

西南涡影响下四川盆地暴雨的FY静止卫星资料探究

王雪芹, 高珩洲, 赵媛, 罗张咏, 胡超

眉山市气象局, 四川 眉山

收稿日期: 2025年5月31日; 录用日期: 2025年6月28日; 发布日期: 2025年7月7日

摘要

本文基于FY静止气象卫星资料, 分析西南涡影响下四川盆地西南部眉山市暴雨天气过程, 得到以下结论: (1) 不同初始位置的云团位于不同的西南涡移动路径中, 可结合云团初始位置判断西南涡移动路径。(2) 云团合并后影响盆地西南部占比达到59%, 且合并云团均为大云团吞并小云团; 单独影响盆地西南部的初始对流云团面积都较小, 然后不断发展扩大。(3) 九龙涡和盆地涡影响盆地西南部的区域暴雨天气过程中, 可根据西南涡不同路径影响时强降雨时段的云团分类和对应的云顶亮温, 判断小时雨强, 作为西南涡不同移动路径影响盆地西南部时的FY静止卫星短临预报指标。

关键词

FY卫星, 西南涡, 暴雨

Study on FY Geostationary Satellite Data of Rainstorm in Sichuan Basin under the Influence of Southwest Vortex

Xueqin Wang, Hengzhou Gao, Yuan Zhao, Zhangyong Luo, Chao Hu

Meishan Meteorological Bureau, Meishan Sichuan

Received: May 31st, 2025; accepted: Jun. 28th, 2025; published: Jul. 7th, 2025

Abstract

Based on the data of FY stationary meteorological satellite, this paper analyzes the rainstorm weather process in Meishan City, Southwest Sichuan basin under the influence of southwest vortex,

文章引用: 王雪芹, 高珩洲, 赵媛, 罗张咏, 胡超. 西南涡影响下四川盆地暴雨的 FY 静止卫星资料探究[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(4): 595-603. DOI: 10.12677/ccrl.2025.144059

and draws the following conclusions: (1) Cloud clusters with different initial locations are located in different moving paths of the southwest vortex, and the moving paths of the southwest vortex can be determined based on the initial locations of the cloud clusters. (2) 59% of the merged clouds affected Southwest basin, and all the merged clouds were large clouds annexing small clouds; The area of convective clouds affecting the southwestern part of the basin alone was initially small, and then gradually expanded. (3) During the regional rainstorm weather process of the southwest of the basin affected by the Kowloon Vortex and the basin vortex, the hourly rain intensity can be judged according to the cloud group classification and the corresponding cloud top brightness temperature during the heavy rainfall period when the southwest vortex is affected by different paths, which can be used as the short-term forecast index of FY stationary satellite when the southwest vortex is affected by different moving paths.

Keywords

FY Satellite, Southwest Vortex, Rainstorm

Copyright © 2025 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

四川盆地处于青藏高原东侧,地形复杂,是我国暴雨的高频中心之一[1]。眉山市位于四川盆地成都平原西南边缘,境内山峦纵横,丘陵起伏,地势呈西高东低,每年6~9月是境内暴雨多发季节[2]。不同的暴雨天气形势下,降水强度、强降水落区有所不同,预报难度较大,而西南低涡(简称西南涡)是我国青藏高原东部特殊地形与大气环流共同作用的结果,它产生于对流层低层,是一种中尺度低压涡旋系统,西南涡往往会造成暴雨和大暴雨,甚至是特大暴雨天气,导致洪涝灾害,西南涡也是眉山暴雨的重要天气系统。针对西南涡的研究,一直是气象学家和预报员关注的焦点,并且已经取得了许多重要的成果。陈忠明等对21世纪初的西南涡研究成果也做了总结,并指出了存在问题[3];何光碧指出了对西南低涡的云系特征和雷达回波特征的认识等方面研究存在的不足[4];赵思雄等指出,高空槽前的正涡度平流、温度平流以及高原东侧边界层的特殊动力作用(摩擦作用)对西南低涡的产生和维持有重要影响,而在850 hPa附近,低层的强辐合则是西南低涡主要的维持机制[5];屠妮妮等分析了一次引发川东暴雨的西南涡特征[6];李国平从流场、温湿场和温压场三个方面总结了西南涡的结构[7]。

虽然对于西南涡的研究成果很多,但在卫星监测分析方面相对较少,尤其通过FY静止卫星云图特征及演变规律了解西南涡对四川盆地西南部暴雨的影响研究还未涉及,因此本文以四川盆地西南部眉山市的区域性暴雨天气过程为例,分析暴雨过程中FY静止卫星云图特征及演变规律,得到相关的卫星短临预报指标,对提高本地暴雨灾害性天气的预报准确率有重要的意义。

2. 资料选取

FY-4是中国第一颗自主研发的三轴稳定地球静止卫星,星下点分辨率可达0.25 KM,时间间隔为5分钟,于2016年12月发射,卫星上同时装载了辐射成像仪、干涉式大气垂直仪、闪电成像仪等多台荷载,是同类卫星中荷载最多的卫星,辐射成像仪探测波段从0.45~13.8 μm ,共有14个探测波段,覆盖了从可见光至甚长波红外,是风云四号卫星上最重要的有效荷载之一[8]。因此本文以2018~2023年四川盆地西南部眉山区域性暴雨过程为例,选取过程对应时段的FY-4卫星资料,同时结合FY-2静止卫星资料,

研究西南涡影响下四川盆地西南部暴雨的 FY 静止卫星云图特征, 以及通过 FY 静止卫星资料分析西南涡不同移动路径影响眉山时对本地暴雨发展趋势的预报指示意义。

3. 基于 FY-4 卫星资料分析西南涡不同移动路径对眉山暴雨的影响

通过对 2018~2023 年眉山区域性暴雨过程筛选分类, 共发现有 37 次区域性暴雨过程有西南涡生成, 通过分析, 影响眉山的西南涡主要分为九龙涡、小金涡和盆地涡三类, 同时将低涡移动路径分为东北移型(与正北方向的夹角在 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$)、东移型(与正北方向的夹角在 $60^{\circ}\sim 120^{\circ}$)、东南移型(与正北方向夹角在 $120^{\circ}\sim 180^{\circ}$)、西移型(与正北方向的夹角在 $180^{\circ}\sim 360^{\circ}$)和在目标区域内原地生消的少动型共 5 类, 见表 1 所示, 可以看到影响眉山的西南涡主要为九龙涡(占比 35.1%)和盆地涡(占比 62.2%), 而小金涡仅占比 2.7%, 九龙涡出现了 4 种类别的移动路径(除西移), 盆地涡 5 种类别的移动路径均出现, 而小金涡只出现了东移型。

Table 1. Classification of southwest vortices affecting Meishan

表 1. 影响眉山的西南涡分类

西南涡类别	九龙涡					盆地涡					小金涡
	东北移	东移	东南移	西移	少动型	东北移	东移	东南移	西移	少动型	东移
眉山暴雨个例	4	6	1	0	2	4	2	6	7	4	1

3.1. 不同西南涡路径的 FY-4 卫星初生云团演变

基于 FY-4 卫星资料分析西南涡影响下 2018-2023 年眉山 37 次区域暴雨过程可知(见表 2), 九龙涡四种移动路径影响眉山的云团按初始位置分为三类(位置划分见图 1), 分别为九龙云团、九龙和盆地合并云团、盆地不同位置合并云团, 云团初始位置位于九龙的占比 55.6%, 九龙云团单独影响眉山的位于东北移和东移路径中, 九龙和盆地云团合并影响眉山的位于东北移和少动型两种路径中, 盆地不同位置云团合并影响眉山的位于东移和东南移路径中。盆地涡五种路径均有较强云团影响眉山, 且云团的初始位置均位于盆地, 盆地涡五种移动路径影响眉山的云团按初始位置分为四类, 分别为眉山本地云团、盆地南云团、盆地西云团、盆地不同位置合并云团, 眉山本地云团发展影响眉山的位于少动型的路径中, 盆地南云团单独影响眉山的则位于东北移和东南移路径中, 盆地西云团单独影响眉山的则位于东移和西移路径中, 盆地不同位置云团合并影响眉山的四种路径(除东移)均有(占比达到了 55%)。小金涡东南移动路径影响眉山的云团按初始位置则只有眉山本地和盆地西合并云团。

Table 2. Positions of primary cloud masses in different southwest vortex paths

表 2. 不同西南涡路径初生云团位置

	路径	影响眉山云团初始位置
九龙涡	东北移	九龙
		九龙
	东移	九龙、盆地南
		盆地南、盆地北
	东南移	眉山本地、盆地北
	少动型	九龙、盆地西

续表

		盆地南
	东北移	盆地南、盆地西 盆地西、盆地中 盆地北、盆地中
	东移	盆地西 盆地南
盆地涡	东南移	盆地北、盆地南 盆地北、盆地中
	西移	盆地西 盆地西、盆地南
	少动型	眉山本地 眉山本地、盆地北 盆地北、盆地南
小金涡	东南移	眉山本地、盆地西

通过高空实况资料与 FY-4 卫星资料的对比分析(见图 1), 也可以发现在九龙涡影响眉山的区域暴雨天气中, 位于九龙和盆地中部的云团由西南涡产生或诱发, 盆地南云团则由 850 hPa 切变产生, 盆地北的云团由高空槽产生; 盆地涡影响眉山的区域暴雨天气中, 位于盆地中部云团由西南涡产生或诱发, 盆地南云团则由 850 hPa 切变产生, 盆地西/北的云团由高空槽产生; 小金涡影响眉山的区域暴雨天气则由西南涡云团和高空槽云系合并。

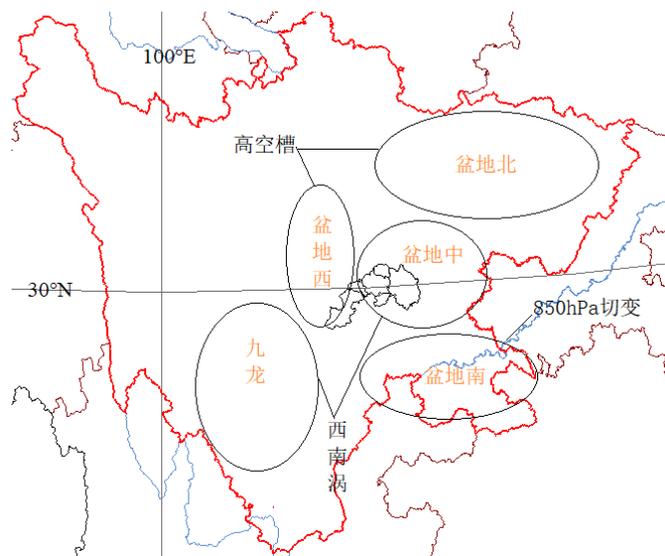


Figure 1. Correspondence between nascent cloud clusters at different locations and weather systems
图 1. 不同位置初生云团与天气系统对应图

3.2. 不同西南涡暴雨过程的 FY-4 卫星初生云团亮温、面积特征

小金涡仅占西南涡影响下眉山暴雨过程的 2.7%，因此本文不单独做分析，仅分析九龙涡和盆地涡影响下眉山暴雨过程的 FY-4 卫星云团亮温、面积特征。

图 2 是九龙涡和盆地涡暴雨过程初生云团云顶最低平均亮温，可以看到，九龙涡影响眉山的区域暴雨过程中，云顶最低平均亮温小于 210 K，九龙云团、九龙和盆地合并云团、盆地合并云团的云顶最低平均亮温范围为 199~210 K (分别为 210 K、199 K、208 K)。而盆地涡影响眉山的区域暴雨过程中，云顶最低平均亮温小于 205 K，眉山本地云团、盆地南云团、盆地西云团、盆地合并云团的云顶最低平均亮温范围为 192~203 K (分别为 198 K、192 K、203 K、201 K)。

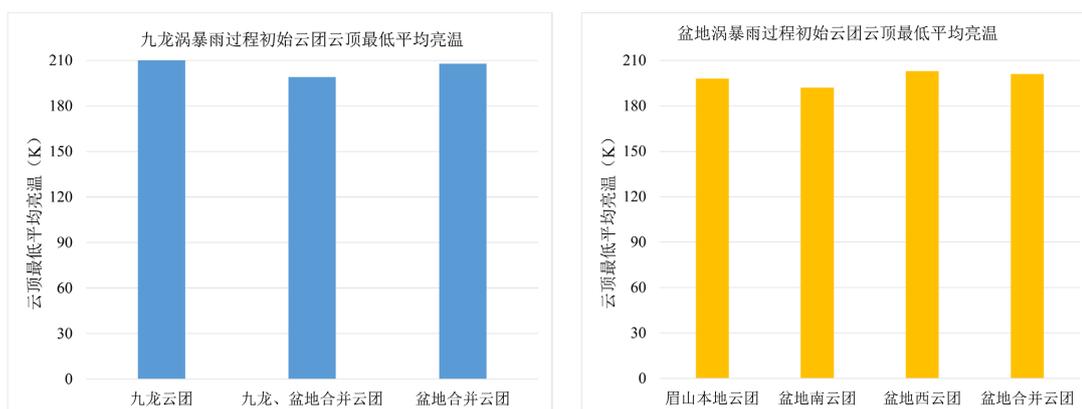


Figure 2. The minimum average bright temperature (K) at the cloud top of the primary cloud mass during the rainstorm process of different southwest vortices

图 2. 不同西南涡暴雨过程初生云团云顶最低平均亮温(K)

通过分析不同西南涡暴雨过程的 FY-4 卫星初生云团面积可知，西南涡影响眉山的区域暴雨过程中，云团合并后影响眉山占比达到 59%，九龙涡和盆地涡暴雨过程的合并云团初始间距均小于 100 KM (22-98 KM 之间，见图 3)，九龙涡暴雨过程合并云团初始面积最大达到了 $435 \times 10^3 \text{ Km}^2$ ，盆地涡暴雨过程合并云团初始面积最大为 $252 \times 10^3 \text{ Km}^2$ ，合并云团面积比均在 3 倍以上，最大达到 123 倍(见图 4)，即均为大云团吞并小云团，然后发展扩大影响眉山，从而造成区域性暴雨天气。而在对流云团单独影响眉山的区域性暴雨天气过程中，九龙涡和盆地涡暴雨过程的初始对流云团面积几乎都小于 $100 \times 10^3 \text{ Km}^2$ ($20 \times 10^3 \sim 99 \times 10^3 \text{ Km}^2$ 之间，见图 5)，然后不断发展扩大影响眉山。

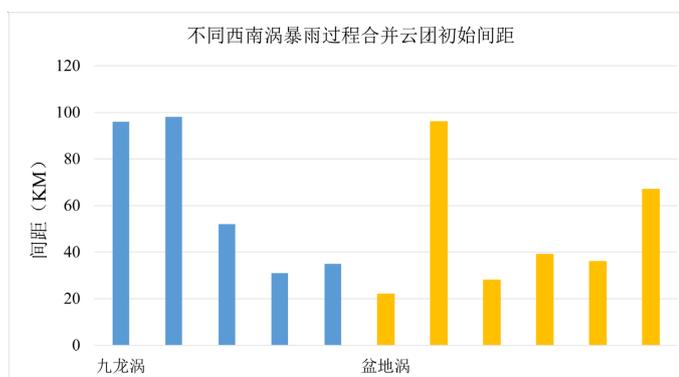


Figure 3. Initial spacing of combined cloud masses during different southwest vortex rainstorm processes (KM)

图 3. 不同西南涡暴雨过程合并云团初始间距(KM)

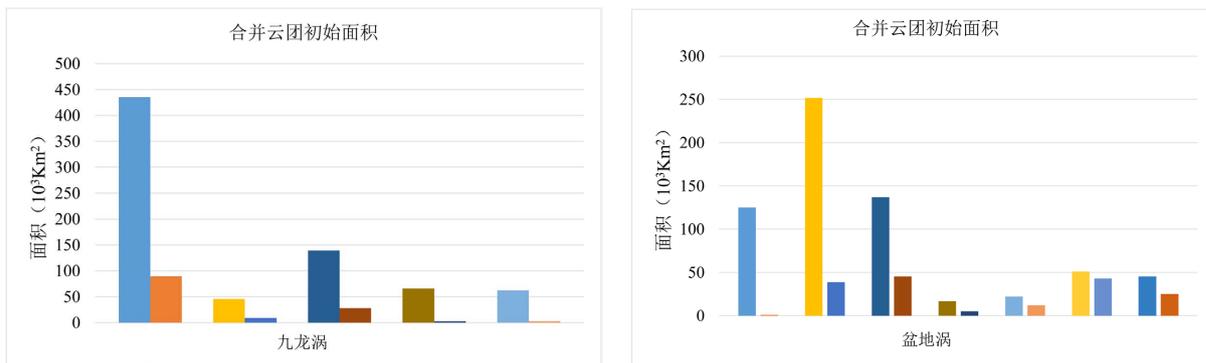


Figure 4. Initial area of combined cloud masses during different southwest vortex rainstorm processes (10^3 Km^2)

图 4. 不同西南涡暴雨过程合并云团初始面积(10^3 Km^2)

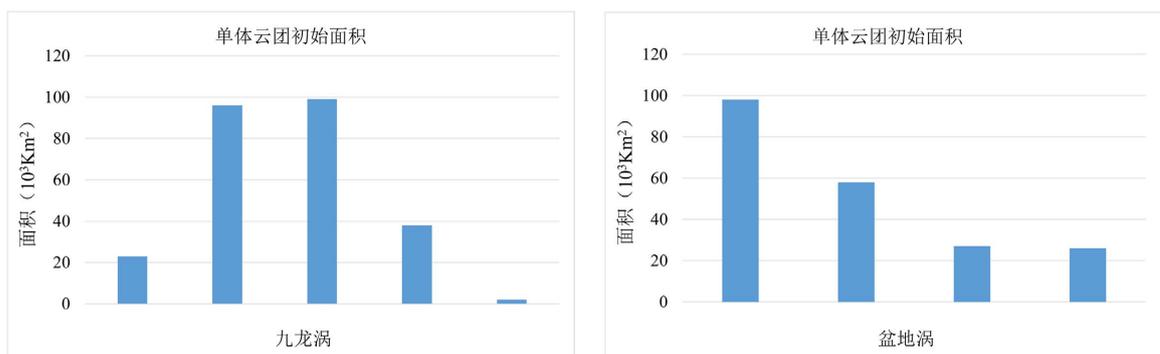


Figure 5. The initial areas of individual cloud masses during the rainstorm process of different southwest vortices (10^3 Km^2)

图 5. 不同西南涡暴雨过程单体云团初始面积(10^3 Km^2)

3.3. 西南涡不同移动路径暴雨过程强降雨时段云团亮温、云类型特征

根据九龙涡和盆地涡暴雨过程强降雨时段最大小时雨强与云顶最低平均亮温图可知(见图 6), 九龙涡影响眉山的区域暴雨过程中, 东北移和东移路径的强降雨时段云顶最低平均亮温小于 200 K, 在 190~200 K 之间, 对应的最大小时雨强为 70~90 毫米, 东南移和少动型路径的强降雨时段云顶最低平均亮温则大于 210 K, 在 210~220 K 之间, 对应的最大小时雨强为 35~55 毫米; 盆地涡影响眉山的区域暴雨过程中, 东北移、东移、东南移、西移和少动型五种移动路径的强降雨时段云顶最低平均亮温波动较小, 均小于 205 K, 在 195~205 K 之间, 对应的最大小时雨强为 60~90 毫米。

综上分析可以看到云顶最低亮温越低, 小时雨强越大, 九龙涡影响眉山的区域暴雨过程中, 东北移和东移路径的强降雨时段云顶亮温在 190~200 K 之间时, 小时雨强可达 70~90 毫米, 东南移和少动型路径的强降雨时段云顶最低平均亮温在 210~220 K 之间时, 小时雨强则为 35~55 毫米; 盆地涡影响眉山的区域暴雨过程中, 五种移动路径的强降雨时段云顶最低平均亮温在 195~205 K 之间时, 小时雨强可达 60~90 毫米, 这可作为西南涡不同移动路径影响眉山时的 FY-4 卫星短临预报亮温指标。

选取九龙涡东北移、东移、东南移和少动型四种移动路径暴雨过程中小时雨强最大的时次作为典型个例, 应用 FY-2 卫星云类型产品分析四种路径的九龙涡暴雨过程强降雨云团的云类型特征(见图 7)。可以看到, 九龙涡影响眉山的区域暴雨过程中, 东北移和东移路径的强降雨时段眉山整个区域被积雨云覆盖, 说明上升运动剧烈, 云团发展深厚, 以对流性降水为主, 对应的最大小时雨强达到 70~90 毫米, 而东南移和少动型路径的强降雨时段眉山上空为高层云或雨层云、层积云或高积云, 说明云内上升运动一般, 降水相对较弱, 以稳定性降水为主, 对应的最大小时雨强为 35~55 毫米。

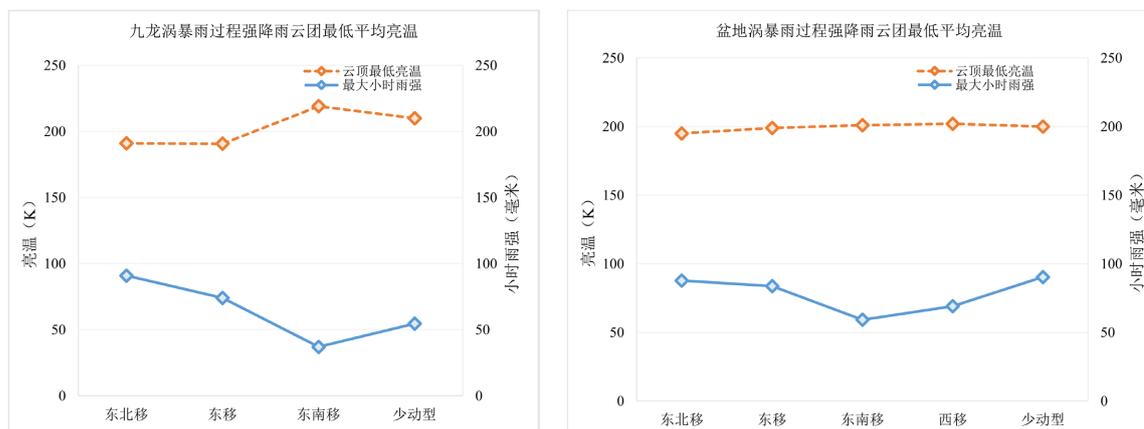


Figure 6. Comparison chart of the maximum hourly rainfall intensity and the lowest average brightness temperature at the cloud top during the heavy rainfall period of the rainstorm process in different movement paths of the southwest vortex
图 6. 西南涡不同移动路径暴雨过程强降雨时段最大小时雨强和云顶最低平均亮温对比图

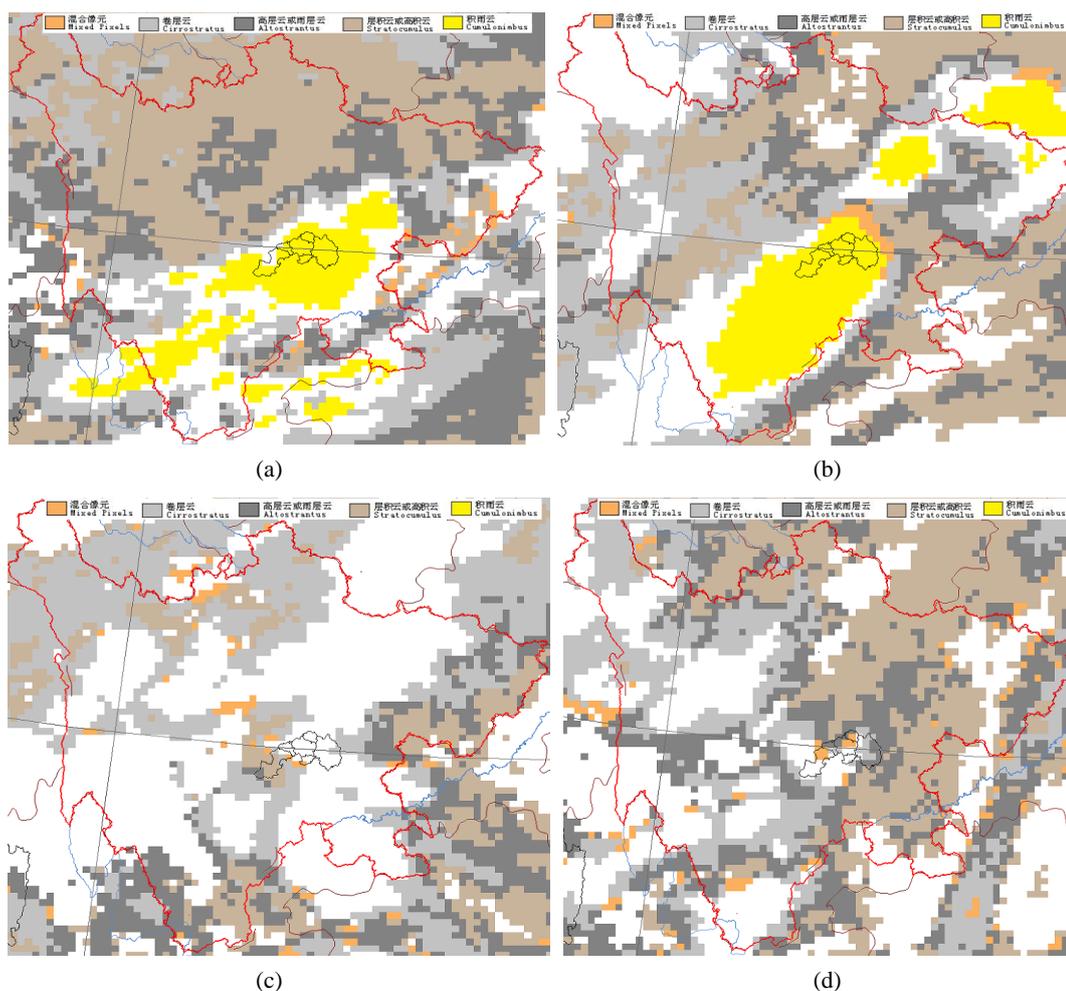


Figure 7. Cloud classification diagrams of heavy rainfall periods during the rainstorm process along different movement paths of the Jiulong Vortex. (a) Northeastward moving path at 09:00 on June 26, 2022; (b) Eastward moving path at 02:00 on July 13, 2023; (c) Southeast shift path at 00:00 on May 9, 2022; (d) Less moving path at 02:00 on August 22, 2019

图 7. 九龙涡不同移动路径暴雨过程强降雨时段云分类图。(a) 2022 年 6 月 26 日 09:00 东北移路径；(b) 2023 年 7 月 13 日 02:00 东移路径；(c) 2022 年 5 月 9 日 00:00 东南移路径；(d) 2019 年 8 月 22 日 02:00 少动型路径

选取盆地涡东北移、东移、东南移、西移和少动型五种移动路径暴雨过程中小时雨强最大的时次作为典型个例，应用 FY-2 卫星云产品类型分析五种路径的盆地涡暴雨过程强降雨云团的云类型特征(见图 8)。可以看到，盆地涡影响眉山的区域暴雨过程中，五种路径的强降雨时段眉山上空为积雨云，云内上升运动剧烈，云团发展深厚密实，以对流性降水为主，对应的最大小时雨强达到了 70~110 毫米。

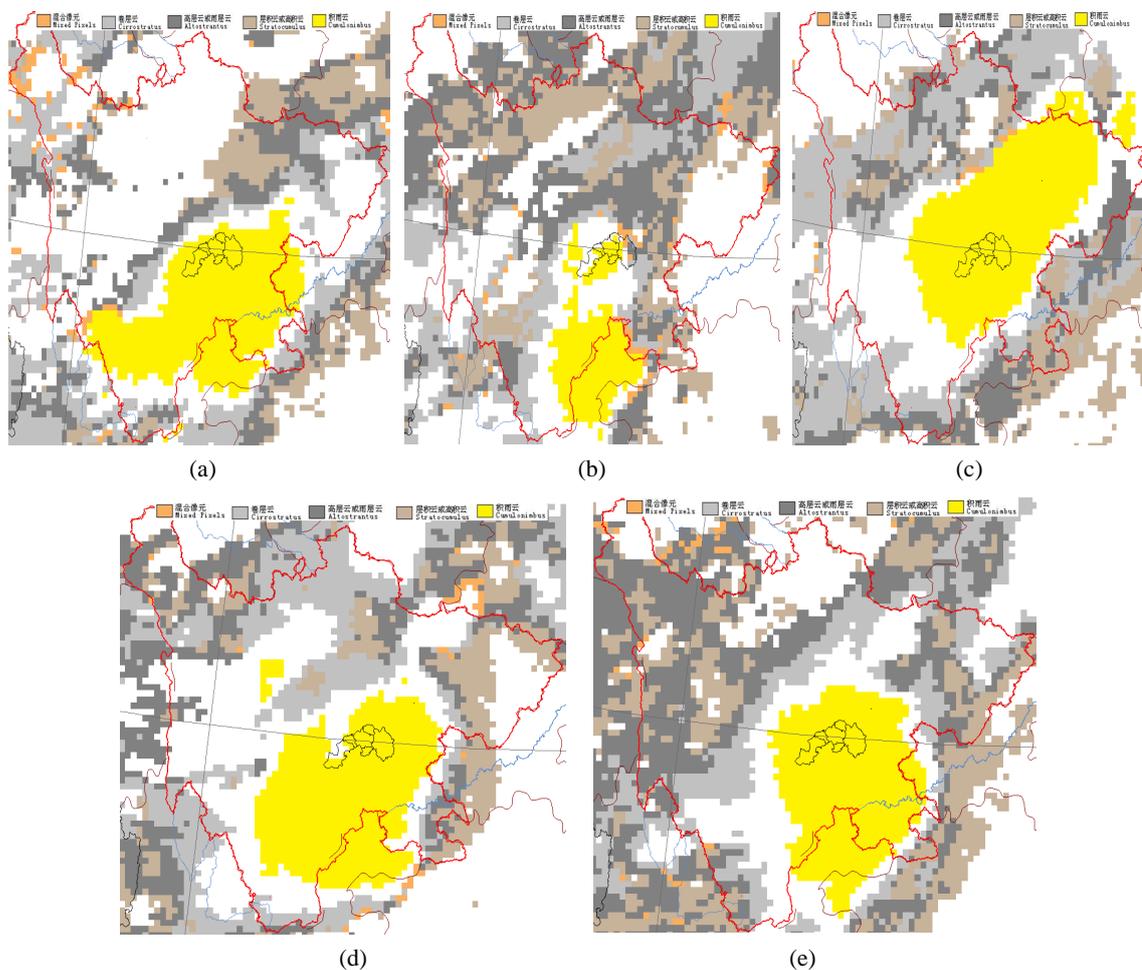


Figure 8. Cloud classification diagrams of heavy rainfall periods during rainstorm processes in different movement paths of basin vortices. Northeastward movement path at 06:00 on September 4, 2021; (b) Eastward movement path at 20:00 on August 30, 2020; (c) Southeast movement path at 05:00 on July 15, 2021; (d) West movement path at 01:00 on July 29, 2019; (e) July 22, 2019, 04:00 Inactive route

图 8. 盆地涡不同移动路径暴雨过程强降雨时段云分类图。(a) 2021 年 9 月 4 日 06:00 东北移路径；(b) 2020 年 8 月 30 日 20:00 东移路径；(c) 2021 年 7 月 15 日 05:00 东南移路径；(d) 2019 年 7 月 29 日 01:00 西移路径；(e) 2019 年 7 月 22 日 04:00 少动型路径

综上所述，可以看到，九龙涡和盆地涡影响眉山的暴雨天气过程中，大部分路径的降水云系多以积雨云为主，积雨云外围则为卷层云、高层云和雨层云、层积云或高积云，云团发展深厚密实，降水效率高，小时雨强大于 70 毫米，只有九龙涡东南移和少动型路径的暴雨天气中，降水云系以高层云或雨层云、层积云或高积云为主，小时雨强为 35~55 毫米。

4. 结论

本文基于 FY 静止气象卫星云图和量化产品，分析西南涡影响下四川盆地西南部眉山区域暴雨天

气过程, 得到以下结论:

(1) 九龙涡影响眉山的云团按初始位置分为九龙云团、九龙和盆地合并云团、盆地不同位置合并云团, 盆地涡影响眉山的云团初始位置分为眉山本地云团、盆地南云团、盆地西云团、盆地不同位置合并云团, 不同初始位置的云团位于不同的西南涡移动路径中, 可结合云团初始位置判断西南涡移动路径。

(2) 西南涡影响眉山的区域暴雨过程中, 合并云团面积比均在 3 倍以上, 均为大云团吞并小云团, 然后发展扩大影响眉山, 从而造成区域性暴雨天气; 对流云团单独影响眉山的区域性暴雨天气过程中, 九龙涡和盆地涡暴雨过程的初始对流云团面积几乎都小于 $100 * 10^3 \text{ Km}^2$, 然后不断发展扩大影响眉山。

(3) 九龙涡影响眉山的区域暴雨过程中, 东北移和东移路径的强降雨时段的云团为积雨云, 云顶亮温在 190~200 K 之间, 小时雨强可达 70~90 毫米, 东南移和少动型路径的强降雨时段的云团为高层云或雨层云、层积云或高积云, 云顶最低平均亮温在 210~220 K 之间, 小时雨强则为 35~55 毫米; 盆地涡影响眉山的区域暴雨过程中, 五种移动路径的强降雨时段的云团均为积雨云, 云顶最低平均亮温在 195~205 K 之间, 小时雨强大于 60 毫米, 可作为西南涡不同移动路径影响眉山时的 FY-4 卫星短临预报指标。

基金项目

高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室 2023 年度科技发展基金项目(SCQXKJYJXMS202301)。

参考文献

- [1] 黄楚惠. 基于 EC025 细网格模式的四川盆地强降水湿螺旋度指标选取及检验[C]//国家气象中心, 成都信息工程学院, 云南大学. 2012 年西南区域气象中心预报技术交流会论文集. 2012: 118.
- [2] 王雪芹, 徐卫红. 四川盆地暴雨过程对流云合并特征初探[J]. 气象科技, 2019, 47(6): 969-975.
- [3] 陈忠明, 闵文彬, 崔春光. 西南低涡研究的一些新进展[J]. 高原气象(增刊), 2004(23): 1-4.
- [4] 何光碧. 西南低涡研究综述[J]. 气象, 2012, 38(2): 157-162.
- [5] 赵思雄, 傅慎明. 2004 年 9 月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1059-1075.
- [6] 屠妮妮, 李跃清. 一次引发川东暴雨的西南涡特征分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 962-971.
- [7] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 23-26.
- [8] 咸迪, 方翔, 贾煦, 等. 风云四号气象卫星天气应用平台及其应用[J]. 卫星应用, 2020(2): 20-24.