

Analysis of a Rare Rainstorm Process in the Early Summer of 2014 in Kashgar Region

Xerinay Tiliwaldi

Kashgar Meteorological Observatory, Kashgar Xingjian
Email: qxr567@163.com

Received: Jul. 2nd, 2020; accepted: Jul. 6th, 2020; published: Jul. 23rd, 2020

Abstract

By using conventional meteorological observation data, hourly precipitation data by regional automatic stations in Kashgar, $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data of NCEP, FY-2 satellite data and radar data, the circulation background, physical quantity, upper and low altitude wind field of a rare rainstorm in Kashgar on June 18-23 of 2014 were analyzed. The results show that the rainstorm process was mainly divided into two periods, for the first time was a typical complex precipitation, for the second time was the convective precipitation caused by the Balkhash lake low vortex and central Asia trough mergers. The central Asia low vortex, the Balkhash lake low vortex and low-level shear were the major influence systems of this heavy rainfall, the southwest middle level jet and the lower east wind provided plenty of moisture condition for this weather process. Low-level convergence and upper level divergence configuration made vertical upward movement developed and strengthened and water vapor at low level was transported upward rapidly, at the same time, the vertical transportation of heat and momentum occurred, these all provided a favorable dynamic and thermodynamic condition for the heavy rain formation.

Keywords

Rainstorm, Low-Level Shear, Central Asia Low Vortex, Balkhash Lake Low Vortex, Physical Quantity, Mesoscale Convective Complex

2014年初夏喀什地区一次罕见的暴雨到大暴雨过程的综合分析

希热娜依·铁里瓦尔地

喀什地区气象台, 新疆 喀什
Email: qxr567@163.com

收稿日期: 2020年7月2日; 录用日期: 2020年7月16日; 发布日期: 2020年7月23日

摘要

应用常规气象观测资料、区域自动逐渐时观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析场资料、FY-2号气象卫星资料及新一代天气雷达资料,对2014年6月18~23日喀什地区罕见连续性暴雨天气过程环流背景、高低空风场、物理量场及卫星雷达资料进行天气学诊断分析。结果表明:此次暴雨过程分为两个时段,两个时段暴雨影响系统不同,第一时段为典型“东西夹攻”造成的复合型降水,第二时段为巴湖低涡引导冷空气南下与东移北收的中亚低槽合并造成对流性降水。中亚低涡、巴湖低涡和中低层切变是这次暴雨天气过程主要影响系统;中层西南气流、低层东风气流为暴雨产生提供充沛水汽;低层辐合、高层辐散配置,使垂直上升运动得到发展和加强,低层水汽迅速向上输送,同时引起热量、动量垂直输送,为暴雨形成提供有利动力和热力条件。地形在本次强降水过程中有重要作用,地形抬升和收缩作用使得辐合上升运动加强。

关键词

暴雨, 中低层切边, 中亚低涡, 巴湖低涡, 物理机制, 中尺度对流复合体

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

位于新疆西南部、塔里木盆地西部的喀什地区,境内北、西、南三面环山,东边为塔克拉玛干沙漠,地形十分的复杂,地势自西南方向东北方逐渐的倾斜,为半干旱地区,以发展农业和牧业经济为主。复杂地形对天气系统影响显著,天气多变,常出现强对流天气。喀什地区夏季出现暴雨的机率不高,但过程的降水量大,1961~2000年统计的大降水出现次数,下半年大降水发生次数约占80%,其中夏季出现54%。大降水中心区域的降水量与邻近地区差别很大,降水量呈现出明显的空间梯度大、分布不均。近些年喀什地区异常暴雨天气及短时强降雨出现频繁,而且突发性强、历时短、强度大,过程降水量甚至改变当地降水气候分布,致使平均年、月降水量明显增多,同时受特殊地理及生态环境影响,强降雨极易爆发洪涝、山体滑坡、泥石流等衍生灾害,危害社会经济和人民生命财产[1][2][3]。

国内和疆内许多气象工作者从各方面分析研究了暴雨天气。研究表明,暴雨是多尺度天气系统相互作用下的产物,其中大尺度环流能明显的制约暴雨的发生发展,中尺度系统是可以直接影响暴雨的天气系统[3]-[12]。本文采用常规的气象资料初步分析2014年6月18~23日喀什地区暴雨过程环流背景及天气系统,并运用NCEP再分析资料对此次暴雨天气的动力、热力学机制,再利用卫星雷达资料分析造成这次暴雨的对流云团和中尺度系统,为南疆西部暴雨及落区预报提供参考依据。

2. 暴雨过程概况及灾情

新疆属于干旱半干旱气候区,不适用国家降水量级标准,因此依照新疆本地气候特点制定出适合当地的降水量级标准[1][2],即:6.1~12.0 mm为中雨,12.1~24.0 mm为大雨,>24.0 mm为暴雨。参考新疆暴雨灾害记录、暴雨发生特点及河川与下垫面渗透力等情况,将暴雨标准定义为:日降水量 ≥ 20 mm为干旱区暴雨日,日降水量 ≥ 25 mm为半干旱区暴雨日。喀什属半干旱地区,故日降水量 ≥ 25 mm可作为暴雨日[1]。

2014年6月18~23日,受中亚低涡不断分裂短波东移及巴湖低涡南下和东移北收的中亚低槽合并共同影响,喀什地区出现历史罕见的大范围连续性暴雨和冰雹天气过程。强降水主要集中在18日14~21时(北京时,下同)和23日20~23时。此次强降水特点是:1)影响范围广、降水时间长、累计降水量大,4个测站长达6天累计降水量超过50mm(叶城县柯克亚乡5村为69.7mm,英吉沙县克孜勒乡为59.4mm,莎车县卡群乡为57.4mm,叶城县普萨牧场为52.8mm),33个测站超过25mm,38个测站超过20mm;2)暴雨落区较分散:存在着4个分散暴雨区,偏北的暴雨区集中于喀什、伽师一带,偏南暴雨主要集中在叶城、莎车;3)此次暴雨降水强度强,多个站突破历年6月日最大降水量。据统计,这次暴雨冰雹天气造成48,000人受灾,农业、牧业、林果业以及交通设施受灾严重,直接经济损失13,805.6万元。

3. 暴雨大尺度环流背景

6月16日20时,100hPa南亚高压存在着两个高压中心,一高压中心位于伊朗高原,另一中心则位于青藏高原西部,南亚高压出现了双体型,并在17~18日出现了进一步的发展,伊朗高压和青藏高原中心分别达到1692dagpm和1688dagpm,脊的振幅表现为西强东弱。18~19日南亚高压强度变化不大但出现东西震荡,青藏高原中心在25°N附近摆动。19日开始,南亚高压双体型解体,第一时段暴雨结束。这种南亚高压双体型的東西震荡是暴雨产生的典型先兆。

500hPa,17日08时,中高纬地区环境形势呈现出两槽一脊型,东欧到里咸海是一宽广的低槽区,新地岛以东至巴胡为脊区,贝加尔湖至新疆东部及内蒙一带受低值系统影响,贝湖低槽南段至东疆有一东西向横槽,中亚低涡开始形成,其主体在40°N附近。20时伊朗副高东移北伸,里咸海高压脊开始建立,中亚低涡南伸至35°N,西伯利亚脊受上游冷空气入侵而衰退南压,脊前贝加尔湖低槽得到脊前冷空气南下补充而西退南压,使横槽加强,冷空气翻越中天山沿东疆灌入盆地,并在南疆西部堆积。18日08时,里、咸海脊有所发展,并叠加欧洲脊,脊前西北气流携带冷空气南下,中亚低涡向南压低,东疆横槽维持,形成典型东西夹攻形势,此时南疆西部上空形成辐合性反气旋,槽前印度半岛到南疆西部为西南气流,该西南气流提供充足水汽,加剧冷暖空气交汇,为暴雨产生提供动力、热力条件,造成18日14~19时喀什自南向北暴雨天气,过程中疏附县木什乡6h降水量22.1mm,为暴雨,其中仅15时1h降水量为19.8mm。20时,伊朗副高开始西退,中亚低涡减弱成槽并开始北抬,东疆横槽移出新疆,第一时段暴雨结束。

19~22日中亚低槽维持,伊朗副高北伸与发展的里咸海脊叠加,环流经向度加大。期间由于低层偏东气流减弱,全区降水以小到中量为主。23日08时,里咸海脊发展与欧洲脊同位向叠加,其脊前强冷空气沿西北气流南下注入巴湖有低涡。20时,中亚低槽快速北收与巴湖低涡合并,20~23时又造成喀什偏北地区暴雨和冰雹。22时疏勒县库木西力克乡1h降水量为25.0mm,伴有冰雹,冰雹直径2~3cm。伽师、英吉沙、岳普湖部分地区1h降水量超过20mm,伴有不同程度冰雹。此后低涡逐渐移出喀什,第二时段暴雨结束。

4. 高低空风场配置与暴雨落区关系

第一时段暴雨:18日08~20时,200hPa风场上存在很强偏西急流,急流轴最大风度为50m/s。南亚高压上部为强辐散,使高层起“抽吸作用”。500hPa,南疆西部上空有辐合性气旋,槽前西南气流稳定维持,中亚南部的暖湿空气不断北输,暴雨区上空具备充足的水汽。700hPa,从喀什到库车及阿克苏和田分别存在风向切变,两个切变线又在喀什偏东偏南形成“人”字型切变线,暴雨区位于切变线右下方。850hPa,18日08时,喀什到和田有风向切变,随后切变线南压造成叶城暴雨。盆地偏东气流较强,若差为16m/s,偏东气流由盆地伸向南疆西部,低层风场在南疆西部辐合,低层水汽迅速集中。

第二时段暴雨:22日,200hPa副热带大槽开始建立,20时,喀什偏南部及北部出现西南、偏西气

流, 速度分别为 32 m/s、26 m/s, 23 日 08 时喀什南部西南风加强到 36 m/s, 而中亚偏南形成 20 m/s 西南气流, 这两支西南气流维持到 24 日 08 时, 为暴雨产生提供动力条件。500 hPa 上, 23 日 08 时, 南疆西部上空又出现弱复合型气旋, 这与第一阶段暴雨相似, 但没有明显西南气流输送水汽到暴雨区上空, 仅是西北气流携带巴湖低涡水汽汇入暴雨区。700 hPa, 阿克苏到和田存在横向切变, 喀什仍为西北气流。850 hPa, 23 日 08~20 时, 喀什由偏西气流迅速转为东南气流, 22 日若羌站 8 m/s 偏东气流已建立并维持到 23 日 20 时, 说明有冷空气从盆地灌入我区, 在底层产生辐合产生暴雨, 但这次偏东气流带来冷空气没有第一时段强。

分析两个时段暴雨高低空风场配置得出, 第一时段暴雨产生在高空偏西急流入口区右侧, “人”字型切变线右下方, 850 hPa 偏东大风速轴左侧及 500 hPa 槽前辐合区附近。中层西南气流和低层偏东气流为这次暴雨提供充足水汽, 暴雨落区在喀什北部和南部。第二时段暴雨过程中, 200 hPa 西南气流作为动力条件和 500 hPa 巴湖低涡自身携带水汽是这次暴雨过程触发机制, 偏东气流作用不明显, 暴雨落区主要在喀什北部。喀什处于南疆西部盆地北坡, 在这三支气流的作用下, 正好处于迎风坡, 地形的抬升与辐合促使强上升运动发展, 水汽辐合增强并汇集, 使得暴雨加大。

5. 暴雨发生的物理量场配置

5.1. 水汽条件

5.1.1. 水汽通量

暴雨产生必须具备充足水汽条件。水汽通量用来反映水汽输送的强度。通过暴雨中心(77°E)作水汽通量经向垂直剖面(图 1), 可看到暴雨发生前期(18 日 02 时), 38°N 700 hPa 以下存在一水汽通量的高值带, 中心值为 $5.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 充足水汽利于暴雨的发生。14 时, 水汽通量的大值中心在 39°N 的 700 hPa 附近, 中心值达到了 $3.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 水汽通量等值线的密集区为暴雨中心。18 日 08 时, 和田东北部处于中心值为 $14 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的 850 hPa 水汽通量的大值区, 水汽通量大值中心于 14~20 时移向西北, 20 时值为 $6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的中心区到达 38°N、79°E, 与此同时暴雨区的水汽通量值也出现了增大, 为 $2\sim 4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。23 日 08 时, 位于 77°E、39°N 的暴雨中心低层 850 hPa 以下出现了水汽通量的大值带, 中心值为 $4.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 此水汽通道维持到 24 日 02 时, 其中 23 日 20 时达到了最大值 $5.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 基本对应着暴雨高峰时段。

总体上, 两个时段暴雨过程中低层都存在着水汽通量的大值区, 表明着低层出现了较强的水汽辐合, 这也是形成暴雨的有利的水汽来源。

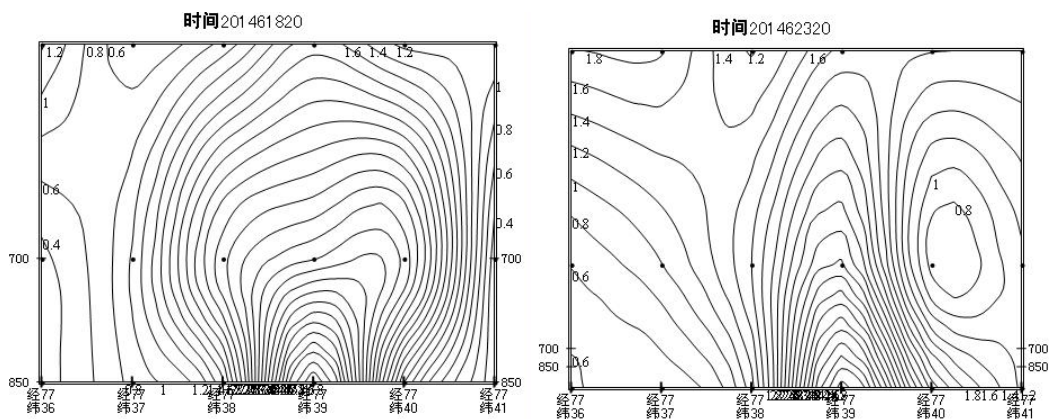


Figure 1. Vertical profile of water vapor flux at storm center (77°E)

图 1. 暴雨中心(77°E)的水汽通量的经向垂直剖面图

5.1.2. 水汽通量散度

水汽通量散度是反映水汽输送的源与汇，水汽通量散度负值越大，表示水汽通量汇合越强，越有利于强降水天气产生[8]。通过暴雨中心(77°E)作水汽通量散度经向垂直剖面(图2)，18日02时，在37°~39°N，从850 hPa到高层表现为强烈水汽辐合，700 hPa附近有两个辐合中心，强中心值 $-23 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。14时，暴雨中心在700 hPa以下为辐合区，38°~39°N在700 hPa以上为辐散区。20时，低层辐合中心移至40°N，暴雨中心37°~39°N在500 hPa以上表现为辐散，500 hPa以下基本成为 $<-10 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 强辐合区，其中700~850 hPa中心值为 $-19 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。可见，低空水汽辐合区随时间自南向北移动发展和强降水落区较一致。23日08~14时，暴雨中心37°~39°N在700 hPa以下为辐散，而700~500 hPa为辐合，大气层结稳定，20时为低层强辐合、中高层强辐散，大气垂直运动旺盛，第二时段暴雨发生。

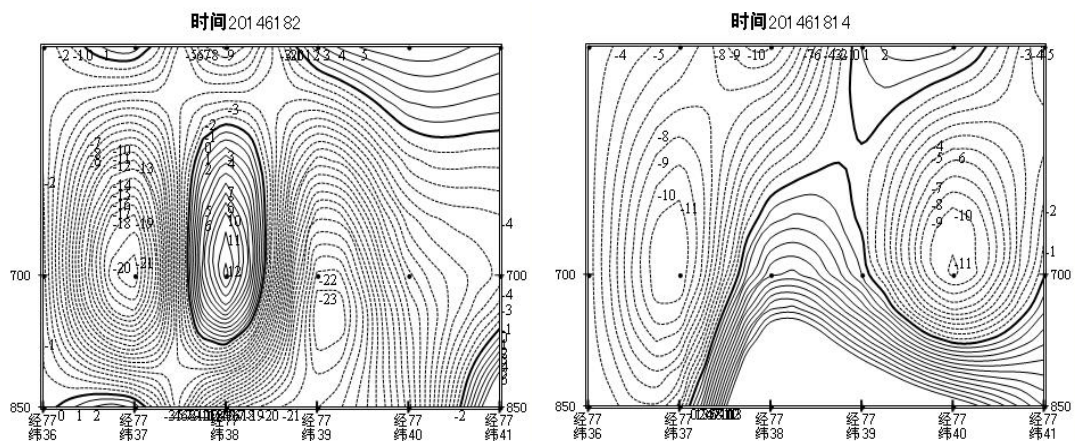


Figure 2. Vertical profile of water vapor flux divergence at the center of a rainstorm (77°E)
图2. 暴雨中心(77°E)的水汽通量散度的经向垂直剖面图

5.2. 动力热力条件

5.2.1. 垂直速度场

充足的水汽条件，不稳定层结及强烈的上升运动是形成暴雨的3个必须条件[8]。暴雨过程中，沿77°E作垂直速度的经向垂直剖面(图3)，18日的14时，37°N附近700 hPa以下出现上升运动，39°N则是下沉运动。20时，36°~43°N整个大气层出现强烈的上升运动，700 hPa附近是上升运动中心，中心值为 $-40 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ，暴雨区处在强上升运动中心西南侧上升区一侧。23日20时，暴雨中心(39°N~77°E)在700 hPa以下为上升运动，700 hPa以上为下沉运动，说明湿层较浅薄。由此可见，上升运动强烈，对流层的中低层大量暖湿气流迅速的辐合抬升，上升过程中不断释放大量潜热，大气快速的加热，导致大气不稳定性增加。

5.2.2. K 指数

K 指数计算公式为： $K = [T_{850} - T_{500}] + T_{d850} - [T - T_d]_{700} + [T_{850} - T_{500}]$ 。

表示850 hPa与500 hPa之间的温度差，代表温度的递减率， T_{d850} 指的是850 hPa露点，代表着低层的水汽条件， $[T - T_d]$ 表示700 hPa的温度露点差，反映出中层饱和度及湿层厚度。K指数用于反映中低层稳定性和湿度条件。K值越大，说明降水发生的可能性越大。K $\geq 35^\circ\text{C}$ 时，对流性天气和暴雨发生的可能性较大[8]。

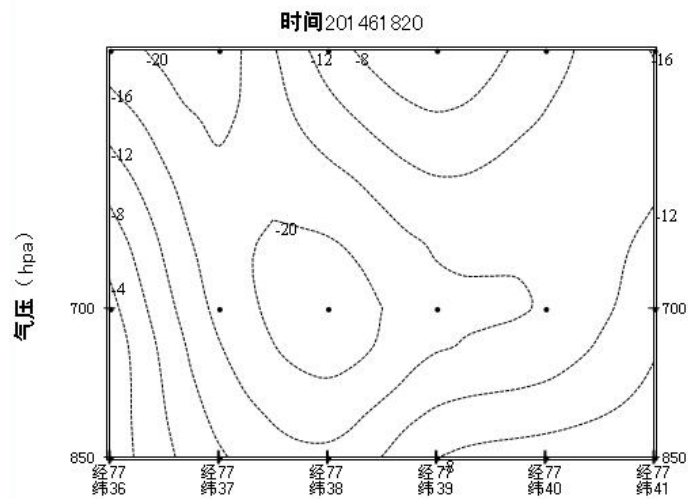


Figure 3. Vertical section of vertical velocity at storm center (77°E)
图 3. 暴雨中心(77°E)的垂直速度的经向垂直剖面图

6月18日的08~20时K指数可以表明,中亚一带为此次过程中K指数的大值区,喀什地区有明显的 Ω 型,14时,暴雨中心区位于 $\geq 40^\circ\text{C}$ 的 Ω 型西侧拐点附近冷暖交汇区,不稳定能量得到加强,促使暴雨中尺度系统的产生。23日20时 $[T_{850} - T_{500}] = 37^\circ\text{C}$,说明大气高低层之间温度直减率大,K指数为 24°C ,利于强对流天气发生。对应21~22时偏北局地发生暴雨、冰雹。随着强降水结束,K值下降,大气层趋于稳定。

5.2.3. 假相当位温

运用T639模式结果对此次过程的假相当位温变化进行分析,暴雨产生和减弱与大量能量的积聚及释放有密切的相关。对暴雨区高空的假相当位温沿 77°E 作经向-高度的剖面,在700 hPa以下,假相当位温随着高度出现下降,大气呈现对流性不稳定状态。随着时间的推移,辐合层逐渐抬升,暖湿气流随之向上扩展,不稳定高能高湿不断加厚。强降水出现前的18~6h,700 hPa以下低空对流层的假相当位温场有一341~345 K的高能舌,可见有不稳定能量不断累积在底层,成为强降水形成发展的有效能量,暴雨中心区处在假相当位温等值线密集区。强降水发生后,不稳定能量得到释放,不稳定层下降。不稳定能量释放是暴雨产生机制之一。

6. FY-2D 卫星云图特征

23日18时西部境外有多个对流云团发展,19时随西北气流进入南疆西部,随后对流云团加强合并,在乌恰形成中- β 尺度对流云团。20~21时,面积迅速扩大,强度加强及移动较快,喀什一带对流单体已发展成南北长约205 km中尺度云团,此时喀什市1h降水量4.5 mm。22~23时,中 β 尺度云团继续东南下,其中心强度达 -43°C ,造成喀什偏北地区大到暴雨和冰雹。其中22时疏勒县洋大曼大队和库木西力克乡1h降水量分别达19.6 mm和25.0 mm,23时英吉沙克孜勒乡1h降水量25.2 mm,上述地区出现不同程度冰雹。24日0时,对流层顶 $\leq -40^\circ\text{C}$ 结构分裂,说明此时该云团由成熟鼎盛期进入衰减期,相应地面降水量呈减弱趋势。24日04时云团完全消散,全区降水停止。

7. 结论

- ① 此次暴雨发生在南亚高压双体型东西震荡及中亚低槽南伸后快速北抬有利大尺度环流背景下。

② 低层辐合、高层辐散配置促使高层产生“抽吸作用”，垂直上升运动发展并加强，携带低层水汽向上输送，并带动热量、动量一起垂直输送，形成利于暴雨产生发展的有利动力条件。

③ 强降水有明显的两支水汽输送通道：一是中亚低槽西南气流携带水汽；二是中低层孟加拉湾 - 青藏高原东侧偏南气流北上到达河西走廊，沿偏东气流自哈密南部经过南疆盆地向南疆西部输送，使水汽迅速集中与辐合。

④ 水汽通量高值带位于中低层 850~700 hPa，低空急流作为载体携带大量的水汽持续向暴雨区上空输送。

⑤ 暴雨期间暴雨区上空有一较强垂直速度上升区。暴雨区位于强上升运动中心西南侧上升区一侧。上升运动的强烈发展，抬升了对流层的中低层暖湿气流辐合，在其上升运动过程中释放出大量的潜热，大气迅速加热，大气的不稳定度加大。

⑥ 暴雨过程中能量集聚，暴雨发生后，不稳定能量得到释放。暴雨发生在位势不稳定集中地区域，与假相当位温大值区相对应。

参考文献

- [1] 张家宝, 邓子凤. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [2] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 456.
- [3] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-10.
- [4] 杨霞, 李云, 赵逸舟, 等. 新疆一次深秋局地短时大暴雨的成因分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 162-170.
- [5] 张云惠, 陈春艳, 杨莲梅, 等. 南疆西部一次罕见暴雨过程的成因分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 191-200.
- [6] 杨莲梅, 张云惠, 汤浩. 2007年7月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 963-973.
- [7] 张淑敏, 淡会星, 吴宁, 等. “7.28”渭河区域性大暴雨天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(1): 1-5.
- [8] 张剑明, 章新平, 蔡秀峰, 等. 湖南湘中地区一次暴雨及大暴雨过程分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 117-125.
- [9] 幕建利, 李泽椿, 赵琳娜, 等. “07.08”陕西关中短历时强暴雨水汽条件分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 1042-1052.
- [10] 孔期, 郑永光, 陈春艳. 乌鲁木齐7.17暴雨的天气尺度与中尺度特征[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 12-22.
- [11] 江远安, 包斌, 等. 南疆西部大降水天气过程的统计分析[J]. 沙漠与绿洲气象(新疆气象), 2001, 24(5): 19-20.
- [12] 王文, 蔡小军, 隆霄. “99.6”梅雨锋暴雨模拟资料的诊断分析[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 5-11.