

北半球冬季冷涌及其反馈过程 对我国南方降水的影响

张元箴 吴 洪 张兴旺

(北京气象学院, 北京 100081)

提 要

分析了北半球冬季中、低纬度天气系统之间的相互作用及其与我国南方降水的关系,指出在降水出现时北半球极锋急流和副热带急流合并增强,而且急流入口区出现超地转风. 这些现象有时与北半球冷涌到达中、低纬度后所引起的对流和哈得莱环流的增强及其反馈过程有联系,并且为我国南方降水提供了有利条件.

关键词: 冷涌; 急流; 超地转风; 降水.

C. -P. Chang 等(1985)曾指出:东亚中纬度急流的增强过程和热带对流地区高空辐散气流之间存在着正相关,而后者又与冬季强冷空气侵袭引起的冷涌爆发有关. 本文的目的是通过分析冷涌到达低纬后引起的大气环流的变化来讨论冬季中、低纬度天气系统之间的相互作用以及对我国南方降水的影响.

1 计算方法

如果用 200hPa 纬向风速表示急流强度,对球坐标系中的纬向动量方程和连续方程相结合后取平均,则可决定急流强度的变化^[1]:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = - \left(\frac{1}{a} \frac{\partial \bar{u} \bar{u}}{\partial \lambda} + \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial \bar{u} \bar{v} \cos \varphi}{\partial \varphi} + \frac{\bar{u} \bar{v}}{a} \operatorname{tg} \varphi \right) + \left(f \bar{v} - \frac{1}{a} \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \lambda} \right) + \bar{F} \quad (1)$$

式(1)右边第一个括号内3项用 MFC 代表,表示水平动量(u)通量的散度,正值为动量辐散. 第二个括号内两项用 NCF 代表,为净柯氏力项. 设实际风 \vec{v} 由辐散风 \vec{v}_x 和旋转风 \vec{v}_r 组成,而 \vec{v}_x 由纬向分量 u_x 和经向分量 v_x 合成,则 $NCF = f \bar{v}_x$ 可近似地用取平均后的经向分量的辐散风 \bar{v}_x 来表示. 式(1)中 F 项代表大尺度运动和次网格过程引起的动量的垂直输送,文中还计算了 \vec{Q} 矢量.

$$\vec{Q} = \left(-h \frac{\partial \bar{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla \theta, -h \frac{\partial \bar{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla \theta \right) \quad (2)$$

式(2)中 $h = \frac{R}{p} \left(\frac{p}{p_0} \right)^k$, $k = \frac{R}{c_p}$. 根据 B. J. Hoskins(1978) 提出的 \vec{Q} 矢量与 ω 之间的关系, 当 \vec{Q} 矢量辐散时 ($\nabla \cdot \vec{Q} > 0$), $\omega > 0$, 为下沉运动; \vec{Q} 矢量辐合时 ($\nabla \cdot \vec{Q} < 0$), $\omega < 0$, 为上升运动.

2 冷涌爆发对东亚大气环流的影响

冷空气突然向南爆发, 南海一带的偏北风迅速加强的现象一般称为“冷涌(或冬季风潮)”. K.-M. Lau 等^[1]曾定义 30°N、115°E 和香港之间地面气压差达到 8hPa, 并且 0—24h 后南海北部平均偏北风达到或超过 8m/s 为冷涌爆发. 根据这一定义, 1982-11-26 20 时至 29 日 08 时、12 月 4 日 20 时至 8 日 20 时连续有两次冷涌爆发(见表 1), 而我国南方也出现两次降水过程. 值得注意的是两次降水最大的时刻正是冷涌出现增强的时刻. 第二次强冷涌过程: 12 月 4 日 20 时冷涌爆发时, 200hPa 上极锋急流位于 40°N 地区、副热带急流位于 30°N(图 1a), 急流中心风速分别为 46.4m/s 和 59.3m/s. 在 40°N 极锋急流轴地区为动量辐散最大地区和净柯氏力正值最大地区(图 2). 5 日 20 时极锋急流南移到 30°N 与副热带急流合并, 急流中心风速增强到 69.7m/s(图 1b). 第一次冷涌过程: 11 月 26 日和 28 日极锋急流轴地区也为动量辐散和柯氏力正值区(表 2), 随后 27 日和 29 日分别都有极锋急流南移与副热带急流合并增强的过程出现. 张镔(1957)曾指出寒潮爆发南下时常伴随着极锋急流南移和副热带急流合并增强的现象. 本例中存在这种过程, 但需指出的是在此同时伴随着冷涌的爆发, 并且在极锋急流南移增强前夕, 极锋急流轴地区均为动量辐散和净柯氏力正值区. 前者对急流的增强为负贡献, 净柯氏力项对急流的增强(在三次急流南移合并增强过程中)为正贡献, 但此项一般数值较小(见表 2), 可见式(1)中 F 项对急流的增强起重要作用.

表 1 1982 年 11 月 26—29 日、12 月 4—9 日冷涌活动

时间	26 ²⁰	27 ⁰⁸	27 ²⁰	28 ⁰⁸	28 ²⁰	29 ⁰⁸	29 ²⁰	4 ⁰⁸	4 ²⁰	5 ⁰⁸	5 ²⁰	6 ⁰⁸	6 ²⁰	7 ⁰⁸	7 ²⁰	8 ⁰⁸	8 ²⁰	9 ⁰⁸
Δp (hPa)	12	10	12.5	10.5	12	12	7	4	9	19.5	22	17.5	13.5	11.5	10	9	9.5	7

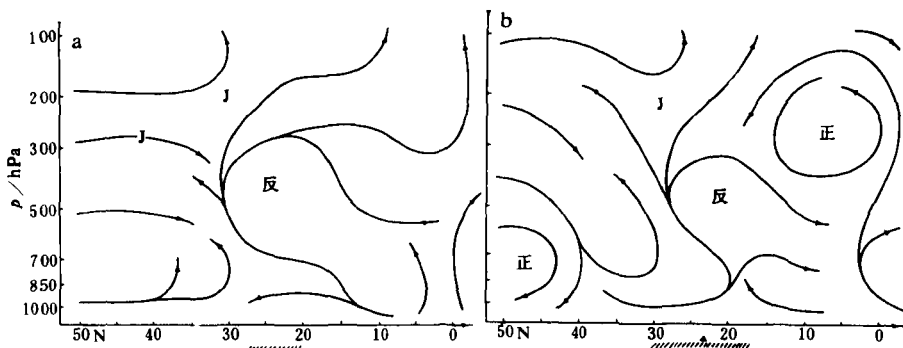


图 1 1982 年 12 月 4 日 20 时(a)和 5 日 20 时(b)105° 115°E 平均经向剖面
(坐标下阴影区为雨区, 三角符号为暴雨中心位置)

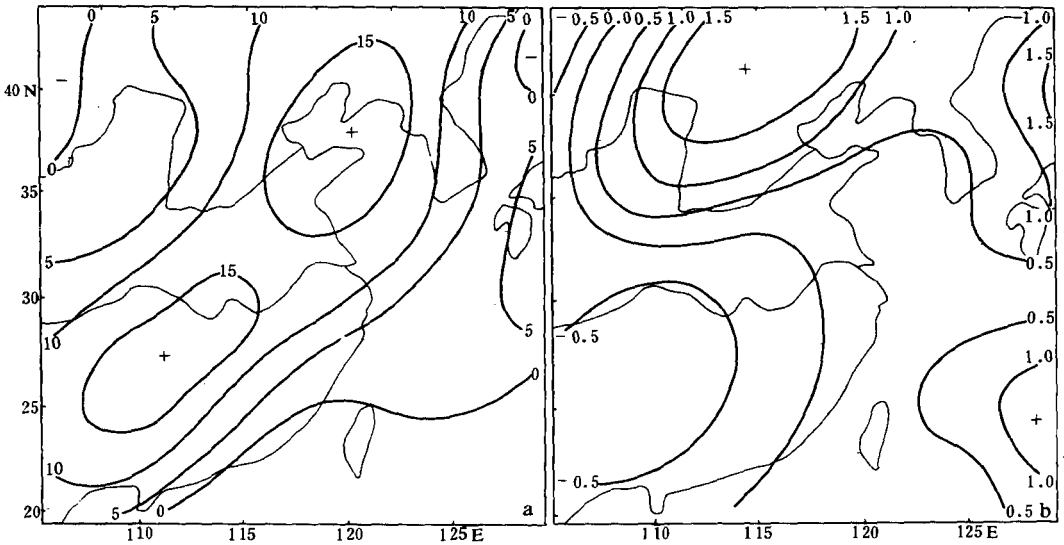


图 2 1982 年 12 月 4 日 20 时 200hPa MFC(a)和 NCF(b)项分布(单位: $10^{-5} \text{m}^2/\text{s}^2$)

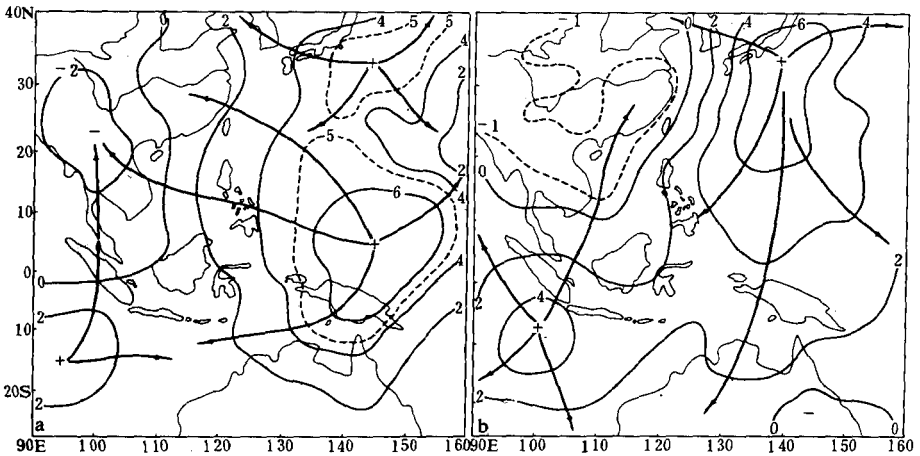


图 3 1982 年 12 月 4 日 20 时(a)和 5 日 20 时(b)200hPa 速度势分布

(箭头表示辐散风流线,速度势单位: $10^6 \text{m}^2/\text{s}$)

表 2 200hPa 急流轴地区 MFC 和 NCF 值(单位: MFC, NCF $10^{-5} \text{m}^2/\text{s}^2$, u: m/s)

日期	纬度	110°E			115°E			120°E		
		MFC	NCF	u	MFC	NCF	u	MFC	NCF	u
11 月 26 日 20 时	35°N	8.92	2.22	34.0	15.40	3.02	43.0	2.68	3.80	57.4
11 月 28 日 20 时	40°N	16.37	2.10	20.4	18.32	3.38	32.0	-4.05	3.88	45.8
12 月 4 日 20 时	40°N	4.13	1.56	27.8	8.11	1.73	37.4	18.50	1.12	43.5

以第二次强冷涌过程为例,进一步分析净柯氏力项的增强与冷涌爆发的关系.用超松弛迭代法求解泊松方程 $\nabla^2 \chi = -D$, 计算东亚地区逐日的速度势 χ (边界上取零值) 分布.

12月4日20时热带印尼地区指向低纬的辐散风(正比于速度势梯度)较弱(图3a),由于对流的云发展,5日20时速度势梯度加大,辐散风增强(图3b).此时在雨区经向剖面图(图1)上可以看到低纬至35°N地区200hPa和100hPa高度上气流方向(4日至5日),由北风转为南风,哈得莱环流由不明显变明显,高层由赤道向北的气流与极地向南的气流在急流中心南边辐合,而此时正伴随着极锋急流南移和副热带急流合并增强的过程. C.-P. Chang等(1980)曾指出,由于冷涌到达低纬后对流发展,导致高空辐散气流和哈得莱环流增强,可使东亚急流入口区风速增强.在本例的两次冷涌过程中都伴随有急流增强的过程.由于热带高空辐散风和净柯氏力的增强是与冷涌的爆发相联系的,本文称之为冷涌爆发后所产生的反馈过程.

3 冷涌爆发与华南降水的关系

东亚冷涌爆发,其反馈过程有时可使急流入口区风速增强,但急流入口区地转风速变化不大,主要是实测风速出现明显增强.如12月4日20时在200hPa上,30°N、110°E急流中心处地转风速为67m/s,5日20时只增加了0.1m/s,实测风速由56.4m/s变为68.8m/s,增加了12.4m/s.4日20时, $u-u_g = -10.6\text{m/s}$,急流中心为次地转风,5日20

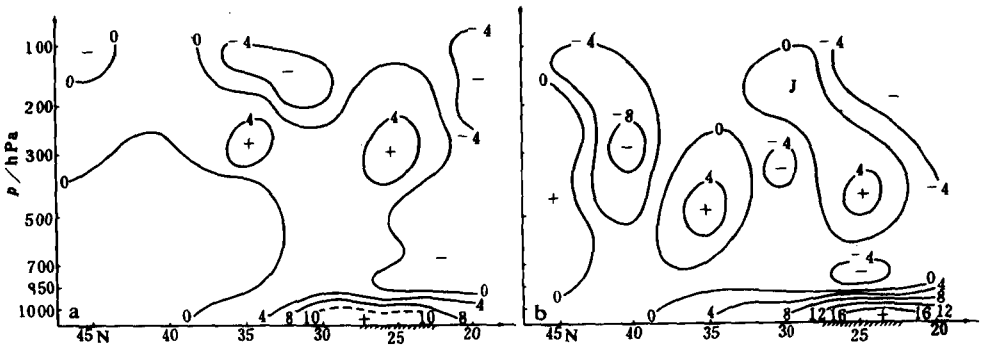


图4 1982年11月27日20时(a)115°E和12月5日20时(b)110°E
经向剖面上 $(u-u_g)$ 分布(单位:m/s)

表3 1982年11月26-28日、12月4-6日25°N、115°E各层西风值(单位:m/s)

	200hPa	300hPa	500hPa	700hPa	850hPa	1000hPa
26日20时	30.3	24.1	10.1	1.9	-3.9	0.5
27日20时	48.4	34.2	12.5	4.3	-4.9	-1.3
28日20时	45.4	26.2	19.1	9.3	-0.5	-0.5
4日20时	48.6	49.7	23.2	8.2	1.7	-1.0
5日20时	47.5	50.7	27.8	8.8	-8.2	-2.2
6日20时	39.9	44.5	32.9	13.9	-0.8	-1.2

时冷涌增强后,急流中心实测风速增强, $u-u_g=1.7\text{m/s}$, 转为超地转风. 高空急流出现超地转风后, 为降水的形成提供了有利条件. L. W. Uccellini 等^[2]在对爆发性发展的气旋的研究中曾指出, 当副热带急流增强时, 其入口区出现的超地转风导致高空辐散和垂直运动增强, 同时伴随着低空急流的水汽输送, 是冬季强雪暴形成的重要原因. 分析两次冷涌过程中沿雨区经向剖面上非地转风速的变化, 可发现在雨区上空均有很深厚的超地转风出

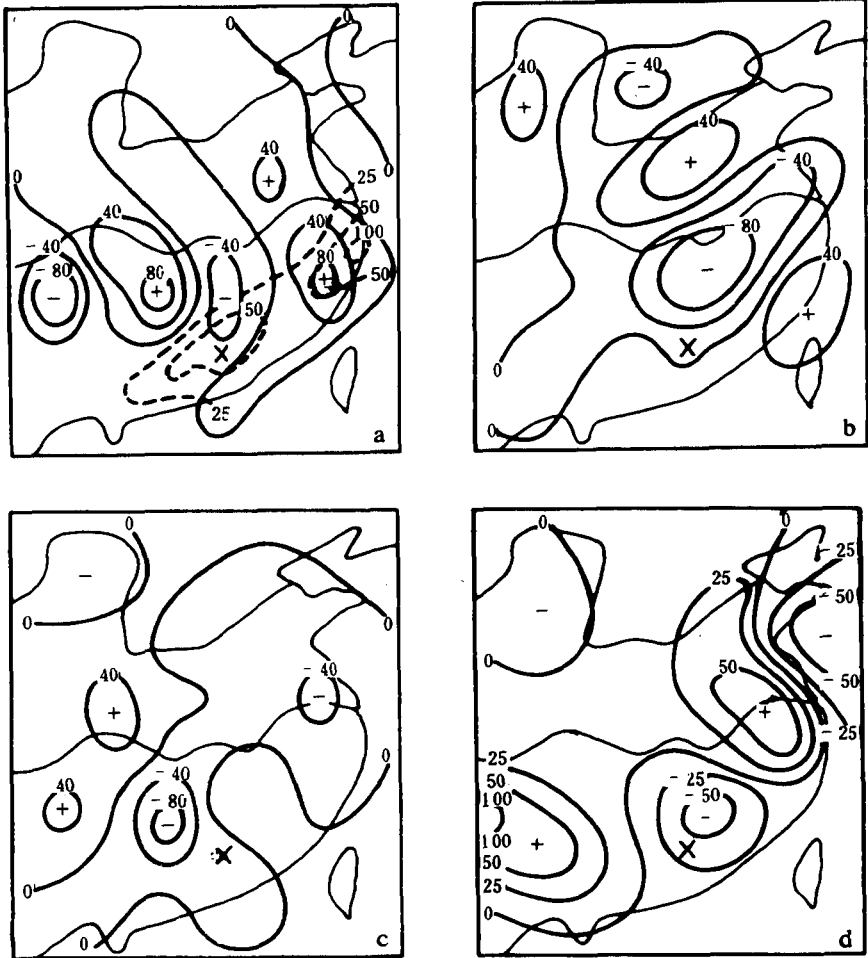


图5 1982年11月28日20时(a)100hPa (b)200hPa (c)500hPa (d)850hPa Q 矢量散度的分布

(单位: 10^{-16} 度/ m^2s)(\times 为暴雨中心位置, (a)中虚线为29日08时24h雨量图上25、50、100mm等雨量线)

现, 对流层上层甚至中层的超地转风都比较强(图4). 此外, 近地面层1000hPa也出现很强的超地转风. 由雨区上空 $25^{\circ}\text{N}, 115^{\circ}\text{E}$ 处各层西风风速的变化, 发现在降水出现前后有明显的动量下传现象. 如表3中26日20时至27日20时200、300、500hPa三层风速均增强. 28日由于动量下传, 200、300hPa风速减弱, 而500、700hPa风速增强. 同样, 4日至5日200hPa由于动量下传风速减弱, 而300hPa至700hPa西风风速均增强. 这表明对流层中层超地转风的出现与动量下传有关. 由于对流层上层至中层形成深厚的超地转风层, 它与近地面层1000hPa的超地转风层相叠置, 因此有利于强的垂直上升运动的出现. 通过第一次冷涌过程的Q矢量散度分析, 可以说明雨区垂直运动的分布. 11月28日20时

在雨区上空 100、200、500、850hPa Q 矢量散度分布图(图 5)上均为 Q 矢量辐合区($\nabla \cdot Q < 0$),即对应深厚的上升运动地区.降水出现前 850hPa 均出现很强的偏东风(表 3).11月 28 日 08 时 850hPa 上东南风低空急流最大风速达到 16m/s,12 月 4 日达到 14m/s,还同时伴随有西南风低空急流(最大风速为 20m/s),给暴雨提供了丰富的水汽输送.因此 11 月 28—29 日、12 月 4—5 日我国南方出现两次大雨—暴雨过程.

综上所述可知,北半球冬季冷涌爆发,其反馈过程可对东亚急流入口区的风速增强产生影响,同时伴随着极锋急流南移和副热带急流合并增强的现象,这时急流入口区由次地转风转为超地转风.当对流层上层至中层出现深厚的超地转风层,它与近地面层强的超地转风相叠置时,有利于深厚的垂直上升气流形成.在低空急流(常为东风急流)水汽输送的有利条件下,我国江南、华南可产生大范围的降水过程.这是在冬季中、低纬度环流系统相互作用下,我国南方大范围降水产生的一种天气过程模式.

参 考 文 献

- 1 Lau K.-M. and C.-P. Chang, P. H. Chan. Short-term planetary-scale interactions over the tropics and midlatitudes. Part I: Winter-MONEX period. *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**: 1372—1388.
- 2 Louis W. Uccellini, Paul J. Kocin and Ralph A. Petersen. The president's day cyclone of 18—19 February 1979: synoptic overview and analysis of the subtropical jet streak influencing the precyclogenetic period. *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**: 31—55.

INFLUENCE OF COLD SURGES AND ITS FEEDBACK IN NORTHERN WINTER ON PRECIPITATION IN THE SOUTH OF CHINA

Zhang Yuanzhen Wu Hong Zhang Xingwang
(Beijing Institute of Meteorology, Beijing 100081)

Abstract

The interactions between middle and low latitude synoptic system in the winter season of the Northern Hemisphere and their relationship with precipitation in the south of China have been comprehensively studied. The results show that when precipitation occurs, the polar-front jet is merged with subtropical jet, and then intensified, meanwhile, the jet entrane appears supergeostrophic wind. This phenomenon sometimes is connected with the increase of Hadley circulation and the convection caused by cold surges of the Northern Hemisphere arriving middle and low latitude, and with its feedback. It offers favourable conditions for precipitation in the South of China.

Key words: Cold surge; Jet current; Supergeostrophic wind; Precipitation.