王欢, 寿绍文, 解以扬, 等. 干侵入对 2005年 8月 16日华北暴雨的作用 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 97-103

干侵入对 2005年 8月 16日华北暴雨的作用

王欢[1,2], 寿绍文[2], 解以扬[3], 姚学祥[3], 吕江津[3], 孟冬梅[3]
(1. 南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044;
2. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 3. 天津市气象局, 天津 300074)

摘要: 利用 NCEP/NCAR 再分析资料、自动站观测资料以及中尺度数值模式 MM5V3.7输出结果, 对 2005年 8月 16—17日发生在华北的一次暴雨过程的成因做了诊断分析。结果表明: 在暴雨产生过程中有干冷空气的入侵, 对这次暴雨过程的发生、发展有重要作用, 高层干冷空气的侵入有利于低层中尺度气旋的发展, 使暴雨过程得以维持和加强。

关键词: 华北暴雨; 诊断分析; 干侵入; 位涡
中图分类号: P445 文献标识码: A 文章编号: 1000-2022(2008)01-0097-07

Impact of Dry Intrusion on Heavy Rain Process of 16 August 2005 in North China

WANG Huan[1,2], SHOU Shao-wen[2], XIE Yi-yang[3],
YAO Xue-Xiang[3], LÜ Jiang-jin[3], MENG Dong-mei[3]
(1. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China;
2. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China;
3. Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China)

Abstract A heavy rainstorm happened in North China during the period from 0000 UTC 16th to 0000 UTC 17th August 2005, and the strongest rainstorm occurred in Tianjin. By use of surface observation data and NCEP/NCAR reanalysis data and results of the mesoscale numerical model MM5V3.7, the circulation features and heavy rain in North China during 16th to 17th August 2005 were diagnosed and analyzed. The results show that the dry cold air intrusion had important impact on the rainstorm. The dry air in the upper troposphere intruded into the lower level was in favor of the development and enhancement of the meso-scale cyclone.

Key words heavy rainstorm in North China; diagnostic analysis; dry intrusion; potential vorticity

0 引言

华北是我国夏季 3大降雨区之一, 暴雨次数虽少, 但强度却比较强, 并且主要集中在 7月下旬与 8月上旬[1]。陶诗言[2]总结了华北暴雨的气候特点: 强度大, 持续时间长; 出现时间很集中; 与地形有密切关系, 并且把华北暴雨分为高空槽(相伴有冷锋)暴雨、暖切变线暴雨、黄河气旋暴雨、冷涡暴雨。另外台风北上有时可以在华北登陆或者台风外围的倒槽能影响华北, 产生暴雨。丁一汇等[3]归纳了造成华北暴雨的天气形势特点。华北暴雨的产生常常具有突发性和局地性, 这就表明华北暴雨具有中小尺度暴雨的特性, 所以仅仅从天气形势的特点来分析华北暴雨是不够的。随着对暴雨研究的深入, 干冷空气对暴雨的重要作用逐渐被人们所认识。20世

收稿日期: 2006-11-29; 改回日期: 2007-04-29
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40775033, 40405009, 4057022, 40205008); 江苏省气象局科技开发项目(200406); 江苏省气象灾害重点实验室资助项目(KLME050201); 国家重点基础研究发展计划项目(2004CB418301); 江苏省自然科学基金资助项目(BK2005141); 天津市科委科技支撑项目(043318511-10)
作者简介: 王欢(1981—), 女, 重庆黔江人, 硕士, 研究方向为中尺度气象学, why2004_025@163.com.

纪 60年代, Danielsen[4]曾绘制干侵入气流的三维结构图; Browning等[5-7]指出温带气旋的生成和发展、爆发性气旋的快速发展、锋面降水结构分布以及演变特征等方面均与干侵入有密切的关系; Spencer等[8]对干冷空气在暴雨发展中的作用进行数值模拟, 分析表明考虑干冷空气作用的滞后下曳气流对流参数化方案能够更好地模拟出暴雨过程, 说明干冷空气在暴雨发展中所起的作用。近年来, 我国开始对干侵入以及干侵入对暴雨的作用进行研究, 主要集中在冷空气南下对江淮梅雨以及台风降水的影响[9-12]。于玉斌等[9]对干侵入的研究进展进行了总结。姚秀萍等[10]研究了 2003年梅雨期干冷空气的活动, 发现干冷空气的活跃与暴雨过程相应。于玉斌等[11]对 9608号台风低压物理量场进行分析, 发现冷空气侵入是此次暴雨过程产生的重要原因。阎凤霞等[12]对江淮暴雨过程中干侵入的特征进行了分析。对于干冷空气对华北地区强降水产生、增幅还有待进一步研究。

2005年 8月 15—17日华北地区出现了一次暴雨过程 (简称“8 16”暴雨), 降水主要集中在 16日 00时—17日 00时 (世界时, 下同)。由降水的时空分布来看, 中尺度系统在此次过程中起重要的作用。本文通过中尺度数值模拟, 利用位涡理论[13-16]、干侵入理论来分析此次暴雨过程中干冷空气的作用以及中尺度系统的结构和演变特征。

1 资料与模式说明

利用 2005年 8月 15日 12时—17日 12时每隔 6 h的 NCEP/NCAR (1°×1°)再分析资料、每 3 h一次的地面观测资料和每天 2次的探空资料, 应用中尺度非静力数值预报模式 MM5V3.7对此次暴雨过程进行模拟, 从 2005年 8月 15日 12时起, 积分 48 h。考虑格距和积云对流参数化对降水的影响[17-18], 采用双重嵌套, 区域中心为 (117.2°E, 39.1°N), 粗细网格格距分别为 45 km、15 km, 格点数均为 91×103; 垂直方向 23层, 模式顶气压 100 hPa, 积分步长 120 s, 每 1 h输出一次模拟结果; 动力学过程采用流体非静力平衡方案, 模式粗网格采用 B-M积云对流参数化方案, 细网格采用 Grell积云对流参数化方案, 两重网格均采用 MRF行星边界层方案、云辐射方案、混合相显式水汽方案, 模式采用 NCAR(10 min)地形资料, 细网格区域基本覆盖了华北地区。

2 天气形势和降水特征

2.1 天气形势

2005年 8月 16日 00时 500 hPa(图略)上, 110°E附近有一从贝加尔湖延伸到我国北方的深厚高空槽, 副热带高压脊线在 36°N, 华北处于高空槽前、副高西北侧, 随后贝湖冷槽东移南压, 副高逐渐东退。700 hPa(图略)上, 一条槽线从 50°N以北一直延伸到长江流域, 华北处在槽前。850 hPa(图略)上, 天津—石家庄一线为一切变线, 并且逐渐南压。地面 (图略)倒槽北界位于天津的西南部, 在华北西北侧为冷锋。

2.2 降水的时空分布

2005年 8月 15—17日华北地区出现了大范围的降水, 其中主要的降水产生在 16日 00时—17日 00时。分析 16日 00时—17日 00时降水量可以看到, 本次暴雨出现在沿副高边缘分布的东北—西南向雨带中 (图 1a), 山西的中部和南部、河北的东部和南部、天津的大部分地区在 24 h内出现了 50 mm以上的降水, 部分地区出现了大于 100 mm的降水。雨带的大值区位于天津, 天津市黄家花园自动雨量站观测到 24 h降水量最大值为 219.3 mm。此次暴雨过程的特征是降水持续时间较长, 降水集中。以天津黄家花园站为例, 降水过程开始的前 5 h(16日 01—06时), 累计降水量为 160 mm。数值模拟结果 (图 1b)与实况 (图 1a)相比可以看出, 雨带的形状、暴雨中心强度基本吻合, 只是模拟雨带的位置比实况稍微偏南。模拟的 6 h雨量中心的位置和强度与实况也基本吻合 (图 2)。

3 干冷空气的作用

3.1 干侵入分析

由 16日 00时相对湿度和 v-w 风场沿 117°E的垂直剖面 (图 3)可以看出, 在华北地区上空为上升运动区, 也是相对湿度大值区, 而 40°N以北 700 hPa上空为相对湿度低值区 (相对湿度小于 40%), 在 46~48°N的 600 hPa上空为反气旋性环流, 环流北部为从北向南移动的下沉气流, 下沉气流将对流层高层的干冷空气向下向南传送至华北地区。

一般把从对流层高层下沉到低层的干空气称为干侵入, 它可以由高位势涡度和低相对湿度两个特征量来表征。在此次暴雨过程中, 明显有从对流层高层到对流层低层的干侵入。由相对湿度和位涡沿

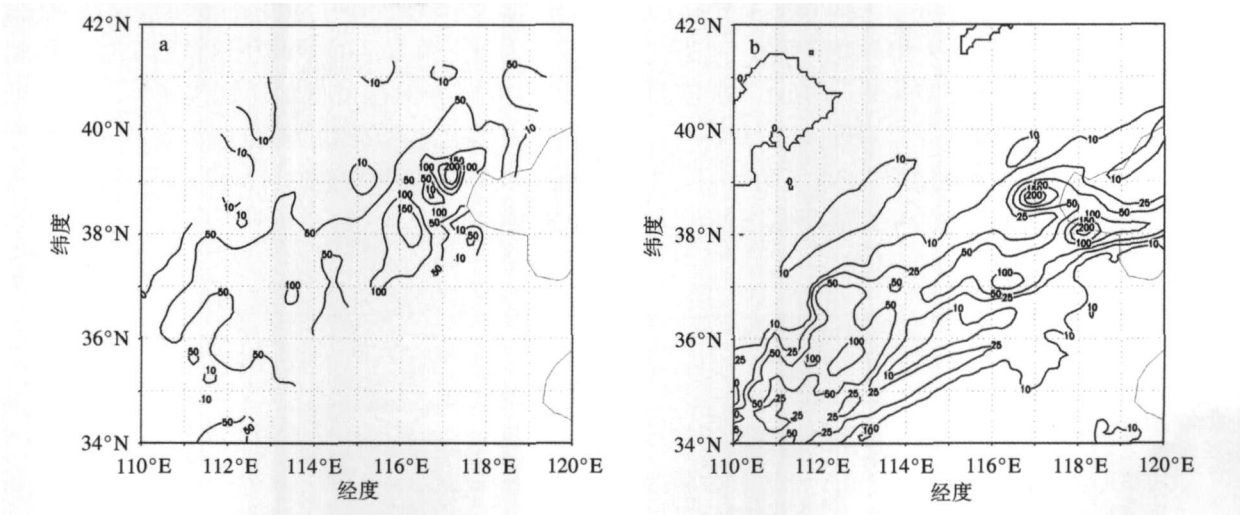

图 1　2005年 8月 16日 00时—17日 00时累计实况 (a)和模拟 (b)降水量 (单位: mm)

Fig 1　(a) Observed and (b) simulated accumulative precipitation (mm) from 0000 UTC 16th to 0000 UTC 17th August 2005

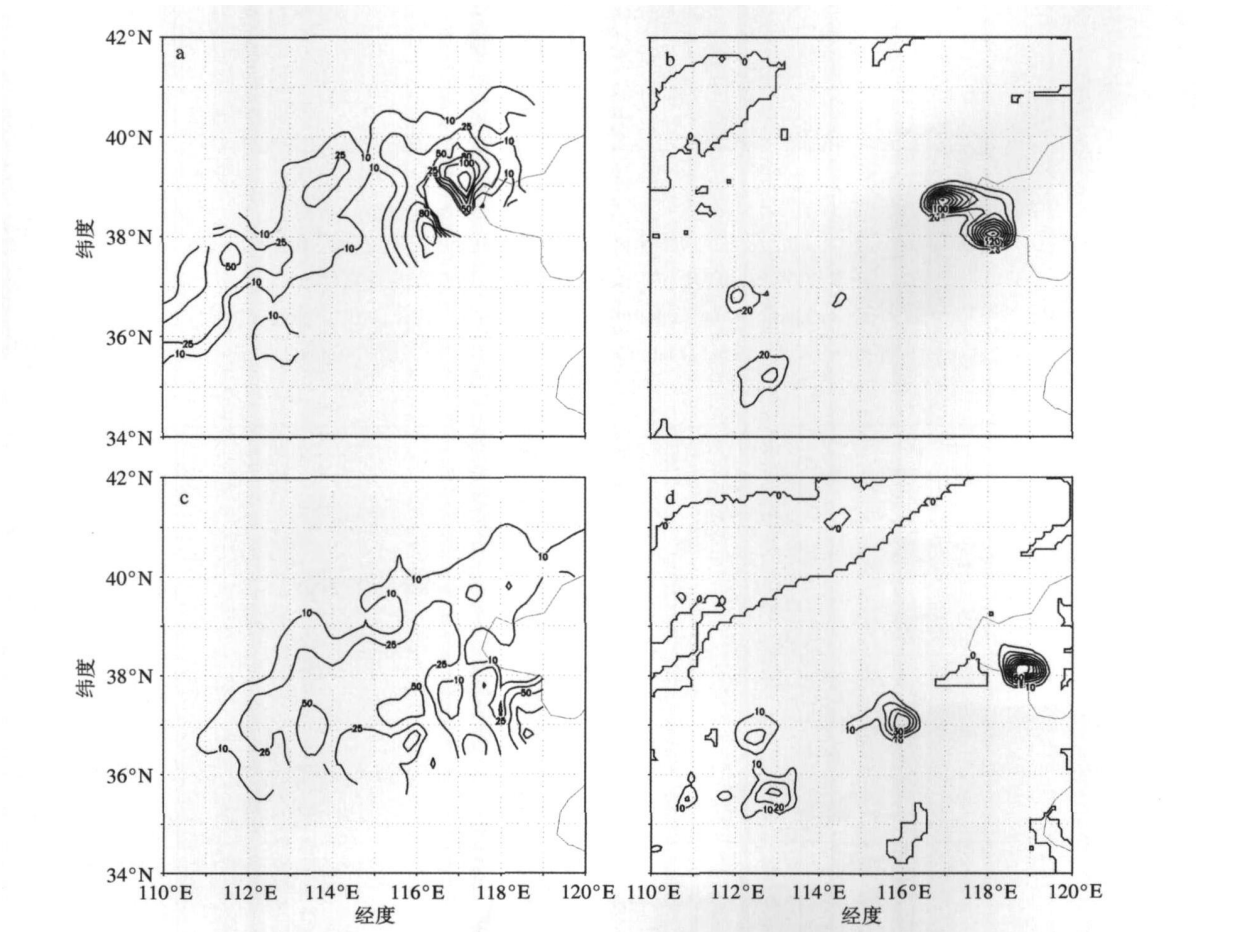

图 2　2005年 8月 16日 00—12时每隔 6 h的实况降水 (a, c)和模拟降水 (b, d) (单位: mm)

a, b: 00—06时; c, d: 06—12时

Fig 2　(a, c) Observed and (b, d) simulated 6-hr accumulative precipitation (mm) from (a, b) 0000 UTC to 0600 UTC and (c, d) 0600 UTC to 1200 UTC 16th August 2005

117°E的垂直剖面(图 4)所示, 15日 18时(图 4a), 在 42°N以北 700 hPa以上为相对湿度低值区(相对湿度小于 40%), 在其南边 37~39°N存在一个随着高度向北倾斜的湿空气柱(相对湿度大于 80%), 在 40~42°N之间形成了等相对湿度线密集带, 同时 200 hPa以上为位涡的高值区, 对流层高层的位涡高值区与相对湿度小于 40%的干空气区相对应; 在 15日 21时(图 4b), 位涡高值区从对流层高层延伸到 500 hPa, 相对湿度低值区向南延伸。由此可以看出, 在华北地区以北的对流层高层相对湿度低值区和位涡高值区相对应的区域可以认为是干侵入的源头。

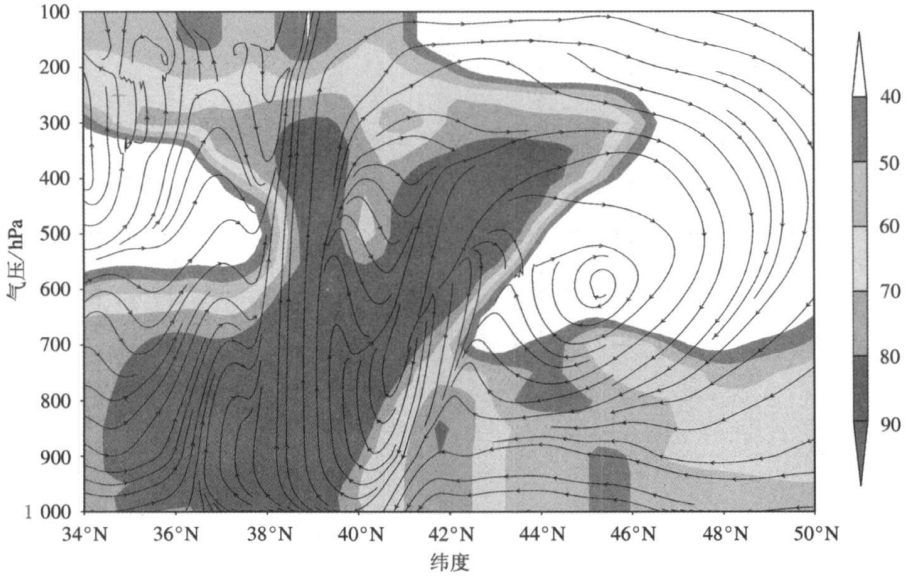

图 3 2005年 8月 16日 00时相对湿度(阴影; 单位: %)和 v(单位: m/s)-w(单位: cm/s)合成风沿 117°E的垂直剖面

Fig 3 Vertical cross section of relative humility(shadings; %) and vertical circulation composed by v(m/s) and w(cm/s) along 117°E at 0000 UTC 16th August 2005

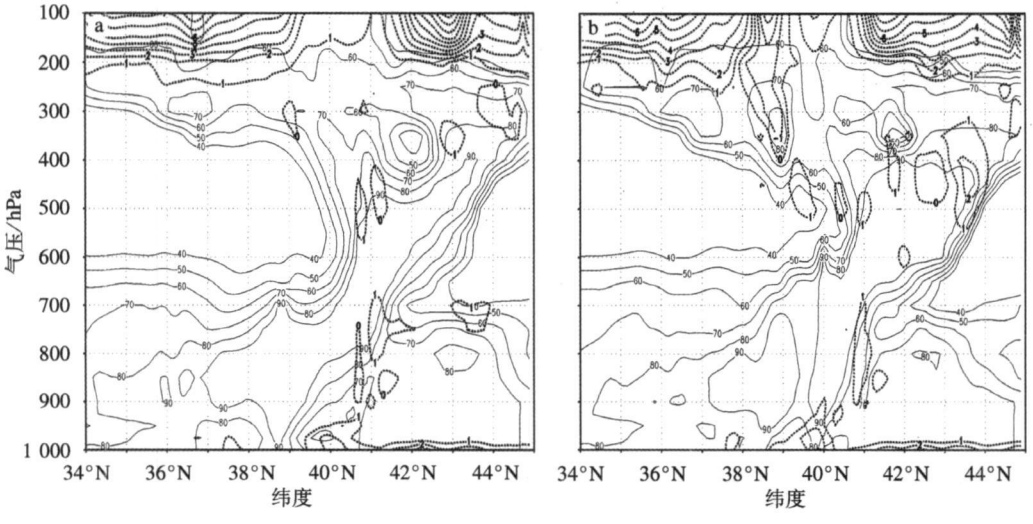

图 4 2005年 8月 15日 18时(a)和 21时(b)相对湿度(实线; 单位: %)与位涡(点线; 单位: $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)沿 117°E的垂直剖面

Fig 4 Vertical cross sections of relative humility(solid lines; %) and potential vorticity(dotted lines; $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$) along 117°E at (a) 1800 UTC and (b) 2100 UTC 15th August 2005

由相当位温和位涡沿 117°E的逐时垂直剖面(图 5)可以看出, 位涡高值中心沿着相当位温密集带从对流层中上层向下传送。15日 21时 (图 5a), 在 42°N以北 500 hPa以上为位涡高值区, 沿着相当位温密集带位涡高值区向下分裂小扰动, 位涡扰动沿着相当位温密集带不断向南向下输送; 到 16日 00时 (图 5b), 位涡高值区被输送到暴雨中心上空。由此可以看出, 位涡是沿着假相当位温密集带 (即锋面)从对流层中高层往对流层低层传输的, 也就是说冷空气是沿着锋面从高层向下传的。

3.2　干侵入与降水的关系

由 2005年 8月 15日 12时－17日 00时暴雨中心 (117. 1°E, 38. 6°N)的 850 hPa位涡随时间的变化 (图 6a) 和降水量随时间的变化 (图 6b) 可以看出, 15日 23时 暴雨中心的位涡突然增大, 到 16日 01时达到最大, 此后位涡逐渐减小, 对应 15日 23时暴雨中心开始出现降水, 同时降水强度增幅明显; 15日 23时－16日 00时 1 h降水量为 40 mm, 16日 01时降水强度达到最大值, 随后逐渐减弱, 14时降水强度又出现了一次极大值。从以上分析可见, 暴

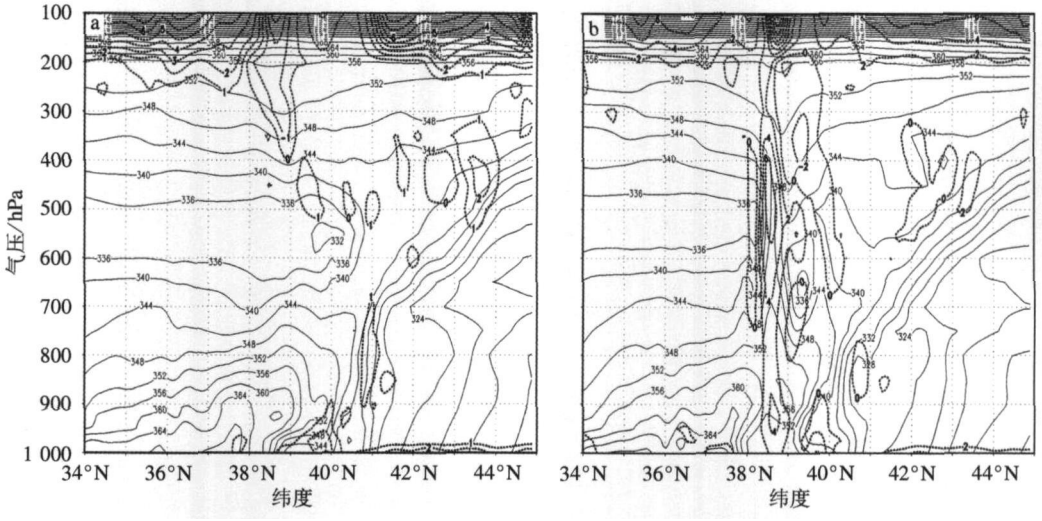

图 5　2005年 8月 15日 21时 (a)和 16日 00时 (b)相当位温 (实线; 单位: K)与位涡 (点线; 单位: $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)沿 117°E的垂直剖面

Fig. 5　Vertical cross sections of equivalent potential temperature(solid lines; K) and potential vorticity (dotted lines; $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot Kg^{-1}$) along 117°E at (a) 2100 UTC 15th and (b) 0000 UTC 16th August 2005

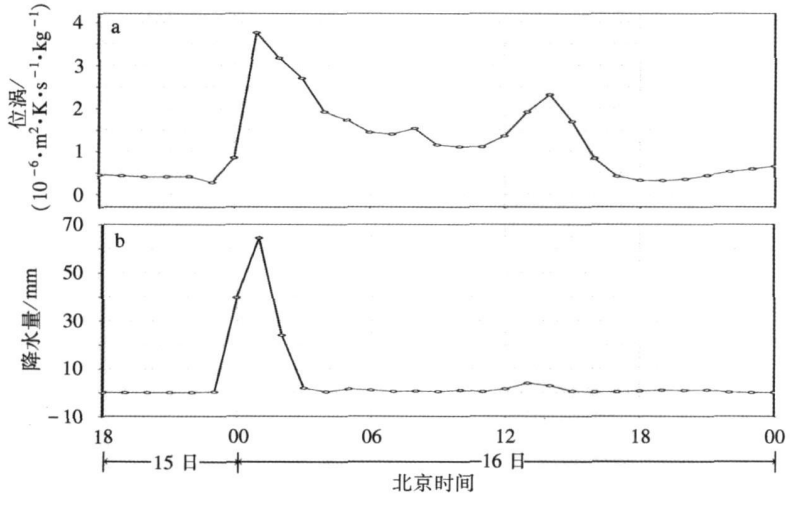

图 6　2005年 8月 15日 18时－17日 00时暴雨中心 (117. 1°E, 38. 6°N)的 850 hPa位涡 (a)和逐时降水量 (b)

Fig. 6　(a) Hourly 850 hPa potential vorticity($m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$) and (b) precipitation(mm) at rainfall center(38. 6°N, 117. 1°E) from 1800 UTC 15th to 0000 UTC 17th August 2005

雨中心位涡随时间的变化趋势和降水强度随时间的变化趋势一致,同时位涡极值的出现对应降水强度极值的出现。分析 850 hPa的逐时位涡和降水量(图略)可以看出,位涡的大值区逐渐向南移,雨区也是逐渐向南偏移的。用位涡的大值来表征干冷空气的入侵与暴雨的产生、发展和维持以及雨区的位置有一定的指示作用。

3.3 干侵入对低层气旋发展的作用

由 15日 21时—16日 03时每 3 h涡度沿117°E的垂直剖面可以看出, 15日 21时(图 7a)在39.5°N上空 975 hPa存在一个气旋性涡旋,中心值为 $2.5\times10^{-4}s^{-1}$,在 37°N以北 500 hPa以上的区域为反气旋性涡旋,中心值为 $-2.5\times10^{-4}s^{-1}$,位于 39°N上空 300 hPa,这种高层辐散底层辐合的高低空配置使气旋附近的上升气流得以加强和维持,从而使得低层气旋性环流加强和发展。到 16日 00时(图 7c)低层气旋性涡旋的范围扩大并且从底层一直上升到对流层中上层 200 hPa,在 38.5°N形成一个气旋性涡度柱,在 900 hPa和 600 hPa存在两个正的涡度中心。到 16日 03时(图 7e),涡度柱继续向南移动至 38°N,同时对流层中上层的气旋性涡旋明显减弱,上升运动也开始减弱。15日 2100时(图 7b)在 39.5°N的 500 hPa附近存在位涡高值区,处在图 7a中对流层底层的气旋性涡旋的上空,并且图 7a中对流层高层的负涡度中心与图 7b负的位涡中心相对应。随后高层位涡高值逐渐向南向下传,到 16日 00时(图 7d),在 38.5°N从对流层底层到对流层中高层形成了一个位涡柱,在 900 hPa和 500 hPa分别存在两个位涡中心,与涡度剖面图中的涡度柱的位置和强度都有很好的配合,此时气旋发展到旺盛阶段。到 16日 01时(图略),位涡和气旋性涡旋都发展到最旺盛的阶段,此后位涡中心的强度明显减弱,到 16日 03时(图 7f)位涡中心值由 $8\times10^{-6}m^2\cdot K\cdot s^{-1}\cdot kg^{-1}$ 减弱至 $3\times10^{-6}m^2\cdot K\cdot s^{-1}\cdot kg^{-1}$,而且位涡中心的高度也明显降低,这也和涡度剖面图中气旋性涡旋的减弱相对应。从上面的分析可以看出,正的位涡中心对应气旋性涡旋,负的位涡中心对应反气旋性涡旋,同时高层位涡向下向南传送,对气旋加深、发展和移动有着重要的作用。

4 结论

(1)高空槽和副高西侧的暖湿气流的共同作用促使“8.16”华北暴雨过程的产生。

(2)干冷空气从对流层高层沿相当位温密集带向对流层低层传送。

(3)干冷空气的侵入与“8.16”暴雨的产生、发展和落区相对应。

(4)高层位涡高值区中不断分裂出来的位涡扰动沿着相当位涡密集带向下向南传送,引起低层气旋的发生、发展。

参考文献:

[1] 孙建华,张小玲,卫捷,等. 20世纪 90年代华北大暴雨过程特征的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 492-506.

[2] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科技出版社, 1980: 225.

[3] 丁一汇,李吉顺,孙淑清,等. 影响华北夏季暴雨的几类天气尺度系统分析[C]//中国科学院大气物理研究所集刊(第 9号): 暴雨及强对流天气的研究. 北京: 科学出版社, 1980: 1-13.

[4] Danielsen E F. Project springfield report. Defense atomic support agency[M]. Washington D C: 20301, DASA, 1517(NTIS # AD-607980), 1964: 99.

[5] Browning K A, Golding B W. Mesoscale aspects of a dry intrusion within a vigorous cyclone[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1995, 121(523): 465-493.

[6] Browning K A, Roberts N M. Variation of frontal and precipitation structure along a cold front[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1996, 122(536): 1845-1872.

[7] Browning K A. The dry intrusion perspective of extra-tropical cyclone development[J]. Meteor Appl, 1997, 4(4): 317-324.

[8] Spencer P L, Stensrud D J. Simulating flash flood events: Importance of the subgrid representation of convection[J]. Mon Wea Rev, 1998, 126(11): 2884-2192.

[9] 姚秀萍,于玉斌. 2003年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.

[10] 于玉斌,姚秀萍. 干侵入研究及其应用进展[J]. 气象学报, 2003, 61(6): 669-778.

[11] 于玉斌,姚秀萍. 对华北一次特大台风暴雨过程的位涡诊断分析[J]. 高原气象, 2000, 19(1): 111-120.

[12] 阎凤霞,寿绍文,张艳玲,等. 一次江淮暴雨过程中干空气侵入的诊断分析[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(1): 117-124.

[13] 胡伯威. 关于位涡理论及其应用的几点看法[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 111-115.

[14] 袁佳双,寿绍文. 1998年华南大暴雨冷空气活动的位涡场分析[J]. 南京气象学院学报, 2000, 24(1): 92-98.

[15] 吴海英,寿绍文. 位涡扰动与气旋的发展[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(4): 510-517.

[16] 王建中,马淑芬,丁一汇. 位涡在暴雨成因分析中的应用[J]. 应用气象学报, 1996, 7(1): 19-27.

[17] 董海萍,魏绍远,何宏让,等. 一次强降水过程的中尺度数值试验[J]. 气象科学, 1998, 18(4): 339-347.

[18] 王晨曦. MM5模式中不同对流参数化方案对降水预报效果影响的对比试验[J]. 气象科学, 2004, 24(2): 168-176.

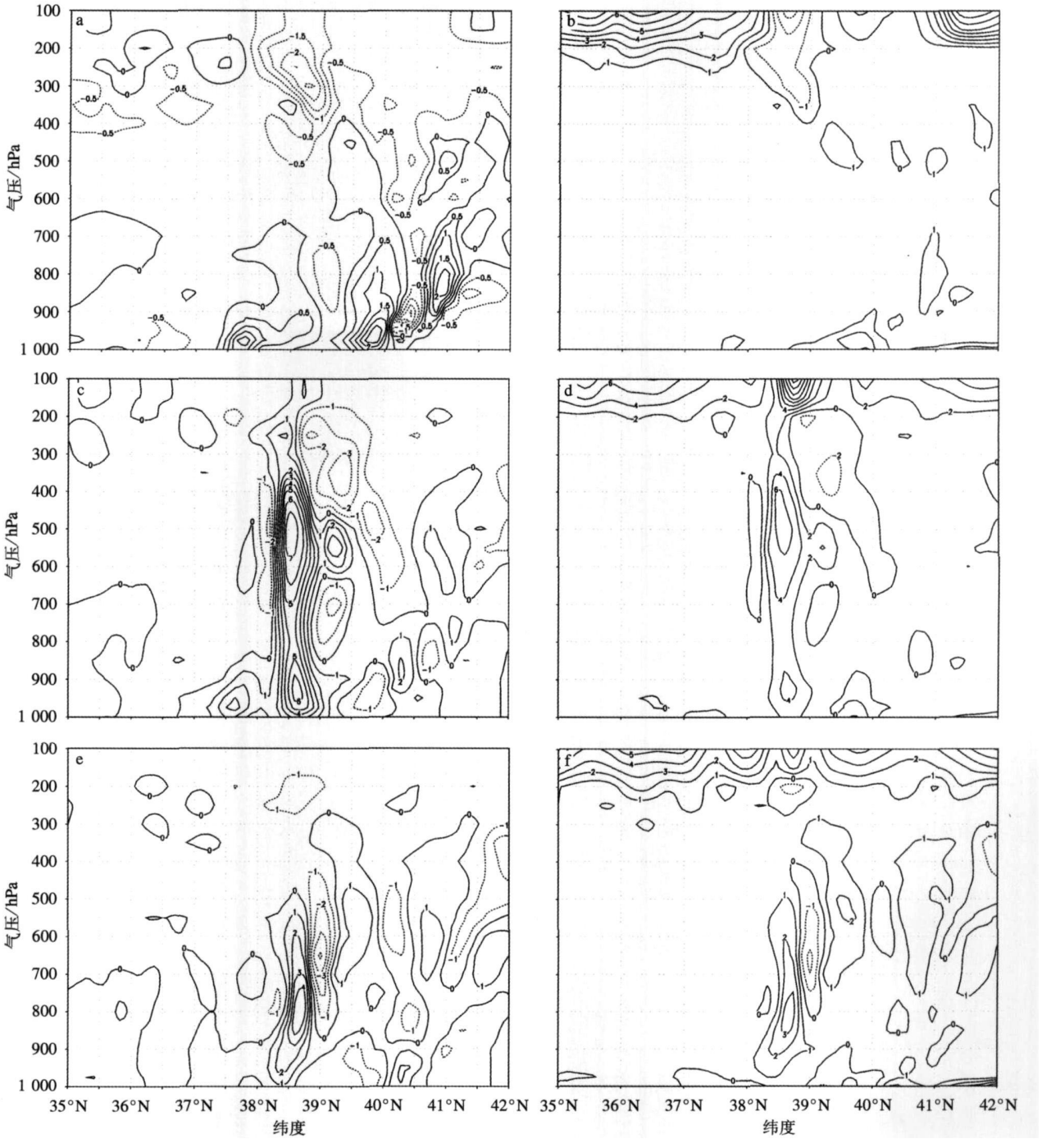

图 7　2005年 8月 15日 21时—16日 03时每 3 h的涡度(a, c, e, 单位: $10^{-4}\ s^{-1}$)和位涡(b, d, f, 单位: $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)沿 117°E的垂直剖面

a, b 15日 21时; c, d 16日 00时; e, f 16日 03时

Fig. 7　Vertical cross sections of vorticity(a, c, e, $10^{-4}\ s^{-1}$) and potential vorticity(b, d, f, $m^2 \cdot K \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$) along 117°E at (a, b) 2100 UTC 15th, (c, d) 0000 UTC 16th and (e, f) 0300 UTC 16th August 2005, respectively