

# 一种等压面上流场的可视化方法

李 妍, 黄 峰, 陈 希, 沙文钰

(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

**摘要:** 结合等压面上高度场及其气象要素矢量场数据的空间分布特征, 设计了一种能客观反映大气在等压面上的运动规律的可视化方法——表面场线映射, 它在气象上有较好的实用价值。

**关键词:** 等压面, 气象要素, 矢量场, 表面场线

**中图分类号:** P409 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0286-05

众所周知, 等压面上的流场分布图能很好地表明冷、暖空气的活动状况以及冷、暖空气的源和汇。其中源和汇分别代表了空气辐散、辐合的强中心区域, 也就是空气垂直运动最为明显的区域, 利用它可以更加清楚地认识大气的运动状况及其演变过程。当前, 气象上常用的流场分布图是把等压面展成一个平面, 即相当于把等压面作了正投影变换, 使它成为一个平面, 其上分布的流场则为一个二维平面场, 随高度不变。这种处理方法的特点是: 在气压场分布梯度较小(等压面比较平缓)时, 能比较客观地反映出大气在等压面上的真实运动状况, 而对于处理气压场梯度比较大的天气系统时, 比如大尺度的台风、副热带高压及其中高纬的阻塞高压在等压面上的流场结构以及小尺度的龙卷、低涡等的流场结构就有很大的歪曲(因为这些系统的气压场水平梯度很大)。这样就不能很好地反映出流场随着高度场的改变而变化的情况, 就不能达到逼真客观的效果。本文就是基于以上的想法, 用表面曲线映射<sup>[1]</sup>的方法对等压面上的流场进行可视化, 即流场是分布在等压面上的, 则生成的流线也应该在该曲面上, 这样就能够很好地反映出流场在真实等压面上的分布情况, 更加客观地表现出大气在等压面上活动的状况以及空气的上升和下沉运动。因此无论从反映气象要素场本身的物理意义上看, 还是它在气象上的实用价值上看, 对常规流场的可视化方法进行改进是十分必要的。

## 1 对常规等压面流场图绘制方法进行改进的物理基础

气象上常用的流场数据是分布在等压面上的。众所周知, 等压面并不是一个平面, 即所给的数据为:  $u(x, y, p_k), v(x, y, p_k)$ , 当  $k$  相同时, 意味着所给的数据在同一等压面上, 其代表的真实物理含义是反映同一等压面上的流场分布情况, 而不是在同一高度上的分布。常规的绘制方法却没有考虑这一情况, 只简单地把它处理成在同一平面上的分布, 这样就没有很好地反映出气象要素场在等压面上的空间分布特征, 歪曲了数据本身所包含的物理信息, 这对于人们

理解大气在等压面上真实空间运动状况有很大障碍(从后面的图例分析可以看出),对它进行改进,利用表面场线的方法则能很好地解决这一问题。

## 2 数学模型的建立及解法

### 2.1 模型建立的思想

常规流场图绘制时建立的数学模型为

$$l \times V = 0. \quad (1)$$

其中  $l$  为流线上的矢量微元,因为常规的方法把等压面看作是一个平面,在垂直方向上没有变化。这样在流线矢量元的表达式中就没有  $z$  方向的微元变化,即

$$l = xi + yj, \quad (2)$$

$$V = ui + vj. \quad (3)$$

它就是常规的可视化流场绘制模型,而在实际使用中,使用者应当具有空间想像力,把由这种方法绘制的图形理解为位于同一等压面上的流场分布图。这样使得气象人员对图形物理含义的理解及其应用都具有一定的难度,缺乏客观性。正如前面所述,等压面并不是一个平面而是一个高低起伏的曲面,所以本文建立的模型方程为(1)式,但其中

$$l = xi + yj + zk, \quad (4)$$

$$V = ui + vj + wk. \quad (5)$$

且  $u, v, w$  是  $x, y, z$  的函数。因为  $u, v, w$  是位于同一等压面上,则高度  $z$  为  $x, y$  的函数,即  $z = f(x, y)$ 。这就说明  $z$  是一个因变量,是  $x, y$  的函数,而  $x, y$  才是两个独立变量。综上所述,在建立数学模型时,由三维空间转换到二维空间,即只有  $x, y$  两个变量,  $z$  可以由  $x, y$  来确定。 $z$  的确定方法后面加以介绍。

### 2.2 数学模型的建立及其解法

由(1)、(4)、(5)式可以得出

$$x/u = y/v = k. \quad (6)$$

上式由两个独立方程组成,即

$$\begin{cases} x/u = k; \\ y/v = k. \end{cases} \quad (7)$$

关于方程(7)及  $k$  的具体解法详见文献[2]。

## 3 等压面流场可视化的实现

### 3.1 等压面的绘制

等压面的可视化成功与否直接关系着其流场的可视化,因此为了更好地表现出等压面上流场的分布情况,首先要对等压面进行可视化。

#### (1) 平面法线的确定

对等压面的可视化主要是采用三角面片拟合的方法,即将等压面看作是由一些三角面片构成,对这些三角面片进行连接,再加上一定的光照处理。在这一部分中关键是三角面片的法线确定,一个三角面片的法线的确定,即按照数学公式

$$n = (V_3 - V_1) \times (V_2 - V_1). \quad (8)$$

其中  $V_i (i=1, 2, 3)$  为三角面片上任意不共线的三点。但是两个三角面片相交的公共边的法线不能用上述方法确定。为了保证等压面的可视性,即要对两个三角面的边界进行平滑,本文采

用方法如下: 首先根据(8)式计算出各个面的法线, 对于相交边的法线确定一定要根据具体情况来确定, 即如果相邻平面中有一个面的法线值过大, 则应该用几个相交面法线值的加权平均作为其法线值; 对于相交面之间变化很剧烈时, 则不进行平滑, 这样既保证了可视性, 又尽量减小信息量的丢失。

(2) 光照模型的建立

为了使可视化图形更加客观、逼真, 本文采用单点的 Lambert 漫反射光照模型进行光照处理。其基本原理为根据 Lambert 定理, 当一物体在单点光源的照射下, 漫反射光的强度与入射光和物体表面的法线之间夹角的余弦成正比, 即

$$I = k_d I_1 \cos \theta \quad (9)$$

其中  $I$  为物体被照射处的漫反射光的强度,  $I_1$  为入射光的强度,  $k_d$  为漫反射率,  $\theta$  为入射光与法线的夹角。分析(9)式可知: 当  $\theta$  大于  $90^\circ$  时, 光源位于物体背面, 因而光亮度取为零; 当  $\theta$  等于  $0^\circ$  时, 此时被照点的光亮度最大, 这样  $\theta$  的不同就可以表现出物体表面不同的光照效果。另外, 因为  $k_d$  代表反射率, 所以当  $k_d$  越小时, 物体表面越暗; 反之, 物体表面越亮, 经反复试验本文  $k_d$  取为 0.92 时效果最好。

3.2 表面场线的绘制

为了更好地说明流场绘制的常规方法与改进方法的差异, 给出了常规绘制流线方法的流程(图 1)和改进方法(表面场线绘制方法)的流程(图 2)。

通过这两个流程的比较, 可以清楚地看出二者的主要差别就是表面场线不仅要确定场线

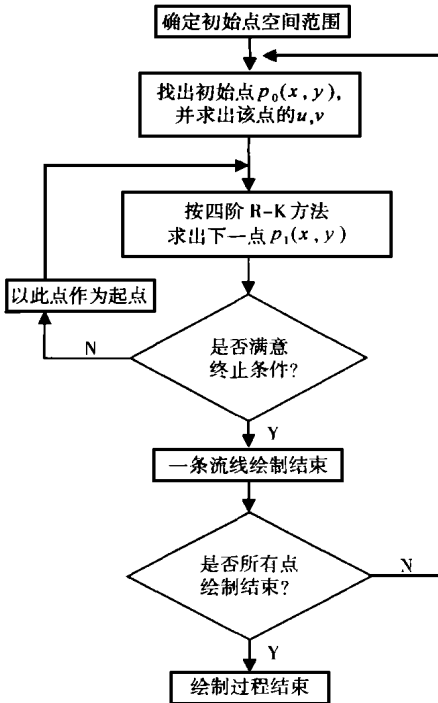


图 1 常规方法绘制流线的流程

Fig. 1 Flow chart of the routine drawing of streamline

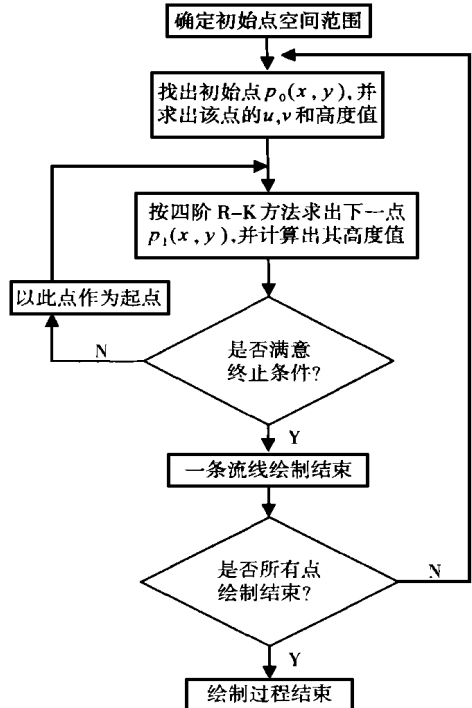


图 2 改进方法绘制流线的流程

Fig. 2 Flow chart of the improved drawing of streamline

上的  $x, y$  坐标, 而且还计算出高度值  $z$ , 并对它进行处理。  $z$  值的确定: 因为对于同一等压面上的气象要素场而言, 高度  $z$  是  $x, y$  的函数, 这样由  $x, y$  通过二维线性插值, 进而得到  $z$  值。

### 4 绘制结果分析及与常规图形比较

图 3、图 4 选取 1998-07-31T 12 的 500 hPa 高度场资料, 范围: 80 °E ~ 180 °; 30 ~ 80 °N。其中图 3 为 500 hPa 的高度场可视化图形, 从中可以看出在以 (130 °E, 60 °N) 为中心的区域有一阻塞高压存在, 在 (100 °E, 45 °N) 及 (160 °E, 55 °N) 附近各有一低压槽。为了验证其可信性, 用 GrADS 绘制的展成平面的高度场图形进行验证 (图 4)。

比较图 3 和图 4 可以发现两者相吻合, 且处理后的图形在可视性方面优于 GrADS 绘制的图形。它可以形象、逼真、客观地反映出高低压的空间形状。这样有利于帮助我们理解整个气压场的空间分布特征。如图 4 的阻塞高压在整个东亚大气环流中的作用, 及其阻塞高压存在时期, 迫使西风气流南北分支的动力学过程用图 3 的可视化图形使人们对它能够有清楚的认识。

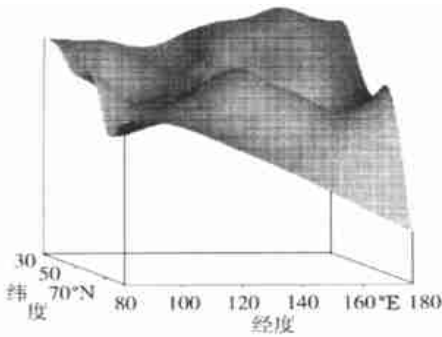


图 3 500 hPa 高度场的可视化图

Fig. 3 Visualizing image of 500 hPa height

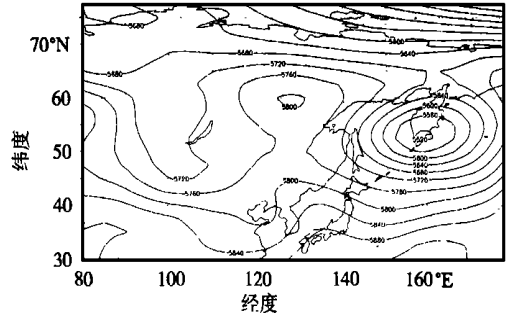


图 4 GrADS 绘制的 500 hPa 高度场

Fig. 4 500 hPa height drawn by GrADS

图 5、图 6 选取 1998-05-03T 12 的 500 hPa 暴雨资料, 范围: 100 °E ~ 160 °W, 10 ~ 60 °N。图 5 为用 GrADS 绘制的流场分布, 图 6 为采用本文方法绘制的图形, 水平转角为 40 °; 垂直转角为 60 °:

由图 5、6 比较可知, GrADS 方法绘制的平面流场分布图是从俯视方向上看, 绘制的图形没有完全逼真地反映出数据本身所包含的物理信息, 不够客观、逼真。图 6 为用改进的方法绘

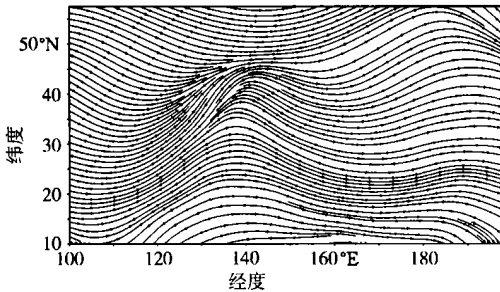


图 5 GrADS 绘制的 500 hPa 流场

Fig. 5 500 hPa streamline field drawn by GrADS

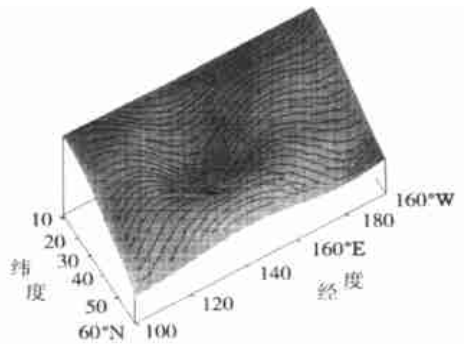


图 6 用改进的方法绘制图形

Fig. 6 500 hPa streamline field using the improved method

制图形,为了更好地看出改进的方法体现流场的空间特征,特加框处理。

图 6 相对于图 5 的优越性在于它能客观地反映出了流场在等压面上的实际运动情况,具有立体感强,客观,逼真的效果。配合相应的高度场分布图(图略),可知流线高起、低凹的地方就是等压面的高起,低凹的地方,因此它不仅反映出流场的真实流动情况,同时也反映出等压面在空间的分布情况,所以用改进的等压面可视化方法解决了前面提到的展成平面流场绘制方法的不足。

## 5 结 语

本文以等压面上流场数据的分布特征为物理基础,介绍了一种能客观反映等压面上流场分布状况的绘制方法,它比常规的绘制方法能更直观地表现出等压面上流场的分布状况,能更好地反映流场的分布结构。使得人们在分析流场时,能够很好地考虑等压面的分布状况(即高度场的分布),在气象上具有较好的使用价值。同时,这种方法不仅能够用于分析等压面上流场的分布结构,还能用于分析等压面上的温度场、湿度场等其他气象要素的分布特征。众所周知,在绝热过程中大气是沿着等熵面运动的,因此把本文介绍的等压面换成等熵面,再分析其上面的物理量场的分布特征,就能很好地反应出真实大气的三维运动,相信它比常规的绘制方法具有更很好的实用性,这也是作者下一步将要去做的工作。

本文绘制的图形(图 6)主要反应了等压面上流场的空间分布特征,因此,它不如平面流场分布图精细,有待以后对它进行矢量化技术处理。

## 参考文献:

- [1] 石教英,蔡文立. 科学计算可视化算法与系统[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 207~209
- [2] 李 妍,黄 峰. 气象要素矢量场的可视化方法研究[J]. 解放军理工大学学报, 2000, 1(4): 89~94

# A streamline visulization scheme on isobaric surface

LI Yan, HUANG Feng, CHEN Xi, SHA Wen-yu

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

**Abstract:** In the light of the height and streamline space distributions, a visulization scheme called surface streamline mapping is developed to mirror atmospheric movement features on isobaric surfaces objectively with more marked physical meaning compared to routine streamline field drawing method and higher values in a meteorological context.

**Key words:** isobaric surface, meteorological element, vector field, surface streamline