

美国国防气象卫星 (DMSP) 60年发展回望 和换代计划初探

■ 樊奕茜 肖芳 贾朋群

第三次升级, 是2003年F16星将SSM/I、SSM/T和SSM/T-2合并为更先进的SSMIS微波传感器, 该传感器共有24个通道、21种频率, 可探测近地表风速、水汽、云水、雪。同时, 更新太空环境探测器SSULI和SSUSI, 探测来自地球大气和电离层的紫外线辐射, 增强对空间的观测。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.03.001

在全球气象圈享有一定声誉的美国国防气象卫星 (Defense Meteorological Satellite Program, DMSP) 系列, 起步于人类进入太空时代不久的1960年代初, 已经走过60年。目前依然有两颗DMSP卫星在轨, 分别于2006年和2009年升空的DMSP F17和F18星, 运行时间超过10年并开始迈向第2个完整10年的数据提供周期。与此同时, DMSP换代方案也经历了大约10年的一波三折, 2022年初才基本确定: 用微波气象卫星 (Weather System Follow-on-Microwave, WSF-M) 和电光/红外气象卫星 (Electro-Optical/Infrared (EO/IR) Weather System, EWS) 两个系列, 接替DMSP的功能 (图1)。本文回顾了DMSP的发展, 讨论换代DMSP卫星最可能具有的“换代”意义。其中美国换代国防气象卫星, 因为再次与民用气象卫星分离, 在美国目前强化军备背景下, 针对军用太空装备可能优先配备“核动力”或其他先进动力系统, 让卫星具有“更低轨道”和在极地轨道之间以及极轨、地球静止轨道之间变轨和在轨添加推动剂等能力, 尤其值得关注, 或许能够开启、启发和引领下一代极轨气象卫星换代周期。

1 DMSP系列卫星60年发展回顾

1950年代末, 美苏冷战升级, 为满足军事需求, 人类开始探索太空以获取大面积地面信息。1962年, 美国军方秘密提出美国国防气象卫星计划, 这是美国国防部的专用军事气象卫星。自1962年发射第一组卫星升空, DMSP系列卫星服役时间已长达60年。在技

术上, DMSP经过几次升级, 主要使命一直瞄准云、地表和海洋表面状态以及大气三维温湿环境探测, 其数据主要用于战略和战术天气预报, 以帮助美军规划海上、陆地和空中的行动。例如: 微波成像仪可以探测路面泥泞程度以确定是否适合坦克和装甲车投入军事行动中。在管理上, 经历了1970年代初资料解密并被民间研究和业务利用、1990年代初军用和民用气象卫星合并, 以及2010年前后的再次分离等。

DMSP系列卫星早期频繁发射为极轨气象卫星成熟积累了经验。DMSP卫星以“批”(Block)为单位研发, 共分为5批, 每批次还可以进一步划分用数字标记的不同阶段, 各阶段的再划分则以英文字母A、B、C等标记。自1962年5月23日Block-1 (早期标注为P35-1) 首颗卫星发射开始, 经历了Block-1 (1962—1963年, 5颗)、Block-2 (1964—1965年, 4颗)、Block-3 (1965—1966年, 6颗)、Block-4A (1966—1968年, 4颗)、Block-4B (1968—1969年, 3颗)、Block-5A (1970—1971年, 3颗)、Block-5B (1971—1974年, 5颗) 和Block-5C (1975—1976年, 4颗) 等早期密集发射阶段, 以及被应用和研究最广泛、影响力最大的Block-5D (1976—2009年, 19颗)。

Block-1至Block-5C阶段卫星发射从不到一半的成功率, 到发射技术相对成熟, 卫星载荷也不断增加。尽管该阶段主要是卫星试验阶段, 但由于起步较早, 到1965年前后DMSP卫星达到了领先水准。1965年4月, Block-3计划刚开始实施, 其技术吸引了承担美国民用气象卫星TIROS研发的NASA, 后者采用了

收稿日期: 2022年4月18日; 修回日期: 2022年5月30日

第一作者: 樊奕茜, Email: fanyixi2021@163.com

通信作者: 肖芳, Email: 21653432@qq.com

资助信息: 国家自然科学基金 (42142009)

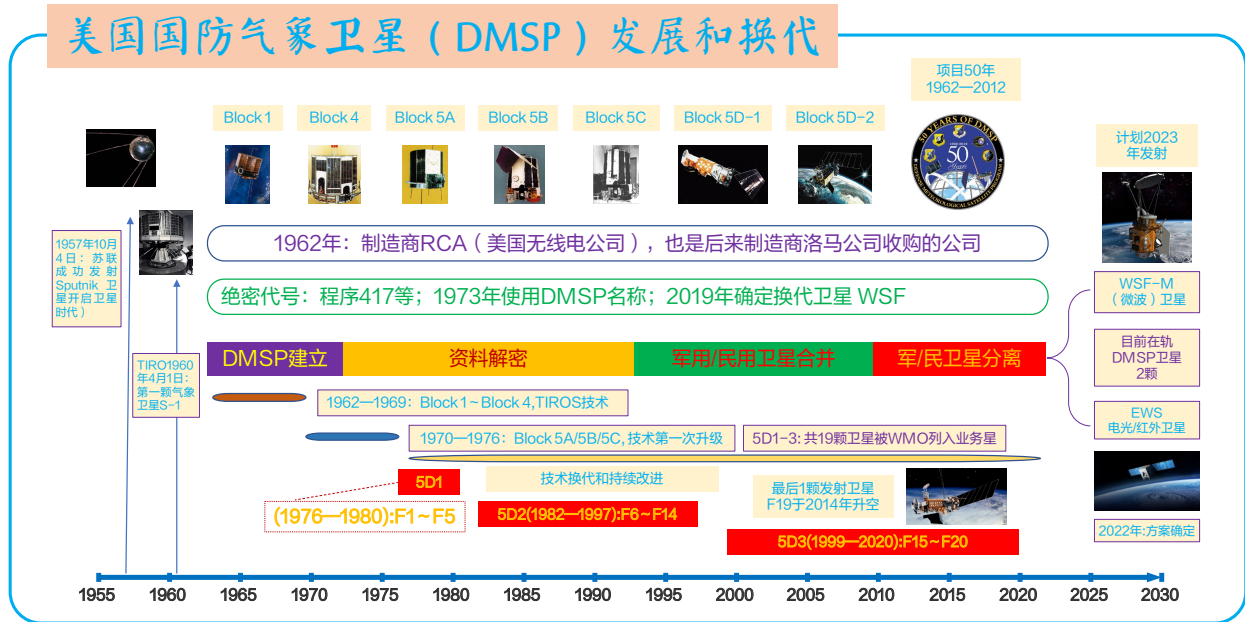


图1 DMSP卫星的发展和换代历程(图中卫星标记见正文)

DMSP的技术方案。1965年1月，美国气象部门发射的TIROS-9即是DMSP的复制品(图2)。一年后的1966年2月，第一个按照这个标准建造的ESSA-1卫星升空，并且在1966—1969年，共有9颗这样的民用气象卫星进入轨道。

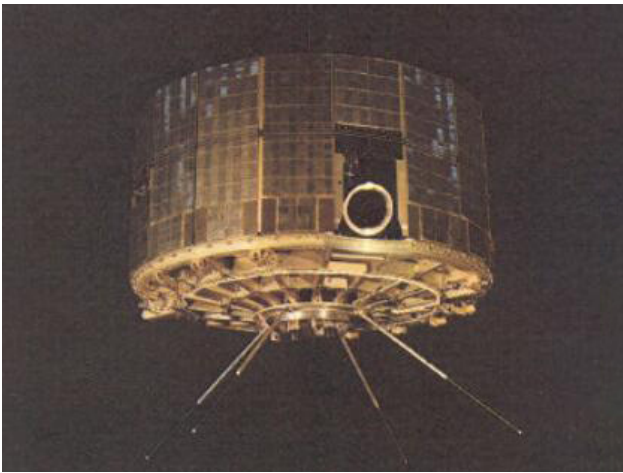


图2 以DMSP的Block-3卫星为蓝本的民用TIROS业务系统(TOS)气象卫星

该时期DMSP的另一项最重要的技术换代，是1970年从Block-5A开始，增加了全新的OLS系统(Operational Linescan System, 业务线扫描)并开展试验。研发OLS是受到气象预报员使用的天气图的启发和瞄准预报员的需求，从Block-5系列开始摒弃了之前采用的TIROS技术，由此卫星从提供亮度数据转变为给出反照率产品。这一变化解决了卫星探测的亮度，从太阳光到部分月光环境下其变化可达几个量级并因

此带来的数据解释问题，让用户更加关注的反照率直接作为被测量值。

从Block-5D-1开始，DMSP系列卫星完成技术蜕变。DMSP计划于1976年从Block-5D-1开始，实现了全面的技术升级。因为这时卫星数据已经解密，该系列第一颗卫星(1976年9月11日升空，卫星系列编号改为F1，并一直延续至今)开始，载荷中除了OLS外，还陆续增加了SSI/T(Special Sensor Microwave-Temperature)和SSM/I(Special Sensor Microwave-Imager)等重要的微波传感器。进入21世纪之后，SSMIS(Special Sensor Microwave-Imager/Sounder)等更高性能传感器也开始加载，卫星重量从之前数百千克提高到1200 kg左右，传感器数量保持基本稳定。

自2014年DMSP系列卫星中最后一颗，即5D-3中编号为F19的卫星升空后，编号F20的卫星虽然已经研发出来，却因F19星在升空2年后出现电源问题，考虑到两颗卫星为姊妹星，F20最终没能升空。当前DMSP系列卫星中，分别在2006年和2009年升空的F17和F18，依然在轨工作。

DMSP系列卫星从Block-5开始的3次重要技术换代产生积极作用。第一次升级，是在Block 5计划中提出的OLS，为此航天器还采用了新的动力偏置姿态控制系统以满足OLS的扫描精度。在1970年开始的Block 5A，以及后来的5B和5C开展了前期试验，从1976年开始，在DMSP 5D的所有卫星搭载改进的业务化的OLS传感器，用于云探测和火灾/灯光探测的晨昏光学传感器，为军事天气预报员提供全球云层覆盖图像。

OLS传感器的可见通道可探测烟雾、沙尘暴和冰盖等对军事战略规划至关重要的信息，使指挥官能够对比分析战争前后特定区域的光线，以评估战场损毁程度。正是这次升级，DMSP在业界也具有了更加重要的影响，开始启用新的卫星编号，5D-1批次的首颗星被赋予编号F1，并一直沿用至今。

第二次升级，是1987年，F8星首次搭载了SSM/I微波传感器，该传感器共7个通道、4种频率，可探测海表风速、降水强度、海冰覆盖和土壤湿度等环境要素。

第三次升级，是2003年F16星将SSM/I、SSM/T和SSM/T-2合并为更先进的SSMIS微波传感器，该传感器共有24个通道、21种频率，可探测近地表风速、水汽、云水、雪。同时，更新太空环境探测器SSULI (Special Sensor Ultraviolet Limb Imager) 和SSUSI (Special Sensor Ultraviolet Spectrographic Imager)，探测来自地球大气和电离层的紫外线辐射，增强对空间的观测。

60年来，DMSP系列卫星从重量轻、载荷少但频繁发射的小型卫星试验开始，随着发射成功率提高，不断增加卫星载荷和重量，以期搭载体量更大、性能更先进的传感器(图3)。

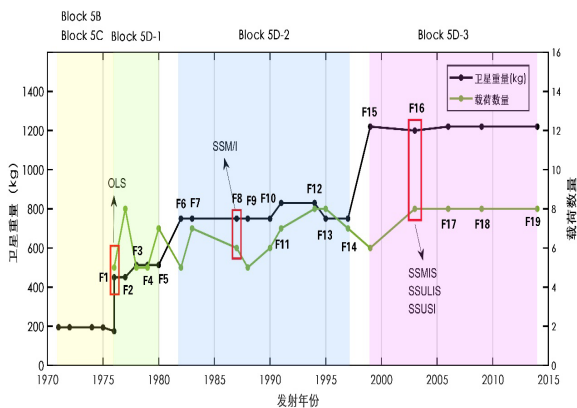


图3 DMSP系列卫星 (F1~F19) 重量和载荷变化

随着卫星技术的成熟，进入21世纪以后，DMSP的发射频次降低，但在轨卫星的长寿命保证了星载观测的长期稳定的数据提供，成为很多相关研究和业务依赖时间最长、性能最可靠的卫星遥感数据来源之一(图4)。

2 DMSP的换代过程和技术

2.1 换代过程简述

早在DMSP卫星技术基本定型的20世纪末，随着1999年5D-3批次中的第一颗星F15顺利升空，该批次计划在随后10~20年升空的同批次的F16~F20卫星，

也基本上定型到F15。也就是说，虽然F16~F19直到21世纪前20年里才陆续发射，但它们的主要技术性能却停留在20世纪末。因此，到了21世纪初，美国意识到DMSP的技术限制，启动DMSP换代项目，但是换代方案却是一波三折。

21世纪初，美国军用和民用气象卫星还处于合并状态，当时提出了耗资65亿美元的国家极地轨道环境卫星(NPOESS)换代方案，并于2008年发射了第一颗卫星。但因后续合并造成的应用优先级不一致等管理问题，卫星仪器研制延误和制造成本飙升等诸多问题，2010年NPOESS项目被迫停止。

在NPOESS被取消后，2010年美国军用和民用气象卫星被再次分离。当2011年民用卫星启动了后来被更名为Suomi NPP项目及后续的联合极地卫星系统(JPSS)时，美国军方开始围绕DMSP换代，出现较长时间的摇摆。先是提出了短命的DWSS(下一代国防气象卫星系统，2010—2012年，投入4.29亿美元)计划，之后曾经考虑“翻新”已经研发完毕等待升空的DMSP最后2颗卫星F19和F20，但由于F19升空后20个月电源系统出现故障导致F20被彻底放弃，并将其从昂贵的存储状态中分离出来，放置到位于洛杉矶的空间与导弹系统中心作为永久展览。DMSP地面部分也于2015年彻底中止。2016—2019年，军方还曾于NASA合作，试图用ORS-8(作战响应空间-8)卫星取代DMSP，却因签订合同遭到业界抵制而作罢。直到2016年，美国审计署(GAO)批评军方在DMSP后继卫星计划方面没有与民用卫星研发机构充分协调，导致换代卫星方案迟迟无法确定，美国军方才重新考虑国防气象卫星的换代方案。

2017年，美国军方决定将DMSP的换代星WSF(Weather Satellite Follow-on，气象卫星后继)分为微波卫星(WSF-M)和电光/红外星(WSF-E)两个系列。2017年11月，承包商Ball Aerospace公司获得3.496亿美元负责研发两颗WSF-M星。此前，Ball Aerospace公司与军方以及NOAA、NASA等联邦机构曾多次合作，还为Landsat卫星提供载荷小型化服务以展示改进的陆地卫星任务性能。美军方正是看中了该公司这方面的能力，希望WSF-M星的第一颗最早能在2023年发射升空，2024年中期业务运行；第二颗卫星于2028年发射。卫星重量约1200 kg。

相对于微波星，后来被重新命名为EWS(Electro-Optical Weather System，电光气象系统)卫星的研发则经历了更多周折。为了避免可能出现的资料空白，2019年，NOAA退役的备份静止卫星GOES-13被军方

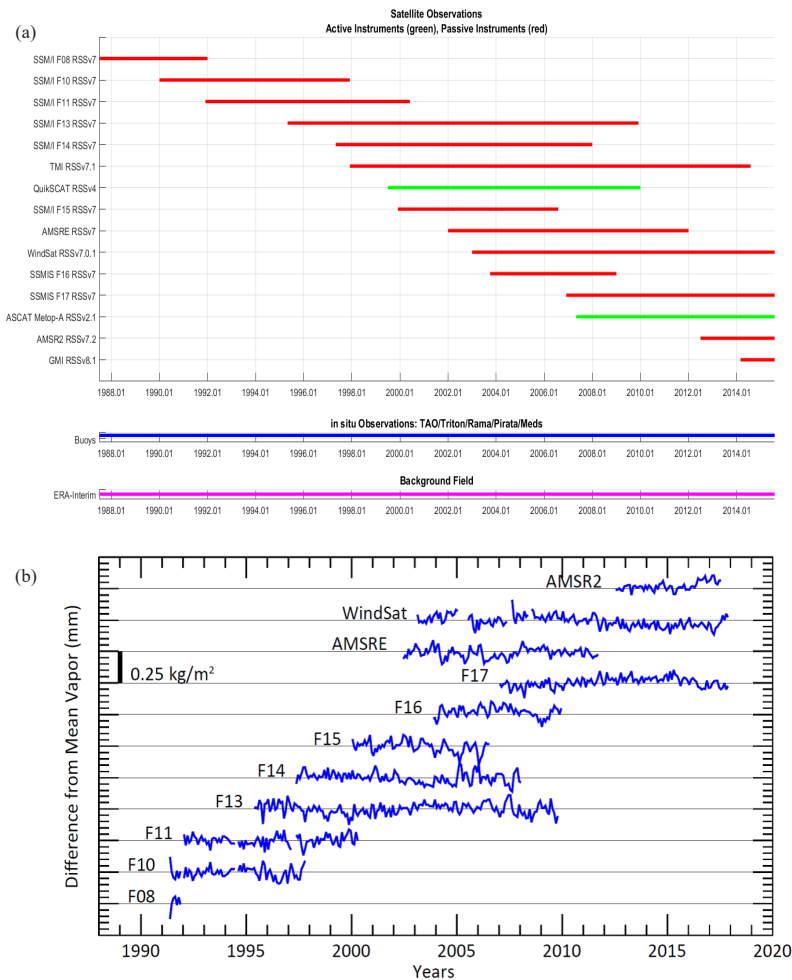


图4 地表风反演项目海表风场产品依据的卫星和地表探测数据 (a), 以及反演海洋降水的不同单个卫星数据在南北纬50°之间月平均TPW与所有卫星均值之间的差 (b)

征调, 转为EWS系列(命名为EWS-G1), 被重新定位到了印度洋区域(61.5°E), 2020年2月开始, 提供部分EWS卫星功能。用退役的静止气象卫星作为被延误研发的EWS极轨卫星发挥部分功能, 既是一种补救, 也说明两种轨道气象卫星至少在天气图提供方面, 有一定的互补功能。

2022年1月, 美军方发布EWS招标书, 并于3月1日确定通用原子公司(General Atomics)和猎户座公司(Orion Space)共同承包EWS星研发, 预计于2024年或2025年发射卫星。

2.2 换代卫星技术分析

2.2.1 微波气象卫星(WSF-M星)

WSF-M为极轨气象卫星, 采用轨道高度为833 km的近地轨道(LEO), 与DMSP系列卫星的轨道特征类似。WSF-M依靠Ball公司自主开发的可配置平台(the Ball Configurable Platform)进行研发, 卫星的概念设

计如图5所示。WSF-M将搭载被动微波成像仪MWI和太空空间天气探测仪ECP。其中, MWI由Ball公司自主开发, 而ECP探测仪则由军方统一提供。

MWI成像仪是被动微波成像仪, 与同样由Ball公司为全球降水观测卫星(GPM)研发的GWI成像仪相似, 可进行多频率多极化方向微波探测, 观测海面风速、热带气旋强度和其他环境数据。如表1所示, MWI共有17个通道, 6个频率, 最好的空间分辨率为15 km×10 km, 其中低频段用于探测海温。与GMI相比, MWI成像仪不仅有V和H方向, 还有第三和第四Stokes参数, V和H极化可用于探测风速, 加上第三和第四Stokes参数即可探测矢量风。因此, MWI成像仪的探测任务集中在海表探测, 尤其是海表矢量风, 性能有望在GMI基础上有所提升。此外, MWI成像仪采用数字偏振测量, 可降低探测复杂度, 提高校准性能。相较于传统的模拟设计, 数字偏振测量可自由选择多个频率, 提高定标精度, 降低噪音。

WSF-M星的天线系统由1.8m的主反射器MR(Main reflector)、四个独立的信号接收器和校准目标组成。反射器部署组件RDA(Reflector Deployment Assembly)搭载了主反射器MR, 并部



图5 美国下一代国防气象卫星WSF-M概念图, 卫星包括一个被动微波成像辐射计和高能带电粒子传感器

表1 MWI成像仪微波通道特性和性能

通道	中心频率/ GHz	极化 方向	带宽/ MHz	采样时间/ ms	波束宽度/ °	空间分辨率/ km × km
10v,10h	10.85	v, h	500	1.8	1.06	38×23
3 rd ,4 th		3 rd , 4 th	500	1.8		
18v,18h	18.85	v, h	500	1.8	0.66	23×15
3 rd ,4 th		3 rd , 4 th	500	1.8		
23v	23.8	v	370	1.8	0.58	21×13
37v _d ,37h _d	36.75	v, h	500	1.8	0.43	15×10
3 rd ,4 th		3 rd , 4 th	500	1.8		
37v _a ,37h _a	37.3	v, h	<2500	1.8		
89v,89h	89	v, h	<6000	1.8	0.43	15×10

注：下标d和下标a分别表示37 GHz接收器的数字输出和模拟输出。

署到在轨配置中，这样使得仪器在孔径1.8 m的情况下具有相对紧凑的尺寸。MWI成像仪采用了GMI成像仪同款的旋转组件SMA (Spin Mechanism Assembly)，可实现的功能包括锥形扫描和信号传递。

MWI成像仪采用已校正的VDA反射器 (Vapor Deposited Aluminum reflector)，即在主反射面采用气态沉积铝表面涂层，以减少在太空观测时天线自身发射热辐射带来的校准误差。但是VDA涂层在反射面上存在细小裂缝，在精密辐射测量（尤其是高频下）极易出现误差。DMSP的F16星就存在这个问题，当反射面对太阳时，反射面不仅接收到地球的反射信号，还会有天线等干扰信号，由此会出现几度的辐射误差。不过，这些误差可以通过物理模型消除，将获取的数据剔除天线带来的自身热辐射，最终留下所需要的辐射量。MWI成像仪10~37 GHz通道上的噪声二极管 (noise diodes) 用于在轨校准，主要基于在轨非线性趋势和备用增益校准方法，以显著提高MWI辐射测量的稳定性。

经过准确辐射定标的Stokes参数对在轨极化接收机的性能至关重要。第三和第四Stokes参数的在轨校准是通过在每个接收机前端输入的相关噪声源 (Correlated Noise Source, CNS) 实现的。CNS采用稳定的传统噪声二极管，与一个简单的组合网络一起，将相关校准信号注入到接收机前端。

基于上述微波系统，WSF-M将探测全球大气，陆地和海洋表面来改善全球和区域的天气预报，填补数据空白。WSF-M的任务旨在具体解决六项天基环境监测要求 (space-based environmental monitoring, SBEM, 表2)，三个优先变量分别是海表矢量风、热带气旋强度、LEO高能带电粒子特性，同时弥补其他三点不足，包括海冰特性、土壤湿度和雪深。不过MWI成像仪不像SSM/T那样包括大气温度湿度的垂直探测功能，美方认为可以通过其他气象卫星探测数据

共享得到补充。

表2 WSF-M旨在解决的六项空间环境监测SBEM要求

序号	天基环境监测优先要求	天基环境监测其他变量
1	海洋表面矢量风	海冰特性
2	热带气旋强度	土壤湿度
3	LEO高等带电粒子特性	雪深

基于测试结果，Ball公司认为，MWI成像仪的设计要优于美国空军对海表矢量风和热带气旋强度等探测要求。2020年MWI成像仪通过关键技术审查，MWI成像仪在风速5~25 m/s的预期性能如图6所示，其中风速不确定性明显下降，风速的RMSE基本在1 m/s以内；风向不确定性也低于军方标书中的要求，风向RMSE在风速为6 m/s时最大，风速大于11 m/s后趋于平稳。

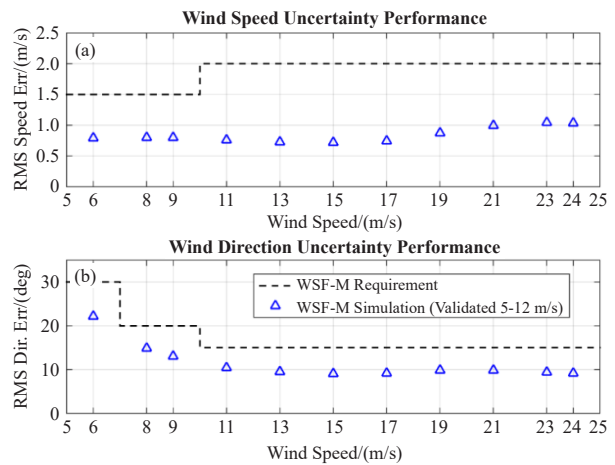


图6 WSF-M地表风速(a)和风向(b)探测不确定性试验结果

2.2.2 电光/红外气象卫星 (EWS星)

DMSP的下一代电光/红外星EWS于2022年3月正式确定由通用原子公司 (General Atomics) 和猎户座空间公司 (Orion Space) 共同开发。前者研发一个重量仅为400 kg的小卫星，计划在2024年或2025年发射，进行为期三年的试运行；后者则将在2022年底发射一组约50颗12 U立方体卫星，进行一年的试运行。两颗示范卫星都在LEO轨道上运行，收集天气图像和云特征数据。

美军方对EWS星的要求集中在提高云数据的精度上，通用原子的传感器用从可见光到不同波长的红外线的16个光谱频道观测云层，与WSF-M星需要提交的数据一致。

EWS关键技术在于云特征 (Cloud Characterization) 方面，包括确定云量和云顶温度，可用于卫星和遥控飞机收集情报、监视和侦查优化，其中还包括空中加油、空中主权警报任务。如表3所示，在云特征数

据精度方面,云检测(Cloud Detection)要求白天和夜晚的精度分别为98%和95%,大气光学厚度(Cloud Optical Depth)要求白天和夜晚的精度分别为最大值加減20%和30%。

美军对战区天气图像(Theater Weather Imagery)进一步要求,必须有经验的气象学家进行人工分析,以确定无论是黑夜还是白天发生的云层、雷暴、雾、沙尘暴、火山灰等地点,而且要求在晨昏等光线条件较差情况下可识别上述图像(表3)。

表3 云特征和战区天气图像的预期性能要求

要素	云特征要求	战区天气图像要求
空间分辨率	<1 km (星下点) <2 km (扫描边界)	
重访周期	<12 h	
延迟	最大延迟阈值: <120 min 一般情况下: <60 min	
云覆盖精度	白天: 93% 夜间: 86%	/
云顶温度不确定性	薄云: 6 K 厚云: 12 K	/
大气光学厚度	白天: $0.3 < \tau < 64.0$ (精度为最大值 $\pm 20\%$) 或者: $\tau = 3$ 精度在 $\pm 20\%$ 以内 夜间: $0.3 < \tau < 8.0$ (精度为最大值 $\pm 30\%$) 或者: $\tau = 0.8$ 精度在 $\pm 30\%$ 以内	/

由此可推测,美军希望利用EWS实现在恶劣天气和夜晚等不利条件下更高精度的战区环境观测,以提供及时有效的环境信息支持军事行动规划和执行。此外,EWS被要求在晨昏轨道飞行,提供战区晨昏图像,帮助军队部署在关键时间做出决策,在易受天气影响下开展打击战术、战争预测。EWS卫星将为美国和北约盟国提供天气数据,这些数据对军事操作至关重要,如飞行路线、战斗搜索和救援、敌方导弹观测和情报收集。

3 结果讨论

DMSP卫星驰骋60年,无论是在技术端还是在促进气象业务端,都在20世纪中后期收获了气象界乃至全球遥感应用领域的良好口碑。虽然其最先进的技术依然停留在20世纪末,但该系列遥感数据的长期有效性,还是展示了卫星遥感提供稳定、均一和高质量数据来源的特征。在过去20年里,世界上各主要国家民用气象卫星的性能,大幅度超越DMSP老化的技术情形下,美国国防气象卫星换代是否能够带来卫星新技术的发展,从而引领气象卫星新一轮换代潮,受到各方关注和期待。

DMSP整整60年运行的历史是气象卫星发展的缩影。从1961年开始酝酿,到1962年正式立项的DMSP项目,经历了从“看图”技术到大型、多传感器综合

探测卫星。在1965年前后,确定了其技术领先地位。DMSP提供了太空天气信息最早的战事用途,在世界上首次使用气象卫星图像在越南战争期间发挥了支持战术军事行动作用。此后,从第一次海湾战争到伊拉克和阿富汗等美国参与其中的国际冲突的实时态势感知等方面,DMSP提供的信息对军事行动的支持至关重要。

在军民共用阶段,DMSP卫星数据被纳入WMO卫星数据库,其特有的晨昏轨道展示了极轨气象卫星借助微弱光线的探测能力。DMSP卫星上装载的微波等传感器,是学界探知地球极地冰雪和全球陆地表明湿度等关键信息的最重要的来源之一。

DMSP系列卫星令人印象最深的,是其长寿命。除了目前依然在轨的F17/F18(分别于2006年和2009年发射,设计寿命5年)已经分别在轨工作了15年和12年后,1997年发射的DMSP-14卫星虽然设计寿命为3年,但在2017停止工作前,历史性地完成了第10万次绕地球运行,运行时间达20年。其设计寿命之后的17年里继续提供天气数据,也证明了卫星的制造工艺的水准。

此外,DMSP还是目前美国与欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)合作研发的极轨卫星在三个轨道上运行之一(晨昏轨道),这种三轨道提供的卫星云图至少每4小时覆盖地球上的每个点。

换代国防气象卫星技术上的绝对优势尚不清晰。从2010年开始,美国民用和军用气象卫星再次分离,DMSP换代卫星的战略和战术设计细节,再次处于保密状态。但是,从美国军方公开的相关标书、厂家和媒体信息,尤其是在各种学术会议上相关研讨内容上,还是能够初步勾勒出两个系列换代星的主要特点。未来此系列卫星数据是否可以公开并和民用气象卫星用户共享,是一个很大的未知因素。WSF-M是微波星,可不受云层干扰和白天夜间的影响探测,尤其是探测基础气象要素上有较大优势。WSF-M带来的突破性成果,各方聚焦在其在解析SBEM中海表矢量风速的能力和精度上。MWI成像仪的原型测试表现出不俗的降低风速和风向探测不确定性的指标。该技术如果能够实现,并与NOAA的飓风中心等机构的预报技术融合,能大幅度提升热带气旋发生和发展预测能力,能够为航空母舰等海上军事设施活动提供关键情报。

EWS星可直接获取地面直观影像,其技术创新主要集中在高精度云特征数据和战区天气图像两项关键指标上,探测产品的空间分辨率在2 km以内,卫星

重访周期在12 h以内。EWS对云特征数据(包括云覆盖、云顶温度和大气光学厚度)的探测要求分为白天和夜间,而EWS星也将在晨昏轨道运行。这说明美军意在提升黎明和黄昏时明暗之间关键气象要素的探测能力。

卫星研发的主动权在厂商手中。DMSP项目研发,虽然最早是由国家机构承担,但高度商业化的美国很快就将卫星研发交给厂商,美国洛马公司一直以数十年研发DMSP卫星为荣。进入21世纪以来,早期在各国家实验室孕育的很多卫星前端技术,因以军工复合体为代表的企业研发的大量投入,尖端技术已经从联邦实验室转移到厂家,尤其是实力雄厚的大厂商。这一点,在美国军用和民用气象卫星研发承包商分布上,也表现得十分突出。

DMSP换代星占据美军方SEBM重要位置。美国涉及气象卫星等天基观测活动,都被纳入国家天基环境监测(SBEM)能力进行规划和评价,其中军用和民用之间既有交接又有所区别。借助DMSP等项目,美国在过去60年里在全球占据了领先地位。目前的困境是:当前仍在轨道的DMSP气象卫星的估计寿命在2023—2026年,如果换代卫星研发有延迟或目前在轨的卫星业务运行状态发生变化,都有可能造成DMSP气象卫星业务的中断。从长期来看,美国在规划其到2040年的新的SBEM能力。面对国际地缘政治发展态势,美国无疑要借助DMSP后继项目,保持其天基全球环境监测的国际领先地位和具有更大能力服务于美国的全球军事策略和行动。

换代后的DMSP将由美国太空部队管理和运行。在美国太空部队最新的空间感知体系中,包括了下一代头顶持续红外(Next-Generation Overhead Persistent Infrared, OPIR)系统、国防气象卫星系统和持久战术监视和混合架构风险降低的所谓Blackjack技术平台等。而在以国防气象卫星为主要手段的环境监测方面,三个分系统作为支撑: EWS/地球静止(EWS-G1)平台为作战人员提供全球地面云预测和战区天气图像数据,以便及时执行任务、计划和执行; WSF-M为军事行动提供关键和可操作的环境情报;另外,所有国防卫星加装的空间天气传感器瞄准空间态势感知和环境监测(SSAEM)目标,收集电离层和空间天气数据,以预测对通信、导航和监测系统的影响。

核动力卫星等美军用卫星优先试验技术或给DMSP换代星性能带来更多突破。在深空探测中发展

的卫星核动力技术,有快速进入地球卫星观测领域的可能^①,尤其是在国防安全领域。美国国防部就下一代美国国防卫星研发,提出要具有足够的动力以躲避攻击等新的要求。进入21世纪,已经有俄、美、印等多国成功实施了在轨卫星攻击试验。面对这样的新战略能力,美国军方认为,如果关键国防卫星被攻击,美军很难打赢一场战争。如果关键卫星具有核动力,这样的极轨卫星可以在几小时爬升到3.6万km的地球静止轨道或经常变化轨道成为轨道不可预测的卫星,从而有效躲避被打击。卫星增加核动力可能除了具有更好地躲避被打击的优势外,还以目标为导向,通过变轨实现更有效、精准地获取关键和完整的气象信息:例如,通过变轨让卫星跟随航母等,实现频繁在目标头顶观测等。此外,极轨卫星通过动力条件改进,实现更低轨道(轨道高度从800 km降低到400 km左右)以及实现卫星在轨添加推进剂等,都有望全部或部分最先在换代国防气象卫星上试验并带来新的能力提升。

深入阅读

- 张鹏,杨磊,谷松岩,等,2015.晨昏轨道卫星的气象应用需求分析.气象科技进展,5(2):6-12.
- Atlas R, Hoffman R N, Ardizzone J, et al, 2011. A cross-calibrated multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(2): 157-174.
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al, 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999-2049.
- Gail S J, Walter P, Wesley B, et al, 2017. The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for science and society. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(8): 1679-1695.
- Hall R C, 2001. A history of the military polar orbiting meteorological satellite program. Center for the study of national reconnaissance.
- Hou Z Y, Tian H, Wang J S, et al, 2022. Three-dimensional propagation of the Global EUV Wave associated with a solar eruption on 2021 October 28. *The Astrophysical Journal*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.13051>.
- Kidd C, Huffman G, Maggioni V, et al, 2021. The global satellite precipitation constellation: current status and future requirements. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(10): E1844-E1861.
- Menzel W P, Schmit T, Zhang P, et al, 2018. Satellite-based atmospheric infrared sounder development and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(3): 583-603.
- Newell D, Draper D, Remund Q, et al, 2020. Weather Satellite Follow-on-Microwave (WSF-M) Design and Predicted Performance. 20th Symp on Meteorological Observation and Instrumentation. Boston: American Meteorological Society.

(作者单位: 樊奕茜、肖芳、贾朋群, 中国气象局气象与发展规划院; 贾朋群, 中国气象局气象干部培训学院)

^① 例如, 见: Nuclear power in space. *The Economist*, 2022-02-05.