

风云三号（03 批）气象卫星地面应用系统工程 E 星风场测量雷达

海冰产品使用说明

（V1.0.1）

编写：_____翟晓春_____

校对：_____

审核：_____

会签：_____

批准：_____

国家卫星气象中心

2023 年 4 月

文档修订记录

版本号	日期	修订内容	修订人	注 记
V1.0.0	2022.4	新建	翟晓春	
V1.0.1	2022-4	更新算法，加入静态掩膜进行质量控制，修改模糊冰定义，优化北半球海冰类型先验信息	翟晓春	

目 录

1	产品定义.....	1
2	产品规格和格式.....	1
2.1	产品规格.....	1
2.2	产品文件.....	1
2.3	产品科学数据集.....	1
3	产品算法原理和流程.....	3
3.1	算法基本原理.....	3
3.2	产品处理流程.....	5
4	产品示例.....	6
4.1	海冰范围.....	6
4.2	海冰类型.....	7
5	产品精度.....	8
5.1	产品检验评估方法和数据.....	8
5.2	产品检验评估结果.....	8
5.2.1	海冰范围.....	9
5.2.2	海冰类型.....	10
6	产品格式.....	12
6.1	产品使用说明.....	12
6.2	应用限制条件.....	14
6.3	建议引用文献.....	14
7	产品技术支持.....	14
7.1	产品技术责任人.....	14
7.2	文档引用方式和建议引用文献.....	15

1 产品定义

FY-3E WindRAD海冰产品包括两个2级日产品，分别是北半球海冰参数日产品和南半球海冰参数日产品。南、北半球海冰参数产品内均包括辅助信息、C波段、Ku波段、双频联合波段4个组的数据集，C波段、Ku波段、双频联合波段的海冰参数均包括海冰范围、海冰类型及其对应的质量标识信息，海冰范围和海冰类型均为分类产品。海冰范围定义为给定网格点的冰水类型，分为海水（标识为1）和海冰（标识为2）两类。海冰类型定义为给定网格点占主导数量的海冰类型，分为海水（标识为1），一年冰（标识为2），多年冰（标识为3），模糊冰（标识为4）。

2 产品规格和格式

2.1 产品规格

表 2-1 风云三号 E 星 WindRAD 海冰参数产品规格列表

产品名称	投影方式	覆盖范围	空间分辨率	更新频率
北半球海冰参数产品	极射赤道投影	北半球	10 km	1 次/日
南半球海冰参数产品	极射赤道投影	南半球	10 km	1 次/日

2.2 产品文件

表 2-2 风云三号 E 星 WindRAD 海冰参数数据文件列表

序号	文件名称	格式	周期	产品描述	关键词
1	北半球海冰参数产品	HDF	1 天	北半球海冰范围、海冰类型及辅助信息	海冰范围、海冰类型
2	南半球海冰参数产品	HDF	1 天	南半球海冰范围、海冰类型及辅助信息	海冰范围、海冰类型

2.3 产品科学数据集

FY-3E WindRAD 海冰参数产品为 HDF5 格式，表 2-3 为 FY-3E WindRAD 南半球海冰参数产品格式，详细格式见文档《风云三号 E 星 WindRAD 海冰参数产品数据特性卡》。

表 2-3 FY-3E WindRAD 南半球海冰参数产品格式

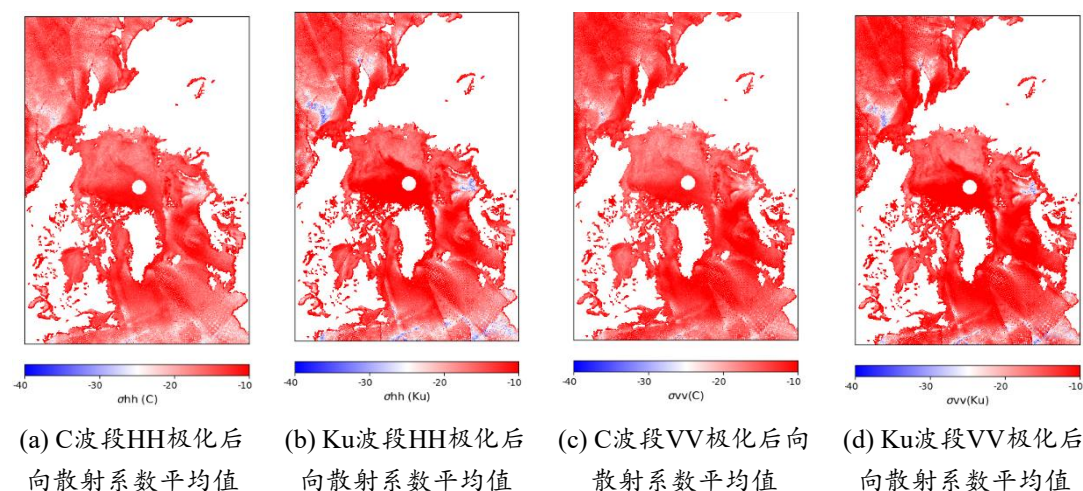
科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集名(英文)	科学数据集中文描述
Auxiliary Information	SDS1	FY3D_SIC	Sea ice concentration	FY-3D MWRI 10km 网格海冰密集度
	SDS2	landseamask	land sea mask	海陆掩码
	SDS3	latitude	latitude in WGS84	纬度
	SDS4	longitude	longitude in WGS84	经度
	SDS5	x	x coordinate of projection (eastings)	经向网格距离
	SDS6	y	y coordinate of projection (northings)	纬向网格距离
C_band	SDS7	ice_edge	sea ice edge at C band	C 波段海冰范围
	SDS8	ice_type	sea ice type at C band	C 波段海冰类型
	SDS9	predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probability at C band	C 波段海冰范围预测概率
	SDS10	predict_prob_SIT	sea ice type prediction probability at C band	C 波段海冰类型预测概率
	SDS11	qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge retrieval at C band	C 波段海冰范围质量码
	SDS12	qualityflag_SIT	quality flag for sea ice type retrieval at C band	C 波段海冰类型质量码
Ku_band	SDS13	ice_edge	sea ice edge at Ku band	Ku 波段海冰范围
	SDS14	ice_type	sea ice type at Ku band	Ku 波段海冰类型
	SDS15	predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probability at Ku band	Ku 波段海冰范围预测概率
	SDS16	predict_prob_SIT	sea ice type prediction probability at Ku band	Ku 波段海冰类型预测概率
	SDS17	qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge retrieval at Ku band	Ku 波段海冰范围质量码
	SDS18	qualityflag_SIT	quality flag for sea ice type retrieval at Ku band	Ku 波段海冰类型质量码

Dual_band	SDS19	ice_edge	sea ice edge at dual band	双频波段海冰范围
	SDS20	ice_type	sea ice type at dual band	双频波段海冰类型
	SDS21	predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probability at dual band	双频波段海冰范围预测概率
	SDS22	predict_prob_SIT	sea ice type prediction probability at dual band	双频波段海冰类型预测概率
	SDS23	qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge retrieval at dual band	双频波段海冰范围质量码
	SDS24	qualityflag_SIT	sea ice type quality flag at dual band	双频波段海冰类型质量码

3 产品算法原理和处理流程

3.1 算法基本原理

从风场测量雷达网格化轨道数据特征出发，从 Ku 波段和 C 波段各提取了 5 个特征参数，从微波辐射计采用梯度比进行海冰分类研究出发，分别提取了 HH 极化梯度比、HH 极化波段比、VV 极化梯度比和 VV 极化波段比，图 3-1 为 2022 年 2 月 4 日上述 14 个特征参数的空间分布情况以及对应的 OSI SAF 海冰范围和海冰类型产品。



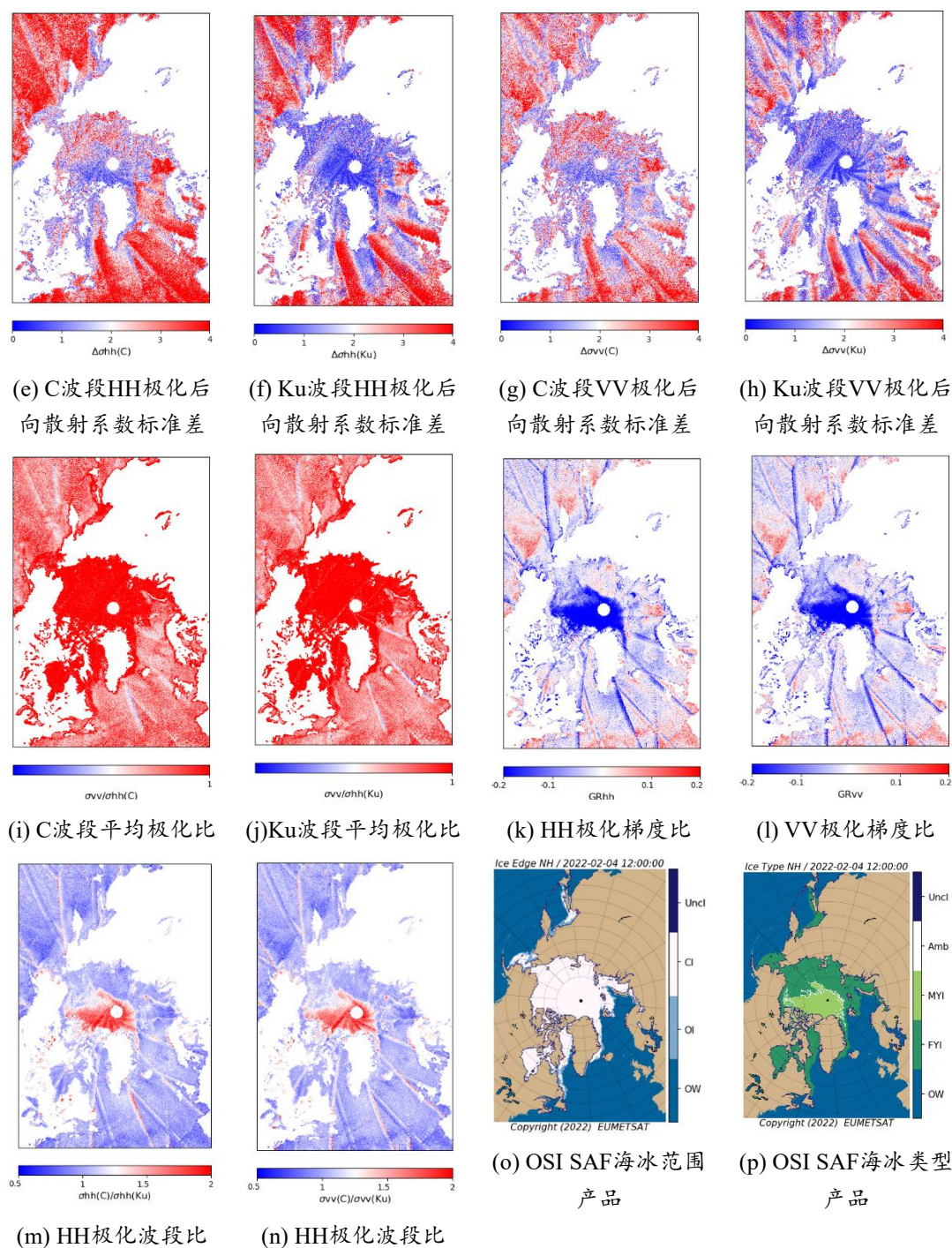


图 3-1 2022 年 2 月 4 日特征参数空间分布图 (a)-(h)及 OSI SAF (o)海冰范围 (p)海冰类型

表 3-1 列出了南、北半球各波段海冰参数用到的特征参数，表 3-2 给出了各特征参数的数学表达式，其中下标 X 表示波段（Ku 或 C）。

表 3-1 南、北半球各波段海冰参数反演使用特征参数列表

	北半球	南半球
C 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C]$

Ku 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$
Ku&C 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C,$ $\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C,$ $\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$ 基于 K-means 分类方法的海冰类型 $[GR_{hh}, GR_{vv}, WR_{hh}, WR_{vv}]$

表 3-2 特征参数数学表达式

$\bar{\sigma}_{hh,X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{hh,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}), \bar{\sigma}_{vv,X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{vv,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}), \gamma_X = \frac{\bar{\sigma}_{vv,X}}{\bar{\sigma}_{hh,X}}$
$\Delta\sigma_{hh,X} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\sigma_{hh,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}) - \bar{\sigma}_{hh,X}]^2}, \Delta\sigma_{vv,X} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\sigma_{vv,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}) - \bar{\sigma}_{vv,X}]^2}$
$GR_{hh} = \frac{\bar{\sigma}_{hh,Ku} - \bar{\sigma}_{hh,C}}{\bar{\sigma}_{hh,Ku} + \bar{\sigma}_{hh,C}}, GR_{vv} = \frac{\bar{\sigma}_{vv,Ku} - \bar{\sigma}_{vv,C}}{\bar{\sigma}_{vv,Ku} + \bar{\sigma}_{vv,C}}, WR_{vv} = \frac{\bar{\sigma}_{vv,C}}{\bar{\sigma}_{vv,Ku}}, WR_{hh} = \frac{\bar{\sigma}_{hh,C}}{\bar{\sigma}_{hh,Ku}}$

3.2 产品处理流程

FY-3E WindRAD 南、北半球海冰参数反演流程图如图 3-2 所示，包括数据匹配模块、模型训练模块、轨道反演模块、C/Ku/Ku & C 海冰产品日合成模块、日收工模块共 5 个子模块，具体介绍如下：

- 1) 数据匹配模块是海冰参数模型训练模块的预处理模块。根据现有算法对训练模型的更新频率设置，需每日进行数据匹配和模型训练处理；
- 2) 模型训练模块基于数据匹配模块输出的匹配文件，基于随机森林分类方法，分别针对南、北半球各波段（C/Ku/Ku&C）的海冰参数（海冰范围、海冰类型）进行模型训练和存储；
- 3) 轨道反演模块基于观测的轨道数据进行特征参数计算，利用海冰参数预测模型库中对应的模型进行海冰参数反演；
- 4) C/Ku/Ku & C 海冰产品日合成模块主要包括两方面处理，第一是基于轨道反演结果实现 C/Ku/Ku & C 特征参数、海冰参数的日合成，第二是针对南半球 Ku/C 双波段特征参数日合成结果，利用 K-means 无监督分类算法，实现南半球海冰类型反演；

- 5) C/Ku/Ku & C 海冰产品日收工模块将海冰产品日合成模块输出数据作为输入，通过对各波段反演结果进行整合、参数再定义，生成最终产品发布的南、北半球海冰参数产品及图像。

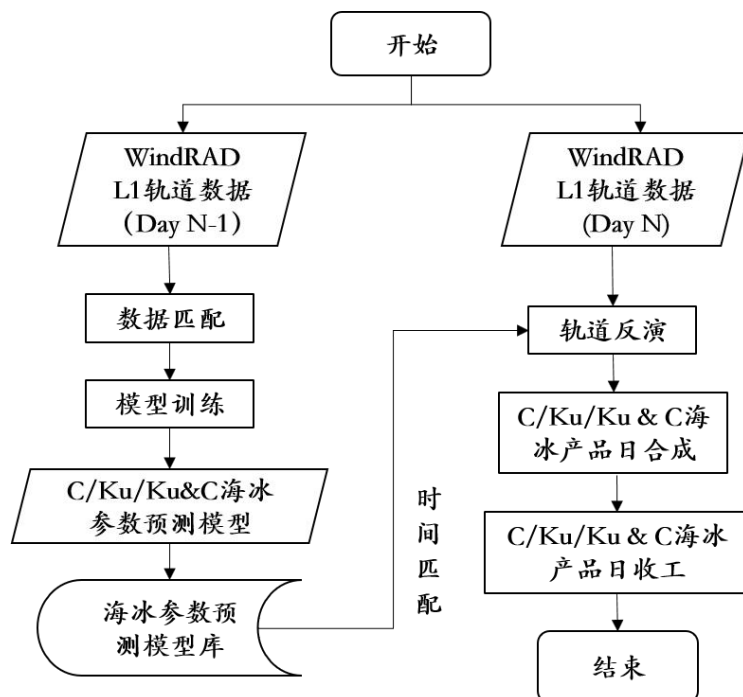


图 3-2 FY-3E WindRAD 海冰产品处理流程图

4 产品示例

4.1 海冰范围

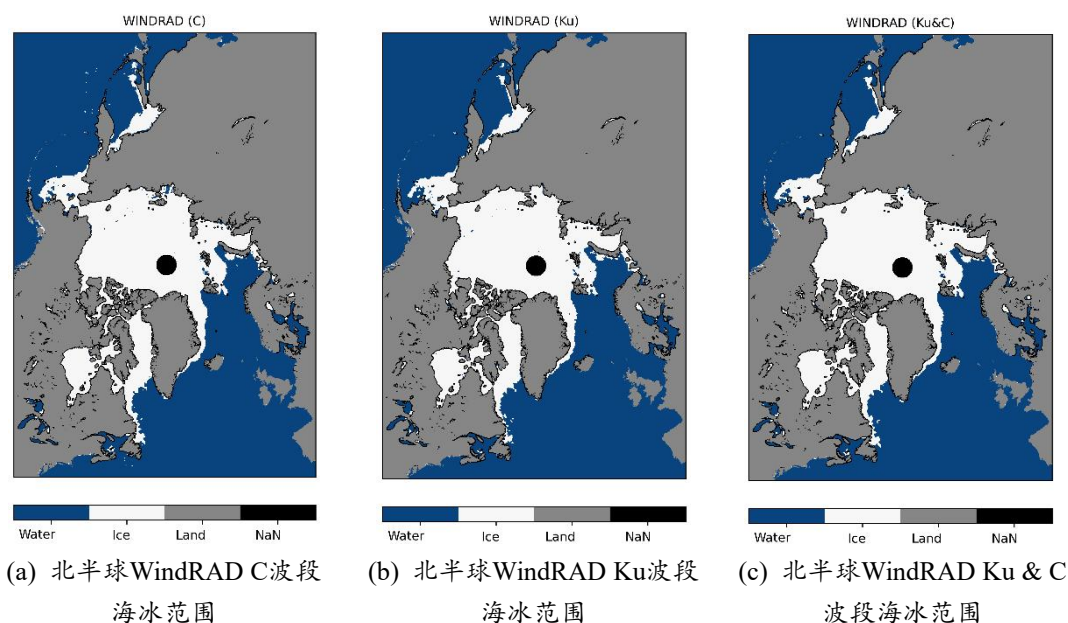


图 4-1 FY-3E WindRAD 2022-03-30 北半球海冰范围

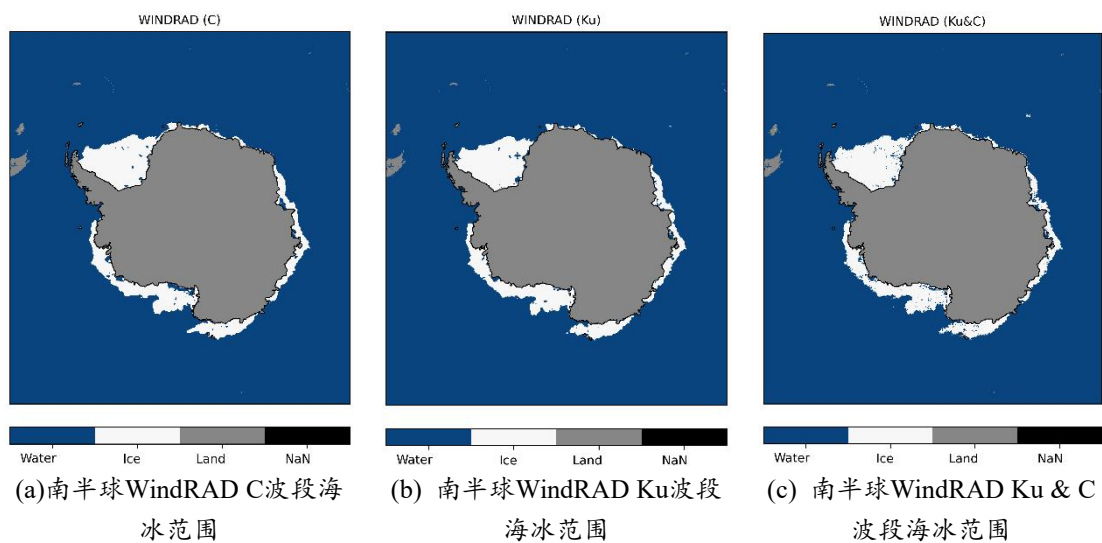


图 4-2 FY-3E WindRAD 2022-03-30 南半球海冰范围

4.2 海冰类型

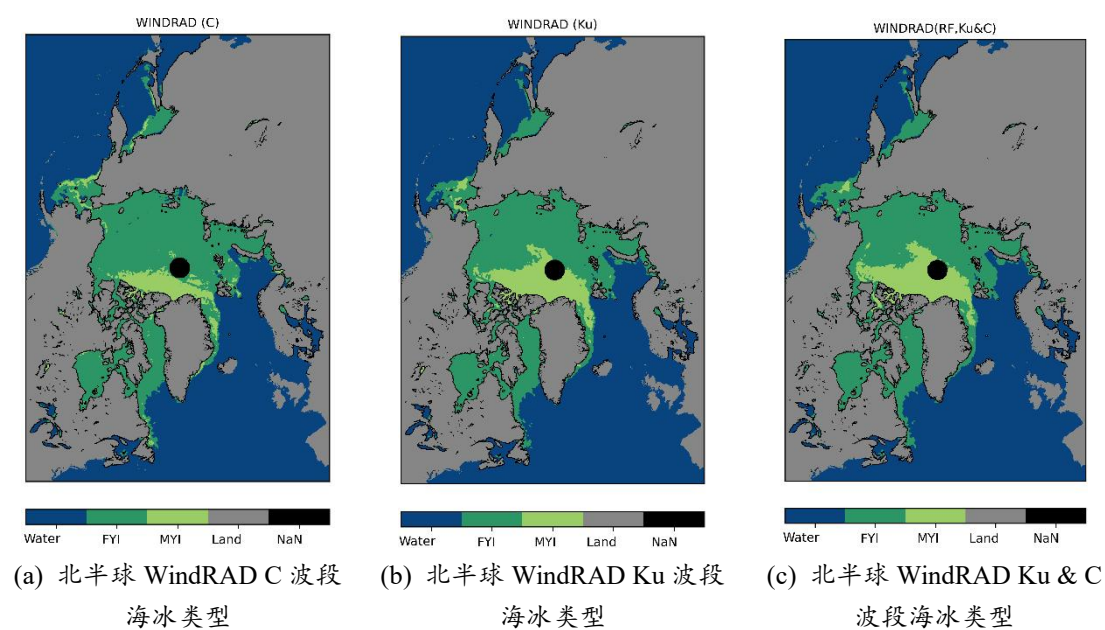


图 4-3 FY-3E WindRAD 2022-03-30 北半球海冰类型

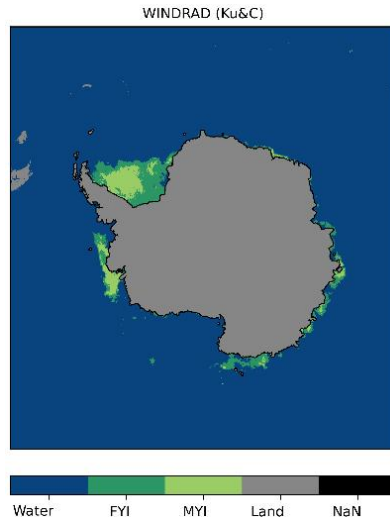


图 4-4 FY-3E WindRAD 2022-2-23 南半球 WindRAD Ku & C 波段海冰类型

5 产品精度

5.1 产品检验评估方法和数据

表 5-1 列出了算法检验具体信息，包括最低精度、目标精度、检验方式、分析时间、检验统计参数、检验数据种类、获取频次、检验数据质量控制方法、检验结果表现形式等具体信息。

表 5-1 FY-3E WindRAD 海冰产品算法检验具体信息列表

	海冰范围	海冰类型
最低精度	与 OSISAF 海冰范围产品相比，海冰范围的相对误差的绝对值 < 20%	多年海冰覆盖面积日差的月标准偏差 <200000km ²
目标精度	与 OSISAF 海冰范围产品相比，海冰范围的相对误差的绝对值 < 10%	多年海冰覆盖面积日差的月标准偏差 <100000km ²
检验方式	与国际同类卫星产品（OSI SAF sea ice edge, SIE）进行交叉比对验证	计算长时间序列多年冰海冰范围变化情况
分析时间	2022-01-26 至 2022-03-30	2022-01-26 至 2022-03-30
检验统计参数	海冰范围相对误差的绝对值	多年冰面积日差的月标准偏差
检验数据种类	OSISAF 业务化海冰范围产品 (DMSP/SSMIS + Metop/ASCAT)	/
获取频次	在受检数据时间范围内，每日获取一次	
检验数据质量控制方法	需要质量筛选，根据产品质量码选取置信度高的产品进行比对	
检验结果表现方式	时序图	

5.2 产品检验评估结果

5.2.1 海冰范围

为了进一步定量比较海冰范围面积差异，定义海冰范围面积的相对误差 RE 和面积之差 ΔS ，分别为：

$$RE_{ice} = \frac{S_{observation,ice} - S_{background,ice}}{S_{background,ice}} \times 100\%$$

$$\Delta S_{ice} = S_{observation,ice} - S_{background,ice}$$

其中， $S_{observation,ice}$ 、 $S_{background,ice}$ 分别表示反演结果和对应真值。 RE 表征反演结果相较于选取真值的相对偏差百分比。

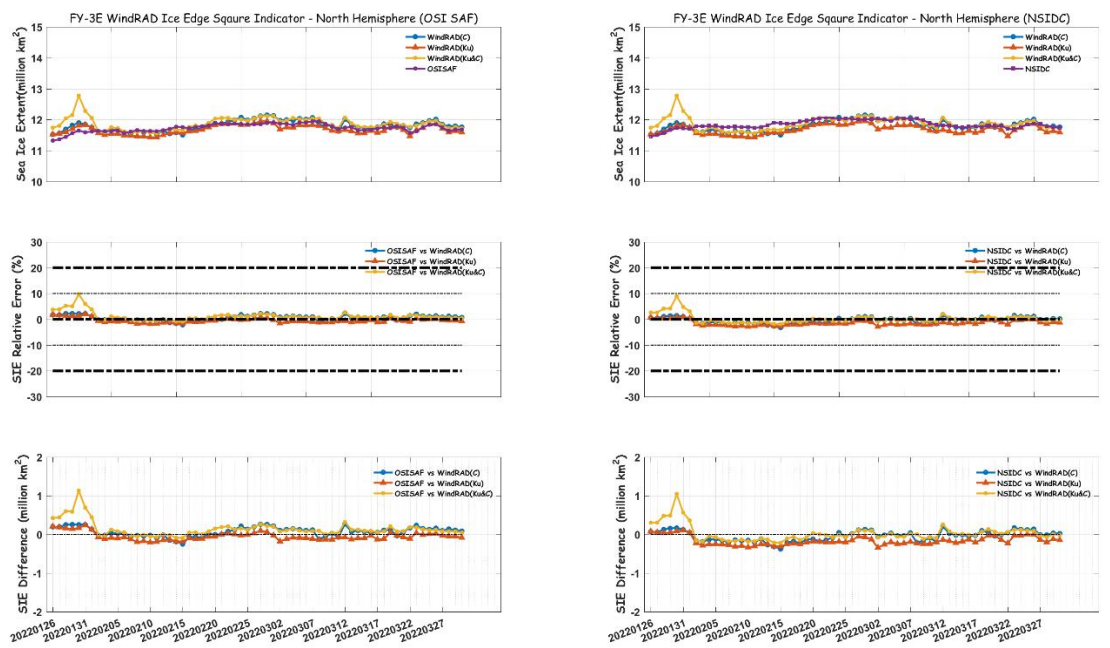


图 5-1 2022-01-26 至 2022-03-30 北半球海冰面积长时间序列比对

表 5-2 2022-01-26 至 2022-03-30 北半球海冰面积相对误差绝对值统计结果(%)

	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku&C)
OSI SAF	0.99±0.67	0.84±0.51	1.35±1.65
NSIDC	0.96±0.68	1.51±0.77	1.12±1.42

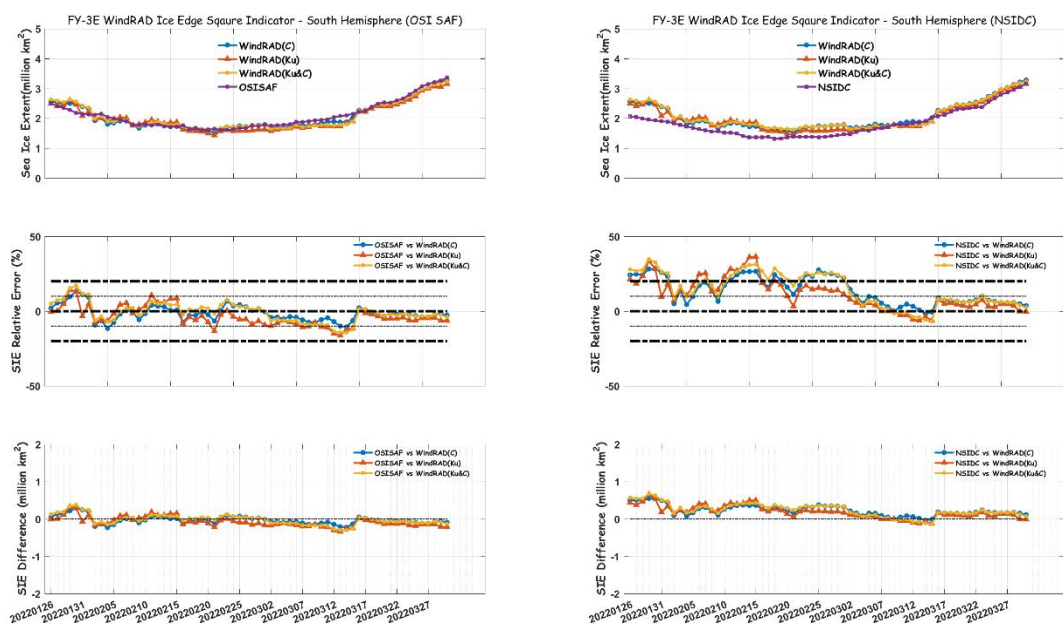


图 5-2 2022-01-26 至 2022-03-30 南半球海冰面积长时间序列比对

表 5-3 2022-01-26 至 2022-03-30 南半球海冰面积相对误差绝对值统计结果(%)

	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku&C)
OSI SAF	4.32±3.16	6.44±3.76	5.18±4.10
NSIDC	13.73±8.99	12.10±9.66	15.23±10.17

综上所述，南、北半球各波段海冰范围均满足目标精度（最低精度和目标精度分别为与 OSI SAF 海冰范围产品，海冰面积的相对误差绝对值<20%、<10%）。

5.2.2 海冰类型

WindRAD 分析海冰类型产品精度时，假定多年冰在水平覆盖范围内没有快速变化，对多年冰区域覆盖的时间变化进行监测。具体参数计算如下：

1. 计算每日多年冰面积 $S_{MYI}(i)$ ；
2. 计算每日多年冰面积的日差 $\Delta S_{MYI}(i)$ ：

$$\Delta S_{MYI}(i) = S_{MYI}(i) - \bar{S}_{MYI}(i)$$

其中， $\bar{S}_{MYI}(i)$ 为连续 11 天多年冰量日变化的滑动平均值；

3. 计算多年冰面积的日差 $\Delta S_{MYI}(i)$ 的月标准差：

$$STD(\Delta S_{MYI}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\Delta S_{MYI}(i) - \overline{\Delta S_{MYI}}]^2}$$

其中， $\overline{\Delta S_{MYI}}$ 为 $\Delta S_{MYI}(i)$ 滑动的月平均值。OSI SAF $STD(\Delta S_{MYI})$ 的最低精度设为 $2 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，目标精度设为 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。

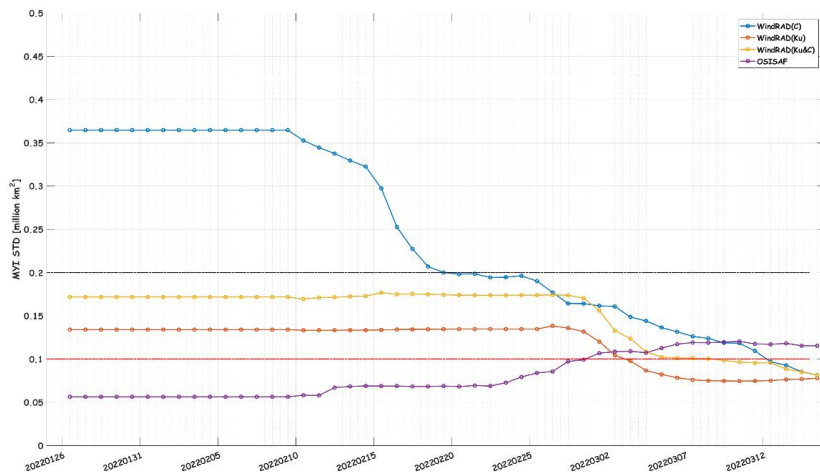


图 5-3 2022-01-26 至 2022-03-30 北半球多年冰海冰面积日差滑动月标准偏差

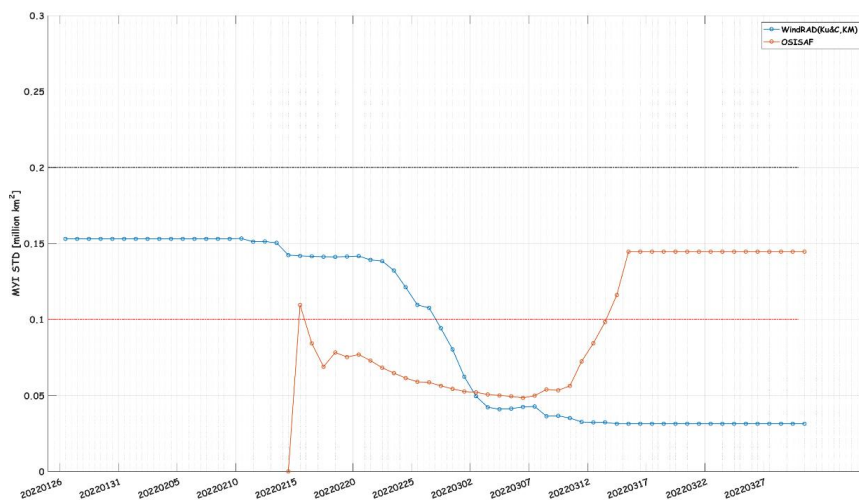


图 5-4 2022-01-26 至 2022-03-30 南半球多年冰海冰面积日差滑动月标准偏差

表 5-4 2022-01-26 至 2022-03-30 南、北半球多年冰海冰面积日差滑动月标准偏差统计结果

参数	区域	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku & C, RF)	WindRAD (Ku & C, KM)	OSISAF
MYI STD (10 ⁶ km ²)	NH	0.24±0.11	0.12±0.02	0.15±0.03	/	0.08±0.02
	SH	/	/	/	0.09±0.05	0.09±0.04

综上所述，除北半球 C 波段海冰类型反演结果在 2022-01-16 至 2022-02-20 不满足指标最低精度外，其他反演结果均满足最低精度（最低精度和目标精度分别为多年冰面积日差的月标准偏差 $<2\times10^6$ km²、 $<1\times10^6$ km²）

FY-3E WindRAD 海冰产品详细验证方法及检验结果参见《风云三号 E 星 WindRAD 海冰产品检验文档》。

6 产品格式

6.1 产品使用说明

FY3E WindRAD 南、北半球海冰参数产品为日产品，文件格式为 HDF5，每个产品均包括辅助信息（AuxiliaryInformation）、C 波段（C_band）、Ku 波段（Ku_band）、双频联合波段（Dual_band）4 个组的数据集。在 AuxiliaryInformation 分组下含有海陆掩码信息（landseamask）、经度（longitude）、纬度（latitude）、极射赤面投影下的 x 坐标（x）、极射赤面投影下的 y 坐标（y），FY-3D MWRI 海冰密集度（由 12.5km 转为 10km）。C_band、Ku_band、Dual_band 具有相似参数设置，以 C_band 为例，在 C_band 分组下含有海冰范围（ice_edge）、海冰类型（ice_type）、海冰范围预测概率（predict_prob_SIE）、海冰类型预测概率（predict_prob_SIT）、海冰范围质量码（qualityflag_SIE）、海冰类型质量码（qualityflag_SIT）。

以 Dual_band 海冰参数为例进行示例介绍。

1) ice_edge

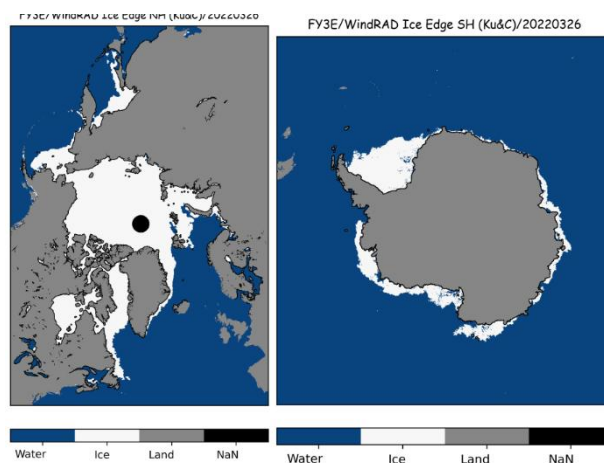


图 6-1 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰范围（20220326）

2) ice_type

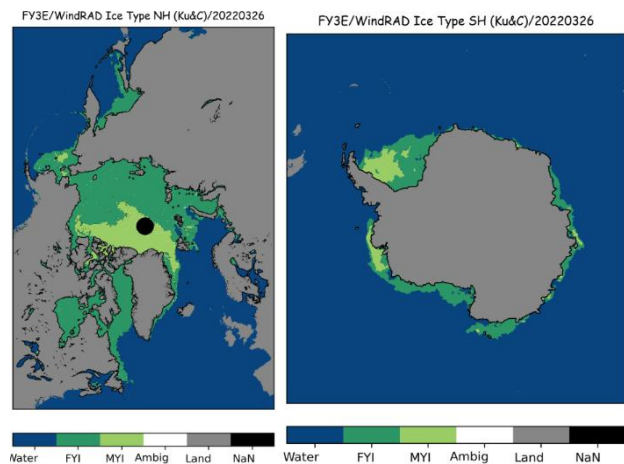


图 6-2 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰类型（20220326）

3) predict_prob_SIE

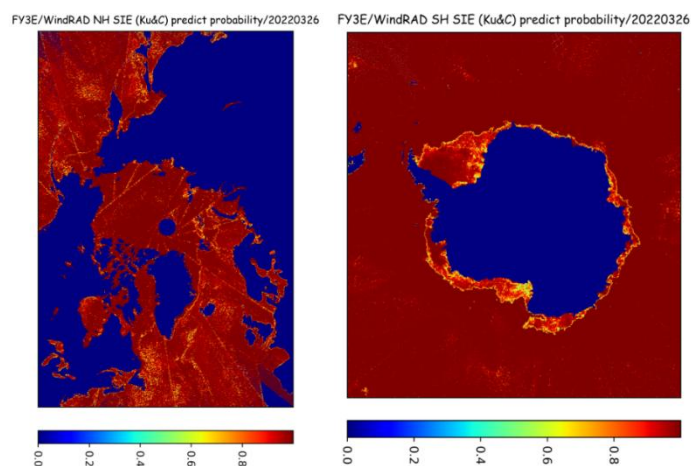


图 6-3 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰范围预测概率（20220326）

4) predict_prob_SIT

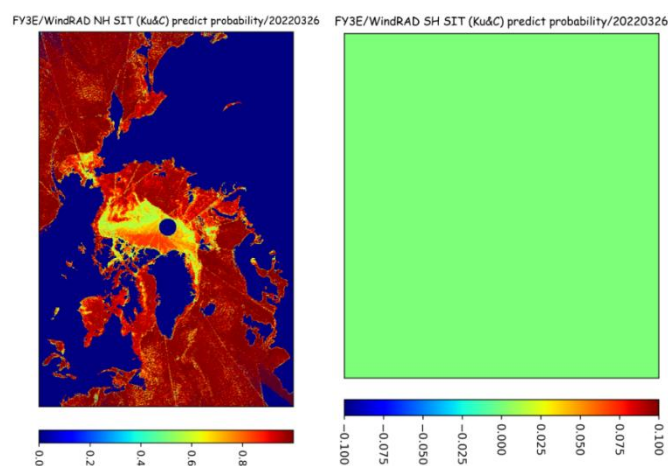


图 6-4 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰类型预测概率（20220326）

5) qualityflag_SIE

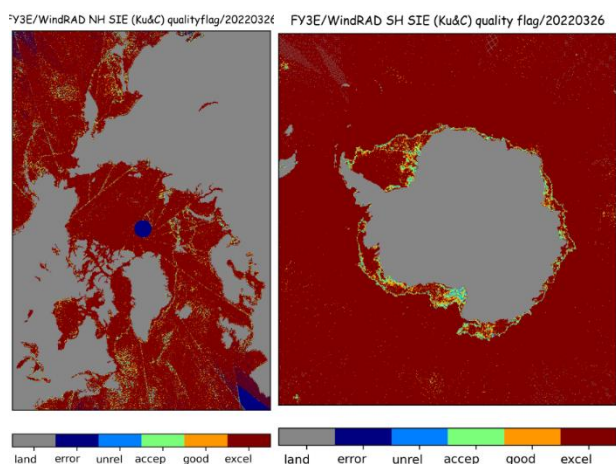


图 6-5 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰范围质量码（20220326）

6) qualityflag_SIT

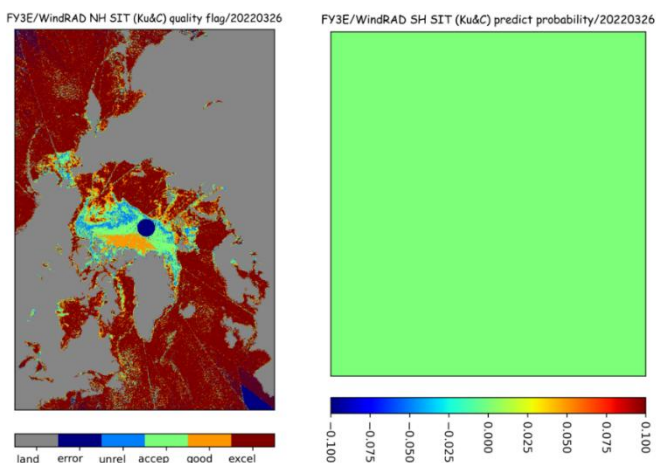


图 6-6 FY-3E WindRAD 北半球、南半球海冰类型质量码（20220326）

6.2 应用限制条件

无

6.3 建议引用文献

- Zhai, X., Wang, Z., Zheng, Z., Xu, R., Dou, F., Xu, N., & Zhang, X. (2021). Sea Ice Monitoring with CFOSAT Scatterometer Measurements Using Random Forest Classifier. *Remote Sensing*, 13(22), 4686.
- Zhai, X., Xu, R., Wang, Z., Zheng, Z., Shou, Y., Tian, S., ... & Xu, N. (2023). Classification of Arctic Sea Ice Type in CFOSAT Scatterometer Measurements Using a Random Forest Classifier. *Remote Sensing*, 15(5), 1310.

7 产品技术支持

7.1 产品技术责任人

表 7-1 产品技术责任人列表

序号	姓名	单位	联系电话	电子邮箱
1	翟晓春	国家卫星气象中心	010-68400907	zhaixc@cma.gov.cn
2	田圣戎	华云星地通	18279159496	shengrongt@163.com

7.2 文档引用方式和建议引用文献

翟晓春, 田圣戎, 2022. 风云三号 E 星 WindRAD 海冰产品使用说明文档. 国家卫星气象中心.