

云南台风降雨天气成因分析

张文, 冯德花*, 王 郦, 蒋盛闻, 张 蕾

文山州气象局, 云南 文山

收稿日期: 2024年8月20日; 录用日期: 2024年9月20日; 发布日期: 2024年9月29日

摘 要

2012~2021年进入关键区影响云南的台风研究表明: 进入影响关键区的台风在消亡前24小时其外围激发的强对流区域局地会出现明显大风天气。云南台风降水影响主要集中在7~8月, 其中进入II区的台风造成影响较重, 进入III区的影响出现严重次数最多, 进入I区的以一般影响为主。MJO所处位相和强度对云南强降雨只起到补充增强作用。台风对云南降雨的影响除与台风登陆和消亡位置有关外, 副高是台风造成云南强降雨的最主要因素, 冷空气配合是台风造成云南强降雨的重要因素。

关键词

台风, 降雨, MJO, 冷空气, 云南

Analysis on Causes of Typhoon Rainfall in Yunnan

Wen Zhang, Dehua Feng*, Li Wang, Shengwen Jiang, Lei Zhang

Wenshan Meteorological Bureau, Wenshan Yunnan

Received: Aug. 20th, 2024; accepted: Sep. 20th, 2024; published: Sep. 29th, 2024

Abstract

The results of statistical from 2012 to 2021 analysis show that the strong convective area triggered by the typhoon entering Yunnan will locally have obvious gale weather 24 hours before its demise. The rainfall of typhoon-induced in Yunnan was mainly concentrated in July and August. The typhoon in Region II caused more severe impacts, the typhoon in Region III caused the most severe impacts, and the typhoon in Region I mainly caused general impacts. The phase and intensity of MJO can only supplement and enhance the heavy rainfall in Yunnan. The influence of typhoons on rainfall in Yunnan is related to the position of typhoon landing and extinction. Subtropical high is the

*通讯作者。

most important factor in typhoons causing heavy rainfall in Yunnan, and cold air coordination is the important factor in typhoons causing heavy rainfall in Yunnan.

Keywords

Typhoon, Rainfall, MJO, Cold Air, Yunnan

Copyright © 2024 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

台风是发生在北太平洋西部和南海的强烈热带气旋，是影响我国的主要灾害性天气系统之一。朱乾根[1]等研究指出台风的移动路径分为西移、西北移和转向路径。台风登陆后的路径主要决定于副热带高压与西风带，其次是台风本身情况。陈宗瑜[2]统计每年约有 3.3 个南海台风对我国低纬高原造成影响，并再细分了南海西行台风的三条路径和两个台风消亡区(I、II)，其中 I 区为云南临沧、老挝万象和广西梧州三点围成的三角区域，II 区为贵州威宁、湖南芷江及广西梧州围成的三角区域。许美玲[3]等定义了台风影响云南的三个关键区：I (95~110°E, 18~20°N)、II (105~110°E, 20~25°N)、III (95~105°E, 20~25°N)。近年来，国内外有很多学者对 MJO 和 TC 活动关系进行研究，多数学者认为 TC 易于生成于 MJO 活跃位相而不易生成于不活跃位相。李汀等[4]-[6]研究指出：MJO 位于 4、6 位相时，有利于云南 5 月大部降水，位于 4、8 位相时不利，其他位相影响较小。罗东丽[7]等则认为：MJO 位于 6 位相是有利于云南主汛期降雨，位于 5 位相时不利。冯德花[8]等认为，合适的 MJO 对台风造成云南降雨有增强作用。登陆台风暴雨的形成不仅与台风路径、强度、移速、本体结构、还与环境场条件、地形等诸多因素密不可分，植江玲[9]等人研究了“山竹”(1822)台风外围佛山强龙卷产生的环境条件。张娟娟[10]等人的研究表明台风“鲇鱼”(1617)登陆后区域冷空气相结合产生的锋生作用会导致台风低压不稳定能量释放和增强低层动力抬升作用。研究台风登陆前后的大气背景，以及对西行台风对云南造成的影响作出评估，可为预报员在预报与服务工作中提供统计参考依据。

2. 资料说明

数据时段为：2012 年~2021 年，其中台风资料来源于温州台风网，按照许美玲等定义的影响云南的三个关键区共筛选出 28 个影响云南的台风过程。气象数据资料来源于云南省气象局 wofis 系统，其中降雨资料为区域站小时数据，大风数据为 125 个国家级观测站数据。MJO 数据来源于 <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>。

3. 台风对云南天气的影响

3.1. 风的影响

台风在沿海登陆时狂风暴雨天气突出，台风所造成风的影响更多侧重于研究在台风中心周围一定范围内的持续性强风，对其外围被激发对流产生的短时阵风研究较少。但是云南地处低纬高原，台风登陆后一路西行其能量和强度都减弱，多数进入关键区后减弱为低压影响，其低压中心的强风特征不明显，但其外围对流可能对云南造成短时大风影响，结合云南影响实际文中采用台风停编前 24 小时的极大风典型个例进行分析。

台风大风天气影响范围：“201409 威马逊”进入关键区 III，在云南文山停止编号，极大风主要分布在云南以东的区域(图 1(a))，极大风最大值为 20.8 m/s(楚雄)，12 m/s 以上的站次占比 17.6%。“201415 海鸥”进入关键区 III，其西行到普洱南部边缘停止编号，位置较威马逊偏西偏南，停编前 24 小时极大风范围较威马逊大，极大风最大值 19 m/s(昆明呈贡)(图 1(b))，12 m/s 以上的站次占比 30.4%。“201713 天鸽”从 II 区西行影响云南，在云南文山中部停止编号，云南省各个州(市)在其消亡前都有出现 12 m/s 以上的大风天气，极大风最大值为 28.8 m/s，12 m/s 以上的站次占比高达 44.8%，对比“201415 海鸥”，昆明呈贡站大风为 22 m/s，其大风影响范围大，强度强，影响程度为历年影响云南的台风中少见个例。

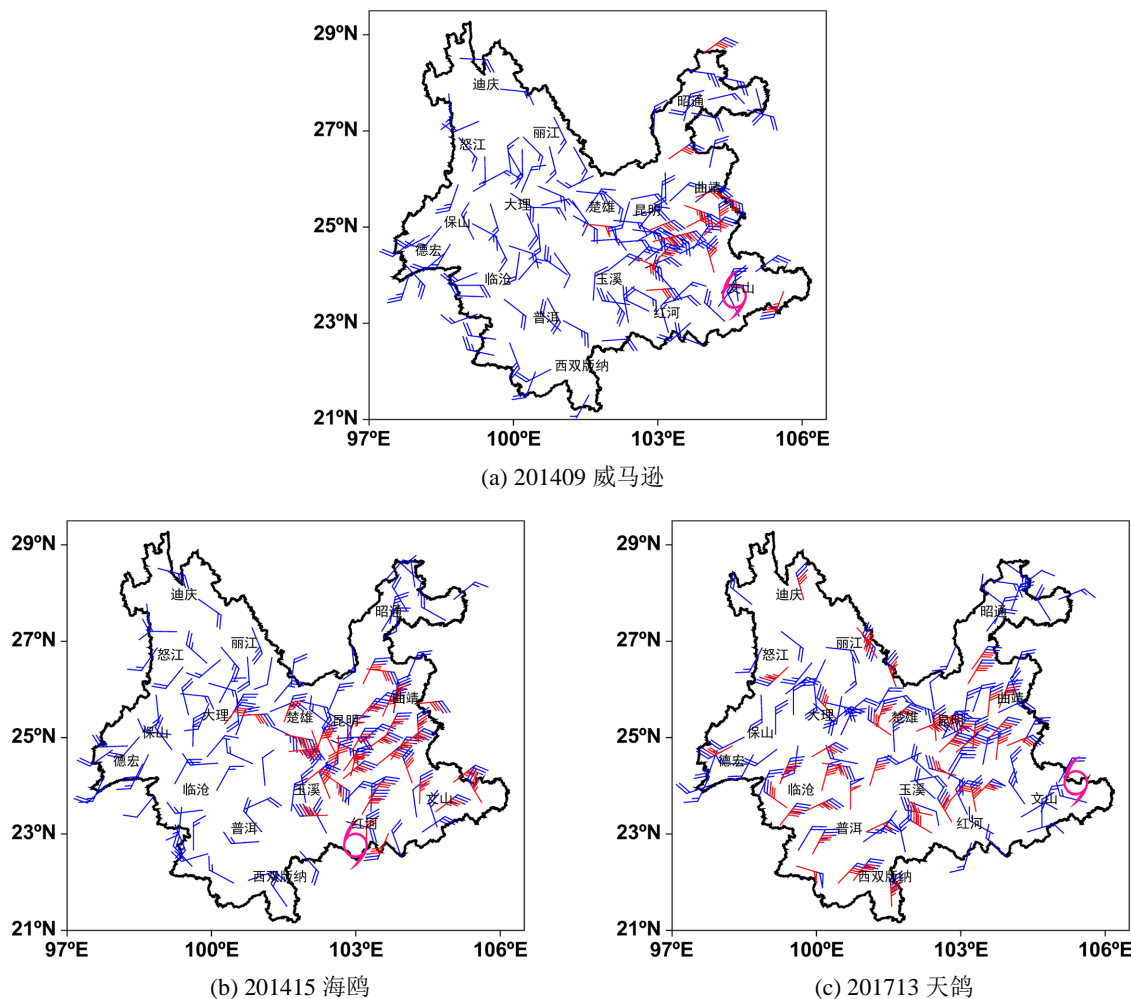


Figure 1. Maximum wind of three typhoons in the 24 hours before the death of three typhoons
图 1. 三次台风消亡时前 24 小时极大风

台风大风天气影响时间和强度：选取“201409 威马逊”过程中的富宁、“201415 海鸥”过程中的个旧及“201713 天鸽”过程中的开远作为代表站对台风停编前 24 小时的逐时平均风速与极大风速进行分析。分析表明：3 个代表站均分别有 1 个时次的极大风速超过 10 m/s(其中“201713 天鸽”过程中的开远有一个时次的极大风速达到 24 m/s)，其出现时段均在台风停编前 16 小时(图 2)。对比各次台风中心的行程路线(图略)，可以推论出三次极大风速超过 10 m/s 的出现，均非台风中心涡旋形成，而是在台风外围激发的局地强对流形成。从小时平均风速来看，仅有“201713 天鸽”过程中开远站有 1 个时次超过 10

m/s, 且与极大风 24 m/s 的时次相对应, 这可能会在当地形成风灾; 其他 2 个代表站各时次的风速均在 5 m/s 以下, 未出现风灾。

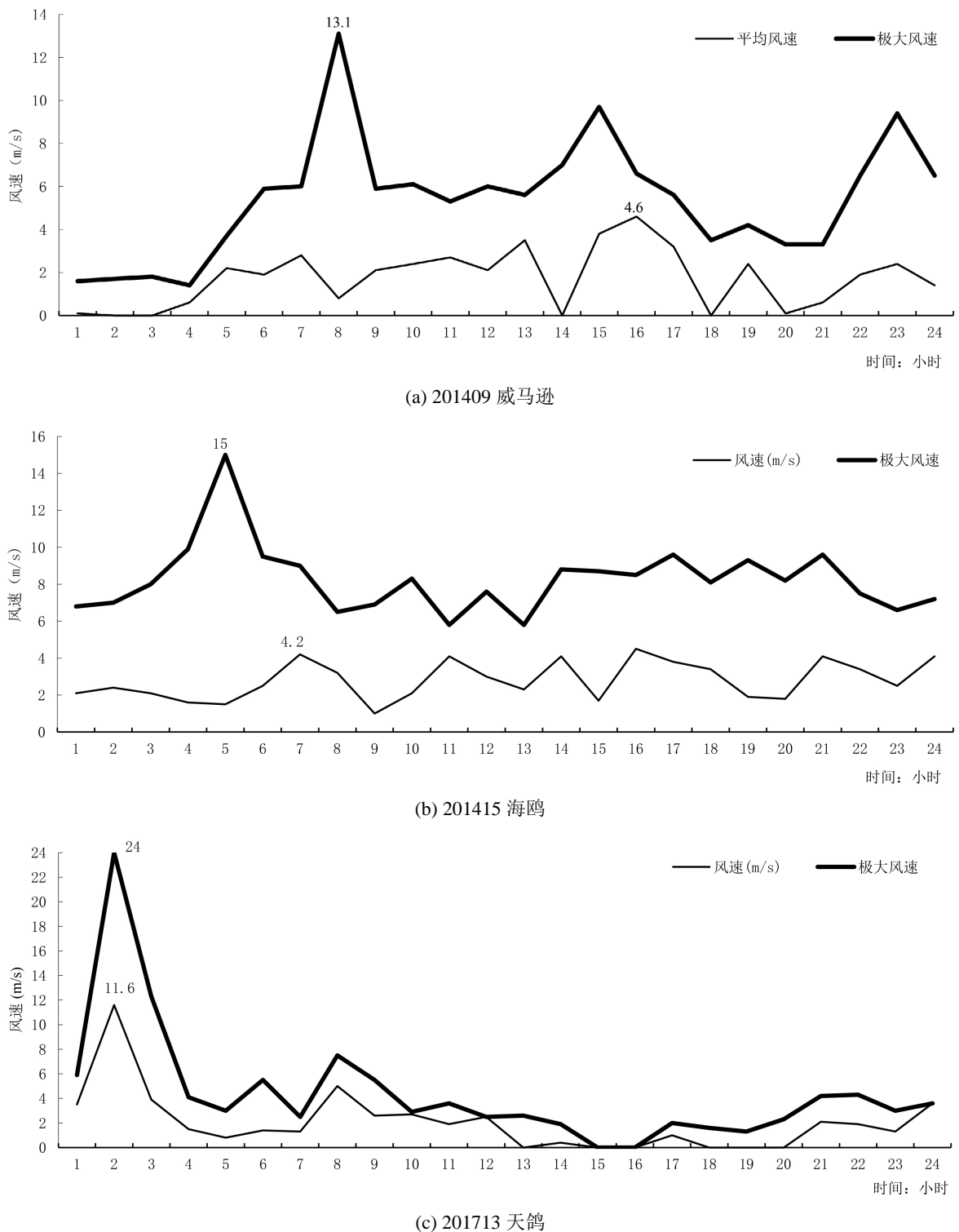


Figure 2. Hourly average wind speed and maximum wind speed in the 24 hours before the death of three typhoons
图 2. 三次台风消亡前 24 小时逐时平均风速与极大风速

3.2. 降水的影响

降水影响强度和范围是台风天气研究的重点和难点，文中选取 4 次造成云南最大范围强降雨的台风天气过程，4 次台风登陆后 72 小时累积雨量分析表明：4 次台风过程强降雨(暴雨以上)区域有东西向分布(图 3(a)、图 3(b))，也有南北向分布(图 3(c))，图 3(d)中总体呈东西向分布，但在滇东北还有一片强降雨区域。总体来说，西行台风造成云南强降雨的影响区域集中在云南中部以南和以东区域。

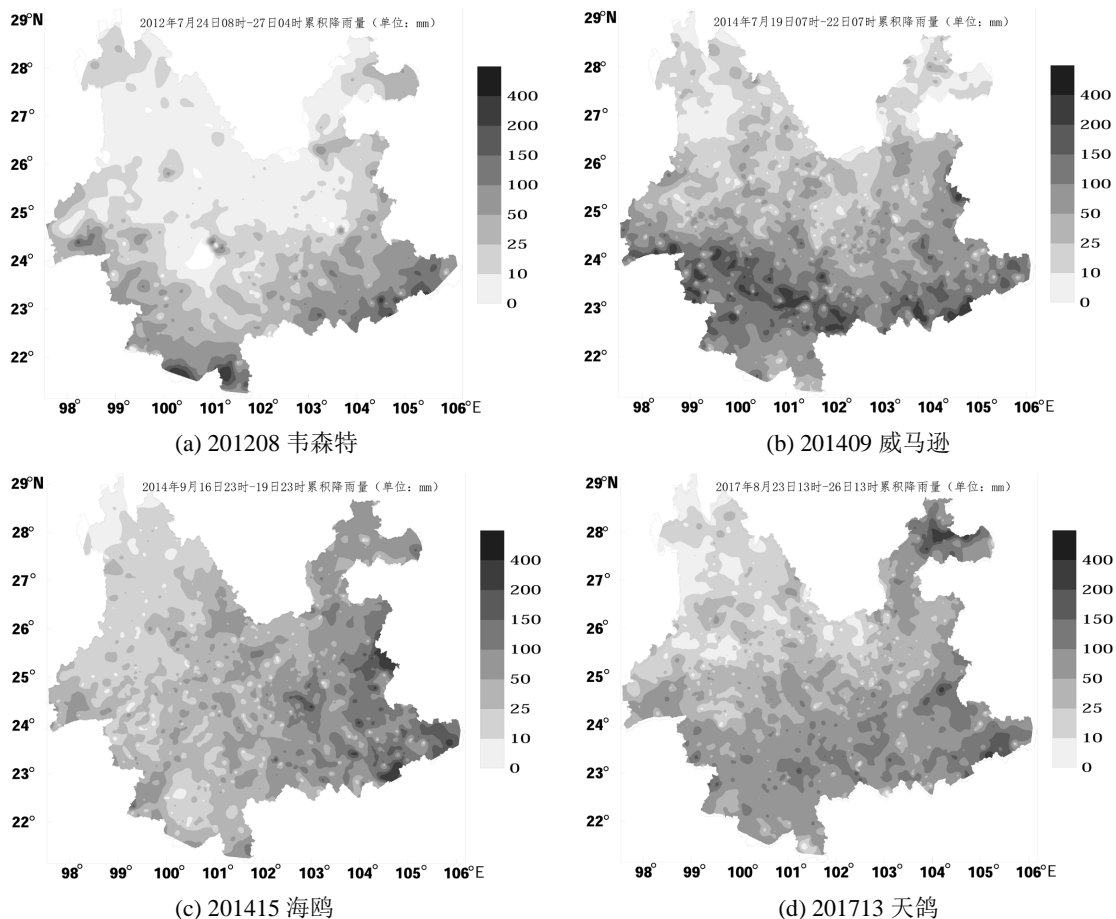


Figure 3. Rainfall during the four typhoons that caused the maximum range of heavy rainfall in Yunnan
图 3. 四次造成云南最大范围强降雨台风过程雨量

4. 强降雨过程影响评估方法探讨

台风对云南的影响主要是强降雨，文中将出现大雨及其以上量级站次最为评估依据，并考虑台风停编后其带来的水汽还将持续影响，以西行台风登陆时为起点，统计停编后 72 小时内各站的 24 小时降雨量，统计数据为 2012~2021 年云南省 1251 个以上区域站降水数据，将其影响程度依次分为无、轻微、一般、较重、严重等 5 个等级，具体影响分级规则见表 1。

Table 1. Evaluation rules of the impact of typhoon rainfall on Yunnan
表 1. 台风降雨对云南影响程度评估规则

站次	大暴雨	暴雨	大雨
严重	≥50		

续表

较重	<50	≥50	
一般	<5	<50	≥50
轻微	<5	<5	<50
无	<5	<5	<5

影响评估分析结果表明：影响程度严重主要出现在7月、8月和9月(各1次)；较重出现在6月、7月和8月，其中7月最高达6次，8月次之为4次；5~10月均出现过一般影响，轻微影响仅在10月出现，11月仅出现过1次台风，其影响为无(图4)。关键区影响评估分析表明：进入II类关键区台风最多，各种影响程度均有出现，其中1次严重，9次较重，3次一般，1次轻微，2次无；进入I类关键区的共9次，其中2次较重，6次一般；进入III类关键区的西行台风最少，只有4次，但有2次造成严重影响，1次较重影响，1次一般(图5)。

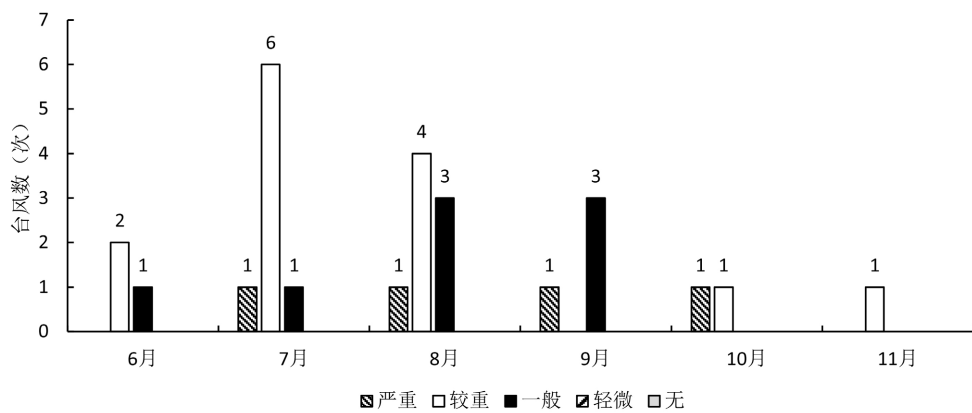


Figure 4. Monthly distribution of impact assessment
图4. 影响评估月分布

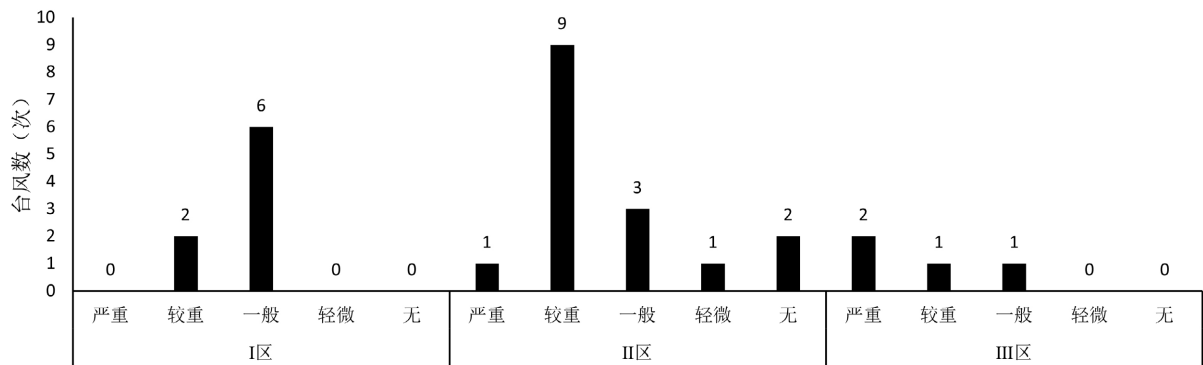


Figure 5. Distribution of key impact assessment areas
图5. 影响评估关键区分布

5. 台风对云南的影响评估与天气背景分析

5.1. 台风天气影响与 MJO 的关系

热带大气季节内振荡(MJO)最早是由 Madden [11]等在热带大气的风场和气压场中发现的一种季节尺

度上 30~60 天的大气环流变化, 是热带大气环流系统的重要组成部分。本文采用澳大利亚气象局提供的 RMM 实时多变量 MJO 指数, 其将近赤道平均的 850 hPa 纬向风、200 hPa 纬向风以及向外射出的长波辐射(OLR)等 3 个变量做多变量经验正交函数(EOF)分解, 得到 RMM1 和 RMM2 两个时间系数, 该指数可用来描述 MJO 的传播特点。这两个时间系数平方和的根值表示 MJO 的振幅(强度)。根据 RMM1 与 RMM2 将 MJO 活动划分为 8 个空间位相, 每个位相对应有活跃于不同区域的强对流中心, 2、3 位相在印度洋, 4、5 位相在海洋性大陆, 6、7 位相在西太平洋, 8、1 位相在西半球和非洲。

台风登陆时天气影响与 MJO 位相和强度研究发现: 3 次严重的台风天气时, 其登陆时 MJO 分别位于 2、5、8 位相, 较重时除第 6 和第 8 位相没有出现, 其它位相均有发生, 其中第 4 位相较多(4 次); 一般影响时除第 1 位相外, 其它均有出现; 综合统计第 2 位相出现最多(6 次), 其次是 4 位相和 5 位相(均为 5 次), 6、7、8 位相最少, 均只出现 2 次。较重以上影响的台风登陆时唯独没有 6 位相。从 MJO 强度分析来看, 除出现在第 6 和 8 位相时为弱 MJO, 其它位相台风登陆时平均强度均为强 MJO, 位于第 5 位相时高达 3.0。2 次出现 6 位相的过程 MJO 强度为一强一弱, 影响评估分别为一般和无(表 2), 2 次台风登陆时均较弱(中心风速均为 25 m/s), 分别进入关键区 III 和 II, 说明 MJO 并不是决定台风造成云南大范围强降雨的关键因素。而进入关键区 I 的两次影响较重台风, 登陆时中心风速分别为 28 m/s 与 20 m/s, MJO 位相分别为 3 和 4, 强度均较强, 说明有利的 MJO 对台风造成云南降雨有一定的增强作用。

Table 2. Relationship between impact assessment and MJO
表 2. 影响评估与 MJO 关系

影响评估	1 位相	2 位相	3 位相	4 位相	5 位相	6 位相	7 位相	8 位相	合计	平均强度
严重	\	1	\	\	1	\	\	1	3	0.9
较重	2	2	1	4	2	\	1	\	12	2.4
一般	\	2	2	1	2	1	1	1	10	1.8
轻微	\	1	\	\	\	\	\	\	1	1.3
无	1	\	\	\	\	1	\	\	2	0.6
合计次数	3	6	3	5	5	2	2	2	28	1.6
平均强度	2.0	1.5	1.8	1.7	3.0	0.9	1.2	0.8	\	1.6

5.2. 台风天气影响与环境场的配合分析

云南造成较重以上影响的 15 次台风过程中, 台风登陆时 12 次有冷锋和切变配合; 3 次台风非常靠近云南, 却并未对云南造成明显强降雨影响。文中配合环流场, 分有无冷空气配合型对典型个例进行分析。

5.2.1. 冷空气配合型

“202107 查帕卡”: 2021 年 7 月 20 日 20 时(查帕卡登陆前 1 h), 500 hPa 上副高位置偏北偏东(西脊点在 110°E, 42°N 附近)(图 6(a)), 冷空气已南压至云南西部(图 6(b))。“查帕卡”向西偏北方向移动 14 h 后到达广西南宁(此时中心风速已减至 15 m/s), 后转南偏西方向, 最终消散于越南东侧的海面上。“查帕卡”并未给云南带来直接强降雨, 但为前一天地面冷锋进入云南时提供了水汽供应, 造成云南较大范围的强降雨。

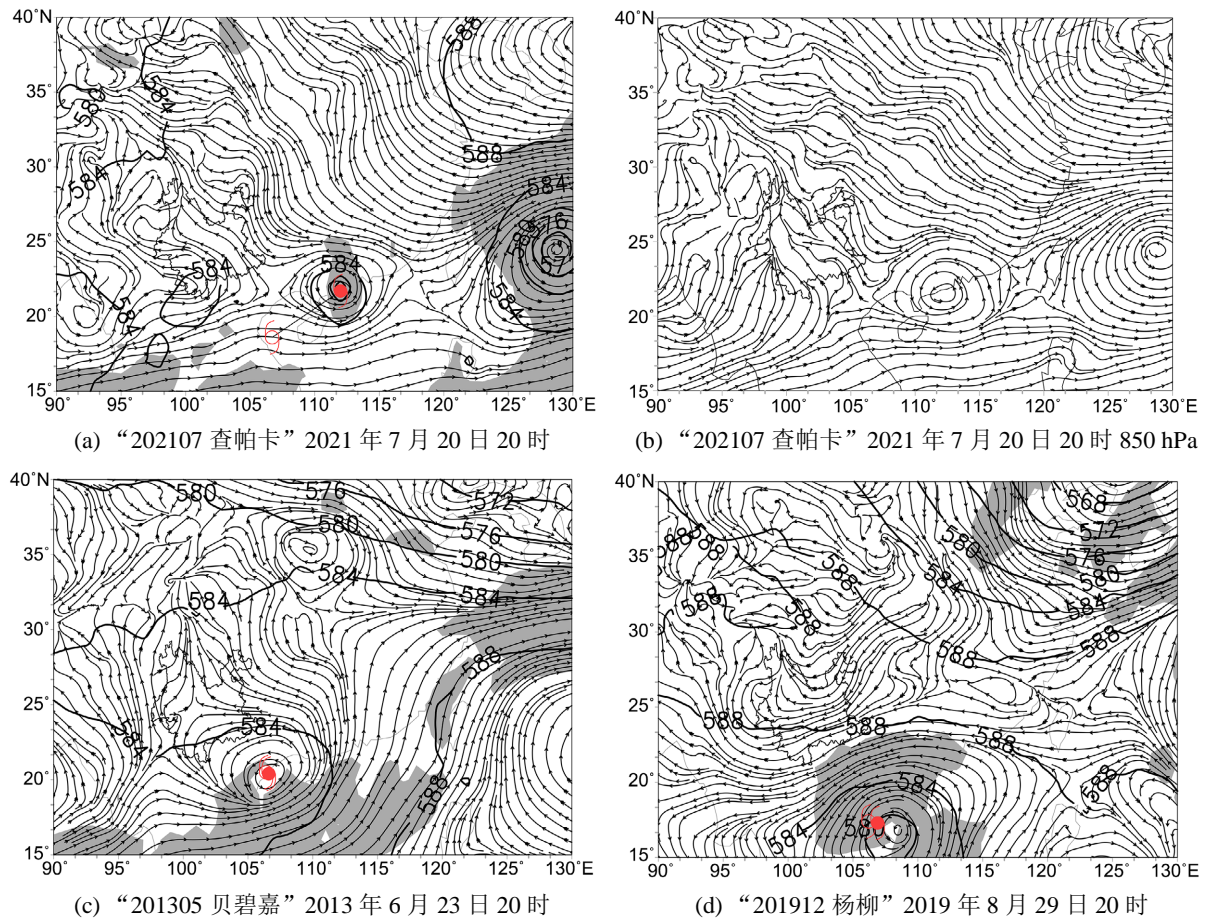


Figure 6. Circulation situation with cold air coordination (500 hPa height field, 700 hPa flow field and typhoon landing and extinction position)

图 6. 冷空气滞后型环流形势(500 hPa 高度场、700 hPa 流场及台风登陆与消亡位置)

“201305 贝碧嘉”6月22日14时500 hPa副高西脊点伸至滇西，23日08时(台风登陆前12 h)其西脊点就迅速东退至福建沿海，700 hPa在四川中北部有一切变，台风登陆前2 h(23日20时)快速南压至云南中北部(图6(c))，在越南北部至滇南及以西的普洱、临沧等地出现了一序列块状的强对流云团，23:30云团发展成为横向超过4个经度的大范围对流云团。与此同时，在越南沿海20°N附近又有一对流云团开始强烈发展，在其西移消散过程中，在西双版纳、普洱、临沧以及德宏先后激发了新的对流云团，造成了相应地区的强降雨，云团至24日20:30后才逐渐消散。而此时又有新的切变线南压至滇东北，对流云团迅速发展并覆盖了整个滇东北，直至25日11:30才减弱消散。14:30随着切变南压，在文山州境内又有对流云开始发展，18:30云团发展覆盖整个滇东南，直至22:30云团才消散。26日8:30又有切变从川南南压至云南，至21:30连片的对流云发展至最强，覆盖范围包括贵州南半部、广西西北部及云南东半部，并在滇西北的丽江还有一独立发展的对流云团。对流云不断演变，直至27日20:30才结束对云南的影响。201305 贝碧嘉过程，由于高层副高东撤过快，中低层切变至少分成三波南下，造成云南将近4天的大范围降雨。虽然台风很弱，但与冷空气配合密切，对云南造成了较重影响。

“201912 杨柳”其实并未真正地进入到关键区I(图6(d))，沿着关键区边缘西行，陆上生存的时间也仅3h，并未直接给云南带来强降雨，但其消散后的36h内，由于有冷空气的入侵，滇东南出现了较大范围的强降雨，而滇东北仅为小雨，说明这是因为有“杨柳”带来的水汽配合所致。

5.2.2. 无冷空气配合型

“201409 威马逊”：2014 年 7 月 19 日 08 时(威马逊在广西防城港登陆后 1 h)，500 hPa 副高西伸点在 110°E，但北界达到了 45°N；孟加拉湾风暴向东向北输送着丰富的水汽。强盛的副高阻止了冷空气的南下，但却不阻止威马逊的向西、向北移动(图 7(a))。威马逊(登陆时中心风速 48 m/s)一路向西偏北方向移动 22 小时(行程 650 余公里)，消亡在云南省西畴县境内。台风变性低压继续西移，并与孟湾来的水汽汇合，造成了云南南半部大范围的强降雨带。

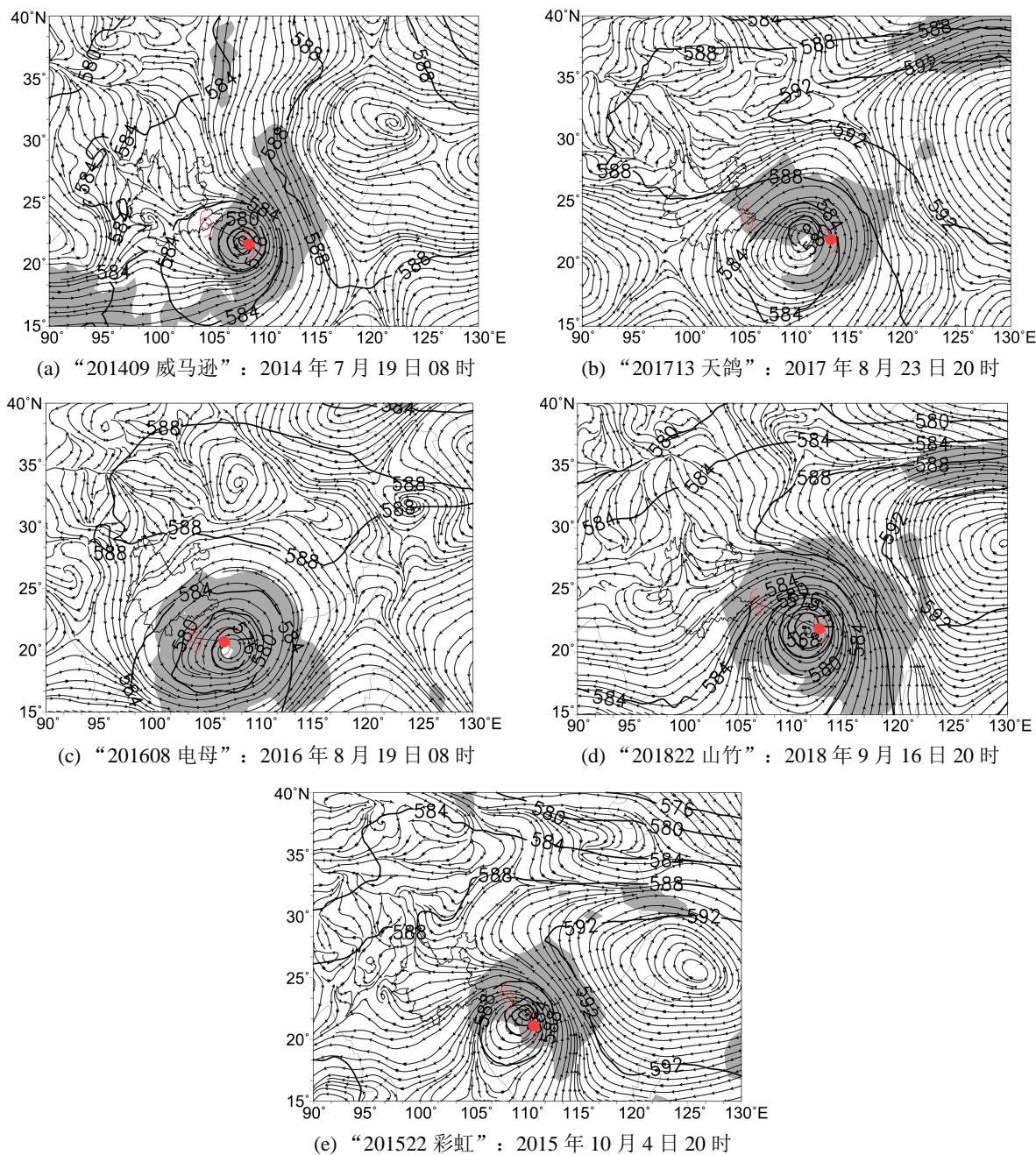


Figure 7. Circulation situation without cold air coordination (500 hPa height field, 700 hPa flow field and typhoon landing and extinction position)

图 7. 无冷空气配合型环流形势(500 hPa 高度场、700 hPa 流场及台风登陆与消亡位置)

“201713 天鸽”：2017 年 8 月 23 日 13 时，“天鸽”在广西东江登陆(中心风速 45 m/s)。23 日 20 时 500 hPa 上副高西伸至 96°E 附近，覆盖了云南北部、贵州北部及以东以北的大范围区域，完全阻隔了冷空气的南下(图 7(b))。“天鸽”登陆后不久，就先后在广西、云南激发了大范围的强对流，后向西偏北方向移动了 28 h(行程 827 km)，最终消亡于云南广南县境内，其变性低压继续西移，造成了云南南半部的大范围强降雨。而在滇东北的成片强降雨区也是由“天鸽”外围激发的对流云所致。

“201608 电母”：2016 年 8 月 19 日 08 时(“电母”登陆前 3 h)，500 hPa 上副高西伸直 93°W，脊线位于 32°N 附近，完全阻断了冷空气的南下(图 7(c))。“电母”向西移动了 9 h(行程 280 km)，消亡于越南北部。变性低压其后一路向西移入孟加拉湾并得到强烈发展，但并未再对云南形成明显影响。“电母”给云南南半部区域带来了大范围的大到暴雨，但大暴雨范围很小(仅 3 站，集中在红河州)，故虽然进入了关键区 III，但影响评估仅定性为一般。

“201822 山竹”：2018 年 9 月 16 日山竹在广东阳江(登陆时中心风速 45 m/s，移速 30 km/h)。16 日 20 时 500 hPa 上副高西脊点在 108.6°W，30°N 附近，中高纬东亚大槽已移至沿海，故副高阻止了冷空气的南下；赤道辐合带位于 13°N 以南，“山竹”西侧为一致的偏东风，云南及其西侧、南侧为大范围的晴空区，故西南方向完全没有来自孟加拉湾的水汽对其补充(图 7(d))。“山竹”沿副高西南侧向西偏北方向移动 22 h 后在广西白色境内消亡(行程 650 km)，其变性后的低压向偏北方向移动，逐渐远离云南。对比 201713 天鸽过程，“天鸽”与“山竹”路径相似，强度相当，都没有冷空气配合，最显著的环境场区别就是副高西伸位置不同，造成对云南的降雨影响也显著不同(图 7(b)、图 7(d))。

“201522 彩虹”：2015 年 10 月 4 日 13 时，“彩虹”在广东湛江登陆(中心风速 50 m/s)。4 日 20 时 500 hPa 上副高西伸至孟加拉湾，在“彩虹”周围形成以半径约 5 个经纬度的闭合 588 hPa 环流圈，在其东侧有 592 hPa 的闭合环流圈(中心强度达 595 hPa 以上，中心位于台湾东侧的西太平洋海面)，副高完全包围住了“彩虹”，阻断了其所有水汽供应(图 7(e))。“彩虹”向西北方向经历了 22 h，行程 370 km，最终消亡于广西南宁北侧，未对云南造成强降雨影响。

6. 结论与讨论

1) 台风对云南造成风的影响，主要出现在其所激发的外围强对流区域中，台风本体到来时所形成的风均很小，未出现相关大风灾害。

2) 台风对云南造成的强降雨主体上会影响云南南部和东部，但它带来的丰富水汽在有其他天气系统配合的情况下也会造成全省范围内的强降雨；降雨影响评估表明 7~8 月影响最频繁且最大，进入 II 类关键区台风最多，降雨影响较重的最多，进入 III 类关键区的台风最少，但是造成严重影响的最多，进入 I 类关键区的降雨影响以一般为主。

3) MJO 条件与云南强降雨存在一定关系，不是充分条件也不是必要条件，只起到一定的补充增强作用。

4) 副高是决定台风路径的最主要因素，同时也决定着是否有冷空气与台风配合；冷空气是台风在云南形成强降雨的一大补充条件，登陆后台风减弱，若有冷空气配合，也会造成云南大范围强降雨。

5) 台风影响时云南北部和西部可能还有其他天气系统影响造成强降水，会导致台风降雨影响结果有干扰，文中台风与 MJO 和环境条件条件下的具体影响机制有待进一步更深入讨论分析。

基金项目

文山州“兴文英才计划”人才培养专项 - “青年科技人才”(WS-QNKJ2023006)；文山州科技发展专项“复杂地形下文山州台风天气精细化特征研究”(WS-KYFZXM23010)；文山州气象局科技创新团队 - 预报技术创新团队。

参考文献

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 第4版. 北京: 气象出版社, 2007: 521-522.
- [2] 陈宗瑜. 云南气候总论[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 28-31.
- [3] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 73.
- [4] 李汀, 琚建华. 亚洲夏季风季节内振荡对云南主汛期降水的影响 I: 云南主汛期季节内振荡特征及其传播过程[J]. 高原气象, 2013, 32(3): 617-625.
- [5] 李汀, 琚建华. 亚洲夏季风季节内振荡对云南主汛期降水的影响 II: 云南主汛期季节内振荡活动过程及其对MJO活动的响应[J]. 高原气象, 2013, 32(3): 626-634.
- [6] 李汀, 严欣, 琚建华. MJO活动位相与云南5月降水的关系[J]. 大气科学, 2012, 36(6): 1101-1111.
- [7] 罗冬莉, 赵尔旭. MJO变化对云南主汛期降水的影响[J]. 企业科技与发展, 2020(8): 91-94.
- [8] 冯德花, 李华宏, 牛法宝, 等. MJO背景下云南省三次台风强对流天气对比分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(1): 105-115.
- [9] 植江玲, 张伟强, 黄先香. “山竹”(1822)台风外围佛山强龙卷天气过程观测分析[J]. 气象与减灾研究, 2019, 42(4): 251-260.
- [10] 张娟娟, 刘波, 张瑛. 台风“鲇鱼”(1617)导致的江西持续性暴雨天气过程成因[J]. 气象与减灾研究, 2021, 44(4): 16-24.
- [11] Madden, R.A. and Julian, P.R. (1971) Detection of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **28**, 702-708.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2)