

综述

中国卫星海洋观测系统及其传感器(1988—2025)*

贺明霞¹, 贺双颜¹, 王云飞¹, 杨倩¹, 唐军武², 胡传民^{1,3}

(1. 中国海洋大学海洋遥感研究所, 山东 青岛 266003; 2. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081;
3. 美国南佛罗里达大学, St. Petersburg, FL 33701)

摘要: 全面收集 1988—2025 年中国地球观测卫星(和飞船)计划,包括历史的、运行中的和列入未来计划的。详细介绍风云卫星系列(FY-*n*)、海洋卫星系列(HY-*n*)、资源卫星系列(ZY-*n*)、环境卫星系列(HJ-*n*)、中国遥感卫星系列(CRS-*n*)、灾害监测星座/北京小卫星(DMC/BJ-1)、神舟飞船系列(SZ-*n*)和天宫空间站系列(TG-*n*)等 8 个卫星(和飞船、空间站)系列。这些卫星(和飞船、空间站)系列都提供对海洋的观测,从而构成中国卫星海洋观测系统。按装载的传感器分类,进而给出中国的海色、海表温度、海面高度、海面风场和合成孔径雷达(SAR)卫星观测系统。对中国海洋观测卫星与国际海洋观测卫星装载的传感器性能作了比较和讨论,指出差距。列出目前在轨运行的中国海洋卫星观测系统 38 个传感器及其类似的国外卫星传感器。

关键词: 中国卫星海洋观测系统; 卫星传感器; 海色; 海表温度; 海面高度; 海面风场; 合成孔径雷达

中图分类号: P407.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2011)12-091-13

本文是欧盟 FP-6 计划空间领域项目《DRAGON in support of harmonizing European and Chinese marine monitoring for Environment and Security System》(DRAGONESS)工作包 WP2 的工作报告之一。DRAGONESS 项目旨在利用正在执行的欧空局—中国科技部龙计划(Dragon Program)和欧盟 FP-6 项目 MERSEA、MyOcean 的研究成果,以提高和协调欧洲和中国的海洋环境与安全监测能力。项目的基本目标是为中国的海洋环境与安全监测系统构建方案。该方案在 GOOS、GMES 等国际项目的框架下统一方法,并探索建立业务化服务的潜力,为全球地球观测系统 GEOSS 作出贡献。项目的具体目标是根据 GEOSS 的需求,对中国和欧洲的海洋信息产品和服务进行调研、比较和评估。DRAGONESS 项目主要包括 5 个工作包:现场观测、卫星观测、信息管理、信息产品和服务、监测能力建设,见图 1。



图 1 DRAGONESS 工作包

Fig. 1 The DRAGONESS work packages

中国对于 GEOSS 空间部分的作用十分重要。在 2025 年之前,中国的卫星计划在数量上可能超过欧、美等先进国家的总和。国际同行普遍认为,世界范围内的地球观测卫星的协调是绝对必要的,其中必须包括中国的地球观测卫星。

1 中国卫星海洋观测系统

中国地球观测卫星计划,包括历史的、运行中的以及列入未来发射计划的共 8 个系列,见图 2。其中,风云卫星系列(FY-*n*)、海洋卫星系列(HY-*n*)、资源卫星系列(CBERS、ZY-*n*)和环境卫星系列(HJ-*n*)由中国国家航天局(CNSA)和主要应用部门联合实施,后者分别是国家气象局(CMA)、国家海洋局(SOA)、国土资源部(MLR)以及民政部(MCA)/环保部(MEP);神舟飞船系列(SZ-*n*)、天宫空间站系列(TG-*n*)和中国遥感卫星系列(CRS-*n* or YG-*n*)由 CNSA 实施;灾害监测星座/北京小卫星(DMC/BJ-1)由科技部(MOST)实施。表 1 给出上述 6 个卫星计划、1 个飞船计划和 1 个空间站计划的概况^[1-3]。

FY-*n* 为气象卫星系列,分为极轨和静止两类,其 *n* 编号分别为奇数和偶数。FY-1A 和 FY-1B 为试验星,装载 5 通道可见红外扫描辐射计(MVISR-1)。FY-1C 和 FY-1D 投入业务化运行,装载 10 通道可见红外扫描辐射计(MVISR-2),其通道设计相当于 NOAA/

* 基金项目:EC FP-6 DRAGONESS(SSA5-CT-2006-030902)项目;ESA-MOST Dragon program ID2566、ID5334、ID5338 项目资助
收稿日期:2011-04-10;修订日期:2011-06-12
作者简介:贺明霞(1939-),女,教授,博导。E-mail:mxhe@ouc.edu.cn

AVHRR 加上 CZCS。FY-3 属中国的第 2 代极轨气象卫星, 装载 10 通道可见红外扫描辐射计 (VIRR, MVISR-2 的改进型)、红外分光计 (IRAS)、温度微波辐射计 (MWTS)、湿度微波辐射计 (MWHs)、太阳后向散射紫外探测器 (SBUS)、紫外臭氧总量探测仪 (TOU)、地球辐射探测器 (ERM)、太阳辐照度监测仪 (SIM)、微波成像仪 (MWRI)、中分辨率光谱成像仪 (MERSI) 和空间环境监测器 (SEM)。其中, FY-3A 和 FY-3B 为试验星; FY-3C、FY-3E 和 FY-3G 为上午星, 又称 FY-3/AM1、FY-3/AM2 和 FY-3/AM3; FY-3D、FY-3F 和 FY-3H 为下午星, 又称 FY-3/PM1、FY-3/PM2 和 FY-3/PM3。FY-3 除具有 NOAA/AVHRR & TOVS 的功能外, 增加了相当于 TRMM/TMI 的微波成像仪 (MWRI), 相当于 EOS/MODIS 的中分辨率光谱成像仪 (MERSI) 以及空间环境探测器, 后者包括高能粒子、高能原子、高能电子、辐射剂量等的探测。总体来说, FY-3 卫星类似于美国国家业务化极轨环境卫星系统 (NPOESS) 和欧空局气象业务化卫星 (MetOp), 未考虑改进型微波散射计 (MetOp/ASCAT)、雷达高度计 (NPOESS/Radar ALT)、气溶胶偏振仪 (NPOESS/APS)、大气探测全球导航卫星系统接收器 (MetOp/GRAS) 以及大气激光雷达 (ADM-AEOLUS/ALDIN) 等主动式传感器。FY-2A 和 FY-2B 虽为试验星, 却运行了 8 a 和 5 a 以上, 大大超过 2 a 设计寿命。它装载 3 通道可见红外自旋扫描辐射计 (VISSR-1)。FY-2C 和 FY-2D 投入业务化运行, 装载的 VISSR-2 光谱通道增加至 5 个, 尤其是将 10.5~12.5 μm 通道劈为 2 个通道并提高辐射分辨率以满足海表温度 (SST) 的反演精度需求。FY-2E 为 FY-2C 的替代星, 装载 VISSR-2。FY-2F、FY-2G、FY-2H 为 FY-2C、FY-2D、FY-2E 的后续星, 装载的 VISSR-*n* 将是 VISSR-2 改进型。FY-4 属中国的第 2 代静止气象卫星, 又分为光学星和微波星两类。光学星 (FY-4 O) 装载 VISSR 的改进型多通道扫描辐射计 (MCSI)、红外干涉光谱仪 (IIS) 和 CCD 光学成像仪 (LM)。FY-4 O 拟采用东、西轨道双星运行, 分别为 FY-4 O EAST 和 FY-4 O WEST, 前者覆盖中国的中东部和太平洋, 后者覆盖中国的西部和印度洋、红海和中东。微波星 (FY-4 M) 装载静止微波辐射成像仪 (GEO-MWRI)。FY-4 M 拟单星运行, 轨道选在 FY-4 O EAST 和 FY-4 O WEST 之间。总体来说, FY-4 卫星类似于美国 GOES-R 卫星和欧空局 (ESA) 和欧洲气象卫星组织 (EUMETSAT) 的 Meteosat (MTG) 卫星, 仅未考虑空间环境探测 (GOES-R/SEISS、EXIS、SUVI) 和地球磁场探测 (GOES-R/MAG)。另外, FY-4 O 光学仪器的空间分辨率略低于 GOES-R 和 Meteosat (MTG)。

HY-*n* 为海洋极轨卫星系列, 分为海色、海洋动力环境和海洋监视监测 3 个子系列, 分别称为 HY-1、HY-2 和 HY-3。HY-1A 为试验星, 2002 年 5 月发射, 2004 年 4 月因故障终止运行, 恰好与设计寿命 2 a 差不多。它装载中国海色海温扫描仪 (COCTS) 和海岸带成像仪 (CZI)。前者为 10 通道可见红外扫描辐射计, 类似于日本的 ADEOS/OCTS; 后者为 4 波段 CCD 成像仪。HY-1B 投入业务化运行, 仍然装载 COCTS 和 CZI。前者增加了刈幅宽度, 后者波段带宽从 80 nm 减小到 20 nm。HY-1C/1D、HY-1E/1F 和 HY-1G/1H 将是海色后续星, 其中 1C、1E、1G 和 1D、1F、1H 分别为上午星和下午星。HY-2A 为试验星, 将装载 Ku 波段微波散射计、Ku/C 波段微波高度计和 5 通道微波辐射计, 类似于 QuikSCAT、Topex/Poseidon 和 EOS-Aqua/AMSR-E。HY-3 将装载 C 波段 10 m 分辨率 SAR 和 X 波段 1 m 分辨率 SAR, 以及 8 通道 3 m 分辨率 CCD 成像仪, 类似于欧空局 Envisat/ASAR 和德国 TerraSAR。但是, TerraSAR-X 具有沿轨干涉功能, HY-3A/SAR-X 未考虑干涉。总体来说, HY-1、2、3 卫星系列将于 2015 年左右全部投入业务化运行, 其性能相当于目前国际上在轨运行的光学和微波海洋观测卫星。目前国际上已运行和近年即将投入运行的海岸带高光谱成像仪 (EO-1/Hyperion, ISS-JEM/HICO)、沿轨 INSAR (TerraSAR-X)、全极化微波辐射计 (Coriolis/WindSat)、合成孔径微波辐射计 (SMOS)、合成孔径雷达高度计 (Sentinel-3/SAR-ALT)、以及静止海色成像仪 (COMS-1/GOCD) 均未考虑。ROCSAT-1 卫星的发射时间先于 HY-1A 和 FY-1C 卫星, 其上装载了 6 通道海色成像仪 (OCI)。ROCSAT 卫星的倾角为 35°, 这是 OCI 海色数据的特色。

ZY-*n* 为陆地极轨卫星系列。1988 年中国和巴西政府联合议定书批准在中国 ZY-1 卫星方案基础上共同投资和联合研制中巴地球资源卫星 (CBERS), 因此, CBERS-1、2、2B、3、4 卫星均属 ZY-1 子系列。CBERS-1、2、2B 卫星装载 5 通道 CCD 相机、红外多光谱扫描仪 (IRMSS)、宽视场成像仪 (WFI) 和高分辨率相机 (HR), 其中 CBERS-2B/CCD & HR 分别具有 20m 和 2m 空间分辨率, 可用于海岸带监视。CBERS-3、4 卫星装载改进型 CCD 相机、IRMSS、WFI 和高分辨率全色多光谱相机 (PAN-MUX)。CBERS 的性能类似于 Landsat 7/ETM+ 和 SPOT 5。ZY-2 卫星由中国投资和研制, 装载高分辨率光学传感器 (改进型 HR、PAN-MUX), 类似于 QuickBird 和 IKONOS。由于 ZY-2A 和 ZY-2B 的运行时间均远超于 2 a 设计寿命, 使 ZY-2A、2B、2C 构成三星组网观测。ZY-3 卫星是一颗具有测绘功能的资源遥感卫星, 装载全色 CCD 相机、前后

视全色相机和多光谱相机,空间分辨率分别为 2.5、4 和 10 m。具有 1:5 万立体测绘能力。

SZ-*n* 为中国载人飞船系统。SZ-1 仅运行 1 d,在轨试验设备和数据传输。SZ-2、3、4 运行 5~7 d,轨道舱留轨运行半年,进行空间环境和地球环境监测传感器的试验观测。地球环境监测传感器包括中分辨率成像光谱仪、多模态微波遥感器、太阳常数监测仪、太阳紫外光谱监测仪、大气臭氧探测仪、地球辐射收支探测仪等,它们实际上是 FY-3A 卫星和 HY-2A 卫星装载的传感器。SZ-5 载人运行 1 d,轨道舱留轨半年进行空间环境监测的试验观测。SZ-6 载人运行 6 d,轨道舱留轨 2 a,进行地球环境监测的试验观测。SZ-7 载人运行 3 d 返回,实施了我国航天员首次太空行走试验和释放伴飞小卫星试验。轨道舱不留轨运行。SZ-8 是无人飞船,将于 2011 年发射,发射升空后将与天宫一号 TG-1 进行对接试验。天宫系列 TG-*n* 为中国空间站计划,预计 2020 年前建成。TG-1 为中国首个空间实验室,将于 2011 年发射,设计使用寿命 2 a。

DMC/BJ-1 为 166kg 重量的小卫星。2003 年 9 月 27 日英国 Surrey 卫星技术公司(SSTL)制造的 3 颗对地观测小卫星成功发射,与 Algeria 先前发射的 AL-SAT-1 小卫星共同组成国际灾害监测星座 DMC(Disaster Monitoring Constellation)。2005 年 10 月 27 日中国科技部(MOST)发射 Beijing-1 卫星(BJ-1)并加入

DMC 小卫星星座。BJ-1 小卫星又称 DMC+4 小卫星,装载多光谱/全色 CCD 成像仪,光谱通道类似于 Landsat/ETM+,空间分辨率为 32 m 和 4 m。DMC 联盟包括英国、阿尔及利亚、中国、土耳其、尼日利亚、泰国和越南等 7 国,由 SSTL 主持协调。BJ-1 亦可用于海岸带监视。

HJ-*n* 为环境极轨小卫星星座,分为(2+1)星座和(4+4)星座,分别称为 HJ-1 和 HJ-2。HJ-1A 和 HJ-1B 于 2008 年 9 月 6 日同时发射,前者装载多光谱相机(CCD)和 5 nm 高光谱成像仪(HSI),后者装载多光谱相机(CCD)和红外多光谱相机(IR)。其中,HSI 类似于 ISS-JEM/HICO。HJ-1C 将装载 S 波段 5 m 和 20 m 分辨率 SAR,类似于 Almaz/SAR。HJ-1 星座对于海色、海洋动力环境、海洋监视监测均十分有用,尤其是 HSI 和 SAR-S 两个传感器,填补了 HY-*n* 海洋卫星系列的空缺。HJ-2 星座将由 4 颗光学小卫星和 4 颗 SAR 小卫星组成。

CRS-*n* 为高分辨率卫星系列,又称 YG-*n*,装载高分辨率 SAR 和光学传感器。CRS-1 装载 5 m L 波段 SAR,是中国的第一颗 SAR 卫星。CRS-2、4、7、9、11 装载光学传感器,CRS-3、5、6、8、10 装载 5 m L 波段 SAR。这些卫星发射时间接近。除 CRS-1 外,目前其他 CRS 卫星均在轨运行。CRS-*n* 对于海洋动力环境和海洋监视监测十分有用。

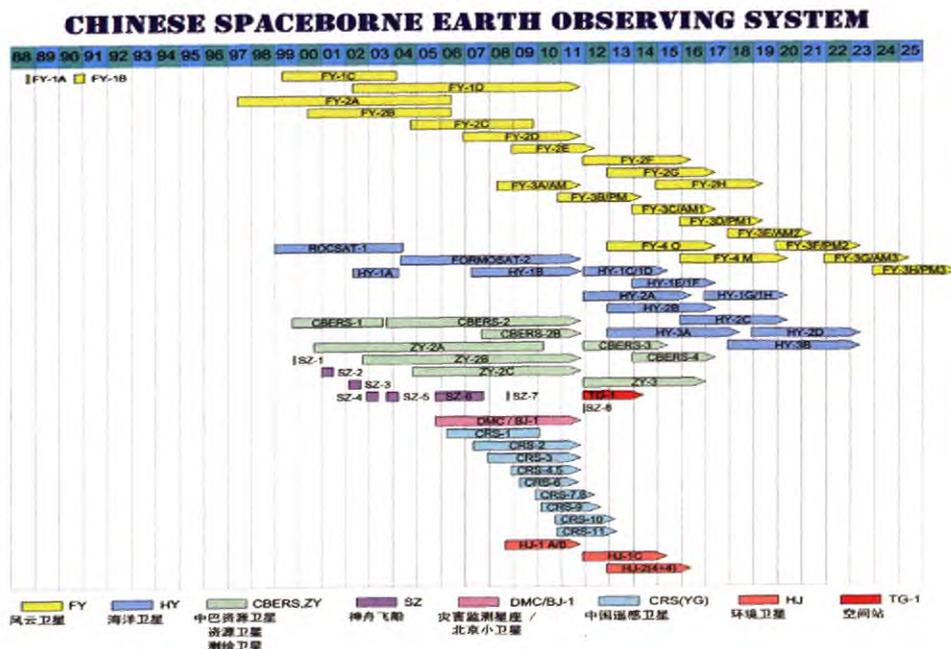


图 2 中国卫星地球观测系统

Fig. 2 Chinese spaceborne earth observing system (EOS)

表1 中国卫星地球观测系统概况

Table 1 Primary sensors and applications of Chinese spaceborne EOS

| 卫星系列 Satellite series | 卫星 Satellite | 轨道 Orbit | 发射时间 Launch date | 设计寿命或终止时间 Design life/EOL date | 主要传感器 Primary sensors | 主要应用 Primary applications | |
|--------------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|--------|
| FY-n | FY-1A | 极轨 | 1988-09-07 | 1988-10 | MVISR-1 | 气象 | |
| | FY-1B | | 1990-09-03 | 1991-02 | | | |
| | FY-1C | | 1999-05-10 | 2004-03 | MVISR-2 | | |
| | FY-1D | | 2002-05-15 | 2 a | | | |
| | FY-2A | 静止 | 1997-06-10 | 2006-06 | VISSR-1 | 气象 | |
| | FY-2B | | 2000-06-25 | 2006-06 | VISSR-1 | | |
| | FY-2C | | 2004-10-19 | 2009-11-23 | VISSR-2 | 气象、海温 | |
| | FY-2D | | 2006-12-08 | 3 a | VISSR-2 | | |
| | FY-2E | | 2008-12-18 | 3 a | VISSR-2 | | |
| | FY-2F | | 2011 | 4 a | VISSR-n | | |
| | FY-2G | | 2012 | 4 a | VISSR-n | | |
| | FY-2H | | 2014 | 4 a | VISSR-n | | |
| | FY-3A/AM | 极轨 | 2008-05-27 | 3 a | VIRR, IRAS, MWTS, MWHS, SBUS, TOU, ERM, SIM, MWRI, MERSI, SEM | 气象、海洋、 陆地、空间 | |
| | FY-3B/PM | | 2010-11-05 | 3 a | | | |
| FY-3C/AM1 | 2013 | | 3 a | | | | |
| FY-3D/PM1 | 2015 | | 3 a | | | | |
| FY-3E/AM1 | 2017 | | 3 a | | | | |
| FY-3F/PM2 | 2019 | | 3 a | | | | |
| FY-3G/AM3 | 2021 | | 3 a | | | | |
| FY-3H/PM3 | 2023 | 3 a | | | | | |
| FY-4 O | 静止 | 2012 | 4 a | IIS, MCSI, LM(CCD) GEO-MWRI | 气象、海洋、陆地 | | |
| FY-4 M | | 2015 | 4 a | | | | |
| HY-n | ROCSAT-1 | 极轨 | 1999-01-27 | 2004-06-16 | OCI, IPEI | 海色、电离层带 电粒子探测 | |
| | FORMOSAT-2 | 极轨 | 2004-05-20 | 5 a | PAN-MS, ISUAL | 海岸带 | |
| | HY-1A | 极轨 | 2002-05-15 | 2004-04-01 | COCTS, CZI | 海色 | |
| | HY-1B | | 2007-04-11 | 3 a | | | |
| | HY-1C/D | | 2011 | 3 a | | | |
| | HY-1E/F | | 2013 | 3 a | | | |
| | HY-1G/H | | 2016 | 3 a | | | |
| | HY-2A | | 2011 | 4 a | SCA(Ku), ALT(Ku,C), RAD(5 bands) | | 海洋动力环境 |
| | HY-2B | | 2012 | 4 a | | | |
| | HY-2C | | 2015 | 4 a | | | |
| | HY-2D | | 2018 | 4 a | | | |
| HY-3A | 2012 | | 5 a | SAR(X,1m),SAR(C, 10m),CCD(3m) | 海洋监视监测 | | |
| HY-3B | 2017 | 5 a | | | | | |
| CBERS, ZY-n | CBERS-1 | 极轨 | 1999-10-14 | 2003-08-13 | CCD, IRMSS, WFI | 陆地、海岸带 | |
| | CBERS-2 | | 2003-10-21 | 2 a | | | |
| | CBERS-2B | | 2007-09-19 | 2 a | | | |
| | CBERS-3 | | 2011 | 3 a | | | |
| | CBERS-4 | 2013 | 3 a | PAN-MUX (PAN-MS) | | | |
| | ZY-2A | 极轨 | 2000-09-01 | 2010-04 | HR, PAN-MS | 陆地、海岸带 | |
| | ZY-2B | | 2002-10-27 | 2 a | | | |
| | ZY-2C | | 2004-11-06 | 2 a | | | |
| ZY-3 | | 2011 | 4~5 a | HR, PAN-MS, CCD×2 | 立体测绘 | | |

续表 1

| 卫星系列 Satellite series | 卫星 Satellite | 轨道 Orbit | 发射时间 Launch date | 设计寿命或终止时间 Design life/EOL date | 主要传感器 Primary sensors | 主要应用 Primary applications |
|--------------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|---|------------------------------|
| SZ-n | SZ-1 | | 1999-11-20 | 1 d | | |
| | SZ-2 | | 2001-01-10 | 6 d | 轨道舱留轨,空间和地球环境传感器试验。例如 CMODIS, M3RS, SBUS, TOU, ERM, SIM, etc. | |
| | SZ-3 | | 2002-03-25 | 7 d | | |
| | SZ-4 | | 2002-12-30 | 5 d | | |
| | SZ-5 | | 2003-10-15 | 1 d | | |
| | SZ-6 | | 2005-10-12 | 5 d | | |
| | SZ-7 | | 2008-10 | 5 d | | |
| | SZ-8 | | 2011 | n d | | 与 TG-1 对接 |
| TG-n | TG-1 | | 2011 | 2 a | | |
| DMC | DMC/BJ-1 | 极轨 | 2005-10-27 | 5 a | PAN-MS | 陆地、海岸带 |
| CRS-n or YG-n | CRS-1 | 极轨 | 2006-04-27 | 2010-02-04 | L-band SAR | 陆地、海洋 |
| | CRS-2 | | 2007-05-25 | 2 a | HR, PAN-MS | |
| | CRS-3 | | 2007-11-12 | 2 a | L-band SAR | |
| | CRS-4 | | 2008-12-01 | 2 a | HR, PAN-MS | |
| | CRS-5 | | 2008-12-15 | 2 a | L-band SAR | |
| | CRS-6 | | 2009-04-22 | 2 a | L-band SAR | |
| | CRS-7 | | 2009-12-09 | 2 a | HR, PAN-MS | |
| | CRS-8 | | 2009-12-15 | 2 a | L-band SAR | |
| | CRS-9 | | 2010-03-05 | 2 a | HR, PAN-MS | |
| | CRS-10 | | 2010-08-10 | 2 a | L-band SAR | |
| | CRS-11 | | 2010-09-22 | 2 a | HR, PAN-MS | |
| HJ-n | HJ-1A | 极轨 | 2008-09-06 | 3 a | CCD, HSI | 环境与灾害监测、海洋 |
| | HJ-1B | | 2008-09-06 | 3 a | CCD, IR | |
| | HJ-1C | | 2011 | 3 a | S-band SAR | |
| | HJ-2(4+4) | | 2012 | 3 a | CCD, IR, HSI, SAR | |

上述所有卫星和飞船系列都提供对海洋的观测,从而构成了中国卫星海洋观测系统。图 3~8 给出装载海色传感器、红外和微波辐射计、微波高度计、微波散射计、微波合成孔径雷达和高分辨率光学传感器的海洋观测卫星和飞船计划。在图 3~8 中,计划中的卫

星在带箭头的彩条上加黑斜线,运行中的卫星无黑斜线,历史的卫星不带箭头和黑斜线。在图 3~7 的下部,同时列出国际上正在运行的海洋观测传感器及其后续,用带箭头的灰色线条。

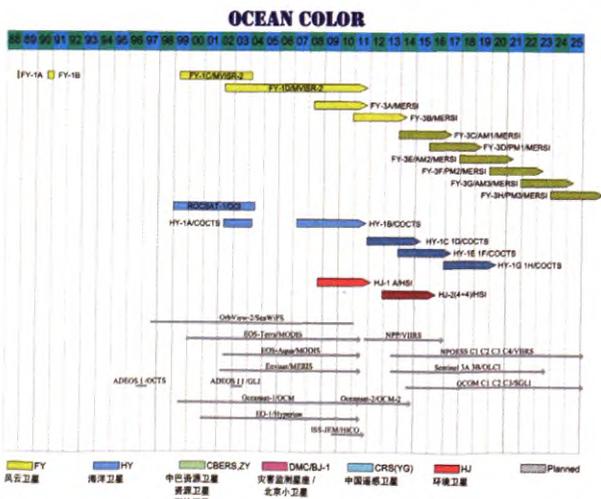


图 3 装载海色传感器的中国卫星计划

Fig. 3 Chinese satellite missions carrying ocean color sensors

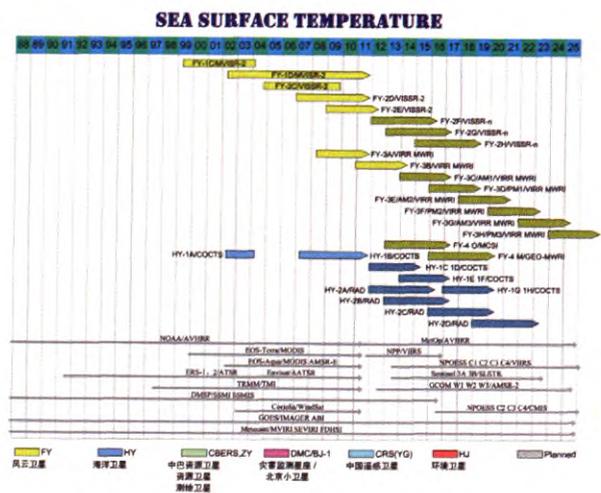


图 4 装载红外和微波辐射计传感器的中国卫星计划

Fig. 4 Chinese satellite missions carrying infrared and microwave radiometers

图3给出装载海色传感器的中国卫星计划。在7个卫星和飞船系列计划中, FY-n、HY-n、SZ-n、HJ-n 装载海色传感器。其中, FY-1D/MVISR-2(类似于 Nimbus-7/CZCS)、HY-1B/COCTS(类似于 ADEOS/OC-TS)、FY-3A、3B/MERSI(类似于 EOS/MODIS)和 HJ-1A/HSI(类似于 ISS-JEM/HICO) 5 颗海色传感器至

少可以构成 2 个中分辨率光谱仪和 1 个高光谱仪的准同步观测。加之国际上的海色卫星计划, 如 MODIS 及其后续、MERIS 及其后续、SGLI、OCM 及其后续和 Hyperion 及其后续, 可以获得 8~9 颗海色传感器的准同步观测, 这对于海洋生态环境监测, 例如赤潮, 是十分有用的。问题是如何快捷地获得这些准同步数据。

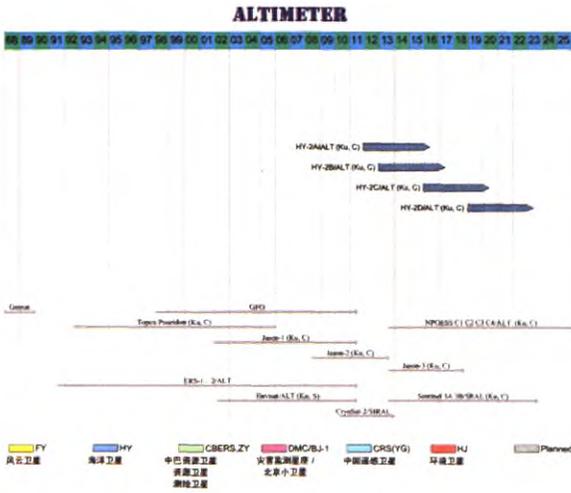


图5 装载微波高度计的中国卫星计划
Fig. 5 Chinese satellite missions carrying microwave altimeters

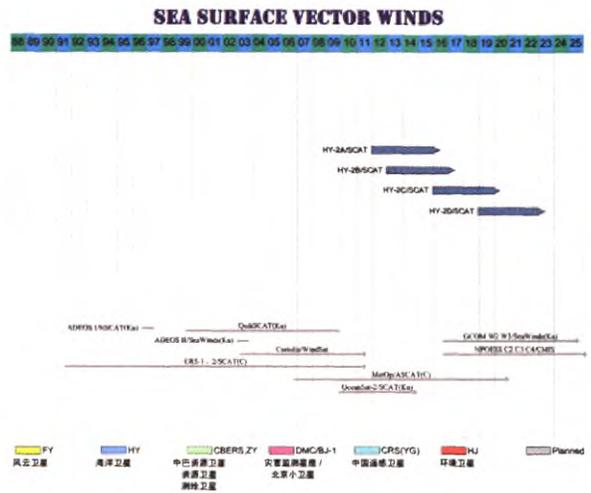


图6 装载微波散射计的中国卫星计划
Fig. 6 Chinese satellite missions carrying microwave scatterimeters

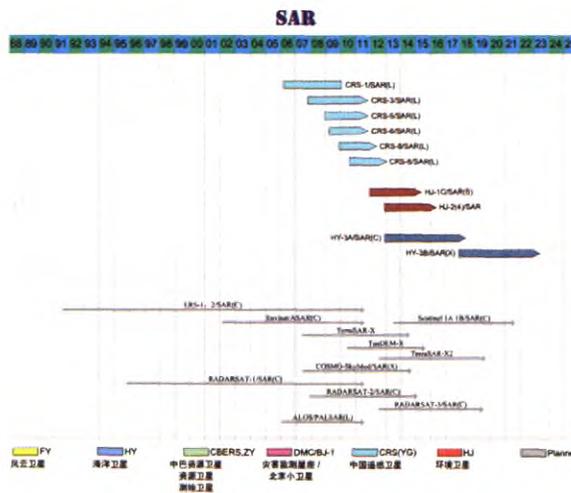


图7 装载微波合成孔径雷达的中国卫星计划
Fig. 7 Chinese satellite missions carrying microwave SARs

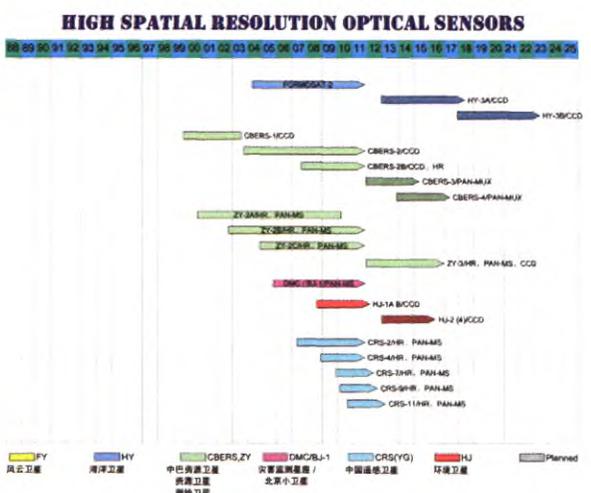


图8 装载高空间分辨率光学传感器的中国卫星计划
Fig. 8 Chinese satellite missions carrying high spatial resolution optical sensors

图4给出装载红外和微波辐射计的中国卫星计划。在7个卫星和飞船计划中, FY-n 和 HY-n 装载用于海表温度(SST)反演的红外和微波辐射计。其中, FY-1D/MVISR-2、FY-3A、3B/VIRR 具有 3 个红外通道, 类似于 NOAA/AVHRR、Envisat/AATSR、EOS/MODIS。HY-1B/COCTS 仅有 2 个红外通道。FY-3A、3B/MWRI、HY-2A/RAD 为 5 通道微波辐射计。可以看到, FY-1D、FY-3A、3B、HY-1B 可以构成 SST 的准同步测量; 加上 FY-3A、3B/MWRI 和 HY-2A/

RAD, 可以进而获得全天候高分辨率 SST 数据。这些, 对国际 GODAE 框架下的 GHRSSST 计划提供了直接贡献。加之国际上的海表温度卫星计划, 如 AVHRR、MODIS 及其后续, ATSR 及其后续, TMI, AMSR-E 及其后续, WindSat, 可以获得 12~13 颗红外和微波辐射计反演的 1km 分辨率 SST 准同步观测。另外, 中国的静止卫星 FY-2D、2E/VISSR-2 和 FY-4/MCSI & GEO-MWRI, 以及国际上的静止卫星 GOES/IMAGER 和 Meteosat/MVIRI, 可以提供高时

间分辨率平均 SST 数据。

图 5 为装载微波高度计的中国卫星计划,在 7 个卫星和飞船系列计划中,仅 HY-*n* 装载微波高度计(ALT)。2011 年中国将发射第 1 颗装载 ALT 的卫星 HY-2A,将采用 Ku 和 C 双频,类似于 Topex/Poseidon。HY-2A/ALT 将与 Jason-1、2、3, Envisat/ALT, CryoSat-2/SIRAL, Sentinel/SRAL, NPOESS/ALT 同时在轨运行,可以获得 4~5 颗 ALT 数据的比较和融合。

图 6 为装载微波散射计的中国卫星计划。在 7 个卫星和飞船系列计划中,仅 HY-*n* 装载微波散射计(SCAT)。2011 年中国将发射第 1 颗装载 SCAT 的卫星 HY-2A,将采用 Ku 波段,类似于 QuikSCAT。HY-2A/SCAT 将与 ERS-2/SCAT、Coriolis/WindSat、MetOp/ASCAT、OceanSat-2/SCAT、GCOM/SeaWinds、NPOESS/CMIS 同时在轨运行,可以获得 4~5 颗 SCAT 数据的比较和融合。WindSat 为全极化微波辐射计,可以反演海面风场。图 4 和 5 中的微波辐射计和微波高度计可以提供海面风速数据。图 7 中的微波合成孔径雷达可以提供高空间分辨率的海面风场数据。

图 7 给出装载微波合成孔径雷达的中国卫星计划。在 7 个卫星和飞船系列计划中,CRS-*n*、HJ-*n*、HY-*n* 装载微波合成孔径雷达(SAR)。中国的第一颗 SAR 卫星是 2006 年 4 月 27 日发射的 CRS-1/SAR(L),其后续卫星为 CRS-3、5、6、8、10。2011 年将发射 HJ-1C/SAR(S),2012 年之后将发射 HY-3A、3B/SAR(X,C)。这些 SAR 卫星如果能超设计寿命运行,则可构成多波段 SAR 的同时在轨运行。加之国际上的 SAR 卫星计划,如 ERS & Envisat/SAR(C)及其后续, TerraSAR-X 及其后续, COSMO-SkyMed/SAR(X)及其后续, RADARSAT-1/SAR(C)及其后续, ALOS/PALSAR(L),将有 8~9 颗 SAR 传感器同时在轨运行。但是, SAR 数据的获取相对较不方便。

图 8 给出装载高空间分辨率光学传感器的中国卫星计划。在 7 个卫星和飞船系列计划中, HY-*n*、ZY-*n*、HJ-*n*、DMC/BJ-1 和 CRS-*n* 装载空间分辨率小于 30 m 的光学传感器,如表 2 所示,可用于海岸带定性观测和监视,并有助于海岸带 SAR 图像的分析。

2 中国海洋观测卫星与国际海洋观测卫星传感器比较

图 3~8 按海色、海表温度、微波辐射计、微波高度计、微波散射计、微波合成孔径雷达分别列出中国的传感器与国际同类传感器的比较。

表 2 中国的海岸带观测高空间分辨率光学传感器

Table 2 Chinese high spatial resolution optical sensors for coastal zone monitoring

| 光学传感器 Optical sensors | 空间分辨率/m Spatial resolution |
|--------------------------|-------------------------------|
| HY-3A, 3B/CCD | 3 |
| FORMOSAT-2/ PAN-MS | 2, 8 |
| ZY-2A, 2B, 2C/HR, PAN-MS | 2, 5 |
| CBERS-1, 2/CCD | 20 |
| CBERS-2B/CCD, HR | 20, 2 |
| CBERS-3, 4/PAN-MUX | 10, 2 |
| HJ-1A, 1B/CCD | 30 |
| HJ-2(4)/CCD | <30 |
| DMC/BJ-1/PAN-MS | 32, 4 |
| CRS-2, 4, 7, 9, 11 | 0.5~2 |

表 3 给出海色传感器的比较。HY-1B/COCTS 与 SeaWiFS 相比,可见光谱通道与带宽类似,前者多 2 个红外通道,后者辐射精度优于前者。HY-3A/MERSI 与 MODIS 相比,可见光谱通道类似,后者可见光谱带宽和辐射精度优于前者,前者刈幅宽度优于后者。从光谱通道、带宽、信噪比、辐射精度、空间分辨率等性能看, MERIS 无疑是相对最佳的海色传感器。表 3 中未列入高光谱成像仪的比较,详见表 9。

表 4 给出用于海表温度反演的红外传感器的比较。FY-3A/VIRR 和 AVHRR、AATSR、MODIS 同样采用 3、7、11、12 μm 3 个红外通道, HY-1B/COCTS 仅采用 11 和 12 μm 2 个红外通道。HY-1B/COCTS 和 FY-3A/VIRR 的辐射精度次于 AATSR 和 MODIS, 噪声等效温差亦次于 AATSR、MODIS 和 AVHRR。从红外通道、带宽、噪声等效温差、辐射精度、刈幅宽度等性能看, MODIS 具有相对最佳反演海表温度的红外通道。

表 5 给出用于海表温度和海面风速(或风场)反演的微波辐射计的比较。FY-3A/MWRI 与 TMI 相比,频率/极化类似,后者等效噪声温差和空间分辨率优于前者,前者刈幅宽度大于后者。HY-2/RAD 与 AMSR-E 相比,频率/极化类似,前者仅缺 89GHz,等效噪声温差类似,后者空间分辨率优于前者。WindSat 的频率与 HY-2/RAD 和 AMSR-E 类似,由于其采用全极化,不仅用于海表温度反演,更重要的用于海面风场反演。

表 6 给出微波高度计的比较。HY-2A/ALT 的工作频率与 Topex/Poseidon 类似,空间分辨率、重复周期、海平面测量精度较低。

表 7 给出微波散射计的比较。HY-2A/SCAT 的工作频率、极化方式、刈幅宽度、风场精度与 QuikSCAT 类似,空间分辨率、重复周期较大,风场测量范围优于 QuikSCAT。

表3 海色传感器比较

Table 3 Comparison of ocean color sensors

| 发射部门 | HY-1B/COCTS 中国航天局(CNSA) 国家海洋局(SOA) | FY-3A/MERSI 中国航天局(CNSA) 中国气象局(CMA) | Envisat/MERIS 欧洲空间局(ESA) | EOS/MODIS 美国宇航局(NASA) | OrbView-2/SeaWiFS [*] 美国宇航局(NASA) |
|-----------------------|--|--|---|---|---|
| 轨道 | 极轨, 798km, 98.8deg, 10:30±30mm 降交点 | 极轨, 836km, 98.75deg, 10:00-10:20 降交点 | 极轨, 800 km, 98.55deg, 10:00 降交点 | 极轨, 705 km, 98.2deg, 10:30 降交点 (Terra) or 13:30 升交点 (Aqua) | 极轨, 705km, 98.2deg, 12:00 降交点 |
| 刈幅 | 3100km | 3200km | 1150km | 2330 km | 2801km |
| 量化等级 | 10bits | 12bits | 16bits | 12 bits | 10bits |
| 空间分辨率 | 1100m | 250m (bands 1-5) 1000m (bands 6-20) | 300m/1200m (all bands) | 250 m (bands 1-2), 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36) | 1100m |
| 辐射精度 | 10% (bands 1-8) | 7% (bands 1-4, 6-14) 10% (bands 15-20) | < 4% | 5% (bands 1-19, 26) 1% (bands 20-25, 27-36) | < 5% |
| SNR, NEAp, NEAT | SNR Band 1, 440; 2, 600; 3, 590, 4, 560, 5, 525, 6, 390, 7, 400, 8, 415 | NEAp Band 1, 0.45%; 2-3, 0.4%, 4, 0.45%, 6-7, 0.1%; 8-14, 0.05% | SNR (typical) 1700 | SNR Band 1, 128; 2, 201; 3, 243; 4, 228, 8, 880; 9, 838, 10, 802, 11, 754, 12, 750; 13, 910; 14, 1087, 15, 586, 16, 516 | SNR Band 1, 499; 2, 674; 3, 667, 4, 640, 5, 596, 6, 442, 7, 455; 8, 467 |
| 波段 | 1 412 nm, 20 nm 2 443 nm, 20 nm 3 490 nm, 20 nm 4 520 nm, 20 nm 5 565 nm, 20 nm 6 670 nm, 20 nm 7 750 nm, 20 nm 8 865 nm, 40 nm 9 10350 nm, 100 nm 10 11950 nm, 1100 nm | 6 412 nm, 20 nm 7 443 nm, 20 nm 1 470 nm, 50 nm 8 490 nm, 20 nm 9 520 nm, 20 nm 2 550 nm, 50 nm 10 565 nm, 20 nm 11 650 nm, 20 nm 3 650 nm, 50 nm 12 685 nm, 20 nm 13 765 nm, 20 nm 14 865 nm, 20 nm 4 865 nm, 50 nm 15 905 nm, 20 nm 16 940 nm, 20 nm 17 980 nm, 20 nm 18 1030 nm, 20 nm 19 1640 nm, 50 nm 20 2130 nm, 50 nm 5 11250 nm, 2500 nm | 1 412.5 nm, 10 nm 2 442.5 nm, 10 nm 3 490 nm, 10 nm 4 510 nm, 10 nm 5 560 nm, 10 nm 6 620 nm, 10 nm 7 665 nm, 10 nm 8 681.25 nm, 7.5 nm 9 708.75 nm, 10 nm 10 753.75 nm, 7.5 nm 11 760.625 nm, 3.75 nm 12 778.75 nm, 15 nm 13 865 nm, 20 nm 14 885 nm, 10 nm 15 900 nm, 10 nm | 8 412 nm, 15 nm 9 443 nm, 10 nm 3 469 nm, 20 nm 10 488 nm, 10 nm 11 531 nm, 10 nm 12 551 nm, 10 nm 4 555 nm, 20 nm 1 645 nm, 50 nm 13 667 nm, 10 nm 14 678 nm, 10 nm 15 748 nm, 10 nm 2 858 nm, 35 nm 16 870 nm, 10 nm 17 905 nm, 30 nm 18 936 nm, 10 nm 19 940 nm, 25 nm 5 1240 nm, 20 nm 26 1375 nm, 30 nm 6 1640 nm, 24 nm 7 2130 nm, 50 nm | 20 3750 nm, 180 nm 21 3959 nm, 60 nm 22 3959 nm, 60 nm 23 4050 nm, 60 nm 24 4466 nm, 65 nm 25 4515 nm, 67 nm 27 6715 nm, 360 nm 28 7325 nm, 300 nm 29 8550 nm, 300 nm 30 9730 nm, 300 nm 31 11030 nm, 500 nm 32 12020 nm, 500 nm 33 13335 nm, 300 nm 34 13635 nm, 300 nm 35 13935 nm, 300 nm 36 14235 nm, 300 nm |

表4 红外传感器比较

Table 4 Comparison of Infrared sensors

| 发射部门 | HY-1B/COCTS 中国航天局(CNSA) 国家海洋局(SOA) | FY-3A/VIRR 中国航天局(CNSA) 中国气象局(CMA) | Envisat/AATSR 欧洲空间局(ESA) | EOS/MODIS 美国宇航局(NASA) | NOAA-A/AVHRR 美国海洋大气局 (NOAA) |
|-----------------------|---|---|--|---|--|
| 轨道 | 极轨, 798km, 98.8deg, 10:30:130mm 降交点 | 极轨, 836km, 98.75deg, 10:00-10:20 降交点 | 极轨, 800 km, 98.55 deg, 10:00 降交点 | 极轨, 705 km, 98.2deg, 10:30 降交点(Terra) or 13:30 升交点(Aqua) | 极轨, 854km, 98.74deg, 13:37 升交点 |
| 刈幅 | 3100km | 2900km | 500km | 2330 km | 2900km |
| 量化等级 | 10bits | 10bits | 12 bits | 12 bits | 10 bits |
| 空间分辨率 | 1 km | 1 km | 1km | 1km (bands 8-36) | 1.1 km |
| 辐射精度 | 1K@300K(bands 9-10) | 1K@270K(bands 3-5) | better than 0.5 K (absolute, 50×50 km), better than 0.1 K (relative, 1×1 km) | 1% (bands 20-25, 27-36, absolute) | Traceable to NIST |
| SNR, NEAp, NEAT | NEAT Band 9-10, 0.2K@300K | NEAT Band 3, 0.3K@300K; 4-5, 0.2K@300K | NEAT Band 5, 0.08K@270K; 6-7, 0.05K@270K | NEAT Band 20, 31-32, 0.05K@300K 22-23, 0.07K@300K | NEAT Band 3B-5, 0.12 K @ 300K |
| 波段 | 1 412 nm, 20 nm 2 443 nm, 20 nm 3 490 nm, 20 nm 4 520 nm, 20 nm 5 565 nm, 20 nm 6 670 nm, 20 nm 7 750 nm, 20 nm 8 865 nm, 40 nm 9 10.3-11.4 μm 10 11.4-12.5 μm | 7 455 nm, 50 nm 8 505 nm, 50 nm 9 555 nm, 50 nm 1 630 nm, 100 nm 2 865 nm, 50 nm 10 1.360 μm, 0.07 μm 6 1.600 μm, 0.09 μm 3 3.55-3.85 μm 4 10.3-11.3 μm 5 11.5-12.5 μm | 1 555 nm, 20 nm 2 659 nm, 20 nm 3 865 nm, 20 nm 4 1610 nm, 300 nm 5 3.55-3.85 μm 6 10.35-11.35 μm 7 11.50-12.50 μm | 8 412 nm, 15 nm 9 443 nm, 10 nm 3 469 nm, 20 nm 10 488 nm, 10 nm 11 531 nm, 10 nm 12 551 nm, 10 nm 4 555 nm, 20 nm 1 645 nm, 50 nm 13 667 nm, 10 nm 14 678 nm, 10 nm 15 748 nm, 10 nm 2 858 nm, 35 nm 16 870 nm, 10 nm 17 905 nm, 30 nm 18 936 nm, 10 nm 19 940 nm, 25 nm 5 1240 nm, 20 nm 26 1375 nm, 30 nm 6 1640 nm, 24 nm 7 2130 nm, 50 nm | 20 3.66-3.84 μm 21 3959 nm, 60 nm 22 3959 nm, 60 nm 23 4050 nm, 60 nm 24 4466 nm, 65 nm 25 4515 nm, 67 nm 27 6715 nm, 360 nm 28 7325 nm, 300 nm 29 8550 nm, 300 nm 30 9730 nm, 300 nm 31 10.78-11.28 μm 32 11.77-12.27 μm 33 13335 nm, 300 nm 34 13635 nm, 300 nm 35 13935 nm, 300 nm 36 14235 nm, 300 nm |

表 5 微波辐射计比较
Table 5 Comparison of Microwave Radiometers

| | HY-2/RAD | FY-3A/MWRI | EOS-Aqua/AMSR-E | TRMM/TMI | Coriolis/WindSat |
|----------------------|--|---|--|---|--|
| 发射部门 | 中国航大局(CNSA) 国家海洋局(SOA) | 中国航大局(CNSA) 中国气象局(CMA) | 美国宇航局(NASA) 日本宇航局(JAXA) | 美国宇航局(NASA) 日本宇航局(JAXA) | 美国海军研究实验室(NRL) 美国空军研究实验室(AFRL) |
| 轨道 | 极轨 963/965km, 99.3deg, 6 00 or 18 00 降交点 | 极轨, 836km, 98.75deg, 10 00-10 20 降交点 | 极轨 705 km, 98.2deg, 13 30 升交点 | 极轨, 非太阳同步, 402km, 35deg | 极轨, 840 km, 98.7deg, 17:59 升交点 |
| 刈幅 | 1600km | 1400km | 1450km | 878km | 1000km |
| 中心频率, 带宽, 极化方式 | Band 1-2, 6.6 GHz, 350MHz, VH, 3-4, 10 7GHz, 250MHz, VH, 5-6, 18 7GHz, 250MHz, VH, 7, 23 8GHz, 400MHz, V, 8-9, 37GHz, 1000MHz, VH | Band 1-2, 10 65GHz, 180MHz, VH, 3-4, 18 7GHz, 200MHz, VH, 5-6, 23 8GHz, 400MHz, VH, 7-8, 36 5GHz, 900MHz, VH, 9-10, 89 GHz, 2×2300MHz, VH, | Band 1, 2, 6.925 GHz, 350MHz, VH, 3-4, 10 65GHz, 100MHz, VH, 5-6, 18 7GHz, 200MHz, VH, 7-8, 23 8GHz, 400MHz, VH, 9-10, 36 5GHz, 1000MHz, VH 11-12, 89 0GHz, 3000MHz, VH | Band 1-2, 10 65GHz, 100MHz, VH, 3-4, 19 35GHz, 500MHz, VH, 5, 21 3GHz, 200MHz, V, 6-7, 37 0GHz, 2000MHz, VH, 8-9, 85.5GHz 3000MHz VH | Band 1-2, 6.8GHz, 125MHz, VH, 3-8, 10 7GHz, 300MHz, V H ±45 L R, 9-14, 18 7GHz, 750MHz, V H ±45 L R, 15-16, 23 8GHz, 500MHz, V H, 17-22, 37 0GHz, 2000MHz, V H ±45 L R, |
| NEAT | 1-7 0.5K 8-9 0.8K | 1-2 0.6K; 3-8 1K; 9-10 2K | 1-2 0.34K, 3-6 0.7K, 7 8 0.6K, 9-10 0.7K, 11-12 1.2K | 1 0.63K, 2 0.54K, 3 0.50K; 4 0.47K, 5 0.71K, 6 0.36K; 7 0.31K, 8 0.52K, 9 0.93K | 1-2 0.63K; 3-14 0.44K; 15-16 0.60K; 17-22 0.42K |
| IFOV | 1-2 100km; 3-4 62km, 5-6 36km, 7 30km, 8-9 18km | 1-2 51×85 km, 3-4 30×50 km, 5-6 27×45 km, 7-8 18×30 km, 9-10 9×15 km | 1-2 43×75 km 3-4 29×51 km 5-6 16×27 km 7-8 18×32 km 9-10 8.2×14.4 km 11 3.7×6.5 km 12 3.5×5.9 km | 1-2 37×63 km 3-4 18×30 km 5 18×23 km 6-7 9×16 km 8-9 5×7 km | 1-2 40×60 km, 3-8 25×38 km, 9-14 16×27 km, 15-16 12×20 km, 17-22 8×13 km |
| Pixel | | | 1-10 9×10 km 11 4.5×4 km 12 4.5×6 km | 1-7 9.1×13.9 km 8-9 4.6×13.9 km | 1-2 40×50 km, 3-8 20×25 km, 9-14 10×25 km, 15-16 10×12.5 km; 17-22 5×12.5 km |
| 入射角 | 40 deg | 53 deg | 1-11 55 deg; 12 54.5 deg | 53 deg | 1-2 53.5 deg, 3-8 49.9 deg, 9-14 55.3 deg, 15-22 53.0 deg; |

表 6 微波高度计比较
Table 6 Comparison of Microwave Altimeters

| | HY-2A/ALT | Envisat/ALT | Topex/Poseidon | Jason-1 | CryoSat |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 发射部门 | 中国航大局(CNSA) 国家海洋局(SOA) | 欧洲空间局(ESA) | 美国宇航局(NASA) 法国空间中心(CNES) | 美国宇航局(NASA) 法国空间中心(CNES) | 欧洲空间局(ESA) |
| 轨道 | 极轨, 963km, 99.3deg | 极轨, 800km, 98.5deg | 极轨, 非太阳同步, 1336km, 66deg | 极轨, 非太阳同步, 1336km, 66deg | 极轨, 非太阳同步, 717km, 92deg |
| 重复周期(d) | 14/168 | 35 | 10 | 10 | 369 (30 day sub-cycle) |
| 工作频率 (GHz) | Ku, 13.58 C, 5.25 | Ku, 13.575 S, 3.2 | Ku, 13.6 C, 5.3 | Ku, 13.575 C, 5.3 | Ku, 13.575 (LRM, SAR, SARIn) |
| 频带宽度 (MHz) | 320, 80, 20 (Ku) 320, 160 (C) | 320, 80, 20 (Ku) 160 (S) | 320 (Ku, C) | 320 (Ku, C) | 350 (Ku) |
| 空间分辨率 (km) | 16 | 8 | 6 | 6 | 0.25 |
| 测高精度(cm) | 5-8 | 4.5 | 4.2 | 3.3 | 1.6-2.7 |

表 7 微波散射计比较
Table 7 Comparison of Microwave Scatterometers

| | HY-2A/SCAT | ERS-2/SCAT | QuikSCAT | MetOp-A/ASCAT | GCOM W2 W3/SeaWinds |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 所属部门 | 中国航大局(CNSA) 国家海洋局(SOA) | 欧洲空间局(ESA) | 美国宇航局(NASA) | 欧洲空间局(ESA) | 日本宇航局(JAXA) 美国宇航局(NASA) |
| 轨道 | 极轨, 963/965km 99.3deg, 18.00 降交点 | 极轨, 785km 98.5deg, 10.30 降交点 | 极轨, 803km 98.6deg, 6:00 升交点 | 极轨, 817km 98.7deg, 09.30 降交点 | 极轨, 699 km 98.19deg, 13.30 降交点 |
| 重复周期(d) | 14/168 | 35 | 4 | 29 | |
| 工作波段 | Ku | C | Ku | C | Ku |
| 极化方式 | HH VV | VV | HH VV | VV | HH VV |
| 空间分辨率 | 50 km | 25 km, 50 km | 25 km | 50 km | 12.5 km, 25 km, 50 km |
| 刈幅 | >1350 km (HH) >1700 km (VV) | 500 km | 1400 km (HH) 1800 km (VV) | 550 km*2 | 1400 km (HH) 1800 km (VV) |
| 入射角 | 38deg & 44deg | 18deg~59deg | 46deg & 54deg | 45~65deg | 46deg & 54deg |
| 风速测量范围 | 2~24m/s | 4~24m/s | 3~20m/s | 4~24 m/s | 3~20m/s |
| 风速测量精度 | 2m/s 或 10% | 2m/s | 2m/s | 2m/s 或 10% | 2m/s |
| 风向测量精度 | 20deg | 20deg | 20deg | 20deg | 20deg |

表 8 微波合成孔径雷达比较
Table 8 Comparison of Microwave SARs

| | HJ-1C / SAR | HY-3A/B / SAR | TerraSAR-X | Envisat / ASAR | RadarSat-2/SAR |
|--------------|---|--|--|--|--|
| 发射部门 | 中国航天局 (CNSA) 民政部/环保部(MCA/MEA) | 中国航天局 (CNSA) 国家海洋局 (SOA) | 德国空间中心 (DLR) | 欧洲空间局(ESA) | 加拿大空间局(CSA) |
| 轨道 | 极轨,500km,97.37deg., 6.00AM 降交点 | 极轨,799.9km,98.48deg., 6.00AM 降交点 | 极轨 514.8km, 97.44deg,18.00PM 降交点 | 极轨,800km,98.55deg, 10.00AM 降交点 | 极轨,798km, 98.6deg., 6.00AM 降交点 |
| 重复周期(d) | 31 | 29 | 11 | 35 | 24 |
| 等效 NESZ | | <-20dB | -16~-23dB | -19~-35dB | -22~-30dB |
| 辐射精度 | 3dB | <1.5dB | 1~3.1dB | 1.5~3.5dB | <1dB |
| 工作波段 | S | X | C | C | C |
| 工作模式 | 条带模式 | 精细模式 | 波模式, 10, 5, HH+VV or HH+HV or VV+VH, 15~60 | 精细模式, 1~2, 10, HH+VV or HH+HV or VV+VH, 20~55 | 超精细模式, 3(距离向)*3(方位向), 20, HH or HV or VV or VH, 30~49 多视精细模式, 8(距离向)*8(方位向), 50, HH or HV or VV or VH, 30~50 图像模式, 30, 56~100, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 30~50 全极化精细模式, 12(距离向)*8(方位向), 25, HH+HV+VV+VH, 20~41 30, 56~100, VV+HH or HV+HH or VH+VV, 15~45 标准模式, 25(距离向)*26(方位向), 100, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~49 宽幅模式, 30(距离向)*26(方位向), 150, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~45 窄幅扫描, 50(距离向)*50(方位向), 300, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~46 宽幅扫描, 100(距离向)*100(方位向), 500, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH,20~49 |
| 空间分辨率 (米) | 31~44 | 1, 20~40, HH VV, 15~60 | 100, 650, 15~60 | 15~45 | 15~45 |
| 幅宽 (千米) | 扫描模式, 20, 100, VV or HH, 31~44 | 条带模式, 5, 60~80, HH VV, 15~60 | 图像模式, 25, 150, HH+VV or HH+HV or VV+VH, 15~60 | 30, 56~100, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 30~50 | 精细模式, 8(距离向)*8(方位向), 50, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 30~50 |
| 极化方式 | 31~44 | 扫描模式, 10, 120~150, HH VV, 15~60 | 条带模式, 3~6, 30, HH+VV or HH+HV or VV+VH, 20~45 | 变极化模式, 30, 56~100, VV+HH or HV+HH or VH+VV, 15~45 | 全极化标准模式, 25(距离向)*8(方位向), 25, HH+HV+VV+VH, 20~41 扩展波束 (高入射角), 18(距离向)*26(方位向), 75, HH or HV or VV or VH, 49~60 |
| 入射角 (度) | 31~44 | 扫描模式, 10, 120~150, HH VV, 15~60 | 扫描模式, 16, 100, HH+VV or HH+HV or VV+VH, 20~45 | 宽幅模式, 150, 400, HH or VV, 15~37 | 标准模式, 25(距离向)*26(方位向), 100, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~49 宽幅模式, 30(距离向)*26(方位向), 150, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~45 窄幅扫描, 50(距离向)*50(方位向), 300, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH, 20~46 宽幅扫描, 100(距离向)*100(方位向), 500, HH or HV or VV or VH or HH+HV or VV+VH,20~49 |

表 9 高光谱成像仪比较
Table 9 Comparison of hyperspectral imagers

| 高光谱成像仪 | 光谱范围/ μm | 波段数 | 带宽/nm | 空间分辨率/m | 刈幅宽度 |
|----------------------|---------------------|-------------|------------|--------------------|----------|
| Hyperspectral imager | Spectral range | Band number | Band width | Spatial resolution | Swath/km |
| HJ-1A/HSI | 0.45~0.95 | 128 | 5(平均) | 100 | 50 |
| EO-1/Hyperion | 0.4~1.0 0.9~2.5 | 220 | 10 | 30 | 7.5 |
| ISS-JEM/HICO | 0.38~1.0 | 124 | 5 | 100 | 50 |

表 8 给出微波合成孔径雷达的比较。HY-3A/SAR(X)与 TerraSAR-X 具有类似的工作模式和空间分辨率,前者具有较大的刈幅宽度和入射角,后者具有较多的极化方式、较短的重复周期以及沿轨干涉模式。HY-3A/SAR(C)与 Envisat/ASAR 具有类似的工作模式、空间分辨率,前者具有较大的刈幅宽度、入射角和较多的极化方式,后者仅在图像模式基础上设置变极化模式。HJ-1C/SAR 仅有 2 个工作模式和 2 个极化方式,空间分辨率、刈幅宽度和入射角类似于 TerraSAR-X。

3 在轨运行的中国海洋观测卫星传感器

如上所述,目前在轨运行的中国海洋观测卫星传感器至少有 38 个,表 10 列出这些卫星传感器及其类似的国际卫星传感器。其中, FY-3A、3B/MERSI、HY-1B/COCTS 和 HJ-1A/HSI 用于海色观测。FY-1D/MVISR-2、FY-2D/VISSR-2、FY-2E/VISSR-2、FY-3A、3B/VIRR、HY-1B/COCTS 和 FY-3A、3B/MWRI 用于海表温度观测, FY-3A、3B/MWRI 亦用于海面风

速观测。CRS-3、5、6、8、10/SAR 用于海洋动力、海面目标、浅海地形等观测。其他 22 个传感器可用于海岸带观测。

表 10 在轨运行的用于海洋观测的传感器
Table 10 In-orbit Chinese spaceborne ocean observing sensors

| 中国卫星传感器 | 海洋应用 | 类似传感器 |
|----------------|--------------------|---------------|
| Chinese sensor | Ocean application | Smilar sensor |
| FY-1D/MVISR-2 | 海温、海色、气象 | AVHRR, CZCS |
| FY-2D/VISSR-2 | 海温、气象 | GOES/IMAGER |
| FY-2E/VISSR-2 | 海温、气象 | GOES/IMAGER |
| FY-3A/VIRR | 海色、海温、气象 | AVHRR, CZCS |
| FY-3A/MERSI | 海色, 气象 | MODIS |
| FY-3A/MWRI | 海温, 风速, 气象, 海岸带 | TMI |
| FY-3B/VIRR | 海色, 海温, 气象 | AVHRR, CZCS |
| FY-3B/MERSI | 海色, 气象 | MODIS |
| FY-3B/MWRI | 海温, 风速, 气象, 海岸带 | TMI |

续表 10

| 中国卫星传感器 Chinese sensor | 海洋应用 Ocean application | 类似传感器 Smilar sensor |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| HY-1B/COCTS | 海色,海温 | OTCS, SeaWiFS |
| HY-1B/CZI | 海岸带 | |
| FORMOSAT-2/PAN-MS | 海岸带 | IKONOS |
| CRS-3/SAR(L) | | |
| CRS-5/SAR(L) | | |
| CRS-6/SAR(L) | 海洋动力、海表特征、海岸带 | |
| CRS-8/SAR(L) | | |
| CRS-10/SAR(L) | | |
| CRS-2/HR | | |
| CRS-4/HR | | |
| CRS-7/HR | | |
| CRS-9/HR | | |
| CRS-11/HR | | |
| CRS-2/PAN-MS | 海岸带 | |
| CRS-4/PAN-MS | | |
| CRS-7/PAN-MS | | |
| CRS-9/PAN-MS | | |
| CRS-11/PAN-MS | | |
| HJ-1A / HSI | 海色、赤潮、植被、溢油 | Hyperion, HICO |
| HJ-1A/CCD | 海岸带、海温 | Landsat 7/ETM+ |
| HJ-1B/CCD | 海岸带、海温 | Landsat 7/ETM+ |
| CBERS-2/CCD | 海岸带 | Landsat 7/ETM+, SPOT 5 |
| CBERS-2B/CCD | 海岸带 | Landsat 7/ETM+, SPOT 5 |
| CBERS-2B/HR | 海岸带 | QuickBird |
| ZY-2B/HR | 海岸带 | IKONOS |
| ZY-2B/PAN-MS | 海岸带 | IKONOS |
| ZY-2C/HR | 海岸带 | IKONOS |
| ZY-2C/PAN-MS | 海岸带 | IKONOS |
| DMC-BJ 1/PAN-MS | 海岸带 | Landsat 7/ETM+ |

4 结论

(1) 中国的卫星计划已广泛引起国际同行的重视和关注。其水平大体上相当于 1990 年代和 21 世纪初的国外卫星计划和传感器。卫星数据产品及其业务化反演算法加强和提高后,中国将有能力为 GEOSS 空间部分发挥重要作用。

(2) 中国的 6 个卫星系列有待进一步协调和提高,包括传感器和虚拟星座等。

(3) 目前在轨运行的 38 个海洋观测卫星传感器中,微波传感器和主动传感器相对偏少,光学和红外传感器的辐射分辨率可进一步提高。

(4) DRAGONESS WP2 的工作报告之二是关于中国卫星海洋观测系统的数据产品及其业务化反演算法,待提交发表。

(5) 本文所用素材来源于公开网站和公开演讲(见附录 I)。素材的组织、综合和评论均属作者之思考和作品。仅供国内有关同行及有关管理部门参考和讨论。

致谢:感谢 EC FP-6 空间领域 DRAGONESS 项目 (No. SSA5-CT-2006-030902)、ESA-MOST Dragon program ID2566、ID5334、ID5338 项目、科技部国际合作司专项项目的支持;感谢陈春涛、王勃、赵屹立、张磊、沙金、陈立贞、李宁参加了 DRAGONESS WP2 项目的有关工作。

参考文献:

- [1] 李德仁. Chinese Earth Observation Missions [EB/OL]. ESA-MOST Dragon 1 final results and Dragon 2 kick-off symposium. [2008-04-21], [2011-01-10]. http://dragon2.esa.int/symposium2008/dr2_ppts/4_21/li_deren.pdf
- [2] 潘德炉. Present and future Chinese satellite missions for ocean remote sensing [EB/OL]. ESA-MOST Dragon 2nd Advanced Training Course. [2007-10-20], [2011-01-10]. http://earth.esa.int/dragon/ocean_training/Lecture_Material/DAY1-15Oct2007/D1_L1_Pandelu_lectur_20071015_V1.pdf
- [3] 蒋兴伟. 我国卫星海洋空间探测 [EB/OL]. Presentation at Ocean University of China. [2008-01], [2011-01-10]. <http://www.ouc.edu.cn/>.

Chinese Spaceborne Ocean Observing Systems and Onboard Sensors (1988—2025)

HE Ming-Xia¹, HE Shuang-Yan¹, WANG Yun-Fei¹, YANG Qian¹,
TANG Jun-Wu², HU Chuan-Min^{1,3}

(1. Institute of Ocean Remote Sensing, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081; 3. University of South Florida, St. Petersburg, FL 33701, USA)

Abstract: Information on the Chinese spaceborne earth observing satellite (and spacecraft) missions between 1988 and 2025 are comprehensively collected, including historical, in-orbit and planned (or future) satellites. A detailed introduction of eight satellite (and spacecraft, space station) series including FengYun satellites (FY-*n*), ocean satellites (HY-*n*), resource satellites (ZY-*n*), environment satellites (HJ-*n*), Chinese Remote Sensing satellites (CRS-*n*), Disaster Monitoring Constellation / BeiJing-1 micro-satellite (DMC/BJ-1), ShenZhou spacecrafts (SZ-*n*) and TianGong space stations (TG-*n*) is given. All above satellite (and spacecraft, space station) series are capable of ocean observation, and therefore comprise the Chinese satellite (and spacecraft) ocean observing system. Furthermore, the satellite (and spacecraft, space station) observing systems for ocean color, sea surface temperature, sea surface height, sea surface vector winds and Synthetic Aperture Radars (SAR) are listed respectively according to onboard sensors. The performance of sensors onboard the Chinese and other similar ocean observing satellites are compared and discussed and the gap is pointed out. The 38 in-orbit sensors onboard Chinese ocean observing systems and other similar satellite sensors are listed.

Key words: Chinese spaceborne ocean observing systems; satellite sensors; Ocean Color (OC); sea surface temperature (SST); sea surface height (SSH); sea surface winds (SSW); synthetic aperture radar (SAR)

附录 I

FY-*n* 气象卫星: <http://www.cma.gov.cn/>; <http://nsmc.cma.gov.cn/>; <http://www.gmss.cn/>; <http://61.232.252.2/>
HY-*n* 海洋卫星: <http://www.soa.gov.cn/>; <http://www.nsoas.gov.cn>
ZY-*n* 资源卫星: <http://www.cresda.com/cn/>
DMC/BJ-1 小卫星: <http://www.blmit.com.cn/>
HJ-*n* 环境卫星: <http://www.jianzai.gov.cn/rs/>; <http://www.cresda.com/cn/>
SZ-*n* 神舟飞船: <http://www.cas.ac.cn/>; <http://www.cnsa.gov.cn/>
CRS-*n* 中国遥感卫星: <http://www.gov.cn/>; <http://www.cnsa.gov.cn/>; <http://www.cas.ac.cn/>
IOCCG <http://www.ioccg.org/sensors/current.html>;
WMO <http://www.wmo.ch/pages/prog/sat/GOSresearch.html>;
CEOS http://www.eohandbook.com/eohb05/ceos/part3_3.html
JCOMM <http://www.jcomm.info/>
NASA <http://www.nasa.gov/>
JPL <http://www.jpl.nasa.gov/>
GSFC <http://www.gsfc.nasa.gov/>
ESA <http://www.esa.int/>
CNES <http://www.cnes.fr/>
DLR <http://www.dlr.de/en/>

CSA <http://www.space.gc.ca/>

JAXA <http://www.jaxa.jp/>

附录 II

ADEOS Advanced Earth Observing Satellite
AFRL Air Force Research Laboratory
ALDIN Atmospheric Laser Doppler INstrument
ALT microwave ALTimeter
AMSR-E Advanced Microwave Scanning Radiometer - EOS
APS Aerosol Polarimeter Sensor
ASAR Advanced Synthetic Aperture Radar
AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer
CAS Chinese Academy of Sciences
CBERS China-Brazil Earth Resources Satellite
CEOS Committee on Earth Observation Satellites
CMA China Meteorological Administration
CMODIS Chinese Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
CNES Centre National d'Etudes Spatiales
CNSA China National Space Administration
COCTS Chinese Ocean Color and Temperature Scanner
COMS Communication, Ocean, Meteorological Satellite
CSA Canadian Space Agency
CZCS Coastal Zone Color Scanner
CZI Coastal Zone Imager
DLR German Aerospace Centre

| | |
|---|---|
| DMC Disaster Monitoring Constellation | MERSI MEdium Resolution Spectral Imager |
| DRAGONESS DRAGON in support of harmonizing European and Chinese marine monitoring for Environment and Security System | MERSEA Marine Environment and Security for the European Area |
| ENSO El Niño-Southern Oscillation | MLR Ministry of Land and Resources |
| EOS Earth Observing System | MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer |
| EPS Ensemble Prediction System | MOST Ministry of Science and Technology |
| ERM Earth Radiation Measurement | MVISR Multichannel Visible Infrared Scanning Radiometer |
| ESA European Space Agency | MWHS MicroWave Humidity Sounder |
| EUMETSAT European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites | MWRI MicroWave Radiation Imager |
| EVA Extra-Vehicular Activity | MWTS MicroWave Temperature Sounder |
| GEO-MWRI GEOstationary MicroWave Radiation Imager | NASA National Aeronautics and Space Administration |
| GOSS Global Earth Observation System of Systems | NCSB North China Sea Branch |
| GHRSSST High Resolution Sea Surface Temperature | NDVI Normalized Difference Vegetation Index |
| GMES Global Monitoring for Environment and Security | NIST National Institute of Standards and Technology |
| GNSS Global Navigation Satellite System | NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration |
| GOCI Geostationary Ocean Color Imager | NPOESS National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System |
| GODAE Global Ocean Data Assimilation Experiment | NRL Naval Research Laboratory |
| GOOS Global Ocean Observing System | NSOAS National Satellite Ocean Application Service |
| GRAS GNSS Receiver for Atmospheric Sounding | OCI Ocean Color Imager |
| GSFC Goddard Space Flight Center | OCTS Ocean Color and Temperature Scanner |
| HICO Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean | ORSI Ocean Remote Sensing Institute |
| HR High Resolution camera | OUC Ocean University of China |
| HSI Hyper Spectral Imager | PAN-MUX / PAN-MS Panchromatic and Multi-spectral camera |
| IIS Interferometric Infrared Sounder | RAD microwave RADIometer |
| IOCCG International Ocean Colour Coordinating Group | SAR Synthetic Aperture Radar |
| IPEI Ionospheric Plasma and Electrodynamics Instrument | SBUS Solar Backscatter Ultraviolet Sounders |
| IR multi-spectral Infrared Camera | SCA microwave SCAtterometer |
| IRAS Infrared Atmospheric Sounder | SSH Sea Surface Height |
| IRMSS Infrared Multi-Spectral Scanner | SST Sea Surface Temperature |
| IRSA Institute of Remote Sensing Applications | SSW Sea Surface Winds |
| ISS International Space Station | SeaWiFS Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor |
| ISUAL Imager of Sprites and Upper Atmospheric Lightning | SEM Space Environment Monitors |
| JAXA Japan Aerospace Exploration Agency | SIM Solar Irradiation Monitor |
| JCOMM Joint WMO-IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology | SOA State Oceanic Administration |
| JEM Japanese Experiment Module | TOU Total Ozone Unit |
| JPL Jet Propulsion Laboratory | TOVS TIROS Operational Vertical Sounder |
| LM Lightning Mapper | TMI TRMM Microwave Imager |
| M3RS Multi-Mode Microwave Remote Sensor | TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission |
| MCA Ministry of Civil Affairs | VIRR Visible and InfraRed Radiometer |
| MCSI Multiple Channel Scanning Imager | VISSR Visible and Infrared Spin Scan Radiometer |
| MEP Ministry of Environmental Protection | WFI Wide Field Imager |
| MERIS MEdium Resolution Imaging Spectrometer | WMO World Meteorological Organization |

责任编辑 陈呈超