

# 新疆昌吉州短时强降水时空分布与环境场特征分析

王江华<sup>1</sup> 阿里哈<sup>2</sup> 方雯<sup>1</sup> 李海华<sup>3</sup> 彭劲松<sup>2</sup>

(1 新疆昌吉气象台, 昌吉 831100; 2 昌吉气象服务中心, 昌吉 831100; 3 新疆气象台, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用新疆昌吉地区国家基本气象站和区域自动气象站逐小时降水资料, 分析了2015—2019年汛期昌吉地区短时强降水的空间分布和月、日变化特征, 研究了短时强降水发生的环境场和中尺度条件, 结果表明: 昌吉地区短时强降水因受海拔和地形影响, 分布极不均匀, 山区降水频次大于平原, 东部大于西部地区;  $\geq 10$  mm/h、 $\geq 20$  mm/h的短时强降水6月发生频次最高, 范围最广, 从日变化来看, 14—17时(北京时)是高发时段, 占比26%; 短时强降水影响系统可分型为西西伯利亚低槽、西北气流及中亚低槽, 中亚低槽型占比最高, 达60%, 各型对应的中尺度环境要素各有差异, 且各影响系统出现频次及时间分布规律均不同; 对短时强降水过程的探空曲线进行了分析, 初步构建了基于CAPE、LI、静力稳定度及垂直风切变、地面 $T_d$ 等的短时强降水临近预警阈值, 并利用2021—2022年探空资料对其进行了检验, 结果展示了较好的潜势预报效果。

**关键词:** 短时强降水, 时空分布, 中尺度环境场, 探空阈值

中图分类号: P4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.06.006

## Analysis of Spatiotemporal Distribution and Environmental Field Characteristics of Short-Time Heavy Rainfall in Changji, Xinjiang

Wang Jianghua<sup>1</sup>, A Liha<sup>2</sup>, Fang Wen<sup>1</sup>, Li Haihua<sup>3</sup>, Peng Jinsong<sup>2</sup>

(1 Changji Meteorological Observatory of Xinjiang, Changji 831100; 2 Changji Meteorological Service Center, Changji 831100; 3 Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002)

**Abstract:** Using the hourly precipitation data of national basic meteorological stations and regional automatic weather stations in Changji, Xinjiang, the spatial distribution as well as monthly and daily variation characteristics of short-time heavy rainfall in Changji during the flood season from 2015 to 2019 were analyzed. Moreover, factors such as environmental field characteristics and mesoscale conditions were studied. The research results illustrate the uneven distribution of short-time heavy rainfall in Changji because of the altitude and topography factors, with higher rainfall frequency over the mountainous areas than the plains and over the east than the west; Short-time heavy rainfall  $\geq 10$  mm/h and  $\geq 20$  mm/h occurs most frequently and covers the widest areas in June. In terms of the daily variation of rainfall, the probability of occurrence is greatest between 14:00 BT and 17:00 BT, accounting for 26% of the total. The influencing weather systems of short-time heavy rainfall can be categorized into three types: the West Siberia low trough, the northwest airflow, and the Central Asian low trough, among which the Central Asian low trough accounts for the highest proportion of 60%. The corresponding mesoscale environmental elements of each type vary from each other, and the frequency and temporal distribution patterns of each influencing system are different. The analysis of the sounding curves for short-time heavy rainfall processes has been conducted, and based on CAPE, LI, static stability, vertical wind shear, and ground  $T_d$ , a preliminary warning threshold for short-time heavy rainfall nowcasting has been established. It was tested using sounding data from 2021 to 2022, and the results showed satisfactory potential forecasting effect.

**Keywords:** short-time heavy rainfall, spatiotemporal distribution, mesoscale environmental field, sounding threshold

## 0 引言

近年来, 由于气候变暖, 极端天气频发, 对人民生命财产安全、经济建设、农业生产等产生严重影响。

收稿日期: 2023年5月26日; 修回日期: 2024年2月23日  
第一作者: 王江华(1978—), Email: 1391743278@qq.com  
通信作者: 方雯(1974—), Email: 695850631@qq.com  
资助信息: 昌吉州汛期短时强降水技术研究(Cj201901)

杨浩等<sup>[1]</sup>、赵丽等<sup>[2]</sup>、郑石等<sup>[3]</sup>研究表明, 我国极端降水事件发生的频数和强度呈增加趋势, 且西北地区增多趋势明显。新疆地区短时强降水具有局地性强、发展快、突发性强、破坏性大等特点, 给当地农牧业造成严重损失。短时强降水与极端降水一样, 在实际预报工作中其成因复杂, 预报难度大, 因而研究短时强降水的短时临近监测预报方法是必要和迫切的。

国内学者对短时强降水天气做过大量研究,得出了一些很好的经验和指标。一些研究针对滇西、重庆、辽宁、新疆北部等地,研究了短时强降水的时空分布特征及短时暴雨、大暴雨变化特征,从不同角度得出具有当地特点的短时强降水概念模型<sup>[4-7]</sup>。还有一些研究对短时强降水的极端性特点进行分析,得出短时强降水极端性成因及时间变化特点、环流异常特征等,并对其影响系统进行了分类<sup>[8-10]</sup>。陈颖等<sup>[11]</sup>从短时强降水及暴雨引发的洪涝灾害的角度进行了研究,发现极端降水事件增加,各危险等级暴雨洪涝灾害年出现次数和年灾损指数发生了3.8~5.6倍的增幅;降水量和大雨以上量级的降水日数是形成新疆暴雨洪涝灾害的主要致灾因子。以上分析都是基于气候角度长时间序列的时间、空间变化研究,另有一些研究,如陈元昭等<sup>[12]</sup>、仇娟娟等<sup>[13]</sup>则对短时强降水的环境参量及预警阈值进行了研究,对提高短时强降水的预报准确率有较好的指导意义。

另外,左旋等<sup>[14]</sup>揭示了郑州短历时强降水的演变规律并对各短历时强降水进行了重现期估算,估算的郑州各历时短历时强降水不同重现期的降水量与实测资料对比结果表明,重现期估算结果较为可靠,实测各历时最大短历时强降水均超过50年一遇水平,个别超过百年一遇水平。许敏等<sup>[15]</sup>分析了河北中部短历时强降水的风场垂直结构特征,指出低空急流早于短历时强降水6~114 min出现,平均提前量约为46 min,强降水结束时,低空风向发生显著变化,由西南风迅速转为偏东风或西北风;在强降水发生前的1 h,低空急流指数突增,低空风切变指数增大早于强降水1 h出现。李德俊等<sup>[16]</sup>对短历时强降水的雷达特征进行分析,总结了反射率、强中心回波强度、垂直累积液态水含量(VIL)密度、40 dBz强回波伸展高度和雷达风廓线(VWP)等因子的阈值,可以作为该地短历时强降水临近预警指标。还有很多研究针对典型短历时强降水天气过程进行了分析总结,从数值模拟、卫星反演云物理参数、水汽输送特征及中尺度条件和分类强对流天气环境参量特征等角度阐述其演变特征及发生、发展成因等<sup>[17-22]</sup>。通过以上大量的研究,从多层次、多视角揭示了短历时强降水的宏观及中尺度环境特征等,为实时业务提供了很好的启示与参考。同时还有一些研究,如王秀英等<sup>[23]</sup>用多元回归方法建立了短历时强降水的预报模型,牛淑贞等<sup>[24]</sup>分析了河南省分类强对流天气的概率预报方法,结果表明,河南省分类概率预报产品能够对强对流天气的类型和落区有很好的反映,特别是对模式预报可以进行有效的订正,从而为提高强对流天气的预报准确率提供了技术支撑。

昌吉州位于新疆天山北麓、准噶尔盆地东南部,为典型的大陆性干旱气候,其短历时强降水预报难度大。本文对昌吉州短历时强降水时空分布、主要影响系统及高低空配置特征等分析研究,以期提高短历时强降水预报准确率,为地方防汛抗涝提供科学决策依据,有效减少因短历时强降水天气引发的暴雨、洪水所造成的经济损失。

## 1 资料与方法

采用新疆气象信息中心资料库数据质量控制的2015—2019年5—8月(简称汛期)短历时强降水高发期新疆昌吉州国家基本气象站(简称国家站)和区域自动气象站(简称区域站)逐小时降水资料,同时结合MICAPS历史资料实况天气图、乌鲁木齐探空站资料,利用统计、天气学、动力条件分析等方法初步揭示中尺度系统特征和发生发展演变过程。环流形势及高低空配置利用常规观测资料、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)0.25°×0.25°数值预报产品08时(北京时,下同)分析场等资料。探空预警阈值检验,利用了2021—2022年的短历时强降水个例所对应的乌鲁木齐探空资料。

## 2 昌吉州短历时强降水时空分布特征

### 2.1 短历时强降水天气过程定义

新疆气象部门短历时强降水的定义:1)1 h内有2个或2个以上相邻的站点雨强均 $\geq 10$  mm/h;2)同一测站连续2~3 h雨强 $\geq 10$  mm/h;满足上述两个条件之一,即为一次短历时强降水天气过程。本研究挑选了满足上述定义的短历时强降水天气过程35场。

### 2.2 空间分布特征

图1是2015—2019年汛期昌吉州短历时强降水累计频次分布,可以看出昌吉州短历时强降水空间分布不均匀,短历时强降水主要发生在浅山及海拔1200 m以上的深山

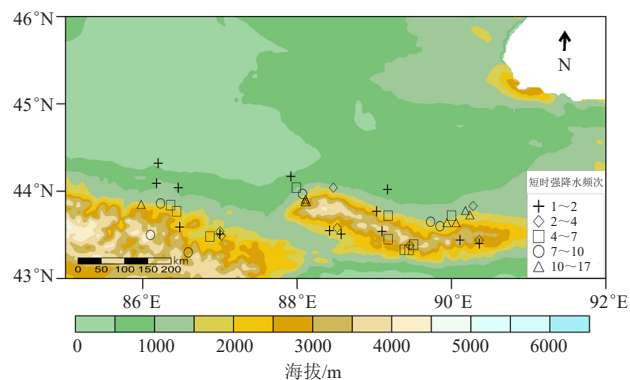


图1 昌吉地区2015—2019年汛期短历时强降水频次分布  
Fig. 1 Frequency distribution of short-time heavy rainfall during the flood season in Changji from 2015 to 2019

区,且东部大于西部地区。5年间,全州有40个区域站共出现260次短时强降水天气,国家站中只有5个站共出现19次短时强降水天气,分别为玛纳斯县、阜康市、吉木萨尔县各1次,木垒县3次,阜康市天池站13次。

## 2.3 时间变化特征

### 2.3.1 短时强降水雨强箱线图

从短时强降水雨强箱线图(图2)来看,2016—2018年小时雨强75%分位值基本相当,均在20~30 mm/h;2016年为最高点,小时雨强为76.0 mm/h,出现在昌吉市庙尔沟站;以25%分位值看,除2018年外,其余均在10~20 mm/h;最小值出现在2017年,小时雨强为10.2 mm/h;从箱体中位值看,5年平均值为19.4 mm/h,2018年箱体中位线明显高于其他年份,中位值为28.2 mm/h。

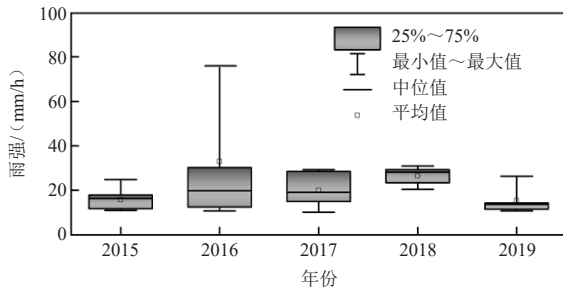


图2 昌吉地区2015—2019年汛期短时强降水雨强箱线图  
Fig. 2 Box chart for short-time heavy rainfall intensity during the flood season in Changji from 2015 to 2019

### 2.3.2 $\geq 10$ mm/h、 $\geq 20$ mm/h的短时强降水月分布及日变化特征

昌吉地区2015—2019年汛期 $\geq 10$  mm/h、 $\geq 20$  mm/h的短时强降水月分布(图3a)特征表现为: $\geq 10$  mm/h的短时强降水6月出现频次最高,为105次,占总次数的46%,7、8月基本相当,分别占比21%和25%,5月最少,占比8%; $\geq 20$  mm/h的短时强降水出现频次也为6月最多,7月次之,分别为17次和12次,占比44%和31%,5月最少,仅出现1次,占比3%。

$\geq 10$  mm/h、 $\geq 20$  mm/h的短时强降水日变化特征较一致,一天之中均有可能发生。以 $\geq 10$  mm/h的短时强降水日变化(图3b)为例,主要以07—23时为主,其中07—10时是一个高峰时段,占比为21%,14—17时是发生概率最大的时段,占比为26%,夜间02—06时出现概率较小,占比为5%。

## 3 短时强降水影响系统环流分型及高低空环流配置特征

### 3.1 短时强降水影响系统环流分型

根据短时强降水天气过程定义挑选出的35场天气

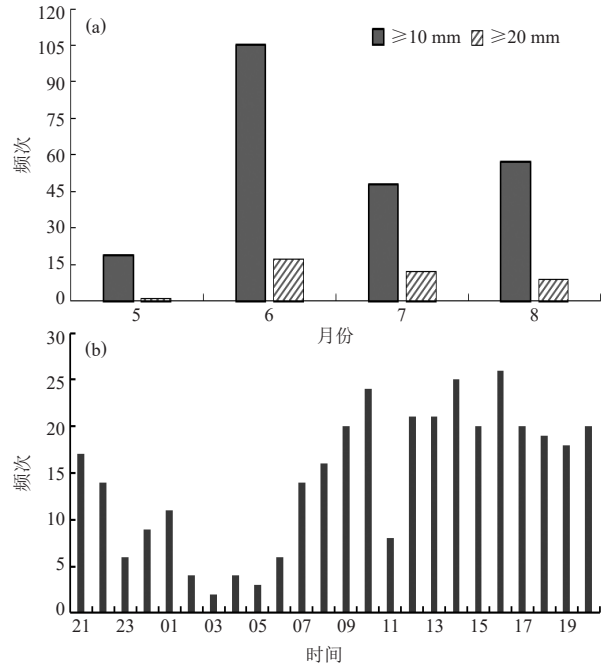


图3 昌吉地区2015—2019年汛期 $\geq 10$  mm/h、 $\geq 20$  mm/h的短时强降水频次月分布(a)及 $\geq 10$  mm/h的短时强降水日变化(b)

Fig. 3 Monthly frequency distribution of short-time heavy rainfall  $\geq 10$  mm/h,  $\geq 20$  mm/h (a) and daily variation of short-time heavy rainfall  $\geq 10$  mm/h (b) during the flood season in Changji from 2015 to 2019

过程,概括总结其500 hPa影响系统,可以将其分为3类,即中亚低槽(指在关键区 $60^{\circ}$ — $90^{\circ}$ E、 $35^{\circ}$ — $55^{\circ}$ N范围内的低槽)、西西伯利亚低槽(指在关键区 $60^{\circ}$ — $100^{\circ}$ E、 $40^{\circ}$ — $70^{\circ}$ N范围内的低槽或低涡)和西北气流。从表1中可以看出,中亚低槽共有21次,占总次数的60%,主要分布在6月、8月;西西伯利亚低槽型出现了9次,占总次数的26%,主要出现在6月;西北气流出现次数最少,仅为5次,占总次数的14%,主要分布在6月、7月。由此看出中亚低槽是昌吉州短时强降水的主要影响系统,其次是西西伯利亚低槽,但各月存在较大差异。据新疆短时强降水定义,将其分为系统性和局地分散性两种,局地分散性短时强降水影响范围小(1~2个相邻的地区),持续时间短(1~2 h)。

表1 昌吉地区2015—2019年汛期短时强降水天气过程影响系统分类

Table 1 Types of influencing weather systems for short-time heavy rainfall during the flood season in Changji from 2015 to 2019

影响系统	6月	7月	8月	合计
中亚低槽	11	2	8	21
西西伯利亚低槽	6	2	1	9
西北气流	3	2	0	5
总计	20	6	9	35

2015—2019年共出现6次系统性短时强降水过程，其中4次的影响系统为中亚低槽，2次为西西伯利亚低槽，其余均为局地分散性短时强降水天气过程。

### 3.2 高低空环流配置特征

短时强降水强度、落区与影响系统强度、位置及地形有密切关系，按照上述影响系统分类，分析概括了3类影响系统的主要环境参数及其高低空环流系统配置特征（表2）。

表2 3类环流型的主要环境参数

Table 2 Main environmental parameters for 3 types of circulation patterns

环流分型	西西伯利亚低槽	中亚低槽	西北气流
200 hPa风速/(m/s)	34	30	25
500 hPa风速/(m/s)	10	11.3	11
700 hPa $T_d/^\circ\text{C}$	-0.5	-1.1	0.5
700 hPa风向切变	有切变，西侧	有切变，东南侧	无切变
地面辐合线	南侧	东侧	辐合线
地面干线 $T_d/^\circ\text{C}$	11	11	7
地面干线	有，西南侧	有，东南侧	有，干线控制
3 h变压/hPa	1.3	1.7	1.5
850 hPa风向辐合	无辐合	有辐合，东南侧	无辐合
700 hPa干舌	无	有，南侧	有，东侧

注： $T_d$ 为露点温度。

#### 3.2.1 西西伯利亚低槽

200 hPa急流较强，一致表现为偏西风，风速平均在34 m/s，最大可达52 m/s。中高层500 hPa急流不明显，风速平均在10 m/s，风向为偏西或西南风。中低层700 hPa、850 hPa风速较小，为西北风，同时配合700 hPa有切变，一般位于短时强降水落区的西侧，850 hPa无明显辐合区。

从水汽条件来看，700 hPa  $T_d$ 均值在 $-0.5^\circ\text{C}$ ，500 hPa有干舌，700 hPa、850 hPa无明显的干舌、湿舌，但地面有一致的辐合线存在，位于降水落区的南侧，地面干线值较大，为 $11^\circ\text{C}$ ，一般位于降水落区的西南侧，3 h变压幅度不大。从高低空有利环境配置来看，200 hPa有大风速轴，地面冷高压为偏西路径，中高层500 hPa有显著流线，并有冷槽配合，850 hPa有暖脊控制，强降水位于西北气流出口区前部，有切变线、辐合线饱和湿区配合，地面有辐合、干线影响（图4）。

#### 3.2.2 中亚低槽

200 hPa急流平均风速在30 m/s，最大可达44 m/s，500 hPa风速均值为11.3 m/s，风向与西西伯利亚低槽一致，风速最大可达18 m/s，中低层700 hPa、850 hPa风速在10~12 m/s，风向为西北风，850~700 hPa配合有切变和辐合区，一般位于降水落区的东南侧。从

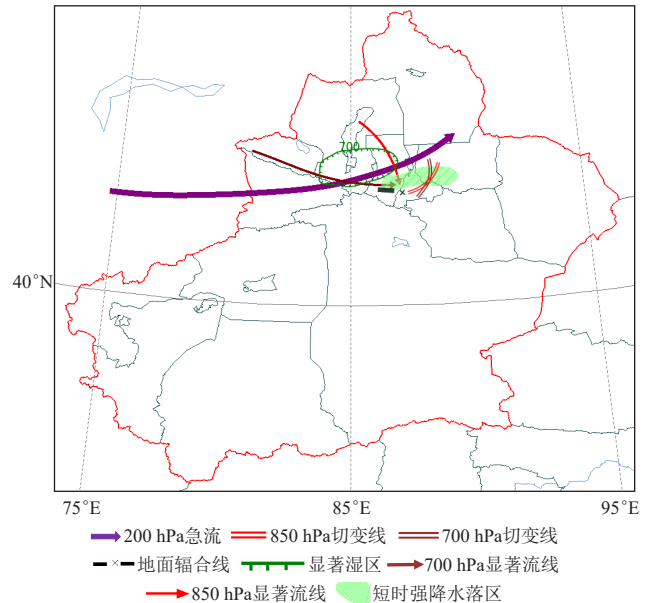


图4 短时强降水高低空环流配置与环境场条件

Fig. 4 The configuration of high- and low-level circulation and environmental field conditions for short-time heavy rainfall

水汽条件来看，700 hPa  $T_d$ 均值在 $-1.1^\circ\text{C}$ ，700 hPa有明显的干舌，位于降水落区的南侧，850 hPa无湿舌，说明中低层有干冷空气侵入，地面有辐合线，位于降水落区的东侧，地面干线值较大，为 $11^\circ\text{C}$ ，一般位于降水落区的东南侧，3 h变压幅度不大，3类环流型均为 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 。从高低空有利环境条件配置看，与西西伯利亚低槽类似，200 hPa有显著急流，中层有显著流线，500 hPa温度槽位置略偏西偏南，中低层700 hPa、850 hPa切变、辐合较明显，降水落区一般位于地面辐合线、700 hPa切变线、700 hPa和850 hPa急流相重叠的条件性对称不稳定区域内。

#### 3.2.3 西北气流

此类环流200 hPa急流是3种类型中表现最弱的，风速平均在25 m/s，最大为38 m/s，700 hPa、850 hPa无明显辐合、切变存在，但有时有显著气流配合，风速可达14 m/s，700 hPa  $T_d$ 均值在 $0.5^\circ\text{C}$ ，并有干舌影响，位于降水落区东侧，地面有明显的辐合、干线配合。该环流高空配置特征为，200 hPa急流位于东部地区，新疆南部上空为副热带高压控制，新疆北部大部处于饱和湿区控制下，降水落区位于地面辐合线、地面干线及中低层700 hPa、850 hPa风速显著流线交汇处。

### 3.3 探空资料曲线特征及相关指数阈值分析

选取乌鲁木齐市探空站的每日08、20时的探空数据，时序为强降水发生前最近的探空时刻。根据

2015—2019年近35份探空资料温湿曲线形态图进行统计分析,将短时强降水 $T$ - $\ln p$ 图分为4种形态,各曲线(图5)特征如下:1)I型(湿层浅薄或基本没有湿层),其占比较多,有20个,占个例总数的57%,且以中亚低槽为主,主要发生在6月、8月,傍晚至夜间发生较多,抬升指数(LI)和对流抑制(CIN)较低,但0~6 km垂直风切变(UV)明显。2)II型(倒“V”结构,上湿下干型),有5例,占总数的14%,这类探空温湿曲线通常呈倒“V”结构,500 hPa以上有湿层配合,自由对流高度(LFC)较高,主要环流为西北气流,6月中下旬多发,夜间至早晨易出现,有一定的对流有效位能(CAPE),0~6 km UV显著。3)III型

(漏斗结构,上干下湿型),有4例,占总数的12%,其表现为湿层位于中低层700~500 hPa,500~200 hPa附近有干空气卷入,“上干冷,下暖湿”特征明显,主要环流为中亚低槽,出现时间以7月初、8月中下旬多发,白天至傍晚易发,CAPE大,CIN也大,0~6 km UV较I型略大,和II型相当。4)IV型(干绝热型),有6例,占总数的17%,主要为西西伯利亚低槽,湿层深厚,水汽含量均匀,LFC较低,CAPE最大,CIN最小,多发于6月、7月,午后至凌晨易发,其表现为LI、0~6 km UV均较小,但K指数异常偏大、沙氏指数(SI)小的特征明显, $T_d$ 很大。

考虑CAPE和CIN一般在短时强降水发生前4 h之

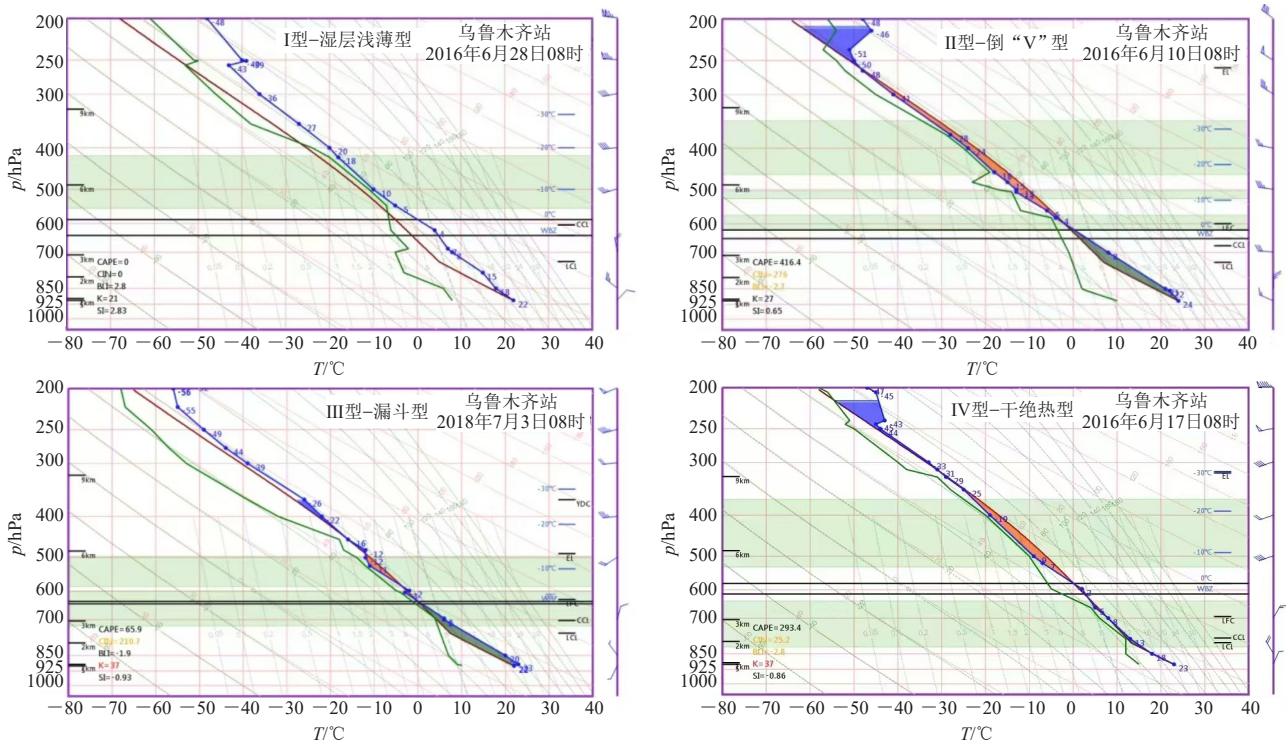


图5 昌吉地区短时强降水的4类探空曲线

Fig. 5 Four types of sounding curves for short-time heavy rainfall in Changji

内有较好的指示意义,并且其出现时间一般在午后至夜间,因而通常需要对08时探空曲线进行订正,故本文也运用上海探空订正软件<sup>[25]</sup>对部分不在时效范围内的个例进行了订正,得到表3,分析了各环境参数的特征及阈值范围。

通过分析4类探空曲线所对应的特征指数可以发现:1)热力不稳定条件均较强,在实际预报中,通常用 $T_{850}-T_{500}$  ( $T_{850-500}$ )和 $T_{700}-T_{500}$  ( $T_{700-500}$ )表示大气下层的温度直减率,以表示静力稳定度状况,LI计算500 hPa高度上气块温度高出环境温度的大小,负值越大,对应的气块不稳定能量的面积越大。从表3中可

以发现各型的异同,各型 $T_{850-500}$ 均值在26.0~28.8 °C, $T_{700-500}$ 均值在16~17 °C,各型条件不稳定较一致,IV型比其他型略低。从各型 $T_d$ 值来看,在12.4~14.2 °C,I型比其他型低。2)各型0 °C层高度均较低,I型最低,在3.8 km。0~6 km UV各型均较强,均值在 $11.4 \times 10^{-3} \sim 12.8 \times 10^{-3}$  /s,最大值可达 $20 \times 10^{-3}$  /s, $>15 \times 10^{-3}$  /s的有11例,占总数的32%,说明UV是不稳定发展维持的重要条件。3)K指数、SI指数是最常用的表征对流不稳定的参数之一,I型、II型K指数相对较小,III型、IV型K指数相对较大,从个例样本看,K指数最大可达39.8 °C, $>32.0$  °C的个例有12

表3 昌吉地区短时强降水各类型主要参数平均值

Table 3 Average values of main parameters for different types of short-time heavy rainfall in Changji

分型	地面 $T_d/^\circ\text{C}$	$T_{850-500}/^\circ\text{C}$	$T_{700-500}/^\circ\text{C}$	K指数/ $^\circ\text{C}$	SI指数/ $^\circ\text{C}$	0 °C层高度/km	CAPE/(J/kg)	CIN/(J/kg)	LI/ $^\circ\text{C}$	垂直风切变/( $\times 10^{-3}$ /s)
I型	8.9	28.1	16.7	26.2	1.1	3.8	213.8	50.7	-0.13	11.4
II型	12.4	28.2	16.8	29.0	0.5	4.2	163.4	48.9	-0.11	12.7
III型	12.5	28.8	17.3	33.0	0.3	4.3	367.6	124.4	-1.35	12.8
IV型	14.2	26.0	16.0	33.1	-0.6	4.3	380.4	17.8	-2.1	8.2

例；各型SI指数均值在0 °C左右，指示意义不明显，I型最大，为1.1 °C，IV型最小，为-0.6 °C。4) I型、II型CAPE值较小，III型、IV型较明显，且各型CAPE>CIN，I型、II型、III型中CIN>48 J/kg，说明一定的CIN有利于对流不稳定能量在低层积聚，促进强对流天气的发生。各型LI均较小，都<0 °C，其中III型、IV型均<-1 °C。

分析短时强降水4类探空曲线对应的探空指数，找出与短时强降水相关性最为密切的5个探空指数，分别为CAPE、LI、 $T_d$ 、UV、 $T_{850-500}$ ，利用箱线图来找出其阈值，作为短时强降水发生的初猜值。从CAPE值(图6a)看，其对应的I~IV型值分布较集中，湿层浅薄型、倒“V”型、漏斗型和干绝热型的25%~75%分位值是24.2~367.5 J/kg、104~450 J/kg、43.5~266.3 J/kg和139~596.3 J/kg。各类最小值在0~58 J/kg，有31%的个例，最大值在367.6~1141 J/kg，其中1141 J/kg的个例是湿层浅薄型，只有2例超过1000 J/kg以上。通过箱线图可以给出某种类型强对流天气发生对应的某种关键参数的最低阈值，但如采用箱线图中该参数的最低阈值则可能发生大量的虚警，因而参照高晓梅等<sup>[26]</sup>设定各探空参数以25%分位作为预警指标的最低阈值初猜值，进而通过以上分析则以25%分位最低值43.5 J/kg作为探空指数CAPE指标的最低阈值。

从静力稳定度( $T_{850-500}$ ) (图6b)箱线图来看，可以看出I、III、IV型中位数和平均值均相当，箱体分布较分散且II型最小。从25%~75%分位值分析，其值分布为28.0~32.8 °C、25.0~27.0 °C、24.8~30.8 °C和25.0~32.5 °C，因而取25.0 °C作为静力稳定度(850~500 hPa)初猜阈值。从垂直风切变(图6c)箱线图来看，有超过77%的个例垂直风切变> $6.6 \times 10^{-3}$  /s，其25%~75%分位值是 $6.6 \times 10^{-3}$ ~ $16.4 \times 10^{-3}$  /s、 $5.1 \times 10^{-3}$ ~ $10.7 \times 10^{-3}$  /s、 $9.7 \times 10^{-3}$ ~ $16.4 \times 10^{-3}$  /s和 $6.1 \times 10^{-3}$ ~ $19.5 \times 10^{-3}$  /s。因而取 $6.1 \times 10^{-3}$  /s作为垂直风切变初猜阈值。

从抬升指数LI(图6d)箱线图来看，25%~75%分位值是-1.6~1.3 °C、-3.0~-1.0 °C、-1.6~1.1 °C和-3.2~0.45 °C。从图中看II型为最小，II型和IV

型25%分位值较其他两类偏低，而75%分位值II型最低，因而取-3.0 °C作为抬升指数的初猜阈值。地面 $T_d$ (图6e)箱线图来看，I型25%和75%分位值较其他各型均偏低，因而取III型25%分位值即10.0 °C作为地面 $T_d$ 的初猜阈值。

用得出的以上探空指数阈值(CAPE为43.5 J/kg，LI为-3.0 °C， $T_{850-500}$ 为25 °C，UV为 $6.1 \times 10^{-3}$  /s， $T_d$ 为10 °C)，对2021—2022年汛期发生的短时强降水天气及过程进行了检验，具体见表4。

表4 昌吉地区短时强降水各参数阈值检验分析

Table 4 Threshold test analysis of parameters for short-time heavy rainfall in Changji

天气过程	地面 $T_d/^\circ\text{C}$	$T_{850-500}/^\circ\text{C}$	CAPE/(J/kg)	LI/ $^\circ\text{C}$	垂直风切变/( $\times 10^{-3}$ /s)
2021年4月28日	4	28.0	141.9	1.4	11.1
2021年5月1日	5	39.1	0	1.7	18.8
2021年5月6日	13	23.0	74.7	0.3	12.0
2021年5月12日	6	24.5	0	5.2	18.2
2021年5月20日*	3	33.0	287.0	-1.6	22.0
2022年6月2日	10	25.0	66.2	1.7	17.9
2022年6月15日*	10	29.0	56.1	-0.2	11.6
2022年6月16日*	12	25.0	215.1	-1.0	21.1
2022年6月28日*	9	31.0	309.5	-2.5	7.1
2022年7月2日*	11	28.0	525.6	-2.8	18.4
2022年7月5日*	14	32.0	60.5	1.1	21.5
2022年7月13日*	10	29.0	299.9	0.3	8.3
2022年7月19日	11	31.0	68.0	-1.4	18.6
2022年7月25日*	14	29.0	90.6	-0.1	15.6
2022年7月30日	9	31.0	53.3	0.1	6.0

注：\*代表局地单站短时强降水天气。

从表4看出，共有8次短时强降水天气过程(按前文规定的短时强降水定义标准)，7次为局地单站短时强降水天气，而8次过程中满足其中某4个指标，出现短时强降水天气过程的概率为75%，如满足其中某3个指标，则出现局地短时强降水概率为57%。因此可以把该指标应用到短时强降水潜势预报中来，对实际业务有一定的指示意义，但在今后预报实践中还可以根据实际效果进行调整。

## 4 小结

1) 短时强降水( $\geq 10$  mm/h)近5年全州共出现260次，其中6月出现频率最多，日变化特征主要以

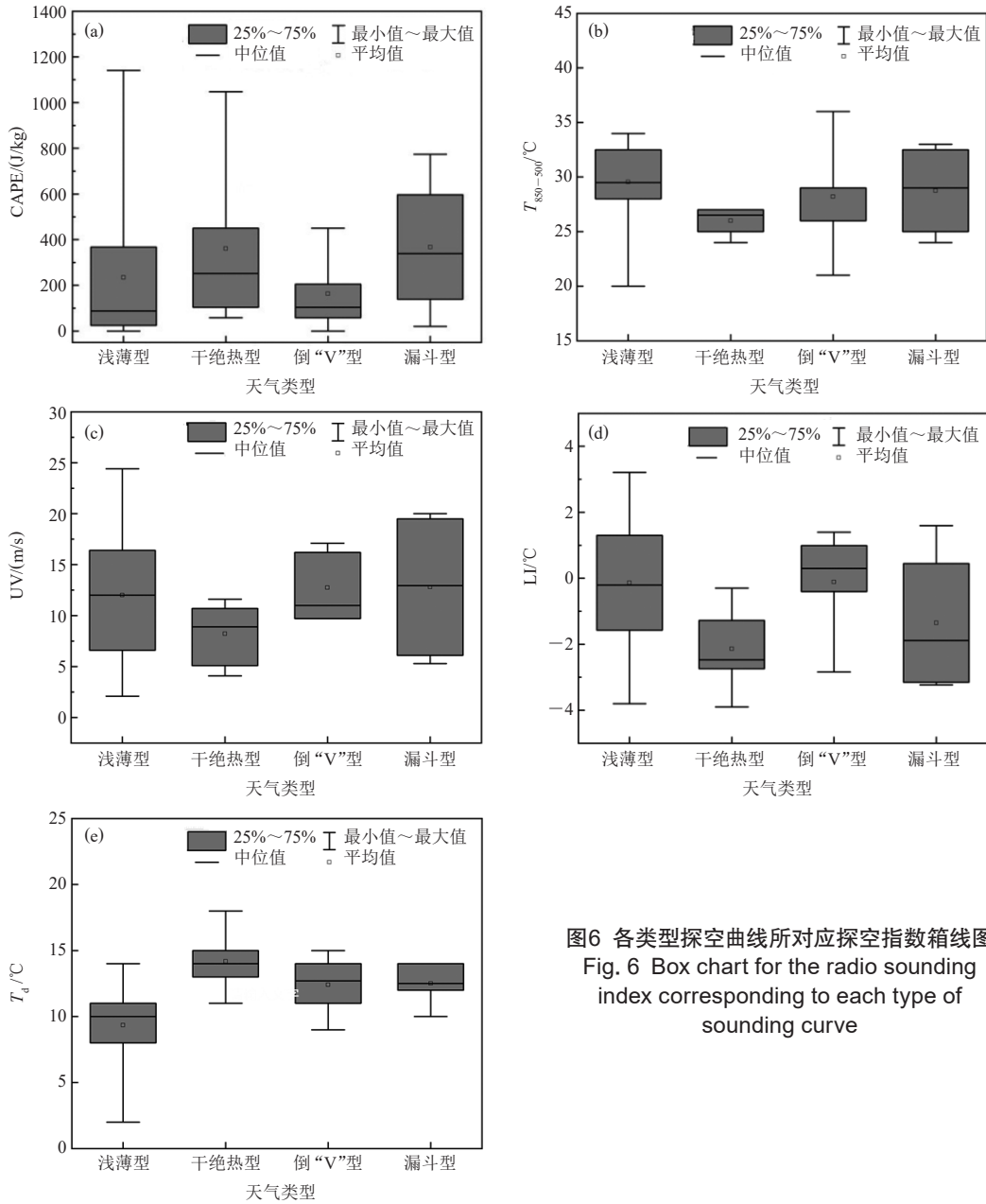


图6 各类型探空曲线所对应探空指数箱线图  
Fig. 6 Box chart for the radio sounding index corresponding to each type of sounding curve

07—23时为主, 14—16时是发生概率最大的时段。从空间分布来看, 短时强降水主要发生在浅山及海拔1200 m以上的深山区, 且东部大于西部地区。

2) 分析总结了3类主要影响系统及高低空环流配置特征, 得出中亚低槽型是昌吉州短时强降水的主要影响系统, 其次是西西伯利亚低槽型, 其环流配置共性特征表现为, 200 hPa都有西南急流, 低层有辐合或切变配合, 地面有干线和地面辐合线存在, 700 hPa有干舌影响, 强降水区位于中尺度要素重叠的条件性不稳定区域内。

3) 将短时强降水天气过程所对应的 $T$ - $\ln p$ 图分为湿层浅薄型、干绝热型、倒“V”型及漏斗型共4型,

其对应的探空阈值的特征为热力不稳定条件均较强,  $0^{\circ}\text{C}$ 层高度均较低, 一般在4.2 km。CAPE值I型、II型较小, 在160~210 J/kg, 且各型CAPE>CIN。据4种探空曲线对应的相关参数的箱线图分析, 得出CAPE、地面 $T_d$ 、静力稳定度、LI及UV垂直风切变的最低阈值分别为43.5 J/kg、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $-3.0^{\circ}\text{C}$ 和 $6.1 \times 10^{-3} / \text{s}$ , 将该指标应用于短时强降水潜势预报有一定的指示意义。

#### 参考文献

- [1] 杨浩, 崔春光, 王晓芳, 等. 气候变暖背景下雅鲁藏布江流域降水变化研究进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(6): 565-575.
- [2] 赵丽, 韩雪云, 杨青. 近50 a西北干旱区极端降水的时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(1): 19-26.

- [3] 郑石, 王冠, 林中冠, 等. 1961—2013年中国强降水特征分析[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(6): 102-107.
- [4] 段鹤, 夏文梅, 苏晓力, 等. 短时强降水特征统计及临近预警[J]. 气象, 2014, 40(10): 1194-1206.
- [5] 陈鹏, 周盈颖, 冯萍, 等. 重庆短时强降水时空特征分析[J]. 气象科技进展, 2021, 11(2): 39-45.
- [6] 肖光梁, 陈传雷, 龙晓慧, 等. 辽宁省短时暴雨和大暴雨时空分布与变化特征[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(5): 46-52.
- [7] 李博渊, 赵江伟, 李新豫, 等. 新疆北部暖季短时强降水的时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(2): 34-41.
- [8] 陶局, 唐燕玲, 易笑园, 等. 近10 a浙江省极端短时强降水时空特征分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(6): 599-607.
- [9] 吴俊杰, 郑伟鹏, 郑秀云, 等. 1980~2017年厦门地区小时尺度极端降水特征分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(3): 359-368.
- [10] 周雅蔓, 孙迪, 赵勇, 等. 新疆北部夏季大范围极端降水及其环流异常特征[J]. 干旱气象, 2021, 39(2): 215-224.
- [11] 陈颖, 马禹. 新疆不同等级暴雨洪涝灾害的时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2021, 44(6): 1515-1524.
- [12] 陈元昭, 俞小鼎, 陈训来. 珠江三角洲地区重大短时强降水的基本流型与环境参量特征[J]. 气象, 2016, 42(2): 144-155.
- [13] 仇娟娟, 何立富. 苏沪浙地区短时强降水与冰雹天气分布及物理量特征对比分析[J]. 气象, 2013, 39(5): 577-584.
- [14] 左璇, 朱业玉, 郭鹏, 等. 郑州市短历时强降水变化特征及重现期研究[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(2): 25-32.
- [15] 许敏, 田晓飞, 任福玲, 等. 2015年冀中廊坊短时强降水的风场垂直结构特征[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(5): 49-56.
- [16] 李德俊, 唐仁茂, 熊守权, 等. 强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J]. 气象, 2011, 37(4): 474-480.
- [17] 武文婧, 翟丹华. 基于数值模拟对重庆西部地区一次强对流天气过程的成因分析[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(5): 57-63.
- [18] 赵战成. 库尔勒一次强对流大暴雨天气特征分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1070-1077.
- [19] 李爽, 丁治英, 赵欢, 等. 2014年辽宁地区一次短时暴雨过程多尺度特征分析[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(6): 75-83.
- [20] 王清平, 秦贺, 程海艳, 等. 天山北坡中部一次短时暴雨的卫星反演云参数特征及成因分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(6): 1580-1589.
- [21] 万瑜, 曹兴, 杨莲梅. 中亚低涡背景下中天山地区一次短时强降水过程中尺度特征[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(4): 1-10.
- [22] 李海花, 闵月, 李校亭, 等. 昆仑山北麓两次极端暴雨水汽特征对比分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(3): 715-724.
- [23] 王秀英, 廖留峰, 王俊杰. 基于多元线性回归的滇西南短时强降水预报模型研究[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(2): 15-22.
- [24] 牛淑贞, 张一平, 王迪, 等. 河南省分类强对流天气概率预报方法研究与应用[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(1): 1-12.
- [25] 王金辉, 王东, 井立红, 等. 新疆南疆西部干旱地区短时强降水预报方法及指标[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 15-21.
- [26] 高晓梅, 俞小鼎, 王令军, 等. 鲁中地区分类强对流天气环境参量特征分析[J]. 气象学报, 2018, 76(2): 196-212.

(编辑: 郑秋红)

(上接43页)

本文在方法验证阶段遇到了例证不足的困难, 主要原因是自动化标准化的山洪直接观测数据匮乏。在巴彦淖尔当地, 观测山洪的自动化设备不足, 对时间、洪量、洪峰大小的记录过度依赖于人工, 造成不同的观测者对山洪状况的描述不尽相同。还有部分山洪由于无法提前派人到沟口进行观测, 导致洪水记录缺失。因此实际能够代入系统进行验证的历史山洪个例并不多。本文针对一次有完整人工观测的山洪实例, 对西乌盖沟和东升庙沟洪水的流域面雨量计算过程进行模拟, 验证了本文所提出流域面矢量的求取方法是符合实际情况的, 对应到具体的山洪沟流域内的面雨量是可信的。未来随着水利部门在各个主要山洪沟口安装摄像头, 逐步取代人工观测, 将为短时强降水发生后山洪出现的具体时间和量级找到更加精准的对应关系, 从而提升山洪预警发布的准确性和时效性。随着观测资料的积累和完善, 未来我们会利用更多的山洪过程对本文的方法进行系统性检验。本文没有对地形和降水以外的面雨量影响因素进行分析, 原因是影响地表径流下渗的因素极其复杂, 需要结合本地实际情况具体分析。综合前人的研究和我们的实际观测, 我们发现山区降雨径流的形成受到瞬时降水强度、山体植被情况以及瞬时下渗强度等多种因素的共同影响和制约, 这是一个非常复杂的非线性过程, 给

预测山洪及洪峰出现的准确时刻, 以及洪量的大小带来了很大的难度, 因此山洪的发生和预报存在着很强的区域依赖性。比如同等降水强度下, 单位面积的裸岩石砾地要比林草地流出的水量多得多, 而阴山山脉巴彦淖尔段植被稀缺、裸岩石砾地占绝大部分山体面积, 山体持水量等下渗因素可忽略不计。

#### 参考文献

- [1] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [2] 徐晶, 姚学祥. 流域面雨量估算技术综述[J]. 气象, 2007, 33(7): 15-21.
- [3] Tarboton D G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models[J]. Water Resources Research, 1997, 33(2): 309-319.
- [4] Costa-Cabral M C, Burges S J. Digital elevation model networks (DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas[J]. Water Resources Research, 1994, 30(6): 1681-1692.
- [5] Qin C, Zhu A X, Pei T, et al. An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(4): 443-458.
- [6] Bedient P B, Huber W C. Hydrology and Floodplain Analysis[M]. 2nd ed. Reading: Addison-Wesley, 1992.
- [7] 李宗梅, 魏锦旺, 满旺, 等. 基于D8算法和Dinf算法的水系提取研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(5): 42-45.
- [8] 秦承志, 朱阿兴, 李宝林, 等. 基于栅格DEM的多流向算法述评[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 91-98.
- [9] 张维, 杨昕, 汤国安, 等. 基于DEM的平缓地区水系提取和流域分割的流向算法分析[J]. 测绘科学, 2012, 37(2): 94-96.

(编辑: 卢冰)