

文章编号: 2096-1618(2025)03-0339-07

四川盆地西部一次夜间致灾暴雨的水汽特征综合分析

蒋薇薇, 李国平

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:为深入探究四川盆地西部夜间暴雨的水汽输送特征,利用 ERA5 再分析资料、四川省加密站小时降水量资料及全球同化系统资料等,基于欧拉方法和拉格朗日方法综合分析 2019 年 8 月 19–20 日发生在四川盆地西部的一次夜间暴雨过程的环境条件和水汽特征,重点应用拉格朗日追踪模式定量计算暴雨过程中的水汽输送来源及各源地对降水的贡献。研究表明:短波槽、高原涡及大气不稳定层结是本次暴雨产生和维持的基本环境条件。暴雨过程中,不同高度层次上水汽源地呈多源特征。对流层低层(850 ~ 700 hPa)水汽主要来自四川盆地本地及周边地区,其次是孟加拉湾,两者的水汽贡献率之和高达 73%。中层(500 hPa)水汽主要来自印度半岛(贡献率为 44.8%),孟加拉湾(26.3%)和南海(24.9%)的水汽输送亦有重要贡献。值得关注的是,四川盆地本地及周边地区对夜间暴雨的水汽贡献率是随着气层高度的降低而明显增大的。

关键词:夜间暴雨;四川盆地;水汽特征;源地和贡献率;拉格朗日模式

中图分类号:P426

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2025.03.014

0 引言

目前研究暴雨过程中水汽输送的方法主要有欧拉方法和拉格朗日方法^[1]。欧拉方法侧重于对暴雨过程中水汽通量、水汽收支等方面的分析,无法定量了解到水汽输送源地及水汽贡献率。拉格朗日方法则可以通过计算空气块在不同时刻的位置,从而定量地揭示水汽源地和路径^[2-3]。研究发现,孟加拉湾、南海和太平洋构成中国东部夏季降水的主要水汽来源^[4-5]。周长艳等^[6]通过计算水汽通量分析得出,高原东部及其邻近地区的水汽输送具有明显的季节变化特征。在夏季,孟加拉湾和中国南海为水汽主要来源;而在秋季,水汽则主要来自西太平洋地区。

以上的研究大多采用欧拉方法,仅能定性分析水汽通道,无法定量给出水汽的具体路径和相应的水汽贡献率。引用拉格朗日方法则能够定量分析水汽追踪轨迹及沿轨迹的变化细节^[7-9]。江志红等^[10]基于拉格朗日方法研究了江淮梅雨气候平均的水汽输送特征,得出气候态下,印度洋、孟加拉湾—中国南海、太平洋是江淮梅雨水汽的主要来源,其中印度洋的水汽贡献率超过 50%,位居首位。与淮北雨季对比,江淮梅雨的水汽源地中来自印度洋的水汽输送贡献增加了 20%,而来自欧亚大陆的水汽则减少了 19%。岳俊等^[11]指出四川暴雨过程的水汽通道有多个,但以孟加

拉湾为主要来源的水汽通道占比约为 50%。

夏季四川盆地暴雨频发,尤其是盆地周边的山地暴雨,具有强度大、发生时间短、来势猛、灾害重等特点^[12-13]。吕炯^[14]揭示了四川盆地降水具有“巴山夜雨”的鲜明特征。林之光^[15]根据中国雨量自记记录得出河谷盆地是夜雨频发的地区,四川盆地则是典型的夜雨区之一。近年来统计数据显示,四川盆地的夜雨率占全年雨量的 70% 以上^[16-17],是中国夜雨频次和面积最大的区域,夜间对流活动较白天更为活跃且局地性强^[18-20]。2019 年 8 月 19–20 日,四川盆地西部出现一次强降水过程,雨量集中,引发洪涝及泥石流等灾害,导致 19 人失踪,26 人死亡,经济损失达 158.9 亿元。为此,本文基于四川省国家基准气象站和省区域加密自动气象站小时降水量资料及 ERA5 高分辨率再分析资料,分析此次暴雨过程的降水概况和环境场特征,并结合欧拉方法的水汽诊断计算与拉格朗日水汽轨迹追踪模式的定量模拟,揭示此次过程中夜间暴雨阶段水汽的来源、输送与辐合特征,定量研究各路水汽的贡献率,旨在提升暴雨业务预报和科学认知能力,为暴雨灾害防御工作提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

本文所用资料:(1)水平分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 、时间间隔为 1 h 的欧洲中期天气预报中心的第五代再分析资料(ERA5)主要用于天气尺度背景、中尺度环境场条

收稿日期:2024-03-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42175002);四川省中央引导地方科技发展资助项目(2024ZYD0175)

通信作者:李国平. E-mail:liguoping@cuit.edu.cn

件及物理量诊断分析;(2)四川省 161 个国家基准气象站和 4841 个四川省加密自动气象站的逐时降水数据,主要用于降水的统计分析;(3)全球资料同化系统(global data assimilation system, GDAS)资料,时间间隔 6 h,水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,垂直方向 21 层,包括位势高度、温度、风、比湿等要素,主要用于 HYSPLIT 模式模拟水汽轨迹路径及各路径下水汽通道的贡献率。

1.2 水汽追踪模式

HYSPLIT(hybrid single particle lagrangian integrated trajectory)模式是 NOAA 空气资源实验室开发的一种用于计算和分析气流运动、扩散轨迹的综合模式系统^[2]。该模式常用于计算和分析气流输送,该模式可使用兰伯特投影、极地投影和墨卡托投影 3 种地图投影,采用地形坐标,水平网格与输入的气象场相同。即:

$$P'(t+\Delta t)=P(t)+V(P,t)\Delta t \tag{1}$$

$$P(t+\Delta t)=P(t)+0.5\times[V(P,t)+V(P',t+\Delta t)]\Delta t \tag{2}$$

式中, Δt 为积分的时间步长,其步长是可变的,但要求单位时间步长内空气团的移动长度小于等于 0.75 个格距。

1.3 气块追踪分析法

HYSPLIT 模型基于拉格朗日方法的后向追踪轨迹模式^[2],分析不同水汽输送通道对暴雨区的水汽贡献率时,可利用如下应用公式进行计算^[3]:

$$Q_s=\frac{\sum_1^mq_{last}}{\sum_1^nq_{last}}\times 100\% \tag{3}$$

式中: $Q_s(\%)$ 表示气块追踪的水汽贡献率; q_{last} 表示气团到达最终位置追踪源地所有气团的比湿; m 为追踪源地所有气团的轨迹数; n 表示模拟的气团轨迹总数。

1.4 水汽输送模拟方案

本次暴雨过程模拟的起始时间选取为 2019 年 8 月 20 日 02:00-04:00(降水最大时段,BJS,下同),模拟气团后向轨迹追踪的起始区域选取为 $102^{\circ}\text{E}\sim 104^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$ (降水最大区域),水平方向上每隔 1° 为一个起始点,图 1 红色矩形框内的圆形点代表盆地西

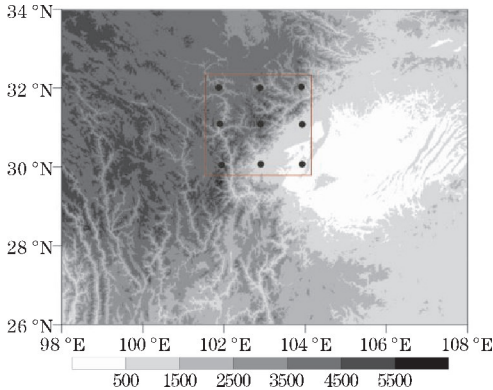


图1 轨迹模式的起始点

部暴雨的空间起始点,共有 9 个。在垂直方向上选取 1500 m、3000 m、5500 m 作为模拟的初始高度,此次模拟的后向轨迹追踪时间为 10 天,后退时间步长为 1 h,每 6 h 输出一次轨迹点的位置。

1.5 水汽通量散度计算公式

本文研究暴雨与水汽辐合的关系时计算水汽通量散度,公式为

$$\nabla\cdot(\vec{V}q/g)=\frac{\partial}{\partial x}(\frac{1}{g}\vec{u}q)+\frac{\partial}{\partial y}(\frac{1}{g}\vec{v}q) \tag{4}$$

式中, g 是重力加速度, q 为比湿, \vec{V} 为向量风速,若该参数正值区表示垂直上升运动和水汽通量的辐合。

2 暴雨事件概况

2.1 暴雨特点

2019 年 8 月 19-20 日,四川盆地西部地区遭受暴雨侵袭,本文主要针对 19 日由高原东部斜坡地形与盆地西侧附近的对流触发引起的夜间暴雨进行相关研究。图 2 为 19 日 16:00 至 20 日 16:00 四川地区各站点累积降雨实况,由图可知,雨区主要沿地形呈带状分布,强降水区域主要位于平原与四川山地之间的过渡带,该区域海拔在 600 ~ 1800 m。雨量为大雨到暴雨,部分地区出现大暴雨,暴雨区主要集中在盆地西部及西南部。降水大值中心位于汶川县水磨镇站和芦山大川小河村站,相应的 12 h 累计降水量分别为 98.5 mm 和 213 mm。据 8 月 19 日 16:00 至 20 日 16:00 四川省雨量统计,降雨量超过 100 mm 的测站有 79 个,其中有两个测站出现特大暴雨(≥ 250 mm)。

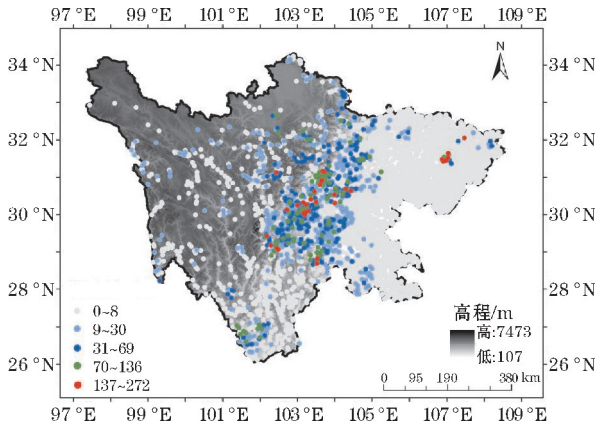


图2 2019 年 8 月 19 日 16:00 至 20 日 16:00 站点累计降水量

从降水中心逐小时雨量随时间演变曲线(图 3)可见,强降水主要集中在 20 日 01:00-05:00。19 日 22:00,乐山地区开始出现降水,随后雨带向西北方向移动。20 日 02:00,雅安区域内形成降水大值中心,此后降水中心逐渐向东北方向移动,发展至汶川等地。至 08:00,降水中心消失,降水强度明显减弱。此次暴

雨过程以夜间降水为主,雨带由南向北发展,小时雨强大,局地性强。根据突发性暴雨标准^[21],单个站点,1 h雨量大于20 mm,且连续3 h降雨量大于50 mm,可判断此次暴雨过程为一次突发性山地暴雨事件。此次暴雨事件导致35个县44.6万人受灾,26人死亡,19人失踪,直接经济损失达158.9亿元,夜间暴雨增加了避灾转移的难度,可能是此次暴雨事件中人员损失较大的重要原因之一。

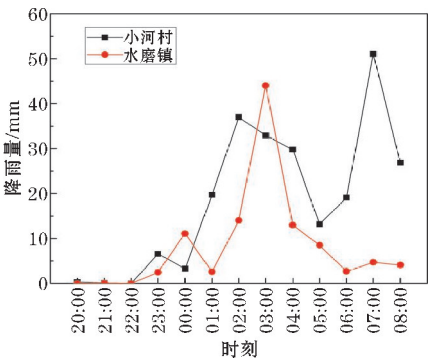
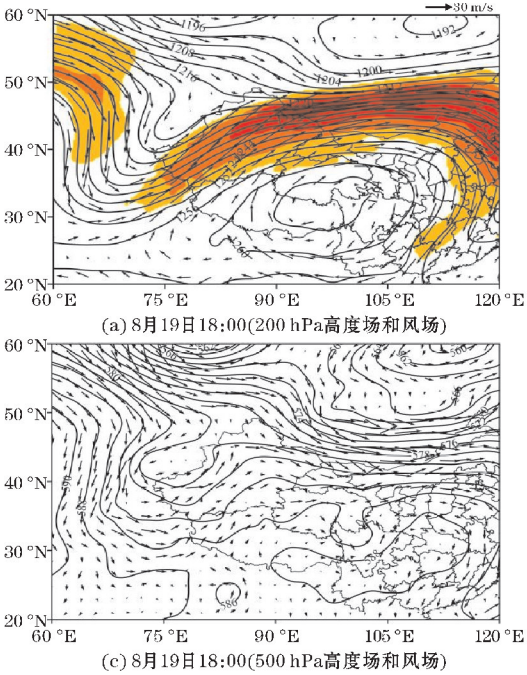


图3 2019年8月19日20:00至20日08:00降水中心
站点小时降雨量的时间变化

2.2 环境条件

8月19日18:00,200 hPa 对流层上层,南亚高压主



体位于青藏高原南部,强度为1264 dagpm,东伸明显,四川盆地东侧上空的南亚高压环流经向发展明显,南亚高压以北存在高空急流,急流核中心最大风速为 $65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,四川地区整体受南亚高压东南侧的偏东风控制(图4b),高空辐散有利于整层大气垂直抬升作用的增强。同时,南亚高压东北侧的东北气流与西太平洋副热带高压的西南气流在中国东部沿海地区形成强风切变,进而强迫发展出一个深厚的大槽。随着降水的发生,大槽逐渐减弱。500 hPa上中亚中纬度地区为“两槽一脊”的环流形势,内蒙古偏北地区主要以 50°N 以北的冷涡底部平直西风气流为主。随着冷涡东移,北方地区出现明显的气旋性环流。暴雨发生前(图4c),盆地西北部有高原涡生成,高原低槽呈加深趋势,盆地西部位于低槽前方,降水区位于短波槽前,低层辐合上升,有利于降水的发生发展。20日02:00,短波槽加深,暴雨强度达到最大。至20日08:00(图略),高原涡东移至四川东北部,雨区降水强度减小。从暴雨发生前沿 31°N 的假相当位温剖面图(图略)可见, $102^{\circ}\text{E}\sim104^{\circ}\text{E}$ 700 hPa以下均为假相当位温高值区,对流层中低层湿度较大,假相当位温随高度增加而减小,大气处于不稳定层结状态,为暴雨的发生发展提供了有利条件。

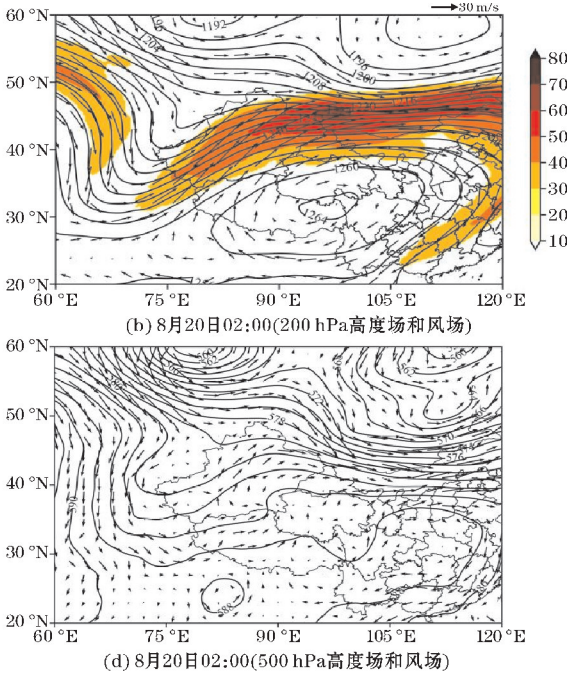


图4 2019年8月19-20日不同时刻200 hPa及500 hPa 环流场(箭头为风矢量,彩色区为风速大于 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域)

3 水汽特征的综合分析

3.1 低层风场和比湿

充足的水汽供应是暴雨发生的前提。图5给出了不同时刻850 hPa的比湿场和风场,19日22:00(图5a),暴雨发生前,盆地东部主要以东南暖湿气流为主的局地

大风区,将东部反气旋南侧的高温高湿气流输送至四川盆地。此时,盆地西部的相对湿度保持在90%以上,处于比湿大值区,水汽充足。受高原东部地形阻挡,暖湿气流在盆地西部不断堆积,促使层结不稳定度增大,从而触发对流天气。至20日00:00(图5b),四川盆地西部开始降水,比湿达到 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上。暴雨前期,盆地西部山区低层湿度条件优越,本地良好的湿度条件为暴

雨的发生提供了充足的水汽条件。

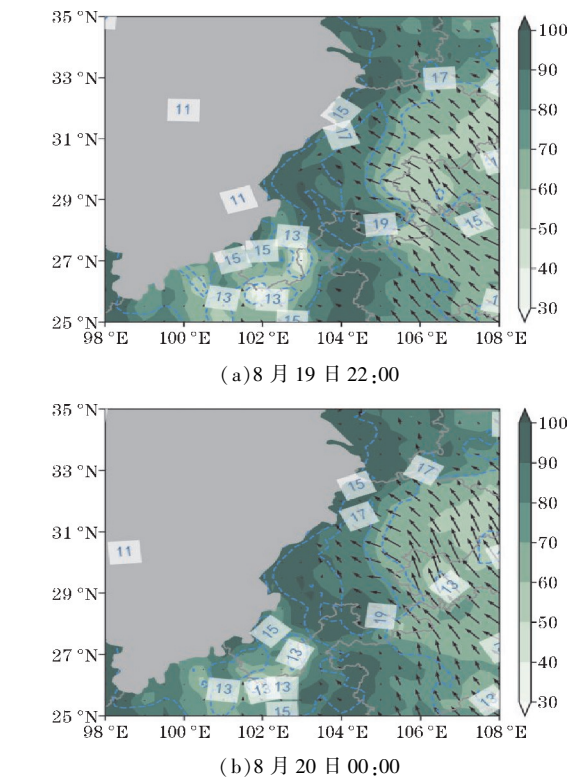


图5 2019年8月19-20日不同时刻850 hPa比湿场、相对湿度场(彩色区)及风场叠加图(灰色阴影为青藏高原区域)

3.2 水汽通量

图6为本次暴雨过程中,850 hPa和700 hPa的水汽通量及其散度分布。暴雨发生前,700 hPa上(图6a),偏南暖湿气流从东南沿海经广西、贵州、重庆后进入四川盆地,由于高原地形的阻挡,水汽在盆地西部汇聚堆积,并与来自西北的干冷空气交汇,水汽开始辐合。850 hPa上(图6c),盆地西部主要受东南暖湿气流影响,水汽主要源自孟加拉湾经广西、贵州后进入雨区;暴雨强盛时期,700 hPa(图6b)上的偏南气流输送能力增强,进一步促进了盆地西部水汽辐合。850 hPa(图6d)的水汽辐合带从贵州延伸至盆地西部地区,水汽辐合明显增强,同时盆地东南部的水汽输送增强,水汽辐合高值区位于四川盆地西部,辐合中心强度超过 $-13\times10^{-5}\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,与夜间强降水区域吻合。综合分析可知,暴雨期间对流层低层四川盆地主要有2条水汽输送路径:一条来自欧亚大陆的水汽经河套地区南下进入雨区;另一条来自孟加拉湾的水汽经中南半岛后北上进入盆地。暴雨过程中,强降水落区与强水汽辐合区基本一致,且水汽辐合最强时刻出现在夜间,夜间水汽输送尤为旺盛。

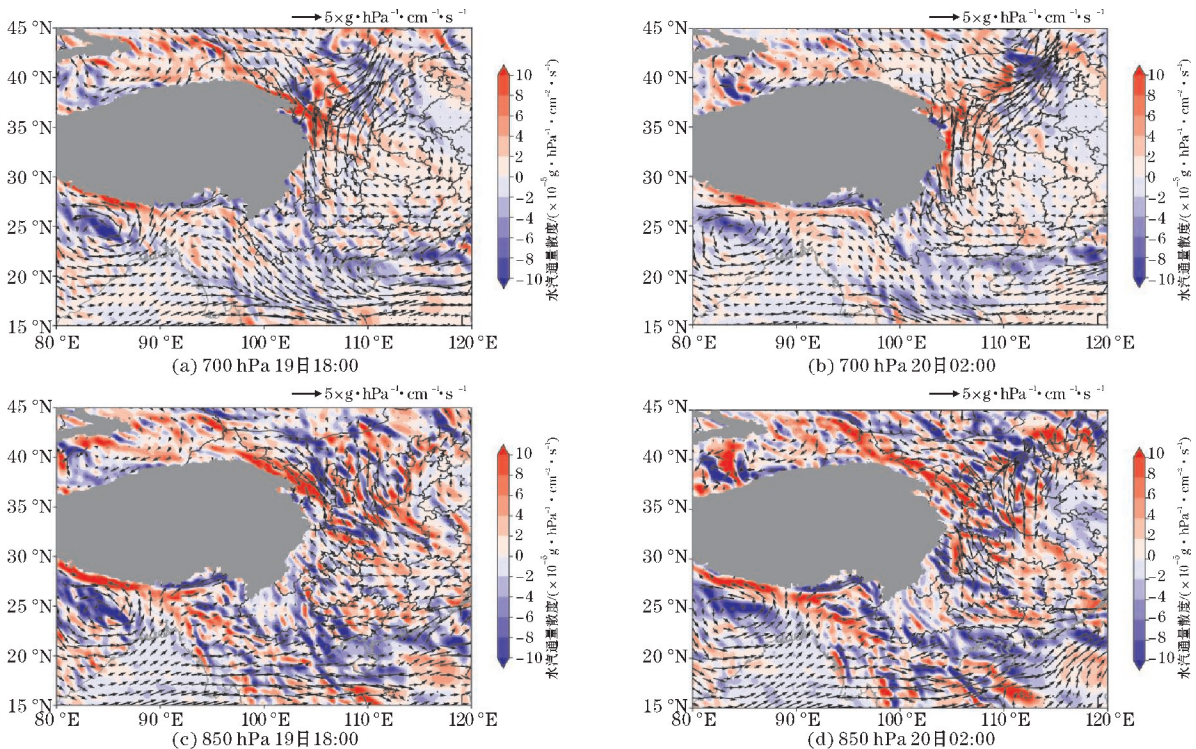


图6 2019年8月19-20日不同时刻水汽通量及水汽通量散度(彩色区)叠加图(灰色阴影为青藏高原区域)

3.3 水汽输送的轨迹分析

本次暴雨过程盆地西部有充沛的水汽输送,尚无确定哪路水汽对暴雨区起主要作用以及不同源地输

送的水汽对降水的贡献率。因此按照2.4节的模拟方法对暴雨过程中空气块进行3个高度后向轨迹追踪10天,以此明确降水最大时段的暴雨区域水汽轨迹路径,结果表明大多数空气块可以追踪到欧亚大陆地区

(即西北路径),孟加拉湾-南海海域(即西南路径),来自南方的暖湿气流和来自北方的干冷气流在盆地相遇,形成“上冷下暖”不稳定层结,有利于对流的触发,为此次暴雨过程提供了充沛的水汽,见图 7。

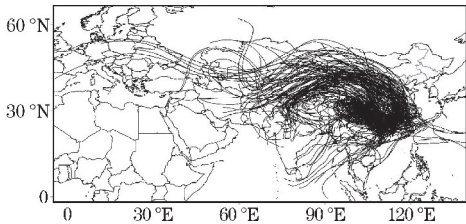


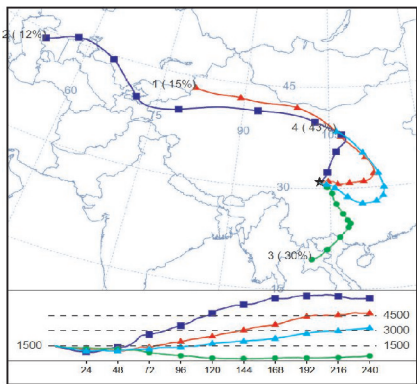
图 7 暴雨区域后向追踪 240 h 空气团轨迹的空间分布

3.4 水汽轨迹的聚类分析

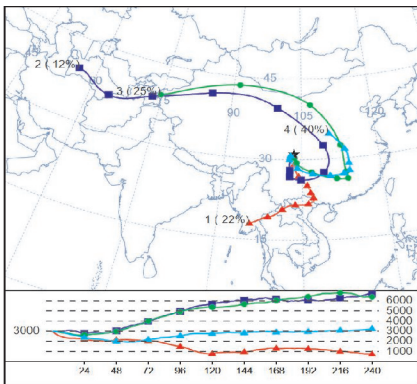
通过拉格朗日区域轨迹追踪的方法分析暴雨区降雨最大时段影响降雨的气块轨迹。根据 8 月 19-20 日的暴雨过程降水量(图 2),选取累积降水量大值点汶川(31°N,103.4°E)为气团后向追踪轨迹起始点,模拟起始时间选取为 20 日 03:00(降水较大时次),考虑到水汽的辐合主要发生在对流层中低层,模拟点本身海拔较高,因此在垂直方向上选取 1500 m、3000 m、5500 m 作为气团后向轨迹模拟的起始高度,对应的起始区域等压面为 850 hPa、700 hPa、500 hPa^[11],追踪时长为 10 天,每间隔 6 h 输出一次空气团的地理位置。最后,再对各高度上的轨迹进行聚类分析,结论为 1500 m 高度上的水汽轨迹主要有 4 条(图 8a),其中西北轨迹有 2 条:第一条平均轨迹起源于里海,水汽经哈萨克斯坦进入中国河套地区后南下至四川盆地,其轨迹数量百分比为 12%;第二条平均轨迹则源自巴尔喀什湖南部,经过河套地区后南下,途经湖北、重庆等地,最终进入川西盆地,其轨迹数量百分比为 15%。此外,还有 1 条本地轨迹,占比 43%,水汽主要源于盆地

本地及其周边省份湖北北部汉水流域。南方轨迹有 1 条,轨迹数量百分比为 30%,水汽源自孟加拉湾,越过中南半岛后,经过广西、贵州进入盆地。3000 m 高度上(图 8b)聚类得到 4 条轨迹,其中西北轨迹有 2 条:第一条平均轨迹来自里海,经过哈萨克斯坦进入河套地区,继续南下至湖南等地,然后转向进入四川盆地,其轨迹数量百分比为 12%;第二条平均轨迹则源自伊塞克湖,经新疆、内蒙古南下至湖南等地,再向西北转向进入四川盆地,其轨迹数量百分比为 25%。其中 40% 的轨迹从本地及其周边省份而来。南方轨迹有 1 条,22% 的轨迹从孟加拉湾经中南半岛后北上进入盆地。5500 m 高度上共得到 4 条水汽轨迹(图 8c),与 1500 m 和 3000 m 高度上的水汽通道轨迹及各水汽轨迹的贡献率存在明显差异。46% 的水汽轨迹来自印度半岛,31% 的水汽轨迹来自南海,19% 的水汽轨迹从孟加拉湾经青藏高原南支路径进入四川盆地,仅有 4% 的轨迹来自阿富汗地区。

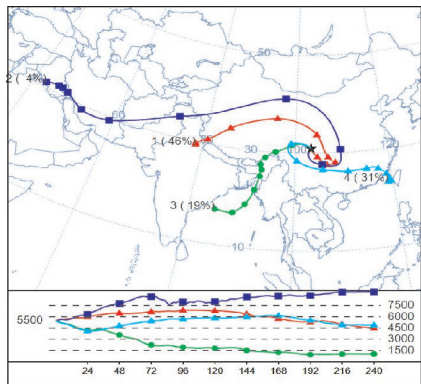
水汽输送轨迹的数量百分比并不能代表水汽的多寡^[10],通过进一步的计算得知,1500 m 高度上源自盆地本地及周边地区的水汽贡献率为 39%,源自孟加拉湾的水汽贡献率为 34.8%;3000 m 高度上源自盆地本地及周边地区的水汽贡献率为 35.1%,源自孟加拉湾的水汽贡献率为 26%;5500 m 高度上源自印度半岛的水汽贡献率达 44.8%,源自南海的水汽贡献率为 24.9%,源自孟加拉湾的水汽贡献率为 26.3%。综上所述,本次降水过程的水汽主要来源于盆地本地及周边地区、孟加拉湾、南海以及印度半岛。对流层低层(850~700 hPa),四川盆地本地及周边地区和孟加拉湾是水汽的主要源地,值得注意的是中层(500 hPa)水汽源地与低层有所差异,主要来自印度半岛、孟加拉湾和南海的水汽亦有重要贡献。



(a) 1500 m



(b) 3000 m



(c) 5500 m

图 8 各气层高度的平均轨迹及其对应的轨迹数量百分比

4 结论与讨论

利用多源资料,分析 2019 年 8 月下旬发生在四川

盆地西部一次降水过程中夜间暴雨阶段的大尺度环流背景、天气系统,并结合欧拉诊断方法和拉格朗日后向追踪模式定量研究暴雨区的水汽输送及贡献率特征,

结论如下:

(1)此次暴雨过程主要是高原涡与低槽等多尺度天气系统共同影响所致,降水峰值时段主要出现在夜间,具有很强的日变化特征和对流性质。

(2)基于传统欧拉方法的计算结果表明,暴雨期间四川盆地低层水汽来自欧亚大陆和孟加拉湾,暴雨落区与强水汽辐合区基本一致,盆地水汽辐合中心的最大值出现在夜间,为夜间暴雨的发生孕育充沛水汽条件。

(3)运用拉格朗日 HYSPLIT 模式对各层水汽输送轨迹及贡献率的分析可知,对流层低层(850~700 hPa)水汽主要来自本地及周边地区和孟加拉湾,两者的水汽贡献率高达73%;中层(500 hPa)水汽主要来自印度半岛(水汽贡献率为44.8%),孟加拉湾(26.3%)和南海(24.9%)的水汽输送亦有重要贡献。水汽来源有少部分来自里海和巴尔喀什湖附近,但这些水汽的含量远小于四川本地。

需指出本文的研究内容侧重四川盆地一次致灾暴雨事件的水汽源地及其贡献率等水汽特征,尚需进一步选择更多的暴雨个例及在山区应用空间分辨率更高的降水资料(如GPM卫星降水产品)进行对比分析与合成分析,以全面考察、确定四川盆地这样的复杂地形区夜间暴雨的常态及异常水汽输送通道。此外,水汽条件还需要与动力、热力条件及地形影响等因子相结合以进行更全面的分析,从而为深化和细化对暴雨机理的认识以及对暴雨业务预报提供更多参考。

致谢:感谢成都信息工程大学科技创新能力提升计划重大项目(KYTD202201)对本文的资助。

参考文献:

- [1] 杨浩,江志红,刘征宇,等.基于拉格朗日法的水汽输送气候特征分析—江淮梅雨和淮北雨季的对比[J].大气科学,2014,38(5):965-973.
- [2] Draxler R R, Hess G D. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition[J]. Australian Meteorological Magazine, 1998, 4(47): 295-308.
- [3] 江志红,梁卓然,刘征宇,等.2007年淮河流域强降水过程的水汽输送特征分析[J].大气科学,2011,35(2):361-372.
- [4] Tao S Y, Chen L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China[M]. Oxford: Oxford University Press, 1987: 60-92.
- [5] 陈隆勋,朱乾根,罗会邦,等.东亚季风[M].北京:气象出版社,1991:362.
- [6] 周长艳,李跃清,李薇,等.青藏高原东部及邻近地区水汽输送的气候特征[J].高原气象,2005,24(6):880-888.
- [7] Stohl A, James P. A Lagrangian Analysis of the Atmospheric Branch of the Global Water Cycle. Part I: Method Description, Validation, and Demonstration for the August 2002 Flooding in Central Europe[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5(4): 656.
- [8] Dominguez F, Kumar P, Liang X Z, et al. Impact of atmospheric moisture storage on precipitation recycling[J]. J. Climate, 2006, 19(8): 1513-1530.
- [9] Dirmeyer P A, Schlosser C A, Brubaker K L, et al. Precipitation, recycling, and land memory: An integrated analysis[J]. Journal of Hydrometeorology, 2009, 10(1): 278-288.
- [10] 江志红,任伟,刘征宇,杨浩.基于拉格朗日方法的江淮梅雨水汽输送特征分析[J].气象学报,2013,71(2):295-304.
- [11] 岳俊,李国平.应用拉格朗日方法研究四川盆地暴雨的水汽来源[J].热带气象学报,2016,32(2):256-264.
- [12] 郁淑华,何光碧.青藏高原切变线对四川盆地西部突发性暴雨影响的数值试验[J].高原气象,1986,16(3):306-311.
- [13] 肖递祥,杨康权,祁生秀.2011年7月四川盆地两次突发性暴雨过程的对比分析[J].气象,2012,38(12):1482-1491.
- [14] 吕炯.巴山夜雨[J].气象学报,1942,16(S1):36-53.
- [15] 林之光.我国的地形性夜雨[J].气象,1982(6):18-20.
- [16] 胡迪,李跃清.青藏高原东侧四川地区夜雨时空变化特征[J].大气科学,2015,39(1):161-179.
- [17] Zheng Yongguang, Xue Ming, Li Bo, et al. Spatial Characteristics of Extreme Rainfall over China with Hourly through 24-Hour Accumulation Periods Based on National-Level Hourly Rain Gauge Data[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2016, 33(11): 1218-1232.
- [18] Liu X, Bai A, Liu C, et al. Diurnal variations of summertime precipitation over the Tibetan Plateau in relation to orographically-induced regional circulations[J]. Environmental Research Letters,

- 2009,4(4):940–941.
- [19] Fu S, Li W, Sun J, et al. Universal evolution mechanisms and energy conversion characteristics of long-lived mesoscale vortices over the Sichuan Basin [J]. Atmospheric Science Letters, 2015 (16):127–134.
- [20] Zhao Y. A study on the heavy-rain-producing mesoscale convective system associated with diurnal variation of radiation and topography in the eastern slope of the western Sichuan plateau[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2015, 127(2):123–146.
- [21] 谢家旭,李国平. 重力波与对流耦合作用在一次山地突发性暴雨触发中的机理分析[J]. 大气科学,2021,45(3):617–632.

Comprehensive Analysis of Moisture Characteristics for a Disastrous Nocturnal Rainstorm Event in the Western Sichuan Basin

JIANG Weiwei, LI Guoping

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: To deeply explore the characteristics of water vapor transport during the nocturnal rainstorm in the west of Sichuan Basin, the environmental conditions and water vapor characteristics of nocturnal rainstorms in the west of Sichuan Basin from August 19 to 20, 2019 were comprehensively analyzed based on Euler method and Lagrange method by using ERA5 reanalysis data, hourly precipitation data of densification stations in Sichuan Province and global assimilation system data. The Lagrange tracing model (HYSPLIT) was mainly used to quantitatively calculate the water vapor transport sources during the rainstorm and the contribution of each source to precipitation. The results show that the short wave trough, plateau vortex, and atmospheric unstable stratification are the basic environmental conditions for the occurrence and maintenance of this rainstorm. In the process of rainstorms, the water and steam sources at different levels showed multi-source characteristics. The water vapor in the lower troposphere (850–700 hPa) is mainly from the Sichuan Basin and its surrounding areas, followed by the Bay of Bengal, with a total contribution rate of 73%. The water vapor in the middle layer (500 hPa) mainly comes from the Indian Peninsula (the contribution rate is 44.8%), and the water vapor transport in the Bay of Bengal (26.3%) and the South China Sea (24.9%) also has an important contribution. It is noteworthy that the water vapor contribution rate of the local and surrounding areas of the Sichuan basin to the nighttime rainstorms increases significantly with the decrease in height.

Keywords: nocturnal rainstorms; Sichuan Basin; moisture characteristics; source and contribution; Lagrangian method