

基于高密度站网的石河子地区暴雨精细化时空分布特征

谭月^{1,2}, 王俊凯^{1,2}, 安冬亮^{1,2}, 古丽达娜·俄坦拜^{1,2}

¹石河子气象局, 新疆 石河子

²乌兰乌苏农业气象试验站/乌兰乌苏生态与农业气象新疆野外科学观测研究站/乌兰乌苏国家综合气象观测专项试验外场基地, 新疆 沙湾

收稿日期: 2025年12月25日; 录用日期: 2026年2月7日; 发布日期: 2026年2月25日

摘要

本文利用石河子地区历史降水数据进行数据分析, 得出石河子地区暴雨强对流天气的特征: 1) 强度特征: 暴雨极端值主要集中在沙漠边缘、绿洲沙漠过渡带及山区, 区域降水变率大、局地性强; 2) 时间变化特征: 暴雨频次逐年上升, 近年暴雨极端性增强; 3) 空间分布特征: 暴雨分布呈现“纬度 + 地形”双重制约的空间聚类, 将石河子地区暴雨划分为“中部春汛型”、“北部夏季极端型”、“山区高频型”、“过渡带极值型”四大区域; 4) 季节与月份特征: 春夏季主导, 5月为核心高发区, 是天山北麓“春季积雪融水 + 冷空气 + 暖湿气流”以及“夏季热力对流 + 地形抬升”双重降水机制共同作用的结果。

关键词

暴雨, 极端性强, 纬度 + 地形

Characteristics of Refined Temporal-Spatial Distribution of Rainstorms over Shihezi Area Based on a High-Density Observing Station Network

Yue Tan^{1,2}, Junkai Wang^{1,2}, Dongliang An^{1,2}, Gulidana Etanbai^{1,2}

¹Shihezi Meteorological Observatory, Shihezi Xinjiang

²Wulanwusu Agrometeorological Experiment Station/Xinjiang Field Scientific Observation and Research Station for Ecology and Agrometeorology/Wulanwusu National Comprehensive Meteorological Observation Specialized Test Field Base, Shawan Xinjiang

文章引用: 谭月, 王俊凯, 安冬亮, 古丽达娜·俄坦拜. 基于高密度站网的石河子地区暴雨精细化时空分布特征[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(2): 224-230. DOI: 10.12677/ag.2026.162022

Abstract

This paper analyzes historical precipitation data from the Shihezi region to determine the characteristics of heavy rain and severe convective weather in this area: 1) Intensity Characteristics: Extreme rainfall values are mainly concentrated at the desert edge, the oasis-desert transition zone, and mountainous areas. The regional precipitation variability is high and highly localized. 2) Temporal Variation Characteristics: The frequency of heavy rain has shown an increasing trend year by year, with a recent enhancement in the extremity of such events. 3) Spatial Distribution Characteristics: The distribution of heavy rain exhibits spatial clustering constrained by a “latitude + topography” dual mechanism. Based on this, the heavy rain in the Shihezi region can be categorized into four distinct zones: the “Central Spring Flood Type”, the “Northern Summer Extreme Type”, the “Mountainous High-Frequency Type”, and the “Transition Zone Extreme Value Type”. 4) Seasonal and Monthly Characteristics: Precipitation is dominated by the spring and summer seasons, with May being the core high-incidence period. This is the result of a dual precipitation mechanism involving “spring snowmelt + cold air + warm moist airflow” in the northern foothills of the Tianshan Mountains, as well as “summer thermal convection + topographic uplift”.

Keywords

Torrential Rain, Extreme Intensity, Latitude + Topography

Copyright © 2026 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. 背景介绍

暴雨是重要的降水资源[1]。叶殿秀等[2]发现我国区域性暴雨过程年发生总频数呈微弱增多, 较强区域性暴雨过程次数呈明显增加, 暴雨期呈显著延长趋势, 区域性暴雨过程的覆盖范围和综合强度均呈显著增大趋势。全球陆地干旱区大多变干, 而中国西北地区气候呈明显的变湿趋势, 降水增加显著[3]。西北干旱区极端降水呈现山区多而平原少的特点, 天山山区和新疆北部地区极端降水量呈显著增加趋势[4]。

石河子, 位于天山北麓中段, 准噶尔盆地南缘, 典型的温带大陆性的干旱气候, 四季分明, 冬季寒冷漫长, 夏季炎热干燥, 春秋季节较短。昼夜温差大, 日照充足, 降水稀少, 蒸发量大[5]。由于生态环境脆弱, 新疆的暴雨易引发山洪和滑坡、泥石流等地质灾害, 造成巨大的经济损失和人员伤亡[6]。本文利用石河子历史降水数据分析研究, 得出暴雨强对流天气的时空分布规律、强度、频次特征及长期变化趋势, 为后续明确暴雨强对流天气发生机理提供参考。

2. 数据情况

石河子地区下辖 4 个国家站、28 个区域站和 10 个兵团站。国家站数据跨度长、完整性高, 具有强区域代表性; 区域站兵团站覆盖范围广, 能反映多样地形下的暴雨差异。

观测规范规定标准统计时段：当日 20 时至次日 20 时。取用降水量为研究数据，本文暴雨阈值标准：24 小时降水量 ≥ 24.1 毫米，大暴雨阈值标准：24 小时降水量 ≥ 48.1 毫米，数据情况如表 1 所示：

Table 1. Heavy rain data from meteorological stations in the Shihezi region
表 1. 石河子地区气象站点暴雨数据情况

站点名称	数据统计时段
炮台	1955 年 1 月~2025 年 6 月
莫索湾	1959 年 1 月~2025 年 6 月
石河子	1954 年 1 月~2025 年 6 月
乌兰乌苏	1964 年 4 月~2025 年 6 月
28 个区域站	2009 年 4 月~2025 年 6 月(4~9 月)
10 个兵团站	2017 年 2 月~2025 年 6 月(4~9 月)

3. 国家站暴雨天气特征

3.1. 石河子市站和乌兰乌苏站暴雨分布特征

基于 1954 年 1 月至 2025 年 6 月的长期观测序列，石河子市站和乌兰乌苏站分别出现 17 次、16 次暴雨过程记录，降水量量级均未达到气象学定义上，日降水量不小于 48.1 mm 的大暴雨标准。

统计结果如图 1 显示，2 站暴雨极值均出现在 1999 年 8 月 14 日，该日 20 时至次日 20 时日降水量分别为 39.2 mm 和 39.8 mm，为该站有观测记录以来的最大降水量。乌兰乌苏站 2019 年 7 月 10~11 日为一次降水过程，累计降水量达 56.8 mm。

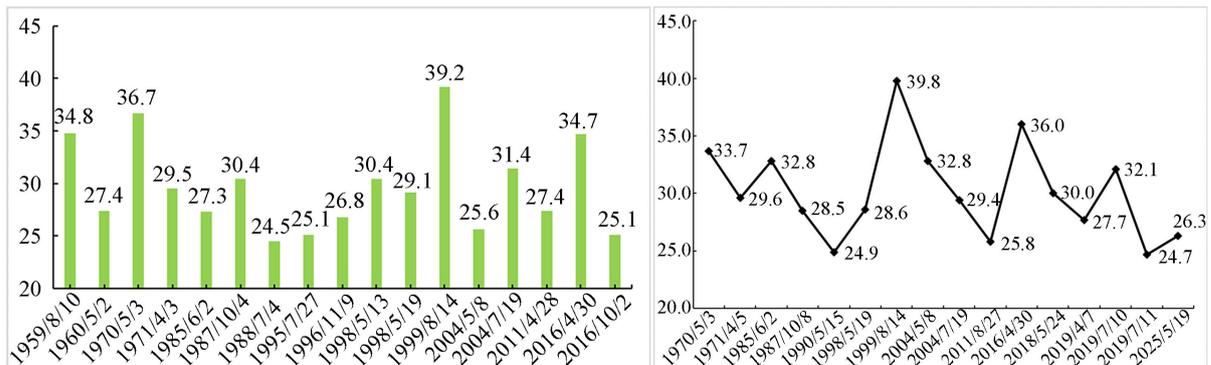


Figure 1. Distribution of heavy rainfall at Shihezi (1954~2025) and Wulanwusu Stations (1964~2025) (unit: mm)
图 1. 石河子站(1954 年~2025 年)、乌兰乌苏站(1964 年~2025 年)暴雨分布图(单位: mm)

从年际分布趋势来看，1990 年后暴雨过程频次显著增长。石河子市站 1954~1990 年共发生暴雨过程 7 次，而 1991~2025 年暴雨频次增加至 10 次，增加 42.9%；乌兰乌苏站 1964~1990 年暴雨出现 5 次、2011~2025 年发生暴雨 6 次，1998 年、2004 年和 2016 年为石河子市站暴雨相对集中的年份，各出现 2 次暴雨过程，乌兰乌苏站 2004 年集中出现暴雨 2 次。

在季节与月份分布上，暴雨事件的发生概率出现显著的季节分布差异，春季(3~5 月)为绝对高发期，2 站春季暴雨发生率分别为 47%和 56.25%，发生在 5 月的概率分别为 29%和 37.5%，为最高，夏季(6~8 月)分别为 35%和 37.5%，秋季(9~11 月)分别为 18%和 6.25%。表明该地区暴雨过程契合天山北麓“春汛型暴雨”机制。

石河子市站和乌兰乌苏站纬度相近,受天山北麓与准噶尔盆地气候系统共同影响,暴雨的分布特征具有高度相似性,这一现象进一步佐证暴雨的发生同纬度、地形地貌、地理位置存在密切联系。

3.2. 炮台站、莫索湾站暴雨分布特征

炮台站和莫索湾站均位于石河子垦区的北部,其中,炮台站位于绿洲-沙漠过渡带,莫索湾站地处古尔班通古特沙漠边缘,其特殊的地理位置致使其暴雨天气过程展现出更强的极端性。

如图 2,从暴雨发生的频次来看,炮台站和莫索湾站均出现 6 次暴雨过程,在暴雨量级方面,莫索湾站表现出显著的极端性,出现暴雨量级且达到大暴雨标准的降水过程,日降水量达到 49.2 mm,值得注意的是,2004 年 7 月 19 日~20 日期间,两站均出现暴雨天气过程,累计降水量分别为 65.1 mm 和 71.6 mm。两站的暴雨极值分别出现在 2004 年 7 月 19 日和 2011 年 6 月 19 日,降水量分别为 33.7 mm 和 49.2 mm。

Table 2. Heavy rain occurrence at Paotai and Mosuowan stations (Unit: times)

表 2. 炮台站、莫索湾站暴雨频次(单位:次)

时间	炮台站	莫索湾站
1955~1990 年	1	1
1991~2000 年	1	0
2001~2010 年	3	3
2011~2025 年	1	2

如表 2 所示,从时间分布阶段来看,2 站暴雨过程在 2001 年后进入活跃期,在 2001~2010 年间,各出现 3 次暴雨过程,占暴雨频次的 50%,炮台站在 1955~1990 年、1991~2000 年、2011~2025 年期间各出现暴雨 1 次;莫索湾站在 1959~1990 年期间出现暴雨 1 次,1991~2000 年期间未出现暴雨,2011~2025 期间出现 2 次。

从暴雨的季节与月份分布上看,炮台站暴雨降水过程发生在 4 月、5 月和 6 月的概率相同,约为 16.7%,7 月的概率达 50%。按季节划分,发生在春季的概率在 33.4%,夏季为 66.7%;莫索湾站暴雨降水过程发生在 5 月和 6 月的概率均为 16.7%,7 月和 8 月的概率为 33.3%,季节分布上春季发生概率为 16.7%,夏季高达 83.3%,与沙漠夏季热力对流旺盛的气候特点一致。

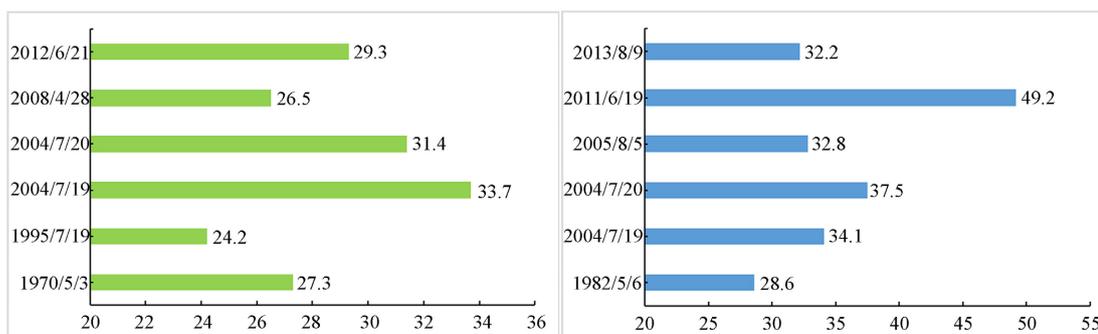


Figure 2. Distribution of heavy rainfall at Paotai (1955~2025) and Mosuowan Stations (1959~2025) (unit: mm)

图 2. 炮台站(1955 年~2025 年)、莫索湾站(1959 年~2025 年)暴雨分布图(单位: mm)

4. 区域站、兵团站暴雨天气特征

我区共有 28 个区域站,10 个兵团站,北至古尔班通古特沙漠南缘,南至天山山脉北坡,地形地貌丰富,气候多变。

分析结果如下：日降水量达到暴雨标准累计 105 次，不小于 48.1 mm 量级的大暴雨出现 6 次，极值出现在区域站 2010 年 6 月 22 日石河子 142 团 33 连站，降水量达 77.7 mm，次级值出现在 2016 年 6 月 23 日 150 团驼铃梦坡景区站，降水量达 76.4 mm。

4.1. 暴雨过程频次分析

如图 3，统计暴雨次数最多的站为东大塘站，累计出现暴雨 21 次，该站日降水量极值出现在 2025 年 5 月 3 日，降水量达 52.9 mm。4 月和 6 月出现暴雨天气的概率均为 4.8%，出现在 5 月的概率最高，为 47.6%，出现在 7 月的概率为 19%，出现在 8 月的概率为 23.8%。

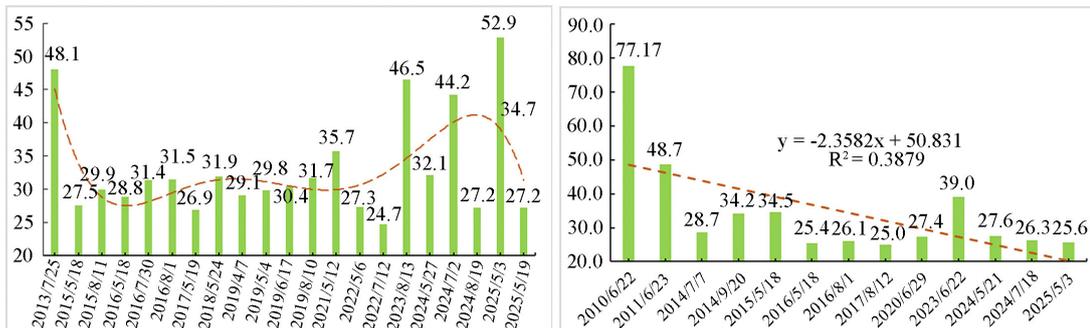


Figure 3. Rainstorm grade distribution map: Dongdatang station and 142nd regiment, 33rd company (unit: mm)
图 3. 东大塘站、142 团 33 连暴雨量级分布图(单位: mm)

从季节上分析，暴雨天气出现在春季的概率为 52.4%，出现在夏季的概率为 47.6%。其变化趋势呈现年际变化，近两年暴雨天气过程降水量更极端，发生次数更多。

暴雨次数最多的站为 142 团 33 连站，累计出现暴雨 13 次，该站日降水量极值出现在 2010 年 6 月 22 日，降水量达 77.7 mm，是整个石河子地区暴雨天气过程的降水量极值。同东大塘站相比，暴雨天气过程数量呈减少趋势。出现降水极值的站点均位于山区，地形抬升促进地形雨频发。

4.2. 暴雨过程年际变化分析

据统计，2009 年~2025 年期间，除个别年份外，暴雨发生的频次波动上升，在 2019 年达到峰值，累计出现 18 次暴雨过程，2024 年、2025 年暴雨过程频次持续位于高位，如图 4。

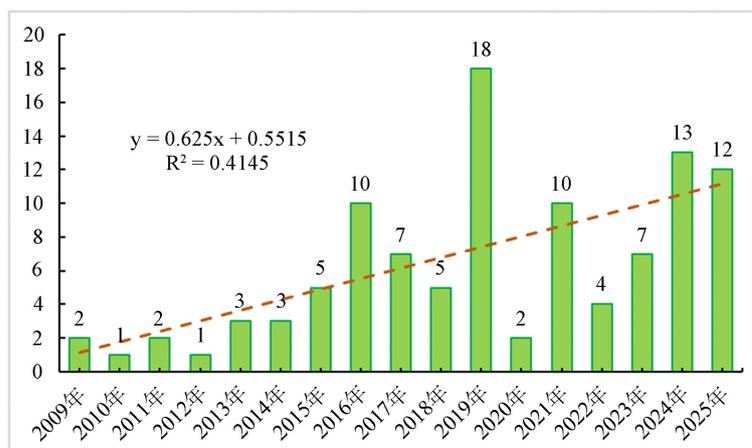


Figure 4. Frequency of rainstorms at regional stations in the Shihezi area (2009~2025) (unit: times)
图 4. 石河子地区区域站暴雨发生频次(2009~2025 年) (单位: 次)

2016~2025 年出现 4 次大范围系统性(超过 5 个站出现暴雨量级)暴雨天气过程, 分别在 2016 年 5 月 18 日、2019 年 4 月 7 日、2025 年 5 月 3 号、2025 年 5 月 19 日, 2025 年出现 2 次。

4.3. 暴雨过程年际变化分析

在统计的 105 次暴雨过程中, 发生在 5 月的暴雨过程最多, 占总数的 36%, 7 月、8 月各占 14%, 出现在 10 月和 11 月的频次最少, 分别占 4% (图 5)。

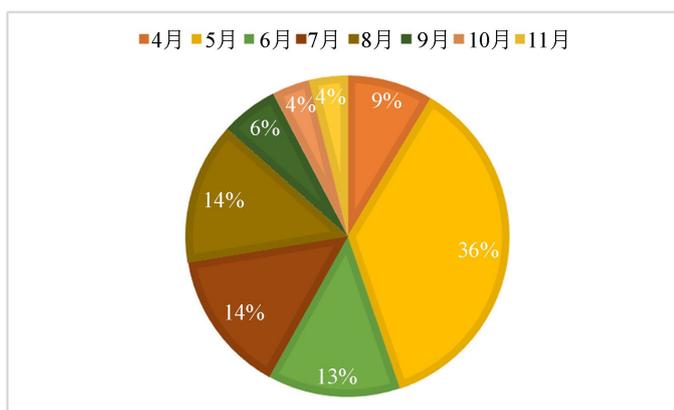


Figure 5. Monthly rainstorm frequency distribution map: Shihezi regional stations (2009~2025)

图 5. 石河子地区区域站暴雨频次月份分布图(2009~2025 年)

从季节上统计得知, 石河子地区, 暴雨发生在春季的概率为 45%, 发生在夏季的概率为 42%, 发生在秋季的概率为 13%。

5. 结论

本文基于石河子地区 4 个国家站、28 个区域站及 10 个兵团站的连续性降水观测数据, 通过对不同站点数据时段、暴雨频次、强度、时空分布及变化趋势的深度梳理, 全面呈现该区域暴雨天气过程的核心特征。

5.1. 国家站：维度与地理主导的差异化特征

4 个国家站主要可分为两大类, 体现地理位置与地形的关键影响。石河子市站同乌兰乌苏站均位于石河子地区中部, 受天山北麓中段地形与准噶尔盆地南缘气候系统的共同作用, 暴雨特征呈现近乎同步的规律。石河子市站 71 年数据出现 17 次暴雨过程, 乌兰乌苏站 61 年 16 次暴雨过程, 均无大暴雨, 极端降水量值出现在 1999 年 8 月 14 日, 分别为 39.2 mm 和 39.8 mm。自 1991 年始暴雨过程频次增长, 石河子市站增加 42.9%; 乌兰乌苏站 2011 年后暴雨频次增加 2.4 倍。

北部炮台站和莫索湾站分别出现 6 次暴雨过程, 莫索湾站出现目前国家站中唯一的大暴雨过程, 降水量达 49.2 mm, 夏季是暴雨过程的高发期。

5.2. 区域站、兵团站：地形驱动暴雨过程的复杂性与极端性

站点覆盖范围广, 地形涵盖山区、绿洲、沙漠过渡带等, 数据统计周期虽短, 但更能反映小尺度地形下暴雨的多样性, 统计时段聚焦 4~9 月, 共记录暴雨 105 次、大暴雨 6 次, 极端性与空间差异显著。

东大塘站是暴雨的核心区域, 累计出现暴雨 21 次, 占 20%, 反映山区站点暴雨逐年增强的趋势。

2009 至 2025 年间, 暴雨频次呈现“波动上升”的趋势, 2016 至 2025 年共出现 5 次超过 5 个站同步

暴雨的系统性事件，推测与全球气候变暖背景下，北疆地区暖湿气流活动增强、大气环流异常频率提升有关，对区域暴雨联防联控提出更高的要求。

在 105 次暴雨过程中，月份分布呈现“单峰型”特征：5 月占比 36%，为绝对高发月；季节分布上，春夏季合计占 87%，与国家站整体趋势一致，但较石河子站和乌兰乌苏站春季占比略低，较炮台站和莫索湾站夏季占比也略低，体现出因地形多样性而形成的差异性分布，是对国家站宏观特征的补充和细化。

5.3. 全区域暴雨特征总结

- 1) 强度特征：极端值主要集中在沙漠边缘、绿洲沙漠过渡带及山区，降水变率大、局地性强；
- 2) 时间变化特征：频次逐渐上升，近年极端性增强；
- 3) 空间分布特征：暴雨分布呈现“纬度 + 地形”双重制约的空间聚类，将石河子地区暴雨划分为“中部春汛型”、“北部夏季极端型”、“山区高频型”、“过渡带极值型”四大区域；
- 4) 季节与月份特征：春夏季主导，5 月为核心高发区，是天山北麓“春季积雪融水 + 冷空气 + 暖湿气流”以及“夏季热力对流 + 地形抬升”双重降水机制共同作用的结果。

本文通过对不同类型、不同区域暴雨数据的详细拆解，明确石河子地区暴雨的核心特征与变化趋势，揭示地形、纬度、气候背景对暴雨的驱动机制，为后续区域灾害风险区划、防汛抗旱预案制定提供精细化数据支撑，对暴雨强对流天气发生机理研究提供参考，同时也为干旱半干旱地区暴雨研究、为提供具有参考价值的区域案例。

基金项目

中国沙漠气象科学研究基金项目(Sqj20240015)。

参考文献

- [1] 高婧, 井立红, 芮建文, 等. 新疆塔城区域暴雨时空变化特征及其影响因子分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(4): 15-22.
- [2] 叶殿秀, 王遵娅, 高荣, 等. 1961-2016 年我国区域性暴雨过程的客观识别及其气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(6): 575-583.
- [3] 杨金虎, 江志红, 刘晓芸, 等. 近半个世纪中国西北干湿演变及持续性特征分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 10-22.
- [4] 刘友存, 焦克勤, 赵奎, 等. 中国天山地区降水对全球气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 748-759.
- [5] 王妮, 崔彩霞, 张连成. 新疆新源县暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(4): 30-35.
- [6] 杨霞, 周雅蔓, 牟欢, 等. 新疆极端暴雨代表性事件的主要研究进展[J]. 沙漠与绿洲气象, 2025(6): 1-14.