

李明,高维英,王兴慧.西北涡和登陆台风共同影响的一次暴雨过程分析[J].陕西气象,2016(5):1-6.

文章编号:1006-4354(2016)05-0001-06

西北涡和登陆台风共同影响的一次暴雨过程分析

李明¹,高维英²,王兴慧³

(1. 陕西省气象台,西安 710015;2. 陕西省气象学会,西安 710016;

3. 杨凌气象局,陕西杨凌 712100)

摘要:利用常规观测资料、NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料、FY-2E 卫星资料,对 2010 年 7 月 22—25 日青藏高原东侧出现的暴雨、大暴雨过程进行分析,结果表明:该次区域性大暴雨是高原上生成的西北涡在断裂的副热带高压的阻挡下东移南压加深,与中低层偏南急流相互作用产生的;高空急流右侧强辐散气流的抽吸作用是西北涡生成的重要原因;暴雨产生时存在强垂直上升中心与近似饱和的气柱互耦;登陆台风通过参与低空急流的形成,将台风外围的水汽和能量输送到暴雨区,是本次暴雨过程水汽的输送者和能量的提供者;从地面能量比对冷空气的放大作用来看,本次过程先后有两股强弱不同的冷空气从不同方向入侵 Ω 系统暖区,一股为自甘肃东南入侵四川东部的西北路冷空气,另一股为沿河南中部入侵陕西南部部的东北路冷空气。气旋性辐合中心是高原上西北风引导的冷空气和“灿都”台风西行外围西南暖湿气流汇合形成的;南北两环副热带高压形成的反气旋环流阻挡了 α 中尺度气旋的移动,使气旋稳定少动,从而使强降雨稳定维持。

关键词:西北涡;登陆台风;青藏高原东侧;暴雨

中图分类号:P458.121

文献标识码:A

台风和中纬度系统的相互作用是造成北方大范围暴雨的基础^[1-4]。西北地区地处内陆,水汽条件较差,台风的水汽输送往往使降水增幅,形成暴雨和大暴雨。一些学者在个例分析中发现台风对中高纬度地区天气系统有影响作用^[5-9],研究台风和中高纬度系统两者之间的相互作用对中高纬度地区暴雨灾害性天气的发生具有重要意义。西北涡是青藏高原特殊的动力和热力作用影响下产生的,在有利的环流形势配合下,西北涡东移出高原发展,与低纬台风相作用产生暴雨。有关研究指出,台风外围的低压环流往往在低空形成宽广的偏东风急流带,并成为暴雨的主要水汽通道和能量通道,此类暴雨多发生在我国的东部地区(黄河中下游、长江流域等)。而南海登陆台风与西北涡相互作用在地处内陆的青藏高原东部引发暴雨比

较少见,值得研究。

1 过程简介

1.1 暴雨中心分布

2010 年 7 月 22—25 日,青藏高原东侧的陕甘川交界、陕甘宁交界和陕晋豫交界先后出现暴雨、大暴雨天气过程。22 日 08:00—23 日 08:00(图 1a),强降雨带呈南北向,主要集中在陕甘川,最大降水中心位于四川广元为 223 mm;23 日 08:00—24 日 08:00(图 1b),强降水中心向东北方向移动,陕甘宁交界和陕晋豫交界出现强降水中心,其中陕西彬县和潼关分别出现 200 mm、152 mm 的暴雨中心。整个暴雨过程历时近 60 h,青藏高原东侧生态及地质环境脆弱,长历时、高强度的大暴雨过程引发了特大山洪、滑坡、泥石流,造成陇海铁路中断 10 余小时,仅陕西受灾死亡和失踪人数超过 300 人。

收稿日期:2015-11-09

作者简介:李明(1974—),男,新疆昌吉人,硕士,高工,从事天气预报理论与技术研究。

基金项目:中国气象局 2014 年关键技术集成与应用项目“陕西对流性强降水预报技术集成与应用(CMAGJ2014M52)”,陕西省气象局重点科研项目“陕西雷雨大风与冰雹天气多尺度预报模型研究(2015Z-2)”

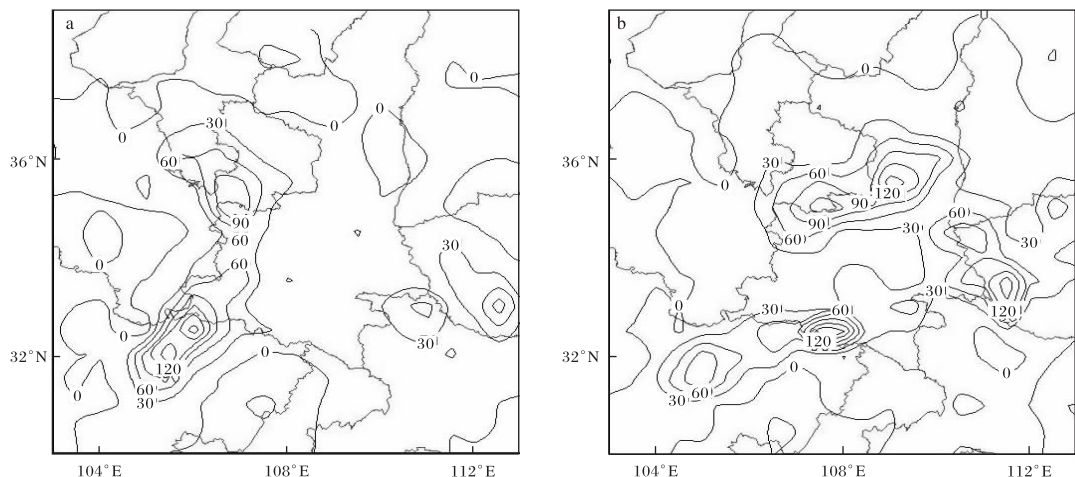


图1 2010-07-22—25 过程降雨量(单位为 mm;a 22 日 08:00—23 日 08:00,b 23 日 08:00—24 日 08:00)

1.2 暴雨中心时间变化特征

由图 2 可见,暴雨的发生具有间歇性持续特点,广元有三个强降水时段,彬县和潼关分别有两个强降水时段。从各暴雨中心最强短

时暴雨出现的时间顺序来看,暴雨中尺度系统的移动方向是从广元移向东北部的彬县、潼关。下面讨论该过程的大、中尺度环流特征的一些成因。

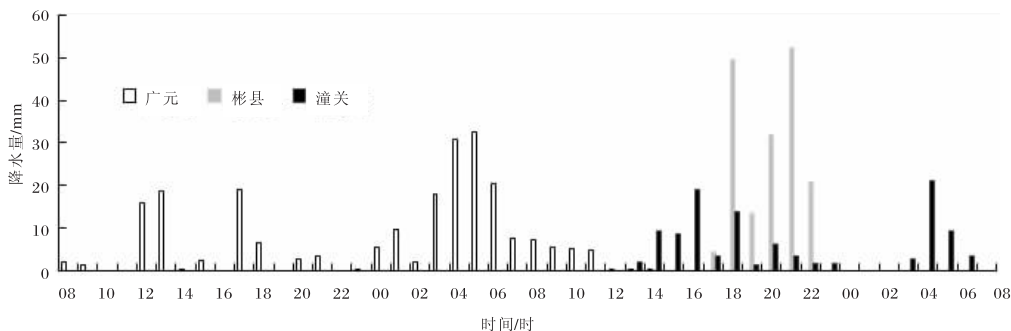


图2 2010-07-22T08—24T08 广元、彬县、潼关逐小时降水量(单位为 mm)

2 大尺度环流背景及其影响系统

2.1 大尺度环流背景

暴雨发生前(22 日 08:00)500 hPa 欧亚中高纬度为两高一低型。乌拉尔山以西为一高压脊,以东到贝加尔湖以西为一低压槽区。贝加尔湖的东北方向为一阻塞高脊。西太平洋副热带高压(下称副高)脊线位于 28°N 附近,588 dagpm 线西脊点位于 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 。青海柴达木盆地东部出现低涡环流,西北涡开始形成,中心涡度为 $2.57\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ (图 3)。受西北涡影响,23 日 01:00 FY-2E 红外图像上川陕交界有对流云团活动,出现弱降水。在副高的西南侧,22 日 13:00 台风“灿都”在广东省吴川县登陆。23 日 08:00

西北涡移至陕甘宁交界,西北涡强度增强到 $6.87\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ (图 3),同时“灿都”台风缓慢向西北推进,同时次 700 hPa 上(图略),台风东北侧的东南气流在南宁到清远之间与来自孟加拉湾穿越横断山脉的偏西南气流在重庆合并,在四川东部到陕西中部建立了一支偏南急流。在西北涡和偏南急流的共同影响下,先后在陕甘川交界、陕甘宁交界和陕晋豫交界出现暴雨、大暴雨天气过程。

可以看出这次青藏高原东侧区域性大暴雨的成因是在高原上生成的西北涡在东移过程中,与中低层偏南急流相互作用产生的。而登陆台风的外围气流对用对偏南急流的建立至关重要。

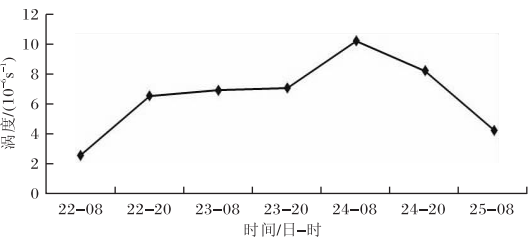


图3 2010-07-22T08—25T08 西北
涡中心涡度随时间演变

2.2 西北涡的动力结构

从天气图(图略)上看造成该次区域性暴雨的西北涡是嵌在副高 584 dagpm 中的自高原东移南下的气旋性环流,在暴雨前期,低涡中心只能分析出一根 584 dagpm 等高线。也无明显的温度槽配合,故很容易在预报中忽略。下面通过暴雨期间西北涡附近的物理量特征,分析有利于发生区域性暴雨的动力场结构。23 日 08:00 300 hPa 图上,新疆西北部有一支风速大于 36 m/s 的高空急流,急流轴呈东北—西南向,高空急流右侧呈反气旋环流,西北涡形成于高空急流反气旋一侧的强辐散气流中(图略)。

从低涡的垂直结构来看,在暴雨发生前,700 ~300 hPa 暴雨影响系统表现为低压环流(图略),地面至 700 hPa 为南北向的辐合线(图略),由此可见该低涡相当深厚。

从 23 日 08:00 沿 106°E 广元暴雨中心的经度—高度剖面图(图略)上可以发现,西北涡的斜压性相当明显,从暴雨中心向北,涡度强度随高度的升高而增强,正涡度呈“涡街”分布,暴雨带上(32°N~36°N)的正涡度大值中心在 800~500 hPa。从涡度、散度和垂直速度场的配合来看,正涡度大值中心与辐合中心完全吻合,同时暴雨中心 700 hPa 上存在强垂直速度中心,西北涡在对流层中底层的气旋性辐合上升正是暴雨形成的重要动力机制。配合湿度场来看,强垂直上升中心与相对湿度达 90% 的近似饱和气柱互耦,低涡产生的强上升运动将低层的水汽带到空中,产生了广元及其周边的强降水。

2.3 偏南急流的建立及台风的作用

高原东侧一带地处内陆,大气低层比较干燥,出现暴雨、大暴雨的概率比较小,发生大暴雨时,

水汽条件就显得更加重要。通过对风场和水汽条件的分析,可以了解“灿都”台风对本次强降水过程的作用。从 700 hPa 风场和南风分量场可以看出:7 月 22 日 08:00 西北涡在青海和甘肃交界处开始形成。台风“灿都”位于广东境内,其东侧的南风分量明显大于西侧的北风分量,台风外围强劲的东南风从南部沿海一直伸向高原东侧的陕甘宁地区,此时水汽通量大值区主要位于台风东侧的东南气流中,而暴雨发生区无明显的水汽辐合(图略)。此后,西北涡随着副高底部东北气流的增强南压,西北涡南移至关中、陕西南部;与此同时台风继续向西北方向移动,两个气旋系统相互逼近。23 日 08:00(图 4),台风移至广西东部,其外围的东南暖湿气流沿着青藏高原东侧,与西北涡东南侧的西南暖湿气流合并,在四川东部到陕西中南部形成南风分量达 12 m/s 的西南急流。从水汽通量场来看,从台风外围到青藏高原东北侧已经形成了一条明显的水汽通道。由此可见,登陆台风通过参与低空急流的形成,将台风外围的水汽和能量输送到了暴雨区,是本次暴雨过程水汽的输送者和能量的提供者。

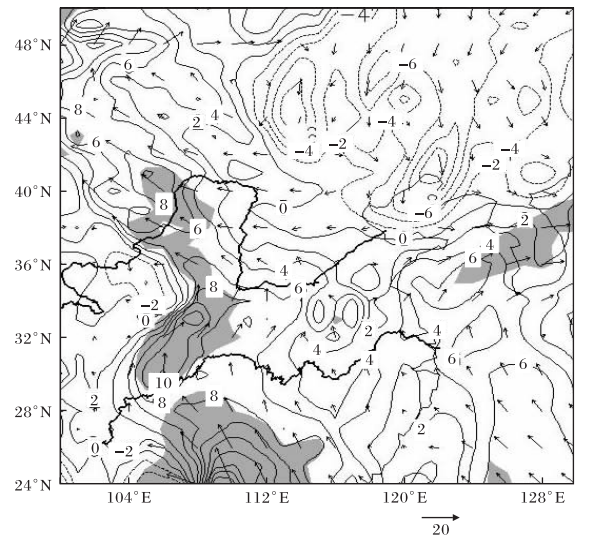


图4 2010 年 7 月 700 hPa 风场(风矢)、南风分量场(等值线,单位为 m/s)和水汽通量场(阴影部分为 ≥ 10 g/(cm·hPa·s))(a 22 日 08 时;b 23 日 08 时)

3 高能高湿与位势不稳定

研究表明,暴雨尤其是对流性强降水一般产生在高温高湿并具有强位势不稳定区域。低层

“灿都”台风的西行北上,加强了低空西南急流的发展,将暖湿气流大量输送到四川、河套地区。22日 08:00 700 hPa 假相当位温(以下用 θ_{sc} 表示)场上四川有一中心为 80°C 的高能暖中心形成,23日 08:00 假相当位温高能舌从四川北部伸向河套暴雨区(图略)。同时随着 500 hPa 弱冷槽的叠加,位势不稳定增大,在高原东侧形成了上干下湿的位势不稳定结构。从三个暴雨中心 500 hPa 与 700 hPa 的假相当位温差值来看,暴雨出现过程中,假相当位温差值均小于 0°C ,强降雨区基本位于位势不稳定区域中,且不稳定能量较大,有利于对流的发展。

陕西学者研究了高原东侧次天气尺度 Ω 系统与低层三股气流在暴雨和强对流天气的作用。分析指出:大暴雨区附近低层能量场存在次天气尺度的 Ω 系统。分布反映了低层三股气流不同属性的气流的相互作用。即来自西北、东北干冷空气挤向中间偏暖湿气流形成类似于“锢囚锋”结构,而暴雨就常常发生在 Ω 系统高能比轴附近^[10]。

该次暴雨发生期间,850 hPa 假相当位温图上高原东侧一直存在一清楚的 Ω 型次天气尺度系统(图略)。分析造成该次暴雨的次天气尺度系统发现:暴雨区位于高能轴附近。从 22 日 20:00—24 日 08:00 θ_{sc} 高能轴的演变(图略)可知:暴雨期间高能轴中心 θ_{sc} 维持在 $72\sim 84^{\circ}\text{C}$,高能轴的走向演变与雨带的走向演变非常吻合。配合湿度场和风场的演变(图略)来看,台风东北侧的东南风向北的输送是造成暴雨区高能轴维持和加强的原因,高能轴区温湿能量的释放是暴雨区形成的能量条件。

4 地面弱冷空气的触发机制

夏季地面冷空气往往比较弱,常规天气图不易分析出来,利用“邻近地面等压面”上单位质量空气的相对湿静力能量和位势能之比,来研究地面小股弱冷空气的作用^[11]。

从整个地面能量比的发展演变来看,本次过程的前期 22 日 08:00—22 日 20:00 地面上形成了中尺度 Ω 系统形势,暖区从四川东部一直伸向陕西的关中北部,中心最大数值达 76。与其对峙

的是陕北干冷空气所控制的冷区,其中心的最小数值为 60。在暖区的两侧分别有弱冷空气夹击中间的暖湿空气,地面 Ω 系统形势明显(图 5)。利用地面能量比可以清楚的看出在地面 Ω 系统的不同位置先后有 3 股强弱不同的冷空气从不同方向入侵 Ω 系统暖区。首先是 22 日 11:00—23:08, Ω 系统暖区西侧有一股中心值达 64 的弱冷空气自甘肃东南入侵四川东部,引起广元及周边的强降水,同时 Ω 系统暖区东侧也有一股冷空气沿河南中部入侵陕西东南部的商州地区,引起商州及周边的短时强降水。23 日 08:00—24 日 08:00,与 Ω 系统暖区对峙的冷区势力逐渐增强,并逐渐与暖区东侧的弱冷空气合并,在冷暖对峙区出现了以彬县、潼关为中心的区域性强降水。

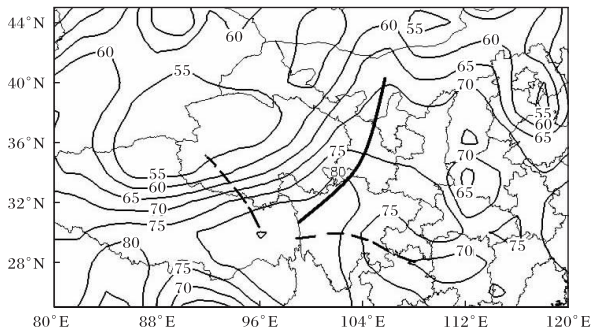


图 5 2010-07-23T08:00 850 hPa 地面能量比
及高能(粗实线)、低能(虚线)轴线

5 中尺度系统分析

5.1 中尺度对流云带及 α 尺度对流云团

中尺度云团是造成暴雨的直接因素。从 FY-2E 红外图像(图 6)可以看出:23 日 00:00,低涡外围云带已清晰可见,随着低涡缓慢移动,云带不断加强发展,03:00 已发展成一个南北向特征的由多个对流云团组成的云带,云带内对流云团的云顶亮温在 $-50\sim -55^{\circ}\text{C}$ 之间。06:00 已经形成一个完整南北向云带,在云带南端生成一个尺度约 200 km 左右的强对流云团,云顶亮温为 -75°C 。08:00,南段的对流云团稳定维持并略有发展,云带北端明显发展加强,并且范围扩大,云顶亮温仍维持在 $-50\sim -55^{\circ}\text{C}$ 之间。09:00~16:00 云系主体移动缓慢,云系前部东移加强,云顶亮温在 $-55\sim -61^{\circ}\text{C}$ 。22:00 云系有所减弱,随后在次日凌晨云系再次发展加强,豫西出现大暴雨,造成

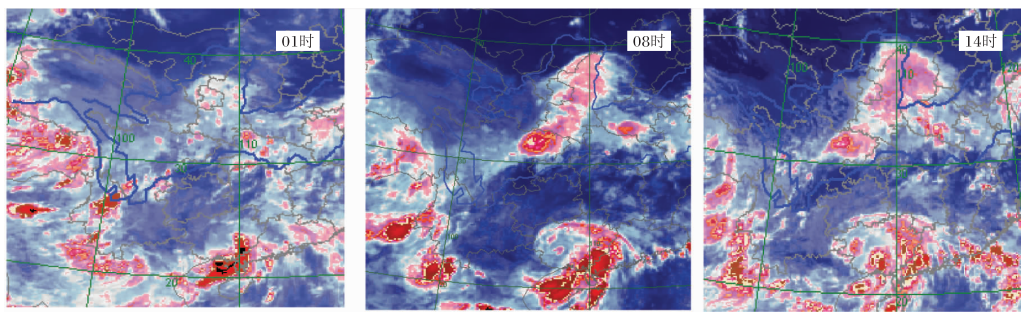


图6 2010-07-23 FY-2E 卫星云图

陇海线中断。

5.2 中尺度滤波反映的 M_α CS 结构

大量研究事实表明,暴雨的形成都是中尺度系统所致,暴雨的发生在有利的天气尺度环流形势中,由相继发生发展的中尺度系统配合。暴雨强度、时间和落区取决于中尺度系统的位置和移向。本文采用 Shuman-Shapiro 滤波方法,选用 25 点滤波算子分离得到中尺度扰动,来研究中尺度系统对对流天气的影响。

通过滤波后得到的扰动高度场和流场清楚的显示了 M_α CS 发展过程中的中尺度结构。

22 日 08 时 700 hPa 风场及流场(图略)上,四川北部到甘肃南部有一与广元持续性暴雨直接相关的中尺度气旋辐合中心,该气旋性辐合中心是高原上西北风引导的冷空气和“灿都”台风西行外围西南暖湿气流汇合形成的。受中尺度气旋辐合气流和西行北上台风外围气流的影响,副热带高压断为南北两环,南环副高位于湖南境内,北环副高位于陕西北部。22 日 20:00,高原上冷空气和台风外围西南暖湿气流明显增强, α 中尺度气旋辐合中心向东南方向移动并明显增强,造成了四川广元 21.3 mm/h 的强降水。从之后多个时次的流场分析来看,台风和副高外围的西南暖湿气流提供了气旋维持发展的水汽和能量,而南北两环副热带高压形成的反气旋环流阻挡了 α 中尺度气旋的移动,从而使气旋在稳定少动的情况下,维持了近 60 h。酿成了这次长历时、高强度的大暴雨过程。

6 结论

(1)该次区域性大暴雨是高原上生成的西北涡,在断裂的副热带高压的阻挡下东移南压加深,

与中低层偏南急流相互作用产生的。而登陆台风的外围气流对偏南急流的建立至关重要。

(2)在高空急流右侧强辐散气流的抽吸作用下生成的深厚西北涡,其中低层强气旋性辐合上升是形成暴雨的重要动力机制。强垂直上升中心与近似饱和的气柱互耦是产生暴雨的直接原因。登陆台风通过参与低空急流的形成,将台风外围的水汽和能量输送到了暴雨区,是本次暴雨过程水汽的输送者和能量的提供者。

(3)低空西南急流输送的暖湿气流是四川北部到河套暴雨区 θ_{se} 高能舌形成的原因。从地面能量比对冷空气的放大作用来看,本次过程先后有两股强弱不同的冷空气从不同方向入侵 Ω 系统暖区。

(4)气旋性辐合中心是高原上西北风引导的冷空气和“灿都”台风西行外围西南暖湿气流汇合形成的;南北两环副热带高压形成的反气旋环流阻挡了 α 中尺度气旋的移动,使气旋稳定少动,从而使强降雨稳定维持。

参考文献:

- [1] 张兴强,丁治英,王焱. 高空急流与中纬度西东影响下台风暴雨的研究现状[J]. 气象,2001,27(8): 3-8.
- [2] 华北暴雨编写组. 华北暴雨[M]. 北京:气象出版社,1992:182.
- [3] 西北暴雨编写组. 西北暴雨[M]. 北京:气象出版社,1992:165.
- [4] 张临平,王智娟,史海平. 临汾“8.26”区域性大暴雨过程分析(天气预报技术文集)[C]. 北京:气象出版社,2004:102-105.

纪凡华,李楠,韩雪蕾,等. 一次聊城强降雨天气过程诊断分析[J]. 陕西气象,2016(5):6-10.

文章编号:1006-4354(2016)05-0006-05

一次聊城强降雨天气过程诊断分析

纪凡华,李楠,韩雪蕾,席晓彤,王 丽

(聊城市气象局,山东聊城 252000)

摘 要:利用常规观测资料、自动站加密观测资料、NCEP1°×1°逐日再分析资料和济南多普勒雷达资料,对 2015 年 8 月 3—4 日聊城市一次强降雨天气过程进行分析。结果表明:此次强降水天气的主要影响系统有 500 hPa 西风槽、850~700 hPa 切变线、850 hPa 西南急流;降水前边界层逆温层有利于不稳定能量积聚,是产生雷电、大风的有利条件;强降水前低层大气高温、高湿,冷空气从 700~850 hPa 入侵,触发不稳定能量释放造成强降水;850 hPa 以下水汽大量积聚到鲁西北地区,强水汽输送为本次强降水的发生提供了有利的水汽条件;降水时间内整层大气都存在强上升运动,加强了低层水汽辐合和不稳定能量释放;雷达回波显示本次强降水过程分为 2 个时段,3 日 14:16—15:37 主要为对流性降水,3 日 16:01—4 日 00:00 为层状云降水。

关键词:强降雨;西南急流;中尺度分析;雷达回波

中图分类号:P458.121 **文献标识码:**A

暴雨是夏季影响鲁西北地区的重要灾害性天气。近年来国内一些学者针对山东省暴雨主要特征和成因进行了详细的分析,得出一些有用的结论^[1-7]。刘铮瑶等^[8]统计了济南市极端降水事件特征,发现极端降水事件多发生在持续降水中,并且极端值与正常值相比差值越来越大,极端性增强。阎丽凤等^[9]分析了山东在黄淮气旋影响下的暴雨落区,发现暴雨区集中出现在气旋中心北侧

的偏东风中;杨学斌等^[10]分析山东一次区域性暴雨,发现中尺度对流系统是造成暴雨的主要中尺度系统;周黎明等^[11]分析了山东一次暴雨过程的云降水微物理特征,发现造成暴雨的暴雨云团由多种不同高度的云系组成,其中对流云团在-20℃以上存在深厚的混合相增长带和冰化增长带。

鲁西北夏季降水具有突发性与局地性的特点,容易造成重大农业经济损失,本文利用常规观

收稿日期:2016-03-21

作者简介:纪凡华(1984—),男,山东莒县人,学士,工程师,从事中短期天气预报与服务。

基金项目:聊城市气象局气象科学技术研究项目(2015lcqx11)

[5] 侯建忠,许新田,张小玲. 热带气旋活动对陕西 2007 年两次大暴雨影响的综合分析[J]. 成都信息工程学院学报,2008,23(5):537-543.

[6] 张雅斌,武麦风,侯建忠,等. 陕西 4 次台风远距离暴雨过程的水汽条件对比[J]. 干旱气象,2014,32(5):788-797.

[7] 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.

[8] 郭大梅,刘瑞芳,侯建忠,等. 陕西一次远距离台风持续性暴雨的成因分析[J]. 气象科学,2012,32(3):325-331.

[9] 李明,高维英,杜继稳,等. 远距离台风影响下的陕西大暴雨分析[J]. 干旱区研究,2011, 28(3):514-523.

[10] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2007.

[11] 周文韬. 地面能量天气图及软件设计[J]. 陕西气象,2001(4):33-35.