

流线客观分析的一种方法

张德祥

(国家气象中心,北京,100081)

提 要

提出一种以搜寻正方形网格边上之流线值点为计算函数的流线客观分析方法。该方法简便易行,计算量小。用此方法分析的流线图,同日常预报业务中手工分析的流线图基本一致。

一、概 述

与等值线客观分析相比较,流线客观分析的难度是相当大的。欧美、澳大利亚等国早已发展了这一技术,并投入实时业务应用。近年来,日本也已发布热带地区流线客观分析预报图。我国起步稍晚,1987年魏敬伟等^[1]研制了北京地区地面流线的客观分析方法,应用旋函数作为处理奇点的判别方法,收到了一定成效。

在中央气象台海洋气象导航业务中,使用的全球中、低纬度各个海域的流线图采用搜寻流线值点方法,实现了流线客观分析。经两年来的业务运转,取得了较为满意的气象导航服务效果和船舶航行效益。

二、数据网格化处理

海洋气象导航实时业务流线图分析的区域包括全球范围及全球各个区域。绘制流线图资料由两个途径获得:

1. 气象站、气象卫星和飞机探测等提供的各层次测风报告。
2. 各数值预报中心发布的标准等压面上的风矢量数值预报产品。

本文提出的流线客观分析方法,一般要将上述两方面的风矢量数据作正方形网格点场风矢量转换,以实现从网格点场的每个正方形边上搜寻每条流线的流线值点,并将这些搜寻到的流线值点连接、平滑,最后绘制成光滑的流线曲线。

对于气象站以及其它手段获得的离散型风矢量数据,在正方形网格划定之后,一般采用距离最近网格点加权插值公式:

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i^2} Z_i / \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i^2}$$

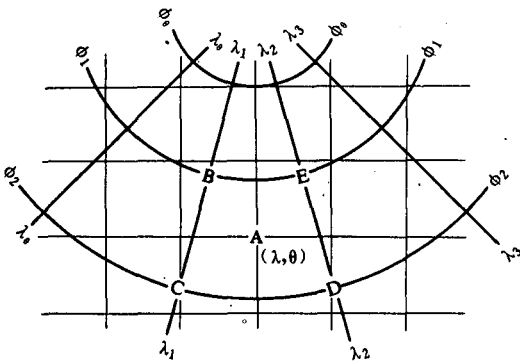


图 1 经纬度坐标转换成正方形网格坐标

用粗实线组成的经纬度格点网中四个格点所包围。例如要得到正方形网格场 A 点的风矢量 W_A 值,包围 A 点的四个经纬度网格点就是 B, C, D, E ,相应的风矢量就是 W_B, W_C, W_D, W_E ,可用下式^①

$$W_A = (\lambda - \lambda_2)(\varphi - \varphi_2)W_B - (\lambda - \lambda_1)(\varphi - \varphi_2)W_C \\ + (\lambda - \lambda_1)(\varphi - \varphi_1)W_D - (\lambda - \lambda_2)(\varphi - \varphi_1)W_E$$

得到正方形网格 A 点上的风矢量数据 u_A 或 v_A 分量,然后按向量合成法合成得到 A 点上的风矢量值。式中经度 λ 、纬度 φ 的值不以度表示,而是以数组序号代替。

三、流线分析计算方法的设计

流场是以流线形式表示空气流动瞬时变化的矢量场。分析流线图时,要保证流线处处与实测风的风向杆相切。在设计方案时,要突出实时业务快、准的特点,采用简单实用的方法。

1. 流线值点方向的确定

在作等值线客观分析时,要建立一个正方形网格点场。当一条等值线从一个正方形边进入另一个正方形边时,应从正方形其余三个边中寻找出口等值点^[2]。在分析流线走向时,则是根据流线从一条边进入正方形时,流线与正方形该边所形成的夹角来确定流线出口等值点在正方形其余三条边中的哪条边。定义流线在正方形边上的交点为流线值点。以正方形网格点场中的正方形 $abcd$ (图 2)作为讨论起点,取 ab 边上任意一点 $e(x_0, y_0)$ 作为某条流线的流线值点, ab 边两端点的坐标分别是 $a(x_1, y_1), b(x_2, y_1)$, A, B 分别表示 a, b 点的风矢量, θ, ϕ 表示 a, b 点的风向角度, M 和 N 表示 A, B 矢量的模,则风矢量 A, B 分别按 x, y 轴分解后的 u, v 分量表示为:

① 这个公式是中国气象科学研究院张光智先生提供的。

$$A = (u_A, v_A) = (M\cos\theta, M\sin\theta)$$

$$B = (u_B, v_B) = (N\cos\phi, N\sin\phi)$$

设

$$l = x_1 - x_0 \quad k = x_0 - x_2$$

根据上述表达式得到流线值点 e 的风矢量 E 的表达式为:

$$\begin{aligned} E = (u_E, v_E) &= kA + lB \\ &= (kM\cos\theta + lN\cos\phi, kM\sin\theta + lN\sin\phi) \end{aligned}$$

E 在 X 轴上的方向余弦为

$$\cos\hat{A}B = (kM\cos\theta + lN\cos\phi) / [(kM\cos\theta + lN\cos\phi)^2 + (kM\sin\theta + lN\sin\phi)^2]^{\frac{1}{2}}$$

于是, 流线值点 e 的风向角度为:

$$\hat{A}B = \arccos \frac{kM\cos\theta + lN\cos\phi}{\sqrt{(kM)^2 + (lN)^2 + 2klMN\cos(\theta - \phi)}} \quad (1)$$

根据(1)式得到的风向指向求流线下一个流线值点, 即流线在正方形中的出口点。

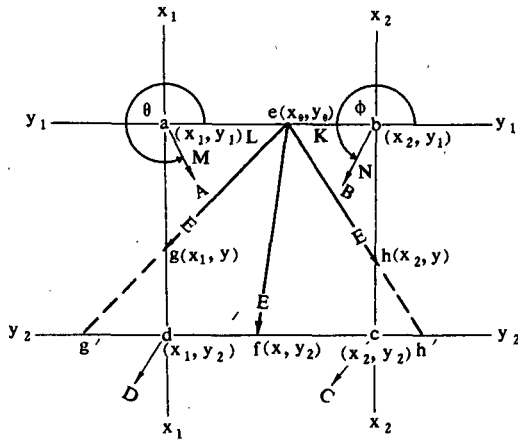


图2 在正方形网格边上求流线值点

2. 流线行进中下个流线值点的位置

求出流线进入某正方形时流线值点 e 的风向, e 点的风矢量也随之确定。由图2可知, 当 $\pi \leq \hat{A}B \leq 2\pi$ 时, 流线伸入正方形 $abcd$ 内部, 如果不考虑正方形 $abcd$ 四角风矢量 A, B, C, D 引起的 $\hat{A}B$ 在正方形内部的变化, 那么风矢量 E 必定指向正方形其它三条边中的某一条边, 并产生一个流线值点。设这个流线值点的坐标为 (x, y) , 则有:

$$y - y_0 = (x - x_0)\text{tg}\hat{A}B \quad (2)$$

从 e 点向前伸展的流线, 先不考虑列坐标变化如何, 在 y_2 线上都能找到流线值点, 其行坐标即

$$y = y_2$$

代入式(2)得:

$$x = (y_2 - y_0) / \text{tg}\hat{A}B + x_0 \quad (3)$$

解式(3)确定 x 值, 就可以判定流线出口值点的位置。下面讨论由于 x 值区间的变化产生

的 4 种结局:

(1) 若 $x < x_1$, e 点的风矢量 E 指向 y_2 上的 g' 点, 由图 2 可知它截于正方形 da 边上的 g 点。 g 点即流线在正方形上的出口值点, g 点的列坐标显然就是 x_1 , 代入式(2)就可求出 g 点的行坐标:

$$y = y_0 + (x_1 - x_0) \text{tg} \hat{A}B \tag{4}$$

(2) 若 $x_1 < x < x_2$, e 点的风矢量 E 直接指向正方形的对边 f 点。 f 点就是流线出口值点, f 点的行坐标显然就是 y_2 , 直接用式(3)计算出 f 点的列坐标 x 值。

(3) 若 $x > x_2$, e 点的风矢量 E 指向 y_2 上的 h' 点, 截于正方形 bc 边上的 h 点。 h 点就是流线在正方形上的出口值点, 其列坐标就是 x_2 , 将 x_2 代入式(2), 就可求出 h 点的行坐标:

$$y = y_0 + (x_2 - x_0) \text{tg} \hat{A}B \tag{5}$$

(4) 若 $x = x_1$ 或 $x = x_2$, 风矢量 E 正好指向正方形的 c 角或 d 角, 此时流线出口值点的坐标不是 c 角的坐标就是 d 角的坐标。

当流线出口值点确定之后, 流线就要从当前的正方形转向一个新的正方形(也可能返回原正方形), 流线出口值点将作为入口流线值点出现, 这时还要用上述 5 个公式求入口点的风矢量、风向角度及下一个流线值点(出口点)。值得注意的是: 由于流线入口值点的改变(正方形边的改变), x, y 轴将会发生坐标旋转。因此, 上述 5 个公式也要作相应的坐标变换。

3. 对正方形再分割以增强表征矢量的旋转性

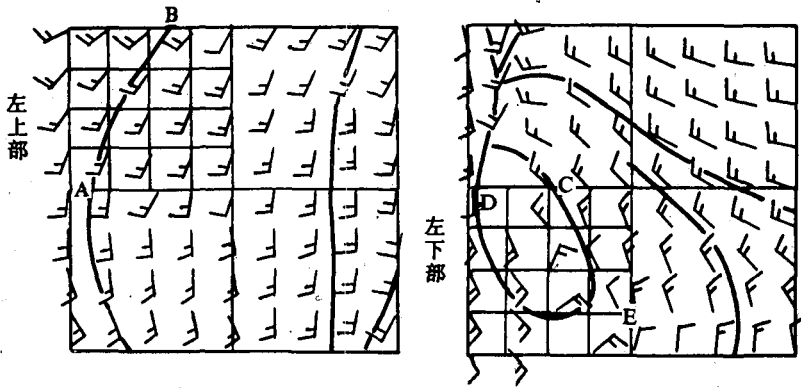


图 3 正方形细网格插图

如果直接在网格点风矢量场上进行流线客观分析, 不管网格步长选取多么合适, 其效果肯定不会理想。这是因为前面给出的计算公式只考虑了正方形一个边两端点的风矢量, 忽略了正方形另外两个风矢量。图 3 为程序调试过程中, 从屏幕上输出的一幅流线图的一部分(未经平滑)。从图 3 左上部的正方形风矢量分布看到, 流线从该正方形底边 A 点进入正方形之后, 因为正方形四个角点的风向无多大差异, 所以流线很顺利地到达对边 B 点。但图 3 左下部的正方形四角点的风向差异很大, 如果按上述计算方法, 流线必然从正方形上的 C 点出发, 从 E 点出去。当我们把这个正方形进行 4×4 再分割之后, 再用上述的计算方法跟踪风矢量进行流线分析, 就会发现在这个正方形中有一个反气旋涡旋环流存在, 从

而避免了流线分析的失误。纵观图3的流线分析,可以认为对正方形再分割,可以增加表征矢量的旋转性。

我们进行流线客观分析的主导思想是以模仿预报员手工分析流线方式为基础,分析流线按风矢量顺其自然地跟踪风的去向画线,不强调硬性分型,特别是对正方形再分割后,增强了表征矢量的旋转性。因此,保证了客观分析的流线更接近于预报员的手工分析。

四、流线客观分析实施中的几个问题

1. 更替式逐步分割网格点场正方形

选择适当的网格步长,对流线客观分析的效果十分重要。采用更替式逐步分割网格点场正方形的方法,可以作到节省计算机内存,又不失流线分析中流线的旋转特性。具体做法是:当一条流线由一个正方形进入到一个新的正方形时,立即对这个新正方形进行小正方形网格分割,并在这个小正方形网格中搜寻流线值点。一旦完成当前正方形内流线分析,向前进入到另一个正方形时,原有正方形分割小正方形网格时所占的内存缓冲区立即被吊销,腾出来的区间将被用作新抵达的正方形分割小正方形网格的内存缓冲区。如此反复,直到一条流线分析完毕为止。经过反复调整行、列分割系数证明,把格点场中的正方形分割成 4×4 小块是适宜的,这样作的结果,保证了流线旋转特性、不丢失系统、计算及出图时间适中,分析的流线光滑美观。

2. 流线客观分析中“标记”的作用

在流线客观分析过程中,常常出现以下现象:(1)在已经分析过流线的地方,有可能再次被重画流线;(2)在奇异线、渐近线区域,有可能出现流线与流线交叉;(3)流线分析到气旋性涡旋旋转时,有时会无休止地旋转下去。

为了杜绝上述现象发生,在程序中设立“标记”数组,把画过流线的地方留一“标记”,当一条流线分析到注有“标记”的地方,或一条流线发生气旋性无限循环时,避开这个地点,或在这个地点停顿下来。“标记”数组最好定义为字符串或16进制数型。 4×4 小网格分割为“标记”数组提供了方便。如图3左上部那个正方形块,分割成 4×4 小块之后,有流线通过的小正方形置“1”,设有流线通过的置“0”。“标记”数组的另一个作用是从网格点场边框开始寻找流线起点位置,经过四周寻找起始点画线之后,网格点场内必然要留下一些未画过流线的空白区域,这时可对“标记”数组进行扫描,规定空白区域行列幅度的范围和补画流线的规则,以完成全图面流线分析。

五、与手工分析流线图的对比

图4给出热带地区流线客观分析与手工分析图例,通过对比可以看出:

1. 手工分析能够确定的气旋及反气旋涡旋,在客观分析的图上,一般都能够准确地表示出来,这表明客观分析可以做到不遗漏重要天气系统。

2. 手工分析灵活性大、想像丰富。如图4中,在 20° — 25° N, 170° — 175° E 区间,手工分析出了一个辐合涡旋流场,并在该涡旋流场东西两端,还分析出了两个变形场;在 10° —

15°S, 170°—175°E 区间, 也分析了一个反气旋中心。但在客观分析图上, 前者表现为一个切变辐合带, 后者分析成一脊区。从风场的分布配合上看, 客观分析较为严谨, 但灵活性不如手工分析。

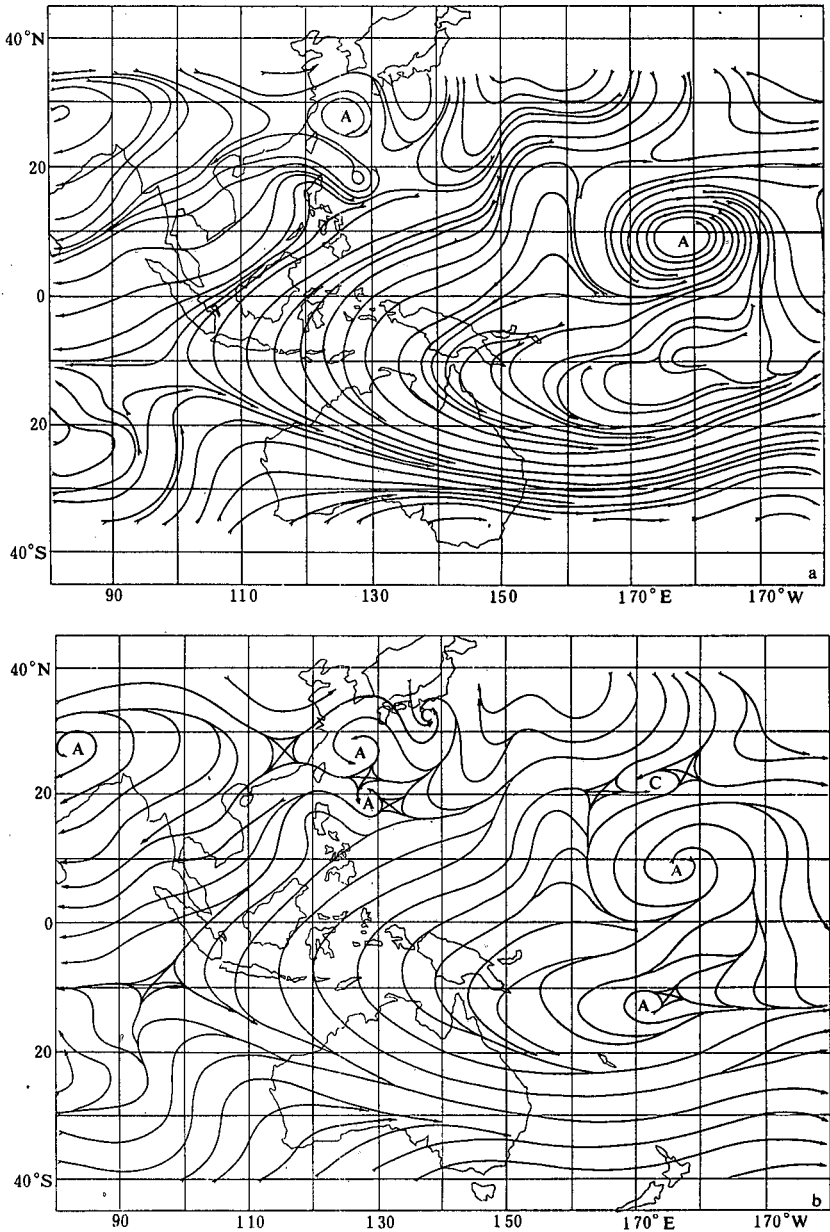


图 4 1990 年 9 月 2 日 (北京时) 200hPa 流线客观分析(a)与手工分析(b)图例。

3. 手工分析能画出变形场上的交叉流线, 客观分析暂时还作不到。

4. 手工分析流线时, 记录判断取舍灵活, 线条分布均匀, 具有艺术感; 而客观分析的流线, 严格按风矢量走线, 很难做到像手工分析的线条那样匀称。

流线客观分析与手工分析虽然存在上述差异,但分析质量是可靠的,两者基本一致。业务运行两年多来,已得到从事热带地区流线分析预报员的认可和赞赏。

参 考 文 献

- [1] 魏敬伟等,区域地面流线的计算机绘制,气象,13,6,1987。
[2] 张德祥,气象要素数据网格化等值线自动化分析的一种方案,气象,14,11,1988。

AN ALGORITHM FOR OBJECTIVE ANALYSIS OF STREAMLINE

Zhang Dexiang

(National Meteorological Center, SMA, Beijing, 100081)

Abstract

A simple and practical algorithm for objective analysis of streamline is given. The principle of the algorithm is to adopt a set of functions as wind vector tracer. The realization of the algorithm is discussed in detail. The result of objective analysis agrees basically with that of subjective one, although there are still a few discrepancies. This result is recognized by tropical weather forecasters.