

文章编号:1006-7639(2005)-02-0024-06

2004 年宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析

贾宏元,穆建华,孔维娜

(宁夏气象台,宁夏 银川 750002)

摘要:利用高空实测资料,采用天气学与动力学方法计算高空大气的物理量参数,结合 FY-2 数字化云图及多普勒数字化雷达资料,对 2004 年 8 月 19 日发生在宁夏一次区域性大到暴雨过程进行了较细致地分析研究,探讨了宁夏大降水过程中水汽条件、动力条件、热力条件等因子时空分布特征及其重要作用,并指出了本次强降水是在有利的大尺度环流背景下,由多种尺度的系统相互作用及恰当配置的结果,中尺度系统对局地暴雨的形成扮演了重要角色。

关键字:暴雨;诊断;中尺度分析

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

引言

2004 年 8 月 19 日白天到夜间,宁夏固原市出现了一次宁夏当年最强的一次降水过程,其中固原、西吉、泾源 3 站达到了暴雨,西吉 24 h 最大降水量为 67.9 mm(图 1)。此次过程影响范围广、降水强,暴雨中心位于六盘山南部地区,降水时间主要集中在 19 日 14 时至 20 时 6 h 内。我们以 35°N,105°E 为中心,在 X、Y 方向上分别取格点数 61、51,采用 50 km 和 20 km 两种水平格距,计算了 2004 年 8 月 18 日 20 时、19 日 18 时、19 日 20 时 3 个时次,垂直高度 1 000~100 hPa 共 11 层的物理量参数,通过对高低空大尺度环流形势、主要影响系统的分析,从水汽、热力及动力等物理因子对本次过程进行了诊断分析,并根据数字化卫星云图、多普勒数字化雷达等资料对这次暴雨过程从中小尺度方面进行了分析,对认识宁夏暴雨发生的机制、成因,有一定的指导意义。

1 高低空环流形势及主要影响系统

此次降水前宁夏 500 hPa 高空(图略)上,中高纬

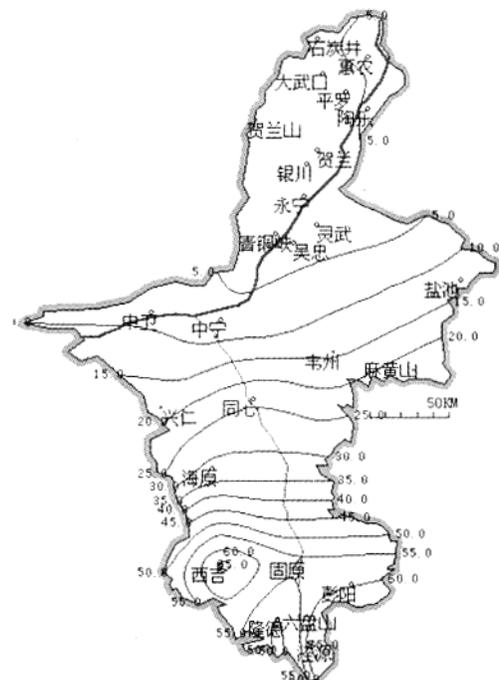


图 1 2004 年 8 月 19 日 08 时至 20 日 08 时宁夏雨量分布图 单位:mm)

Fig.1 Spatial distribution of precipitation in Ningxia from 08:00 August 19 to 08:00 August 20, 2004(Unit:mm)

收稿日期:2005-02-25;改回日期:2005-03-03

基金项目:宁夏科技攻关项目“我区天气异常与突变规律的诊断及监测预警技术”、“713c 天气雷达在宁夏大面积定量测量降水中的应用研究”共同资助

作者简介:贾宏元(1968-),男,工程师,主要从事短期天气预报及灾害性天气预报方法研究。E-mail:jhy806@163.com

维持两脊一槽型,中纬度为平直西风带气流,其上不断有小槽东移;副热带高压系统势力较弱,主体位于海洋上,我国大陆为一些高原单体;18日开始,西风带有低压槽东移,高原东部有明显低涡发展,由于受台风的西北移影响,副热带高压西伸北抬,19日宁夏正好处于副热带高压西北侧的高空西南急流带里,同时高原低涡正好东移位于六盘山地区,形成了宁夏大降水前的北横南涡极有利的降水形势^[1]。19日20时之后,低压槽逐渐加强东移,宁夏处于槽后弱西北风里,降水量级明显减弱。

暴雨的形成往往都与低涡的存在相伴^[1]。从700 hPa高度层(图2)上可见,18日高原北侧柴达木附近有低涡生成,其后沿西风带逐渐东南移动;19日08时到达高原东侧,与随着南部偏南暖湿气流不断北抬上来的另一低涡合并,低涡得到明显加强,并很快移出高原,沿西南路径向东北方向移动,19日20时正好位于固原南部地区,宁夏南部降水也明显得到加强,于20日08时才缓慢东北移出宁夏。

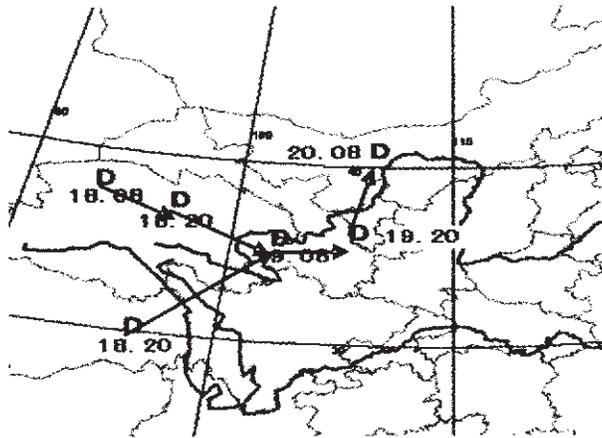


图2 2004年8月18日08时至20日08时700 hPa低涡变化图

Fig.2 Change of vortex at 700 hPa from 08:00 August 18 to 08:00 August 20,2004

2 物理量诊断分析

若产生暴雨,大气中需含有大量的水汽,同时需要源源不断的水汽输送补充。从能量角度看,暴雨是能量不断释放的过程,要产生强降水,大气中必须具备一定的能量条件,这种不稳定能量的释放又触发了较强的上升运动,通过对假相当位温、水汽通量散度、垂直速度、散度、涡度、涡度平流、风矢量场等物理量的诊断分析,我们可了解到本次暴雨

水汽、热力与动力等时空分布特征。

2.1 能量及稳定度

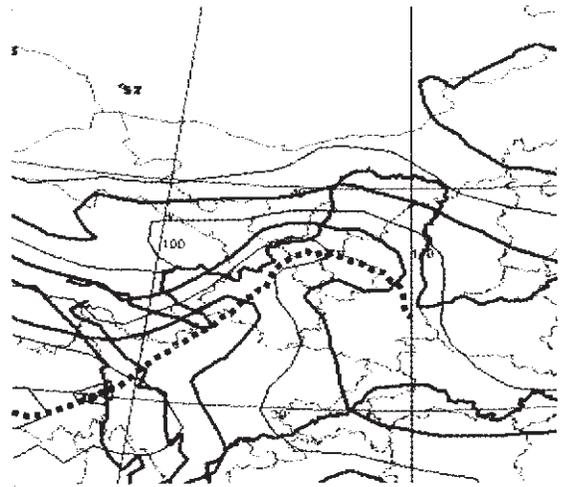


图3 2004年8月19日14时500 hPa θ_{se} 分布图 (虚线为高能轴线)

Fig.3 θ_{se} at the level of 500 hPa at 14:00 on August 19,2004(dashed line for axis of high energy)

图3为2004年8月19日14时500 hPa θ_{se} 分布图。可以看到,强降水期,从高原东部一直到宁夏为一明显的向东北方面伸展的高能舌,高能轴线与西南急流位置基本一致,在宁夏中南部为一近乎闭合的高能中心,等值线向西南方向开口,这有利于能量向暴雨区输送和积聚,暴雨就产生在高能轴附近或北侧能量锋区内^[2-3]。

为了进一步判断大气是否对流不稳定,即用

$$\frac{\Delta \theta_{se}}{\Delta Z} > \text{稳定}$$

$$\frac{\Delta \theta_{se}}{\Delta Z} = 0 \text{ 中性}$$

$$\frac{\Delta \theta_{se}}{\Delta Z} < \text{不稳定}$$

作为大气对流不稳定判据。分析发现,在宁夏南部大部区域 $\Delta \theta_{se_{850-500}} < 0$ (图略),说明对流层中低层大气不稳定,为暴雨的形成提供了不稳定的能量条件。

2.2 水汽通量散度场、垂直速度场

图4a、4b分别为2004年8月19日08、20时的垂直速度(10^{-3} hPa/s)、水汽通量散度(10^{-7} g/s·hPa·cm²)沿36°N的垂直剖面图(阴影区为地形,以下同)。降水即将开始前08时,在105°~108°E为弱的上升区,100°E和115°E附近为2个较明显下沉区,上升区最强在300~500 hPa之间,且向西倾斜,宁夏上升气流较弱;20时,随着系统东移发展,105°~108°E附近上升气流明显加强,850~200 hPa为一致上升区,600~400 hPa最强,中心值均达到了

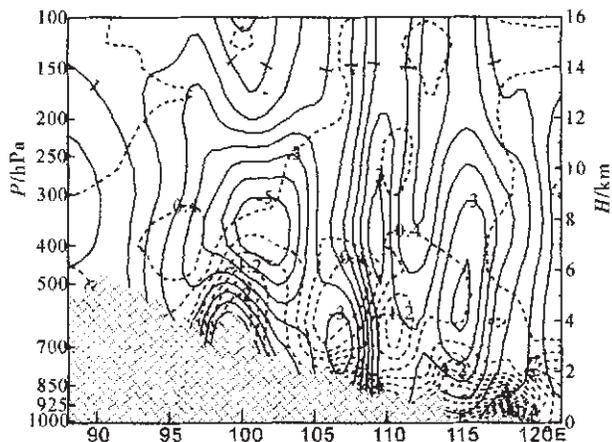


图 4a 2004 年 8 月 19 日 08 时水汽通量散度、 ω 沿 36°N 垂直剖面图 (实线为 ω , 虚线为水汽通量散度)

Fig.4a Vertical cross-section of moisture flux divergence and ω along 36°N at 08:00 August 19, 2004(solid line for ω ; dashed line for moisture flux divergence)

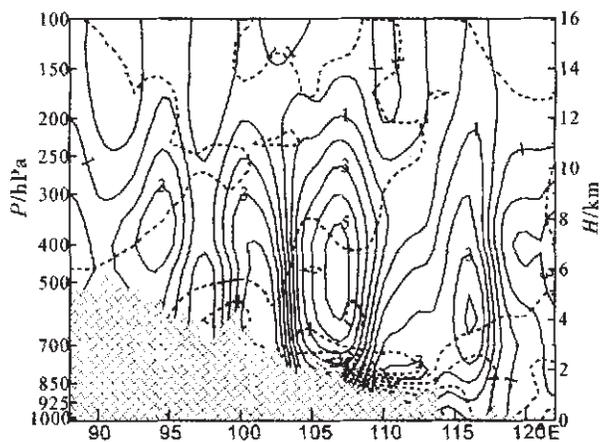


图 4b 2004 年 8 月 19 日 20 时水汽通量散度、 ω 沿 36°N 垂直剖面图 (实线为 ω , 虚线为水汽通量散度)

Fig.4b Vertical cross-section of moisture flux divergence and ω along 36°N at 20:00 August 19, 2004(solid line for ω ; dashed line for moisture flux divergence)

$-5 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$ 。与其配合的在其东西两侧各有一下沉运动区,最大高度都达到了 200 hPa,上升运动达到了最强,其前固原市几个测站出现了 8 mm/h 的强降水,之后上升运动减弱,降水也逐渐减小。由图可见, $\omega < -5 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$,与宁夏暴雨区有很好的对应关系。

水汽通量散度是一个与垂直运动密切相关的物理量,水汽通量辐合区与垂直上升运动区往往是一致的。08 时水汽通量散度主要在高原东侧,宁夏南部附近较小;20 时,850~700 hPa 上在 $106^{\circ}\sim 107^{\circ}$

E 宁夏南部山区维持一个 $-4 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^2)$ 的高值中心区,西南急流正好穿越这一高值区域将水汽向暴雨区输送。水汽通量辐合区范围远较暴雨区为大,这有利于水汽源源不断向暴雨区输送。

2.3 涡度、散度场

分析 19 日 08 时散度场(图略)发现, $32^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ 500 hPa 以下为辐散区,500~150 hPa 为辐合区。20 时(图 5a),低层辐合、高层辐散明显加强,尤其是高层 200~250 hPa 出现了 $60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 辐散高值中心,700 hPa 有一弱的辐合区与之对应,中心值为 $-20 \times$

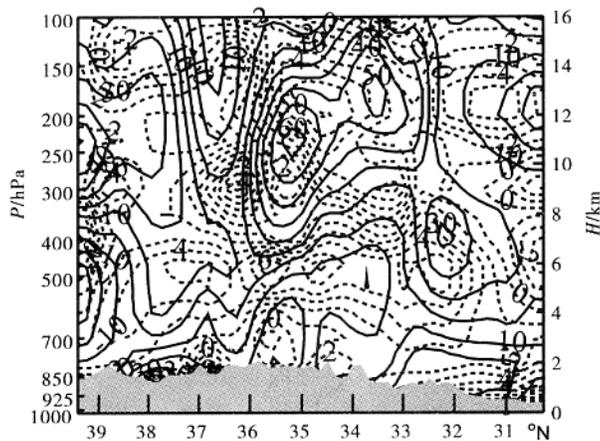


图 5a 19 日 20 时散度(10^{-5} s^{-1})、涡度 10^{-6} s^{-1} 沿 106°E 的垂直剖面图(实线为散度、虚线为涡度)

Fig.5a Vertical cross-section of divergence(10^{-5} s^{-1})、vorticity(10^{-6} s^{-1}) along 106°E at 20:00 August 19(solid line for divergence; dashed line for vorticity)

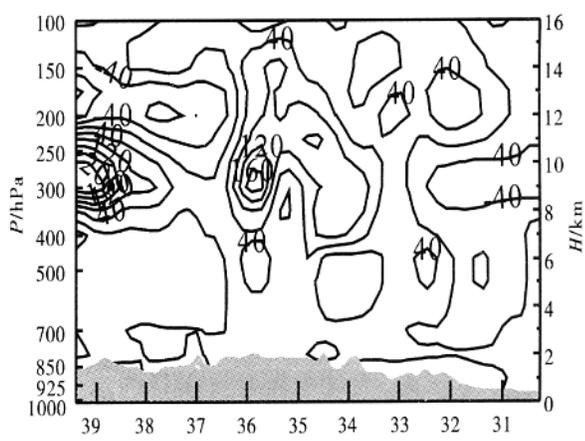


图 5b 19 日 20 时涡度平流(10^{-10} s^{-2})沿 106°E 的垂直剖面图

Fig.5b Vertical cross-section of vorticity advection along 106°E at 20:00 on August 19

$10^{-6} s^{-1}$ 。此时整层均为上升运动,最强在 600~400 hPa,超过了 $-5 \times 10^{-3} hPa/s$ (图 4b)。从涡度场看,降水前,500 hPa 以上为负涡度,以下为正涡度;降水开始后,500 hPa 维持一较强的正涡度,中心值为 $6 \times 10^{-5} s^{-1}$;高层 300 hPa 为负涡度。进一步分析涡度平流,08 时宁夏南部 500 hPa 以下有负涡度平流;20 时,正涡度平流加强(图 5b),宁夏中高层均为正涡度平流,300 hPa 正涡度中心值达到了 $160 \times 10^{-10} s^{-2}$;分析 300 hPa 的正涡度平流水平分布可看到,20 时,宁夏南部有一明显正涡度平流中心区(图略)。虽然低层的负涡度平流较弱,但在高层强烈正涡度平流作用下,高层辐散抽吸作用使低层辐合加强,触发了较强的上升运动,产生了暴雨^[4]。

2.4 矢量场

图 6 为 19 日 20 时的风矢量场沿 105 °E 的垂直剖面图。08 时(图略),300 hPa 以下宁夏南边(35 °N 以南)为一致西南风所控制,中部或北部(37 °N 以北)500 hPa 以下为偏北风,说明在中低层有风场辐合区,偏南风明显大于偏北风,暖湿气流较清楚;20 时(图 6),南风北抬到 36 °N,高度伸展到了 200 hPa 高空,偏南风也明显有所增强,且在 700 hPa 宁夏南部附近(36°~37 °N)有一较清楚的风向切变存在。偏南暖湿气流的北抬加强增加了水汽进一步向宁夏南部地区的源源输送,同时低层的切变使本地扰动加剧;另外我们还清楚地看到,在 200~150 hPa、700~500 hPa 高空各有一明显的风速大值中心区,分析认为这恰好对应于高低空急流带,且高空急流位置偏北,低空急流偏南,两者相距 3~4 个纬距。从动力条件分析来看,这种配置下,高空急流的右侧为动力辐散流场,低空急流的左侧为动力辐合

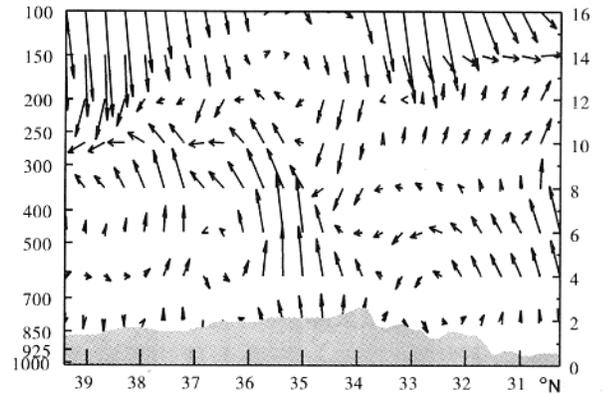


图 6 19 日 20 时风矢量场沿 105 °E 的垂直剖面图
Fig.6 Vertical cross-section of wind vector field along 105 °E at 20:00 on August 19

场,当这两支急流处于合适的位置时,高层辐散、低层辐合相互垂直叠置,引起很强的上升运动,对流活动发展。

3 数字化卫星云图分析

我们以 FY-2 卫星辐射遥感得到的黑体温度 (T_{bb}),绘制了 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下线的区域,得到了逐时的数字化卫星云图的亮温 (T_{bb}) 分析特征(图 7),分析发现在每个对流云团中,都有几个中- β 系统存在,有的发展合并,有的减弱东移,由此而引发了不同站点、不同时间的强降水。10 时所示, $T_{bb} < -40 \text{ }^\circ\text{C}$ 的区域,在高原东部有一大块较强的对流云团(A 区),在甘肃、青海交界处,核区的 T_{bb} 值为 $-53.35 \text{ }^\circ\text{C}$,随后东移北上,并分裂为南北两大部分,每一部分即是一个对流云团,每个对流云团中都有 $T_{bb} < -40 \text{ }^\circ\text{C}$ 的区域存在,11 时到达宁夏边界附近,南部很快合并加强从西吉

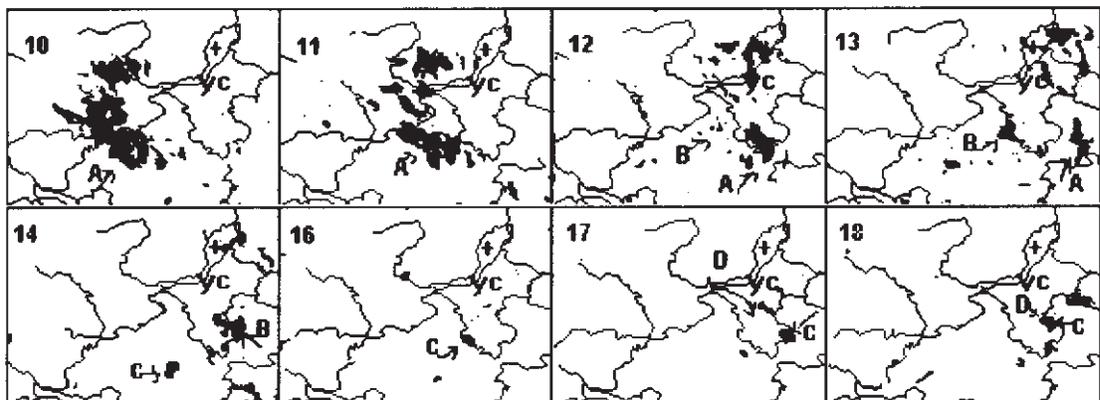


图 7 8 月 19 日 10~18 时暴雨云图 T_{bb} 逐时演变图,(黑色区为 $< -40 \text{ }^\circ\text{C}$ 线区域)

Fig.7 Hourly T_{bb} development of rainstorm cloud image from 10:00 to 18:00 on August 19 (black area for below $-40 \text{ }^\circ\text{C}$)

移入宁夏,宁夏强降水开始,对应的 T_{lb} 中心值为 -50.88°C ,位于西吉附近;11~13时强降水中心也位于此处;13时移出,同时另有一明显合并加强的云团(B)从宁夏西部沿西吉、固原一线移入,移速较慢,维持时间较长;14时仍在宁夏固原站及以东,且范围有所加大, T_{lb} 中心值为 -49.67°C ,此时,固原降水量 10mm/h ,强降水达到了最强;15时减弱消失;16时,在高原东部14时就已形成的C云团,开始东北上发展,并进入宁夏,云团边界清晰,已接近成熟,沿六盘山南麓缓慢东移,同时,宁夏中部的D云团也已加强南下,17时与C合并,降水量都比较大,18时西吉、固原、泾源3站降水量达到了 8mm/h (图8)。之后,云团逐渐减弱,降水量也减小,云团较为稳定,出现了普雨天气。对比分析表明,尽管暴雨的影响系统不同,但暴雨云团都由中尺度系统组成。一次暴雨过程,可由一个或几个对流云团引发,而每个对流云团中,又由几个中尺度系统生成、发展、合并而成。其生成、发展、移动过程,造成了同一地区、同一次暴雨过程中几个降水峰值,或同一时段内,不同地域雨量分布的显著差异。在对流云团中, T_{lb} 值越低,低值范围扩展越快,说明对流越强,发展越快,暴雨的范围就越大,强度也越强^[5]。

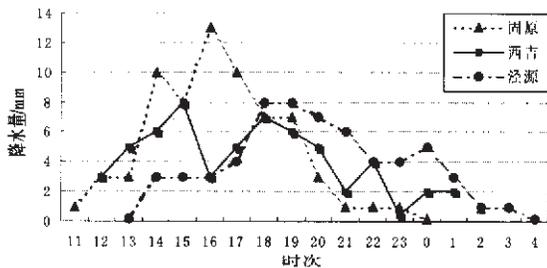


图8 19日11时至20日04时宁夏固原各站1h降水量时序图

Fig.8 Time sequence of one-hour precipitation from 11:00 on August 19 to 04:00 on August 20, 2004

4 多普勒雷达分析

固原市多普勒雷达在试运行阶段对此次暴雨过程进行了观测,但事后得到的体扫资料仍不全,我们只能较粗略地进行分析。从反射率演变图(图略)来看,过程初期,09时47分,雷达回波表现为零散的块状回波,在海原、固原以及雷达站西南(甘肃静宁、庄浪等地)有雷阵雨回波发展,到11时33分,雷达站西部已经出现大片絮状回波,表现为混

合性降水,西吉、固原两地已经有小片强降水回波。到12时55分,降水继续加强,回波图上出现水平尺度近 200km 的降水回波区域,其中西吉、固原市北部以及甘肃静宁、会宁一带出现大片强回波带,平均强度在 $35\sim 45\text{dBz}$ 之间。此后,强回波带缓慢东移,到下午17时43分,从回波图中可以看出,西吉、固原、彭阳、泾源以及甘肃静宁、庄浪、秦安等地都处在水平尺度约 $70\sim 80\text{km}$ 的强回波区域中,此后强回波区面积开始逐渐变小,但影响位置变化不大,宁夏西吉、固原、泾源3地不断有强回波带移入,这种状况一直维持到夜间20时左右,这与降水实况较为吻合。主要降水过程中,雷达回波顶高平均在 $6\sim 8\text{km}$,个别地方回波顶高在 $9\sim 13\text{km}$ 之间,表明局地对流发展比较旺盛,这为强降水的发生提供了有利条件。在速度方位显示(VAD)(图略)图中,降水初期,入流速度稍大于出流速度,此后入流速度又逐渐加大,在降水鼎盛时段,入流速度明显大于出流速度,有明显的水平风速切变,加强了气流的辐合,为降水提供了有利的动力条件,此后入流速度与出流速度之间的差值又开始逐渐变小,气流辐合逐渐减弱,这也与降水发展演变相对应。图9是反演的VWP(风廓线图)图,从图可以看出,从13时一直到19时,地面到约 4km 的高空,是一致的偏南风, 4km 以上则为明显的西南风,低层水汽输送十分有利。总之,此次暴雨过程在雷达图上有如下几个特征:

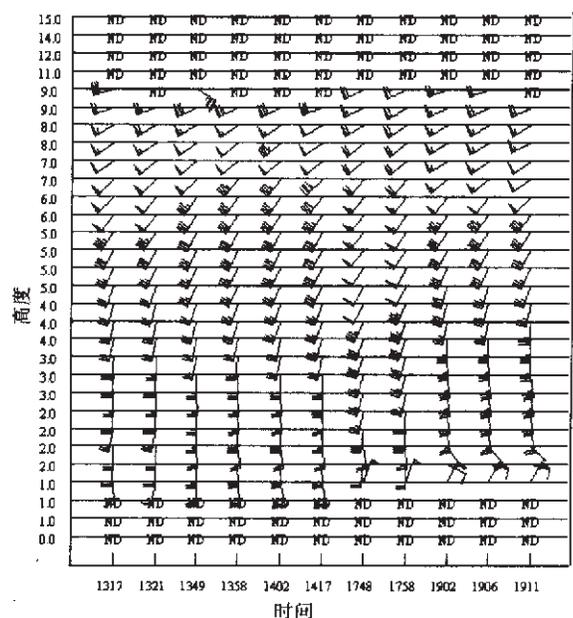


图9 2004年8月19日13时至19日19时VWP(风廓线图)

Fig.9 VWP(Vad wind profile) from 13:00 to 19:00 on August 19, 2004

a) 降水初期以零散强雷阵雨天气为主,以后逐渐转为混合性降水。

b) 降水鼎盛时期,整个降水回波区域中有大片的强回波带维持,强回波带平均回波强度在 35~45 dBz。

c) 在降水鼎盛时期,VAD 图中入流速度明显大于出流速度,气流辐合加强。

d) 低层大气有强暖湿气流,水汽条件十分有利。

5 总 结

通过此次强降水的物理背景场诊断及中尺度分析,我们可得到如下结论:

(1) 低涡、切变仍是宁夏暴雨最主要的影响系统。

(2) 高能轴线与西南急流位置基本一致,等值线向西南方向开口,有利于能量向暴雨区输送和积聚,暴雨就产生在高能轴附近或北侧能量锋区内。

(3) 对流层中低层大气不稳定,为暴雨的形成提供了不稳定的能量条件。

(4) 垂直速度 $\omega < -5 \times 10^{-3}$ hPa/s 与宁夏强降水有很好的对应关系。

(5) 水汽通量的高值带与垂直上升运动区及暴雨区密切相关,可作为表征水汽条件的重要因子。

(6) 高层强烈正涡度平流作用下,高层辐散抽吸作用使低层辐合,有利于低层垂直上升运动的增强。

(7) 暴雨发生期,宁夏上空存在着较明显的高低空急流带,且高空急流位置较低空急流偏北,这种配置较有利于上升气流的形成和发展。

(8) 暴雨云团由中尺度系统组成。一次暴雨过程,可由一个或几个对流云团引发。

在对流云团中, T_{bb} 值越低, 低值范围扩展的越快,说明对流越强,发展越快,暴雨的范围就越大,强度也越强。

参考文献:

- [1] 薛秋芳, 王建中. 一次强降水天气过程的中尺度分析 [J]. 气象, 1994, 20(10):21-25.
- [2] 陈智强, 戴新甫, 梁旭东. 1999年上海市一次连续性暴雨过程分析[J]. 气象, 2002, 26(9):24-28.
- [3] 宁夏气象局. 宁夏短期天气预报员手册[M]. 宁夏:1987.96-105.
- [4] 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.
- [5] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1983.221,233,265.

Diagnosis Analysis of a Regional Heavy to Torrential Rain Process in Ningxia in 2004

JIA Hong-yuan, MU Jian-hua, KONG Wei-na

(Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Based on routine observational data, several physical parameters calculated using the principle of meteorology and atmospheric dynamics, as well as FY-2 digital satellite image and digital Doppler radar data, the cause and mechanism of a regional heavy to torrential rain process in Ningxia occurred on August 19, 2004 were analyzed in detail. The spatial and temporal characteristics of the vapour, dynamic and thermodynamic conditions and their importance were discussed. Results show that the rainstorm occurred under the condition of the large-scale circulation system, as a result of multi-scale weather systems interacting and standing in a suitable situation, and meso-scale systems play an important role in the local rainstorms.

Key words: rainstorms; diagnosis; mesoscale analysis