



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 584—2020

海上风能资源遥感调查与评估技术导则

Technical guideline on investigation and assessment of offshore wind energy
resource using remote sensing data

2020-11-05 发布

2021-02-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 基本资料收集	3
6 数据处理	3
7 遥感风场反演及可靠性检验	4
8 遥感数据融合与风能参数计算	5
9 分析评估图表制作	5
附录 A(资料性附录) 海上风场探测星载传感器	6
附录 B(资料性附录) 空间分辨率转换方法	7
附录 C(资料性附录) 地球物理模式函数	9
附录 D(规范性附录) 遥感风速误差及相关系数计算	10
附录 E(规范性附录) 遥感风能参数计算	12
附录 F(规范性附录) 遥感风能参数误差分析图表	14
参考文献	18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国气候与气候变化标准化技术委员会风能太阳能资源分技术委员会(SAC/TC 540/SC 2)提出并归口。

本标准起草单位:浙江省气候中心、浙江大学、江苏省气候中心、山东省气候中心。

本标准主要起草人:李正泉、黄敬峰、许遐祯、张康宇、郭乔影、冯涛、肖晶晶、董旭光、徐经纬。

海上风能资源遥感调查与评估技术导则

1 范围

本标准规定了海上风能资源遥感调查与评估的基本资料收集、数据处理、遥感风场反演及可靠性检验、遥感数据融合与风能参数计算、分析评估图表制作等相关技术要求。

本标准适用于基于遥感资料反演的海上风能资源调查评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 17278—2009 数字地形图产品基本要求

GB/T 18710—2002 风电场风能资源评估方法

GB/T 31724—2015 风能资源术语

NB/T 31029—2019 海上风电场工程风能资源测量及海洋水文观测规范

NB/T 31147—2018 风电场工程风能资源测量与评估技术规范

QX/T 74—2007 风电场气象观测及资料审核、订正技术规范

3 术语和定义

GB/T 17278—2009、GB/T 18710—2002、GB/T 31724—2015、NB/T 31029—2019、NB/T 31147—2018、QX/T 74—2007 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海面风场 sea surface wind field

距海平面约 10 m 高度的水平空间格点风速和风向等要素集合。

3.2

海上站位观测 offshore in-situ observation

海上测风塔、浮标、石油平台以及小型岛礁等固定站点的气象观测。

3.3

像元 pixel

卫星传感器对地面景物扫描采样的最小单元。

注:也指遥感影像图片像素。

3.4

景 scene

一幅遥感影像或图片所覆盖地域的景象。

3.5

地球物理模式函数 geophysical model function

用于将遥感数据信息定量转化为海面风速和风向的模式函数。

注:多是指后向散射系数与海面风矢量、传感器探测参数及次地球物理变量之间的函数关系式。

3.6

遥感数据融合 remote sensing data fusion

以获取目标区全面、综合的时空信息为目的,将不同星载传感器探测(或反演)的数据信息在时空上加以整合和复合。

4 缩略语

下列缩略语适于用本文件。

AMIP-II:大气模式交叉比较计划(Atmospheric Model Intercomparison Project-II)

AMSR-E:高级微波扫描辐射计(Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth observing system)

Aqua:水观测卫星(Aqua satellite)

ASAR:高级合成孔径雷达(Advanced Synthetic Aperture Radar)

ASCAT:高级散射计(Advanced Scatterometer)

CCMP:多平台交叉定标(Cross Calibrated Multi-Platform)

CMA:中国气象局(China Meteorological Administration)

CMOD:C波段模型(C-band Model)

Coriolis:美国科里奥利实验卫星(Coriolis experimental satellite)

CRA:CMA 大气再分析数据(CMA atmospheric Reanalyses)

DMSPs:美国国防气象卫星计划系列卫星(Satellites-Defense Meteorological Satellite Program)

ECMWF:欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-range Weather Forecasting)

EnviSat:欧洲环境卫星(Environmental Satellite)

ERA5:ECMWF 第五代大气再分析数据(ECMWF atmospheric Reanalyses-5)

ERS:欧洲遥感卫星(European Remote sensing Satellite)

ESA:欧洲空间局(European Space Agency)

HY-2:中国海洋二号卫星(HaiYang-2 satellite)

MDA:加拿大麦克唐纳迪特维利联合有限公司(MacDonald Dettwiler and Associates Ltd)

MetOp:欧洲气象业务卫星(Meteorological Operational satellite)

NASA:美国国家航空和航天局(National Aeronautics and Space Administration)

NASA-ISS:NASA 国际空间站(NASA International Space Station)

NCEP-DOE:美国国家环境预报中心和国家能源部(National Centers for Environmental Prediction and Department of Energy)

NOAA:美国国家海洋大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration)

NSCAT:NASA 散射计模型(NASA Scatterometer model)

OceanSat:印度海洋卫星(Ocean Satellite)

OSCAT:海洋卫星散射计(OceanSat Scatterometer)

QuikSCAT:快速散射计(Quick Scatterometer)

QSCAT:快速散射计模型(QuikSCAT model)

RadarSat:加拿大雷达卫星(Radar Satellite)

RapidSCAT:NASA-ISS 快速散射计(NASA-ISS Rapid Scatterometer)

RNMI:荷兰皇家气象研究所(Royal Netherlands Meteorological Institute)

SAR:合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar)

SCAT:散射计(Scatterometer)

SeaWinds:海风散射计(Sea Wind scatterometer)

Sentinel:欧洲哨兵卫星(Sentinel satellite)

SSMIS:专用传感器微波成像仪或探测仪(Special Sensor Microwave Imager or Sounder)

TerraSAR-X:德国地球观测 X 波段雷达卫星(Terra X-SAR satellite)

TMI:TRMM 微波成像仪(TRMM Microwave Imager)

TRMM:热带测雨任务卫星(Tropical Rainfall Measuring Mission satellite)

WindSat:风观测卫星辐射计(Wind Satellite radiometer)

XMOD:X 波段模型(X-band Model)

X-SAR:X 波段合成孔径雷达(X-band SAR)

5 基本资料收集

5.1 遥感影像资料

可用于评估区遥感风场反演的微波散射计、微波辐射计和 SAR 等星载传感器的影像资料。常用的海上风场探测的星载传感器参见附录 A。

遥感影像资料观测年限应在 10 年以上,覆盖同一区域的微波散射计和微波辐射计遥感影像应不少于 8000 景,SAR 遥感影像应不少于 400 景。

5.2 遥感风场资料

已公开发布的遥感风场数据产品,主要包括:NASA 的 QuikSCAT 风场数据、NOAA 的 WindSat 风场数据、ESA 的 ERS 风场数据和 RNMI 的 ASCAT 风场数据等。

评估区内单星或多星组合的风场数据总年限应不少于 10 年,数据为卫星过境时刻海面风矢量。

5.3 海上站位观测资料

评估区内海上站位观测逐 10 min 风速、风向、气温和气压等数据,连续观测时间应不少于 1 个完整年,观测时段应与遥感资料同期。

5.4 气象要素再分析资料

气象要素再分析资料主要包括 ECMWF 的 ERA5 数据、NCEP-DOE 的 AMIP-II 数据、NASA 的 CCMP 数据和 CMA 的 CRA 数据等,要素为风矢量、气压和气温。资料空间范围应覆盖评估区,时间年限与遥感资料相同,水平分辨率应不低于 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,高度约为距海平面 10 m。

5.5 地理信息资料

地理信息矢量数据比例尺宜不低于 1:25 万,数据包括评估区边界线、海陆边界线和等深线等。

6 数据处理

6.1 海上站位测风数据

按照 GB/T 18710—2002 中 5.22 至 5.23 和 QX/T 74—2007 中 8.1 至 10.2 的相关要求,对海上站位观测的测风数据进行质量检验和插补,并将其测风数据订正到距海平面 10 m 高度。

在进行小型岛礁气象站测风资料处理时,应考虑岛礁的面积、地形及测风点海拔高度等因素,并将测风数据订正到距海平面 10 m 高度。

6.2 再分析数据

使用格点内插或格点聚合方式转换气象要素场空间分辨率,使其分辨率与遥感资料相同。格点内插(空间分辨率由低向高转换)宜使用双线性插值法,参见附录 B 中 B.1,格点聚合(空间分辨率由高向低转换)宜使用平均取值法,参见附录 B 中 B.2。

6.3 遥感影像数据

6.3.1 遥感影像数据按下列步骤处理:

- 将同日期同时次不同景的遥感影像进行图像拼接;
- 对拼接影像进行辐射定标,即:使用传感器辐射定标参数及其算式,将遥感影像像元灰度值转化为辐射亮度值;
- 对辐射定标影像进行几何校正,即:利用地面控制点(海陆边界矢量图等),对遥感影像进行地理坐标定位配准,校正遥感影像的几何形变。几何校正误差应小于 0.5 个像元。

6.3.2 除 6.3.1 步骤外,SAR 遥感影像还应做以下处理:

- 使用 Lee 滤波器或小波变换滤波等方法,去除海面船只等遥感影像斑点噪声;
- 使用高斯模型或小波变换等方法,检测并剔除遥感影像中的海洋内波;
- 使用子网掩码陆地掩膜方法,去除遥感影像中的陆地和岛屿。

7 遥感风场反演及可靠性检验

7.1 遥感风场反演

7.1.1 空间分辨率设定

微波散射计和微波辐射计海面风场反演的空间分辨率宜设定为 $12.5\text{ km} \times 12.5\text{ km}$ 或 $25\text{ km} \times 25\text{ km}$,具体根据遥感影像原始像元大小确定。

SAR 海面风场反演的空间分辨率,宜设定为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 。

7.1.2 风速风向反演

根据卫星传感器探测波段及遥感影像极化方式等,选择合适的地球物理模式函数(参见附录 C)或辐射传输模式函数,结合卫星过境时入射角、入射波频率等,将 6.3 处理后的遥感影像数据,定量反演为海面风场的风速和风向。

使用 SAR 影像反演海面风场风速时,还应:

- 将 6.3 中 SAR 遥感数据的空间分辨率转换成 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$,空间分辨率转换推荐平均取值法像元融合方式(与格点聚合方式相似,参见附录 B 中 B.2);
- 获取目标海域参考风向作为地球物理模式函数输入风向,推荐以再分析资料(或微波散射计)的风向为参考风向。

7.2 可靠性检验

7.2.1 站位检验

使用与卫星过境最接近时刻的海上站位测风数据(10 min 观测数据),对遥感反演风速(或 5.2 中的风场产品风速)进行可靠性检验。计算实测与反演两者风速的**平均偏差**、**平均绝对误差**、**平均相对误差**、**均方根误差**和**相关系数**等,计算方法见附录 D 中 D.1 和 D.2.1。

7.2.2 空间检验

使用再分析资料风场数据,对遥感反演风速(或 5.2 中的风场产品风速)空间分布形式进行空间相关性检验,统计遥感风场与再分析风场两者年平均风速的空间分布相关系数,计算方法见附录 D 中 D.2.2。

7.2.3 误差控制

遥感反演风速(或风场产品风速)应符合以下条件:

- a) 多年份多站位的风速(卫星过境时刻)均方根误差平均值小于 2 m/s;
- b) 多年份的年平均风速空间分布相关系数达到 F 检验(即方差齐性检验)99%置信度水平。

8 遥感数据融合与风能参数计算

8.1 时间整合

将不同星载平台传感器的遥感风场数据,在统一空间分辨率下进行时间整合。统一空间分辨率的确定,以数据样本量最多的传感器为主,风场数据空间分辨率转换方法参见附录 B。

SAR 与微波散射计(辐射计)的风场数据空间分辨率差异大,宜分成两类单独进行时间整合。

8.2 风能参数计算

以时间整合后的遥感风场数据为基础,结合再分析资料气温和气压数据,计算下列风能参数:

- a) 评估时段多年平均的年和月平均风速、平均风功率密度,计算方法见附录 E 中 E.1 和 E.2;
- b) 评估时段风速 Weibull 分布参数 A 、 K 值,计算方法见附录 E 中 E.3;
- c) 评估时段风速频率和风向频率,计算方法见 GB/T 18710—2002 中 5.4.3 和 5.4.4。

8.3 空间数据拼接

将评估时段多年平均的 SAR 近海风能参数(风速和风功率密度)空间数据,与微波散射计和微波辐射计共同合成的远海风能参数空间数据,进行空间拼接,获得整个评估区风能参数空间分布图。

在空间数据拼接时,空间分辨率设定推荐为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 。拼接重叠区的数值宜选用两个空间图的数据平均值,空间分辨率由低向高转换推荐使用双线性插值法,参见附录 B 中 B.1。

9 分析评估图表制作

编制遥感风能参数误差分析表、制作评估区风能资源空间分布图:

- a) 将 7.2.1 中站位观测与遥感反演两者风场的风速误差分析数据制成表格,见附录 F 中 F.1,将遥感风场与再分析风场两者年平均风速空间相关性检验数据制成表格,见附录 F 中 F.2;
- b) 将 8.2 中遥感风能参数(平均风功率密度、风速 Weibull 分布参数和风向频率)与站位观测风能参数(计算方法见 GB/T 18710—2002 中 5.4.2 至 5.4.4)进行比对,制成图表,见附录 F 中 F.3、F.4 和 F.5;
- c) 依据 8.3 中最终融合数据,制作评估区遥感风能参数空间分布图,包括:多年平均的年和月平均风速、平均风功率密度及年主导风向等。空间分布图上宜叠加区域边界线、海陆边界线、等深线等矢量图,图层叠加方式应符合 GB/T 17278—2009 中第 14 章的图示表达要求。年平均风速和年平均风功率密度的等级划分见 GB/T 18710—2002 中表 4。

附 录 A
(资料性附录)

海上风场探测星载传感器

常用于海上风场探测的星载微波散射计和微波辐射计传感器信息参数见表 A.1,星载 SAR 传感器的信息参数见表 A.2。

表 A.1 微波散射计及辐射计信息参数

类型	卫星平台	传感器	重访周期 d	风场分辨率 km	卫星在轨时间
散射计	QuikSCAT	SeaWinds	2 次	12.5~25	1999 年—2009 年
	ERS-1/2	SCAT	3 次	25	1991 年—2011 年
	MetOp-A/B	ASCAT	5 次	50	2007 年至今
	OceanSat-2	OSCAT	2 次	12.5~25	2012 年—2014 年
	HY-2	SCAT	1 次	25	2012 年至今
	NASA-ISS	RapidSCAT	2 次	12.5~25	2014 年至今
辐射计	TRMM	TMI	1 次	25~50	1998 年至今
	Aqua	AMSR-E	3 次	25	2002 年至今
	Coriolis	WindSat	8 次	25	2003 年至今
	DMSPs	SSMIS	2 次	25	2003 年至今

表 A.2 SAR 信息参数

星载平台	隶属源	传感器	重访周期 d	影像像元 m	卫星在轨时间
ERS-1/2	ESA	SAR	35	30	1991 年—2001 年
EnviSat	ESA	ASAR	35	12.5~75	2002 年—2012 年
RadarSat-1/2	MDA	SAR	24	25~50	1995 年至今
TerraSAR-X	German	X-SAR	27	16~100	2007 年至今
Sentinel	ESA	SAR	12	10~40	2014 年至今

附录 B
(资料性附录)
空间分辨率转换方法

B.1 双线性插值法

双线性插值方式(见图 B.1)及其插值计算如下。

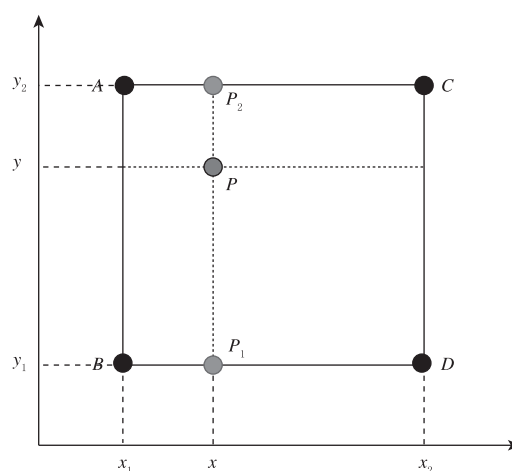


图 B.1 空间 P 点双线性插值计算示意图

假设空间上有 A、B、C、D 四个点,各点上的数据值分别为 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 和 Z_D ,则空间 P 点的数据值 Z_P 的计算见式(B.1)一式(B.3):

$$Z_P = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \times Z_{P_2} + \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} \times Z_{P_1} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

$$Z_{P_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \times Z_D + \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} \times Z_B \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

$$Z_{P_2} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \times Z_C + \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} \times Z_A \quad \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

式中:

- Z_P ——空间 P 点的数据值;
- y ——空间 P 点的纵坐标值;
- y_1 ——空间 P_1 点的纵坐标值;
- y_2 ——空间 P_2 点的纵坐标值;
- Z_{P_2} ——空间 P_2 点的数据值;
- Z_{P_1} ——空间 P_1 点的数据值;
- x ——空间 P 点的横坐标值;
- x_1 ——空间 A 点或 B 点的横坐标值;
- x_2 ——空间 C 点或 D 点的横坐标值;
- Z_D ——空间 D 点的数据值;

Z_B ——空间 B 点的数据值；
 Z_C ——空间 C 点的数据值；
 Z_A ——空间 A 点的数据值。

B.2 平均取值法

平均取值法见图 B.2。

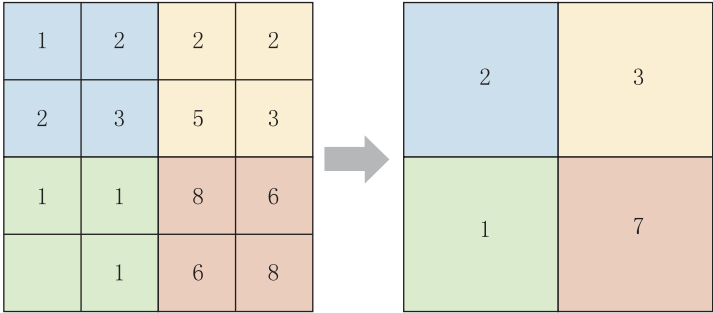


图 B.2 平均取值法格点聚合(像元融合)示意图

附 录 C
(资料性附录)
地球物理模式函数

地球物理模式函数是关于后向散射系数与海面风矢量、传感器入射角、入射波频率、极化方式以及次地球物理变量之间的关系函数,它的一般形式为式(C.1):

$$\delta = M(\mu, \varphi, \theta, f, p, L) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

δ ——后向散射系数;

M ——函数算子;

μ ——海面 10 m 高度风速,单位为米每秒(m/s);

φ ——相对风向,单位为度($^{\circ}$);

θ ——传感器入射角,单位为度($^{\circ}$);

f ——入射波频率,单位为赫兹(Hz);

p ——极化方式;

L ——次地球物理变量(如海面长波参数、海面温度等)。

常用于遥感风场反演的地球物理模式函数见表 C.1。

表 C.1 常用的地球物理模式函数

波段	传感器	地球物理模式函数
C-波段	SCAT, ASCAT, SAR, ASAR	CMOD4, CMOD-IFR2, CMOD5 和 CMOD5. N, 等
Ku-波段	RapidSCAT, SeaWinds	NSCAT, QSCAT, 等
X-波段	X-SAR	XMOD1, XMOD2, 等

附 录 D
(规范性附录)
遥感风速误差及相关系数计算

D.1 风速误差

遥感与站位观测两者风速的平均偏差、平均绝对误差、平均相对误差和均方根误差计算公式见式(D.1)一式(D.4)：

$$\sigma_{ME} = \frac{1}{n_w} \sum_{i=1}^{n_w} (y_i - x_i) \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

$$\sigma_{MAE} = \frac{1}{n_w} \sum_{i=1}^{n_w} |y_i - x_i| \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

$$\sigma_{MRE} = \frac{1}{n_w} \sum_{i=1}^{n_w} \left(\frac{|y_i - x_i|}{x_i} \times 100\% \right) \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

$$\sigma_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n_w} \sum_{i=1}^{n_w} (y_i - x_i)^2} \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

σ_{ME} ——平均偏差；

n_w ——指定时段风速样本总数；

y_i ——第*i*个时刻站位遥感风速值，单位为米每秒(m/s)；

x_i ——第*i*个时刻站位观测风速值，单位为米每秒(m/s)；

σ_{MAE} ——平均绝对偏差；

σ_{MRE} ——平均相对偏差；

σ_{RMSE} ——均方根误差。

D.2 相关系数

D.2.1 遥感与站位观测两者风速时间变化的相关系数计算公式见式(D.5)：

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n_w} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_w} (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n_w} (y_i - \bar{y})^2}} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

R ——时间变化相关系数；

n_w ——指定时段风速样本总数；

x_i ——第*i*个时刻站位观测风速值，单位为米每秒(m/s)；

$\bar{x}$ ——指定时段站位观测风速平均值，单位为米每秒(m/s)；

y_i ——第*i*个时刻站位遥感风速值，单位为米每秒(m/s)；

$\bar{y}$ ——指定时段站位遥感风速平均值，单位为米每秒(m/s)。

D.2.2 遥感风场与再分析风场两者年平均风速的空间分布相关系数计算公式见式(D.6)：

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n_g} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_g} (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n_g} (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

式中：

C ——空间分布相关系数；

n_g ——评估区总空格点数；

X_i ——第 i 个空格点上的再分析资料年平均风速，单位为米每秒(m/s)；

$\bar{X}$ ——评估区所有空格点再分析资料年平均风速的平均值，单位为米每秒(m/s)；

Y_i ——第 i 个空格点上的遥感年平均风速，单位为米每秒(m/s)；

$\bar{Y}$ ——评估区所有空格点遥感年平均风速的平均值，单位为米每秒(m/s)。

附 录 E
(规范性附录)
遥感风能参数计算

E.1 平均风速

平均风速为给定时间内所有卫星过境时刻遥感风速的平均值,其表达式见式(E.1):

$$\bar{V} = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} v_i \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

$\bar{V}$ ——平均风速,单位为米每秒(m/s);

n_m ——给定时间内遥感风速的总样本数;

v_i ——给定时间内第 i 次卫星过境时刻的遥感风速值,单位为米每秒(m/s)。

E.2 平均风功率密度

E.2.1 平均风功率密度为给定时间内单位面积上风所产生的动能,见式(E.2):

$$E = \frac{1}{2n_m} \sum_{i=1}^{n_m} \rho \cdot v_i^3 \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

E ——平均风功率密度,单位为瓦每平方米(W/m²);

n_m ——给定时间内遥感风速的总样本数;

ρ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³),由再分析资料按 GB/T 18710—2002 中附录 B 的 B.1 方法计算获得;

v_i ——给定时间内第 i 次卫星过境时刻的遥感风速值,单位为米每秒(m/s)。

E.2.2 平均风功率密度亦可选择式(E.3)计算(适合 SAR 风场):

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot A^3 \cdot \Gamma(1 + \frac{3}{K}) \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

E ——平均风功率密度,单位为瓦每平方米(W/m²);

ρ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³),由再分析资料按 GB/T 18710—2002 中附录 B 的 B.1 方法计算获得;

A ——风速 Weibull 分布尺度参数,单位为米每秒(m/s);

Γ ——伽马函数;

K ——风速 Weibull 分布形状参数,无量纲。

E.3 风速 Weibull 分布参数

风速 Weibull 分布参数 A 值和 K 值的计算公式见式(E.4)和式(E.5):

$$A = \bar{v} / \Gamma(1 + \frac{1}{K}) \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

$$K = (\sigma / \bar{v})^{-1.086} \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

式中：

A —— 风速 Weibull 分布尺度参数,单位为米每秒(m/s)；

$\bar{v}$ —— 给定时间内卫星过境时刻的风速平均值,单位为米每秒(m/s)；

Γ —— 伽马函数；

K —— 风速 Weibull 分布形状参数,无量纲；

σ —— 给定时间内卫星过境时刻的风速标准差,单位为米每秒(m/s)。

附 录 F
(规范性附录)
遥感风能参数误差分析图表

F.1 风速站位误差分析表

单星遥感风速站位误差分析表格式见表 F.1。多星融合遥感风速站位误差分析表格式见表 F.2。

表 F.1 单星遥感风速站位误差分析表

站位	平均偏差	平均绝对误差	平均相对误差	均方根误差	时间变化 相关系数(R)
站位 1					
站位 2					
站位 3					
总平均					

表 F.2 多星融合遥感风速站位误差分析表

数据源	样本量	平均偏差	平均绝对误差	平均相对误差	均方根误差	时间变化 相关系数(R)
SeaWinds						
WindSat						
ASCAT						
SeaWinds+WindSat						
SeaWinds+ASCAT						
WindSat+ASCAT						
SeaWinds+WindSat+ASCAT						

F.2 年平均风速空间分布检验表

遥感风场与再分析风场两者年平均风速空间分布相关性检验表的格式见表 F.3。

表 F.3 年平均风速空间分布相关性检验表

空间分布相关系数(C)		遥感风场传感器类型						
		ASCAT	SCAT	SAR	ASCAT+SCAT	ASCAT+SAR	SCAT+SAR	ASCAT+SCAT+SAR
数据时段	2001							
	2002							
	2003							
	总时段							

F.3 年平均风功率密度误差分析表

遥感与站位观测两者年平均风功率密度误差分析表格式见表 F.4。

表 F.4 年平均风功率密度误差分析表

站位	遥感值	站位观测值		平均相对误差	
		过境时刻	全时刻	过境时刻	全时刻
站位 1					
站位 2					
站位 3					
总平均值					

站位观测数据的年平均风功率密度计算采用两种方式：一种是仅使用卫星过境时刻的风速值，另一种是使用全年观测的逐小时风速值。

F.4 风速 Weibull 分布参数分析表

遥感与站位观测两者风速的 Weibull 分布尺度参数 A 值和形状参数 K 值分析表格式见表 F.5。

表 F.5 风速 Weibull 分布尺度参数 A 值和形状参数 K 值分析表

站位	遥感		观测(过境时刻)		观测(全时刻)	
	A 值	K 值	A 值	K 值	A 值	K 值
站位 1						
站位 2						
站位 3						
站位观测数据的风速 Weibull 分布参数估算采用两种方式,一种是仅使用卫星过境时刻的风速值,另一种是使用全年观测的逐小时风速值。						

F.5 风向频率与风速频率站位观测检验分析图

遥感风向与风速频率站位观测检验分析图见图 F.1 和图 F.2。

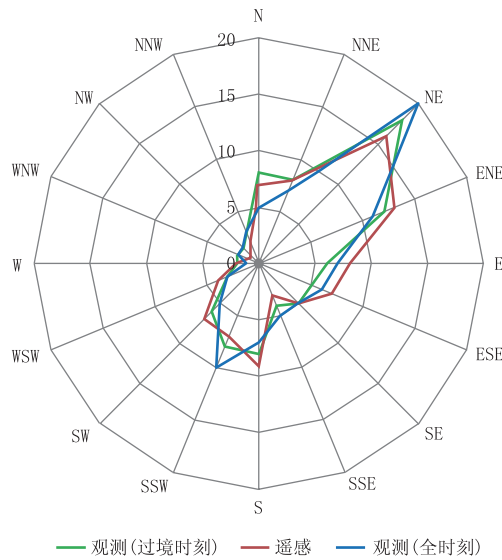


图 F.1 遥感风向频率站位观测检验分析图(静风频率 1%)

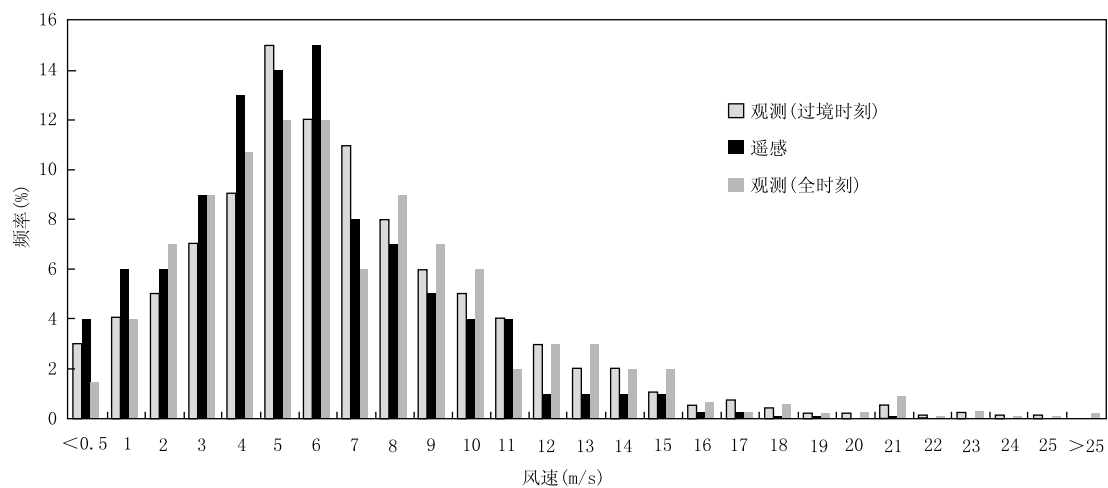


图 F.2 遥感风速频率站位观测检验分析图

参 考 文 献

- [1] GJB 2700—1996 卫星遥感器术语
 - [2] QX/T 308—2015 分散式风力发电风能资源评估技术导则
 - [3] Hasager C B, Mouche A, et al. Offshore wind climatology based on synergetic use of Envisat ASAR, ASCAT and QuikSCAT[J]. Remote Sens Environ, 2015, 156: 247-263
-

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
海上风能资源遥感调查与评估技术导则
QX/T 584—2020

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街 46 号
邮政编码:100081
网址: <http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1.5 字数:45 千字
2020 年 11 月第 1 版 2020 年 11 月第 1 次印刷

*

书号:135029-6201 定价:35.00 元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301