

一次西南涡路径预报偏差分析及数值模拟

王新敏^{1,2} 宋自福³ 张 霞² 闫小利³ 鲁 坦² 王明欢⁴

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 河南省气象台;
3. 河南省焦作市气象局; 4. 武汉暴雨研究所)

提 要: 2008年7月21—23日,在川东的西南涡移出后东北上。参考各数值模式对22—23日西南涡路径预报后,河南省气象台于21日发布暴雨预报,出现了落区偏差。为加深对西南涡移动路径机理的认识,利用常规和NCEP资料,从大气环流、热力、动力等方面对这次西南涡移动路径特征进行探讨;对数值预报产品作天气学检验;利用WRF模式对本次过程进行模拟。结果表明:(1)这次西南涡呈现南掉—东北上—东东北再东北上的曲折路径;(2)低涡结构显示了中尺度特征,涡度轴向、 K 指数等对低涡的移动路径有指示意义;(3)由于过于依赖数值预报,加之对东北南下冷空气影响考虑不足,是造成这次低涡路径预报偏差的主要原因;(4)WRF模式对这次低涡路径有较好的预报能力。

关键词: 西南涡 路径偏差 冷空气 涡度 数值预报产品 数值模拟

The Analysis of Forecast Deviation of the Southwest Vortex Track and Numerical Simulation

Wang Xinmin^{1,2} Song Zifu³ Zhang Xia² Yan Xiaoli³ Lu Tan² Wang Minghuan⁴

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Meteorological Observatory in Henan Province;
3. Jiaozuo Meteorological Office; 4. Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan)

Abstract: The southwest vortex (21—23 July, 2008) moved northeastward from east of Sichuan. Henan Meteorological Observatory published rainstorm forecast at 21st with reference to several numerical weather prediction (NWP) commonly used, and the forecast showed regional deviation. For the further understanding on the mechanism of the moving route of the southwest vortex, it is discussed in some aspects such as atmospheric circulation, thermal, dynamics based on the formal and NCEP datasets. Synoptic test on numerical forecast products has been done, and the process is simulated by WRF. The results show

本文由中国气象局2009年气象新技术推广项目(CMATG2009YB01)“08年盛夏一次西南涡路径预报偏差分析”资助

收稿日期:2008年10月21日; 修定稿日期:2009年3月18日

that: (1) the route of the southwest vortex changes sharply, firstly southward, then north-eastward, and then eastward, finally northeastward. (2) The structure of the vortex is of mesoscale characteristics. K index and axial direction of the vortex have instructions on the moving of the vortex. (3) The main reasons of the deviation are more rely on the NWP and less consideration to the influence of the cool air from northeast. (4) The forecast of the vortex's route by WRF is better.

Key Words: southwest vortex deviation of track cool air vortex numerical forecast products numerical simulation

引言

西南低涡是夏季导致我国广大地区产生暴雨灾害的重要天气系统^[1]。多年来,西南低涡吸引了众多学者专家的兴趣和关注。有关西南低涡的形成、发展、结构与降水,冷空气对低涡移出的作用,西南涡与高原涡、热带气旋等其他天气系统的相互作用等方面都做了较全面的论述,取得了丰硕的成果^[2-10]。对于西南低涡形成后移动路径的研究,大多数学者只是做了统计。据统计,盆地内低涡生成移出以7月频率最高且以偏东路径为主,占65%~80%;东北移和东南移只占10%~20%^[11-12]。刘爱鸣、李津^[13-14]从大气环境场、热力动力条件、地形和数值预报等方面对台风路径的预报难点和预报失误进行了分析,但从大气运动的动力与热力结构对西南低涡的移动路径分析研究甚少;近年来预报员对西南涡的移动主要参考数值模式预报的结果,而各数值模式对西南涡的移动路径的预报能力到底怎么样?大多数预报员对此心中无数。然而由于西南涡影响下的暴雨、大暴雨等灾害性天气落区的预报很大程度上取决于对西南涡的移动路径把握的准确性。为此,从天气系统与环境场入手,探讨低涡移动路径的机理,正确使用数值预报产品,提出西南涡此类路径的预报思路和着眼点是十分必要的。

1 西南涡动态及形势演变

图1给出了7月21—23日西南涡移动路径。过程初始,21日08时500hPa上,东北冷涡后部横槽位于40°N并向西伸到河套,588线主体偏弱呈块状分布在日本海;高原上红原、陇南到合作附近有一5800gpm的高原涡;700hPa的西南涡中心位于四川盆地东部(图1中D1);850hPa四川到鄂东是暖切变线;地面图四川盆地为暖低压控制(中心995hPa)。21日20时至22日08时,高原涡沿34°N东移,东北冷涡旋转,横槽南压至36°N,变为东北—西南向且一直伸到川陕,冷空气向西南灌入盆地,西南涡东南移至重庆境内(D3)。22日08—20时副高增强,西南涡前500hPa西南气流由 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增强到 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,急流轴位于怀化、宜昌到南阳一线,在冷空气入川和暖湿气流的共同作用下西南涡东北移出,22日20时西南涡移至渝鄂交界(D4)。本来在引导气流的作用下,很有利于低涡继续东北上。但此时,500hPa郑州已由 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西南风转为东北风 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;700hPa郑州由西南风 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 转为东北风 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,南阳站由西南风 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 转为西北风 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;850hPa郑州、南阳分别由东风、东南风 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 转为东北风 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这一切都表明,22日20时已有冷空气从东北方侵袭到西南涡,致使西

南涡没有继续在 115°E 以西东北移,而是于 22 日 20 时至 23 日 08 时东北偏东移进入河南东南部(D5)。随后,东北低压北缩减弱,副高增强西伸,312 线、584 线均北抬,低涡前部西南气流再次加强,西南涡再次东北移,于 23 日 20 时到山东境内(D6)。

上面分析可见,本次西南低涡生成后,经历南掉、东北移、东移、再东北移这一曲折移动路径,期间西路和东路冷空气对西南涡路径的影响起到重要作用。

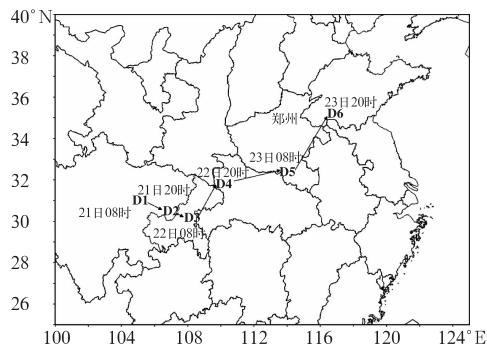


图1 2008年7月21日08时至23日20时700hPa西南涡移动路径

2 西南涡移动的动力和热力机制

分析 7 月 20—23 日各标准层上涡度演变及垂直速度配置(图 2)发现,20 日,300hPa 上正涡度中心位于川北,正涡度中心向东移动的同时也自上向下传播。21 日,在四川盆地 700hPa 上形成正涡度中心(中心值达 $100 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)(正涡度周围伴随负涡度中心),对应了西南涡的生成和加强。22 日,700hPa 正涡度区向东伸展,涡度梯度轴由经向转为呈东北—西南向倾斜,沿涡度梯度轴方向两侧分别分布着多个正、负涡度中心。渝鄂经豫东南至鲁西南正处在正涡度轴上,预示西南涡将沿此路径移动。22 日 14 时,低层正涡度轴东北偏东向伸展穿过河南省东南部,涡度轴的这种转变与低涡移动路径完全吻合。此后正涡度轴维持东东向,斜穿河南省东南部,沿正涡度轴一直有正涡度的传播至 23 日 20 时。与此同时,高层 300hPa

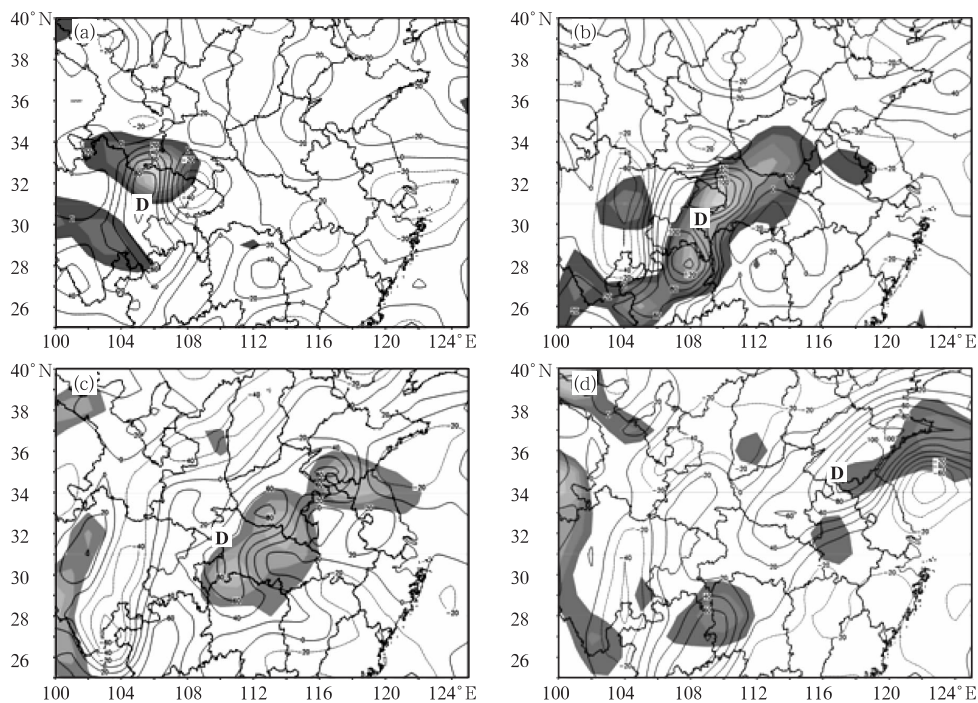


图2 2008年7月21—23日700hPa涡度(等值线,单位: 10^{-5} s^{-1})和垂直速度(图中阴影为上升运动区,单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)叠加
(a) 21日08时;(b) 22日08时;(c) 22日20时;(d) 23日20时;图中D处为西南涡中心位置

上涡度梯度轴(有正、负涡度中心)也呈东北西南向和700hPa对应,但上下配置相反,自西南经湖北到黄淮东部一带处在负涡度区中。低层正涡度、高层负涡度配置加强了上升运动(见图2中垂直速度)造成豫东南的暴雨和大暴雨。23日20时,低层正涡度中心移至山东境内,河南省降水减弱趋于结束。动力分析表明,中、低层有上升运动,与涡度中心相联系的正涡度区的周围有负涡度的分布,它的结构显示了一些中尺度动力结构特征^[15];高层涡度向低层传播促进了低层西南涡的形成,涡度梯度轴的分布和移动方向有利于西南涡向河南东南部到山东西南部方向移动。

热力分析表明,西南涡向不稳定区域和高能区域移动。从20日08时至23日20时K指数的演变中(图3)我们可以看到,K指数大值中心轴向和梯度带走向的变化与西南涡的移动路径存在很好的一致性。首先20

日,高值中心经向分布于106°E以西。梯度密集带位于甘肃、青海交界,近于南北走向,并自西北向东南传播。到21日20时,梯度密集带南压到川渝交界。22日08时梯度密集带加强并转为西南—东北走向,从重庆经鄂西北到豫南和豫东南并一直伸到鲁南,同时高值中心由经向分布变为纬向,中心增强到40℃,向东发展逐渐控制了江淮地区。22日20时,随着入川的冷空气减弱,四川盆地的梯度密集带减弱,而东北冷涡后部从华北东部不断扩散南下的冷空气使黄淮东部的梯度密集带加强并持续到23日,40℃的中心维持在江淮地区。此后西南涡正是沿着这条梯度密集带向偏东方向移动到河南东南部,并于23日从河南东南部东北移到鲁西南。上述分析说明,西南涡系统是沿K指数梯度密集带轴向偏暖空气一侧移动,趋向不稳定区域和高能区域,并且梯度密集带轴向变化比西南涡系统移动超前,因此对西南涡移动发

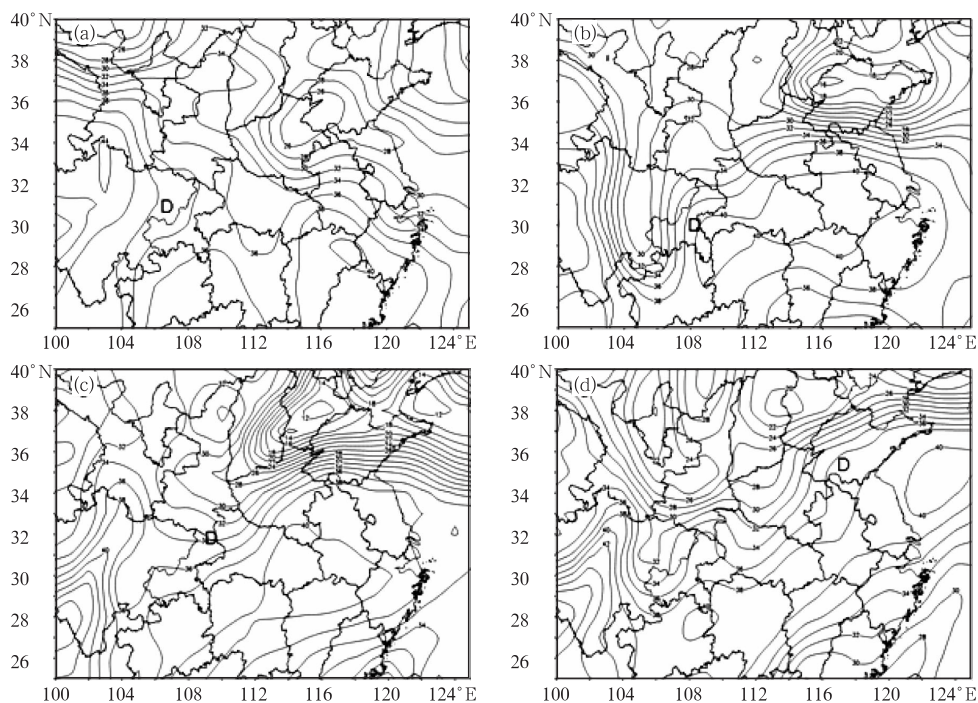


图3 2008年7月21—23日K指数(单位:℃)
(a) 21日08时; (b) 22日08时; (c) 22日20时; (d) 23日20时; 图中D处为西南涡中心位置

展具有指示意义。

由上分析可知,动力场和热力场的分布均有利于西南涡从川渝经湖北到豫东南再到鲁西南方向移动。

3 西南涡路径预报偏差原因分析

3.1 数值预报出现偏差

预报员制作预报时,实况分析与外推多用于 24 小时的预报,对于 48、72 小时以后的预报,主要参考数值预报产品。那么数值预报对本次西南涡的预报能力究竟怎样?

3.1.1 ECMWF、T213 对西南涡路径的预报偏差

图 4 显示 ECMWF、T213 不同初始场对西南涡路径的预报情况。ECMWF:19 日 20 时预报 22—23 日西南涡将从川东经陕南沿豫西到晋豫交界;20 日 20 时预报西南涡将于 22—23 日从川东经陕南到豫西北一线。

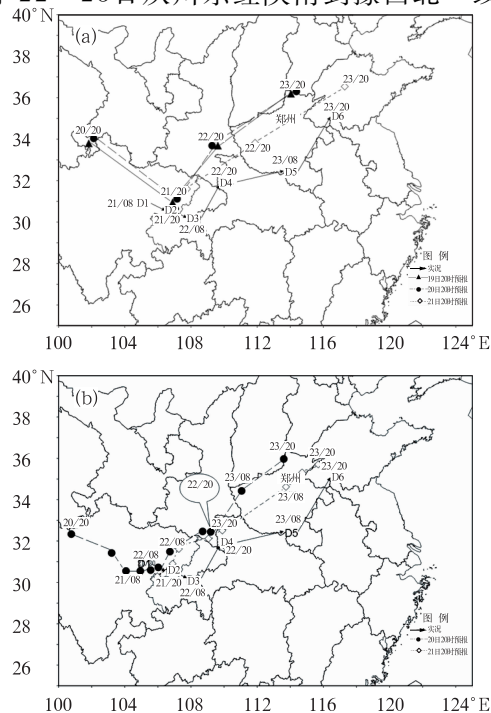


图 4 ECMWF(a)和 T213(b)(24~48 小时) 700hPa 西南涡路径预报和实况比较

21 日 20 时,ECMWF 对西南涡的路径预报向南向东有明显的调整,预报 22—23 日低涡从川东经鄂西向东北穿过河南移至山东内,这比前两日起报低涡位置偏东 2 至 3 个经度。显然 19 日、20 日 ECMWF 数值产品的低涡位置及路径预报与实况均有较大偏差,21 日 20 时的预报有所调整,总体均偏西北东移。对预报员来说,完全依据数值预报产品,那么 20 日、21 日参考 19 日 20 时、20 日 20 时制作的 22—23 日的暴雨预报落区肯定会有较大偏差。

同样,T213 20 日 20 时预报与实况也表现出较大偏差,预报 22—23 日西南涡将从川东经陕南沿豫西到晋豫交界,与 ECMWF 预报比较一致。21 日 20 时预报 22—23 日低涡位置也有很大调整,21 日比 20 日预报低涡位置偏东 2.5 至 3 个经度。22 日格点高度分析场减预报场绝对误差的零线呈经向穿过河南中部,在豫东误差小于零而豫西误差大于零,表明对河南西部预报偏低,对河南东部预报偏高,对应 22—23 日的低涡路径预报偏西。

3.1.2 数值预报产品的降水预报误差

对低涡位置预报偏差导致了降水预报也有很大出入。检验 21 日 20 时至 23 日 20 时过程累积雨量,日本 20 日 20 时起报的雨带预报比实况偏北,强降水落区在河南北中部、山西和河北南部,特别在山西南部预报了一个 107mm 的降水中心;21 日 20 时起报的雨带向南调整到了湖北、河南中南部到安徽,在河南东南部预报了 152mm 的强降水中心。T213 的 20 日 20 时预报的雨带也比实况偏北,从鄂西北、豫西、豫北到晋南均在大于 100mm 的范围,并在河南西北部预报了 200mm 以上的降水,最大达 262mm。21 日 20 时起报也明显调整。

3.1.3 数值预报产品对冷空气的预报情况

为了检验对 22 日 20 时东路冷空气的预报情况,选取 ECMWF、T213 的 850hPa 温

度场 20 日 20 时的 48 小时预报场、21 日 20 时的 24 小时预报场、22 日 20 时分析场和 22 日 20 时高空观测进行对比发现(图略),各时次 ECMWF 预报 20°C 等温线比实况偏北 $0.5\sim 1$ 个纬度,实况冷舌的方向是东北—西南向伸向西南,而预报冷舌基本为东西向伸向西北,表明对冷空气预报偏弱;T213 偏弱程度更大, 20°C 线预报偏差达 $1\sim 1.5$ 个纬度,格点温度实况减预报绝对误差在 $32^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $108^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 区域温度预报普遍偏高 $1\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ 。

ECMWF 地面气压场也显示,20 日 20 时 48 小时预报渤海到秦岭的纬向冷高压脊基本没有报出来,沿 30°N 长江沿线的暖倒槽明显偏北,反映对此次东路冷空气预报能力明显偏弱。

综上,各种迹象表明数值预报对 22 日东路冷空气预报偏弱,从而导致预报员对东路冷空气考虑不足。

3.1.4 数值预报产品对 700hPa 风场的预报检验

由于数值预报对西南涡的移动路径出现偏差,从而在风场上表现为沿西南涡移动路径上风场预报偏差很大。以 T213 为例,对所关注的区域($30^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$),南风风速预报偏强,对北风预报风向相反,表明对冷空气预报偏弱,对暖空气预报偏强。对西南急流轴预报偏西偏北,说明急流预报偏强偏慢。24~72 小时对 23 日 20 时的预报结果显示,预报能力随时效下降。反映了此次风场的预报能力较弱。

3.2 对东路南下冷空气考虑不足

冷空气从低涡的西部或西北部入侵,低涡则东移发展;如冷空气从东或东北部侵入低涡,则会使西南低涡的气旋式环流减弱,并使低涡填塞^[16]。由于综合各种数值预报产品表明,22—23 日西南涡将东北移自南向北

给河南大部地区带来暴雨天气。在数值预报对东路冷空气预报偏弱的情况下,重点考虑冷空气入川后低涡将沿强西南气流东北上影响河南,没有足够重视东北南下的冷空气将阻止西南涡继续北上;缺乏对天气系统相互影响的洞察力,也没有对动力、热力条件进行深入分析;另外针对天气系统诸如西南涡的数值预报产品进行天气学检验工作一直没有系统性的做过,对模式的误差没有掌握,从而过于相信数值预报而造成对西南涡路径预报偏差。这也使我们清楚地认识到,运用天气学原理深入细致地分析天气形势的演变,全面考虑各天气系统的相互作用,是最能体现预报员价值之所在。

4 数值模拟

本次西南低涡移动路径曲折给预报带来困难。我们尝试利用本地中尺度数值模式模拟 700hPa 低涡的动态及锋区的演变,以检验中尺度数值模式的预报能力。

4.1 模式与资料

采用的模式为 WRF,版本为 WRFv2.2。模式采用两重嵌套,相应的水平网格距:27km、9km,垂直方向 28 层。初始场和边界场均利用 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 全球再分析资料。WRF 所有网格均使用 Lin 等(水汽、雨、雪、云水、冰、冰雹)微物理过程方案,Grell-Devenyi ensemble 积云对流参数方案。模拟时间从 2008 年 7 月 21 日 20 时至 23 日 20 时,共 48 小时,时间步长 60 秒。

4.2 降水模拟

对比降水实况雨量和 WRF 模式模拟雨带分布(图 5a、b)看出,WRF 模式 24 小时模拟出一个东西向的暴雨带,但对河南东部的暴雨中心位置偏南约 1 个纬度,量级偏小;对

河南省其他地区降水模拟的雨区、量级都接近实况;对 48 小时总雨量模拟雨区略偏西、

偏北(图略)。总体上来看, WRF 中尺度数值模式对 24 小时过程的模拟是成功的。

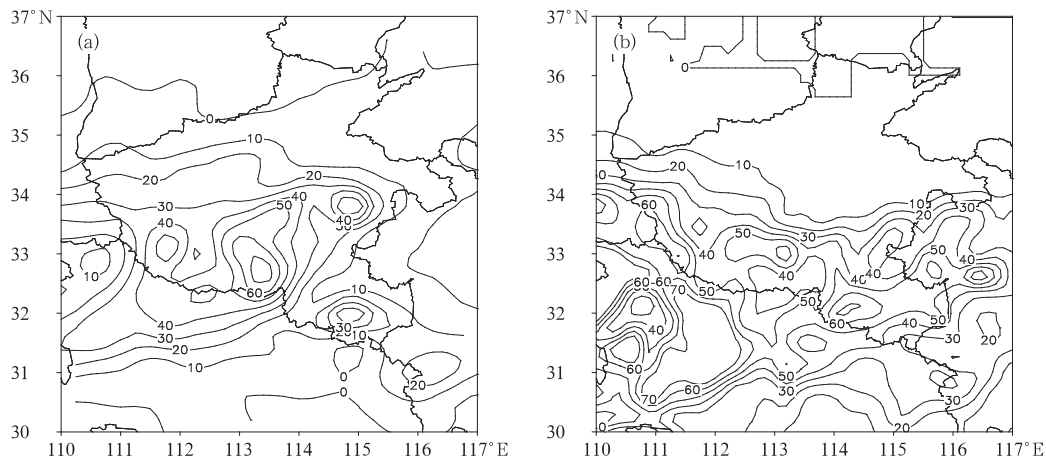


图 5 2008 年 7 月 21 日 20 时至 22 日 20 时实况雨量和模拟雨量
(a) 实况雨量; (b) 模拟雨量, 单位: mm

4.3 700hPa 高度场模拟

图 6(a、b、c)为 700hPa 高度场模拟场,从图中可看出,21 日 20 时在重庆西北部有一

3040gpm 低值中心(图 6a),到 22 日 08 时低涡南压,其中心加强到 3010gpm(图 6b),而到 20 时低涡东北移到湖北西北部—河南西南部(图 6c),中心减弱到 3050gpm;到 23 日

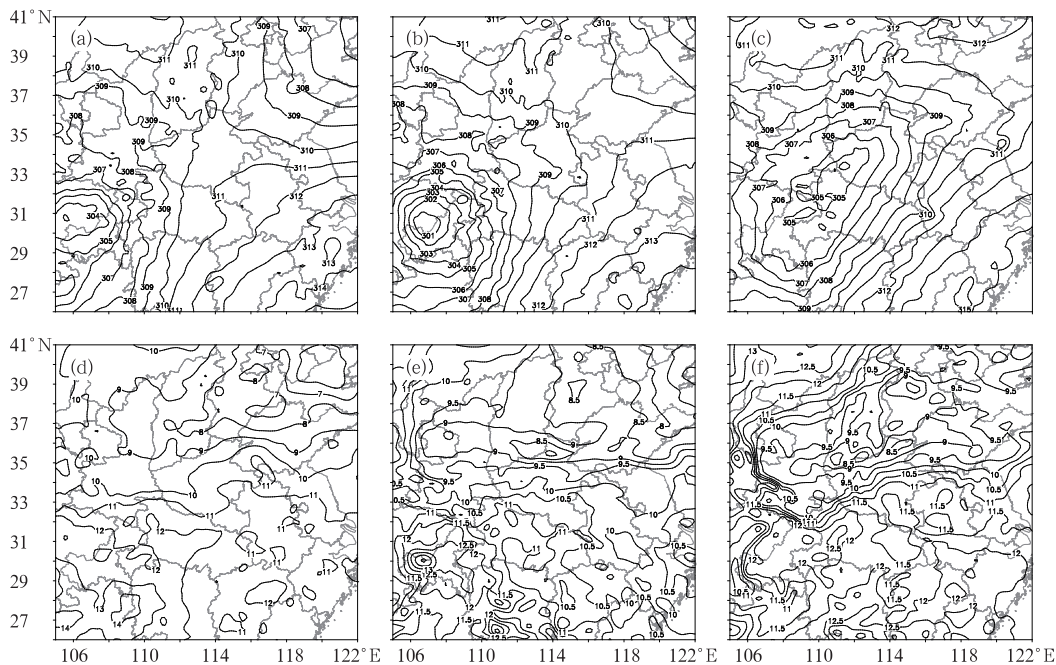


图 6 700hPa 高度场、温度场模拟
(a)、(b)、(c)分别为 21 日 20 时、22 日 08 时、22 日 20 时高度场(单位: 10gpm);
(d)、(e)、(f)分别为 21 日 20 时、22 日 08 时、22 日 20 时温度场(单位: °C)

20时(图略)低值系统继续东北上,呈东北西南向带状分布,位势高度增加到3070gpm。由此看出,WRF模式比上述数值产品预报的路径预报偏南,更接近实况。

4.4 700hPa 温度场模拟

图6(d、e、f)为700hPa温度模拟场。从图中清楚地看到,21日20时(图6d)自辽宁的南部伸向河北、山西南部有一冷舌,到22日08时(图6e)冷舌南压至河南北部,在新乡附近形成一个8℃的冷中心,到22日20时(图6f)冷空气向西、向南扩散,锋区位于32°~33°N河南境内。正是由于冷空气自北向南影响,阻挡了西南涡继续北上,因此冷空气南下是西南涡路径偏移的主要原因。

5 对西南低涡移动路径预报的几点看法

低涡移动路径是复杂的问题,各个例子的特征、结构和影响机理不尽相同,就本次过程预报失误,提出如下预报着眼点。

(1) 要重视冷空气侵入路径,它是影响西南涡发展、移动的关键。

(2) 西南涡的移动与正涡度轴的变化路径移动有关,且沿 K 指数梯度密集带轴向偏暖空气一侧移动。

(3) 数值预报对系统移动的路径预报会有偏差,这不但要加强对数值预报产品的检验及天气学方法的订正,更要关注当时环流背景的变化;有条件的话要综合参考当地中尺度模式预报,避免使用时过于盲目依赖。

致谢: 本文在写作过程得到河南省气象台李平高工的指导和帮助,在此谨致诚挚的感谢和敬意!

参考文献

- [1] 陶诗言等编著. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 196-199.
- [2] 陈忠明, 闵文彬, 崔春光. 西南低涡研究的一些新进展[J]. 高原气象, 2004, 23(增刊): 1-5.
- [3] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京: 气象出版社, 1986: 1-270.
- [4] 刘国忠, 丁治英, 贾显锋, 等. 影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究[J]. 气象, 2007, 33(1): 45-50.
- [5] 李国平, 刘行军. 西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 应用气象学报, 1994, 5(3): 354-360.
- [6] 陈忠明, 黄福均, 何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 352-360.
- [7] 周国兵, 沈桐立, 韩余. 台风对西南低涡影响的数值模拟与诊断个例分析[J]. 气象科学, 2006, 26(06): 620-626.
- [8] 郁淑华, 高文良, 肖玉华. 冷空气两侧高原低涡移出高原影响的分析[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 96-99.
- [9] 陈忠明, 闵文彬, 缪强, 等. 高原涡与西南涡耦合作用的个例诊断[J]. 高原气象, 2004, 23(1): 75-80.
- [10] 陈忠明, 缪强, 闵文彬. 一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 273-282.
- [11] 湛贵询, 何光碧. 2000-2007年西南低涡活动的观测事实分析[J]. 高原山地气象研究, 2008(4): 61-64.
- [12] 段炼. 汛期西南低涡移向频数的年际变化与降水[J]. 气象, 2006, 32(2): 23-27.
- [13] 刘爱鸣, 林毅, 黄美金, 等. 0713号台风韦帕路径预报难点分析[J]. 气象, 2008, 34(10): 27-33.
- [14] 李津, 王华, 郭金兰. 关于台风麦莎影响北京预报失误的思考[J]. 气象, 2007, 33(7): 60-66.
- [15] 韦统建, 薛建军. 影响江淮地区的西南涡中尺度结构特征[J]. 高原气象, 1996(4): 457-463.
- [16] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 370-372.