Hans汉斯

成都龙泉驿区暴雨影响系统分析

许 康,毛文书,赵海波

成都信息工程大学大气科学学院,四川 成都 Email: 2684985623@qq.com

收稿日期: 2021年7月5日; 录用日期: 2021年8月17日; 发布日期: 2021年8月24日

摘要

利用2009~2019年龙泉驿区内19个自动观测站的逐时降水量,选取8例暴雨分析其主落区,并通过欧洲中心(ECMWF)的位势高度、UV风场、散度、涡度等再分析资料,网格距0.25°×0.25°,合成分析其环流 形势和影响系统,得到以下结论:1)选取的例子中,降水主落区主要出现在北部和南部。2)通过分析 500 hPa环流形势,可将这8例暴雨归纳为平直西风、东高西低、两高切变、500 hPa低涡、东风波动型 共5种。3)在这些天气系统下,龙泉驿区的散度、涡度、垂直速度等物理量剖面图都反映出存在低层辐 合高层辐散,对流旺盛的有利于暴雨产生和发展的系统。

关键词

龙泉驿区,暴雨,主落区,影响系统

Analysis of Rainstorm Influence System in Longquanyi District of Chengdu

Kang Xu, Wenshu Mao, Haibo Zhao

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan Email: 2684985623@qq.com

Received: Jul. 5th, 2021; accepted: Aug. 17th, 2021; published: Aug. 24th, 2021

Abstract

Based on the hourly precipitation of 19 automatic observation stations in Longquanyi District from 2009 to 2019, 8 rainstorms were selected to analyze their main precipitation area. Through reanalysis of geopotential height, UV wind field, divergence, vorticity and other data in the ECMWF, with horizontal resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ were used to analyze their circulation situation and in-

fluence system, and the following conclusions were drawn: 1) In the selected examples, the main precipitation areas mainly appear in the north and south. 2) Through the analysis of the 500 hPa circulation patterns, the 8 rainstorms can be classified into five types: straight westerly type, high in the east and low in the west type, two high-pressure system shear types, 500 hPa low vortex type and easterly wave type. 3) Under these weather systems, the profiles of physical parameters such as divergence, vorticity and vertical velocity in Longquanyi District all reflect the existence of convergence at the lower level and divergence at the upper level, and the system with strong convection is conducive to the generation and development of rainstorm.

Keywords

Longquanyi District, Rainstorm, Main Precipitation Area, Influence System

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u> CC Open Access

1. 引言

暴雨是中国的主要气象灾害之一,长时间的暴雨会造成城市街道产生积水、径流,对交通、工业、 农业等产生影响[1],严重的可能威胁到人们的生命安全,造成生命财产损失。中国的暴雨造成的洪涝灾 害其出现时间与当地雨季出现时间和降雨的集中时间段有关,由于人口增多、经济快速发展等因素,暴 雨洪涝灾害对人类活动的影响越来越大[2]。暴雨天气产生的极端降水会对人类产生各种影响,其影响范 围是全球性的,且对发展中国家的影响尤其明显[3]。据统计,暴雨洪灾造成的人口死亡、经济损失的数 量在全球各种灾害排序中居首位,因此暴雨天气受各国普遍关注[4]。中国处于亚欧大陆东部,暴雨天气 在中国十分常见,其原因与夏季东亚季风有关,并且许多暴雨过程都存在季风水汽输送带,因夏季风从 海上带来的水汽充足很容易形成洪涝灾害[5]。中国的暴雨降水量自1951年开始逐年增加,降水的范围也 在扩大[6],到了1990年代暴雨天气有所减少,在21世纪又开始增多,这种现象在南方地区表现明显[7]。 在四川省,暴雨洪涝是发生频率最高、造成危害最重的自然灾害之一,其特点有范围广、强度大等,影 响四川暴雨的系统有青藏高原低压、西南涡、西太平洋副热带高压、低空急流等[8]。成都龙泉驿区地处 成都市东部,在四川省内其发展潜力巨大[9]。以全球气候变暖为背景,成都市龙泉驿境内暴雨灾害事件 增多[10],这对该地区的经济发展、人文活动有巨大影响,若造成损失其价值难以估量,因此研究暴雨对 于龙泉驿区来说意义深远。

在国外,与暴雨相关的试验有大西洋热带试验(GATE)、美国大气变化试验(AVE)、日本强暴雨研究 计划(SRRP),这些试验采用了先进的探测技术,在一定地区内进行时空加密观测,就大西洋热带实验而 言,其推动了热带数值天气预报的发展,这些试验数据结合概念、定量模式,能解决许多中尺度预报出 现的问题,提高我们对暴雨等灾害天气的准确率[11]。近 50 年来,我国学者致力于暴雨的研究并取得了 非凡的成就,其中包括南方致洪暴雨的试验与研究、研究长江中下游梅雨锋暴雨的试验与研究、华南前 汛期暴雨的试验[12]。在暴雨的数值模拟以及动力诊断中,有三个主要的方面,一是对暴雨发生前、发生 时的大尺度天气过程作动力学模拟,二是研究一些与暴雨有关的中尺度系统的动力学过程,三是研究积 雨云的强对流过程[13],这一系列的研究使我们对于产生暴雨的重要天气系统有了更深刻的认识。本文通 过 2009~2019 年龙泉驿区内 19 个自动观测站的逐时降水量资料,选取 8 例暴雨分析其主落区,并通过欧 洲中心(ECMWF)的位势高度、UV 风场、散度、涡度等再分析资料,网格距 0.25°×0.25°,合成分析其环 流形势和物理量,以此对龙泉驿区暴雨的影响进行概括、总结。

2. 资料与方法

龙泉驿区位于四川省成都市平原东部,由图 1 可知:龙泉驿处于北纬 30°27'52"~30°43'23"与东经 104°08'19"~104°27'09"之间,境内东西长 29.8 km、南北宽 28.75 km,最高海拔为 1050 m 左右,最低海拔 450 m 左右。其总面积达 556.98 km²,境内龙泉山位于东南部,呈东北-西南走向,平坝、丘陵、低山等 地貌在龙泉都有表现,各地貌面积占比平坝最大、低山与丘陵次之。

2.1. 资料来源与地形概况

本文选用如图 1 所示的黄土、柏合、西河、万兴、大面、茶店、洪安、洛带、桃花故里、七里、红花、照壁、天公山、梨园村、同安、十陵、经开区、大佛村、成龙一号共 19 个自动站的 2009~2019 年逐时降水量观测资料,以及欧洲中心(ECMWF)的位势高度、UV 风场、散度、涡度等再分析资料,网格距 0.25°×0.25°。



2.2. 研究方法

2.2.1. 反距离权重插值

由已知点的数据来推算未知点的数据称为空间插值,而反距离权重插值是一种气象领域常用的空间 插值方法,其特点为原理简单、使用方便,因此被我们广泛使用。反距离权重插值的好坏与搜索半径、 样品点数量等因素有关,搜索半径越大差值结果越光滑,效果越好。若样品点数量少,则反距离权重插 值结果随机性大,会出现较大差异[14] [15]。根据 Tobler 定理为基础提出的空间插值方法,反距离权重 插值其表达式为:

$$Z_o = \left(\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^r}\right) \middle/ \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^r}\right)$$
(1)

式子中*z*。为*O*点估算值,*z*;控制点*i*的值,*d*;为控制点*i*与点O的距离,*n*为估算时所用控制点数量, *r*为指定的幂次数[16]。

本文通过 2009~2019 年近 10 年的龙泉驿区内 19 个自动站点逐时降水量观测资料,选取 8 例暴雨,利用 GIS 等软件的反距离权重插值,绘制出暴雨量的空间分布图,通过分析暴雨量的空间分布特征,最后得到暴雨个例的主落区概况。

2.2.2. 合成分析

根据 500 hpa 环流形势特点,将 8 例暴雨分为不同类型,并将同类型中不同个例同时次的风场、位势高度场、散度、涡度、垂直速度等量求和再求平均,最后分析这些不同类型下的平均数据,则为本文所用合成分析。本文通过欧洲中心(ECMWF)的位势高度、UV 风场、散度、涡度等再分析资料,网格距 0.25°×0.25°,根据不同的暴雨类型,合成分析其 500 hPa 环流形势和散度、涡度等物理量,最后得到不同类型暴雨的影响系统概况。

3. 影响系统分析

本文在 2009~2019 年所有暴雨中选取出 8 例进行影响系统分析。这 8 例暴雨被分为 2015 年 10 月 22 日与 2018 年 9 月 24 日的平直西风型, 2015 年 6 月 23 日、2018 年 7 月 15 日以及 2018 年 7 月 16 日的东 高西低型, 2018 年 9 月 5 日的两高切变型, 2015 年 8 月 17 日的 500 hPa 低涡型, 2018 年 7 月 30 日的东 风波动型。

3.1. 平直西风型

在 8 例暴雨中 2015 年 10 月 22 日与 2018 年 9 月 24 日的暴雨系统为平直西风型,500 hPa 高度上平 直西风型特点为 35°N~45°N 间风向基本为西风,中国大部分地区受西风影响。由图 2(a),图 2(b)来看, 平直西风型天气系统下,2015 年 10 月 22 日与 2018 年 9 月 24 日的降水主落区在龙泉驿区北部。2015 年 10 月 22 日最高降水量在龙泉驿区北部的西河、洪安以及万兴附近达到 46.66~55.98 mm,在龙泉驿区南 部大部分地区降水量在 0.00~9.33 mm 之间。2018 年 9 月 24 日降水集中的洛带、同安一带降水量在 54.82 mm 以上,龙泉驿中部、北部大部分降水量在 41.26 mm 以上,西部降水量较低,基本在 27.72~34.49 mm 之间,东部降水量最低,在 20.93~34.49 mm 间。由于平直西风型有 2 例存在,下面采用合成图对其环流 形势和物理量进行分析。

环流形势与物理量分析

从图 3(a)来看中高纬地区受低压控制,哈萨克斯坦地区、中西伯利亚、以及鄂霍次克海附近受低压 中系统控制,乌拉尔山和阿尔泰山附近存在脊区。中低纬度中国大陆地区槽脊波动较弱,从青藏高原开 始到浙江、江苏等地有连续的弱的槽脊波动,四川处于其间,受西风影响,中低纬大陆地区整体表现为 平直西风,在中国东部海路交界处受中高纬度低涡系统的影响,风向有所转变风速增大,形成低槽。中 国南海受菲律宾东部洋面的低压系统控制,阿拉伯海、孟加拉湾和西太平洋受高压系统控制。从图 3(b) 来看,00时~06时左右龙泉驿区低层散度小于零为辐合区,中层和高层散度大于零为辐散区。低层负值 中心区域强度达到-6×10⁻⁵ s⁻¹,中层和高层正值中心区域强度达到 4×10⁻⁵ s⁻¹。06时以后低层和中层主 要为辐散区域,在11时~13时左右中层有短时间的辐合区域,其中心区域强度为-3×10⁻⁵ s⁻¹,在00时 ~06时龙泉驿区上空低层辐合高层辐散,利于暴雨形成。图 3(c)中,500 hPa 以下基本为正值区域,250 hPa 以上基本为负值区域,正值中心区域强度达到 8×10⁻⁵ s⁻¹,负值中心区域强度达到-1×10⁻⁴ s⁻¹,00 时~23 时低层正涡度,空气逆时针旋转,高层负涡度,空气顺时针旋转,有利于暴雨形成。图 3(d)中,从00 时 开始 400 hPa~850 hPa 间存在负值区域,到 06 时左右负值区域消减至 700 hPa~850 hPa 间,负值中心区域 强度达到-0.5 Pa/s,在 09 时~11 时和 13 时~16 时两个时间段低层也存在负值区域,其强度达到-0.4 Pa/s, 高层基本为正值区域,受下沉气流控制,其正值中心区域强度达到 0.2 hPa/s。在 00 时~04 时存在的低层 负值区域有上升气流,利于暴雨形成。图 3(e)中,垂直螺旋度的正值区域在 00 时~04 时比较明显,其中 心强度为 3.2×10^{-7} hPa/s²,在 09 时~15 时左右也存在明显的正值区域,其中心强度为 2.6×10^{-7} hPa/s², 在 00 时~23 时间高层基本为负值区域,负值中心强度为-2×10⁻⁷ hPa/s²,因此在 00 时~04 时与 09 时~11 间存在低层辐合高层辐散的上升运动,这有利于暴雨产生。



Figure 2. Spatial distribution of precipitation in Longquanyi District (Unit: mm). (a): October 22, 2015, (b): September 24, 2018
图 2. 龙泉驿区降水量空间分布(单位: mm)。(a): 2015 年 10 月 22 日, (b): 2018 年 9 月 24 日



Figure 3. 500 hPa circulation situation and time-height profile of physical quantity along $104^{\circ}18$ 'E and $30^{\circ}35$ 'N from 00 h to 23 h. (a) Circulation situation at 500 hPa at 0800, (b): Divergence (Unit: s^{-1}), (c): Vorticity (Unit: s^{-1}), (d): Vertical velocity (Unit: Pa/s), (e): Vertical helicity (Unit: hPa/s²)

图 3. 500 hPa 环流形势与 00 时~23 时物理量沿 104°18′E、30°35′N 的时间 - 高度剖面图。(a): 08 时 500 hPa 环流形势 (b): 散度(单位: s⁻¹), (c): 涡度(单位: s⁻¹), (d): 垂直速度(单位: Pa/s), (e): 垂直螺旋度(单位: hPa/s²)

3.2. 东高西低型

在 8 例暴雨中 2015 年 6 月 23 日、2018 年 7 月 15 日以及 2018 年 7 月 16 日的暴雨系统为东高西低 型,500 hPa 高度上东高西低型特点为中国东部沿海地区和海面以及西太平洋受高压系统控制,中国西部 受低压系统控制,中国内陆处于高压后低压前。由图 4(a)~(c)来看,东高西低型天气系统下,龙泉驿区降 水的主落区为南部、西南部。2015 年 6 月 23 日在龙泉驿区西南部的经开区、柏合一带以及龙泉山南部 的七里、红花、照壁等地的降水量达到 59.83~71.79 mm,龙泉驿区中部和北部大部分地区降水量在 35.91 mm 以下。2018 年 7 月 15 日龙泉山南部七里、桃花故里、照壁一带以及龙泉驿区西南部的经开区附近,降水量达到 78.89~88.46 mm。该日龙泉驿区南部大部分地区降水量在 59.73 mm 以上,北部降水量在 59.74 mm 以下,最低在 31.00~40.58 mm 之间。2018 年 7 月 16 日龙泉驿区西南部的经开区附近降水量最高达 到 100.64~120.76 mm,该日西南部以及中部的成龙一号附近降水量在 60.38 mm 以上,降水量最低的地区 为北部的洛带附近以及东部的梨园村附近,龙泉山南部的地区降水量也偏低。由于东高西低型有 3 例存 在,下面采用合成图对其环流形势和物理量进行分析。

环流形势与物理量分析

从图 5(a)来看:中西伯利亚高原存在低压中心,乌拉尔山附近存在的高压中心为阻塞高压。哈萨克 斯坦、蒙古、中西伯利亚受低压控制,风场在新疆至内蒙东部表现为平直西风,鄂霍次克海南部有低压 中心。中低纬度阿拉伯海、东海以及西太平洋受高压系统控制,中国东部陆地地区及东北地区处于高压 脊中,受高压系统影响,中国西部受低压系统影响。四川省位于高压脊西侧低压槽南侧,其中部、东部 受西南风影响,西部地区受为西北风影响,印度及海南附近有低压中心,中低纬度上述系统呈现东高西 低状态。从图 5(b)来看,在 00 时~03 时左右低层存在负值区域,其负值中心强度达到-9×10⁻⁵ s⁻¹,在负 值区域上 500~700 hPa 处有正值区域,其中心强度达到 5×10⁻⁵ s⁻¹,在 08 时~16 时左右的低层也存在负 值区域,其强度为-4×10⁻⁵ s⁻¹,其上层的正值区域强度达到2×10⁻⁵ s⁻¹。因此在00时~03时与08时~16 时这两个时间段内低层气流为辐合状态,高层气流为辐散状态,有利于暴雨的形成。图 5(c)中,400~850 hPa 间整体呈正涡度,在 04 时左右正涡度区域强度达到 1.2×10^{-4} s⁻¹, 20 时正涡度区域强度达到 1×10^{-4} s⁻¹。在 300~100 hPa 间涡度主要为负值, 01 时~02 时左右负涡度区域强度达到−1.6 × 10⁻⁴ s⁻¹, 04 时~10 时的负值区域中心强度达到-1×10⁻⁴ s⁻¹, 11 时以后高层负涡度强度减弱。通过涡度的时间 - 高度剖面可 知,在 00 时~23 时低层气流呈气旋式,高层气流呈反气旋式,这种结构有利于暴雨形成。图 5(d)中,01 时左右的 200~850 hPa 间存在垂直速度的负值区域,其强度达到-1.1 Pa/s,在 15 时左右 200~850 hPa 间 也存在强度为-1.1 Pa/s 的负值区域,16 时以后各层次弱的上升、下沉气流交替出现,其他时次 850 hPa 以上主要受较弱的上升气流控制。01时和15时的200~850 hPa间存在的较强上升气流有利于暴雨的形成。 在图 5(e)中,低层 00 时~04 时以及 15 时左右存在明显正值区域,其中心强度在 8 × 10⁻⁷ hPa/s²,上层对 应负值区域,负值中心强度为 -8×10^{-7} hPa/s²,这说明该日存在低层辐合高层辐散的上升气流系统,有利 暴雨的产生。

3.3. 两高切变型

在 8 例暴雨中 2018 年 9 月 5 日的暴雨系统为东高西低型,500 hPa 高度上两高切变型特点为在青藏 高原东部以及湖南附近存在高压中心,四川处于这两个高压中心之间形成切变。从图 6 来看,两高切变 型天气系统下,龙泉驿区降水的主落区为北部。在 2018 年 9 月 5 日,降水集中在洛带附近,其降水量达 到 97.78~117.24 mm,龙泉驿区中部以及东北部降水量在 58.84 mm 以上,其余地区大部分在 39.38~58.84 mm 之间,降水量最低的地区为七里以及茶店附近,其降水量在 0.44~19.91 mm 之间。



Figure 4. Spatial distribution of precipitation in Longquanyi District (Unit: mm). (a): June 23, 2015, (b): July 15, 2018, (c): July 16, 2018

图 4. 龙泉驿区降水量空间分布(单位: mm)。(a): 2015 年 6 月 23 日, (b): 2018 年 7 月 15 日, (c): 2018 年 7 月 16 日



Figure 5. 500 hPa circulation situation and time-height profile of physical quantity along $104^{\circ}18$ 'E and $30^{\circ}35$ 'N from 00 h to 23 h. (a) Circulation situation at 500 hPa at 08:00, (b): Divergence (Unit: s⁻¹), (c): Vorticity (Unit: s⁻¹), (d): Vertical velocity (Unit: Pa/s), (e): Vertical helicity (Unit: hPa/s²)

图 5. 500 hPa 环流形势与 00 时~23 时物理量沿 104°18′E、30°35′N 的时间 - 高度剖面图。(a): 08 时 500 hPa 环流形势 (b): 散度(单位: s⁻¹), (c): 涡度(单位: s⁻¹), (d): 垂直速度(单位: Pa/s), (e): 垂直螺旋度(单位: hPa/s²)



环流形势与物理量分析

从图 7(a)来看,08 时中高纬度,乌拉尔山至西西伯利亚地区有阻塞高压,其南部哈萨克斯坦地区有 切断低压,库页岛西部存在低压中心。中低纬度,中国大部分地区受高压控制,西藏东部地区存在高压 中心,湖南以及江西地区存在另一个高压中心,四川位于两高之间,形成两高切变型配置。西太平洋受 高压控制,南海以及孟加拉地区湾受低压控制。20时中高纬度槽脊分布与08时类似,中低纬度地区, 西藏东部的风场呈反气旋状态,说明此处仍为高压中心,湖南至江西的高压中心东移至江西、浙江、福 建三省交界地区,四川此时处于两高之间,仍为两高切变型。从图 7(b)来看,00 时~23 时左右,低层一 直存在散度负值区域,该负值区域在14时左右有小块间断,底层的负值区域强度最大为11时左右的1.2 ×10⁻⁴ s⁻¹,在其上方存在散度正值区域,正值中心强度为8×10⁻⁵ s⁻¹,因此在此区域中存在低层辐合高层 辐散的系统。并且从 08 时开始至 23 时, 300 hPa 高度上一直存在散度负值区域,其负值中心强度为-1.2 ×10⁻⁴ s⁻¹, 200 hPa 上一直存在正值区域,其正值中心强度为 1.6×10⁻⁴ s⁻¹,因此在 08 时~23 时间的 200 hPa~300 hPa 的区域上一直存在低层辐合高层辐散的系统。上述的底层辐散高层辐合系统有利于暴雨的形 成。在图 7(c)中,12 时~23 时的正、负涡度区域交替出现,700~850 hPa 的正涡度区域其正值中心强度为 $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,其下方负涡度区域中心强度为 $-1.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,上方负涡度区域强度为 $-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,300 hPa 高度上的正涡度中心强度为 1.4×10⁻⁴ s⁻¹。上述的上层气流反气旋式运动下层气流气旋式运动的系统有利 于暴雨形成。在图 7(d)中,00 时~16 时这段时间,700 hPa 存在分散的负值区域,在 00 时和 08 时左右的 垂直速度负值中心强度为-0.5 Pa/s, 在 06 时 200 hPa 高度的负值区域强度为-0.6 Pa/s。00 时~16 时的 250~850 hPa 间主要为垂直速度正值区域,受下沉气流控制,10时正值中心强度为 0.3 Pa/s。16 时以后在 150~850 hPa 间有垂直速度负值区域,其负值中心强度达到 1.1 Pa/s,受上升气流控制有利于暴雨形成, 该负值区域厚度随时间逐渐减小。在图7(e)中,13时~23时低层为正值区域,其中心强度为1.2×10⁻⁶ hPa/s², 其上层为负值区域,强度为-3×10⁻⁶ hPa/s²,在更上层还存在正值和负值重叠的区域,其强度与下层相同, 由此来看该日在16~时19时间存在较为深厚的对流系统,其有利于暴雨的形成。



Figure 7. 500 hPa circulation situation and time-height profile of physical quantity along $104^{\circ}18$ 'E and $30^{\circ}35$ 'N from 00 h to 23 h. (a) Circulation situation at 500 hPa at 08:00, (b): Divergence (Unit: s^{-1}), (c): Vorticity (Unit: s^{-1}), (d): Vertical velocity (Unit: Pa/s), (e): Vertical helicity (Unit: hPa/s²)

图 7. 500 hPa 环流形势与 00 时~23 时物理量沿 104°18′E、30°35′N 的时间 - 高度剖面图。(a): 08 时 500 hPa 环流形势 (b): 散度(单位: s⁻¹), (c): 涡度(单位: s⁻¹), (d): 垂直速度(单位: Pa/s), (e): 垂直螺旋度(单位: hPa/s²)

3.4. 500 hPa 低涡型

在 8 例暴雨中 2015 年 8 月 17 日的暴雨系统为 500 hPa 低涡型, 500 hPa 高度上 500 hPa 低涡型特点 为蒙古地区存在一个明显的低涡系统,中国大部分地区受该系统影响。从图 8 来看,在 500 hPa 低涡型 天气系统下,龙泉驿区降水主落区在东北部和东南部。2015 年 8 月 17 日洛带、万兴、茶店附近降水量 达到最高的 95.82~114.97 mm,该日龙泉驿区东北部、东南部降水量在 76.65 mm 以上,大面、成龙一号、大佛村附近降水量最低,在 0.02~19.17 mm 之间,除开最高和最低降水量区域,其余地区降水量基本在 38.34~76.65 mm 间。



Figure 8. Spatial distribution of precipitation in Longquanyi District on August 17, 2015 (Unit: mm) 图 8. 2015 年 8 月 17 日龙泉驿区降水量空间分布(单位: mm)

环流形势与物理量分析

从图 9(a)来看,中高纬度地区受低压系统控制,乌拉尔山附近受低压系统控制,鄂霍次克海西部有 高压中心,东南部有低压中心。中纬度蒙古地区存在一个明显的低压系统,其后方跟随着一个高压脊, 其前方为鄂霍次克海西部的高压系统延伸出的脊区,前后两高压系统对其形成包围状态。中国主要受该 低涡系统影响,其中的槽脊波动情况受该低涡系统影响,四川上空存在一个小的低压中心,风向为西南 风。中低纬度,阿拉伯半岛、西太平洋及南海地区受高压系统控制。从图 9(b)来看,在 00 时~04 时低层 存在散度负值区域,其中心强度为-2×10⁻⁴ s⁻¹,其上层400 hPa左右存在正值区域,其强度为2.8×10⁻⁴ s⁻¹, 因此在 00 时~04 时的 400~850 hPa 区域存在低层辐合高层辐散的系统。在 08 时~12 时 700 hPa 以下有负 值区域存在,负值中心强度为 -2×10^{-4} s⁻¹,400 hPa 左右存在正值区域,其中心强度为 1.9×10^{-4} s⁻¹,所 以08时~12时的400~850hPa间存在低层辐合高层辐散的系统。上述两个时间段的系统有利于暴雨形成。 在图 9(c)中,00时~11时的 500~850 hPa 间存在正涡度区域,正涡度中心强度为 6.2×10⁻⁴ s⁻¹,在其上方 200 hPa 的区域主要为负涡度,负涡度中心强度达到-9×10⁻⁵ s⁻¹,因此在 00 时~11 时的 200~700 hPa 间 低层气流存在气旋式运动,高层气流存在反气旋式运动,这种系统有利于暴雨形成。在图 9(d)中,400~850 hPa 的 00 时~03 时以及 06 时~12 时的区域负值较明显,其负值中心强度为-3.5 Pa/s,垂直速度为负值说 明有上升气流,因此在400~850 hPa的00时~03时以及06时~12时两个区域都存在上升气流,有利于暴 雨的形成。在图 9(e)中,06 时~11 时之间低层存在明显的正值区域,其强度为 1.6 × 10⁻⁵ hPa/s²,由此来 看,在 06 时~11 时这段时间存在低层辐合高层辐散的对流系统,易形成暴雨。



Figure 9. 500 hPa circulation situation and time-height profile of physical quantity along $104^{\circ}18$ 'E and $30^{\circ}35$ 'N from 00 h to 23 h. (a) Circulation situation at 500 hPa at 08:00, (b): Divergence (Unit: s⁻¹), (c): Vorticity (Unit: s⁻¹), (d): Vertical velocity (Unit: Pa/s), (e): Vertical helicity (Unit: hPa/s²)

图 9. 500 hPa 环流形势与 00 时~23 时物理量沿 104°18′E、30°35′N 的时间 - 高度剖面图。(a): 08 时 500 hPa 环流形势 (b): 散度(单位: s⁻¹), (c): 涡度(单位: s⁻¹), (d): 垂直速度(单位: Pa/s), (e): 垂直螺旋度(单位: hPa/s²)

3.5. 东风波动型

在 8 例暴雨中 2018 年 7 月 30 日的暴雨系统为东风波动型, 500 hPa 高度上东风波动型特点为内蒙古 西部至西太平洋有一纬向的高压带,四川位于高压带南侧,受东风影响。从图 10 来看,在东风波动型天 气系统下,龙泉驿区降水主落区在东部和东南部。在 2018 年 7 月 30 日龙泉驿区的降水集中在龙泉山北 部的梨园村和南部的大佛村、茶店。该日降水量最高在 57.04~68.40 mm 间,龙泉驿区南部大部分地区降 水量在 34.30 mm 以上,北部大部分地区降水量在 34.31 mm 以下,其中黄土、洛带、万兴、洪安一带降 水量最低,在 0.20~11.57 mm 之间。



Figure 10. Spatial distribution of precipitation in Longquanyi District on July 30, 2018 (Unit: mm) 图 10. 2018 年 7 月 30 日龙泉驿区降水量空间分布(单位: mm)

环流形势与物理量分析

从图 11(a)来看,乌拉尔山西部受高压系统控制,西伯利亚地区受低压系统控制,新疆西部、西藏等 地位于低压槽内。内蒙古西部至西太平洋受高压控制,其在图形上表现为纬向的带状系统。高压带北侧 风向为平直西风,随着纬度增大槽脊波动越明显。在高压带南侧,受该系统影响风向表现为偏东风。四 川位于高压带南侧低压槽东侧,其天气受高压带南侧东风波动影响,表现为东风波动型。高压带南侧琉 球群岛以及西太平洋小部分地区有低压中心。从图 11(b)来看,高空 150~300 hPa 区域在该日主要表现为 正值区域,在15时左右150~400 hPa上存在较强的正值区域,其中心强度在1×10⁻⁴ s⁻¹,在其下方存在 较强的负值区域,其中心强度达到-1×10⁻⁴ s⁻¹,因此在13时~15时的150~1000 hPa区域上存在低层气 流辐合高层气流辐散的系统,该系统有利于暴雨产生。在其它时刻也存在这样的系统,但是强度较弱。 在图 11(c)中,00 时~19 时的 850 hPa 上基本受正涡度控制,在 16 时左右的正涡度强度达到 1×10⁻⁴ s⁻¹, 其上层 500~700 hPa 受负涡度控制,其最高强度为-4×10⁻⁵ s⁻¹。07 时左右的 200 hPa 上存在较强的负涡 度区域,其中心强度为-8×10⁻⁵ s⁻¹,其下层 300 hPa 处存在较弱的正涡度区域,其强度为 2×10⁻⁵ s⁻¹。 从整体上来看,00时至19时存在低层气流气旋式运动高层气流反气旋式运动的系统,该系统有利于暴 雨形成。在图 11(d)中,15 时左右 200~850 hPa 存在明显的处置速度负值区域,其中心强度为-2.6 Pa/s, 这说明在 15 时左右 200~850 hPa 间存在较强的上升气流,而其他时次主要受弱的负值区域控制,气流上 升不强烈。因此在 15 时的 200~850 hPa 的较强上升气流系统对暴雨的形成有很大帮助。图 11(e)中, 15 时左右低层存在一个明显的正值区域,其强度为6×10⁻⁷ hPa/s²,在上层对应负值区域,其强度为-5×10⁻⁷ hPa/s²,因此在15时左右存在低层辐合高层辐散的对流系统,利于暴雨形成。



Figure 11. 500 hPa circulation situation and time-height profile of physical quantity along 104°18′E and 30°35′N from 00 h to 23 h. (a) Circulation situation at 500 hPa at 08:00, (b): Divergence (Unit: s^{-1}), (c): Vorticity (Unit: s^{-1}), (d): Vertical velocity (Unit: Pa/s), (e): Vertical helicity (Unit: hPa/s²)

图 11. 500 hPa 环流形势与 00 时~23 时物理量沿 104°18′E、30°35′N 的时间 - 高度剖面图。(a): 08 时 500 hPa 环流形势, (b): 散度(单位: s⁻¹), (c): 涡度(单位: s⁻¹), (d): 垂直速度(单位: Pa/s), (e): 垂直螺旋度(单位: hPa/s²)

4. 结论

综合上述对龙泉驿区暴雨的落区分析,以及对不同天气类型的环流形势和物理量的合成分析,得到 以下结论:

1)8 例暴雨降水主落区主要出现在北部和南部。

2) 在 500 hPa 环流形势图中,其分为平直西风、东高西低、500 hPa 低涡、两高切变、东风波动型五种,每种类型都有明显的特点。

3) 对散度、涡度、垂直速度、垂直螺旋度的时间 - 高度剖面分析表明,暴雨的 5 种天气类型其存在 低层辐合高层辐散且对流强盛的利于暴雨形成、发展的系统。

对于暴雨天气系统下的物理量特征,本文主要运用散度、涡度、垂直速度和垂直螺旋度这些物理量 来诊断,对于暴雨的影响机制,还应进一步采用数值天气预报模式来进行研究,这将是我下一步的工作 目标。

参考文献

[1] 中国气象报编写组. 国家"防灾减灾日"科普专栏之暴雨[J]. 中国气象报, 2009(3), 1-2.

- [2] 李翠金.中国暴雨洪涝灾害的统计分析[J]. 灾害学, 1996(1): 59-63.
- [3] 陈颙, 史培军. 自然灾害[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [4] 刘家福, 张柏. 暴雨洪灾风险评估研究进展[J]. 地理科学, 2015, 35(3): 346-351.
- [5] 丁一汇. 中国暴雨理论的发展历程与重要进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 395-406.
- [6] 史培军, 孔锋, 方佳毅. 中国年代际暴雨时空变化格局[J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1281-1290.
- [7] 林建,杨贵名.近 30年中国暴雨时空特征分析[J].气象, 2014, 40(7): 816-826.
- [8] 刘庆, 詹兆渝, 陈文秀. 四川暴雨气候背景分析[J]. 四川气象, 2004(4): 23-26.
- [9] 敬超. 成都经开区: 城市"东进"的桥头堡[J]. 中国报道, 2019(9): 92-93.
- [10] 杨柳. 成都市龙泉驿区气象灾害风险调查及灾害防御[J]. 现代农业科技, 2017(16): 191-192.
- [11] 殷显曦. 国外暴雨研究的发展动向[J]. 气象科技, 1979(3): 9-12.
- [12] 倪允琪,周秀骥,张人禾,王鹏云,仪清菊.我国南方暴雨的试验与研究[J].应用气象学报,2006(6):690-704.
- [13] 陶诗言, 丁一汇, 周晓平. 暴雨和强对流天气的研究[J]. 大气科学, 1979(3): 227-238.
- [14] 马轩龙,李春娥,陈全功. 基于 GIS 的气象要素空间插值方法研究[J]. 草业科学,2008(11): 13-19.
- [15] 刘光孟, 汪云甲, 王允. 反距离权重插值因子对插值误差影响分析[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(11): 879-884.
- [16] 朱选,刘素霞. 地理信息系统原理与技术[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2006: 171-173.