文章编号:1000-0887(2017)02-0216-08　

正压大气模式下大地形和 β 变化的 Rossby 波*

宋　健[1]，　刘全生[2]，　杨联贵[2]

(1. 内蒙古工业大学 理学院, 呼和浩特 010051;
2. 内蒙古大学 数学科学学院, 呼和浩特 010021)

摘要： 在正压大气模式下从准地转位涡方程出发,考虑地形和 β 随纬度变化下引进参数 δ 对 Rossby 波的共同作用,应用正交模方法得到在中高纬度具有大地形、Froude 数以及参数 δ 的 Rossby 波相速度公式; 分析 β 变化下大地形和 Froude 数对 Rossby 波稳定度的影响,表明大地形、Froude 数和参数 δ 对 Rossby 波的稳定性作用.

关 键 词： Rossby 波； 参数 δ； 大地形； Froude 数

中图分类号： O351；P433　　**文献标志码**： A　　doi：10.21656/1000-0887.370135

引　　言

地形包括海洋、陆地以及陆地上的高原、山地、平原、森林、草原、城市等,它的变化对大气和海洋产生一系列的影响.揭示大气波动产生和传输机制是大气动力学研究的主要内容[1],在大气波动中 Rossby 波是指生命史很长、结构上有组织的、前后一致的大尺度永久性波动,是与天气变化有关的主要波动.Rossby 波的运动学和动力学一直受到众多学者关注.刘式适、刘式达[2]说明了它的非线性相互作用是大气环流高低指数及能量谱结构变化的重要因素,同时罗德海[3]也指出了 Rossby 波是研究大气偶极子阻塞形成的主要理论.在产生非线性 Rossby 波的诸多因素中,地形和 β 效应对 Rossby 波的演变均有显著作用.Charney 和 Straus[4]基于准地转位涡度方程构造了一个 β 平面通道中考虑地形、非绝热加热和摩擦的正压大气模式,这项工作开创了大气多平衡态非线性动力学的研究.Hart[5]分析了正压准地转气流在山地的各项异性.Grose 和 Hoskins[6]在具有地形和平均纬向流的正压模式下,计算出的气流模式与季节观测到的平均对流层相一致.Davey[7-8]分别在稳定的 β 平面通道和 β 平面环下用准线性理论研究了地形对旋转流体的作用.Gottwald 与 Grimshaw[9]采用弱非线性和长波近似等方法导出了两层流体模式中地形效应对大气阻塞形成的作用.李子良等[10]研究了岛屿地形对极地低压和热带气旋类涡旋的影响.Wingate,Embid 等[11]研究了具有周期边界旋转和分层流体的 Boussinesq 方程, 他们发现当 Froude 数为 $O(1)$ 量级时,在起旋时间后会形成持续的大尺度 Taylor-Proud-

* **收稿日期**： 2016-05-03；**修订日期**： 2016-07-02
基金项目： 国家自然科学基金(11362012;11562014;41465002)
作者简介： 宋健(1970—),男,副教授,博士(E-mail：songjian@ imut.edu.cn)；
刘全生(1978—),男,副教授,博士(通讯作者. E-mail：smslqs@ imu.edu.cn).

man 流体柱.熊建刚、易帆和李钧[12]采用弱非线性近似,推导出地形和 Ekman 摩擦共同作用下连续谱正压 Rossby 波的非线性时空演化方程,利用这些方程分析了窄角谱 Rossby 波包的波波相互作用问题.吕克利[13-14]采用行波法和摄动法,导出了基本流为弱二次切变下,含有地形的正压 Rossby 孤立波;且振幅满足 Korteweg-de Vries(KdV)方程,显示出地形是 Rossby 孤立波形成的重要因子.刘式适、谭本馗[15]考虑了β变化下的 Rossby 波,分析了 Rossby 波的相速度及其稳定度等问题.罗德海[16]研究了β随纬度变化下 Rossby 孤立波与大气偶极子阻塞,指出β变化可能是引起中高纬地区偶极子阻塞的因素之一.但这些研究仅仅考虑β变化或者是地形对 Rossby 波的作用,没有同时考虑地形和β变化对 Rossby 波的影响.本文中,应用解析的方法分析了大地形和变化的 Rossby 参数及其 Froude 数对 Rossby 波的作用,研究了这些因素对 Rossby 波的相速度、稳定性的影响.

1 控制方程

考虑β随纬度变化下含有地形的准地转位涡方程[15-16]:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial}{\partial y}-\frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial}{\partial x}\right)\left[\nabla^2\psi+(\beta_0-\delta_0 y)y\right]-\frac{f_0^2}{c_0^2}\frac{\partial\psi}{\partial t}-\frac{gf_0^2}{c_0^2}J(h,\psi)=0,\tag{1}$$

其中,$\psi(x,y,t)$是地转流函数;$\beta_0=(2\Omega/a)\cos\varphi_0$,$\delta_0=(2\Omega/a^2)\sin\varphi_0$表明$\beta$随纬度变化;$\varphi_0$是纬度,$\Omega$是地球自转角速度的大小;$f_0$是 Coriolis 参数;$h(x,y)$是地形高度;$c_0^2=gH$;$\nabla^2$为二维水平 Laplace 算子,其值为

$$\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2};\tag{2}$$

其他为常用符号.引入无量纲量:

$$(x,y)=L(x^*,y^*),\ \psi=LU\psi^*,\ t=\frac{L}{U}t^*,\ h=Dh^*,\tag{3}$$

其中U,L和D分别是大气水平特征速度、长度尺度和大气垂直特征尺度,带“$*$”的量为无量纲量.将式(3)代入方程(1)进行无量纲化并省略“$*$”得

$$\frac{\partial}{\partial t}\nabla^2\psi+(\beta-\delta y)\frac{\partial\psi}{\partial x}-Fr\frac{\partial\psi}{\partial t}+J(\psi,\nabla^2\psi)-MJ(h,\psi)=0,\tag{4}$$

其中

$$\beta=\frac{L^2}{U}\beta_0,\ \delta=\frac{L^3}{U}\delta_0,$$

$Fr=\dfrac{f_0^2L^2}{c_0^2}=\dfrac{L^2}{L_0^2}$是散度影响的参数,即行星 Froude 数(简称 Froude 数),

$$M=\frac{gD}{c_0^2}\frac{f_0L}{U}=\frac{D}{H}\frac{1}{R_0}$$

是地形影响参数;$R_0=U/(f_0L)$是 Rossby 数,$L_0=c_0/f_0$是 Rossby 变形半径;流函数$\psi(x,y,t)$为[15]

$$\psi(x,y,t)=-\int_0^y\bar{u}(s)\,\mathrm{d}s+\psi'(x,y,t),\tag{5}$$

其中$\bar{u}=\bar{u}(y)$为基本气流;$\psi'(x,y,t)$是扰动流函数.为了简便,取$h=h(y)$[14],将式(5)代入

方程(4) 并且略去非线性项 $J(\psi',\nabla^2\psi')$，得到扰动流函数的线性方程：

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\nabla^2\psi'+\left(\beta-\delta y-\frac{\mathrm{d}^2\bar{u}}{\mathrm{d}y^2}+M\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}y}\right)\frac{\partial\psi'}{\partial x}-Fr\frac{\partial\psi'}{\partial t}=0. \tag{6}$$

令

$$B=\beta-\delta y-\frac{\mathrm{d}^2\bar{u}}{\mathrm{d}y^2},\ B_0=\beta-\frac{\mathrm{d}^2\bar{u}}{\mathrm{d}y^2},\ P=M\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}y}, \tag{7}$$

其中 B 是 β 随纬度变化下的基本气流绝对涡度的经向梯度，则方程(6)可化为

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial}{\partial x}\right)\nabla^2\psi'+(B+P)\frac{\partial\psi'}{\partial x}-Fr\frac{\partial\psi'}{\partial t}=0. \tag{8}$$

2 地形、Froude 数和参数δ对 Rossby 波的影响

2.1 地形、Froude 数和参数δ作用下的 Rossby 波相速度

应用正交模方法：

$$\psi'(x,y,t)=\Psi(y)\exp[\mathrm{i}k(x-ct)], \tag{9}$$

其中 k 是 x 方向的波数，c 为该方向的相速度。将式(9) 代入方程(8)，当 $\bar{u}-c\neq 0$ 时，得

$$\frac{\mathrm{d}^2\Psi}{\mathrm{d}y^2}-k^2\Psi+\left(\frac{B_0+P+Frc}{\bar{u}-c}-\frac{\delta}{\bar{u}-c}y\right)\Psi=0. \tag{10}$$

令

$$l^2=\frac{B_0+P+Frc}{\bar{u}-c}-k^2,\ a_0=\frac{\delta}{\bar{u}-c},$$

则方程(10)可化为

$$\frac{\mathrm{d}^2\Psi}{\mathrm{d}y^2}+(l^2-a_0y)\Psi=0. \tag{11}$$

方程(11)的边界条件为[15]

$$\Psi(y_1)=\Psi(y_2)=0. \tag{12}$$

方程(11)是在边界条件(12)下的 Stokes 方程，下面求该方程的本征值问题。

令 $\xi=l^2-a_0y$，则方程化为 Bessel 方程：

$$\frac{\mathrm{d}^2\Psi}{\mathrm{d}^2\xi}+a_0^{-2}\xi\Psi=0, \tag{13}$$

其通解为

$$\Psi(\xi)=\sqrt{\xi}\left[C_1\mathrm{J}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}\xi^{3/2}\right)+C_2\mathrm{Y}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}\xi^{3/2}\right)\right], \tag{14}$$

其中 C_1，C_2 为任意常数，$\mathrm{J}_{1/3}$，$\mathrm{Y}_{1/3}$ 分别是 1/3 阶的第一类、第二类 Bessel 函数。由边界条件(12)得

$$\begin{cases}\sqrt{l^2-a_0y_1}\left[C_1\mathrm{J}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_1)^{3/2}\right)+C_2\mathrm{Y}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_1)^{3/2}\right)\right]=0,\\ \sqrt{l^2-a_0y_2}\left[C_1\mathrm{J}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_2)^{3/2}\right)+C_2\mathrm{Y}_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_2)^{3/2}\right)\right]=0.\end{cases} \tag{15}$$

方程(15)有非零解的条件为

$$\begin{vmatrix} J_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_1)^{3/2}\right) & Y_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_1)^{3/2}\right) \\ J_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_2)^{3/2}\right) & Y_{1/3}\left(\frac{2}{3a_0}(l^2-a_0y_2)^{3/2}\right) \end{vmatrix} = 0. \tag{16}$$

在实际大气中 Bessel 函数可渐近展开[16]

$$J_\nu \sim \sqrt{\frac{2}{\pi x}}\cos\left(x-\frac{\nu\pi}{2}-\frac{\pi}{4}\right),\ Y_\nu \sim \sqrt{\frac{2}{\pi x}}\sin\left(x-\frac{\nu\pi}{2}-\frac{\pi}{4}\right),\qquad x\to\infty, \tag{17}$$

其中 ν 是 Bessel 函数的阶数，而在大气中 $\eta_1=(2/3a_0)(l^2-a_0y_1)^{3/2}$，$\eta_2=(2/3a_0)(l^2-a_0y_2)^{3/2}$ 非常大[15-16]，因此式(16)可简化为

$$\frac{1}{\pi\sqrt{\eta_1\eta_2}}\left[\cos\left(\eta_1-\frac{5\pi}{12}\right)\sin\left(\eta_2-\frac{5\pi}{12}\right)-\cos\left(\eta_2-\frac{5\pi}{12}\right)\sin\left(\eta_1-\frac{5\pi}{12}\right)\right]=0, \tag{18}$$

即

$$\sin(\eta_1-\eta_2)=0, \tag{19}$$

则

$$\eta_1-\eta_2=n\pi\qquad(n=1,2,\cdots). \tag{20}$$

由方程(20)得 Rossby 波的相速度 c 的近似代数方程：

$$k^2(\bar u-c)+\left(\frac{3n\pi\delta}{2}\right)^{2/3}(\bar u-c)^{1/3}-(B_0+P+Frc-\delta y_1)=0. \tag{21}$$

如果方程(21)不考虑地形与旋转效应，可忽略第三项得

$$c=\bar u-\frac{3n\pi\delta/2}{k^3}\qquad(n=1,2,\cdots). \tag{22}$$

方程(22)说明此时 Rossby 波的相速度 c 是由纯参数 δ 所产生，而且波长越长，Rossby 波更易静止或向西倒退，这种现象在高纬度地区经常发生。特别若不考虑 β 随纬度变化，即 $a_0=0$，则方程(11)化为

$$\frac{d^2\Psi}{dy^2}+l^2\Psi=0, \tag{23}$$

此时 l 是 y 方向的波数，由 $l^2=(B_0+P+Frc)/(\bar u-c)-k^2$，得 Rossby 波的相速度：

$$c=\bar u-\frac{B_0+P+Fr\bar u}{K_h^2+Fr}, \tag{24}$$

其中 K_h 是水平面上的全波数，$K_h^2=k^2+l^2$。式(24)说明 Rossby 波的波速不仅与 Froude 数有关，而且与地形有关。特别当基本流 $\bar u$ 为常数且不考虑地形作用时，有

$$c=\bar u-\frac{\beta+Fr\bar u}{K_h^2+Fr}\text{[17]}.$$

如果方程(21)忽略第二项得

$$c=\bar u-\frac{B_0+P+Fr\bar u-\delta y_1}{k^2+Fr}. \tag{25}$$

式(25)表明 β 随纬度变化下基本流、地形和 Froude 数共同作用产生的 Rossby 波相速度，这是文献[15]的推广情况；若 $\delta=0$，且基本流和地形为常量，同时不考虑 Froude 数，它退化为 Rossby 公式：

$$c = \bar{u} - \frac{\beta}{k^2}.$$

2.2 地形、Froude 数和参数δ对 Rossby 波稳定度的影响

在 2.1 小节的讨论中 $\bar{u} - c \neq 0$, Kuo[18]指出在β平面近似下 Rossby 波的正压不稳定需满足 B_0 在(y_1, y_2)变号,当考虑参数δ、地形、Froude 数时, $\bar{u} - c \neq 0$ 在区间$[y_1, y_2]$内不等于0,正压不稳定条件 $B + P$ 也仍能使其改变正负号,从而产生正压不稳定.取基本流[15]

$$\bar{u} = \bar{u}_0 + sy, \tag{26}$$

其中 s 表示 $\bar{u}$ 的经向切变且 $s \neq 1$, 则方程(8)化为

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (\bar{u}_0 + sy)\frac{\partial}{\partial x}\right]\nabla^2\psi' + (\beta - \delta y + P)\frac{\partial \psi'}{\partial x} - Fr\frac{\partial \psi'}{\partial t} = 0. \tag{27}$$

将式(9)代入上述方程得

$$(\bar{u}_0 - c + sy)\frac{\mathrm{d}^2\Psi}{\mathrm{d}y^2} + [\beta + P + cFr - k^2(\bar{u}_0 - c) - (\delta + k^2 s)y]\Psi = 0. \tag{28}$$

式(28)是含有一个正则奇点 $y_0 = -(\bar{u}_0 - c)/s$ 和一个非正则奇点 ∞ 的 Laplace 型方程.令

$$\begin{cases} y = \dfrac{\eta}{2\sqrt{k^2 + \delta/s}} - \dfrac{\bar{u}_0 - c}{s}, \\ \Psi(y) = \exp\left(-\sqrt{k^2 + \dfrac{\delta}{s}}y\right)\Phi(\eta), \end{cases} \tag{29}$$

将方程(29)代入方程(28)得

$$\eta\frac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}\eta^2} - \eta\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}\eta} - a\Phi = 0, \tag{30}$$

其中

$$a = -\left(\frac{\beta + cFr + k_0^2(\bar{u}_0 - c)}{2s\sqrt{k^2 + k_0^2}} + \frac{\bar{P}}{s}\right), \quad k_0^2 = \frac{\delta}{s}, \quad \bar{P} = M\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}\eta}.$$

方程(30)是 Kummer 方程,它的两个线性无关解为

$$\begin{cases} \Phi_1(\eta) = \eta \mathrm{F}(a + 1, 2, \eta), \\ \Phi_2(\eta) = \eta \mathrm{G}(a + 1, 2, \eta), \end{cases} \tag{31}$$

其中

$$\mathrm{F}(a, \gamma, x) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{(a)_k}{k!\ (\gamma)_k}x^k, \quad \mathrm{G}(a, \gamma, x) = \mathrm{F}(a, \gamma, x)\ln x + \cdots$$

分别为第一类和第二类 Kummer 函数, $(a)_k$ 为 Gauss 符号.

由文献[15]知当 $a + 1 = -n\ (n = 0, 1, 2, \cdots)$ 时,方程(30)的解为稳定波解,即

$$\frac{\beta + cFr + k_0^2(\bar{u}_0 - c)}{2s\sqrt{k^2 + k_0^2}} + \frac{\bar{P}}{s} = n + 1 \qquad (n = 0, 1, 2, \cdots). \tag{32}$$

因为 $n + 1 \geqslant 1$, 故可判断,风速切变数值越大,越易引起 Rossby 波的不稳定,而β,δ以及地形和 Froude 数起到稳定的作用.

如果不考虑地形和 Froude 数的作用,方程(32)化为

$$\frac{\beta+k_0^2(\bar{u}_0-c)}{2s\sqrt{k^2+k_0^2}}=n+1 \qquad (n=0,1,2,\cdots),$$

这与文献[15]的结果相一致.

3 结 论

Rossby 波是地球流体大尺度运动的主要波动,本文从准地转位涡方程出发研究了 β 随纬度变化下所引进的参数 δ 、地形和 Froude 数对 Rossby 波相速度、稳定性的影响,其主要结论如下:

1) 参数 δ 主要在中高纬度起作用,它能得到只有参数 δ 引起 Rossby 波;参数 δ、地形和 Froude 数共同作用可以使 Rossby 波更易静止或向西倒退,即这些因素对 Rossby 波相速度明显向东移动有显著的增加,这种现象在高纬度地区经常发生.

2) Rossby 参数随纬度变化下引进参数 δ、地形和 Froude 数导致 Rossby 波正压不稳定的必要条件变为 $B+P$ 在(y_1,y_2)内改变正负号,而参数 δ 等因素起稳定的作用.

致谢 作者衷心感谢内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY16096)和内蒙古工业大学科学研究项目(ZD201411)的资助.

参考文献(References):

[1] 刘萍, 李子良, 楼森岳. 一类耦合非线性 Schrödinger 方程的 Painlevé 性质、严格解及其大气重力波重的应用[J]. 应用数学和力学, 2010, **31**(11): 1308-1329.(LIU Ping, LI Zi-liang, LOU Sen-yue. A class of coupled nonlinear Schrödinger equation: Painlevé property, exact solutions and application to atmospheric gravity waves[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2010, **31**(11): 1308-1329.(in Chinese))

[2] 刘式适, 刘式达. 大气动力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008: 462-475.(LIU Shi-kuo, LIU Shi-da. *Atmospheric Dynamics*[M]. Beijing: Peking University Press, 2008: 462-475.(in Chinese))

[3] 罗德海. 大气中大尺度包洛孤立子理论与阻塞环流[M]. 北京: 气象出版社, 1999.(LUO De-hai. *Envelope Rossby Solitons in the Large-Scale Atmosphere and Blocking Circulations*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999.(in Chinese))

[4] Charney J G, Straus D M. From-drag instability multiple equilibria and propagating planetary waves in baroclinic, orographically forced, planetary wave systems[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1980, **37**(6): 1157-1176.

[5] Hart J E. Barotropic quasi-geostrophic flow over anisotropic mountains[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1979, **36**(9): 1736-1746.

[6] Grose W L, Hoskins B J. On the influence of orography on large-scale atmospheric flow[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1979, **36**(2): 223-234.

[7] Davey M K. A quasi-linear theory for rotating flow over topography—part 1: steady β-plane channel[J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 1980, **99**(2): 267-292.

[8] Davey M K. A quasi-linear theory for rotating flow over topography—part 2: beta-plane annulus[J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 1981, **103**: 297-320.

[9] Gottwald G, Grimshaw R. The effect of topography on the dynamics of interacting solitary waves in the context of atmospheric blocking[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*,

1999, **56**(21): 3663-3678.

[10] 李子良, 傅刚, 郭敬天, 等. 岛屿地形对极地低压和热带气旋发展的线性理论模型和观测资料分析[J]. 应用数学和力学, 2009, **30**(10): 1189-1201.(LI Zi-liang, FU Gang, GUO Jing-tian, et al. Topographic effects on polar low and tropical cyclone development in a simple theoretical model[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2009, **30**(10): 1189-1201.(in Chinese))

[11] Wingate B A, Embid P, Holmes-Cerfon M, et al. Low Rossby limiting dynamics for stably stratified flow with finite Froude number[J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 2011, **676**(69): 546-571.

[12] 熊建刚, 易帆, 李钧. 地形对正压大气 Rossby 波非线性相互作用的影响[J]. 应用数学和力学, 1994, **15**(6): 555-563.(XIONG Jian-gang, YI Fan, LI Jun. The influence of topography on the nonlinear interaction of Rossby waves in the barotropic atmosphere[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 1994, **15**(6): 555-563.(in Chinese))

[13] 吕克利. 大地形与正压 Rossby 孤立波[J]. 气象学报, 1987, **45**(3): 267-273.(LÜ Ke-li. The effects of orography on the solitary Rossby waves in a barotropic atmosphere[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1987, **45**(3): 267-273.(in Chinese))

[14] 吕克利. 大地形与正压 Rossby 孤立波——弱二次切变基本气流[J]. 气象学报, 1988, **46**(4): 412-420.(LÜ Ke-li. Large orography and barotropic solitary Rossby waves—weak quadric shearing basic flow[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1988, **46**(4): 412-420.(in Chinese))

[15] 刘式适, 谭本馗. 考虑 β 变化下的 Rossby 波[J]. 应用数学和力学, 1992, **13**(1): 35-44.(LIU Shi-kuo, TAN Ben-kui. Rossby waves with the change of β[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 1992, **13**(1): 35-44.(in Chinese))

[16] 罗德海. 考虑 β 随纬度变化下的 Rossby 孤立波与偶极子阻塞[J]. 应用气象学报, 1995, **6**(2): 220-227.(LUO De-hai. Solitary Rossby waves with the beta parameter and dipole blocking[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1995, **6**(2): 220-227.(in Chinese))

[17] Pedlosky J. *Geophysical Fluid Dynamics*[M]. New York: Springer-Verlag New York Inc, 1987: 108-109.

[18] Kuo H L. Dynamic instability of two-dimensional nondivergent flow in a barotropic atmosphere[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1949, **6**(2): 105-122.

Rossby Waves Excited by Large Topography and Beta Change in Barotropic Atmosphere

SONG Jian[1], LIU Quan-sheng[2], YANG Lian-gui[2]

(1. *College of Sciences*, *Inner Mongolia University of Technology*, *Hohhot* 010051, *P.R.China*;

2. *School of Mathematical Sciences*, *Inner Mongolia University*, *Hohhot* 010021, *P.R.China*)

Abstract: Based on the potential vorticity equation, the large topography and the change of Rossby wave parameter β with the latitude were considered and parameter δ was introduced. With the normal mode method, the Rossby wave phase velocity formula was obtained in the high latitude regions with the large topography, the Froude number and parameter δ. The research points out that the large topography and the Froude number under the change of β influence the stability of Rossby waves, and these factors usually play a stabilizing part in the Rossby waves.

Key words: Rossby wave; parameter δ; large topography; Froude number

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China(11362012; 11562014; 41465002)

引用本文/Cite this paper:

宋健, 刘全生, 杨联贵. 正压大气模式下大地形和β变化的 Rossby 波[J]. 应用数学和力学, 2017, **38**(2): 216-223.

SONG Jian, LIU Quan-sheng, YANG Lian-gui. Rossby waves excited by large topography and beta change in barotropic atmosphere[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2017, **38**(2): 216-223.