

临夏地区局地突发强降水天气的综合分析

张锦泉^{1, 2, 3} 杨先荣^{1, 2, 3} 邓吉录³ 闫旭东³ 杨振鑫³ 马丽婷³

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020; 2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 3 甘肃省临夏回族自治州气象局, 临夏 731100)

摘要: 基于1990—2011年主汛期(6—8月)青藏高原东北侧临夏地区局地出现的132例25.0~140.0mm突发性强降水过程, 从暖湿气流输送、热力、动力场结构、天气系统、强对流云发展形势、近地面至高空的流场特征、地形及相关物理量场分布形势等角度出发, 揭示了青藏高原东北侧边坡局地突发性强降水的成因。综合强降水发生前后各时次的高空、地面资料, 追踪研究其影响系统、触发机制、成因等, 通过对其进一步细致分析, 加深对高原边坡地带突发性强降水过程触发机制的认识, 寻找相关预报因子, 以期提高对此类突发性强天气过程的认识, 配合数值预报形势场及相关物理量场, 启发新的预报着眼点。

关键词: 突发性强降水, 触发机制

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.03.008

The Cause Analysis of Local Abrupt Heavy or Torrential Rain in the Linxia Area

Zhang Jinquan^{1, 2, 3}, Yang Xianrong^{1, 2, 3}, Deng Jilu^{1, 2, 3}, Yan Xudong³, Yang Zhenxin³, Ma Liting³

(1 Lanzhou Arid Meteorological Institute of CMA/Dry Climate Change Mitigation and Open Key Laboratory of CMA/Dry Climate Change Mitigation and Key Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730020

2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081 3 Linxia Hui Autonomous Prefecture Meteorology of Gansu Province, Linxia 731100)

Abstract: The text revealed the sudden rain of down-scaling northeast area Qinghai-Tibet Plateau based on 132 rain and rainstorm samples which occurred from June to August between 1990 and 2011 in the area by analyzing warm air transport, thermal field, dynamic field structure, weather system, strong convective cloud development situation, flow characteristics from surface to high level, terrain and physical distribution situation. We investigated the onset of sudden heavy rains with the number of occurrences and the data collected both at high altitudes and on the surface ground before and after the precipitation. Through a further careful analysis of the track system, the trigger mechanism and their causes of formation, we had a better understanding of such abrupt weather processes, thus initiating a new prediction method so as to improve the accuracy of our future forecast.

Keywords: sudden heavy rain or rainstorm, triggering mechanism

1 引言

青藏高原东北侧局地突发性强降水, 其出现的特点是局地性强, 历时短, 易引发山洪、泥石流, 造成严重自然灾害。临夏地区是青藏高原东北侧具有代表性的边坡地区之一, 盛夏是突发性强降水相对集中出现的时期, 突发性强降水也是这一时期主要的自然灾害之一, 每次发生, 损失十分惨重。强降水主要是在中小尺度天气系统入侵本地区后产生的, 由于特殊的地形阻挡作用, 突发性强降水分布特征和灾害强度与

当地地形地势有着密切的关系^[1, 2]。根据强降水的实况及灾害资料, 对区域性突发性强降水(≥3站)、单站局地突发性强降水的影响系统追踪分析, 探究其触发机制^[3], 特别是对近地面切变线强度、范围及地形影响的研究表明, ≥50.0mm的暴雨, 88%处于副热带高压和西风带气流汇合的范围内, 也可以说是在副高影迹区的近地面流场辐合区域里。

2 研究区域与数据

使用高原东北侧边坡临夏地区(34°57'—36°12'N, 102°41'—103°40'E) 6县1市7个站(永靖县、东乡县、临夏市、广河县、和政县、康乐县、积石山县)的资料和近几年新建的141个乡镇自动雨量站资料, 以及历史天气图和强降水过程档案、MICAPS常规资

收稿日期: 2012年8月29日; 修回日期: 2013年3月14日
第一作者: 张锦泉(1972—), Email: qqtz0524@163.com
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206029)

料等,分析发现1990—2011年盛夏(6—8月)20—次日20h降水量在25.0~140.0mm的132例强降水过程中,≥50.0mm的暴雨过程35例,占总次数的26%;区域性(≥3站出现)≥25.0mm的强降水61例,占46%。132例强降水中98例(占74%)是以雷雨性质出现的,视为典型的突发性强降水。降水强度3h降水量≥25.0mm,半日(12h内)≥25.0mm,均列为突发强降水。

3 强降水的空间和时间分布特征

3.1 空间分布特征

经统计分析表明,临夏地区盛夏降水量在25.0~140.0mm的132例大(暴)雨中强降水61例,占46%;区域性(≥3站出现)的有98例,占74%;以雷阵雨形式出现的占72%(88/122);出现在积石山脉至太子山脉前麓的占72%(88/122)。表明临夏的强降水以大雨为多,暴雨只占1/5,有6成的强降水出现在局地小范围,多数具有突发性,与地形关系密切,存在显著的“迎风坡效应”。经分析表明:临夏强降水出现的频次西南部多、强度大、东北部少、强度弱(表1)。

3.2 时间分布特征

通过对临夏各地1990—2011年强降水出现的季节分析发现,全年除冬季(12—2月)外,其他三季均有可能出现≥25.0mm的强降水,但以夏季和初秋出现的频率最高。这主要与活跃的夏季风有关。7—8月强降水出现的次数占全年总次数的62.5%,≥100.0mm的大暴雨全部集中在7—8月,是强降水出现频率最高的时段。

各地强降水出现的时段一般在16—22时。此时段

表1 临夏地区各县不同时段最大降水量(mm)及出现时间

地名	10min	1h	1d
永靖县	13.4	29.6	44.5
	1976-10-26	1976-06-20	1978-08-07
东乡县	20.2	44.5	64.7
	1973-08-16	1973-08-16	1970-08-18
广河县	11.1	26.0	77.5
	1979-08-10	1979-07-26	1970-08-18
临夏市	19.8	48.6	82.1
	1971-07-12	1970-08-18	1970-08-18
和政县	20.4	35.4	119.3
	1971-07-10	1971-07-6	1979-08-10
康乐县	15.9	43.7	137.7
	1979-07-26	1976-08-2	2005-07-01
临夏县			58.0
			1972-08-23
积石山县			106.2
			1996-07-26

出现的强降水,具有突发性强、降水强度大、过程移速快、局地性强、分布不均、致灾性强等特点。如降水持续时间超过上述时段,则有可能出现≥100.0mm大暴雨。

4 特定地形与汇流特征

4.1 山脉阻挡作用

临夏地区受青藏高原东北侧特殊的地理环境和夏季风的共同影响,使得该地降水量分布极不均匀,突发性和局地性很强。本地区地势西南高、东北低,境内的太子山、积石山对强对流天气的形成,尤其是对局地突发性强降水具有特殊作用(图1)。

太子山位于该地区南部,呈东西走向,积石山位于该地区西部,呈南北走向。两山相连构成一“L”型的地势,主山脉海拔高度为3500~4500m。这种地形特征,对偏北入侵的冷空气和偏东移来的暖湿气流都有明显的阻挡作用,使气流阻挡处产生强烈的上升运动。由于高陡山体影响,尤其是从近地面到700hPa偏东移来的暖湿气流,遇到积石山和太子山山体后常产生系统性的扰动形势,由于系统前高空气流下沉中产生增温效应,导致流体动力与热力的不稳定形势强烈发展。突发性强降水产生前的1~3h内,从本地区偏东来的暖湿气流明显强于西北方的冷空气,这种聚能形势,常在强降水落区附近形成一切变线,在切变线区产生强烈的垂直运动。这种形势在积石山、临夏、和政、康乐等地与山脉前麓迎风坡宽40km、长70km的多雨带和山脉走向完全一致。山体阻挡气流作用对本地区突发性强降水的产生,具有地形作用下显

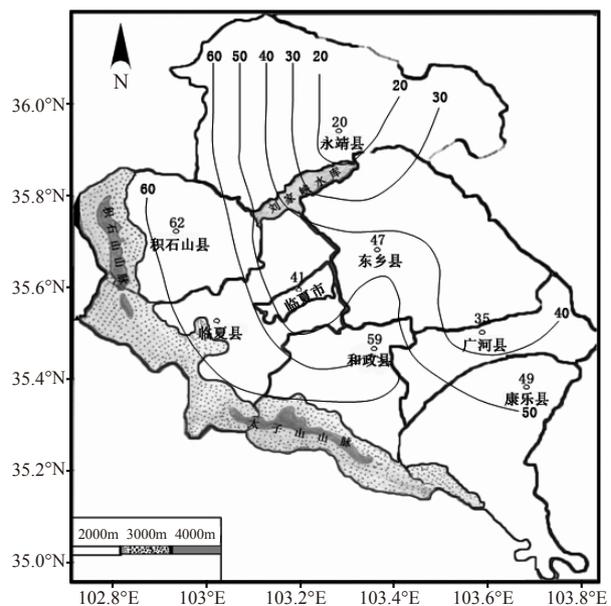


图1 1990—2011年主汛期(6—8月)临夏地区各县突发性大(暴)雨过程分布形势

著的增强作用(图2)

4.2 地形抬升作用

当一强对流系统移到临夏地区这一特定的地形时,偏北和偏东两支气流由于山体阻挡作用,在本州中部大夏河东侧汇合后,产生强烈的上升运动,高空西风急流轴引导冷空气入侵到此形势场时,在山体前产生涡旋性气流,垂直运动更加剧烈。如果研究讨论地形对气流的抬升作用^[4],那么气流遇到迎风坡被迫抬升所产生的上升速度 W 可写成:

$$W = u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \quad (1)$$

式中, W 为上升速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); u, v 分别为地面风速 V 在 x, y 方向上的速度分量,即 $u = |V| \sin(\alpha - 180^\circ)$, $v = |V| \cos(\alpha - 180^\circ)$; α 为风向; H 为地形高度(m); $\frac{\partial H}{\partial x}, \frac{\partial H}{\partial y}$ 分别为 x, y 轴的坡度分量。将式(1)写成差分形式:

$$W(i, j) = u(i, j) \frac{H(i+1, j) - H(i-1, j)}{2x} + v(i, j) \frac{H(i, j+1) - H(i, j-1)}{2y} \quad (2)$$

式中, x, y 分别为 x, y 方向的网格距; i 方向为 x 轴, j 方向为 y 轴。

可以看出,当水平风速越大,山的坡度越大,且风向与山的走向越垂直时,抬升速度 W 就越大。用式(2)来计算500hPa上升速度时,取经纬网格为 $3.5' \times 2.5'$,计算区域选择地理范围为 $102^\circ 43' - 103^\circ 50' \text{E}, 35^\circ 10' - 36^\circ 10' \text{N}$ 。

分析结果表明,本地大多数强降水出现前1~3h,地面平均风速约为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,近地面层多为 $0^\circ - 90^\circ$ 的风,且以NE风出现最多。分别计算风向为N, NE和E,风速为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的地形抬升速度 W ,结果显示,在积石山县至和政县沿山地带的多雨区, $W > 0$,为上升区域,平均 W 为 $0.14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而沿积石山

和太子山山体前,上升速度为 $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。表明地形抬升产生的上升速度在突发性强降水形成中起到了重要的作用,它与高层冷空气和低层暖湿气流的叠加中形成一山体前的扰动形势,导致流体动力的不稳定形势加强,促使该区域垂直运动更加强烈,产生强降水的强度更大,此形势占强降水总次数的86%(即105次/122次)。表明本地区西部和南部高陡山脉阻挡,气流聚积爬坡,导致“迎风坡效应”作用下强烈的垂直运动,即出现突发性很强的大暴雨。

5 流场辐合与大(暴)雨落区

5.1 流场辐合

根据26例 $\geq 50.0\text{mm}$ 暴雨、51例区域性(≥ 3 站出现) $\geq 25.0\text{mm}$ 的大(暴)雨的时空分布和垂直流场结构分布特征,研究表明,甘肃中部局地发生强对流天气过程是大尺度天气背景形势下中小尺度天气系统局地以动力、热力扰动结果产生的,必然引起当地动能、热能、水汽和涡度、垂直速度等物理量的清晰反映,对局地突发性大暴雨系统的发展起反馈作用。

当地的特殊地形也起着重要的作用。每次大暴雨来临前的2~6h内,近地面的流场辐合形势在临夏中部向西发展,则本地区积石山脉前迎风坡区域降水量特别强;中部的东乡、临夏市、和政、康乐等有辐合场形成,则临夏地区中部将出现强降水。这种现象预示性很强,将强降水出现的14—22时段低空流场用

“切变低涡变形($V = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$)”和“伸缩切变变形

($F = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$)”两种近地面气流辐合分析表明,局地突发性强降水出现在暴雨前2~6h地面流场辐合中心的左下方,对暴雨落区有很好的指示性。

5.2 主要影响系统

主汛期(6—8月)是临夏地区产生强降水的主

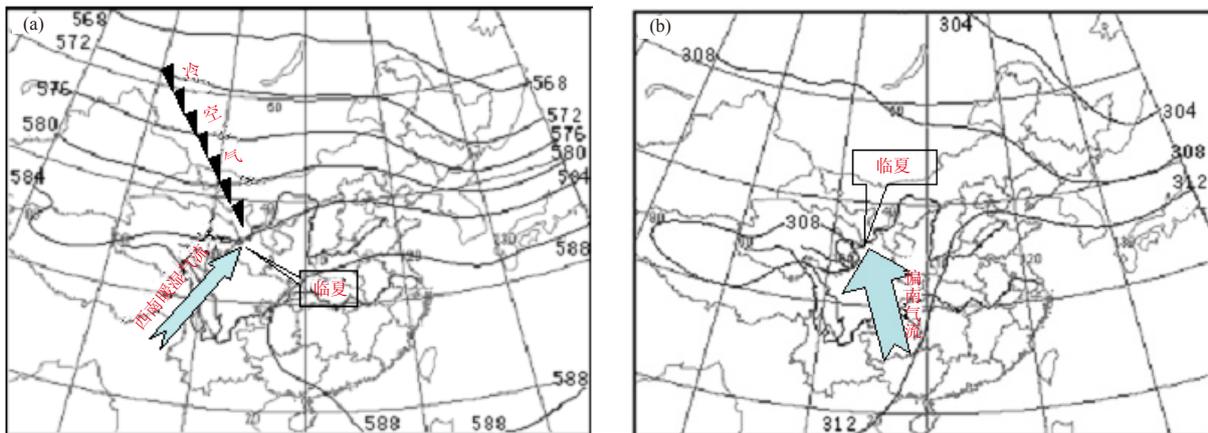


图2 临夏地区突发性强降水500hPa (a) 和700hPa平均环流形势 (b)

要时段,其环流背景主要是东高西低型。甘肃河西走廊的地面冷锋还未进入临夏地区,500hPa高原暖湿气流(涡)进入后,也能产生局地突发性强降水。其表现的主要流场结构是,500hPa高原中部有支SW气流向兰州输送,这支暖湿气流来自高原南侧的雅鲁藏布江河口,经黑河、托托河、玉树、吉迈向合作至兰州方向发展,动力强度为 $4\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $T-T_d\leq 2.5^\circ\text{C}$,700hPa高原边坡武都至汉中有支偏南急流,强度 $\geq 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $T-T_d\leq 2.0^\circ\text{C}$,发展到平凉至兰州之间的这支暖湿气流迅速折转向兰州、西宁方向发展,并与500hPa SW暖湿气流在临夏地区左上空叠加,形成了深厚湿层。此时,甘肃河西上空若有支西风带气流扰动,短波槽分裂强度为 $\Delta T_{24}\leq 1^\circ\text{C}$ 冷空气进入高湿层结内,产生强烈的垂直运动。突发性强降水产生在深厚高湿区与西风急流轴边缘线右侧副热带高压东退后的影迹区右下方,强降水出现前1~2h地面流场辐合区是局地突发性强降水的落区。本地区出现的132例大(暴)雨中,116例符合上述条件,占突发性强降水总次数的95%。这就充分表明突发性强降水的垂直流场结构从近地面到高空,过程前有一定的辐合形势^[5-7],低层偏E风和SE风急流输送的暖湿气流,与较强的NW风急流带来干冷空气在本地相会,本地区特殊的地形对辐合上升运动有明显的促进作用,促使产生强烈的对流运动^[8],2007年8月25日临夏地区的特大暴雨气流发展形势(图3),充分说明了低空气流辐合的重要性,突发性强降水在这种流场形势下出现的占88%。

5.3 中尺度对流云团成因

甘肃中部发生局地突发性强降水,从区域性(≥ 3 站) $\geq 25.0\text{mm}$ 的51例过程分析研究表明,高原中部的玉树、吉迈、都兰、西宁等区域出现2~5个强对流云团,云顶温度 $\leq -50^\circ\text{C}$,1~3个“云核”向高原边坡强降水区发展,这种大小不一的 β 中尺度云团,呈自西向东发展,范围差异很大,小至1.5~2.5纬距,大的可达4~8个纬距。这种强对流云团(带)

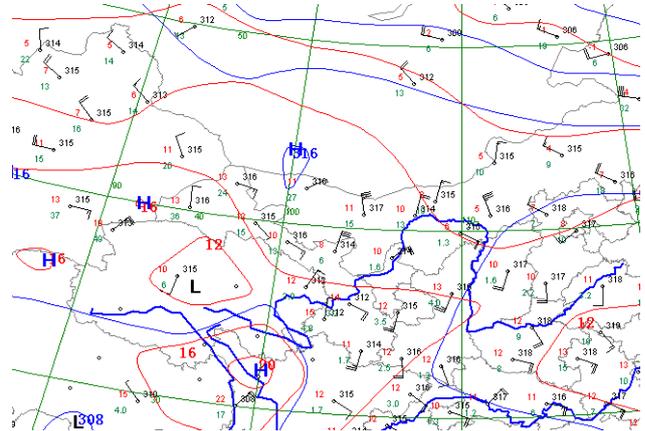


图3 2007年8月25日20时临夏地区700hPa等高线与气流辐合形势

均与暖湿系统相配合,其性质是该区域大多数突发性强降水,出现在对流层下半部700hPa相对入流辐合区域内,强对流“云核”(单体)出现在暖性系统右后象限,初生时多为豆点云型(群),有时呈带状排列,并与高原短波系统移向一致,如2007年8月25日21时甘肃和政县出现突发性大暴雨MCC云团(图4),充分表明高原强对流云系发展的性质。高原强对流云系活跃的区域实属低空偏南气流最大值前部和暖平流区辐合区。大多数云团分布发展特征表明,高原东侧的对流云发展成为MCC本质是暖性系统,强降水出现2~3h内,MCC发展移速非常快,平均 $45\sim 55\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,最快的可达 $80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,本区域发生MCC云带,其发生和发展的性质是:这种突发性强降水出现在傍晚至前半夜,占强降水总次数的86%,出现的机理尚不明确,有待进一步分析和研究。从近几年的突发性强降水技术档案、个例分析中发现,本文中所述的强降水是由中尺度强对流系统造成的,产生暴雨的云团具有 β 中尺度 M_β CS特征。强对流云团的发生、发展是由高空槽、低空低涡切变线、北方强冷空气及SW暖湿气流等共同作用造成的。

7—8月,副热带高压外围暖湿气流与西风带气流

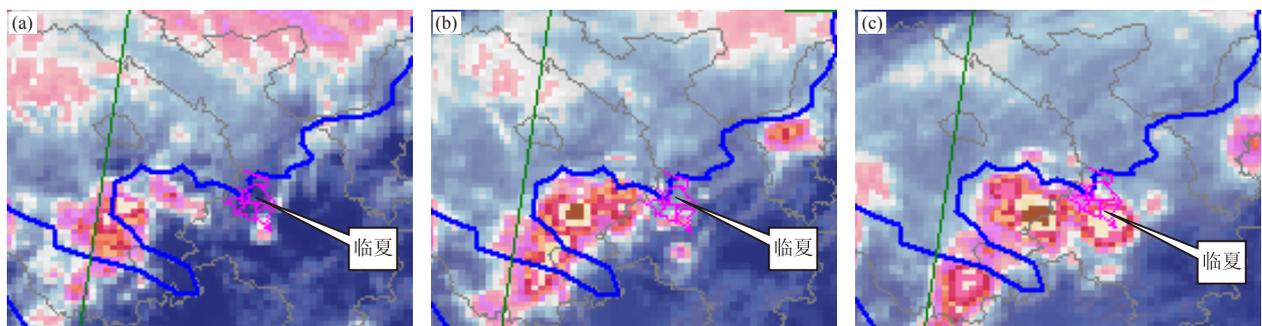


图4 2007年8月25日FY-2C强对流云团发展形势
(a) 17时; (b) 19时; (c) 21时

在中纬度地区活跃期间，青海省中、东部午后常有对流云团发展，开始有2~5块，发展移动到东部逼近兰州时，合成为1~3块，面积约200~260km²，云顶温度TBB在-70℃左右，若云顶TBB降至-80℃以下，周边TBB密实，本地区将出现区域性的大（暴）雨，此时云团结构密实，移动缓慢，强降水出现在M_βCS从发展到最旺盛的时段中，在特定的地形作用下，降水强度进一步加大，形成典型中尺度扰动形势下的强对流天气过程。

6 低空急流对强降水的贡献

6.1 低空急流作用

从突发性强降水的技术总结、个例分析表明，临夏地区出现的突发性强降水，93%出现在傍晚至前半夜时段内（16—22时）。突发性强对流天气出现前4~6h，从地面、700hPa、500hPa流场特征及垂直方向流场结构具有清晰系统反映。

每次区域性（≥3站）≥25.0mm强降水出现时，14h地面图上，秦岭附近地面SE和偏S风向临夏地区输送，08—20时700hPa从四川省北部高原边坡有支偏S气流向甘肃省中部输送，经天水折西向兰州至西宁方向发展，其动力强度≥6m·s⁻¹，暖湿强度（T-T_d）≤2.0℃。因此，我们追踪78例午后至傍晚突发性强降水过程，发现强对流天气过程出现前，地面流场辐合形势明显，86%的突发性强降水均出现此类现象，均属β中尺度系统，其表现形式：①冷（暖）型切变线，②东风波切变线，③近地面涡旋切变^[9,10]，④低空SE气流与高空NW气流汇合强扰动型等。

分析表明，强降水发生前2~3h，700hPa有支低空急流在降水区左侧扰动（插入），急流强度8~12m·s⁻¹。这种形势属于西风带短波扰动型，其出现的过程多为强雷阵雨，过程移速较快，突发性强，局地出现很强的降水量，容易造成灾害，此形势总次数占78%。另外，突发性强降水前2h，降水区底部有支急流扰动，强度6~8m·s⁻¹，是副高边缘低层的东风波扰动型，这种东风波型的突发性大（暴）雨是在有利大尺度背景下，明显的中尺度系统作用下产生的，这种情形出现的时段在7—8月，为副高活跃期，其降水强度很大^[11]。中尺度地面流场辐合及低压形成、低空锋区的介入、低空急流的扰动等^[12]，对临夏地区突发性强降水，具有明显的触发机制。

6.2 典型个例简析

2007年8月25日20:40—23:30，甘肃中部的和政、东乡、康乐、临夏市、临夏县等地突降大暴雨，持续时间近3h。这次强降水出现的特点是：天气过程突

性强、来势猛、局地强度大、过程时间短、局地灾害严重。强雷雨主要集中在22时，和政县1h降水量达55.8mm，过程降雨量为106.3mm；其他地方过程降水量永靖为13mm，临夏市为28mm，东乡为36mm，广河为25mm，康乐为35mm，积石山为62mm。这次大暴雨致使全州5县（市）部分乡镇造成重大人员伤亡和经济损失。该过程当日08时500hPa图上，蒙古至甘肃河西中部有高空槽建立，高原中部有短波槽发展，相配合的高空锋区南压至甘肃河西一线，而且斜压性很强；700hPa四川盆地至甘肃中部有明显的东风波扰动。20时700hPa合作至兰州形成一低涡，左侧蒙古中部到甘肃中部有一强度为12m·s⁻¹偏北低空急流轴直入强降水区（图5）；这支流体不稳定形势的低空急流插入强降水辐合场后为此次突发性大降水起到了动力启动作用，配合快速东退的副高在本地区上空相对应，沿黄河一线的银川、兰州、合作有一支弱的高空锋区向暴雨区逼近，而且这种斜压性较强的中尺度系统发展到暴雨区上空时，伴随低空低涡和急流场的扰动^[13]，为这次大暴雨起到了流体动力与热力不稳定条件下的触发作用。这次大暴雨出现在副热带与西北急流边缘摆动线的影迹区域，较强的近地面辐合场，则是大暴雨的落区。

7 大（暴）雨环流场特征

7.1 高低空流场演变

预报预警区（27°—40°N，90°—110°E）区域，局地突发性大（暴）雨季节（6—8月）欧亚中高纬度地区500hPa环流形势调整为两槽一脊背景下，研究区及周边地区高低空流场演变频率高于其他季节，均与大尺度背景下的中尺度风场、湿度场和大气层结中的稳定度有密切的关联性，突发对流性强降水，往往出现在西太平洋副热带高压稍退后的迹影区，此时高原中部30°—37°N，92°—103°E对流层中层，56137（昌

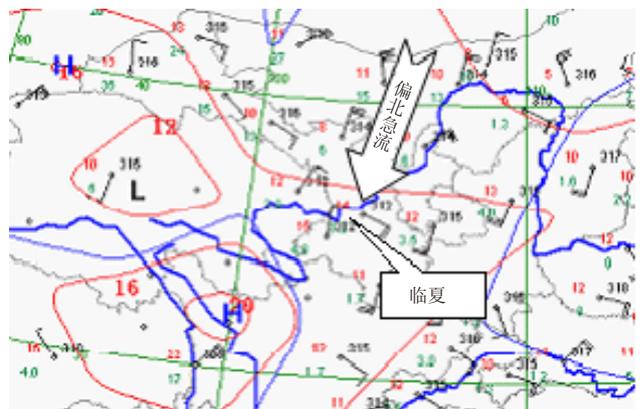


图5 2007年8月25日20时700hPa偏北急流发展形势

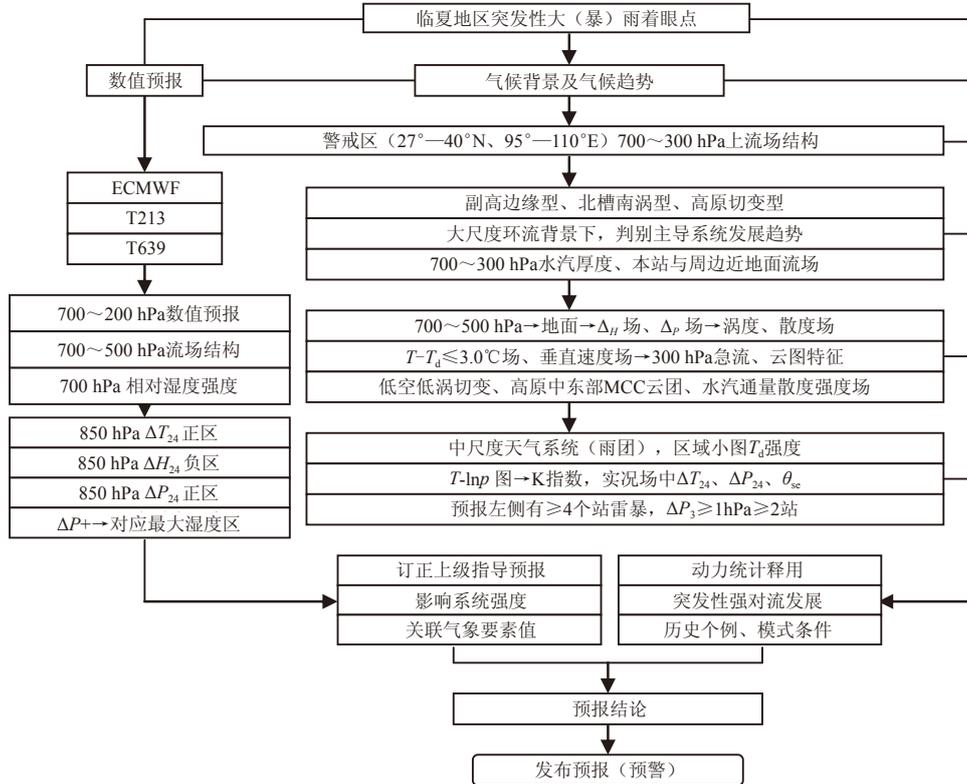


图6 局地突发性大(暴)雨预报思路流程

都)、56004(托托河)、56029(玉树)、56033(玛多)、56046(达日)、56065(河南)、52836(都兰)、52856(恰卜恰)、52889(兰州)等指标站风向 $210^{\circ}\sim 250^{\circ}$ 之间,风速强度为 $8\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,随这支SW气流配合的 $T-T_d\leq 2.0^{\circ}\text{C}$ 的暖湿带向研究区逼近,而对流层下部有支偏S急流从四川盆地沿嘉陵江向北输送,经武都到汉中的低层水汽通道,发展到天水附近时,这支绕高原边坡的低空急流折转西向兰州至西宁发展,此时指标站56294(成都)、57306(阆中)、56096(武都)、57127(汉中)等站风向 $170^{\circ}\sim 200^{\circ}$ 之间,53915(平凉)、52889(兰州)、52080(合作)等站风向 $100^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 之间,风速均为 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其中配合的 $T-T_d\leq 1.5^{\circ}\text{C}$ 湿舌与高原中部的SW暖湿急流带在研究区上空叠加,建立深厚的湿度层结,产生潜在不稳定形势,近地面有流场辐合及切变线扰动,则是产生突发性强降水的环境流场条件。强降水过程前,300hPa张掖至民勤上空有支风速 $\geq 20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流轴发展,而急流右下方则是暴雨区,有利于触发对流性强降水产生(图6)。

7.2 临近大暴雨位涡特征

用2007年8月25日00时—26日00时(世界时)、2008年8月19日00时—20日00时(世界时)、2009年8

月7日00时—8日00时(世界时),3次大暴雨每隔6小时NCEP平均资料,选取 35°N 、 103°E 经纬度网格中心为格点,用 16×30 个网格点,网格格距为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,作等压面位势涡度对比分析。位势涡度是由绝对涡度和位温梯度的乘积决定的。在P坐标下忽略 ω 水平变化,等压面上干位势涡度的表达式是:

$$PV = -g(\zeta + f)\frac{\partial\theta}{\partial p} + g\left(\frac{\partial v}{\partial p}\frac{\partial\theta}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p}\frac{\partial\theta}{\partial y}\right) \quad (3)$$

干位势涡度PV是综合大气动力学和热力学的物理量,可分解为第一项与静力稳定度有关的正压项和第二项与风垂直切变、位温水平梯度有关的斜压项。

在P坐标下忽略 ω 水平变化,等压面上湿位势涡度的表达式如下:

$$MPV = -g(\zeta_p + f)\frac{\partial\theta_{sc}}{\partial p} + g\left(\frac{\partial v}{\partial p}\frac{\partial\theta_{sc}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p}\frac{\partial\theta_{sc}}{\partial y}\right) = \text{const} \quad (4)$$

上式中第一项是湿位势涡度的垂直分量(其中 ζ_p 是垂直方向涡度,f是地转涡度, θ_{sc} 是假相当位温),其值取决于空气气块绝对涡度的垂直分量和相当位温的垂直梯度的乘积;第二项是湿位势的水平分量,其值由风的垂直切变(水平涡度)和水平梯度决定,表征大气的湿斜压性。

从三次暴雨的湿位涡叠加分析,暴雨出现前,位涡分布为带状形势,高原中部至蒙古西部,青海西侧

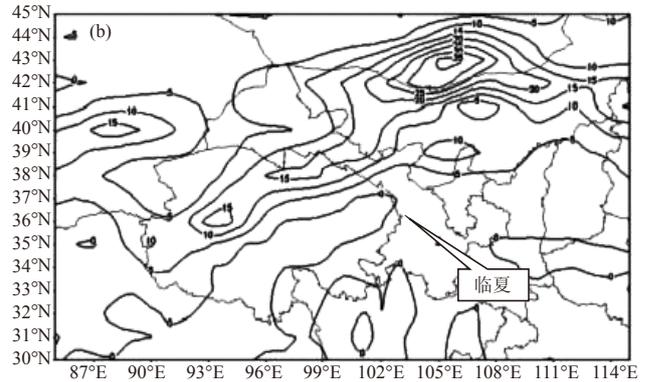
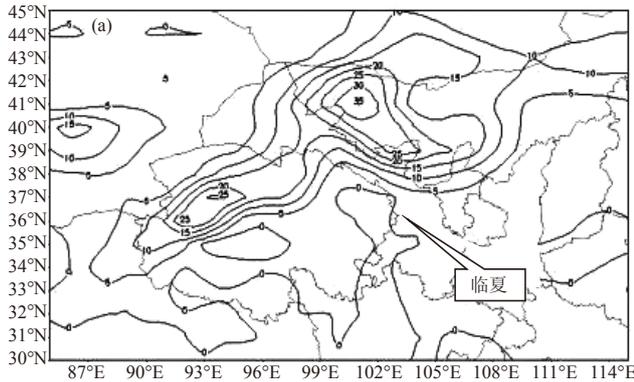


图7 08时500hPa平均位涡形势图 (a) 和20时500hPa平均位涡形势图 (b)

中心值 $PV2.5$ ，蒙古西部 $PV3.5$ 的中心向甘肃中部乌鞘岭递减为 0.5 (图7a)，其中对应SW暖湿气流、风场最大值 ($18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 处。14时 (图7b) 蒙古西部中心向北发展，青海西部的闭合值明显减弱，其分布范围与FY-2C红外云团完全一致^[15]，20时青海中部的中心值向SW方向发展，蒙古中部 $PV4.5$ 中心向甘肃中部递减为 $0PVU$ ，等值线坡度较大，暴雨区为中心 100km 范围，由 $0PVU$ 控制。这种分布形势表明，大暴雨是在低空强烈对流不稳定条件下发生的，暴雨区南侧 $PV\leq 0.18$ ，这就充分说明，高原边坡地带低空有东风波扰动，存在较深厚的暖湿层条件。从高原中部至东南部有SW暖湿气流发展，出现 $PV2.5$ 的中心，而 0.5 的前沿发展至乌鞘岭至华家岭一线，再用当天3个时次的PVU图叠加分析表明，暴雨左上侧有弱的冷空气入侵，表现出 $PV2.2$ 的中心向暴雨区 $0PVU$ 区递减， $0.5\sim 0.9$ 的 PV 向暴雨区输送，与垂直方向暖湿层结叠加区相一致，促使突发性强降水强度加大。26日02时PVU在暴雨区 ≤ 0 中心移入甘肃南部至陕西中南部，暴雨结束。

8 结论

(1) 突发性强降水系统发展时物理量特征，在周边 400km 范围，垂直流场结构中， $700\sim 400\text{hPa}$ $T-T_d\leq 2.0^\circ\text{C}$ ，表明深厚的暖湿层结，是局地产生突发性强降水的必备条件。对流层中层前倾槽后或短波槽扰动，其底部有 $\Delta T_{24}\leq 2.0^\circ\text{C}$ 增热场伸向研究区，其中有 $T-T_d\leq 1.5^\circ\text{C}$ 的湿舌配合，14—20时近地面研究区有辐合场切变线发展，或波动气流增强，局地强对流天气的发生、发展前的 $1\sim 3\text{h}$ 需要有这种更强的抬升条件。

(2) 预报 (警) 区 ($27^\circ\sim 40^\circ\text{N}$, $95^\circ\sim 108^\circ\text{E}$) 范围的大 (暴) 雨，6—8月 700hPa 总温度取 $60\sim 64^\circ\text{C}$ ， 500hPa $T-T_d$ 值为 $\leq 2.5^\circ\text{C}$ ，其中潜在不稳定指数 700hPa 总湿度减去 500hPa 饱和总温度为

$5.0\sim 7.0^\circ\text{C}$ ，左上侧有冷平流， 300hPa 偏北 250km 处有支风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流轴，这种流场结构具有潜在不稳定形势，具备了局地流体动力的增强作用。

(3) 尤其是 $\geq 100.0\text{mm}$ “070825”“100811”两次大暴雨，过程出现前，暴雨区处于 $\Delta\theta_{se}$ 带正值最大梯度左前方，与差动涡度平流对应，大暴雨落区下是低空急流插入点、中下层暖湿气流与北方干冷空气交汇处、高湿舌边缘的湿锋 (露点锋) 中，其中垂直流场平流随高度增加，破坏了该区准地转平衡，这种动力强迫作用，激发次级环流导致强烈的垂直运动，加强了流体动力不稳定条件，是局地大暴雨雨强增大的成因之一。

致谢：本文得到了兰州大学王式功教授的热情指导，在此表示感谢。

参考文献

- [1] 王劲松, 李耀辉, 康凤琴, 等. 西北区东部一次暴雨的数值模拟试验. 高原气象, 2002, 21(3): 258-266.
- [2] 张弘, 孙伟. 初夏青藏高原东北侧一次特大暴雨的综合分析. 高原气象, 2005, 24(2): 232-239.
- [3] 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. 高原气象, 1997, 16(3): 306-311.
- [4] 刘子臣, 张建宏. 黄土高原上两次低空东北急流大暴雨的诊断分析. 高原气象, 1995, 14(1): 107-113.
- [5] 孙淑清. 低层风场在暴雨发生中的重要作用. 大气科学, 1980, 4(6): 394-403.
- [6] 黄美元. 云和降水物理. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 洪廷超. 三维冰雹云催化数值模式. 气象学报, 1998, 56(6): 641-653.
- [8] 姜勇强, 张维桓. 中尺度暴雨模式MRMI对华南暴雨预报试验. 气象科学, 2004, 24(1): 62-71.
- [9] 周毅. 气旋生成机制的位涡反演诊断. 气象科学, 1998, 18(2): 1-9.
- [10] 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991.
- [11] 何光碧, 陈静, 李川. 低涡与急流对“04-9”川东暴雨影响的分析与数值模拟. 高原气象, 2005, 24(6): 1012-1023.
- [12] 郭荣芬, 鲁亚斌, 李燕. “伊布都”台风影响云南的暴雨过程分析. 高原气象, 2005, 24(5): 784-791.
- [13] 冯桂力, 鄒秀书, 周筠珺. 一次中尺度对流系统的闪电演变特征. 高原气象, 2006, 25(2): 220-228.
- [14] 刘勇, 杜川利. 黄土高原一次突发性大暴雨过程的诊断分析. 高原气象, 2006, 25(2): 302-307.
- [15] 陈勇航, 陈艳, 黄建平, 等. 中国西北区云的分布及其变化趋势. 高原气象, 2007, 26(4): 271-278.