暴雨灾害
Torrential Rain and Disasters
中国科技核心期刊
中国科技论文统计源期刊

西南涡伴随切变线造成的贵州暴雨统计特征分析

李启芬 杜小玲 李扬 王君军 蒙军

Statistical characteristics of rainstorms caused by southwest vortex with shear line in Guizhou

LI Qifen，DU Xiaoling，LI Yang，WANG Junjun，MENG Jun

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12406/byzh.2024-104

您可能感兴趣的其他文章 Articles you may be interested in

四川盆地一次暖性西南低涡大暴雨的中尺度分析

Mesoscale analysis on one warm Southwest Vortex rainstorm in the Sichuan basin

暴雨灾害. 2023, 42(1): 24-36 https://doi.org/10.12406/byzh.2022-024

近10 a高原切变线研究进展综述

Review on the research advances of the Tibetan Plateau shear line in the last decade

暴雨灾害. 2021, 40(6): 569-576 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2021.06.001

四川盆地一次暴雨过程中西南低涡非对称结构特征及其成因分析

Analysis on characteristics and causes of the Southwest Vortex asymmetric structure during one rainstorm in the Sichuan Basin

暴雨灾害. 2024, 43(6): 627-636 https://doi.org/10.12406/byzh.2023-239

湖南省西南涡暴雨的分类研究

Classification of rainstorms in Hunan Province affected by the Southwest China vortex

暴雨灾害. 2021, 40(1): 52-60 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2021.01.007

2012—2017年不同涡源西南低涡多发的影响因素分析

Analysis of influencing factors on frequent occurrence of Southwest China Vortexes with different vortex sources from 2012 to 2017

暴雨灾害. 2021, 40(6): 577-588 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2021.06.002

湖北省区域性暴雨雨团识别及特征分析

Rain clusters identification and characteristics analysis of regional rainstorms in Hubei Province

暴雨灾害. 2021, 40(5): 505-512 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2021.05.007

关注微信公众号，获得更多资讯信息

李启芬,杜小玲,李扬,等.2025.西南涡伴随切变线造成的贵州暴雨统计特征分析[J].暴雨灾害,44(2):207−214. LI Qifen, DU Xiaoling, LI Yang, et al. 2025. Statistical characteristics of rainstorms caused by southwest vortex with shear line in Guizhou [J]. Torrential Rain and Disasters,44(2):207−214 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2024−104

西南涡伴随切变线造成的贵州暴雨统计特征分析

李启芬[1], 杜小玲[2], 李扬[1], 王君军[1], 蒙军[3]

(1. 贵州省贵阳市气象局, 贵阳 550002; 2. 贵州省气象台, 贵阳 550002;
3. 贵州省安顺市气象局, 安顺 561000)

摘　要: 为进一步认识西南涡及切变线对贵州暴雨的影响及重要性, 利用 2010—2023 年 4—10 月贵州省 84 个国家级气象观测站日降水资料、MICAPS 常规观测资料以及 FNL1°×1°再分析资料, 分别统计分析了近 14 a 的西南涡及切变线及其造成的贵州暴雨的特征。结果表明: (1) 近 14 a 西南涡及切变线主要在夜间生成, 六成向东移动, 四成向东南移动; 涡源次数最多为小金涡源, 其次为九龙涡源。(2) 影响贵州的西南涡及切变线, 七成左右为东南移向, 主要在川南向南移动后影响贵州中部偏西地区; 其中来自小金涡源和九龙涡源的次数较多且相当, 6 月份的次数明显多于其他月份。(3) 近 14 a 贵州三成以上区域性暴雨由西南涡及切变线造成, 为各影响系统之首, 并且主要由东南移向的西南涡及切变线造成; 其造成的暴雨大值中心区主要在贵州西部的北盘江附近, 其次为东南部的雷公山附近, 造成的暴雨次数在 6 月最多, 7 月次之。

关键词: 西南涡; 切变线; 移动路径; 贵州暴雨; 区域性暴雨; 统计特征

中图法分类号: P458.1^{+}21.1　　**文献标志码**: A　　**DOI:** 10.12406/byzh.2024−104

Statistical characteristics of rainstorms caused by southwest vortex with shear line in Guizhou

LI Qifen[1], DU Xiaoling[2], LI Yang[1], WANG Junjun[1], MENG Jun[3]

(1. *Guiyang Meteorological Bureau of Guizhou Province*, *Guiyang* 550002; 2. *Guizhou Province Meteorological Bureau*, *Guiyang* 550002; 3. *Anshun Meteorological Bureau*, *Anshun* 561000)

Abstract: To further understand the influence and importance of southwest vortex with shear line on the rainstorms in Guizhou, the characteristics of southwest vortex with shear line and rainstorms in Guizhou caused by southwest vortex with shear line in recent 14 years were statistically analyzed by using the daily precipitation data from 84 national meteorogical observation stations in Guizhou Province, the MICAPS regular observation data, FNL1°×1 ° reanalysis data from April to October between 2010 and 2023. The results showed that: (1) in recent 14 years, southwest vortex with shear line primarily generated at night, with 60% moving eastward and 40% moving southeastward. The highest frequency of vortex sources was from Xiaojin, followed by Jiulong. (2) About 70% of southwest vortex with shear line affecting Guizhou moved to the southeast, mainly affected the west-central region of Guizhou after they moved southward from southern Sichuan. Vortices originating from the Xiaojin vortex source and Jiulong vortex source were more frequent with comparable frequency, and their occurrence in June was obviously more than that of other months. (3) In recent 14 years, over 30% of regional heavy rain events in Guizhou were caused by southwest vortex with shear line, which was the leading influencing system. In addition, these events were primarily caused by southwest vortex with shear line moving southeastward. The heavy rainfall centers caused by southwest vortex with shear line were mainly located near the Beipan River in western Guizhou, followed by Leigong Mountain in the southeast. The most frequent heavy rainfall events occurred in June, followed by July.

Key words: southwest vortex; shear line; movement path; Guizhou heavy rain; regional heavy rain; statistical characteristics

收稿日期: 2024−05−23; **定稿日期**: 2024−09−04

资助项目: 贵州省气象局创新团队项目 (黔气科合 TD-2024-01 号); 西南区域重大科研业务项目 (西南区域 2014-3); 贵州省科研业务项目 (黔气科登 2022-12-08 号)

第一作者: 李启芬, 主要从事短期天气预报服务与研究。E-mail: 627234962@qq.com

通信作者: 杜小玲, 主要从事短期天气预报服务与研究。E-mail: 13985141480@163.com

© Editorial Office of *Torrential Rain and Disasters*. OA under CC BY−NC−ND 4.0

引　言

西南涡是在青藏高原及西南地区特殊地形和一定大气环流共同作用下，产生于对流层低层 (700 hPa 或 850 hPa) 的一种闭合气旋式低涡环流，是我国暴雨产生的重要天气系统 (卢敬华，1986；李跃清等，2012；李国平和陈佳，2018)，其造成的暴雨强度、频次和范围仅次于台风及残留低压，是位居我国第二的暴雨天气系统 (王作述等，1996)。西南涡大多稳定少动，少数可以移出源地或诱生新系统东移，引起下游暴雨、强对流等高影响天气 (李跃清和徐祥德，2016；高守亭和周玉淑，2019；刘金卿和李子良，2020)；西南涡移动路径主要有偏东、东北和东南三条，不同研究者定义标准略有差别 (卢敬华和陈刚毅，1993；陈启智等，2007)，西南涡向不同方向移动，其影响区域各不相同。对西南涡活动的研究，除以上方面，西南涡涡源的分析也是一个重要的基础问题，西南涡涡源不是单一的，具有多个次涡源，不同涡源的西南涡特征不同 (李跃清，2021；郁淑华等，2021)。

切变线是出现在低空 (700 hPa 或 850 hPa) 的具有气旋式切变的不连续线 (陶诗言，1980)。在引发高原及高原以东暴雨的天气系统中，除台风、西南涡外，切变线也扮演着十分重要的角色。姚秀萍等 (2014) 指出高原切变线是青藏高原地区特有的重要天气系统；马嘉理和姚秀萍 (2015) 的研究表明江淮梅雨期降水以切变线引发的降水为主；田莹和姚秀萍 (2024) 指出华南切变线是华南地区最为重要的天气系统之一，与华南前汛期降水密切相关；王玉亮等 (2019) 提到，切变线暴雨是影响山东最主要的暴雨类型之一，占山东暴雨过程的 40%。这主要是由于切变线附近往往伴随风的辐合，产生垂直运动，触发中尺度对流系统发生，从而释放不稳定能量，带来暴雨 (寿绍文等，2001；刘建勇等，2012)。

贵州处于我国西南地区，位于青藏高原东部的背风坡，受西南低涡或切变线的直接或间接影响更甚，尤其在盛夏季节。很多学者从诊断分析、数值模拟等角度分析研究了西南涡引起的贵州暴雨 (程晓龙和李跃清，2014；程晓龙等，2021) 以及切变线造成的贵州暴雨 (杨忠明，1993；李小兰等，2016；张艳梅等，2022)，可以看到，以上多是对西南涡或切变线引起的贵州暴雨研究，且是对 1 个或几个个例进行分析，鲜少研究西南涡伴随切变线对贵州的影响，尤其是从统计分析的角度来进行研究。本文利用统计方法，分析西南涡伴随切变线 (以下称为西南涡及切变线) 的特征以及其造成的贵州暴雨的特征，以期加深西南涡及切变线对贵州暴雨影响重要性的认识，对该类型的暴雨预报水平和防灾减灾提供一定的参考依据。

1　资料与方法

1.1　资料说明

使用资料包括：(1) 2010—2023 年 4—10 月每日 08 时 (北京时，下同) 和 20 时 MICAPS 700—850 hPa 高空观测风场和高度场资料；(2) 美国国家大气研究中心 (NCAR) 下属的地球观测实验室所提供的 2010—2023 年 4—10 月每日 4 次的再分析资料 (FNL)，水平分辨率为 1°×1°，使用其中 700—850 hPa 纬向风、经向风和位势高度等资料；(3) 2010—2023 年 4—10 月贵州省 84 个国家级气象观测站日降水资料。

1.2　研究方法

文中的西南涡采用陈启智等 (2007) 的定义，即在 (100°—110°E，25°—35°N) 范围内满足以下条件的环流系统则定义为西南涡：(1) 700 hPa 天气图在上述区域内有低压中心，(2) 围绕该低压中心有闭合或趋于闭合的等值线，(3) 若 700 hPa 天气图在上述范围内的低压中心外围的环流等值线不明显，则在 850 hPa 对应位置上必须存在十分明显的低压中心和闭合环流。

西南涡伴随切变线的判别则结合陈启智等 (2007)、马嘉理和姚秀萍 (2015)、李国平和陈佳 (2018) 的研究成果，定义为在 (100°—110°E，25°—35°N) 范围内 700 hPa 天气图上有西南涡，西南涡前部有暖切变线或后部有冷切变线，由西南涡及其前部的暖切变线或后部的冷切变线共同组成的系统，称为西南涡及切变线。

利用 2010—2023 年 4—10 月 MICAPS 上的 700—850 hPa 高空资料以及 FNL1°×1°再分析资料对西南涡及切变线进行普查，当 08 时或 20 时 700 hPa 一旦满足西南涡及切变线定义时，则定义该时刻为西南涡及切变线生成时间，此时的低压中心为低涡“发现点”；西南涡中心一直维持，直至西南涡中心位于西南涡“发现点”以东或以南时，则视为西南涡移出；当西南涡中心或西南涡伴随的切变线消失时，为西南涡及切变线消亡时间；持续时间为生成时间至消亡时间，西南涡及切变线持续期间仅记为一个西南涡及切变线；西南涡中心的连线则为西南涡移动路径。西南涡由源地移出，经长江东移入海，为偏东路径，称为“东移”西南涡；西南涡由源地经贵州、湖南和福建入海，有时还影响广西、广东，则称为“东南移”西南涡。根据以上规定，统计出西南涡及切变线的出现时间、持续时间以及西南涡移动路径。文中

主要统计分析向东和向东南方向移动的西南涡及切变线。

西南涡涡源的判别参照陈忠明和闵文斌 (2000) 及李跃清 (2021) 的研究方法, 定义在 (100°—103°E, 27°—30°N) 生成的西南涡为九龙涡, 在 (100°—104°E, 30°—32°N) 生成的西南涡为小金涡, 在 (105°—108°E, 30°—33°N) 生成的西南涡为四川盆地涡。

参考张东海等 (2021) 的定义, 当有一个站点 24 h (以 20 时为界, 下同) 内出现暴雨 (≥50 mm) 时, 则定义为一个暴雨日, 在一次降水过程中, 若贵州省 84 个国家级气象观测站站点中, 有 6 个及以上站点日降水量达到暴雨标准, 则定义为一次区域性暴雨过程。

暴雨日内, 700 hPa 有西南涡中心及切变线进入贵州的高影响区域 (102°—110°E, 24°—30°N), 则定义为西南涡及切变线造成的贵州暴雨。

2 影响贵州的西南涡及切变线的统计特征

表 1 给出了西南涡及切变线的统计特征。由表 1 可见, 2010—2023 年 4—10 月, 西南涡及切变线共生成 173 次, 其中有 106 次向东移动, 67 次向东南方向移动; 20 时生成 133 次, 08 时生成 40 次, 即西南涡及切变线主要在夜间生成, 这与很多学者的研究结论一致 (陈启智等, 2007; 谌贵珣和何光碧, 2008); 夜间和早上生成的西南涡及切变线平均持续时间均在 2 d 左右, 最长持续时间约 180 h, 最短持续时间约 24 h, 主要移动方向是向东移动, 占总数的 61.3%, 东南移向的西南涡及切变线平均持续时间较向东移动的略长。此外, 西南涡及切变线向东南方向移动的次数 6 月最多, 8 月次之, 向东移动的次数 5 月最多, 4 月、6 月次之; 从年份上来看, 2022 年最多, 其原因主要是 2022 年 4 月较常年偏多, 2015 年最少。

表 1 2010—2023 年 4—10 月西南涡及切变线次数和持续时间

Table 1 Statistics of the occurrence and duration of southwest vortex with shear line from April to October during 2010-2023

影响系统	总次数		平均持续时间/h		持续时间/h		不同移向的次数		不同移向的平均持续时间/h	
	20时	08时	20时	08时	最长	最短	东南	东	东南	东
西南涡及切变线	133	40	51	54.9	180	24	67	106	52.7	51.3
影响贵州的西南涡及切变线	56	19	42.4	41.4	120	24	56	19	46.9	45.5

注: 表中的“东南”表示西南涡及切变线向东南方向移动, “东”表示向东移动。

2010—2023 年 4—10 月, 影响贵州的西南涡及切变线共 75 次, 占总数的 43.4%, 其中有 56 次向东南方向移动, 仅 19 次向东移动, 即影响贵州的主要是东南移向的西南涡及切变线, 其平均持续时间为 46.9 h; 影响贵州的西南涡及切变线在 20 时生成的共 56 次, 即影响贵州的西南涡及切变线有 75% 是在夜间生成的, 其平均持续时间为 42.4 h, 较 08 时生成的长 1 h 左右。根据进一步统计, 影响贵州的西南涡及切变线有 42 次为夜间生成且向东南方向移动, 其平均持续时间为 44 h。

表 2 给出了近 14 a 西南涡涡源的统计特征。可见, 近 14 a 小金涡源次数最多 (92 次), 其次为九龙涡源 (68 次), 最后为盆地涡源 (13 次)。根据罗清等人 (2018) 的研究, 九龙涡源的西南涡主要向东北方向移动, 这里仅统计偏东移向和东南移向的西南涡, 因此这里的结论“小金涡源最多, 九龙涡源次之, 最后为盆地涡源”与李跃清 (2021) 的结论 (九龙涡源是西南涡最重要的涡源, 其次为小金涡源以及盆地涡源) 略有差异。三成左右的小金涡源西南涡向东南方向移动, 七成左右向东移动, 向东移动的西南涡平均持续时间较向东南移动的长; 九龙涡源西南涡向东和向东南移动的次数相当, 均在五成左右, 但东南移向西南涡的平均持续时间较向东移动的长; 盆地涡源西南涡向东移动的次数较东南移向的多。影响贵州的西南涡涡源主要为小金涡源和九龙涡源, 两个涡源的次数相当, 分别为 36 次和 35 次, 且向东南方向移动的次数均为 27 次, 向东移动的次数分别为 9 次和 8 次, 九龙涡源西南涡平均持续时间比小金涡源的长。

图 1a 为西南涡三个涡源位置及地形分布图。可见, 贵州中部偏西地区海拔高度逐渐升高。图 1b 为 2010—2023 年 4—10 月西南涡的移动路径。可以看到, 西南涡向东移动的次数较向东南方向移动的次数多; 向东移动的西南涡仅少部分进入贵州高影响区域并影响贵州, 其余大部分未进入, 此时贵州处于西南涡南侧; 向东南方向移动的西南涡有 83.6% 进入贵州高影响区域, 仅少部分未进入。向东南方向移动的西南涡进入贵州高影响区域的路径又可分为 2 类: ①西南涡向四川南部移动, 经云南东北部或东部进入贵州西北部或西部, 此时的西南涡伴随的切变线为西北—东南向, 主要对贵州西部或西南部产生影响; ②西南涡向四川东南部或东部移动进入贵州高影响区域, 此时的西南涡伴随的切变线为东西

表 2 2010—2023 年 4—10 月西南涡涡源次数 (*N*) 和持续时间 (*T*, 单位: h)

Table 2 Frequency and duration of southwest vortex source from April to October during 2010-2023

涡源	小金涡		九龙涡		盆地涡	
	东南(*N*/*T*)	东(*N*/*T*)	东南(*N*/*T*)	东(*N*/*T*)	东南(*N*/*T*)	东(*N*/*T*)
西南涡	31/50.7	61/51.7	32/52.1	36/49.7	4/66.0	9/56.0
影响贵州的西南涡	27/52.0	9/52.0	27/53.8	8/55.5	2/102.0	2/78.0

注: 表中的“东南”表示西南涡向东南方向移动, “东”表示向东移动。

向或东北—西南向, 主要影响贵州北部、东北部和东部, 少部分西南涡进入贵州北部后向贵州西南部移动, 从而影响贵州西部、西南部。

图 2 给出了 2010—2023 年 4—10 月影响贵州的西南涡及切变线的统计特征。从图中可见, 每年影响贵州的西南涡及切变线的次数为 1—13 次, 最多为 2022 年的 13 次 (主要是 4 月的次数较常年偏多), 最少为 2013 年的 1 次。图 2c 表明, 影响贵州的西南涡及切变线的次数最多月份为 6 月 (29 次), 其次为 4 月和 5 月 (均为 12 次), 第三为 7 月和 8 月 (均为 9 次), 10 月没有西南涡及切变线影响贵州; 影响贵州的西南涡及切变线主要向东南方向移动, 且主要是川西北的小金涡和川西南的九龙涡向东南方向移动后, 经四川南部至云南东北部或东部进入贵州西北部或西部; 图 2b、d 表明, 每年对贵州有影响的西南涡及切变线在 20 时生成的次数明显多于 08 时的,

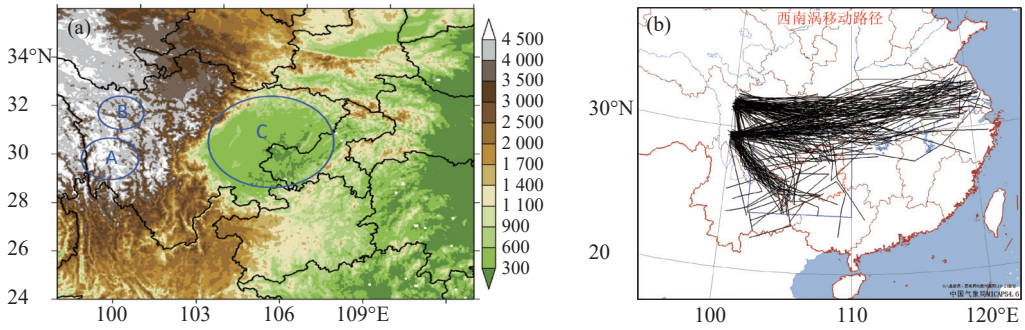


图 1 西南涡主要涡源的区域分布示意图 (a, 其中 A 为九龙涡源, B 为小金涡源, C 为盆地涡源, 填色表示海拔, 单位: m)、2010—2023 年 4—10 月西南涡移动路径 (b, 黑色实线)

Fig. 1 (a) Schematic illustration of the regional distribution of the major vortex sources of Southwest Vortex (A marks the Jiulong vortex source, B marks the Xiaojin vortex source, C marks Sichuan Basin vortex source, the colored area is terrain elevation, unit: m) and (b) the movement paths of southwest vortex from April to October during 2010-2023 (the black solid line)

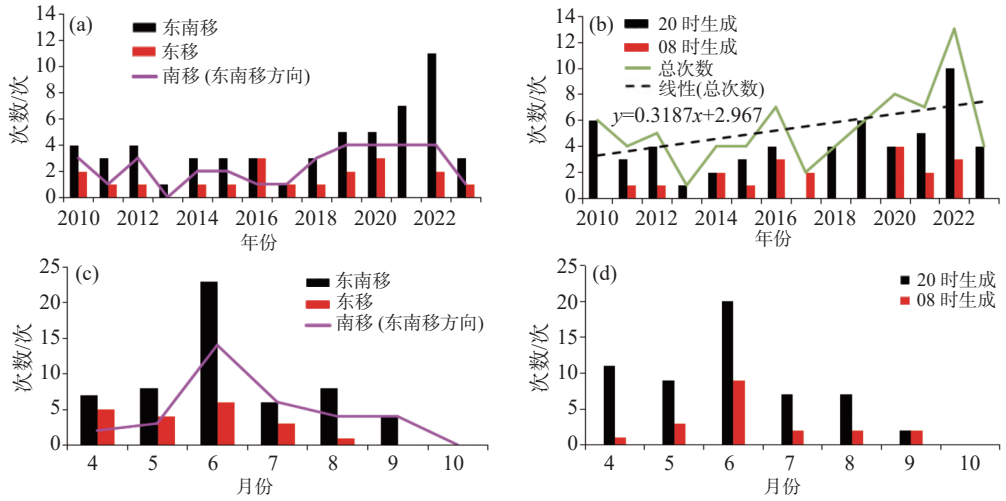


图 2 2010—2023 年 4—10 月影响贵州的西南涡及切变线的移动方向 (a、c) 和生成时间 (b、d) 的年际变化 (a、b) 及月际变化 (c、d) 的统计特征

Fig. 2 Statistical characteristics of (a、b) interannual and (c、d) monthly variation in the (a、c) movement direction and (b、d) formation time of southwest vortex with shear line affecting Guizhou from April to October during 2010-2023

且 6 月份最多; 图 2b 中的线性趋势表明, 近 14 a 影响贵州的西南涡及切变线的次数呈线性增加趋势。

由图 3 的西南涡及切变线平均持续时间可知, 西南涡及切变线的平均持续时间在 7 月最长 (67 h), 8 月次之 (63 h), 第三为 6 月 (51 h), 最短为 10 月 (18 h)。影响贵州的西南涡及切变线主要向东南方向移动, 故分析 08 时及 20 时东南移向西南涡及切变线的持续时间。可以看到, 20 时生成的影响贵州的西南涡及切变线平均持续时间在 9 月最长 (54 h), 其次为 8 月 (53 h), 第三为 6 月 (46 h), 而 08 时生成的影响贵州的西南涡及切变线平均持续时间在 7 月最长 (72 h), 其次为 6 月 (66 h), 第三为 9 月 (42 h)。前述已知, 影响贵州的西南涡及切变线的次数在 6 月明显多于其他月份, 且 6 月份西南涡及切变线的平均持续时间相对较长。因此, 西南涡及切变线对贵州的影响主要集中在 6 月。

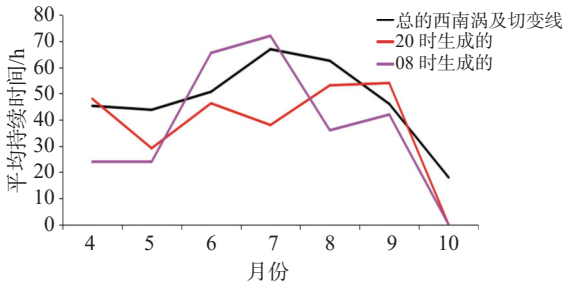


图 3 2010—2023 年 4—10 月西南涡及切变线平均持续时间

Fig. 3 Average duration of the southwest vortex with shear line from April to October during 2010-2023

3 西南涡及切变线造成的贵州暴雨特征

根据统计, 2010—2023 年 4—10 月贵州省七成左右的暴雨站数由区域性暴雨天气造成, 故本文主要统计分析贵州区域性暴雨的特征。表 3 给出了造成贵州区域性暴雨天气的影响系统的统计特征。可以看到, 西南涡及切变线造成的贵州区域性暴雨共 71 d (933 站), 占贵州区域性暴雨天数 (站数) 的 30.3% (33.9%); 切变线 2 (偏北气流与偏南气流形成的切变线) 共造成 62 d (748 站) 暴雨, 占贵州区域性暴雨天数 (站数) 的 26.5% (27.2%); 西南涡南侧或东南侧的偏南气流共造成 42 d (412 站) 暴雨, 占贵州区域性暴雨天数 (站数) 的 17.9% (15.1%)。可见, 西南涡及切变线为各影响系统之首, 这与李国平等 (2018) 的结论 (西南涡是夏半年造成我国西南地区重大降水过程的主要影响系统) 较为一致。值得注意的是, 受西南涡及切变线、西南涡偏南气流或切变线 1(西南涡伴随的西段切变线, 此时西南涡中心并未进入贵州高影响区域) 影响, 贵州出现区域性暴雨的天数 (站数) 共达 134 d (1 546 站), 可见, 当有西南涡这一背景存在时, 其伴随的影响系统产生的区域性暴雨占贵州区域性暴雨日数和站数的 57.3%、56.2%。综上所述, 在日常业务工作中, 需特别关注西南涡背景下的贵州区域性暴雨预报。

表 3 2010—2023 年 4—10 月造成贵州区域性暴雨的天气系统统计特征

Table 3 Statistical characteristics of the weather system causing regional rainstorms in Guizhou from April to October during 2010-2023

统计量	天气系统					
	西南涡及切变线	切变线1	切变线2	偏南气流1	偏南气流2	台风或减弱台风
天数	71	21	62	42	21	17
站数	933	201	748	412	271	185

注: 切变线1表示西南涡伴随的西段切变线, 偏南气流1表示西南涡南侧或东南侧的偏南气流, 这两种情况下西南涡中心均未进入贵州高影响区域; 切变线2表示无西南涡时, 偏北气流与偏南气流形成的切变线; 偏南气流2表示无西南涡时, 副热带高压西或西北侧的偏南气流。

表 4 给出了 2010—2023 年 4—10 月不同移动方向的西南涡及切变线造成的贵州区域性暴雨特征。可见, 向东南方向移动的西南涡及切变线造成的区域性暴雨共 50 d (703 站), 占西南涡及切变线造成的区域性暴雨天数 (站数) 的 70.4% (75.3%), 其中有七成左右是向南移动的西南涡及切变线造成; 向东移动的西南涡及切变线造成的区域性暴雨仅有 21 d (230 站)。

图 4 给出了西南涡及切变线造成的贵州区域性暴雨总日数和累计降雨量的空间分布。可见, 西南涡及切变线造成的区域性暴雨日数、降雨量大值区主要分布在安顺市及其周围地区, 其次为黔东南雷公山西侧和西南侧, 即主要分布在贵州两个显著地形区: 北盘江和雷公山附近, 这也是贵州区域性暴雨日数和降雨量大值区 (王芬等, 2013; 吴古会和张艳梅, 2017)。前述已知, 西南涡及切变线造成的贵州暴

表 4 2010—2023 年 4—10 月不同移动方向的西南涡及切变线造成的贵州区域性暴雨统计特征

Table 4 Statistical characteristics of regional rainstorms in Guizhou caused by southwest vortex with shear line with different movement directions from April to October during 2010-2023

统计量	东南移		东移		南移		合计
	数量	占比/%	数量	占比/%	数量	占比/%	
天数	50	70.4	21	29.6	33	66.0	71
站数	703	75.3	230	24.7	484	68.8	933

雨有七成左右为东南移向的西南涡及切变线造成，其中又有七成左右为向南移动的西南涡及切变线造成，向南移动的西南涡及切变线主要影响贵州西部地区，可见贵州区域性暴雨与西南涡及切变线的移动方向密切相关。

图 5 给出西南涡及切变线造成的贵州暴雨日数月际变化和年际变化。由图 5a 可见，西南涡及切变线造成的区域性暴雨日数明显多于非区域性暴雨日数，区域性暴雨日数在 6 月最多 (35 d)，7 月次之 (17 d)；非区域性暴雨日数在 5 月最多 (9 d)，6 月次之 (8 d)。可见，西南涡及切变线造成的贵州暴雨日数最多为 6 月，7 月次之，究其原因可能与 6 月和 7 月影响贵州的西南涡及切变线次数较多、持续时间较长有关。图 5b 表明，2010—2023 年期间，除 2013 年外，其余年份西南涡及切变线造成的区域性暴雨日数明显多于非区域性暴雨日数；2020 年为西南涡及切变线造成的贵州暴雨日峰值年，2018 年为谷值年；区域性暴雨日数在 2019 年最多，2013 年、2023 年最少；非区域性暴雨日数在 2020 年最多，2017 年、2018 年最少。

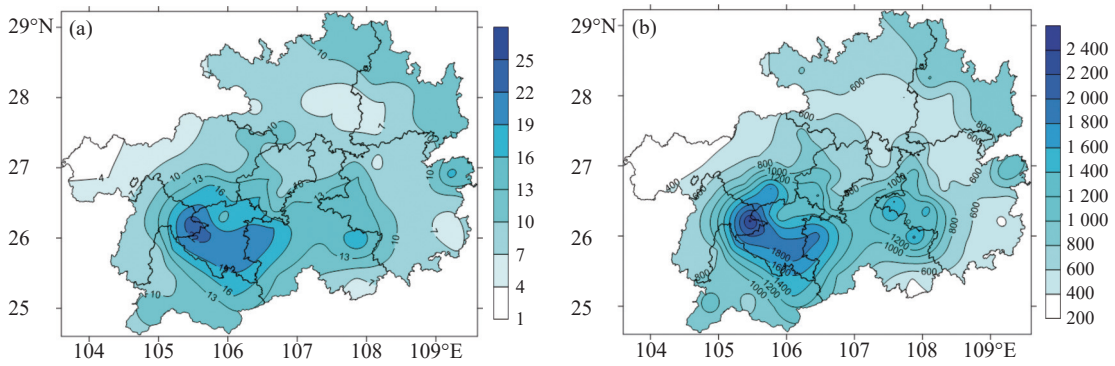


图 4 2010—2023 年 4—10 月西南涡及切变线造成的贵州省区域性暴雨日数 (a，单位：d) 及降雨量 (b，单位：mm)

Fig. 4 Distribution of (a) rainstorm days (unit: day) and (b) the amount of precipitation (unit: mm) caused by southwest vortex with shear line in Guizhou Province from April to October during 2010-2023

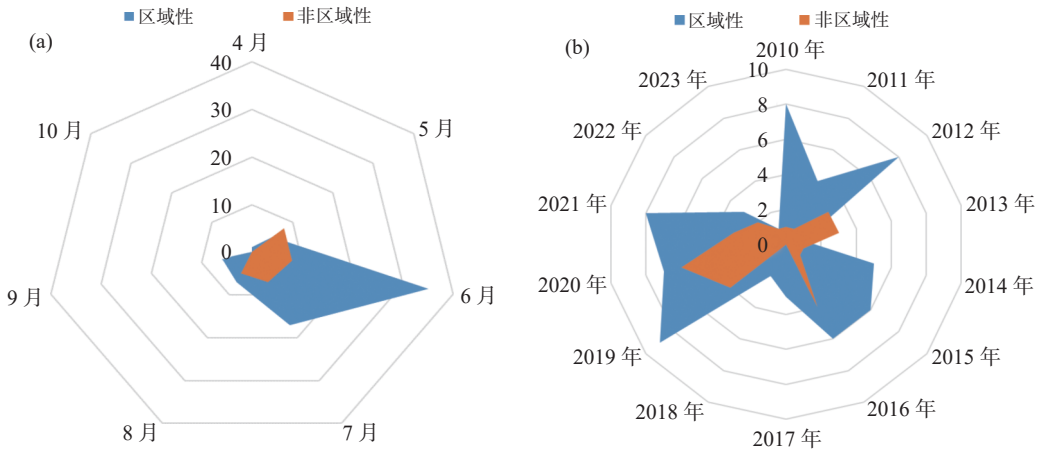


图 5 2010—2023 年 4—10 月西南涡及切变线造成的贵州暴雨日数月际 (a) 及年际 (b) 变化 (单位：d)

Fig. 5 The (a) monthly and (b) annual variation of rainstorm days in Guizhou caused by southwest vortex with shear line from April to October during 2010-2023 (unit: d)

4 结论与讨论

利用 2010—2023 年 4—10 月贵州省 84 个国家级气象观测站日降水资料、MICAPS 常规观测资料以及 FNL1°×1°再分析资料，统计分析了近 14 a 西南涡伴随切变线的特征以及其造成的贵州暴雨的特征，主要结论如下：

(1) 近 14 a 西南涡及切变线主要在夜间生成，且六成左右向东移动，四成左右向东南方向移动，涡源次数最多为小金涡源，其次为九龙涡源，盆地涡源最少；向东南方向移动的西南涡及切变线次数 6 月最多，8 月次之，向东移动的西南涡及切变线次数 5 月最多，4 月、6 月次之；2022 年最多，2015 年最少。

(2) 近 14 a 影响贵州的西南涡涡源主要为小金涡源和九龙涡源，分别占 48% 和 46.7%，盆地涡源较少；七成左右向东南方向移动，且七成左右在夜间生

成; 次数 6 月明显多于其他月份; 2022 年最多, 2013 年最少; 近 14 a 影响贵州的西南涡及切变线的次数呈线性增加趋势。

(3) 近 14 a 贵州省 30.3% 以上的区域性暴雨由西南涡及切变线造成, 为各影响系统之首, 其次有 26.5% 的区域性暴雨由偏北气流与偏南气流形成的切变线造成, 第三有 17.9% 的区域性暴雨为西南涡南侧或东南侧的偏南气流造成。西南涡及切变线主要造成区域性暴雨, 且主要由东南移向的西南涡及切变线造成, 其造成的区域性暴雨主要分布在贵州两个显著地形区 (北盘江和雷公山) 附近, 尤其西部北盘江附近为区域性暴雨日数和降雨量最大值中心区; 造成的暴雨集中在 5—8 月 (暖季), 其中 6 月最多, 7 月次之。这充分说明暖季尤其 6—7 月西南涡及切变线对贵州区域性暴雨具有重要影响。

需要指出的是, 本文统计结果仅初步揭示出贵州暴雨的分布与不同移动方向的西南涡及切变线密切相关, 尤其 6—7 月西南涡及切变线对贵州暴雨的影响更甚。下一步将主要分析不同移动方向的西南涡及切变线与贵州暴雨空间分布的具体对应关系, 同时收集时间分辨率更高的小时降水资料, 分析西南涡及切变线造成的贵州暴雨与其他系统造成的暴雨有何异同, 包括暴雨的落区、强度、持续时间等特征, 环境物理量特征以及物理量与落区之间的关系, 以期得到不同移动方向的西南涡及切变线所致贵州暴雨落区、强度预报的参考指标。此外, 影响贵州的西南涡及切变线频次的多少年与暴雨日数峰谷年的相关程度, 以及西南涡及切变线影响贵州暴雨的概念模型, 也是有待深入研究的重要问题。

参考文献 (References):

堪贵珣,何光碧.2008. 2000-2007 年西南低涡活动的观测事实分析[J].高原山地气象研究,28(4):59−65. Chen G X, He G B. 2008. The observed facts analysis of southwest vortex from 2000 to 2007 [J]. Plateau and Mountain Meteorology research,28(4):59−65 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1674−2184.2008.04.010

陈启智,黄奕武,王其伟,等.2007. 1990—2004 年西南低涡活动的统计研究[J].南京大学学报 (自然科学版),43(6):633−642. Chen Q Z, Huang Y W, Wang Q W, et al. 2007. The statistical study of the southwest vortexes during 1990-2004 [J]. Journal of Nanjing university,43(6):633−642 (in Chinese)

陈忠明,闵文彬. 2000.西南低涡的统计研究[M]//陶诗言,陈联寿,徐祥德,等主编. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展 (二).北京:气象出版社:368-378 Chen Z M, Min W B. 2000. The statistical study of the southwest vortexes [M]//Tao S Y, Chen L S, Xu X D, et al. Editors. Advances of the second study on Tibetan Plateau experiment of atmospheric sciences. Beijing:Meteorological Press: 368-378 (in Chinese)

程晓龙,李跃清.2014.一次两涡作用下的贵州大暴雨过程分析[J].高原气象,33(5):1490−1500. Cheng X L, Li Y H. 2014. Analysis on a heavy rainfall in Guizhou province under the interaction of two vortexes [J]. Plateau Meteorology,33(5):1490−1500 (in Chinese) doi:10.7522/j.issn.1000−0534.2013.00154

程晓龙,李跃清,衡志炜.2021.川贵渝复杂地形下横槽诱发双涡贵州暴雨过程的数值模拟[J].气象学报,79(4):626−645. Cheng X L, Li Y Q, Heng Z W. 2021. Numerical simulation of a torrential rain process in Guizhou triggered by two vortices originating from a transverse trough over the Sichuan-Guizhou-Chongqing complex terrain [J]. Acta Meteorologica Sinica,79(4):626−645 (in Chinese) doi:10.11676/qxxb2021.039

高守亭,周玉淑.2019.近年来中尺度涡动力学研究进展[J].暴雨灾害,38(5):431−439. Gao S T, Zhou Y S. 2019. Progress in dynamics of mesoscale vortex in recent years [J]. Torrential Rain and Disasters,38(5):431−439 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004−9045.2019.05.005

李国平,陈佳.2018.西南涡及其暴雨研究新进展[J].暴雨灾害,37(4):293−302. Li G P, Chen J. 2018. New progresses in the research of heavy rain vortices formed over the southwest China [J]. Torrential Rain and Disasters,37(4):293−302 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004−9045.2018.04.001

李小兰,陈军,喻义军,等.2016.低空暖式切变线引发局地特大暴雨成因分析[J].贵州气象,40(4):16−22. Li X L, Chen J, Yu Y J, et al. 2016. Analysis of a local heavy rain caused by low-level warm shear line [J]. Journal of Guizhou Meteorology,40(4):16−22 (in Chinese)

李跃清.2021.西南涡涡源研究的有关新进展[J].高原气象,40(6):1394−1406. Li Y Q. 2021. New related progress on researches of the vortex source of southwest China vortex [J]. Plateau Meteorology,40(6):1394−1406 (in Chinese). doi:10.7522/j.issn.1000−0534.2021.zk005

李跃清,徐祥德.2016.西南涡研究和观测试验回顾及进展[J].气象科技进展,6(3):134−140. Li Y Q, Xu X D. 2016. A review of the research and observing experiment on southwest China vortex [J]. Advances in Meteorological Science and Technology,6(3):134−140 (in Chinese)

李跃清,赵兴炳,张利红,等.2012. 2012 年夏季西南涡加密观测科学试验[J].高原山地气象研究,32(4):1−8. Li Y Q, Zhao X B, Zhang L H, et al. 2012. The intensive observation scientific experiment of southwest China vortex in the summer of 2012 [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research,32(4):1−8 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1674−2184·2012.04.001

刘建勇,谈哲敏,张熠.2012.梅雨期 3 类不同形成机制的暴雨[J].气象学报,70(3):452−466. Liu J Y, Tan Z M, Zhang Y. 2012. Study of the three types of torrential rains of different formationmechanism during the Meiyu period [J]. Acta Meteorologica Sinica,70(3):452−466 (in Chinese). doi:10.11676/qxxb2012.038

刘金卿,李子良.2020.一次西南涡诱生气旋引发的湖南大暴雨个例分析[J].高原气象,39(2):311−320. Liu J Q, Li Z L. 2020. A case study of a heavy rainstorm in Hunan triggered by the induced cyclone of southwest vortex [J]. Plateau Meteorology,39(2):311−320 (in Chinese). doi:10.7522/j.issn.1000−0534.2019.00028

卢敬华.1986. 西南低涡概论[M].北京:气象出版社:275. Lu J H. 1986. Introduction to southwest vortex [M]. Beijing:Meteorological Press: 275 (in Chinese)

卢敬华,陈刚毅.1993.西南低涡的一些基本事实及初步分析[J].成都气象学院学报,4:7−15. Lu J H, Chen G Y. 1993. Some basic facts about the southwest China vortex and their prilminary analysis [J]. Journal of Chengdu Institute of Meteorology,4:7−15 (in Chinese)

罗清,郁淑华,罗磊,等.2018.不同涡源西南涡的若干统计特征分析[J].高原山地气象研究,38(4):8−15. Luo Q, Yu S H, Luo L, et al. 2018. Analysis on statistical characteristics of southwest vortexes with different vortex sources [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research,38(4):8−15 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1674−2184·2018.04.002

马嘉理,姚秀萍.2015. 1981—2013 年 6—7 月江淮地区切变线及暴雨统计分析[J].气象学报,73(5):883−894. Ma J L, Yao X P. 2015. Statistical analysis of the shear lines and torrential rains over the Yangtze-Huaihe river region during June-July in 1981-2013 [J]. Acta Meteorologica Sinica,73(5):883−894 (in Chinese). doi:10.11676/qxxb2015.065

寿绍文,励申申,张诚忠,等.2001.梅雨锋中尺度切变线雨带的动力结构分析[J].气象学报,59(4):405−413. Shou S W, Li S S, Zhang C Z, et al. 2001. The dynamical structure of a mesoscale shear-line rain belt of Meiyu-front [J]. Acta Meteorologica Sinica,59(4):405−413 (in Chinese). doi:10.3321/j.issn:0577−6619.2001.04.003

陶诗言.1980.中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社:225. Tao S Y. 1980. Heavy rainfall in China [M]. Beijing:Science Press:225 (in Chinese)

田莹,姚秀萍.2024.华南切变线研究的现状与展望[J].气象,50(3):275−290. Tian Y, Yao X P. 2024. Research advances and prospects of the South China shear line [J]. Meteorological Monthly,50(3):275−290 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000−0526.2024.011301

王芬,杨若文,唐浩鹏,等.2013.近 48 年贵州暴雨日数及降雨总量的变化特征研究[J].云南大学学报 (自然科学版),35(S1):236−243. Wang F, Yang R W, Tang H P, et al. 2013. Climate characteristics of the number of rainstorm days and the total amount of precipitation in Guizhou province [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition,35(S1):236−243 (in Chinese). doi:10.7540/j.ynu.20120728

王玉亮,朱义青,王庆华,等.2019.影响山东切变线特征及典型个例分析[J].沙漠与绿洲气象,13(4):37−45. Wang Y L, Zhu Y Q, Wang Q H, et al. 2019. Analysis on characteristics and typical examples of shear line in Shandong [J]. Desert and Oasis Meteorology,13(4):37−45 (in Chinese). doi:10.12057/j.issn.1002−0799.2019.04.006

王作述,汪迎辉,梁益国.1996.一次西南低涡暴雨的数值试验研究[M]//暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究.北京:气象出版社:257-267. Wang Z S, Wang Y H, Liang Y G. 1996. Numerical experimental study of a Torrential Rainstorm caused southwestern low vortex [M]//Research on rainstorm science, operational experiments and synoptic dynamics. Beijing:Meteorological Press:257-267 (in Chinese)

吴古会,张艳梅.2017.两种雨量数据的贵州暴雨天气特征对比分析[J].贵州气象,41(6):14−21. Wu G H, Zhang Y M. 2017. Feature comparison analysis of rainstorm in Guizhou based on 5 a and 7 a automatic station observation [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 41(6):14−21 (in Chinese)

杨忠明.1993. 700 百帕川黔切变线南移的判据[J].贵州气象,17(5):17−18. Yang Z M. 1993. Criteria for the southward movement of the 700 hPa shear line between Sichuan and Guizhou [J]. Journal of Guizhou Meteorology,17(5):17−18 (in Chinese)

姚秀萍,孙建元,康岚,等.2014.高原切变线研究的若干进展[J].高原气象,33(1):294−300. Yao X P, Sun J Y, Kang L, et al. 2014. Advances on research of shear convergence line over Qinghai-Xizang plateau [J]. Plateau Meteorology,33(1):294−300 (in Chinese). doi:10.7522/j.issn.1000−0534.2013.00164

郁淑华,高文良,彭骏.2021. 2012—2017 年不同涡源西南低涡多发的影响因素分析[J].暴雨灾害,40(6):577−588. Yu S H, Gao W L, Peng J. 2021. Analysis of influencing factors of frequent occurrence causes of southwest China vortexes with different vortex sources from 2012 to 2017 [J]. Torrential Rain and Disasters,40(6):577−588 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004−9045.2021.06.002

张东海,周文钰,段莹,等.2021.贵州省区域性重要过程监测与评价指标阈值确定[J].中低纬山地气象,45(3):18−23. Zhang D H, Zhou W Y, Duan Y, et al. 2021. Determination of monitoring and evaluation indexes thresholds of regional important process in Guizhou province [J]. Mid-low Latitude Mountain Meteorology,45(3):18−23 (in Chinese)

张艳梅,顾欣,陈杨,等.2022. “6.23”梅雨锋西段贵州南部大暴雨诊断分析[J].高原山地气象研究,42(3):58−66. Zhang Y M, Gu X, Chen Y, et al. 2022. Analysis of “6.23” sustained heavy rain event occurred in western Meiyu front in southern Guizhou [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research,42(3):58−66 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1674−2184.2022.03.007

(责任编辑 闵爱荣)