

文章编号: 1000-2022(2003) 04-0473-08

惯性稳定性在伴有高低空急流的暴雨中的作用

张文龙, 周 军

(南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 通过对低空西南急流左前方和高空偏北大风轴右后方的惯性稳定性和对称稳定性的理论分析和实例计算, 表明: 低空急流左前方惯性稳定度大值区的存在, 有利于低层湿热能量的积累, 使低层倾斜对流的不稳定发展更多期望于条件性对称不稳定或对流不稳定; 高空偏北大风轴(西风急流)的存在, 是其右后方(右侧)出现对称不稳定的有利条件, 高空相对容易出现干对称不稳定; 惯性稳定性的作用, 使低层的倾斜对流更偏向于垂直方向, 有利于对流发展, 使高层的倾斜对流更偏向于水平方向, 有利于高层辐散。

关键词: 惯性稳定性; 低空急流; 倾斜对流; 对称不稳定

中图分类号: P433 **文献标识码:** A

低空急流被认为是对中纬度暴雨和强风暴提供热力学和动力学条件的重要天气系统。低空急流左前方常为对流不稳定区^[1]或条件性对称不稳定区^[2]; 暴雨经常发生在低空急流的左前方, 高空(200 hPa)南亚高压东部的偏北大风轴的右后方^[3-4]; 低空急流左前方有强的辐合区, 高空偏北大风轴的右后方有强的辐散区^[2]。

暴雨区对流运动的不稳定发展, 进而突破大气大尺度运动的准地转、准水平特性, 而成长为形成和维持中尺度强暴雨的“深对流”运动, 一般要求有强的不稳定机制与之配合。低空急流及高空偏北大风轴特殊的水平风场结构, 首先表现为其惯性稳定性的特殊分布, 进而影响对称不稳定的实现。另外许多文献^[1-5]在考虑高低空急流耦合作用时, 主要考虑了辐合辐散场的配合, 较少考虑高低空不稳定性的配合, 对暴雨区不稳定性的研究, 主要着眼于对流不稳定的热力作用, 很少考虑惯性稳定性的动力作用, 对惯性稳定性的考虑主要是纬向西风, 没有考虑二维非纬向的情况。本文将从惯性稳定性分析出发, 来探讨伴有非纬向高低空急流的暴雨的对称不稳定的一些自有特点, 以期对暴雨的不稳定机制有进一步的了解。

1 平直纬向地转西风情况下的惯性稳定性和对称不稳定

对称不稳定理论对有组织的带状雨区的解释最有说服力, 因而在近 30 a 里得到了越来越多的研究和重视。很早以前就观测到, 雨区常常呈现出有组织的带状结构, 雨带与温带气旋中

收稿日期: 2002-06-06; 改回日期: 2003-05-11

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G 1998040907-02-01)

作者简介: 张文龙(1969-), 男, 河北康保人, 工程师, 硕士生, 从事中小尺度灾害性天气研究。

的锋面平行,雨带的宽度小于 100 km,为中 β 尺度,带状区的降雨强度较大。有低空急流相伴的长江中下游梅雨锋暴雨也常有类似的结构。Hoskins^[6], Bennets 等^[7]指出,带状雨区的产生与大气中的对称不稳定有关,Emanuel^[8]论证了这种不稳定所产生的环流是中尺度的。

从动力学上讲,对称不稳定和对流不稳定、惯性不稳定是很相似的,它们都是由作用在流体上的质量力不稳定分布产生的。对流不稳定的作用力是重力,惯性不稳定的作用力是科氏力,二者的作用方向不同,前者是垂直方向,后者是水平方向。对称不稳定是在发生倾斜对流时在二力的共同作用下产生的,下面给出经典的惯性稳定性和对称稳定性的判据^[9]。

1.1 惯性稳定性及其判据

水平面上处于地转平衡的基本气流受到横向扰动时,扰动被加速,称为惯性不稳定,反之称为惯性稳定。惯性不稳定是由平直风速水平分布不均匀引起的。

设所考虑的基本气流是沿 x 方向的地转西风(图 1),风速为 u_g ,若有微小空气块横向穿越基本气流时,其惯性不稳定的判据是

$$f - \frac{\partial u_g}{\partial y} \begin{cases} > 0, & \text{惯性稳定;} \\ = 0, & \text{中性;} \\ < 0, & \text{惯性不稳定。} \end{cases}$$

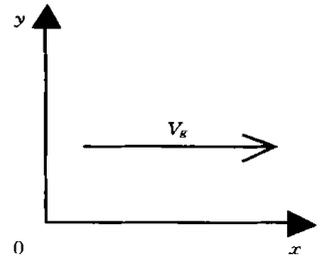


图 1 平直纬向基流情形
Fig. 1 The zonal straight basic flow

1.2 对称不稳定及其判据

对称不稳定是空气作倾斜上升运动时所表现出的不稳定性。即使环境基流同时满足静力稳定和惯性稳定,但当空气块既作水平位移,又同时作垂直位移,即倾斜位移时,如气块在其移动方向上产生加速度,则称为对称不稳定,反之称为对称稳定。对称不稳定是一种中尺度不稳定,常与暴雨、强对流天气相联系。与上面给出的惯性稳定性判据相对应的对称不稳定判据为

$$\frac{N^2}{(\partial u / \partial z)^2} (1 - \frac{\partial u}{f \partial y}) < 1, \quad \text{对称不稳定。} \quad (1)$$

其中 $N^2 = \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial z}$ 为浮力频率。

另一条常用的判据是:当 $R_i < 1$ 时,对称不稳定;当 $R_i > 1$ 时,对称稳定。其中 $R_i = \frac{N^2}{(\partial u / \partial z)^2}$ 为理查逊数。后面将主要通过这一条判据的修正,来说明在低空急流左前方,高空偏北大风轴右后方,惯性稳定性有重要作用。

2 非纬向平直基流的惯性稳定性及对称不稳定判据

由于中纬度以西风环流为主,所以理论上研究急流大都将基本气流理想化为纬向西风,虽然在实际大气中纬向西风是重要特征,但一般来说大气的基本气流并非纯纬向,有时(如低指数环流期)高空经向环流可以很强。在梅雨锋暴雨中,低层也常伴有低空西南急流,所以有必要给出可直接用于非纬向基流的惯性稳定性和对称稳定性讨论的判据形式。

2.1 惯性稳定性判据

用旋转坐标系的方法,可以推出非纬向急流的惯性稳定性和对称稳定性的判据。设所考虑的基本气流为平直的非纬向地转风 V_g , 风速大小为 V_g 。取直角坐标系 $\sigma-\eta$ 坐标轴 η 与风 V_g 平行且方向相同,坐标轴 σ 与风 V_g 垂直且指向 η 左侧(图 2)。

对北半球而言 $f > 0$, 不考虑 f 随纬度的变化, 由此可得对二维的非纬向基流, 惯性稳定性的判据为

$$f - \frac{\partial V_g}{\partial \sigma} \begin{cases} > 0, & \text{惯性稳定;} \\ = 0, & \text{中性;} \\ < 0, & \text{惯性不稳定。} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 对称稳定性判据

二维非纬向基流的对称不稳定判据为

$$\frac{N^2}{(\partial V_g / \partial \xi)^2} (1 - \frac{\partial V_g / \partial \sigma}{f}) < 1, \quad \text{对称不稳定。} \quad (3)$$

其中 $N^2 = \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial z}$ 为浮力频率。可见对非纬向基流而言, 可得到与沿 x 方向地转西风基本相同形式的惯性稳定性和对称稳定性的判别式, 用 (2)、(3) 式定性讨论非纬向高低空急流引起的惯性稳定性和对称不稳定更为方便直接。

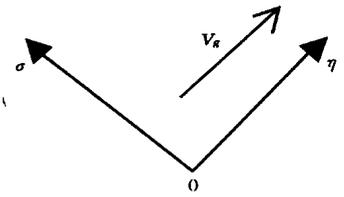


图 2 平直非纬向基流情形

Fig. 2 The non-zonal straight basic flow

3 低空西南风急流左前方稳定性状况分析

3.1 低空急流左前方的惯性稳定性分析

已有的诊断分析结果表明, 在低空急流左侧 R_i 数往往很小, 它的量级在 10^0 左右, 甚至为负值, 表现出强烈的位势不稳定, 或在低空急流的左前方, 有明显的条件对称不稳定区。虽然低空急流左前方的不稳定性是主要的, 而且因和暴雨落区紧密联系而受到更多的注意。但是从惯性稳定性的角度分析, 低空急流左前方也有其稳定的一面, 它对低空急流暴雨的发生发展也有着特殊的作用。由图 3 分析, 对低空急流左前方而言有 $\partial V_g / \partial \sigma < 0$, 北半球 $f > 0$, 所以 $(f - \partial V_g / \partial \sigma) > 0$, 即是惯性稳定的, 同时相对于急流左侧其他地点而言, 在左前方纬度最高, f 值最大, 所以该处的惯性稳定度也最大。

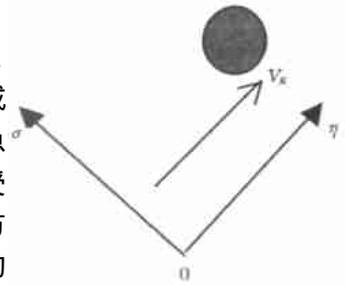


图 3 低空急流左前方情形

Fig. 3 The left front of low level jet

3.2 低空急流左前方发生暴雨的条件

由上面的讨论可见, 低空急流的左前方有最大的惯性稳定度, 所以对气块的水平位移来说是惯性稳定的。暴雨的发生要求有对流运动的不稳定发展, 倾斜对流常与强暴雨天气相联系, 倾斜对流的不稳定发展, 则要求满足对称不稳定条件。由于 $(f - \partial V_g / \partial \sigma) > 0$, 同时有 $(1 - \frac{\partial V_g / \partial \sigma}{f}) > 1$, 若对称不稳定条件(3)式成立, 则必需满足

$$R_i < (1 - \frac{\partial V_g / \partial \sigma}{f})^{-1} < 1. \quad (4)$$

其中 $R_i = \frac{N^2}{(\partial V_g / \partial \xi)^2}$ 为理查逊数。可见由于低空急流左前方的惯性稳定性的存在, 相对于常用的 $R_i < 1$ 而言, 产生了一个对称稳定区间

$$(1 - \frac{\partial V_g / \partial \sigma}{f})^{-1} < R_i < 1. \quad (5)$$

由于该稳定区间的作用, 使倾斜对流不能轻易发生。急流水平切变越大, 它的作用越大。

对湿空气而言, 对称不稳定判据可写为

$$\frac{N_s^2}{(\partial v_g / \partial z)^2} \left(1 - \frac{\partial v_g / \partial \sigma}{f}\right) < 1. \quad (6)$$

条件性对称不稳定的判据为

$$\begin{cases} \frac{N_s^2}{(\partial v_g / \partial z)^2} \left(1 - \frac{\partial v_g / \partial \sigma}{f}\right) < 1, \\ \frac{N^2}{(\partial v_g / \partial z)^2} \left(1 - \frac{\partial v_g / \partial \sigma}{f}\right) > 1. \end{cases} \quad (7)$$

其中 $N_s^2 = \frac{g}{\bar{\theta}_0} \frac{\partial \bar{\theta}_s}{\partial z}$ 为湿浮力频率。同样由于低空急流左前方的惯性稳定性的作用,使得湿对称不稳定不易发生。但由于急流左前方的暖湿能量的输送和积累特性^[10-11],特别是湿急流造成的水汽通量散度在垂直方向上的不均匀分布,使得低空急流左前方的稳定度随时间减小,直至在中低层出现 $\frac{\partial \bar{\theta}_s}{\partial z}$ 有较小值,达到等 $\bar{\theta}$ 面斜率大于等 \bar{M} 面的斜率,或 $\frac{\partial \bar{\theta}_s}{\partial z} < 0$,即有可能满足条件性对称不稳定或对流不稳定条件。从另一方面看,正是倾斜对流不能轻易发生,才使湿热能量有较程度的积累,惯性稳定性起到了类似逆温层或“暖盖”的储存能量的作用。在低空急流左前方不稳定的发生,湿热力特性起的作用相对更大一些,而且这种不稳定一旦实现,必然有强的降水天气相伴随。当低空急流左前方为对流不稳定时,即 $\frac{\partial \bar{\theta}_s}{\partial z} < 0$ 时,由图 4 通过气块法可得到,对于包括垂直气流在内的倾斜气流,当倾角大于 α 且小于 β 时,在垂直方向上满足对流不稳定,在水平方向上满足惯性不稳定,有利于强暴雨天气发生。需要注意的是,突破对称稳定区间和实现对流不稳定都需要辐合抬升系统的配合,所以低空急流暴雨一般有低涡或切变线相伴。垂直上升运动可视为倾斜对流的特殊情况,直观上看,图 4 倾斜对流较图 5 对称不稳定情形的范围大,有利于来自不同方向的辐合气流的不稳定发展。

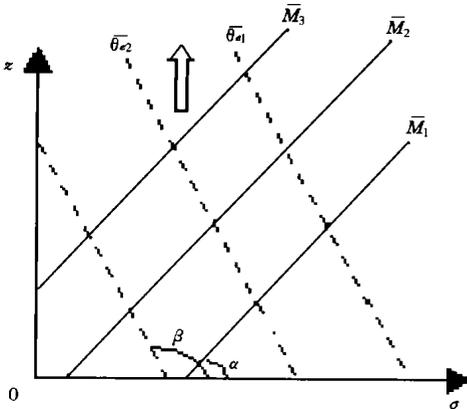


图 4 对流不稳定情形

Fig. 4 The convective instability

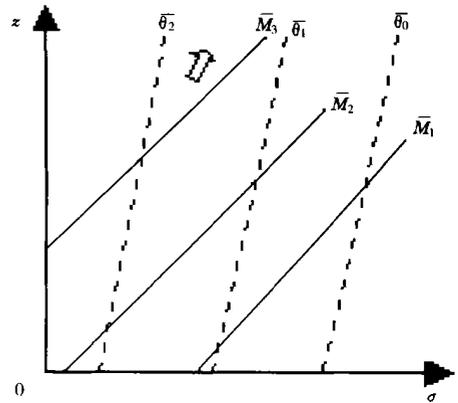


图 5 干对称不稳定情形

Fig. 5 The dry symmetric instability

3.3 低空急流左前方惯性稳定性的特殊作用

低空急流左前方惯性稳定度大值区的作用可能主要有三个方面。第一,从惯性稳定性的定义知道,惯性稳定性大,则不利于空气块在垂直于西南风急流的方向上的不稳定发生,也即不利于该方向的水平混合,从而有利于维持低空急流的水平风场特征;第二,从对称稳定性的判据看到,惯性稳定度越大,若满足对称不稳定条件,则要求 R_i 数越小,使得低空急流左前方有

“抑干通湿”的作用,即只有湿热能量积累到一定程度才可能有不稳定的发生,同时 R_i 是中小尺度扰动发展的一个标志, R_i 数越小,越有利于中 α 中 β 尺度的天气系统的发生进而有利于强暴雨的发生;第三,惯性稳定度越大,越有利于倾斜对流更偏向于垂直方向,从而有利于对流发展,这一点将在后面进一步说明。

4 惯性稳定性在高空偏北大风轴右后方的作用

梅雨期暴雨中,当出现活跃的低空西南急流同时,在对流层上部(200 hPa),由于青藏高压东扩,在高压东侧出现偏北大风轴,这支大风轴的 v 分量有时可达 $-30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,它向南运动并转为东北风而汇入南亚东风急流中,在这支强风轴的北端发现高空辐散和辐散的增长,因而有利于其右后方的暴雨发生。从强暴雨的发生和倾斜对流密切联系,倾斜对流的不稳定发展需满足对称不稳定条件的观点出发,注意到在高空由于水汽含量不足,对流不稳定条件 $R_i < 1$ 不容易满足^[5,12]。于是如果有倾斜对流不稳定发展,满足对称不稳定条件,由(3)式,则惯性不

稳定项 $(1 - \frac{1}{f} \frac{\partial V_g}{\partial \sigma})$ 必需足够小。在偏北大风轴右后方,由图6分析, $\frac{\partial V_g}{\partial \sigma} > 0$,所以 $(1 - \frac{1}{f} \frac{\partial V_g}{\partial \sigma}) < 1$,当该项足够小时,则可发生对称不稳定。可见,在偏北大风轴的右后侧当 $1 < R_i <$

$(1 - \frac{1}{f} \frac{\partial V_g}{\partial \sigma})^{-1}$ 时,也可出现对称不稳定,由于惯性稳定性的减小,在高空相对容易出现干对称不稳定。所以,偏北大风轴的存在,为其右后方的对称不稳定条件的满足提供了有利条件。同理在高空西风急流右侧,也有相同的有利于对称不稳定发生的条件。在许多情况下,高空急流是产生高空辐散的机制之一,它体现在“抽气作用”——即当高空辐散大于低空辐合,抽气作用有利于上升气流的维持和加强,以及“通风作用”——即将对流云中上部由于凝结潜热释放所增加的热量不断地带走,维持气柱不稳定两个方面。这里得到,高空西风急流还有第三方面的作用,即建立和维持高空的对称不稳定,为对流向高空的发展和加强提供重要条件。

还需要注意的是,惯性稳定性是表示水平扰动能否不稳定发展的度量,如惯性稳定度大,则水平扰动不易发展。在低层,低空急流左前方惯性稳定度大,即等 \bar{M} 面的斜率大。由图7可见,由于倾斜气流的斜率需大于等 \bar{M} 面的斜率,倾斜气流相对偏向于垂直方向,因此有利于对流。由图8可得,在高空偏北大风轴右后方惯性稳定度小,即等 \bar{M} 面的斜率小,倾斜气流的不稳定发展更偏向于水平方向,因此有利于高层水平辐散过程。

以往考虑高低空急流的耦合作用时主要考虑了辐散、辐合场的配合作用,从这里看到,也应同时考虑高低空急流影响下的对称不稳定性的相互配合作用。可以推断,低层低空急流左前方的条件性对称不稳定或对流不稳定存在,加上强烈的低层辐合,配合高空偏北大风轴右后方或高空急流右侧的对称不稳定存在及强烈的高空辐散,可促使倾斜对流强烈发展,进而导致具有中尺度深对流特征的强暴雨天气。

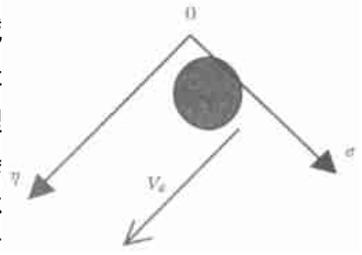


图6 高空偏北大风轴右后方情形

Fig. 6 The right rear of the upper level northerly strong flow

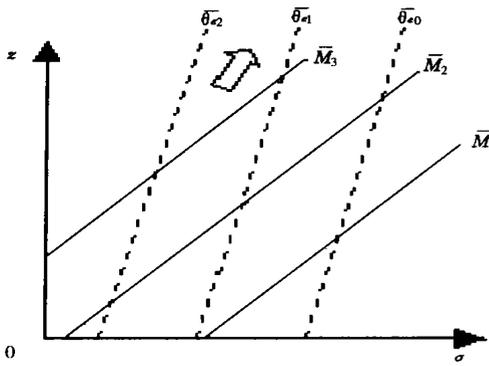


图 7 低空倾斜气流情形

Fig. 7 The slantwise convection at 850 hPa

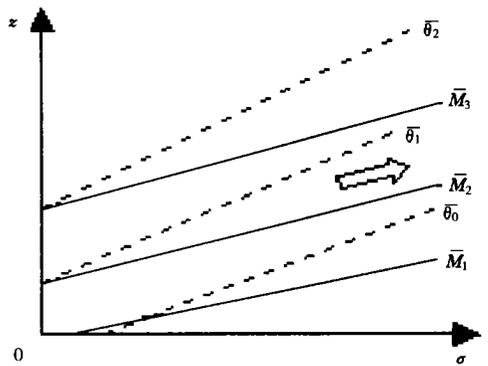


图 8 高空倾斜气流情形

Fig. 8 The slantwise convection at 200 hPa

5 实例分析

1998 年 7 月 18 日至 27 日, 长江流域上游由西北向东南发生了一次强降水过程, 其中受高、低空急流影响, 在 21 日 02 时至 14 时, 武汉(114.5 E, 30.5 N) 及其附近地区出现了一次大暴雨天气, 12 h 降水量达到 271 mm, 创武汉有记录以来 7 月份最大日降水量的新高。高低空急流对此次暴雨的作用其他方面, 已有许多文献作了研究^[5, 13], 下面主要分析惯性稳定性的作用, 并选择 21 日 08 时作为武汉暴雨的特征时刻。

由图 9a 可见, 在 200 hPa 等压面上, 中纬度西风急流呈西北—东南走向, 武汉暴雨区位于高空急流中心右前方大约 6 个纬距内, 通常定义对流层上部大于等于 30 m/s 的强风速带为高空急流, 认为急流中心与暴雨区不超过 10 个纬距为两者有关系^[14], 所以这次暴雨和高空急流有直接关系。

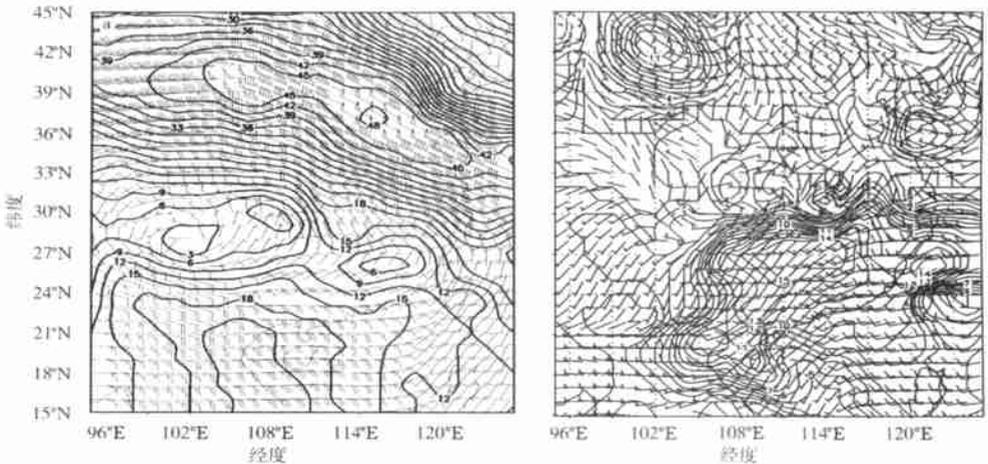


图 9 1998 年 7 月 21 日 08 时等压面上风矢量、等风速线分布 a. 200 hPa; b. 850 hPa

Fig. 9 Wind vector, isotach at 08:00 July 21, 1998

a. 200 hPa; b. 850 hPa

由图 9b 看到, 在 850 hPa 等压面上, 武汉暴雨区位于低空西南急流左前方约 2 个纬距的地方, 由此可以认为这次暴雨和低空西南急流也有直接的关系^[15]。

在这次暴雨过程中, 由于高空西北急流的南压和低空西南急流的北抬, 使得武汉地区附近高空水平流场的惯性稳定性发生了明显的变化, 对称不稳定的实现条件随之变化, 进而影响中小尺度对流系统的发生发展。通常将对称不稳定的判据写为(1)式, 并认为在北半球一般有 $\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} > 0$, $1 - \frac{1}{f} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} > 1$, 因此只要 $R_i < 1$, 对称不稳定条件就能满足。但是, 当考虑高低空急流引起的强烈的水平切变时, 则有必要更细致地估算惯性稳定性项的作用。由非纬向基流的对称稳定性判据(3)式, 当 $R_i(1 - \frac{1}{f} \frac{\partial \bar{V}_g}{\partial \sigma}) < 1$ 时, 对称不稳定。在高空 200 hPa 等压面上, 武汉暴雨区风速约为 16 m/s, 急流轴中心约 46 m/s, 水平切变约为 $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $f = 2\Omega \sin \Phi$, $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 则当 $R_i < 3.25$ 时即可满足对称不稳定条件, 惯性稳定性的作用, 使得高空发生对称不稳定时对里查逊数的要求放宽, 为倾斜对流在高空的发生发展提供了有利条件。武汉暴雨区 21 日 08 时, 600 hPa 以下为对流不稳定层结, 600 ~ 100 hPa 为对流稳定层结, 高空 200 ~ 100 hPa 的 R_i 数约 1.5^[5]。所以惯性稳定性使初看起来对流稳定和对称稳定的高层大气变成了对称不稳定, 在高空不稳定条件的形成方面起到了重要作用。在低空 850 hPa 等压面上, 在降水区有一个小涡旋出现, 武汉站为偏北风 10 m/s, 南昌站为西西南风 16 m/s, 暴雨区西南方向的水平风切变约为 $-7.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 惯性稳定性项约为 2.02, 所以对低层要求 $R_i < 0.5$ 时, 才能满足对称不稳定条件。可见惯性稳定性的作用, 使得低层的对称不稳定不容易发生, 而更多表现为对流不稳定。这也可能是 R_i 数的零值线常常穿越梅雨锋暴雨带^[16]的原因之一。另外从 21 日 08 时的风场垂直剖面图^[5]上看到, 武汉上空 850 hPa 附近气流近于垂直, 200 hPa 附近则偏向于水平, 这是惯性稳定性作用的又一表现。在低空急流左前方有水平切变越大, 暴雨强度越大的现象^[15], 这一方面是由于切变涡度增大, 另一方面则是由于惯性稳定度增大, 使低层的不稳定发展更趋向于垂直方向, 加强了对流运动。

6 结 论

(1) 由于低空急流左前方为惯性稳定且有最大值存在, 使得有一个对称稳定区间 $(1 - \frac{\partial \bar{V}_g / \partial \sigma}{f})^{-1} < R_i < 1$, 由于它的作用使得倾斜对流在低层不能轻易发生, 因而有利于低层湿热能量的积累。在低层, 低空急流左前方的不稳定发展更多地期望于其湿热特征即 $\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}$ 的情况, 相对容易发生条件性对称不稳定或对流不稳定。

(2) 高空(200 hPa) 偏北大风轴的右后方或西风急流的右侧, 由于惯性稳定性有较小值的作用, 在 $R_i > 1$ 时也可能出现对称不稳定, 为对称不稳定的发生提供了有利条件, 有利于干对称不稳定的发生。在考虑高低空急流耦合作用时, 应同时考虑对称不稳定性的耦合情况。

(3) 低空急流左前方惯性稳定度大, 等 \bar{M} 面斜率大, 条件性对称不稳定发展的倾斜气流更偏向于垂直方向, 有利于对流; 高空偏北大风轴右后方(西风急流右侧), 惯性稳定度小, 等 \bar{M} 面斜率小, 干对称不稳定发展的倾斜气流更偏向于水平方向, 有利于高层辐散。

参考文献:

- [1] 孙淑清, 翟国庆. 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用[J]. 大气科学, 1980, 4(4): 327-337.
- [2] 翟国庆, 丁华君, 孙淑清. 与低空急流相伴的暴雨天气的诊断研究[J]. 大气科学, 1999, 23(1): 112-118.
- [3] 翟国庆. 对流层高层偏北气流在梅雨暴雨中的作用[J]. 气象学报, 1998, 56(1): 68-76.
- [4] 翟国庆, 高 坤, 孙淑清. 梅雨期高层流场对低层急流及中尺度系统影响的数值实验[J]. 气象学报, 1997, 55(6): 714-725.
- [5] 张海霞, 周伟灿, 黄昌兴. 长江流域不同区域暴雨发生机理的比较研究[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 21-27.
- [6] Hoskins B J. The role of potential vorticity in symmetric stability and instability[J]. Q J R M eteorol Soc, 1974, 100(425): 480-482.
- [7] Bennets D A, Hoskins B J. Conditional symmetric instability a possible explanation for frontal rain bands[J]. Q J R M eteorol Soc, 1979, 105(446): 945-962.
- [8] Emanuel K A. Inertial instability and mesoscale convective system, Part 1: linear theory of inertial instability[J]. J Atmos Sci, 1979, 36(12): 2425-2449.
- [9] 寿绍文. 中尺度天气动力学[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 117-134.
- [10] 王两铭. 饱和湿空气天气动力学[M]. 北京: 气象出版社, 1981: 47-67.
- [11] 张丙辰. 长江中下游梅雨锋暴雨的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 134-136.
- [12] 张可苏. 斜压气流的中尺度稳定性: 对称不稳定[J]. 气象学报, 1988, 46(3): 258-266.
- [13] 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [14] 王小曼, 丁治英. 梅雨暴雨与高空急流的统计与动力分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 111-117.
- [15] 湘中中、小尺度系统实验基地暴雨组. 中尺度暴雨分析和预报[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 314-323.
- [16] 安徽气象科学研究所. 梅雨期暴雨的诊断预报[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1986: 34-36.

The Role of Inertial Stability in Heavy Rain Accompanied by Upper and Low Level Jets

ZHANG Wen-long, ZHOU Jun

(Department of Atmospheric Science, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: The important effect of inertial stability on heavy rain accompanied by low level south-westerly jet and upper level northerly strong flow is analyzed theoretically in this paper. The results show that the existence of the maximum of inertial stability in the left front of the low level jet is favorable to the accumulation of moist thermal energy and that the conditional symmetric instability or convective instability can be expected in this region. The maintenance of the upper level strong flow provides a beneficial circumstance for the generation of the dry symmetric instability in its right rear region. Furthermore, the inertial stability can cause a slantwise convection at low level more vertical and therefore support the convection, which in turn makes the slantwise convection more horizontal at upper level and benefits the divergence over there.

Key words: inertial stability; low level jet; slantwise convection; symmetric instability