

云迹风反演中高密度示踪云选取技术的研究

杨文凯^{1,2} 白 洁² 严 卫¹ 刘健文²

(1. 中国人民解放军理工大学气象学院, 南京 211101; 2. 北京航空气象研究所)

提 要: 云迹风反演中的一项很重要的工作是选取随风移动、变化缓慢的云, 即示踪云。文中设计了一种示踪云选取算法, 以改善云迹风的质量和密度分布。该算法的特色是反演风的位置并不固定在反演网格的中心位置, 而是通过梯度分析的方法使反演风的位置得到优化, 再经过积雨云检测和灰度分布均匀程度检验, 剔除不适合用来反演的目标物。对用该方法选取的示踪云进行云迹风反演, 然后对反演出的云迹风进行环流分析, 并与探空风进行比较。结果表明, 反演出的云迹风质量好, 密度很高, 清晰地反映出天气系统的风场结构。

关键词: 云迹风 示踪云选取 梯度分析 均匀程度检验

A Study of Selecting High Density Tracers in Deriving Winds from Geostationary Meteorological Satellite Data

Yang Wenkai^{1,2} Bai Jie² Yan Wei¹ Liu Jianwen²

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101;
2. Beijing Aviation Meteorology Research Institute)

Abstract: An important step in deriving winds from geostationary meteorological satellite data is selecting the clouds which move slowly and go with the wind, which is called tracers. A new scheme of tracer selection is developed to improve the quality and the density of cloud motion winds. The scheme has a novel feature that the extraction location of the tracer is not fixed at the center location of the grid, but first optimized at the location where the gradient is maximum in the grid domain, and then by cumulonimbus and uniformity test, the final tracers can be decided. Then cloud motion winds are derived from these tracers and after a circumfluence analysis on the cloud motion winds, the cloud motion winds are compared with the rawinsonde winds. The result shows that the cloud motion winds have well quality and higher density, and the wind structure of weather system can be seen clearly from them.

Key Words: cloud motion wind tracer selection gradient analysis uniformity test

引 言

由静止气象卫星图像反演出的云迹风范围广泛、质量较好,是对常规观测风场资料的重要补充,特别是在测站稀少地区。这种卫星风场对天气系统的分析预报、改进数值预报初始场等大气科学的诸多领域,产生了很大影响^[1-3]。

目前国内外的云迹风反演流程基本相同,一般都包含 5 个主要环节:资料预处理、示踪云选取、示踪云的追踪(风速和风向的计算)、示踪云的高度指定以及质量控制^[4]。其中示踪云的追踪和示踪云的高度指定这两个环节的工作做得最多。示踪云的选取是以上工作的重要基础,若做得不好会严重制约云迹风质量和密度的提高^[5]。

示踪云选取是指在静止气象卫星图像上,选择随风移动、在追踪时间序列内变化缓慢的云进行追踪。只有对这样的云进行追踪,得到的运动矢量才能代表大气运动矢量。计算机自动反演一般采用客观选取示踪云的方法。Wolf 和 Hall 等通过设定红外图像上目标区灰度阈值选取示踪云^[6]; Endlich 和 Wolf, Wolf 和 Hall 等采用聚类分析技术,将静止气象卫星图像上的各个云团分开^[6-7]。这些示踪云选取方法虽然较有效地实现了云团与表面、云团与云团的分离,但只能与基于模式识别的示踪云追踪方法配合使用。随着交叉相关系数和欧氏距离追踪方法被几乎所有国家和组织采用,相应地发展了一些新的示踪云选取方法,如 Hayden 和 Merrill 采用最小灰度、最大灰度、最大最小灰度差、最小梯度等 4 条标准选取示踪云^[8], Merrill 等采用寻找目标区内灰度值最高位置和计算这些位置相对于周围点的局部梯度来选取示踪云^[9]。这些方法选取的示踪云密度还不高,而且在大片的晴空区往往也会选取到示踪

云,这是不合理的,因此 Nieman 和 Menzel 试图改进这一算法^[10-11]。以上工作以美国为主。欧洲和日本选取主要是运用多光谱图像分析技术分析目标区内目标物的性质并将其分开、运用图像滤波来增强灰度值较高的云层^[12-13]。国内白洁和王洪庆等采用基于试探的聚类搜索算法和动态 K-均值算法选取示踪云^[14],国家卫星气象中心的云迹风算法采用目标区内最大和最小灰度差须大于一定阈值的方法^[15]。然而这些方法都把反演风的位置固定在反演网格的中心位置,云迹风密度和质量有待提高。

在上述工作基础上,本文设计了一种示踪云选取算法,反演风的位置并不固定在反演网格的中心位置,而是通过梯度分析的方法使反演风的位置得到优化,再经过积雨云检测和灰度分布均匀程度检验,剔除不适合用来反演的目标物。

1 高密度示踪云的选取方法

1.1 算法概述

采用 GOES-9 气象卫星准半小时红外云图(星下点分辨率为 4km)和水汽吸收通道图像(星下点分辨率为 8km)。资料预处理工作由北京大学暴雨监测与预测国家重点实验室帮助完成,包括截取区域、定标、定位、兰勃脱投影变换、消除噪声等。选择相邻 3 个时刻的红外云图(A、B、C),在 B 云图上进行示踪云选取。

应当注意到,在连续几幅静止气象卫星图像上,地表和海表等晴空区、积雨云这两类目标物的移动与大气的运动没有关系,是不能用来反演风场的。高、中、低云共存的多层云的移动,代表的是各层云的平均运动矢量,由于无法确定该运动矢量代表的高度,因此也应当避免将这种多层云选取为示踪云^[11]。

在 B 云图上移动一个 $m \times m$ 像素的反演

网格窗口。网格窗口的最初位置是在云图的左上角,移动方向是从左到右。在进行梯度分析、积雨云检测、灰度分布均匀程度检验后,若在该网格窗口内成功地初步选出一个反演风的位置,则向右移动的步长为 m 个像素,否则步长减半,为 $\frac{1}{2}m$ 个像素。当网格窗口向右移到要超出云图右侧边界时,将其向下移动 m 个像素,并移至云图的最左端。

1.2 梯度分析

已有研究表明,在静止气象卫星图像上,图像灰度分布的表面起伏特征明显的地方,如积云区、卷云区,图像匹配正确率一般较高,反演出来的云迹风的质量也较好,最终通过质量控制的云迹风也多、因此云迹风的密度也较高;反之图像灰度分布的表面起伏特征不明显的,反演出来的云迹风的质量一般较差、密度也比较低^[16]。图像强度分布的表面起伏特征在数学上可以用梯度的概念来表达。基于此本文设计了一种梯度分析的方法来初步选择反演风的位置,基本思想是将反演风的位置初步选在网格窗口内梯度最大的位置。

首先计算网格窗口内各像元的双向灰度梯度。若某像元的坐标为 (i, j) ,灰度为 $T(i, j)$,卫星观测的空间分辨率为 $\Delta x \times \Delta y$,则该像元沿 i 方向的灰度梯度大小 Δf_i 定义为:

$$\Delta f_i = \frac{|T_{i+1} - T_i| / \Delta x + |T_i - T_{i-1}| / \Delta x}{2} \quad (1)$$

该像元沿 j 方向的灰度梯度大小 Δf_j 定义为:

$$\Delta f_j = \frac{|T_{j+1} - T_j| / \Delta y + |T_j - T_{j-1}| / \Delta y}{2} \quad (2)$$

该像元的双向灰度梯度大小 $\Delta f_{i,j}$ 定义为:

$$\Delta f_{i,j} = \left\{ \left(\frac{|T_{i+1,j} - T_{i,j}| / \Delta x + |T_{i,j} - T_{i-1,j}| / \Delta x}{2} \right)^2 + \left(\frac{|T_{i,j+1} - T_{i,j}| / \Delta y + |T_{i,j} - T_{i,j-1}| / \Delta y}{2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

然后找出窗口内的最大双向灰度梯度所在位置,若其双向灰度梯度大于一定阈值,则初步选为反演风的位置,即示踪云的中心点。以这个位置为中心,沿两个坐标轴的正负方向分别拓展 N 个像素点,形成 $(2N+1)(2N+1)$ 正方形像素点区域,以此作为初步选择的示踪云。

1.3 积雨云检测

经过梯度分析后,如能在某反演网格窗口内成功地初选出一个反演风的位置,则对初选示踪云进行积雨云检测。在前面的梯度分析中,将反演风的位置选在了那些网格窗口内梯度最大且超过阈值的位置,这样避免了选取较大的积雨云团。为了进一步避免将较小的积雨云团选取为最终的示踪云,本文采用了 Tokuno 的方法,其基本原理是:积雨云像元在红外和水汽两个通道观测亮温之间的差别相当小^[13]。若初选示踪云通过积雨云检测,接着对其进行灰度分布均匀程度检验。

1.4 灰度分布均匀程度检验

如前面所述,适合反演云迹风的示踪云,其灰度分布的表面起伏特征应该是较为明显的。但在海岸线附近的晴空区,由于地表和海表温差往往较大,海岸线两侧像元的灰度梯度也较大,这种情况也应该识别出来并剔除。另外如果初步选择的示踪云云量太少,即包含的晴空像元过多,由于为图像匹配提供的有效信息太少,即使少数像元附近的灰度梯度较大,也是不适合用来反演云迹风的。海岸线附近的晴空区或云量太少的准晴空

区,其显著特点是大多数像元的灰度分布是极其均匀的。我们可以用局地标准差表示灰度分布的均匀程度,即将初步选择的示踪云划分成 3×3 像素的小块,并计算出小块内9个像元灰度的标准差及其平均值。若某初选示踪云内超过75%的小块灰度的标准差小于一定阈值,则放弃作云迹风的反演。

以上是灰度分布均匀程度检验的第一步。另外高、中、低云共存的多层云,其灰度分布的表面起伏特征很明显,也是应该排除掉的。应当注意到,对每一层云而言,除了部分像素云像元外,其像元的灰度分布一般是比较均匀的^[17]。利用这个特点,我们可以将多层云识别出来并剔除掉。这是灰度分布均匀程度检验的第二步。具体做法如下:在通过梯度分析、积雨云检测以及前面灰度分布均匀程度检验的第一步的示踪云内,若前文所述的 3×3 像素的小块的标准差低于一定阈值,定义为均匀小块。对这些均匀小块进行灰度平均值和标准差的二维聚类分析,聚类方法采用基于试探的聚类搜索算法和动态K-均值算法^[12]。而那些标准差超过阈值、没有定义为均匀小块,其内的像元要么是部分像素云像元,要么是在云与表面的分界线上或两层云的分界线上的像元,故不参与聚类分析。每个初选示踪云最多允许2个聚类存在,其中1个聚类代表单层云,另1个聚类代表地表或海表。如果在2个聚类之外还存在超过20%的均匀小块,说明该示踪云内有多层云共存,对其放弃作云迹风的反演。

2 反演个例

选取中间时刻为2003年6月13日00时01分(世界时)连续3幅GOES-9静止气象卫星红外云图,利用上述算法选取示踪云,然后对示踪云运用红外亮温交叉相关技术进行追踪^[14],运用红外窗区和水汽吸收两个通

道卫星测值指定云迹风的高度^[4],运用时间连续性检验进行质量控制^[4]后得到的云迹风(图1,见彩页)。反演出的云迹风流场清晰地显示了锋面急流、渤海上空的低压环流及其南部槽线两侧的风切变、青藏高原东侧的切变线、热带东风波以及副高环流。利用本文所设计的示踪云选取技术选取的示踪云,追踪效果好,密度很高,能够清晰地反映天气系统的风场结构。将反演得到的 38.9°N 、 123.3°E 为中心的小区域的云迹风与对应区域的2003年6月13日00时的无线电探空风场进行比较(图2,见彩页),表明两者得到的流场是一致的。

3 结 论

在云迹风的反演中,反演风的位置并不一定要固定在反演网格的中心位置,相反地通过梯度分析的方法可以使反演风的位置得到优化,再通过一些检测和检验,剔除不适合用来反演的目标物。这种示踪云选取方法可使最终反演的云迹风质量好、密度高。

参考文献

- [1] 张守峰,王诗文. 在台风业务系统中使用卫星云导风资料的试验[J]. 气象,1999,25(8):22-25.
- [2] 周兵,徐海明,吴国雄,等. 云迹风资料同化对暴雨影响的数值模拟[J]. 气象学报,2002,60(3):309-316.
- [3] 黄彦彬,雷恒池,王振会,等. 卫星云迹风资料对中尺度数值模式初始风场改进试验[J]. 南京气象学院学报,2003,26(5):668-676.
- [4] Xu J., K. Holmlund, Q. Zhang, et al. Comparison of two schemes for derivation of atmospheric motion vectors[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(D14):ACL4-1-ACL4-15.
- [5] Holmlund K. Current Status of the EUMETSAT operational and future AMV extraction facilities[M]. Proceedings of the Sixth International Winds Workshop, Madison, Wisconsin, USA. Darmstadt, Germany: Published by EUMETSAT, 2002:45-52.

- [6] Wolf D. E., D. J. Hall, and R. M. Endlich. Experiments in automatic cloud tracking using SMS-GOES Data[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1977, 16: 1219-1230.
- [7] Endlich R. M., D. E. Wolf, and D. J. Hall, et al. Use of a pattern recognition technique for determining cloud motions from sequences of satellite photographs [J]. *J. Appl. Meteor.*, 1971, 10: 105-117.
- [8] Hayden C. M. and R. T. Merrill. Recent NESDIS research in wind estimation from geostationary satellite images[R]. *Proceedings of ECMWF Workshop on Data Assimilation and the Use of Satellite Data*, Reading, UK., 1988; 273-293.
- [9] Merrill R. T., W. P. Menzel, W. Baker, et al. A report on the recent demonstration of NOAA's upgraded capability to derive cloud motion satellite winds[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1991, 72: 372-376.
- [10] Nieman S. J., W. P. Menzel, C. M. Hayden, et al. Upgrades to the NOAA/NESDIS automated cloud-motion Vector System[M]. *Proceedings of the Eighth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., 1996; 1-4.
- [11] Nieman S. J., W. P. Menzel, C. M. Hayden, et al. Fully automated cloud-drift winds in NESDIS operations[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78: 1121-1133.
- [12] Schmetz J. and K. Holmlund. Operational cloud-motion winds from meteorological infrared images[J]. *J. Appl. Meteor.*, 1993, 32: 1206-1225.
- [13] Masami Tokuno. Operational system for extracting cloud motion and water vapour motion winds from GMS-5 image data. *Proc. Third Intl. Winds Workshop*, Ascona, Switzerland. Darmstadt, Germany; Published by EUMETSAT, 1996; 21-30.
- [14] 白洁, 王洪庆. GMS 卫星红外云图云迹风的反演[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 1997, 33(1): 85-92.
- [15] 董超华, 章国材. *气象卫星业务产品释用手册*[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 57pp.
- [16] Dew G., and K. Holmlund. Investigations of cross-correlation and Euclidean distance target matching techniques in the MPEF environment[M]. *Proc. Fifth Intl. Winds Workshop*, Lorne, Australia, Darmstadt, Germany; Published by EUMETSAT, 2000; 235-243.
- [17] Coakley J. and F. Bretherton. Cloud cover from high resolution scanner data; detecting and allowing for partially filled fields of view[J]. *J. Geophys. Res.*, 1982, 87(C7): 4917-4932.

杨文凯等：云迹风反演中高密度示踪云选取技术的研究

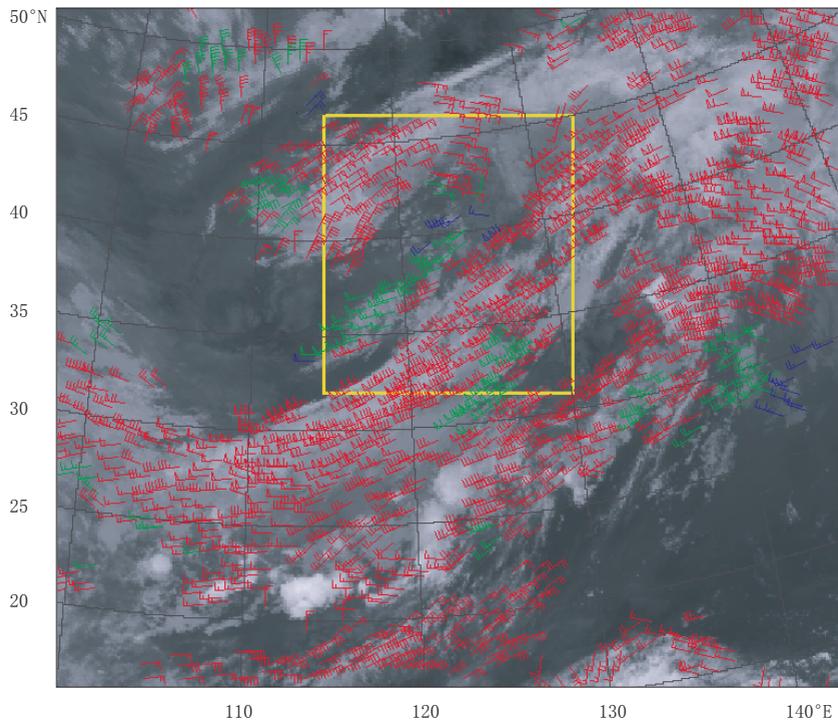


图1 反演得到的2003年6月13日00时01分的云迹风，黄色矩形区域为与探空风进行比较的区域（红色代表高层风，绿色代表中层风，蓝色代表低层风）

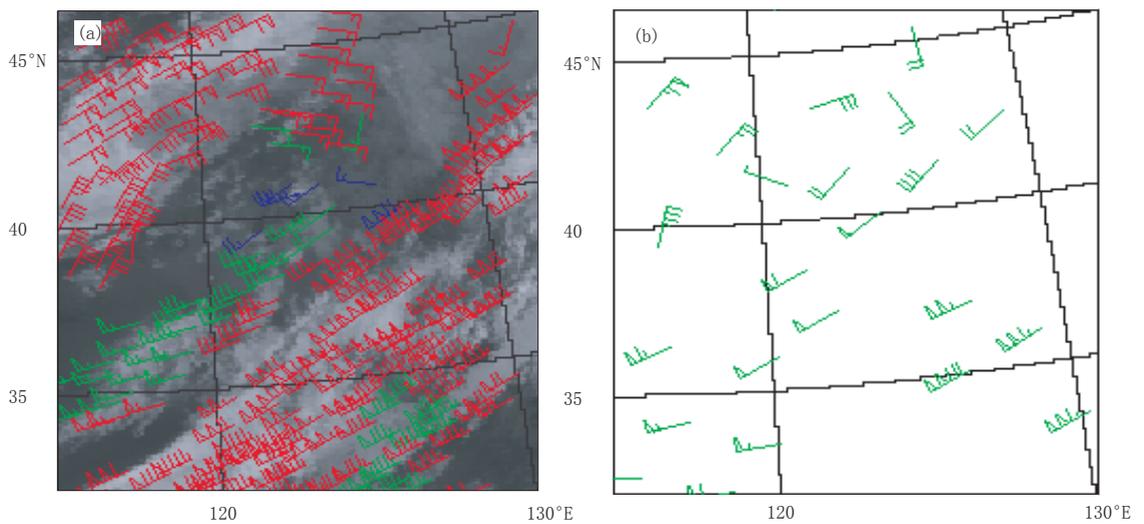


图2 反演得到的123.3°E、38.9°N为中心的小区域的云迹风(a)与对应区域的2003年6月13日00时的500hPa探空风(b)