

西安市两次突发暴雨成因分析

张 弘 梁生俊 侯建忠

(陕西省气象台, 西安 710015)

提 要: 利用常规探空资料、地面加密观测资料以及卫星云图等, 对发生在西安市的两次突发暴雨进行了诊断分析。结果表明: 暴雨是台风北侧低空东风急流与中纬度西风带低值系统共同作用的结果; 台风低压北侧的气旋性环流在低空形成的偏东风急流带是此类暴雨的主要水汽通道和能量通道; 暖区内中 β 尺度对流系统($M_{\beta}CS$)的活跃直接导致了突发暴雨的生成和维持。

关键词: 突发暴雨 中尺度对流系统(MCS) 近海台风 成因分析

Analysis of Causes of Two Abrupt Rainstorm in Xi'an, Shaanxi Province

Zhang Hong Liang Shengjun Hou Jianzhong

(Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015)

Abstract: By using of the routine sounding, surface observation data and analysis of satellite image, two abrupt rainstorm in Xi'an are analyzed. It shows that the cause of rainstorm is the effect of the easterlies wind jet along the north side of typhoon and the low-system of the westerly belt in the middle latitude, the main vapor and energy pathway is the jet of the easterly belt along the north side of typhoon low- pressure circulation, the meso- β scale convective system ($M_{\beta}CS$) bring on development and maintain of abrupt rainstorm.

Key Words: abrupt rainstorm meso-scale convective system (MCS) offshore typhoon analysis on causes

引 言

2002年6月8—9日,陕西及四川东北部出现罕见特大暴雨过程(“6.8”暴雨)。陕西有34个站下了暴雨,暴雨中心佛坪县部分地方出现特大暴雨,24h最大降雨量超过400mm(调查值)。2004年6月29日下午开始,山西、陕西、四川部分地方发生突发暴雨(“6.29”暴雨)。陕西有9个县下了暴雨,暴雨中心长安县出现大暴雨,降水量为154mm。两次突发暴雨过程西安市的降水量分别为63mm和80mm,造成西安城区多处出现积水,部分地方的积水超过1.5m、城市交通几乎全部瘫痪。“6.8”暴雨还造成西安灞桥铁路桥垮塌,陇海铁路中断14h。这种短历时、高强度的突发暴雨直接导致山洪爆发、泥石流等多种灾害,特别是在西安等大中城市出现内涝,造成严重经济损失和重大社会影响。本文利用实时观测资料、卫星云图 etc 对两次过程进行了分析,探讨此类暴雨的成因和机理,寻找预报着眼点。

1 两次突发暴雨特点

“6.8”暴雨是从6月8日上午开始,到6月9日12时(北京时,下同)结束。雨带沿高原东侧呈淮南—北向分布(图1a),有三个强降雨中心:一是位于雨带北部陕北附近的暴雨区。二是位于陕西中南部至四川东北部广元一带的暴雨—特大暴雨区。三是位于四川东北部遂宁、南充一带的暴雨—大暴雨区。特别在第二个暴雨区内,从秦岭北麓到陕西南部有25个县市出现暴雨,大降水主要发生在6月8日20:00—9日08:00,暴雨中心佛坪县境内出现了特大暴雨(佛坪站24h降雨量记录为206.5mm)。

“6.29”暴雨是从6月29日下午开始,到6月30日08:00结束。雨带沿高原东侧呈西南—东北走向(图1b),雨带上有二个强降雨中心:一是沿河套东侧位于山西、陕西附近的暴雨区。该区的暴雨主要发生在29日14:00—23:00,陕西有10站出现暴雨,暴雨中心长安县的降雨量达到154mm。

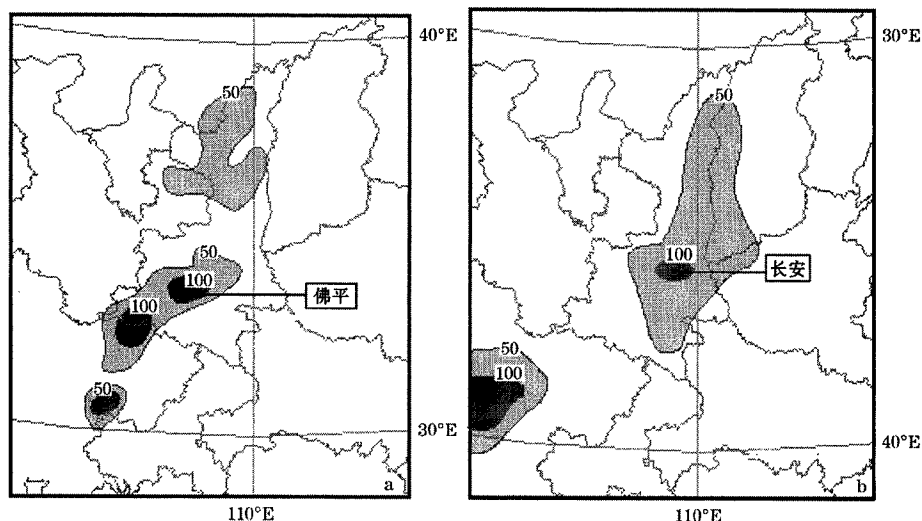


图1 2002年6月8日08时—9日08时降雨量(a)和2004年6月29日08时—30日08时降雨量(b)

二是位于四川中东部一带的暴雨一大暴雨区。

两次暴雨期间我国台湾以东均有台风活动,暴雨发生在距离台风中心 1000km 以外的青藏高原东北侧地区。这两次暴雨都发生在初夏,暴雨前期该地区又维持了持续的高温天气,短历时的突发性强降水,加之西安的特殊环境条件,故酿成严重的城市内涝灾害。

2 突发暴雨的环流特征

2.1 高空环流特征

“6.8”暴雨前期,从6月初开始,500hPa 欧亚中高纬度环流形势维持“两槽一脊型”, 55°N 以北为一宽广低压带,在巴尔喀什湖和贝加尔湖附近各有一低槽,河西至新疆为高压脊。到8日08时,500hPa 的环流形势演变为“两脊一槽型”,原新疆冷槽侵入高原中部与高原槽合并,两高之间在蒙古—高原中东部一带为低压槽区,槽线位于 $100\sim 105^{\circ}\text{E}$ 之间,槽前西南气流随着冷槽的东移南下明显加强。700hPa 图上,随

着冷空气侵入,高原低涡加深东移,低涡前南风加强。0204 号台风 Noguri (浣熊) 位于台湾岛东南方向约 150km 处,并向西北移动。在台风低压环流的北侧为一支低空偏东风急流。暴雨发生前,偏东风急流一直深入到地处内陆地区的高原东侧(图 2a)。

“6.29”暴雨的欧亚中高纬度环流形势和“6.8”暴雨的环流形势相似,都是由暴雨前期的“两槽一脊型”演变为“两脊一槽型”,与“6.8”暴雨环流形势的差别是西太平洋副热带高压偏强,副高脊线的位置在 30°N 附近。在29日08时的500hPa 图上,大的环流形势无明显变化,原在新疆的长波槽加深东移,副高略有减弱,在高原东部—河套西部不断有小槽分裂东移。暴雨发生前,中纬度环流经向度加大,影响槽加深,槽前西南气流加强。700hPa 图上,暴雨发生前,在河套西部到四川中部形成一条近乎南北向的辐合线。0407 台风 Mindule (蒲公英) 向西北移动,29日20:00 台风 Mindule 位于台湾岛东南方向约 400km 处。暴雨发生前,台风低压北侧的低空偏东风急流深入到河套附近(图 2b)。

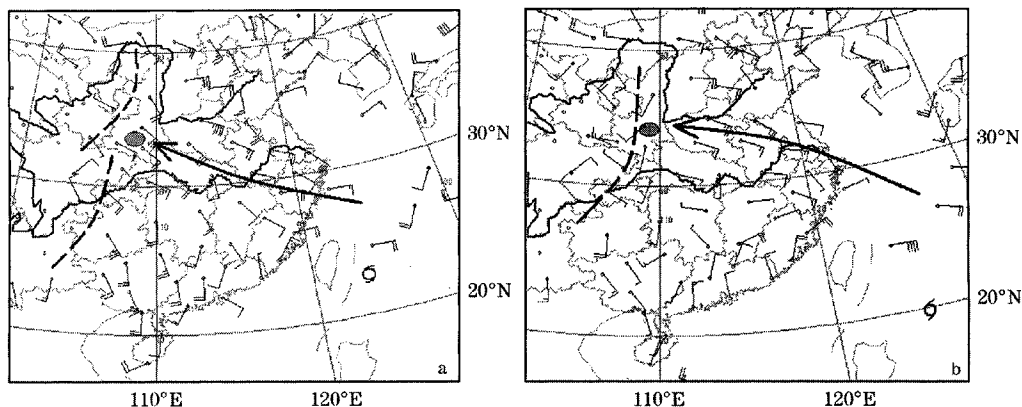


图2 2002年6月8日20时(a)和2004年6月29日20时(b)850hPa风场

两次突发暴雨的共同特征是：在500hPa等压面图上，高空环流形势由暴雨前期的“两槽一脊型”演变为“两脊一槽型”，暴雨前一时次在河西有短波槽存在；700hPa等压面图上，暴雨区上游处在低槽内（或低涡区），槽后为偏北气流或西北气流，在低槽东移时其前部的偏南气流明显加强；台湾岛东南方向有台风存在，并向西北移动，台风低压北侧的低空偏东风急流深入到暴雨区附近。

2.2 地面环流演变特征

地面天气图上，两次暴雨发生的前一天，与高空冷槽对应，在高原中部有冷锋生成，锋面的走向为南北向。随着锋后新疆冷空气的不断补充，冷锋东移过程中逐渐加强。在冷锋移至暴雨区附近时，虽然锋面前后的24h变温不太剧烈（ ΔT_{24} 一般在 $-6\sim -8^{\circ}\text{C}$ 以内），但锋面前后的气压梯度加大（达到5个经度10hPa以上）。另外，暴雨前期，从蒙古—河套北部有弱冷空气南压。临近暴雨时，东部高压中心位于东北—华北一带，这时四川到河套为一低压倒槽。受东路冷空气的阻挡，西路冷锋在进入陕西时移动速度减慢，锋后冷空气不断堆积，在河套附近形成锢囚锋。另外，两次过程前期陕西部分地方均出现了历史同期较长时间的持续性高温天气（西安站最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 天数超过7天），这为暴雨形成提供大量的能量储备，使影响暴雨的中尺度系统从热力（即能量）角度获得足够的补充，进而得以维持和发展。

两次突发暴雨都是台风与中纬度低值系统共同作用的结果。近些年来，热带气旋与中纬度环流系统的相互作用引起了国内外高度重视，但研究多偏重于登陆台风及其对周围地区影响^[1-4]。这两次突发暴雨的特点是：一是台风位于我国沿海台湾岛以东；二是台

风中心与暴雨区的距离在1000km以上。台风尚未登陆，在其外围远距离就发生了如此强烈的大暴雨天气，以往对这方面的研究不多。特别是此类暴雨具有的突发性强、雨强大、降水集中等特征往往在地处内陆地区的高原东侧造成严重的洪水灾害，其暴雨形成机理、成因、结构等有待进一步研究。

3 近海台风与水汽输送

西安位于内陆高原东侧，北部是黄土高原的丘陵地带，南邻我国南北气候的分界线秦岭山脉，地理、地形条件复杂。一般情况下，来自海上的水汽难以输送到这一区域，所以对该区域暴雨分析时水汽输送的作用显得更为重要。

这两次突发暴雨与该区域大部分暴雨不同，其水汽主要来自我国东部海区。在对流层低层，由于台风低压环流存在，在其北侧从东部沿海经中原地区并深入到内陆的黄土高原，形成一支偏东风急流带，低空急流轴与最大水汽输送轴基本上是重合的，是暴雨区的主要水汽和能量输送通道。有关台风外围暴雨的一些研究^[5,6]也指出：台风外围的气旋性环流往往在低空形成宽广的偏东风急流带，并成为暴雨区的主要水汽通道和能量通道。此类暴雨多发生在我国东部地区（黄河中下游、长江流域等），台风中心与暴雨区的距离通常在几百公里。而台风中心与暴雨区的距离在1000km以上，台风低压外围东风气流与西风带低值系统相互作用在地处内陆的高原东北侧出现超远距离的暴雨还是少见的。通过对700hPa与850hPa两层水汽和能量输送的对比分析，其水汽、能量通道主要以850hPa层，甚至更低层的925hPa输送更为显著。随着近海台风西行和北移，通过台风外围的低层偏东气流，短时间内大量水汽输送为突发暴雨的生成和维持提供了

充沛的水汽条件。正是这支较强东南暖湿气流为暴雨提供了充沛的水汽来源和强烈的低层动力辐合条件。这种现象在突发暴雨出现前一时次或当日反映最为明显,通过常规的天气图,分析其对流层低层的风场演变就可以直接得到验证。如2002年6月8日20时850hPa图上,福州、上海两测站分别由原来的 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东北风和静风猛增为 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南风,连地处内陆郑州站的东南风也由原来 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 迅速增为

$18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;2004年6月29日20时850hPa图上,南京、合肥和郑州三站的高空测风分别由原来 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西南风和 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏南风加强为 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东风(见图2a、2b)。从两次过程的水汽通量图对比分析可见:陕西关中和陕南正处在最大辐合中心附近(图3a、3b)。两次突发暴雨偏东急流加强均是出现在20时,当晚就在青藏高原东侧的陕西出现了暴雨天气。

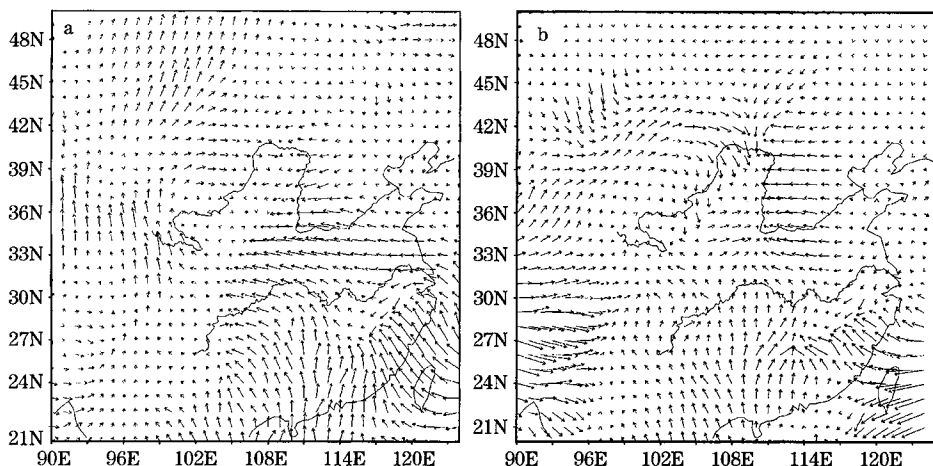


图3 2002年6月8日20时(a)和2004年6月29日20时(b)850hPa水汽通量

4 暖区内中 β 尺度对流系统($M_{\beta}CS$)

中尺度对流系统(MCS)是造成严重气象灾害的主要天气系统之一,近些年来,已引起了国内外专家的关注^[7-9]。但目前针对我国西部MCS的研究不多。本文利用每小时一次的卫星云图(GMS-5、FY-2)资料,对两次突发暴雨的MCS进行了分析。

在2002年6月8日08:00红外云图上,西路冷锋云系位于 100°E 以西,北路冷锋云带已南压到陕北,造成陕北的暴雨天气。另外暖区内四川东部到陕西西南部也有

零散的对流云团活动,由于此时西路冷空气距离较远,大降水的条件尚不成熟,所以8日白天陕西南部虽有降水,但降雨较弱,持续时间短暂。

从8日12:00开始,随着低层台风北侧偏东气流加强及向内陆地区伸展,在台风Noguri的西北方向(台风移动的前方)至冷锋云系之间的暖区内出现大片的对流云系,强对流云团不断向西北方向传播。到8日20:00西路冷锋云系的前沿已到达 104°E 附近,此时冷锋前从四川东部到陕西中部形成一条东北—西南向的带状云带,云带中排列着若干个中小尺度对流云团,这就是

M_{β} CS形成初期。之后, M_{β} CS 逐渐发展成熟, 到8日22时陕西南部形成一个水平尺度为40km左右的 M_{β} CS。此后 M_{β} CS缓慢东移, 在东移中强度增强、范围略有扩大。到9日00:00 M_{β} CS已进入陕南中部, 并发展到最强(图4a)。之后, 该 M_{β} CS在东移中向西北扩展, 并与北部零散的中小尺度

对流云团合并发展, 引发西安突发暴雨。强降水历时不足6个小时, 直接造成城市内涝灾害。到9日08:00时以后, 西路冷锋云带加速东移, 与锋前有组织的中尺度对流云带合并, 雨区也随之东移, 西安的强降水结束。

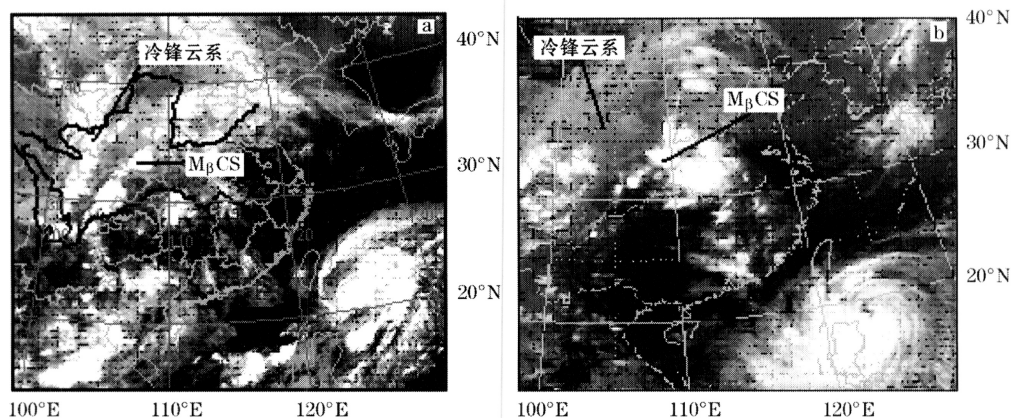


图4 2002年6月9日00时(a)和2004年6月29日20时(b)红外云图

2004年6月29日08:00红外云图上, 西路冷锋云系位于100°E附近, 四川中部有对流云团活动, 台风Mindule位于台湾东南方向约500km处, 台风与冷锋之间是副高控制的大片晴空区。从29日14:00开始, 台风北侧低层偏东气流加强并向内陆地区伸展, 台风与冷锋云系之间出现大片的对流云系。在西安市西北方向约150km处和西安南部的长安县附近有中 β 尺度对流云团生成。西安市西北方向的中 β 尺度对流云团向东南方向缓慢移动, 强度变化不大。长安县附近的中 β 尺度对流云团与周围的中、小尺度对流云团合并、加强, M_{β} CS逐渐形成。到29日17:00, M_{β} CS的水平尺度达到约80km左右, 强中心位于长安县上空, 云顶亮温 $<-50^{\circ}\text{C}$ 的面积为300~400km², 直接导致了长安县的特大暴雨。29日20:00以后, 长安县附近的 M_{β} CS减弱东移, 该区的

强降水结束。此时, 位于西安市西北方向的中 β 尺度对流云团已进入西安地区北部, 并迅速加强成为典型的 M_{β} CS(图4b), 其水平尺度约为120km, 云顶亮温 $<-50^{\circ}\text{C}$ 的面积扩大为800~1000km²。之后 M_{β} CS继续南压加强, 直接造成西安市区发生突发暴雨。29日24:00 M_{β} CS减弱并向南移到陕南东部, 西安市区的降水结束。西安市突发暴雨历时不足4个小时, 集中的强降水引发了城市内涝灾害。

从以上分析可见, 造成西安市两次突发暴雨的MCS云系既不是冷锋云系也不是台风云系, 而是冷锋云系和台风云系之间暖区内的对流云系, MCS是来自台风北侧的偏东暖湿气流和河西短波槽引导的北方冷空气激发中、小尺度对流系统的反复活跃而引发的, 其经历了发展、成熟、消亡三个阶段, 生命史在4~8h。最强的降水出现在MCS

成熟期。虽然与我国东南部相比,高原东侧(特别是高原东北侧)MCS 个数少、发生几率低,但更有其特殊性,即 MCS 的突发性强、降水集中、历时短等,加上大中城市独特的环境条件,易引发严重内涝灾害。

5 结 论

(1) 近海台风北侧偏东气流与高原东侧短波槽共同作用是西安两次突发暴雨主要成因。暴雨前期陕西出现的持续性高温天气为突发暴雨生成和维持提供了大量的能量储备。

(2) 低空台风低压环流北侧东风气流形成的水汽和能量通道在陕西产生强水汽辐合,并导致不稳定能量的积蓄和释放直接导致突发暴雨的发生。

(3) 西安市两次突发暴雨 MCS 的云系是冷锋云系和台风云系之间暖区内的中尺度对流云系,它既不属于冷锋云系也不属于台风云系,有其独特的特征和规律。

(4) 追踪低层台风北侧偏东气流的动向及演变,监视 MCS 的生成和发展是预报此类突发暴雨的有效途径。

参考文献

- 1 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展 [J]. 大气科学,2001,25 (3): 420-432.
- 2 蒋尚城,谢安.西太平洋台风与北方暴雨 [M]. 北方灾害性天气文集,北京:气象出版社,1981: 6-10.
- 3 李江南,王安宇,杨兆礼等.台风暴雨的研究进展 [J]. 热带气象学报,2003,19 (增刊): 152-159.
- 4 倪允琪,周秀骥.我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展 [J]. 气象,2005,31 (1): 9-12.
- 5 仇永炎.北方盛夏台风暴雨的天气型及其年际变率 [J]. 气象,1996,23 (4).
- 6 刘子臣,梁生俊,张建宏.登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响 [J]. 高原气象,1997,16 (4): 402-409.
- 7 程麟生,冯伍虎.中纬度中尺度对流系统研究的若干进展 [J]. 高原气象,2002,21 (4): 337-347.
- 8 陈乾.关于中尺度对流复合体的若干问题 [J]. 气象科技,1984,(3): 52-53.
- 9 薛秋芳,梁海河,张沛源.中- β 尺度对流云团造成特大暴雨过程的分析 [J]. 气象,2001,27 (2): 39-43.