

马涛, 胡勇, 杨琳晗, 等. 三个登陆台风造成云南灾害的天气成因研究[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 113–120. [MA Tao, HU Yong, YANG Linhan, et al. Research on the Weather Causes of Three Landfall Typhoons in Yunnan Province [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 113–120. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.022.]

## 三个登陆台风造成云南灾害的天气成因研究<sup>\*</sup>

马涛<sup>1,2</sup>, 胡勇<sup>1</sup>, 杨琳晗<sup>3</sup>, 张万诚<sup>2,4</sup>, 刘少荣<sup>1</sup>, 孙东汉<sup>1</sup>, 裴玥<sup>1</sup>

(1. 云南省昭通市气象局, 云南 昭通 657000; 2. 中国气象局大理山地气象野外科学试验基地, 云南 大理 671003; 3. 河北省气象服务中心, 河北 石家庄, 050021; 4. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 利用 FNL  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料, 云南站点降水实况资料, 中国台风天气网资料, 气象灾情直报系统数据和中国气象灾害年鉴等资料, 分析“威马逊”“海鸥”和“天鸽”系统对云南造成的强降水及灾害成因, 结果表明: “威马逊”灾情最严重, 受灾和伤亡人数最多, “天鸽”直接经济损失低于“威马逊”; “海鸥”灾情和直接经济损失均相对最轻。三个台风低压进入云南的位置和强度不同, 其西移过程中造成云南大到暴雨的范围、落区分布明显不同, “天鸽”从文山州的富宁进入云南, 位置较偏东偏北, 向西南–西移动; “海鸥”位置则偏西偏南, 从红河州的金平入境云南, 向西北–西–西南移动; “威马逊”从文山州的麻栗坡进入云南, 逐渐加强西北移。“威马逊”西行影响云南持续时间最长达 78 h、影响范围最大, 对云南 9 个州市造成影响, 其次是“天鸽”持续影响时间达 66 h、对云南 7 个州市造成影响, “海鸥”持续时间为 54 h, 影响范围相对较小。从水汽输送的情况来看, “海鸥”的净水汽量最大为  $20.53 \times 10^7$  kg/s, “天鸽”次之为  $15.07 \times 10^7$  kg/s, “威马逊”最小为  $14.03 \times 10^7$  kg/s, 并且东向输送到云南的水汽量最大。西太平洋副高的位置和强度对西行台风进入云南有重要影响。“威马逊”影响云南以台风低压降水为主, “天鸽”和“海鸥”影响造成云南东部出现强降水与冷空气活动有关。

**关键词:** 云南; 洪涝灾害; 副高位置; 水汽输送; “威马逊”台风; “海鸥”台风; “天鸽”台风

**中图分类号:** X43; X915.5; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)04–0113–08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.022

云南地处低纬高原, 同时受印度西南季风和东亚季风的交叉影响, 形成了其独特的地理和气候特点<sup>[1]</sup>。由于云南特殊的地理位置, 使得影响云南的台风均为登陆减弱的系统, 但仍然能给云南带来暴雨及灾害。许美玲等<sup>[2]</sup>对西行台风进行了统计, 找到了西行台风影响云南的关键区; 鲁亚斌等<sup>[3]</sup>对碧利斯路径偏西偏南的主要原因进行了探讨; 郭荣芬等<sup>[4]</sup>对“伊布都”维持并加强的原因进行了分析; 梁红丽等<sup>[5]</sup>、范爱芬等<sup>[6]</sup>分析了台风降水差异的成因。此外高安宁等<sup>[7]</sup>、阎琦等<sup>[8]</sup>对致灾台风的原因进行了分析; 曹诗嘉等<sup>[9]</sup>对台风“威马逊”及“海鸥”次生海岸洪水对室内财产脆弱性作灾后评估分析。徐舒扬等<sup>[10]</sup>分析“威马逊”期间云南的雷达回波特征, 得出雷达探测资料能判断台风外围云系结构, 对短时临近预警有一定的帮助。台风系统是造成我国暴雨和灾害的重要系统之一, 其一直是气象工作者<sup>[11–16]</sup>研究的

重点。

近年来“威马逊”(201409)、“海鸥”(201415)和“天鸽”(201713)台风西行后均对云南产生重大影响, 造成云南大到暴雨、局部大暴雨过程, 这三个台风生成源地、登陆点、移动路径不同, 影响云南的范围和地区、强度虽然有所不同, 但所到之处均出现洪涝, 并引发局地发生滑坡、泥石流等次生灾害, 每个台风均造成大量人员受灾, 造成巨大的经济和财产等损失。本文应用 FNL  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料, 云南降水实况资料, 中国台风天气网提供的台风路径及强度资料, 中国气象局灾情直报系统灾情数据和中国气象灾害年鉴数据, 对三个台风路径、灾情、环流场、物理量场等进行对比分析, 研究三个西行台风对云南强降水落区影响的天气原因, 为今后做好西行台风影响云南的预报服务提供参考, 对减轻台风系统造成的损失具有现实意义。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2020–03–10 修回日期: 2020–05–31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41665005, 41765003); 中国气象局省级气象科研所科技创新发展 2017 年项目“澜沧江–湄公河流域旱涝时空变化特征”

第一作者简介: 马涛(1985–), 男, 贵州威宁人, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报及服务研究工作. E-mail: gzwnmt@163.com

通讯作者: 张万诚(1965–), 男, 云南通海人, 研究员, 主要从事气候预测及诊断分析研究. E-mail: wanzhangcheng@163.com

# 1 登陆台风造成暴雨灾害的分布特征

## 1.1 影响云南的台风路径

自 2014 年来,“威马逊”(201409)、“海鸥”(201415)和“天鸽”(201713)台风是不同月份西行影响云南最主要的台风,这三个台风虽然生成源地不同、移动路径存在差异(图 1),但在登陆西移中均影响云南,产生强降水,部分地区出现洪涝及其次生灾害,造成巨大的经济损失。

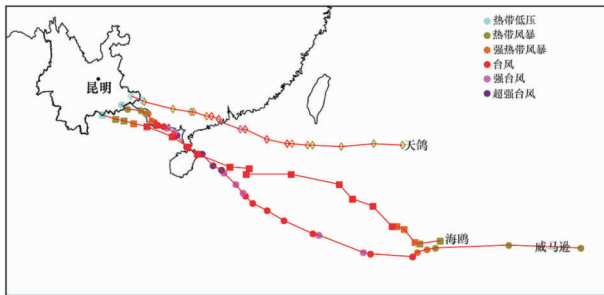


图 1 台风路径示意图

“威马逊”台风于 7 月 12 日 14 时(北京时、下同)在  $13.4^{\circ}\text{N}$ 、 $142.8^{\circ}\text{E}$  生成,先向西移后向西北移。最强达到超强台风,中心风速达  $60\text{ m/s}$ ,气压  $910\text{ hPa}$ 。先后在菲律宾、我国海南、广东、广西和越南登陆,最后在云南文山州减弱为热带低压( $23.3^{\circ}\text{N}$ 、 $104.6^{\circ}\text{E}$ ,风速  $16\text{ m/s}$ ,中心气压  $998\text{ hPa}$ ),并继续沿  $23^{\circ}\text{N}$  以北向西偏北的滇西区域移动(图 2a)。

“海鸥”台风 2014 年 9 月 12 日 14 时生成于  $13.8^{\circ}\text{N}$ 、 $131.1^{\circ}\text{E}$ ,中心气压  $998\text{ hPa}$ 、风速  $18\text{ m/s}$ ,并向偏西北方向移动。最强达到台风,中心风速为  $40\text{ m/s}$ ,气压  $960\text{ hPa}$ 。先后在我国海南、广东和越南登陆,最后在我国云南红河州减弱为热带低压( $22.5^{\circ}\text{N}$ 、 $103^{\circ}\text{E}$ ,风速  $16\text{ m/s}$ ,中心气压  $998\text{ hPa}$ ),并继续沿  $22^{\circ}\text{N}$  附近向滇西南方向移动(见图 2b)。

“天鸽”台风 2017 年 8 月 20 日 14 时生成于  $20.4^{\circ}\text{N}$ 、 $128^{\circ}\text{E}$ ,中心气压  $1\,000\text{ hPa}$ 、风速  $18\text{ m/s}$ ,并向偏西方向移动。最强达到强台风,中心风速为  $45\text{ m/s}$ ,气压  $950\text{ hPa}$ 。先后影响我国广东、广西

和云南,最终在文山州减弱为热带低压( $23.8^{\circ}\text{N}$ 、 $105.4^{\circ}\text{E}$ ,风速  $16\text{ m/s}$ ,中心气压  $996\text{ hPa}$ ),并继续沿  $23^{\circ}\text{N}$  以南向滇西南移动(图 2c)。

从生成源地来看,“威马逊”和“海鸥”生成于  $15^{\circ}\text{N}$  以南菲律宾以东的热带太平洋,均先西行后西北行;“天鸽”生成于  $20^{\circ}\text{N}$  以北台湾以东的太平洋洋面,以西行路径为主;“天鸽”台风比“威马逊”和“海鸥”台风更偏北、偏西。从最终强度来看,“威马逊”为超强台风,“海鸥”最强为台风,“天鸽”最强为强台风。从进入云南的强度和位置看,三个台风进入云南后均减弱为热带低压,但进入云南的位置、移动路径位置不同,“天鸽”位置较偏东偏北,从文山州的富宁进入云南,向 SW-W-W 移动;“海鸥”位置则偏西偏南,从红河州的金平入境云南,一直向 NW-W-SW-NW 移动;“威马逊”从文山州的麻栗坡附近进入云南,一直向 W-NW-W-NW-SW 移动,最后进入缅甸。三个台风登陆进入云南后,移动路径是造成云南降水分布差异的原因,下面分析降水特征。

## 1.2 台风降水分布特征

受“威马逊”影响,云南出现持续 78 h 的降水,累积降水大值区主要位于“威马逊”系统西移路径附近的滇中以南各州市(图 2a)。在系统进入云南前 3 h,受其外围气流影响滇东南已出现较强降水。整个过程国家观测站上共计 124 站监测到降水,超 200 mm 有 4 站、100~200 mm 有 22 站、50~100 mm 有 36 站、50 mm 以下 62 站;区域站共有 2 559 站出现降水,7 站超 300 mm、200~300 mm 有 118 站、100~200 mm 有 485 站、50~100 mm 有 696 站、50 mm 以下 1 253 站。

受“海鸥”影响,云南持续 54 h 降水,累积降水大值区主要位于滇中及以东以南地区(图 2b)。在系统进入云南前 12 h,受其外围气流的影响滇东南已出现较强降水,这可能与系统靠近滇东南但其继续西行在红河登陆有关。整个过程国家观测站上共计 125 站监测到降水,超 200 mm 有 1 站、100~200 mm 有 17 站、50~100 mm 有 34 站、50 mm 以下 73 站;区域站上共计 2 564 站有降水,超过 300 mm 有 1 站、超过 200~300 mm 有 16 站、100~200 mm 有 281 站、50~100 mm 有 691 站、50 mm 以下 1 575 站。

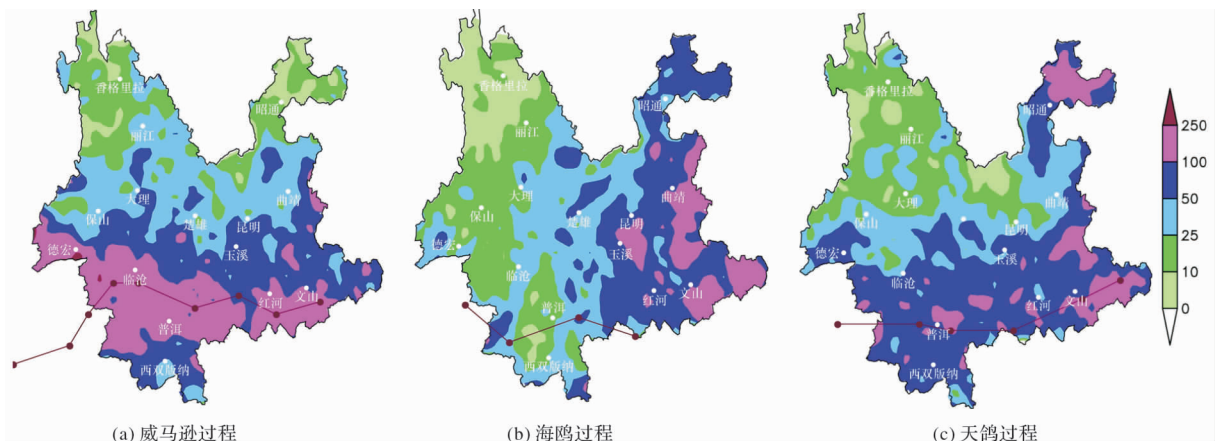


图 2 三次台风过程累积降水量及移动路径(mm)

受“天鸽”影响, 云南持续 66 h 降水, 累积降水大值区主要位于滇中及以东以南区域(图 2c)。在系统进入云南前 21 h, 受其外围偏东气流影响滇东北已出现较强降水, 并伴有雷暴等强对流天气, 这可能与台风北侧偏东气流及低层冷空气在滇东北交汇有关(见下文 3.4 分析)。整个过程国家观测站上共计 125 站监测到降水, 100 ~ 200 mm 有 11 站、50 ~ 100 mm 有 43 站、50 mm 以下 71 站; 区域站上共计 2 985 站有降水, 超 200 mm 有 12 站、100 ~ 200 mm 有 299 站、50 ~ 100 mm 有 979 站、50 mm 以下 1 641 站。

综上所述, “威马逊”影响云南持续时间最长、达 78 h, “天鸽”次之、达 66 h, “海鸥”为 54 h; 从主要影响范围看, “威马逊”影响范围最大, 对文山、红河、普洱、德宏等 9 个州市造成影响, “海鸥”主要影响文山、红河、曲靖、昆明、玉溪、楚雄等 6 个州市; “天鸽”主要影响昭通、文山、红河、普洱、西双版纳、临沧、德宏等 7 个州市; 三个台风低压均对缅甸产生影响, “威马逊”台风低压移动最远。

### 1.3 灾害情况

台风低压在带来大量降水的同时, 造成云南多地发生洪涝、滑坡、泥石流等次生灾害, 局地还出现冰雹、大风等灾情, 使大量人员受灾, 以及造成财产和经济巨大损失。从图 3 可知, 三次台风降水所造成灾害均以暴雨洪涝为主, 对云南造成巨大的财产损失及人员伤亡。“威马逊”过程共造成直接经济损失 34.1 亿元, 伤亡和失踪 71 人, 54 县区受灾、占全省县区的 43.2%。“海鸥”过程共造成直接经济损失 5.6 亿元, 伤亡和失踪 6 人, 36 县区受灾、占全省县区的 28.8%。“天鸽”共造成直接经济损失 13.8 亿元, 伤亡和失踪 26 人, 54 个县区受灾、占全省县区的 43.2%。

三个台风过程均以暴雨洪涝为主, “威马逊”灾情最为严重, 受灾、伤亡和失踪人数, 直接经济损失最大; “天鸽”灾害种类最多, 受灾、伤亡和失踪人数和直接损失低于“威马逊”; “海鸥”灾情损失相对最轻。

从灾情分布中可以看出, 在影响云南的过程中, 滇东南和滇南区域为主要受灾区, 这与低压系统从滇东南进入云南, 并向西移有关。位于红河、文山、临沧、玉溪、普洱四州市的 18 个县区在 3 次过程中均发生灾害, 有 31 个县区受到其中两次过程影响而发生灾害, 主要分布于滇南、滇西和滇东地区。另外, 三个台风过程对滇西北的影响较小, 这与天气系统配置、滇西北特殊的地形有关。

## 2 三次台风降水环境场异同分析

“威马逊”形成初期西太平洋副热带高压(以下简称副高)呈 EW 向带状分布, 西侧 588 线达到 104°E、10°~35°N 之间, 中高纬为两槽一脊形势, 印度半岛到孟加拉湾(以下简称孟湾)为低压环流影响(图略)。“威马逊”沿着副高南侧偏东风引导气流加强西移; 随后副高西段北抬东退, 东段维持, 588 线位于 110°E 附近, “威马逊”沿副高脊线向西偏北方向移动。19 日副高呈 SN 向分布, 588 副高脊线北端接近 40°N, 西伸脊点维持在 110°E, 副高控制了我国中东部地区(包括广西大部), 印

度半岛到孟湾低压加强(图略)。从图 4a 可看出, 20 日副高继续维持, 并控制了我国东部地区, 588 线沿广西、贵州穿过, 最西达到 105°E, 云南东部处于副高边缘的偏东南气流影响, 孟湾低压环流略东移; 这样的副高配置有利于其继续西行<sup>[17]</sup>, 此后副高缓慢北抬东退。台风系统自停止编号到移出云南, 其主体在云南活动时间超过 63 h。从 700 hPa 上看(图略), 22 日 14 时前, 312 线稳定维持在云南东部边缘, 比 588 线位置偏西, 22 日 14 时后 312 线明显向西南移动, 推动减弱后的台风系统向滇西南方向移动。

“海鸥”形成初期副高呈 EW 向带状分布, 中高纬为一槽一脊形势, 印度半岛到孟湾为弱低压环流影响; 13 日至 15 日在台风系统西移的过程中, 副高也加强西伸, 588 线达到 105°E 附近、20°~30°N 之间即包括贵州、广西、海南等在内的我国中东部地区为副高控制, “海鸥”沿着副高南侧偏东风引导气流加强西移, 中高纬和孟湾形势维持(图略)。17 日 588 线副高西伸脊点达到 108°E 以东, 外围为较强的偏南风气流引导台风系统向西北方向移动(图 4b); 此后副高仍维持西伸, 并推动减弱的热带低压西行, 最后减弱消失于滇西南地区。台风系统自停止编号到移出云南, 其主体在云南省活动时间超过 18 h, 移动速度和减弱速度均较快, 这可能与副高快速西移有关。从 700 hPa 上看(图略), 在 312 线与 316 线之间有偏南低空急流存在, 且从 17 日 02 时在滇东区域有明显的台风倒槽伴随着台风系统西行, 维持近 30 h。与“威马逊”相比, 孟湾低压中心位置偏南(15°N 附近), 强度偏弱。

“天鸽”形成初期环流形势与“海鸥”相似, 台风系统加强西移的过程中, 副高也加强西伸, 588 线达到 98°E 附近、25°~35°N 之间区域, “天鸽”沿着副高南侧偏东南风引导气流向西移(图 4c)。25 日后副高逐东退到 100°E 以东、仍控制滇东北区域, 减弱的台风系统继续西移, 最后在滇西南移除云南。另外, 台风系统自停止编号到向西移出云南, 其主体在云南活动时间超过 23 h。从 700 hPa 上看(图略), 从 24 日 14 时在滇东到贵州南部区域有明显的台风倒槽伴随着台风系统西行, 维持近 24 h。与“威马逊”相比, 孟湾低压位置相近, 但强度偏弱。

综上所述, 西太平洋副高的位置和强度对登陆我国的台风的位置有重要影响。“威马逊”过程中, 副高偏强偏西, 588 线西伸脊点达到并维持在 105°E, 且副高北界达到 40°N 附近, 热带低压进入云南后, 副高强度维持且继续北抬; 孟湾低压偏强, 直接向云南输送大量水汽, 低层系统与副高强度、西伸位置的配置影响云南中部及南部的大到暴雨, 以及持续时间。“海鸥”过程中, 副高也较强, 西伸位置维持在 108°E 以东, 副高北界达到 32°N 附近, 在低压系统进入云南后, 云南东部地区易受低压系统影响, 另外 700 hPa 上偏南急流以及低压北侧的倒槽, 对云南东部强降水的产生也有重要影响。而“天鸽”登陆时副高偏强、中心强度位置偏北, 588 线西伸到四川的西部达 100°E、副高北界位置达到 35°N 附近, 副高的强度、西伸位置对台风系统影响云南东部、南部起到了关键作用。



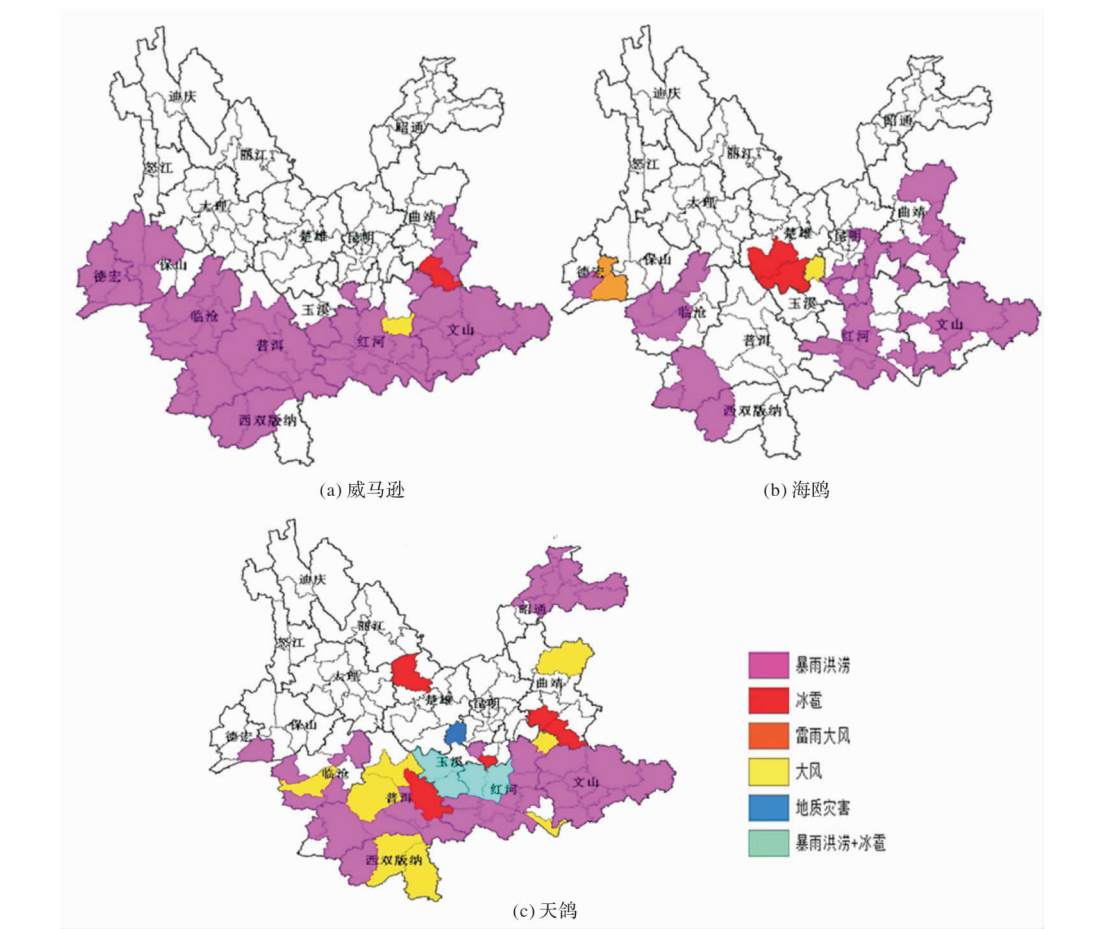


图3 三次台风过程云南受灾县区及其灾害类型分布

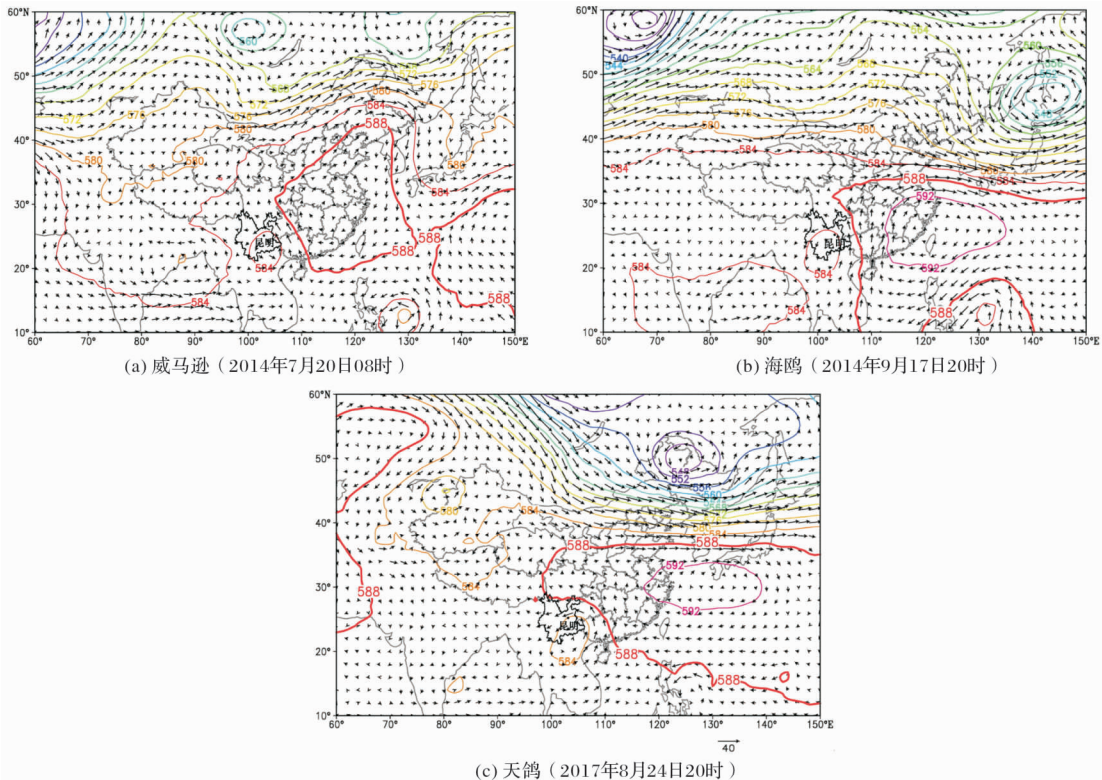


图4 台风低压进入云南时500 hPa高度场和风场图(高度场单位: dgpm, 风场单位: m/s)

### 3 水汽分析

#### 3.1 水汽通量

“威马逊”期间(图 5a), 其水汽输送大值区主要位于台风系统的南侧和东侧; 孟湾为强气旋式水汽输送区, 其南侧偏西水汽通过中南半岛后转向北并入台风系统水汽, 其东侧西南水汽经缅甸北部输送到云南, 与台风系统西侧水汽在云南西南部交汇, 这种水汽输送伴随着整个低压西移过程; 西太平洋反气旋西侧、云南气旋式水汽输送东北侧水汽在滇东北分为向北和向西输送的两支水汽, 滇东北为水汽输送辐散区。整个低压系统在云南期间, 孟湾和西太平洋面均有源源不断的水汽向云南输送, 云南长时间维持着较强的水汽输送。

“海鸥”期间(图 5b), 其水汽输送大值区位于台风系统东侧, 云南南部处于气旋式水汽输送区; 孟湾为强气旋式水汽输送区, 其南侧偏西水汽通过中南半岛后转向北并入台风系统水汽, 这种水汽输送伴随着整个低压西移过程; 西太平洋反气旋西侧、云南气旋式水汽输送东北侧水汽在川东南分为向北和向西输送的两支水汽, 滇东北处于水汽输送由辐合到辐散的边缘区域。

“天鸽”期间(图 5c), 其气旋式水汽输送大值区位于台风低压东侧, 滇南和滇东北均在气旋式水汽输送控制内; 孟湾为较强的气旋式水汽输送区, 其南侧偏西水汽通过中南半岛后转向北并入台风低压水汽, 这种水汽输送伴随着整个低压西移过程; 西太平洋反气旋西侧水汽输送较弱、低压系统东北侧偏东水汽输送和偏北水汽输送在滇东北汇合, 形成水汽输送的辐合区。

逐时次水汽输送分析发现三台风系统水汽输送既有相同之处, 也各有不同。相同点为: 三台风期间孟湾均为气旋式水汽输送区, 其水汽输送南侧偏西水汽均通过中南半岛向北转向后并入台风系统中; 西太平洋反气旋式水汽输送西侧偏南水汽也并入台风系统, 给台风系统提供水汽。不同点为: “海鸥”期间的气旋式水汽输送期北界在  $20^{\circ}\text{N}$  以南, 而“威马逊”和“天鸽”期间气旋式水汽输送期北界在  $20^{\circ}\text{N}$  以北; “威马逊”期间孟湾气旋式水汽输送最为剧烈, 其南侧水汽不仅经中南半岛并入台风系统, 同时其东侧水汽经缅甸北部直接与滇南水汽交汇, 其余两台风孟湾水汽均通过中南半岛并入台风系统。

#### 3.2 水汽通量散度

“威马逊”位于越南东北部时(20 日 02 时), 滇东南边缘已由水汽通量散度辐散区转为辐合区, 中心辐合值达  $12 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 。随着系统入滇减弱, 散度场上(图 6a)辐合区域也随着热带低压系统移动, 中心辐合值逐渐增大到  $15 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ , 范围逐渐扩大到滇中以南区域。从逐时次图上看(图略), 在系统影响云南期间, 水汽通量散度辐合中心随着台风系统的西移而西移。

“海鸥”位于越南东北部时(17 日 02 时), 滇中以东区域已由辐散区转为辐合区, 辐合中心位于文山地区, 辐合值达  $18 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ , 辐合较为强烈。随着系统入滇减弱, 滇南区域由辐散

区域转变为辐合区域(图 6b), 中心辐合值在  $10 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  以上, 辐合区域呈东北西南向。此后时次(图略)辐合中心在滇南区域自东向西移动, 滇中以东辐合区域辐合强度逐渐减弱。

“天鸽”位于广西时(24 日 02 时), 滇中以东区域由辐散区转为弱辐合区, 辐合中心位于滇东北区域, 中心辐合值达  $6 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 。随着系统入滇减弱, 滇中以东辐合区加强(图 6c), 辐合中心达  $10 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 。此后时次随着系统的西移, 云南出现了两个大的辐合中心, 滇南辐合中心不断向西移动, 滇东北辐合中心长时间维持。25 日 20 时至 26 日 08 时滇东北的辐合中心逐渐减弱, 转为辐散区; 滇南辐合中心西移到滇西南区域并不断减弱。

分析降水与水汽通量散度场可知, 累积降水大值区均对应着剧烈辐合区和维持时间长的辐合区。可见, 热带低压造成的云南强降水落区分布与三个台风低压形成的水汽辐合区是一致的。

#### 3.3 水汽收支情况

热带低压进入内陆得以维持并产生强降水的必要条件是需要有持续的水汽供给, 根据所用资料分辨率特点, 参照文献[21]方法, 计算降水开始前 24 h 到降水结束时云南水汽量变化情况(表 1), 定量讨论各台风之间水汽输送的特点。

降水开始前 24 h, 中低层上东向、西向均为水汽流入, “海鸥”东向流入最多、“天鸽”东向流入最少, 二者相差约 3 倍, 东向流入均远大于西向流入, 是水汽流入的最大贡献者; 南向“威马逊”为弱流入, “海鸥”的流出远大于“天鸽”流出; 北向“天鸽”为流入, 其余为流出; 净水汽均为水汽正值, 云南在降水开始前已为水汽汇合地, 纬向辐合要大于经向辐散, 数值上“威马逊”最大, “海鸥”最小, 相差  $7.08 \times 10^7 \text{ kg/s}$ , 约 2.7 倍。中高层上, 仅有东向水汽流入, 为水汽输送的最大贡献者, 其余方向均为水汽流出, 净水汽上仅“天鸽”略有水汽盈余, 该层整体上为辐散层。整层上, 东向水汽输送仍为水汽流入最大贡献者, 南向水汽流出最大贡献者, 净水汽均有盈余, “威马逊”最多、“海鸥”最少, 相差  $9.14 \times 10^7 \text{ kg/s}$ , 整层的辐合作用大于辐散作用。

降水期间, 中低层东、西、南向水汽流入, 北向水汽“威马逊”流出、“海鸥”“天鸽”流入, 净水汽量“海鸥”最大, “天鸽”次之, “威马逊”最小; “海鸥”和“天鸽”在中低层以整层辐合为主, “威马逊”以纬向辐合为主。中高层东向、南向水汽流入, 西向、北向水汽流出, 东向流入仍为水汽最大贡献者, “威马逊”和“海鸥”中高层有一定量的水汽盈余, “天鸽”处于亏损状态。从整层水汽来看, “威马逊”和“天鸽”的东、西、南向水汽流入, 北向为水汽流出, “海鸥”的东、南向水汽流入, 西、北向为水汽流出, 净水汽来看, “海鸥”净水汽最大, “天鸽”次之, 均有较大的水汽盈余。

比较降水前后可以发现“威马逊”整层净水汽量约增加 36%, “海鸥”整层净水汽量约增加 13 倍, “天鸽”整层净水汽量约增加 1.9 倍, 说明在“威马逊”台风系统影响前, 云南上空相对较潮湿, 而“海鸥”和“天鸽”系统影响前, 云南上空相对较



干。还可以发现在降水前后，东向水汽流入均为云南净水汽的最大贡献者，南边界次之，这可能与西行到云南的台风系统均自东向移动有关。由

于系统在云南境内维持时间不同，中低层和中高层辐合辐散情况不同，使得累积降水区域和成灾区域不同。

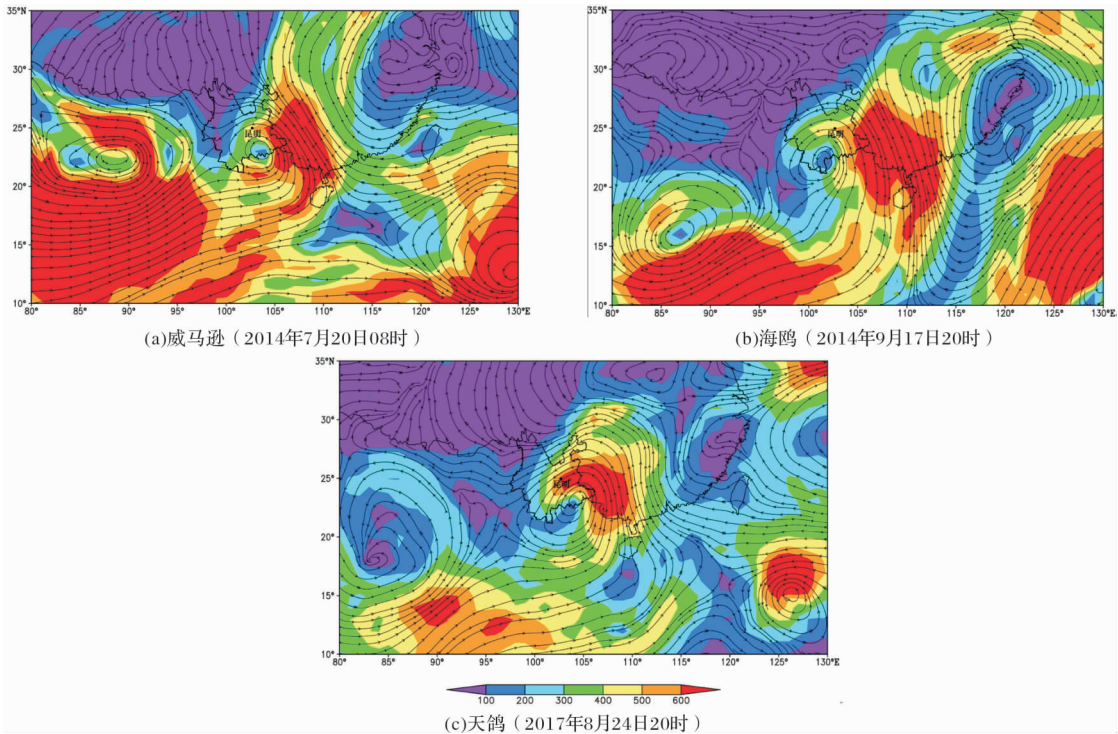


图5 地面到 300 hPa 水汽通量图( $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ )

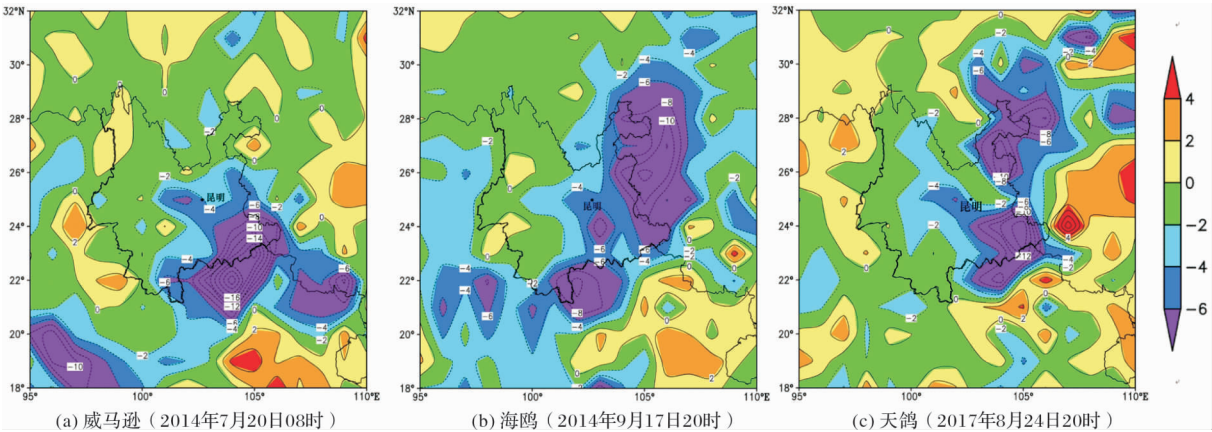


图6 水汽通量散度图( $10^{-5} \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )(图中正值表示辐散, 负值表示辐合)

表1 台风登陆前后云南水汽量变化情况( $10^7 \text{ kg}/\text{s}$ )

名称	层次/ hPa	降水前 24 h 云南水汽平均					降水期间云南水汽平均				
		西向	东向	南向	北向	净水汽	西向	东向	南向	北向	净水汽
威马逊	地面 ~ 700	2. 26	-11. 54	0. 19	2. 74	11. 25	5. 05	-6. 56	5. 77	3. 35	14. 03
	700 ~ 300	-1. 89	-15. 10	-8. 35	5. 21	-0. 36	-2. 25	-6. 38	1. 48	4. 84	0. 76
	地面 ~ 300	0. 37	-26. 64	-8. 16	7. 95	10. 89	2. 79	-12. 94	7. 25	8. 19	14. 79
海鸥	地面 ~ 700	1. 53	-16. 66	-12. 31	1. 71	4. 17	1. 11	-9. 95	7. 41	-2. 05	20. 53
	700 ~ 300	-0. 73	-17. 78	-12. 30	7. 17	-2. 42	-3. 68	-4. 72	4. 85	3. 29	2. 60
	地面 ~ 300	0. 80	-34. 44	-24. 61	8. 88	1. 75	-2. 57	-14. 67	12. 26	1. 24	23. 13
天鸽	地面 ~ 700	1. 03	-5. 30	-3. 28	-2. 72	5. 77	1. 20	-10. 77	3. 35	-0. 03	15. 35
	700 ~ 300	-3. 67	-11. 88	-4. 35	1. 32	3. 29	-8. 31	-11. 52	0. 20	3. 69	-0. 28
	地面 ~ 300	-2. 64	-17. 18	-7. 63	-1. 11	8. 02	-7. 11	-22. 29	3. 55	3. 66	15. 07

注：西、南向值为正表示水汽流入，为负表示水汽流出；东、北向值为正表示水汽流出，为负表示水汽流入。

### 3.4 北界水汽量分析

从图 7 可知,“威马逊”期间,对流层低层从降水开始前到降水结束,整个偏北水汽输送均为正值,为水汽的净流出,说明为南风水汽从云南向境外输送,无偏北风水汽输送参与。“海鸥”期间,在系统影响前 24 h,北向为水汽流出,降水开始时已由水汽流出转为流入,说明有偏北风分量水汽输送到云南,“海鸥”系统西移影响云南的过程中,对流层中低层有偏北气流南下影响云南,形成较强降水。“天鸽”期间,降水前北向从水汽流出变为水汽流入,说明有偏北风分量水汽输送比偏东水汽更早影响云南,“天鸽”系统西移影响云南的过程中,前 24 h 均受到较强偏北风分量影响;降水开始 30 h 后,偏北风分量减小,地面到 700 hPa 的北边水汽转为流出,说明低层冷空气维持时间更长。

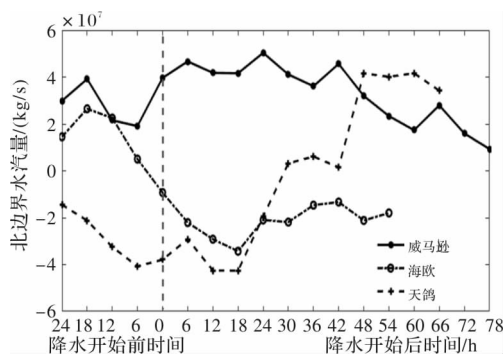


图 7 三次台风降水开始前后地面到 700 hPa 北界水汽量变化  
(单位: kg/s)

## 4 结论

通过以上分析,得出以下结论:

(1) 三个台风低压进入云南的位置和强度不同,其西移过程中造成云南大到暴雨的范围、落区分布明显不同,“天鸽”位置较偏东偏北,从文山富宁进入云南,向西南-西移动;“海鸥”位置则偏西偏南,从红河金平入境云南,一直向西北-西-西南移动;“威马逊”从文山麻栗坡附近进入云南,逐渐加强西北移,最后进入缅甸。“威马逊”西行影响云南持续时间最长达 78 h、影响范围最大,其次是“天鸽”持续影响时间达 66 h、影响范围次之,“海鸥”持续时间为 54 h,影响范围相对较小。

(2) 从水汽输送的情况来看,除台风低压携带水汽外,均有孟湾和副高外围水汽输入。“海鸥”的净水汽量最大为  $20.53 \times 10^7$  kg/s、其次是“天鸽”为  $15.07 \times 10^7$  kg/s,“威马逊”最小为  $14.03 \times 10^7$  kg/s,并且主要集中在地面至 700 hPa 的低层净水汽量对降水影响最大。三个台风系统对云南的水汽输送主要以东向的水汽流入量最大,且为净水汽的最大贡献者,南边界次之。

(3) 西太平洋副高的位置和强度对西行台风进入云南有重要影响。“威马逊”影响过程中,副高偏强偏西,588 线西伸脊点维持在  $105^\circ\text{E}$ ,且

副高北界达到  $40^\circ\text{N}$  附近,副高强度、西伸位置与热带低压的配置造成云南中部及南部的大到暴雨以及持续时间。“海鸥”热带低压进入云南期间副高西伸位置维持在  $108^\circ\text{E}$  以东,副高北界达到  $32^\circ\text{N}$  附近,中心强度位置偏南,有利于热带低压影响云南东部地区。而“天鸽”影响云南时副高偏强、中心强度位置偏北,588 线西伸到  $100^\circ\text{E}$ 、副高北界位置达到  $35^\circ\text{N}$  附近,副高的强度、西伸位置对台风低压影响云南东部、南部起到了关键作用。

(4) “威马逊”造成云南的降水分布主要是系统自身影响,“天鸽”和“海鸥”系统影响云南期间还有偏北风水汽输送,表明这两台风系统携带的水汽与冷空气交汇是造成云南东部出现强降水的重要原因。

## 参考文献:

- [1] 解明恩, 张万诚. 云南短期气候预测方法与模型[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [2] 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.
- [3] 鲁亚斌, 普贵明, 解明恩, 等. 0604 号强热带风暴碧利斯对云南的影响及维持机制[J]. 气象, 2007, 33(11): 49-57.
- [4] 郭荣芬, 鲁亚斌, 李燕, 等. “伊布都”台风影响云南的暴雨过程分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 784-791.
- [5] 梁红丽, 程正泉. 2014 年两次相似路径影响云南台风降水差异成因分析[J]. 气象, 2017, 43(11): 1339-1353.
- [6] 范爱芬, 李秀莉, 董加斌. 三个路径相似降雨特征不同的热带气旋分析[J]. 气象, 2004, 30(5): 33-37.
- [7] 高安宁, 张瑞波. 2011 年秋季强台风“纳沙”导致广西灾害成因分析[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 54-58.
- [8] 阎琦, 赵梓琪, 李爽, 等. 2018 年辽宁两次致灾台风暴雨动力机制对比分析[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 76-84.
- [9] 曹诗嘉, 方伟华, 谭骏. 基于海南省“威马逊”及“海鸥”台风次生海岸洪水灾后问卷调查的室内财产脆弱性研究[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 188-195.
- [10] 徐舒扬, 周德丽, 苗绍慧, 等. 台风“威马逊”造成云南强降水灾害天气分析[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 229-234.
- [11] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [12] 陈联寿, 端义宏, 宋丽莉, 等. 台风预报及其灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [13] 董林, 高拴柱, 许映龙, 等. 2017 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象, 2019, 45(9): 1322-1334.
- [14] 陈国民, 白莉娜, 万日金. 2015 年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 2017, 43(4): 501-507.
- [15] 余贞寿, 闵锦忠, 楼丽银, 等. 台风“凤凰”和“诺瑞丝”路径与降水分布对比分析[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 31-37.
- [16] 谢韶, 苏小山, 吕卫华, 等. 比较分析路径相似两强台风的降雨特征[J]. 海洋学报, 2009, 26(4): 44-52.
- [17] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [18] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴(2015)[M]. 北京: 气象出版社, 2016.
- [19] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴(2018)[M]. 北京: 气象出版社, 2019.
- [20] 姚秀萍, 于玉斌. 2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.
- [21] 张万诚, 郑建萌, 万云霞, 等. 气候变化背景下低纬高原地区水资源的分布及其变化[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [22] 马涛, 张万诚, 郑建萌, 等. 水汽输送与云南 5 月降水关系研究[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 109-116.

## Research on the Weather Causes of Three Landfall Typhoons in Yunnan Province

MA Tao<sup>1,2</sup>, HU Yong<sup>1</sup>, YANG Linhan<sup>3</sup>, ZHANG Wancheng<sup>2,4</sup>, LIU Shaorong<sup>1</sup>,  
SUN Donghan<sup>1</sup>, PEI Yue<sup>1</sup>

- (1. *Zhaotong Meteorological Office of Yunnan Province, Zhaotong 657000, China;*  
2. *Dali Mountain Meteorological Field Science Experimental Base of China Meteorological Administration, Dali 671003, China;* 3. *Hebei Provincial Meteorological Service Center, Shijiazhuang 050021, China;*  
4. *Yunnan Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034, China*)

**Abstract:** Based on FNL reanalysis data, precipitation data in Yunnan, as well as data from China typhoon weather network, meteorological disaster system, and China meteorological disasters yearbook, analysis is made to heavy rainfall and disasters causes in Yunnan province due to Typhoon “Rammasun”, “Kalmaegi” and “Hato”. The results showed that the “Rammasun” situated the hardest hit, which caused the economic losses and casualties more than “Hato” and “Kalmaegi”. The location and intensity of the three typhoons were different when they entered Yunnan, which led to significantly different in the range of heavy rain and distribution of rainfall area in Yunnan during their westward movement. “Hato” entered Yunnan from Funing in Wenshan where was located east-north and moving southwest-south; “Kalmaegi” was south-west, entered Yunnan from Jinping in Honghe and towards the northwest-west-southwest; “Rammasun” entered from Malipo in Wenshan, gradually strengthening during the northwest move. The westbound impact of “Rammasun” in Yunnan lasted up to 78 hours, with the largest scope of impact, affecting 9 cities in Yunnan. Followed by “Hato” which lasted 66 hours and 7 cities were affected in Yunnan. “Kalmaegi” lasted 54 hours and had the least impact range. In terms of water vapor transportation, the maximum net water vapor of “Kalmaegi” was  $20.53 \times 10^7$  kg/s, followed by “Hato” which was  $15.07 \times 10^7$  kg/s, and the minimum was  $14.03 \times 10^7$  kg/s for “Rammasun”, and the maximum water vapor is transported to Yunnan from the east. The location and intensity of the subtropical high in the western Pacific have an important influence on the entry of the westbound typhoon into Yunnan. “Rammasun” affected Yunnan mainly with low-pressure precipitation, while heavy precipitation in the east of Yunnan caused by “Hato” and “Kalmaegi” was related to cold air activities.

**Key words:** Yunnan; flood disaster; position of subtropical high; water vapor transport; Rammasun; Kalmaegi; Hato