郭大梅,方建刚,侯建忠. 陕西一次远距离台风暴雨天气分析[J]. 干旱气象,2013,31(1):138-143. doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0138

陕西一次远距离台风暴雨天气分析

郭大梅[1],方建刚[2],侯建忠[1]

(1. 陕西省气象台,陕西 西安 710015;2. 陕西省气候中心,陕西 西安 710015)

摘 要:利用MICAPS实况观测、卫星云图 T_{BB}、地面自动观测站资料,对2010年7月22~25日陕西一次远距离台风暴雨天气过程进行诊断分析,结果表明:500 hPa贝加尔湖南部高压和西太平洋副热带高压稳定少动及甘南低涡加深东移是这次暴雨主要环流特征,700 hPa从台风东侧至陕西建立了温湿能通量的能量输送通道,台风东侧的温湿能沿大陆副热带高压外围偏南风向陕西输送,暴雨位于700 hPa温湿能等值线密集处;条件性对称不稳定与对流不稳定是此次暴雨发展与维持的重要机制,高层湿位涡大值区向下伸展,对暴雨起到加强作用。

关键词:台风;温湿能;条件性对称不稳定

文章编号:1006-7639(2013)-01-0138-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0138

中图分类号:P458.1+21.1 **文献标识码**:A

引 言

中国西北地处干旱区,天气气候具有显著的地域性特点。部分学者在干旱区降水方面做了大量的研究工作,取得了一些成果[1-6],如刘利民等[1]对甘肃河东一次区域性暴雨进行分析,得出此次暴雨的物理量特征,李安泰等[2]对甘肃东南部暴雨进行了数值模拟并对螺旋度和降水进行了讨论,任余龙等[3]对青藏高原东部大暴雨的发生机制进行了研究,樊晓春等[4]对甘肃陇东局地暴雨进行诊断分析,王建兵等[5]对舟曲暴雨云团进行分析得出中尺度云团特征,张文军等[6]对甘肃酒泉暴雨进行数值模拟和诊断分析。西北地区东部陕西地理环境复杂,北部为黄土高原,中部为关中平原,南部为秦巴山地,地质复杂,是我国暴雨灾害最多的省份之一。南海区域生成或从西北太平洋生成并能西移至128°E附近及以西的台风与中纬度系统相互作用,陕西常会出现极端暴雨[7],暴雨除了带来水资源外,也会诱发山洪、泥石流,给当地造成巨大的财产损失和人员伤亡,但对陕西的台风暴雨的形成机理仍有许多未知因素,加强对陕西远距离台风暴雨形成机理和规律研究对提高暴雨预报的准确率、保护人民生命财产有着非常重要的意义。

1 降水实况及环流形势

2010年7月22~25日,陕西的陕北南部、关中、陕南出现一次范围广、强度大、持续时间长的强降水天气,有44站次暴雨,16站次大暴雨,过程降水量有27站>100 mm,7站>200 mm(图1a)。主要降水时段在23日00时到24日13时,其中陇县、长武、宜君、彬县、华山、丹凤、潼关7站日降水量突破建站以来历史日降水量的极值。本文利用MICAPS实况观测插值成1°×1°的格点资料、卫星云图 T_{BB}、自动观测站资料分析这次暴雨天气的环流及物理量特征,为今后暴雨预报提供预报依据。

2010年7月22日08时,500 hPa欧亚中高纬度环流呈2槽1脊型,贝加尔湖南部为高压脊,且有588 dagpm的闭合高压中心,西太平洋副热带高压强大稳定,脊线在28°N附近,西伸达115°E,2高之间在甘肃南部有一低涡。23日08时(图1b),贝加尔湖南部到蒙古国的高压稳定,高压底部的偏东风不断将冷平流输送到甘肃南部的低涡的左侧,使之加深。西太平洋副热带高压减弱东退。24日08时,低涡稳定少动,副高的主体东移到海上,贝加尔湖南部到蒙古国的闭合高压与青藏高压及残留在东南沿海的副高合并,低涡开始减弱。陕西南部位于

收稿日期:2012-07-25;**改回日期**:2012-12-04

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306006)及陕西省气象局2013年重点项目(2013Z-1)共同资助

作者简介:郭大梅(1978-),女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报及研究. E-mail:shanxiguodamei@sohu.com

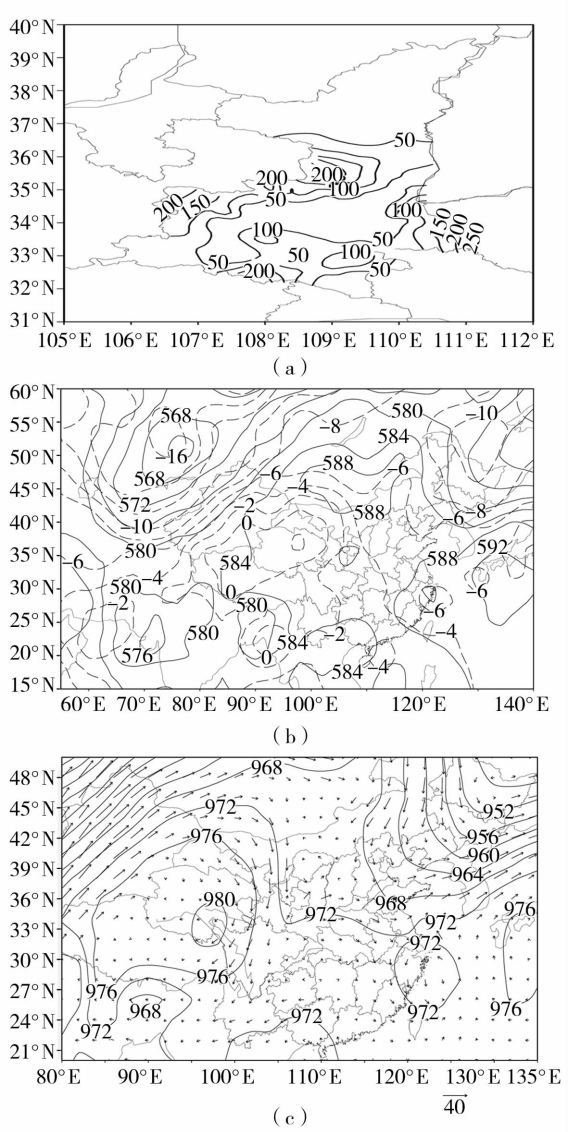

图 1　2010 年 7 月 22 日 20 时至 24 日 20 时降水量分布(a,单位:mm),23 日 08:00 500 hPa 位势高度场(实线,单位:dagpm)及温度场(虚线,单位:℃)(b),23 日 08:00 300 hPa 位势高度场及风场(c)

Fig. 1　The distribution of precipitation from 20:00 July 22 to 20:00 July 24(a,Unit:mm), The 500 hPa geopotential heigh (solid line, Unit:dagpm) and temperature field(dotted line, Unit:℃) at 08:00 July 23(b), The 300 hPa geopotential height (Unit:dagpm) and wind field at 08:00 July 23(c)

低涡东侧。

同时台风"灿都"22 日 13:45 在广东吴川市吴阳镇沿海登陆,并在 22 日 19:00 在广东廉江境内减弱为强热带风暴,22 日夜间进入广西,强度逐渐减弱成低压。但其外围的偏南暖湿气流与副高外围的偏南气流汇合,在对流层低层 700 hPa 高原东侧形成一支中心风速 >12 m·s^{-1}的偏南暖湿气流,这支偏南暖湿气流为暴雨区输送了充足水汽。

本次过程 300 hPa 图上在甘肃的东南部附近出现低槽或低涡,低槽或低涡的西侧由南亚高压的东侧近南北走向的高空急流组成,23 日 08 时(图 1c),300 hPa 图上宁夏东部—甘肃东南部有一低槽,24 日 08 时,在宁夏—甘肃东南部—陕西发展成为低涡,在低槽上配有高空急流,在高空急流入口区的右侧低槽的前侧,有强的正涡度平流,这一区域有着强烈的辐散[8],对暴雨的发生非常有利。

从形势场分析可知本次过程与陕西 7 月份的暴雨主要受低涡或低槽影响[9]是一致的,但不同的是高层存在正涡度平流,低纬度有台风登陆。侯建忠对陕西的暴雨研究表明:南海区域生成或从西北太平洋生成并能西移至 128°E 附近及以西的台风与中纬度系统相互作用,陕西常会出现极端暴雨[7]。本次过程低纬度台风的影响与侯建忠的研究结论一致。

2　卫星云图分析

FY-2E 逐时云图分析表明,产生陕西暴雨的云系是由涡旋云系中多个中-β 尺度对流云团及水汽含量较高的中低云组成。22 日 08 时陕西受低层切变线影响,云系主要在四川北部、陕南,陕南地区为 T_{BB}低值区(-32 ℃),23 日 00 时四川北部—陕北北部有一涡旋云系,其主体呈西南—东北走向,在云系中关中西部、陕南西部(图 2a)不断有小的对流单体生成,向东缓慢移动,强降水中心主要位于陕西中南部,23 日 08 时之前陕南西部、关中北部有 9 站暴雨。23 日 08 时,台风"灿都"登陆减弱形成的热带低压,其中心向西移动到广西西南部,其外围的偏南气流在广西到四川盆地形成一低空云系,同时在副高的外围有一东南西北向的云系,2 支云系不断向北发展,在陕西中南部与甘南低涡云系叠加,同时甘南低涡云系不断向北发展,陕西有 -32 ℃的低亮温区,在陕西西部不断有对流单体生成并东移,并有对流单体在陕南东部加强为中-β 尺度对流云团,T_{BB}低值中心为 -52 ℃(图 2b),23 日陕西有 12 站大暴雨,16 站暴雨。24 日 08 时热带低压中心已移到云南东南部,外围偏南气流开始减弱,陕西南部出现 2 站大暴雨和 6 站暴雨。云图分析可清晰表明:台风外围的偏南气流沿副高外围向暴雨区输送充沛的水汽,甘南涡和低空切变线是这次暴雨天气的主要影响系统,强降水是由结构均匀的中-β 尺度对流云团(T_{BB}在 -52 ℃)及水汽含量较高的中低云(T_{BB}在 -32 ℃)产生的。

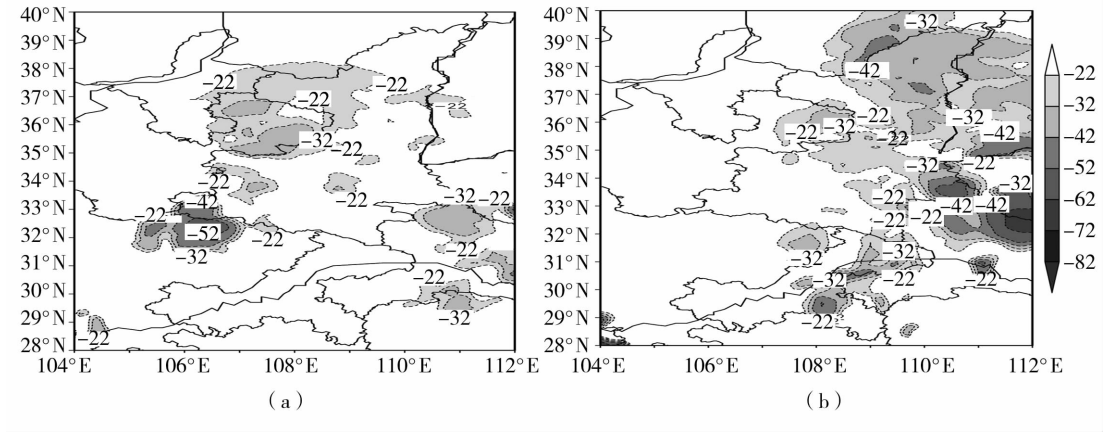

图2 2010年7月23日03时(a)及22时(b)T_{BB}(单位:℃)

Fig. 2 The distribution of T_{BB} at 03:00(a) and 20:00(b) on July 23(Unit:℃)

3 物理量诊断

3.1 水汽及温湿能诊断

华南沿海“灿都”台风及其登陆减弱后的热带低压外围的偏南风沿副高外围偏南风汇合向暴雨区输送水汽。7月22日08时台风登陆前,在华南沿海有一个强的水汽通量高值中心,中心值在26 g/(cm·hPa·s)以上,水汽通量的高值区随偏南风气流向北伸展,在甘肃东南部—宁夏—陕西西部形成10 g/(cm·hPa·s)大值中心,陕西西部降水开始。“灿都”7月22日13时登陆19时减弱为强热带风暴,水汽随着热带风暴外围的偏南气流与副热带高压外围向北输送到陕西,7月23日20时(图3a)陕西中部有一强的水汽通量中心,中心值为20 g/(cm·hPa·s),并在陕西产生水汽通量辐合。7月24日20时随着台风登陆形成的热带低压进一步减弱,陕西的暴雨天气结束。由此可见,在华南沿海登陆的台风,与中高纬度环流相互作用,在其中心的北部,从华南沿海到陕西建立起偏南风水汽通道,把大量的水汽从华南沿海向陕西输送,在急流的前部产生辐合上升,在水汽通量的高值区产生辐合,造成暴雨。

温湿能即湿焓,单位质量空气的温湿能[10]为$E_h = cpT + Lq$,$cp = 1.005$ J/(g·K),$L = 2\ 500.6$ J/g,T为温度,q为比湿。温湿能只与水汽和热量有关。温湿能能很好地反映空气热能的累积状况,高温湿能区往往对应高温、高湿、强的能量聚集区,强降水往往发生在高温湿能轴线附近。与水汽通量类似,温湿能通量表示为$(V \cdot E_h)/g$。应用温湿能通量来表示台风中心附近大气温湿能向陕西的输送。

分析700 hPa温湿能的变化情况,7月22日08时陕西温湿能值开始增大,高温湿能出现在陕南、关中西部,其值为314 K,高的温湿能轴线位于关中西部至陕南一带,呈东西走向,强降水区与高的温湿能轴一致。23日20时(图3b)高的温湿能轴线呈西南—东北走向,即陕南西部—关中中部,强降水就发生在高的温湿能轴线附近。24日20时高的温湿能轴线移出陕西,强降水减弱。分析700 hPa的温湿能($E_h = cpT + Lq$)和通量可见,台风中心附近的温湿能也从华南沿海向北输送。22日08时台风中心附近有一温湿能通量大值中心,中心值为8 J/(cm·hPa·s),23日20时(图3c)在陕西中部温湿能通量迅速增大,中心值达到5 J/(cm·hPa·s)。强降水期间沿台风中心华南沿海经湖南、重庆到陕西形成了温湿能通量的大值区,即建立起从台风中心附近致陕西的温湿能通量的能量输送通道,把台风中心附近的温湿能向陕西输送。

3.2 湿位涡和稳定性分析

通过湿位涡[11]正压项、绝对涡度等来讨论大气层结的对流不稳定及条件性对称不稳定。沿暴雨中心(108°N)作湿位涡正压项的垂直剖面图(图4a)可以看到:22日20时强降水发生前,湿位涡正压项大值中心位于北纬41°N 200 hPa,其大值中心为3 PVU(1 PVU = 10^{-6} m^2·s^{-1}·kg^{-1}·K),该处湿位涡正压项大值区向南在35°N强降水区向下伸展至600 hPa,600 hPa以下均为负值区,即$MPV1 < 0$,700 hPa此处为南风与东南风之间的横切变,相对涡度> 0,因此绝度涡度$\zeta_a > 0$,由湿位涡正压项的公式可知$\partial\theta se/\partial p > 0$,即600 hPa以下大气为对流不稳定层结,湿位涡的(108°E)垂直剖面发现,35°N强降水区600~450 hPa $MPV < 0$,根据陆汉城等[12]提出的条件性对称不稳定需满足以下条件:湿位涡

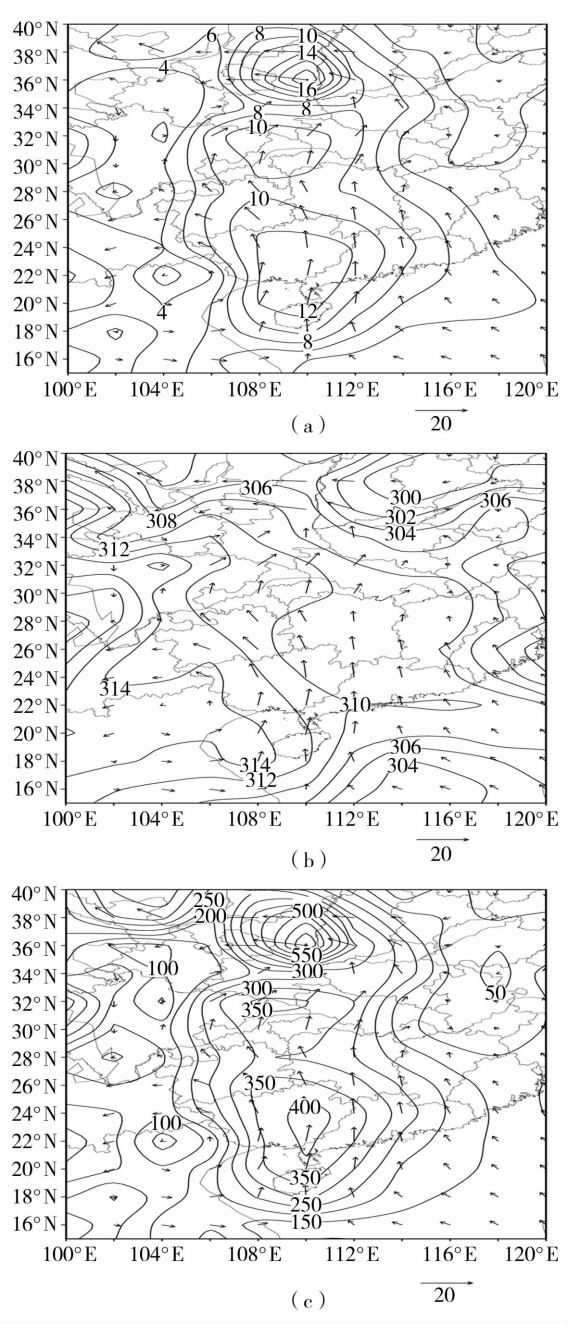

图 3　2010 年 7 月 23 日 20 时 700 hPa 水汽通量(等值线,单位:$g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)及风场(箭头,单位:$m \cdot s^{-1}$)(a);风场(箭头,单位:$m \cdot s^{-1}$)、温湿能(等值线,单位:K)(b);风场(箭头,单位:$m \cdot s^{-1}$)及温湿能通量(等值线,单位:0.1 J/(cm·hPa·s)(c)

Fig. 3　The 700 hPa vapour flux (isoline, Unit: $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$) and wind field (arrowhead, Unit: $m \cdot s^{-1}$) (a), wind field and moisture enthalpy (isolines, Unit: K) (b), wind field and moisture enthalpy flux (isolines, Unit: 0.1 $J \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$) (c) at 20:00 July 23

(MPV) <0,且大气是惯性稳定($\zeta_a > 0$)和对流稳定($-\partial\theta se/\partial p > 0$)。此时湿位涡在 600 ~ 500 hPa <0,绝对涡度 >0(图略),大气是惯性稳定的,$\partial\theta se/\partial p < 0$,即大气是对流稳定的,因此在 35°N 附近 600 ~ 500 hPa 大气是条件性对称不稳定的。程红艳等[12-13]认为对流对称不稳定层结的形成与不稳定层的配置有关,当低层为条件不稳定而中高层叠加条件对称不稳定时,对流对称不稳定环流低层出现垂直上升气流,中层出现倾斜上升气流,不稳定能量释放产生中尺度云团,此后在 35°N 附近不断有中尺度云团生成和发展。分析 700 hPa 风场可以看到,广东西部登录的台风"灿都"东侧偏南风沿副高外围从广东西部—广西—贵州—重庆至陕南有一支偏南气流,风速普遍为 10 m/s,这支气流为暴雨区输送大量的水汽和不稳定能量,使得大气层结不稳定。

强降水发生时,23 日 08 时至 23 日 20 时台风"灿都"减弱西移,23 日 17 时在广西西部减弱为热带低压,从 23 日 08 ~ 20 时可以看到"灿都"东侧沿陆地上副高外围从广西—贵州—重庆至陕南有一支偏南气流,这支偏南气流向陕西输送充沛的水汽和能量,分析湿位涡正压项沿强降水中心(108°E)剖面图(图 4)发现,200 hPa 湿位涡正压项中心值仍位于 41°N 附近,大值中心增大到 5.2 PVU,在强降水区 35°N 附近有大值位涡向下伸展,0.2 PVU 伸展至 550 hPa 附近,700 hPa 以下为负值,即大气是对流不稳定的,根据倾斜涡度发展理论[14],当具有高湿位涡的冷空气沿等熵面下滑时,将要经过稳定性逐渐减弱的环境大气,导致其绝对涡度增大,此时垂直涡度将显著增长,导致上升运动加强和水汽的向上输送,有利于降水加强。因此高层湿位涡侵入下伸暴雨区,对暴雨起到增强的作用。分析湿位涡、绝对涡度及对流不稳定发现,23 日 08 时和 23 日 20 时没有发现大气的条件性不稳定。说明 22 日 20 时存在的条件性不稳定和对流不稳定被触发后,对流不稳定很快代替条件性不稳定。24 日 08 时,大气整层均为湿正压项的正值控制,说明大气不稳定能量已经释放,大气层结转为稳定。此时台风在 700 hPa 减弱为切变线,切变线东侧至陕西的偏南气流明显减小,华北高压与停留在我国东部沿海地区的副热带打通,甘肃东南部—陕西地区低涡填塞。陕西西部强降水减弱。

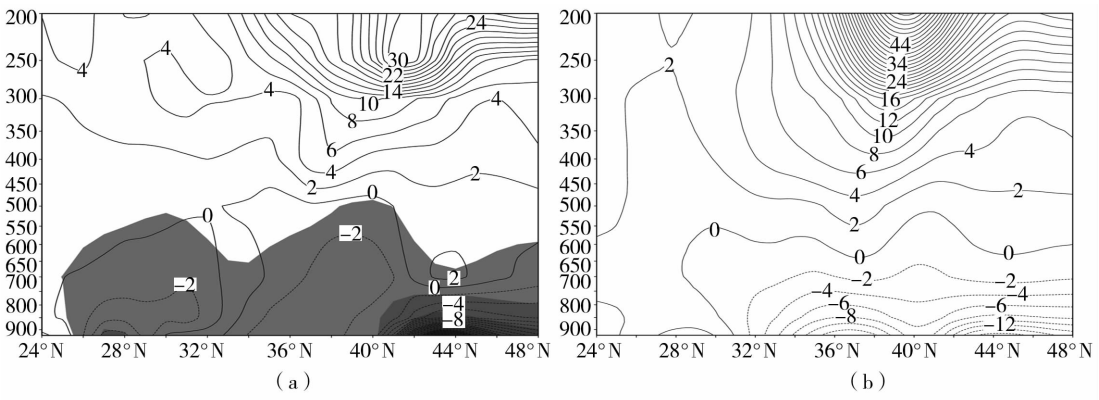

图4 2010年7月22日20时沿108°E *MPV*(实线,单位:0.1 PVU)与$\frac{\partial\theta se}{\partial p}$的叠加图(a)

(阴影代表$\partial\theta se/\partial p>0$,单位:0.1 PVU,空白区为$\partial\theta se/\partial p<0$,单位:$10^{-5}$ K·hPa^{-1}),

23日20时沿108°E的*MPV*1剖面图(单位:0.1 PVU)(b)

Fig.4 The cross section of *MPV* (solid line, Unit:0.1 PVU) and $\partial\theta se/\partial p$ along 108°E at 20:00 July 22(shading shows $\partial\theta se/\partial p>0$, blank shows $\partial\theta se/\partial p<0$)(a), the cross section of *MPV*1 along 108°E at 20:00 July 23(Unit:0.1 PVU)(b)

4 小 结

(1)贝加尔湖南部高压和西太平洋副热带高压稳定少动及甘南低涡加深东移是这次暴雨的主要环流特征,"灿都"台风登陆后其低层外围偏南的暖湿气流沿副高外围向暴雨区输送了大量的水汽;暴雨区位于300 hPa高空气流出口区的左侧高空急流入口区的右侧及低槽的前侧,低空偏南急流出口的左前方。云图分析可清晰表明:台风外围的偏南气流沿副高外围,向暴雨区输送充沛的水汽,甘南涡和低空切变线是这次暴雨天气的主要影响系统,强降水是由结构均匀的中$-\beta$尺度对流云团(T_{BB}在-52 ℃)及水汽含量较高的中低云(T_{BB}在-32 ℃)产生的。

(2)700 hPa水汽表明"灿都"台风外围从南海到陕西建立起偏南风的水汽通道,把大量的水汽从南海向陕西输送,在偏南风(急流)的前部产生辐合上升,在水汽通量的高值区产生辐合,造成暴雨。温湿能分析表明700 hPa从台风中心附近致陕西建立了温湿能通量的能量输送通道,为暴雨的产生输送了大量温湿能量,暴雨位于700 hPa温湿能等值线密集处。

(3)暴雨开始时大气的中低层为对流不稳定层结,中层为条件性对称不稳定,随着强降水的发生中低层大气转为对流不稳定,条件性对称不稳定与对流不稳定是此次暴雨发展与维持的重要机制,对流不稳定区域出现垂直上升气流,条件性对称不稳定区域出现倾斜上升气流,不稳定能量释放产生暴雨,当高层湿位涡正压项大值区向下伸展中低层气旋性涡度增大,上升运动加强,有利于降水加强。因此高层湿位涡大值区向下伸展,对暴雨起到增强的作用。

(4)此类暴雨过程的预报着眼点:由于此类过程持续时间较长,需要对形势有着较好的把握。首先是关注中纬度的系统如低槽、切边线等,高层的正涡度平流,再次需要关注低纬度的系统台风的活动。这与侯建忠[7]对陕西暴雨的研究得出的结论一致,远距离台风的低层偏南气流与中纬度系统相互作用,特别容易产生强对流天气。这次过程也证明暴雨期间台风"灿都"外围的低层东南气流将水汽输送到陕西境内,有利于强降水的产生。

参考文献:

[1] 刘利民,德庆措姆,孟丽霞.甘肃河东一次区域性暴雨天气过程分析[J].干旱气象,2009,27(3):271-275.

[2] 李安泰,何宏让,阳向荣.甘肃东南部一次暴雨天气的数值模拟和螺旋度分析[J].干旱气象,2010,28(3):309-314.

[3] 任余龙,杨文月,武学琴,等.青藏高原东部边缘一次大暴雨发生机制研究[J].干旱气象,2010,28(3):315-321.

[4] 樊晓春,王若升,王位泰,等.甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨诊断分析[J].干旱气象,2011,29(2):240-244.

[5] 王建军,杨建才,汪治桂.舟曲"8.8"暴雨云团中尺度特征[J].干旱气象,2011,29(4):466-471.

[6] 张文军,李建.对甘肃酒泉一次暴雨的数值模拟和诊断分析[J].干旱气象,2012,30(1):100-106.

[7] 侯建忠,张弘,李明娟,等.台风活动对陕西重大洪灾事件影响的综合分析[J].气象,2010,36(9):94-99.

[8] 朱乾根,林锦瑞,寿邵文,等.天气学原理和方法[M].气象出版社,2007.334-335.

[9] 杜继稳,等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007. 73.
[10] 杨大升,刘鱼滨,刘式适. 动力气象学[M]. 北京:气象出版社,1983. 296 - 304.
[11] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报,1995,53 (4) :387 - 404.
[12] 程艳红,陆汉城. 强迫流与不稳定流的相互作用[J]. 大气科学,2006,30(4):609 - 618.
[13] 程艳红,陆汉城. 对流对称不稳定的发展演变和环流特征[J]. 热带气旋学报,2006,22(3):253 - 258.
[14] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 新一代天气雷达原理与应用讲义[R]. 中国气象局培训中心. 2004. 101 - 185.

Synthetic Analysis of a Far Distance Typhoon and Rainstorm Process in Shaanxi Province

GUO Damei[1], FANG Jiangang[2], HOU Jianzhong[1]

(1. *Shaanxi Meteorological Observatory*, *Xi' an* 710015, *China*; 2. *Shaanxi Climate Center*, *Xi' an* 710014, *China*)

Abstract: By using routine observational data, satellite images and surface automatic observational data, a far distance typhoon and rainstorm process occurred in Shaanxi in July of 2010 was analyzed. Results show that the high pressure over the south of Baikal and west Pacific subtropical high at 500 hPa were stable, the vortex in the southern part of Gansu deepened and moved eastward, they were the main circulation characteristic of the rainstorm weather. The transportation channels of water vapor and enthalpy at the level of 700 hPa was established between the east side of typhoon and Shaanxi, which transported the warmer and wetter airflow toward Shaanxi continuously, and rainstorm occurred in the dense area of enthalpy isoline at 700 hPa. Convective instability and conditional symmetric instability were the important mechanism for development and persisting of the rainstorm. When big value area of moist potential vorticity at high level spreaded downward, the rainstorm became stronger.

Key words: typhoon; enthalpy; conditional symmetric instability