

关于大尺度运动維持地轉平衡的临界緯度問題*

瞿 章

(中国科学院兰州地球物理研究所)

Кибель^[1] 和 Charney^[2] 曾引进过特征尺度来討論大气运动方程的簡化問題。对于水平运动的特征方程有:

$$\frac{v}{fS} \mathbf{V} + \mathbf{V} + \frac{\omega}{fH} \mathbf{V} + \frac{v \tan \varphi}{fa} \mathbf{V} \sim \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial n},$$

这里的符号和气象学中常用的相同。其中 S 依照 Charney^[2] 的定义, 是波动的槽和脊之間的平均距离(即半个波长)。第一項的特征系数 R 代表 v/S 同柯氏力 f 之比; 第三項的特征系数 Q 代表 ω/H 同柯氏力 f 之比; 第四項的特征系数代表测度項中主要項同 f 之比。在中高緯度 ($f \cong 10^{-4}$ 秒⁻¹) 对于大尺度系統 ($S = \frac{L}{2} \cong 10^6$ 米) 的情况下, R 为 10^{-1} , 比第二項小一个量級, 故可略去; 通常 $\frac{\omega}{fH}$ 和 $\frac{v \tan \varphi}{fa}$ (除极地附近外) 仅为 $\leq 10^{-2}$, 因此更可略去。此时空气质点之运动就是主要由柯氏力来平衡气压梯度力之所謂地轉运动。

—

愈靠近赤道, f 值将由 10^{-4} 秒⁻¹ 趋于零, 則 R 和 Q 項将无限增大, 空气质点所受之气压梯度力不再仅由柯氏力所平衡, 此时地轉平衡即遭破坏。最先有利于非地轉运动出現的是当 R 值上升到 10^0 量級, 即 f 趋于 10^{-3} 秒⁻¹ 时(此时 Q 項尚未能上升到 10^0 量級), 地轉平衡即遭破坏。在北(南)緯約 20° 以南(北)处, f 趋于 10^{-3} 秒⁻¹。这是长期以来已被人們接受的想法^[3]。

但是有一个愈趋向于赤道愈有利于地轉平衡的因素却一直被人們所忽略, 即愈趋向于低緯, 在同样波数下的水平尺度却是增加的。同时計入趋近于赤道时“ f 的减小”和“同样波数下水平尺度的增大”这两种因素的 R 值, 見表 1。由表 1 可知, 虽然在緯度 15° 处 R 值比 45° 处約大一倍, 但它所代表的水平加速項仍小于柯氏力項一个量級。所以对于 15° 处至少波数 ≤ 7 , 即波长为近 5500 公里以上的这种大尺度系統, 地轉假定还是可以成立的。

那末在 15° 上波数究竟是多少呢? 为此作者利用国际地球物理年資料繪制了 1958 年 1 月和 7 月沿北緯圈 15° 上南北风分量的月平均剖面图, 如图 1 和图 2。图上的南北风之間的分界綫是同槽脊綫相当。繪图所用的站一般偏离北緯 15° 不超过三度。由图上可清楚地看出, 無論在 1 月或 7 月, 在 400 毫巴以上的高空波数只有三个; 低层略多些, 但也都小于 7 个。应当指出, 由于繪图所用到的站数仅 20 个, 那末如果这些站是均匀分布, 它

* 本文 1963 年 4 月 12 日收到, 同年 9 月, 11 月先后收到第一、二次修改稿。

表 1 不同波数在不同緯圈上的 R 值

$R = \frac{v}{fS}$ 波数 緯度	1	3	5	7	9
90°	∞	∞	∞	∞	∞
85°	0.039	0.118	0.197	0.276	0.355
80°	0.020	0.060	0.100	0.139	0.179
75°	0.014	0.041	0.068	0.096	0.123
60°	0.008	0.024	0.039	0.055	0.071
45°	0.007	0.020	0.034	0.048	0.061
30°	0.008	0.024	0.039	0.055	0.071
15°	0.014	0.041	0.068	0.096	0.123
10°	0.020	0.060	0.100	0.139	0.179
5°	0.039	0.118	0.197	0.276	0.355
0°	∞	∞	∞	∞	∞

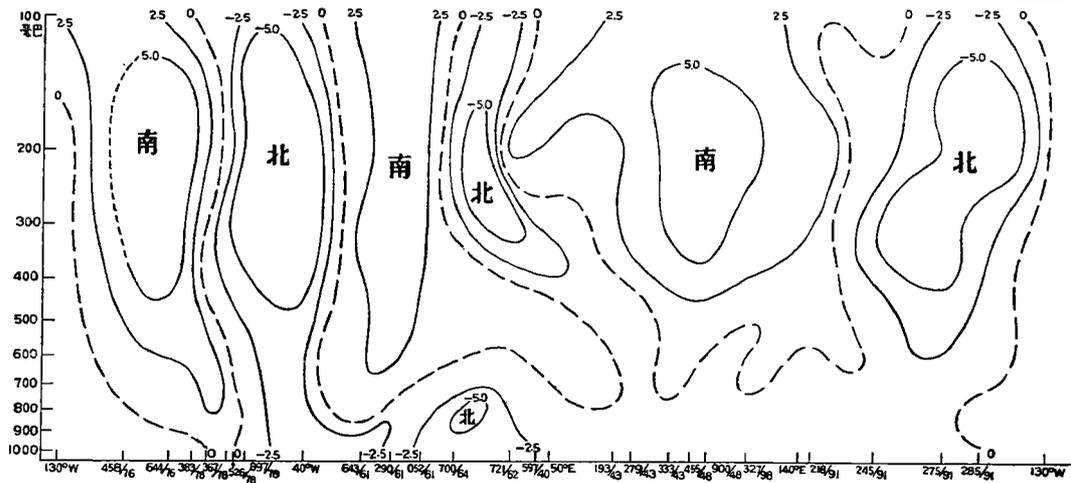


图 1 1958 年 1 月北緯 15° 圈上南(北)风(南风为正)剖面图

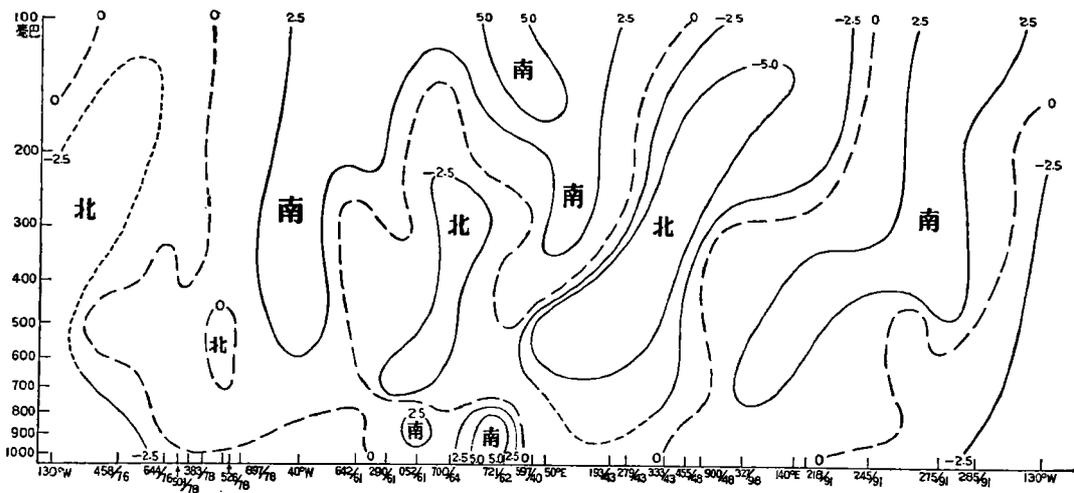


图 2 1958 年 7 月北緯 15° 圈上南(北)风(南风为正)剖面图

所可能漏掉的波动的最大波长约为 2000 公里。而我们的对象则是波长 ≥ 5500 公里的波动,因此用到的站数虽仅 20 个,但并不影响我们所要说明的结果。

为了确定上述的事实是否经常在每天都出现,我们绘制了同图 1 和图 2 相对应的风的稳定度 $\left(\frac{V}{\bar{v}}\right)$ 图(如图 3 和图 4),并且把图 1 和图 2 上的南北风零线也分别描在图 3 和图 4 上。由图 3 和图 4 可以看出,这些南北风零线大都同低稳定度区相配合,而与南北风中心相对应的则是高稳定度中心,其值一般在 0.8 以上。由此可见,在北纬 15° 上高空波数经常为 3 是可信的。

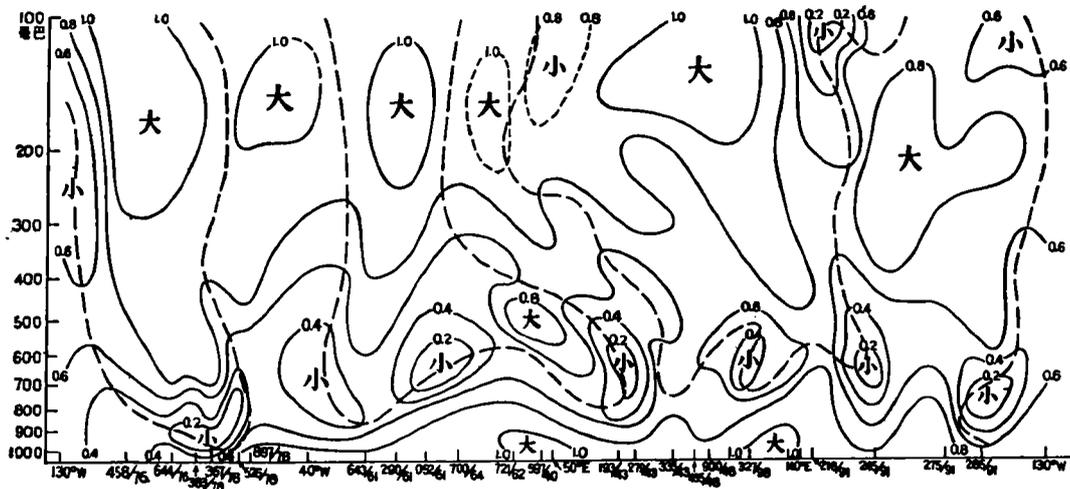


图 3 1958 年 1 月北纬 15° 圈上风的稳定度 $\left(\frac{V}{\bar{v}}\right)$ 剖面图

(虚线是图 1 上的南北风零线)

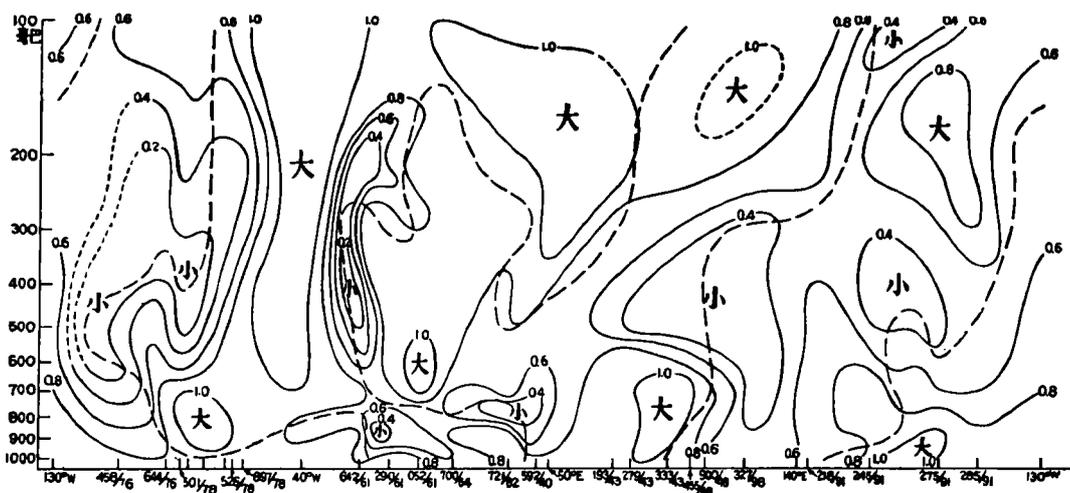


图 4 1958 年 7 月北纬 15° 圈上风的稳定度 $\left(\frac{V}{\bar{v}}\right)$ 剖面图

(虚线是图 2 上的南北风零线)

由表 1 可知, 对于 $n = 3$ 的大尺度系統, 空气质点在接近北緯 5° 处的运动大致仍可維持地轉平衡的。正好, Krichnamurti^[4] 最近分析了 1955 年 12 月到 1956 年 2 月赤道到北緯 45° 地区上空, 200 毫巴面上的每日高空风, 他認為在低緯上空有着三个明显的长波准靜止地維持着。由此可見, 在冬季, 关于大尺度运动維持着地轉平衡的南界还可比北緯 15° 更南些。

南緯 15° 上波数的情况目前还不清楚。但根据文献 [5] 的每日地面气压資料, 作者得到了 1956 年 12 月到 1957 年 5 月六个月(原始資料仅此六个月)的沿南緯 15° 的波数。其每日波数的月平均值見表 2。由表 2 可知, 对于南半球 15° 上这六个月的甚至是低层波动数也还是小于 7 个的, 因之大尺度运动 ($L \geq 5500$ 公里) 的地轉假定亦是可用的。

表 2 1956 年 12 月—1957 年 5 月南緯 15° 圈上每日地面气压波数的月平均值

年, 月	1956年12月	1957年1月	1957年2月	1957年3月	1957年4月	1957年5月
平均波数	3.9	4.3	4.7	5.7	5.9	6.4

从运动方程看, 在較低緯度处大尺度运动維持地轉平衡的物理意义是: 在低緯度, 虽然大尺度系統的气压梯度較中高緯度弱(归根結底, 它是低緯度处柯氏力較小的反映), 但这不能成为地轉运动不維持的理由, 因为在另一个方面, 在低緯, 例如在 15° 处, 对于波数 ≤ 7 (波长 ≥ 5500 公里) 的大尺度系統, 其水平加速項亦相对地減得更小, 所以其結果仍使运动維持地轉平衡的。

由此可見, 在除了邻近赤道以外的低緯地区, 长度 (6×10^6 米) 接近于超长波尺度的空气运动是同中高緯度的长波尺度 (10^6 米) 的空气运动相当的, 它們都是准地轉的。

从根本上講, 这是由于地轉参数 (f) 降低了一个量級而波长尺度 (S) 提高了一个量級, 这就使得除了邻近赤道以外的低緯地区, 波长尺度为 6×10^6 米的空气运动仍得以維持地轉平衡。

根据运动方程, 从天气事实来看, 在時間間隔为 10^5 秒里, 在低緯度大形势一下子变成另一个样子也还是很少观测到的(例如文献 [6])。

当然, 上面这个意見不等于說, 未經滤选过的不是专门针对較大尺度波动的数值預报的南边界, 假定可以放得很南。因为在日常的天气图上的記錄, 是大尺度和小尺度波动全都包括在內的。由于后者的混入, 所引进的非地轉誤差及其积累, 有时可以使得整个計算結果被扰乱得毫无意义。

附带說明, 对于直径为 10 个經度 (即波数为 36) 的系統(如台风), 在緯度 5° 处 R 值約为 1.5。此时运动显然是非地轉的了。但此时柯氏力对气压梯度的維持并不就是不重要的。因为此时水平加速項和柯氏力項的量級仍相当。否則, 台风在那里維持着如此強的梯度, 并且好几天不填塞, 只有水平加速項在起平衡气压梯度力的作用, 而柯氏力却不起重要作用是难以想象的。

二

現在我們来討論极圈里的情况, 大家知道, 愈近北极, 水平运动方程中的測度項将愈

来愈重要,而不能略去。如水平风速仍取 10 米/秒, 则测度项之主要项 $\frac{1}{f} \frac{v \tan \varphi}{a}$ 在 \geq 南(北)纬 89° 时就 $= 1$, 此时的运动就是非地转的。现在如果在水平运动方程中, 撇开此项的作用不谈, 而仅仅考虑带 R 项的作用, 那末由表 1 还可以看出, 在极圈里由于水平尺度的迅速趋于零, 则仍将有 R 等于或大于 1 的地区。由 $R = \frac{v}{fS} = \frac{nv}{a\omega\pi a \sin \alpha\varphi}$ 可算知, 即使 $n = 1$, 在约 $\varphi \geq 89^\circ$ 的极区里, R 是近于 1 的。即如果不考虑测度项的作用, 那末由于在极点附近地球半径的迅速减小, 也会使运动成为非地转的。

上述当空气运动的地区靠近极点附近所导致的非地转运动, 目前暂时还是没有观测证明的理论上的推论。但在理论上预示此点是重要的。对于数值预报中用地转假定的北半球模式来说, 除了过去已注意到的低纬边界问题外, 还有一非地转小区域在极地附近存在着。这是值得注意的。

三

在目前条件下, 要给出整个北半球上即使是对流层中层的 500 毫巴上各月各纬圈上的波数, 是有困难的。作者根据以下三种资料: 1) 陶诗言^[7]所作的北半球 500 毫巴平均图(这个资料除了在东亚范围用到 1951—1956 年的资料外, 西径部分还反映了美国天气局出版的 500 毫巴平均图情况); 2) 兰州中心台整理的 1951—1962 年的亚欧 500 毫巴月平均图(其中大部分南界都到北纬 10°); 3) Jacobs^[9]的资料(其中关于低纬和中国部分用到 1953—1957 年的资料), 得到了北半球平均 500 毫巴各纬圈各月的波数, 如表 3。

表 3 北半球平均 500 毫巴各纬圈各月的波数表

波数 月份	纬圈									
	85°	75°	65°	55°	45°	35°	25°	15°	5°	
1	1	2	2	2	3	3	4	4	2	
2	1	2	2	3	3	3	4	4	2	
3	1	2	2	3	3	3	4	4	2	
4	1	3	3	3	3	4	5	4	2	
5	1	2	3	3	3	4	5	4	2	
6	1	2	3	3	4	5	5	4	2	
7	1	2	4	4	5	6	5	4	1	
8	1	2	4	4	6	7	5	4	1	
9	1	3	4	4	5	6	5	4	2	
10	2	2	3	3	4	4	5	4	2	
11	1	2	2	3	3	3	4	4	2	
12	1	2	2	3	3	3	4	4	2	

其中 85° 和 5° 仅是依据 Jacobs 的资料得到的, 虽然有些疑问, 甚至同 Krichnamurti 的结果略有出入, 但不敢无根据地擅改; $75^\circ-25^\circ$ 则是根据前二种资料综合而得的。关于 15° , 则除了上述三种资料外, 还参考了 1958 年 1, 4, 7, 10 月的北纬 15° 南北风剖面图。好在除了在不同资料的交界处以外, 我们还并不需要知道它们的绝对值, 而只要知道纬圈方向相对差的趋势。

虽然表 3 中个别波数还可以怀疑, 例如 15° 上波数是不是都是 4 个等等, 但是从总体上来看, 我們还是可以从表中看出如下的一个重要事实: 虽然由夏季到冬季, 波数最大的緯度带略向低緯移动, 但是各緯度上的波数总以中偏低的緯度最大, 极地和赤道的波数比較小。而表 1 中的一个重要事实, 也是在中緯度 R 值最小。

表 3 和表 1 的上述这两个事实, 将启示我們: 大气中大尺度运动有調整其特征水平尺度的趋势, 其結果是使得所实现的运动, 在我們的地球上最大范围地維持地轉平衡。

在本文研究过程中曾得到叶篤正先生的帮助, 謹此致謝。

参 考 文 献

- [1] Кибель, И. А., *Изв. АН СССР сер. Географ. и Геоф.*, **5** (1940), 627—638.
- [2] Charney, J. G., *Geophys. Publ.*, **7** (1948), 1—17.
- [3] Riehl, H., *Tropical Meteorology*, 1954, 192—193.
- [4] Krishnamurti, T. N., *J. of Meteor.*, **17** (1961), 172—191.
- [5] Southern hemisphere project of the weather Bureau, South Africa, *Notes* **7** (1958), No. 1/2, 29—100.
- [6] Riehl, H., *Tropical Meteorology*, 1954, 362—363.
- [7] 陶詩言, 北半球 500 毫巴平均图, 1957.
- [8] Jacobs, Von Ingrid, *Meteorologische Abhandlungen*, **4** (1958), Heft 2.