

风云四号 B 星大气运动导风产品 使用说明文档

(V1.0)

编写: 张曙光
校对: 韦尔量 李博
会签: 张宇
审核: 张曙光
批准: 王树

国家卫星气象中心

2024 年 3 月

文档修订记录

版本号	日期	修订内容	修订人	注 记
V1.0	2024-3-6	建立	张晓虎	

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	2
3	产品算法原理和处理流程	3
3.1	算法基本原理	3
3.1.1	大气运动导风示踪目标的追踪	3
3.1.2	大气运动导风风矢量的高度估计	4
3.1.3	风矢量的质量控制	9
3.2	处理流程	11
3.2.1	大气运动导风反演算法流程	12
3.2.2	输入数据	12
3.2.3	算法处理流程及详细说明	13
3.2.4	输出数据	13
4	产品示例	14
4.1	圆盘产品示例	14
5	产品精度	15
5.1	产品检验评估方法和数据	15
5.2	产品检验评估结果	15
6	产品使用说明	16
6.1	产品使用说明	16
6.2	应用限制条件	16
6.3	主要参考文献	16

7	产品技术支持	17
7.1	产品技术责任人	17
7.2	文档引用方式和建议引用文献	17
8	产品读取代码	18
8.1	C 代码	18
8.2	Python 代码.....	19

1 产品定义

大气运动导风（AMV）产品是利用可见或红外通道序列图像来追踪云特征或水汽梯度特征的运动而得到的一种风场产品。该产品包含风矢量的位置、风速、风向、气压和温度。

2 产品规格和格式

2.1 产品规格

表 2-1 大气运动导风产品规格列表

产品名称	投影方式	覆盖范围	空间分辨率	更新频次
水汽通道（6.25 μm ） 大气运动导风产品	站点产品	星下点 $\pm 70^\circ$ 范围内	风矢量反演间隔 8 像元（星下点约 32km）	1 次/15 分钟 （观测模式：每 15 分钟一次圆盘）
水汽通道（6.95 μm ） 大气运动导风产品	站点产品	星下点 $\pm 70^\circ$ 范围内	风矢量反演间隔 8 像元（星下点约 32km）	1 次/15 分钟 （观测模式：每 15 分钟一次圆盘）
水汽通道（7.42 μm ） 大气运动导风产品	站点产品	星下点 $\pm 70^\circ$ 范围内	风矢量反演间隔 8 像元（星下点约 32km）	1 次/15 分钟 （观测模式：每 15 分钟一次圆盘）
红外通道（10.8 μm ） 大气运动导风产品	站点产品	星下点 $\pm 70^\circ$ 范围内	风矢量反演间隔 8 像元（星下点约 32km）	1 次/15 分钟 （观测模式：每 15 分钟一次圆盘）

2.2 产品文件

表 2-2 大气运动导风产品数据文件列表

序号	文件名称	格式	周期
1	FY4B-_AGRI--_N_DISK_SUBPO_L2-_AMV-_C009_NUL_YYYYMMDDHHMMSS_yyyymmddhhmmss_0000_V0001.NC	Netcdf	1 次/15 分钟
2	FY4B-_AGRI--_N_DISK_SUBPO_L2-_AMV-_C010_NUL_YYYYMMDDHHMMSS_yyyymmddhhmmss_00	Netcdf	1 次/15 分钟

序号	文件名称	格式	周期
	000_V0001.NC		
3	FY4B-_AGRI--_N_DISK_SUBPO_L2-_AMV-_C011_NUL_YYYYMMDDHHMMSS_yyyymmddhhmmss_0000_V0001.NC	Netcdf	1 次/15 分钟
4	FY4B-_AGRI--_N_DISK_SUBPO_L2-_AMV-_C013_NUL_YYYYMMDDHHMMSS_yyyymmddhhmmss_0000_V0001.NC	Netcdf	1 次/15 分钟

2.3 产品科学数据集

表 2-3 大气运动导风产品科学数据集

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
\	lat	Float 数组	风矢量所在位置的纬度 (wind vector's latitude coordinate)	每个风矢量的纬度
	lon	Float 数组	风矢量所在位置的经度 (wind vector's longitude coordinate)	每个风矢量的经度
	wind_speed	Float 数组	风矢量的风速(wind vector's wind speed)	每个风矢量的风速
	wind_direction	Float 数组	风矢量的方向(wind vector's wind direction)	每个风矢量的风向
	pressure	Float 数组	风矢量所在位置的气压 (wind vector's air pressure)	每个风矢量的所在高度的气压
	qi	Float 数组	该风矢量的质量信息(Qi with forecast)	含数值预报信息的 Qi, 值越大表示该风矢量的质量越好
	qi_nf	Float 数组	该风矢量的质量信息(Qi	不包含数值预报信息

			without forecast)	的 Qi, 值越大表示该风矢量的质量越好
--	--	--	-------------------	----------------------

3 产品算法原理和处理流程

3.1 算法基本原理

3.1.1 大气运动导风示踪目标的追踪

3.1.1.1 相关系数矩阵计算

用中间时次图像上的模板图像块, 与前后两幅图像上96×96像元范围内所有可能的图像块之间, 计算互相关系数, 形成前后两个65×65像元的位移相关系数矩阵。相关系数的最大和次大山峰状极值点, 是最大可能位移。山峰状极值点指该地的相关系数比其四周大。

对每一个追踪目标, 求出逐个像元对运动的贡献。下面的公式是第(m, n) 个像元的贡献。

$$cc(m,n) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{a_{i+m,j+n} - \bar{a}(m,n)}{\sigma_a(m,n)} \frac{b_{i,j} - \bar{b}}{\sigma_b}$$

在高度指定和求示踪目标物位置时, 使用该公式。

3.1.1.2 通过相关系数极值点的位移求风向风速

通过相关系数极值点的位移求风向风速。具体做法为: 选出峰值大相关系数和它的位置前后两个时间段各两个峰值, 共四个位移。进行亚像元处理以提高计算精度。将图像位置转变为经纬度位置。用球面三角公式计算风矢量。进行时间连续性检验寻找前后最连续的风。其中与天气学时间最近那个时间的风就是要求的风矢量。

① 用二维插值方法求亚像位移

用二维插值方法求亚像元位移, 使计算出的风矢量更准确, 分布更平滑。

② 图像位置到地理经纬度位置的相互转换

图像位置到地理经纬度位置的相互转换

③ 用球面三角公式计算风矢量

用球面三角公式计算风矢量。将连续门槛以内的位移转换成经纬度位移, 用球面三角公式计算风矢量, 即速度和方向。公式如下: 设 φ_0 , φ_1 , λ_0 , λ_1 分别

为起始和终点时示踪图像块的纬度和经度， $\Delta\lambda$ 和 Δt 分别为经度差和时间差， r_p 为地球的极地半径， ε 为地球的扁率， $r = r_p + \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi) / (1 + \tan^2 \varphi - \varepsilon)}$ 为图像块所在纬度地球的半径，那么 $\gamma = \cos^{-1}(\sin \varphi_0 \sin \varphi_1 + \cos \varphi_0 \cos \varphi_1 \cos \Delta\lambda)$ 就是图像

块起始位置和终点位置之间的地心角。风速为 $FFF = \frac{\gamma_r}{\Delta t}$ 。风向的大小为 $DD = \cos^{-1}[(\sin \varphi_1 - \cos \gamma \sin \varphi_0) / (\sin \gamma \cos \varphi_0)]$ 。若 $\lambda_1 > \lambda_0$ ，风向 $DDD = DD$ ；若 $\lambda_1 < \lambda_0$ ，风向 $DDD = 360^\circ - DD$ 。

3.1.2 大气运动导风风矢量的高度估计

大气运动导风风矢量的高度估计重点在于如何准确估计出风矢量所在位置的环境温度，估计出环境温度后即可匹配预报场的温度廓线，从而获得风矢量所在位置的气压。

对于非常密实的云，可以用红外通道的亮温来估计所在的环境温度。但大气中存在大量的半透明的卷云。卷云被风吹着运动，其形状在短时间内变化较小，是很好的示踪物。但是卷云是半透明的。如果用红外通道亮温估计卷云所在的环境温度，那么由于一部分辐射来自云下的背景，所估计出的云高总是偏低。因此必须用窗区(红外)和吸收区(水汽或二氧化碳吸收通道)的数据共同指定卫星风的高度。

3.1.2.1 半透明云风矢量高度指定的物理原理

由于从半透明的卷云向上的辐射中含有来自云下面的背景的辐射，窗区红外通道的亮温高于半透明卷云本身的亮温，因此如果只使用一个窗区红外通道，将低估云的高度。Szejwach 提出使用一个透明通道(红外)和一个半透明通道(水汽)，共同指定半透明云高度的算法^[15]。Szejwach 认为，半透明云像元的辐射测值，由两部分组成^[17]，一部分来自半透明云本身，另一部分来自云下的背景；而半透明云的透过率，在不同的通道之间，没有大的差别。这样的假定可以表示为公式(1)/(2)和半透明云风矢量高度指定算法示意图图1。图1的横坐标为红外通道的辐射率，纵坐标为水汽通道的辐射率。在图1中，半透明云、密实云、背景这三个点，分别表示来自半透明云、密实云、背景的辐射率。把它们分别乘以该辐射率所占面积的比例，就是公式(1)/(2)中的三个项。公式(1)/(2)

写为:

$$R_{IR}(T_{pixel}) = ER_{IR}(T_{Cloud}) + (1 - E) R_{IR}(T_{Surface}) \quad (1)$$

$$R_{WV}(T_{pixel}) = ER_{WV}(T_{Cloud}) + (1 - E) R_{WV}(T_{Background}) \quad (2)$$

(1)/(2)式分别适用于红外/水汽通道。式中左侧项: $R_{IR}(T_{pixel})/R_{WV}(T_{pixel})$ 为卫星观测到的半透明云像元的红外/水汽辐射, 相当于温度为 T_{pixel} 的黑体辐射率, 乘以半透明云所占的面积比例 1, 是已知量。右侧第一项: $ER_{IR}(T_{Cloud})/ER_{WV}(T_{Cloud})$ 为来自半透明云体自身的辐射对卫星入瞳辐射的贡献, 相当于半透明云体同高度上假定存在密实云体时, 密实云体的红外/水汽黑体辐射率(以下简称密实云体的辐射率) $R_{IR}(T_{Cloud})/R_{WV}(T_{Cloud})$, 乘以有云区域在像元中所占的比率 E。右侧第一项与半透明云的环境温度有关系, 因此也与云的高度有关系, 是估计云高需要知道的未知量。右侧第二项: $(1 - E)$

$R_{IR}(T_{Surface})/(1 - E) R_{WV}(T_{Background})$ 为从半透明云下面穿过云上行的红外/水汽通道背景辐射对卫星入瞳辐射的贡献, 等于云下背景辐射率, 即红外通道的地面辐射率 $R_{IR}(T_{Surface})$ 或水汽通道的背景辐射率 $R_{WV}(T_{Background})$, 分别乘以无云区域在像元中所占的比率 $(1-E)$ 。云下背景辐射发生在云的下面, 并没有被卫星直接观测到, 但是它对半透明云像元的卫星辐射测值有重要的贡献, 是准确估计半透明云高度必需要知道的物理量。由于公式(1)和(2)所表达的规律, 半透明云体自身的辐射率、从半透明云下面穿过云上行的背景辐射率、密实云体的辐射率这三个点, 在图 1 中位于同一条直线上。

(1) 和 (2) 式只是指出了: 对于半透明云, 这三个点的辐射率之间存在线性相关关系, 还没有解算出密实云体的辐射率。为了算出来自密实云体的辐射率, 还需要一个约束条件, 即在任何高度上, 当存在不透明的密实云时, 两个通道黑体辐射率之间的相互关系曲线。这个关系曲线, 可以根据数值预报温湿度廓线等数据用辐射传输模式计算得出, 在图 1 中表示为黑色的曲线。密实云体的辐射率, 既要在卫星观测到的半透明云体红外/水汽通道相互关系直线上; 又要在用数值预报资料计算出的密实云体红外/水汽通道相互关系曲线上。在算法中, 首先必须锁定那条通过半透明云体辐射率: $R_{IR}(T_{pixel})/R_{WV}(T_{pixel})$, 以及云下背景辐

射率： $R_{IR}(T_{Surface})/R_{WV}(T_{Background})$ 的直线。其中来自半透明云体的辐射率虽然是观测已知量，但是过去把整个追踪图像块作为一个整体来估计这个物理量，做得不够精细，而云下背景辐射率没有被卫星直接观到，因此准确估计来自半透明云体的辐射率和云下背景辐射率，对于半透明云高度指定十分重要。本文讨论半透明云体辐射率的估计，云下背景辐射率的计算问题另文讨论^[22]。Szejwach的工作可以说是半透明云高度指定工作的经典，直到现在一直在使用 Szejwach 提出的原理。

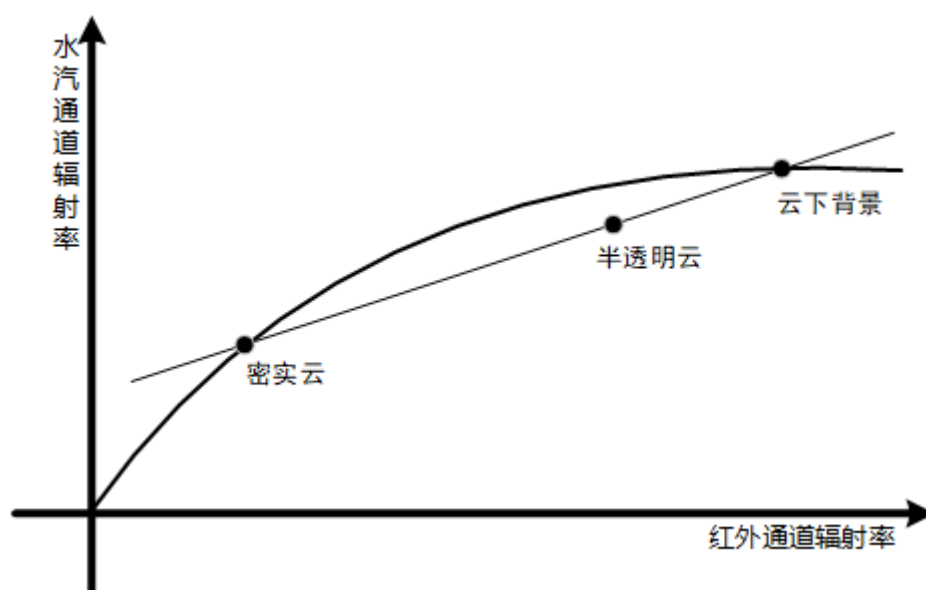


图 3-1 半透明云风矢量高度指定算法示意图

3.1.2.2 选择对运动做出最大贡献的像元做卫星风的高度指定

大气运动导风产品的基础就是根据样本云块的移动计算出风向风速。过去算法，一般都把示踪图像块作为整体进行处理(P. Menzel, 2001)。风矢量的追踪和风所在高度的指定，都立足于作为整体的示踪图像块(Xu J et al., 2002)。立足于示踪图像块的卫星风推导算法，不仅使风速估计偏低，而且难以在高度指定中精细地考察对卫星风做出贡献的云所起的作用。现在(G. BÜCHE等, 2006)可以在示踪图像块中选择对运动做出最大贡献的像元，用这些像元的参数及其订正值做卫星风的高度指定。从理念上讲，显然用对运动做出最大贡献的像元做卫星风的高度指定，比示踪图像块作为整体进行处理合理。与过去的卫星风算法把示踪图像块作为一个整体进行处理相比较，基于“对运动做出贡献的像元”进行卫星风的推导，开辟了一条新的途径。这条途径使我们不仅在风矢量的追踪上，而且在风的高度指定上，都可以做得比以前更精细。

R. Borde等(2008)指出：若示踪图像块完全被云覆盖，那么“对运动做出最大贡献的图像像元”位于亮温观测动态范围的暖端。在观察资料后注意到，实际上在R. Borde和Oyama(2008)所归纳的类别并不完整。进一步的细分是必要的。经仔细分析筛选，大致可分为以下四类：

第一种类型，冷的像元对移动做出最大贡献：

第一种类型见图 1：冷端的像元对图像块的运动做出了最大贡献。表现为大贡献冷区段(红色)长；大贡献暖区段(蓝色)短，甚至没有。这是被追踪图像块中存在多层云，不同层面的云郁闭了地面造成的。在高云的缝隙下面存在多层较低的云，而且下面几层云的移动方向和速度，与最上面的那层高云不同。在这种情况下，高云是推动云块移动的主要象元，所以要依靠大贡献冷区段的像元来确定其高度，采用样本内大贡献的冷端象元构成双通道联合求解的主要像元。

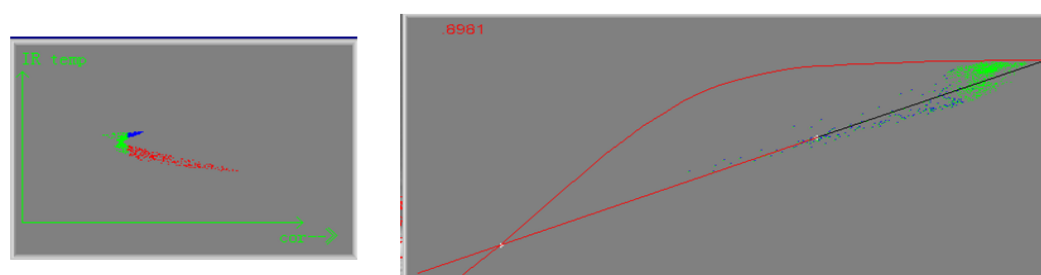


图 3-2 第一种类型的“像元对运动的贡献(横坐标)/像元观测亮温(纵坐标)”散点图(左)，第一种类型云的高度订正示意图(右)

第二种类型，暖的像元对移动做出最大贡献：

第二种类型见图 2：暖端的像元对追踪做出最大贡献，表现为大贡献暖区段(蓝色)长；大贡献冷区段(红色)短，甚至没有。这是整个图像块嵌在大尺度云系中的情况。云系主要由随风飘的层状云组成，其中嵌有突出的对流性冷云。在这种情况下，卫星风是由较低层面上层状云的贡献导出的，要依靠大贡献暖区段的像元来确定其高度。在采用双通道校正方法时用样本内大贡献暖端像元联合计算，求出样本的环境温度。

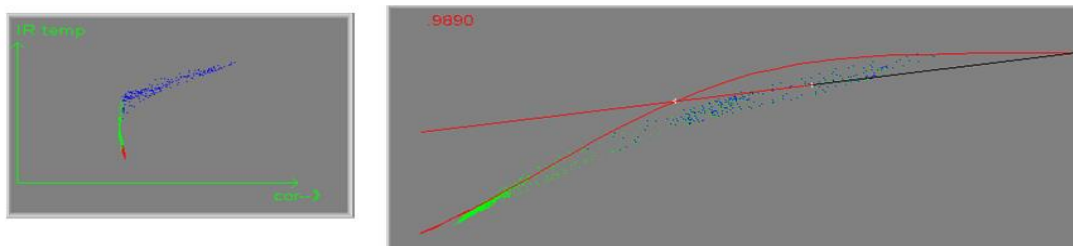


图 3-3 第二种类型的“像元对运动的贡献(横坐标)/像元观测亮温(纵坐标)”散点图(左), 第二种类型云的高度订正示意图(右)

第三种类型, 冷区段、暖区段都做出大贡献:

第三种类型见图 3: 大贡献冷区段(红色)与大贡献暖区段(蓝色)都比较长, 同时图像块的红外动态范围大。这是在被追踪图像块中同时存在高云和地面的情况。在这种情况下, 卫星风是由高云的贡献导出的, 要依靠大贡献冷区段的像元来确定示踪图像块的高度, 并且要对云的高度进行半透明订正。暖端的大贡献是不动的地面象元, 冷端的高云, 是代表推动云移动主要象元, 对追踪同样作出了大贡献, 所以采用双通道校正方法时要避开暖端象元的干扰, 只取用冷端象元计算出样本的环境温度。

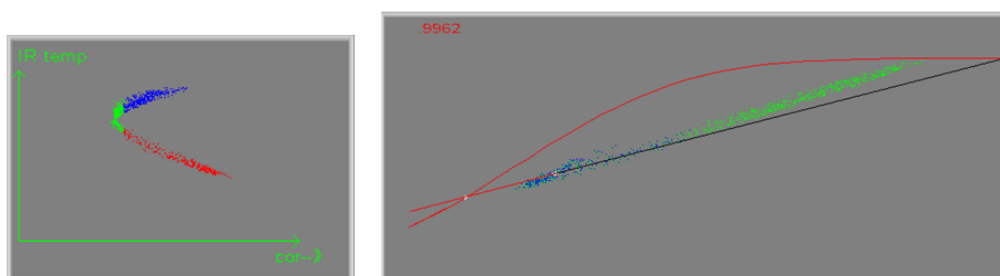


图 3-4 第三种类型的“像元对运动的贡献(横坐标)/像元观测亮温(纵坐标)”散点图(左), 第三种类型云的高度订正示意图(右)

第四种类型, 冷区段、暖区段都做出大贡献:

第四种类型见图 4: 大贡献冷区段(红色)与大贡献暖区段(蓝色)都比较长, 同时图像块的红外动态范围小。这是被追踪图像块中既含有低云, 又含有地面的情况。因为低云一般是水云, 要直接依靠大贡献冷区段像元的加权平均温度来确定示踪图像块的高度, 不能做半透明云的订正。低云在水汽通道中是看不到的, 也不具备使用双通道订正法的条件。直接使用样本内冷端像元的亮温加权平均温度做为样本环境温度。

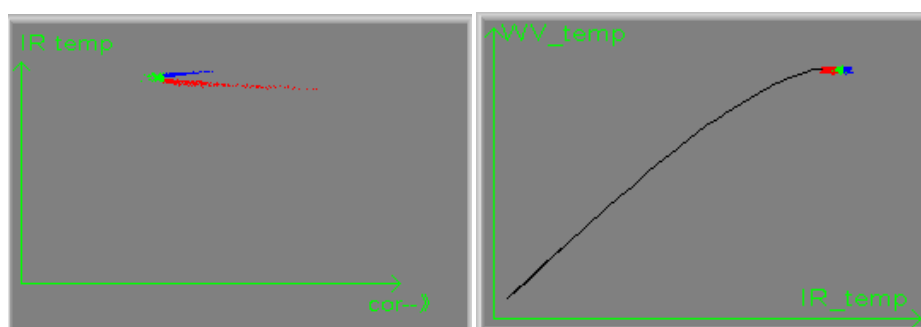


图 3-5 第四种类型的“像元对运动的贡献(横坐标)/像元观测亮温(纵坐标)”散点图(左), 第四种类型云的高度订正示意图(右)

3.1.3 风矢量的质量控制

大气运动导风产品的质量控制是对每一个风矢量附加一个质量标志码, 供数值预报模式同化时衡量其可信度。质量标志码用卫星风矢量与当地的数值预报风矢量以及温度、高度等要素比较后得出。具体计算公式如下:

QI 主要包含 5 部分

(1) 风向一致性

$$QI_{dir} = 1 - (\tanh(|D_2(x, y) - D_1(x, y)| / (A * \exp(-vel/B) + C))) ** D$$

$$vel = (V1(x, y) + V2(x, y)) / 2$$

常数:

A	20
B	10
C	10
D	4

(2) 风速一致性

$$QI_{spd} = 1 - (\tanh(|V_2(x, y) - V_1(x, y)| / (A * vel + B))) ** C$$

其中:

$$vel = (V1(x, y) + V2(x, y)) / 2$$

常数:

A	0.2
B	1.0

C	3.0
---	-----

(3) 矢量一致性

$$QI_{vec} = 1 - (\tanh(|S_2(x, y) - S_1(x, y)| / (A * vel + B))) ** C$$

其中:

$$vel = (V1(x, y) + V2(x, y)) / 2$$

常数:

A	0.2
B	1.0
C	3.0

(4) 空间一致性

$$QI_{spatial} = 1 - (\tanh(|S(x-i, y-j) - S(x, y)| / (A * |S(x, y) + (S(x-i, y-j)| + B)))) ** C$$

常数:

A	0.2
B	1.0
C	3.0

(5) 预报预测

$$QI_{fc} = 1 - (\tanh(|S_2(x, y) - F_1(x, y)| / (A * fc_spd + B))) ** C$$

实践中, fc_spd 为导风位置的预报风速 (m/s)。

常数:

A	0.4
B	1.0
C	3.0

最终 QI 的通项

$$QI = \sum (\text{Test Weight} * \text{Normalized QI Component test}) / \sum \text{Test Weights}$$

每个独立 QI 的权重间下表:

独立 QI 的权重

1、风向	1.0
2、风速	1.0
3、风矢量	1.0
4、空间	2.0
5、预报	1.0

3.2 处理流程

3.2.1 大气运动导风反演算法流程

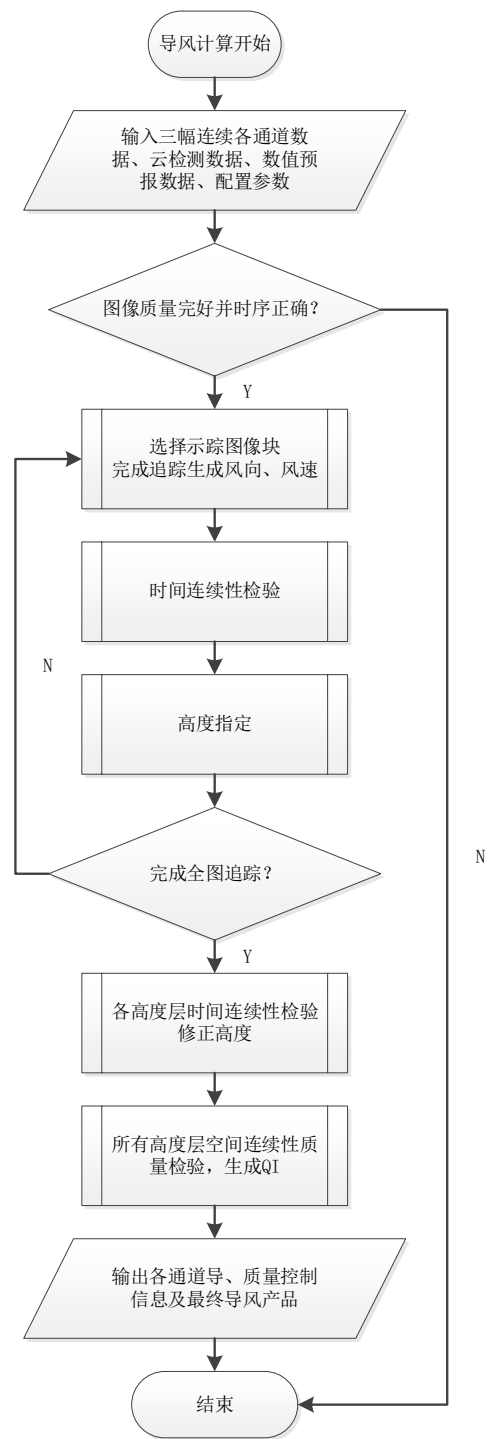


图 3-6 大气运动导风反演流程图

3.2.2 输入数据

大气运动导风反演算法输入数据如表 3-1 所示：

表 3-1 大气运动导风反演算法输入数据表

名称	文件格式	周期	描述
FY4B AGRI L1 观测数据	hdf5	间隔 15 分钟	三幅连续的 L1 观测数据
数值预报数据	hdf5	对应 时次	与三幅连续 L1 数据的中间一幅时间对应

3.2.3 算法处理流程及详细说明

FY-4B大气运动导风产品算法部主要包含以下步骤：

- 获取一组(三幅)选定的光谱通道中精确定标、 导航配准的观测图像
- 在中间的图像内查找选择合适的追踪目标
- 用一个NxN的像元数组表示一个目标场景，它定义了图像中能及时追踪运动的特征。数组的大小是图像时间和空间分辨率以及预期被追踪特征的尺度的函数。
- 对三幅图中的前两幅和后两幅图像对，用相关算法导出目标最具有代表性的运动趋势并进行高度指定
- 对每对前后两对图像获取的矢量进行时间连续性检验，如果通过，用其中一个时间的风代表观测目标位移
- 对观测目标位移进行空间一致性检验。超标的矢量剔除。
- 计算风矢量

3.2.4 输出数据

大气运动导风反演算法输出数据如表 3-2 所示：

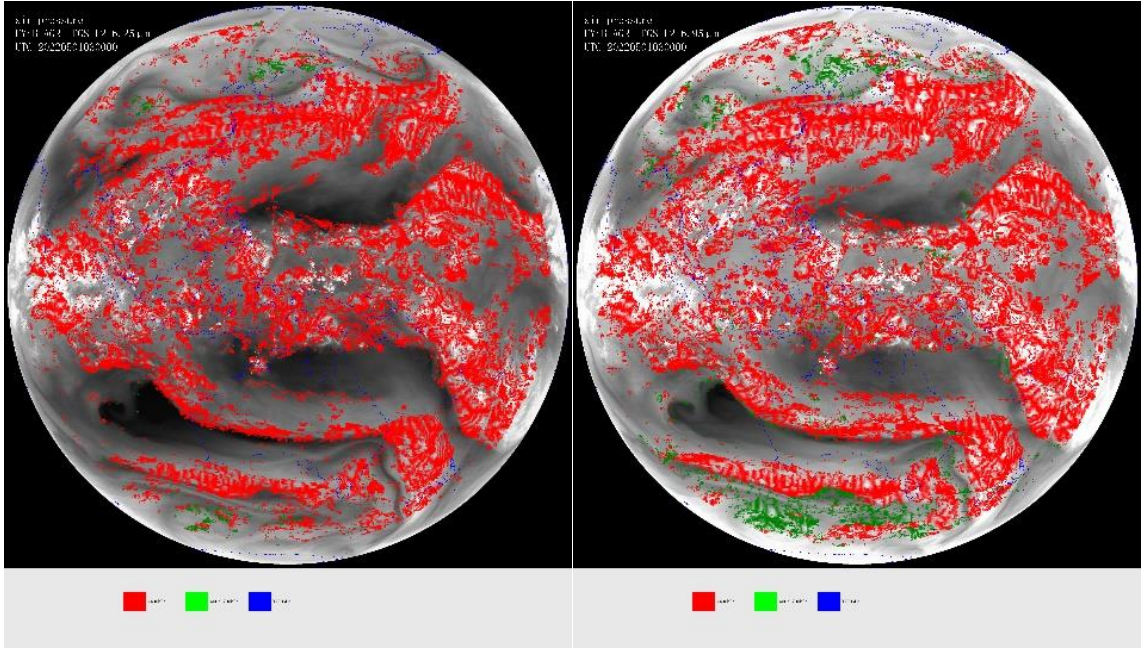
表 3-2 大气运动导风反演算法输出数据表

产品名称	产品格式	产品生产周期	产品描述
水汽通道（6.25 μm ） 大气运动导风产品	netcdf	15 分钟	按照每 15 分钟一次圆盘观测的 FY4B AGRI 观测模式，可以每 15 分钟生成 1 次大气运动导风产品。
水汽通道（6.95 μm ） 大气运动导风产品	netcdf	15 分钟	
水汽通道（7.42 μm ） 大气运动导风产品	netcdf	15 分钟	

产品名称	产品格式	产品生产周期	产品描述
红外通道（10.8μm） 大气运动导风产品	netcdf	15 分钟	

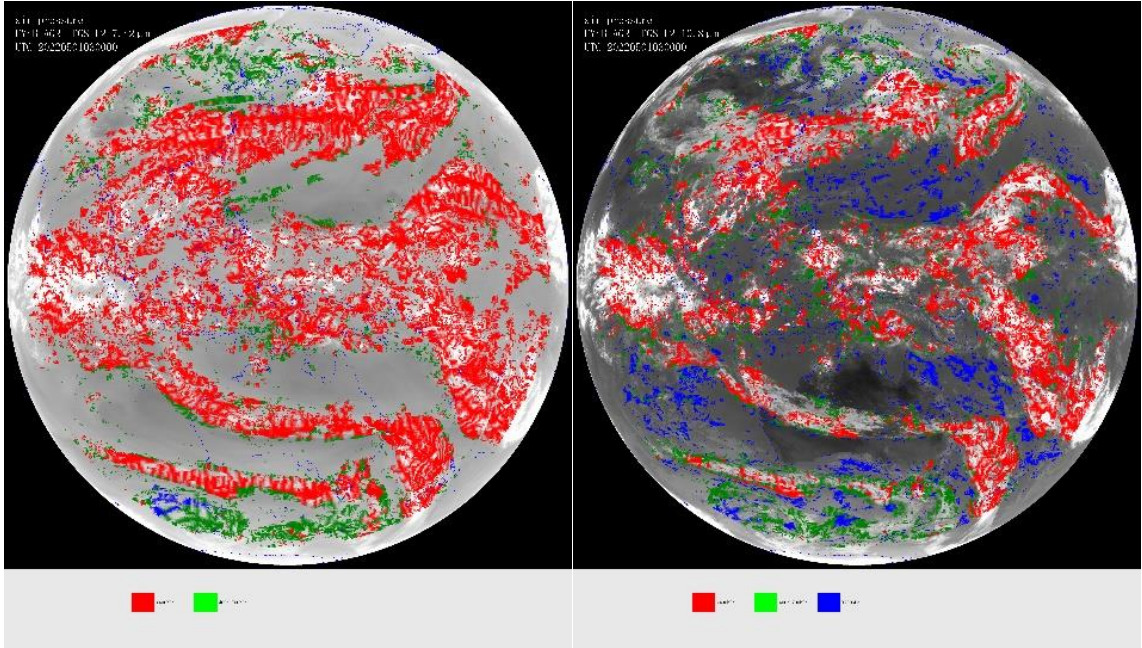
4 产品示例

4.1 圆盘产品示例



水汽通道（6.25μm）大气运动导风示例

水汽通道（6.95μm）大气运动导风示例



水汽通道（742μm）大气运动导风示例

红外通道（10.8μm）大气运动导风示例

5 产品精度

5.1 产品检验评估方法和数据

FY4B AGRI 大气运动导风产品质量检验是基于时空匹配后的 ERA5 的风速的偏差的平均值与均方根来进行的评估的。

将大气运动导风每个风矢量与时空匹配后的对应的 ERA5 风场的风速数据相比较，对每个比较结果的风速差按照不同高度、不同质量系数进行统计分析，得到风速的平均偏差和均方根，用于描述大气运动导风产品的精度。

大气运动导风数据：

2022 年 5 月 1~15 日每天 4 个时次(00/06/12/18UTC)的红外通道(10.8 μm)、水汽通道 (6.25 μm 、6.95 μm 、7.42 μm)。

检验源数据：

同时次的 ERA5 的 U,V 分量数据。

5.2 产品检验评估结果

表5-1 各个通道大气运动导风精度分析汇总结果 (QI>80)

通道	高度层次	样本数 (个)	偏差平均值 (m/s)	偏差的标准差 (m/s)
水汽通道 (6.25 μm)	高层 (<400hPa)	28146936	-0.83	4.56
	中层 (400-700hPa)	0	0	0
	低层 (>700hPa)	0	0	0
水汽通道 (6.95 μm)	高层 (<400hPa)	31465556	-0.58	4.27
	中层 (400-700hPa)	0	0	0
	低层 (>700hPa)	0	0	0
水汽通道 (7.42 μm)	高层 (<400hPa)	26904488	-0.13	4.99
	中层 (400-700hPa)	0	0	0
	低层 (>700hPa)	0	0	0
红外通道 (10.8 μm)	高层 (<400hPa)	15767019	1.69	4.50
	中层 (400-700hPa)	5955070	0.19	7.75
	低层 (>700hPa)	5383145	0.15	4.01

从 2023 年 7 月 1-31 日大气运动导风精度分析结果 (QI>80) 可以看出：

a) 三个通道的高层风精度达到了很高的水平

红外（10.8 μm ）、水汽（6.25 μm 、6.95 μm 、7.42 μm ）大气运动导风的高层风偏差平均值分别为 1.69、-0.83、-0.58 和 -0.13m/s，偏差标准差分别为 4.50、4.56、4.27 和 4.99m/s。

b) 红外大气运动导风总体达到设计指标，仅中层风质量略差

6 产品使用说明

6.1 产品使用说明

每个风矢量均带有质量信息 QI，QI 的值在 0-1 之间，值越大代表整个反演过程中风矢量质量越高，建议 QI 的值大于 0.8（即通常说的 QI>80）的风矢量用于有较高要求的应用。

6.2 应用限制条件

无

6.3 主要参考文献

- [1] Menzel, W.P., W.L. Smith and T. Stewart, Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS, J. Climate Appl. Meteor., 22, 377-384, 1983
- [2] Nieman, N.J., J. Schmetz and W.P. Menzel, A comparison of several techniques to assign heights to cloud tracers, J. Appl. Meteorol., 32, 1559-1568, 1993
- [3] 许健民, 张其松, 方翔, 用红外和水汽两个通道的卫星测值指定云迹风的高度, 气象学报, 1997, 55 (4), 408-417
- [4] G Szejwach, 1982, Determination of Semitransparent Cirrus Cloud Temperature from Infrared Radiances: Application to Meteosat, Journal of Applied Meteorology, 21 (3) :384-393
- [5] W. P. Menzel, 2001, Cloud tracking with satellite imagery: from the pioneering work of Ted Fujita to the present, Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 33-47
- [6] C. Velden etc., 2005: Recent innovations in deriving tropospheric winds from meteorological satellites, Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 205-223
- [7] Xu J, Holmlund K, Zhang Q et al.:Comparison of Two Schemes for Derivation of Atmospheric Motion Vectors, Journal of Geophysical Research, 2002, 107 (D14)

- [8] G. Büche etc., 2006: Water vapor structure displacements from cloud-free Meteosat scenes and their interpretation for the wind field, J. Appl. Meteor., 45, 556-575
- [9] R. Borde and Oyama, 2008: A direct link between feature tracking and height assignment of operational atmospheric motion vectors, Proc. Ninth Int. Winds Workshop, Annapolis, MD, USA, 14–18 April.
- [10] Oyama, R., R. Borde, J. Schmetz and T. Kurino, 2008: Development of height assignment directly linked to feature tracking at JMA, Proceedings of 9IWW, Annapolis, U.S.A.
- [11] 张晓虎, 张其松, 许健民. 半透明云风矢量高度算法中云下背景辐射的估计. 应用气象学报, 2017, 28(3): 283-291. DOI: 10.11898/1001-7313.20170303.
- [12] 张晓虎, 张其松, 许健民. 半透明云风矢量高度算法中代表运动像元的使用. 应用气象学报, 2017, 28(3): 270-282. DOI: 10.11898/1001-7313.20170302.

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.	张晓虎	国家卫星气象中心	010-58993120	zhangxiaohu@cma.gov.cn	产品联系人 技术负责人
2.	崔浩楠	北京华云星地通科技有限公司	010-68400244	18037022753@163.com	工程负责人
3.	牟一楠	北京华云星地通科技有限公司	010-68400244	muyn@cma.gov.cn	工程负责人

7.2 文档引用方式和建议引用文献

引用方式：张晓虎，2024，风云四号 B 星大气运动导风产品使用说明文档，国家卫星气象中心

8 产品读取代码

8.1 C 代码

```
#include "netcdf.h"

int main()
{
    char inputname[256] = "./FY4B-_AGRI--_N_DISK_1050E_L2-_AMV-_C009_N
    UL_20240422040000_20240422041459_048KM_V0001.NC";

    int m_scans = 229;
    int n_scans = 229;

    float*data_sp_dles = new float[m_scans*n_scans];
    int status = 0;
    int varid = -1;
    int hFileID;

    if(data_sp_dles!= NULL)
    {
        return -1;
    }

    memset(data_sp_dles,-999,sizeof(float)*m_scans *n_scans);
    //打开文件
    status = nc_open(inputname, NC_NOWRITE, &hFileID);
    if(status<0)
    {
        printf("打开文件%s 错误！ \n",inputname);
        delete []data_sp_dles;
        data_sp_dles=NULL;
        return -2;
    }
}
```

```

    }
    status = nc_inq_varid (hFileID, "wind_direction", &varid);
    if (status<0)
    {
        nc_close(hFileID);
        delete []data_sp_dles;
        data_sp_dles=NULL;
        return -3;
    }
    //读取科学数据对象
    status = nc_get_var(hFileID, varid, data_sp_dles);
    if (status<0)
    {
        nc_close(hFileID);
        delete []data_sp_dles;
        data_sp_dles=NULL;
        return -4;
    }
    //关闭文件
    nc_close(hFileID);
    //释放内存
    delete[] data_sp_dles;
    data_sp_dles = NULL;
    return 0;
}

```

8.2 Python 代码

```

# -*- coding: utf-8 -*-

import os,sys

import numpy as np

```

```

from netCDF4 import Dataset

if __name__ == "__main__":
    inputname = './FY4B-_AGRI--_N_DISK_1050E_L2-_AMV-_C009_NUL_202
40422040000_20240422041459_048KM_V0001.NC'

    #读取文件
    #打开文件
    fp = Dataset(inputname)
    #读取数据集
    # 十进制数据集读取说明示例
    dataset = fp.variables['wind_direction'][:]
    dataset = np.array(dataset)
    #读取数据集属性
    datasetattrs = fp.variables['wind_direction']
    print(dataset)
    print(datasetattrs)
    #关闭文件
    fp.close()

```