 曲宏松(1980—), 男, 辽宁大连人, 助理研究员, 主要从事卫星轨道与编队研究以及空间相机 CCD 成像系统方面的研究。E-mail: quhongsong@yahoo.com.cn