

CH

中华人民共和国测绘行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

微波散射计海面风场产品质量评价方法

Quality assessment method of microwave scatterometer sea surface wind field
product

征求意见稿

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 1

5 评价要求 1

6 评价流程 2

7 数据准备 2

 7.1 待评价数据 2

 7.2 浮标观测数据 3

 7.3 NWP 再分析数据 3

 7.4 SCAT 数据 3

8 数据时空匹配 3

 8.1 与浮标数据时空匹配 3

 8.2 与 NWP 数据时空匹配 4

 8.3 与 SCAT 数据时空匹配 6

9 精度评价 6

10 一致性评价 7

11 空间分辨力评价 7

12 质量标识效果评价 8

13 质量等级确定 9

14 质量评价报告编制 9

15 质量控制 10

附录 A（资料性） 质量评价结果示例.....11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会（SAC/TC230/SC3）归口。

本文件起草单位：国家卫星海洋应用中心、南京信息工程大学、航天宏图信息技术股份有限公司。

本文件主要起草人：邹巨洪，林文明，王志雄，鲍青柳，张 茜，郎姝燕，崔松雪，张艳杰，冯 倩。

微波散射计海面风场产品质量评价方法

1 范围

本文件确立了微波散射计海面风场产品质量评价要求、评价流程，规定了数据准备、数据时空匹配、产品质量评价、质量等级确定、质量评价报告编制与资料归档以及质量控制等内容。

本文件适用于微波散射计海面风场产品制作单位，以及海洋与大气数值模式预报、海洋防灾减灾、海洋环境保障和海洋科学研究等用户对海洋二号系列卫星微波散射计与中法海洋卫星微波散射计沿轨存储L2级海面风场产品（后简称产品）的质量评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15920 物理海洋学术语 物理海洋学

GB/T 14914.5 海洋观测规范 第5部分：卫星遥感观测

3 术语和定义

GB/T 15920和GB/T 14914.5界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风矢量面元 wind vector cell

沿着垂直星下点轨迹方向和平行星下点轨迹方向，将观测刈幅划分为一定分辨率的地理网格。是微波散射计海面风场反演划分的基本分辨单元。

3.2

风场能量谱 wind kinetic energy spectrum

风场动能差异随空间距离变化的函数。

4 缩略语

NWP 数值天气预报 (Numerical Weather Prediction)

QC 质量控制 (Quality Control)

ECMWF 欧洲中期天气预报中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)

ERA5 全球气候第五代大气再分析数据 (ECMWF Reanalysis v5)

SCAT 微波散射计 (Scatterometer)

ASCAT 欧洲MetOp系列卫星搭载的微波散射计 (The Advanced Scatterometer)

5 评价要求

产品质量评价应遵循以下要求：

- 产品质量评价应至少包含产品精度评价、一致性评价、空间分辨力评价、质量标识效果评价、质量等级确定等内容，并编制质量评价报告；
- 对不同种类需要被质量评价的产品（待评价产品），应采用相同的评价方法；

- c) 待评价产品与用作“真值”的参考数据在时间上应连续分布；
- d) 待评价产品与参考数据形成的匹配样本点在空间上应全球海面均匀分布；
- e) 待评价产品的每条观测记录均应包含风速、风向、经纬度、观测时间与质量标识等基本信息；
- f) 待评价产品的文件名及数据格式应与产品制作单位提供的命名规则及数据格式说明相一致；
- g) 待评价产品时间序列长度应不少于3个月；
- h) 参考数据应为业内权威机构发布并验证过的数据；
- i) 待评价产品与参考数据匹配的时间窗应不大于30min，空间窗应不大于25km；
- j) 海面风速与风向应为海面10m高处风速与风向；风速单位应采用m/s；风向应采用海洋学定义，单位应采用°。

6 评价流程

质量评价包括数据准备、数据时空匹配、产品质量评价、质量等级确定和质量评价报告编制等步骤。评价流程如下：

- a) 准备需要进行质量评价的待评价数据，以及用于评价参考真值的浮标观测数据、NWP再分析数据与SCAT数据；
- b) 对待评价数据与参考数据进行时空匹配，得到匹配数据集；
- c) 对匹配结果进行质量控制得到质量控制后匹配数据集；
- d) 利用质量控制后匹配数据集，进行精度评价、一致性评价与空间分辨力评价；
- e) 利用匹配数据集进行质量标识效果评价；
- f) 根据a)～e)评价结果，确定产品质量等级，并编制质量评价报告。质量评价流程见图1：

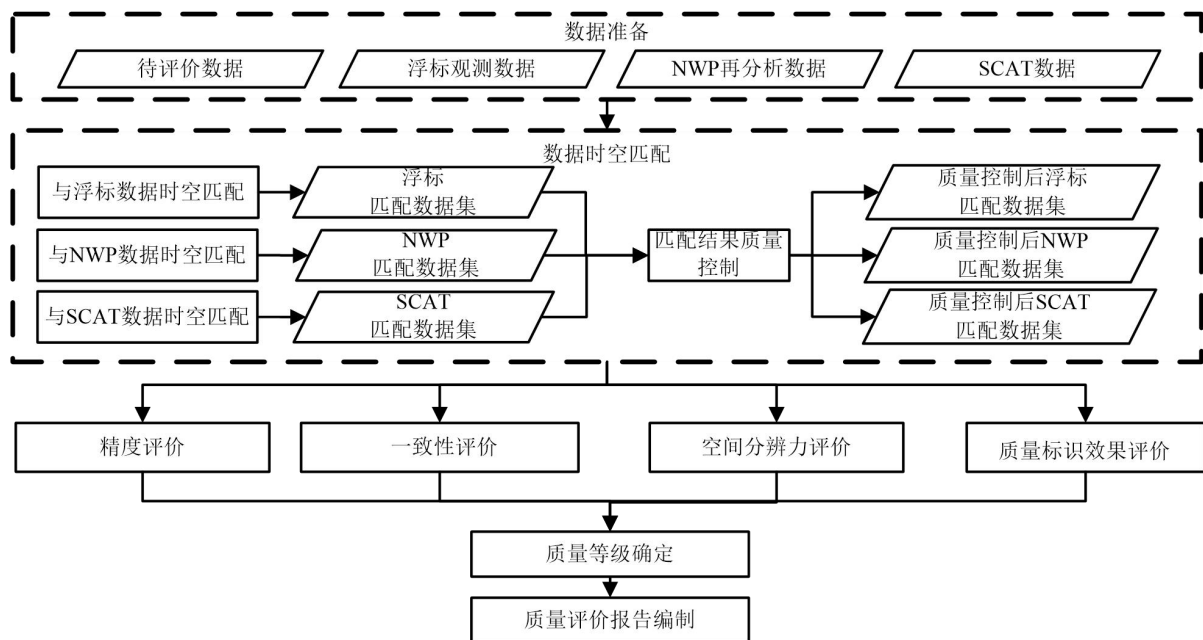


图1 质量评价流程

7 数据准备

7.1 待评价数据

选取时间序列长度不少于三个月，且时间连续分布、沿轨存储的待评价L2级散射计海面风场产品。

7.2 浮标观测数据

浮标观测数据准备方法如下：

- 选取与待评价产品观测时间段相同，且为10min平均海面风场的浮标观测数据；
- 剔除被ECMWF列入的浮标黑名单，以及离岸距离小于30km的浮标数据；
- 利用风廓线表达式，将观测高度为非海面10m高处的浮标观测海面风场数据，转换到海面10m高处的海面风场。经验转换计算见公式（1）。

$$u_{10} = u_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

u_{10} ——10米高度的风速；

u_z ——浮标风力计高度(z)的风速；

z ——风力计高度。

7.3 NWP 再分析数据

选取与待评价产品观测时间段相同，且分辨率不低于待评价产品的再分析（例如ERA5）10m高处海面风场u分量和v分量数据，数据时间间隔宜采用1h。

7.4 SCAT 数据

选取与待评价产品观测时间段相同，且分辨率与待评价产品一致的微波散射计L2级（例如ASCAT L2级）海面风场遥感数据。

8 数据时空匹配

8.1 与浮标数据时空匹配

与浮标数据时空匹配方法如下：

- 采用一定的时间窗和空间窗，对待评价产品与浮标数据进行时空匹配，形成配对数据；其中时间窗宜取30min，空间窗宜取 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍待评价产品空间分辨率；
- 对配对数据中的冗余数据进行剔除；
 - 对配对数据中的重复数据进行剔除；
 - 针对配对数据中的一条待评价数据对应多个浮标数据的情况，仅保留浮标数据与待评价数据时间空间最为接近的一对数据；
 - 针对配对数据中的一个浮标数据对应多条待评价数据的情况，仅保留待评价数据与浮标数据时间空间最为接近的一对数据。
- 根据公式（2）计算配对数据中每对数据的风向差异；

$$\Delta d = d_{\text{SCAT}} - d_{\text{buoy}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δd ——待评价散射计产品风向与浮标风向差异；

d_{SCAT} ——待评价散射计产品风向；

d_{buoy} ——浮标风向。

- 对每对数据的风向差异进行360°解缠绕；解缠绕步骤如下：

——若 $\Delta d < 0$ ，则采用公式（3）计算对风向差异进行360°解缠绕；

$$\Delta d = \Delta d + 360 \dots\dots\dots (3)$$

——若 $\Delta d > 180$ ，则采用公式（4）计算对风向差异进行360°解缠绕；

$$\Delta d = \Delta d - 360 \dots\dots\dots (4)$$

e) 匹配结果记录；

记录每对匹配结果，形成浮标匹配数据集，用于后续质量标识效果评价。记录内容包括：待评价产品风速、待评价产品风向、待评价产品观测时间、待评价产品经纬度与待评价产品质量标识，以及与之匹配的参考数据风速、参考数据风向、参考数据观测时间、参考数据经纬度与质量标识。

f) 匹配结果质量控制。

利用待评价产品自带的质量标识，对浮标匹配数据集中被标识为较差质量的每对数据进行剔除，形成质量控制后浮标匹配数据集，计算数据剔除的比率（以百分比表示，保留小数点后2位），记为QC比率。

8.2 与 NWP 数据时空匹配

与NWP数据时空匹配空间位置关系如图2所示：

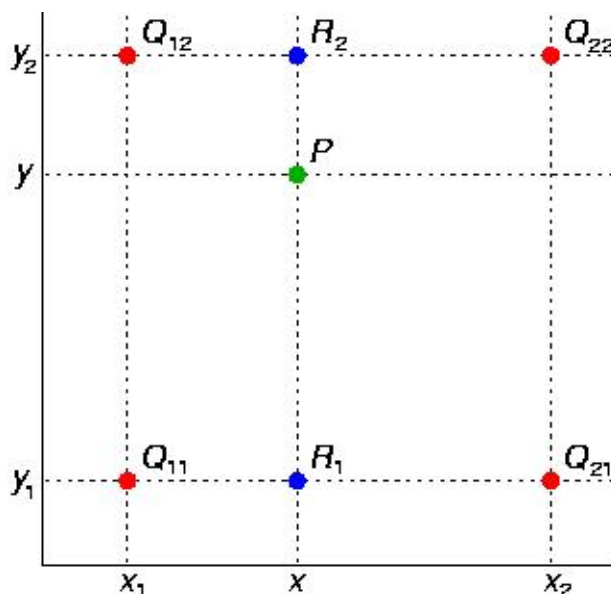


图2 与NWP数据时空匹配空间位置关系示意图

图2P代表观散射计测点所在的空间位置， Q_{11} ， Q_{12} ， Q_{21} ， Q_{22} 分别代表与观测点P位置最邻近的四个NWP网格点。与NWP数据时空匹配方法如下：

- a) 采用一定的时间窗和空间窗，对待评价产品与NWP数据进行时空匹配，形成NWP匹配数据集；
 - 对每个待评价产品的数据，根据该数据对应的经纬度，找到与其对应的四个NWP网格节点 Q_{11} ， Q_{12} ， Q_{21} ， Q_{22} ；
 - 从网格节点 Q_{11} ， Q_{12} ， Q_{21} ， Q_{22} 上选取距该数据观测时间最接近的两个时刻所对应的NWP风场；
 - 在空间维度采用双线性插值方法，对u，v分量进行插值，计算P点距离观测时间最接近的两个时刻所对应的NWP插值风场u，v分量；

空间维度插值计算见公式（5）、公式（6）和公式（7）：

$$f(R_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$f(R_1)$ ——通过经度（x）方向的插值得到的R1点处的u或v分量插值结果；

x_2 —— Q_{21} 与 Q_{11} 网格点中心位置的对应的经度；

x ——散射计数据点P地理位置的经度；

x_1 —— Q_{11} 与 Q_{12} 网格点中心位置的对应的经度；

$f(Q_{11})$ —— Q_{11} 网格点中心位置的NWP风场u或v分量值；

$f(Q_{21})$ —— Q_{21} 网格点中心位置的NWP风场u或v分量值。

$$f(R_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$f(R_2)$ ——通过经度（x）方向的插值得到的R2点处的u或v分量插值结果；

$f(Q_{12})$ —— Q_{12} 网格点中心位置的NWP风场u或v分量值；

$f(Q_{22})$ —— Q_{22} 网格点中心位置的NWP风场u或v分量值。

$$f(x, y) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$f(x, y)$ ——通过纬度（y）方向的插值得到的P点处的u或v分量插值结果。

y_2 —— Q_{12} 与 Q_{11} 网格点中心位置的纬度；

y ——散射计数据点P地理位置的纬度；

y_1 —— Q_{11} 与 Q_{21} 网格点中心位置的纬度。

——在时间维度插值，得到散射计的观测时刻与空间位置对应的NWP插值风场结果；

时间维度插值计算见公式（8）和公式（9）：

$$u = u_1 + (t - T_1) (u_2 - u_1) / (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

u ——通过对NWP空间插值结果进行时间插值得到的P点在t时刻海面10m高处风场u分量；

u_1 ——通过对NWP数据空间插值得到的P点在T1时刻海面10m高处风场u分量；

t ——散射计数据的观测时间；

T_1 ——与观测时间对应的NWP临近的两个时刻之一；

u_2 ——通过对NWP数据空间插值得到的P点在T2时刻海面10m高处风场u分量；

T_2 ——与观测时间对应的NWP临近的两个时刻之二，满足 $T_1 \leq t \leq T_2$ 。

$$v = v_1 + (t - T_1) (v_2 - v_1) / (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

v ——通过对NWP空间插值结果再进行时间插值得到的P点在t时刻海面10米高处风场v分量；

v_1 ——通过对NWP数据空间插值得到的P点在T1时刻海面10m高处风场v分量；

v_2 ——通过对NWP数据空间插值得到的P点在T2时刻海面10m高处风场v分量。

b) 对配对数据中的重复数据进行剔除；

c) 根据公式（2）计算配对数据中每对数据的风向差异；

d) 根据公式（3）和公式（4）对每对数据的风向差异进行360°解缠绕；

e) 匹配结果记录；

记录每对匹配结果，形成NWP匹配数据集，用于后续质量标识效果评价。

f) 匹配结果质量控制。

利用对浮标匹配数据集质量控制相同的方法，对NWP匹配结果进行质量控制，形成质量控制后NWP匹配数据集。

8.3 与 SCAT 数据时空匹配

与SCAT数据时空匹配方法如下：

- a) 采用一定的时间窗和空间窗，对待评价产品与其他同期在轨运行SCAT数据进行时空匹配，形成配对数据；其中时间窗宜取30min，空间窗宜取 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍待评价产品空间分辨率；
- b) 对配对数据中的冗余数据进行剔除；
 - 对配对数据中的重复数据进行剔除；
 - 针对配对数据中的一条待评价数据对应多条SCAT数据的情况，仅保留SCAT数据与待评价数据时间空间最为接近的一对数据；
 - 针对配对数据中的一条SCAT数据对应多条待评价数据的情况，仅保留待评价数据与SCAT数据时间空间最为接近的一对数据；
- c) 根据公式（2）计算配对数据中每对数据的风向差异；
- d) 根据公式（3）和公式（4）对每对数据的风向差异进行360°解缠绕；
- g) 匹配结果记录；

记录每对匹配结果，形成NWP匹配数据集，用于后续质量标识效果评价。

- h) 匹配结果质量控制。

仅保留每对数据中两个散射计数据的QC标识均为“可信”的配对数据，形成质量控制后SCAT匹配数据集，并计算QC比率。散射计数据QC标识主要关注风单元内是否有陆地或海冰、是否受到降雨影响、是否存在显著风场变异。

9 精度评价

分别采用质量控制后的浮标、SCAT和NWP匹配数据集，进行产品精度评价。具体方法如下：

- a) 在全风速范围内，计算风速的偏差与均方根误差，数值保留小数点后2位；
风速的偏差计算见公式（10）；

$$b_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (w_i^f - w_i^b) \dots\dots\dots (10)$$

式中：

b_w ---- 风速偏差；

N ---- 统计样本数；

i ---- 样本计数；

w_i^f ---- 第*i*个待评价风速；

w_i^b ---- 与第*i*个待评价风速配对的参考风速。

风速的均方根误差计算见公式（11）；

$$SD_w = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (w_i^f - w_i^b - b_w)^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

SD_w ---- 风速均方根差。

- b) 在风速大于4m/s范围内，计算风向偏差与均方根误差，数值保留小数点后1位；
风向的偏差和均方根误差计算见公式（12）。

$$b_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta d_i \dots\dots\dots (12)$$

式中：

b_d ——风向偏差；

Δd_i ——第 i 个待评价散射计产品风向与浮标风向差异（该风向差异已经过风向解缠绕）。

风向的偏差和均方根误差计算见公式（13）；

$$SD_d = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta d_i - b_d)^2} \dots\dots\dots (13)$$

SD_d ——风向均方根误差。

- c) 记录风速/风向精度评价所用样本点总数、QC比率、所用浮标总数、浮标空间位置分布情况、数据匹配的起止时间范围、风速/风向均方根误差、风向偏差；
- d) 绘制风速/风向比对分析散点图，并在散点图中标注风速/风向均方根误差、风速偏差与所用样本点总数信息，风速比对分析散点示意图见图A. 1，风向比对分析散点示意图见图A. 2。

10 一致性评价

分别采用SCAT匹配数据集与NWP匹配数据集，进行待评估产品的一致性评价。具体方法如下：

- a) 在全风速范围内，按照1m/s的间隔，按照公式（10）、公式（11）、公式（12）和公式（13），计算每个1m/s风速单元内的风速偏差与均方根误差、风向偏差与均方根误差。对单元间隔内样本点少于100个的风速单元，不计入统计结果；
- b) 在全风速范围内，按照1个风矢量面元的间隔，按照公式（10）～公式（13），计算风速偏差与均方根误差、风向偏差与均方根误差。随交轨向风矢量面元位置变化的情况；
- c) 在全风速范围内，按照1m/s的间隔，统计每1m/s风速间隔的待评价产品与参考数据匹配的样本数量；
- d) 按照 $1^\circ \times 1^\circ$ 的空间网格，按照公式（10）～公式（13），计算风速与风向的偏差和均方根误差的空间分布。
- e) 记录评价结果并绘制质量评价结果示意图。风速偏差随风速大小分布示意图见图A. 3，风速偏差随刈幅位置分布示意图见图A. 4，风速均方根误差随刈幅位置分布示意图见图A. 5，风速偏差空间分布示意图见图A. 6，风速概率密度分布示意图见图A. 7。

11 空间分辨力评价

待评价产品空间分辨力评价方法如下：

- a) 针对待评价产品的每一列数据，依次截取M点数据（M宜取128），计算待评价风场u、v分量的能量谱；

能量谱计算见公式（14）和公式（15）。

$$\psi_j = \psi(k_j) = \begin{cases} \frac{\Delta}{M} |z(k_j)|^2, j=0 \text{ 或 } \frac{M}{2} \\ \frac{\Delta}{M} [|z(k_j)|^2 + |z(k_{-j})|^2], j=1, \dots, \frac{M}{2}-1 \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{其中 } k_j = \frac{j}{M\Delta}, j = -\frac{M}{2} + 1, \dots, \frac{M}{2} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

ψ_j ——第j个波数对应的谱密度；

j——波数序号；

k_j ——第j个波数的数；

第一个=后面的符号；

Δ ——风矢量面元的网格分辨率（单位：m）；

M——所分析数据序列的长度，默认设置为128；

$z(k_j)$ ——N点快速傅里叶变换正半轴输出的结果；

$z(k_{-j})$ ——N点快速傅里叶变换负半轴输出的结果。

- b) 在待评价产品周期内，针对每一列数据，累加待评价风场u、v分量的能量谱，最后取平均值；
- c) 在待评价产品周期内，计算各列待评价风场u、v分量能量谱的平均值；
- d) 利用表征误差 r^2 表示风场的真实空间分辨率（ r^2 值越大则散射计和模式参考风场真实空间分辨率的差异也就越大）。采用风场能量谱积分法计算 r^2 ，即对于给定的风场分量，计算散射计风场能量谱和参考风场能量谱差异的积分，积分区间为25 km至800 km。

r^2 计算见公式（16）。

$$r^2 = \sum_{k_{low}}^{k_{up}} [\psi_{scat}(k_j) - \psi_{nwp}(k_j)] dk \dots\dots\dots (16)$$

式中：

r^2 ——风场的真实空间分辨率；

k_{up} ——25 km尺度对应的波数；

k_{low} ——800 km尺度对应的波数；

ψ_{scat} ——微波散射计的谱密度；

k_j ——第j个波数的数值，取值范围为 $[k_{low}, k_{up}]$ ；

ψ_{nwp} ——参考NWP风场的谱密度；

dk ——离散波数的最小间隔，等于 $\frac{1}{M\Delta}$ 。

- e) 记录产品空间分辨力评价结果，并绘制能量谱密度分布图，能量谱密度分布示意图见图A. 8。

12 质量标识效果评价

分别采用浮标、NWPS和CAT 匹配数据集，进行产品质量标识效果评价。具体方法如下：

- a) 在全风速范围内，利用匹配数据集中待评价产品质量标识标记为质量较差的样本点集，计算风速均方根误差与风速偏差；

- b) 在大于4m/s风速范围内，利用匹配数据集中待评价产品自带的质量标识标记为质量较差的样本点集，计算风向均方根误差与偏差；
- c) 利用匹配数据集中待评价产品自带的质量标识标记为质量较差的样本点集，选取风速（散射计与浮标风速平均值）大于4m/s的匹配样本点，计算风速均方根误差大于2m/s或风向均方根误差大于20°的样本点在全体被标记样本点中所占的比例。
- d) 记录产品质量标识效果评价结果，绘制风速/风向比对分析散点图，并在散点图中标注风速/风向均方根误差、风速/风向偏差、所用样本点总数信息。

13 质量等级确定

根据产品精度评价、一致性评价、空间分辨力评价与质量标识效果评价结果，确定产品分项质量评价等级与总体质量评价等级。产品质量等级划分标准如表1，在实际应用时，产品质量等级划分标准可根据使用需求进行调整。

表 1 产品质量等级划分标准及评价结果

评价内容	评价指标	质量等级划分标准			评价结果 (优/合格/不合格)
		优	合格	不合格	
精度评价	风速均方根误差	<1.5m/s	$\geq 1.5\text{m/s} \leq 2\text{m/s}$	>2m/s	—
	风速偏差	<0.2m/s	$\leq 0.4\text{m/s}$	>0.4m/s	—
	风向均方根误差	<15°	$\leq 20^\circ$	>20°	—
	风向偏差	<2°	$\geq 2^\circ \leq 4^\circ$	>4°	—
与NWP比较的一致性评价	风速均方根误差随风速分布的极大值	<1.5m/s	$\leq 2\text{m/s}$	>2m/s	—
	风速偏差随风速分布的极大值	<0.2m/s	$\leq 0.4\text{m/s}$	>0.4m/s	—
	风速均方根误差随刈幅分布的极大值	<1.5m/s	$\leq 2\text{m/s}$	>2m/s	—
	风速偏差随刈幅分布的极大值	<0.2m/s	$\leq 0.4\text{m/s}$	>0.4m/s	—
与其他同期在轨运行SCAT比较的一致性评价	风速均方根误差随风速分布的极大值	<0.6m/s	$\leq 1.0\text{m/s}$	>1.5m/s	—
	风速偏差随风速分布的极大值	<0.2m/s	$\leq 0.4\text{m/s}$	>0.4m/s	—
	风速均方根误差随刈幅分布的极大值	<0.6m/s	$\leq 1.0\text{m/s}$	>1.0m/s	—
	风速偏差随刈幅分布的极大值	<0.2m/s	$\leq 0.4\text{m/s}$	>0.4m/s	—
空间分辨力评价	空间分辨力	优于25km	优于50km	其他	—
质量标识效果评价	误检率	<10%	$\leq 20\%$	>20%	—
	漏检率	<10%	$\leq 20\%$	>20%	—
总体质量评价		所有指标为优	所有指标为合格或优，且至少有一项指标为合格	至少有一项指标为不合格	—

14 质量评价报告编制与资料归档

报告内容应包括但不限于编制单位、质量评价方法、报告编制时间、质量评价结果等。其中产品精度、一致性、空间分辨能力、质量标识效果评价结果，以及产品质量等级。质量评价结果示例见附录A。

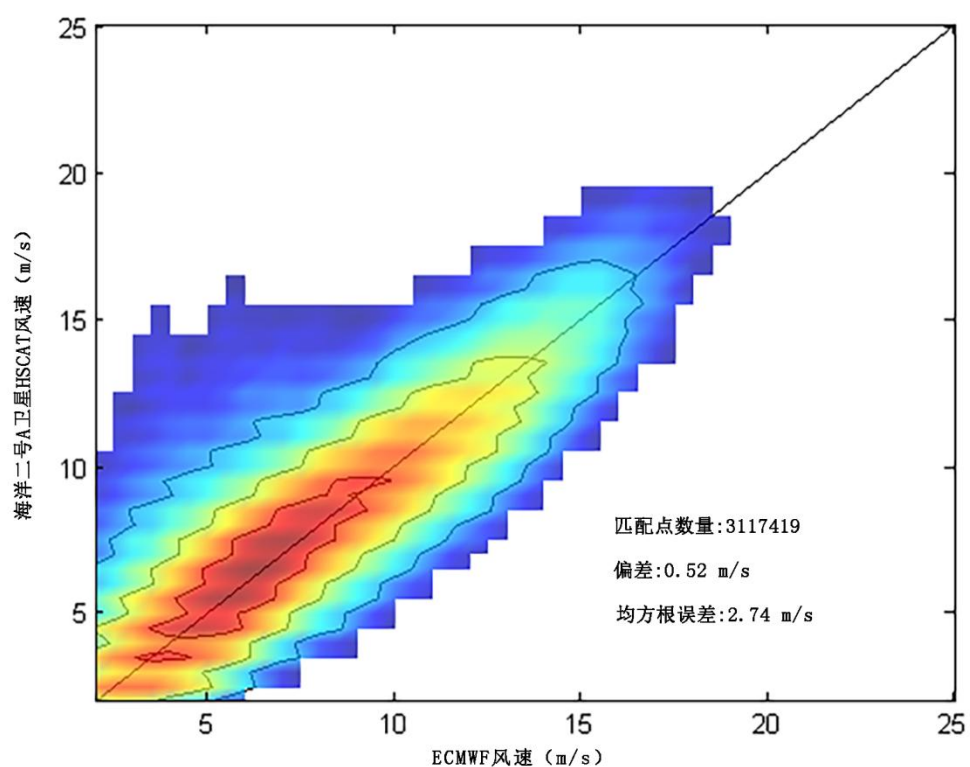
15 质量控制

过程质量控制包括以下内容：

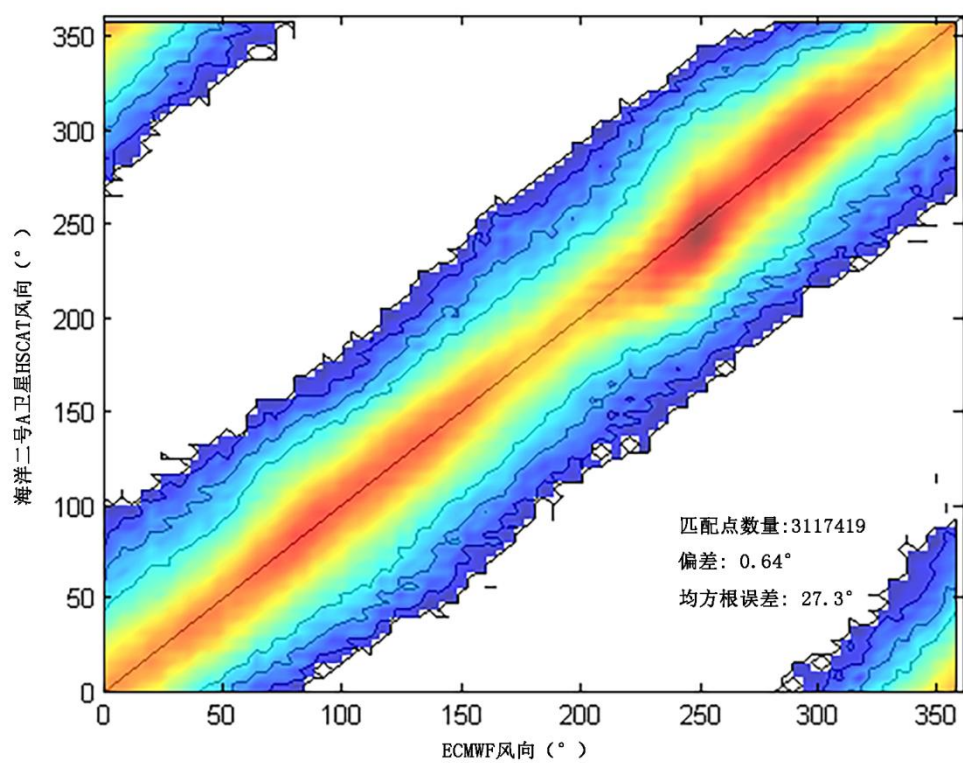
- a) 数据准备阶段：准备的数据应符合评价要求c)～h)；
- b) 数据时空匹配阶段：匹配结果应符合评价要求g)；每对匹配结果风速取值应在0～50m/s之间，风向取值应在0～360°之间，风向差异取值应在0～360°之间，观测时间差异绝对值应小于时间窗，观测空间距离应小于 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍待评价产品空间分辨率；
- c) 精度评价阶段：风速/风向的偏差与均方根误差计算结果应保留小数点后2位。评价结果记录应完整，风速/风向比对分析散点图信息应与记录的评价结果一致；
- d) 一致性评价阶段：参照精度评价阶段；
- e) 空间分辨力评价阶段：参照精度评价阶段；
- f) 质量标识效果评价阶段：参照精度评价阶段；
- g) 质量评价报告编制阶段：评价报告内容应涵盖所有评价结果。

附录A
(资料性)
质量评价结果示例

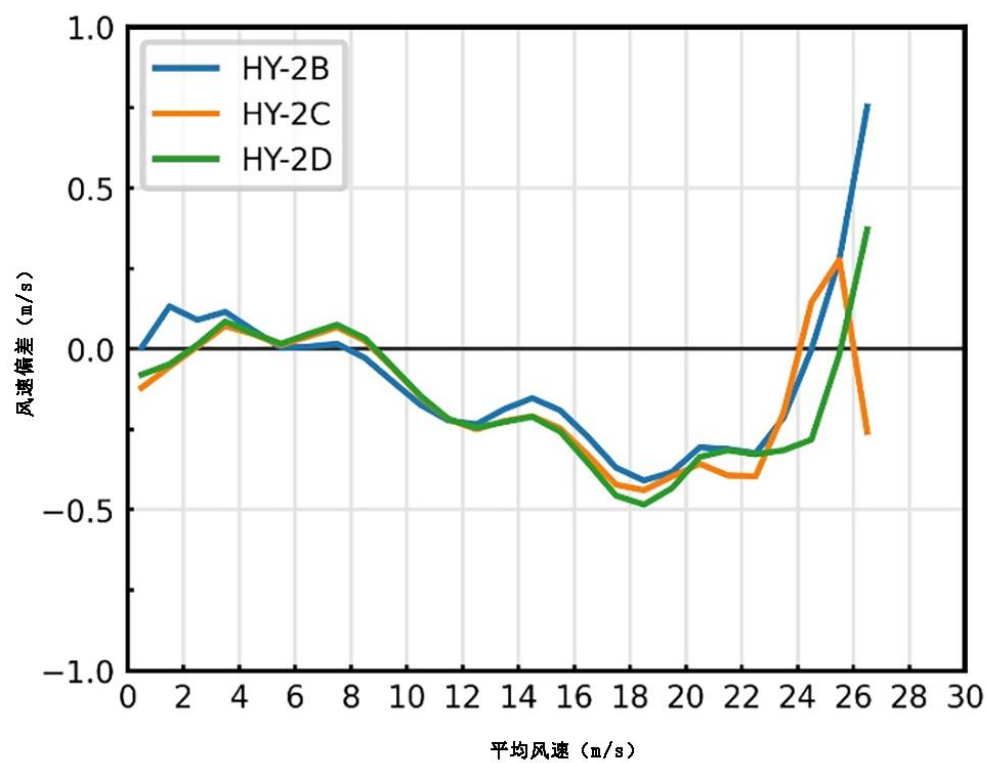
风速比对分析散点示意图见图A. 1，风向比对分析散点示意图见图A. 2，风速偏差随风速大小分布示意图见图A. 3，风速偏差随刈幅位置分布示意图见图A. 4，风速均方根误差随刈幅位置分布示意图见图A. 5，风速偏差空间分布示意图见图A. 6，风速概率密度分布示意图见图A. 7，能量谱密度分布示意图见图A. 8。



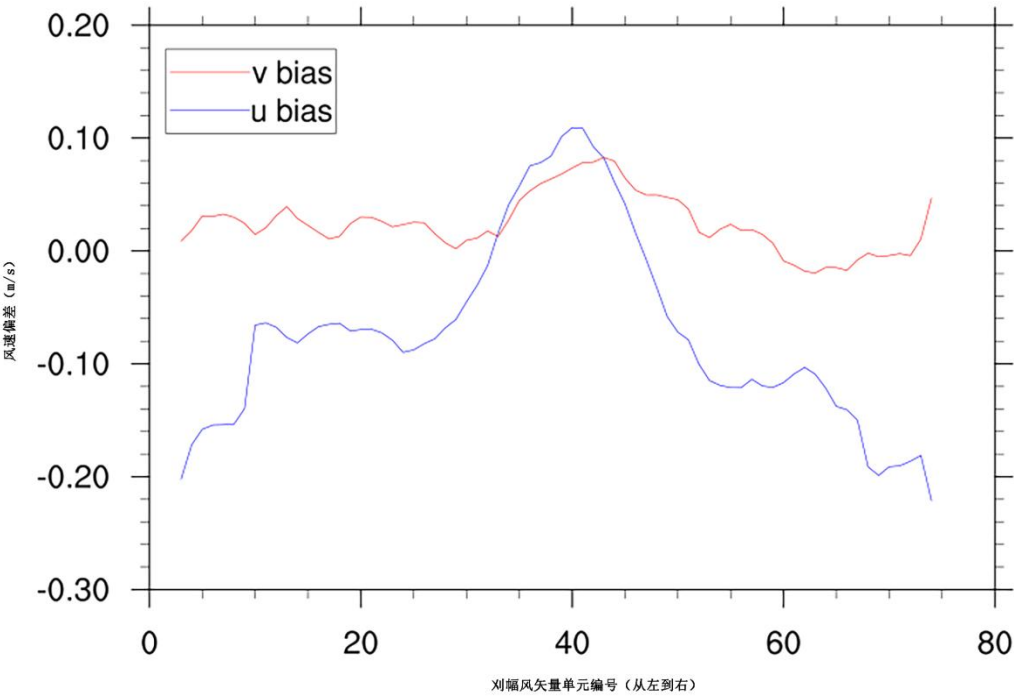
图A. 1 风速比对分析散点示意图



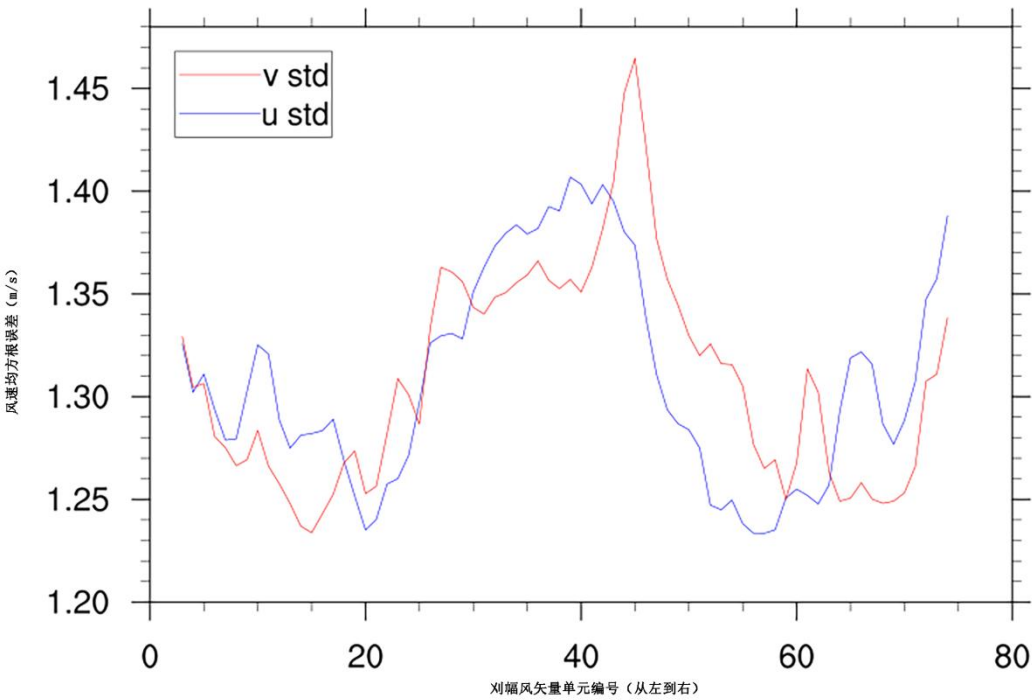
图A. 2 风向比对分析散点示意图



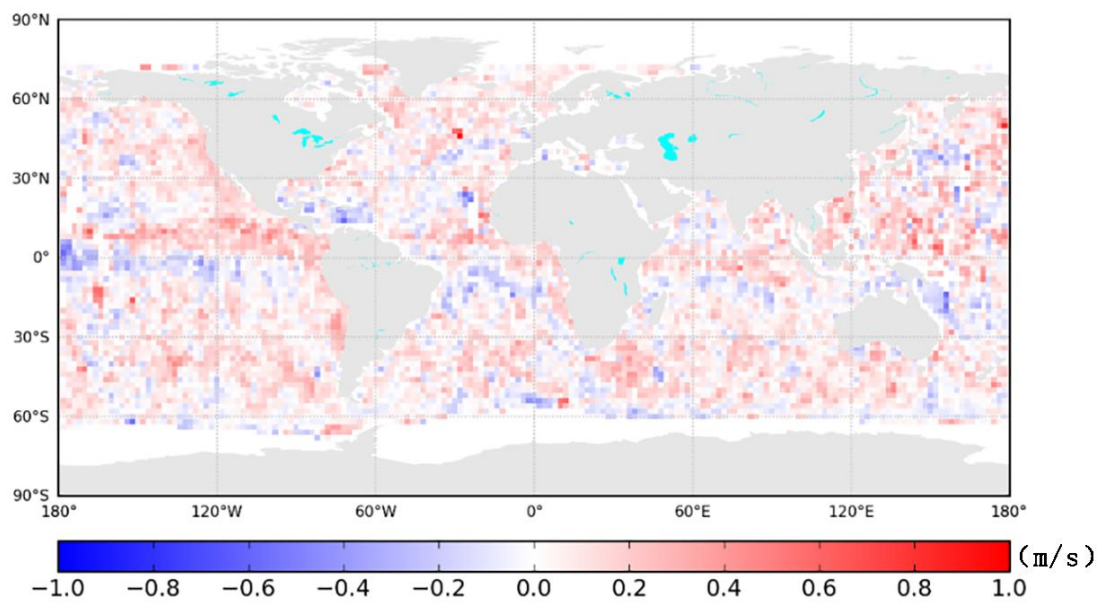
图A. 3 风速偏差随风速大小分布示意图



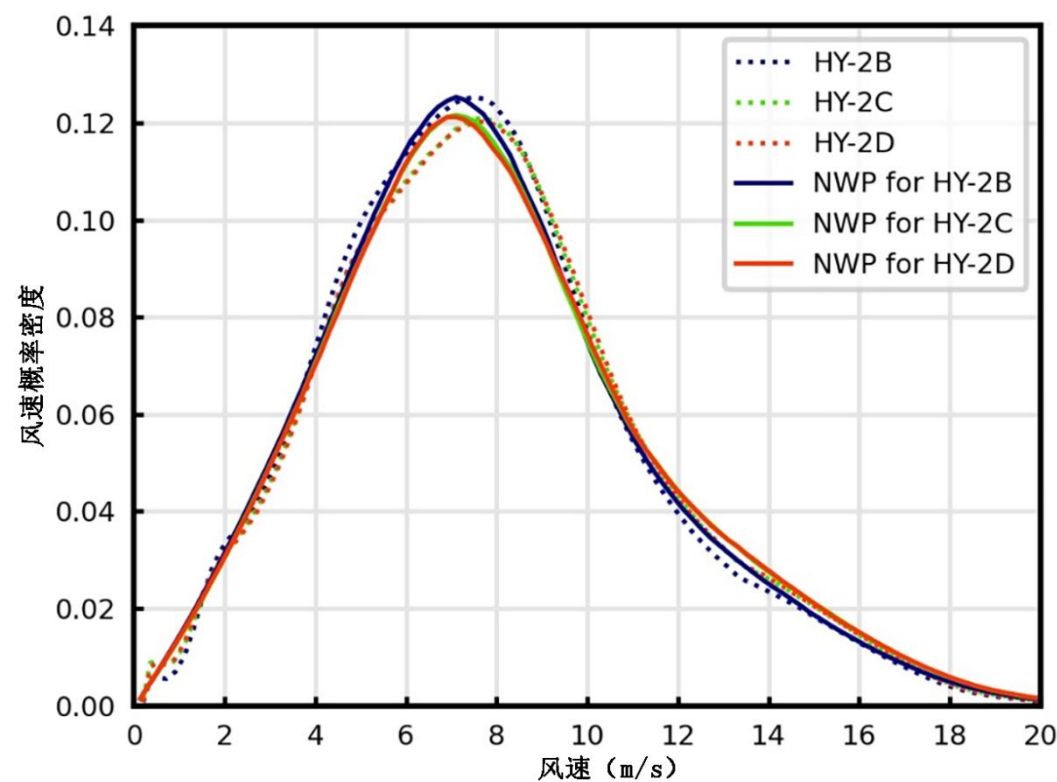
图A. 4 风速偏差随刈幅位置分布示意图



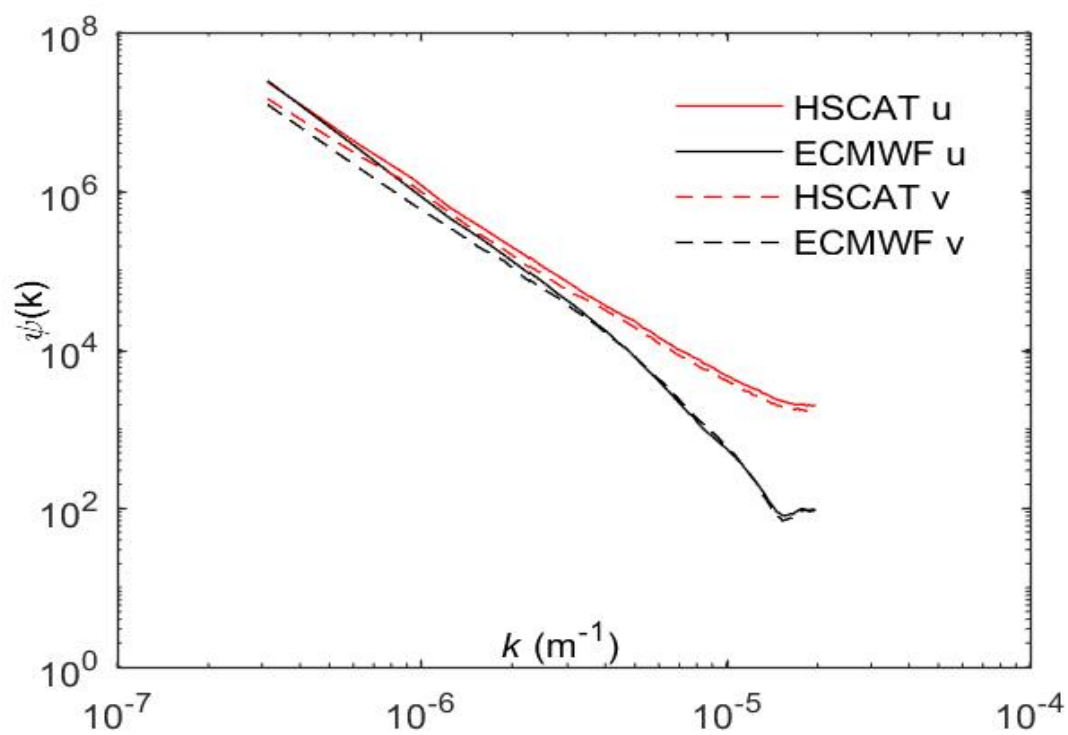
图A. 5 风速均方根误差随刈幅位置分布示意图



图A. 6 风速偏差空间分布示意图



图A. 7 风速概率密度分布示意图



图A.8 能量谱密度分布示意图

《微波散射计海面风场产品质量评价方法》

编制说明

行业标准项目名称： 微波散射计海面风场产品质量评价方法

行业标准项目编号： 202233010

送审行业标准名称：

（此栏送审时填写）

报批行业标准名称：

（此栏报批时填写）

承担单位：

当前阶段： ☒ 征求意见 ☐ 送审稿审查 ☐ 报批稿报批

编制时间： 2023 年 7 月

微波散射计海面风场产品质量评价方法 编制说明

一、概况

1.1 任务来源

2022 年 9 月 6 日，自然资源部下达《自然资源部办公厅关于印发 2022 年度自然资源标准修订工作计划的通知》（自然资办发[2022]39 号），本文件是自然资源部发布的 2022 年自然资源卫星应用行业标准计划项目之一，标准计划名称《微波散射计海面风场产品质量评价方法》，项目编号：202233010。本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会归口，由国家卫星海洋应用中心牵头起草。计划周期：24 个月。

1.2 目的意义

星载微波散射计是目前获取全球海面风速与风向观测资料最主要的遥感器。目前国内外已有包括 C 波段扇形固定波束微波散射计，Ku 波段笔形波束圆锥扫描方式微波散射计，扇形波束圆锥扫描方式微波散射计，以及 C 波段与 Ku 波段双频扇形波束圆锥扫描方式微波散射计等在内的多个星载散射计投入业务化运行，极大丰富了全球海面风矢量观测数据。

随着我国星载微波散射计的持续增加，以及数据处理技术的不断进步，星载微波散射计海面风矢量产品在国内外认可度不断提升，我国也已成为国际上最具影响力的卫星遥感海面风场产品提供者之一。

一方面，对海面风场产品的质量评价，是星载微波散射计地面数据处理系统的重要组成部分，也是海面风场产品业务化应用服务系统的重要环节，同时数值天气同化预报、气候态评估等相关用户对产品的时效性、精度、一致性等提出了更高要求。另一方面，国内还没有专门的微波散射计海面风场产品质量评价方法标准，用户经常在数据使用前，根据经验对产品质量进行评价，由于评价标准不统一，甚至评价方法不科学，造成评价结果的有效性与一致性差强人意，严重制约了数据的推广与应用。因此迫切需要制定微波散射计海面风场产品质量评价方法标准，规范相关数据产品质量评价的数据准备、数据时空匹配、产品精度评价、产品一致性评价、产品空间分辨力评价以及产品质量标识效果评价方法，为自主海洋卫星微波散射计海面风场产品业务化、实用化发展提供有效工具，进一步发挥自主卫星的应用效能，以期取得显著的经济和社会效益。

此外，通过标准规范的制定，可使我国卫星遥感海面风场产品标准与国际接轨，有利于数据产品全球共享，提高我国在国际海洋环境观测中的话语权，提高海洋开发利用效率，推动海洋产业化形成和海洋经济发展，提高海洋开发利用中的科技进步贡献率，促进我国海洋经济高质量发展。

1.3 主要起草人及工作分工

编制任务下达后，国家卫星海洋应用中心为牵头单位，南京信息工程大学、航天宏图信息技术股份有限公司等共同成立了编制组。编制组成员包括海洋二号卫星数据处理团队的主要成员，以及长期从事

卫星海洋遥感专业领域的专业技术人员和专家分工合作开展标准各章节的编写，编制组主要人员组成及分工见表 1。

表 1 编制组人员分工

序号	姓名	单位	任务分工	备注
1	邹巨洪	国家卫星海洋应用中心	标准负责人，负责技术把关、组织和终稿修改执笔	
2	林文明	南京信息工程大学	负责数据准备、数据时空匹配、产品空间分辨能力评价方法编写	
3	王志雄	南京信息工程大学	负责产品精度评价方法、产品一致性评价方法编写	
4	鲍青柳	航天宏图信息技术股份有限公司	负责产品质量标识效果评价方法编写	
5	张 茜	国家卫星海洋应用中心	参与数据准备、数据时空匹配、产品空间分辨能力评价方法编写	
6	郎姝燕	国家卫星海洋应用中心	参与产品质量标识效果评价方法编写	
7	崔松雪	国家卫星海洋应用中心	参与产品一致性评价方法、产品精度评价方法编写	
8	张艳杰	国家卫星海洋应用中心	标准编写指导	
9	冯 倩	国家卫星海洋应用中心	技术指导	

1.4 主要工作过程

1.4.1 征求意见稿阶段

2021 年 9 月-2021 年 12 月，编制组开展了大量的调研工作，包括国内外有关现有标准，以及微波散射计海面风场产品质量评价方法的实际实施情况，编制组开始起草标准草案。

2022 年 1 月-2022 年 4 月，以标准草案为基础，编制组又以电话、社交软件、电子邮件和视频会议的形式与卫星遥感海面风场产品生产与应用相关单位、大学、科研院所的多位技术专家和生产专家进行多次交流探讨，并根据专家意见对标准草案进行修改完善，形成初稿。

2022 年 4 月-2023 年 7 月，以初稿为基础，编制组又以电话、社

交软件、电子邮件和视频会议等形式与卫星海洋遥感数据产品制作与应用相关单位、大学、科研院所的多位技术专家进行多次交流探讨，并根据专家意见对初稿进行修改完善，于 2023 年 7 月完成了标准征求意见稿和编制说明。

1.4.2 送审稿阶段

无

1.4.3 报批稿阶段

无

二、 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

2.1 标准编制原则

本文件的编制依据《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）编写，并充分考虑了与《海洋观测规范 第 5 部分：卫星遥感观测》（GB/T 14914.5-2021）以及其他海洋观测相关基础类标准的协调。编制遵循以下原则：

（1）一致性与协调性

本文件与 GB/T 14914.5-2021 《海洋观测规范 第 5 部分：卫星遥感观测》等相关标准相互协调，保持标准内容间的一致性，避免新制定标准同已经颁布实施或正在报批的相关标准之间的冲突和矛盾。本文件是在上述卫星遥感观测标准基础上，对微波散射计海面风场产品质量评价的数据准备、数据时空匹配、产品空间分辨能力评价、产

品一致性评价、产品精度评价方法以及产品质量标识效果评价方法相关规范和约定进行补充完善。

（2）科学性与系统性

微波散射计海面风场产品质量评价方法是微波散射计地面数据处理系统的重要组成部分，也是海面风场产品业务化应用服务系统的关键环节，在确保数据广泛、高效使用的前提，应遵循海洋观测标准体系，确定本文件的定位、内容以及与其它标准的关系。微波散射计海面风场产品质量评价方法工作各个阶段环环相扣，衔接紧密，相关性极强，因此，对各阶段的技术指标和要求的制定应科学、合理。

（3）通用性与灵活性

微波散射计海面风场产品质量评价方法涉及较多评价指标和环节，以及不同的用户需求，实现的技术路线各有差异，因此需要明确最基本、最普遍适用的技术指标和要求以进行规范和约定，使之既可控制微波散射计海面风场产品质量评价方法全过程的质量，又可以充分发挥不同评价指标的特点，满足不同类型用户的需求，保持文本的通用性与灵活性。

（4）实用性与可继承性

作为指导和规范数据产品质量评价的技术标准，应具有实用性与可继承性。旧的指标和要求有的必须调整以适应新技术发展和不同用户的需求和使用习惯，有的必须保留和继承以保持海洋观测产品生产的延续性以及海洋观测成果的可靠性。

例如，当前微波散射计海面风场产品质量评价方法的编制，在产品时空匹配、产品精度评价等方面继承了我国海洋卫星地面系统建设，以及承担国家重点研发计划课题“基于国产快速辐射传输模式的大气海洋一体化参数反演与应用研究”等卫星遥感重点科研专项成果相关经验，保持了相关标准间的可继承性。

2.2 国内外调研情况

星载微波散射计是目前获取全球海面风速与风向观测资料最主要的遥感器。自 1978 年美国发射第一个搭载业务化运行散射计的卫星 Seasat 以来，微波散射计广泛应用于全球海面风矢量业务化监测，包括以 MetOp 卫星 ASCAT 为代表的 C 波段扇形固定波束微波散射计，以 QuikSCAT 卫星 QSCAT 和海洋二号卫星 HSCAT 为代表的 Ku 波段笔形波束圆锥扫描方式微波散射计，中法海洋星 CSCAT 为代表的扇形波束圆锥扫描方式微波散射计，以及 FY-3E 风雷达采用的 C 波段与 Ku 波段双频扇形波束圆锥扫描方式微波散射计等在内的多个星载散射计投入业务化运行，极大丰富了全球海面风矢量观测数据产品。

我国于 2011 年 8 月 16 日发射了国内第一个搭载可业务化运行的微波散射计（HSCAT-A）的海洋二号 A 卫星（HY-2A）。并于 2018 年 10 月 25 日，2020 年 9 月 21 日与 2021 年 5 月 19 日分别发射了 HY-2B，HY-2C 与 HY-2D 卫星。HY-2A/B/C/D 卫星均搭载有微波散射计，其主要目标是全球海面风场观测。HY-2A 卫星微波散射计设计测风风速范围为 4~24m/s，风速精度为 2 m/s 或 10%；风向测量范围

为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，风向精度为 $\pm 20^{\circ}$ 。目前 HY-2B，HY-2C 与 HY-2D 卫星同时在轨运行，形成三星组网散射计观测星座，可保证每 6 小时覆盖约 90% 海域的海面风场观测。

国外目前没有专门的微波散射计海面风场数据产品质量评价标准，在用户手册上有对数据的说明，以及精度的简单评价。以美国 JPL 发布的 QuikSCAT L2B 级海面风场数据产品为例，其在用户手册上对产品的风速与风向精度，以及质量控制标识有详细描述。

与国外情况类似，国内目前还没有制定针对微波散射计海面风场数据产品的质量评价标准，针对目前已经发射的海洋二号系列，中法海洋星系列，以及风云 3E 卫星微波散射计海面风场数据产品，也只在数据使用手册或在轨测试报告中有对相关数据产品的精度评价。以海洋二号卫星微波散射计 L2B 级海面风场数据产品为例，国家卫星海洋应用中心根据海洋二号卫星地面系统在轨测试大纲采用了风速与风向精度作为评价指标，并以每周一次/每月一次的频次，对产品的风速与风向精度进行评价。同时相关质量评价只涉及风速与风向的精度评价，缺乏对产品的一致性、空间分辨力以及质量标识效果等进行有效评价，对产品质量的描述不够全面。

此外国内外学者发表了大量关于微波散射计海面风场产品精度评价的相关文章，但没有统一的标准，且不够系统。例如，有的学者在评价风速与风向精度的过程中，采用全风速段的数据进行风速与风向的评价，有的学者采用全风速段数据进行风速精度评价，采用风速大于 2m/s 或者 4m/s 的数据进行风向精度评价，有的学者则对风速与

风向精度评价统一采用风速大于 2m/s 或者 4m/s 的数据，造成不同评价结果之间难以进行比对。

为提高标准的实用性，课题组在标准制定前期进行了大量的调研、资料收集，以及技术试验等工作，在编制过程中与卫星应用分技术委员会、海洋调查观测监测分技术委员会、自然资源部国土卫星遥感应用中心、国家海洋环境预报中心、国家海洋标准计量中心、中国气象局数值预报中心、广东海洋大学、广州大学、自然资源部第二海洋研究所及航天宏图信息技术股份有限公司等有关单位的专家进行了多次交流和探讨。同时充分利用主编单位承担海洋卫星地面系统建设任务，以及承担国家重点研发计划课题“基于国产快速辐射传输模式的大气海洋一体化参数反演与应用研究”等卫星遥感海洋环境数据处理相关重点科研专项任务的有利条件，总结卫星遥感微波散射计海面风场数据处理、归档、管理与分发等工程建设经验及气候态数据集构建、数值天气预报模式同化应用等实践经验，并针对性补充开展大量技术验证，最终从数据准备、数据时空匹配、产品质量评价、质量等级确定、质量评价报告编制于资料归档、质量控制等方面总结提炼要求和经验。

a) GB/T 14914.5-2021 《海洋观测规范 第 5 部分：卫星遥感海洋观测规范》等相关标准可满足海洋遥感卫星基础观测数据的生产需求，但该标准并未对微波散射计海面风场数据产品质量评价方法进行说明。

b)GB/T 15920-1995《物理海洋学术语 物理海洋学》、QX/T 51-2007《地面气象观测规范 第7部分：风向和风速观测》对海面风速与海面风向等术语进行了规定，但并未涉及本文件关注的卫星遥感微波散射计海面风场数据产品质量评价方法。

c)主编单位和参编单位已在海洋卫星地面系统建设，以及卫星遥感业务化应用中积累了大量的实际经验，并发表大量相关学术论文，取得相关发明专利授权；参编人员邀请了在海洋观测与海洋环境数值预报等应用领域具有实际科研能力、实际工作经验的专家及同行。

d)本文件在制定过程中，广泛收集了相关国家标准和行业标准，作为本文件制定的参考和借鉴依据，主要内容参见参考文献。

2.3 主要技术内容的说明

2.3.1 标准化对象及适用范围说明

本文件确立了微波散射计海面风场产品质量评价要求、评价流程，规定了数据准备、数据时空匹配、产品质量评价、质量评价报告编制与资料归档以及质量控制等内容。

本文件适用于海洋与大气数值模式预报、海洋防灾减灾、海洋环境保障以及海洋科学研究等用户对海洋二号系列卫星微波散射计与中法海洋卫星微波散射计沿轨存储 L2 级海面风场产品（后简称产品）的质量评价。

2.3.3 标准主要技术内容指标或要求确定的依据

（1）标准的定位

在本文件编制过程中，海洋观测规范第 5 部分：卫星遥感观测等与海洋观测相关的国家标准对不同卫星遥感海洋基础观测数据产品的生产流程等方面进行了相应的规定。本文件是在继承前述国家标准基础上，结合微波散射计海面风场数据产品质量评价需求，对部分技术方案进行适应性调整、补充和完善。

(2) 产品质量评价的具体要求

- a) 对不同待评价产品的质量评价，宜采用相同的评价方法；
- b) 待评价产品时间上宜连续分布；
- c) 匹配样本点在空间上宜在全球海面均匀分布。

微波散射计海面风场数据产品质量评价应满足以下要求：

- a) 产品质量评价应至少包含产品精度评价、一致性评价、空间分辨力评价、质量标识评价；
- b) 用作评价参考的数据应为业内权威机构发布并验证过的数据；
- c) 待评价产品时间序列长度应不少于 3 个月；
- d) 数据匹配的时间窗应小于 30min；
- e) 数据匹配的空间窗应小于 25km；
- f) 海面风速与风向应为海面 10m 高处风速与风向；
- g) 风向应采用海洋学定义。

(3) 微波散射计海面风场数据产品质量评价方法

1) 数据准备

待评价散射计海面风场产品准备较长时间序列长度的待评价产品，以及相应的可用作参考的风场数据产品；考虑到统计意义上对样本数量的要求，以及星载散射计与参考风场每天数据获取能力、数据匹配程度等因素，要求用于质量评价的数据时间序列不少于 3 个月，匹配的样本数量才能基本具有统计意义。

对用作评价的参考数据，选用剔除被 ECMWF 列入浮标黑名单内的浮标数据、ERA5 再分析海面风场数据以及欧洲气象卫星组织发布的 ASCAT 微波散射计 L2 级海面风场数据。这三种数据源为国际同行公认的经过质量检验的海面风场数据产品，在文献中经常被用作散射计海面风场数据产品精度评价的参考数据源。

2) 数据时空匹配

数据时空匹配充分考虑了星载微波散射计海面风场数据产品，以及作为参考数据的浮标数据、ASCAT 数据以及 ERA5 数据的时空分布特征，同时也考虑了海面风场时空变化特征情况。通常情况下，空间距离小于 25km，时间差异小于 1h 的两个海面风场观测数据，可以认为是准同步观测，即以这两个观测数据作为一组同步观测数据。考虑到锚系浮标观测风场观测频次为 1h，且为连续观测定点观测，而散射计风场产品通常为 25km 空间分辨率，因此在与散射计数据进行匹配时，采用 30min 时间窗， $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍待评价产品空间分辨率空间窗进行数据匹配；与 ASCAT 数据以及 ERA5 数据的匹配与浮标数据类似。

3) 产品质量评价

a) 产品精度评价方法

产品精度评价采用经典的风速风向均方根误差进行评价。考虑到低风区 ($<4\text{m/s}$) 海面分辨单元内 ($25\text{km} \times 25\text{km}$) 风场变率相对较大, 尤其是风向扰动较大, 浮标或散射计难以准确反演平均风向, ERA5 等数值模式也同样难以准确刻画对应时刻空间范围 ($25\text{km} \times 25\text{km}$) 的平均风向。基于此, 在风向的真实性检验中, 风向精度评估应筛选平均风速大于 4m/s 的数据进行评估。考虑到风速的截断效应, 对风速的评价, 则采用全风速区间的匹配数据集进行评价。

同时, QC 比率也是精度评价过程中的一个重要的指标。通常情况下, 采用同样处理方法得到的散射计海面风场数据产品, QC 比率越高, 表明更多的数据被剔除, 通常情况下评价所得精度会越高。为了使得评价结果具有可比性, 应对 QC 比率进行记录, 并尽量在同样的 QC 比率下进行比对分析。

b) 产品一致性评价方法

产品一致性评价长期以来被大家所忽略, 但是该指标是影响数据产品质量的重要参数之一, 尤其是在数据天气预报同化应用, 以及长时间序列气候态分析时, 该指标尤为重要。考虑到与浮标数据匹配的较为困难, 而产品一致性评价所需数量相对较大, 仅选取 ASCAT 与 ERA5 数据作为参考数据来进行评价。

考虑到笔形波束圆锥扫描观测体制的观测特点，在散射计刈幅的不同区域，所得风场产品精度通常会有差异。同时风场产品精度随着风速的变化情况，也是评价风场产品是否具有非线性误差的重要指标，因此选用相对参考数据风速偏差随风速大小变化情况、风向偏差随风速大小变化情况、风速标准差随风速大小变化情况、风向标准差随风速大小变化情况、风速概率密度分布情况、风速与方向均方根误差与偏差随刈幅位置变化情况，评价产品在不同风速条件下，以及不同刈幅位置条件下的一致性情况。

c) 产品空间分辨力评价方法

目前星载散射计观测结果通常重采样到 25km 的风矢量单元上，其风矢量产品为通过对落在风矢量单元内的多个后向散射系数观测结果进行风矢量反演获得，通常意义上所说的产品空间分辨率，是指风矢量单元的空间分辨率，但是其实际的空间分辨率，是由后向散射系数的实际分辨率（足印或切片大小）决定。风场能量谱描述了海面风场的空间变化特征，反映了观测系统真实的空间分辨能力特征，HY-2B/SCAT 和 ECMWF 的风场能量谱对比如下所示，从中小尺度（25km）到大尺度(800km)，HY-2B/SCAT 风场的空间变异特性均比 ECMWF 更大，表明 HY-2B/SCAT 能够解析比 ECMWF 更小尺度的风场变异性。采用风场能量谱，可以对产品的实际空间分辨率进行评价。

另一方面，产品的空间分辨率是决定重采样次数的重要指标，而重采样次数是影响信噪比的重要指标，对同一个散射计观测结果，采

用更粗的分辨率所得的风场产品，其精度通常较之更细分辨率的产品具有更高的精度。因此，为便于比较，在描述风场产品精度的同时，应支出其对应的空间分辨率。对不同产品的比对，应在同样分辨率下进行。

d) 产品质量标识效果评价方法

业务化运行的散射计海面风场产品，通常会带有质量标识，这些质量标识可以对载荷异常（例如散射计增益异常），或者观测环境异常（例如受陆地与海冰影响，或者受降雨影响）的数据进行标记，以免这类异常数据进入后续应用。是散射计风场数据产品质量标志的效果，也是其数据质量的重要指标。对质量标识的评价，采用与产品精度评价类似的方法，将被质量标识的数据与参考数据进行比对，通过评价被标识的海面风场数据的精度，来对质量标志效果进行评价。与数据精度评价不同的是，被质量标志数据相对参考数据误差越大，则说明质量标识效果越好。

三、 验证试验的情况和结果

对当前搜集到的海洋二号 A 卫星、海洋二号 B 卫星、海洋二号 C 卫星、海洋二号 D 卫星、中法海洋星数据，对超过 2 年时间尺度，超 1 万个散射计海面风场数据产品进行测试，采用本文件的质量评价方法，可获得一致的评价结果。

四、 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

经国家标准、行业标准共享服务平台检索，尚未有相关国家标准、行业标准、国际标准、他国国家标准记录情况，因此本文件填补了相关标准的空白。

五、 与现行法规、标准的关系

本文件依据《中华人民共和国测绘法》、《中华人民共和国标准化法》编制，符合我国现行法律、法规有关规定。

作为海洋观测测量系列标准之一，本文件在制定过程中保持了与其他相关标准例如《海洋观测规范 第5部分：卫星遥感观测》等制定中的标准相互协调一致。同时，也保持与现有相关行业标准在基本技术指标和技术要求上的一致性。

六、 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、 废止现行有关标准的建议

无。

八、 实施标准的要求和措施建议

无。

九、 其他应予说明的事项

无。

十、 参考文献

- [1] GB/T 15920-1995 物理海洋学术语 物理海洋学
- [2] GB/T 14914.5-202X 海洋观测规范 第 5 部分：卫星遥感观测
- [3] 《海洋二号卫星在轨测试大纲》