

# Impact Analysis of the Dry Intrusion on Rainstorm on 1 August 2016 in Yili Region

Xiaomei Zhu, Ting Bai, Ting Xu

Yili Meteorological Bureau, Yili Xinjiang  
Email: zxm394443923@sina.com

Received: Jul. 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 12<sup>th</sup>, 2017; published: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2017

---

## Abstract

Using NECP/NCAR reanalysis data, the paper analyzes a large scale circulation background and the conditions of water vapor of the heavy rain process occurred on the August 1, 2016 in the Yili region, and using the relative humidity, wind velocity, potential vorticity, false quite moderate vertical vorticity and other physical quantity, research the mechanism and characteristics of the dry intrusion in the heavy rain process, as well as to the occurrence, development and maintenance of the impact of the storm. The results show that the heavy precipitation process is produced in the background of the large scale circulation of the South Asia High eastern development and the West Pacific Subtropical High of the westward and northward advance. The water vapor is mainly from the southern boundary, and the continuous water vapor provides favorable conditions for the rainstorm. Affected by development of southern trough eastward, dry intrusion in the vertical level performs an invasion of the upper to the lower troposphere, horizontal main performs an invasion of the west to the east, and has the long-term confrontation of moist air and dry cold air; when a high value vortex in the upper troposphere of dry air intrudes to low-level, leads to lower vertical vorticity value increases, making low-level convergence, the strengthening of upward movement, which is conducive to the emergence of large precipitation.

## Keywords

Dry Intrusion, Rainstorm, Potential Vorticity, South Asia High, Western Pacific Subtropical High

---

# 干侵入对伊犁地区“2016.08.01”暴雨过程的影响分析

祝小梅, 白 婷, 徐 婷

伊犁州气象局, 新疆 伊犁  
Email: zxm394443923@sina.com

## 摘要

本文利用NECP/NCAR再分析资料，分析了2016年8月1日发生在伊犁地区一次暴雨过程的大尺度环流背景和水汽条件，运用相对湿度、风矢量、位势涡度、假相当位温和垂直涡度等多种物理量场，研究了该暴雨过程中干侵入的机制和特征，以及对暴雨发生、发展和维持的影响。结果表明，此次强降水过程是在南亚高压东部发展型及西太平洋副高压西伸北挺的大尺度环流背景下产生的；水汽主要来源于南边界，持续的水汽的辐合为暴雨提供了有利的水汽条件。受南支槽发展东移的影响，干侵入在垂直层次上表现为由对流层中高层向低层的侵入，水平方向上主要表现为由西向东的侵入，并存在暖湿空气和干冷空气的长期对峙；当对流层中高层具有高值位涡的干空气侵入到低层时，导致低层的垂直涡度值增加，使得低层辐合加大，上升运动加强，有利于大降水的出现。

## 关键词

干侵入，暴雨，位势涡度，南亚高压，西太平洋副热带高压

Copyright © 2017 by authors 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

伊犁地区位于我国新疆西部边陲，属大陆性温带半干旱气候区，位于东经  $80^{\circ}09' \sim 84^{\circ}56'$ ，北纬  $42^{\circ}14' \sim 44^{\circ}53'$ 。且其东南北三面高山环绕，地势东高西低，东窄西宽，呈喇叭型向西敞开，且由西向东逐渐抬升，谷口与谷底之比为 3:1。伊犁地区这种独特的三面环山，向西开口的喇叭口地形，使得伊犁基本上只接收由西风带来的北大西洋暖湿气流，形成较湿润的温带大陆性半干旱气候。随着全球气候变暖背景下，暴雨也成为伊犁河谷主要灾害之一。

暴雨是在以大尺度天气系统为背景，中(小)尺度系统相互作用下形成的。一般情况下暴雨必须满足以下条件：1) 充分的水汽供应；2) 强烈的上升动力；3) 较长的持续时间；4) 有利的地形作用[1]。近年来不少学者[2]-[10]对新疆产生暴雨的环流形势、水汽条件、动力条件、云图特征以及雷达回波等进行了研究，但基本上是对北疆北部及南疆暴雨的研究，即使对伊犁的暴雨研究也多趋向于天气学分析及气候特征分析，如 1987 年出版的《新疆降水概论》[11]指出伊犁暴雨过程的环流形势主要有四种类型：1) 中亚低涡低槽；2) 强锋区低槽；3) 北支低涡低槽；4) 乌拉尔山大槽。祝小梅等[12]指出伊犁地区暴雨呈增长趋势，暴雨日多出现在 6、7 月份，主要集中在河谷的南部和东部山区。殷剑虹等[13]分析了伊犁河谷春夏季极端天气气候的变化，得出暴雨(日降水  $> 24$  mm)频次在 20 世纪 90 年代以后明显增加。而对伊犁产生暴雨天气过程的机理研究很少。干侵入(dry intrusion)是指从对流层高层下沉到低层的干空气，它可以由高位势涡度和低相对湿度这两个特征来表述。近年来许多国内气象工作者对干侵入对暴雨的影响也做了许多研究，如刘会荣等[14]通过对干侵入对济南“7.18”暴雨的作用研究指出，干侵入一方面有利于低层产生辐合、高层产生辐散，导致上升运动的发展，另外一方面还对锋区的形成和移动具有重要作用。白涛等[15]指出当对流层中高层具有高值位涡的干空气侵入到低层时，由于湿位涡守恒特性，引起倾斜涡

度发展,进而导致低层垂直涡度的急剧发展,有利于上升运动将水汽向上层输送,冷暖空气相遇,产生暴雨过程。姚秀萍等[16]分析了2003年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用,指出干冷空气的活跃与暴雨过程相对应,干侵入是干层和梅雨锋形成和维持的一个重要因素。另外还有许多学者分析了干侵入在暴雨中的作用[17][18],但是干侵入对于新疆暴雨的作用还没有被研究,干侵入对于新疆暴雨有什么影响?是不是有相同的特点?本文利用NCEP/NCAR再分析资料,参考一些气象工作者的研究,通过分析干侵入在相对湿度、风矢量、位势涡度、假相当位温和垂直涡度等多种物理量场中的特征,对此次伊犁地区暴雨产生机制进行深入分析,以便更加深入认识干侵入在暴雨中的作用,旨在为今后暴雨预报及研究提供参考,对提高暴雨预报、气候评价和气象服务工作质量有实质性的指导意义。

## 2. 天气实况

中国气象局规定日雨量(24 h)达到50 mm即定义为暴雨,而新疆是属于干旱、半干旱地区,因此根据该区的暴雨成灾事实、暴雨特点以及河川与下垫面渗透力情况,新疆暴雨标准定义为[2][3]:日雨量 $\geq 24.1$  mm为暴雨, $\geq 48.1$ 为大暴雨, $>96$ 为特大暴雨。根据伊犁地区气候特征及地理环境,把该区域分为西部平原地区(霍尔果斯、霍城、伊宁市、伊宁县、察布查尔县),东部山区(巩留、新源、尼勒克),南部山区(昭苏、特克斯)(图1)。

2016年7月31日20:00~8月1日20:00(北京时,下同),新疆西部伊犁地区出现入夏以来大范围强降水天气过程,降水主要集中在7月31日14时至8月2日08时,以连续性降水为主。从降水量分布图(图2)上可以看出,暴雨主要落区在东部山区巩留、尼勒克、新源境内,南部山区特克斯境内。暴雨过程中有172测站(县级站,下同)降水量达到24毫米以上,38个测站达到70毫米以上,2个测站超过96毫米,分别是巩留县的库尔德宁(103.1毫米)、恰西(98.8毫米)。其中伊犁地区东南部尼勒克县城日降雨量74.6毫米、新源县城66.1毫米、特克斯县城51.7毫米、昭苏县城52.8毫米,均超过该站建站以来日降水量极大值。

## 3. 大尺度环流特征及影响系统

### 3.1. 100 hPa 大尺度环流特征

南亚高压是夏季亚洲南部对流层上层和平流层底层的一个强大而稳定的大气活动中心,是副热带高压系统中的一个重要成员,它与夏季北半球大气环流和亚洲区域天气气候关系密切,而南亚高压在夏季期间的变动可分为三个基本天气型过程:东部型过程,高压中心在 $90^{\circ}\text{E}$ 以东;西部型过程,高压中心在 $90^{\circ}\text{E}$ 以西;带状型过程,在 $50^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 之间有几个强度相当的高压中心。而新疆多雨时,南亚高压多为东部型[18]。在暴雨天气前期27日欧亚范围中高纬为“两脊一槽型”的经向环流,副热带大槽在西伯利亚-里咸海地区建立,南亚高压为带状型,且西部脊强于东部脊;到29日西部脊开始减弱,同时青藏高原东部脊发展,南亚高压也有带状型转为东部型,在高压的西部西南气流建立,副热带大槽略有东移并南压,中纬度环流经向度加大,31日(图3)青藏高原东部脊继续发展,南亚高压位于青藏高原上空,脊线位置为东北-西南向,中心值达到1688 dagpm,且高压北部伸到 $55^{\circ}\text{N}$ 以北,副热带大槽也东移至 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$ 内,槽底伸到 $35^{\circ}\text{N}$ 以南。南亚高压的东部型、且加强及稳定维持和副热带大槽是这次大降水的大气环流背景。

### 3.2. 500 hPa 高度场和温度场

分析500 hPa环流场形势可以看出,2016年7月29日(图略),中高纬为两脊一槽型,欧洲及贝加尔湖为高压脊控制,中亚地区为低涡,中心值为560 dagpm,冷中心值为 $-16^{\circ}\text{C}$ 。伊犁地区处于中亚低涡

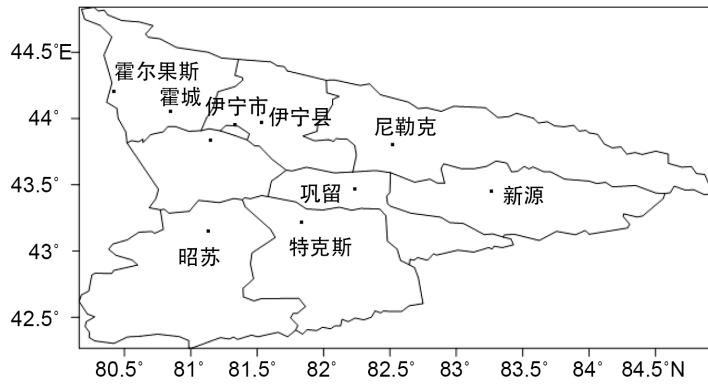


Figure 1. Topographic map of Yili area  
图 1. 伊犁地区地形图

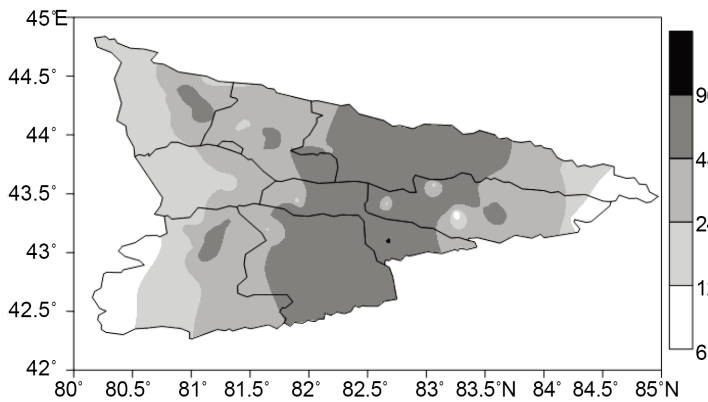


Figure 2. Water precipitation of 24 h (unit: mm) in Yili area  
图 2. 2016 年 7 月 31 日 20:00~8 月 1 日 20:00 (北京时间)伊犁地区 24 h 降水量(单位: mm)

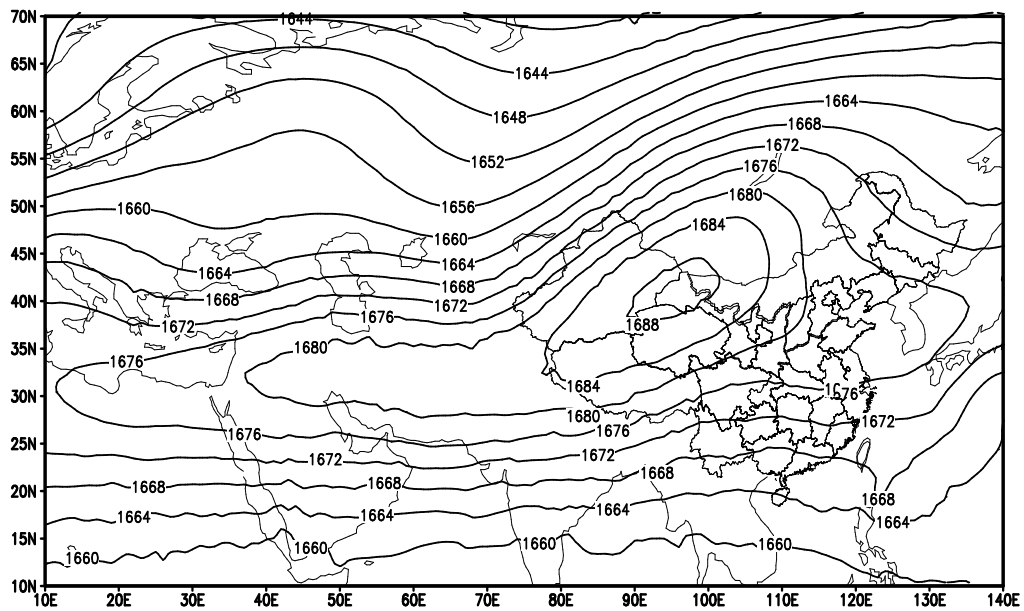


Figure 3. Geopotential height (unit: dagpm) at 100hPa during July 31, 2016  
图 3. 2016 年 7 月 31 日 00 时(世界时) 100 hPa 高度场(单位: dagpm)

前的偏西南气流控制下,西太平洋副高脊线(588 dagpm)位于 110°E 附近。陈永仁等[19]指出,夏季南亚高压存在东西振荡特征,西太平洋副高也存在西伸东缩特征,并存在较显著的反相关关系,即当南亚高压东伸时,西太平洋副高西伸,到 30 日 20 时(图 4(a))随着欧洲高压脊的向北发展,同时南亚高压转为东部型,西太平洋副高也西伸北挺,588 dagpm 线西伸至 90°E 附近,同时北抬至 45°N 附近,和贝加尔湖高压脊同位相叠加,形成长波脊,脊顶北伸至 70°N 以北。在两个高压共同作用下,使得中亚低值系统移动缓慢,此时里咸海地区长脊,冷空气南下,在咸海至巴尔喀什湖以南影响伊犁地区暴雨的南支槽建立,槽底伸至 30°N,且于与中亚低值系统有些同位相叠加,致使槽前的西南气流加强。从 7 月 31 日 08 时位势高度场分布形势看(图 4(b)),西太平洋副高继续西伸北挺,贝加尔湖高压加强略有东移,欧洲脊也稳定维持。两者之间的相互作用,使得影响伊犁地区暴雨的南支槽继续向南加深并东移。到 8 月 1 日(图略),两高压系统一直稳定维持,使得南支槽移动缓慢,伊犁地区长时间处于西南气流的影响。结合图 4(a)和图 4(b),可以看出自 7 月 30 日 12 时至 7 月 31 日 00 时(世界时,下同),欧洲高压脊的向北发展并稳定维持,以及里咸海地区的长脊,引导北方的干冷空气南下进入伊犁地区;同时西太平洋副高的西伸北挺,与中纬度地区的贝加尔湖高压脊同位相叠加形成长波脊,一方面阻挡了低压系统继续东移,另一方面,和低槽的共同作用下,也为引导南方的暖湿气流进入伊犁地区提供了条件。

#### 4. 水汽作用分析

充分的水汽供应是产生大降水的必要条件,而水汽通量反映了水汽输送方向和大小,水汽通量散度则反映了大气中水汽的积聚程度。在暴雨的发展发生过程中,水汽是不可或缺的因素。图 5 为暴雨前 7 月 31 日 06 时(世界时,下同)地面-300 hPa 水汽通量垂直积分分布图,从图中变量的分布形势可以看出,在这次大暴雨过程中,主要有二条气流所表征的水汽输送带,第一条来自西方的水汽通道,主要是南支槽东移,携带的西方水汽;第二条来自南方的水汽输送,而南方的水汽输送主要有两部分组成,一部分是随着青藏高原高压的发展,青藏高原西部的偏南水汽输送,一部分是随着 500 hPa 西太平洋副高的西伸北挺,孟加拉湾及西太平洋水汽向北输送,然后再在贝加尔湖南部的偏东急流接力输送到南疆,再沿着青藏高原西部的偏南气流输送到伊犁地区。从 7 月 31 日 12 时水汽通量散度沿 44°N (暴雨区附近)的剖面图(图略)可以看出,伊犁中低层都位于水汽通量散度的辐合区,而在降水量最大值附近(82°E 附近)其水汽辐合值最大,并扩展到 750 hPa,中心量级小于  $-15 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。图 6 为伊犁地区水汽输送边界图(80°~85°N, 42°~45°E), 1 为西边界; 2 为北边界; 3 为东边界; 4 为南边界。表 1 为 7 月 31 日 06 时~8 月 1 日 06 时水汽收支情况表,从表中可以看出整层水汽的净收支在  $31.4 \times 10^8$  亿吨,而西边界、东边界、南边界和北边界整层水汽输入量分别为 29、26.2、67.2 和  $38.6 \times 10^8$  亿吨,此次暴雨天气的水汽主要来自南边界,占水汽总输入的 41.7%,700 hPa 以上有大量的水汽从南面输入。从 850 hPa 的风矢量分布(图略)可以看到在 80°~85°E, 43.5°~44.5°N 有明显的偏东风与偏西风的切变,更利于水汽在此处输合,从实况降水来看,此处恰好是暴雨区。上述分析表明,在暴雨发生前,伊犁地区有正的水汽收支,且长时间处于水汽通量的辐合区,有利于水汽在伊犁地区的堆积,二者共同作用为这次降水提供了有利的水汽条件。

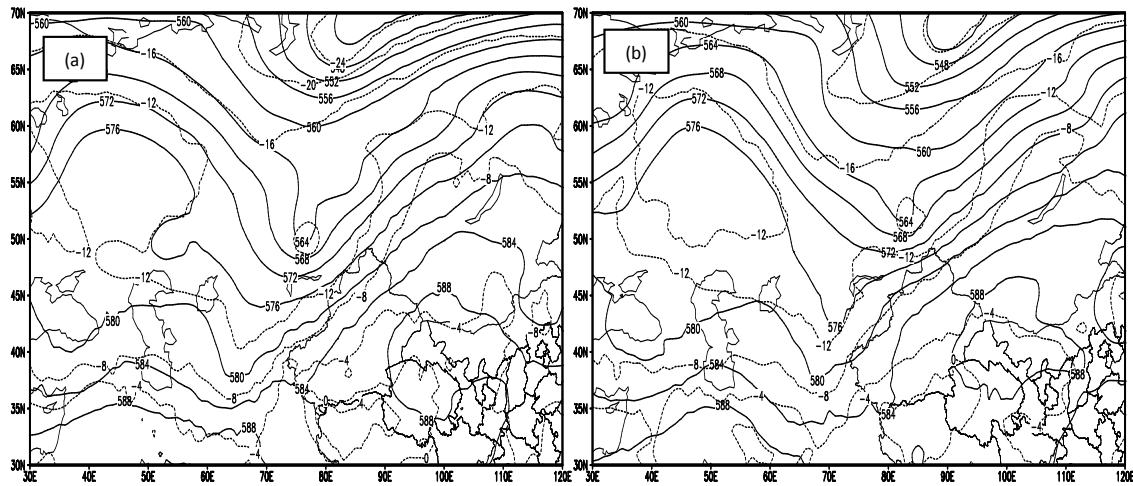
#### 5. 干空气侵入在本次暴雨中的作用

干侵入是指从对流层顶附近下沉至低层的高位涡、低温、低湿空气。

##### 5.1. 干侵入在风场中的表现特征

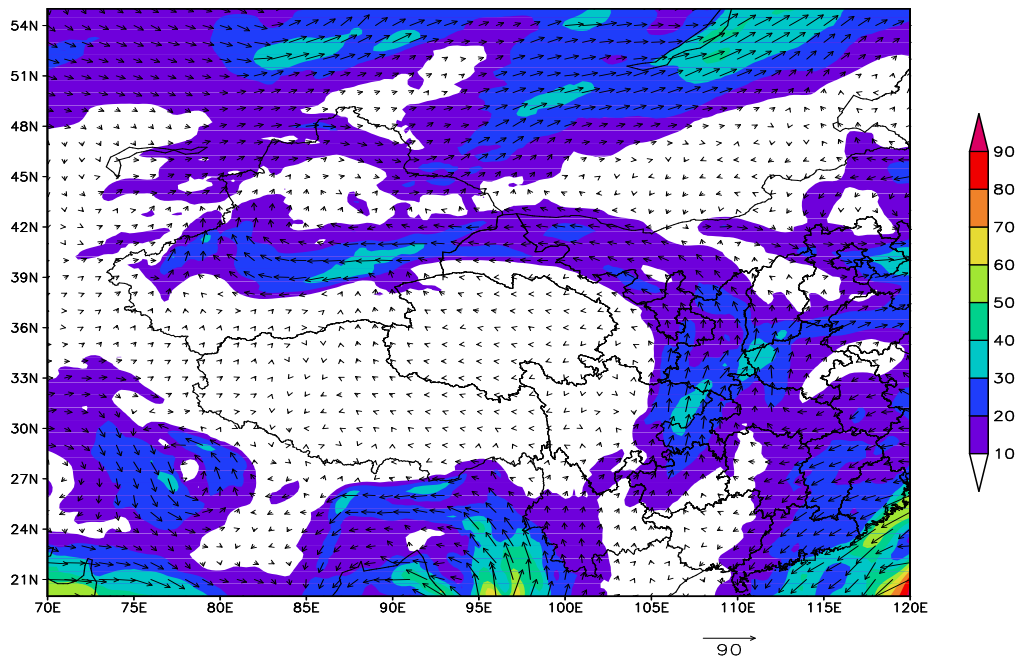
姚秀萍和于玉斌[16]的研究指出干冷空气的侵入有利于干层的形成和维持,干层的存在加强了暴雨过程的对流性不稳定,对暴雨的加强和发展起重要作用,而干空气和暖湿气流在江淮流域的对峙导致了当





**Figure 4.** Geopotential height (solid lines, unit: dagpm) and temperature (dashed lines, unit: °C) at 500 hPa during Jul. 2016: (a) 1200 LST 30 Jul.; (b) 0000 LST 31 Jul.

**图 4.** 2016 年 7 月 30 日 12 时(世界时)和 7 月 31 日 00 时(世界时)高度场(实线, 单位: dagpm)和温度场(虚线, 单位: °C): (a) 30 日 12 时; (b) 31 日 00 时



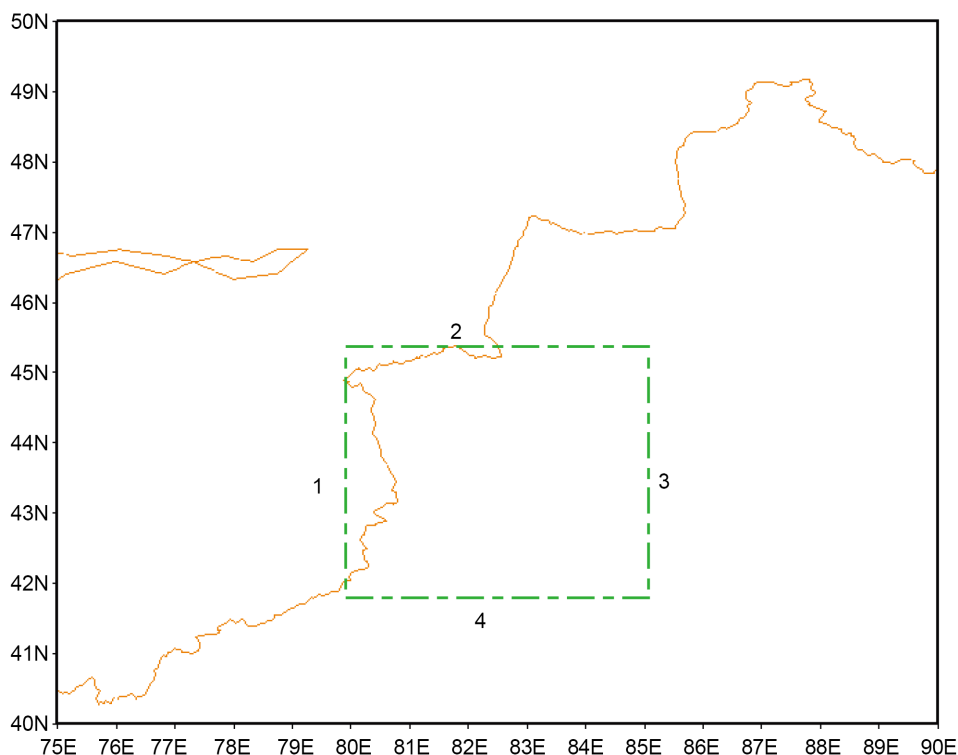
**Figure 5.** Vertical integrals of water vapor flux (unit:  $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at July 31, 2016

**图 5.** 2016 年 7 月 31 日 06 时(世界时)地面-300 hPa 水汽通量垂直积分(单位:  $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )

**Table 1.** The water balance table (unit:  $\times 10^8$  billion tons) of the four boundary lines

**表 1.** 7 月 31 日 14 时~8 月 1 日 08 时四个边界的水汽收支情况表(单位:  $\times 10^8$  亿吨)

	西边界	北边界	东边界	南边界	净收支
整层	29	38.6	26.2	67.2	31.4
地面~700 hPa	13.2	-11.3	10.4	-5.5	8.55
700~500 hPa	9.14	17.6	2.48	42.8	31.9
500~300 hPa	6.7	32.3	13.4	29.9	-9.07



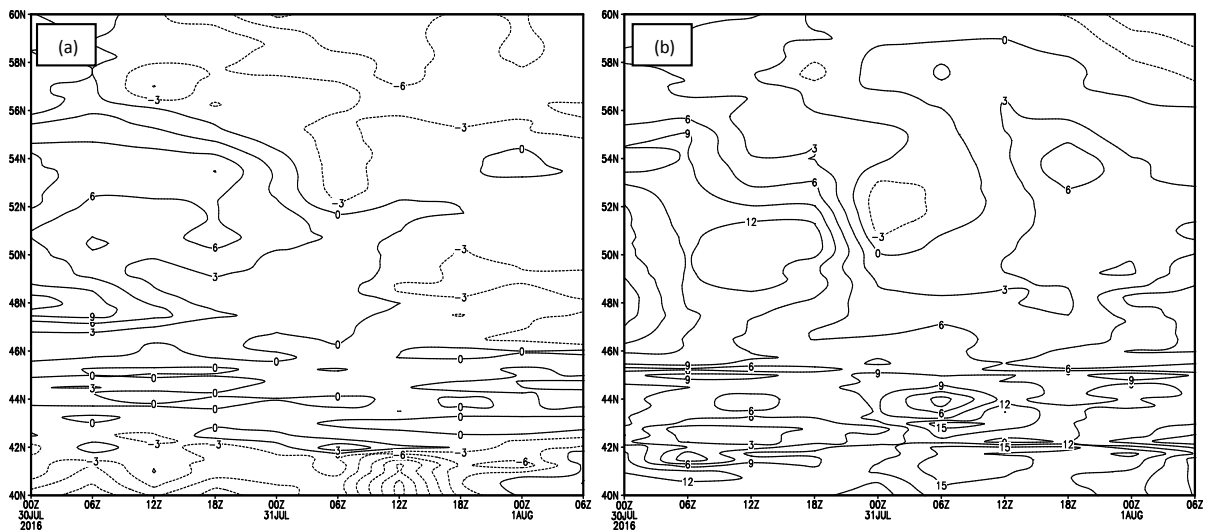
**Figure 6.** Water vapor transmission boundary map of Yili area (1: Western boundary; 2: North boundary; 3: East boundary; 4: South boundary)

**图 6.** 伊犁地区水汽输送边界图(1: 西边界; 2: 北边界; 3: 东边界; 4: 南边界)

地的持续性暴雨。从上面分析中得出，此次冷空气是北方冷空气沿欧洲高压脊前的北风带南下至中亚地区堆积，并随着低值系统的东移进入伊犁地区，因此可以用南风(正值)及北风(负值)的强弱来表征冷空气的活动情况。图 7(a)为 850 hPa 经向风沿 81°E 的纬度-时间演变图，从图中可以看出，在暴雨来临之前，伊犁地区受南风影响，随着时间的推移，北方冷空气逐渐南压，从 7 月 31 日 12 时到 8 月 1 日 06 时(世界时，下同)，冷暖空气在 46°N 附近对峙，从 500 hPa 的经向风分布来看(图 7(b))，伊犁地区北部干空气侵入主要发生在 7 月 31 日 00 时前后，而 850 的冷空气侵入在 7 月 31 日 06 日前后，低层暖湿空气叠加了干空气，更有利于位势不稳定层结的加大，有利于大降水的出现。从图中可以看到都有北风的大值区。图 8 为 500 hPa 纬向风沿 44°N 的经度-时间剖面图，从图中可以看出，从 7 月 30 日开始伊犁地区出现西风(正值)，且一直存在东西风的对峙现象。从以上分析说明在次暴雨过程中，干冷空气的侵入明显，且存在着干冷空气和暖湿空气的对峙，有利于暴雨的出现。

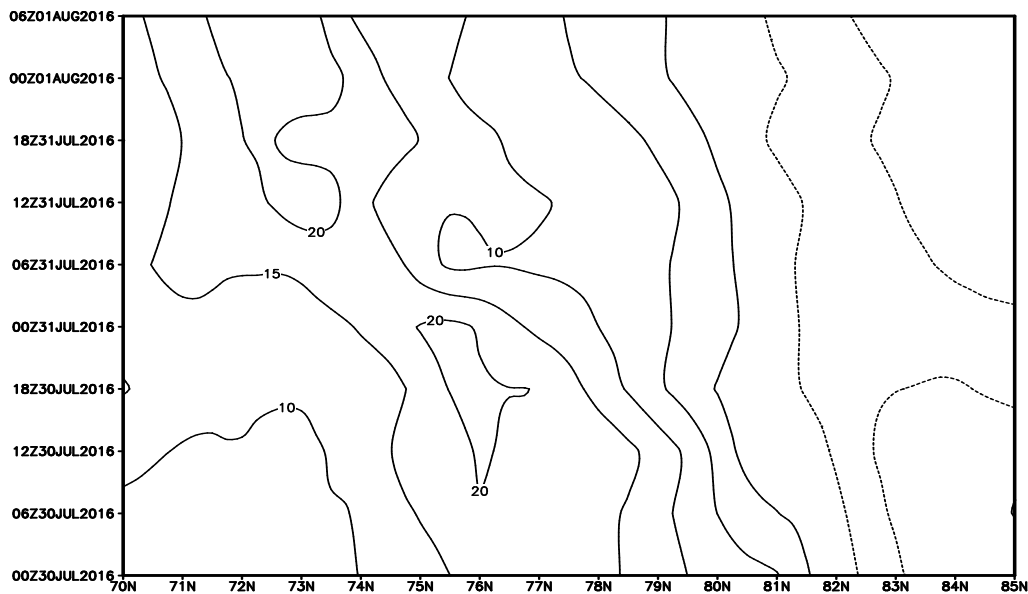
## 5.2. 干侵入在湿度场中的特征

在研究中把相对湿度小于 60 的区域定义为干区。图 9 为 7 月 31 日~8 月 1 日不同时次相对湿度沿 44°N 的纬度-时间剖面图，7 月 31 日 12 时，70°~76°E 的干冷气呈漏斗状自上向下伸展到 500 hPa 附近，干湿空气的中心轴线位于 75°~76°E 之间，到 7 月 31 日 18 时，干区的范围、强度变化不大，但干区向下伸展到 550 hPa 附近，干湿空气的中心轴线也向东移至 77°E 附近；到 8 月 1 日 00 时，干区的范围及强度都有所增大，且干区也下伸展到 600 hPa 附近，前缘已越过 80°E，垂直方向上也与 600 hPa 以下的干区连通；到 8 月 1 日 06 时，干区的范围及强度继续增大，且向下伸展至 700 hPa，中心轴线也东移至 82°E 附近，暴雨区对流层中上层都处于干区中。



**Figure 7.** The latitude-time cross sections of meridional wind along 81°E at (a) 850 hPa and (b) 500 hPa during the evolution of the torrential rain. (Unit: m/s)

**图 7.** 7月30日~8月1日暴雨发展过程中(a) 850 hPa 和(b) 500 hPa 沿 81°E 经向风的纬度 - 时间演变(正值为南风; 负值为北风)



**Figure 8.** The latitude-time cross sections of meridional wind along 81°E at 500 hPa during the evolution of the torrential rain. (Unit: m/s)

**图 8.** 7月30日~8月1日暴雨发展过程中 500 hPa 沿 81°E 纬向风的纬度 - 时间演变(单位: m/s) (正值为西风; 负值为东风; 时间: 世界时)

图 10 给出了 2016 年 7 月 31 日~8 月 1 日 500 hPa 不同时间上(世界时)相对湿度场和风场的叠加分布特征。7 月 31 日 12:00 (图 10(a)), 中亚低值系统后部有一股干空气存在, 且其前沿向东位于 77°E 附近, 北边位于 41.5°N 附近; 到 7 月 31 日 18:00 (图 10(b)), 随着南支槽的东移北上, 该股干空气东移至 79.5°E 附近, 同时北上至 43°N, 且强度有所变大, 此时伊犁地区降水也开始增大。上述分析表明, 这次暴雨过程中的确存在干侵入现象, 受南支槽的发展和东移的影响, 其移动表现为由对流层中高层向低层注入, 水平方向上主要表现为沿纬向由西向东注入。



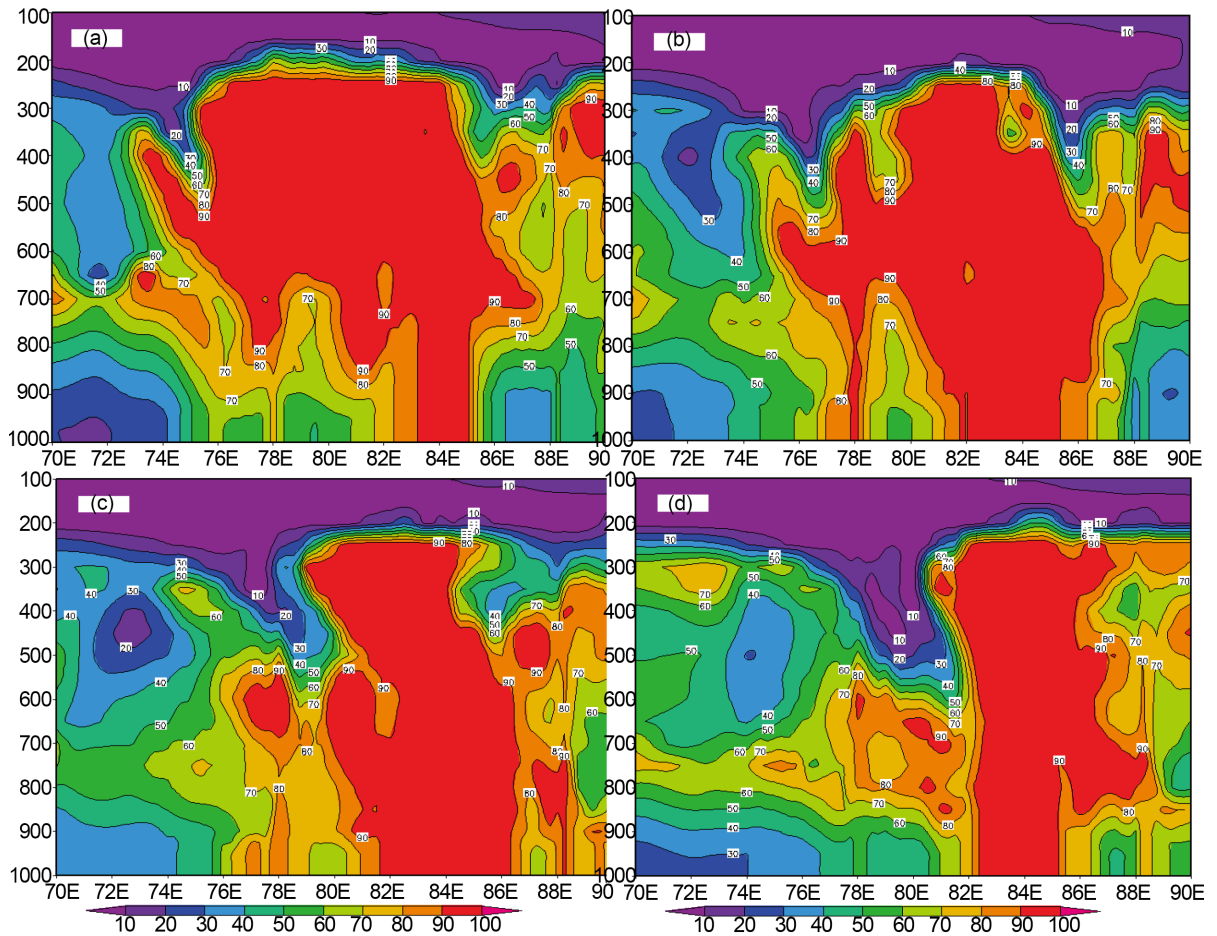


Figure 9. The latitude-height cross sections of relative humidity along 44°N ((a): 1200 LST 31 Jul.; (b): 1800 LST 31 Jul.; c: 0000 LST 01 Aug.; (c): 0800 LST 01 Aug.)

图 9. 7月31日~8月1日相对湿度沿44°N的纬度-高度剖面图。((a): 7月31日12时; (b): 7月31日18时; (c): 8月1日00时; (d): 8月1日08时)

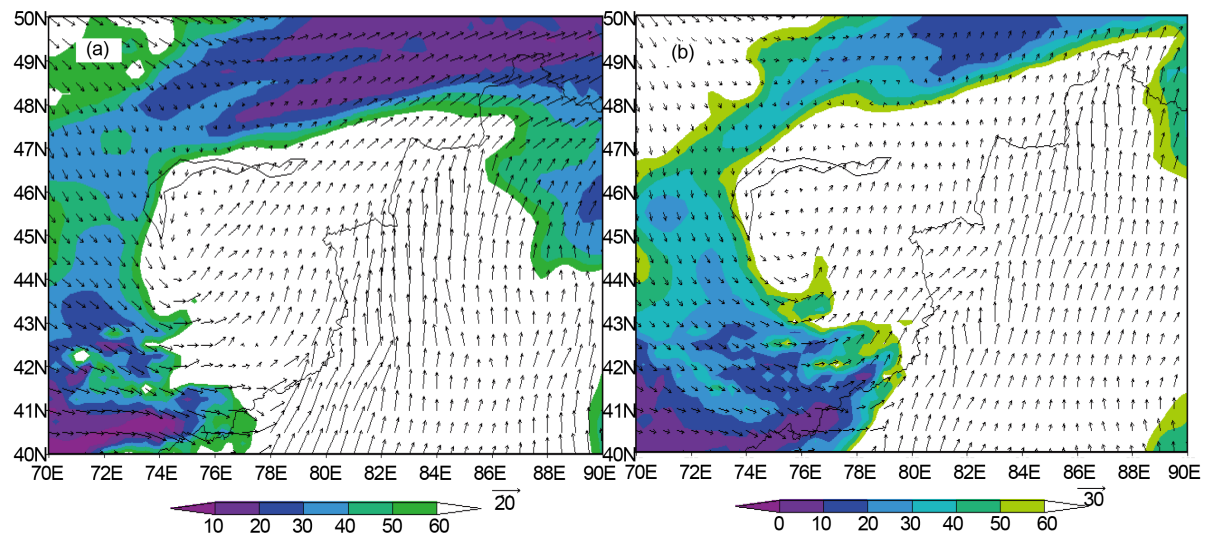


Figure 10. The superposition of relative humidity field (a) and wind field (b)

图 10. 7月31日12:00时(图(a))和18:00时(图(b))相对湿度场和风场的叠加图

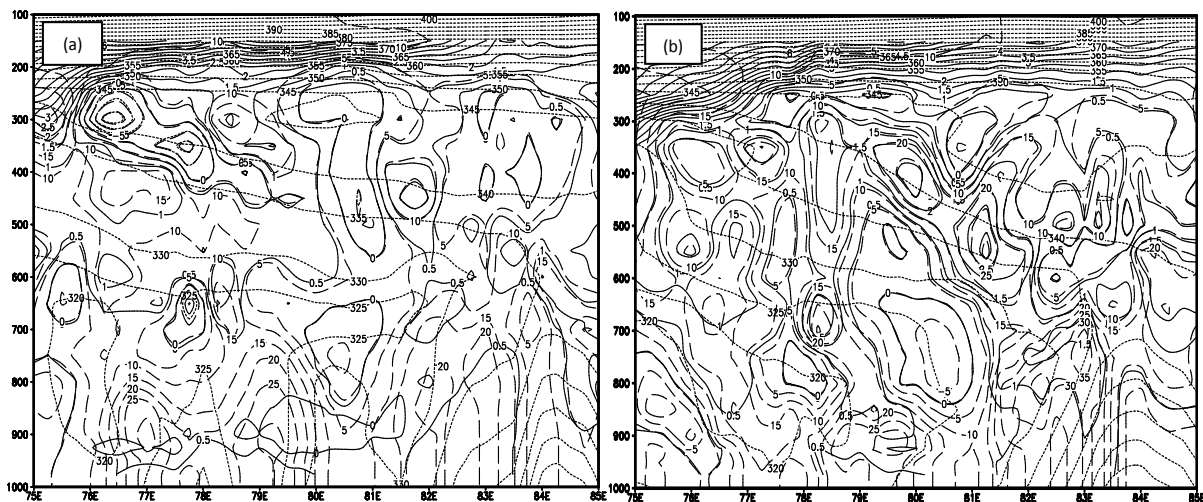
### 5.3. 干侵入的动力作用分析

暴雨的发生除了有一定的水汽条件外,还必须具有一定的上升运动。陶诗言等[20]指出,大气中大暴雨的发生、发展与垂直运动的急速发展有关,暴雨过程中低层垂直涡度的急剧增长是暴雨发生的机制之一。寿绍文等[21]研究表明,对流层高层高值位涡向下伸展时,在对流层中层和低层分裂出小的相对高值位涡扰动,促使中低层气旋涡度发展,加强暴雨区的动力作用,从而导致强降水的发生、发展。干冷空气具有高位涡及低假相当位温特征,可以通过分析干冷空气在位势涡度场上的特征来分析干冷空气的入侵。分析位势涡度一般采用等熵位涡分析法,即在等位温面分析等位涡线。本文采用 330 K 的假相当位温面来分析位涡的变化。图 11 为 7 月 31 日 06 时和 12 时(世界时,下同)假相当位温、位势涡度和垂直涡度沿 44°N (暴雨区附近)的经度-高度剖面图,图为暴雨开始前,从图中可以看出,在 78°~80°E 之间有位涡高值区呈漏斗状自西向东由高层向下伸展至 600 hPa 附近,而 330 K 假相当位温面上的位涡值在 0.5 PVU, 800 hPa 以下, 81.5°E 附近的涡度值为  $15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。7 月 31 日 12 时,向下伸展的高位涡值继续东移至 81°~82°E 之间,并向下伸展至 600 hPa 以下并断裂,形成中心数值达 3 PVU 的位涡高值中心,同时 330 K 假相当位温面上的位涡值从 0.5 PVU 上升到 1.5 PVU,此时 800 hPa 以下, 81.5°E 附近的涡度值增加到  $20\sim 25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。说明干冷空气的入侵导致低层的垂直涡度的增加,使得低层辐合加大,有利于上升运动的加强,有利于大降水的出现。

## 6. 结论

通过上述分析,得到如下主要结论:

1) “2016.08.01”暴雨过程是在 100 hPa 南亚高压的东部发展型,及 500 hPa 西太平洋副高的西伸北挺的大尺度环流背景下产生的。500 hPa 位势高度场呈典型的“两脊一槽”形势。在暴雨过程中欧洲脊的稳定维持及咸海地区的长脊,有利于影响伊犁地区暴雨的南支槽发展,同时使北方冷空气南下,西太平洋副高的西伸北挺,一是有利于在高压西侧建立西南气流通道,使得海上的暖湿空气可进入伊犁地区,另一方面有利于贝加尔湖高压脊加强并稳定维持,使得低压系统移动缓慢。暖湿气流和干冷空气相互作用,为暴雨发生提供了有利条件。



**Figure 11.** July 31, 6 a.m. (Figure (a)) 12 a.m. (Figure (b)) potential vorticity (solid line; Unit: PVU) pseudo-equivalent potential temperature (Dotted line; Unit: K) vertical vorticity (Dashed line; Unit:  $\text{s}^{-1}$ )

**图 11.** 7 月 31 日 06 时(图(a)) 12 时(图(b))位势涡度(实线;单位: PVU)、假相当位温(短虚线;单位: K)、垂直涡度(长虚线;单位:  $\text{s}^{-1}$ )

2) 这次大暴雨过程中, 主要水汽来自南方的水汽输送, 一部分是随着青藏高原的发展, 青藏高原西部的偏南水汽输送, 一部分是随着 500 hPa 西太平洋副高的西伸北扩, 孟加拉湾及西太平洋水汽向北输送, 然后再在贝加尔湖南部的偏东急流接力输送到南疆, 再沿着青藏高原西部的偏南气流输送到伊犁地区。在暴雨发生前, 伊犁地区有正的水汽收支, 同时长时间处于水汽的辐合区, 有利于水汽在伊犁地区的堆积, 二者共同作用为这次降水提供了有利的水汽条件。

3) 受南支槽发展东移的影响, 干侵入在垂直方向上表现为由对流层中高层向低层侵入, 水平方向上主要表现为由西向东的注入。且存在着干空气和暖湿气的对峙, 有利于暴雨的出现。

4) 高位涡带的下传与低层垂直涡度的发展和暴雨的发生、发展有着很好的对应关系。对流层中高层具有高值位涡的干冷空气向低层侵入, 并向下伸展至 600 以下并断裂, 形成中心数值达 3 PVU 的位涡高值中心, 同时低层的垂直涡度值增加到  $20\sim 25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。说明干冷空气的入侵导致低层的垂直涡度的增加, 使得低层辐合加大, 有利于上升运动的加强和大降水的出现。

## 基金项目

中央公益性科研院所基本科研业务项目(IDM2016001)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 朱乾根, 等. 天气学原理和方法[M]. 第3版. 北京: 气象出版社, 2000.
- [2] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[Z]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 456.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 陈春艳, 孔期, 李如琦. 天山北坡一次特大暴雨过程诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(1): 72-80.
- [6] 庄薇, 刘黎平, 薄兆海, 等. 新疆一次强飚线过程双多普勒雷达观测的中尺度风场结构分析[J]. 气象学报, 2010, 68(2): 224-234.
- [7] 赵俊荣, 晋绿生, 郭金强, 等. 天山北坡中部一次强对流天气中小尺度系统特征分析[J]. 高原气象, 2009, 28(5): 1044-1050.
- [8] 黄艳, 刘涛, 张云惠. 2010年盛夏南疆西部一次区域性暴雨天气特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 615-622.
- [9] 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.
- [10] 张云惠, 王勇, 支俊, 等. 南疆西部一次强降雨的多普勒天气雷达分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(6): 17-20.
- [11] 张家宝, 邓子风. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 320-323.
- [12] 祝小梅, 朱弋. 1961-2009年新疆伊犁地区暴雨日时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 63-68.
- [13] 殷剑虹, 王翔. 伊犁河谷春夏季极端天气气候的变化分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(6): 26-28.
- [14] 刘会荣, 李崇银. 干侵入对济南“7.18”暴雨的作用[J]. 大气科学, 2010, 34(2): 374-386.
- [15] 白涛, 李崇银, 王铁等. 干侵入对陕西“2008.07.21”暴雨过程的影响分析[J]. 高原气象, 2013, 32(2): 345-356.
- [16] 姚秀萍, 于玉斌. 2003年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.
- [17] 王东海, 杨帅. 一个干侵入参数及应用[J]. 气象学报, 2009, 67(4): 522-529.
- [18] 王淑云, 寿绍文, 周连科. 干侵入对“0310”暴雨形成过程的影响[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(6): 129-134.
- [19] 陈永仁, 李跃清, 齐冬梅. 南亚高压和西太平洋副热带高压的变化及其与降水的联系[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1148-1157.
- [20] 陶诗言, 等. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 25-34.
- [21] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 235-239, 276-285.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱：[ccrl@hanspub.org](mailto:ccrl@hanspub.org)