

风云三号（03 批）气象卫星地面应用系统工程
G 星 GNOS-II

海面风速产品使用说明文档

(V1.0)

编写：_____

校对：_____

审核：_____

会签：_____

批准：_____

国家卫星气象中心

2023 年 12 月

文档修订记录

版本号	日期	修订内容	修订人	注 记
V3.0				
V2.0	2023-12	增加散射计对比结果和气旋风速评估结果	黄飞雄 翟晓春	
V1.0	2023-10	建立	黄飞雄 翟晓春	

目 录

1	产品定义	1
1.1	业务算法更新说明	1
2	产品规格和格式	1
2.1	产品规格	1
2.2	产品文件	2
2.3	产品科学数据集	2
3	产品算法原理和处理流程	4
3.1	算法基本原理	4
3.2	处理流程	5
3.2.1	输入文件	5
3.2.2	输出文件	6
3.2.3	处理流程	6
4	产品示例	8
5	产品精度	9
5.1	普通风速产品检验评估	9
5.2	气旋风速产品检验评估	10
6	产品使用说明	10
6.1	产品使用说明	10
6.2	应用限制条件	12
6.3	主要参考文献	12
7	产品技术支持	12
7.1	产品技术责任人	12
7.2	文档引用方式和建议引用文献	13

图目录

图 3-1 GPS 观测量与 ECMWF 风速匹配后结果	5
图 3-2 BDS 观测量与 ECMWF 风速匹配后结果	5
图 4-1 FY-3G GNOS-II 海面风速产品：(a) 1 天结果（2021 年 7 月 21 日）； (b) 5 天结果（2021 年 7 月 21-25 日）	8
图 5-1 FY-3G GNOS-II 海面风速产品与 ECMWF 再分析场 10 米风速对比结果	10
图 5-2 FY-3G GNOS-II 海面风速产品与 HY-2B 散射计 10 米风速对比结果 错 误!未定义书签。	

表目录

表 1-1 FY-3E GNOS-II 业务算法更新日志	1
表 2-1 GNOS-II 海面风速产品规格列表	1
表 2-2 GNOS-II 海面风速产品数据文件列表	2
表 3-1 GNOS-II 海面风速产品输入文件列表	5
表 3-2 GNOS-II 海面风速产品输出文件列表	6
表 7-1 产品技术责任人列表	12

1 产品定义

风云三号 G 星 GNOS-II 海面风速产品 (Sea surface wind speed, SWS) 是指利用海面上反射的 GNSS 卫星 (包括 GPS、北斗 BDS、伽利略 GAL) 信号反演的海面 10 米高度处的海面风速, 空间分辨率为 25 km。依据所采用的 GNSS 系统类型, GNOS-II 海面风速产品分为 GPS 海面风速、BDS 海面风速和 GAL 海面风速三类。

FY-3G GNOS-II 的 GNSS 反射通道数量总共为 8 个, 采样频率为 1 Hz, 即每秒最多可同时分别跟踪 8 颗 GNSS 卫星的反射信号, 反演得到海面 8 个镜面反射点处的海面风速。通道 1-3 用于接收 GPS 信号, 通道 5-8 用于接收 BDS 信号, 通道 4 用于接收 GAL 信号。

GNOS-II 海面风速产品, 每半轨 (约 50 分钟) 输出一个数据产品文件, 文件格式为 HDF5, 每个产品中分别有 GPS 数据集、BDS 数据集和 GAL 数据集。在每个数据集的 WindSpeedProduct 分组下有两个风速产品, 分别为 Sws 海面风速与 Sws_cyclone 气旋海面风速, 其中 Sws 海面风速为默认的海面风速, 在全球中低风速 (0-25 m/s) 范围内精度较高, 适用于全球数值天气预报、气候学等应用; Sws_cyclone 气旋海面风速为针对气旋区域开发的风速产品, 在气旋等高速区域 (20-70 m/s) 精度较高, 适用于台风监控、区域同化等应用。

1.1 业务算法更新说明

表 1-1 FY-3G GNOS-II 业务算法更新日志

时间	算法版本号	主要更新内容
2023-07-19	v1.0	建立

2 产品规格和格式

2.1 产品规格

表 2-1 GNOS-II 海面风速产品规格列表

产品名称	投影方式	覆盖范围	空间分辨率	更新频次
GNOS-II 海面风速产品	无	全球	25 km	半轨

2.2 产品文件

表 2-2 GNOS-II 海面风速产品数据文件列表

序号	文件名称	格式	周期	产品描述	关键词
1	FY3G_GNOSR_ORBT_L2_SWS_MLT_N UL_YYYYMMDD_HHMM_COMB- _Vn.HDF	HDF	半轨	海面风速产 品	风速

2.3 产品科学数据集

表 2-3 GNOS-II 海面风速产品科学数据集

分组名称	科学数据集名	科学数据集英文描述	科学数据集中文描述
GPS 或 BDS 或 GAL	SDS1 Sws_num	Sea surface wind speed product number	海面风速数据产品编号
	SDS2 Sws_track_id	Sea surface wind speed product's track number	海面风速数据产品的连续轨迹编号
	SDS3 Sws_utc_time	Sea surface wind speed product measurement time - UTC	海面风速产品对应的 UTC 时间
	SDS4 Sws_lat	Sea surface wind speed product's latitude on the earth surface	海面风速产品对应的地面纬度
	SDS5 Sws_lon	Sea surface wind speed product's longitude on the earth surface	海面风速产品对应的地面经度
	SDS6 Sws	Retrieved wind speed at 10 m height over sea surface	海面风速
	SDS7 Sws_cyclone	Retrieved cyclone wind speed at 10 m height over sea surface	气旋海面风速
	SDS8 Sws_model	Model sea surface wind speed	模式海面风速
	SDS9 Cross_track_resolution	Sea surface wind speed product's Cross track resolution	海面风速产品的交轨向分辨率
	SDS10 Along_track_resolution	Sea surface wind speed product's along track resolution	海面风速产品的沿轨向分辨率
	SDS11 Sws_quality_flag	Sea surface wind speed product's quality flag	海面风速数据产品质量码
	SDS12 Sws_cyclone_quality_flag	Cyclone sea surface wind speed product's quality flag	气旋海面风速数据产品质量码

		SDS13	Fresnel_coeff_square_mean	The average square of the left hand circularly polarized Fresnel electromagnetic reflection coefficient for a smooth ocean surface at Sws_lat and Sws_lon.	左旋圆极化反射信号海面菲涅尔反射系数的平方的均值
		SDS14	Mean_square_slope	The average MSS of the cell centered on Sws_lat and Sws_lon.	平均海面均方倾斜
		SDS15	Obs_use_flag	Flag to identify which observables are used to retrieval wind speed	观测量使用标识符
	RxTx	SDS16	Rfl_channel_id	Reflection channel id	反射通道号
		SDS17	Rx_lat	Receiver's mean sub-satellite point latitude	低轨卫星星下点的纬度
		SDS18	Rx_lon	Receiver's mean sub-satellite point longitude	低轨卫星星下点的经度
		SDS19	Rx_alt	Receiver's mean altitude	低轨卫星的高度
		SDS20	Gnss_prn_code	GNSS satellite's PRN code	GNSS 卫星 PRN 码
		SDS21	Gnss_sv_num	GNSS satellite's space vehicle number	GNSS 卫星 SV 码
		SDS22	Gnss_block_flag	GNSS satellite's block flag	GNSS 卫星批次标识符
		SDS23	Incidence_angle	GNSS signal's mean incidence angle on the sea surface	GNSS 信号的平均入射角
		SDS24	Sp_vel_mean	Specular point's mean velocity on the sea surface	镜面反射点在海面上的运动速度
		SDS25	Azimuth_angle	Mean specular point's azimuth angle in LEO satellite's orbit frame	海面风速测量点在 LEO 卫星轨道坐标系内的平均方位角
		SDS26	Rx_Antenna_gain	Mean Rx antenna gain at the location of wind speed measurement	海面风速测量点对应的接收机天线平均增益
		SDS27	Total_corr_gain	Mean Total Corrected Gain at the location of wind speed measurement	海面风速测量点对应的全修正增益值
		RawMeasurements	SDS28	Ddm_obs_num	Number of DDM utilized for wind speed retrieval
	SDS29		Ddm_obs_utilized_flag	Flag of DDM utilized utilized for wind speed retrieval	DDM 观测量使用标识符
	SDS30		Ddm_sample_index	Sample index in L1 data product of DDM utilized for wind speed retrieval	DDM 观测量采集序号
	SDS31		Ddm_nbrcs_mean	Mean DDM normalized	DDM 波形归一化散射

			bistatic radar cross section observables	系数均值	
		SDS32	Ddm_les_mean	Mean DDM leading edge slope observables	DDM 波形 LES 均值
		SDS33	Ddm_dles_mean	Mean DDM second derivative leading edge slope observables	DDM 波形 DLES 均值
		SDS34	Ddm_normalized_snr_mean	Mean DDM normalized SNR	DDM 波形归一化信噪比均值
		SDS35	Ddm_peak_snr_mean	Mean DDM peak SNR	DDM 波形峰值信噪比均值
		SDS36	Ddm_sp_snr_mean	Mean DDM specular SNR	DDM 波形镜面反射点信噪比均值

3 产品算法原理和流程

3.1 算法基本原理

在风生海浪的作用下，海面风场会使海面变得粗糙，GNSS 卫星信号照射到粗糙海面上，发生漫反射。经粗糙海面漫反射后到达接收机的 GNSS 卫星反射信号，由于传播路径不同，具有不同的时延和多普勒频率，经过与本地伪随机码相关后生成时延-多普勒相关功率波形（Delay-Doppler Map, DDM）。DDM 波形的峰值及波形形状与海面风速密切相关，海面风速越大 DDM 波形峰值越小，前后沿越平缓；反之，峰值越大，前后沿越陡峭。因此，可以利用 DDM 波形反演海面风场。

FY-3G GNOS-II 海面风速产品的反演算法采用了目前国际上相对较成熟的多参量海面风速的协同反演算法，首先从 DDM 中提取与风速有关的观测量，与参考风速匹配训练得到 GMF 地球物理模型函数，再将不同观测量反演的风速组合起来，形成多参量海面风速的协同反演。

将观测量与 ECMWF 模式风速匹配结果如图 3-1, 3-2。图中黑色线条即为用于反演的 GMF 经验函数。

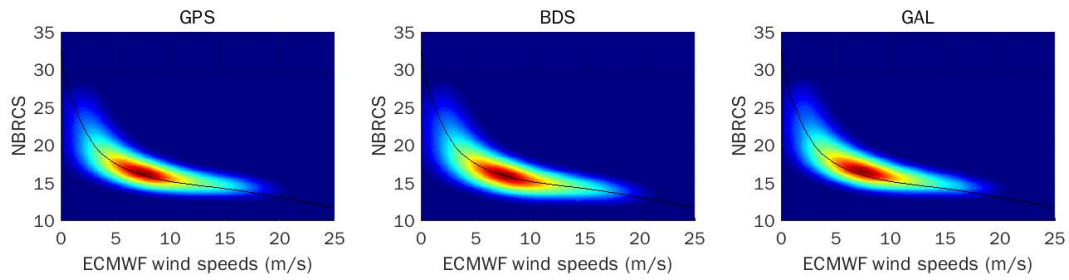


图 3-1 NBRCS 观测量与 ECMWF 风速匹配后结果

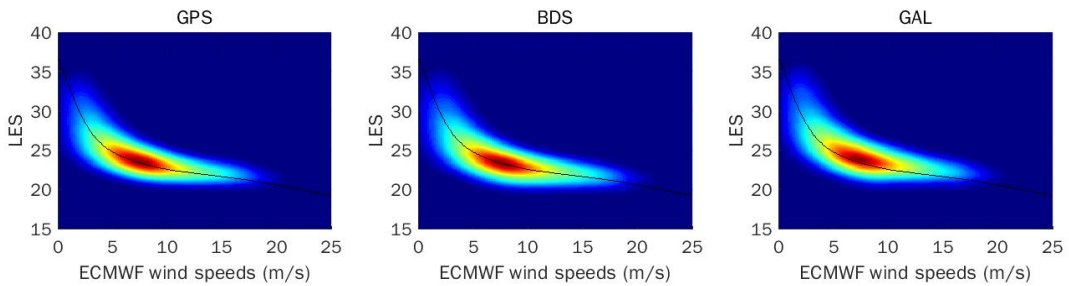


图 3-2 LES 观测量与 ECMWF 风速匹配后结果

气旋风速产品的算法与默认风速产品的算法类似，区别在于 GMF 反演模型是由时空匹配的 HWRF 风速训练而成。训练时不区分导航系统。NBRCS 和 LES 与 HWRF 风速匹配后如下图：

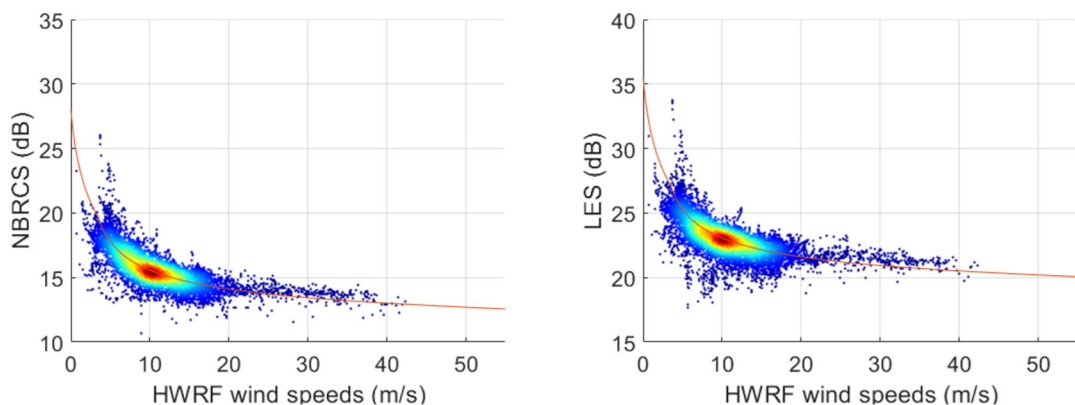


图 3-3 NBRCS 和 LES 与 HWRF 风速匹配后结果

3.2 处理流程

3.2.1 输入文件

表 3-1 GNOS-II 海面风速产品输入文件列表

序号	名称	文件格式	周期	数据来源	描述
1	镜面反射点沿轨向空间分辨率查找表	txt	静态	预置	/
2	镜面反射点交轨向空间分辨率查找表	txt	静态	预置	/

序号	名称	文件格式	周期	数据来源	描述
3	DDMA 海面风速 GMF 查找表	txt	静态	预置	/
4	LES 海面风速 GMF 查找表	txt	静态	预置	/
5	DDMA 海面风速偏差修正查找表	txt	静态	预置	/
6	LES 海面风速偏差修正查找表	txt	静态	预置	/
7	MV 权重系数文件	txt	静态	预置	/
8	ECMWF 预报场 10 米风速数据	txt	3 小时	外部推送	/

3.2.2 输出文件

表 3-2 GNOS-II 海面风速产品输出文件列表

序号	产品名称	产品格式	周期	产品去向	产品描述
1	GNOS-II 海面风速产品	HDF	半轨	输出	/

3.2.3 处理流程

GNOS-II 海面风速产品的处理流程如下：

- 1) 从 L1 数据中读取 DDMA、LES 观测量
- 2) 利用空间分辨率查找表对数据做时间平滑，输出平滑后的 DDMA 和 LES 观测量
- 3) 利用 GMF 查找表和偏差修正查找表计算单参量风速反演结果
- 4) 利用 MV 权重系数查找表计算多参量风速反演结果，并做质量评估，计算质量标识符
- 5) 输出 L2 海面风速产品

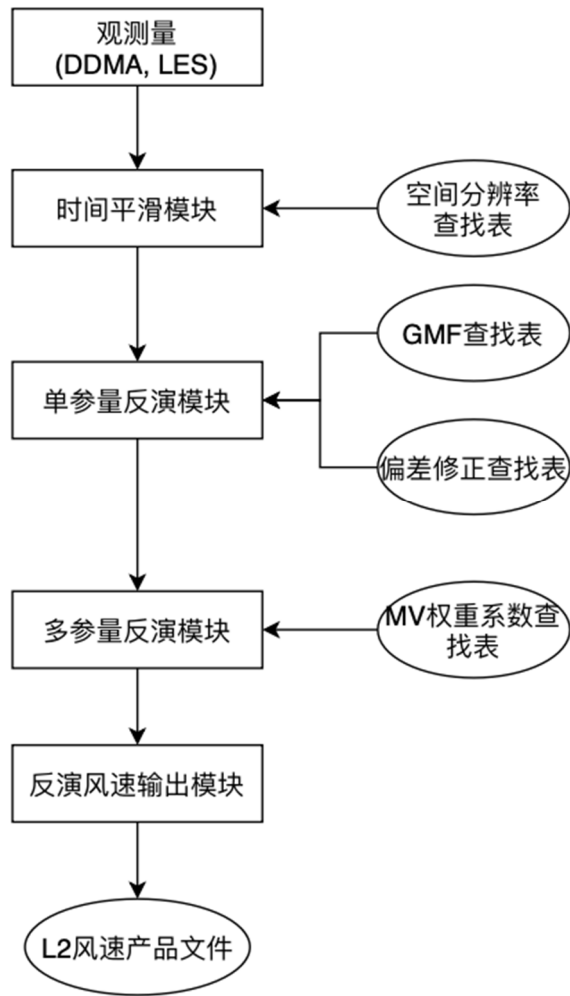
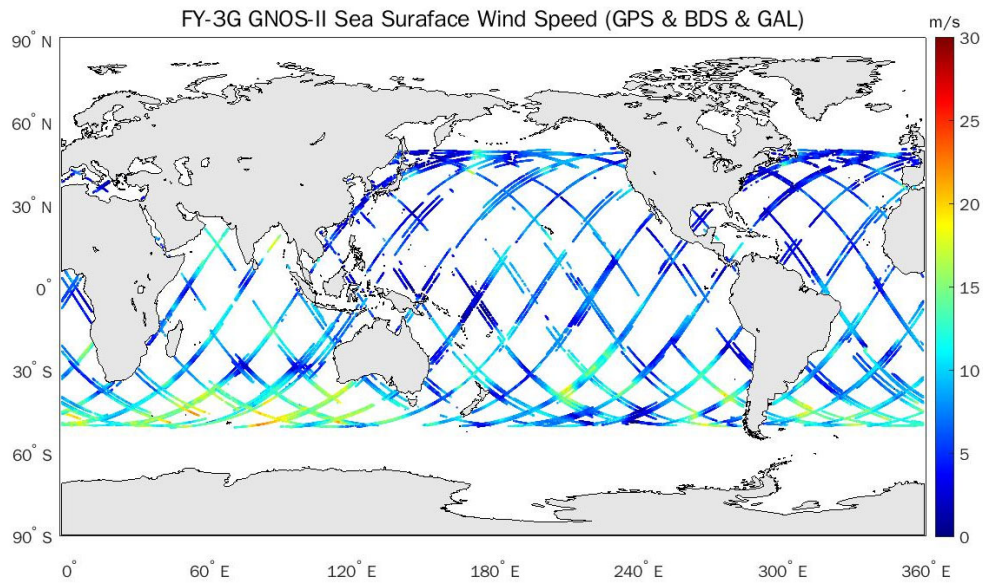
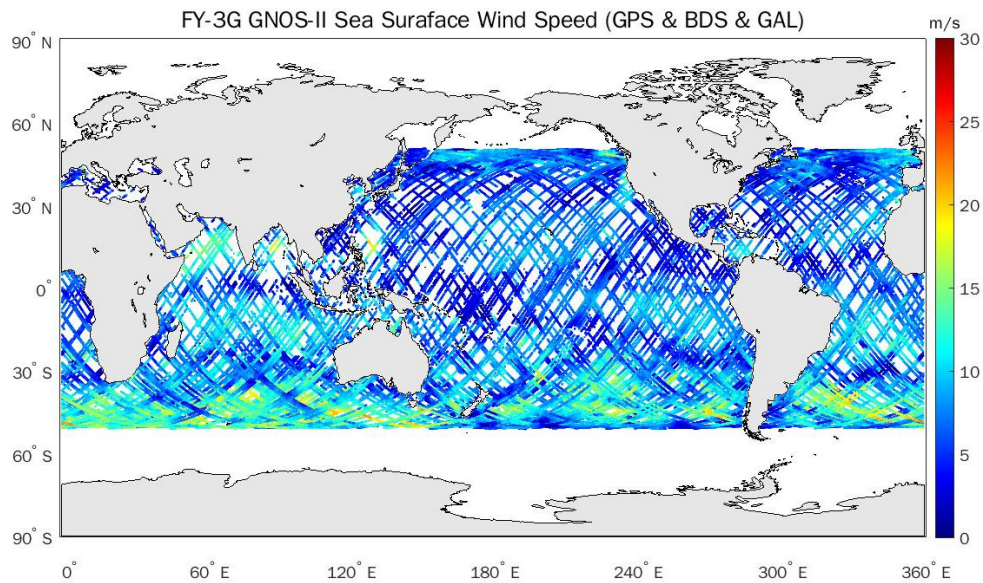


图 3-3 GNOS-II 海面风速产品处理流程图

4 产品示例



(a)



(b)

图 4-1 FY-3G GNOS-II 海面风速产品：(a) 1天结果（2023年7月5日）；(b) 5天结果（2023年7月5-9日）

5 产品精度

5.1 普通风速产品检验评估

普通海面风速产品精度评估使用 2023.7.1 至 2023.10.31 四个月的数据，风速评估范围 0-25 m/s，产品评估使用的数据为 ECMWF ERA5 再分析场 10 米风速。精度评估时对数据的质量控制方法如下：

- 剔除 HDF 变量 Sws_quality_flag 中 bit0 不为 0 的数据

将 GNOS-II L2 风速产品与 ECMWF ERA5 再分析场 10 米风速对比，匹配方法为时间线性插值、空间线性插值。验证结果如图 5-1。其中 GPS 数据的偏差和均方根误差分别为-0.05 m/s 和 1.65 m/s；BDS 数据的偏差和均方根误差分别为-0.1m/s 和 1.56 m/s；GAL 数据的偏差和均方根误差分别为-0.12m/s 和 1.42 m/s；综合风速偏差-0.09 m/s，均方根误差 1.56 m/s。

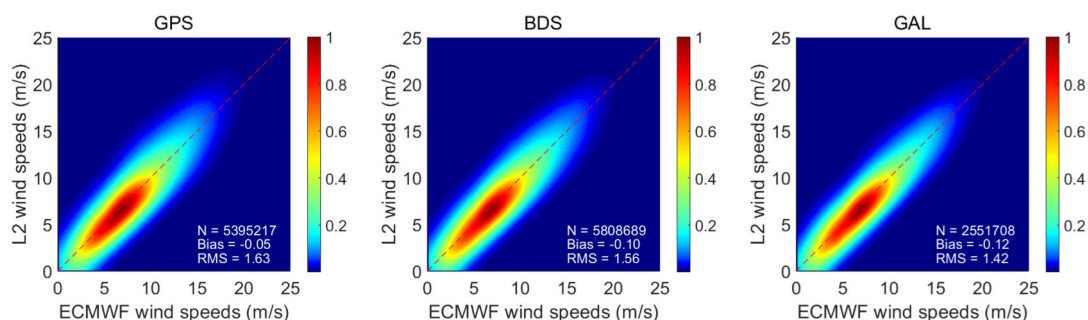


图 5-1 FY-3G GNOS-II 普通海面风速产品与 ECMWF 再分析场 10 米风速对比结果

将 GNOS-II L2 风速产品与 HY-2B 散射计 10 米风速对比，使用的数据为 2023 年 8 月，匹配方法为时间阈值 1 小时、空间阈值 25 km。验证结果如图 5-2。其中 GPS 数据的偏差和均方根误差分别为 0.12 m/s 和 1.65 m/s；BDS 数据的偏差和均方根误差分别为-0.03 m/s 和 1.55 m/s；GAL 数据的偏差和均方根误差分别为 0.11m/s 和 1.43 m/s；综合风速偏差-0.03 m/s，均方根误差 1.57 m/s。

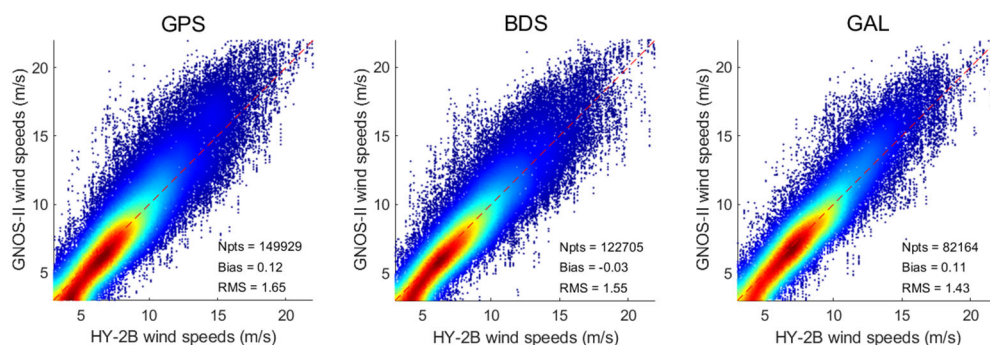


图 5-2 FY-3G GNOS-II 普通海面风速产品与 HY-2B 散射计 10 米风速对比结果

5.2 气旋风速产品检验评估

气旋海面风速产品精度评估使用 2023.7.1 至 2023.10.31 四个月的数据，风速评估范围 0-50 m/s，产品评估使用的数据为 HWRF 模式 10 米风速。精度评估时对数据的质量控制方法如下：

- 剔除 HDF 变量 Sws_cyclone_quality_flag 中 bit0 不为 0 的数据

将 GNOS-II L2 风速产品与 HWRF 模式 10 米风速对比，匹配方法为时间阈值 30 分钟、空间线性插值。验证结果如图 5-3。综合风速偏差 0.55 m/s，均方根误差 3.19 m/s，相关系数 0.85。

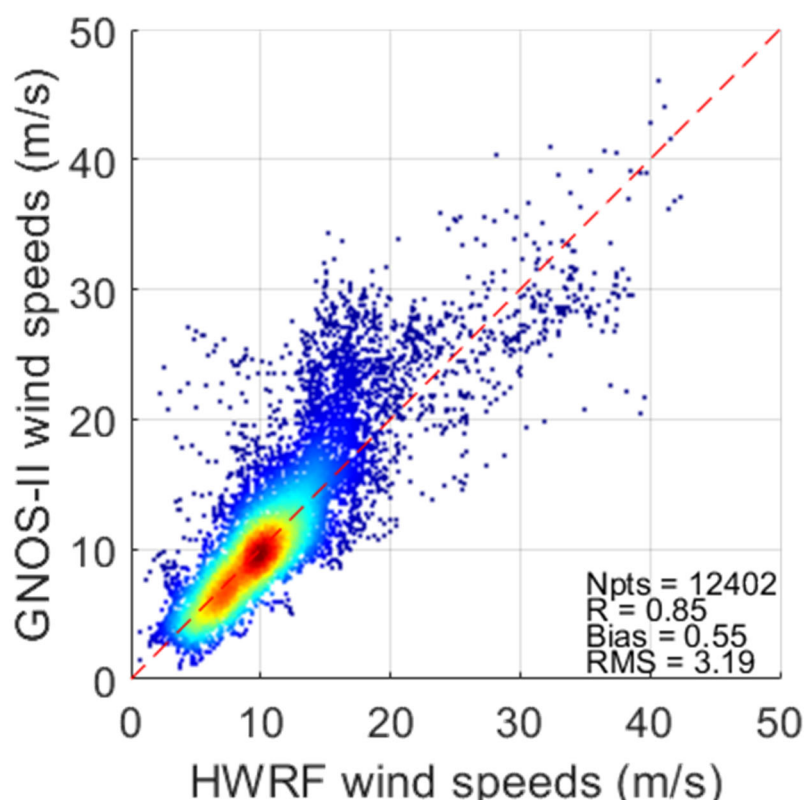


图 5-3 FY-3G GNOS-II 气旋海面风速产品与 HWRF 模式 10 米风速对比结果

6 产品使用说明

6.1 产品使用说明

GNOS-II 海面风速产品，每半轨（约 50 分钟）输出一个数据产品文件，文件格式为 HDF5，每个产品中分别有 GPS 数据集、BDS 数据集和 GAL 数据集。在每个数据集的 WindSpeedProduct 分组下有两个风速产品，分别为 Sws 海面风速与 Sws_cyclone 气旋海面风速，其中 Sws 海面风速为默认的海面风速，在全球中低风速（0-25 m/s）范围内精度较高，适用于全球数值天气预报等应用；Sws_cyclone 气旋海面风速为针对气旋区域开发的风速产品，在气旋等高风速区域精度较高。

HDF 文件中含有变量 “Sws_quality_flag” 和 “Sws_cyclone_quality_flag” 海面风速数据产品质量码，其中 bit0 表示整体的风速质量，0 表示质量好。用户一般选择 bit0 为 0（即整体质量码为偶数）的数据即可，也可根据需要自行选择。

“Sws_quality_flag” 每个 bit 的详细介绍如下：

Bit0 = Overall wind quality, 0 for good quality (combination of bit 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10).

Bit1 = The retrieved wind speed is negative.

Bit2 = The retrieved wind speed is too high.

Bit3 = Not used

Bit4 = The GNSS transmitter EIRP is less well known.

Bit5 = Model forecast wind is not used .

Bit6 = The retrieved wind speed is filled value.

Bit7 = The number of DDMs in the smoothing is less than 2.

Bit8 = The number of observable used for retrieval is less than 2.

Bit9 = The difference between the NBRCS wind and LES wind is larger than the threshold.

Bit10 = DDM SNR is smaller than the threshold.

“Sws_cyclone_quality_flag” 每个 bit 的详细介绍如下：

Bit0 = Overall wind quality, 0 for good quality (combination of bits 1,2,3,4,6,7,8).

Bit1 = The retrieved wind speed is negative.

Bit2 = The retrieved wind speed is too high.

Bit3 = The total corrected gain is less than the threshold.

Bit4 = The GNSS transmitter EIRP is less well known.

Bit5 = Model forecast wind is not used.

Bit6 = The retrieved wind speed is filled value.

Bit7 = The number of DDMs in the smoothing is less than 3.

Bit8 = The number of observable used for retrieval is less than 2.

6.2 应用限制条件

无。

6.3 主要参考文献

Yang, G., Bai, W., Wang, J., Hu, X., Zhang, P., Sun, Y., ... & Liu, C. (2022). FY3E GNOS II GNSS Reflectometry: Mission Review and First Results. *Remote Sensing*, 14(4), 988.

Huang, F., Xia, J., Yin, C., Zhai, X., Xu, N., Yang, G., ... & Liu, Y. (2022). Assessment of FY-3E GNOS-II GNSS-R global wind product. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 7899-7912.

Huang, F., Xia, J., Yin, C., Zhai, X., Yang, G., Bai, W., ... & Zhang, P. (2023). Spaceborne GNSS Reflectometry With Galileo Signals on FY-3E/GNOS-II: Measurements, Calibration, and Wind Speed Retrieval. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 20, 1-5.

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	角色
1	翟晓春	国家卫星气象中心	010-68400907	zhaixc@cma@gov.cn	产品联系人
2	黄飞雄	中国科学院国家空间科学中心	010-62557975	huangfeixiong@nssc.ac.cn	技术负责人

3	夏俊明	中国科学院国家空间科学中心	010-62557975	xiajunming@nssc.ac.cn	技术负责人
4	郑鑫				工程负责人

7.2 文档引用方式和建议引用文献

翟晓春, 黄飞雄, 夏俊明, 2023. 风云三号 (03 批) 气象卫星地面应用系统工程 G 星 GNOS-II 海面风速产品使用说明文档. 国家卫星气象中心.