

附件 1

风云卫星应用先行计划二期 (2022-2023) 指 南

中国气象局气象卫星工程领导小组办公室

2021 年 10 月

目 录

一、 风云卫星资料在天气与气象灾害监测预警中的应用	1
1. 风云卫星资料在强对流极端天气环境条件分析中的应用	1
2. 风云卫星资料在强对流短临预报预警中应用	2
3. 风云卫星资料在暴雨极端强降水分钟级监测预报中应用	2
4. 风云四号静止微波探测资料在暴雨极端强降水预报预警中的应用	2
5. 风云四号静止轨道微波探测资料在台风定量客观监测中的应用	3
6. 风云三号黎明星、上下午星及风云四号 B 星资料在台风及海洋天气中的应用	4
7. 风云卫星 GNOS II 台风最大风速估计方法	4
8. 风云卫星微波主-被动联合台风监测预警技术	4
9. 基于风云四号 B 星资料的台风快速增强判识技术	5
10. 基于风云卫星的双眼墙台风识别技术及应用	5
11. 风云卫星资料在人工影响天气作业中的应用	6
12. 风云卫星监测青藏高原低涡及降水临近预警	6
二、 风云卫星资料在气候及气候变化监测评估中的应用	7
1. 风云卫星积雪海冰融合资料在气候监测预测中的应用	7
2. 风云三号高精度海面风融合数据集研制与应用	7
3. 基于风云四号 B 星资料的季风监测与预警应用	8
4. 风云全天候陆表温度时空融合数据集研制及应用	8
5. 风云三号中分辨率光谱成像仪全球地表辐射能量平衡分量数据集研发与应用	9
三、 风云卫星资料在生态气象监测评估中的应用	9
1. 风云卫星植被净初级生产力及生物量估算技术	9
2. 基于风云卫星的农业与生态苗情的全天候监测技术	10
3. 风云卫星高精度湖泊及河口近岸水生态监测技术	10
4. 风云卫星在积雪、冻土冻融变化监测中的应用	11

5. 风云卫星全球主要陆地生态系统参数数据集研发	11
6. 基于风云卫星数据的生态环境质量评价模型研究	12
7. 陆地植被生态系统服务功能评估和气象贡献分析	13
四、 风云卫星资料在气象灾害监测中的应用	13
1. 风云卫星流域洪涝灾害识别与气象风险预报	13
2. 风云卫星干旱和渍涝遥感监测技术	14
3. 风云卫星农业气象灾害监测应用技术	14
4. 风云卫星森林草原火灾影响及火险监测技术	15
5. 风云卫星复杂地形山火智能监测与评估	15
五、 风云卫星资料在大气环境监测中应用	16
1. 风云卫星紫外临边 O ₃ 和 NO ₂ 廓线反演及验证	16
2. 风云卫星 NH ₃ 遥感反演算法及验证	16
3. 基于风云卫星气溶胶产品的大气颗粒物污染溯源技术	17
4. 基于风云卫星温室气体产品的碳通量计算技术	18
六、 风云卫星新型遥感应用	19
1. 可见光波段快速辐射传输模式研发	19
2. 极端天气短临精准预报的风云卫星图像同化方法	19
3. 基于人工智能的风云卫星降水估测、预报及应用	20
4. 基于风云卫星的人工智能对流初生预警技术	20
5. 星地多源闪电资料特征分析及在强对流监测预警中的应用	21
6. 利用风云静止卫星数据推演雷达产品的新技术研发	22
7. 风云卫星云参数反演及应用技术	22
8. 基于人工智能技术的气象灾害遥感监测预警技术	23
9. 风云卫星 GNOS-R 土壤湿度及海冰反演应用技术	24
10. FY-3E 风场测量雷达海面风场反演关键技术	24

为解决风云气象卫星工程建设中的关键科学和技术问题，启动风云卫星应用先行计划二期（2022-2023），现发布申报指南。二期总体目标是：针对风云气象卫星 FY-3（03 批）和 FY-4（02 批）新载荷发展遥感应用技术、开展应用示范。通过二期计划的实施进一步提升风云卫星观测在应用领域的核心竞争力、服务国家重大战略，为保障国家发展利益提供战略科技支撑。二期指南坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕卫星资料在天气与气象灾害监测预警、气候及气候变化监测评估、生态气象监测评估、气象灾害监测、大气环境监测和新型遥感应用等 6 个方向开展技术攻关。

一、风云卫星资料在天气与气象灾害监测预警中的应用

1. 风云卫星资料在强对流极端天气环境条件分析中的应用

研制内容：利用风云气象卫星多星协同观测和结合其他观测资料,综合发展影响强对流的天气尺度系统在温度、湿度、大气稳定性和风场的精细结构特征，建立强对流多尺度天气系统和发生发展演变概念模型。通过风云卫星反演的温湿廓线揭示不同天气背景下强对流（暴雨）系统的大气三维热动力等特征，分析检验风云卫星温湿廓线产品与实况探空的异同，发展订正技术。

考核指标：完成基于风云卫星的强对流多尺度天气系统精细结构分析和发生发展演变概念模型、不同天气类型大气环境热力、动力、水汽和不稳定度综合快速分析和误差订正技术。构建一套基于风云卫星观测的对流系统触发前的热动力参数关键指标。研发的软件在中国

气象局业务单位实现试运行，满足业务化应用需求。

2. 风云卫星资料在强对流短临预报预警中应用

研制内容：基于风云卫星等多源观测数据和高分辨率数值天气预报数据的特性，构建统计模型或深度学习模型，充分提取包括风云卫星、雷达、地面观测站等多源观测数据，以及高分辨率数值模式预报量中的有效信息，提升 0-6 小时雷电、雷暴大风、冰雹分类预报。

考核指标：提供雷电、雷暴大风、冰雹等分类监测预报，时空分辨率不低于 1 小时 / 3 km，预报时效达 6 小时，更新时间 $\leq$ 1 小时，预报性能主要指标相对于实况外推或模式相关产品，提升 5%以上。

3. 风云卫星资料在暴雨极端强降水分钟级监测预报中应用

研制内容：利用风云四号 B 星快扫及其他资料，通过物理统计、深度学习等方法开展分钟级降水监测反演，提升降水估测的准确性。基于风云三号极轨卫星微波降水、其他降水资料对红外降水进行实时订正；开展基于卫星等多源资料反演降水的分钟级降水预报预警技术研究。

考核指标：实时降水估计产品和强降水预警产品准确率提升 10%；构建一套风云卫星分钟级（时间分辨率不低于 5 分钟）定量降水估计和预报产品；软件在中国气象局相关业务单位完成试运行，满足业务化应用需求。

4. 风云四号静止微波探测资料在暴雨极端强降水预报预警中的应用

研制内容：利用风云四号静止轨道微波探测仪资料可以反演云及

降水内部结构，如反演云液态水、云冰水含量及其垂直分布等。结合风云卫星红外探测获取的云参数监测暴雨演变过程，研究降水、极端强降水等定量算法；发展利用人工智能等先进技术的强降水客观预报预警技术。

考核指标：建立红外降水、微波降水和其他降水资料的实时动态融合和客观预报预警算法一套，与地基降水雷达相比，估测降水精度达到 75%以上，预报预警准确率提升 10%以上。在中国气象局相关业务单位完成试运行，满足业务化应用需求。

5. 风云四号静止轨道微波探测资料在台风定量客观监测中的应用

研制内容：基于中国气象局新一代快速辐射传输模式和风云四号微波星温湿计 L1 级数据产品，开展台风定量客观监测技术研究，进行台风暖心结构、中心位置、中心强度和海面风场和海表温度等台风关键监测信息定量客观反演估计，构建温湿廓线数据偏差订正算法和云检测算法，实现温湿廓线数据的场景自适应反演；构建基于耦合物理约束的一维变分反演算法，提高台风关键监测信息定量客观反演精度，在中国气象局相关业务单位完成试运行。

考核指标：研制基于风云四号微波星的台风关键监测信息定量客观反演技术方法及试验产品，台风定位误差小于 30 公里，台风定强误差小于 6 米/秒（或者小于 10 百帕）。算法及软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

6. 风云三号黎明星、上下午星及风云四号 B 星资料在台风及海洋天气中的应用

研制内容：基于风云三号黎明和上下午星三星组网主被动观测资料及风云四号快速成像仪资料和洋面风场探测资料，融合地面站点和雷达观测资料以及数值预报中尺度模式资料，采用人工智能算法，开展中国沿岸海域海上大风格点监测，西北太平洋和南海台风风场结构监测预报技术应用研究，提供台风风场分布及最大风速半径和不同方位风圈半径客观分析产品和风圈预报产品。

考核指标：实现沿岸精细化大风智能网格监测；构建一种西北太平洋和南海台风风场客观监测预报技术，实时提供逐 3 小时、 $4\text{km} \times 4\text{km}$ 的台风风场格点监测产品和风圈分析及预报产品。算法及软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

7. 风云卫星 GNOS II 台风最大风速估计方法

研制内容：风云三号 E 星首次携带接收地球导航海洋反射信号（GNOS-II）可用于生成全球海面风场组网观测数据。选取适用于 GNOS-II 特点的台风最佳风场模型，构建台风最大风速估算算法，为台风实时强度业务分析提供客观参考。

考核指标：开发 GNSS-R 台风最大风速估计算法，估计误差 $<6\text{ m/s}$ 或 12%。算法及软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

8. 风云卫星微波主-被动联合台风监测预警技术

研制内容：利用风云三号 03 批卫星风场雷达和温湿度探测仪数据，实现台风 10 米风场和海平面气压反演、10 毫米/小时以上降水区

域识别、7/8/10/12 级风圈划分、最大风速半径获取、中心位置和强度确定及转向预测。

考核指标：完成风云三号 03 批卫星主被动联合台风监测预警原型系统研发，风速大于 25m/s 时，风速反演精度为 10%，风向为 20 度，海平面气压反演精度小于 10 毫巴，降水标识、10 毫米/小时降水量区域识别和台风转向预测准确率优于 70%。算法及软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

9. 基于风云四号 B 星资料的台风快速增强判识技术

研制内容：降水强对流天气的上冲云系与对流系统的强度有着密切关系。基于风云四号静止气象卫星多通道辐射计和快速成像仪观测资料，发展高时空分辨率的上冲云顶识别算法；分析上冲云顶的变化特征与台风强度的关系；提高台风快速增强的业务预报能力。

考核指标：构建基于风云四号静止气象卫星资料的台风快速增强判识技术方法，实现对未来 12 小时和 24 小时台风强度快速增强的有效判识，判识精度较传统方法（快速增强指数方法）提高 30%。算法及软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

10. 基于风云卫星的双眼墙台风识别技术及应用

研制内容：利用风云卫星多通道观测资料，发展双眼墙台风识别算法。建立双眼墙台风历史数据集。开展双眼墙台风时间序列分析研究，给出双眼墙台风结构演变规律及强度变化趋势；根据双眼墙台风内眼墙、外眼墙等结构特征，开展台风最大风速半径和最大风速区评估算法研究。

考核指标：建立双眼墙台风的识别技术方法，在白天结合可见光通道时，双眼墙台风识别率达 90%以上。建立一套基于风云卫星近 10 年双眼墙台风历史数据集。双眼墙台风识别技术和台风最大风速半径、最大风速区评估算法在中国气象局相关业务单位完成试运行和应用。

11. 风云卫星资料在人工影响天气作业中的应用

研制内容：利用风云卫星主被动微波资料对云中过冷水进行准确识别，融合人影特种地基和飞机资料，开发人影作业所关心的云结构特性参量，开展增雨、防雹等人影作业条件和作业效果评估。

考核指标 人影增雨防雹作业条件及效果云特性参数识别方法 1-2 类；算法及软件在中国气象局相关业务平台上实现集成、并在东北及华北不少于两类典型云系增雨及防雹作业中得到应用。

12. 风云卫星监测青藏高原低涡及降水临近预警

研制内容：利用风云三号与四号卫星微波温度和湿度产品、风云四号卫星红外高光谱温度和湿度廓线产品，结合卫星反演风场、降水、云微物理特征、卫星闪电、雷达等多源资料产品，研究东移高影响青藏高原低涡全生命史三维结构特征及灾害预警综合信息提取方法。

考核指标：形成 2-3 类典型致灾性高原低涡全生命史精细结构演变过程模型及预警信息提取指标，建立降水综合估测和临近预警软件，降水观测准确率达 80%以上，降水预警准确率提升 10%以上。软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

二、风云卫星资料在气候及气候变化监测评估中的应用

1. 风云卫星积雪海冰融合资料在气候监测预测中的应用

研制内容：基于风云三号 E 星和风云四号 B 星资料，研制针对积雪覆盖、北极海冰等气候关键影响变量的长序列融合数据集，针对欧亚和高原积雪、季风活动、北极海冰等气候事件有重要影响作用的气候监测指标，建立数据产品检验方法，建立基于风云卫星多时空尺度的历史实时一体化监测和诊断产品，实现风云卫星融合数据在气候监测诊断和预测业务中的应用。

考核指标：提交风云卫星积雪和海冰长序列融合产品的质量控制方案软件；建立适用于气候监测和诊断的风云卫星积雪海冰融合产品 2012 年以来历史实时一体化数据集，积雪范围覆盖欧亚大陆、中国（青藏高原、东北、新疆北部）区域，海冰数据则覆盖南北极，卫星之间交叉验证的相关系数不低于 0.95，相对偏差不低于 10%。软件和数据在中国气象局相关业务单位完成试运行。

2. 风云三号高精度海面风融合数据集研制与应用

研制内容：针对海洋气候监测和研究缺乏高精度海面风业务现状，基于风云三号卫星系列搭载的微波成像仪和风场测量雷达，开展海面风数据集研制，以锚定浮标等观测资料为基准，评估风云三号海面风的反演精度；开展卫星反演的海面风同类产品的交叉验证，检验风云三号系列海面风的一致性和稳定性；建立基于多源资料的风云三号海面风融合方法，形成风云三号卫星系列高精度海面风融合数据集。

考核指标：建立以浮标为基准的风云三号海面风精度检验方法，

卫星之间的交叉验证方法，以及综合订正及融合方法并形成软件 1 套；建立风云三号卫星系列 2012 年以来中国近海 25km 均一化的海面风融合日数据集卫星之间交叉验证的相关系数不低于 0.97，偏差小于 0.4m/s。软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

3. 基于风云四号 B 星资料的季风监测与预警应用

研制内容：充分利用风云四号卫星提供的高时空分辨率降水、水汽和温度廓线等资料，研发 AGRI 新增的水汽通道对季风爆发和撤退日期、及季风强度预测的影响，实现极端降水事件维持时段、影响范围、及相对强度的监测技术；结合其他多源观测资料，评估变暖背景下季风、极端降水的长期变化趋势。

考核指标：基于风云四号 B 星，研发适应于业务应用的季风爆发和撤退日期算法软件一套。季风爆发和撤退日期、季风强度指数相对偏差不低于 10%，强降水精度达到 75%以上，软件在中国气象局相关业务单位完成试运行。

4. 风云全天候陆表温度时空融合数据集研制及应用

研制内容：基于风云卫星和地面站点等多源数据，发展统计方法、物理方法及机器学习等方法相结合的时空数据融合与插补算法，开展多源卫星陆表温度的融合，实现有云影响下的地表温度缺失数据插补，建立时空分布连续的风云卫星及多源卫星陆表温度时空融合数据集，并开始典型示范应用。

考核指标：发展一套适合于气候业务应用的风云陆表温度时空融合数据重建方法技术 1 套；提交基于风云卫星的多源陆表温度融合数

数据集 1 个，陆表温度精度优于 1K，空间范围覆盖中国及亚洲区域，时间序列长度不低于 10 年 (2010-2020, mean, max/min)；卫星之间交叉验证的相关系数不低于 0.95。软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

5. 风云三号中分辨率光谱成像仪全球地表辐射能量平衡分量数据集研发与应用

研制内容：基于风云卫星 MERSI 资料，开展陆表辐射能量平衡分量反演算法，在广泛验证的基础上，生成全球产品。研发陆表辐射能量平衡分量产品融合算法，融合 MERSI 和国际同类产品，生成高度一致的多年陆表能量平衡融合产品。开展产品应用示范，分析评价陆表能量平衡产品在气候资源、灾害监测和评价等方面的应用潜力。

考核指标：提交 MERSI 地表辐射能量数据集包括下行短波辐射、下行光合有效辐射、反照率、下行长波辐射、陆表温度、面空气温度、全波段净辐射、潜热。提供算法理论基础文档、精度评价报告、用户使用手册。软件及数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

三、风云卫星资料在生态气象监测评估中的应用

1. 风云卫星植被净初级生产力及生物量估算技术

研制内容：开展植被关键生态参数光谱敏感性分析，构建全季植被生物量及净初级生产力计算模型，研制不同时间尺度的植被生物量、净初级生产力产品数据集；发展产品精度真实性检验算法，开展产品精度验证并评估其在“一带一路”范围的适用性。

考核指标：提交风云卫星净初级生产力和生物量模型算法软件代

码和产品精度评价流程，提交 2010 年以来植被净初级生产力及生物量产品数据集，产品精度与国际同类产品相当。软件和数据集在中国气象局业务单位完成试运行。

2. 基于风云卫星的农业与生态苗情的全天候监测技术

研制内容：光学遥感受云影响，无法实现连续的全天候观测，利用风云卫星的光学和微波数据以及农业气象观测站的观测数据，通过星地数据融合，研究表征农作物苗情的微波地表生物量、植被光学厚度等关键要素反演方法，构建基于微波和光学的农业苗情监测与评估的方法和模型，实现全天候的农业苗情监测。

考核指标：全天候生态与农业苗情监测，实现任何天气条件下按旬监测；提供 1 年以上的生态与农业苗情过程监测和分析。软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

3. 风云卫星高精度湖泊及河口近岸水生态监测技术

研制内容：（1）围绕内陆湖泊和河口近岸水体生态精细化遥感监测需求，发展新一代风云卫星湖泊水生态遥感监测关键技术，基于矢量大气辐射传输模型，研究适用于内陆湖泊及河口近岸的大气校正算法。（2）改进优化 OC-SMART 模型输入参数，从风云卫星数据模拟产生离水辐射率、遥感反射率等水生态高精度基础数据集。（3）基于人工智能（AI）等技术的叶绿素 a 浓度反演模型研究。

考核指标：（1）提交适用于内陆湖泊及河口近岸的风云卫星数据大气校正算法。（2）提交高精度内陆湖泊及河口近岸的离水辐射率、遥感反射率、叶绿素 a 浓度等水生态参数和数据集。（3）成果和数据

集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

4. 风云卫星在积雪、冻土冻融变化监测中的应用

研制内容：利用风云卫星被动微波与光学遥感数据监测全球积雪、冻土冻融变化过程，为地气能量和水分过程研究提供关键支撑。突破风云三号极轨卫星的微波土壤冻融状态判别及微波与光学观测融合的降尺度方法关键技术，构建准确监测冻融变化的起始时间与持续时间的观测能力；突破风云三号和四号系列卫星逐日积雪覆盖度的遥感监测及降尺度方法的关键技术，研制青藏高原高分辨率逐日积雪面积产品。

考核指标：1) 提交近地表土壤冻融状态判别算法的机理和精度评价报告，精度不低于 80%，空间分辨率 3 km； 2) 2010 年以来的全球冻融产品数据集以及冻融变化时空分析报告； 3) 提交 2018 年以来的青藏高原逐日积雪面积监测算法的机理和精度评价报告，积雪面积监测精度不低于 80%，空间分辨率 500 m； 4) 软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

5. 风云卫星全球主要陆地生态系统参数数据集研发

研制内容：研发风云卫星陆地生态系统参数（全球叶面积指数、光合有效辐射吸收比、植被覆盖度）反演算法，研发长时间序列数据处理技术，在广泛验证的基础上，生成时间上一致的多年陆地生态系统参数产品数据集；分析评价陆地生态系统参数产品在气候变化（地面增温）、生态文明建设（比如植树造林）、灾害监测和评价等方面的应用潜力。

考核指标：生成风云卫星全球 3 种时空无缝的陆地生态系统参数数据集，包括叶面积指数、光合有效辐射吸收比、植被覆盖度，其空间分辨率为 500 米、时间分辨率为 10 或 30 天，时间跨度从 2010 年开始，精度与国际同类产品相当；提交算法和产品的精度评价报告；软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

6. 基于风云卫星数据的生态环境质量评价模型研究

研制内容：国产风云系列气象卫星积累了大量的大气、陆地、海洋圈层参数产品，具有系统和科学的反映当地生态环境质量的能力，风三 E 星微光通道灯光产品可对城市发展水平和发展动力进行评价。当前尚无考虑城市发展动能的生态环境质量评价模型，亟需开展三个方面的研究：（1）研发新型城乡生态环境质量参数：如灯光类动能指数、热岛破碎度指数、舒适度指数、生态用地比例等，建立统筹城乡发展动能的生态环境质量评价模型。（2）建立高分辨率生态环境质量数据集：针对原始千米级的粗分辨率生态环境质量参数，研发基于能量平衡原理的降尺度方法，形成适应城乡尺度的高空间分辨率生态环境质量数据集。（3）建立全天候生态环境质量评价指标体系：基于能量补偿的时空插值与人工智能等手段重构云下缺失生态环境质量参数，形成全天候生态环境质量评价能力。

考核指标：（1）构建统筹考虑城乡发展动能的遥感生态环境质量评价模型 1 套。（2）形成一套标准化的生态遥感参数数据集：各遥感参数的空间分辨率达到百米级，云下缺失的生态质量数据 100% 得到重构且重构误差低于 10%；。（3）选取典型区开展生态质量评估，形成评估报告，并获得相关部门批示认可等。（4）成果和数据集在中国

气象局相关业务单位试运行。

7. 陆地植被生态系统服务功能评估和气象贡献分析

研制内容：基于风云卫星的陆地植被类型、植被覆盖度等产品数据，综合陆面土壤数据和地形等数据，研究植被的生态系统服务功能（水源涵养、土壤保持、防风固沙）评估的模型方法；并基于气候模式综合分析陆地植被的气候调节功能及其年际变化趋势（5 年以上），定量分析植被盖度等在气候调节功能中的作用。

考核指标：实现全国的植被生态系统生态服务功能的定量评价；植被的水源涵养、气候调节功能、土壤保持、防风固沙的评估模型；陆地植被的气候调节功能的定量分析模型。软件和数据集在中国气象局相关业务单位完成试运行。

四、风云卫星资料在气象灾害监测中的应用

1. 风云卫星流域洪涝灾害识别与气象风险预报

研制内容：基于风云卫星等多源卫星的流域洪涝识别技术；结合高分辨率土壤水分陆面产品信息优化分布式水文模型，发展面向水文气象预报业务的高分辨率融合同化土壤含水量场；研发面向流域预报业务的风云卫星遥感反演降水订正技术，发展地面-雷达站网稀疏流域面雨量监测与灾害气象风险预警预报技术；形成基于风云卫星等多源资料的流域洪涝灾害识别与风险预报模型。

考核指标：提交风云气象卫星等多源卫星资料的流域暴雨洪涝灾害识别方法及软件；风云卫星和分布式水文模型的 5km 分辨率的土壤含水量场；地面-雷达站网稀疏（示范）流域面雨量监测产品与灾害

风险预警预报产品。软件及产品在中国气象局相关业务单位完成试运行。

2. 风云卫星干旱和渍涝遥感监测技术

研制内容：干旱和渍涝是影响农业和生态的重要气象灾害。研发风云三号的土壤水分主被动遥感方法，陆表温度全天候遥感算法，通过卫星产品与陆表土壤和温度观测的时空对比，分析误差来源；通过引入高密度台站观测数据，发展提高产品精度的模型算法；构建中国土壤田间持水量数据库，建立干旱和渍涝的监测方法和指标。

考核指标：提交干旱和渍涝的模型原型和监测指标，干旱和渍涝监测精度提高 10%，空间分辨率达到 10km。提交技术报告和算法软件包，软件和产品在中国气象局相关业务单位完成试运行。

3. 风云卫星农业气象灾害监测应用技术

研制内容：1) 基于风云气象卫星资料开展高温热害、低温冻害和病虫害等农业气象灾害监测评估技术方法研发。基于风云气象卫星资料构建陆表温度反演近地面气温的时空定量模型，研究作物受到高温热害、低温冻害的陆面温度指标，结合农作物的生长发育数据，开展农业高温和低温天气的识别，对作物高温热害和低温冻害发生的程度、区域和面积进行评估。2) 综合风云气象卫星等多种卫星数据，结合气象发病条件的约束，研发高分辨率和高频次的冬小麦条锈病和赤霉病精细化遥感监测模型。

考核指标：提交作物高温热害和低温冻害监测指标，高温热害和低温冻害遥感监测准确率优于 80%。建立融合气象场的卫星遥感小

麦条锈病和赤霉病监测指标体系，监测准确率在 80%以上。提交技术报告和算法软件包，软件和产品在中国气象局相关业务单位完成试运行。

4. 风云卫星森林草原火灾影响及火险监测技术

研制内容：（1）基于风云卫星等资料雷暴识别及在森林火险监测应用技术研发。利用 LMI 光学成像仪、辅助地面闪电定位系统，开展雷电活动分析及雷暴特征提取，利用降水估计、地表温度产品判断雷暴的干湿属性，结合植被产品、热点等研究引起森林火灾的危险程度。（2）基于风云卫星数据的全球森林草原火灾烟霾识别算法开发及其动态监测预报技术。

考核指标：提交基于风云气象卫星等资料的雷击火风险判识模型和代码，火险评估效率优于 60%；构建全球森林草原火灾烟霾识别提取算法和烟霾预报模型，烟霾的提取精度高于 85%，烟霾浓度估算的不确定性低于 30%，对烟霾高度反演不确定性低于 30%。实现重大森林草原火灾烟霾的 72 小时扩散与沉降预测。提交技术报告和算法软件包，软件和产品在中国气象局相关业务单位完成试运行。

5. 风云卫星复杂地形山火智能监测与评估

研制内容：基于风云卫星产品，结合降水、温度和风场等数据，构建山地火情智能检测与识别模型，实现烟雾、云和潜在火点的目标识别和定位。智能识别火源位置、火灾温度、面积等高时变山火灾害空间信息，并对森林山火蔓延状况进行预测，实现风云卫星林火监测与评估的业务能力。

考核指标: 提交基于风云卫星数据的山地火情智能检测和预警软件 1 套；山火识别准确率达到 80%以上；火点识别空间位置误差不高于 1 个像素；软件和产品在中国气象局相关业务单位实现试运行。

五、风云卫星资料在大气环境监测中应用

1. 风云卫星紫外临边 O₃ 和 NO₂ 廓线反演及验证

研制内容: 瞄准风云三号上即将搭载的紫外临边探测载荷，开展 O₃ 和 NO₂ 廓线反演算法研究，并进行精度评估与验证，具体如下：

(1) 构建紫外波段临边观测几何的快速辐射传输模型，适用于业务化运行环境，满足时效性和反演精度需要；(2) 开展紫外临边 O₃ 廓线和 NO₂ 廓线反演算法研究，并利用国际已经在轨的紫外临边载荷上进行算法测试；(3) 依据国内外星载、地基、空基等观测数据，评估算法精度与时效性。

考核指标: (1) 完成一套紫外临边快速辐射传输模型及软件模块，实现 300~500nm 波段范围内、光谱分辨率 0.4nm 条件下、由多个切高序列组成的垂直观测模拟，一次完整多切高模拟时长小于 1min；(2) 完成紫外临边载荷指向信息精校正，切高校正精度优于 150m；(3) 完成一套紫外临边 O₃ 廓线和 NO₂ 廓线的反演系统，单次观测精度分别优于 10%和 20%，单像元反演时长小于 1min；(4) 软件在中国气象局相关业务单位实现试运行，并在典型区域开展应用示范。

2. 风云卫星 NH₃ 遥感反演算法及验证

研制内容: 瞄准风云三号上搭载的红外高光谱探测载荷，开展 NH₃ 反演算法研究，并进行精度评估与验证，具体如下：(1) 开发基

于风云卫星红外高光谱载荷的快速辐射传输模式，并增加 NH_3 作为模拟因子；（2）基于全球 NH_3 观测和模拟资料，构建 NH_3 季候态大气背景库作为反演算法的先验；（3）开展红外光谱反演算法研究，并利用已经在轨红外高光谱载荷进行算法测试，形成一套 NH_3 反演数据集；（4）依据国内外星载、地基、空基等观测数据，对 NH_3 产品进行精度评估和对比验证。

考核指标：（1）实现基于风云卫星的氨气反演，氨气反演精度优于 1ppb，反演时长小于 3 min；（2）完成基于风云卫星红外高光谱载荷的快速辐射传输模型构建，并将 NH_3 作为预报因子，红外波段光谱模拟精度至少达到 0.15k；（3） NH_3 季候态大气背景库至少反映全球范围内 NH_3 月尺度变化；（4）软件在中国气象局相关业务单位实现试运行，并在典型区域开展应用示范。

3. 基于风云卫星气溶胶产品的大气颗粒物污染溯源技术

研制内容：瞄准风云极轨和静止气象卫星新型遥感仪器气溶胶产品和资料，开展以下研究内容：（1）研发卫星气溶胶资料偏差订正和质量控制技术；（2）研发重雾-霾区域卫星气溶胶反演和订正技术；（3）开展风云卫星气溶胶资料在排放源模型中的同化和污染溯源技术研究，提升雾-霾预报的准确率。

考核指标：（1）建立一套修正卫星气溶胶光学特性产品反演中误将重雾霾区判识为云或积雪的模型，误判率减少 10%；（2）建立一套卫星气溶胶的同化模型，同化后雾-霾和沙尘的预报准确率提高 10% 以上。（3）建立基于风云卫星产品的污染溯源模型。（4）软件在中国气象局相关业务单位实现试运行，并在典型区域开展应用示范。

4. 基于风云卫星温室气体产品的碳通量计算技术

研制内容：根据国家“双碳”战略需求，基于风云卫星的二氧化碳柱浓度 XCO₂ 产品,开展风云卫星温室气体通量产品生成、质量评价和分析研究，内容包括：（1）研发风云卫星-地基多源异构碳观测数据的尺度转换与同化技术；（2）研发基于风云卫星温室气体浓度产品的双向嵌套式全球同化系统和区域高分辨率同化系统,发展 CO₂ 通量同化反演技术。

考核指标：（1）建立风云卫星温室气体产品质控和过滤，以及卫星-地基多源异构 CO₂ 数据的尺度转换与同化方法体系；（2）基于风云卫星 CO₂ 浓度数据的全球（双向高分辨嵌套中国区域）和区域高分辨率 CO₂ 通量反演系统；生成全球 3°×2° 分辨率、亚洲区域 1°×1°、中国 0.25°×0.25° 和重点区域 5km×5km CO₂ 人为和自然 CO₂ 通量数据产品。（3）软件在中国气象局相关业务单位实现试运行，并在典型区域的开展应用示范。

5、风云卫星全球对流层和近地面 O₃ 反演及验证

研制内容：基于风云三号气象卫星紫外高光谱载荷观测数据，开展适用于全球区域的对流层和近地面 O₃ 反演算法研究，并进行精度评估与验证，具体如下：（1）卫星、地基、探空等数据的质量控制和时空匹配；（2）开展适用于全球区域的对流层和近地表 O₃ 反演算法研究，并在国内外紫外相关载荷上进行算法测试；（3）依据国内外星载、地基、空基、模式等数据，评估算法精度与时效性。

考核指标：（1）完成一套快速且高精度的对流层和近地面 O₃ 反演系统。该系统在空间分辨率高于 10km 的情况下，全球区域每日反

演时长小于 120 分钟；（2）与同步探空或地基激光雷达产品相比，全球区域对流层 O₃ 反演相对偏差小于 10%，中国区域对流层 O₃ 反演相对偏差小于 8%，中国区域近地面 O₃ 反演相对偏差小于 15%。（3）软件在中国气象局相关业务单位实现试运行，并在典型区域开展应用示范。

六、风云卫星新型遥感应用

1. 可见光波段快速辐射传输模式研发

研制内容：辐射传输是开展卫星资料同化、仪器定标、参数定量反演、载荷参数设计等的基础。目前关键业务上常用的快速模式在可见光波段模拟精度较差。本研究要求在可见光波段，采用全偏振辐射求解方案，实现全天候条件下快速、准确辐射传输模拟。

考核指标：太阳反射通道的模拟反射率相对误差小于 2%、算法计算效率方面，较精确辐射传输算法快 2 个数量级以上，较 ARMS、CRTM、RTTOV 等快 2 倍以上。软件在中国气象局的 ARMS 中试运行。

2. 极端天气短临精准预报的风云卫星图像同化方法

研制内容：提出新度量意义下的变分资料同化理论与方法，能够有效刻画风云卫星遥感资料与物理模型之间的位置差异，推广至实际台风涡旋的初始化应用中；建立关于极端天气短时临近精准预报的智能化资料同化体系，采用深度学习先进技术，从动态观测资料中提炼物理规律与先验知识，提高资料的利用率，应用到突发性短时强降水的预报中

考核指标：建立基于新度量的变分资料同化方法同化实际风云卫星资料，实现台风涡旋的初始化实际应用。图像同化软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

3. 基于人工智能的风云卫星降水估测、预报及应用

研制内容：基于人工智能方法，开发多下垫面类型、多降水类型的被动微波定量降水估计算法；开展云物理特性与降水关系的研究，基于可见光、红外观测及其云物理特性反演产品建立全天时定量降水估测算法；开展红外降水和微波降水融合研究，建立风云卫星高时空分辨率高精度逐时降水数据集；开展卫星云图外推研究，并与降水估计融合，实现基于风云卫星的短临降水预报；在山洪与地质灾害业务中进行应用试验。

考核指标：建立基于风云卫星的定量降水估测深度学习模型，实现高精确率的全天时定量降水估计，相对于传统方法，基于深度学习模型估计的降水准确率提升 5%以上；实现基于云图外推预测的短临降水预报，预报时效达 3 小时。形成山洪地质灾害预报预警模型，地质灾害预报模型空间预报准确率高于全国水平。短临预报软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

4. 基于风云卫星的人工智能对流初生预警技术

研制内容：卫星数据能够连续监测地面强降水发生之前云的变化特征，从而判断是否存在潜在不稳定因素和对流初生(Convective Initiation, CI)。针对 CI 的监测预警，基于深度学习方法，采用高时空分辨率的风云静止卫星数据反演实时的云产品参数；动态追踪、计

算相邻时间间隔里云的移动矢量；计算相关云参数的时间变化趋势，并结合地面观测数据建立对流初生数据集，开展不同气候特征、不同下垫面条件下的 CI 预报以及相应的降水强度预测。结合雷达数据，在实际业务中检验深度学习模型的 CI 预报效果。此外，用反向传输模型研究深度学习模型的可解释性，探究不同的卫星云参数在 CI 和相应的降水强度预报中的权重。

考核指标：相对于雷达回波，基于卫星数据的深度学习模型能提前发布 CI 预警信息，降水强度预报结果比模式提高 5%。人工智能 CI 预报软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

5. 星地多源闪电资料特征分析及在强对流监测预警中的应用

研制内容：（1）FY-4A 闪电成像仪（LMI）国内外历史资料统计特征分析：分析 FY-4A LMI 投入业务应用以来所获取闪电资料的空间分布和时间变化多维度统计特征，与同期地基闪电探测资料进行对比，探究产生差异的机理，挖掘不同探测手段的优势，更全面地理解我国闪电活动的规律，特别是我国近海海域以及印度洋等洋面闪电活动规律，为后续同类仪器的技术探索、闪电活动分析，奠定坚实的数据基础。（2）建立星地闪电观测资料与多种类型强对流天气间的耦合关系：基于星地闪电观测资料、同期雷达以及卫星资料，通过对比分析和机器学习，研究短时强降水、雷暴、龙卷、台风和冰雹等不同类型的强对流天气过程初生、持续、消亡等阶段中的闪电活动特征，建立闪电活动（含跃变规律）与雨强变化、极大风速、冰雹尺寸等的关系并完成实例检验，挖掘闪电活动对不同强对流天气的指示作用，辅助相关预测预警。

考核指标：(1) 星地闪电长时间序列资料匹配分析方法，(2) 星地闪电观测资料的对流初生辅助机器学习判识方法并通过实例加以验证。LMI CI 预报软件在中国气象局业务单位实现试运行。

6. 利用风云静止卫星数据推演雷达产品的新技术研发

研制内容：利用风云四号静止气象卫星高时空分辨率的多通道辐射率数据，结合风云 4 号卫星和地面观测的闪电数据，采样机器学习技术，推演与地面天气雷达一致的回波强度、垂直累计液态水含量等雷达产品（radar-like products），重点解决无雷达观测站（如东海、南海、青藏高原等区域）无雷达观测数据的问题。主要研究内容包括：

（1）研发用于机器学习模型训练的数据集，包括输入数据（卫星辐射率、闪电）和标签数据（雷达回波）。（2）建立机器学习模型，开展模型优化试验，对模型输入参数选择、模型损失函数、样本处理等进行调优。（3）模型验证，利用地面雷达观测、卫星搭载的雷达观测数据（如 GPM）对模型推理结果进行验证。

考核指标：完成中国东部海区、南部海区、青藏高原区域的静止风云卫星模拟雷达组合反射率、垂直液态水含量，独立检验的均方根误差分别小于 10dBZ 和 15kg/m²。软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

7. 风云卫星云参数反演及应用技术

研制内容：开展 FY-3 云水、云冰、雨水等廓线反演产品偏差订正及在 ART-3DCloudA 三维云实况分析业务中的融合技术研究、FY-3 反演降水产品偏差订正及在中国气象局陆面降水实况分析业务中的

融合技术研究。FY-3 反演积雪产品偏差订正及在中国气象局陆面数据实况分析业务中的融合技术研究。

考核指标：实现 FY-3 云水、云冰等廓线产品在 ART 实况分析系统中的业务试验应用。FY-3 微波大气探测反演产品在 ART 实况分析业务中的应用评估报告。软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

8. 基于人工智能技术的气象灾害遥感监测预警技术

研制内容：以风云卫星采集的遥感数据为依托，重点围绕气象核心业务需求，开展以下工作：（1）充分利用风云四号卫星高分辨率及高观测频次的特点，研究多时相遥感数据的综合提取与利用技术，研发实时生成卫星遥感影像文件的方法和技术，并对卫星遥感影像文件进行转换以便后续处理。（2）利用大数据、深度学习等技术研究对火点、洪涝、干旱、海冰、海雾等气象灾害实时监测方法，研发典型气象灾害的快速发现、定位与动态监控技术，研发典型气象灾害实现发展态势的智能预报方法和技术。（3）以预处理后的遥感数据为基础，利用研发的典型气象灾害监测和预警模型及技术，构建火点、洪涝、干旱、海冰、海雾等气象灾害实时动态智能监测预报平台，并进行示范化应用。

考核指标：（1）对典型气象灾害的检测精度在当前技术的基础上提高 10%以上。（2）对典型气象灾害的 24h 预报误差在目前技术的基础上降低 10%-20%。（3）预报技术时间消耗不超过 1m。软件在中国气象局相关业务单位实现试运行。

9. 风云卫星 GNOS-R 土壤湿度及海冰反演应用技术

研制内容：风云卫星 03 批卫星 (E,F,G,H) 将搭载 GNOS II 探测仪基于 GNSS-R 技术在全球形成组网探测。本项目将开发 GNSS-R 土壤湿度、海冰反演算法，利用 GNOS II 观测数据估计全球海冰、土壤表层含水量，工作内容可分为以下几点：(1) 土壤反演模型：根据土壤及表面植被覆盖的散射特性建立土壤—植被散射模型并用于土壤湿度反演。(2) 将 GNSS-R 观测数据与海冰仿真模型进行匹配，提取散射波形特征参数 (SNR、前沿斜率、后沿斜率、旁瓣特征、噪声特性等)，通过训练设定阈值及权重系数，识别下垫面类型是否海冰。比较 GNOS II、SMAP、SMOS 等卫星土壤湿度遥感产品，对土壤湿度反演精度进行估计评价；利用 ECMWF 海冰密集度数据和卫星海冰遥感产品，对海冰识别的精度进行估计评价。

考核指标：土壤湿度反演误差小于 $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。海冰识别准确度 95%。算法软件在中国气象局业务单位实现试运行。

10. FY-3E 风场测量雷达海面风场反演关键技术

研制内容：我国风云三号 E 星搭载的风场测量雷达 (WindRad) 主要用于遥感全球海面风速和风向信息。基于 WindRad 数据，研发海洋双向散射率矩阵与风向风速关系，发展基于双频双极化协同观测数据的海面风场反演算法，研究云降雨对散射后向散射截面的影响，研究台风风场反演及质量控制技术。研究多空间分辨率风场反演、质量控制和误差分析方法和技术，为数值天气预报、台风等灾害应用提供快速、高精度遥感产品的支撑。

考核指标：建立 C, Ku 波段 VV 及 HH 极化散射截面模型；基

于 WindRad 数据遥感海面风场产品的风速绝对误差 $\leq 1.2\text{m/s}$ ，风向绝对误差 $\leq 15^\circ$ ，海面风速反演最大达 25m/s ；风速大于 4m/s 时，降雨标识准确率 $\geq 60\%$ 。软件在中国气象局业务单位实现试运行。