

麦子, 李英, 魏娜. 2017. 登陆热带气旋在鄱阳湖区的活动特征及原因分析 [J]. 大气科学, 41 (2): 385–394. Mai Zi, Li Ying, Wei Na. 2017. Characteristics of landfalling tropical cyclone activities over the Poyang Lake basin and mechanisms analysis [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 41 (2): 385–394, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1605.16129.

登陆热带气旋在鄱阳湖区的活动特征及原因分析

麦子 李英 魏娜

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

摘 要 鄱阳湖流域是受登陆热带气旋(简称 TC)影响最为频繁的内陆地区之一。利用中国气象局热带气旋年鉴资料、地面观测资料、中国气象局一日两次的常规探空资料以及 NCEP/NCAR 一日四次的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析资料, 研究了过鄱阳湖 TC 的活动特征及其影响。首先统计 1949~2012 年进入鄱阳湖区域 61 个 TC 的活动特征发现, 平均而言进入鄱阳湖地区的 TC 具有移速减慢, 强度衰减变缓及降水增幅特征。大尺度环流场分析表明, 登陆进入鄱阳湖区的 TC 处于太平洋副热带高压和东亚大陆高压之间的鞍形场中, 引导气流减弱, 水平风垂直切变减小, 有利于其移速减慢、衰减减缓以及降水累计。几个典型 TC 个例的观测分析发现, TC 降水降低了鄱阳湖区浅层土壤温度和低层大气温度及其日较差, 但增加了土壤和空气湿度。鄱阳湖区域下垫面较高的地面热量有利于 TC 维持。而湖区对流有效位能在 TC 进入后明显降低, 说明 TC 触发了该区域对流有效位能释放, 有利于其降水增幅。

关键词 登陆热带气旋 鄱阳湖 维持 降水增幅

文章编号 1006-9895(2017)02-0385-10

中图分类号 P458

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1605.16129

Characteristics of Landfalling Tropical Cyclone Activities over the Poyang Lake Basin and Mechanisms Analysis

Mai Zi, LI Ying, and Wei Na

State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract The Poyang Lake basin is one of the inland areas in China that are under the most frequent influences of post-landfall tropical cyclones (TC). The interaction between TC and the underlying surface over this region is investigated using the TC best track data, surface and sounding observations and global meteorological re-analysis data. Statistical analysis of the data from 1949–2012 shows that the moving speed of TC reduced once they entered the Poyang Lake basin and their decaying rate became lower while the associated precipitation increased. Analysis of large-scale circulation indicates that TC entering Poyang Lake basin were located at the “saddle region” formed between the Pacific subtropical high and East Asian continental high. The weakened steering flow and reduced vertical shear of horizontal winds in the “saddle region” are favorable for the slowing of TC movement and decaying rate and precipitation increase. Several typical TC cases are selected to further examine the condition changes in the underlying surface during periods of TC influence. It is found that both the top layer soil temperature and lower atmosphere temperature decreased with

收稿日期 2016-02-09; **网络预出版日期** 2016-05-16

作者简介 麦子, 女, 1991 年出生, 硕士研究生, 主要从事热带气旋研究。E-mail: maizi0421@163.com

通讯作者 李英, E-mail: liying@camsma.cn

资助项目 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目 2015CB452804, 国家自然科学基金项目 41175063、41475055、41275066

Funded by National Basic Research Program of China (973 Program) (Grant 2015CB452804), National Natural Science Foundation of China (Grants 41175063, 41475055, and 41275066)

reduced diurnal variations, while the soil water content and air humidity increased obviously due to the rainfall induced by TC. Relatively large heat storage over the Poyang Lake basin is favorable for the maintaining of TC. The convective available potential energy (CAPE) decreased significantly over this region under the impact of TC, indicating that TC triggered the release of CAPE and thus increased rainfall.

Keywords Landfalling tropical cyclone, Poyang Lake, Maintenance, Rainfall increase

1 引言

我国是受热带气旋（简称 TC）影响的重灾国家，不仅绵长的沿海地带频受 TC 袭击，广大内陆地区也深受其影响。我国江西、安徽省是受 TC 袭击最多的内陆区域（魏娜等，2013）。该区域地处长江中下游鄱阳湖流域，水体丰富，是我国重要的粮食产地。同时 TC 引起的大风、暴雨以及泥石流等灾害常给该区域带来严重损失。如 TC 云娜（Rananim, 0414）和 TC 泰利（Talim, 0513）经此区域时停滞不前，引发数日强降水，造成洪涝、滑坡和泥石流等严重灾害。近年来登陆 TC 在内陆的活动机理越来越受到关注，而下垫面状况是影响登陆 TC 活动的一个重要方面，通过其表面通量的垂直输送对登陆 TC 产生重要影响（Ooyama, 1969; Rosenthal, 1971; 张福青等，1994; Black and Holland, 1995）。不少研究指出下垫面地形对 TC 强度和降水分布产生的重要影响（Wu et al., 2002; Cangialosi and Chen, 2004; 钮学新等，2005; 冀春晓等，2007），同时下垫面陆面类型也是影响 TC 活动的一个重要方面。陈联寿等（2004）指出，如果登陆后的 TC 环流停滞在一片大的水面（湖泊、水库）上，则能维持较长时间。王晓芳和刘泽军（2008）通过统计研究证实了这一观点。Shen et al.（2002）研究表明，50 cm 深的内陆水体可以显著减缓登陆 TC 衰减。Zhang et al.（2012）通过对 0414 号 TC “Rananim” 和 0608 号 TC “Saomai” 的对比研究发现，内陆湖泊对移速较慢的 TC 影响较大。Wei and Li（2013）对经过鄱阳湖流域 0414 号 TC “Rananim” 的数值模拟研究发现，陆面过程通过改变陆表通量对 TC 对流发展和降水分布产生影响。而 TC 影响下内陆下垫面发生的变化又会对 TC 产生反馈作用。李英和陈联寿（2005）发现 7503 号 TC “Nina” 深入内陆后的降水造成河南等地土壤呈饱和状态，潮湿饱和和下垫面对其在内陆长久维持和降水产生有利影响。Emanuel et al.（2008）指出飓风 “Abigail” 登陆后再次加强也与由 TC 降水浇灌形成的湿土有关。Evans et al.（2011）证明土

壤湿度变化可以通过影响边界层的热通量传输改变对流，从而造成飓风 “Erin” 登陆后再发展。可见，登陆 TC 与其内陆下垫面之间存在复杂的相互作用，这种相互作用的研究可增强登陆 TC 活动机理认识，对 TC 防灾减灾具有重要意义。本文针对鄱阳湖流域这一特殊陆面进行研究。首先统计分析过鄱阳湖地区 TC 的活动特征，包括移速、强度和降水，其次选取 4 个典型个例，分析 TC 对湖区下垫面的可能影响及下垫面对 TC 的反馈作用。

使用资料包括中国气象局上海台风所最佳路径资料和台风降水 24 h 观测资料，中国气象局一日两次包括对流有效位能（Convective Available Potential Energy，简称 CAPE）的常规探空资料以及国家气象信息中心提供的土壤温度和湿度资料，采用美国国家环境预报中心（NCEP）再分析资料分析大尺度环流、计算 TC 引导气流和垂直切变。地面感热、潜热能采用地面观测资料计算。

2 影响鄱阳湖区域的热带气旋活动特征

考虑到登陆 TC 影响大致范围以及鄱阳湖流域分布状况，研究区域取以鄱阳湖为中心的 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ （经度 $\times$ 纬度）矩形区域（ $27^{\circ} \sim 31^{\circ} \text{N}$ ， $114^{\circ} \sim 118^{\circ} \text{E}$ ；图 1 方框，此区域包含长江、鄱阳湖等水体），则 1949~2012 年登陆我国大陆的 413 个 TC 中共有 61 个（约 15%）TC 中心经过该区域。其中 32 个在福建登陆，12 个在浙江登陆，17 个在广东登陆（图 1）。路径主要包括北上和西行两种，以北上路径偏多。TC 主要从东侧进入鄱阳湖区域，也有部分从南侧进入，少数从西侧进入。61 个中有 19 个 TC（约 31%）消亡在鄱阳湖区域，其余则继续移动。经过这一区域的 TC 平均陆上维持时间为 54 h，其中在鄱阳湖区域活动时间平均为 18 h，占 1/3。少数 TC 长时间维持与其在鄱阳湖地区停滞有关，例如 1975 年的 “Ora” 台风，2012 年的 “Haikui” 台风等。

以 TC 进入鄱阳湖区域内的第一个点为时间轴原点（0），进入前（后）为负（正）值，图 2a 显

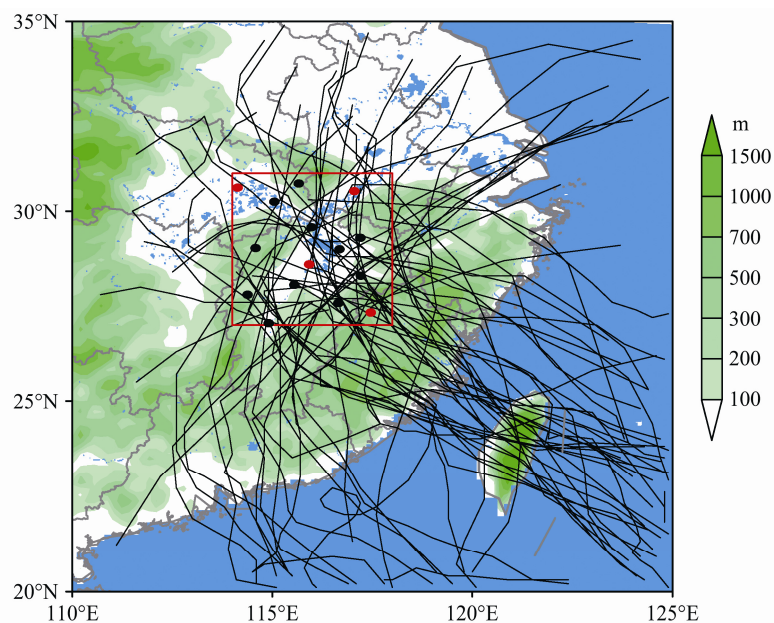


图1 1949~2012年61个经过鄱阳湖区域(红色方框)的热带气旋(简称TC)路径图,绿色阴影显示地形高度(单位:m),蓝色阴影显示水体分布,红色方框内实心圆点显示此区域15个地面观测站点,其中红色圆点为探空站点

Fig. 1 The tracks of 61 TCs (Tropical Cyclones) passing though Poyang Lake area (red box) during the period of 1949–2012. Green shading shows the distribution of topography (units: m) and blue shading shows water bodies. Solid dots indicate surface-based observational stations, and red dots indicate stations for sounding observation

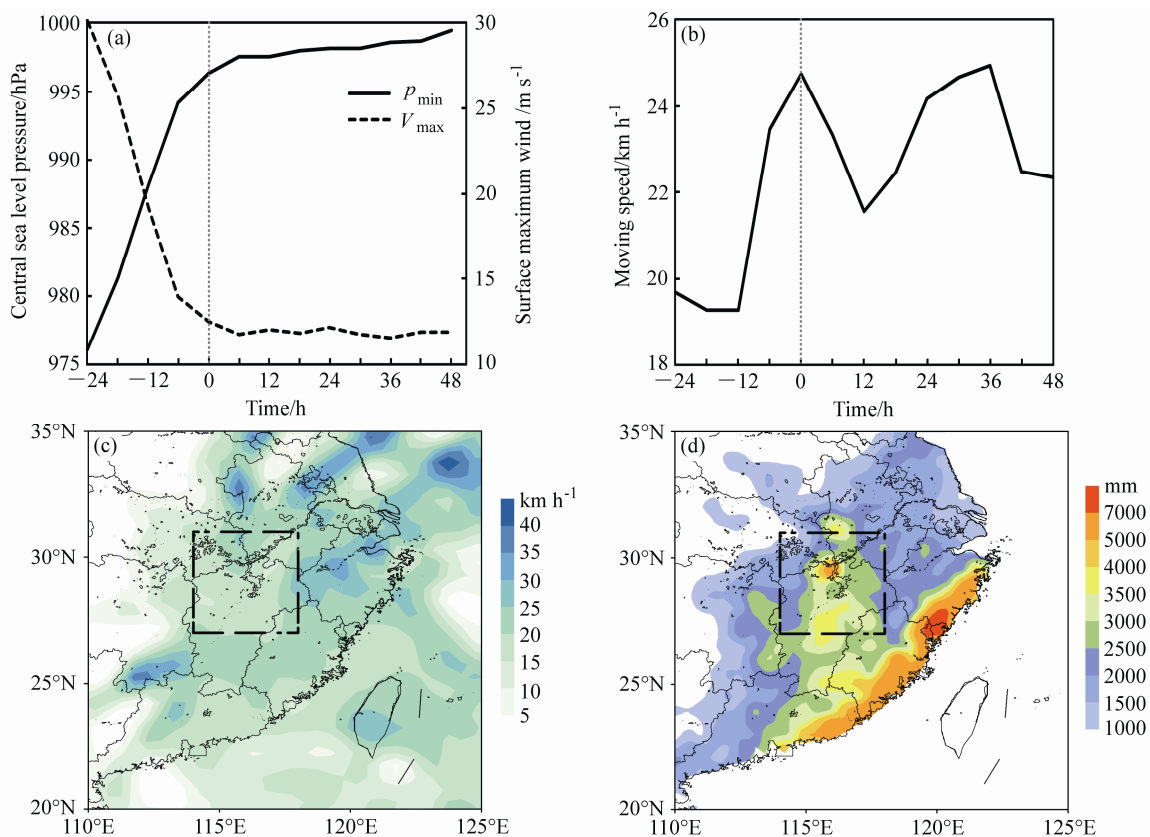


图2 经过鄱阳湖地区TC的(a)平均中心最低气压(实线;单位:hPa)和最大风速(虚线;单位: m s^{-1})、(b)移速(单位: km h^{-1})随时间的演变以及(c)平均移速和(d)过程累计降水(单位:mm)的空间分布。(a、b)中横坐标0为进入湖区的第一时刻,负值为进入前,正值为进入后

Fig. 2 Time series of (a) averaged TC central sea level pressure (solid line, units: hPa) and surface maximum wind (dashed line, units: m s^{-1}), and (b) TC moving speed (units: km h^{-1}) when TC passed though the Poyang Lake (0 h indicates the time TC entered the area shown by red box in Fig. 1); and the distribution of (c) averaged TC moving speed and (d) accumulated rainfall (units: mm)

示了 61 个 TC 平均进入鄱阳湖区域后强度的时间演变, 可见进入鄱阳湖区域前 24~18 h, TC 强度迅速衰减, 这与 TC 登陆有关, 但随着趋近鄱阳湖区, TC 强度衰减变缓。中心气压 (实线) 和近中心最大风速 (虚线) 变化逐渐减小至 1 hPa (6 h)⁻¹ [1 m s^{-1} (6 h)⁻¹] 以内, 甚至在进入鄱阳湖后 6~24 h 内出现负值 (正值), 即有所增强。图 2b 为 61 个 TC 进入鄱阳湖区域后平均移速的变化。TC 在进入鄱阳湖地区前移速逐渐增大, 但进入湖区后速度逐渐减小, 12 h 后又有所增加。计算 61 个 TC 各个时次的平均移速, 其分布如图 2c 显示, 相对于进湖区前和出湖区后, TC 在鄱阳湖流域的移速相对减慢, 尤其是在鄱阳湖水面的位置 (参见图 1) 移速明显变小, 可低至 5 km h^{-1} 。图 2d 显示 61 个 TC 平均过程累计降水的分布图, 可见最大降水区域除分布在浙江、福建、广东沿海地区外, 在内陆鄱阳湖流域也有较强降水中心, 最大值位于鄱阳湖与长江交汇处。降水分布从沿海至内陆先减小后增大的趋势说明 TC 经过鄱阳湖地区时出现了降水增幅现象。

统计表明, TC 登陆后进入鄱阳湖流域后具有移速减慢, 强度衰减变缓以及降水增幅等特征。

3 大尺度环流背景

TC 移到鄱阳湖区域期间其移速、强度和降水的变化与该区域大尺度环流活动分不开。陈联寿和孟智勇 (2001) 研究表明, 环境引导气流是影响台风移动的主要影响因子, 而环境风垂直切变是影响 TC 强度变化的关键因子。为此计算 61 个 TC 逐 6 h 的引导气流和垂直风切变, 再将其插值在网格点上。引导气流计算是以 TC 中心坐标为中心, 取其周围 2~7 个经纬距内环状区域 500 hPa 高度的平均经向风和纬向风; 垂直切变按同种方法先分别计算 850 hPa 与 200 hPa 的平均纬向风、经向风和全风速, 再求 200 hPa 与 850 hPa 间的差值。

图 3a 给出进入湖区时期 61 个 TC 平均 500 hPa 高度场和风场 (对 TC 在湖区出现时次再次平均), 可见湖区上空为低压环流, 其东侧为副热带高压, 西侧呈反气旋环流形势, TC 处于两个高压环流之间, 环流中偏南和偏北气流均较为明显。相应 61 个 TC 引导气流的格点分布如图 3b 所示, 可见鄱阳湖区是环境引导气流的低值区, 这是引起 TC 移速减慢的原因之一。环境纬向风的垂直切变分布 (图

3c) 也表明, 鄱阳湖区的纬向垂直切变明显小于周围环境, 其值约在 $0\sim 4 \text{ m s}^{-1}$ 。经向垂直切变和全风速垂直切变表现出类似的特征 (图略), 即相对于周围, 湖区表现为小值, 其值分别为 $2\sim 4 \text{ m s}^{-1}$ 和 $6\sim 8 \text{ m s}^{-1}$ 。TC 进入鄱阳湖区后环境引导气流减弱和环境水平风垂直切变减小, 这是其移速减慢、衰减减缓的一个有利条件, 同时 TC 移速减慢和衰减减缓又有利于降水在湖区持续发生。

4 下垫面特征及其影响

鄱阳湖区域具有复杂的地形地貌, 也是影响 TC 活动的一个因子。鄱阳湖平均水深 8.4 m (傅敏宁, 2013), 为季节性吞吐型湖泊, 湖泊和周围湿地可能成为进入内陆 TC 的一个水汽来源。同时, 湖区似盆状天然凹地, 地势平坦, 但周围地形却非常复杂, 东北、西北和南侧均为山地, 其北侧紧邻庐山, 东侧为江西最高峰黄岗山 (杨罡等, 2011)。TC 降水的一个增幅中心出现在庐山附近, 与山地地形影响有关 (参见图 2d)。本文从近十年登陆我国 TC 中选出经过鄱阳湖区域并最接近鄱阳湖水面的四个 TC 个例, 即云娜 (Rananim, 0414)、海棠 (Haitang, 0505)、桑美 (Saomai, 0608) 和凤凰 (Fungwong, 0808), 分析 TC 影响下鄱阳湖下垫面的变化特征及其对 TC 的可能影响。

4.1 典型个例简介

图 4a-d 显示四个 TC 的陆上路径和累计降水。其中 “Rananim”、“Haitang” 和 “Saomai” 为西行或西北行经过湖区, 而 “Fungwong” 自南向北穿过鄱阳湖水面的。“Saomai” 在湖区移速较快, 并于进入湖区 18 h 后消亡, 而其它三个 TC 均在鄱阳湖区域维持 30 h 以上。从其强度变化 (图略) 来看, 四个 TC 由于登陆在进入鄱阳湖地区之前强度已大幅度减弱, 进入鄱阳湖地区后强度衰减减缓, 且在进入后 6~12 h 中心气压基本不变, 尤其是 “Rananim”、“Haitang”、“Fungwong” 等长时间滞留台风。“Rananim” 和 “Fungwong” 离开区域后中心气压才有所上升。从其陆上活动期间的累计降水分布 (图 4a-d, 阴影) 来看, 四个 TC 均在登陆地附近出现强降水区, 并向内陆递减。同时 “Rananim”、“Haitang” 和 “Fungwong” 在鄱阳湖附近出现了第二个降水大值区, “Haitang” 在鄱阳湖地区的降水甚至超出其登陆时在沿海造成的降水。但 “Saomai” 没有表现出这一现象, 这与其

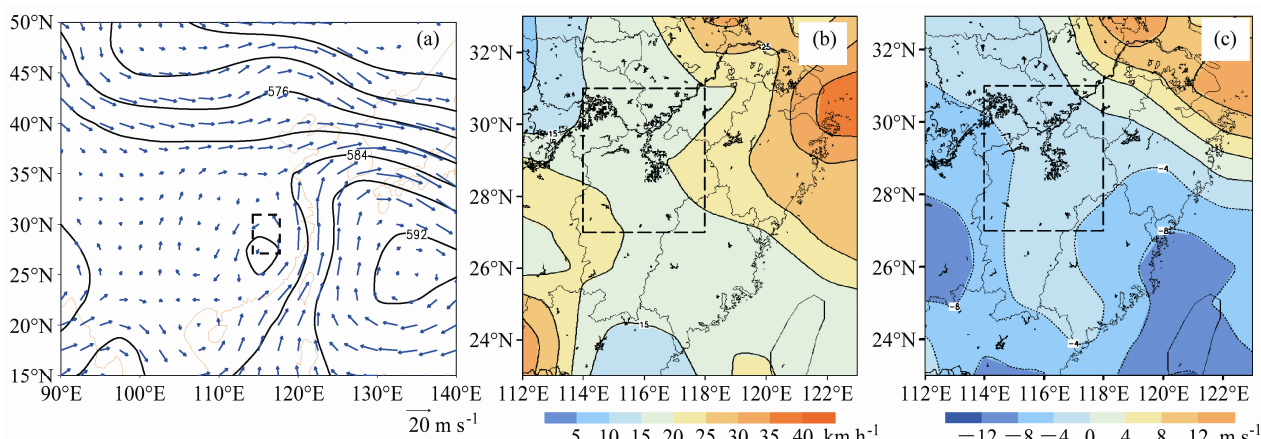


图3 61个台风在鄱阳湖区域(黑色虚线方框)时期平均500 hPa (a) 环流(实线为高度场, 单位: dagpm; 箭头为风矢量, 单位: m s^{-1})和(b) 引导气流(单位: km h^{-1})以及(c) 200~850 hPa 纬向风垂直切变(单位: m s^{-1})

Fig. 3 The distribution of averaged (a) 500-hPa geopotential height (contours, units: dagpm) and winds (vectors, units: m s^{-1}), (b) 500 hPa steering flow (km/h), and (c) 200–850 hPa vertical wind shear (units: m s^{-1}) when the 61 TC passed through the Poyang Lake area

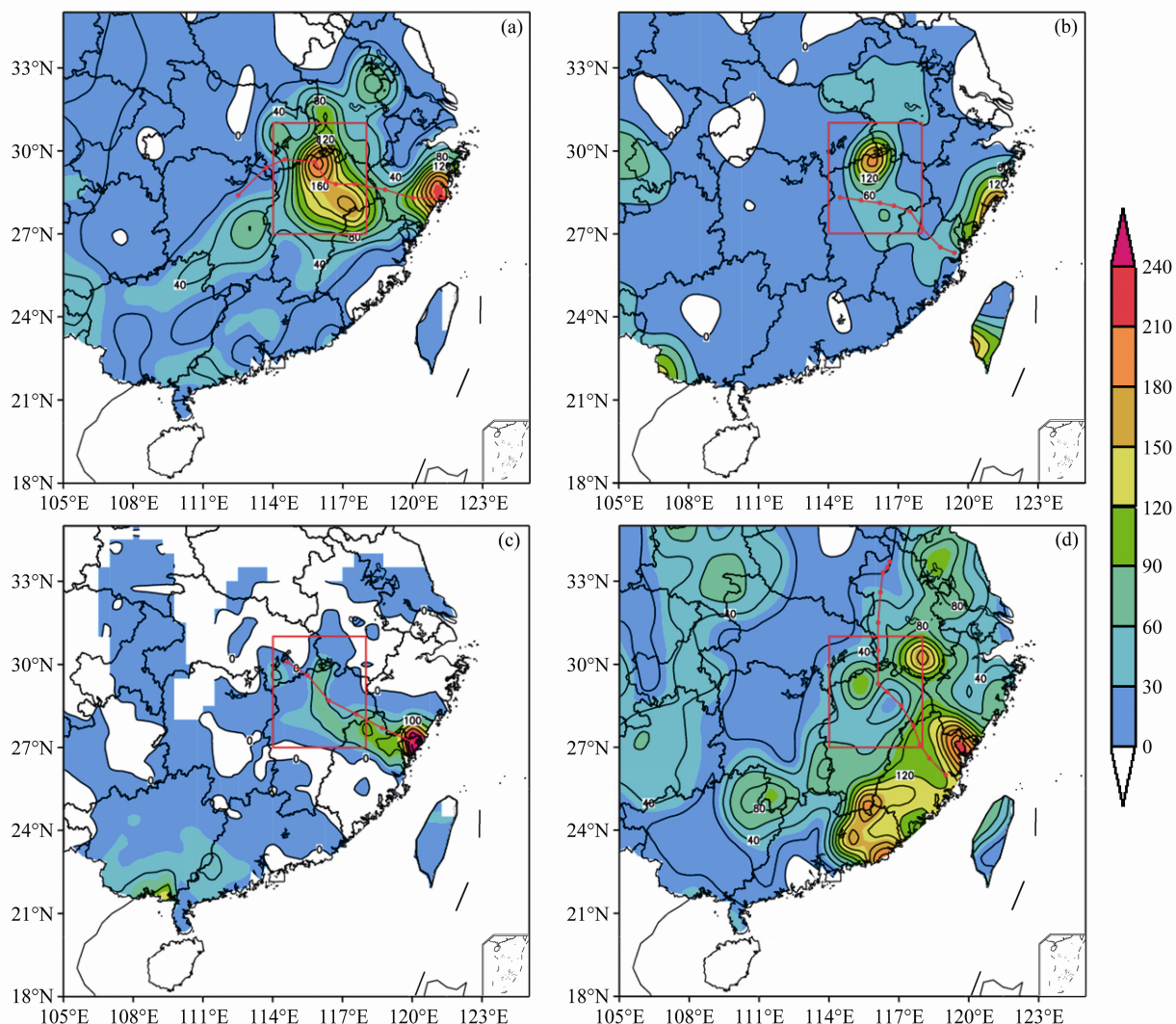


图4 (a) 云娜(Ranim)、(b) 海棠(Haitang)、(c) 桑美(Saomai)和(d) 凤凰(Fungwong)的陆上路径(红色实线)和累计降水(阴影, 单位: mm)

Fig. 4 Tracks (red lines) and accumulated rainfall (shaded, mm) of (a) TC Ranim, (b) TC Haitang, (c) TC Saomai, and (d) TC Fungwong over land

登陆后衰减迅速、移速较快，在区域维持时间短有关。可见以上样本中大多数 TC 的活动特征与统计结果一致。

4.2 下垫面物理量变化

4.2.1 地面温、湿度

图 5a 为鄱阳湖流域内 15 个观测站在各 TC 影响过程中平均地表气温和露点温度随时间的变化。由图可看出，各 TC 影响下地面温、湿度变化特征基本相同。TC 影响前地面气温（图 5a，黑线）存在明显的日变化，即在 06:00（协调世界时，下同）左右达到最大，18:00 左右达到最小，日较差约为 10°C 左右。在 TC 影响期间，地表气温仍存在日变化，但变化不明显，最大仅为 5°C 左右，且无论是最高温还是最低温都有下降的趋势。TC 影响后，地表气温恢复至原先的状态和趋势。TC 影响期间地面露点温度有所升高（图 5a，红线），同时由于气温下降，使得温度露点差逐渐减小，表明地面空气处于增湿状态。

4.2.2 土壤温、湿度

图 5c 可见接近地表的土壤层温度（≤20 cm）存在较明显日变化，且越接近地面日变化越明显。地表（0 cm 土壤层）在 06:00 左右达到最大值，TC 影响前最高值可达 50°C，最低在 25~30°C，日变化可达 20°C 以上，远大于地表气温的日较差（约 10°C），白天地表加热大气，夜晚反之。而 TC 影响下日变化不明显，“Rananim”影响期间日较差小于 5°C。同时，无论是最高温度还是最低温度都有减小的趋势，即 TC 影响下表层土壤温度有所降低。深层土壤（≥40 cm）无明显日变化，但在 TC 影响下 40 cm 深度土壤层温度也存在减小的趋势，减小量值小于浅层土壤。随着 TC 移出湖区，表层土壤温度逐渐恢复至原先状态及变化趋势，但和地面气温相比，TC 影响过后土壤温度恢复是一个缓慢过程，且深层土壤的恢复更慢。如 40 cm 土壤温度在 10 cm 温度恢复上升趋势时依然存在下降的趋势，对台风影响的响应时间更长。

从区域平均降水的时间变化来看（图 5d），土壤温度变化时段与降水时间段对应，且温度降低幅度与降水强度及其在湖区的维持时间存在一定的正比关系。比如在降水较强且维持时间较长的“Rananim”影响下，浅层土壤温度相对“Haitang”和“Saomai”下降更多且日变化最不明显，40 cm 土壤层温度降低值也较大，甚至低于 80 cm 土壤层

的温度。而“Saomai”虽然 6 h 降水强度不弱，但其移速快，降水累积量少，因此土壤温度变化最小，恢复得也最快。在“Fungwong”持续降水的情况下，土壤温度也持续下降。从区域平均土壤水容量的时间变化（图 5b）看，0~10 cm 土壤水容量与降水量存在正比关系。在降水量峰值区土壤水容量达到最大值。而 10~200 cm 土壤水容量变化相对较小，但在 TC 影响下仍有明显上升。同样，“Saomai”影响下的 10~200 cm 土壤水容量变化也最为微弱。

上述分析表明，在 TC 降水影响下，鄱阳湖区浅层土壤（<40 cm）温度以及近地面空气温度降低，日变化减弱，但同时土壤和低层大气保持高湿状态。

4.2.3 地面感热、潜热

土壤和地面温、湿度的变化必然导致地面热量变化。研究中发现四个 TC 在进入鄱阳湖区前、后 24 h 地面热量变化趋势相一致，因此图 6 只给出四个 TC 平均地面感热、潜热及其和的分布对比。感热计算公式为 $1.005 \times (t + 273.15)$ ，其中 t 为地面气温（单位：°C）；潜热为 $2500q$ ，其中 q 为地面比湿，单位为 g kg^{-1} 。图 6a 可以看出，在进入湖区前，湖北侧平均地面感热最小，为 301 J g^{-1} 左右，周围为高值区，可达 305 J g^{-1} ，而在 TC 进入湖区后（图 6b），地面感热均有所减小，大部分地区小于 302 J g^{-1} 。这是因为 TC 云系的遮蔽加上降水使地面降温，感热减小。从地面潜热的变化看（图 6d、e），潜热值相对于感热值要小一个量级，但进入湖区前后的变化趋势与感热相反，TC 进入鄱阳湖区后，降水使近地面水汽增加，潜热也增加。图 6c、f 反映了 TC 进入湖区后 24 h 感热、潜热与进入前 24 h 平均的差值分布，可见鄱阳湖地区感热减少而潜热增大，鄱阳湖及其以东区域为正热量增长区，说明 TC 影响下地面能向大气提供热量。

4.2.4 对流有效位能

对流有效位能（CAPE；单位： J kg^{-1} ）表示不稳定能量的大小，能定量反映大气中发生深厚对流的可能性，其计算公式为

$$\text{CAPE} = g \int_{Z_{\text{LFC}}}^{Z_{\text{EL}}} \frac{(T_{\text{vp}} - T_{\text{ve}})}{T_{\text{ve}}} dz, \quad (1)$$

其中， Z_{LFC} 代表自由对流高度， Z_{EL} 代表对流上限高度， T_{vp} 是上升气块的虚温， T_{ve} 是环境空气的虚温。图 7 给出区域内南昌、邵武、安庆、武汉四个

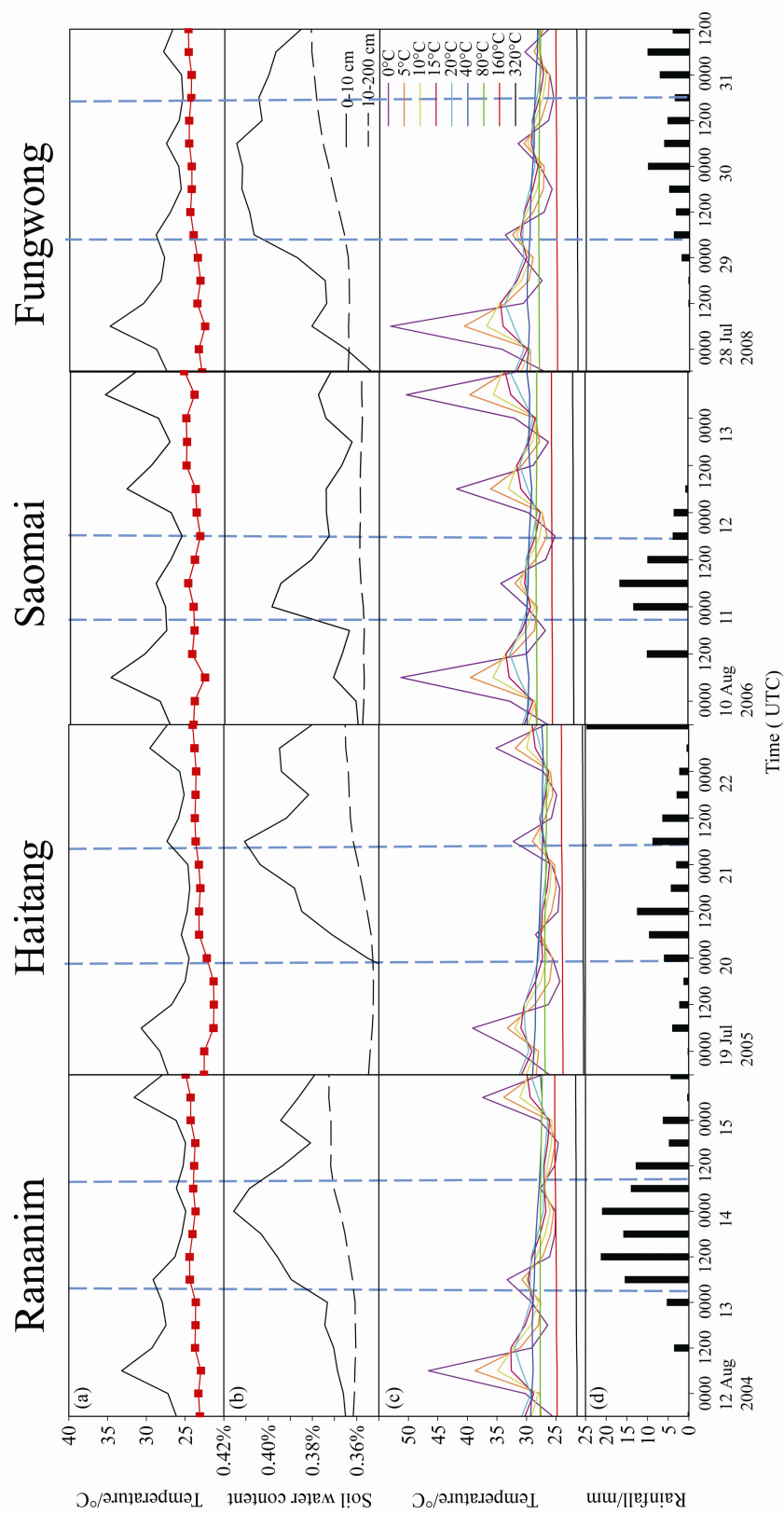


图 5 各 TC 活动期间鄱阳湖区域 15 个站点平均的各下垫面物理量随时间的变化: (a) 地面气温 (黑线) 和露点温度 (红线), 单位: $^{\circ}\text{C}$; (b) 0~10 cm 和 10~200 cm 土壤水容量; (c) 各层土壤温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$); (d) 降水量 (单位: mm)。图中竖虚线之间为 TC 中心在鄱阳湖区的时段

Fig. 5 Time series of (a) surface air temperature (red line, units: $^{\circ}\text{C}$), (b) 0~10 cm and 10~200 cm soil water content, (c) soil temperature (units: $^{\circ}\text{C}$), and (d) rainfall (units: mm) averaged over the 15 observational stations under the influence of TCs. The periods between blue dashed lines indicate those when TC centers were located at the Poyang Lake area

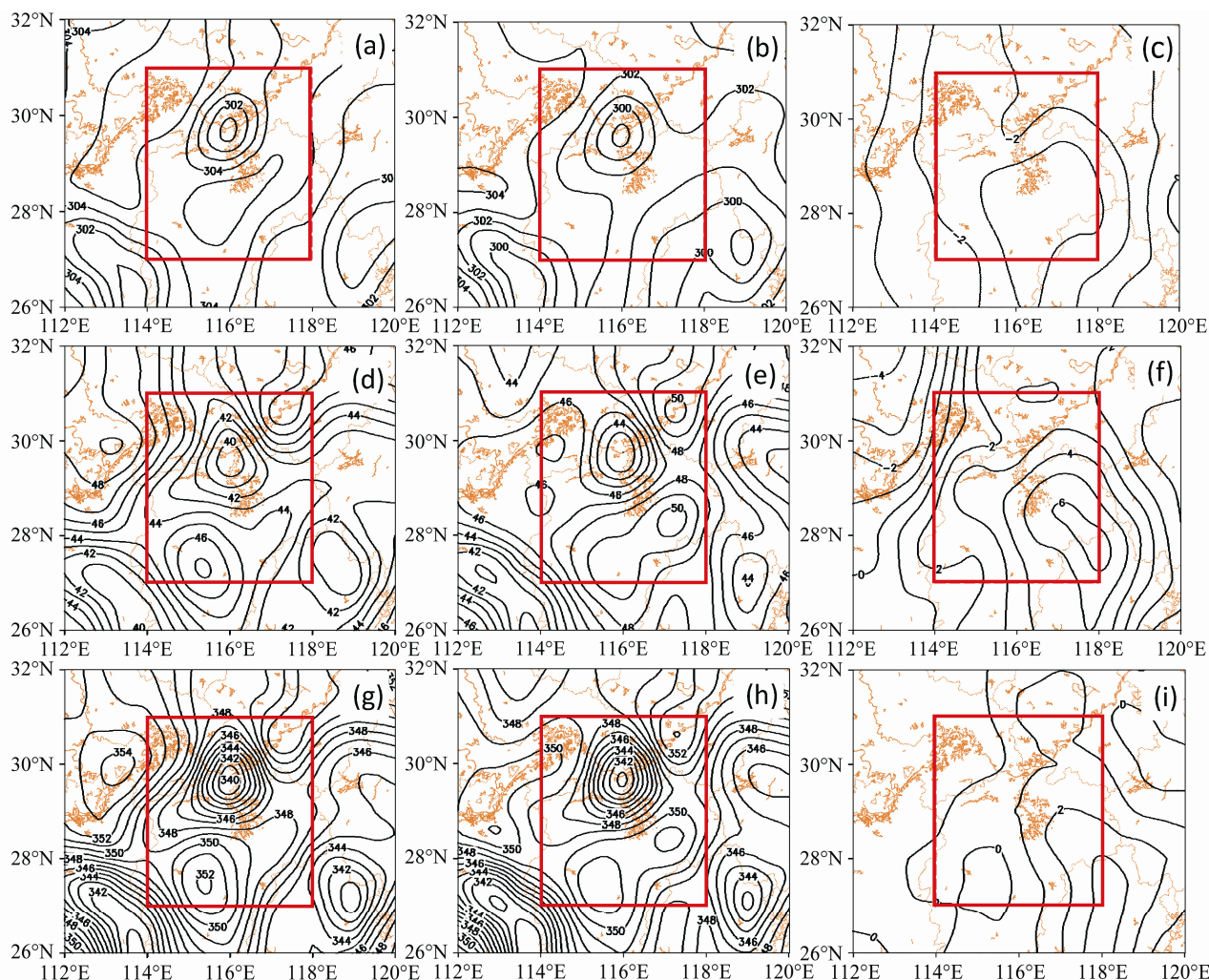


图6 四个TC进入鄱阳湖区域(红色方框)前(左列)、后(中间列)24 h平均(a、b、c)地面感热、(d、e、f)潜热和(g、h、i)总热量分布以及进入后、前热量差异(右列)。单位: J g^{-1}

Fig. 6 Distributions of 24-h averaged (a, b, c) surface sensible heat fluxes, (d, e, f) latent heat fluxes, and (g, h, i) the total heat fluxes before (left column) and after (middle column) the four TCs entered the Poyang Lake area (shown by red box), and their differences (right column, middle minus left). Units: J g^{-1}

探空站(图1红色点)CAPE值的时间变化,其中实线为四站平均值。可以看出四个TC影响鄱阳湖期间,湖区对流有效位能均为明显低值区。在TC进入前,多站具有较高CAPE值,但TC进入后,对流有效位能明显下降。TC进入湖区后对流旺盛,雨量增加,与对流有效位能的大量释放有关,说明TC强上升运动对不稳定能量的释放起触发作用。

5 小结

鄱阳湖流域及周围平原是我国水体丰富又频受TC影响的内陆地区,利用中国气象局地面和高空站点资料、上海台风所热带气旋资料以及NCEP/

NCAR再分析资料,对经过鄱阳湖区域TC的活动特征及其对鄱阳湖下垫面的影响进行观测分析,结果表明:

(1) 1949~2012年间登陆我国大陆的TC约15%经过鄱阳湖区域,进入该区域TC有移速减慢,强度衰减变缓及降水增幅的特征。

(2) 合成环流形势表明,TC经过时鄱阳湖区一般处于两个高压环流之间,环境引导气流较弱和风垂直切变较小,是经过该区TC移速减慢和衰减缓慢的一个主要原因,同时又有利于其降水积累。

(3) 对几个典型个例的观测研究发现,TC降水降低了鄱阳湖区域浅层土壤和低层大气温度,减

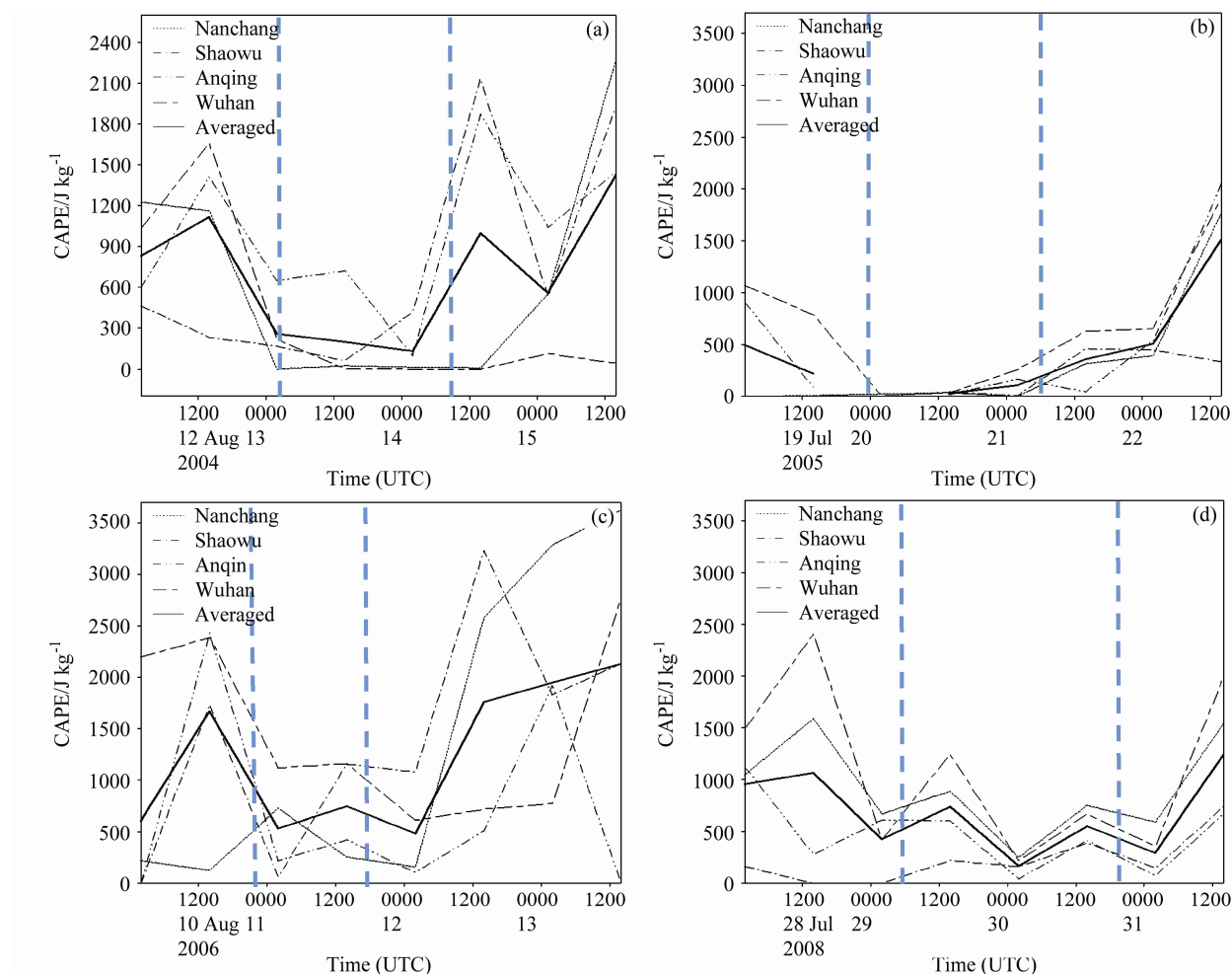


图 7 (a) Ranim、(b) Haitang、(c) Saomai 和 (d) Fungwong 影响下南昌 (Nanchang)、邵武 (Shaowu)、安庆 (Anqing) 以及武汉 (Wuhan) 探空站 (图 1 红色点位置) 对流有效位能 (单位: J kg^{-1}) 的时间变化 (图中虚线之间为 TC 中心在鄱阳湖区的时段)

Fig. 7 Time series of CAPE (Convective Available Potential Energy; units: J kg^{-1}) observed at Nanchang, Shaowu, Anqing, and Wuhan sounding stations (red dots in Fig. 1) under the influences of (a) Ranim, (b) Haitang, (c) Saomai, (d) Fungwong. The periods between blue dashed lines indicate those when the TC center was located at the Poyang Lake area

小其日较差, 但却增大土壤和近地面湿度。

(4) TC 降水增湿以及鄱阳湖潜热释放, 使该区域下垫面热量增加, 对 TC 维持和降水增加有正反馈作用。同时, TC 的进入触发了湖区对流有效位能释放, 有利于 TC 降水增幅。

本文讨论了 TC 在鄱阳湖区域的活动特征及其与下垫面的相互作用。实际上 TC 与下垫面的作用是比较复杂的, 尤其是鄱阳湖地区地貌地形复杂, 不同地貌和地形都可对 TC 的维持以及降水强度和分布产生影响, 而不同强度和降水的 TC 对下垫面的影响又存在差异, 这都增加了 TC 与下垫面相互作用的复杂性, 因此这一方面需要更多个例以及更细致的研究。

参考文献 (References)

- Black P G, Holland G J. 1995. The boundary layer of tropical cyclone Kerry (1979) [J]. Mon. Wea. Rev., 123 (7): 2007–2028, doi: 10.1175/1520-0493(1995)123<2007:TBLOTC>2.0.CO;2.
- Cangialosi J, Chen S Y. 2004. A numerical study of the topographic effects on structure and rainfall in hurricane Georges (1998) [C]/26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. Florida, Ft. Lauderdale: American Meteorological Society.
- 陈联寿, 孟智勇. 2001. 我国热带气旋研究十年进展 [J]. 大气科学, 25 (3): 420–432. Chen Lianshou, Meng Zhiyong. 2001. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 25 (3): 420–432, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2001.03.11.
- 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 2004. 登陆热带气旋研究的进展 [J]. 气象学报,

- 62 (5): 541–549. Chen Lianshou, Luo Zhexian, Li Ying. 2004. Research advances on tropical cyclone landfall process [J]. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 62 (5): 541–549, doi: 10.11676/qxxb2004.055.
- Emanuel K, Callaghan J, Otto P. 2008. A hypothesis for the redevelopment of warm-core cyclones over northern Australia [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 136 (10): 3863–3872, doi: 10.1175/2008MWR2409.1.
- Evans C, Schumacher R S, Galarneau Jr T J. 2011. Sensitivity in the overland reintensification of tropical cyclone Erin (2007) to near-surface soil moisture characteristics [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 139 (12): 3848–3870, doi: 10.1175/2011MWR3593.1.
- 傅敏宇. 2013. 鄱阳湖对典型天气过程的影响及近地面边界层特征研究 [D]. 南京信息工程大学博士学位论文. Fu Minning. 2013. Research on the impacts of Poyang Lake on typical weather process and the characteristics of near surface boundary layer [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Nanjing University of Information Science and Technology.
- 冀春晓, 薛根元, 赵放, 等. 2007. 台风 Rananim 登陆期间地形对其降水和结构影响的数值模拟试验 [J]. *大气科学*, 31 (2): 233–244. Ji Chunxiao, Xue Genyuan, Zhao Fang, et al. 2007. The numerical simulation of orographic effect on the rain and structure of typhoon Rananim during landfall [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 31 (2): 233–244, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2007.02.05.
- 李英, 陈联寿. 2005. 湿地边界层通量影响热带气旋登陆维持和降水的数值试验 [J]. *气象学报*, 63 (5): 683–693. Li Ying, Chen Lianshou. 2005. Numerical study on impacts of boundary layer fluxes over wetland on sustention and rainfall of landfalling tropical cyclone [J]. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 63 (5): 683–693, doi: 10.11676/qxxb2005.066.
- 钮学新, 杜惠良, 刘建勇. 2005. 0216 号台风降水及其影响降水机制的数值模拟试验 [J]. *气象学报*, 63 (1): 57–68. Niu Xuexin, Du Huiliang, Liu Jianyong. 2005. The numerical simulation of rainfall and precipitation mechanism associated with typhoons Sinlaku (0216) [J]. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 63 (1): 57–68, doi: 10.11676/qxxb2005.007.
- Ooyama K. 1969. Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones [J]. *J. Atmos. Sci.*, 26(1): 3–40, doi: 10.1175/1520-0469(1969)026<0003: NSOTLC>2.0.CO;2.
- Rosenthal S L. 1971. The response of a tropical cyclone model to variations in boundary layer parameters, initial conditions, lateral boundary conditions, and domain size [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 99 (10): 767–777, doi: 10.1175/1520-0493(1971)099<0767:TROATC>2.3.CO;2.
- Shen W X, Ginis I, Tuleya R E. 2002. A numerical investigation of land surface water on landfalling hurricanes [J]. *J. Atmos. Sci.*, 59 (4): 789–802, doi: 10.1175/1520-0469(2002)059<0789:ANIOLS>2.0.CO;2.
- 王晓芳, 刘泽军. 2008. 登陆我国过湖泊热带气旋的统计特征 [J]. *热带气象学报*, 24 (5): 539–545. Wang Xiaofang, Liu Zejun. 2008. Statistical characteristics of tropical cyclones making landfalls and passing through lakes in China [J]. *J. Trop. Meteor.* (in Chinese), 24 (5): 539–545, doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2008.05.015.
- 魏娜, 李英, 胡姝. 2013. 1949~2008 年热带气旋在中国大陆活动的统计特征及环流背景 [J]. *热带气象学报*, 29 (1): 17–27. Wei Na, Li Ying, Hu Shu. 2013. Characteristics of tropical cyclone activities over mainland China in 1949–2008 and associated background circulation [J]. *J. Trop. Meteor.* (in Chinese), 29 (1): 17–27, doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2013.01.003.
- Wei N, Li Y. 2013. A modeling study of land surface process impacts on inland behavior of typhoon Rananim (2004) [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 30 (2): 367–381, doi: 10.1007/s00376-012-1242-5.
- Wu C C, Yen T H, Kuo Y H, et al. 2002. Rainfall simulation associated with typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The topographic effect [J]. *Wea. Forecasting*, 17 (5): 1001–1015, doi: 10.1175/1520-0434(2003)017<1001: RSAWTH>2.0.CO;2.
- 杨罡, 刘树华, 朱蓉, 等. 2011. 鄱阳湖地区大气边界层特征的数值模拟 [J]. *地球物理学报*, 54 (4): 896–908. Yang Gang, Liu Shuhua, Zhu Rong, et al. 2011. Numerical simulation of features of boundary-layer over Poyang Lake area [J]. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 54 (4): 896–908, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.04.003.
- 张福青, 杜华武, 蒋全荣. 1994. 成熟台风边界层作用的数值研究 [J]. *热带气象学报*, 10 (2): 107–114. Zhang Fuqing, Du Huawu, Jiang Quangrong. 1994. A numerical study of the boundary layer effect on mature typhoon [J]. *J. Trop. Meteor.* (in Chinese), 10 (2): 107–114.
- Zhang S J, Chen L S, Li Y. 2012. Statistical analysis and numerical simulation of Poyang Lake's influence on tropical cyclones [J]. *J. Trop. Meteor.*, 18 (2): 249–262.