

# 相似路径台风“山神”(1223)和“海燕”(1330)降水对比分析

周海波<sup>1</sup>, 白爱娟<sup>1</sup>, 蔡亲波<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 海南省气象台, 海南海口 570203)

**摘要:** 利用NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$ 资料, 卫星雷达资料, 对相似路径台风“山神”和“海燕”降水进行对比分析, 结果表明:(1)地面观测资料表明“山神”的降水强度大于“海燕”; TRMM卫星3B42降水率资料揭示台风发展过程中, “山神”降水偏向于台风北侧, “海燕”较均匀分布在台风南北两侧;(2)通过分析台风南北两侧的水汽通量和垂直风速发现, “山神”水汽和垂直速度配合较好, 能很好解释其降水分布; “海燕”水汽与垂直速度均呈现出明显的非对称性, 可能原因是“海燕”水汽含量小, 垂直速度超过一定强度后对降水产生的作用一样, 导致其降水分布较均匀;(3)台风“山神”“海燕”动能输入区与水汽大值区, 及潜热能显热能输入区与上升运动对应较好。动能输入区水汽通量偏强。能量输入的区域, 随着能量累积, 大气稳定度变弱, 易导致不稳定能量的释放, 使得该区域降水偏多;(4)从台风“山神”“海燕”基本反射率因子场可见, “山神”有台前爬线; 两台风靠近海南岛期间, 强回波长时间维持在海南岛的中部和南部; 当台风移出海南岛时, “山神”后部的强回波带造成的“列车效应”位于东方市; 而“海燕”的分布在五指山东侧。雷达径向速度场显示两台风靠近海南岛时, 中部和南部局地地形造成“逆风区”, 使得该区域气流辐合抬升。最后, “山神”受海南岛地形抬升作用比“海燕”明显。

**关键词:** 海南岛; 相似路径; 台前爬线; 水汽通量

**中图分类号:** P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)03-0041-15

## 1 引言

台风移动路径和登陆点(临近点)对其引发的陆地降水分布有重要影响。许多学者对相似路径暴雨落区不同的台风进行了研究。例如, 林小红等<sup>[1]</sup>从台风结构, 动力条件和水汽条件等方面对比分析了相似路径暴雨落区却差异较大的台风1307号“苏美”和1312号“潭美”, 指出副高气流, 南亚高压气流和 中层冷空气是造成暴雨落区差异的主要原因。余贞寿等<sup>[2]</sup>从天气形势, 水汽通量和水汽通量散度等方面探求台风0505号“海棠”和0604号“碧利斯”相似路径不同暴雨落区成因, 发现台风登陆后暴雨落区差异主要是气旋外围偏东气流和地形的共同作用; 登陆后主要是急流和水汽造成。范爱芬等<sup>[3]</sup>对3个相似路径降水落区不同的热带气旋从天气形

势, 物理量诊断和卫星云图等方面进行对比分析, 发现前期环境场, 影响期间的西风带低槽和副高是造成降水落区差异的主要成因。其他研究者, 例如, 陈雄飞等<sup>[4]</sup>、张建海等<sup>[5]</sup>、何小娟等<sup>[6]</sup>和陈云辉等<sup>[7]</sup>也对相似路径台风不同降水落区的成因进行了一系列的分析研究。本文选取相似路径台风“山神”(1223号)和台风“海燕”(1330号)做对比分析, 两个台风路径典型, 临近点相同, 造成危害大, 但在影响海南岛期间以及在海南岛上引发的降水差异较大, 虽已有许多研究人员, 如周亮萍等<sup>[8]</sup>、祝芳<sup>[9]</sup>、蒋静等<sup>[10]</sup>、黄翠银等<sup>[11]</sup>、张玲等<sup>[12]</sup>, 对“山神”、“海燕”做过分析研究, 但他们都研究的侧重点在路径转向, 强度变化等方面, 没有对它们进行对比分析, 以探求它们的异同点, 希望本文的研究能够弥补这方面的缺失, 为海南省预报台风降水提供一定的参考。

收稿日期: 2016-10-14; 修回日期: 2016-12-04。

基金项目: 科技部国家科技支撑计划项目(2013BAK05B03)。

作者简介: 周海波(1990-), 男, 硕士在读, 主要从事台风降水研究。E-mail: 1415717502@qq.com

## 2 资料与方法

利用海南岛 18 个市县地面常规观测降水资料分析两台风在海南岛引发的过程降水,利用 TRMM 卫星分析发展过程中台风中心南北两侧的降水分布。TRMM 卫星 3B42 降水资料水平分辨率:  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , 时间分辨率: 3 h, 高度 1 层, 雨量值则代表网格平均降雨量。同时利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  再资料分析台风的结构和能量输送, 资料空间分辨率:  $1^\circ \times 1^\circ$ , 时间分辨率: 6 h, 垂直高度: 26 层。最后利用多普勒雷达资料研究台风云系的发展过程。雷达资料采用三亚站点, 仰角:  $0.5^\circ$ , 探测半径: 460 km。

单位质量湿空气的总能量为总比能:  $E = c_p T + gZ + Lq + 0.5V^2$ 。等号右侧第 1 项为显热能, 第二项为位能, 第三项为潜热能, 第四项为动能。其中  $c_p = (1 + 0.86q)c_{pd}$  ( $c_{pd} = 1004.0$ ) 为干空气定压比热,  $L = 2.5 \times 10^6 - 2333(T - 273.16)$  为凝结潜热,  $q$  为比湿,  $Z$  为高度,  $g$  为重力加速度,  $T$  为绝对温度。位能项  $\Phi = gZ$  为位势高度。本文只分析显热能与潜热能。

设单位质量气块能量的个别变化为:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial t} + u \frac{\partial E}{\partial x} + v \frac{\partial E}{\partial y} + w \frac{\partial E}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{dE}{dt} - \bar{V}_k \cdot \Delta E - w \frac{\partial E}{\partial z} \quad (2)$$

式中:  $\frac{\partial E}{\partial t}$  为暴雨区能量的局地变化,  $-\bar{V}_k \cdot \Delta E$  为平流项。假定在我们的讨论范围内能量守恒, 并仅讨论水平方向的能量平流, 则有  $\frac{\partial E}{\partial t} = -\bar{V}_k \cdot \Delta E$ , 此处 E 代表本文讨论的显热能和潜热能。

## 3 台风“山神”和“海燕”简介

台风“山神”于 27 日 00 时(北京时,下同)在西沙群岛增强为台风, 27 日 20 时强度达到最强, 最低中心气压为 960 hPa, 中心附近最大风速达 45 m/s, 2012 年 10 月 27 日 12 时—28 日 08 时台风从三亚南部绕过海南岛, 截至 29 日 17 时统计, 台风“山神”共造成海南三亚、万宁和其他 13 个省市, 126 万人受灾, 经济损失 12 亿元<sup>[13]</sup>。台风“海燕”于 05 日 14 时发展成为台风。07 日 17 时台风强度达到最强, 最低中心气压为 890 hPa, 最大瞬时风速达 75 m/s, 2013 年 11 月 10 日 08 时—11 日 08 时台风从三亚南部绕过海南岛, 截至 11 日 17 时统计, 台风“海燕”共造成海南三亚、万宁和其他 17 个省市, 204 万人受灾, 经济损失 49 亿元<sup>[14]</sup>。

由图 1“山神”、“海燕”移动路径可见, 进入北部

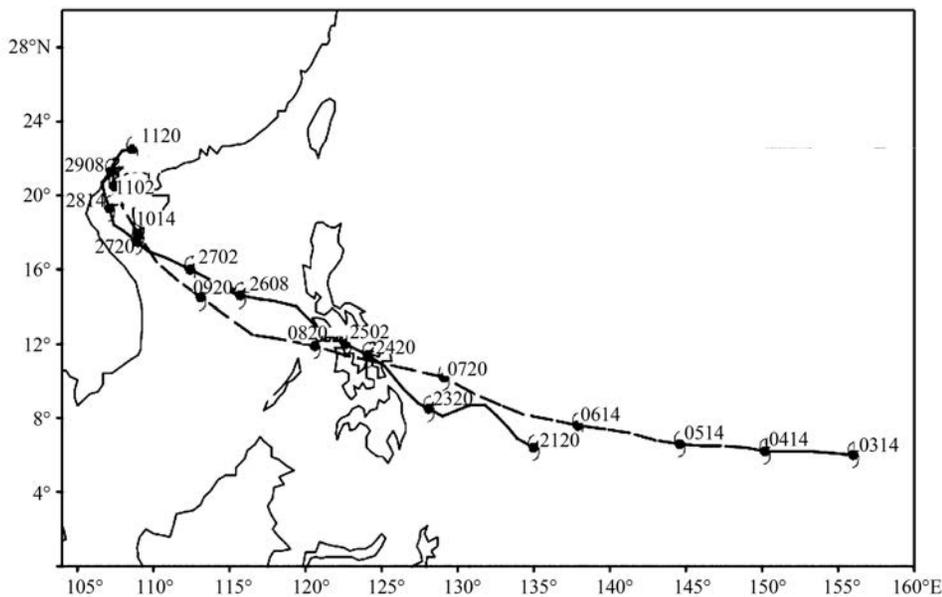


图 1 “山神”(实线)和“海燕”(虚线)移动路径  
(台风符号表征台风位置, 字符串表示时间, 如 0314 为 03 日 14 时)

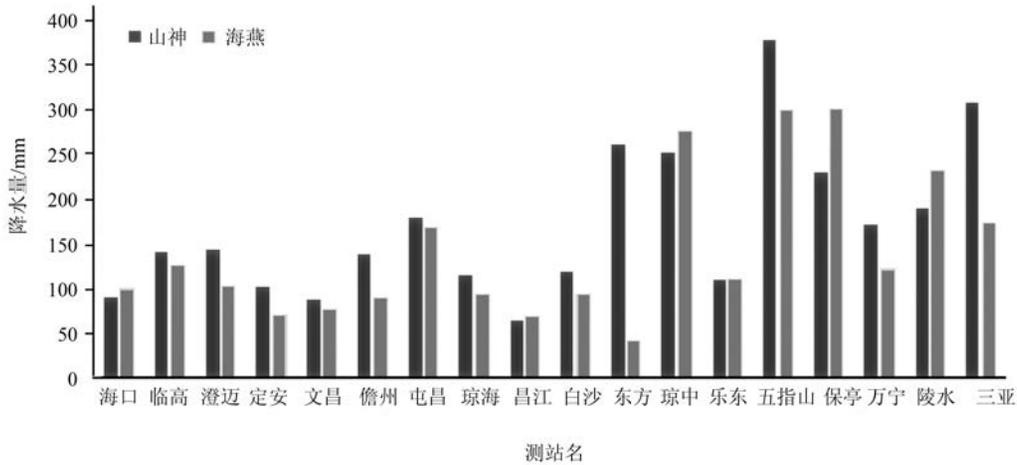


图2 台风“山神”(2012年10月26日08时—29日08时)和“海燕”(2013年11月10日08时—11日08时)在海南省引发的过程累计降水量

湾前,两者大体上都沿西北路径从三亚南部绕过海南省。“山神”在三亚附近路径改变明显,由西北路径转为偏北路径,相对而言,“海燕”路径转向不明显,部分原因可能是因为在影响海南岛期间,“山神”是强台风等级;“海燕”是台风等级。而且对比两台风平均3 h移速(图略)可知,“海燕”的移速普遍大于“山神”,而且海燕最大移速为38.1 km/h,“山神”仅为23.97 km/h。所以,“山神”因其强度大,移速慢受到海南岛地形的影响较大。

图2地面常规观测资料显示两台风引发的过程降水使得海南省各站点雨量均大于50 mm,大于等于250 mm的特强降水集中分布在海南省的南部,其中,受台风“山神”影响,琼中、三亚、东方、五指山累计雨量分别为250 mm、307 mm、260 mm、376 mm,以五指山为最。受台风“海燕”影响,保亭、琼中、五指山累计雨量分别为299 mm、274 mm、274 mm,以保亭为最。初步统计可得,台风“山神”造成的过程降水,50~100 mm的站点3个,100~250 mm的站点11个,250 mm以上的4个;而受台风“海燕”影响,50~100 mm的站点8个,100~250 mm的7个,250 mm以上的3个。“山神”的强降水范围明显大于“海燕”,尤以三亚和东方两站对比最明显:台风“山神”造成三亚和东方的过程降水分别为307 mm和260 mm;而两站受台风“海燕”影响过程降水分别为172 mm和42 mm,其中原因将从海南岛地形抬升和雷达回波等方面进行研究。

#### 4 台风“山神”“海燕”降水分析特征

图3为TRMM卫星3B42降水数据显示的台风“山神”、“海燕”地表降水率。台风“山神”接近于三亚东南部时(见图3a),一强降水中心分布在台风中心北侧,最大降水率为24 mm/h;另一个降水中心位于台风中心的南部,最大降水率为20 mm/h。“山神”临近三亚时(图3b、3c),其中图3b显示降水较均匀分布在台风中心的南北两侧,最大降水率均为12 mm/h。而由图3b可知,绝大多数降水集中分布在台风中心北侧,最大降水率也由12 mm/h增强为30 mm/h;南侧只有少量降水,降水表现出明显的非对称性。台风“山神”远离海南岛时(见图3d),降水集中分布在台风中心南侧,最强降水中心为18 mm/h;而北侧仅有弱降水。

而台风“海燕”的降水呈现不同的分布特征。从台风“海燕”接近到临近三亚期间(见图3e、3f、3g)可知,降水较均匀分布在台风中心的南北两侧,最大降水率为15 mm/h。而在远离海南岛时(见图3h),降水分布与“山神”相反,绝大多数降水分布在台风中心北侧,南侧仅有零星降水。

通过对比两台风在临近海南岛前后的降水率可知,台风“山神”强降水分布呈现南北交替的特征,强降水分布在台风中心北侧时降水率是四个时段里面最强的,所以可以说“山神”临近海南岛前

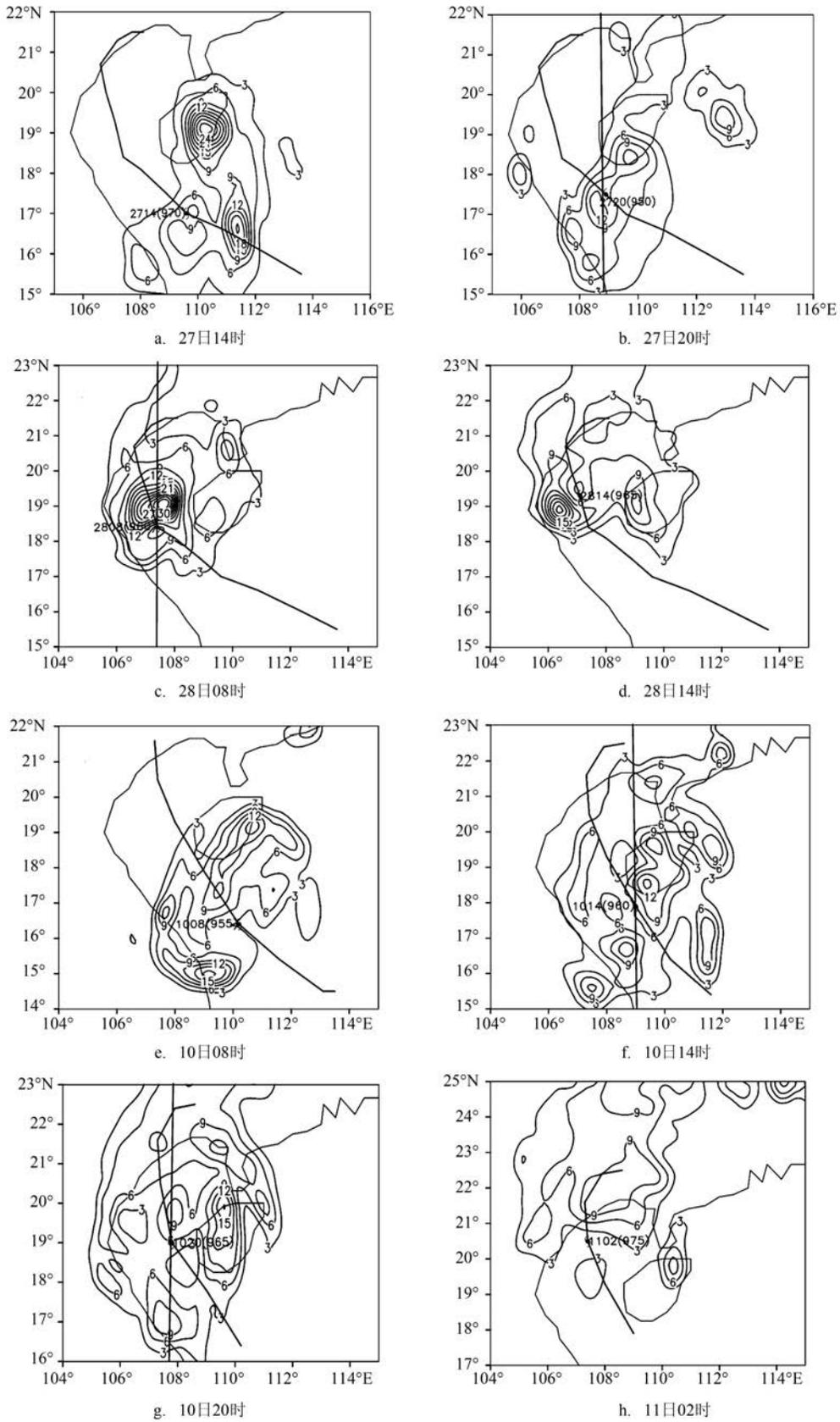


图3 TRMM卫星3B42资料显示“山神”(a-d)和“海燕”(e-h)地表降水率分布(单位:mm/h)

后,强降水偏向于台风中心北侧。而“海燕”降水较均匀分布在台风中心南北两侧。同时可见,“山神”降水范围比较集中,而“海燕”的比较松散,覆盖面积较大。

## 5 台风“山神”、“海燕”结构分析

考虑到台风“山神”、“海燕”降水多呈南北向分布,本文将通过台风中心南北两侧物理量纬度-高度分布来研究两台风降水及其结构特征。为接下来分析简明清晰,选取两台风临近海南省期间位置接近的两个时次为研究时间。“山神”选取2012年10月27日20时和28日08时,中心位置分别位于 $17.6^{\circ}\text{N}$ ,  $108.9^{\circ}\text{E}$ 和 $18.4^{\circ}\text{N}$ ,  $107.4^{\circ}\text{E}$ 。“海燕”选取2013年11

月10日14时和10日20时,中心位置分别为 $17.8^{\circ}\text{N}$ ,  $109^{\circ}\text{E}$ 和 $19^{\circ}\text{N}$ ,  $107.8^{\circ}\text{E}$ 。在下文中,27日20时和10日14时作为第一时次,两台风中心位于三亚东南部;28日08时和10日20时作为第二时次,两台风中心位于三亚西南部。

研究<sup>[15-18]</sup>发现台风的结构与其降水分布有密切的关系。秉承这一角度,下文对“山神”、“海燕”的水汽通量和垂直风速等物理量的空间分布特征进行分析,讨论这些物理量空间分布与降水分布之间的关系。

### 5.1 水汽通量

水汽是形成降水的必要条件。第一时次台风“山神”水汽分布于 $1\ 000\sim 500\ \text{hPa}$ ,水汽大值区位

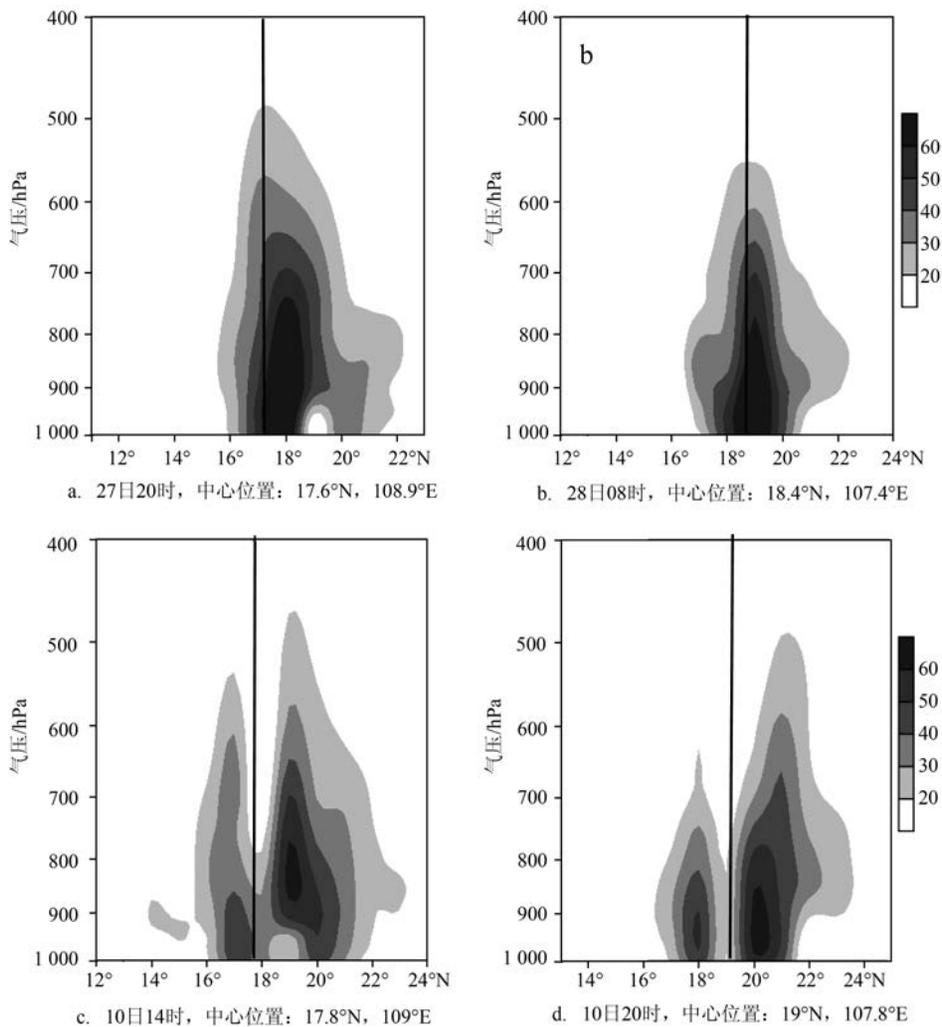


图4 过台风“山神”(a-b)与“海燕”(c-d)中心水汽通量纬度-高度剖面  
(单位:  $10^{-3}\ \text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ , 竖实线为台风中心位置)

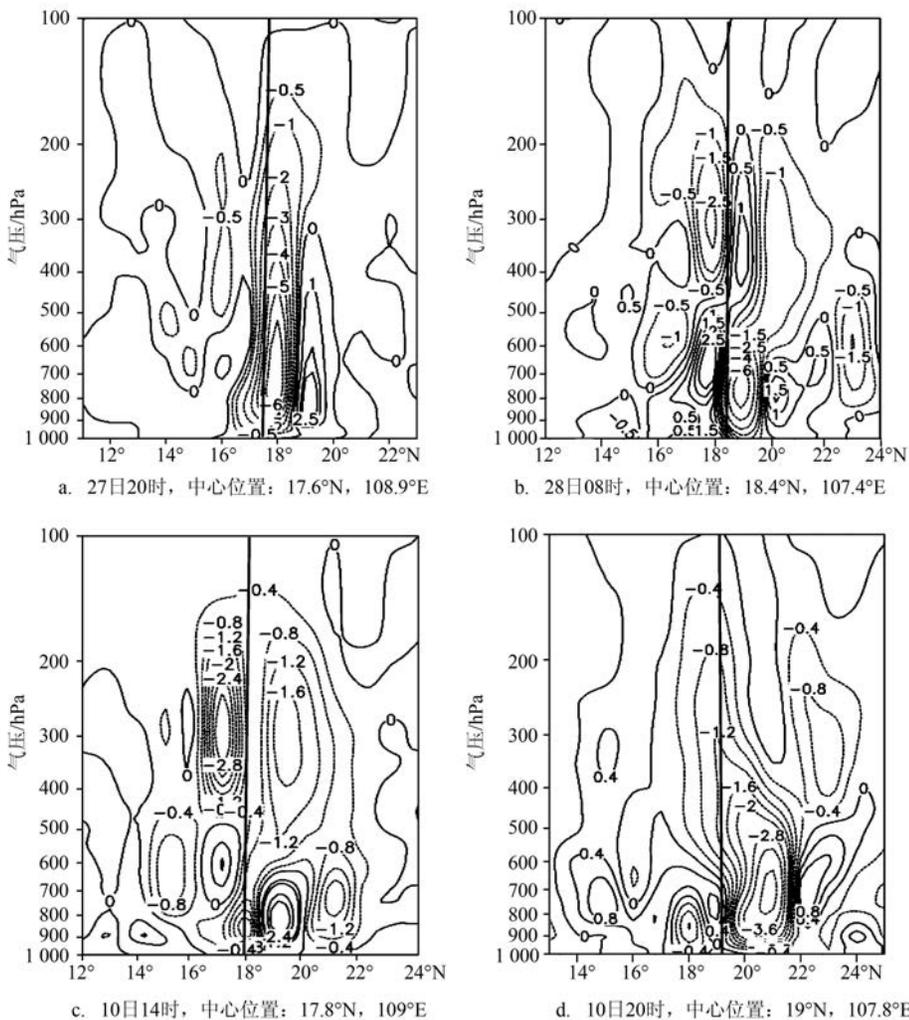
于台风中心附近 1 000~850 hPa 高度处,稍偏向于台风中心北侧,数值达到  $60 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,这一分布特征与图 3b 显示的降水率较均匀分布在台风中心南北两侧配合较好(见图 4a)。第二时次(见图 4b),水汽范围有所减小,最高下降到 550 hPa,水汽大值区位于台风中心北侧 1 000~800 hPa 高度处,强度保持不变,而台风中心南侧只有较少的水汽,该时次台风中心南北两侧水汽分布呈现出明显的非对称性,与图 3c 所揭示绝大多数强降水分布在台风中心北侧相一致。

相比于“山神”中心是水汽大值区,“海燕”中心是水汽低值区。同时,“山神”水汽呈一个整体,而“海燕”水汽分为南北两部分。由图 4c 可知,第一时次“海燕”水汽分布于 1 000~500 hPa,水汽大值区位于台风中心北侧 900~800 hPa,数值达到  $60 \times$

$10^{-3} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,而台风中心北侧水汽大值区强度仅为  $40 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。可见第一时次,“海燕”台风中心北侧的水汽无论强度还是范围都比南侧大,南北两侧水汽呈明显非对称分布,这种形势维持到第二时次(见图 4d)。“海燕”两个时次水汽通量均呈现出明显的非对称性,这与图 3f、3g 所揭示其降水较均匀分布有所差异,因为降水的发生并不总是水汽充足的区域,水汽不是造成“海燕”此次降水分布的主导因素。

## 5.2 垂直速度

降水的发生离不开垂直运动。图 5a 显示第一时次台风“山神”中心附近有覆盖整个对流层的强上升区,最大速度是位于 800~500 hPa 高度处的  $-6 \text{ Pa/s}$ ,紧邻该垂直运动以北 1 000~300 hPa 有



下沉运动,最大速度是位于900~700 hPa高度处的2.5 Pa/s,而在台风中心南侧500~200 hPa有极值为-0.5 Pa/s的上升运动。第二时次(见图5b),垂直速度从低层到500 hPa保持垂直分布,从500 hPa开始垂直速度向北倾斜,可能原因是“山神”强度大移速慢,受到海南岛地形的影响。在台风中心北侧有分布于1 000~200 hPa高度处的强上升运动,最大速度为800~700 hPa高度处的-6 Pa/s。台风中心南侧,对流层中低层多为下沉运动,高层为上升运动,对流活动不明显,降水较弱。“山神”上升运动分布与其降水分布配合较好。

图5c显示第一时次台风“海燕”中心附近为上升运动,该上升运动区在高层分裂为两个:南侧最大上升速度是位于350~250 hPa高度处的-2.8 Pa/s,北侧为400~250 hPa高度处的-1.6 Pa/s。第二时次(见图5d),台风中心北侧有一覆盖整个对流层的强上升运动,最大速度是位于800~650 hPa高度处的-4 Pa/s,该上升运动在中高层延伸至台风中心南侧,同时南侧1 000~700 hPa存在一上升运动区,最大速度为-1.6 Pa/s。通过前面分析可知,“海燕”台风中心北侧水汽偏强,上升速度也表现为同样特征,但考虑到水汽含量较少,超过一定限度的上升运动对降水的影响作用可能一样,表现出其台风南北两侧的降水分布比较均匀。

结合前面的水汽通量分布特征可知,相比于水汽,垂直速度对降水分布影响更大,但也需要结合水汽条件来更加准确地认识降水发生发展。在水汽含量较少的情况下,超过一定限度的垂直速度对降水的影响作用基本一样,这一点值得进一步研究。

综上所述,“山神”强降水偏向于台风北侧,“海燕”较均匀分布在其南北两侧。“山神”水汽和垂直速度配合较好,能够很好解释其降水分布;“海燕”水汽与垂直速度均呈现为明显的非对称,但考虑到“海燕”水汽含量小,垂直速度超过一定数值后对降水的产生作用可能一样,由此导致其降水分布较均匀。下面从能量输送角度来解释台风“山神”、“海燕”水汽和垂直速度分布的原因。

## 6 台风“海燕”、“山神”能量分析

臧传花<sup>[9]</sup>从能量角度对比分析9711号台风与

0509号台风暴雨落区差异的成因,指出能量场差异是造成暴雨区范围和强度。谢安等<sup>[20]</sup>对一个登陆台风进行能量分析。张苏平等<sup>[21]</sup>对一次北方台风暴雨(9406号)能量特征分析,定量讨论了台风变性过程中显热能、潜热能和动能的时空分布特征,指出潜热能平流大于显热能平流,潜热能的贡献约是显热能的两倍。

通过图6“山神”、“海燕”动能平流的纬度输送特征来解释其水汽通量分布。图6a显示台风中心北侧为平流正值,能量输入,最大值为 $0.4 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ;而在南侧为平流负值,能量输出,最低值为 $-1 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 。第二时次(见图6b)“山神”台风北侧为输入项,南侧为输出项,且北侧输入项明显增多,由 $0.4 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 增至 $1.4 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 。图6c、6d显示台风“海燕”北侧为覆盖整个对流层的动能输入区,南侧为动能输出区。两时次台风北侧最大输入值均是位于800~700 hPa高度处的 $1.4 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ,南侧最大输出值是位于700~300 hPa高度处的 $-0.2 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 。

台风“山神”、“海燕”北侧为动能大值区,可能原因是台风为逆时针螺旋结构,右半圆的风向与台风移向一致,有利于风速叠加。台风风速常达到急流强度,而急流的一个作用就是输送水汽,所以台风“山神”、“海燕”水汽大值区均位于其北侧。

潜热能与上升运动密切相关。下文通过潜热能和显热能的水平输送来研究累积能量引发降水发生的机制,将其平流之和简称为能量平流。图7a显示第一时次台风“山神”能量平流主要集中在对流层的中低层。台风中心附近1000~500 hPa高度处有能量汇入,最大输入量为位于900~800 hPa高度处的 $16 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ,对应台风中心附近上升运动;台风中心南北两侧均有能量的耗散,其中台风中心南侧近地面处能量耗散最大,为 $-8 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 。第二时次(见图7b),台风中心北侧为能量汇入,最大值是位于800 hPa高度处的 $9 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ,而台风中心南侧为能量输出,最大值是位于地面附近的 $-15 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ 。

图7c显示第一时次台风“海燕”能量平流输送分为两部分:一是1 000~800 hPa能量分布。台风中心南侧为能量输入,最大值为 $5 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ;北侧为能量输出,最低为 $-6 \times 10^1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$ ;二是

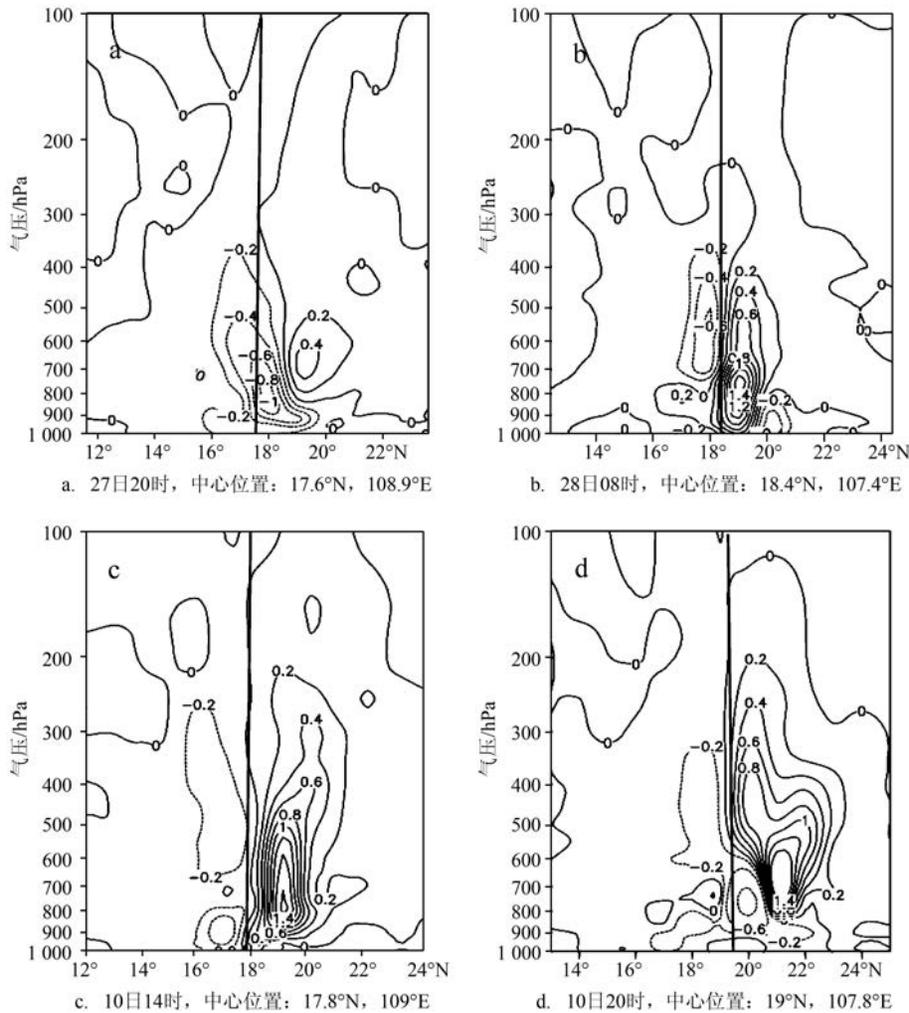


图6 过台风“山神”(a—b)与“海燕”(c—d)中心动能平流纬度—高度剖面(单位: $10^{-1}\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ , 竖实线为台风中心位置)

800~200 hPa 能量分布。台风中心南侧为能量输出,最低为 $-6\times 10^1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ ;北侧为能量输入,最大为800~600、500~400 hPa 高度处的 $5\times 10^1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ 。16N左右1 000~800 hPa 和19°N左右800~200 hPa 都有能量的累积,对应图5c中相应区域的上升运动,19°N左右1 000~800 hPa 能量输出与图5c相应区域的下沉运动。第二时次(见图7d),台风中心北侧20°N左右900~250 hPa 高度处有能量输入,最大值是位于800~700 hPa 高度处的 $10\times 10^1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ ,对应图5d中相应区域的强上升运动;台风中心南侧16°~18°N 近地面有能量输入,对应图5d中相应区域的上升运动。

可见,台风“山神”、“海燕”动能大值区与其水

汽大值区配合较好,能量输入输出与垂直速度对应较好。台风北侧的动能大值区的急流输送水汽,导致两台风北侧水汽偏大。能量输入的区域,随着能量累积,大气稳定度变弱,易导致不稳定能量的释放,相应地,该区域降水偏多。

## 7 台风“山神”、“海燕”雷达回波特征分析

雷达回波可以揭示台风云系中小尺度系统的发生发展。陈永林等<sup>[22]</sup>对0509号台风(“Matsa”)台前飚线的特征进行分析,发现台前飚线移动方向与台风移动方向一致,并且台风飚线远离母体后,因

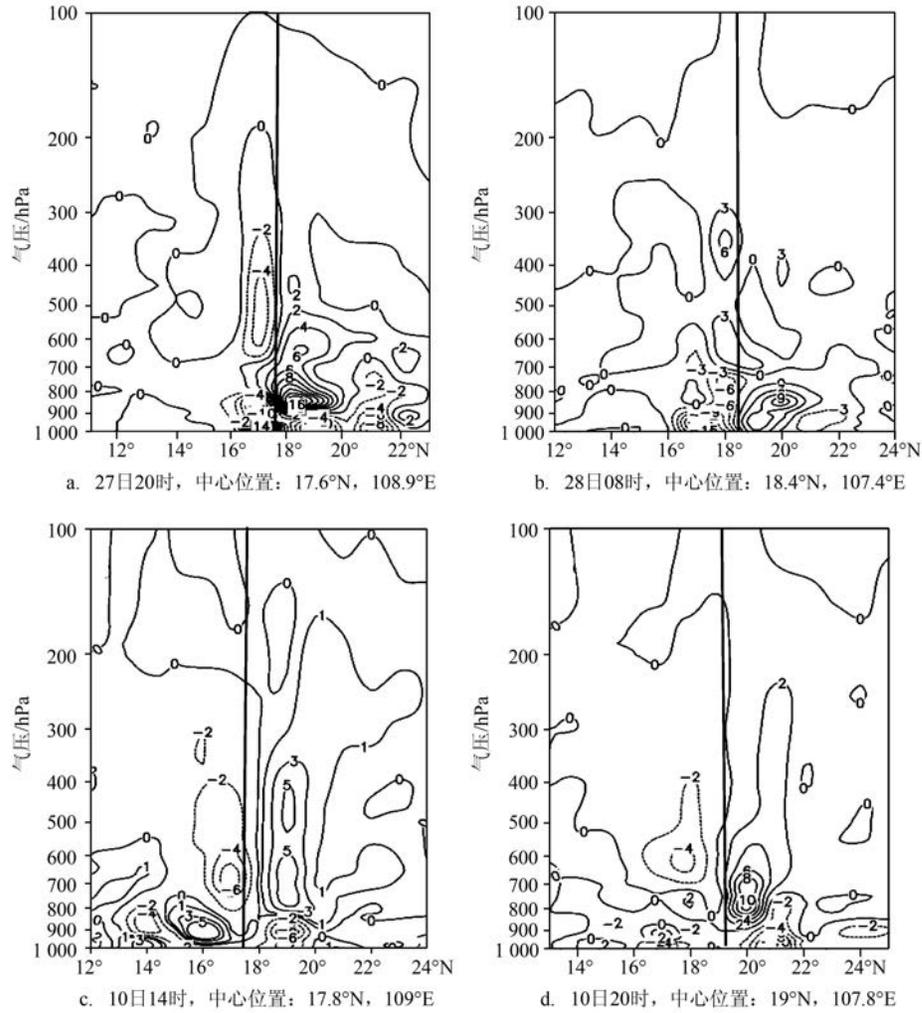


图7 过台风“山神”(a—b)与“海燕”(c—d)中心显热能潜热能平流之和纬度-高度剖面  
(单位: $10^{-1}\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ , 竖实线为台风中心位置)

能量得不到补给而快速减弱消失。黄小玉等<sup>[23]</sup>对台风“碧利斯”引发湘东南特大暴雨的回波特征分析发现,“列车效应”是造成该特大暴雨的主要特征,另外低层由于受地形摩擦作用湍流活动很强。张沛源和陈荣林<sup>[24]</sup>指出“逆风区”是产生暴雨的中小尺度天气系统。本文选取影响海南岛期间距离台风“山神”、“海燕”最近的三亚雷达站数据为研究数据,以期更好更准确分析台风云系中小尺度系统的演变。

### 7.1 基本反射率因子

根据台风“山神”基本反射率回波特征(见图8),将云系的发展分为3个过程:开始阶段、影响阶段、消散阶段。

开始阶段:10月27日02—07时台前飑线影响海南岛东南部。27日02时,一弧形强对流回波带移至海南岛东南部。该回波带位于台风云系移动方向前部,说明它移速较快,同时最大回波强度大于50 dBz,结合这些特征可知,该强回波带为台前飑线。03时,飑线向西北方向移动,平均移速为50 km/h,同时飑线发展,长度横跨整个海南岛。04时,飑线前部抵达海南岛东南沿海,飑线范围和强度维持不变,移速由50 km/h降为25 km/h,有利于海南岛东南部降水的累积。05时,飑线强度变弱,零星强回波单体出现在西南沿海,大部分强回波位于海上。06时,飑线移至三亚,其范围缩小,强度变弱。07时,台前飑线长时间远离台风母体,能量得不到补充而消散。

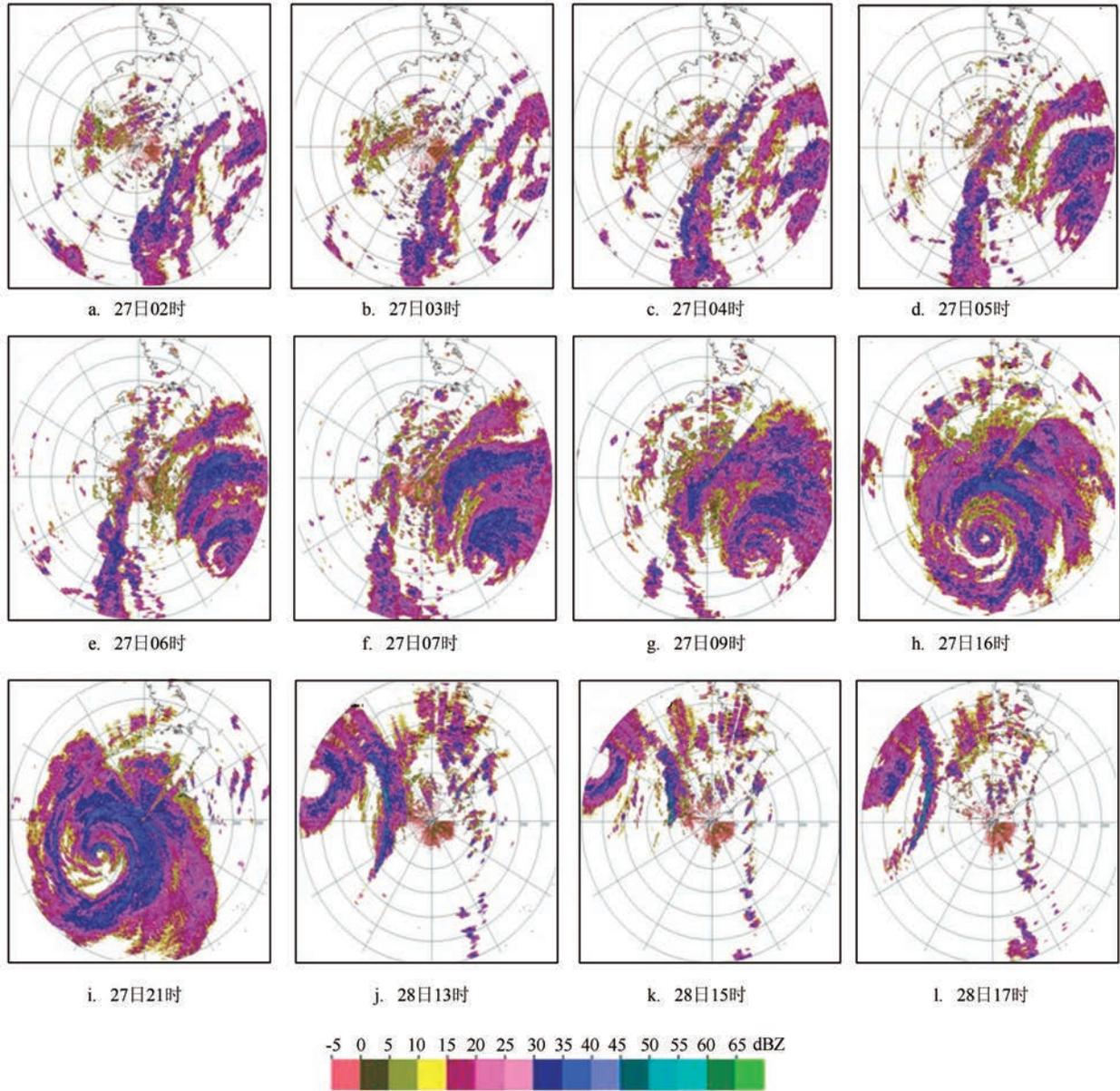


图8 台风“山神”2012年10月27日02时—28日17时雷达基本反射率(单位:dBz, 三亚站, 仰角:0.5°)

影响阶段: 台风云系影响海南岛中部和南部。09时, 台风云系位于海南岛的东南部, 最大回波强度大于35 dBz, 台风眼清晰, 不闭合, 10—15时, 台风云系基本维持这个形势, 向西北方向缓慢移动。16时, 台风外围螺旋云系移至三亚, 大部分云系位于三亚南部海上, 最大回波强度超过35 dBz, 台风眼清晰, 紧密, 闭合。21时, 台风外围螺旋云系开始影响海南西南部, 这种形势一致维持到28日12时, 这期间云系回波强度逐渐变弱。

消散阶段: 台风后部外围螺旋雨带影响东方

市。28日13时, 绝大多数台风云系已离开海南岛, 但台风后部有一外围螺旋雨带维持在海岛西南部, 此回波带最大强度大于50 dBz, 稳定少动, 一直维持到16时, 造成“列车效应”, 使得东方市的过程降水明显多于周围站点。17时, “山神”对海南岛的影响结束。

根据台风“海燕”基本反射率回波特征(见图9), 可将其发展演变过程分为影响阶段和消散阶段。

影响阶段: 台风云系影响海南岛的中部和南

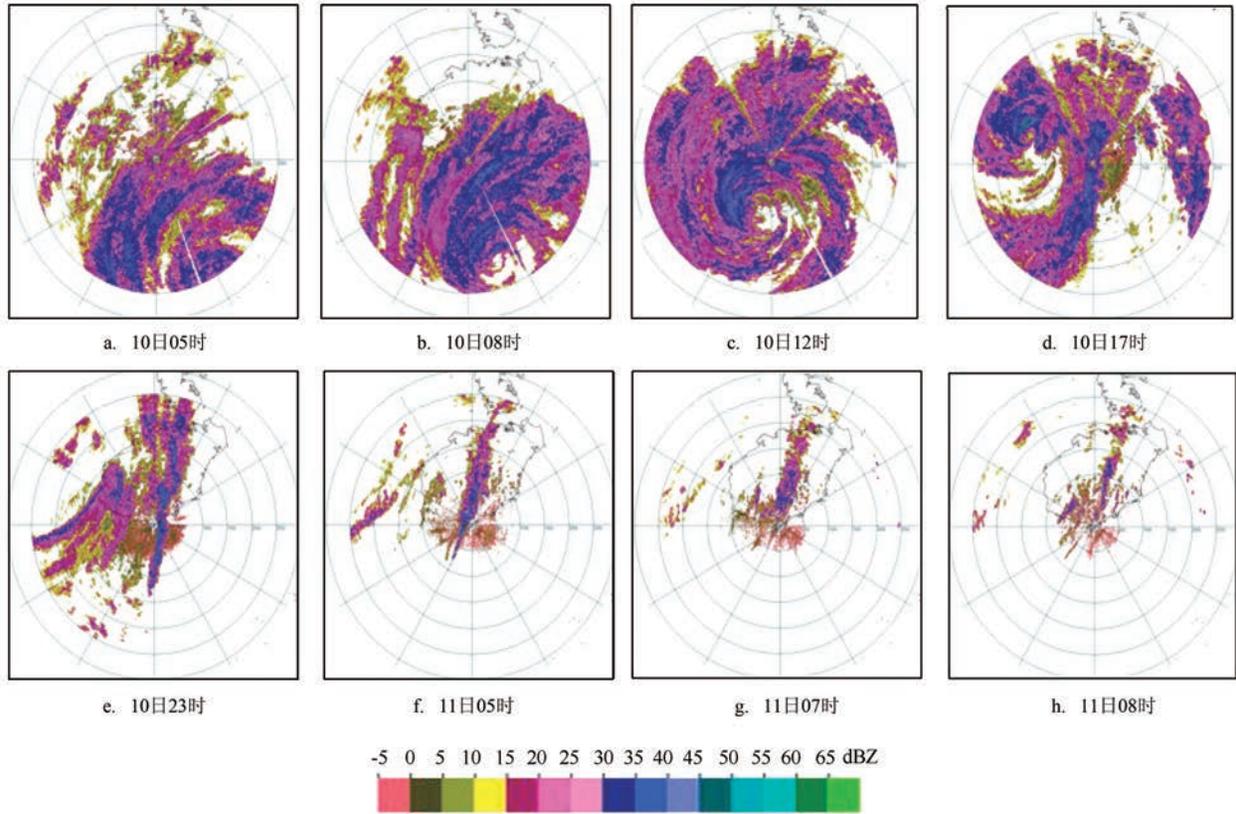


图9 台风“海燕”2013年11月10日05时—11日10时雷达基本反射率(dBz, 三亚站, 仰角:0.5°)

部。10日05时,台风云系前缘移至海南岛东南沿海区域。08时,外围螺旋雨带影响海南岛东南,最强回波强度超过35 dBz,台风眼清晰,闭合。台风云系向西北方向移动,12时,外围螺旋雨带开始影响海南岛西南部,这种形势一直维持到16时,这期间回波强度逐渐减弱,移动方向后部的台风云系随台风气旋环流从10日17—23时影响海南岛东南部,最大强度。而此期间台风云系前部的回波只剩零星强回波。

消散阶段:台风后部外围螺旋雨带影响五指山东部。10日23时,绝大多数台风云系已离开海南岛,但台风后部有一南北向线状外围螺旋雨带维持五指山东部,此回波带最大强度大于50 dBz,稳定少动,形成“列车效应”,一直维持到11日05时,使得五指山站点的过程降水明显偏强。06时,强回波带逐渐减弱,10时,“海燕”对海南岛的影响结束。

从“山神”、“海燕”基本反射率因子分布特征可见,台风靠近海南岛前,“山神”有台前飢线;台风靠

近海南岛期间,强回波长时间维持在海南岛的中部和南部,相应地,该区域有较多降水;当台风主体移出海南岛时,“山神”后部的强回波带造成的“列车效应”位于东方市,东方市过程降水260 mm;而“海燕”的分布在五指山东侧,五指山过程降水298 mm。

## 7.2 径向速度

通过分析台风“山神”雷达径向速度场(见图10)可见,“山神”刚开始影响海南岛(见图10a),位于海上部分的零速度线完整,清晰,呈线性分布;位于陆地上的部分零速度线短,清晰,呈弧形分布。而当“山神”影响海南岛一段时间后(见图10b),陆地上台风径向速度零速度线模糊,形成“逆风区”,造成气流抬升明显;海上的零速度线维持前述特征。可见局地地形使得台风气流发生作用,形成中尺度涡旋,在“山神”北部云系影响海南岛南部时,一致维持这一特征,是造成该地区降水时间长的原因之一。台风“海燕”径向速度场分布特征(见图

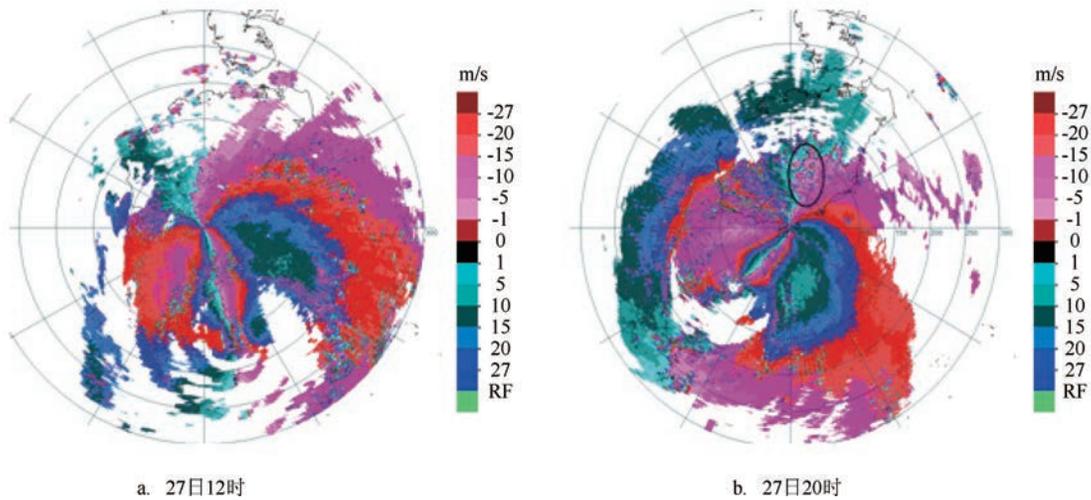


图10 台风“山神”径向速度(单位:m/s,仰角:0.5°,三亚站)分布

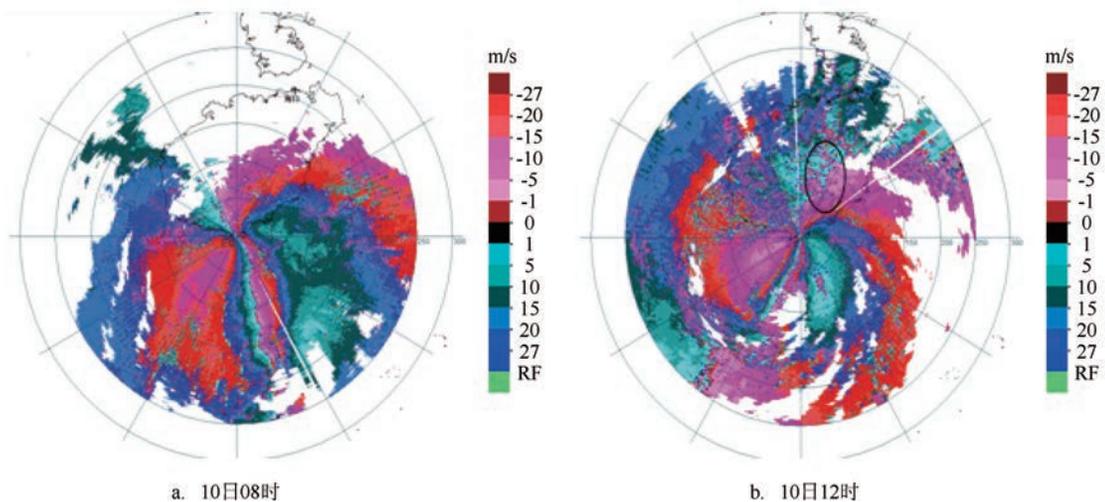


图11 “海燕”径向速度(单位:m/s,仰角:0.5°,三亚站)分布

11)与“山神”类似。下文继续对地形对降水的影响进行分析。

## 8 地形作用

地形对台风降水的幅度有明显的影响。许向春等<sup>[25]</sup>对2005年台风“达维”经过海南岛过程非对称降水的成因分析发现,海南岛山脉地形通过刺激小对流单体的形成与合并发展,从而促进中尺度降水系统形成,最终致使海南岛南部暴雨增幅。杨仁勇等<sup>[26]</sup>通过对比控制试验和地形敏感性试验模拟的24~48 h降水量发现,有地形时,海南岛西部地区

24 h降水量普遍有50 mm以上的增幅,西部山区有150 mm以上增幅,西部山区主峰北侧有350 mm增幅。

图12显示台风“山神”、“海燕”影响海南岛时五指山地形引发的垂直速度。台风自西向东绕过海南岛影响岛的中部和南部时,五指山以东是迎风坡,以西是背风坡。图12a显示“山神”在迎风坡1 000~300 hPa有一深厚上升运动区,最大上升速度是位于900 hPa的-2.4 Pa/s;背风坡是深厚的下沉运动。台风“海燕”影响海南岛时(见图12b),迎风坡1 000~500 hPa为上升运动区,最大速度是位于900 hPa高度处的-1.8 Pa/s。可见,“山神”的上升速

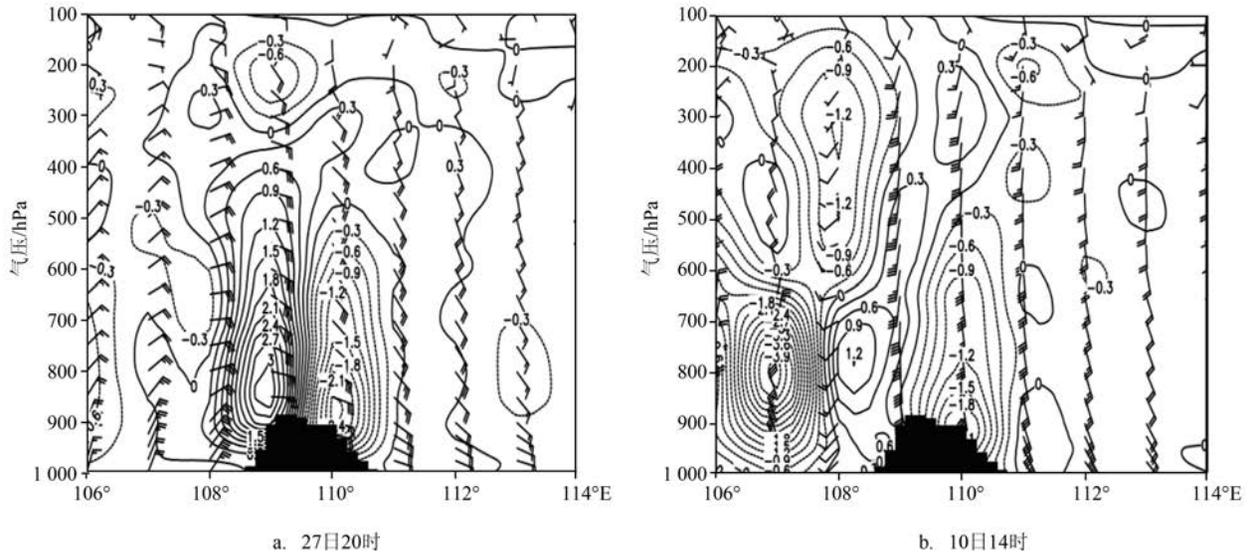


图 12 沿 19°N 水平风场(单位:m/s),地形(阴影)和垂直速度(单位:Pa/s,实线:下沉;虚线:上升)的经度-高度剖面

度大于“海燕”,相应地,“山神”过程降水大于“海燕”。地形抬升作用和海陆摩擦辐合作用使得台风降水增强。

## 9 结论

利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料,卫星雷达资料和地面常规观测资料,选取相似路径台风“山神”(1223号)和“海燕”(1330号)为研究对象,两者根据 2011—2014 年登陆或影响海南岛路经典型,登陆地点具有代表性,强度达到强台风,造成危害大等标准选取出来,可以代表一类相似路径台风,本文对结构及其降水的异同特征进行分析,主要结论如下:

(1)“山神”的强降水范围明显大于“海燕”;在台风发展过程中,“山神”降水偏向于台风中心北侧,“海燕”较均匀分布在南北两侧;

(2)通过分析台风中心南北两侧的水汽通量和垂直风速发现,山神”水汽和垂直速度配合较好,能够很好解释其降水分布;“海燕”水汽与垂直速度均呈现为明显的非对称,与此配合较差,但考虑到“海燕”水汽含量小,垂直速度超过一定数值后对降水的产生作用可能一样,由此导致其降水分布较均匀;

(3)台风“山神”、“海燕”能量输入输出与垂直

速度对应较好。台风“山神”“海燕”动能输入区与水汽大值区,及潜热能显热能输入区与上升运动对应较好。能量输入的区域,随着高度增加,能量递减,大气稳定度变弱,易导致不稳定能量的释放,相应地,该区域降水偏多;

(4)从“山神”、“海燕”基本反射率因子分布特征可见,台风靠近海南岛前,“山神”有台前飑线;台风靠近海南岛期间,强回波长时间维持在海南岛的中部和南部,相应地,该区域有较多降水;当台风主体移出海南岛时,“山神”后部的强回波带造成的“列车效应”位于东方市;东方市过程降水 260 mm;而“海燕”的分布在五指山东侧,五指山过程降水 298 mm。雷达径向速度场显示台风靠近海南岛时,局地地形造成“逆风区”,气流辐合抬升;

(5)“山神”受海南岛地形抬升作用比“海燕”明显。

## 参考文献:

- [1] 林小红,刘爱鸣,刘通易,等. 2013 年“苏力”与“潭美”相似路径台风大暴雨落区差异分析[J]. 热带气象学报, 2015, 31(4): 517-525.
- [2] 余贞寿,陈敏,叶子祥,等. 相似路径热带气旋“海棠”(0505)和“碧利斯”(0604)暴雨对比分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1): 37-47.
- [3] 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.
- [4] 陈雄飞,刘峰,杨群超,等. 相似路径台风“麦莎”和“韦帕”暴雨成

- 因对比分析[J]. 山东气象, 2013, 33(2): 5-11.
- [5] 张建海, 诸晓明, 王丽华. 台风Haitang和Matsa引发浙江暴雨强度和分布的对比分析[J]. 热带气象学报, 2007, 23(2): 126-134.
- [6] 何小娟, 徐一晖, 林佩玲, 等. 两个相似路径热带气旋环流特征的对比分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(S1): 14-16.
- [7] 陈云辉, 万明, 吴凡, 等. 相似路径台风“杰拉华”和“海燕”降水差异成因分析[J]. 气象与减灾研究, 2014, 37(4): 18-23.
- [8] 周亮萍, 李仲民. 1223号强台风“山神”特点浅析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(S1): 12-14.
- [9] 祝芳. 1223号强台风“山神”过程分析[J]. 科技论坛, 2013(8): 134-135.
- [10] 蒋静, 黄滢, 凌宗良, 等. 1223号台风“山神”转向成因分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(4): 9-13.
- [11] 黄翠银, 农孟松, 陈剑飞. 台风“山神”和“海燕”对广西影响对比分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(2): 7-13.
- [12] 张玲, 许映龙, 黄奕武. 1330号台风海燕强烈发展和快速移动原因分析[J]. 气象, 2014, 40(12): 1464-1480.
- [13] 台风“山神”致海南126万人受灾[EB/OL]. 新华网, (2012-10-30), <http://news.weather.com.cn/1737787.shtml>.
- [14] 杨曦. “海燕”致海南204万人受灾6人死亡经济损失49亿元[EB/OL]. 南海网, (2013-11-11), <http://news.hainan.net/hainan/yaowen/yaowenliebiao/2013/11/11/1631701.shtml>.
- [15] Qian, C.-H., 2010: Analysis and numerical simulation of Morakot rainfall. [C]//Special lecture, 42nd Typhoon Committee meeting, Singapore, 25-29 January.
- [16] 石顺吉, 林秀斌, 吴陈峰, 等. 强热带风暴“莲花”(0903)非对称降水结构分析[J]. 海洋预报, 2010, 27(5): 64-71.
- [17] Lonfat M, Marks F D Jr, Chen S S, et al. Precipitation distribution in tropical cyclones using the tropical rainfall measuring mission (TRMM) microwave imager: a global perspective[J]. Monthly Weather Review, 2004, 132(7): 1645-1660.
- [18] Chan J C L, Liang X D. Convective asymmetries associated with tropical cyclone landfall. Part I: f-plane simulations[J]. Journal of the atmospheric sciences, 2003, 60(13): 1560-1576.
- [19] 臧传花. 9711号台风与0509号台风能量场对比分析[J]. 山东气象, 2006, 26(1): 5-9.
- [20] 谢安, 肖文俊, 陈受钧. 登陆台风的能量学分析[J]. 气象学报, 1982, 40(3): 289-299.
- [21] 张苏平, 李春, 白燕, 等. 一次北方台风暴雨(9406)能量特征分析[J]. 大气科学, 30(4): 645-659.
- [22] 陈永林, 王智, 曹晓岗, 等. 0509号台风(Matsa)登陆螺旋云带的增幅及其台前飚线的特征研究[J]. 气象学报, 2009, 67(5): 828-839.
- [23] 黄小玉, 胡文东, 孙弘, 等. “碧利斯”与“圣帕”引发湘东南特大暴雨雷达回波对比分析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 626-633.
- [24] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 373-378.
- [25] 许向春, 于玉斌, 王式功, 等. “达维”(2005)台风经过海南岛过程非对称降水的成因分析[J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 687-697.
- [26] 杨仁勇, 闵锦忠, 郑艳. 强台风“纳沙”引发的特大暴雨过程数值试验[J]. 高原气象, 2014, 33(3): 753-761.

## Analysis of precipitation associated with the similar track typhoon “Sontinh” (1223) and “Haiyan” (1330)

ZHOU Hai-bo<sup>1</sup>, BAI Ai-juan<sup>1</sup>, CAI Qin-bo<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225 China;

2. Hainan Provincial Meteorological Observatory, Haikou 570203 China )

**Abstract:** Using NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  analysis data, satellite and radar data, the characteristics of precipitation of typhoon ‘SONTINH’ and ‘HAIYAN’ with similar track were analyzed and compared. The results displayed as follows: (1) The ground-based observations showed that the precipitation intensity of typhoon ‘SONTINH’ was stronger than that of typhoon ‘HAIYAN’. The TRMM satellite data revealed that in the course of typhoon development of ‘SONTINH’, the heavy rainfall was biased to the north side of the typhoon, but the rainfall in the ‘HAIYAN’ was evenly distributed on the north and south sides of the typhoon. (2) By analyzing the water vapor fluxes and vertical winds on the north and south sides of the typhoon, it was found that the water vapor and the vertical velocity of typhoon ‘SONTINH’ were well matched, which can explain the precipitation distribution well. The

water vapor and the vertical velocity of the typhoon ‘HAIYAN’ showed obvious asymmetry, which was different with the precipitation distribution. The reason was that the water content of ‘HAIYAN’ is small, vertical velocity exceeded a certain value on the precipitation may have the same effect, resulting in a more uniform distribution of precipitation. (3) The input zone of kinetic energy and the large value area of water vapor, the input zone of sensible heat, latent heat and the vertical speed of the typhoon ‘SONTINH’ ‘HAIYAN’ corresponded well. The water vapor flux in the kinetic energy input zone was stronger. As the energy accumulated, the atmospheric stability became weaker, which led to the release of unstable energy. Correspondingly, the precipitation in the region was more than normal. (4) From the basic reflectivity factor field of the two typhoons, ‘SONTINH’ had the pre-TC squall line. When the two typhoons were nearby the Hainan Island, strong echoes were maintained in the middle and south parts of Hainan Island for a long time. While once the typhoons were away from the Island, the ‘train effect’ caused by the strong echo zone in the rear of ‘SONTINH’ was located in Dongfang city, and the distribution of ‘HAIYAN’ was on the east of Wuzhishan. Radar radial velocity field showed that two typhoons near the Hainan Island, the central and southern local terrain caused by ‘upwind area’. Finally, the Hainan Island topographic effect to ‘SONTINH’ was stronger than the ‘HAIYAN’.

**Key words:** the Hainan Island; the similar track; the pre-TC squall line; water vapor fluxes