

关于南半球越山气流的讨论

中国气象科学研究院 朱丰 201248510107286

垂直位涡度方程应用静力学关系，在绝热无摩擦条件下有

$$\frac{d}{dt} \left[(f + \zeta) \frac{\partial \ln \theta}{\partial p} \right] = 0 \quad (1)$$

考虑介于二等位温面 θ_1 与 θ_2 之间的大气层，设气层的气压差为 Δp ，由于绝热过程中空气微团位温守恒，故

$$(f + \zeta) \frac{\partial \ln \theta}{\partial p} \approx (f + \zeta) \frac{\ln \theta_2 - \ln \theta_1}{\Delta p} = \frac{f + \zeta}{\Delta p} \ln \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (2)$$

其中 $\ln \frac{\theta_2}{\theta_1}$ 为常数，故有

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{f + \zeta}{\Delta p} \right) = 0 \quad (3)$$

若设气层垂直厚度为 h ，则有

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{f + \zeta}{h} \right) = 0 \quad (4)$$

$(f + \zeta)/h$ 称为正压大气的垂直位涡。

下面用(4)式讨论南半球气流越山的情况。由于南半球 $\phi < 0$ ，因此 $f = 2\Omega \sin \phi < 0$ ，故将(4)稍作变形：

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{(-f) - \zeta}{h} \right] = 0 \quad (5)$$

首先讨论西风气流。假设有一均匀西风气流遇到一南北向无限延伸的山脉。刚开始，有初始垂直相对涡度 $\zeta_0 = 0$ ；爬坡时，气柱垂直厚度减小，由于此时气柱在南北向没有发生位移，因此 f 不变，故 ζ 将增大， $\zeta > 0$ ，同时伴随向北的运动，向低纬地区运动意味着 f 的绝对值减小；下坡时， h 增大，于是 ζ 将减小，同时伴有向南的运动， f 的绝对值增大。当气柱回到初始时刻的纬度时， ζ 重新变为 0，但此时气柱仍将继续向南运动。在继续向南运动的过程中， h 不变， f 的绝对值增大，因此 ζ 也将增大， $\zeta > 0$ 并伴随向北的运动。在向北运动过程中 f 的绝对值又变小， ζ 逐渐变小转为负值，如此下去，形成过山槽。

下面讨论东风气流。假设有一均匀东风气流遇到一南北向无限延伸的山脉。刚开始，有初始垂直相对涡度 $\zeta_0 = 0$ ；爬坡时，气柱垂直厚度减小，由于此时气柱在南北向没有发生位移，因此 f 不变，故 ζ 将增大， $\zeta > 0$ ，同时伴随向南的运动，向高纬地区运动意味着 f 的绝对值增大；下坡时， h 增大，此时由于 f 绝对值在增大，于是 ζ 仍将保持大于 0。上述过程中气柱始终处于整体进行逆时针运动的状态，直到某一时刻转为西风气流。由于具体参数的不同，气柱最终将可能以不同的角度（不一定垂直了）重新以西风气流的形式越山。

为了更清楚地说明东风气流越山的情况，下面进行定量分析。假设气柱厚度 $h = 10000m$ ，山高 $5000m$ ，则东风气流过山的情况如表 1。

表 1: 东风气流过山情况

	山前底	山顶	山后底
$-f$	$-f_0$	$-f_1$	$-f_2$
ζ	$\zeta_0 = 0$	ζ_1	ζ_2
$\frac{(-f)-\zeta}{h}$	$\frac{-f_0}{10000}$	$\frac{(-f_1)-\zeta_1}{5000}$	$\frac{(-f_2)-\zeta_2}{10000}$

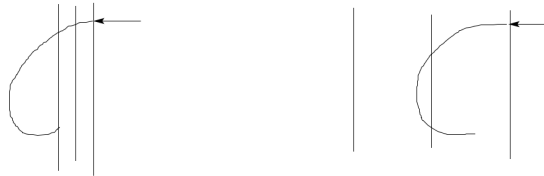
由于

$$\frac{(-f)-\zeta}{h} = const \quad (6)$$

因此有

$$\frac{-f_0}{10000} = \frac{(-f_1)-\zeta_1}{5000} = \frac{(-f_2)-\zeta_2}{10000} \quad (7)$$

而由于整个过程气柱一直在向南移动，所以 $(-f_2) > (-f_1) > (-f_0)$ ，故 $\zeta_1 > 0$ 且 $\zeta_2 > 0$ ，即整个过程气柱的涡度总是大于 0 的，因此气柱一直是向左侧拐弯。在下山以后，气柱继续向左侧拐弯， $-f$ 继续增大，于是涡度也更大，总体的运行轨迹类似于椭圆，且椭圆的曲率在变小。直到某一时刻转为偏西风，进行第二次越山，因此之后的情况类似于西风越山，如图 1(a)。另外，也可能由于山很宽或者很高，导致气柱在完全越过山脉前就已经折返成为西风，如图 1(b)。



(a) 越过山脉后折返成为偏西风

(b) 越过山脉前折返成为偏西风

图 1: 东风气流越山时的两种情形