

文章编号:1006-7639(2005)-01-0026-07

一次蒙古冷涡影响下宁夏强对流天气分析

纪晓玲^{1,2},刘庆军²,刘建军¹,沈阳²

(1.宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏 银川 750002; 2.宁夏气象台,宁夏 银川 750002)

摘 要:2004年6月14、15日连续2d宁夏大部地区出现了强雷阵雨天气,引黄灌区局部地区遭受冰雹袭击。利用常规气象资料、多普勒雷达产品等资料,对此次过程进行了天气学分析,分析表明这是一次典型的蒙古冷涡旋转东移南压造成的宁夏连续性强对流天气过程。并根据一般性雷雨与伴有冰雹的强雷雨天气发生时雷达回波的差异,统计得到宁夏发生强对流性天气的监测预警指标,同时利用宁夏中尺度区域模式MM5预报产品对其相关物理量进行了模拟分析,得到了有价值的结果。

关键词:蒙古冷涡;强对流天气;多普勒雷达产品;MM5数值模拟

中图分类号:P458

文献标识码:A

引 言

蒙古冷涡是春末夏初影响宁夏造成强对流天气的常见天气系统^[1]。2004年6月14、15日,正是受最初在蒙古国西部生成,然后东移到河套北部旋转南压的蒙古冷涡系统影响,宁夏大部地区连续2d出现强对流天气,引黄灌区局部地区遭受冰雹袭击,尤其是14日的雹灾比较严重。

冰雹作为中小尺度系统的产物,有较强的局地性和突发性^[2]。它的发生往往造成较严重的损失,并随着社会发展,同等程度的冰雹天气造成的损失将会越来越大。本文从天气事实出发,利用天气学和动力气象学原理,详细分析了此次强对流天气形成的环流背景、影响系统及大气层结状态,并利用宁夏中尺度区域模式MM5预报结果对其进行了模拟分析。同时,为了更好地了解宁夏冰雹天气发生时雷达回波特征,对2001~2004年6月份发生在宁夏局部地区的31次雷阵雨或强雷阵雨天气过程的雷达回波特征进行了统计分析,试图找出一些预警指标,为预报员在日常监测业务中提供参考依据。

1 天气实况及灾情

2004年6月14、15日宁夏全区大部连续出现了雷阵雨天气。其中6月14日下午,灵武市、中卫市、青铜峡县、永宁县的14个乡、镇、35个生产队遭受冰雹袭击。据吴忠市气象局调查,此次冰雹来势凶猛,降雹直径达30mm左右(一般如同核桃大小,最大的如同鸡蛋大小),冰雹集中地带积雹最大深度30cm,平均16cm,是近30a以来所罕见。由于冰雹密度大,持续时间长,对小麦、水稻、玉米、瓜菜、果园等农作物造成严重损失,小麦、瓜菜损失尤为严重。经实地调查统计,冰雹袭击共造成农作物受灾面积达1408hm²,直接损失4400万元。

15日午后,银川市的贺兰县林场、石嘴山市的石炭井镇、汝箕沟、白箕沟及盐池县等地不同时间出现降雹天气,降雹持续时间在1~15min不等,冰雹约黄豆或蚕豆大小。

2 天气分析

2.1 天气背景

6月14日08时500hPa形势场上(图略),亚洲为两脊一槽型,蒙古低涡槽区向东南伸展至我国华北地区,低涡中心位于蒙古国中部,冷中心温度达-17℃,槽线从低涡中心向南伸至河西走廊(105°E附近),新疆高压脊向北伸展,与蒙古低涡槽区形成

“西高东低”环流形势^[1],而贝加尔湖东侧到我国东北一带西北东南向高压坝稳定少动,又对蒙古低涡形成明显的阻挡作用。在东西两侧 2 个高压脊共同作用下,蒙古低涡移动缓慢,在旋转过程中其后部不断有冷空气扩散南下。地面图上,冷高压位于蒙古国中西部,冷锋移到贝加尔湖至哈密一带,宁夏西侧有一地面风切变东移。

对应卫星云图上(图略),在蒙古国有涡旋云系发展,其东南方在河套西侧有一条较完整的东北西南向切变线云系,沿高空引导气流向东北方向缓慢移动。由于地面接受太阳辐射增温和贺兰山地形抬升作用,切变线云系移至河套地区上空时发展加强成为亮白色对流云团,结构密实。受其影响,中午前后宁夏局部地区开始出现强雷雨天气。

15 日 08 时,环流形势比较稳定,蒙古低涡底部继续有冷空气沿新疆脊前西北气流南下。对应地面图上,冷锋在缓慢东移过程中其尾部南压到张掖与民勤之间,宁夏处于热低压前部。

同时,从高低层温湿场分布看,13 日 08 时~15

日 20 时,500 hPa 与 850 hPa 两层的温度场在中亚地区一直处于反位相状态分布,500 hPa 温度槽正好对应于 850 hPa 暖舌。13 日 20 时,500 hPa 在河套北部有一 $T-T_d \geq 16^\circ\text{C}$ 的干中心,宁夏处于 12°C 暖区内,而 700 hPa 显示自高原东南侧有一条东北西南向湿舌向北伸展至河套北部,宁夏上空 $T-T_d \leq 4^\circ\text{C}$ 。

2.2 T213 形势场特征

图 1 是 6 月 14 日 08 时各层 T213 预报图。图中显示,从地面到 200 hPa 高层在蒙古国中西部均有一闭合的冷性低涡,低涡东西两侧各有一高脊控制,宁夏处于低涡的东南象限。仔细分析各层低值中心位置和温压场配置,冷涡中心的垂直轴线随高度增加向西有所倾斜,冷涡的温压场也呈不对称分布,温度槽落后于高度槽,等高线与等温线有一定的交角,并随高度交角由大变小。这种高低层的耦合配置,增强了大气的斜压性和不稳定性,一方面有利于低涡后方的西北气流携带冷平流南下,另一方面有利于大气不稳定层结的建立和增强,从而产生强对流性天气。

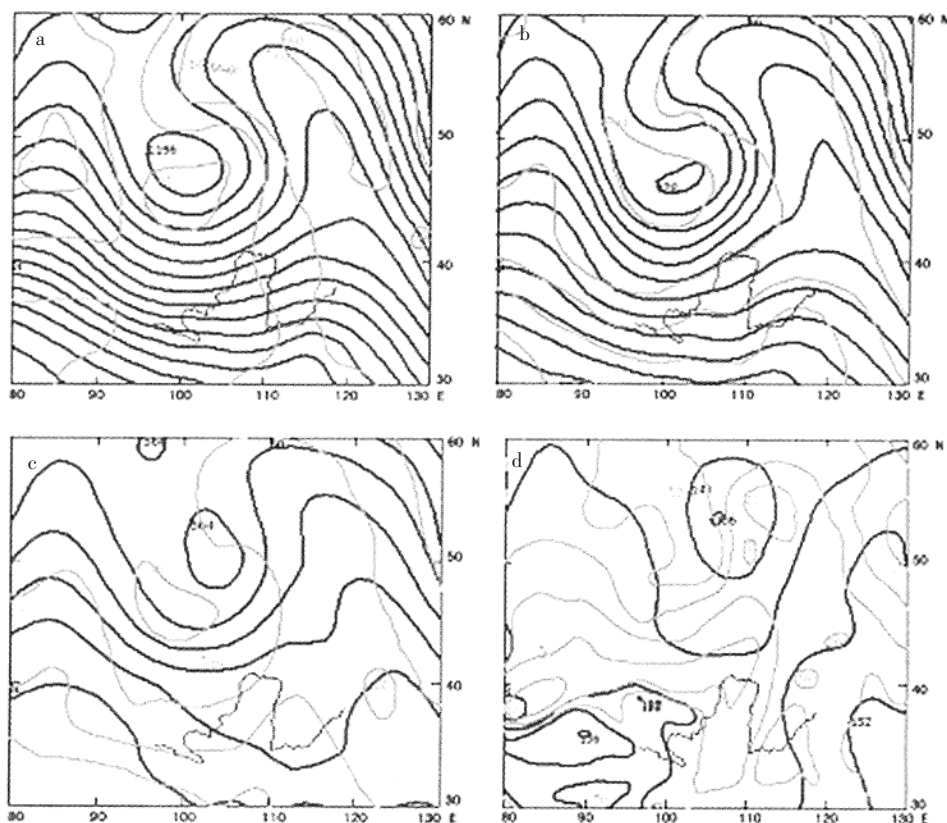


图 1 6 月 14 日 08 时 T213 预报场 a: 200 hPa, b: 300 hPa, c: 500 hPa, d: 850 hPa(黑色线为气压场,灰色线为温度场)

Fig.1 T213 forecast at 08:00 on June 14th (a for 200 hPa, b for 300 hPa, c for 500 hPa, d for 850 hPa(the black line is for pressure field, the grey line is for temperature field))

2.3 大气层结稳定度分析

2.3.1 环境风场

从银川站风场垂直剖面图(图略)可以看出,13日08时和15日08时,850 hPa为西南风,而700~500 hPa为西北风,对流层中低层风向随高度呈顺时针旋转;14日08时,850 hPa、700 hPa吹偏东风或东北风,500 hPa为西南风,而高层则吹较强的偏西风,风向随高度呈顺时针旋转,850~500 hPa风速差值为6 m/s。从风向风速垂直分布来看,高低层存在明显的垂直风向风速切变,14日08时尤为明显,这种分布有利于增加低空的水汽和启动抬升机制,促使强对流爆发。

2.3.2 大气层结指数

表1是银川站13日到15日各时次物理参数统计表。可看出,从13日20时~15日20时大气一直处于不稳定层结状态,且为增强的趋势,尤其是14日08时和15日08时, S_i 指数分别为-1.7和-2.0,潜在不稳定指数分别为10.7和6.1,基本达到了几天来的极值或次极值。

从0℃和-20℃高度来看, $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 层高度平均在425 hPa,且 $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 随时间在降低; $H_{0^{\circ}\text{C}}$ 平均在518 hPa左右,两层之间的高度差 ΔH 平均为185 hPa。有关研究表明,0℃和-20℃两层之间的高度差越小,说明高层冷平流越明显,使 $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 降低,低层暖平流使

表1 银川站13日~15日各时次物理参数统计

Tab.1 Physical parameters statistics of every time from 13th to 15th at Yinchuan station

时次	K 指数	S_i 指数	潜在不稳定指数	$H_{-20^{\circ}\text{C}}$ (hPa) (指标:418 hPa)	$H_{0^{\circ}\text{C}}$ (hPa) (指标:630 hPa)
13.08	28	5.2	-12.1	390	610
13.20	27	0.5	8.9	400	580
14.08	24	-1.7	10.7	420	620
14.20	32	0.0	2.6	430	620
15.08	13	-2.0	6.1	450	615
15.20	9	-0.6	0.8	460	610

$H_{0^{\circ}\text{C}}$ 升高,造成中空大气越不稳定,对流发展旺盛以致降雹。

2.3.3 假相当位温

从假相当位温^[3]各层水平分布(图2)来看,13日20时~14日08时,850 hPa至700 hPa在青藏高原东南侧有一近东北西南向高能舌,通过河套向贝加尔湖东侧伸展,尤其在850 hPa上,在河套西侧有高能中心形成,14日08时位于104°E、40°N附近,中心值为333.2 K,宁夏处于高能区控制,而500 hPa上,蒙古国中部至河西走廊有能量锋区缓慢东移。

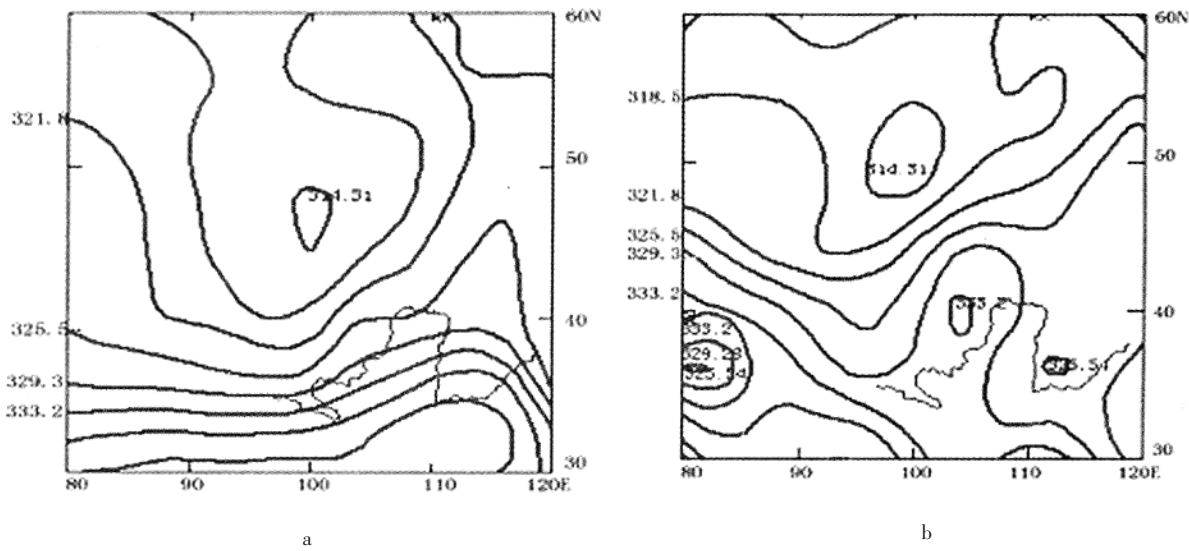


图2 6月14日08时500 hPa (a)与850 hPa (b)假相当位温分布 单位:K)

Fig.2 Pseudo- equivalent potential temperature distribution at 500 hPa (a) and 850 hPa (b) at 08:00 on June 14th, 2004

15日08时,500 hPa能量锋区已东移南压至宁夏中南部,而850 hPa至700 hPa仍为向北伸展的高

能舌控制。
垂直分布显示,14~15日,宁夏中北部地区上

空 $\Delta\theta_{se}$ (500-850) 及 $\Delta\theta_{se}$ (700-850) 基本上均 <0 。

上述分析表明,由于高层冷平流低层暖舌的作用,使得 700 hPa 以下 θ_{se} 增大,而高层 θ_{se} 减小,导致大气不稳定性增强,不稳定能量得以大量积蓄。随着对流的发展,雷雨大风和冰雹天气的相继产生,不稳定能量得以释放,不稳定层结变薄,强度也逐渐减弱。

2.4 雷达回波特征

6 月份是宁夏冰雹天气高发生期^[3]。为了更好地了解宁夏冰雹天气发生时雷达回波特征,我们对 2001~2004 年 6 月发生在宁夏局部地区的 31 次雷阵雨天气过程(其中一般性雷阵雨天气 18 次,伴有冰雹的强雷阵雨天气 13 次)的雷达回波特征进行了统计分析(表 2)。结果表明一般性雷阵雨与伴有冰雹的强雷阵雨天气发生时,雷达回波存在明显的差异。伴有冰雹的强雷阵雨天气发生时,回波强度、高度普遍在 40 dBz、9 km 以上,较一般性雷阵雨平均回波强度高 6.8 dBz,高度高 2 km,强中心回波高 3.3 km,且强雷雨在平显上多为块状或带状飢线,有强核,有“V”型缺口、人字型或指状,结构非常密实,高显上呈柱状,粗大、高耸、陡直,顶部有穹窿、花椰菜状结构。

表 2 6 月份宁夏一般性雷阵雨与伴有冰雹的强雷阵雨天气雷达回波特征对比

Tab.2 The feature contrast of weather radar echo for general thunder shower and strong thunder rain with hail in June in Ningxia

天气 类型	平均回 波强度 (dBz)	平均回 波高度 (km)	> 30 dBz		
			的强回波 中心平均 高度 (km)	平显特征	高显特征
一般 性雷 阵雨	39.1	8.1	3.6	孤立的块状 或带状,结构 密实。	柱状,细窄, 有时有砧状 结构。
伴有 冰雹 的强 雷阵 雨	45.9	10.1	6.9	块状或带状 飢线,有强核, 有“V”型缺 口、人字型或 指状结构,结 构非常密实。	柱状,粗大、 高耸、陡直, 顶部有穹窿、 花椰菜状结 构。

从此次过程雷达回波情况演变看,与上述统计分析特征基本相吻合。图 3 是 2004 年 6 月 14 日基本反射率 PPI 和基本反射率剖面图 RHI,距离圈

为 50 km。

12:00,在距离本站 100 km,方位 210°处(即中宁以北 20 km)有一块状对流云团快速发展,回波强度在 46 dBz 以上,顶高 8.7 km 以上,回波及地,系统深厚而强,并缓慢向东偏南方向移动。

12:20,中宁北部的冰雹云回波逐渐减弱为强雷阵雨回波,而贺兰山沿山的苏峪口、小口子、石炭窑等地有新生单体生成,并与中宁北边的强对流单体回波、大武口地区的多单体对流回波组成一条呈南北向的带状回波东移。同时,在 161°、距离本站 87 km 即吴忠以南 10 km 处有对流单体已发展为超级单体回波,回波强中心强度 47 dBz 以上,高度 10 km 以上,且回波顶呈单锋结构,云砧明显,说明高空风速切变大。此时,冰雹指数反映,该单体降雹概率为 40%,强冰雹出现概率为 10%,20 min 后,降雹的概率增大为 90%,降强雹的概率增大为 20%。

由于新生单体的东移并入,13:19,整个回波表现为 2 条南北向带状回波,一条在汝箕沟、苏峪口、小口子、采石场、石炭窑,另一条在石沟驿、磁窑堡到内蒙的上海庙,带状回波结构密实,强度 >45 dBz,高度 >9.0 km,且移动缓慢。13:33~13:59 分,贺兰山沿山、中宁一带的带状回波分成 2 部分,其中,北段回波继续向东北方向移动,而南段回波向东偏南方向移动,与吴忠附近强回波合并,使这一带的回波进一步增强,回波顶高达 11 km 以上,整个云体粗大、高耸、陡直,发展极为迅速和旺盛。受其影响,青铜峡、灵武、吴忠等市出现强雷阵雨天气,局部地区遭受冰雹袭击。

3 宁夏中尺度模式 MM5 数值模拟分析

对流性天气的发生,除要求有一定的不稳定条件外,还要有一定的水汽和动力抬升条件,尤其是动力抬升条件不可或缺。为了进一步揭示这次强对流天气形成的物理机制,我们应用宁夏中尺度区域数值模式 MM5 对其进行了模拟分析。资料选取 2004 年 6 月 13 日 08 时模式模拟结果。

3.1 温湿特征分析

3.1.1 温度平流

从温度平流^[4~5]分布来看(图略),13 日 08 时 500 hPa 在宁夏西北部沿贺兰山、石嘴山一带有一条东北西南向负温度平流区,中心位于 106°E、38.5°N

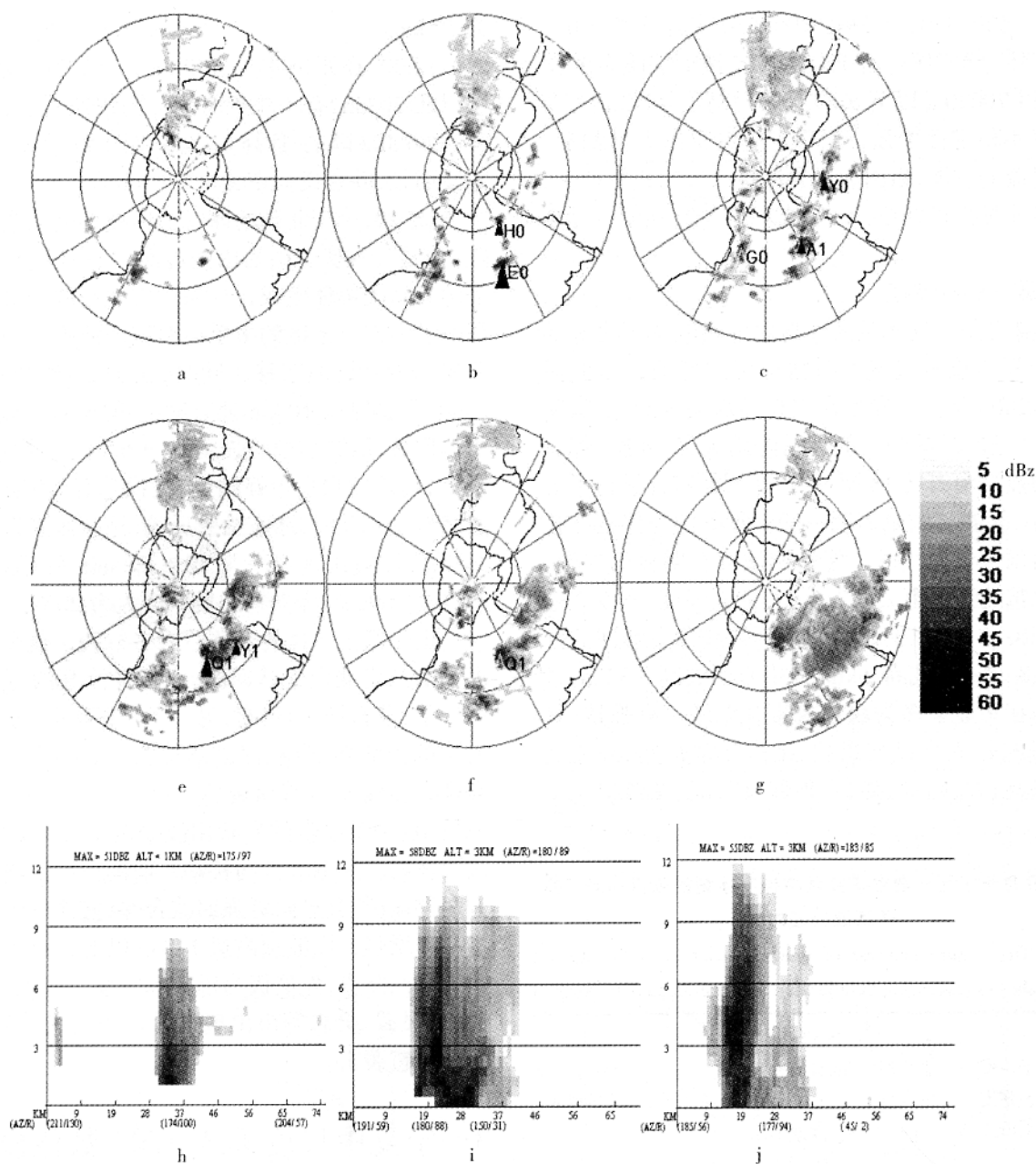


图3 2004年6月14日不同时刻基本反射率演变 a~g,其中,a: 12:20,b: 12:44,c: 13:19,e: 13:54,f: 14:14,g: 15:32) 及剖面图 h~j,其中,h: 12:05,i: 13:54,j: 14:38)

Fig.3 Basic reflectivity developing and cross-section diagram at different time on June 14th, 2004

附近,表明高层有冷平流向宁夏输送,14日01时冷平流输送达到最大,达 -65.47°C 。对应850 hPa上,13日08时在宁夏西北部的石嘴山市北部、贺兰山西侧以及宁夏中南部均为正温度平流区控制,并分别有正中心配合,随着系统东移,石嘴山市北部与贺兰山西侧的正温度平流区逐渐合并,呈东北西南向,其范围逐渐向南扩展,表明低层有暖平流向宁夏输送,13日19时达到最大,为 43.97°C 。14日11时后,高低层正负温度平流区东移,宁夏北部及贺兰山

沿山高层转为正区,低层转为负区,此时,500 hPa在宁夏西侧又有负温度平流区向河套输送,850 hPa在宁夏北部及贺兰山西侧维持正温度平流区。

3.1.2 水汽混合比

水汽混合比为水汽密度和干空气密度的比值。水汽混合比越大,表示水汽含量越多。

图4为2004年6月13~14日水汽混合比分布图。13日21时,500 hPa上宁夏西侧至内蒙中部有东北西南向水汽低值区,在 104.3°E 、 37.8°N 形成

一低湿中心,中心值为 $34.16 \times 10^{-5} \text{ kg/kg}$,低中心随低值区东移;对应 700 hPa 上,在 105.2°E 、 37.8°N 附近即贺兰山西南段形成一高湿中心,中心值为 $717.41 \times 10^{-5} \text{ kg/kg}$ 。

14 日 00 时,500 hPa 水汽低槽区东移至河西至

河套北部并逐渐南压,宁夏中北部地区处于水汽低值区控制,700 hPa 高值中心沿引导气流向东北方向移动至 105.7°E 、 38.6°N ,沿贺兰山形成一东北西南向高湿区。这种高低层水汽分布形势一直维持至 14 日 18 时左右。

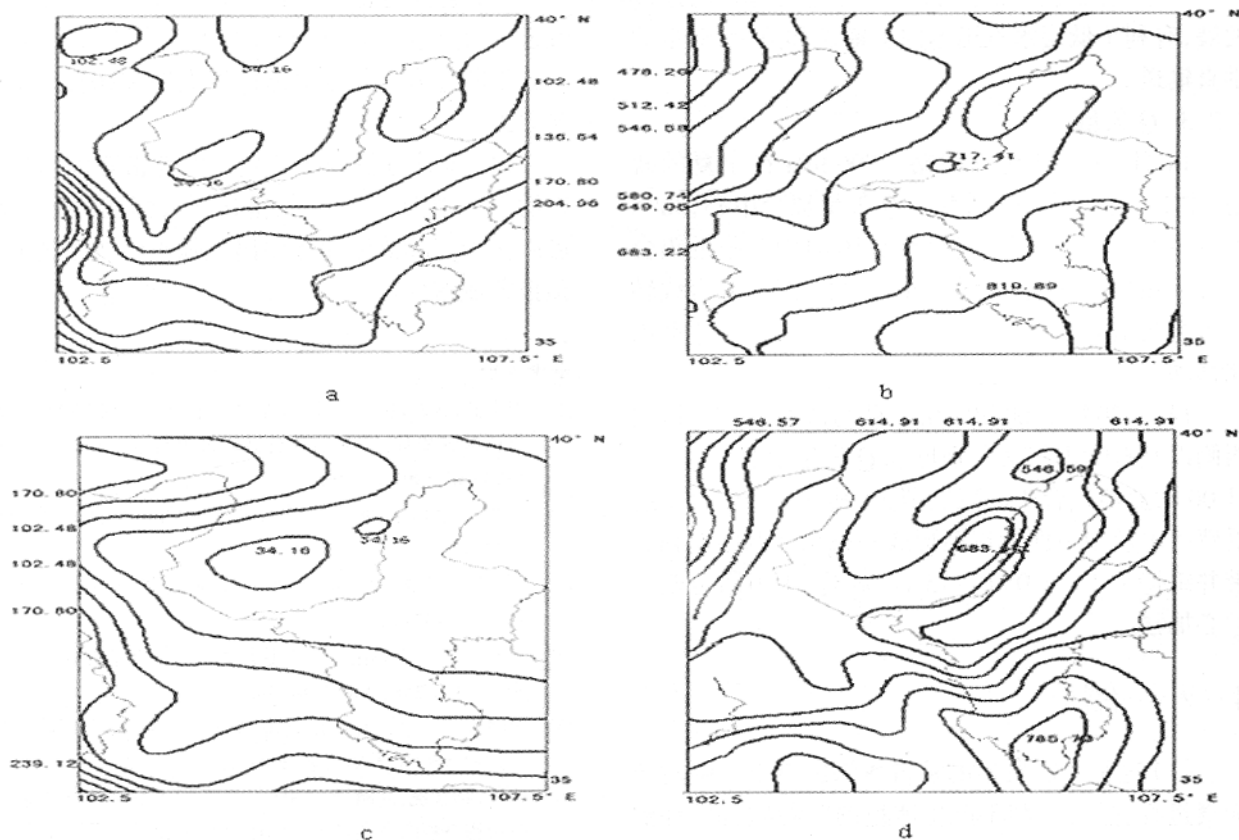


图4 2004年6月13~14日水汽混合比分布 a:13日21时500 hPa,b:13日21时700 hPa,c:14日08时500 hPa,d:14日08时700 hPa)

Fig.4 Moisture mixing ratio distribution from 13th to 14th on June, 2004(a for 500 hPa at 21:00 on 13th, b for 700 hPa at 21:00 on 13th, c for 500 hPa at 08:00 on 14th, d for 700 hPa at 08:00 on 14th)

上述分析表明,过程发生前,高层的干冷平流与低层的暖湿平流相配置,使冷暖气流的垂直交换得到加强,有利于冷空气和水汽的集聚,为对流的进一步发展积聚更多的位势不稳定能量。

3.2 动力条件^[4-6]分析

3.2.1 散度场

从14日14时散度场分布看(图略),500 hPa宁夏上空自东北至西南散度场呈正负相间排列,其中,石嘴山市北部的石炭井、惠农一带及银川至韦州、麻黄山一带各有一正散度区,呈西北东南向;700 hPa,宁夏中北部地区基本处于负散度区控制,负中心位于 106.2°E 、 38.4°N 附近,与500 hPa正散度区形成“低层辐合、高层辐散”的配置。这种配置一直维持

到下午17时,随后开始有所调整。

15日08时,850 hPa在宁夏的中卫至盐池有近东西向的负散度区,其中盐池附近有一辐合中心,而700 hPa至500 hPa,这一带基本上处于正散度区控制。

3.2.2 螺旋度

14日12~16时,700 hPa(图略)在宁夏的中卫、青铜峡、银川一带为东北西南向正螺旋度区控制,在 105.8°E 、 38.2°N 及 104.7°E 、 37.3°N 附近各有一水平螺旋度正中心,强度分别为 321.25×10^{-8} 和 160.62×10^{-8} ,并一直维持,说明低层持续为辐合上升运动;而500 hPa为弱的负区控制,为辐散运动。

15日08时(图略),700 hPa宁夏银川及以北基

本上为正区控制,同时河套西侧仍有正区东移,而500 hPa 石嘴山市北部及银川周围为负区控制,同时在中卫西侧有负区中心东移。

上述分析表明,“低层辐合、高层辐散”的配置,不仅有利于高层抽吸作用的增强和上升运动维持,而且由于气流的补偿作用,使垂直运动得到加强和发展,有利于低层水汽迅速向上输送和热量、动量的垂直输送。

3.2.3 Q 矢量

14 日 14~15 时(图略),700 hPa 在宁夏的盐池、中卫、银川西侧分别有一 Q 矢量辐合中心,38°N 附近相对为一近东西向辐合线;16 时中卫附近辐合中心仍然维持,但盐池附近辐合中心北移,辐合线转为东北西南向穿过中卫、青铜峡、永宁一带并逐渐向北移动。

14 日 20 时,700 hPa 在宁夏的盐池、中卫、银川西侧以及石嘴山东又分别形成 Q 矢量辐合中心。15 日 00 时盐池辐合中心减弱消失,其它 3 个辐合中心沿贺兰山及中卫西侧逐渐形成一条东北西南向辐合带并维持至 15 日 05 时;15 日 08 时,中卫附近辐合中心加强。

4 小 结

(1) 这是一次典型的蒙古冷涡影响下的强对流天气过程,是在有利于产生冰雹的“西高东低”环流形势下,在深厚的蒙古干冷涡系统与低层暖湿舌相

互作用、相互耦合下发生的。

(2) 大气垂直分布的斜压结构,增强了大气的不稳定性,有利于对流的进一步发生发展。对流天气发生在螺旋度“上负下正”配置下,700 hPa Q 矢量辐合中心与冰雹落区有较好的对应关系。

(3) 蒙古涡旋外围的切变线云系发展加强的对流云团,是此次强对流天气产生的主要云系。新生单体的不断并入,是强对流回波发展和冰雹产生的主要原因。

(4) 统计分析表明宁夏一般性雷阵雨与伴有冰雹的强雷雨天气发生时,雷达回波存在明显的差异,可以作为实际监测业务中出现强雷雨或冰雹天气的预报警戒指标。

参考文献:

- [1] 李文源,孙纪改,刘庆军.宁夏冰雹预报方法研究[A].宁夏回族自治区气象局.宁夏回族自治区气象科技成果选编(1986~1990)[M].1992.41-46.
- [2] 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学[M].北京:气象出版社,2003.349-359.
- [3] 宁夏气象局.宁夏短期天气预报指导手册[M].1987.105-119,153-166.
- [4] 王璘,董安祥,沈治广.一次连续性冰雹天气过程的诊断分析[J].干旱气象,2004,22(1):44-48.
- [5] 纪晓玲,贾宏元,沈跃琴.2002年6月7~8日宁夏区域性暴雨天气过程分析[J].干旱气象,2004,22(2):17-22.
- [6] 魏锋,杨金虎,高鹏,等.2003年7月22日漳县大暴雨强对流天气过程分析[J].干旱气象,2004,22(2):28-31.

Analysis of a Severe Convection Process Influenced by Mongolia Cold Vortex

Ji Xiao-ling^{1,2}, LIU Qing-jun², LIU Jian-jun¹, SHEN Yang²

(1. Ningxia Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster, Yinchuan 750002, China;

2. Ningxia Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China)

Abstract: A 2 day's continuous severe thunderstorm occurred in most areas of Ningxia on June 14th and 15th, 2004, part of the Yellow River irrigation region has been struck by hail. By using the routine meteorological data and doppler radar products and so on, a meteorological analysis of this process has been done, the analysis shows that: this is a typical continuous severe thunderstorm process in Ningxia which resulted from the rotational eastwards and southwards Mongolia cold vortex. From the radar echo difference between general thunderstorm and severe thunderstorm with hail, the monitoring and forecasting index of Ningxia severe convection weather has been gained with statistics. By using the forecasting products of Ningxia meso-scale model MM5, a simulative analysis has been done on it's related physical quantities, which has gained a valuable results.

Keywords: Mongolia cold vortex; severe convection weather; doppler radar products; MM5 numerical simulation