

文章编号: 2096-1618(2017)02-0226-05

一次城市内涝暴雨特征及强度公式验证分析

张天峰, 王位泰, 张洪芬, 路亚奇, 姜惠峰

(甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000)

摘要:为揭示强对流暴雨引起的城市内涝灾害发生机制,利用实况高空观测、自动站观测、卫星云图、雷达回波等资料,采用天气学诊断方法,对2015年8月2日造成庆阳市城市内涝的强对流暴雨天气过程影响特征进行分析。结果表明:强对流暴雨过程是发生在500~700 hPa河套中南部至青藏高原东北侧前倾槽的高低空配置形势下,冷空气沿高空槽后部下滑影响陇东地区,庆阳市上空存在明显的不稳定能量,抬升指数为负值,水汽在庆阳市东南部辐合,新一代天气雷达速度场上出现辐合区和成对的正负速度中心,回波顶高达到14 Km,致使暴雨过程降水时间集中,强度较大,造成庆阳市区部分地方发生内涝灾害,验证了城市暴雨强度公式的合理性。

关键词:气象学;应用气象;暴雨天气;大气环流形势;天气雷达回波;验证分析

中图分类号:P458.1+21.1

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.02.018

0 引言

甘肃陇东地区地处黄土高原中部,受东亚夏季风和西风带环流系统影响,暴雨天气主要发生于6~8月,往往同时伴有冰雹出现,对西北地区雹暴发生前的局地环境条件、中尺度系统和物理量诊断等已有较深入分析^[1];华南弱中气旋和中尺度强对流风暴是暴雨过程的重要特征^[2-3],春季华北区域性大范围强降水的强度差异明显^[4],中小尺度系统活动和暴雨强降雨团有较好的指示意义^[5]。强风暴和暴雨的产生,往往出现在有一定强度的中尺度辐合场的天气形势下^[6];大雨量一般在降水系统移动缓慢或静止不动的情形下产生,在发生的所有暴雨事件中,移动缓慢或稳定少动系统占很大比例^[7-10]。

通过对甘肃河东地区庆阳市2015年8月2日强对流暴雨天气的分析,验证了编制的庆阳市城市暴雨强度公式^[11-15]。受西太平洋副热带高压(简称西副高)西伸北抬发展,在高空槽东移过程中,发生在500~700 hPa河套中南部至青藏高原东北侧前倾槽的高低空配置形势下,冷空气沿高空槽下滑影响陇东地区,庆阳市上空存在明显的不稳定能量,水汽在庆阳市东南部辐合,诱发产生的一次强对流暴雨天气过程,降水时间集中,强度较大,造成庆阳市区部分地方发生城市内涝灾害。

1 天气实况及灾情

2015年8月2日庆阳市出现区域性强对流暴雨

天气过程,24小时降水量正宁、宁县、西峰3个国家级气象观测站达到暴雨标准,7个乡镇区域气象监测站达到暴雨标准,暴雨空间分布零散,主要降水时段出现在16~19时,多个气象监测站出现短时强降水,其中1小时降水量最大中心出现在正宁县西坡45.2 mm。

暴雨洪涝灾害造成庆阳市西峰区受灾严重。据统计,西峰区7个乡镇3个街办11个行政村、62个自然组、180户、719人受灾;水毁道路5处,桥梁损毁一处(什社乡文安村、任岭村、塔头村级道路被毁2 km;董志镇廖塄村到环川公路接壤处塌陷12 m;北街办解放路十字路面冲塌;后官寨王岭村石堡组桥涵长期存在安全隐患,桥面过水量大,致使桥涵两侧冲毁,部分桥面坍塌),受损房屋37户126间。暴雨洪涝造成庆阳市区城市内涝严重,城区多处积水较深,北街办南城壕13户商户进水。灾害造成直接经济损失282万元,其中基础设施损失205万元,家庭财产损失77万元。

2 暴雨成因分析

2.1 大气环流形势分析

此次强对流暴雨天气过程的主要天气影响系统是蒙古东部至中国华北的高空低压槽,高空槽在东移过程中,造成西太平洋副热带高压减弱东退,在高低空形势的空间配置上,低空槽落后于高空槽,属于前倾槽降水形势。高空低槽后有干冷空气下滑,700 hPa庆阳-陇南一带切变线发展,上干冷下暖湿的整层不稳定层结,共同触发并维持强对流天气的发生发展,强对流天气首先在陕北北部被触发,沿低空切变线衍生发展扩散南下影响庆阳市。700 hPa青藏高原东北边坡暖

湿气流增强,整层热力不稳定更加明显,在高空前倾槽及低层切变线过境时造成的强对流也更加强烈。

2.2 中尺度分析

从图 3 中尺度分析场上可以看出,在青海东部、甘肃河东、宁夏南部、陕西大部 700 hPa 比湿 ≥ 8 g/kg,其中,青海东南部和甘肃甘南、陕西中部局部地方比湿

≥ 12 g/kg。不稳定条件为甘肃南部、陕西大部 $K \geq 35$ $^{\circ}\text{C}$,其中陇南和陕西中部 $K \geq 40$ $^{\circ}\text{C}$,甘肃中部、陕西大部 CAPE 湿对流有效位能 ≥ 100 J/kg。抬升条件为临夏、甘南一带 500 hPa 有短波槽,庆阳-陇南 700 hPa 有切变线。庆阳市东南一带在水汽输送场、不稳定能量及低空切变线动力辐合扰动配置条件较好,有利于强对流天气过程及区域性暴雨天气过程的形成。

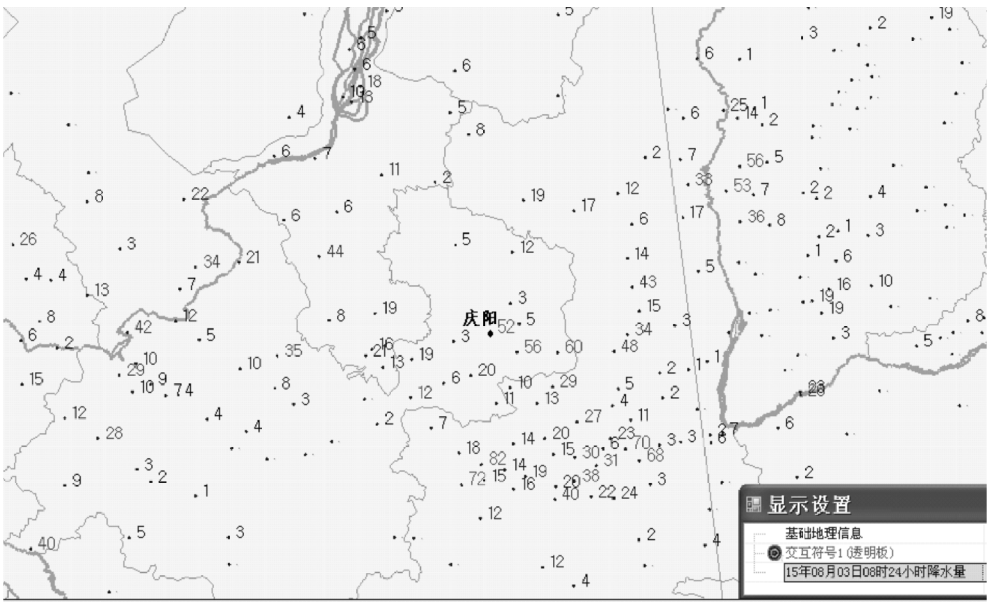


图 1 2015 年 8 月 2 日 08 时-3 日 08 时西北地区东部国家级气象观测站暴雨落区图

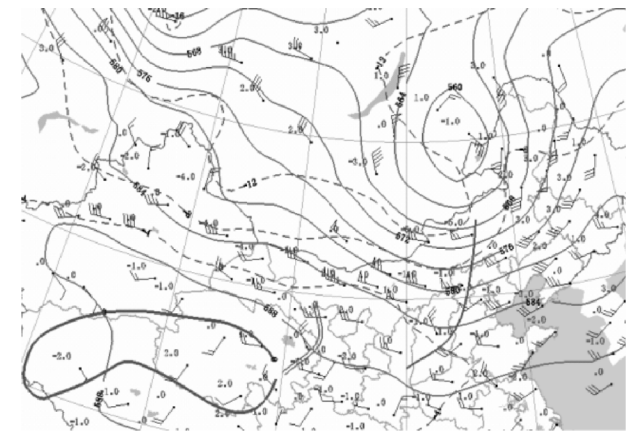


图 2 8 月 2 日 08 时 500 hPa 环流形势场

2.3 物理量诊断分析

研究表明,强对流天气发生要具备较好的不稳定条件、水汽条件、触发机制及强的垂直风切变。利用 08 时平凉和延安的探空资料及庆阳市 8 个县站 14 时的温度资料,计算 8 月 2 日 14:00 的探空资料。从强对流天气发生的不稳定条件、水汽条件筛选 700 hPa 的假相当位温、700 hPa 水汽通量、700 hPa 比湿、700 hPa 和 500 hPa 的温差、CAPE、K、SI、 $\Delta\theta_{se}$ 等物理量作为短时强降水和冰雹的预报预警指标,利用累计发生频率

法进行统计分析,得到 8 月的短时强降水物理量指标,降水前期从 7 月 24 日起,庆阳市出现连续 10 多天的高温天气,有利于不稳定能量的积聚,分析 8 月 2 日 16:00 后出现的暴雨过程当日 14:00 相关物理量(表 1),可见各物理量数值均达到指标值,表明在物理量达到指标阈值的情况下,受高空槽冷空气的触发,造成庆阳市中南部地区的强对流暴雨天气。使用物理量指标,结合天气形势和中尺度分析,是提高强对流暴雨预警时效的关键。

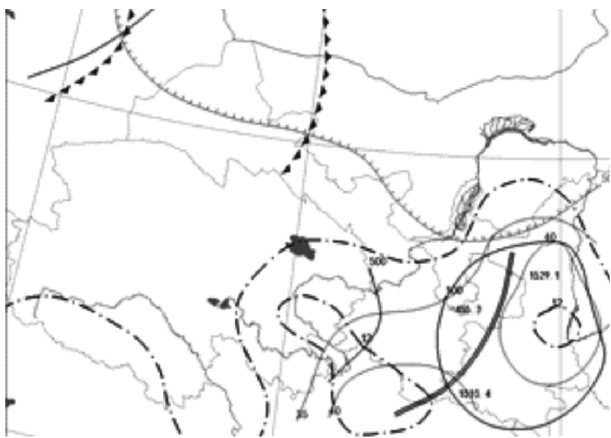


图 3 2015 年 8 月 2 日 08 时中尺度分析

表 1 庆阳市短时强降水物理量指标及本次过程物理量数值一览表

项目	热量潜势		不稳定条件				水汽条件	
要素	θ_{se} 700/℃	$\Delta T75$ /℃	CAPE/J/kg	K/℃	SI/℃	$\Delta\theta_{se}$ /℃	700 hPa 水汽通量 /g/(cm·hPa·s)	700 hPa 比湿 /g/kg
8 月指标	74	13	>100	35	<2	≥ 4 ℃	>40	8
本次过程极值	76	16	455.3	40	-2	4.5	40	10

2.4 云图分析

从卫星云图上可以看出,在开始阶段,2 日 13:00,主要对流云系在庆阳市东北部临近陕北地区,主要是高空槽后冷空气触发产生对流云系,随后对流云系沿切变线向南衍生发展,至 16:45 主要影响庆阳市中南部,造成庆阳市在 16:00-19:00 出现短时强降水,降

水量达到暴雨量级,22:00 对流云团移出庆阳市正宁县,暴雨过程结束。在对流云团发展过程中,由东北向南推进衍生的云团云顶温度等值线密集梯度大,在移动方向的后部,边缘不清晰,并且等值线分布分散,在云团的后部边缘存在云顶亮温(TBB)绝对值较小<-72 ℃的降水云区。

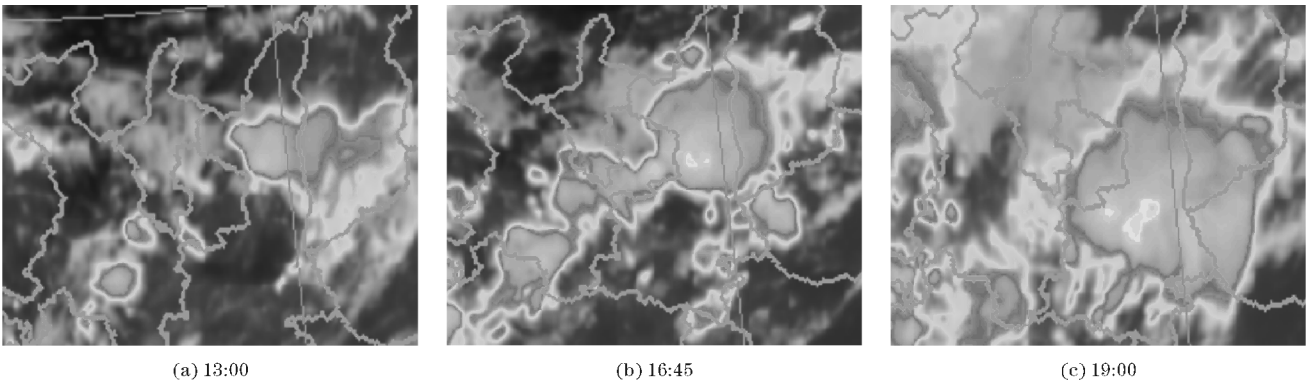


图 4 2015 年 8 月 2 日 13:00、16:45、19:00 FY-2G 云图

2.5 雷达回波分析

此次过程在雷达回波图上为分散型絮状对流性不稳定回波,对照庆阳市建立的短时强降水雷达短临预警技术指标类别,对降水时间回波强度、回波累计强度(列车效应)、强回波高度、强回波底高、强回波顶高、

VIL 等特征进行统计分析(表 2),降水量最强时段各雷达回波短临预警技术指标数值均达到指标值,速度场上有明显辐合区和成对的正负速度中心,可以作为开展短时临近监测预警的诊断依据,与自动气象站 10 分钟雨量监测资料结合起来作为预警综合指标发布暴雨预警信号效果更好。

表 2 庆阳市短时强降水雷达预警指标及本次过程雷达回波特征

要素	回波强度/dBZ	回波累计强度/dBZ	强回波高度/km	强回波底高/km	强回波顶高/km	VIL/g/m ²	VIL 跃变值
MAX	65.0	580.0	8.96	3.0	17.0	45	40.0
MIN	10.0	60.0	0.1	3.0	4.0	10	3.0
平均值	42	364	2	3.0	9.1	40	25.8
阈值	35	300	1.2	3	6	0	25
本次过程	45~55	400~500	6	2	8	25~45	16~25

综上所述,此次暴雨过程的大气环流分型是典型的槽后西北气流型;最明显的特征是500 hPa前倾低压槽的偏北引导气流,200 hPa高空南亚高压西部型,高空槽东移过程中与西太平洋副热带高压共同影响,显

著特征是500 hPa前倾低压槽的较强冷空气东移南压触发机制明显。湿度场的空间配置特点是从近地面到500 hPa湿度都很大,700 hPa比湿达到 10 g/Kg,850 hPa比湿达到 16 g/kg,700 hPa有切变线发展增

强;Qse 场分布庆阳市大部分≥70℃,层结处于整层对流性不稳定状态,物理量满足庆阳市出现强对流短时强降水的指标,即在地面辐合线(切变线或露点锋)附近可出现短时强降水,局地达到暴雨量级。

3 暴雨强度公式验证

2015年,庆阳市气象局按照《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》,编制了庆阳城市暴雨强度公式。暴雨强度为耿贝尔型,强度公式为

q = \frac{1035.6[1 + 1.061 \times \lg(p)]}{(t + 7.881)^{0.7329}}

q为暴雨强度,t为降雨历时,P为暴雨重现期。
编制暴雨强度公式时,为确定城市内涝模型,按照芝加哥法雨型,以5年重现期2小时降雨历时暴雨为例,设计了一个简单的排水模型,降水总量37.24mm,平均雨强0.31mm/min,峰值雨强1.693mm/min。

表3 2015年8月2日16-18时西峰国家气象观测站各时段降水量

降水时间/分钟	降水量/mm	降水强度/mm/min
5	7.9	1.58
10	14.5	1.45
15	20.2	1.35
20	26.5	1.33
30	32.3	1.08
60	39.8	0.66
120	48.6	0.41

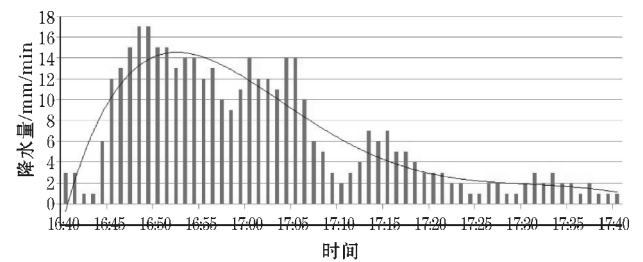


图5 2015年8月2日16:40-17:40分钟雨量分布图

如图5所示,此次过程属于短历时暴雨雨型,2小时降水量48.6mm,1小时最大降水量39.8mm,平均雨强0.41mm/min(见表3),最大雨强1.7mm/min,出现在16时48分、49分,之前降水强度迅速增大,之后降水强度稍有减弱但持续时间较长,符合5年重现期的芝加哥雨型,并造成一定程度的城市内涝,说明编制的庆阳市城市暴雨强度公式数学模型符合本地暴雨天气过程的特征,经此实例验证合理可靠,其参数的精细修订需要更多的实例进一步验证。

4 结束语

- (1)此次区域性短时强对流暴雨过程,是在高空低压槽东移过程中与西太平洋副热带高压共同影响,在冷空气东移南压的前倾槽形势影响下产生的。
- (2)物理量诊断分析满足庆阳市出现强对流短时强降水的指标阈值,具有较好的水汽、不稳定能量及垂直上升运动,在地面辐合线(切变线或露点锋)附近可出现短时强降水。
- (3)雷达回波短时临近预警技术指标数值均达到指标值,此次强对流过程强盛的对流单体发展成为多个降水回波区,受速度场明显辐合区和成对的正负速度中心的影响,形成分散型暴雨天气。
- (4)此次过程属于短历时暴雨雨型,符合5年重现期的芝加哥法雨型,并造成一定程度的城市内涝灾害,表明编制的甘肃省庆阳城市暴雨强度公式合理可靠。

参考文献:

[1] 白肇烨,徐国昌,孙学筠,等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1991:258-372.

[2] 伍志方,易爱民,叶爱芬,等.广州短时大暴雨多普勒特征和成因分析[J].气象科技,2006,34(4):455-459.

[3] 廖义樟.一次中尺度对流风暴成因及CINRAD回波特征分析[J].气象科技,2007,35(增刊):70-74.

[4] 倪允琪,周秀骥.“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”取得的主要研究成果[J].地球科学进展,2006,21(9):881-894.

[5] 王丽荣,汤达章,张艳刚.春季强降水过程的多普勒天气雷达图像特征剖析[J].气象科技,2006,34(1):88-92.

[6] 张信华,郑琳,徐跃勤,等.多普勒雷达资料在闽北持续性暴雨预报中的应用[J].气象科技,2007,35(增刊):74-78.

[7] 张培昌,杜秉正,戴铁丕.雷达气象学[M].北京:气象出版社,2001:388-395.

[8] 俞小鼎,姚秀萍,熊挺南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2007:149-155.

[9] 张天峰,王位泰,杨民,等.“2005.5.30”庆阳市特大冰雹新一代天气雷达回波资料分析[J].

- 干旱气象,2006,24(1):34-37.
- [10] 吴书君,王凤娇,王立静. 强对流天气的多普勒径向速度分析[C]. 中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集,2004:168-171.
- [11] 宋丽莉,张善发,何伶俐,等. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则[C]. 住房和城乡建设部,2014:1-32.
- [12] 张秉祥,陈静,韩军彩,等. 石家庄市城区暴雨强度公式修正方法对比分析[J]. 干旱气象,2014,32(4):671-676.
- [13] 郭渠,廖代强,孙佳程,等. 重庆主城区暴雨强度公式推算和应用探讨[J]. 气象,2015,41(3):336-345.
- [14] 陈靖,解以扬,东高红,等. 雷达雨量计联合估算降水在城市内涝模型中的应用[J]. 气象科技,2015,43(5):866-873.
- [15] 顾孝天,李宁,周扬,等. 北京“7·21”暴雨引发的城市内涝灾害防御思考[J]. 自然灾害学报,2013,22(2):2-6.

The Analysis of a Storm Rainfall in Urban Water-logging and Validation of the Strength Formula

ZHANG Tian-feng, WANG Wei-tai, ZHANG Hong-fen, LU Ya-qi, JIANG Hui-feng
(Gansu Qingyang Meteorological Bureau, Xifeng 745000, China)

Abstract: In order to reveal the urban waterlogging disaster mechanism caused by strong convection rainstorm, the data of upper air, automatic station, satellite cloud imagery and Doppler radar observation, and synoptic diagnosis method had been analyzed which happened in Qingyang city On August 2, 2015 and caused strong convection rainstorm weather processed urban waterlogging. The results were those: The strong convection rainstorm process occurred in the situation of the northeast side of Tibetan Plateau to the south of 500-700 hPa in the configuration of high and low pitch trough, cold air slid downward along the trough rear decline in Longdong area of influence, ver the city of Qingyang had obvious instability energy The LI was negative, the convergence of water vapor was in the southeastern of Qingyang, the convergence zone and center of positive and negative velocity appeared in velocity field, he ET was 14 km. And it led to the heavy rain process concentrated rainfall time, intensity bigger, caused parts of ingyang urban waterlogging disasters occur, which proved the rationality of urban rainstorm intensity formula.

Keywords: meteorology; application of meteorological; the rainstorm; atmospheric circulation situation; the weather radar echo; verification analysis