

文章编号: 1007-4619(2007)04-0538-07

TCFM 导风技术介绍及其初步试验研究

朱 平^{1,2,3}, 王振会^{1,3}, 许建明³

(1. 江苏省气象灾害重点实验室(南京信息工程大学), 江苏 南京 210044; 2. 青海省气象台, 青海 西宁 810001;
3. 南京信息工程大学 遥感学院, 江苏 南京 210044)

摘 要: 本文提出新的导风技术 TCFM, 将最大相关法和傅里叶相位分析法相结合, 从而在最大相关法整数倍像素位移的基础上有效地计算出亚像素尺度位移分量, 提高示踪云追踪精度。本文介绍了 TCFM 概念和计算方法, 并分别利用模拟资料 and 实际云图进行了导风试验, 结果表明, TCFM 技术是有效的, 用 TCFM 技术导风要优于最大相关法, 并且对于高时间分辨率云图导风, TCFM 技术与傅里叶相位分析法的作用相当。因此, 在云迹风场计算中 TCFM 技术具有实际应用价值。

关键词: 云导风 (CMW); 最大相关法; 傅里叶相位分析法

中图分类号: P407 **文献标识码:** A

Introduction to TCFM Technique for Tracking Cloud and a Preliminary Experiment

ZHU Ping^{1,2,3}, WANG Zhen-hui^{1,3}, XU Jian-ming³

(1. KLME Nanjing University of Information and Science & Technology Jiangsu Nanjing 210044, China;
2. Qinghai Province Meteorological Station Qinghai Xining 810001, China;
3. School of Remote Sensing NUIST Jiangsu Nanjing 210044, China)

Abstract: The article suggests a new technique for tracking cloud with combination of Fourier phase analysis and maximum correlation (TCFM), to effectively compute component of sub-pixel movements and improve the precision of tracking clouds in integral times pixel movements of maximum correlation. The theoretical concept and arithmetic method of TCFM are introduced, and the experimental results from simulated and practical satellite images are included. It shows that TCFM is effective, the precision of tracking clouds has been improved over the maximum correlation only and that TCFM has the equivalent effect with Fourier phase analysis in tracking clouds of high temporal resolution satellite images. Therefore, there exists the potential applications of the TCFM method in Cloud Motion Wind calculations.

Key words: cloud motion wind; maximum correlation; fourier phase analysis

1 引 言

利用相关技术处理常规观测云图序列 (30m in 间隔) 计算云迹风, 在美国、日本、欧洲、澳大利亚等国家和地区已业务运行近 20 年, 云迹风产品已被证明对天气分析和预报, 尤其是对探测资料稀少的海

洋和沙漠地区的天气分析和预报有积极作用^[1-3]。对于追踪短生命期的云团, 比如快速发展的积云, 30m in 显然太长。云图时间间隔越短, 适合于计算云迹风的示踪云就越多, 就越能得到信息量大、质量高的云迹风场^[4]。Puidom^[5]对快速区域云图序列 (1m in 间隔) 的分析表明, 其云迹风有利于分析中尺度运动场。由于用相关法进行导风计算时, 目标云

收稿日期: 2006-05-22; 修订日期: 2006-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40475018); Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 朱 平 (1980—), 女, 硕士生。主要从事大气探测与遥感研究。E-mail: ping_xj@126.com.

块的位移是以整数倍像素为单位的,当云块的位移小于 1 个像素时会产生“亚像素尺度位移”问题^[5,6],影响导风效果。Campbell 和 Purdam 使用二次函数拟合相关匹配面,并由此估算相关系数峰值位置的解析解,从而减小该问题带来的导风误差^[5]。但是该方法在计算量很大的基础上进一步增加了计算量,而且曲面拟合本身属于最小二乘估计,该方法并不能给出相关系数峰值位置的真实值。为了加快相关系数计算、节省机时,Leese 等^[7]和 Xu^[8]等使用了快速傅里叶变换 FFT。

1997 年底,王振会在研究前人提出的“亚像素尺度位移”问题^[5,6]时,创新性地提出了傅里叶相位分析技术^[9],解决了“亚像素尺度位移”问题,并证明傅里叶相位分析技术更适用于 1min 间隔的快速区域云图导风,成为卫星导风技术上对传统的相关技术的一种补充。该方法不仅可以追踪位移小于 1 个像素的云块,获得云迹风矢,而且还可以同时获得速度谱及其方差^[10-13]。文献[11]分析了傅里叶相位法的适用条件,发现当云块位移大于两个像素单位时,计算过程中将出现相位重叠现象,计算的云块的相速度和真实速度不一致,分析认为对于时间间隔较长的云图序列,尤其是 30min 间隔的常规云图,傅里叶相位法则不适用。文献[12]分析一维傅里叶变换在云作二维运动时存在误差,给出二维傅里叶相位分析法导风的原理,用数值模拟试验验证二维傅里叶相位分析法的优点。文献[13]用二维傅里叶相位分析法导风反演 1min 间隔的快速区域扫描云图,有更多的云可作为导风跟踪云,如生命期较短的积云,处于消散阶段的云,能够计算出相关系数法不能准确计算的风场。

为充分利用云图资料来获得较高质量的云迹风产品,许健民等^[14]在云迹风高度指定上提出了行之有效的方法,并证明红外亮温可用来估计低云及密蔽高云的高度。实际上,云迹风矢量代表云图上指定模块的视运动,由于云块具有一定的厚度,其移动受云体所在范围内各高度上气流的控制,所以相同云顶高度的云迹风矢量也并不一定代表相同高度上的风向风速,因而云迹风代表高度的精确指定仍是目前难以解决的问题。陈华等^[15]用高度调整法进行云迹风高度的质量控制,运用流体流动在一定范围内存在空间连续性原理,计算各高度层上各云迹风矢量与周围风的一致性系数,能较为有效地把一些明显不合理的风调整到它应有的高度层次上。对于低层特别是 850hpa 上的风矢调整后有明显改进。

另外,在文献[13]中根据连续性原理还采用了风场随时间变化的质量控制,对两幅云迹风场相同点的风矢进行逐点比较,剔除相同点上风向或风速差别较大的风矢,所得风场也收到了较好效果。

本文将最大相关法(简称相关法)与傅里叶相位分析法(本文采用二维傅里叶相位分析法)相结合,提出新的导风技术 TCFM (Tracking Cloud with Combined Fourier Phase Analysis and Maximum Correlation)方法,即先通过相关法计算半小时间隔云图上云块的整数倍像素位移,再利用傅里叶相位法计算其亚像素尺度位移分量,以便提高云导风的反演精度。最后对所得云迹风矢使用了上述质量控制^[13,15],从而得到质量更高的云迹风场。

2 TCFM 导风方法介绍

如图 1 所示,假设云块仅发生平移运动, t_1 时刻云图上目标模块 A 至 t_2 时刻平移至 C 处。以 x 方向为例,模块 A 在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间间隔的位移可以描述为:

$$X = x_0 + x'$$

式中, x_0 代表整数倍像素位移分量, x' 为亚像素位移分量,即 $|x'| \leq 1$ 个像素尺度。

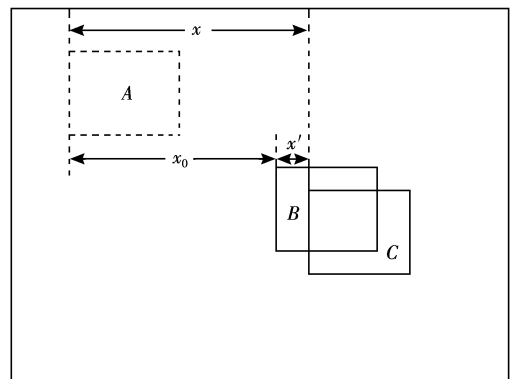


图 1 TCFM 导风方法示意图

A 为 t_1 时刻云图位置, B 和 C 分别为 t_2 时刻由相关法和 TCFM 方法计算得到的云图位置

Fig 1 Schematic diagram of TCFM

A is the cloud position at t_1 , B and C are the cloud position at t_2 , respectively, from maximum correlation and TCFM method

TCFM 方法将最大相关法和傅里叶相位分析法相结合,即首先利用相关法在第二幅云图的搜索区域内寻找目标模块 A 的匹配模块,得到模块 B。根据两者位置差异计算整数倍像素位移 x_0 。如果 A 模块和 B 模块完全匹配,则认为不存在亚像素位移,

云块在 x 方向的平移速度为 $V = x_0 / \Delta t$ 否则, 认为两个模块的差异由云块的亚像素位移产生, 可进一步利用傅里叶相位分析法对模块 A 和 B 进行频谱分析, 根据相位差计算亚像素位移 x' , 将 x_0 和 x' 合并后得到平移速度 $V = (x_0 + x') / \Delta t$ 同理可以计算 y 方向的平移速度。

3 模拟试验

3.1 试验方案

为了模拟云块移动, 在黑色背景下设计一个两重灰阶的椭圆形云块 (图 2), 内层为白色, 外层为灰色 (相当于是最简单的细胞状云), 大小 32×32 像素, 从 t_0 时刻开始, 该细胞状云不断平移, 共移动 8 个时间步长, 得到 9 幅图像。根据导风原理, 由其中任意两个时刻的云图即可计算云块位移, 因此, 将 t_0 时刻图像分别和 $t_1 \dots t_8$ 时刻图像组合, 采用相关法和 TCFM 方法计算细胞状云在 $t_1 \dots t_8$ 时刻相对 t_0 时刻的位移, 通过比较两种方法的计算结果检验 TCFM 导风技术的适用性。

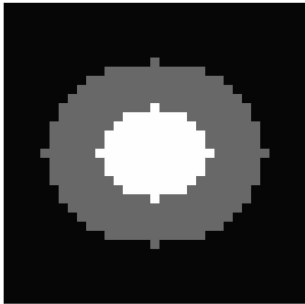


图 2 模拟试验中的椭圆形云区

Fig 2 The elliptic cloud cell used in simulation

设计四个试验。试验一、二、三按上述方案从 t_0 时刻开始。试验一: 细胞状云每个时间步长在 x 和 y 方向分别移动 0.5 个像素单位; 试验二: 细胞状云每个时间步长移动 0.6 个像素单位; 试验三: 细胞状云每个时间步长移动 0.1 个像素单位; 试验四: 细胞状云从试验一的 t_0 时刻 (移动了 0.5 个像素单位) 开始, 细胞状云的移动方式发生改变, 变成在 x 方向每个时间步长移动 0.3 个像素单位, 同时在 y 方向每个时间步长移动 0.4 个像素单位。

3.2 试验结果分析

试验结果如表 1 和图 3 所示。试验一中细胞状云每个步长平移 0.5 个像素, 以 x 方向为例, 由于相

表 1 相关法和 TCFM 法计算的各个时刻 x 方向细胞状云位移

Table 1 The x direction displacement computed by maximum correlation method and TCFM method

		真实位移	相关法 计算结果	TCFM 法 计算结果
试验一	t_1	0.5	1.0	0.5
	t_2	1.0	1.0	1.0
	t_3	1.5	2.0	1.5
	t_4	2.0	2.0	2.0
	t_5	2.5	3.0	2.5
	t_6	3.0	3.0	3.0
	t_7	3.5	4.0	3.5
	t_8	4.0	4.0	4.0
试验二	t_1	0.6	1.0	0.7
	t_2	1.2	1.0	1.1
	t_3	1.8	2.0	1.9
	t_4	2.4	2.0	2.3
	t_5	3.0	3.0	3.0
	t_6	3.6	4.0	3.7
	t_7	4.2	4.0	4.1
	t_8	4.8	5.0	4.8

关法的计算精度为整数倍像素单位, 因此它在 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 时刻计算的位移结果和真实值一致, TCFM 法亦得到相同的结果; 而在 t_5 , t_6 , t_7 时刻, 由于亚像素尺度位移的影响, 相关法的计算结果出现偏差, 而 TCFM 则进一步利用傅里叶相位法计算亚像素位移, 修正了相关法的计算偏差, 如 t_5 时刻, 椭圆真实位移、相关法结果、TCFM 方法计算结果分别为 1.5 个像素、2 个像素和 1.5 个像素, TCFM 方法修正了相关法计算结果中的亚像素偏差, 和真实值一致。 y 方向亦有相同的计算结果。

试验二中细胞状云每个时间步长平移 0.6 个像素单位 (表 1), 相关法的亚像素偏差更加明显, 且符合四舍五入原则, TCFM 方法的计算结果基本和真实值一致。

试验三中每个时间步长平移 0.1 个像素, 如图 3(c) 所示, 当云块真实位移小于 1 个像素单位时, 相关法的亚像素偏差十分清楚地体现了出来, 且其计算结果严格遵守四舍五入原则, TCFM 法与傅里叶相位分析法的计算结果基本一致, 并与真实值接近。因傅里叶相位分析法在云块位移小于 1 个像素单位时, 不会出现“亚像素尺度位移”问题, 更适用于 1 min 间隔的快速区域云图导风^[9], 又由于在 1 min 时间间隔内, 云图的移动距离一般都小于 1 个

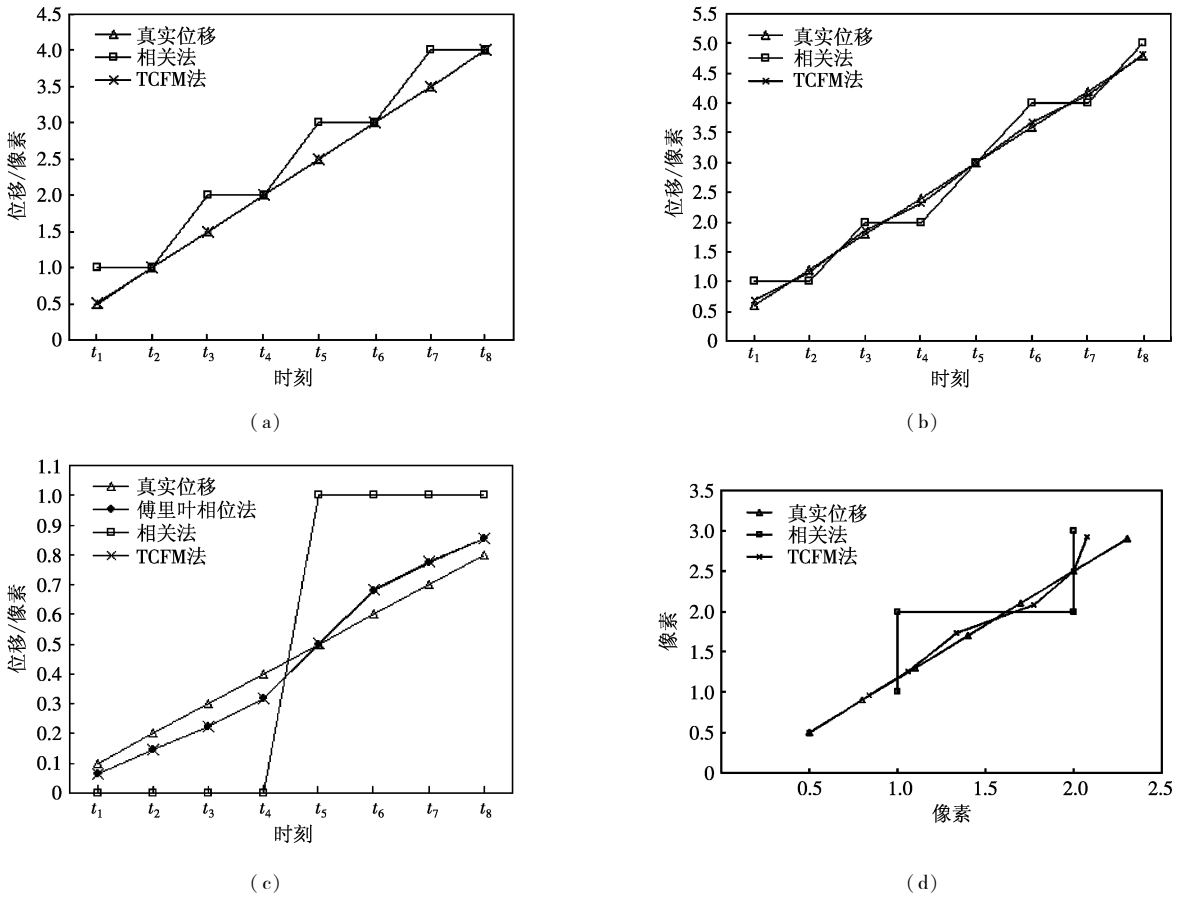


图 3 相关法和 TCFM 方法计算的各个时刻椭圆位移和真实值对比
(a) 试验一; (b) 试验二; (c) 试验三; (d) 试验四

Fig 3 Comparison of cloud cell movements from maximum correlation and TCFM method
(a) experiment I ; (b) experiment II ; (c) experiment III ; (d) experiment IV

像素,所以该实验说明:对于 1min 间隔云图,即快速区域云图,TCFM 法仍然适用。

试验四是细胞状云做二维运动的折线散点图,如图 3(d)所示,图中折线上数据点从左到右依次对应 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$ 时刻。从图中可以看出,TCFM 的移动路径比相关法的移动路径明显接近细胞状云移动的真实路径,且相关法找到的细胞状云的位置明显比 TCFM 法找到的位置少,TCFM 法找到的位置与真实位置接近或重合,TCFM 计算得的细胞状云位置和细胞状云的真实位置都是 7 处,而相关法所得位置只有 4 处,这说明用 TCFM 法导风所得风矢位置个数应该不少于用相关法所得风矢位置个数;在同一时刻两种方法所得细胞状云的位置重合或位置差异在 1 个像素单位的范围内,这说明用 TCFM 法导风所得风矢位置与相关法所得位置应该相同或相隔距离应小于 1 个像素单位。相关法的计算结果仍然符合四舍五入的原则,由于细胞状云

做二维运动,相关法所得位移与真实位移的偏差同时在 x, y 方向累加,比细胞状云做一维运动的偏差就更大了;TCFM 法的计算结果则是在 x, y 方向同时修正了亚像素位移影响。所以细胞状云做二维运动时,TCFM 的修正相关法的亚像素影响的起作用体现得更好。

模拟试验结果表明,TCFM 方法能够有效地修正相关法导风计算中的亚像素偏差,具有实际应用价值。

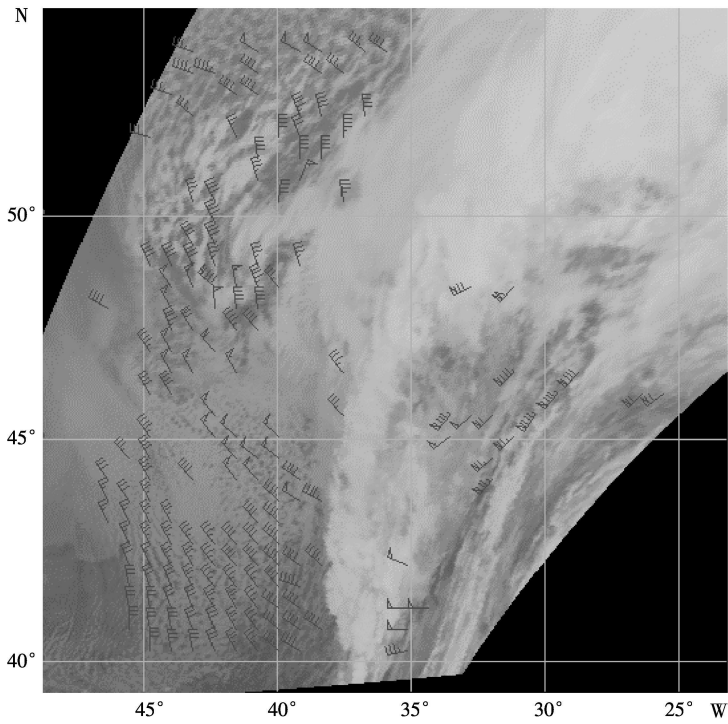
4 TCFM 技术卫星云图导风个案

下面进一步将两种方法应用于实际云图导风试验,比较其风场计算结果。

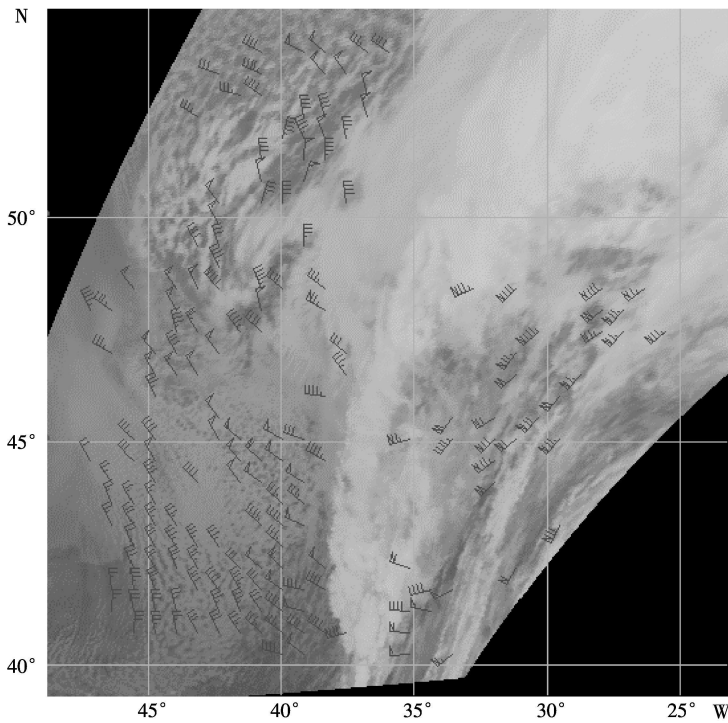
采用 30min 间隔的 GOES-8 红外墨卡托投影云图,观测范围 $37^{\circ} \sim 57^{\circ} \text{N}, 23^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{W}$,云图尺度 512×512 像素,云图的经向分辨率 $4100 \text{m}/\text{pix}$ 云图的纬

向分辨率 $4000\text{m}/\text{pix}$ 三幅云图的时次分别为 14:15:15GMT、14:45:13GMT 和 15:15:15GMT。利

用两种方法对三幅云图进行导风计算,并对云迹风场进行质量控制^[13,15]后,如图 4所示。两种方法计



(a)



(b)

图 4 GOES-8 卫星 1997 年 2 月 5 日 14:45:13 IR 云图经过质量控制的低层云迹风场

(a) 相关法; (b) TCFM 方法计算的低层风场

Fig 4 The low-level Cloud Motion Wind after quality control based on GOES-8 IR images around 14:45:13 GMT on Feb 5, 1997

(a) maximum correlation method; (b) TCFM method

算的低层风场结构基本一致。对云导风结果的检验,通常将其和探空资料进行对比。但常规探空资料不仅空间分布稀疏,而且难以和卫星的观测时间一致,最重要的是由于流动的复杂性和多变性,常规探空风资料并不是完全可靠的,因此,本例导风结果的检验在客观上存在困难。但是可以看见图中锋面云带北边界的西南风,云带后面的低空西北风,气旋中心附近的涡旋风场,它们都代表了中纬度涡旋云系的典型风场特征,故导风结果基本合理。

TCFM 方法是在最大相关法的基础上修正其亚像素偏差,对于 30m in 间隔纬向分辨率为 4km 像素分辨率的云图,两种方法在南北方向的风速差异(由亚像素位移产生的速度)绝对值在理论上应小于 $4000\text{m}/1800\text{s}=2.22\text{m/s}$ 故将 TCFM 和相关法计算的风场结果进行点对点统计,样本数为 135,计算平均风速差异,发现在南北方向分别为 1.71m/s 、 1.65m/s 的确都小于 2.22m/s 即云块南北方向的位移,对于用相关法算得的每 1 个像素单位而言,用 TCFM 法则修正了 $1.71/2.22=0.77$ 、 $1.65/2.22=0.74$ 个像素单位。用两种方法算得云迹风矢的平均风向偏差是 4.9° 。

还采用 20m in、10m in 以及 1m in 间隔的云图进行了导风实验,其结果同样符合理论预期。两种方法导风所得风矢的比较如表 2(低层风场统计简表)所示,Interval 表示时间间隔,Time 表示时次,NE 表示相关法的所得风矢个数,NM 表示 TCFM 法所得风矢个数,ND 表示点对点(相同位置都有风矢的位置)风矢个数, ΔU 、 ΔV 分别表示 x 方向和 y 方向的风速绝对差别平均值, ue 、 ve 分别表示在 x 方向和 y 方向两种方法的风速差异理论值, ΔDR 表示两种方法所得风矢方向的绝对差别平均值。

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^{ND} ||ue_i| - |ut_i||}{ND}$$

式中, ue 表示相关法所得风矢在 x 方向的风速, ut 表示 TCFM 法所得风矢在 x 方向的风速, i 表示点对点风矢的序号, ΔV 的计算式同理。

$$\Delta DR = \frac{\sum_{i=1}^{ND} ||de_i| - |dt_i||}{ND}$$

式中, de 表示相关法所得风矢的风向, dt 表示 TCFM 法所得风矢的风向, i 表示点对点风矢的序号。

由表 2 可以看出 TCFM 法所得风矢个数多于单独使用相关法所得风矢个数,这符合理论结果

表 2 低层风场统计简表

Table 2 The summary statistics of the low layer cloud motion winds

Interval	30m in	20m in	10m in
Time	14:15:15GMT	13:55:13GMT	14:35:12GMT
NE	168	118	167
NM	173	162	179
ND	135	98	122
$\Delta U:ue$	1.71:2.28	2.60:3.41	4.40:6.82
$\Delta V:ve$	1.65:2.22	1.86:3.34	4.24:6.66
ΔDR	4.9°	5.0°	6.8°

(上述模拟试验四已证明)。两种方法所得风场的平均风向偏差不大,且风向及风速的偏差值与云图时间间隔大致成反比。表明云图时间间隔越短,云块的发展变化越快,则风向、风速的变化就越大,因而亚像素位移的影响越大;时间间隔越长,云块的发展变化越缓慢,则风向风速的差别越小,亚像素位移的影响就越小。故在理论上,由 TCFM 法计算的风向风速都是合理的。由于大气运动的复杂性以及这些差别的存在,证明相关法无论对于快速区域云图还是常规云图导风都会存在“亚像素位移”问题,因此 TCFM 法的亚像素尺度修正在此得到充分体现。

5 结论及问题

本文将相关法和傅里叶相位分析法两种导风技术相结合,提出了新的云导风技术 TCFM,即首先利用相关法计算云块的整数倍像素位移,再利用傅里叶相位法计算亚像素偏差位移分量,从而得到云块的实际位移。模拟试验和导风个例表明,该方法能在最大相关法整数倍像素位移的基础上进行亚像素尺度修正,进一步提高示踪云追踪精度。基于此方法和 GOES 卫星 30、20 和 10m in 以及 1m in 间隔云图资料 (512×512 像素)进行的云导风实际反演计算,统计分析表明此方法是适用的。该方法用于 1m in 间隔云图导风反演,还证明对于高时间分辨率云图导风,TCFM 法与傅里叶相位分析法的作用相当,同样适用。

目前存在的问题是:尽管已用高度调整法对定错误的云迹风矢进行了调整,使调整后的风场有明显改进,但云高的精确指定仍是目前难以解决的问题。

题^[15],以至于风场的分层质量受到一定影响;前面已证明用相关法导风存在“亚像素位移”问题,使其导出的云迹风矢与用 TCFM 法的风矢在数量和风速、风向上相比,不但不同而且不准确。因为在高度调整法以及风场随时间变化的质量控制中,是根据风向、风速和风矢密度参与质量控制的^[13, 15],因此,用相关法计算的风矢经质量控制后也会出现少数风矢分层错误的问题,使得在某一层上相关法没有出现的风矢而 TCFM 法却出现了风速比较大的情况,从而影响两种方法的对比。说明“亚像素位移”问题因影响风矢的风速大小、风向及风矢密度,而影响质量控制从而影响云高精度,因此最终也影响风场质量。

参 考 文 献 (References)

- [1] Schmets J, Holmlund K, Hoffman J et al. Operational Cloud Motion Winds from Meteosat Infrared Images [J]. *J Appl Meteor*, 1993, **32**(7): 1206–1225.
- [2] Kidder S Q, Vonder Haar T H. *Satellite Meteorology: An Introduction* [M]. New York: Academic Press, 1995.
- [3] Tomassini M, Kelly G, Saunders R. Use and Impact of Satellite Atmospheric Motion Winds on ECMWF Analyses and Forecasts [R]. Eumetsat/Ecmwf Research Report No. 6, 1997.
- [4] Shenk W E. Suggestion for Improving the Derivation of Winds from Geosynchronous Satellites [A]. Proc to the Workshop on Wind Extraction from Operational Meteorological Satellite Data [C]. In Washington D. C., 17–19 Sept 1991.
- [5] Purdan J F W. Detailed Cloud Motions from Satellite Imagery Taken at Thirty Second, One and Three Minute Intervals [A]. Proc to the 3rd International Wind Workshop in Ascona [C]. Switzerland, 10–12 June 1996.
- [6] Wang Z H, Browning K A, Kelly G A. Verification of the Tracking Technique Used in an Experimental Cloud Motion Wind Inferring System [R]. Joint Center for Mesoscale Meteorology, University of Reading, JCMM Report, 1997, **78**, 1–24.
- [7] Leese J A, Novak C S, Clark B B. An Automated Technique for Obtaining Cloud Motion from Geosynchronous Satellite Data Using Cross Correlation [J]. *J Appl Met*, 1971, **10**: 118–132.
- [8] Xu J M, Zhang Q S. Calculation of Cloud Motion Wind with GMS-5 Images in China [A]. Proceedings to the 3rd International Wind Workshop in Ascona, Switzerland [C]. 10–12 June 1996.
- [9] Wang Z H, Zhou J. A Preliminary Study of Fourier Series Analysis for Cloud Tracking with GOES High Temporal Resolution Images [J]. *Acta Meteor Sinica*, 2000, **14**(1): 82–94.
- [10] Wang Z H, Xu J M, Kelly G A. Deriving Cloud Motion Vectors from High Temporal Resolution Images Based on Fourier Phase Analysis Technique [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2004, **24**(1): 9–15. [王振会, 许建明, Kelly G A. 基于傅里叶相位分析的卫星云图导风技术 [J]. *气象科学*, 2004, **24**(1): 9–15.]
- [11] Xu J M, Wang Z H. The Application Condition of Fourier Analysis Technique and the Analysis of Phase Overlap [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2004, **24**(3): 312–313. [许建明, 王振会. 傅里叶相位分析导风技术的适用范围和相位重叠分析 [J]. *气象科学*, 2004, **24**(3): 312–313.]
- [12] Sun L, Wang Z H, Xu J M. A Numerical Simulation Study on the 2-D Fourier Phase Analysis Technique for Cloud Motion Winds [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2004, **27**(2): 211–216. [孙林, 王振会, 许建明. 卫星导风的二维傅里叶相位分析技术初步研究 [J]. *南京气象学院报*, 2004, **27**(2): 211–216.]
- [13] Zhang H, Wang Z H, Xu J M. An Experiment to Derive Cloud Motion Vectors from Satellite Images with 2-D Fourier Phase Analysis Technique [J]. *Plateau Meteorology*, 2006, **25**(1): 106–108. [张红, 王振会, 许建明. 利用静止卫星云图进行二维傅里叶相位导风实验 [J]. *高原气象*, 2006, **25**(1): 106–108.]
- [14] Xu J M, Zhang Q S, Fang X. Height Assignment of Cloud Motion Winds with Infrared and Water Vapour Channels [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, **55**(4): 408–417. [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高度 [J]. *气象学报*, 1997, **55**(4): 408–417.]
- [15] Chen H, Xu J M, Zhang Q S et al. The Quality Controlling of Cloud Winds Using Height Updating [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 1999, **19**(1): 20–25. [陈华, 许健民, 张其松等. 用高度调整法进行云迹风高度的质量控制 [J]. *气象科学*, 1999, **19**(1): 20–25.]