

“8.8”舟曲特大泥石流天气背景分析

狄潇泓, 吉惠敏, 肖玮, 冀兰芝 (兰州中心气象台, 甘肃兰州 730020)

摘要 利用自动站、卫星云图、探空等常规和非常规资料, 对2010年8月8日凌晨造成舟曲特大泥石流的短时强降水天气过程的天气背景、形成机理、物理成因、卫星云图特征进行了较为深入细致的研究。结果表明, 自动站气象要素变化能反映中小尺度天气系统的信息; 卫星云图上, 东移锋面云系尾部在顺时针旋转的南亚高压东部激发起对流云团, 对流云团在有利的温湿条件、不稳定的层结、较大的高空风垂直切变下, 迅速发展、合并成 α 对流系统, 在其前进方向右后方边缘亮温梯度大的地方出现短时强降水; 副高边缘的高能水汽输送带使甘肃南部具备对流发展的潜势, 500 hPa小槽、200 hPa辐散区、地面冷锋的配合, 激发中尺度对流系统(MCS), 使其得以发展; 有利的层结条件和高空风垂直切变使MCS得以加强, 最终造成舟曲短时局地强降水, 并引发特大山洪泥石流。

关键词 强对流; 特大泥石流; 天气背景; 舟曲

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)12-05448-05

Analysis of Weather Background of “8.8” Jumbo Debris Flow at Zhouqu

DI Xiao-hong et al (Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou, Gansu 730020)

Abstract By using the data of automatic weather stations, satellite images, sounding, etc, the short-term strong rainfall weather process were analyzed which cause a large debris flow at Zhouqu of Gansu Province on Aug. 8, 2010. The results showed that meteorological elements of the automatic station changes can reflect the small and medium scale weather system. A tail of frontal cloud into the east of South Asia high stimulates the convective clouds, the humid conditions, unstable stratification and the larger upper wind vertical shear, made cloud cluster in rapid development and merge into the MCS, in the direction of the right rear edge temperature gradient of the place appear short-term strong precipitation. The edge of the subtropical high vapour conveyor belt make south Gansu have convection development potential, 500 hPa small groove, 200 hPa divergence, ground front, stimulate mesoscale convective system (MCS), make it to development. Favorable stratification conditions and high altitude wind vertical shear make MCS to strengthen, resulting short local strong rainfall at Zhouqu, and trigger large flash flood debris flow.

Key words Strong convection; Large debris flow; Weather background; Zhouqu

泥石流是山区特有的一种自然地质灾害现象, 由于短时强降水或冰川、积雪融化水等产生在沟谷或山坡上的一种夹带大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流, 是地质、地貌、水文、气象等各种自然因素和人为因素综合作用的结果。泥石流灾害的特点是规模大、危害严重、活动频繁、危及面广, 且重复成灾。泥石流具有强大的能量, 破坏性极大, 它不仅可以冲毁所经路程碰到的一切, 还可掩埋乡镇农田, 阻塞河流, 往往造成非常严重的经济损失和巨大的人员伤亡。

舟曲县地处南秦岭山地, 境内山峦重叠, 沟壑纵横, 地形复杂, 是典型的高山峡谷区。山高、谷深、石头多、坡陡、土薄、水流急, 荒山荒坡水土流失、泥石流、滑坡严重是舟曲的自然现状^[1]。2010年8月7日23:00左右至8日凌晨甘肃省甘南藏族自治州舟曲县城东北部山区突发局地强对流天气, 强降水持续时间长达40 min, 短时强降水造成舟曲县三眼峪、罗家峪等沟系出现特大泥石流地质灾害, 特大泥石流冲进县城, 并截断白龙江形成堰塞湖, 造成一半县城被淹, 一个村庄整体淹没, 县城5 km长、500 m宽的区域被夷为平地, 上千人遇难, 数百人失踪, 受灾4.7万人, 直接经济损失90亿元^[2]。由短时间内的强降水引发的山洪、泥石流在西北地区乃至西南地区山区比较常见^[3-5], 然而“8.8”舟曲特大泥石流属于人员伤亡、经济损失特别严重的一次, 有必要对其产生的天气背景进行分析, 以得到一些有意义的短期预报、

短临预警指标。笔者利用自动站、云图、探空等资料, 对此次过程的天气背景、形成机理、物理成因等进行了深入研究。

1 天气概况

1.1 降水实况 从加密自动站逐小时雨量分布图(图略)上看, 这次过程降水呈明显的局部短时强对流性质, 降水时段集中、空间分布极度不均。7日22:00~8日08:00, 舟曲县城降水量12.8 mm, 而县城以东约10 km的东山镇降水量达96.3 mm, 其中7日23:00~8日00:00降水量达77.3 mm。发生特大泥石流的三眼峪、罗家峪上游当时没有自动气象站, 但根据泥石流的规模估计当时雨强很大, 雨量也应远大于县城。

1.2 单站地面气象要素演变 从舟曲站7日18:00~8日03:00逐小时压、温、湿、风变化(图1)可以看到, 从7日23:00开始, 温度突降, 湿度猛增, 仅在1 h后降温达5.2℃; 风向在22:53突然由东南风转为西北风, 并在23:01风速达最大, 为12.7 m/s, 8日01:00以后风向又恢复为东南风; 气压在8日01:00达最大, 为864.1 hPa, 3 h变压达3.4 hPa。由单站要素变化可见, 在7日23:00~8日00:00有中尺度对流系统经过舟曲。监测单站气象要素变化带来的中小尺度天气系统信息在短临预报中有重要作用。

2 云图特征

舟曲县地处南秦岭山地, 白龙江谷地海拔较低, 在1 200 m左右, 南北两侧的山地高峰可达4 000 m以上。距离舟曲最近的多普勒雷达在水天, 距舟曲直线距离超过125 km, 且受地形影响, 低仰角没有资料, 因此雷达对舟曲局地强对流的预报预警能力十分有限。在汛期我国FY-2D和FY-2E双

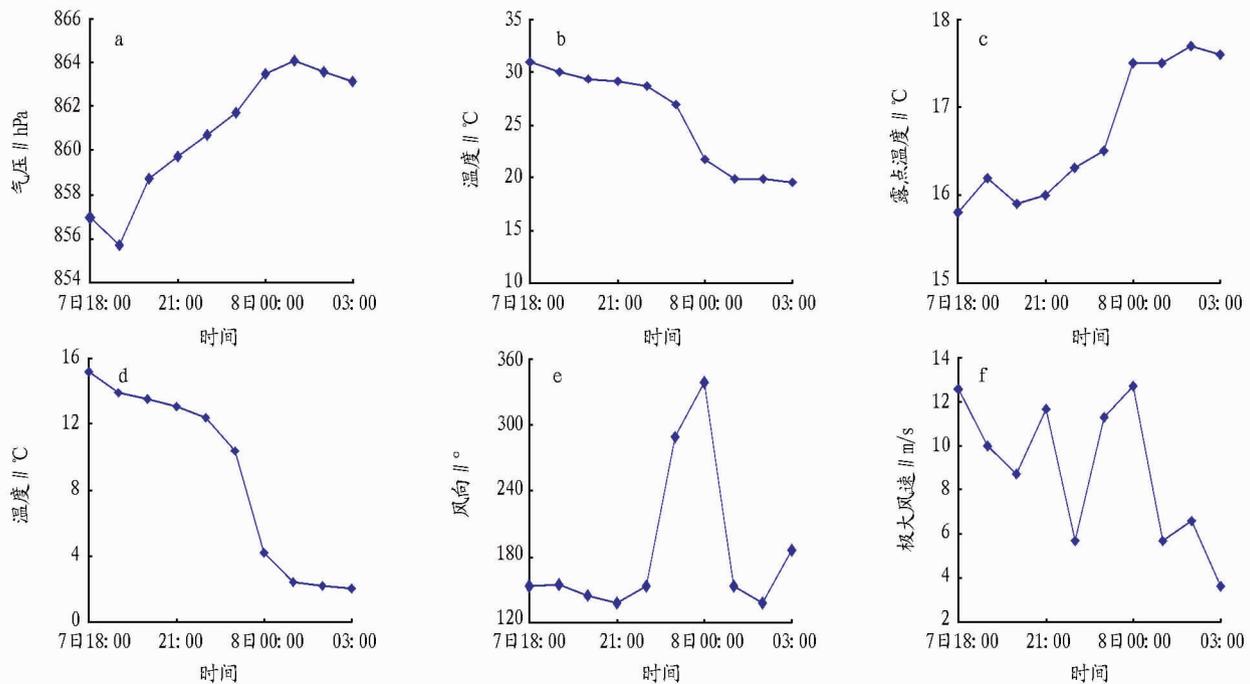
基金项目 甘肃省气象局重点项目(2011_03); 中国气象局关键技术项目(CMAGJ2013Z09); 中国气象局行业专项(GYHY201206029)。

作者简介 狄潇泓(1975-), 女, 甘肃兰州人, 高级工程师, 从事中短期天气预报工作, E-mail: xhdi@sohu.com。

收稿日期 2013-04-06

星提供 15 min 间隔的卫星云图产品,为监测强对流天气的有力手段和工具。分辨率 1.25 km 的可见光云图显示,7 日午后甘南上空对流云发展,到 17:00,上冲云顶明显,证明此处

对流发展深厚。因为强降水主要发生在深夜,这里以分辨率 5.00 km 的红外云图(图 2)为主分析造成舟曲强降水的中尺度对流云团的发生、发展。



注:a. 气压;b. 温度;c. 露点温度;d. 温度露点差;e. 极大风向;f. 极大风速。

图 1 2010 年 8 月 7 日 18:00 ~ 8 日 03:00 舟曲站逐小时压、温、湿、风演变

2.1 初始阶段 由 8 月 7 日中午前后的云图动画可以看到,南亚高压在青藏高原上空,其外围有细小的对流云团发展,并沿南亚高压外围顺时针气流转动。14:00,内蒙东南部至河套一带有冷锋云系发展东移,其尾部东移至高原东侧附近,与顺时针旋转的南亚高压东部相遇,锋面云系尾部即青海东部、甘南、川西北,非常小块的对流云团开始出现;15:00 ~ 16:00,分散的对流云团迅速发展,逐渐演变为与高空南亚高压东侧边界大致平行的 2 条弧线云带,云顶亮温达 205 K。

2.2 发展阶段 7 日 15:00,对流云团进入强烈发展阶段,2 条云带中最强的云团迅速合并,最强亮温 195 K;18:00,云带向东北部发展出一小块,整个云系呈顺时针旋转;19:00,东北部的云团迅速增强,云顶温度 195 K 以下的面积迅速扩大,形成一个长轴约 320 km、短轴约 115 km 的中尺度对流云团,按尺度分类它属于中 α 对流系统;20:00,中 α 对流系统形成一个逗点状云系,云顶最强亮温降至 190 K。

2.3 成熟阶段 7 日 21:00 ~ 23:00,对流系统达到成熟阶段,云团顶部温度 < 200 K 的区域偏心率变小,云系长轴约 150 km、短轴约 140 km,接近圆形,此时云系尺度为中 β 对流系统;对流云团东南边缘亮温梯度很大,东部边缘接近舟曲,与此时段区域自动站逐小时雨量对照发现,对流系统东南边缘亮温梯度大的地方出现短时强降水。

2.4 消亡阶段 8 日 00:00 以后,对流云系开始消亡,云顶亮温 < 200 K 的范围迅速缩小,且偏心率缩小,更接近圆形,云团边缘亮温梯度变小,此后,强降水逐渐结束。

以上分析发现,这次强天气在云图上表现为东移锋面云

系尾部在顺时针旋转的南亚高压东部激发起多个很小的对流云团,这些对流云团于午后强烈发展、合并为中 α 对流系统,中 α 对流系统又集中能量,发展为孤立中 β 对流系统,并在其前进方向右后方边缘亮温梯度大的地方出现短时强降水。

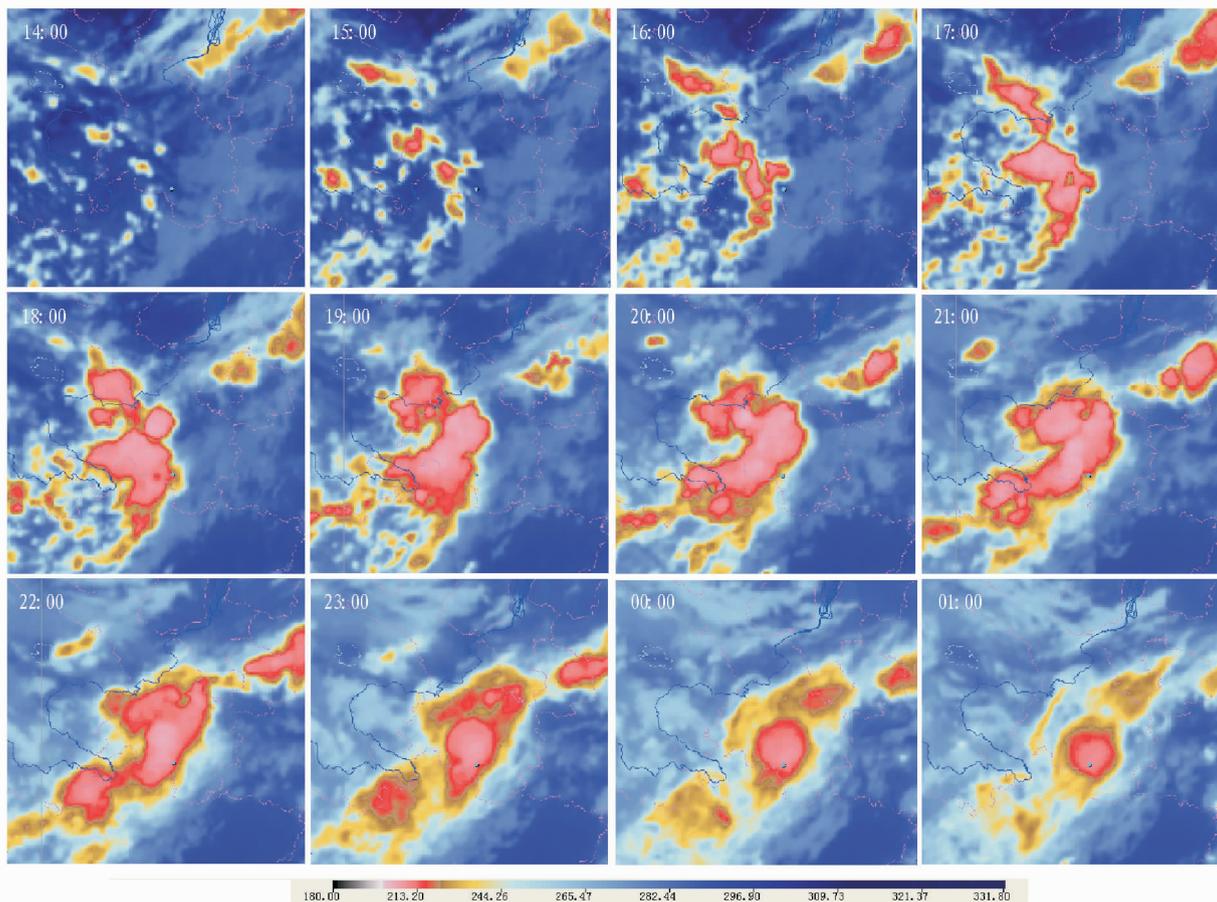
3 天气形势背景分析

3.1 500 hPa 形势 8 月 7 日 08:00,东亚 30° ~ 40° N 为副热带高压带,有东西 2 个中心,西中心在青海,高度为 5 920 gpm,东中心在日本;大陆高压中心东南侧,甘南到玉树有一横向切变线;亚洲高纬度为低压槽区,有短波槽分裂东移至黄河以西 105° E 附近。20:00,黄河以西的小槽发展并东移至河套加深,使得副热带高压带在 110° E 附近明显变窄,舟曲处于高压前部的西北气流中,高度约为 5 890 gpm。

3.2 700 hPa 形势 7 日 08:00 槽线位于黄河上游沿线,其后部锋区明显;四川盆地经陇东南的西南气流建立,陇东南到陕北达低空急流标准。20:00,上述低压槽北段迅速东移至河北,南段略南压东移。

3.3 地面形势 7 日 08:00 蒙古西部经河西东部到青藏高原东部有地面冷锋,冷锋尾部,高原东部有闭合低压配合,中心为 1 000.0 hPa,此后,冷锋头部较快速的向东移动,尾部在高原东部徘徊;14:00,地面低压略东移,中心在玛曲附近,强度达 997.5 hPa,此时甘肃省河东大部基本为一致的东南风,大部站点风速超过 6 m/s,到 20:00,冷锋头部移至华北西部,但高原东部低压维持 997.5 hPa,甘肃中南部(除舟曲)、青海东部有雷暴发生;20:00 后,锋面移出后,河东大部转为西北风。

3.4 200 hPa 形势 7 日 08:00,南亚高压中心在 80° E 附



注:蓝点为舟曲;色标为 FY2E 红外亮温,单位为 K。

图2 2010年8月7日14:00~8日01:00逐时红外云图

近,40° N 附近高空急流维持,急流右侧、高原东北侧、包括舟曲上空有风场辐散区;20:00,南亚高压中心东移,辐散区有所扩大,青海东部、甘肃中、东部及甘南均位于辐散区之下。200 hPa 上空的辐散有利于产生抽吸作用,使低层出现上升运动。

以上分析可见,这次过程前期,500 hPa 副高控制甘南、陇南,700 hPa 西南风发展,使得这一地区储备了以高温高湿为表现的充沛的水汽和能量;8月7日,西风带中低槽东移,使该地区对流不稳定潜势大大增加,当地面冷锋尾部扫过时,在这一地区的对流活动一触即发;200 hPa 南亚高压东侧的辐散气流形成抽吸效应,加剧了对流系统的发展。

4 强对流天气中尺度分析

2009年4~9月国家气象中心开展了中尺度天气的天气图分析业务试验,建立了以中尺度天气的天气图分析^[6]和客观物理量诊断^[7]为基础的短时和短期强对流天气潜势预报业务流程^[8],兰州中心气象台也与2010年汛期开始开展中尺度分析业务。目前,中尺度天气的高空地面综合图已成为分析产生强对流天气的中尺度系统环境和强对流天气潜势预报的重要方法和依据。

4.1 T-lnP 图应用 舟曲在合作到武都之间,更靠近武都。从合作和武都(图3)的探空曲线图可以看到,7日08:00,合作和武都上空层结稳定,沙氏指数 $<0^{\circ}\text{C}$,武都K指数为38

$^{\circ}\text{C}$,仅有400 hPa 以上有不稳定能量,Cape 值均不大,合作40.7 J/kg,陇南仅有14.7 J/kg,而对流抑制合作为425.7 J/kg、武都632.2 J/kg。20:00,大气变得极不稳定,合作、武都沙氏指数变成负数,武都K指数增大至43 $^{\circ}\text{C}$;合作600~250 hPa 出现不稳定能量,Cape 值为353.3 J/kg,武都上空几乎整层不稳定,Cape 值达757.7 J/kg,且风垂直切变明显,300 hPa 以下风向随高度顺转,风速先减小后增大,300 hPa 以上风向随高度逆转,风速随高度增大,表明武都上空,中低层暖湿不稳定,配合高层偏北气流下干冷空气入侵,激发和增强了不稳定能量的释放,有利于产生局部地方强降水。

4.2 垂直位温分析图分析 分析舟曲附近的合作、武都(图4)、红原3站垂直位温分析图可见,7日08:00,舟曲附近区域600 hPa 以下很湿,600 hPa 以上干,风向随高度顺转有暖平流,700 hPa 几乎饱和;400 hPa 以下大气处于对流不稳定状态;7日20:00,600 hPa 以下湿,600 hPa 以上干,250~300 hPa 风切变显示该层有冷平流,600 hPa 以下大气处于对流不稳定状态;8日20:00,湿层变厚,对流不稳定消失,垂直风切变变小。

4.3 中尺度天气的高空地面综合图分析

4.3.1 水汽条件。7日08:00,700 hPa 四川东北部到陇南为相对湿度 $>90\%$ 的高湿区,比湿在11~12 g/kg,远大于甘肃南部短时强降水指标;500 hPa 相对湿度也接近90%。20:00,

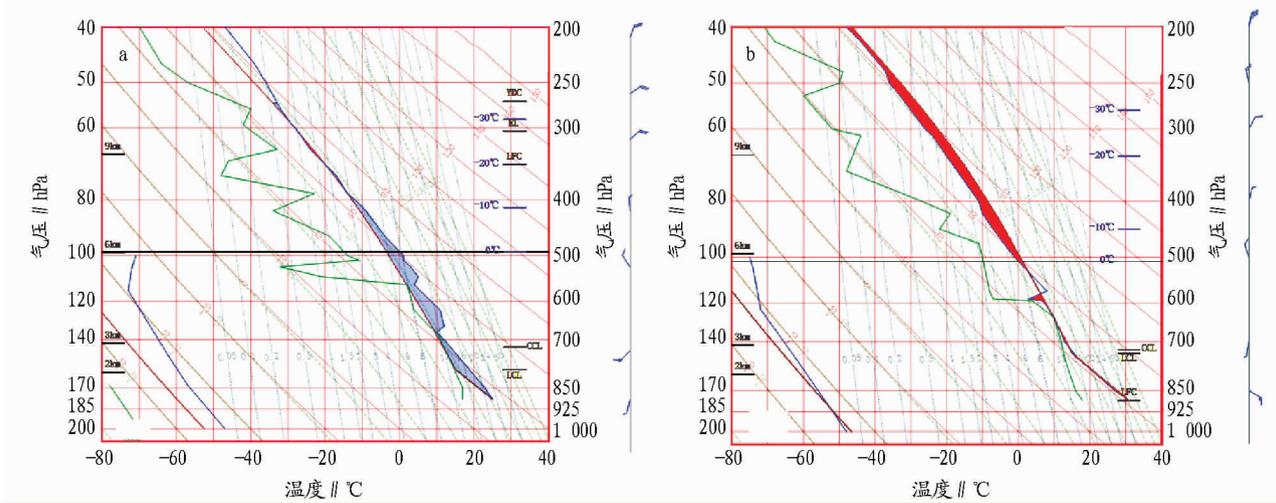


图3 2010年8月7日08:00(a)和20:00(b)武都站 T-lnP 图

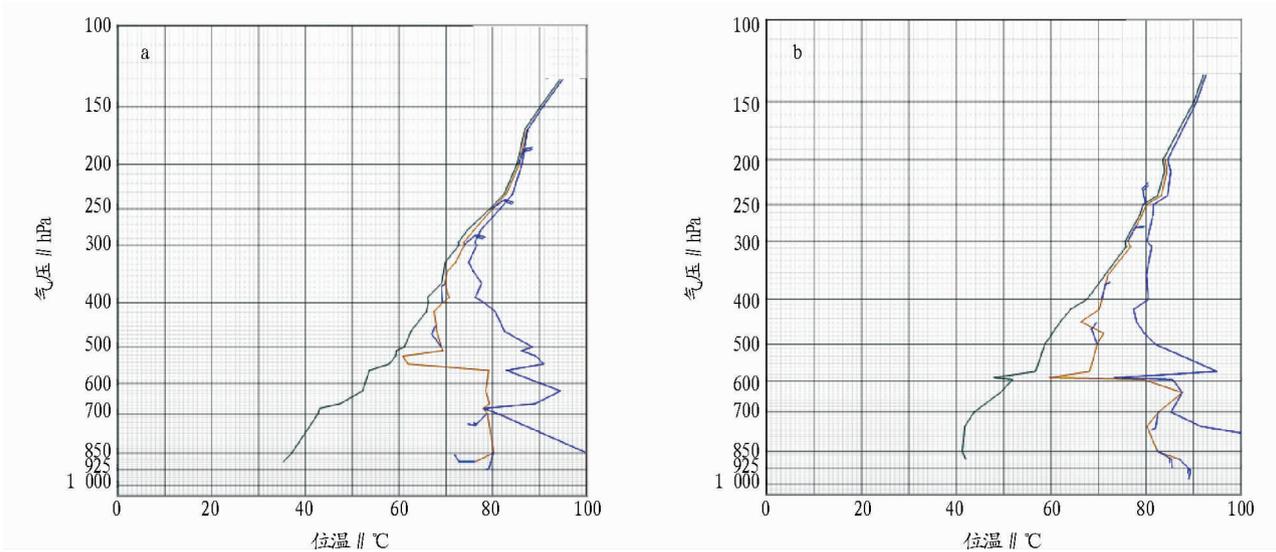
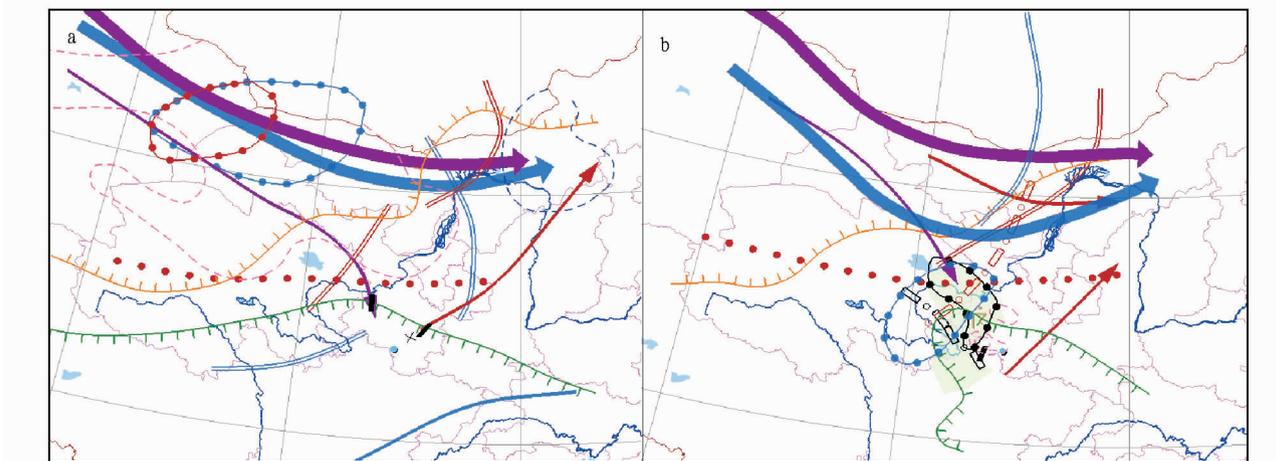


图4 2010年8月7日08:00(a)和20:00(b)武都站垂直位温分析图



注:图中各标志分别表示为
 200 hPa流线, 200 hPa急流, 500 hPa流线, 500 hPa急流, 500 hPa降温区, 500 hPa切变线,
 700 hPa流线, 700 hPa暖脊, 700 hPa降温区, 700 hPa切变线, 地面3小时正变压, X地面辐合线。

图5 2010年8月7日08:00(a)、20:00(b)天气系统配置图中尺度综合分析

700 hPa 上述高湿区维持,范围向陇南南部缩小;500 hPa 四川盆地到甘肃省南部(包括舟曲)为由早晨的湿舌转为干舌。700 hPa 水汽通量散度 08:00 在甘肃南部为明显辐散,20:00

转为弱的辐合。
4.3.2 不稳定度层结条件。500 hPa,08:00 武威以东处在假相当位温 $\theta_{se} 70\text{ }^\circ\text{C}$ 高能舌中,20:00 高能舌呈东西向,范围东

移扩展,中心加强至76℃以上,舟曲有75℃;700 hPa,08:00,0se高能舌呈西南—东北向,中心在甘南西部,为80℃,20:00甘南、陇南西部、川北为84℃高能中心,舟曲达85℃。舟曲上空,500 hPa以下由08:00的大气处于对流中性状态,到20:00的大气处于对流不稳定状态,20:00 700 hPa甘肃省大部处在12℃以上的暖区中,而500 hPa则出现-2℃的降温,说明该地上空对流不稳定潜势增大。

4.3.3 抬升条件。8月7日08:00的大气处于对流不稳定状态,地面上甘肃省处在冷锋尾部,500和200 hPa急流位于40°N;700 hPa,陇东南有西南风急流,武威到青海东部有切变线。20:00,迭部与舟曲之间有风向切变,舟曲以西有一条西北—东南向的干线,此时舟曲3 h变压达2.2 hPa;200 hPa急流与08:00基本一致,舟曲位于辐散区;500 hPa急流在河西气旋性曲率加深,槽线在内蒙中部到武威;700 hPa河东处在显著西南气流中,河西西部到青海东部有干线,槽线在河套北部到河西东部。

综上所述,8月7日,甘肃河东大部低层水汽条件较好,存在切变线、辐合线;中层有干空气侵入,中层干层的出现和存在有利于对流有效位能在中高层的产生、积聚和释放;高层为辐散区,有利于下层形成长久的上升运动(图5)。上述条件均具备后,冷锋尾部恰在此时经过,起到触发强对流天气产生的作用,是产生短时强降水的主要原因。

5 小结

(1)单站气象要素变化带来的中小尺度天气系统信息在短临预报中有重要作用。

(2)卫星云图上,要注意南亚高压东部非常细小的云图,这些云团在东移锋面云系尾部进入后强烈发展,且在有利的温湿条件、不稳定的层结、较大的高空风垂直切变下,迅速发展、合并成 α 对流系统,在其前进方向右后方边缘亮温梯度大的地方出现短时强降水。

(3)副高边缘的高能水汽输送使甘肃南部具备对流发展的潜势;500 hPa小槽、200 hPa辐散区、地面冷锋的配合,激发中尺度对流系统(MCS),使其得以发展;有利的层结条件和高空风垂直切变使MCS得以加强,最终造成舟曲短时局地强降水,并引发特大山洪泥石流。

(4)探空资料和中尺度天气的高空地面综合图分析的综合应用对分析产生强对流天气的中尺度系统环境非常有用。

参考文献

- [1]《中国气象灾害大典》编委会.中国气象灾害大典.甘肃卷[M].北京:气象出版社,2005:329.
- [2]中国气象局.中国气象灾害年鉴(2011年)[M].北京:气象出版社,2011:149-150.
- [3]吴莉娟,肖天贵,顾林康.四川凉山平川镇“7.14”泥石流灾害的气象成因[J].成都信息工程学院学报,2011,26(6):675-686.
- [4]冯军.“8.12”陇南市特大暴雨与落区和泥石流点预报[J].地质灾害与环境保护,2011,22(4):9-15.
- [5]王锡稳,陶建红,冯军,等.陇南“5·31”特大泥石流灾害成因分析[J].气象,2004,30(10):43-46.
- [6]朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理与方法[M].北京:气象出版社,1992:593.
- [7]俞小鼎,姚秀萍,熊廷南.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:91-92.
- [8]张小玲,张涛,刘鑫华,等.中尺度天气的高空地面综合图分析[J].气象,2010,36(7):143-150.
- [9] MACHADO R M D. Sulfite content in some Brazilian wines; analytical determination and estimate of dietary exposure[J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(3): 383-389.
- [10] VANDEVIJVERE S. Estimate of intake of sulfites in the Belgian adult population[J]. Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2010, 27(8): 1072-1083.
- [11] BEMRAH N, VIN K, SIROT V, et al. Assessment of dietary exposure to annatto (E160b), nitrites (E249-250), sulphites (E220-228) and tartaric acid (E334) in the French population; the second French total diet study [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2012, 29(6): 875-885.
- [12] 陈君石. 危险性评估与食品安全[J]. 中国食品卫生杂志, 2003, 15(1): 3-6.
- [13] 食品添加剂使用卫生标准 GB2760-2007[S]. 2007.
- [14] VERGER P H, CHAMBOLLE M, BABAYOU P, et al. Estimation of the distribution of the maximum theoretical intake for ten additives in France [J]. Food Additives and Contaminants, 1998, 15(7): 759-766.
- [15] SIJTSEMA S J, JESIONKOWSKA K, SYMONEAUX R, et al. Perceptions of the health and convenience characteristics of fresh and dried fruits[J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 49(2): 275-281.
- [16] SOLEAS G J, DIAMANDIS E P, GOLDBERG D M. Wine as a biological fluid; history, production, and role in disease prevention [J]. Journal of Clinical Laboratory Analysis, 1997, 11(5): 287-313.
- [17] VALLY H, THOMPSON P J. Role of sulfite additives in wine induced asthma; single dose and cumulative dose studies [J]. Thorax, 2001, 56(10): 763-769.
- [18] STOCKLEY C. Sulfur dioxide and the wine consumer [J]. Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker, 2005, 501: 73-76.
- [19] NURY F S, TAYLOR D H, BREKKE J E. Dried fruits stability, modified direct colorimetric method for determination of sulfur dioxide in dried fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1959, 7(5): 351-353.
- [20] MIRANDA G, BERNA A, SALAZAR D, et al. Sulphur dioxide evolution during dried apricot storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(2): 531-533.
- [21] STADTMAN E R, BARKER H A, MRAK E M, et al. Storage of dried fruit-influence of moisture and sulfur dioxide on deterioration of apricots [J]. Industrial & Engineering Chemistry, 1946, 38(1): 99-104.
- [22] 李华, 王华, 袁春龙, 等. 葡萄酒化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 112-114.
- [23] HARDISSON A, RUBIO C, FRÍAS I, et al. Content of sulphite in frozen prawns and shrimps [J]. Food Control, 2002, 13(4): 275-279.
- [24] OTWELL W E. Use of sulfites and phosphates with shrimp [C]//Proceedings of the 17th Annual Tropical and Subtropical Fisheries Technological Conference of the Americas. Mexico, 1992.
- [25] MARTÍNEZ-ÁLVAREZ ÓSCAR, MARÍA DEL CARMEN GÓMEZ-GUILLÉN, PILAR MONTERO. Chemical and microbial quality indexes of Norwegian lobsters (*Nephrops norvegicus*) dusted with sulphites [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(6): 1099-1110.
- [26] SAJID MAQSOOD, SOOTTAWAT BENJAKUL, FERREIDOOON SHAHIDI. Emerging role of phenolic compounds as natural food additives in fish and fish products [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(2): 162-179.
- [27] 张双灵, 赵奎浩, 周德庆, 等. 水产品中亚硫酸盐的安全性及残留状况检测 [J]. 现代食品科技, 2007, 23(3): 60-63.
- [28] 方苗利, 江阳. 2005年杭州市各类食品亚硫酸盐含量的检测与分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(5): 572-573.
- [29] 李晓瑜. 我国食品卫生标准的现状与发展趋势 [J]. 食品科学, 2006, 27(9): 275.

(上接第5447页)