第44卷 第3期　　气 象 学 报　　Vol. 44, No. 3
1986年8月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　Aug., 1986

大地形和正压 Rossby 波的稳定性*

吕 克 利

（南京大学大气科学系）

提　要

文中讨论了地形对 Rossby 波稳定性的影响，指出，地形的南北坡和东西坡对 Rossby 波及其能量传播的影响是不同的。

一、引　　言

地形对大尺度运动有重要影响，在西风带中，地形能产生定常波型扰动，在东风带只能激发出衰减型的扰动[1]，地形对大尺度扰动的稳定性也有影响。多数理论分析是在均匀介质中讨论单波的性质，一般也不考虑地形高度的东西方向的变化。本文讨论缓变背景场中 Rossby 波列的演变，分析了东西向变化地形的影响。

二、基 本 方 程

考虑如下准地转涡度方程：

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}-\frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial}{\partial x}+\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial}{\partial y}\right)(\nabla^2\psi+\beta y)-\frac{f^2}{C_0^2}\frac{\partial\psi}{\partial t}-\frac{gf}{C_0^2}J(h,\psi)=0, \tag{1}$$

式中 ψ 是流函数，$u=-\frac{\partial\psi}{\partial y}$，$v=\frac{\partial\psi}{\partial x}$，$C_0=\sqrt{gH}$，$f$，$\beta$ 取为常数，$h=h(x,y)$ 为地形高度。

令　$\psi=\bar{\psi}+\psi'$，并定义基本气流 $\bar{u}$ 为

$$\bar{u}=-\frac{\partial\bar{\psi}}{\partial y}$$

代入(1) 式，得扰动涡度方程：

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\nabla^2\psi'+\frac{\partial\psi'}{\partial x}\beta_0-h_x\frac{\partial\psi'}{\partial y}-s^2\frac{\partial\psi'}{\partial t}=-J(\psi',\nabla^2\psi') \tag{2}$$

式中　$\beta_0=\beta-\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}+h_y$，$h_x=\frac{gf}{C_0^2}\frac{\partial h}{\partial x}$，$h_y=\frac{gf}{C_0^2}\frac{\partial h}{\partial y}$，$s^2=\frac{f^2}{C_0^2}$。设 $\bar{u}$ 在时间和经向为缓变函数，h_x，h_y 为空间的缓变函数，S^2 为常数，讨论在这种缓变背景场中的缓变波列。

* 本文于1984年5月10日收到，1985年2月25日收到修改稿。

为此，引入缓变量T，X，Y，有

$$t=\frac{T}{\Delta},\ x=\frac{X}{\Delta},\ y=\frac{Y}{\Delta}$$

式中 $\Delta\ll1$，是表示场的时空变化快慢程度的小参数。如此，函数 ψ' 可表示为

$$\psi'=\psi(t,x,y,T,X,Y)$$

扰动量ψ用小参数Δ展开，即设

$$\psi=\sum_{i=1}^{\infty}\Delta^i\psi_i \tag{3}$$

代入(2) 式，对 Δ^1阶近似有

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial^2\psi_1}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi_1}{\partial y^2}\right)+\beta_0\frac{\partial\psi_1}{\partial x}-h_x\frac{\partial\psi_1}{\partial y}-s^2\frac{\partial\psi_1}{\partial t}=0 \tag{4}$$

对 Δ^2 阶近似有

$$\begin{aligned}&\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial^2\psi_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi_2}{\partial y^2}\right)+\beta_0\frac{\partial\psi_2}{\partial x}-h_x\frac{\partial\psi_2}{\partial y}-s^2\frac{\partial\psi_2}{\partial t}=\\&=-\left[\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)\left(\frac{\partial^2\psi_1}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\psi_1}{\partial y^2}\right)+\beta_0\frac{\partial\psi_1}{\partial X}-h_x\frac{\partial\psi_1}{\partial Y}-S^2\frac{\partial\psi_1}{\partial T}\right.\\&\left.+\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial}{\partial x}\frac{\partial\psi_1}{\partial X}+\frac{\partial}{\partial y}\frac{\partial\psi_1}{\partial Y}+\frac{\partial}{\partial X}\frac{\partial\psi_1}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial Y}\frac{\partial\psi_1}{\partial y}\right)\right]\\&-J_1(\psi_1,\nabla_1^2\psi_1)\end{aligned} \tag{5}$$

式中 $J_1(A,B)=\frac{\partial A}{\partial x}\frac{\partial B}{\partial y}-\frac{\partial A}{\partial y}\frac{\partial B}{\partial x}$， $\nabla_1^2A=\frac{\partial^2A}{\partial x^2}+\frac{\partial^2A}{\partial y^2}$

方程(4) 是只含快变量的方程，系数是缓变函数或常数，因此可用如下谐波解：

$$\psi_1=\mathrm{Re}\Psi(X,Y,T)e^{i\varphi} \tag{6}$$

式中 φ 是位相函数，有关系式：

$$\omega=-\frac{\partial\varphi}{\partial t},\ m=\frac{\partial\varphi}{\partial x},\ n=\frac{\partial\varphi}{\partial y} \tag{7}$$

ω，m和 n 分别为频率，纬向和经向波数。代入(4)式，得

$$\omega=\bar{u}m-\frac{\bar{\beta}m-h_xn}{m^2+n^2+s^2} \tag{8}$$

或者

$$\omega=\omega_R-\frac{\left(s^2\bar{u}-\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}+\frac{gf}{c_0^2}\frac{\partial h}{\partial y}\right)m-\frac{gf}{c_0^2}\frac{\partial h}{\partial x}\Big)}{m^2+n^2+s^2} \tag{9}$$

式中 $\bar{\beta}=\beta_0+s^2\bar{u}$，$\omega_R=\bar{u}m-\frac{\beta m}{m^2+n^2+s^2}$，是 Rossby 波频率。(8)或(9)式是地形和切变基流影响下的 Rossby 波频散关系式。

由(9) 式显见

1. 地形北坡加快 Rossby 波的移速，南坡减慢其移速，加上f 北大南小，更加强这一效应，因此，南北坡度地形的存在，有使原来南北向槽线变成东北-西南向的倾向，即南北坡度地形有利于横槽的形成，有利于切变线的形成。

2．对槽线呈西北-东南向的导式波槽(即 $n>0$)，地形西坡加快 Rossby 波的传播速度，东坡减慢波的传播速度，因此，东西坡度地形有使导式波槽波长减小，槽线向南北向转变的作用，加上 f 的影响，甚至有使导式波型流场变成闭合低压环流的可能，这似乎可以作为西藏高原东侧低涡形成的一种解释。

3．对槽线呈东北一西南向的曳式波槽($n<0$)，地形西坡减慢波的移速，东坡加快其移速，加上 f 的影响，有使曳式波槽波长加大，槽线向南北方向转变的趋向。

4．辐散辐合项 $(s^2\bar{u})$ 减慢 Rossby 波的移速，如取 $c_0=3\times10^4\mathrm{cm/s}$，$f=10^{-4}/\mathrm{s}$，$\bar{u}=10^3\mathrm{cm/s}$，$\frac{\partial h}{\partial y}\sim10^{-3}$，则 $s^2\bar{u}\sim10^{-14}$，而 $\frac{gf}{C_0^2}\frac{\partial h}{\partial y}\sim10^{-13}$，因此这一项的作用比地形小得多。

5．气流切变项与地形项同一量级，对反气旋式切变基流，$\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}<0$，减慢波的移速，对气旋式切变，加快波的移速，但对波型没有影响。

(6) 式代入(5) 式的右端项，易知[2] $J_1(\psi_1,\nabla_1^2\psi_1)=0$，因此，得

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial^2\psi_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi_2}{\partial y^2}\right)+\beta_0\frac{\partial\psi_2}{\partial x}-h_x\frac{\partial\psi_2}{\partial x}-s^2\frac{\partial\psi_2}{\partial t}=$$
$$=\left\{\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)[(m^2+n^2)\Psi]+S^2\frac{\partial\Psi}{\partial T}-\beta_0\frac{\partial\Psi}{\partial X}+h_x\frac{\partial\Psi}{\partial y}\right.$$
$$\left.-(\omega-\bar{u}m)\left[2\left(m\frac{\partial\Psi}{\partial X}+n\frac{\partial\Psi}{\partial Y}\right)+\left(\frac{\partial m}{\partial X}+\frac{\partial n}{\partial Y}\right)\Psi\right]\right\}e^{i\varphi}\tag{10}$$

(10)式右端项以 ψ_2 的齐次方程的频率 ω 振荡，即对于固定的 m,n，(10)式右边强迫项以系统的固有频率振荡，ψ_2 将发生强迫共振，为避免这种情况发生，必须消除(10)式中右端共振强迫项(常称永年项，久期项)，如此有

$$\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)[(m^2+n^2+s^2)\Psi]-\bar{\beta}\frac{\partial\Psi}{\partial X}+h_x\frac{\partial\Psi}{\partial Y}+$$
$$+\frac{\bar{\beta}m-h_xn}{m^2+n^2+s^2}\left[2\left(m\frac{\partial\Psi}{\partial X}+n\frac{\partial\Psi}{\partial Y}\right)+\left(\frac{\partial m}{\partial X}+\frac{\partial n}{\partial Y}\right)\Psi\right]=0.\tag{11}$$

上式中已用到(8) 式。

三、波作用密度守恒

对缓变波列，已经证明[3] 存在着一种不变量，即波作用守恒，由它可以理解波和基本气流之间的相互作用，可以反映能量在波动场和基本场之间的转换。对存在地形的情况下，波作用方程具有什么形式，由此得到的能量方程又是怎样？这是下面所要考虑的。为得到通常形式的波作用方程，我们用 $\bar{\psi}(m^2+n^2+s^2)/(\bar{\beta}m-h_xn)$ 乘以(11) 式，并定义如下的广义波作用密度 I：

$$I=-(m^2+n^2+s^2)\frac{\Psi^2}{2}\Big/(\bar{\beta}m-h_xn)\tag{12}$$

得到

$$\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)I+\frac{I}{\bar{\beta}m-h_xn}\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)(\bar{\beta}m-h_xn)+$$

$$+2\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{m(\bar{\beta}m-h_x n)}{(m^2+n^2+s^2)}I\right]+2\frac{\partial}{\partial Y}\left[\frac{n(\bar{\beta}m-h_x n)}{(m^2+n^2+s^2)^2}I\right]-\frac{\partial}{\partial X}\left(\frac{\bar{\beta}I}{m^2+n^2+s^2}\right)$$

$$+\frac{\partial}{\partial Y}\left(\frac{h_x I}{m^2+n^2+s^2}\right)+\frac{\bar{\beta}m-h_x n}{(m^2+n^2+s^2)^2}I\left\{\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{\bar{\beta}(m^2+n^2+s^2)}{\bar{\beta}m-h_x n}\right]\right.$$

$$\left.-\frac{\partial}{\partial Y}\left[\frac{h_x(m^2+n^2+s^2)}{(\bar{\beta}m-h_x n)}\right]\right\}=0. \tag{13}$$

利用群速表示式：

$$\begin{cases} c_{gx}=\bar{u}-\dfrac{\bar{\beta}}{m^2+n^2+s^2}+\dfrac{2m(\bar{\beta}m-h_x n)}{(m^2+n^2+s^2)^2} \\ c_{gy}=\dfrac{h_x}{m^2+n^2+s^2}+\dfrac{2n(\bar{\beta}m-h_x n)}{(m^2+n^2+s^2)^2} \end{cases} \tag{14}$$

并考虑到 $\bar{u}$ 不是 X 的函数，(13)式变为

$$\frac{\partial I}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(c_{gx}I)+\frac{\partial}{\partial Y}(c_{gy}I)=-\frac{I}{\bar{\beta}m-h_x n}\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)(\bar{\beta}m-h_x n)-$$

$$-\frac{(\bar{\beta}m-h_x n)I}{(m^2+n^2+s^2)^2}\left\{\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{\bar{\beta}(m^2+n^2+s^2)}{\bar{\beta}m-h_x n}\right]-\frac{\partial}{\partial Y}\left[\frac{h_x(m^2+n^2+s^2)}{\bar{\beta}m-h_x n}\right]\right. \tag{15}$$

当地形廓线与 x 无关时，(15)变为

$$\frac{\partial I}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(c_{gx}I)+\frac{\partial}{\partial Y}(c_{gy}I)=-\frac{I}{\bar{\beta}}\frac{\partial\bar{\beta}}{\partial T}-\frac{I}{m}\left[\frac{\partial}{\partial T}+\right.$$

$$\left.+\left(\bar{u}-\frac{\bar{\beta}}{m^2+n^2+s^2}+\frac{2m^2\bar{\beta}}{(m^2+n^2+s^2)^2}\right)\frac{\partial m}{\partial X}+\frac{2mn\bar{\beta}}{(m^2+n^2+s^2)^2}\frac{\partial n}{\partial X}\right] \tag{16}$$

此外，由(7) 式得

$$\frac{\partial m}{\partial Y}=\frac{\partial n}{\partial X},\ \frac{\partial m}{\partial T}+\frac{\partial\omega}{\partial X}=0,\ \frac{\partial n}{\partial T}+\frac{\partial\omega}{\partial Y}=0 \tag{17}$$

利用(17)的第一式及(14)式，(16)式变为

$$\frac{\partial I}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(c_{gx}I)+\frac{\partial}{\partial Y}(c_{gy}I)=-\frac{I}{\bar{\beta}}\frac{\partial\bar{\beta}}{\partial T}-\frac{I}{m}\frac{D_g m}{DT} \tag{18}$$

式中

$$\frac{D_g}{DT}=\frac{\partial}{\partial T}+c_{gx}\frac{\partial}{\partial X}+c_{gy}\frac{\partial}{\partial Y}$$

由(8) 式，设

$$\omega=\bar{u}m-\frac{\bar{\beta}m-h_x n}{m^2+n^2+s^2}=\Omega(m,n,X,Y,T). \tag{19}$$

利用(17)和(19)式，最后可得

$$\begin{cases} \dfrac{D_g m}{DT}=-\dfrac{\partial\Omega}{\partial X}\Big|_{m,n,Y,T}=\dfrac{m\dfrac{\partial\bar{\beta}}{\partial X}-n\dfrac{\partial h_x}{\partial X}}{m^2+n^2+s^2} \\ \dfrac{D_g n}{DT}=-\dfrac{\partial\Omega}{\partial Y}\Big|_{m,n,X,T}=-n\dfrac{\partial\bar{u}}{\partial Y}+\dfrac{m\dfrac{\partial\bar{\beta}}{\partial Y}-n\dfrac{\partial h_x}{\partial Y}}{m^2+n^2+s^2} \end{cases} \tag{20}$$

考虑到地形与 x 无关后，把(20)式代入(18)式，得

$$\frac{\partial I}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(C_{gx}I)+\frac{\partial}{\partial Y}(C_{gy}I)=-\frac{I}{\bar{\beta}}\frac{\partial\bar{\beta}}{\partial T} \tag{21}$$

当基流定常时，有

$$\frac{\partial I}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(C_{gx}I)+\frac{\partial}{\partial Y}(C_{gy}I)=0. \tag{22}$$

这时，波作用密度守恒。

由(22)式可得到扰动不稳定的必要条件，为此，对(22)式在所考虑的区域 σ 中积分，并设边界上扰动为零，则有

$$\iint_{\sigma}\frac{1}{\bar{\beta}}\frac{\partial\bar{\beta}I}{\partial T}d\sigma=0$$

利用 I 的定义式及频率关系式(取 $h_x=0$)，有

$$(c-\bar{u})^2=\frac{\bar{\beta}^2m^2}{(m^2+n^2+s^2)^2}$$

式中 c 是 Rossby 波的相速，代入得

$$\iint_{\sigma}\frac{1}{\bar{\beta}}\frac{\partial}{\partial T}\left[\frac{(m^2+n^2+s^2)^2}{m}\frac{\Psi^2}{2}\right]d\sigma=$$

$$=\iint_{\sigma}\frac{\bar{\beta}m^2}{(c-\bar{u})^2(m^2+n^2+s^2)^2}\frac{\partial}{\partial T}\left[\frac{(m^2+n^2+s^2)^2}{m}\frac{\Psi^2}{2}\right]d\sigma=0 \tag{23}$$

对波动振幅和波长随时间变化的扰动，由(23)式可得到扰动不稳定的必要条件是 $\bar{\beta}$ 在区域 σ 中至少有一个零点，即

$$\beta-\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}+\frac{gf}{C_0^2}\frac{dh}{dy}+\frac{f^2}{C_0^2}\bar{u}=0,\quad y=y_K \tag{24}$$

当不考虑地形时，(24)式与Wiin-Nielsen[4]的结果相同，当不考虑辐合辐散时，与伍荣生[5]的结果一致。在另一文中，我们给定基流，具体计算了不同地形对 Rossby 波稳定度的影响。地形的南北坡对东西风基流上扰动的影响是不同的，北坡有利于西风基流上扰动的发展，南坡是抑制因素。对东风基流，情况恰好相反。

四、能量密度方程

根据[3]，我们定义能量密度 E 为 $E=I(\omega-\bar{u}m)$，由 I 的定义式(12)，知波能量密度为

$$E=(m^2+n^2+s^2)\Psi^2/2 \tag{25}$$

则(15)式变为

$$\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{m^2+n^2+s^2}{\bar{\beta}m-h_xn}E\right)+\frac{\partial}{\partial X}\left(C_{gx}\frac{m^2+n^2+s^2}{\bar{\beta}m-h_xn}E\right)+\frac{\partial}{\partial Y}\left(C_{gy}\frac{m^2+n^2+s^2}{\bar{\beta}m-h_xn}E\right)=$$

$$=-\frac{(m^2+n^2+s^2)}{(\bar{\beta}m-h_xn)^2}E\left(\frac{\partial}{\partial T}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial X}\right)(\bar{\beta}m-h_xn)-\frac{E}{m^2+n^2+s^2}\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{\bar{\beta}(m^2+n^2+s^2)}{\bar{\beta}m-h_xn}\right]$$

$$+\frac{E}{m^2+n^2+s^2}\frac{\partial}{\partial Y}\left[\frac{h_x(m^2+n^2+s^2)}{\bar{\beta}m-h_x n}\right] \tag{26}$$

利用(20)式,最后得到

$$\frac{\partial E}{\partial T}+\frac{\partial}{\partial X}(C_{gx}E)+\frac{\partial}{\partial Y}(C_{gy}E)=mn\Psi^2\frac{\partial\bar{u}}{\partial Y} \tag{27}$$

可见,对无摩擦正压大气,切变基流是 Rossby 波的能量源,地形对 Rossby 波的能量变化没有影响,辐合辐散项也没有影响,它们可能只是 Rossby 波发展的激发机制。

在固定区域 σ 内对(27)式积分,设边界上扰动为零,则有

$$\frac{\partial}{\partial T}\iint_\sigma E\mathrm{d}\sigma=\iint_\sigma \Psi^2 mn\frac{\partial\bar{u}}{\partial Y}d\sigma \tag{28}$$

根据[6],$m>0$,由(28)式显见,对槽线呈西北-东南向导式波槽($n>0$),西风急流轴南侧,波动从基流获得能量,波动发展;在西风急流轴北侧,波动向基流输送能量,波动减弱,即西风急流轴南侧是导波的发展地区。对槽线呈东北-西南向的曳式波槽($n<0$),西风急流轴南侧,波动向基流输送能量,波动减弱,急流轴北侧,波动从基流得到能量,波动发展,即西风急流轴北侧是曳式波槽的发展地区。

五、能 量 传 导

下面用(14)式来讨论波动能量的南北传导。1. $h_x=0$,即地形只有南北坡度的情况。对平坦地形,也不考虑辐合辐散项,则因 $n>0$,而且一般 $\beta-\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}>0$,所以对导式波槽($n>0$),有 $C_{gy}>0$,即有能量向北输送;对曳式波槽($n<0$),有 $C_{gy}<0$,即有能量向南输送。当存在南北坡地形时,对北半球,在山的南坡,加速导式波槽向北输送能量,在北坡,减慢导式波槽向北输送能量,甚至造成导波向南输送能量(如果地形坡度足够大,而使 $\beta-\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial y^2}+\frac{gf}{C_0^2}\frac{dh}{dy}<0$),可见,南北坡度地形的存在,有使导波集中能量于地形附近的趋向。对曳式波槽,地形南坡有利于加速向南输送能量,北坡减慢向南输送能量,甚至向北输送能量,因此,南北坡度地形有利于曳式 Rossby 波向地形两侧辐散能量。对南半球,地形的作用正好相反,南坡减慢导波向北输送能量,因此,南半球南北坡地形有利于导波从地形区域向两侧辐散能量,对曳式波槽,则有集中能量于地形附近的趋向。2. $h_x\neq0$的情形。为简单起见,不考虑 $\bar{\beta}$ 项,即只考虑 $C_{gy_1}=h_x/(m^2+n^2+s^2)-2n^2h_x/(m^2+n^2+s^2)^2=[(m^2+s^2)-n^2]\times h_x/(m^2+n^2+s^2)^2$,可见,$h_x$ 对群速的影响,对导波和曳波是相同的。当 $m^2>n^2-s^2$ 时,即对纬向波长较短的 Rossby 波,C_{gy_1} 的符号由 h_x 决定,对北半球,地形西坡 $C_{gy_1}>0$,即有波槽能量向北输送,地形的东坡,$C_{gy_1}<0$,波能量向南输送。对纬向波长较长的 Rossby 波($m<n^2-s^2$),在地形西坡,$C_{gy_1}<0$,波能量向南输送,东坡有能量向北输送。在南半球,情况正好相反。可见,南北走向地形有利于不同纬度之间的 Rossby 波能量传导。3. 辐合输散项对 Rossby 波能量的南北传导也有影响。西风基流加速导波向北输送能量,东风基流减慢其向北的能量输送,因此,在东西风带的过渡区域,有导式波槽的能量辐散,曳式波槽的能量辐合。

参 考 文 献

[1] Kasahara, A., The dynamical influence of orography on the large scale motion of the atmosphere, *J. A. S.*, 3, 259—271, 1966.
[2] Pedlosky, J., Geophysical fluid dynamics, 625, Springer-Verlag, 1979.
[3] Whitham, G. B., Linear and nonlinear wave, 636, John Wiley & Sons, 1974.
[4] Wiin-Nielsen, A., On short- and long-term variations in quasi-barotropic flow, *Mon. Wea. Rev.*, 11, 461—476, 1961.
[5] 伍荣生，大地形与扰动不稳定，气象学报，1，11—19，1964。
[6] 陈英仪、巢纪平，螺旋 Rossby 波的波作用守恒和稳定性，中国科学，7，663—672，1983。

THE LARGE-SCALE OROGRAPHY AND THE STABILITY OF ROSSBY WAVE IN THE BAROTROPIC ATMOSPHERE

Lu Keli

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing Universtiy)

Abstract

The effects of the large-scale orography on the stability of Rossby wave using the method of multiple scale are discussed. The results show that the influences of orography with northsouth direction slope or west-east direction slope on the Rossby wave and energy propagation are different.