

气象卫星观测系统业务连续性风险评估

关敏^{1,2,3}, 张勇^{1,2,3}, 陈禹炁⁴

1. 国家卫星气象中心 (国家空间天气监测预警中心), 北京 100081;

2. 许健民气象卫星创新中心, 北京 100081;

3. 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 北京 100081;

4. 北京大学 信息科学技术学院, 北京 100871

摘要: 气象卫星观测系统通过集成气象卫星资源实现全球全天候观测, 对天气预报、气候变化、气象防灾减灾等领域至关重要。气象卫星观测系统连续稳定运行对气象卫星数据的有效应用尤为重要, 其业务连续性风险需被及时识别、评估并采取有效措施进行管理。本文结合全球气象卫星观测系统基线, 提出了基于风险评估模型的气象卫星观测系统业务连续性风险评估方法和流程, 并对全球气象卫星综合观测系统业务连续性风险进行了评估。风险评估结果表明, 目前全球已建立相对完善的气象卫星观测系统, 基本满足全球气象卫星综合观测系统基线要求, 但地球静止轨道卫星上的紫外/可见/红外探测仪器、低轨道卫星上的全球导航卫星掩星探测仪、倾斜轨道卫星上的降水测量雷达、微波成像仪等仪器, 以及L1点卫星上的太阳风等离子体、粒子及磁场观测仪器存在业务连续运行风险。最后对中国未来气象卫星业务连续发展提出了建议, 建立中国气象卫星观测要求基线, 填补核心气象要素观测能力空白, 以及构建中国综合气象卫星与商业小卫星协同发展的综合观测体系。

关键词: 气象卫星, 观测系统, 观测系统基线, 业务连续性, 风险评估

中图分类号: TP701/P2

引用格式: 关敏, 张勇, 陈禹炁. 2025. 气象卫星观测系统业务连续性风险评估. 遥感学报, 29(6): 2227-2238

Guan M, Zhang Y and Chen Y C. 2025. Operation continuity risk assessment of global meteorological satellite observation systems. National Remote Sensing Bulletin, 29(6): 2227-2238 [DOI: 10.11834/jrs.20254420]

1 引言

气象卫星综合观测系统是一个集成各种卫星观测资源的综合性系统, 它的发展历程和形成过程是一个逐步完善、不断演进的过程, 它涉及到技术进步、国际合作以及对气象观测需求的深刻理解。随着电子技术、计算机科学、信息技术和遥感技术的进步, 全球气象卫星综合观测系统逐渐形成。这个系统不仅仅局限于单颗卫星的观测, 而是将多个不同轨道、不同功能的卫星组成一个网络, 实现全球范围内的全天候、全方位观测, 它涵盖了不同轨道类型的气象卫星。该系统提供的观测数据在天气预报、气候研究、环境监测以及灾害预警等方面发挥着不可替代的作用。目前,

全球已经构建了成熟稳定的气象卫星综合观测系统的国家和地区主要包括美国、欧洲、中国、日本等(王之卓, 1994; 卢乃锰等, 2016; 唐世浩等, 2016; 孙伟伟等, 2020; 方红亮, 2021; Guan et al, 2024)。

气象卫星综合观测系统的形成和完善离不开气象天基观测的标准化框架和基准, 在世界气象组织(WMO)等机构的推动下, 梳理形成了全球气象卫星综合观测系统基线, 它是确保气象卫星观测活动高效有序进行的基础, 它涉及到了从卫星设计到数据处理与分发的各个环节。在此基线下形成的综合系统, 确保天基观测需求以最佳效益成本比方式得到满足, 更好地为预测天气变化、应对自然灾害以及科学研究提供支持。

收稿日期: 2024-09-20; 预印本: 2025-04-14

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 42275149, 42230109); 国家重点研发计划(编号: 2023YFB3905304); 民用航天“十三五”技术预先研究项目(编号: D040401); 上海航天科技创新基金(编号: SAST2019-044)

第一作者简介: 关敏, 研究方向为风云气象卫星规划及社会经济效益评估。E-mail: guanmin@cma.gov.cn

通信作者简介: 张勇, 研究方向为卫星红外遥感辐射定标理论、方法和应用。E-mail: zhangyong@cma.gov.cn

业务连续性是指在面临各种潜在威胁时，确保关键业务功能不受影响的能力。气象卫星观测数据是天气预报的基础，对于灾害预警尤其关键，它不仅是数值天气预报模型的输入，还为决策者提供实时信息，帮助他们做出及时有效的应对措施。因此，维持气象卫星观测系统业务连续性至关重要。

风险是一旦发生即会对目标产生影响的不确定时间或条件（李素鹏，2012；美国项目管理协会，2023）。风险需要被认识、评估和管理，以减少其可能的负面影响（沈建明，2020）。随着对复杂系统分析能力的日益提高，风险预测成为可能，并且通过采取合适措施可以降低或控制风险（陈志云，2010；王金德，2010；李素鹏，2010）。自卫星科技诞生，高风险就伴随左右。纵观美国、俄罗斯、法国等航天科学技术强国，他们对航天风险管理进行了深入有效的探索，美国国家航空航天局（NASA）和欧洲航天局（ESA）在航天项目的风险管理方面处于世界领先地位。NASA在航天项目风险管理中应用概率风险评价（PRA）方法（NASA，2011，2024），ESA制定了风险评价方法和程序标准（C. Preyssl et al., 1999；M. Belingheri et al., 2000）。航天风险管理在中国也越来越受重视，在很多通信、导航、遥感卫星项目中取得有效成果，通过提前发现风险并采取预防措施，降低风险事件发生的可能性或者后果的严重性，将风险指数降低到一个预先确定的可接受水平（郭宝柱，2014；杨喆，2015；赵霄洋等，2020；张东等，2021）。气象卫星这样的大型复杂系统，风险管理尤为关键。气象卫星协调组织（CGMS）设置专门的业务连续性和应急计划工作组，处理气象卫星观测数据服务不连续的风险，并制定措施减轻这种风险（CGMS，2015）。

气象卫星观测系统保持业务连续的重要性不

言而喻，为确保气象卫星持续稳定运行，并满足气象监测和预报的需求，必须对其连续运行风险进行有效管理。通过分析在轨卫星和已批复的发展规划来分析和预测未来气象卫星观测系统的业务连续性具有重要的指导意义。本文通过建立气象卫星业务连续性风险评估模型，提出了一套完整的气象卫星业务连续性风险评估方法和评估流程，并应用于全球气象卫星观测系统业务连续性评估和分析。

2 全球气象卫星综合观测系统基线

全球气象卫星综合观测系统的“基线”是指确保全球气象卫星观测系统能够持续提供基本的、关键的气象数据的一个特定的观测能力标准或最小必要的观测配置。观测系统基线的特点主要包括：（1）稳定性和可靠性：观测系统基线必须具备高度的稳定性和可靠性，以确保数据的连续性和质量；（2）标准化：观测系统基线中的载荷和数据处理流程需要遵循一定的标准，以便不同平台之间的数据可以互操作和比较；（3）覆盖范围：观测系统基线需要覆盖全球，确保没有观测盲区；（4）数据质量：观测系统基线提供的数据必须满足一定的质量标准，这对于保证气象预报的准确性至关重要。

WMO全球综合观测系统（WIGOS）2040年愿景中规划了全球气象卫星综合观测系统。这是一个包括布局明确的业务骨干卫星系统、开放包容的业务骨干卫星观测支撑系统、业务开拓和科学技术示范系统以及其他补充观测系统的4层架构综合观测系统，其中布局明确的业务骨干卫星系统就是全球气象卫星综合观测系统基线。该基线有明确的全球卫星轨道布局和仪器配置要求，世界各国须确保优先按此基线规划其气象卫星及仪器配置。基线要求如表1所示（WMO，2019）。

表1 全球气象卫星综合观测系统基线
Table 1 Backbone system with specified orbital configuration and measurement approaches

仪器配置		观测目标
地球静止轨道 (以下简称GEO轨道)上 至少5颗卫星组成 核心星群	可见光红外成像仪	测量云量、云型、云顶高度/温度, 风, 海表/地表温度, 降水, 气溶胶, 积雪, 植被覆盖率, 反照率, 大气稳定性, 火, 火山灰, 沙尘暴, 对流初生
	红外高光谱垂直探测仪	测量大气温度、湿度, 风, 快速发展的中尺度特征, 海表/地表温度, 云量和云顶高度/温度, 大气成分(气溶胶、臭氧、温室气体、痕量气体)
	闪电成像仪	总闪电、对流初生和强度、对流系统生命周期、NO _x 的产生
	紫外/可见/近红外探测仪	测量臭氧、痕量气体、气溶胶、湿度、云顶高度

		续表
仪器配置		观测目标
太阳同步轨道 (以下简称LEO轨道) 上,分布在3个轨道面 (上午、下午、晨昏)上的 卫星组成太阳同步 核心星群	红外高光谱垂直探测仪	测量大气温度和湿度,海表/地表温度,云量、含水量和云顶高度/温度, 降水,大气成分(气溶胶、臭氧、温室气体、痕量气体)
	微波垂直探测仪	
	可见光红外成像仪	测量云量、云型、云顶高度/温度,风,海表/地表温度,降水,气溶胶,积雪, 植被覆盖率,反照率,大气稳定性,火,火山灰,沙尘暴,对流初生
	微波成像仪	观测海冰,总柱水汽,水汽廓线,降水,海面风速和风向,云液态水, 海表/地表温度,土壤水分,陆地雪
	散射计	测量海面风速和风向,表面应力,海冰,土壤水分,积雪范围和雪水当量
在低轨道卫星上	雷达高度计	洋面地形,海浪高度,湖泊水位,海冰和陆地冰特征
	红外双视角成像仪	海面温度,气溶胶,云的特性
	微波表面温度成像仪	海面温度(全天候)
	低频微波成像仪	土壤水分,海洋盐度,海面风,海冰厚度,积雪
	微波平流层上部和中间层探测仪	平流层和中间层的大气温度廓线
	紫外/可见/近红外探测仪(天底、临边)	大气成分(臭氧、气溶胶、痕量气体)
	降水雷达和云雷达	降水,云相,云顶高度,云粒分布和云量及廓线,气溶胶,沙尘,火山灰
	倾斜轨道微波探测仪和成像仪	水汽柱总量,降水,海面风速和风向,云液态水,海表/地表温度,土壤水分
	宽带辐射计和总太阳辐照度及 太阳光谱辐照度辐射计	宽带辐射通量,地球辐射收支,太阳总辐照度,太阳光谱辐照度
	全球导航卫星系统(GNSS)无线电掩星	大气温度和湿度,电离层电子密度,天顶电离层总电子含量,总可降水量
	窄带或高光谱成像仪	海色,植被,气溶胶特性,云特性,反照率
	高分辨率多光谱可见光/红外成像仪	土地利用、植被,洪水,滑坡监测,浮冰分布,海冰范围/密度, 积雪范围和特性,多年冻土
	合成孔径雷达(SAR)和高度计	海况、海面高度,海冰运动,海冰类别,浮冰几何形状,冰盖, 土壤水分,洪水,多年冻土
	重力测量任务	地下水,海洋学,冰和雪质量
空间天气卫星	日地拉格朗日L1点(以下简称L1点) 上的太阳风、原位等离子体和高能粒 子和磁场探测仪器	粒子通量、能量谱和磁场(辐射风暴、地磁风暴)
	L1点上的太阳日冕仪和无线电光谱计	太阳成像和无线电波谱(探测日冕物质抛射和太阳活动监测)
	GEO和LEO轨道上的原位等离子体探 测器、高能粒子探测器和磁强计	GEO轨道上的磁场,高能粒子通量和能量谱; 地磁场(辐射风暴、地磁风暴)
	GEO轨道上的X-射线光谱计	太阳X-射线通量(太阳耀斑)

3 气象卫星业务连续性风险评估方法

气象卫星观测系统业务连续性风险评估是一项至关重要的工作，它不仅有助于维护气象卫星观测服务的质量和可用性，还能确保在面对不确定性和挑战时能够提供准确、及时的信息。气象卫星业务连续性风险评估的主要目的包括：（1）识别潜在风险：通过全面的风险评估，识别出可能影响气象卫星业务连续性的各种潜在风险，包括

技术故障、自然灾害、人为失误等；（2）量化风险影响：对识别出的风险进行量化分析，评估其发生的可能性和对业务连续性造成的影响程度，为制定应对措施提供依据；（3）制定应对策略：基于风险评估结果，制定针对性的应对策略和预案，确保在风险发生时能够迅速响应，减少损失；（4）优化资源配置：根据风险评估结果，优化资源配置，确保关键业务和系统的稳定运行，提高整体业务连续性水平。开展系统全面的气象卫星

业务连续性风险评估, 对于保障气象卫星观测服务的连续性、提升防灾减灾预警能力、促进气象卫星事业高质量发展等方面具有重要意义。

根据WMO全球气象卫星综合观测系统基线要求, 本研究提出了一套气象卫星业务连续性风险评估方法, 建立了风险评估模型, 梳理并明确了风险评估流程, 通过评估气象卫星业务连续性风险, 提前识别风险, 尽早采取措施, 可保证气象卫星观测系统连续稳健运行, 满足气象观测业务的需求。

3.1 风险评估模型

根据配置某种遥感仪器的卫星发射时间、设计寿命, 及其后续计划, 以及该卫星运行的轨道, 建立该仪器业务连续运行风险评估模型如下:

$$a_{k,i,j} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, a 表示某类遥感仪器, k 表示轨道类型, i 表示遥感仪器在轨的年份, j 表示配置该类遥感仪器的卫星。

用 S_{kj} 表示某种轨道上某年该类仪器在轨数量, 则:

$$S_{kj} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (j = [1, m]) \quad (2)$$

用 R_j 表示风险因子, 则,

(1) 当 k 为静止轨道时, 在全球观测系统中该类仪器在轨连续性风险因子为

$$R_j = \begin{cases} 0, S_j \geq 5 & \rightarrow \text{无风险} \\ 1, 4 \geq S_j \geq 3 & \rightarrow \text{中低风险} \\ 2, 2 \geq S_j \geq 1 & \rightarrow \text{中高风险} \\ 3, S_j = 0 & \rightarrow \text{高风险} \end{cases}$$

对于非全球观测系统, 风险因子根据实际要求定义。

(2) 当 k 为极地轨道或者其他轨道时, 该类仪器在轨连续性风险因子为

$$R_j = \begin{cases} 0, S_j \geq 3 & \rightarrow \text{无风险} \\ 1, S_j = 2 & \rightarrow \text{中低风险} \\ 2, S_j = 1 & \rightarrow \text{中高风险} \\ 3, S_j = 0 & \rightarrow \text{高风险} \end{cases}$$

3.2 风险评估流程

开展卫星业务连续性风险评估的基本流程如图1所示。首先明确待评估卫星及其配置仪器在轨情况和未来计划, 按照仪器类型带入风险评估模型, 根据业务连续运行基线要求, 开展风险评估, 识别出连续性风险。

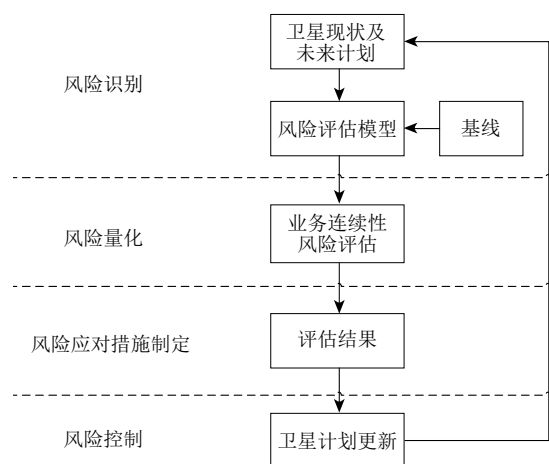


图1 卫星业务连续性风险评估流程

Fig. 1 Satellite operation continuity risk assessment process

4 业务连续性风险评估实例

基于气象卫星业务连续运行风险评估模型, 根据WMO全球气象卫星综合观测系统基线要求, 采用业务连续性评估流程和方法, 对目前在轨气象卫星及配置遥感仪器业务连续运行开展风险评估。

需要说明的是: 风险评估主要针对目前公开的全球民用业务气象卫星和空间天气卫星, 不完全涵盖所有非主要气象用途的陆地、环境、海洋等卫星和科学试验卫星, 不包含商业卫星。风险评估只针对业务运行连续性, 没有对观测数据质量和可用性进行分析。评估基于卫星发射日期或计划发射日期及设计寿命, 计划发射日期、卫星设计及在轨寿命存在不确定性。

4.1 全球静止轨道气象卫星观测系统

首先统计分析目前全球在轨静止轨道气象卫星观测系统及未来计划, 结果如下表2所示。

表2 全球静止轨道气象卫星观测系统

Table 2 Global geostationary orbit meteorological satellite observation system

国家及地区	卫星	位置	发射时间	运行状态	主要遥感仪器
美国	GOES-14	105°W	2009-06-27	在轨备份	
	GOES-16	75.2°W	2016-11-19	业务运行	先进基线成像仪(ABI)
	GOES-17	137.2°W	2018-03-01	在轨备份	极紫外与X射线辐照度探测器(EXIS)
	GOES-18	137.0°W	2022-03-01	业务运行	地球同步闪电测绘仪(GLM)
	GOES-U	89.5°W	2024-06-25	在轨测试	太阳紫外成像仪(SUVI)
					空间环境原位测量装置(SEISS)
					空间环境监测器/磁强计(SEM/MAG)
					紧凑型日冕仪(CCOR)(只在GOES-U上)
欧洲	GeoXO East		2033 年	计划	GeoXO 成像仪(GXI)
	GeoXO West		2035 年	计划	GeoXO 闪电成像仪(LMX)
	GeoXO Central		2035 年	计划	GeoXO 海洋水色仪器(OCX)
					GeoXO 探测仪(GXS)
	Meteosat-9(IODC)	45.5°E	2005-12-22	业务运行	GeoXO 大气成分仪器(ACX)
	Meteosat-10	0.0°	2012-07-05	业务运行	自旋增强可见光红外成像仪(SEVIRI)
	Meteosat-11	9.5°E	2015-07-15	业务运行	地球同步辐射收支仪器(GERB)
	MTG-I1	0.0°	2022-12-13	在轨测试	
中国	MTG-I2		2026 年	计划	灵活组合成像仪(FCI)
	MTG-I3		2032 年	计划	闪电成像仪(LI)
	MTG-I4		2036 年	计划	
	MTG-S1		2025 年	计划	红外探测仪(IRS)
	MTG-S2		2035 年	计划	紫外可见近红外探测仪(Sentinel-4/UVN)
	FY-2G	99.5°E	2014-12-31	业务运行	辐射监测仪(RMU)
	FY-2H	79°E	2018-06-05	业务运行	扫描辐射计(VISSR)
	FY-4A	86.5°E	2016-12-11	降级运行	空间环境监测器(SEM)
日本	FY-4B	105°E	2021-06-03	业务运行	先进的静止轨道辐射成像仪(AGRI)
	FY-4C		2025 年	计划	干涉式大气垂直探测仪(GIIRS)
					闪电成像仪(LMI)
					空间环境监测仪器(SEP)
					快速成像仪(GHI)(只在FY-4B上)
	Himawari-8	140.7°E	2014-10-07	在轨备份	
	Himawari-9	140.7°E	2016-11-02	业务运行	先进 Himawari 成像仪(AHI)
	Himawari-10		2029 年	计划	地球同步 Himawari 成像仪(GHMI)
韩国	GEO-KOMPSAT-2A	128.2°E	2018-12-04	业务运行	地球同步 Himawari 探测仪(GHMS)
					空间天气辐射监测仪(RMS)
	GEO-KOMPSAT-2B	128.2°E	2020-02-18	业务运行	先进气象成像仪(AMI)
	GEO-KOMPSAT-2B	128.2°E	2020-02-18	业务运行	韩国空间天气监测仪器(KSEM)
					地球同步海洋水色成像仪(GOCI-II)
					地球同步环境监测光谱仪(GEMS)
	INSAT-3D	82°E	2013-07-25	业务运行	
	INSAT-3DR	74°E	2016-09-08	业务运行	INSAT 成像仪(IMAGER)
俄罗斯	INSAT-3DS		2024-02-17	在轨测试	INSAT 探测仪(SOUNDER)
	Electro-L N2	14.5°W	2015-12-15	业务运行	
	Electro-L N3	76°E	2019-12-24	业务运行	
	Electro-L N4	165.8°E	2023-02-05	业务运行	成像仪(MSU-GS)
	Electro-L N5		2025 年	计划	太阳地球物理监测仪器组(GGAK-VE)
	Electro-L N6		2029 年	计划	
	Electro-L N7		2033 年	计划	
	Electro-M N1-1		>2031 年	计划	MSU-GSM, IKFS-GS, 闪电探测仪, 辐射平衡辐射计,
	Electro-M N1-2		>2032 年	计划	太阳地球物理监测仪器

注：数据统计截至2024年9月。

根据 WMO WIGOS 2040 远景规划中对静止轨道气象卫星仪器配置的基线要求，按照不同仪器类型，把仪器 2024 年至 2035 年在轨情况代入风险评估模型，得到评估结果如表 3 所示。

表 3 全球静止轨道气象卫星观测系统业务连续性风险
Table 3 Operational continuity risks of the global geostationary meteorological satellite observation system

遥感仪器	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2029 年	2030 年	2031 年	2032 年	2033 年	2034 年	2035 年
可见光近红外成像仪	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5
红外高光谱垂直探测仪	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	≥5
闪电观测仪	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5
紫外/可见/近红外探测仪	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4

注：■ 无风险 ■ 中低风险 ■ 中高风险。

从评估分析结果可见，静止轨道气象卫星上的紫外/可见/近红外探测仪业务运行连续性存在一定风险。目前，利用紫外/可见光波段监测大气环境的仪器在地球同步静止轨道上非常有限，只有韩国卫星 GEO-KOMPSAT-2B 卫星上的 GEMS，计划中的欧洲 MTG-S 系列上的 Sentinel-4/UVN 以及美国 GeoXO Central 卫星上的 ACX。从区域上来说，在亚洲区域中国和日本静止轨道气象卫星后续计

划都没有该仪器，而随着 GEO-KOMPSAT-2B 卫星在轨运行接近或达到设计寿命，亚洲地区赤道上空该类仪器连续运行的风险将持续增高。

4.2 全球极轨气象卫星观测系统

统计目前全球在轨和未来计划的太阳同步极地轨道气象卫星及其遥感仪器配置，交点地方时为晨昏、上午、下午的 3 条极地轨道气象卫星及仪器情况如表 4 所示。

表 4 全球极轨气象卫星观测系统
Table 4 Global polar orbit meteorological satellite observation system

国家及地区	卫星	交点地方时	发射时间	状态	主要遥感仪器
美国	NOAA-15	19:23	1998-05-13	业务运行	AMSU-A, AMSU-B, AVHRR/3, HIRS/3, SEM
	NOAA-18	22:39 (2024-02-14)	2005-05-20	业务运行	先进微波探测仪(AMSU-A) 先进的甚高分辨率辐射计 3(AVHRR/3) 高分辨率红外探测仪(HIRS/4)
	NOAA-19	21:08 (2024-02-15)	2009-02-06	业务运行	微波湿度计(MHS) 太阳后向散射紫外谱仪(SBUV/2) 空间环境监测仪(SEM)
	SNPP	13:25	2011-10-28	业务运行	可见光红外成像辐射仪(VIIRS)
	NOAA-20 (原 JPSS-1)	13:25	2017-11-18	业务运行	先进技术微波探测仪(ATMS) 跨轨红外探测仪(CrIS)
	NOAA-21 (原 JPSS-2)	13:25	2022-11-10	业务运行	云和地球辐射能量系统(CERES) 臭氧测绘和廓线探测套件(OMPS)
	JPSS-3	13:30	2032 年	计划	VIIRS, ATMS, CrIS, OMPS-N, RB
欧洲	JPSS-4	13:30	2027 年	计划	VIIRS, ATMS, CrIS, OMPS, Libera
	Metop-B	9:31	2012-09-17	业务运行	微波探测仪(AMSU-A) 散射计(ASCAT) 甚高分辨率辐射计 3(AVHRR/3) 全球臭氧监测仪 2(GOME-2)
	Metop-C	9:31	2018-11-07	业务运行	全球导航卫星大气探测信号接收器(GRAS) 红外大气探测干涉仪(IASI) 微波湿度计(MHS) 空间环境监测器(SEM) 高分辨率红外辐射计(HIRS/4)(仅在 Metop-B 上)
	Metop-SG-A1	9:30	2025 年	计划	多视角多通道多极化成像仪(3MI)
	Metop-SG-A2	9:30	2031 年	计划	新一代红外大气探测干涉仪(IASI-NG)
	Metop-SG-A3	9:30		计划	可见光红外成像仪(METImage) 微波探测仪(MWS)
					无线电掩星探测仪(RO) 紫外可见近红外探测仪(Sentinel-5/UVNS)

						续表
国家及地区	卫星	交点地方时	发射时间	状态	主要遥感仪器	
中国	Metop-SG-B1	9:30	2026年	计划	冰云成像仪(ICI)	
	Metop-SG-B2	9:30	2033年	计划	微波成像仪(MWI)	
	Metop-SG-B3	9:30		计划	散射计(SCA)	
					RO	
	Sentinel-2A	10:30	2015-06-23	在轨运行	多光谱成像仪(MSI)	
	Sentinel-2B	10:30	2017-03-07	在轨运行		
	Sentinel-2C		2024年	计划		
	Sentinel-2D			计划		
	Sentinel-3A	10:00	2016-02-16	正常运行	微波辐射计(MWR)	
	Sentinel-3B	10:00	2018-04-25	正常运行	海洋和陆地颜色成像仪(OLCI)	
	Sentinel-3C		2026年	计划	海表和陆表温度辐射计(SLSTR)	
	Sentinel-3D			计划	合成孔径雷达高度计(SRAL)	
					中分辨率光谱成像仪(MERSI)	
					微波成像仪(MWRI)	
					微波温度计(MWTS)	
					微波湿度计(MWHS)	
中国	FY-3D	14:00	2017-11-15	业务运行	全球导航卫星掩星探测仪(GNOS)	
					空间环境监测仪(SEM)	
					红外高光谱大气探测仪(HIRAS)	
					温室气体监测仪(GAS)	
					广角极光成像仪(WAI)	
中国					电离层光度计(IPM)	
					MERSI-LL,HIRAS,MWTS,MWHS,GNOS,SIM,SEM,	
					太阳辐射监测仪(SIM)	
	FY-3E	5:30	2021-07-05	业务运行	太阳辐照度光谱仪(SSIM)	
					多角度电离层光度计(Tri-IPM)	
中国					风场测量雷达(WindRAD)	
					太阳X射线极紫外成像仪(XEUVI)	
					MERSI,HIRAS,MWRI,MWTS,MWHS,SIM,	
					ERM,GNOS,	
	FY-3F	10:00	2023-08-03	业务测试	地球辐射探测仪(ERM)	
中国					紫外高光谱臭氧探测仪—临边(OMS-limb)	
					紫外高光谱臭氧探测仪—天底(OMS-Nadir)	
	FY-3H	14:00	2025年	计划	MERSI,MWTS,MWHS,MWRI,GNOS,HIRAS,	
					GAS,WAI,IPM	
日本	GCOM-W	13:30	2012-05-17	在轨运行	先进微波扫描辐射计2(AMSR2)	
	GOSAT	13:00	2009-01-23	在轨运行	热红外和近红外传感器(TANSO-CAI)	
					傅里叶变换光谱仪(TANSO-FTS)	
	GOSAT-2	13:00	2018-10-29	在轨运行	TANSO-CAI/2,TANSO-FTS/2	
日本	GOSAT-GW		2024年	计划	TANSO-3,AMSR3	
	OceanSat-3	12:00	2022-11-26	业务运行	海洋水色监测仪(OCM-3),散射计(SCAT-3)	
	OceanSat-3A		2025年	计划	海洋水色监测仪(OCM-3),散射计(SCAT-3),SSTM-1,	
印度					毫米波大气温湿度探测仪(MATHS)	
	Meteor-M N2-2	15:00	2019-07-05	业务运行	可见光红外成像辐射计(MSU-MR)	
	Meteor-M N2-3	9:30	2023-06-27	业务运行	成像/探测微波辐射计(MTVZA-GY)	
	Meteor-M N2-4	15:00	2024-02-29	在轨测试	红外傅里叶光谱仪-2(IKFS-2)	
	Meteor-M N2-5		2025年	计划	高分辨率可见光红外辐射计(KMSS)	
俄罗斯					太阳地球物理探测仪器组(GGAK-M)	
	Meteor-M N2-6		2025年	计划	合成孔径雷达(MeteoSAR)	

注：数据统计截至2024年9月。

按照全球气象卫星综合观测系统基线中对分布在上、下午、晨昏3个太阳同步轨道上的极轨核心星群及其配置仪器的要求，将不同仪器带入风险评估模型，得到评估结果如表5所示。

表5 全球极轨气象卫星核心星群观测系统业务连续性风险
Table 5 Operational continuity risks of the global polar orbit meteorological satellite observation system

遥感仪器	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年
红外高光谱垂直探测仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
微波垂直探测仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
可见光红外成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
微波成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	1	1
散射计	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2

注：■ 无风险 ■ 中低风险 ■ 中高风险。

通过风险评估，识别出全球极轨气象卫星核心星群观测系统存在以下业务连续性运行风险：

(1) 微波成像仪存在远期业务连续性中高风险。太阳同步上午轨道上的微波成像仪配置在欧洲 Metop-SG B 系列卫星和俄罗斯 Meteor-M N2 系列卫星上，按照目前计划，到 2034 年只有 Metop-SG B2 星在轨，存在轻微连续性风险。由于目前在太阳同步下午轨道上，未来只有中国 FY-3H 卫星和日本 GOSAT-GW 卫星上计划配置微波成像仪，而这两颗卫星设计寿命均运行到 2032 年，因此在

该轨道上微波成像仪存在远期连续性风险。

(2) 散射计存在业务连续性轻微风险。FY-3 系列卫星的散射计在太阳同步晨昏轨道上连续运行至 2035 年，Metop 系列卫星在太阳同步上午轨道上持续运行 15 年以上，但是在太阳同步下午轨道上，由于印度 OceanSat-3A 在轨计划运行到 2032 年，散射计在 2032 年之后存在运行连续性风险。

4.3 其他低轨道卫星观测系统

其他低轨道气象卫星及仪器配置如表6所示。

表6 其他低轨道主要气象卫星及遥感仪器
Table 6 Other major low-orbit meteorological satellites and remote sensing instruments

国家及地区	卫星	轨道	发射时间	状态	主要遥感仪器
美国	COSMIC-2	倾斜轨道	2019-06-25	业务运行	全球导航卫星无线电掩星系统(TGRS)
欧洲	Jason-3	倾斜轨道 66°	2016-01-17	正常运行	雷达高度计(Poseidon-3B) 微波辐射计(AMR)
	Sentinel-6	倾斜轨道 66°	2020-11-21	正常运行	雷达高度计(Poseidon-4) 微波辐射计(AMR-C) 全球导航卫星掩星探测仪(GNSS-RO)
中国	FY-3G	倾斜轨道 50°	2023-04-16	业务运行	降水测量雷达(PMR) 微波成像仪—降水型(MWRI-RM) 中分辨率光谱成像仪—降水型(MERSI-RM) 全球导航卫星掩星探测仪(GNOS)
日本	GPM Core	倾斜轨道	2014-02-27	在轨运行	双频降水测量雷达(DPR) GPM微波成像仪(GMI)

注：数据统计截至2024年9月。

其他低轨道气象卫星上遥感仪器按基线要求，进行运行连续性风险评估，得到结果如表7所示。

识别出其他低轨气象卫星观测系统业务连续性风险如下：

(1) 近红外探测仪器存在业务连续性中等风险。开展二氧化碳等大气成分监测的近红外探测仪器主要在太阳同步下午轨道卫星上。由于FY-3H 星和 GOSAT-GW 星的设计寿命都到 2032 年前

后，暂无明确的后续计划，所以该仪器在 2032 年后面临连续运行风险。

(2) 降水测量雷达存在远期业务连续性高风险。目前只有倾斜轨道上的日本 GPM Core 卫星、中国 FY-3G 卫星配置了降水测量雷达，虽然FY-3G 的后续任务上仍计划配置该仪器，运行至 2033 年左右，而由于 GPM 后续任务尚不明确，因此在 2033 年以后降水测量雷达将存在连续运行风险。

表7 其他低轨气象卫星观测系统业务连续性风险

Table 7 Operational continuity risks of other low orbit meteorological satellite observation system

遥感仪器	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年
雷达高度计	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
多视角成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
紫外/可见光探测仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
近红外探测仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	1	1
降水测量雷达	2	2	≥3	2	2	2	1	1	1	0	0	0
倾斜轨道微波辐射计/成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	1	1	1	0	0
宽带辐射计和太阳辐射计	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	2	2
GNSS无线电掩星探测仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2
倾斜轨道GNSS无线电掩星	≥3	≥3	≥3	≥3	2	1	1	1	1	1	0	0
高分辨率可见红外成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	0	0
合成孔径雷达	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	0	0
其他仪器	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3

注：■ 无风险 ■ 中低风险 ■ 中高风险 ■ 高风险。

(3) 倾斜轨道上的微波辐射计和成像仪存在远期业务连续性高风险。配置微波辐射计的倾斜轨道卫星有 Jason-3 和 Sentinel-6，配置微波成像仪的倾斜轨道卫星有 FY-3G 和 GPM Core，这些卫星最长计划运行到 2033 年，此后倾斜轨道上无此类仪器的计划。

(4) 全球导航卫星系统无线电掩星探测仪存在业务连续性高风险。目前在太阳同步轨道上无线电掩星探测数据数量不足，这个风险将持续到 2025 年 Metop-SG-A1 卫星发射后才能得以缓解。在低倾角卫星轨道上，目前只有美国的 COSMIC-2 卫星星座具有无线电掩星探测能力，但是 COSMIC-2 卫星于 2019 年 6 月发射，后续计划尚不明确，所以在 COSMIC-2 卫星退役后，如果没有后续卫星接续，低纬度地区的无线电掩星探测数据将显著减少，业务连续性面临风险。

(5) 高分辨率可见红外成像仪存在业务连续

性远期高风险。目前高分辨率可见红外成像仪只在欧洲 Sentinel-2 系列卫星和俄罗斯 Meteor-M N2 系列卫星上有配置，而 Sentinel-2C 计划于 2024 年发射，Meteor-M N2-6 计划 2025 年发射，后续计划还未明确，该仪器在 2033 年后将出现连续运行高风险。

(6) 合成孔径雷达存在业务连续性远期高风险。合成孔径雷达配置在俄罗斯 Meteor-M N2 系列卫星上，此系列最后一颗卫星计划于 2025 年发射，该仪器在 2033 年之后将出现连续运行高风险。

4.4 全球空间天气卫星观测系统

全球主要静止轨道和极地轨道气象卫星上基本都有配置空间天气仪器，美国和欧洲航天局一直致力于发展太空环境监测科学卫星，配置专门观测太阳及空间环境的仪器。统计情况如表 8 所示。

表8 主要空间天气卫星及遥感仪器配置

Table 8 Major space weather satellites and remote sensing instrument configurations

国家及地区	卫星	轨道	发射时间	状态	主要遥感仪器
美国	DSCOVR	L1 点	2015-02-11	在轨运行	NIST 高级辐射计(NISTAR) 地球多色成像相机(EPIC) 磁强计(MAG) 电子光谱仪(ES) 法拉第杯(FC)
	SWFO	L1 点	2025 年	计划	紧凑型日冕仪(CCOR) 磁强计(SWIS/MAG) 超热离子传感器(SWIS/STIS) 太阳风等离子体传感器(SWIS/SWiPS)

						续表
国家及地区	卫星	轨道	发射时间	状态	主要遥感仪器	
欧洲	Vigil	L5点	2031年	计划	光球层磁像仪	
					日面成像仪	
					紧凑型日冕仪	
					等离子体分析仪	
					磁强计	
					极紫外成像仪	
印度	Aditya-L1	L1点	2023-09-02	在轨运行	日冕仪	
					太阳紫外成像望远镜	
					太阳低能X射线光谱仪(SoLEXS)	
					L1轨道高能X射线光谱仪(HELIOS)	
					太阳风粒子实验(ASPEX)	
					离子体分析仪(PAPA)	
					磁强计	

注：数据统计截至2024年9月。

对照全球气象卫星综合观测系统基线中对空间天气仪器的配置要求，将目前在轨和计划的各类空间天气仪器带入风险评估模型，得到风险评估结果如下表9所示。识别出如下风险：

表9 全球空间天气卫星观测系统业务连续性风险

Table 9 Operational continuity risks of the global space weather satellite observation system

遥感仪器	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年
L1点等离子体分析仪	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	2	2	2	2	1	0
L1点粒子	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	2	2	2	2	1	0
L1点磁场	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2	2	2	2	2	1	0
日冕仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	1
太阳极紫外成像仪	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
空间粒子探测器	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
地球磁场观测仪器	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	2	2
太阳X射线观测仪器	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3

注：■ 无风险 ■ 中低风险 ■ 中高风险 ■ 高风险。

等离子体、粒子和磁场在L1点的观测存在长期业务连续性高风险。

5 结 语

地球静止轨道上缺少气象卫星可能导致观测空白，极地轨道或低轨道上缺少一颗卫星可能只会降低系统性能。目前全球已建立相对完善的气象卫星观测系统，基本满足WMO 2040年远景规划中的业务骨干卫星系统要求。但是全球静止轨道上的紫外/可见/红外探测仪只在韩国静止气象卫星和未来欧洲计划的MTG系列卫星上，不能满足静止轨道5颗卫星组成核心星群仪器的基线要求。全球低轨道卫星上仪器连续运行的最大风险来自于全球导航卫星掩星探测仪。由于美国COSMIC-2星座后续计划尚不明确，低纬度地区掩星探测将在COSMIC-2寿命末期出现中断风险。全球倾斜轨道

上的降水测量卫星，在日本GPM Core和中国FY-3G卫星及其接续任务之后没有明确后续计划，因此降水测量雷达、微波成像仪等仪器都存在远期连续运行高风险。全球空间天气观测系统的连续运行最大风险在L1点的太阳风等离子体、粒子及磁场观测。

中国已初步建成了地球静止轨道和极轨3条轨道（晨昏、上午和下午）加倾斜轨道的气象卫星观测系统（Guan等，2024）。参照WMO全球业务骨干卫星系统基线要求，连续运行还存在一定风险。在静止轨道上，中国缺少用于大气环境监测的紫外/可见/红外仪器，而其他气象观测仪器及空间天气监测仪器将在FY-4B达到设计寿命后仅在FY-4C单颗卫星上，存在一定风险；3条极地轨道和倾斜轨道降水卫星上，仅在上午星上配置的地

球辐射监测仪和紫外高光谱臭氧探测仪、仅在下午星上配置的近红外高光谱温室气体监测仪、以及降水星上的降水测量雷达、微波成像仪和掩星探测仪，会随着目前在轨卫星接近寿命末期出现连续运行风险，后续接续卫星及载荷配置计划应尽快确定。

通过对全球气象卫星观测系统业务连续性风险评估，对中国风云气象卫星未来发展得到以下启示：

(1) 建立中国气象卫星观测要求基线。根据气象和空间天气业务及研究对观测要素的需求，建立中国气象卫星观测系统基线要求，并滚动更新，指导中国气象卫星及仪器配置规划。

(2) 填补核心气象要素观测能力空白。目前我国静止轨道气象卫星缺少大气成分的观测能力，低轨气象卫星缺少三维风场、云等观测要素，空间天气缺少在L1点的观测。未来气象卫星可考虑配置相应仪器，如静止轨道紫外/可见/近红外探测仪，极地轨道散射计、测风雷达、云雷达来填补这些观测要素空白，并考虑发展L1点的空间天气观测能力。

(3) 构建综合气象卫星与商业小卫星协同发展的综合观测体系。尤其在全球导航卫星无线电掩星探测、微波探测等方面，发展专用小卫星星座，补足目前无线电掩星观测数量的不足，构建小卫星与综合大卫星平台协同观测的空间混合架构。随着商业航天的迅猛发展，形成民商统筹、搭载建设，统筹集约发展，与民商卫星互为补充、共同服务，实现社会经济效益最大化。

参考文献(References)

Chen Z Y. 2010. Interpretation of the basical terms about risk management. *China Quality Certification*, (10): 33-34 (陈志云. 2010. 风险管理基本术语解读. 认证技术, (10): 33-34)

Preyssl C, Atkins R and Deak T. 1999. Risk Management at ESA. *Bulletin 97*. <https://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet97/preyssl.pdf>[2024-09-20]

Fang H L. 2021 Retrieval of land surface parameters from geostationary satellite data: An overview of recent developments. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1):109-125 (方红亮. 2021. 基于地球静止气象卫星的地表参数遥感研究进展. 遥感学报, 25(1): 109-125) [DOI: 10.11834/jrs.20210194]

Guan M, Wang J S, Zhao X G, Qin D Y, Fan C Q, Xian D and Liu C. 2024. Progress and achievements of Fengyun meteorological sat-

ellite program since 2022. *Chinese Journal of Space Science*, 44 (4): 712-721 [DOI: 10.11728/cjss2024.04.2024-yg21]

Guo B Z. 2014. Space project risk management-proactive identification and control of risk to an acceptable level. *Spacecraft Engineering*, 23(4): 1-4 (郭宝柱. 2014. 航天项目风险管理——预先识别与控制风险到可接受程度. 航天器工程, 23(4): 1-4) [DOI: 10.3969/j.issn.1673-8748.2014.04.001]

Li S P. 2010. Risk management carries out in the enterprises. *China Quality Certification*, (10): 38-39 (李素鹏. 2010. 风险管理在企业的实践. 认证技术, (10): 38-39)

Li S P. 2012. Complete Explanation of ISO Risk Management Standards. Beijing: Posts and Telecom Press (李素鹏. 2012. ISO风险管理标准全解. 北京: 人民邮电出版社)

Lu N M and Gu S Y. Review and prospect on the development of meteorological satellites. *Journal of remote sensing (in Chinese)*, 2016, 20(5): 832-841 (卢乃锰, 谷松岩. 气象卫星发展回顾与展望. 遥感学报, 2016, 20(5): 832-841) [DOI: 10.11834/jrs.20166194]

Belingeri M, von Eckardstein D, Tosellini R. 2000. Programmatic Risk Management in Space Projects. *Bulletin103*. <https://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet103/belingeri103.pdf>[2024-09-20]

NASA. 2011. NASA Risk Management Handbook[EB/OL]. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120000033/downloads/20120000033.pdf> [2024-09-20]

NASA. 2024. NASA Risk Management Handbook: Version 2.0, Part1. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240014019/downloads/NASA_RM_Handbook_v2%20Part1_Publication_2-3-2025.pdf[2024-09-20]

Project Management Institute. 2023. The Standard for Risk Management in Portfolios, Programs, and Projects. Beijing: Publishing House of Electronics Industry (美国项目管理协会. 2023. 项目组合、项目集和项目风险管理标准. 北京: 电子工业出版社)

Shen J M. 2020. Project Risk Management. 3rd ed. Beijing: China Machine Press (沈建明. 2020. 项目风险管理. 3版. 北京: 机械工业出版社)

Sun W W, Yang G, Chen C, Chang M H, Huang K, Meng X Z and Liu L Y. 2020. Development status and literature analysis of China's earth observation remote sensing satellites. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*. 24(5): 479-510 (孙伟伟, 杨刚, 陈超, 常明会, 黄可, 孟祥珍, 刘良云. 2020. 中国地球观测遥感卫星发展现状及文献分析. 遥感学报, 24(5): 479-510) [DOI: 10.11834/jrs.20209464]

CGMS. Working group III (WG III): operational continuity and contingency planning. [2024-08-12]. <https://cgms-info.org/about-cgms/working-group-iii/>

Tang S H, Qiu H and Ma G. Review on progress of the Fengyun meteorological satellite. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 2016, 20(5): 842-849 (唐世浩, 邱红, 马刚. 风云气象卫星主要技术进展. 遥感学报, 2016, 20(5): 842-849) [DOI: 10.11834/jrs.20166232]

Wang J D. 2010. Risk management process. *China Quality Certification*, (10): 35-37 (王金德. 2010. 风险管理过程. 认证技术, (10): 35-37)

Wang Z Z. Remote Sensing and Global Change Observations. *Journal of remote sensing*, 1994 (3) 161-167 (王之卓. 遥感与地球的全球

- 性观测. 环境遥感, 1994(3):161-167 [DOI: 10.11834/jrs.1994022]
- World Meteorological Organization. 2019. Vision for the WMO Integrated Global Observing System in 2040[EB/OL]. WMO-No. 1243, 12-18. <https://library.wmo.int/records/item/57028-vision-for-the-wmo-integrated-global-observing-system-in-2040?offset=6>
- Yang Z. 2015. Research on Risk Management of Geostationary Telecommunication Satellite in Orbit. Baoding: North China Electric Power University: 13-33 (杨喆. 2015. 同步通信卫星在轨运行风险管理研究. 保定: 华北电力大学: 13-33)
- Zhang D, Wang F, Yang J F and Wang Y J. 2021. Technical risk control and management practice of Chang'e 4 single payload. Project Management Technology, 19(5): 113-118 (张东, 王锋, 杨建峰, 王亚军. 2021. 嫦娥四号项目的单机技术风险控制和管理实践. 项目管理技术, 19(5): 113-118) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-4313.2021.05.021]
- Zhao X Y, You J, Liu F Q and Liu L T. 2020. Research on risk management for GF-7 satellite. Project Management Technology, 18(7): 109-113 (赵霄洋, 游江, 刘付强, 刘澜涛. 2020. 高分七号卫星项目风险管理探索与实践. 项目管理技术, 18(7): 109-113) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-4313.2020.07.022]

Operation continuity risk assessment of global meteorological satellite observation systems

GUAN Min^{1,2,3}, ZHANG Yong^{1,2,3}, CHEN Yuchuan⁴

1. National Satellite Meteorological Center (National Centre for Space Weather), Beijing 100081, China;
2. Innovation Center for FengYun Meteorological Satellite (FYSIC), Beijing 100081, China;
3. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;
4. School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: The meteorological satellite observation system integrates meteorological satellites in orbit to achieve global weather and atmosphere observation, which is crucial for application such as weather forecasting, climate change, meteorological disaster prevention and reduction etc. The continuous and stable operation of meteorological satellite observation system is particularly important for the effective application of its data, and its operation continuity risks need to be identified, evaluated, and effectively managed in a timely manner.

This article proposes the risk assessment method and process for the operation continuity of meteorological satellite observation system based on a risk assessment model, and evaluates the operation continuity risk of the global meteorological satellite observation system. Firstly, based on the basic requirements of WMO for space-based observation systems, clarify the baseline of the global meteorological satellite observation system. Then, a risk assessment model has been established for the continuous operation of a remote sensing instrument based on its satellite launch time, design lifespan, and subsequent plans, as well as the orbit in which the satellite operates. The risk assessment model is a two-dimensional matrix based on the time dimension and the type dimension of space-borne remote sensing instruments. The process of conducting in orbit operation continuity risk assessment is to first clarify the in-orbit status of the satellite to be evaluated and its configured instruments, as well as the determined future plans. Then, the risk assessment model is introduced according to the instrument type. Based on the baseline of continuity operation, a risk assessment is conducted to identify the risks of continuous operation.

Some operational continuity risks of the global meteorological satellite observation system have been identified, including the ultraviolet/visible/infrared detection instrument on geostationary satellites, global navigation satellite system occultation detectors on low-orbiting satellites, precipitation measurement radar and microwave imager on inclined-orbiting satellites, as well as the solar wind plasma, particle, and magnetic field observation instruments on L1 point satellites, all of which pose long-term operational continuity risks.

The risk assessment results indicate that a global meteorological satellite observation system has been established currently, which basically meets the baseline of the global meteorological satellite observation system. However, there are still some operational continuity risks. The formulation of future plans for meteorological satellites should fully consider taking corresponding measures to reduce the risk of continuous operation of such instruments, in order to make the meteorological satellite observation system completer and more robust.

Finally, suggestions are put forward for the continuous development of China's future meteorological satellite program, including establishing a baseline for China's meteorological satellite observation system, filling the gap in core meteorological element observation capabilities, and constructing a comprehensive observation system for the coordinated development of China's comprehensive meteorological satellites and commercial small satellites.

Key words: meteorological satellite, spaced-observation system, spaced-observation system baseline, operation continuity, risk assessment method

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 42275149, 42230109); National Key Research and Development Program of China (No. 2023YFB3905304); Technical Pre-research Project of Civil Aerospace (No. D040401); Shanghai Aerospace Science and Technology Innovation Fund Project (No. SAST2019-044)