

文章编号:1001-9014(2012)01-0073-07

# FY-2C 卫星大气运动矢量产品的高度指定误差分析

杨成荫<sup>1</sup>, 陆其峰<sup>2\*</sup>, 吴雪宝<sup>2</sup>, 张鹏<sup>2</sup>

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 统计分析了 2009 年 FY-2C 水汽通道反演的 AMVs(大气运动矢量)误差分布特征, 结果显示, AMVs 反演偏差存在气候带、季节以及垂直分布不均匀的时空特征. 根据风随高度变化原理, 推断高度指定偏高是主要误差来源. 利用 NCEP/FNL 风场作参考, 对 AMVs 进行高度再指定, 进一步验证高度指定偏差是否为 AMVs 主要误差来源, 结果表明, AMVs 纬向风的负偏差明显减小, 由  $-9.73 \text{ ms}^{-1}$  减小到  $-1.1 \text{ ms}^{-1}$ , 误差标准差由  $10.24 \text{ ms}^{-1}$  降低到  $4.5 \text{ ms}^{-1}$ , 改善幅度超过 50%, 经向风的质量也有明显改善, 较好地消除了季节性误差, 佐证了前述观点. 初步建议了一种利用数值预报分析场作为参考将 AMVs 高度指定到合理高度的方法, 也为 AMVs 产品生产者提供了一个检验算法的思路.

**关键词:** 卫星气象学; 高度指定误差; 误差分析; 大气运动矢量; 高度再指定; 质量控制  
**中图分类号:** P414.4 **文献标识码:** A

## Errors in height assignment for atmospheric motion vectors of FY-2C

YANG Cheng-Yin<sup>1</sup>, LU Qi-Feng<sup>2\*</sup>, WU Xue-Bao<sup>2</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>

(1. Meteorology Institute, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China;  
2. National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The quality and error distribution of atmospheric motion vectors (AMVs) derived from the water vapor band of FY-2C meteorological satellite of China in 2009 were analysed. The results indicate that the errors of AMVs varies inhomogeneously in different climate zones, seasons, and vertical positions in space. Based on the thermal wind theory, we noticed that over estimation in the value of height may be the dominant origin of the AMVs errors. We verified the conjecture by reassigning the AMVs to new heights, with the NCEP/FNL reanalysis wind field as a reference. The quality of AMVs before and after reassignment was compared with the NCEP/FNL data and radiosonde observations of international exchange stations. It's found that the negative biases of the U-winds of AMVs decrease explicitly from  $-9.73 \text{ ms}^{-1}$  to  $-1.1 \text{ ms}^{-1}$ , the standard deviations of errors from  $10.24 \text{ ms}^{-1}$  to  $4.5 \text{ ms}^{-1}$ , the quality of which is improved over 50%. The V-winds are also improved obviously. The seasonal errors of AMVs are removed well. All of the improvements justify the aforementioned viewpoints. This paper suggests a preliminary method which assigns the AMVs to reasonable heights with the reanalysed wind field of a NWP model as a reference, and also supplies an idea of detecting algorithm for AMVs producers.

**Key words:** AMVs; error analysis; height assignment (HA); height reassignment; quality control (QC)

**PACS:** 07.87.+v

### 引言

反演 AMVs(Atmospheric Motion Vectors)是气象卫星应用最重要的方面之一<sup>[1]</sup>. 尽管当前可采用无线电探空仪、风廓线仪、多普勒雷达等手段来反演风场, 但观测频次和探测范围仍有较大不足, 特别在海

洋、沙漠地区, AMVs 几乎是关于风场的唯一观测信息. 而且 AMVs 对构造数值预报初始场、研究台风、高空急流及水汽输送结构等均具有重要意义<sup>[2]</sup>.

云高指定误差是目前 AMVs 应用遇到的最大挑战<sup>[3]</sup>. Velden 和 Bedka 指出高度指定误差是导致 AMVs 误差的根本原因, 70% 以上的误差由此产

收稿日期: 2011-03-27, 修回日期: 2011-08-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40705037)

Foundation item: Supported by National Natural Science Foundation of China(40705037)

作者简介: 杨成荫(1982-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 在读博士, 主要研究领域为大气参数反演及卫星资料同化. E-mail: cyyang0202@yahoo.cn.

\* 通讯作者: E-mail: luqf@ema.gov.cn.

Received date: 2011-03-27, revised date: 2011-08-02

生<sup>[4]</sup>. Schmetz、Holmlund 及 Nieman 等人也证实了此观点<sup>[5-6]</sup>. 国内,许建民等改进了水汽截距算法,将高云和中低云区别处理,提高了云高指定精度,并指出 AMVs 风速偏小主要由于云高指定错误导致<sup>[7]</sup>. 陈华等运用流体在一定范围内的连续性原理,提出了一种对 AMVs 高度进行质量控制的方法,有效地把一些不合理的风调整到应有高度上<sup>[8]</sup>.

为使 FY-2 系列 AMVs 的潜力尽早得到利用及今后更好发展,客观评估 AMVs 产品质量并分析其误差产生原因十分必要. 详细分析了我国 FY-2 系列 C 星(简称 FY-2C)水汽通道 AMVs 产品质量,研究了该产品误差分布特征及可能误差来源,并通过高度再指定方法验证了高度指定误差是 AMVs 误差的主要原因. 初步检验了利用数值预报分析场作为参考调整 AMVs 高度这一思路的效果及可行性.

## 1 资料及方法介绍

### 1.1 云导风资料简介

使用 FY-2C 水汽通道反演的 AMVs 产品. FY-2C 是我国自主研发的第一颗业务型静止轨道气象卫星. 目前,红外和水汽两个图像通道用于计算 AMVs. 其反演 AMVs 的基本算法由预处理、示踪图像块的追踪、高度指定、质量检验四部分组成.

收集了 2009 年的 AMVs 资料,时间分辨率为每日 4 次(05、11、17、23 时,UTC),空间分布范围为 55°~155E°,50S°~50N°,每隔 1 度约有一个风点.

### 1.2 检验方法

本文以 NCEP/FNL 风场资料(1°×1°)和国际交换站探空资料作为参照标准,通过与 AMVs 资料比较来认识其精度和误差空间分布特征.

在时间上,选取间隔最小的时次进行比较. 当 AMVs 与探空资料相比较时,采取 AMVs 插值到探空站点,在水平方向上,选择距离加权平均内插法进行插值,水平搜索半径定为 200 km;垂直方向上将 AMVs 高度定义到距离最近的探空层上. 当 AMVs 与 NCEP/FNL 风场比较时,采取 NCEP/FNL 数据插值到 AMVs 点,水平插值算法选用双线性插值,垂直方向采用等距反比插值.

## 2 AMVs 误差特征及其可能误差来源分析

### 2.1 AMVs 与 NCEP/FNL 风场的比较

因探空资料在海上及南半球分布较少,故使用 NCEP/FNL 风场作为参照,分析 AMVs 偏差的水平分布特征. 研究表明 NCEP/FNL 风场风速统

计误差不大于  $3 \text{ ms}^{-1}$ <sup>[9]</sup>,小于 AMVs 的  $8 \sim 10 \text{ ms}^{-1}$  误差,因此可用作参照.

图 1 为 AMVs 偏差的水平分布. 从图 1(a)、1(b)看,纬向风偏差存在明显的纬向带状分布特征,根据偏差量值大小,大致可划分为 3 个特征区域,即北半球温带、热带、南半球温带,其中热带外地区总体表现为负偏差,热带总体表现为正偏差. 冬季,北半球温带区的负偏差大于南半球,夏季相反. 随季节不同,特征区之间界限的位置也在发生变化. 南半球的负偏差区也相应出现冬季南退、夏季北进的季节变化特征,这与太阳直射纬度的季节变化一致.

经向风(图 1(c)、1(d))的偏差量值小于纬向风,绝大部分区域的平均偏差在  $-3 \sim 3 \text{ ms}^{-1}$ . 偏差分布特征与纬向风不同:北半球冬季(图 1(c)),从印度洋斜向西北太平洋一线为正偏差,“西亚-印度-中国东南部-日本以东洋面”的弧形一线为负偏差,弧形以北为正偏差;夏季(图 1(d)),20°N 以北的偏差变小,而热带区表现为印度洋斜向西北太平洋一线由正偏差变为负偏差,这可能是由于东亚季风区环流形势的季节性变化导致. 南半球经向风夏季偏差较大,冬季较小.

偏差大于  $50 \text{ ms}^{-1}$  的风点分布区域(图 1(e)、1(f))也存在季节变化特征,冬季(图 1(e))主要出现在(30°~40°N, 100°~155°E),这是此时北半球高空急流活跃的区域;夏季(图 1(f)),则出现在(30°~40°S, 100°~155°E),这是此时南半球高空急流活跃的区域.

图 2 是 AMVs 与 NCEP/FNL 风场偏差的“纬向平均-高度”分布. 冬季(图 2a),负偏差大值区在北纬 30°~40°左右,核心在 200 hPa 高度,  $-15 \text{ ms}^{-1}$  的偏差线可延伸到 500 hPa;春季(图 2b),北半球负偏差大值区减小,南半球形成负偏差核,并发展;到了夏季(图 2c),南半球负偏差达到最强,相比冬季北半球,南半球负偏差稍弱些,  $-15 \text{ ms}^{-1}$  的偏差线最低端在 400~450 hPa 之间;进入秋季(图 2d),北半球负偏差区再次发展,南半球减弱.

风向偏差表现为:低层较大,高层较小;热带偏差大于热带外;南半球偏差小于北半球;冬半年偏差大于夏半年;基本为负偏差.

### 2.2 AMVs 与探空风场的比较

考虑到南半球探空站太少,仅比较对北半球 AMVs 与探空风场. 按照 AMVs 纬向风偏差的水平分布特征分为两个区域:0°~20°N 和 20°~50°N. 表 1 为比较的统计结果. 从纬向风看,热带偏差较小,整

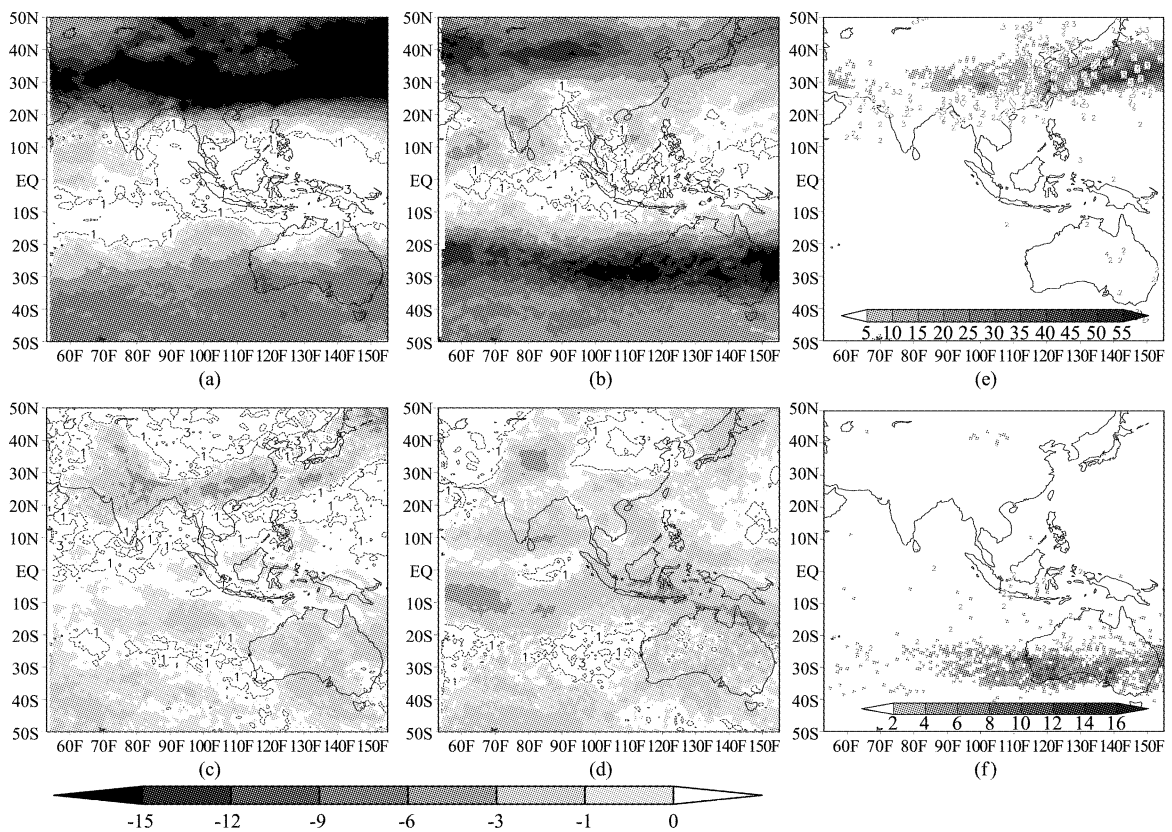


图1 AMVs与NCEP/FNL风场偏差水平分布 (a)冬季纬向风偏差 (b)夏季纬向风偏差 (c)冬季经向风偏差 (d)夏季经向风偏差 (e)偏差大于 $50\text{ ms}^{-1}$ 的风点数量分布,填色部分为纬向风,数字为经向风 (f)同(e),但为夏季  
 Fig. 1 Horizontal distribution of bias between AMVs and NCEP/FNL data (a) and (b) denote bias of zonal, (c) and (d) for meridional wind. In (e) and (f), shaded area shows the number of zonal wind of which bias is bigger than  $50\text{ ms}^{-1}$ , and the numbers is for meridional wind. (a), (c) and (e) are for winter, (b), (d) and (f) for summer, respectively

层平均为 $0.44\text{ ms}^{-1}$ ;而温带,从 $500\text{ hPa}$ (含)往上均为负偏差,高度越高,负偏差越大,整层平均为 $-9.73\text{ ms}^{-1}$ .热带和温带的误差标准差均在 $300\text{ hPa}$ 出现最大值,这与AMVs在垂直方向上的数量分布相一致,即AMVs数量越多的层次,误差离散程度越大,说明 $300\text{ hPa}$ 上的AMVs分布存在不合理性.对经向风而言:两个区域的偏差均不大;热带区误差标准差明显小于温带;温带区相关系数大于热带,这可能是由于热带风速较小,风向变化剧烈所致.综合来看,热带AMVs质量整体高于温带.

### 2.3 对可能导致AMVs误差存在原因的分析

AMVs反演误差可能来自:水平风矢量计算不准确;高度指定不准确;或兼而有之.水平风矢量是根据卫星图像中云块的平均位移,使用球面三角公式计算出的,精度较高.目前图像定位误差已达到像元级,星下点一个像元的误差是 $5\text{ km}/30' = 2.78\text{ ms}^{-1}$ ,中纬度的像元误差大约为 $3\sim 4\text{ m/s}$ .而高度指定是通过通道亮温估计云块的环境温度,并利用

窗区和吸收区数据包含的云高度信息指定AMVs高度,对于透明薄层卷云,指定的高度误差会比较大.又因为大气运动在垂直方向上的变化远大于水平方向,因而AMVs高度的错定会导致较大误差,粗略估计 $80\text{ hPa}$ 的高度误差大致相当于 $10\text{ ms}^{-1}$ 的风速误差<sup>[3]</sup>.FY-2C产品的误差大约为 $8\sim 10\text{ ms}^{-1}$ .比较而言,AMVs反演水平风矢量准确率应高于高度指定准确率.

FY-2C水汽通道AMVs大部分被指定在对流层中上层,这里重点对北半球 $400\text{ hPa}$ 以上的AMVs做分析.图3a是AMVs与NCEP/FNL风场偏差的“季节-高度”分布,可看出:对于风向,冬季为负偏差大值区,春季逐渐减小,而 $200\text{ hPa}$ 以上转为正偏差,正偏差在夏季达到最大,过了夏季正偏差减小,负偏差增大;对于风速,总体表现为负偏差,秋、冬季的偏差大于春、夏季;从冬季到夏季,对流层顶逐渐升高(图3a中粗线),AMVs全年大部分时间都分布在对流层内,只有冬季在对流层顶以上有少量分布.

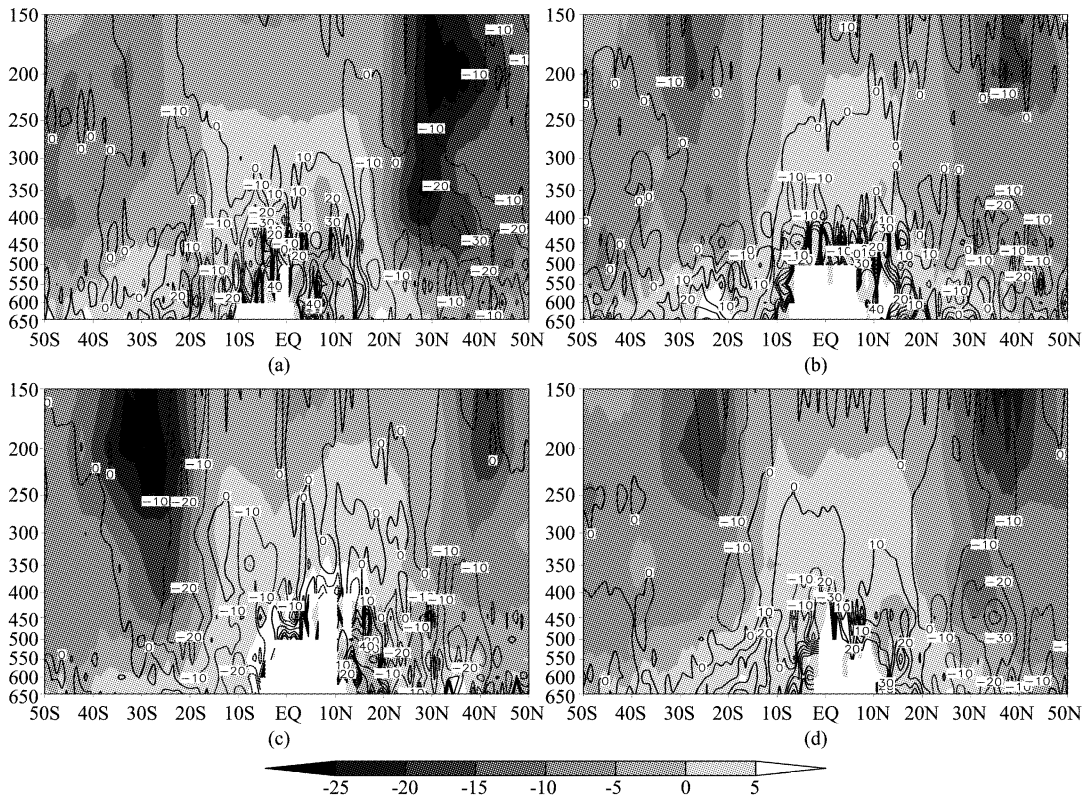


图2 AMVs与NCEP/FNL风场偏差的“纬向平均-高度”分布 (a)冬季 (b)春季 (c)夏季 (d)秋季, 填色部分为风速偏差 (单位:m/s), 等值线为风向偏差(单位:度)  
 Fig.2 “zonal mean-altitude” distribution of bias between AMVs and NCEP reanalysis data (a) Winter (b) Spring (c) Summer (d) Autumn. Shaded area shows the bias of wind velocity (units: m/s) and contour shows the bias of wind direction (units: degree)

表1 水汽通道 AMVs 和探空资料的比较

Table 1 Comparison of AMVs derived from the water vapor channel with radiosonde data

| Lev     | 0 ~ 20° |                  |       |      |                  |       |      |       | 20 ~ 50°         |        |      |                  |      |      |
|---------|---------|------------------|-------|------|------------------|-------|------|-------|------------------|--------|------|------------------|------|------|
|         | Num     | U-Wind Component |       |      | V-Wind Component |       |      | Num   | U-Wind Component |        |      | V-Wind Component |      |      |
|         |         | Std              | Bias  | CC   | Std              | Bias  | CC   |       | Std              | Bias   | CC   | Std              | Bias | CC   |
| 700     | 149     | 0.05             | 0.66  | NaN  | 0.21             | -1.00 | NaN  | 631   | 3.86             | 1.43   | NaN  | 2.95             | 0.89 | NaN  |
| 500     | 163     | 0.22             | 1.92  | NaN  | 0.16             | 0.95  | NaN  | 1316  | 5.98             | -5.75  | 0.09 | 4.10             | 2.78 | 0.49 |
| 400     | 528     | 0.91             | -0.95 | NaN  | 1.29             | 0.09  | NaN  | 7538  | 8.91             | -9.02  | 0.49 | 6.48             | 1.88 | 0.56 |
| 300     | 1934    | 4.03             | -1.46 | 0.44 | 3.65             | -0.32 | 0.55 | 14345 | 10.22            | -10.87 | 0.63 | 6.73             | 0.40 | 0.71 |
| 250     | 3081    | 4.23             | -0.39 | 0.68 | 3.97             | -0.39 | 0.60 | 6650  | 8.57             | -11.32 | 0.80 | 5.90             | 0.06 | 0.81 |
| 200     | 1353    | 3.47             | 1.71  | 0.72 | 2.78             | -0.18 | 0.83 | 1606  | 4.81             | -12.96 | 0.90 | 3.22             | 1.16 | 0.73 |
| 150     | 444     | 2.90             | 4.22  | 0.57 | 2.07             | -0.71 | 0.82 | 1570  | 5.96             | -13.54 | 0.45 | 4.13             | 0.71 | 0.53 |
| 100     | 0       | NaN              | NaN   | NaN  | NaN              | NaN   | NaN  | 0     | NaN              | NaN    | NaN  | NaN              | NaN  | NaN  |
| All Lev | 7652    | 5.66             | 0.44  | 0.70 | 4.78             | -0.58 | 0.59 | 33656 | 10.24            | -9.73  | 0.67 | 6.90             | 0.84 | 0.70 |

\* Num 为参测的探空站点总数, Std 为误差标准差, Bias 表示偏差, CC 为相关系数; 误差大于 50 ms<sup>-1</sup> 的风点已被剔除; 一个时次内, 参测探空站数在 15 个以上才计算 CC; All Lev 是将所有风点, 不分层次, 作为一个序列计算的结果, 并非所有层次计算结果的平均。

在北半球, 对流层表现为南暖北冷, 根据热成风原理有: ①热成风主要是西风, 且西风随高度增加, 高层风速普遍大于低层风速. 如果低层风矢量被指定到高层, 其风速小于环境风速, 即存在负偏差, 图 3a 中负风速偏差分布与该特征一致. ②暖平流下 (图 3b), 风随高度增加呈顺时针旋转 (定义为正角

度差), 而冷平流下, 风随高度增加呈逆时针旋转 (定义为负角度差), 也就是说, 暖平流下, 高层风的风向角减去低层风的风向角为正角度差, 冷平流下, 则为负角度差. 如果低层的 AMVs 被指定到高层, 暖平流下, 其风向角小于环境风场风向角, 冷平流下, 则大于环境风场风向角. 从图 3a 可看出, 冬季 400

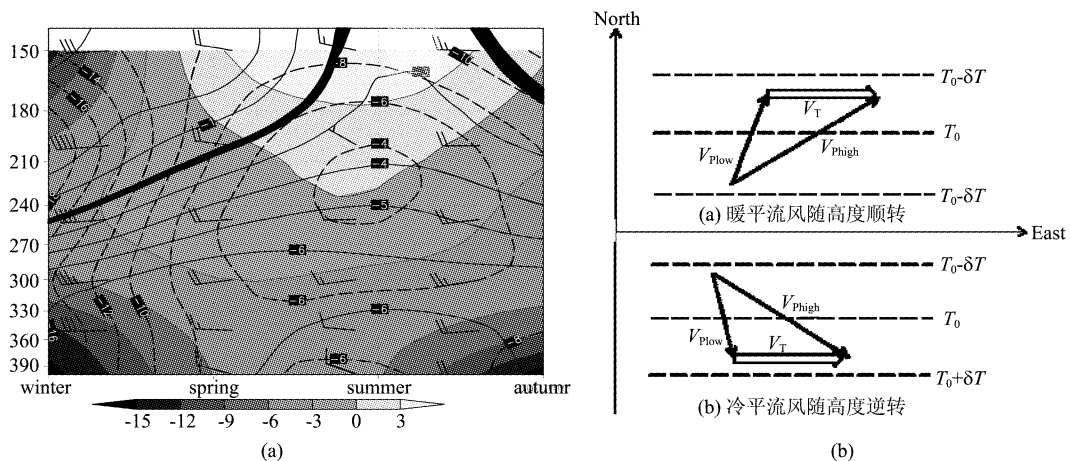


图3 (a) AMVs 与 NCEP/FNL 风场偏差的“季节-高度”分布及 (b) 风随高度转向与温度平流的关系. (a) 填色部分为风向偏差, 虚等值线为风速偏差, 实等值线为变温线, 粗线为  $-2^{\circ}\text{C km}^{-1}$  变温线, 即对流层顶

Fig. 3 The “season-altitude” distribution of bias between AMVs and NCEP reanalysis data (a) and relationship between temperature advection and wind vector turning along the height (b). Shaded area in (a) shows the bias of wind direction, black contour shows the bias of wind velocity, and red contour temperature gradient per kilometer, in which the bold line is  $-2^{\circ}\text{C km}^{-1}$  indicating tropopause

hPa 以上为暖平流, AMVs 风向相比环境风向表现出负角度偏差, 表明 AMVs 高度指定偏高. 夏季 200 hPa (含) 以上为冷平流, 对应正角度偏差, 同样反映出 AMVs 高度指定偏高.

南半球, 对流层南冷北暖, 柯氏力的方向与北半球相反, 冬季暖平流对应正角度偏差, 夏季冷平流对应负角度偏差 (图略). 按上述观点, 同样可推得 AMVs 高度指定偏高.

综上所述, 不论从风速还是风向的偏差大小来分析, 均反映出 AMVs 可能指定偏高. 由于 AMVs 是通过反演云块辐射亮温与环境温度相匹配来估算高度的, 可推测, 很有可能是由于估算云块辐射亮温值偏低, 导致了 AMVs 指定偏高. 需要指出, 这里说的“偏高”是指统计结果, 并不是指所有风矢量都指定偏高.

### 3 AMVs 高度再指定后偏差统计特征

上节分析认为: AMVs 偏差可能主要由于高度指定偏高造成, 但须进一步验证. 验证思路是: 假定 AMVs 的水平风矢量准确, 利用 NCEP/FNL 风场作为参考, 对原始 AMVs 进行高度再指定, 检验有时、空分布特征的偏差是否减小, 再利用探空资料检验其统计误差是否降低.

根据流体运动连续性原理, 邻近点流体运动速度和方向都存在相关性和一致性, 如果 AMVs 被定到不正确的高度上势必使之与该高度上环境风场不一致. 以一致性原理为依据, 对 AMVs 高度值进行修正. 关于一致性系数的公式参见文献 [10], 实施方

案如下:

(1) 使用 NCEP/FNL 风场作为参照场, 对于点  $i$  处的 AMVs 风矢量  $\vec{V}_i$ , 分别与每一层参照风, 计算以  $\vec{V}_i$  为中心, 半径 200 km 水平范围内所有参照风的平均一致性系数.

(2) 先比对  $\vec{V}_i$  所在高度的一致性系数是否大于临界值 (设为 0.7), 如果是则不作高度调整, 否则, 将  $\vec{V}_i$  高度重新指定到与其原始高度上下 250 hPa 范围内一致性系数最大的一层.

(3) 所有层一致性系数均为负数或均小于临界值的风被剔除.

基于上述方案对整个 AMVs 风场进行高度再指定, 对比分析调整前、后 AMVs 误差的改进情况.

#### 3.1 基于 NCEP/FNL 风场检验偏差统计特征

##### 3.1.1 个例分析

图 4 为高度调整前后 AMVs 与 NCEP/FNL 风场的风向和风速散点图. 由图 4(a) 可看出, 原始 AMVs 与 NCEP 风向差较大, 散点聚合度不高, 拟合线斜率为 0.78,  $R^2$  值为 0.60. 高度调整后, 风向散点 (图 4(b)) 聚合度明显提高, 拟合线斜率提升到 0.87,  $R^2$  值提升到 0.74. 从风速散点看, 原始 AMVs 风速散点 (图 4(c)) 发散, 拟合线斜率为 0.53,  $R^2$  值为 0.41, 表明 AMVs 风速普遍小于 NCEP 风速. 高度调整后, 风速散点 (图 4(d)) 聚合度明显提高, 拟合线斜率提升到 0.74,  $R^2$  值提升到 0.74, 说明原本风向或风速误差较大的 AMVs 被调整到新的高度后与环

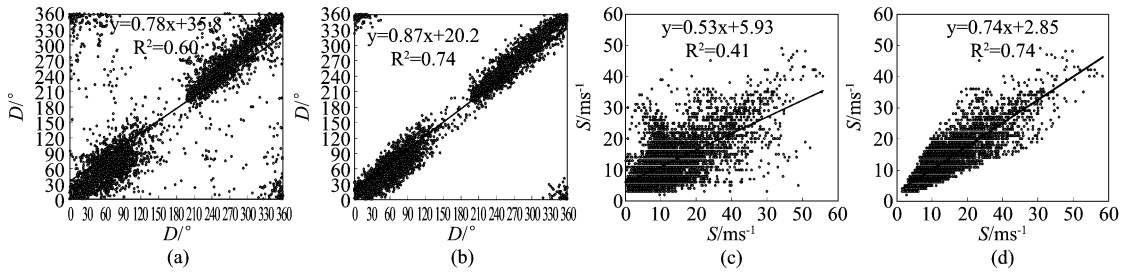


图4 高度再指定前、后 AMVs 与 NCEP 风散点图 (a)原始风向 (b)调整后风向 (c)原始风速 (d)调整后风速,横坐标为 NCEP/FNL 风,纵坐标为 AMVs

Fig. 4 Scatter diagram of AMVs against NCEP reanalysis data before and after height reassignment (a) and (b) denote the original wind direction and velocity respectively. (c) and (d) denote the wind direction and velocity after height reassignment respectively. Abscissa means NCEP/FNL and ordinate means AMVs

境风场更加吻合。

### 3.1.2 统计分析

高度再指定后 AMVs 与 NCEP/FNL 风场偏差的水平分布特征(图略)与图 1 对比可发现:图 1 (a)、1(b)中较明显的带状偏差明显减弱了。虽然温带地区纬向风仍表现出负偏差,但量级已从  $-10 \text{ ms}^{-1}$  以上降低到  $-1 \sim -3 \text{ ms}^{-1}$  左右。经向风偏差基本处在  $-1 \sim 1 \text{ ms}^{-1}$  之间,2.1 节所述的偏差分布特征基本不存在了。

需要指出:AMVs 高度再指定是通过 NCEP/FNL 资料作为参考进行调整的,比较时使用 NCEP 资料,可充分证明高度再定位方案的可行性。探空资料是相对独立的参考标准,通过与探空资料的对比能更客观地验证 AMVs 质量改善的独立性及其有效性。

### 3.2 基于探空资料检验偏差统计特征

按照与表 1 相同的统计方法,给出高度再指定后 AMVs 和探空资料比较的统计结果(表 2),并与表 1 对比:从纬向风看,热带地区大部分层次的绝对偏差都在  $1 \text{ ms}^{-1}$  之内,整层平均偏差仅为  $0.32$

$\text{ms}^{-1}$ 。中高层的误差标准差较原始 AMVs 有所减小,整层平均为  $3.28 \text{ ms}^{-1}$ ,比调整前降低了  $2.38 \text{ ms}^{-1}$ 。相比而言,温带 AMVs 改善更为明显,整层平均偏差由  $-9.73 \text{ ms}^{-1}$  降到  $-1.1 \text{ ms}^{-1}$ ,整层平均的误差标准差由  $10.24 \text{ ms}^{-1}$  降到  $4.5 \text{ ms}^{-1}$ ,改善幅度超过 50%。对于经向风而言,误差标准差和相关系数也有较明显的改善。

进一步给出 2009 年全年的高度再指定前、后水汽通道 AMVs 与探空资料的偏差、误差标准差比较结果(图 5)。可看出,高度再指定前 AMVs 误差冬季大、夏季小,且误差波动范围大。高度再指定后,误差的季节性被消除,且误差的波动变小,稳定性显著提高。风速的负偏差也明显减小,约在  $-1 \text{ ms}^{-1}$  左右;误差标准差由  $10 \sim 15 \text{ ms}^{-1}$  降到  $4 \sim 6 \text{ ms}^{-1}$ 。

以上分析表明,在不改变水平风矢量的前提下,仅通过调整 AMVs 的高度指定,能显著提高产品精度和稳定性,这佐证了 2.3 节的观点。同时,得到一点启示:利用数值预报分析场作为参考标准,可将 AMVs 高度指定到合理的高度。

表 2 高度再指定后水汽通道 AMVs 和无线电探空资料比较的统计结果

Table 2 Comparison of AMVs derived from water vapor channel after height reassignment with radiosonde data

| Lev     | Num  | 0 ~ 20°          |       |      |                  |       |      | 20 ~ 50° |                  |       |      |                  |      |      |
|---------|------|------------------|-------|------|------------------|-------|------|----------|------------------|-------|------|------------------|------|------|
|         |      | U-Wind Component |       |      | V-Wind Component |       |      | Num      | U-Wind Component |       |      | V-Wind Component |      |      |
|         |      | Std              | Bias  | CC   | Std              | Bias  | CC   |          | Std              | Bias  | CC   | Std              | Bias | CC   |
| 700     | 275  | 0.32             | -0.67 | NaN  | 0.14             | 0.47  | NaN  | 3733     | 3.53             | 0.23  | 0.67 | 3.20             | 0.12 | 0.72 |
| 500     | 537  | 0.59             | -0.39 | NaN  | 0.50             | 0.08  | NaN  | 6009     | 3.75             | -0.80 | 0.80 | 3.49             | 0.61 | 0.78 |
| 400     | 616  | 0.56             | 0.66  | NaN  | 0.61             | -0.18 | NaN  | 5632     | 4.08             | -0.17 | 0.85 | 3.99             | 1.18 | 0.79 |
| 300     | 747  | 0.92             | -0.09 | NaN  | 1.05             | -0.85 | NaN  | 4295     | 3.88             | -2.98 | 0.90 | 3.53             | 0.69 | 0.88 |
| 250     | 1838 | 2.33             | -0.07 | 0.81 | 2.35             | -0.52 | 0.67 | 3375     | 3.49             | -3.05 | 0.95 | 3.12             | 0.80 | 0.89 |
| 200     | 1416 | 2.37             | 0.60  | 0.92 | 2.38             | -0.39 | 0.72 | 1149     | 2.24             | -1.66 | 0.96 | 1.98             | 0.73 | 0.83 |
| 150     | 558  | 1.14             | 1.12  | NaN  | 1.27             | -0.21 | NaN  | 899      | 2.21             | -1.48 | 0.81 | 2.32             | 0.86 | 0.73 |
| 100     | 133  | 0.28             | 1.05  | NaN  | 0.22             | -0.74 | NaN  | 856      | 1.84             | -1.84 | 0.97 | 1.96             | 1.06 | 0.93 |
| All Lev | 6145 | 3.28             | 0.32  | 0.88 | 3.26             | -0.44 | 0.82 | 26210    | 4.50             | -1.10 | 0.92 | 4.08             | 0.73 | 0.85 |

\* 注释同表 1,少数 AMVs 点调整到 700hPa 以下,未做统计。

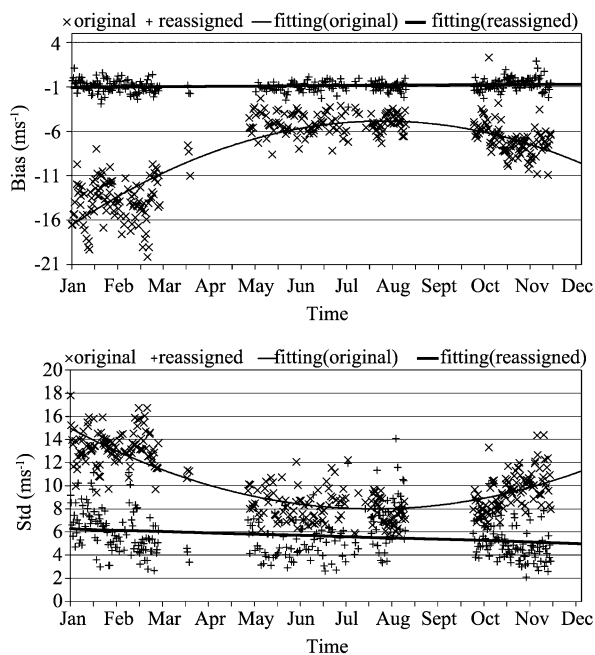


图5 高度再指定前、后水汽通道 AMVs 和探空资料的比较 (a) 偏差 (b) 误差标准差, “x” 代表原始 AMVs, “+” 代表高度再指定后 AMVs

Fig. 5 Comparison of errors between AMVs before and after height reassignment. (a) and (b) denote the Bias and Standard deviation respectively. “x” and “+” represent original and reassigned AMVs respectively

#### 4 结论

分析了 2009 年 FY-2C 水汽通道 AMVs 的误差分布特征及其可能误差来源, 进而利用 NCEP/FNL 风场作为参考, 通过高度再指定, 验证了高度指定误差是 AMVs 误差的主要原因, 结果表明:

(1) AMVs 纬向风在热带表现为正偏差, 热带外为负偏差, 急流区的偏差较大; 负偏差大值区出现在南北纬 20 ~ 40°, 核心高度在 200 hPa, 向下伸展可达到 500 hPa. 北半球冬季的风速偏差大于夏季, 南半球相反. 风向基本为负偏差, 且低层大于高层.

(2) 热带 AMVs 纬向风平均偏差较小, 而热带外较大, 分别为  $0.44 \text{ ms}^{-1}$ 、 $-9.73 \text{ ms}^{-1}$ . AMVs 数量越多的层次, 其误差标准差也越大, 最大值出现在 300 hPa, 为  $10.22 \text{ ms}^{-1}$ .

(3) 根据热成风原理, 推断 AMVs 高度指定偏高. 进而, 推测反演算法中云块辐射亮温值估算偏低导致了 AMVs 高度指定偏高.

(4) 对 AMVs 高度再指定后, 纬向风的负偏差由  $-9.73 \text{ ms}^{-1}$  减小到  $-1.1 \text{ ms}^{-1}$ , 误差标准差由

$10.24 \text{ ms}^{-1}$  降低到  $4.5 \text{ ms}^{-1}$ , 改善幅度超过 50%. 表明在不改变水平风矢量的前提下, 仅通过调整 AMVs 的高度, 能有效地提高产品精度和稳定性, 佐证了结论(3).

需指出, 高度指定误差并非 AMVs 的唯一误差, 如何确定好风向和风速同样非常重要. 薛纪善指出要研究利用中国的数值预报产品减少云高指定误差的方法<sup>[3]</sup>. 如果将本文高度再指定方案中的 NCEP/FNL 风场改为使用数值预报场做参考, 则可将其作为质量控制手段引入 AMVs 反演流程, 但其中涉及数值预报场的预报时效、准确率等问题, 值得进一步研究.

#### REFERENCES

- [1] ROHN M, KELLY G, SAUNDERS R W. Impact of a new cloud motion wind product from Meteosat on NWP analyses and forecasts [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, **129**: 2392 - 2403.
- [2] STEINHOF D F. A contemporary review of the production and utility of atmospheric motion vectors [R]. *Geography 820 Term Paper*, 2009, 1 - 38.
- [3] XUE Jishan. Scientific issues and perspective of assimilation of meteorological satellite data [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (薛纪善, 气象卫星资料同化的科学问题与前景. *气象学报*), 2009, **67**(6): 903 - 911.
- [4] VELDEN C S, BEDKA K. Identifying the uncertainty in determining satellite-derived atmospheric motion vector height attribution; The 9<sup>th</sup> International Winds Workshop, 2008 [C]. Annapolis, Maryland, USA, 14 - 18 April 2008.
- [5] SCHMETZ J, HOLMLUND K. Operational cloud motion winds from Meteosat and the use of cirrus clouds as tracers [J]. *Adv. Space Res.*, 1992, **12**(7): 95 - 104.
- [6] NIEMAN S, SCHMETZ J, MENZEL P. A comparison of several techniques to assign heights to cloud tracers [J]. *Appl. Meteor.*, 1993, **32**: 1559 - 1568.
- [7] XU Jianmin, ZHANG Qisong, FANG Xiang, et al. Cloud motion winds from FY-2 and GMS-5 meteorological satellites; Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Winds Workshop, 1998 [C]. Saanenmoser, Switzerland, 20 - 23 October 1998, EUMETSAT Publication, EUM P24: 41 - 48.
- [8] CHEN Hua, XU Jianmin, ZHANG Qisong, et al. The quality controlling of cloud winds using height updating [J]. *Scientia Meteorologica Sinica* (陈华, 许建民, 张其松, 等. 用高度调整法进行云迹风高度的质量控制. *气象科学*), 1999, **19**(1): 20 - 25.
- [9] MEJIA J F, MURILLO J, GALVEZ J M. Accuracy of the NCAR Global Tropospheric Analysis (FNL) over central South America based upon upper air observations collected during the SALLJEX; [C], Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Igua u, Brazil, 2006, INPE, 1759 - 1764.
- [10] WU Q X. Computing velocity field from sequential satellite images [C]. in book: *Satellite remote sensing of the oceanic environment* (Ed. Joes), Sugimori and Stewart. Publisher. S., 1993, 38 - 47.