

# 合成孔径雷达分析就绪数据(SAR ARD): 进展、挑战与展望

张红<sup>1,2,3</sup>, 解雅喆<sup>1,2,3</sup>, 朱南华诺娃<sup>4,5</sup>, 许璐<sup>1,2,3</sup>, 寇文波<sup>6</sup>,  
赵博林<sup>4,5</sup>, 葛纪<sup>1,2,3</sup>, 王超<sup>1,2,3</sup>

1. 中国科学院空天信息创新研究院 数字地球重点实验室, 北京 100094;
2. 可持续发展大数据国际研究中心, 北京 100094;
3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
4. 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094;
5. 生态环境部卫星遥感重点实验室, 北京 100094;
6. 首都师范大学研究生院, 北京 100048

**摘要:**近年来,随着遥感卫星数据的爆炸式增长,数据预处理与组织的复杂性显著增加。分析就绪数据ARD (Analysis Ready Data)通过标准化处理,为遥感数据的广泛便捷应用开辟了新机遇。合成孔径雷达SAR (Synthetic Aperture Radar) ARD产品作为遥感领域的核心数据,凭借其全天时、全天候工作的独特优势,为全球变化研究、资源环境监测、灾害管理等领域提供了关键数据支撑。本文从SAR ARD的基本概念出发,系统梳理其产品类型、数据来源、生产机构、处理技术及应用场景,全面分类并分析已公开和在研的星载SAR ARD产品及处理流程,深入探讨SAR ARD产品当前的生产与管理技术框架,讨论ARD产品与地球观测数据立方体和云平台的关联。同时,客观评估了SAR ARD产品在数据多样性、处理效率及应用普及等方面的挑战,并给出潜在解决方案。旨在为未来研究与实践提供理论参考与技术指引,助力SAR ARD数据在对地观测领域释放更大应用潜力。

**关键词:** 遥感卫星, 标准化处理, 分析就绪数据, 合成孔径雷达, 处理流程, 地球观测数据立方体, 云平台, 对地观测

**中图分类号:** TP701/P2

**引用格式:** 张红,解雅喆,朱南华诺娃,许璐,寇文波,赵博林,葛纪,王超.2025.合成孔径雷达分析就绪数据(SAR ARD):进展、挑战与展望.遥感学报,29(6): 2239-2254

Zhang H, Xie Y Z, Zhu N H N W, Xu L, Kou W B, Zhao B L, Ge J and Wang C. 2025. Synthetic Aperture Radar Analysis Ready Data (SAR ARD): Progress, challenges and prospects. National Remote Sensing Bulletin, 29(6): 2239-2254[DOI:10.11834/jrs.20255133]

## 1 引言

遥感作为现代地球观测的革命性技术,凭借其空间连续覆盖和时间序列观测能力,获取多尺度、多维度的动态地表信息,为应对全球环境危机提供了不可替代的技术支撑(Onoda和Young, 2017; Truckenbrodt等, 2019)。当前,遥感技术体系正经历深刻变革,全球对地观测数据获取能

力呈现井喷式增长,数据空间分辨率、覆盖范围和重访周期得到显著优化。PB级遥感数据资源的开放共享极大降低了获取门槛,为地球系统科学研究范式转型提供了坚实的数据基石。

然而,目前的遥感数据应用面临诸多挑战。首先是数据规模方面。随着卫星发射计划的兴盛、数据开放政策的推出以及新型算法的进步,遥感数据在长时间序列地表监测活动中的应用越来越

收稿日期: 2025-01-06; 预印本: 2025-05-27

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41971395)

第一作者简介: 张红,研究方向为InSAR、PolSAR、SAR大数据智能处理。E-mail: zhanghong@radi.ac.cn

通信作者简介: 朱南华诺娃,研究方向为生态环境遥感监测。E-mail: 15201651842@163.com

广泛,这种连续观测能够揭示地球系统的动态变化规律,为科学研究和实际应用提供不可替代的支持(Lambert等,2013;Xu等,2021;Zhang等,2023),但也大幅增加了遥感数据处理的难度。时序数据的预处理需要消耗大量的人力物力,带来巨大的成本负担(Frantz,2019)。此外,近实时监测活动(例如灾害响应)对数据的时效性要求高,从原始数据获取到信息产品生成的处理链条存在关键性延迟,严重制约了决策支持的时效性。其次是研究的可重复性问题,现有智能解译模型在跨区域、跨传感器迁移时普遍出现性能衰退。当研究人员进行实验对比或复现时,由于数据来源不同或处理方式差异,结果可能会导致偏差,因此需要为不同数据的处理建立标准化基准。最后是遥感数据的跨领域应用问题。遥感作为表征地表形态的重要手段,能够为多领域研究提供数据支持,但不同专业背景的研究者在处理多样化的遥感数据时面临挑战。例如,生态学关注的植被参数与城市规划所需的离散地类图斑之间缺乏可通用的量化标准,这可能会影响多领域融合发展的进程(Lewis等,2018)。

为应对上述问题,2015年,国际地球观测卫星委员会CEOS(Committee on Earth Observation Satellites) Land Surface Imaging Virtual Constellation (LSI-VC)在其会议首次明确提出了“Analysis Ready Data”(分析就绪产品)作为协调全球卫星数据产品的目标。会议记录中提到,ARD概念的诞生是为了响应用户社区对简化数据处理流程的需求。2017年,CEOS发布了“CEOS Analysis Ready Data for Land (CARD4L) Framework”(v1.0),这是首次正式定义ARD的技术文档,它回顾了2015年的初步工作,旨在实现卫星数据处理的标准化,以最小的用户工作量促进即时分析(Lewis等,2018;Rosenqvist等,2019)。该框架为更广泛的ARD概念奠定了基础,此后ARD概念被扩展到Landsat之外的各种数据类型。随着地球观测数据立方体(Earth Observation Data Cube, EODC)技术的不断发展,生产和使用ARD已成为卫星地球观测领域日益增长的趋势。

以美国地质调查局USGS(United States Geological Survey)地球资源观察与科学中心于2017年发布的Landsat ARD数据为开端,光学ARD产品开始蓬

勃发展。Landsat ARD的使用价值已被证明,其在全球的应用将推动遥感科学与应用迈向新高度(Zhu,2019)。随后的光学ARD产品中,具有代表性的是欧洲航天局ESA(European Space Agency)推出的可免费公开使用的Sentinel-2A/B地表反射率(Sentinel-2 Surface Reflectance)产品,为土地监测、农业管理、灾害评估和植被物候学研究提供了重要数据基础。并且,多传感器ARD数据的研发也取得了显著进展,其中典型代表为Claverie团队基于Sentinel-2与Landsat卫星数据研制的HLS(Harmonized Landsat and Sentinel-2)产品(Claverie等,2018)。除此之外,中国的高分卫星数据已逐步实现分析就绪,为全球用户提供了高质量的地表观测数据(Zhou等,2023)。

不同于光学遥感,合成孔径雷达SAR(Synthetic Aperture Radar)数据作为一种重要的主动遥感手段,具有全天候、全天时成像能力,不受云层遮挡、降水干扰及光照变化的影响,因而在地表监测、变化检测、灾害预警、农业监测等多个应用领域中展现出不可替代的优势。SAR数据能够穿透植被冠层和部分地表覆盖层,获取地物结构、粗糙度和介电特性等独特信息(Ballère等,2021),为传统光学遥感提供互补视角,显著提升地球表层动态变化的综合感知能力。然而,受限于其成像机制的复杂性和专业性较强的处理流程,SAR原始数据使用门槛高,处理流程涉及辐射校正、斑噪滤波、几何校正、极化分解等多个技术环节,对用户技术背景和计算资源提出较高要求,极大制约了其在非专业用户群体中的推广与应用。为降低SAR数据应用难度、提升其在多领域的实用性和时效性,近年来多种类型的SAR分析就绪数据(SAR ARD)产品相继提出,通过建立标准化预处理流程,实现数据的一致性、规范性和可直接分析性。尽管目前基于SAR数据的ARD产品已取得初步进展,部分国际主流卫星平台(如Sentinel-1、ALOS-2等)已提供相关产品服务,但由于SAR数据获取成本较高、载荷间差异性大、预处理流程尚未统一,现有产品在规范体系建设、自动化程度及产品类型多样化等方面仍存在显著不足。

基于此,本文将从SAR ARD产品的标准规范、发展现状与生产管理机制三方面展开系统梳理与分析,力求厘清当前技术路径与核心问题,推动

SAR 遥感从专业化科研工具向普适化信息服务平台的范式跃迁，进一步拓展其在地球观测领域的应用广度与深度。

## 2 SAR ARD 产品规范与类型

### 2.1 ARD 基本定义

ARD 概念由遥感与地球观测领域的元科学界提出，旨在通过标准化处理流程，使遥感专家与非专业用户均能便捷地访问和检索对地观测 EO (Earth Observation) 大数据 (Baraldi 等, 2023)。为提升不同传感器数据之间的兼容性与互操作性，CEOS 提出了 ARD 的基本定义：一类满足最低处理要求的数据集，具备时间序列一致性、跨传感器互操作性以及用户友好性，能够支持即时分析，并最大限度地减少额外处理负担 (Dwyer 等, 2018)。ARD 的核心目标是通过技术标准化，简化传统卫星数据复杂的预处理流程，缩短从数据获取到实际应用的路径，特别是为资源有限的普通用户赋能，推动大规模环境监测与科学研究的发展 (Zhong 等, 2021)。为保障数据质量和一致性，CEOS 主导制定了“产品系列规范” PFS (Product Family Specifications)，明确了不同类型 ARD 数据集 (如光学、SAR) 所需满足的关键要求，包括通用元数据、逐像素元数据、辐射校正和几何校正的精度等核心指标。基于 PFS 框架，还制定了针对不同遥感数据类型的专项标准，例如光学数据强调云检测，而 SAR 数据则突出地形校正。这些标准不仅为数据提供方 (如卫星运营商) 和使用方 (如科研人员、政策制定者) 提供了明确的技术指南，也有助于推动开放、高质量的遥感数据生态系统建设。

### 2.2 SAR-ARD 产品规范

CEOS 推出的陆地分析就绪数据框架 (原名 CARD4L, 现更名为 CEOS-ARD) 为 SAR 数据制定了标准化处理规范，确保其满足分析就绪要求 (Mullissa 等, 2021)。CEOS-ARD 旨在通过统一的技术标准，将复杂的 SAR 数据转化为用户可直接用于环境监测、灾害评估和科学研究的高质量产品，降低数据预处理的负担并提升跨传感器、跨平台的互操作性。针对 SAR 数据的规范明确了以

下关键要求：

(1) 辐射校正：SAR 数据需经过严格的辐射校正以确保辐射特性的一致性。这包括天线增益、仪器偏差和偏移调整，以校准数据采集过程中可能引入的误差。此外，需执行辐射地形校正 RTC (Radiometric Terrain Correction)，以消除地形起伏对雷达回波强度的影响，从而支持不同观测几何条件下的数据融合。这一步骤对于森林监测、地表形变分析等应用尤为关键。

(2) 几何校正：SAR 数据产品需经过高精度几何校正，以确保其能够精确映射到地球表面。校正过程需使用一致的数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 和地球重力模型 EGM (Earth Gravitational Model)，并在元数据中明确记录所用模型的来源和版本。产品还需提供绝对定位误差 (包括偏差和标准差) 等精度指标，用于验证地理定位的可靠性。对于需要更高精度的应用场景，规范建议提供交叉相关校正方法或精细化几何准确性指标，方便用户进一步优化数据。

(3) 通用元数据：产品需附带详尽的通用元数据，帮助用户快速评估数据集的适用性并实现数据溯源。这些元数据需满足机器可读性标准，涵盖产品生产类型、文档标识符、数据收集时间、传感器参数、源数据属性以及所属 CEOS-ARD 产品类别等信息。这些信息不仅提升了数据透明度，还便于用户在多源数据整合时进行有效筛选和验证。

(4) 像元级元数据：每个像元需包含详细的元数据，例如掩模信息以标识有效数据、无效数据或无数据区域。此外，还需提供散射面积、局部入射角、噪声功率等补充信息，帮助用户理解数据的物理特性和潜在局限性。这些像元级元数据为精细化分析 (如地表分类、变化检测) 提供了关键支持 (CEOS, 2024)。

### 2.3 SAR ARD 核心产品类型

目前，具有统一规范的 CEOS SAR ARD 核心产品类型主要包括以下 4 种 (表 1)：归一化雷达后向散射系数 NRB (Normalised Radar Backscatter)、极化 SAR POL (Polarimetric Radar)、海洋雷达后向散射 ORB (Ocean Radar Backscatter)、地理编码单视复数 GSLC (Geocoded Single-Look Complex)。



表1 现有SAR ARD产品类型  
Table 1 Types of SAR ARD products available

| 产品类型 | NRB                             | POL                         | ORB                             | GSLC                                |
|------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 输出数据 | 1. 后向散射强度数据<br>2. 可选去平地效应后的相位信息 | 1. 标准化协方差矩阵<br>2. 极化分解参量    | 1. 后向散射强度数据<br>2. 可选极化协方差矩阵     | 1. 幅值信息<br>2. 去平地效应后的相位信息           |
| 适用场景 | 陆表后向散射分析(如土地覆盖、植被监测、土壤湿度)       | 目标分类与散射机制分析(适用于农业、森林、城市环境等) | 海洋监测(如海面粗糙度、波浪、风场估计)            | InSAR 应用,如地表形变、地震、滑坡、冰川运动监测         |
| 产品限制 | 仅包含后向散射信息,不能直接用于极化或干涉分析         | 协方差矩阵依赖特定的重采样方法             | 1. 不适用于陆地复杂地形<br>2. 极化或干涉分析能力有限 | 1. 数据量大,处理复杂<br>2. 需高精度 DEM 和轨道数据支持 |

(1) 归一化雷达后向散射系数NRB (Normalised Radar Backscatter) 产品。NRB是指经过几何校正和辐射地形校正后的SAR后向散射系数 ( $\sigma_0$ ), 通常以线性单位或分贝 (dB) 表示。它反映了地表目标 (如土壤、植被、水体、建筑物等) 对入射雷达波的散射强度, 并通过归一化处理消除了由传感器特性、观测几何和地形引起的系统性偏差。

NRB的目标是生成一个与特定 SAR 系统或观测条件无关的标准化量, 使得来自不同传感器或不同时间点的数据具有可比性。它通过一系列标准化校正步骤, 将原始雷达后向散射强度转换为一个可比较、可重复的量, 广泛应用于环境监测、土地分类、灾害评估和地表变化检测等领域。主要处理流程见图1。

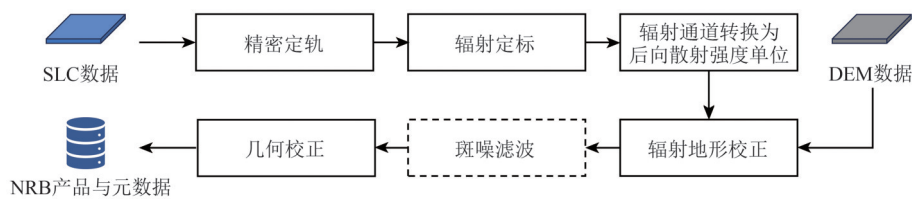


图1 NRB产品常规处理步骤(虚线框为可选操作)

Fig. 1 NRB product routine processing steps (dashed boxes are optional)

首先, 校正 SAR 传感器本身的特性, 如天线增益、仪器偏差和噪声水平, 确保后向散射强度的测量值准确反映目标的散射特性。通过参考已知的定标目标 (如角反射器), 将原始数值 (DN) 转换为物理单位的后向散射系数 ( $\sigma_0$ )。由于地形会改变局部入射角, 导致同一地物在不同坡向上显示不同的散射强度。可通过 RTC 处理消除地形起伏对后向散射的影响。RTC 利用 DEM 计算局部入射角并归一化散射系数, 通常将数据投影到一个假定的平坦地表。接着利用 DEM 和 EGM 对 SAR 数据进行几何校正, 消除由于侧视成像和地形起伏导致的形变。必要时可进行大气校正和噪声去除, 确保 NRB 数据反映地表真实特性。整个过程需结合 SAR 传感器参数和外部环境数据以提高精度。SAR 数据可能包含不同极化模式 (如 HH、HV、VH、VV), NRB 需针对每种极化通道分别进行校正, 以保持极化信息的完整性。NRB 产品需附带详细的元数据, 包括校正过程中使用的 DEM 版本、入射角范围、噪声功率估计、掩模信息 (如有效/无效数据区域) 等。这些元数据

确保用户能够追溯数据的处理流程并评估其适用性。

NRB 作为 SAR ARD 的重要组成部分, 具有以下特点: 1) 跨传感器可比性: 通过标准化校正, NRB 使不同 SAR 传感器的数据能够直接比较, 适用于多源数据融合; 2) 时间序列一致性: NRB 产品在长期监测中保持一致性, 便于分析地表变化趋势, 如植被生长、冰川退缩或城市扩张; 3) 地形无关性: 通过辐射地形校正, NRB 能够在复杂地形 (如山区) 提供可靠的散射信息, 增强了数据的适用范围; 4) 用户友好性: NRB 消除了复杂的预处理需求, 用户可直接将其输入到分析模型中, 降低了技术门槛。

(2) 极化 SAR POL (Polarimetric Radar) 产品。与 NRB 产品相比, POL 的设计尚处在初级阶段。POL 专为支持 Level-1 单视复数 SLC (Single Look Complex) 极化数据设计, 其包含归一化协方差矩阵 CovMat (Covariance Matrix) 以及极化分解 PD (Polarimetric Decomposition) 两个数据处理层次, 处理流程见图2。

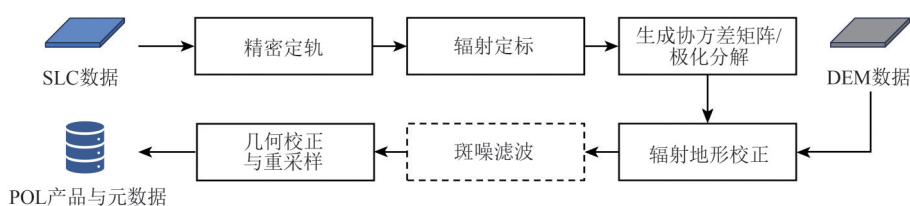


图2 POL产品常规处理步骤(虚线框为可选操作)

Fig. 2 POL product routine processing steps (dashed boxes are optional)

其中, 极化分解是极化 SAR PolSAR (Polarimetric SAR) 数据处理的核心技术, 用于解析地表目标的散射机制, 通过将复杂的雷达回波信号分解为基本的物理散射分量, 揭示目标的物理特性与结构信息。它基于极化散射矩阵 (Scattering Matrix) 或协方差矩阵 (Covariance Matrix), 通过数学模型将散射表征为表面散射、体散射和二次散射等基本类型的组合。表面散射 (单次反射) 通常对应平坦地表, 如土壤或水面, 表现为镜面反射特性; 体散射常见于植被冠层或森林, 反映地物内部的多重散射; 二次散射则与人工结构如建筑物相关, 涉及电磁波与目标的多次交互。极化分解可分为两大类: 相干分解和非相干分解。相干分解直接基于极化散射矩阵, 适用于 SLC 数据, 典型分解方法包括 Pauli 分解、SDH 分解、Cameron 分解等, 相干分解的优势在于能够精确描述单一目标的散射特性, 但对斑点噪声较为敏感, 且要求数据具有较高的相干性。非相干分解则基于协方差矩阵或相干矩阵, 适用于多视平均后的数据, 通过统计特性分析目标散射, 常用的分解方法有 Freeman-Durden 三分量分解、Yamaguchi 四分量分解、Cloude 分解等。

POL 产品的其他处理步骤与 NRB 类似, 采用了经过验证的标准化流程, 确保数据质量和处理效率的稳定性。POL 的模块化处理流程 (CovMat 到 PD) 便于与现有 SAR 数据处理链集成, 兼顾灵活性与扩展性, 为未来算法优化和技术升级提供了空间。尽管 POL 尚在发展初期, 但其在精细化地物分类和复杂场景解译中的潜力已初步显现, 与 NRB 相比, POL 在极化信息挖掘和物理特性表征方面展现出独特优势。

(3) 海洋雷达后向散射 ORB (Ocean Radar Backscatter)。海洋雷达后向散射 ORB (Ocean Radar Backscatter) 产品专为海洋环境监测与研究设计, 基于后向散射系数  $\sigma^0$ , 并投影于大地水准面, 以

确保数据的空间一致性和精度。ORB 产品提供两种校正选项: 一种是校正至椭球面 ( $E_0^0$ ), 适用于需要标准化参考平面的应用; 另一种是经过辐射地形校正 ( $T_0^0$ ), 能够有效消除陆地区域地形起伏对后向散射信号的干扰, 从而提高数据在复杂海洋环境中的可靠性 (处理流程如图 3 所示)。这两种校正方式为用户提供了灵活的选择, 以适应不同研究需求。

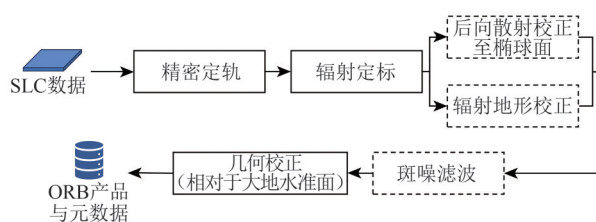


图3 ORB产品常规处理步骤(虚线框为可选操作)

Fig. 3 ORB product routine processing steps (dashed boxes are optional)

ORB 的基本产品主要提供后向散射值, 适用于直接分析海表特性, 不支持极化或干涉应用。但其高级产品通过引入极化协方差矩阵的上三角部分, 显著扩展了应用范围。极化协方差矩阵包含了多通道极化信息, 支持更复杂的极化分析, 例如目标散射机制的解译和多极化数据的联合处理。这使得高级 ORB 产品在需要精细化分析的场景中具有重要价值, 如海表动力学研究和目标分类。

ORB 产品在海洋环境监测中具有广泛的应用潜力, 主要用于分析海洋表面粗糙度、波浪特性以及海面风场等关键参数。在海洋表面粗糙度研究中, ORB 通过后向散射系数表征海面纹理, 为波浪传播和能量传递模型提供关键输入。在波浪特性分析方面, ORB 数据可用于估算波高、波长和传播方向, 助力海洋工程设计和航运安全。此外, ORB 在海面风场反演中表现出色, 通过后向散射信号与风速、风向的关联模型, 能够生成高

分辨率的风场分布图,支持天气预报和气候研究。例如,在台风监测中,ORB产品可快速提供海面风场变化数据,为灾害预警提供重要支持。

相较于其他SAR产品,ORB的优势在于其针对海洋环境的优化设计。产品的高时空分辨率使其能够捕捉瞬态海洋现象,如风暴引发的波浪或局部风场变化。此外,ORB的校正流程确保了数据在不同传感器和观测条件下的可比性,为长期海洋监测提供了可靠基础。尽管基本产品功能较为单一,但高级产品的极化分析能力弥补了这一局限,使其在多学科交叉研究中展现出更大潜力。ORB的模块化设计还便于与其他海洋观测数据(如浮标观测数据或光学遥感数据)集成,进一步提升了其在全球海洋环境监测中的应用价值。

(4) 地理编码单视复数GSLC (Geocoded Single-Look Complex)。GSLC产品与合成孔径雷达干涉测量InSAR (Interferometric SAR)研究相关,基于SLC数据,利用DEM和轨道状态向量,在地图投影下生成地理编码的复数产品。GSLC产品去除了平地相位,使得两个相同轨道的产品间差异仅反映地形高度/地表位移和噪声。GSLC保持与原始SLC相似的采样间距,既适合直接叠加显示,也适合进一步生成干涉图(CEOS, 2024),具体处理流程见图4。

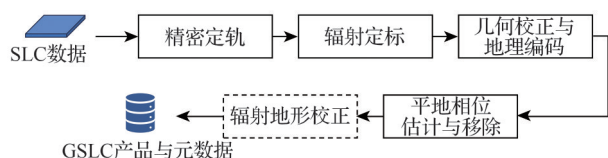


图4 GSLC产品常规处理步骤(虚线框为可选操作)

Fig. 4 GSLC product routine processing steps (dashed boxes are optional)

在InSAR处理中,去平地相位(Flattening或Remove Flat-Earth Phase)是干涉相位处理的一个关键步骤,目的是去除由于地球曲率和参考椭球体形状引起的平地相位分量,去除平地相位后,干涉相位中剩余的部分主要反映地形高度、地表形变、大气效应或其他噪声。

与传统SLC数据相比,GSLC的地理编码特性免除了用户自行进行坐标转换的繁琐步骤,直接提供了与地面坐标系对齐的复数数据,大幅提高了数据处理效率。此外,GSLC产品保留了完整的相位信息,能够精确捕捉地表微小形变,为高精

度监测提供了可能。尽管GSLC产品在生成过程中需要较高的计算资源和精确的辅助数据(如DEM和轨道参数),但其输出的高质量干涉数据为科学研究和实际应用提供了不可替代的价值。

在目前已形成规范的4种产品类型中,NRB产品系列已相对成熟,占有已发布或正在开发的SAR ARD产品的70%—80%,POL及GSLC产品各自约占10%,ORB产品则十分稀缺(CEOS Analysis Ready Data, 2025)。产生这种数据失衡现象的原因有3方面:首先,数据源要求存在差异。NRB产品生产基于标准雷达后向散射,这是现代SAR卫星均能够提供的基础信息,因此,ERS-1/2、Sentinel-1和NovaSAR-1等主流卫星都有生产NRB产品的能力,相比之下,POL产品则需多极化数据作为支撑,部分仅包含单极化模式的SAR卫星,例如ERS-1/2则不具备生成POL产品的能力,同样的,GSLC产品则依赖于SLC数据,ENVISAT ASAR宽幅模式或ALOS-1 PALSAR ScanSAR模式仅提供幅度数据,无法用于GSLC数据的生成。其次,数据处理难度存在差异。NRB数据生产方式相对简单,而POL需要对多极化数据进行处理,通常涉及复杂算法,GSLC则需保存地理编码和相位信息,数据加工难度更大。这种处理的复杂度和存储需求差异,在一定程度上造成了NRB产品的生产倾向。最后,产品应用场景的广泛度之间存在差异。NRB产品提供的信息是大多数应用所需要的关键性数据,例如土地覆盖分类、土壤湿度、冰川监测和灾害评估等。相比之下,ORB产品侧重于海洋应用,而GSLC多用于干涉测量,致力于地形测量或地表形变监测。这种应用领域的聚焦,在另一方面也导致其适用范围较窄,从而造成产品数量的失衡。由于SAR ARD产品在对地观测研究中的重要意义,目前仍需更多的机构和研究者对多样化产品进行补充,使SAR数据能够发挥更大的作用。

除上述已形成规范的4种产品类型外,InSAR ARD产品的最终规范正在开发中。InSAR测量地表形变和变化是理解地震、火山、滑坡、冰川、地下水变化、地幔过程以及农业、湿地和植被干扰等生态过程的重要工具,因此InSAR ARD产品的生产是十分重要的。虽然目前InSAR ARD产品规范仍未正式提出,目前研究人员已在INSAR ARD产品开展了一些研究。2022年,澳



大利亚 Wang 等（2022）以 Sentinel-1 数据为基础，提出了用于生成符合初步 CEOS ARD 规范的差分干涉测量产品的工作框架（见图 5），该框架可以使用公开可用的 SLC Sentinel-1 数据，应用差分 InSAR 处理输出干涉产品。最终生成适用于地面持续监测的 Sentinel-1 InSAR 数据。同年，Kelldorfer 等（2022）提出了一个全球季节性的 Sentinel-1 InSAR 和后向散射数据集，该研究首次通过多季节、全球范围内的 C 波段 SAR 重复轨道干涉相干系数和后向散射特征来描述地表变化，能够广泛应用于测绘领域。当前 InSAR ARD 数据主要包括干涉相干、缠绕相位、解缠相位，预计未来研究人员将对该类型数据进一步的扩充。

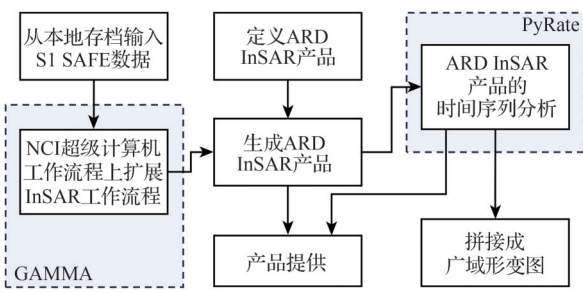


图 5 InSAR ARD 处理流程(Wang 等,2022)  
Fig. 5 InSAR ARD processing flow (Wang et al., 2022)

3 星载SAR ARD产品现状及应用

3.1 可供获取的星载SAR ARD产品及应用

目前各组织已公开了许多可用的星载SAR ARD 产品。本节将对这些产品进行梳理总结（表2）。

表2 公开可用SAR ARD产品  
Table 2 Publicly available SAR ARD products

| 数据源        | 传感器<br>波段 | 产品<br>开发机构 | 产品名称                                    | 产品类型 | 获取链接                                                                                                                                                                                                          |
|------------|-----------|------------|-----------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sentinel-1 | C波段       | DE Africa  | Sentinel-1 RTC                          | NRB  | <a href="https://registry.opendata.aws/deafrica-sentinel-1/">https://registry.opendata.aws/deafrica-sentinel-1/</a>                                                                                           |
| NovaSAR-1  | S波段       | CSIRO      | NovaSAR-1 RTC                           | NRB  | <a href="https://data.novasarcsiro.au/#/home">https://data.novasarcsiro.au/#/home</a>                                                                                                                         |
| ALOS-2     | L波段       | JAXA       | ALOS-2 PALSAR-2 25 m & 50 m ScanSAR NRB | NRB  | <a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JAXA_ALOS_PALSAR-2_Level2_2_ScanSAR">https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JAXA_ALOS_PALSAR-2_Level2_2_ScanSAR</a> |
|            |           |            | ALOS-2 PALSAR-2 Global Mosaics (RTC)    | NRB  | <a href="https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/fnf_e.htm">https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/fnf_e.htm</a>                                                                                           |
| EOS-04     | C波段       | ISRO       | RISAT-1A (EOS-04) NRB                   | NRB  | <a href="https://bhoonidhi.nrsc.gov.in/MetaSearch/E04_SAR_MRS_STUC00ZTD">https://bhoonidhi.nrsc.gov.in/MetaSearch/E04_SAR_MRS_STUC00ZTD</a>                                                                   |
|            |           |            | RISAT-1A (EOS-04) NRB India Mosaic      | NRB  | <a href="https://bhoonidhi.nrsc.gov.in/MetaSearch/E04_SAR_MRS_FIGC00ZTD">https://bhoonidhi.nrsc.gov.in/MetaSearch/E04_SAR_MRS_FIGC00ZTD</a>                                                                   |
| RCM-1/2/3  | C波段       | NRCan      | NRCan RCM NRB                           | NRB  | <a href="https://www.eodms-sgdot.nrcan-rncan.gc.ca/index-en.html">https://www.eodms-sgdot.nrcan-rncan.gc.ca/index-en.html</a>                                                                                 |
|            |           |            | NRCan RCM POL                           | POL  | <a href="https://registry.opendata.aws/rcm-ceos-ard/">https://registry.opendata.aws/rcm-ceos-ard/</a>                                                                                                         |

2022 年，Sentinel-1 RTC 产品是首款获得 CEOS 认证的 SAR ARD 产品。该产品由非洲数字地球计划 DE Africa（Digital Earth Africa）生成，基于 Sentinel-1 卫星搭载的 C 波段传感器数据，具有高分辨率、高重访周期和免费开放的特点（Claus 等，2023；Huang 等，2018）。Sentinel-1 RTC 产品专为非洲地区设计，针对非洲大陆面积广大、卫星数据获取困难的现状，以及在农业、粮食安全、土地退化与气候行动等方面的挑战，该产品显著降低了数据使用门槛，助力应对粮食安全、水资源供应和气候变化等紧迫问题，推动 SAR 数据在全球范围的广泛应用（Yuan 等，2022；Digital Earth Africa，2022）。2023 年，研究人员利用该产

品实现埃塞俄比亚中央裂谷地区的水体变化监测，为水资源管理提供了重要支持（Peppa 等，2023）。2023 年，澳大利亚联邦科学与工业研究组织 CSIRO（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation）推出的 NovaSAR-1 RTC 产品获得了 CEOS 认证（Zhou 等，2023）。NovaSAR-1（Saketapuram 等，2024）与环境 2 号 E/F 都为 S 波段 SAR 卫星，较长的波长使其对植被冠层和浅层土壤具有一定穿透性，适用于森林生物量估算（Rosenqvist 等，2020）、洪水监测（Ticehurst 等，2023）、土壤湿度监测、海洋监测（Kamirul 等，2024）等。NRB 产品的推出充分利用了 S 波段数据的优势，有力推动了 NovaSAR-1 卫星数据在多领

域的应用。

2024 年，日本宇宙航空研究开发机构 JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) 提出基于 L 波段 ALOS-2 卫星 (Kankaku 等, 2013) 的 ALOS-2 PALSAR-2 25 m & 50 m ScanSAR NRB 产品和 ALOS-2 PALSAR-2 Global Mosaics (RTC) 产品。其中，前者基于 ScanSAR 模式下的观测数据，分辨率为 25 m 和 50 m，可提供全球区域的双极化数据，在日本地区提供全极化数据 (Lahssini 等, 2024)。为大范围地表监测，如森林覆盖 (Balling 等, 2024)、土地利用变化、灾害评估等提供数据支持。后者则使用 Fine Beam Dual 模式观测数据生成，进行了几何校正，显著提升绝对几何精度。数据按  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  分块，采用 WGS84 投影，生成全球镶嵌数据集，适用于大尺度的长期环境监测、湿地生态系统的研究 (Rosenqvist 等, 2019; Oakes 等, 2024)。

在 2024 年—2025 年，印度空间研究组织 ISRO (Indian Space Research Organisation) 基于 C 波段 EOS-04 卫星 (Mehra 等, 2023) 先后推出了 RISAT-1A (EOS-04) NRB 与 RISAT-1A (EOS-04) NRB India Mosaic 产品 (Rao 等, 2025)。前者采用 RTC 方法来消除地形起伏影响 (Ramanujam 等, 2024)，后者则在前者基础上生成  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  的镶嵌图块，为大

规模时序分析、地表动态监测及地学应用提供了高质量、标准化的数据支持。近期，加拿大自然资源部 NRCan (Natural Resources Canada) 基于 RCM (RADARSAT Constellation Mission) 星座推出了 NRCan RCM NRB 产品 (RADARSAT Constellation Mission, 2025)。此外，NRCan 利用 RCM 卫星多极化优势 (Short 等, 2019)，推出了 NRCan RCM POL 产品，该产品是目前唯一符合 CEOS 标准的 POL 产品，为后续 POL 产品的开发奠定基础 (RCM CEOS Analysis Ready Data, 2025)。

目前已发布的规范产品大多是 NRB 产品，均由各国权威研究组织或机构发布。这些产品可以实现便捷的获取，无需额外的处理便可直接使用，这不仅简化了 SAR 研究的数据准备流程，也提高了 SAR 数据与其他领域融合发展进程。此外，这些机构充分利用数据获取优势和强大的计算力，不断对 ARD 产品进行大范围的及时更新，能够让普通研究者更加快速获取到所需要的信息，对当前的时空联合分析和实时监测研究具有重要意义。

3.2 开发中或未认证的星载 SAR-ARD 产品

与应用需求相比，现有的 SAR ARD 产品在数量和多样性上仍存在较大差距。因此，当前各国研究机构仍在致力于不断开发新的星载 SAR ARD 产品，以填补数据空缺 (表 3)。

表 3 开发中或未认证的星载 SAR ARD 产品  
Table 3 SAR ARD products under development or not certified

| 开发组织     | 卫星         | 传感器波段    | 产品名称                   | 产品类型     | 状态     |
|----------|------------|----------|------------------------|----------|--------|
| ESA      | ERS-1/2    | C 波段     | ERS-1/2 NRB            | NRB      | 开发中    |
|          | ENVISAT    | C 波段     | ENVISAT NRB            | NRB      | 开发中    |
|          | Sentinel-1 | C 波段     | Sentinel-1 NRB         | NRB      | 开发中    |
|          |            |          | Sentinel-1 ORB         | ORB      | 计划中    |
|          | ROSE-L     | L 波段     | ROSE-L NRB             | NRB      | 计划中    |
|          | BIOMASS    | P 波段     | BIOMASS NRB            | NRB      | 可行性调研中 |
| NASA/JPL | Sentinel-1 | C 波段     | Opera GSLC-S1          | GSLC     | 开发中    |
|          | NISAR      | L 与 S 波段 | Opera NISAR RTC & GSLC | NRB GSLC | 开发中    |
| DLR      | Sentinel-1 | C 波段     | DLR Sentinel-1 ORB     | ORB      | 开发中    |
| CONAE    | SAOCOM-1   | L 波段     | SAOCOM                 | NRB      | 开发中    |

目前 ESA 开发中的 ESA SAR ARD 产品种类最为丰富。ESA 正基于 ERS-1/2 和 ENVISAT 卫星数据 (Le Traon 和 Ogor, 1998; Louet 和 Bruzzi, 1999) 开发 NRB 产品 (Albinet 等, 2024)。此外，Sentinel-1 卫星作为广泛使用的免费公开 SAR 数据源，尽管非洲数字地球计划 (DE Africa) 已基于

该数据推出覆盖非洲的 NRB 产品，但其他地区的多样化 ARD 产品仍显不足。作为 Sentinel-1 的运营机构，具备便捷、实时的数据获取优势，ESA 基于 CEOS 的 NRB 和 ORB 产品规范提出了 Sentinel-1 的 NRB 和 ORB 产品开发计划。其中，S1-NRB 产品经过精确的辐射和几何地形校正 (Small, 2011)，



并采用哥白尼DEM等高分辨率数据进一步提升精度,同时去除背景噪声;S1-ORB产品则包含辐射大地水准面校正后的后向散射系数,所有影像均经过投影和网格划分。目前,S1-NRB产品正在开发中,S1-ORB产品尚处规划阶段。

ESA计划于2028年发射L波段ROSE-L卫星,填补现有C波段SAR在植被区域和复杂地形观测中的不足。ESA将逐步开发基于ROSE-L的NRB、ORB、POL、GSLC和InSAR产品,其中NRB产品的开发已纳入计划。此外,BIOMASS卫星是ESA未来发射的另一重点项目,专注于全球森林生物量高精度测量,旨在填补碳循环研究的关键数据空白。作为首个P波段SAR卫星任务,BIOMASS计划于2025年第三季度启动NRB产品可行性研究(Albinet等,2024)。这些产品的推出将显著丰富全球ARD数据种类,填补现有产品空缺。

美国国家航空航天局NASA(National Aeronautics and Space Administration)与喷气推进实验室JPL(Jet Propulsion Laboratory)联合主导的遥感数据分析项目OPERA(Observational Products for End-Users from Remote Sensing Analysis)将基于Sentinel-1数据生成GSLC-S1产品(Handwerker等,2024),该产品将成为目前唯一符合CEOS规范的Sentinel-1 GSLC产品,将进一步丰富Sentinel-1的ARD产品体系。此外,预计2025年发射的NISAR卫星(NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar)具备L波段和S波段双频观测优势(Meyer等,2024),为充分利用该数据,OPERA项目规划开发NISAR RTC和GSLC产品,预计在卫星发射后启动。

德国航天中心DLR(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)目前正基于Sentinel-1卫星数据开发ORB产品,以满足SAR海洋学的需求。该产品将用于多样化海洋应用,如船舶检测、海况监测和海冰漂移估计。但截至目前,DLR的Sentinel-1 ORB产品仍在开发中,尚未公开提供(Sentinel-1 Ocean Radar Backscatter, 2025)。该产品是目前唯一在研的符合CEOS规范的ORB产品,备受期待。

阿根廷国家空间活动委员会CONAE(The National Commission on Space Activities)则基于L波段SAOCOM-1A/B卫星开发NRB产品(Palomeque等,2025)。

从目前产品开发的趋势来看,SAR ARD产品

开发呈现明显偏重,NRB产品仍是重点,而POL和GSLC产品因处理难度较高,亟需更多投入。未来,随着多样化ARD产品的持续推出,SAR ARD产品体系将不断完善,为科学研究提供有力支持,真正为终端用户实现简化数据处理的目标。

## 4 SAR ARD生产与管理平台

在大数据时代背景下,为高效开展EO时间序列分析任务,需对海量的遥感数据集进行系统化生产与管理。在此需求驱动下,EODC应运而生,旨在让普通用户更便捷地获取和使用遥感数据,并实现实时应用(Truckenbrodt等,2019; Ticehurst等,2019)。EODC通过多维数据结构(空间、时间、谱段)简化数据管理与分析,应对卫星数据存储与处理的挑战。其发展始于2011年澳大利亚的“澳大利亚地球科学数据立方体”AGDC(Australian Geoscience Data Cube),聚焦Landsat数据的高效利用。2017年,AGDC更名为Open Data Cube(ODC),采用Apache 2.0开源许可,由CEOS推动全球化。ODC基于Python库和PostgreSQL数据库,支持ARD,集成Landsat、Sentinel等多种数据,广泛应用于环境监测、土地管理和政策支持。全球范围内,瑞士数据立方体SDC(Swiss Data Cube)(2016年起)、非洲区域数据立方体(2018年)等相继部署,展现了其区域适应性。通过开源社区协作,EODC正成为地球观测领域的核心工具,推动数据共享与可持续发展目标实现。

EODC具备存储和分析海量EO数据的能力,而ARD的提出进一步降低了数据使用门槛。二者结合使用户能从多样化的EODC平台直接获取可分析的ARD产品。澳大利亚地球科学局率先推出的ODC平台,通过用户友好的API,实现了时空数据的标准化存储、高效查询和多维分析,简化了ARD产品访问流程。在SAR ARD产品领域,SDC率先整合全套Sentinel-1 ARD数据档案,提供覆盖瑞士全境的ARD产品,支持环境变化实时监测与政策评估,且融合了光学(Landsat 5/7/8、Sentinel-2)和SAR(Sentinel-1)数据,为科研、政策制定及私营机构提供支持。其中,Sentinel-1 NRB产品经辐射校正、地形校正和时序合成等自动化预处理,生成Sentinel-1 L3C标准化产品“s1\_l3comp\_swiss”,可直接用于分析,成为SDC的关键组件(Chatenoux等,2021; Giuliani等,2017)。

随着云计算技术成熟, 遥感云平台逐渐成为数据处理与分析的主流 (Feng 等, 2022)。云平台显著提升处理效率, 支持实时分析与决策, 降低对本地软硬件依赖, 为大范围遥感研究提供强力支撑。用户可通过封装的 SAR ARD 产品生成框架, 在云端实现数据自动化处理, 灵活定制流程与参数, 适应多样化应用场景。同时, 也支持用户根据需求定制处理流程、调整参数, 能够灵活的适应不同的应用场景和算法需求。

谷歌地球引擎 GEE (Google Earth Engine) 是遥感分析的领先云平台, 拥有丰富数据目录和强大计算能力 (Tamiminia 等, 2020)。作为最早采用大数据基础设施提供 EO-ARD 范式的平台之一, GEE 支持快速分析地理空间数据集 (Vollrath 等, 2020)。Sentinel-1 数据在 GEE 上经过热噪声去除、校正、多视处理及距离多普勒地形校正等基础预处理, 但针对特定应用 (如农作物监测、森林扰动检测), 用户需自定义流程生成高精度 ARD。Mullissa 等 (2021) 提出的 Sentinel-1 SAR 后向散射分析就绪数据 (SIARD) 框架是 GEE 上 SAR ARD 生产的典型案例 (图 6)。该框架通过 JavaScript 和 Python API 实现边界噪声校正、斑噪滤波和辐射地形归一化, 输出线性或 dB 格式, 兼容后续分析 (Mullissa 等, 2021)。其优势在于算法选择多样, 灵活性强, 应用广泛。2024 年, Novresiandi 等 (2024) 基于 SIARD 框架评估了不同斑噪滤波配置对水稻监测的影响, 凸显 GEE 上灵活预处理流程的价值。

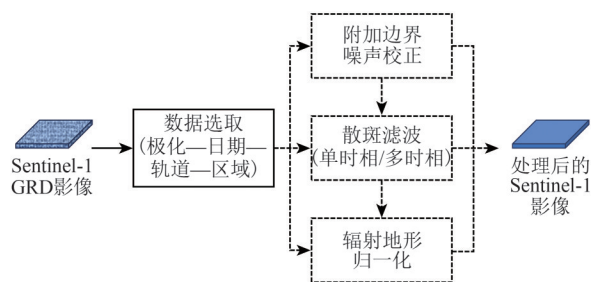


图 6 SIARD 数据处理框架(虚线框为可选操作)  
(Mullissa 等, 2021)

Fig.6 SIARD data processing framework (dashed boxes are optional operations) (Mullissa et al., 2021)

此外, 为更好地运用 GEE 等云平台强大的遥感地学分析能力处理实际问题, 研究者们陆续提出了针对各个应用领域的 SAR ARD 产品处理框架。这些框架为各个专项领域提供了更加细节和专业的 ARD 数据支持, 并能够将处理后的数据直接应

用于后续的分析中, 实现快速、大规模的遥感制图。例如, 在农业方面, Kumar 等 (2022) 提出了一个基于 Sentinel-1 数据的 “agricultural SandboxNL” 数据库生产框架 (图 7), 该框架可在 GEE 中公开使用, 覆盖 2017 年—2019 年荷兰大约 77 万个农作物地块, 提供大量与作物相关的元数据信息, 减轻了农业监测领域研究者使用和解译 SAR 数据的障碍。此外, Ghosh 等 (2023) 为简化 Sentinel-1 数据在洪水监测中的应用, 在 GEE 平台提出了构建标准化 ARD 的工作流程 (图 8), 该框架的提出使得研究者能够更加快速的生成洪水地图, 更好地跟踪洪水发生和强度, 进行近实时的损失评估 (Ghosh 等, 2023)。这些专业领域的 ARD 数据, 能够为用户提供更加精细化和专业化的信息, 促进各领域发展。

当前 EODC 平台和 GEE 等云平台均能够实现时空多维遥感数据的管理与分析。其中, 云平台是一种集成式数据管理方式, 内置大量公开数据, 用户可以直接调用, 提供弹性的计算实例、分布式存储和并行计算服务, 无需关心数据存储问题, 可以实现复杂多样的分析任务。而 EODC 则是一种分布式数据管理方式, 提供遥感数据预处理的开放源代码, 更侧重于数据的标准化、管理和定制化处理, 允许用户通过对算法和数据处理流程进行修改和优化来构建自己的数据产品, 更适合构建针对特定区域或专题的长期数据产品。实际应用中, 用户根据需求进行平台选择, 或将两者结合使用, 发挥各自的优点。用户能够通过 EODC 整合云平台提供的数据集, 例如 EODC Google Sandbox 的提出使得 EODC 可整合 GEE 的数据集 (Killough 等, 2021)。反之, 用户也可充分利用 EODC 在数据预处理阶段具有独特优势定制所需的 ARD 产品, 再通过云平台强大的编程和计算能力进行后续分析和可视化。

然而, 目前的 SAR ARD 生成框架存在显著的单一性, 无论是 EODC 平台还是云平台处理框架, SAR ARD 产品仍聚焦于 NRB 类型, 专业化产品则在数据规范性和多样性方面存在欠缺。同时, EODC 面临数据量激增、计算资源需求高及互操作性等挑战。未来的研究中应当充分发挥 ODC 与云平台各自的优点, 聚焦 EODC 的云原生优化、机器学习集成及 STAC 协议标准化, 并提出更多种类的 ARD 产品生成框架, 以满足不同领域的研究需求。

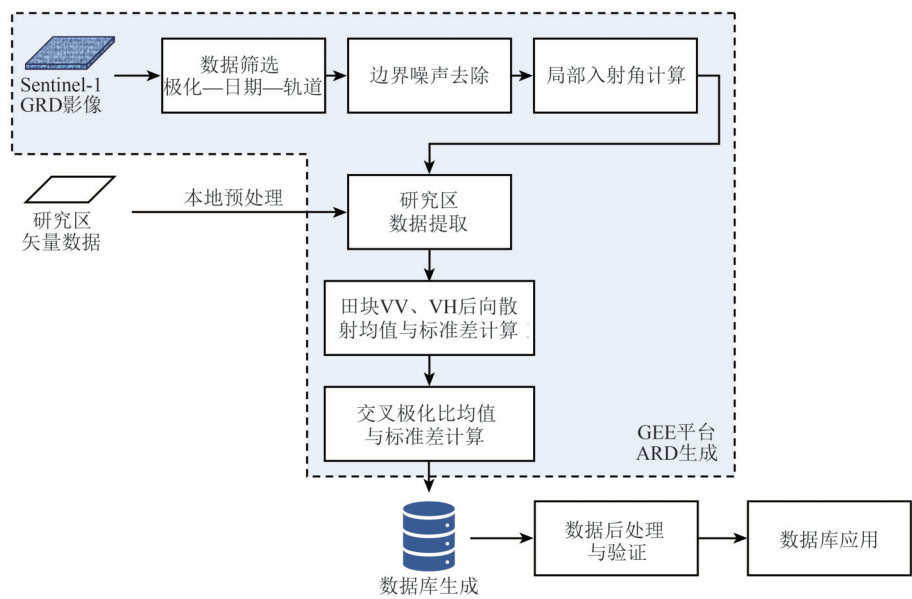


图7 GEE平台 agricultural SandboxNL数据库生成框架(Kumar等,2022)

Fig. 7 GEE platform agricultural SandboxNL database generation framework (Kumar et al., 2022)

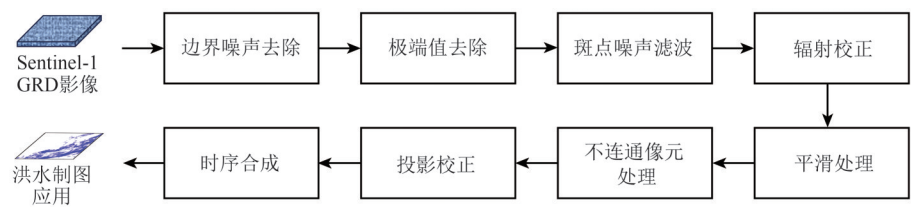


图8 GEE平台用于洪水制图的SAR ARD生成框架(Ghosh等,2023)

Fig. 8 SAR ARD generation framework for flood mapping on the GEE platform (Ghosh et al., 2023)

5 讨 论

在大数据驱动的EO领域，ARD的快速发展呈现出显著的体系分化特征。光学遥感方面，依托Landsat系列卫星建立了高度标准化的生产体系，实现了从数据采集到产品生成的全流程自动化。然而，SAR ARD产品因其技术复杂性和数据特性，面临诸多局限性和发展难点。

尽管SAR技术在全天候、全天时监测中具有独特优势，其ARD产品的标准化和多样性仍显不足。虽然CEOS机构已经推出了4种类型的SAR ARD产品规范，但实际应用中产品种类明显不足。目前市面上符合规范的产品主要为NRB产品，POL产品数量较少，ORB和GSLC尚处于开发阶段。这种产品类型的单一性限制了SAR ARD在海洋遥感（如油污监测）、灾害监测（如滑坡、地震）以及极化干涉应用中的广泛推广。此外，SAR ARD的标准化程度较低，跨平台互操作性不足，导致不同数据源生成的产品难以无缝整合，

影响了区域性和全球性应用的效率。

推动SAR ARD产品多样化面临多重挑战。首先，免费、公开的高分辨率SAR数据资源较为稀缺。虽然Sentinel-1提供了C波段数据，但其他波段（如X、S、L、P）的数据常受限于商业化或数据政策，导致部分地区因卫星轨道设计或数据覆盖不足而无法生成高质量ARD产品。其次，SAR数据处理的技术门槛高，尤其是POL和GSLC产品，涉及极化分解、干涉处理和复杂地形校正，需大量本地存储和计算资源。这不仅增加了生产成本，还降低了产品更新频率，难以满足突发事件（如洪水、地震）的实时监测需求。此外，SAR影像受斑点噪声和地形效应影响，需精细化预处理（如辐射校正、地形归一化），进一步增加了生产难度。

针对当前SAR ARD产品的局限性和发展中面临的难点，可以从以下四个方面发展应对措施，以便更好地促进SAR ARD产品的多样化与普及化。

（1）提供全球免费公开数据集。为缓解SAR



数据获取成本高和资源稀缺的困境，越来越多的机构致力于开放数据。例如，ESA的Sentinel-1提供了全球范围的C波段数据，NASA与ISRO合作的NISAR任务也将遵循开放数据政策。这些免费数据显著降低了研究和应用的门槛，促进全球数据共享与协同创新。目前Sentinel-1数据的广泛使用已催生了大量NRB产品，为农业监测、洪水预警等提供了基础支撑。未来，随着更多开放数据（如BIOMASS的P波段数据）上线，SAR ARD的生产将进一步加速。

(2) 增加SAR ARD产品生产的灵活性。在EODC和GEE等平台的推动下，SAR ARD生产逐渐向模块化和参数化方向发展。EODC通过Python API支持用户定制数据索引和处理流程，全球部署的实例（如非洲DE Africa、瑞士SDC）展示了其灵活性。GEE则凭借云端计算能力，提供了Sentinel-1的预处理产品（如热噪声去除、地形校正），用户可通过框架如SIARD自定义斑噪滤波、辐射归一化等步骤。这些自动化、智能化工具降

低了技术门槛，提高了产品生成速度和精度，同时适配不同应用需求，显著提升了SAR ARD在区域性应用的效率。

(3) 实现ARD产品与深度学习模型的紧密结合。深度学习技术的兴起为SAR ARD生产注入了新活力。卷积神经网络CNN (Convolutional Neural Networks)、循环神经网络RNN (Recurrent Neural Network) 和Transformer模型在SAR图像的地物检测、分类和语义分割中表现优异。例如，CNN可用于NRB产品的地物分类，Transformer则在时序变化检测中展现潜力。将深度学习融入SAR ARD生产，可自动化提取复杂特征，提升产品精度，满足农业监测、灾害评估等高要求场景。此外，在高性能计算的支持下，遥感数据的多模态融合成为新趋势，通过将SAR ARD与光学数据（如Landsat、Sentinel-2）结合，生成互补性更强的产品，例如，SAR数据与光学的光谱信息结合，可提高土地覆盖分类的鲁棒性。未来，多模态大模型的发展将进一步推动SAR ARD在跨领域应用中的突破。

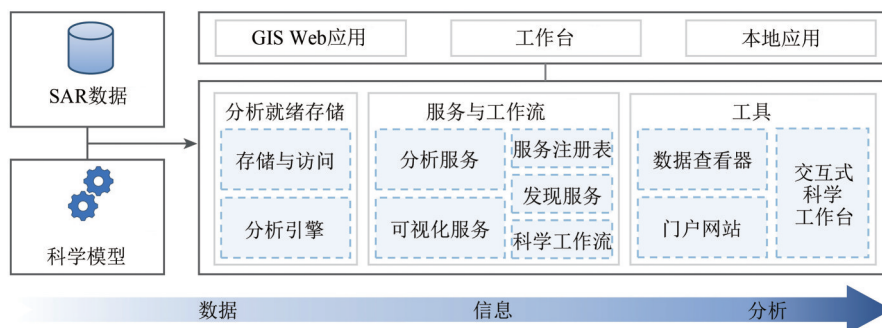


图9 SAR ARD与科学模型的结合示意图

Fig. 9 Schematic of the integration of SAR ARD with scientific modeling

(4) 实现SAR ARD产品在多样化场景中的应用。随着SAR卫星的多样化，特别是商业SAR卫星的发展，丰富的数据源为ARD产品扩展提供了可能。当前，C波段的GF-3与Sentinel-1、S波段HJ2-E/F、L波段的LT-1 A/B与ALOS-2、S波段的NovaSAR-1、L/S双频的NISAR以及P波段的BIOMASS等卫星提供了多分辨率、多波段的数据支持。世界各国的科研机构基于这些数据开发出多层次ARD产品，覆盖农业（如作物分类）、林业（如生物量估算）、城市监测（如建筑物提取）和海洋应用（如船舶检测）。不同波段和分辨率的结合使SAR ARD能够更精细地服务于特定领域，推

动了应用场景的多元化。

目前国内外科研人员正在不断推进SAR ARD产品的生产与改进措施，然而，从当前的产品生产趋势来看，产品类型失衡问题仍然存在，未来需投入更大的精力解决产品发展面临的困境，为普通用户提供更加全面的数据产品。为进一步推动SAR ARD的发展，需进一步加强国际合作，扩大免费SAR数据覆盖范围，优化卫星轨道设计以弥补区域数据空白。此外，有必要制定统一的标准化规范（如CEOS ARD框架的细化），增强不同平台产品的互操作性；同时，需要开发更高效的处理算法，结合云计算和分布式计算降低生产成

本, 提升更新频率; 最后, 深化深度学习与多源数据融合, 开发自动化生产流水线, 为复杂场景提供定制化、高精度的ARD产品。

## 6 结 语

随着SAR技术的迅猛发展, 海量数据的涌现以及深度学习处理范式的突破性进展, SAR的应用场景得到了前所未有的拓展, 吸引了日益广泛的用户群体, 从科学研究到政策决策, 从环境监测到灾害管理, SAR数据正深刻改变我们对地球系统的认知与应对方式。本文系统分析了SAR ARD的核心概念, 深入探讨了其多样化的产品类型及其背后支撑的生产与管理平台, 同时以审慎的视角分析了当前发展中面临的挑战, 并提出了切实可行的解决路径。

未来的SAR ARD数据产品将突破现有局限, 涵盖更广泛的类别与层次, 填补更多的ARD产品空白。数据更新频率的显著提升将为动态监测提供更及时的支持, 满足实时决策的需求。与此同时, 空天地一体化的技术浪潮将推动基于无人机SAR与机载SAR的高分辨率、高时效性数据产品的诞生。未来, 随着空天地一体化技术的融合以及多波段SAR数据的丰富, SAR ARD产品将进一步突破时空分辨率的限制, 拓展至海洋、极地等复杂环境, 为全球可持续发展目标提供更强有力的数据支撑。

在深度学习的驱动下, SAR ARD产品的处理方法将朝着自动化、实时化、高精度与多元化的方向加速演进。人工智能与机器学习技术的突破将推动数据预处理的全面自动化, 显著提升产品生成效率与精度。更为先进的算法将进一步优化SAR ARD产品的生产流程, 确保其在复杂环境下的鲁棒性与可靠性。展望未来, 数据处理方法的轻量化将成为可能, 通过在传感器端部署高效算法, 减少对地面站的计算依赖, 为实时地表活动监测开辟全新路径。

随着SAR技术在时空分辨率与波段多样性上的持续突破, 未来的SAR ARD产品将紧随技术前沿, 在全球合作的推动下, SAR ARD产品有望以更高的效率与精度, 赋能人类应对气候变化、粮食安全和自然灾害等重大挑战, 在更多的研究领域发挥更大的作用, 以更高的适应性和创新性服务于多学科研究与全球可持续发展目标。

**志 谢** 此次文献与数据整理感谢中国科学院空天信息创新研究院数字地球重点实验室、生态环境部卫星遥感重点实验室与首都师范大学研究生院各位同事和研究生的帮助, 在此表示衷心的感谢!

## 参考文献(References)

- Albinet C, Chakroun M, Eberle J, Haria K, Small D, Truckenbrodt J, Valentino A, Wendleder A and Wolsza, M. 2024. New Analysis Ready Data products for European Space Agency Synthetic Aperture Radar missions. In EUSAR 2024; 15th European Conference on Synthetic Aperture Radar. VDE, 2024: 1299-1302
- Ballère M, Bouvet A, Mermoz S, Le Toan T, Kolec T, Bedeau C, André M, Forestier E, Frison P L and Lardeux C. 2021. SAR data for tropical forest disturbance alerts in French Guiana: benefit over optical imagery. *Remote Sensing of Environment*, 252: 112159 [DOI: 10.1016/j.rse.2020.112159]
- Balling J, Slagter B, Van Der Woude S, Herold M and Reiche J. 2024. ALOS-2 PALSAR-2 ScanSAR and Sentinel-1 data for timely tropical forest disturbance mapping: a case study for Sumatra, Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 132: 103994 [DOI: 10.1016/j.jag.2024.103994]
- Baraldi A, Sapia L D, Tiede D, Sudmanns M, Augustin H L and Lang S. 2023. Innovative Analysis Ready Data (ARD) product and process requirements, software system design, algorithms and implementation at the midstream as *necessary-but-not-sufficient* precondition of the downstream in a new notion of Space Economy 4.0—Part 1: problem background in Artificial General Intelligence (AGI). *Big Earth Data*, 7(3): 455-693 [DOI: 10.1080/20964471.2021.2017549]
- CEOS. 2024. CEOS-ARD PFS Synthetic Aperture Radar v1.1. [2025-03-26]. [https://ceos.org/ard/files/PFS/SAR/v1.1/CEOS-ARD\\_PFS\\_Synthetic\\_Aperture\\_Radar\\_v1.1.pdf](https://ceos.org/ard/files/PFS/SAR/v1.1/CEOS-ARD_PFS_Synthetic_Aperture_Radar_v1.1.pdf)
- CEOS Analysis Ready Data. 2025. [2025-02-19]. <https://ceos.org/ard/>
- Chatenoux B, Richard J P, Small D, Roesli C, Wingate V, Poussin C, Rodila D, Peduzzi P, Steinmeier C, Ginzler C, Psomas A, Schaepman M E and Giuliani G. 2021. The Swiss data cube, analysis ready data archive using earth observations of Switzerland. *Scientific Data*, 8: 295 [DOI: 10.1038/s41597-021-01076-6]
- Claus M, Jacob A, Giuseppe C and Lopez-Sanchez J M. 2023. SAR2Cube—An open framework for an efficient setup of SAR imagery in analysis ready data cubes//IGARSS 2023—2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Pasadena: IEEE: 421-424 [DOI: 10.1109/IGARSS52108.2023.10281945]
- Claverie M, Ju J C, Masek J G, Dungan J L, Vermote E F, Roger J C, Skakun S V and Justice C. 2018. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219: 145-161 [DOI: 10.1080/20964471.2018.09.002]
- Digital Earth Africa. 2022. Analysis ready data. A smart way to use Earth observation for Africa's rising nations. (2022-05)[2025-03-

- 26]. <https://www.digitalearthafrika.org/sites/default/files/file-uploads/Master%20Report%20-%20ARD%20for%20Africa%20-%20May%202022.pdf>
- Dwyer J L, Roy D P, Sauer B, Jenkerson C B, Zhang H K and Lymburner L. 2018. Analysis ready data: enabling analysis of the land-sat archive. *Remote Sensing*, 10(9): 1363 [DOI: 10.3390/rs10091363]
- Feng L, You Y, Liao W L, Pang J W, Hu R H and Feng L. 2022. Multi-scale change monitoring of water environment using cloud computing in optimal resolution remote sensing images. *Energy Reports*, 8: 13610-13620 [DOI: 10.1016/j.egy.2022.09.134]
- Frantz D. 2019. FORCE—Landsat + Sentinel-2 analysis ready data and beyond. *Remote Sensing*, 11(9): 1124 [DOI: 10.3390/rs11091124]
- Ghosh S, Dawn A, Kour S and Ghosh S. 2023. Standardized Analysis Ready (STAR) data cube for high-resolution Flood mapping using Sentinel-1 data. *arXiv:2311.14694* [DOI: 10.48550/arXiv.2311.14694]
- Giuliani G, Chatenoux B, De Bono A, Rodila D, Richard J P, Allenbach K, Dao H and Peduzzi P. 2017. Building an Earth Observations Data Cube: lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD). *Big Earth Data*, 1(1/2): 100-117 [DOI: 10.1080/20964471.2017.1398903]
- Handwerger A L, Chan S, Bekaert D and the OPERA Team. 2024. The Observational Products for End-Users from Remote Sensing Analysis (OPERA) Project: Status, access, applications, tools, and more//EGU General Assembly 2024. Vienna: EGU: EGU24-14221 [DOI:10.5194/egusphere-egu24-14221]
- Huang L Q, Liu B, Li B Y, Guo W W, Yu W H, Zhang Z H and Yu W X. 2018. OpenSARShip: a dataset dedicated to Sentinel-1 ship interpretation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1): 195-208 [DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2755672]
- Kamirul K, Pappas O, Rizaev I G and Achim A. 2024. On the modeling of ship wakes in S-band SAR images and an application to ship identification//IGARSS 2024 - 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Athens: IEEE: 10599-10603 [DOI: 10.1109/IGARSS53475.2024.10642130]
- Kankaku Y, Suzuki S and Osawa Y. 2013. ALOS-2 mission and development status//2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS. Melbourne: IEEE: 2396-2399 [DOI: 10.1109/IGARSS.2013.6723302]
- Kellendorfer J, Cartus O, Lavallo M, Magnard C, Milillo P, Oveisgharan S, Osmanoglu B, Rosen P A and Wegmüller U. 2022. Global seasonal Sentinel-1 interferometric coherence and backscatter data set. *Scientific Data*, 9(1): 73 [DOI: 10.1038/s41597-022-01189-6]
- Killough B., Rizvi S. and Lubawy A. 2021. Advancements in the Open Data Cube and the Use of Analysis Ready Data in the Cloud//IGARSS 2021—2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Brussels: IEEE: 1793—1795 [DOI:10.1109/IGARSS47720.2021.9553063]
- Kumar V, Huber M, Rommen B and Steele-Dunne S C. 2022. Agricultural SandboxNL: a national-scale database of parcel-level processed Sentinel-1 SAR data. *Scientific Data*, 9(1): 402 [DOI: 10.1038/s41597-022-01474-4]
- Lambert J, Drenou C, Denux J P, Balent G and Cheret V. 2013. Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. *GIScience and Remote Sensing*, 50(4): 437-457 [DOI: 10.1080/15481603.2013.820070]
- Lahssini K, Baghdadi N, Le Maire G, Fayad I and Villard L. 2024. Canopy height mapping in French Guiana using multi-source satellite data and environmental information in a U-Net architecture. *Frontiers in Remote Sensing*, 5: 1484900 [DOI: 10.3389/frsen.2024.1484900]
- Le Traon P Y and Ogor F. 1998. ERS-1/2 orbit improvement using TOPEX/POSEIDON: the 2 cm challenge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C4): 8045-8057 [DOI: 10.1029/97JC01917]
- Lewis A, Lacey J, Mecklenburg S, Ross J, Siqueira A, Killough B, Szantoi Z, Tadono T, Rosenavist A, Goryl P, Miranda N and Horsford S. 2018. CEOS analysis ready data for land (CARD4L) overview//IGARSS 2018—2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Valencia: IEEE: 7407-7410 [DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8519255]
- Louet J, Bruzzi S. 1999. ENVISAT mission and system//Proceedings of the 1999 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'99), Hamburg, Germany, 28 June - 2 July 1999. IEEE, New York, NY, USA, 1999 [DOI:10.1109/IGARSS.1999.772059]
- Mehra R, Akram W, Agrawal K M and Ramanujam V M. 2023. Towards EOS-04 ARD Normalized Radar Backscatter (NRB) product//2023 IEEE India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS). Bangalore: IEEE: 1-4 [DOI: 10.1109/InGARSS59135.2023.10490375]
- Meyer F J, Rosen P A, Fattahi H, Hogenson K, Albright R W, Wagner C, Short G, Kristenson K, Kennedy J H and Kristenson H. 2024. Making NISAR data accessible to the community//15th European Conference on Synthetic Aperture Radar. Munich: IEEE: 1107-1111
- Mullissa A, Vollrath A, Odongo-Braun C, Slagter B, Balling J, Gou Y Q, Gorelick N and Reiche J. 2021. Sentinel-1 SAR backscatter analysis ready data preparation in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(10): 1954 [DOI: 10.3390/rs13101954]
- Novresiani D A, Setiyoko A, Indriasari N, Veronica K W, Budiono M E, Dianovita, Amriyah Q and Subehi M. 2024. Evaluation of speckle filtering configurations on Sentinel-1 SAR backscatter analysis ready data (SIARD) preparation framework on the Google Earth Engine platform for supporting rice monitoring activities. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36: 101337 [DOI: 10.1016/j.rsase.2024.101337]
- Oakes G, Hardy A, Bunting P and Rosenqvist A. 2024. RadWet-L: a novel approach for mapping of inundation dynamics of forested wetlands using ALOS-2 PALSAR-2 L-band radar imagery. *Remote Sensing*, 16(12): 2078 [DOI: 10.3390/rs16122078]
- Onoda M and Young O R. 2017. *Satellite Earth Observations and Their Impact on Society and Policy*. Singapore: Springer [DOI: 10.1007/978-981-10-3713-9]
- Palomeque M, Ferreyra J and Thibeault M. 2025. Monitoring Results of the SAOCOM-1 Constellation: a mission overview and summary



- ry of results. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. Early Access: [DOI: 10.1109/MGRS.2024.3475228]
- Peppas M V, Solano-Correa Y T, Mills J P and Haile A T. 2023. Rapid mapping of waterbody variations in the central rift valley, Ethiopia, using the digital Earth Africa open data cube//IGARSS 2023—2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Pasadena: IEEE: 5359-5362 [DOI: 10.1109/IGARSS52108.2023.10282717]
- RADARSAT Constellation Mission. 2025. [2025-03-26]. <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/>
- Ramanujam V M, Agrawal K M, Mehra R, Saquib Q, Arora P, Gupta S, Parashar P, Akram W and Garg A. 2024. Advances in EOS-04 SAR data processing: polarimetry, repeat-pass interferometry and analysis-ready data products. *Current Science*, 126(9): 1024-1032 [DOI: 10.18520/cs/v126/i9/1024-1032]
- Rao C V N, Putrevu D, Manavala Ramanujam V, Bhattacharya B K, Patnaik C, Pandey D K, Das A, P J, Chakraborty A, Ramakrishnan R, Singh S K, Gujrati A, K M S, Agrawal R, Chirakkal S, Maganti T, Kumar M, Chakraborty T, Mehra R and Desai N M. 2025. Radar imaging with India's Earth Observation Satellite-04: Earth resource monitoring using C-band synthetic aperture radar system. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2-31 [DOI:10.1109/MGRS.2025.3556395]
- RCM CEOS Analysis Ready Data. 2025. [2025-03-26]. <https://registry.opendata.aws/rcm-ceos-ard/>
- Rosenqvist A, Tadono T, Shimada M and Itoh T. 2019. Jaxa Global Sar Mosaics—Assessing compliance with Ceos analysis ready data for land (Card41) specifications//IGARSS 2019—2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Yokohama: IEEE: 5545-5548 [DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8899842]
- Rosenqvist A, Parker A, Zhou Z S, Brindle L and Held A. 2020. First assessment of NovaSAR-1 S-band SAR backscatter characteristics over tropical wetlands//IGARSS 2020—2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Waikoloa: IEEE: 5065-5068 [DOI: 10.1109/IGARSS39084.2020.9324143]
- Saketapuram H, Sahu S, Hsu U S, Sarma M M and Chauhan P. 2024. NovaSAR-automated data processing for geometric correction and radiometric terrain normalization for analysis ready data//2024 IEEE Space, Aerospace and Defence Conference (SPACE). Bangalore: IEEE: 1089-1092 [DOI: 10.1109/SPACE63117.2024.10668321]
- Sentinel-1 Ocean Radar Backscatter. 2025. [2025-03-26]. <https://www.dlr.de/en/eoc/research-transfer/projects-missions/sentinel-1-ocean-radar-backscatter/>
- Short N H, Charbonneau F J, Peiman R and De Abreu R. 2019. Analysis ready data specification for Canadian SAR data. *Geomatics Canada, Open File*, 51: 65 [DOI:10.4095/314818]
- Small D. 2011. Flattening gamma: radiometric terrain correction for SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(8): 3081-3093 [DOI: 10.1109/TGRS.2011.2120616]
- Tamiminia H, Salehi B, Mahdianpari M, Quackenbush L, Adeli S and Brisco B. 2020. Google Earth Engine for geo-big data applications: a meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164: 152-170 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001]
- Ticehurst C, Zhou Z S, Lehmann E, Yuan F, Thankappan M, Rosenqvist A, Lewis B and Paget M. 2019. Building a SAR-Enabled data cube capability in Australia using SAR analysis ready data. *Data*, 4(3): 100 [DOI: 10.3390/data403100]
- Ticehurst C, Zhou Z S and Parker A. 2023. Mapping flood events across Australia using NovaSAR-1 and Sentinel-1//2023 IEEE International Radar Conference (RADAR). Sydney: IEEE: 1-4 [DOI: 10.1109/RADAR54928.2023.10371142]
- Truckenbrodt J, Freemantle T, Williams C, Jones T, Small D, Dubois C, Thiel C, Rossi C, Syriou A and Giuliani G. 2019. Towards Sentinel-1 SAR analysis-ready data: a best practices assessment on preparing backscatter data for the cube. *Data*, 4(3): 93 [DOI: 10.3390/data4030093]
- Vollrath, A, Mullissa, A and Reiche, J. 2020. Angular-Based Radiometric Slope Correction for Sentinel-1 on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(11): 1867 [DOI: 10.3390/rs12111867]
- Wang L W, Garthwaite M, Du Z Y, Deane A, McCubbine J, Wheeler M, O'Hehir A and Davies B. 2022. InSAR analysis ready data//IGARSS 2022—2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Kuala Lumpur: IEEE: 2920-2923 [DOI: 10.1109/IGARSS46834.2022.9884464]
- Xu W C, Chen P C, Zhan Y L, Chen S D, Zhang L and Lan Y B. 2021. Cotton yield estimation model based on machine learning using time series UAV remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104: 102511 [DOI: 10.1016/j.jag.2021.102511]
- Yuan F, Repse M, Leith A, Rosenqvist A, Milcinski G, Moghaddam N F, Dhar T, Burton C, Hall L, Jorand C and Lewis A. 2022. An operational analysis ready radar backscatter dataset for the African continent. *Remote Sensing*, 14(2): 351 [DOI: 10.3390/rs14020351]
- Zhang X, Liu L Y, Zhao T T, Chen X D, Lin S R, Wang J Q, Mi J and Liu W D. 2023. GWL\_FCS30: a global 30 m wetland map with a fine classification system using multi-sourced and time-series remote sensing imagery in 2020. *Earth System Science Data*, 15(1): 265-293 [DOI: 10.5194/essd-15-265-2023]
- Zhong B, Yang A X, Liu Q H, Wu S L, Shan X J, Mu X H, Hu L F and Wu J J. 2021. Analysis ready data of the Chinese GaoFen satellite data. *Remote Sensing*, 13(9): 1709 [DOI: 10.3390/rs13091709]
- Zhou S, Pan H, Huang T and Zhou P. 2023. High accuracy georeferencing of GF-6 wide field of view scenes toward analysis ready data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61: 1 - 12 [DOI:10.1109/TGRS.2023.3292297]
- Zhou Z S, Brindle L, Parker A, Lehmann E and Nethery M. 2023. NovaSAR-1 operational updates and its analysis ready data production//Proceedings of the 2023 IEEE International Radar Conference (RADAR). Sydney: IEEE: 1-6 [DOI: 10.1109/RADAR54928.2023.10371065]
- Zhu Z. 2019. Science of landsat analysis ready data. *Remote Sensing*, 11(18): 2166 [DOI: 10.3390/rs11182166]

## Synthetic Aperture Radar Analysis Ready Data (SAR ARD): Progress, challenges and prospects

ZHANG Hong<sup>1,2,3</sup>, XIE Yazhe<sup>1,2,3</sup>, ZHU Nanhuanuowa<sup>4,5</sup>, XU Lu<sup>1,2,3</sup>, KOU Wenbo<sup>6</sup>,  
ZHAO Bolin<sup>4,5</sup>, GE Ji<sup>1,2,3</sup>, WANG Chao<sup>1,2,3</sup>

1. Key Laboratory of Digital Earth Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences,  
Beijing 100094, China;

2. International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, Beijing 100094, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, College of Resources and Environment, Beijing 100049, China;

4. Satellite Application Center for Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China;

5. Key Laboratory of Satellite Remote Sensing, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China;

6. Graduate School of Capital Normal University, Beijing 100048, China

**Abstract:** In recent years, the rapid proliferation of remote sensing satellite data has significantly enriched Earth Observation Data (EOD). At the same time, the complexity of data pre-processing and organization has increased significantly. Massive amounts of image data often require complex calibration, format conversion, and quality control to meet the needs of different application scenarios. Analysis Ready Data (ARD) reduces the threshold for users by using standardized processing procedures. These data open up new opportunities for the extensive, convenient, and efficient application of remote sensing data. Synthetic Aperture Radar (SAR) ARD products form the core data type for remote sensing. With their unique advantages of all-weather and all-day imaging capability and high resolution, SAR ARD products break through the bottleneck of traditional optical remote sensing. Traditional optical methods are limited by cloud cover and light conditions. SAR ARD products therefore offer a wide range of solutions for global change research, resource and environmental monitoring, disaster warning and management, agricultural production optimization, urban planning, and many other fields. They provide irreplaceable data support across these diverse areas. In this paper, we start by defining the basic concept of SAR ARD. We systematically sort out its core features and technical connotations and focus on several aspects such as the types of satellite-borne SAR ARD products (including Normalised Radar Backscatter (NRB), Polarimetric Radar (POL), Ocean Radar Backscatter (ORB), and Geocoded Single-Look Complex (GSLC)), their data sources, production organizations, processing technologies, and practical application scenarios. We also categorized and summarized both publicly released products and those still under development, along with their associated processing flows. In addition, this paper introduces the production and management platform of SAR ARD. In the context of the big data era, the SAR ARD management platform based on the Earth Observation Data Cube (EODC) and cloud platform integrates remote sensing data from multiple sources and realizes automated processes such as standardized pre-processing, radiometric correction, and time-series synthesis with Python and database support, which greatly reduces the threshold of user use and facilitates the integration of SAR data with other data sources.

However, current SAR ARD products face limitations of insufficient product standardization and diversity due to technical complexity and data characteristics, which affects the wide application of SAR ARD products. The challenges such as the scarcity of high-resolution SAR data, the complexity of SAR data processing, and the instability of SAR image quality further constrain the development of diversified SAR ARD products. In this paper, four countermeasures are proposed, including providing free and open datasets on a global scale, increasing the flexibility of SAR ARD product production, realizing the close integration of ARD products with deep learning models, and realizing the application of SAR ARD products in diverse scenarios. These strategies are expected to address the current challenges, promote the development of high-quality and diversified SAR ARD products, and support the broader diversification and popularization of SAR ARD. In the future, with breakthroughs in the diversity of data products and advances in data production methods, SAR ARD products are expected to provide more support for human development and stronger data support for Earth Observation (EO) with higher efficiency and accuracy.

**Key words:** remote sensing satellites, standardized processing, analysis ready data, synthetic aperture radar, processing flow, Earth Observation Data Cube, cloud platform, Earth Observation

**Supported by** National Natural Science Foundation of China (No. 41971395)