

The Analysis of Temperature-Humidity Energy Characteristics of Local Rainstorm in Langfang City of Central Hebei Province

Liping Guo, Haojie Huang, Meng Wang

Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang Hebei
Email: ggllpp_lf@126.com

Received: May 3rd, 2019; accepted: May 16th, 2019; published: May 23rd, 2019

Abstract

Using the rainstorm data of Langfang city from 2010 to 2018, the spatial and temporal distribution, circulation situation and the characteristics of temperature-humidity energy of local rainstorm in Langfang were analyzed by mathematical statistics and the energy synoptic method. The results show that: 1) The obvious dispersed distribution, larger rainfall intensity difference, uneven inter-annual distribution, the longer frequent occurrence periods, and the stronger rainfall intensity were the weather and climate characteristics of local rainstorm in Langfang city. 2) There were four types of atmospheric circulation situation of local rainstorm, among which two types were not belong to the typical synoptic conceptual model of rainstorm. About 77.5% of local rainstorm occurred under the conditions which were not similar to the circulation situation of rainstorm. 3) Before the occurrence of local rainstorm, the temperature-humidity energy anomalies were obviously higher than that of the normal year and the energies of the local rainstorm without short-term heavy rainfall were lower than that of local rainstorm with short-term heavy rainfall more than 50 mm/h. 4) More than 60% of local rainstorm, the energies of temperature-humidity decreased to some extent compared with that of the day before heavy rainfall. The information above mentioned can be used as a reference for local rainstorm forecast.

Keywords

Local Rainstorm, Temperature-Humidity Energy, Characteristics

冀中廊坊市局地暴雨的温湿能量特征分析

郭立平, 黄浩杰, 王 梦

河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊
Email: ggllpp_lf@126.com

收稿日期: 2019年5月3日; 录用日期: 2019年5月16日; 发布日期: 2019年5月23日

摘要

利用2010~2018年廊坊市暴雨资料,应用数理统计、能量天气学等方法对廊坊市局地暴雨的时空分布、环流形势、温湿能量特征等进行了深入分析,结果表明:1)局地暴雨具有明显的分散性分布、较大强度差异,年际分布不均匀以及多发时段长、强度偏强等天气气候特征;2)局地暴雨的大气环流形势主要有四类,其中有两类不属于暴雨的典型天气学概念模型,约77.5%的局地暴雨产生在与暴雨环流形势不相似的条件;3)局地暴雨产生前,温湿能距平较常年明显偏高,无短时强降水的局地暴雨较短时强降水超过50 mm/h的局地暴雨其各种能量明显偏小;4)60%以上的局地暴雨,温湿能量较暴雨日前一天有不同程度下降。上述这些信息可为局地暴雨预报提供参考思路。

关键词

局地暴雨, 温湿能量, 特征

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

暴雨(降水量 ≥ 50 mm/d)是我国主要的灾害性天气之一,区域性暴雨常常带来大范围的洪涝灾害,如:京津冀地区2012年“7.21”、2016年“7.20”、2018年“7.24”大暴雨、特大暴雨等造成京津冀大范围的洪水灾害。局地暴雨虽不及区域性暴雨的影响范围大,但常常由于局地性强、突发特征等而给人们的生产、生活带来不利影响,甚至是严重的损失和生命的代价,如:2011年6月23日北京城区局地大暴雨,造成交通拥堵,两人因暴雨落水死亡;2010年8月8日甘肃省舟曲县局地强降雨引发特大泥石流,造成上千人死亡,经济损失达2亿元以上等等。此外,由于局地暴雨相对大范围暴雨更具有环流形势不典型、气象条件不清晰、机制机理模糊、定位预报困难等特点,一直是暴雨预报业务最难攻克的难题之一。目前,国内外有一些专家学者针对暴雨及其相关问题进行了研究。如李津等[1]、杨晓亮等[2]从暴雨产生的机理方面分别研究了2005年6月25日北京城区的大到暴雨、2007年7月18日河北省东北部和南部的局地暴雨,分别认为是低层弱冷空气触发了高不稳定能量引起了对流发展和地面强辐合抬升触发不稳定能量释放产生了强对流造成局部暴雨产生;张智等[3]从灾害性天气影响角度研究了河套地区暴雨特征,得到河套地区局地暴雨多、区域暴雨少,因灾经济损失十分巨大的结论;丁一汇、单机坤等[4][5]从地气相互作用方面研究了地气间水汽热量交换的特点,为研究暴雨天气的产生提供了一些思路;毛冬艳等[6]从观测实验角度,分析研究了暴雨过程中边界层的气象要素变化对暴雨发生发展的作用;Ek等[7]从边界层相对湿度演变的角度指出了自由大气中水汽的含量与强对流天气落区的关系;郭立平等[8]从暴雨精细化落区预报的角度探讨了地气要素配合蕴含的暴雨精细化落区预报指标。

上述研究对深入认识局地暴雨的成因及其影响,具有积极意义。但对局地暴雨过程的温湿能量特征及变化没有深入研究,甚至没有提及到,对局地暴雨的落区预报参考意义有限。为了找到局地暴雨的近地面大气能量的分布与变化特征,进而提高其落区定位的预报水平,本文将对2010~2018年冀中廊坊市40次局地暴雨(辖区内气象观测站单站暴雨,下同)的温湿能量分布与变化进行深入分析,以期揭示及得到局地暴雨的近地面大气能量变化特征和预报指标,为局地暴雨的落区定位预报及提高预报时效提供有

效参考依据。

2. 资料来源及方法

局地暴雨资料为 2010~2018 年间冀中廊坊市辖区内 9 个气象观测站任意一天的单站暴雨日；气温、水汽压、20 cm 地温资料为暴雨站自动观测站气象资料。

地面大气能量[9]的定义和公式为：

感(显)热能距平： $ET' = C_p(T - \bar{T})$ ，式中 C_p 为定压比热， T 为气温(K)， \bar{T} 为暴雨站 1981~2010 年气温平均值。

水汽相变潜热能(潜热能)距平： $Ee' = L(q - \bar{q})$ ，式中 L 为凝结潜热(J/kg)， q 为空气比湿(g/kg)， \bar{q} 为暴雨站 1981~2010 年比湿平均值。

温湿能： $Et' = ET' + Ee'$

各能量距平的日值为 02、08、14、20 时四个时次的总和。

3. 局地暴雨的分布特点

廊坊市地处北京、天津两大城市之间，辖 9 县市。根据 9 个气象观测站的数据统计发现，2010~2018 年间廊坊市共出现单站暴雨 40 天，平均每年 4.4 天，占该期间廊坊市暴雨总日数(68 天)的 58.8%，各单站暴雨日数分布不均匀(图 1(a))，其中三河、固安、大城三县市单站暴雨日数为 6 至 8 天，固安最多有 8 天，最少为香河站和文安站均为 2 天。从年的分布看(图略)，局地暴雨日逐年分布不均匀，最多 2017 年有 10 个局地暴雨日，最少 2 个出现在 2012 年、2014 年和 2016 年。从句、月分布看(图 1(b))，廊坊市局地暴雨主要出现在 4~9 月，7 月最多有 16 天，8 月次之 13 天；7 月上旬至 8 月中旬是高发时段，每旬均有 5~6 天，其中 7 月上旬、8 月中旬最多有 6 天；局地暴雨日最早日期为 4 月 21 日出现在 2011 年，最晚日期为 9 月 2 日出现在 2012 年。

局地暴雨雨量以 100 mm/d 以内为主，暴雨日的平均降水量为 58 mm~92.9 mm，最大出现在文安，最小出现在廊坊市区；有 3 天 3 站次出现大暴雨，最大日暴雨量为 133.4 mm，出现在 2017 年 8 月 2 日大城站。

局地暴雨的小时降雨量最大为 16.6 mm/h~67.9 mm/h，最大出现在文安站 2017 年 7 月 15 日，最小出现在 2017 年 5 月 22 日廊坊市区站。有 35 次(占比 87.5%)局地暴雨伴有短时强降水(20 mm/h)，其中有 6 次暴雨过程短时强降水时数达 2~3 h，25%的局地暴雨过程小时降雨量达到 ≥ 50 mm/h 的强度。

分析局地暴雨的降雨时间长度得到，局地暴雨过程降雨时长主要为 2~18 小时，其中降雨时长在 5~10 小时的个例最多，占比达 55%；其次 ≥ 11 小时，占比 27.5%，5 小时以内最少，占比为 17.5%。

从上述分析可见，廊坊市局地暴雨具有局地性强、分散性分布、强度差异较大，年际分布不均匀、以及多发时段长、强度偏强等特征。

4. 局地暴雨的环流形势特征

上述已经提到，局地暴雨相对大范围典型的暴雨过程气象条件不清晰，预报难度大。进一步总结局地暴雨日 500 hPa 高空大气环流形势发现，主要有 4 种环流形势，分别为：高压脊前波动槽(涡)型，简称 I 型(图 2(a))，I 型出现最多占比达 50%；高压脊控制型(图 2(b))，简称 II 型，出现最少占比达 5%；高空低涡(东蒙低涡、河套低涡、华北低涡等)型(图 2(c))，简称 III 型，出现次多占比 27.5%；高空槽型(图 2(d))，简称 IV 型，占比 17.5%。经与河北省气象局[10]总结的河北省暴雨的主要环流形势相比，上述 I 型、II 型均没有提到，而这两类形势在局地暴雨中占比达 55%，对其余局地暴雨的环流形势进行对比分析发现，

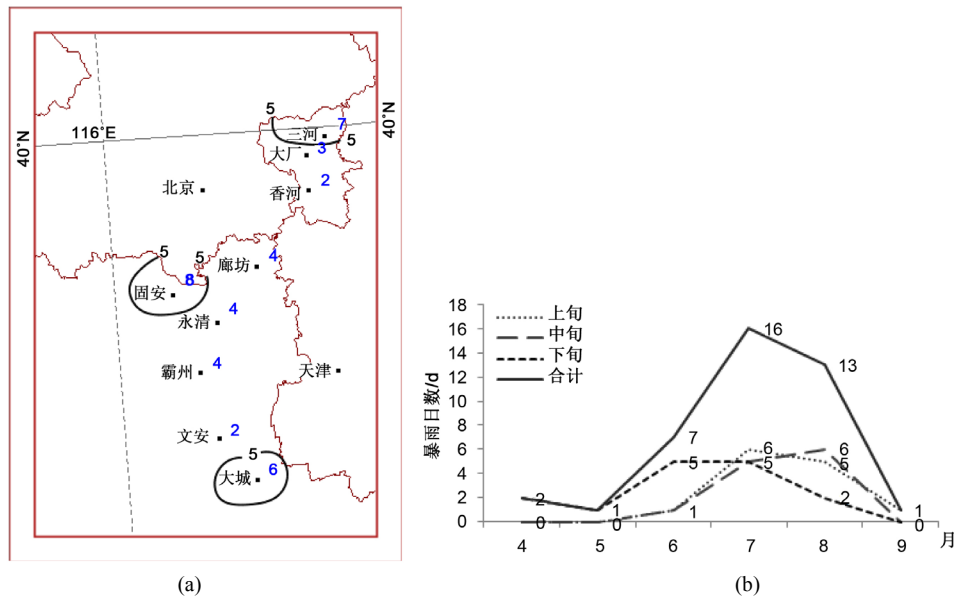


Figure 1. The days (a) and ten days monthly distribution (b) of local rainstorm in Langfang city
 图 1. 廊坊市局地暴雨分布日数(a)及旬月分布(b)

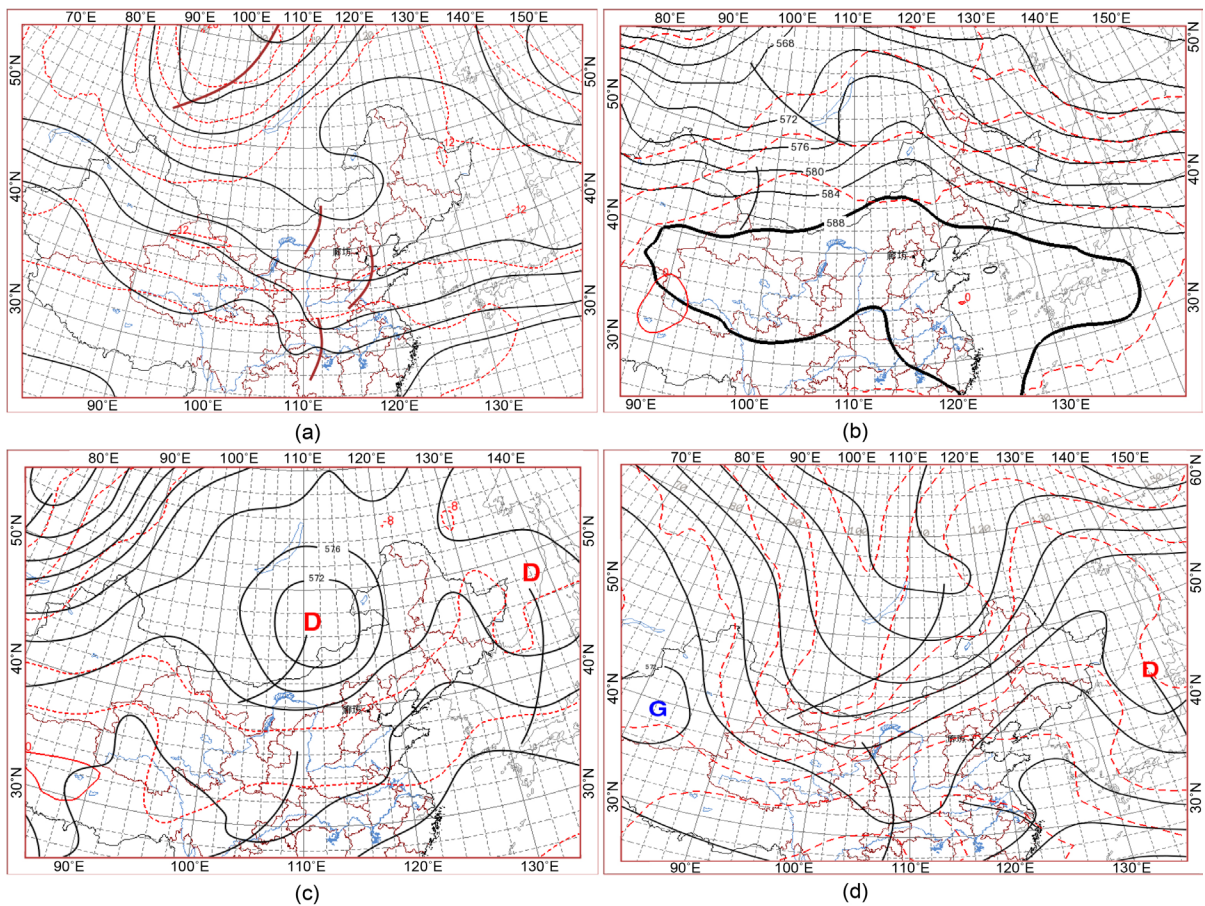


Figure 2. The circulation situation types of local rainstorm in Langfang city. (The fluctuating trough in front of the ridge (a), the ridge control (b), the high-altitude vortex (c) and the upper trough (d))
 图 2. 廊坊市局地暴雨的环流形势类型(a) 脊前波动槽型; (b) 高压脊型; (c) 高空低涡型; (d) 高空槽型)

基本符合河北省暴雨环流形势的个例达 9 例, 占比 22.5%, 另 22.5% 的局地暴雨, 其大气环流形势相比河北省典型暴雨形势存在环流分布相似, 但影响系统的位置明显偏移或强度偏弱。由此可见, 大部分 (77.5%) 局地暴雨产生在与典型暴雨环流形势明显不同的条件下, 因而预报具备相当大的难度。

针对第 III 型、第 IV 型大气环流形势下的局地暴雨, 其可预报的概率存在, 但对第 I 型、第 II 型的大气环流形势条件, 明显不符合暴雨的天气学典型概念模型, 因而预报暴雨的概率非常低。但此两类环流形势却是局地暴雨的主要大气环流控制类型, 因此需要深入分析。总结第 I 型、第 II 型局地暴雨的主要大气环流配置特征得到: 高低空影响系统配置表现为浅薄系统, 降雨产生前 500 hPa 高空表现为干冷空气控制, 700 hPa、850 hPa 高空存在切变线、地面均为辐合低压场控制。造成暴雨形成的原因是: 近地面高温高湿条件, 大气层结不稳定, 地面辐合场造成气流上升运动, 与高空冷空气相遇, 形成降雨或对流性降雨天气, 局地可产生暴雨, 但怎样的近地面气象条件可能是暴雨落点, 仍需要进一步分析。

5. 局地暴雨的温湿条件

暴雨天气的产生通常具备有利降水产生的大尺度环流背景, 大范围、明显的暴雨过程常常产生在典型的暴雨环流形势背景下, 局地暴雨的产生更多与中小尺度系统以及局地的下垫面温湿条件密切相关。

总结 40 次局地暴雨站前一天及当天日最高气温、日平均水汽压、20 cm 日平均地温[11]特征发现(表 1): 局地暴雨产生过程中, 前一天各站日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 的比例、日平均水汽压 $\geq 20 \text{ hPa}$ 的比例以及 20 cm 日平均地温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的比例均超过 85%, 日最高气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的比例、20 cm 日平均地温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的比例均达 95%, 表明局地暴雨产生前各站近地面及浅层地温具有高温、高湿及较强的储热条件; 暴雨产生日, 除日平均水汽压 $\geq 25 \text{ hPa}$ 、20 cm 日平均地温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的条件与前一天持平外, 其余各条件均有不同程度下降, 其中以日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 的比例下降幅度为最大, 达 37.5%, 其次为 20 cm 日平均地温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 下降的比例, 达 20%。由此可见浅层地面及近地面大气的高温、高湿、储热热量的释放参与了暴雨过程的产生, 而暴雨的产生又使得高温、高湿、高热的环境得以缓解, 而前一天日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 、日平均水汽压 $\geq 20 \text{ hPa}$ 、20 cm 日平均地温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 也是廊坊市局地暴雨产生的有利温湿能量条件之一。

Table 1. The temperature, humidity and heat conditions of local rainstorm in Langfang city

表 1. 廊坊市局地暴雨的温湿热条件

	日平均水汽压(hPa)		日最高气温($^{\circ}\text{C}$)		20 cm 日平均地温($^{\circ}\text{C}$)	
	≥ 20 占比(%)	≥ 25 占比(%)	≥ 28 占比(%)	≥ 25 占比(%)	≥ 25 占比(%)	≥ 20 占比(%)
前一天	87.5	55	87.5	95	87.5	95
当天	85	55	52.5	77.5	67.5	95

6. 局地暴雨的温湿能量变化特征

各种天气的发生、发展和消亡过程都伴随着大气能量的转换过程。能量分析在对流性天气的预报中也有较好的效果[9][12]。

利用上述第 2 节中的公式分析 40 次局地暴雨的温湿能量分布特征。通过计算得到(图 3 和图 4), 局地暴雨产生前一天该站近地面感热能距平值平均为 $3.8 \times 10^3 \text{ J/kg}$, 距平值 ≥ 0 的比例达 70%, $\geq 3 \times 10^3 \text{ J/kg}$ 的比例达 60%; 而暴雨日当天感热能距平值平均为 $-6.4 \times 10^3 \text{ J/kg}$, ≥ 0 的比例仅为 27.5%。此外, 在无短时强降水的局地暴雨过程中, 其降水时间长度普遍超过 10 小时, 暴雨站前一天感热能距平值平均为 $-0.48 \times 10^3 \text{ J/kg}$, 当天为 $-11.6 \times 10^3 \text{ J/kg}$, 除有一次暴雨日当天感热能距平上升外(暴雨后气温快速回升), 其余均表现为感热能距平较前一天明显下降; 在短时强降水 $\geq 50 \text{ mm/h}$ 的局地暴雨过程中, 降水时间长

度均在 8 小时以下,暴雨前一天的感热能距平值平均为 $6.8 \times 10^3 \text{ J/kg}$,当天为 $-3.6 \times 10^3 \text{ J/kg}$,其中 80% 的暴雨日感热能距平较前一天明显下降,另 20% 的局地暴雨由于降水时间出现在暴雨日当天的傍晚,其余 02、08、14 时次感热能距平依然较大,也可造成日距平值较暴雨前一天略大。

分析局地暴雨的潜热能距平发现(图 3 和图 4),局地暴雨前一天该站近地面潜热能距平值平均为 $17.3 \times 10^3 \text{ J/kg}$,为正距平的比例达 80%, $\geq 5 \times 10^3 \text{ J/kg}$ 的比例达 72.5%;暴雨日当天潜热能距平值平均为 $11.9 \times 10^3 \text{ J/kg}$, ≥ 0 的比例下降为 70%, $\geq 5 \times 10^3 \text{ J/kg}$ 的比例达 67.5%,表明在强降水过程后地面潜热能也有明显的消耗过程。同样看到,在无短时强降水的局地暴雨中,其前一天潜热能距平值平均为 $12 \times 10^3 \text{ J/kg}$,暴雨当天平均为 $1.5 \times 10^3 \text{ J/kg}$,除一个局地暴雨外,其余暴雨日潜热能距平值均为下降;有短时强降水 $\geq 50 \text{ mm/h}$ 的局地暴雨过程中,其前一天潜热能距平值平均为 $21 \times 10^3 \text{ J/kg}$,局地暴雨日当天平均值为 $15 \times 10^3 \text{ J/kg}$,其中 60% 的暴雨日潜热能距平值较前一天均为下降;另 40% 潜热能距平值上升的个例,分析 02、08、14、20 时的潜热能距平值发现,在局地暴雨产生的临近时次,依然存在暴雨后潜热能距平值下降的现象。

分析局地暴雨的温湿能距平值发现(图 3 和图 4),暴雨产生前一天暴雨站温湿能距平值平均为 $21.1 \times 10^3 \text{ J/kg}$,距平值 ≥ 0 的比例达 77.5%, $\geq 5 \times 10^3 \text{ J/kg}$ 的比例达 75%;暴雨日温湿能距平值平均为 $5.6 \times 10^3 \text{ J/kg}$,距平值 ≥ 0 的比例下降为 55%, $\geq 5 \times 10^3 \text{ J/kg}$ 的比例达 47.5%,85% 的暴雨个例温湿能距平值较暴雨前一天下降,另 15% 的暴雨个例由于雨后气温或水汽压的明显快速回升,其中水汽压上升一般 $\geq 2.5 \text{ hPa}$,使得暴雨日温湿能距平值高于暴雨日前一天。在无短时强降水的局地暴雨过程中,其前一天温湿能距平值平均为 $11 \times 10^3 \text{ J/kg}$,当天为 $-10 \times 10^3 \text{ J/kg}$,除一个暴雨过程外,其余暴雨日温湿能距平值均为下降;在短时强降水 $\geq 50 \text{ mm/h}$ 的局地暴雨过程中,其前一天温湿能距平值平均为 $27.9 \times 10^3 \text{ J/kg}$,当天平均值为 $11.9 \times 10^3 \text{ J/kg}$,80% 的暴雨过程温湿能距平值较前一天下降,其余 20% 的暴雨个例也由于雨后气温或水汽压的明显快速回升,导致温湿能距平值上升,但同样存在局地暴雨发生的临近时次暴雨后温湿能距平值较发生前下降的现象。

综合上述分析可以看出,廊坊局地暴雨产生前暴雨站近地面大气感热、潜热、温湿能均以较多年平均状态偏高为主要特征,其中感热能距平平均值达 $3.8 \times 10^3 \text{ J/kg}$,潜热能距平平均值达 $17.3 \times 10^3 \text{ J/kg}$,温湿能距平值平均达 $21.1 \times 10^3 \text{ J/kg}$;无短时强降水的暴雨过程其感热、潜热、温湿能距平值普遍较平均值偏小,而短时强降水超过 50 mm/h 的局地暴雨其各种能量则较平均值明显偏大;60% 以上的局地暴雨产生后,各种能量均较暴雨产生前一天有不同程度下降,其中温湿能下降幅度最大,感热能其次,潜热能最小;另 $\leq 40\%$ 的局地暴雨过程,各种能量较暴雨产生前偏大,其中温湿能增加的比例达 15%,感热能增加的比例为 17.5%,潜热能增加的比例达 40%。暴雨后能量增加的原因,一是暴雨产生的时间在夜间至早晨或者傍晚时段,暴雨日当天最高气温较暴雨前一日高;二是暴雨日水汽压上升,水汽压上升的局地暴雨中,有 94% 伴短时强降水。上述这些变化信息可为局地暴雨的预报和防御提供参考依据。

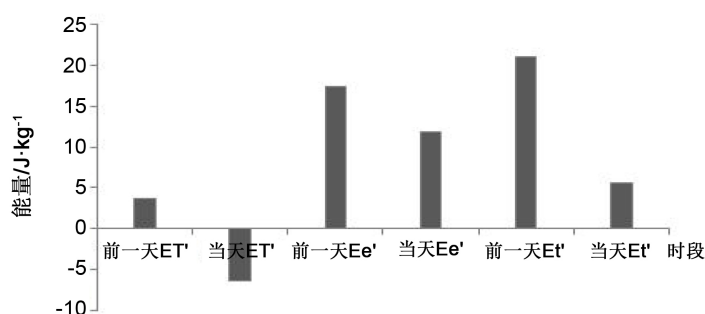


Figure 3. The temperature-humidity energy anomalies distribution of local rainstorm in Langfang city

图 3. 廊坊市局地暴雨的温湿能距平分布

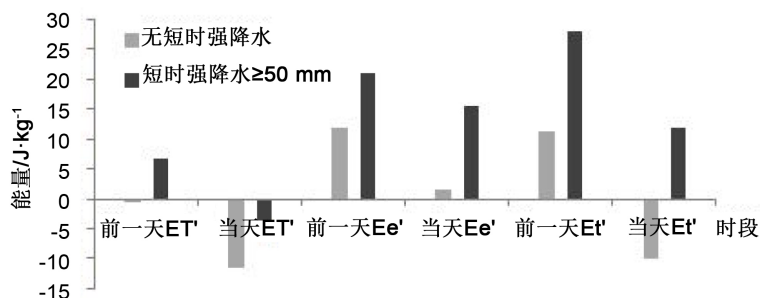


Figure 4. The temperature-humidity energy anomalies distribution of two types of local rainstorm with or without short term heavy rainfall in Langfang city

图 4. 廊坊市有无短时强降水的两类局地暴雨温湿能距平分布

7. 结论与讨论

1) 廊坊市局地暴雨具有局地性强、分布分散、强度差异较大, 年际分布不均匀、多发时段长、强度偏强等天气气候特征。7 月上旬至 8 月中旬是局地暴雨的高发时段, 87.5% 的局地暴雨过程伴有短时强降水, 55% 的局地暴雨降雨时长在 5~10 小时。

2) 廊坊市局地暴雨产生的有利温湿气象条件是: 日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 、日平均水汽压 $\geq 20 \text{ hPa}$ 、20 cm 日平均地温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 。

3) 局地暴雨产生前一天暴雨站近地面大气感热、潜热、温湿能距平均以明显偏高为主要特征; 无短时强降水的局地暴雨其感热、潜热、温湿能距平值普遍较平均值小, 短时强降水超过 50 mm/h 的局地暴雨其各种能量较平均值明显偏大。

4) 60% 以上的局地暴雨日, 上述各种能量均较暴雨产生前一天有不同程度下降, 其中温湿能下降幅度最大, 感热能其次, 潜热能下降最小; 暴雨日各种能量增加的原因: 一是暴雨产生的时间在夜间至早晨或者傍晚时段, 暴雨日当天最高气温较暴雨前一天高; 二是暴雨日水汽压上升, 潜热能增加。

基金项目

河北省廊坊气象局 2017 年项目(201701)。

参考文献

- [1] 李津, 王华. 北京城区一次大到暴雨的预报难点分析[J]. 气象, 2006, 32(2): 92-97.
- [2] 杨晓亮, 李江波, 杨敏. 河北 2007 年 7 月 18 日局地暴雨成因分析[J]. 气象, 2008, 34(9): 47-56.
- [3] 张智, 蔡敏. 河套地区暴雨的地域性特点及灾情分析[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 81-86.
- [4] 丁一汇. 地表通量的计算问题[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 29-35.
- [5] 单机坤, 沈学顺, 李维京. 陆气相互作用对中尺度对流系统影响的研究进展[J]. 气象, 2013, 39(11): 1413-1421.
- [6] 毛冬艳, 乔林, 陈涛, 等. 2004 年 7 月 10 日北京局地暴雨数值模拟分析[J]. 气象, 2008, 34(2): 25-32.
- [7] Ek, M. and Mahrt, L. (1994) Daytime Evolution of Relative Humidity at the Boundary Layer Top. *Monthly Weather Review*, **122**, 2709-2721. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122<2709:DEORHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122<2709:DEORHA>2.0.CO;2)
- [8] 郭立平, 汤懋苍, 杨德保. 地气要素结合的廊坊地区暴雨落区预报方法[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 270-276.
- [9] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006: 130-133.
- [10] 宋善允, 彭军, 连志鸾, 等. 河北省天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 55-89.
- [11] 郭立平, 汤懋苍, 刘艳杰. 河北省廊坊地区暴雨预报的地气学方法[J]. 高原气象, 2014, 33(3): 868-876.
- [12] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 444-449.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2168-5711，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ccrl@hanspub.org