

韶关地区台风强降雨的成因分析

郭姿佑¹, 唐启超^{1*}, 庞菁菁²

¹韶关市气象局, 广东 韶关

²乳源瑶族自治县气象局, 广东 韶关

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年5月23日; 发布日期: 2025年5月30日

摘要

利用NCEP再分析资料、地面观测资料和中国气象局热带气旋最佳路径数据集, 统计了2000~2021年间登陆华南地区台风的气候特征, 分析了相似路径下造成韶关强降雨的成因, 结果表明: 1) 近20年间平均每年有5.59个台风登陆华南, 登陆时以热带风暴级别居多。2) 给韶关带来降雨的台风路径主要有三类, 分别为在福建登陆后西行路径、在广东登陆后北上路径以及在珠江口附近登陆后稳定西北行路径。3) 台风移速较慢影响时间较长、配合强烈的低层辐合和高层辐散且低层有持续的水汽输送时, 将给韶关带来强降雨。4) 在台风影响期间, 若叠加弱冷空气的渗透作用及低层假相当位温的平流输送, 将加强本地的降雨强度。

关键词

台风暴雨, 相似路径, 成因分析

Analysis of the Causes of Typhoon-Induced Heavy Rainfall in the Shaoguan Region

Ziyou Guo¹, Qichao Tang^{1*}, Jingjing Pang²

¹Shaoguan Meteorological Bureau, Shaoguan Guangdong

²Ruyuan Yao Autonomous County Meteorological Bureau, Shaoguan Guangdong

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

Using NCEP reanalysis data, surface observation data, and the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Best Track Dataset, this study conducted statistical analysis on the climatic characteristics of typhoons making landfall in South China between 2000 and 2021, with particular focus on the mechanisms underlying heavy rainfall in Shaoguan under similar typhoon tracks. The results indicate: 1) An average of 5.59 typhoons annually made landfall in South China over the past two decades,

*通讯作者。

predominantly at tropical storm intensity. 2) Three primary typhoon track types contribute to rainfall in Shaoguan: westward tracks after Fujian landfall, northward tracks post-Guangdong landfall, and stable northwestward tracks following landfall near the Pearl River Estuary. 3) Slow-moving typhoons with prolonged influence, combined with strong low-level convergence, upper-level divergence, and sustained low-level moisture transport, tend to generate heavy rainfall in Shaoguan. 4) The superimposition of weak cold air infiltration and low-level equivalent potential temperature advection during typhoon impacts can further enhance local precipitation intensity.

Keywords

Typhoon-Induced Heavy Rainfall, Similar Tracks, Cause Analysis

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

台风(Tropical Cyclone, TC)是生成于热带海洋上具有暖心结构的强烈气旋性涡旋, 并伴有狂风暴雨, 常给受影响地区造成严重的灾害[1]。本世纪以来登陆我国的台风呈现出个数多、强度大的特征[2]。西北太平洋地区平均每年生成 32.8 个台风, 登陆我国的约 9 个, 登陆时段集中在 7~9 月, 其中首次登陆广东的台风最多, 占登陆总数的 35.2% [3]。在台风高影响天气的预报中, 暴雨往往是预报员关注的重点。在台风登陆后, 其造成的暴雨强度和范围不仅受台风本身性质的影响, 还与环境场的相互作用以及台风登陆后的维持时间有着密切的关系[4] [5]。虽然台风对沿海地区的影响概率远大于内陆地区, 但登陆后给内陆带来风雨影响的台风也不在少数。

韶关位于南岭山脉南侧, 地处广东内陆山区, 直接遭受登陆台风的影响较小, 但其地形复杂, 以山地丘陵为主, 在台风登陆后深入内陆腹地时, 受持续性的暴雨影响, 易引发城乡积涝、山体滑坡、泥石流等次生灾害, 产生巨大的损失。对于影响韶关地区的台风降雨, 前人早期也做了少量的总结分析。李丽等统计发现登陆华南沿海的台风中有 40% 会给韶关带来大到暴雨以上降水, 珠江口以东至福建登陆的台风对韶关的影响比珠江口以西登陆的大, 且台风与小尺度天气系统相结合是造成韶关市暴雨以上降水的主要原因[6]。刘艳群分析发现在阳江以西登陆的台风一般不会对韶关造成太大的影响, 但结合弱冷空气和热带低压倒槽的共同作用则会造成韶关的明显降水, 且台风登陆后进入广西东北部或广东的西偏北地区或穿过韶关将给韶关地区带来大范围强降水[7]。叶永恒分析表明影响韶关的台风降水不仅与其路径和强度密切相关, 还离不开大气层结稳定度或冷空气的相互作用[8]。还有多位学者对给韶关地区造成大暴雨过程的台风个例进行了成因分析[9]-[11]。但这依旧无法满足本地预报技术需求, 韶关地区的台风预报、预警情况仍存在降雨预报偏大、暴雨易空报、预警过度的问题。因此, 本文对 2000~2021 年近二十年登陆华南沿海并对韶关造成降雨的台风进行了统计, 研究了台风从登陆到减弱消亡期间与其他大气环流相互作用对韶关地区降雨的影响, 分析了造成韶关强降雨的成因, 并归纳出台风强降雨的预报着眼点, 有利于提高韶关地区台风降雨的预报准确率。

2. 资料和方法

本文所使用的资料为地面实况资料、中国气象局热带气旋最佳路径数据集以及美国国家环境预报中心(NCEP)/美国国家大气研究中心(NCAR)提供的 FNL (Final Operational Analysis)全球再分析资料, 分辨

率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，时间间隔为 6 h。

本文对 2000 至 2021 年二十年间登陆华南地区的台风进行了统计，重点关注相似路径台风对粤北区域，尤其是对韶关地区的降雨影响。当韶关地区国家站(8 个) 24 h 降雨量 ≥ 50 mm 的站点 ≥ 4 个时，定义为一次强降雨(暴雨)过程，对筛选出的强降雨台风个例进行逐一分析，寻找造成韶关台风强降雨的成因。下面将依次进行讨论。

3. 登陆华南台风的气候特征

2000 至 2021 年间共有 123 个台风登陆华南沿海地区，平均每年 5.59 个，台风登陆个数具有较明显的年际变化，从图 1(a)可以看出，最多的为 2009 年及 2013 年，登陆个数达 9 个，而 2000 年和 2004 年明显偏低，仅有 2 到 3 个台风登陆华南地区。登陆华南台风中有三成生成于南海，其余七成来源于西北太平洋，同时也是台风及以上级别 TC 的主要生成地。

从季节分布上来看(图 1(b))，4 到 11 月均有台风登陆华南地区，其中 7 到 9 月是高峰期，登陆个数达 92 个，占登陆总数的 74.8%，12 月到次年 3 月没有台风影响华南地区。通过图 1(c)我们发现，7 月是台风登陆个数最多的月份，8、9 月份次之，其中 6 到 8 月份是强热带风暴到台风级 TC 的集中期，9 月强热带风暴到台风级 TC 有所减少，但是高强度等级的 TC 个数明显增多，强台风等级频次是 7、8 月份频次的 3 倍多。10 到 11 月份虽然登陆的台风个数较少，但是仍有台风或超级台风出现的可能。4 到 5 月份不仅台风登陆个数少，其强度也较弱。

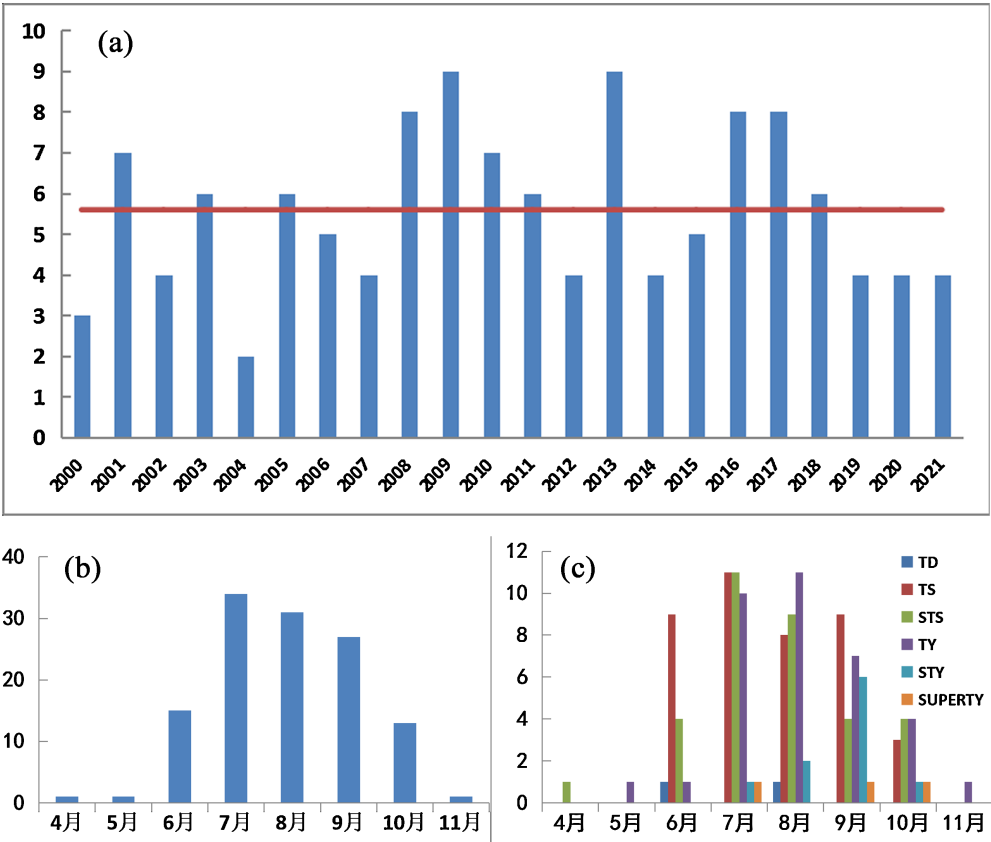


Figure 1. (a) Number of typhoons landing in South China from 2000 to 2021 (the red horizontal line indicates the average number), (b) number of typhoons landing from April to November, and (c) intensity of typhoons at landfall

图 1. 2000~2021 年(a)登陆华南台风个数(红色横线为平均个数)、4 到 11 月(b)台风登陆个数以及(c)登陆时的台风强度

4. 韶关台风强降水的成因分析

造成韶关强降雨的台风路径主要有三类，第一类为福建登陆后西行路径，当台风中心偏北时，其环流分别经过江西、湖南南部，韶关始终位于台风南侧的环流中；若台风中心偏南，则其在西行过程中穿过韶关或经过韶关南侧。第二类为广东登陆后北上路径，可分为粤西登陆后北上路径和珠江口东侧登陆后北上路径。第三类为西北行路径。下面将从动力、水汽和热力等多方面讨论造成影响韶关强弱降雨的成因。

4.1. 台风系统的移动速度

当天气尺度系统强烈发展或停止摆动时，易造成强而持续的暴雨[1]，因此台风的移动速度将影响雨量的大小，当台风移动缓慢、影响本地时间较长时，累计降雨量将增大。导致台风移动缓慢主要有两个原因：一是天气系统的稳定少动，以台风 0604 和 0605 为例，从图 2(a)和图 2(b)可以看出，西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)呈方块状分布，且稳定少动，台风在其西南侧的东南风引导下向西移动，

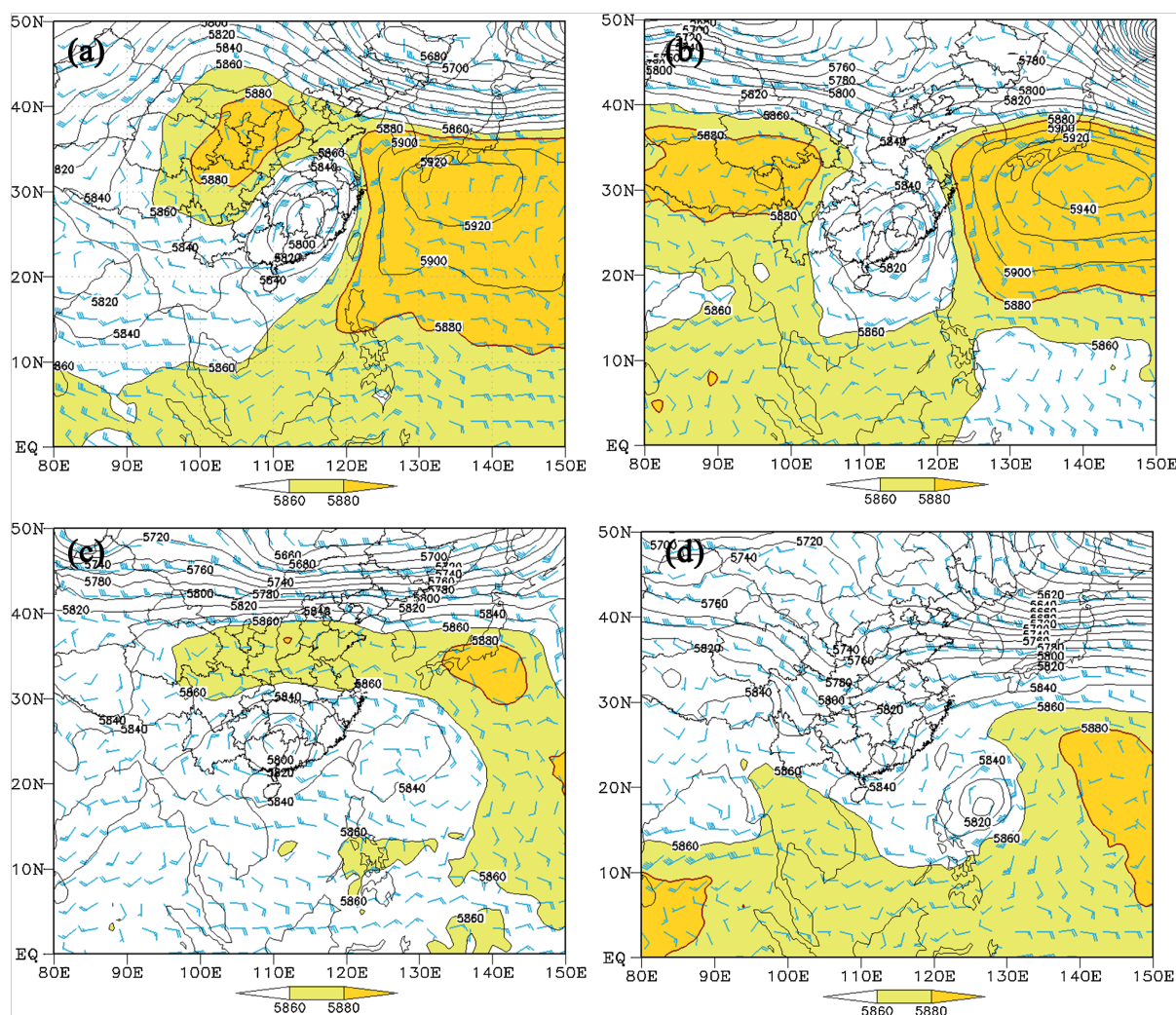


Figure 2. 500 hPa wind and geopotential height fields: (a) Typhoon 0604, (b) Typhoon 0605, (c) Typhoon 1311, (d) Typhoon 1804

图 2. 500 hPa 风场和高度场: (a) 台风 0604、(b) 台风 0605、(c) 台风 1311、(d) 台风 1804

台风西侧有一大陆高压稳定维持, 台风位于两环高压之间, 移动较为缓慢, 造成降水维持时间较长, 从而录得大范围暴雨以上降雨。与此类似形势的还有台风 1911 和 1006。因此在台风西行路径中, 当副高和大陆高压稳定少动时, 位于两高之间的台风有利于韶关降雨长时间的维持。二是弱环境场中造成台风移动缓慢, 台风 1311 登陆后, 500 hPa 副高主体减弱东退至海上(图 2(c)), 台风处于弱的环境中缓慢向北移动, 其环流长时间覆盖两广上空, 广东始终位于其东南侧的偏南气流中, 且气旋性切变在粤北上空长时间维持, 提供了强烈的低层辐合, 使降水得以持续。类似的, 台风 1804 在 6 月 5 日加强为热带风暴后(图 2(d)), 由于远离副高和西风槽, 引导气流弱, 使其在雷州半岛附近长时间回旋, 受其外围环流影响强降雨主要位于广东沿海; 7 日夜间台风在粤西沿海登陆后向东北方向移动, 此时主要为台风本体降雨, 由于其移动速度缓慢, 造成广东降雨持续时间长、累计雨量大。

4.2. 大尺度环流形势

4.2.1. 西南季风的卷入

西南季风的强度往往是衡量降雨大小的重要指标, 西南急流不但能为台风提供强烈的低层辐合上升运动, 还能向降雨中心输送大量的水汽和不稳定能量。台风 0604 和 0605 中心位于湖南南部时(图 3(a)和图 3(b)), 均有西南季风持续卷入到台风环流中, 且台风 0604 的西南急流北推至 25°N, 强度最强达 36 m/s, 西南季风的持续输送使台风环流得以长时间维持。台风 0604 登陆后仍维持了 26 h 热带风暴的强度。陈超等研究发现[12], 强降雨台风中几乎都有西南季风的卷入, 并且季风强度偏强。类似的还有台风 0104 和 1911 等, 这里不再一一赘述。

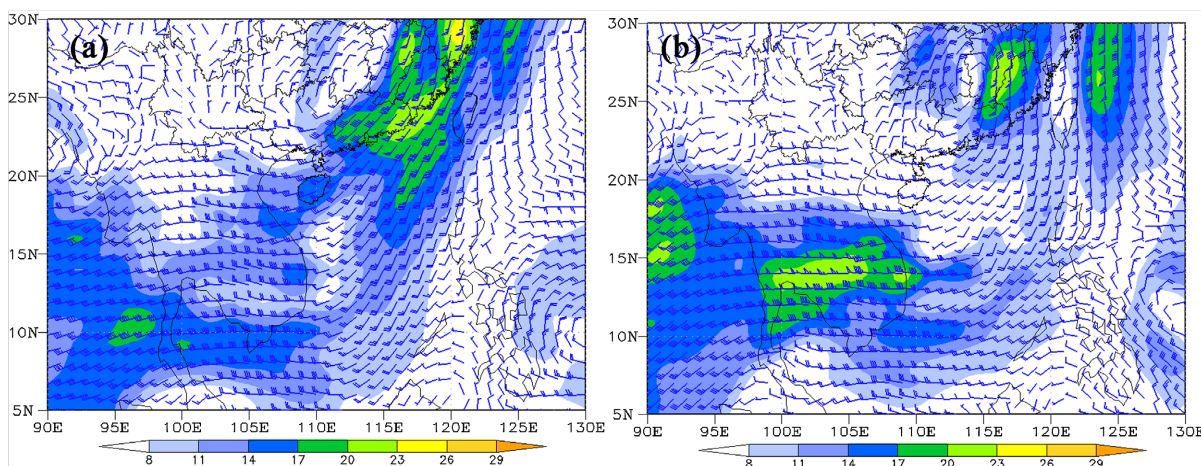


Figure 3. 850 hPa wind fields: (a) Typhoon 0604, (b) Typhoon 0605

图 3. 850 hPa 风场: (a) 台风 0604、(b) 台风 0605

4.2.2. 高层辐散抽吸作用

除了低层辐合, 高层辐散也是降雨强弱的关键因素。降雨过程中的潜热释放使中高层气团不断增暖, 而高层的抽吸作用可以将热量带走, 使高层增温得不那么明显, 从而维持上冷下暖的垂直结构, 增强气柱的不稳定性。高层强辐散形势一般分为两类, 一类是华南地区位于南亚高压东南侧和太平洋中部高空大槽之间(图 4(a)、图 4(b)), 其中台风 0604 和 1311 等都是这样的形势, 200 hPa 南亚高压中心位于青藏高原北侧, 华南上空为东北风和西北风的扇形辐散场, 当辐散中心位于粤北地区时, 与强降雨中心有明显的对应。另一类是南亚高压位置偏南, 华南位于高空槽前的南侧(图 4(c)、图 4(d)), 如台风 1804 和 1006 等。当台风环流靠近西风急流但仍有一定距离时, 高空急流的流出有利于台风的发展; 但随着台风的进

一步北上与西风急流的距离非常靠近时,垂直风切变的增大将抑制台风的发展,甚至使其迅速减弱。

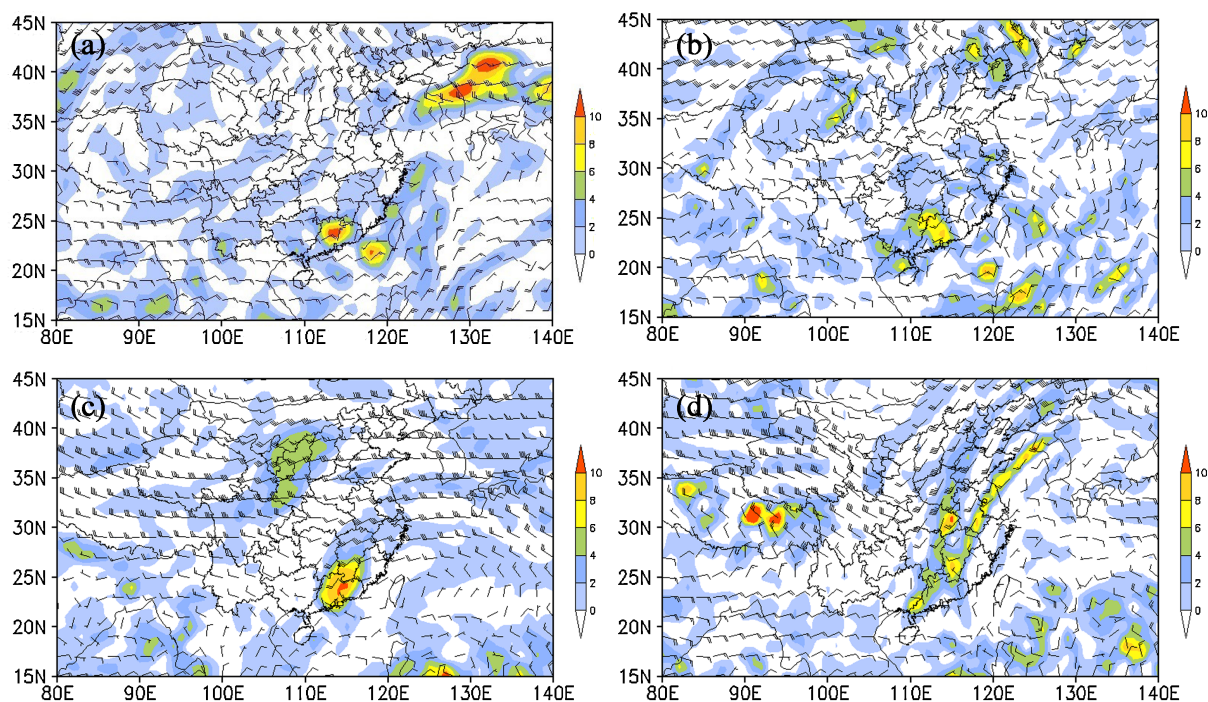


Figure 4. 200 hPa wind and divergence fields: (a) Typhoon 0604, (b) Typhoon 1311, (c) Typhoon 1804, (d) Typhoon 1006

图 4. 200 hPa 风场和散度场: (a) 台风 0604、(b) 台风 1311、(c) 台风 1804 和(d)台风 1006

4.3. 水汽的持续输送

除了动力条件,水汽的持续输送也是台风强降雨的关键因素。给韶关地区造成持续性强降雨的台风均有水汽的持续输送,其中最典型的是台风 1311 和 1804,强的水汽输送持续 4 到 5d,导致连续性暴雨的发生。对韶关地区来说,水汽来源主要有两条(图 5(a)和图 5(b)),一条来自于孟加拉湾,通过西南季风携带大量水汽,这是主要的水汽通道,另一条来自西北太平洋,两支气流在南海汇合再北上输送至粤北地区。水汽辐合主要集中在低层 925~850 hPa 之间,水汽辐合的强度与偏南风的强度有着很好的对应关系。

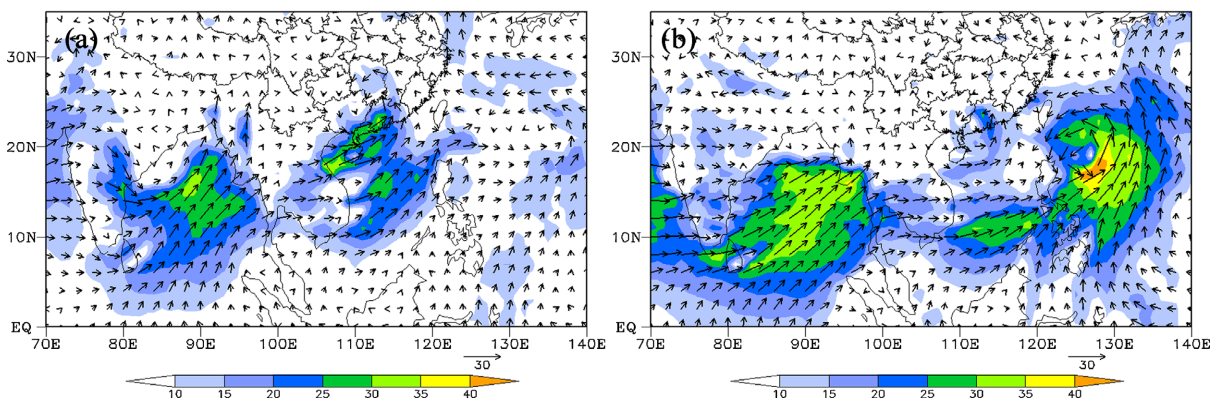


Figure 5. 925 hPa moisture flux and flow fields for: (a) Typhoon 1311, (b) Typhoon 1804

图 5. 925 hPa 水汽通量和流场: (a) 台风 1311、(b) 台风 1804

4.4. 热力条件的影响

4.4.1. 冷空气的强弱

冷空气对台风的影响具有两面性[1]，当冷空气强度较强且大量卷入台风内部时，将破坏台风的暖心结构，使其快速减弱消亡；但如果冷空气的强度偏弱且以扩散的形势南下时，将伴随着偏北风的增强过程，从而加强低层的辐合上升运动，同时其温度结构也有利于台风北缘位势不稳定度的增强，有利于台风对流的进一步发展。在台风 1804 影响期间，有弱冷空气从西路南下渗透影响华南地区。如图 6(a)和图 6(b)所示，500 hPa 温度场上台风西北侧为冷平流，925 hPa 东侧为暖平流，中层干冷空气的卷入形成了上冷下暖的结构，增强了台风的斜压不稳定性，从而加强了降雨的强度。

4.4.2. 假相当位温的平流输送

除了冷空气的影响，台风影响过程中暖湿气流的输送也很重要，这里所讨论的暖湿气流输送是相对本地热力状况来说的。从图 7(a)和图 7(b)可以看到，在台风 0104 和 1319 环流中均有强的西南季风卷入，

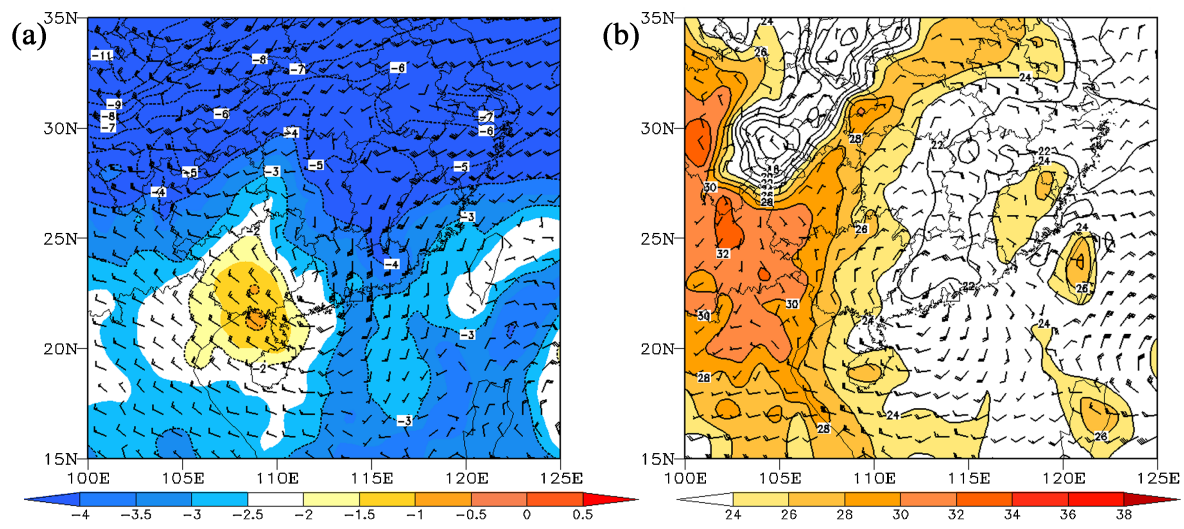


Figure 6. Typhoon 1804 wind field and temperature field: (a) 500 hPa, (b) 925 hPa
图 6. 台风 1804 风场和温度场: (a) 500 hPa、(b) 925 hPa

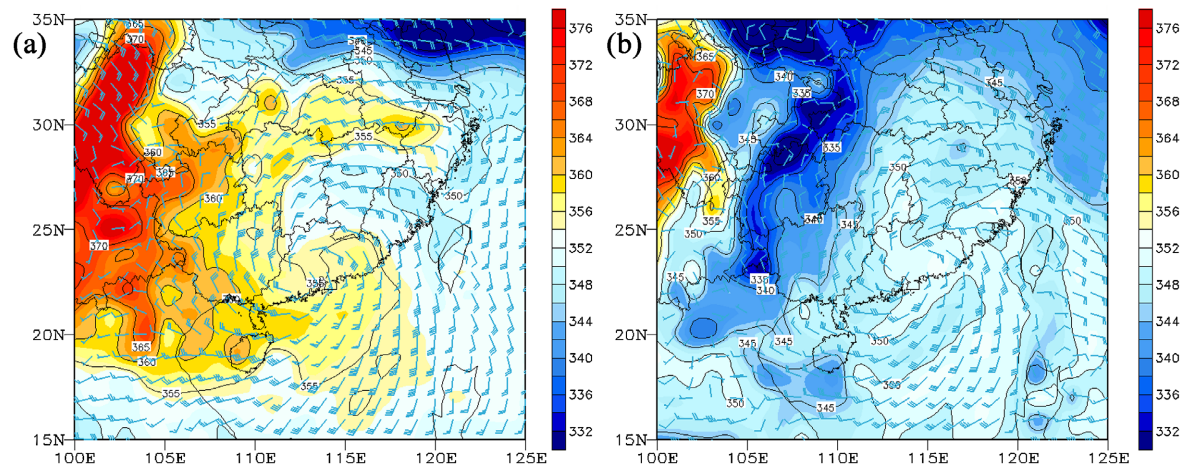


Figure 7. 925 hPa equivalent potential temperature and wind fields: (a) Typhoon 0104, (b) Typhoon 1319
图 7. 925 hPa 假相当位温和风场: (a) 台风 0104、(b) 台风 1319

但进入台风 0104 的西南急流经过了一大片相对暖水区, 为其输送了大量暖湿气流, 而台风 1319 的西南风所经之处为相对冷水区, 破坏了台风的暖心结构, 导致降雨迅速减弱。因此在关注低层西南急流是否跟上台风环流的同时, 也不能忽视强假相当位温的平流输送。

6. 总结和讨论

本文对 2000~2021 年近 20 年间登陆华南地区的台风进行了统计, 对台风系统下造成韶关强降雨的成因进行了分析, 并总结了台风系统对韶关地区强降雨的预报着眼点:

(1) 近 20 年间平均每年有 5.59 个台风登陆华南沿海地区, 登陆时以热带风暴级别居多。西北太平洋是台风的主要生产源地。7 到 9 月是台风登陆华南地区高峰期, 10 到 11 月份虽然登陆的台风个数较少, 但是仍有超级台风出现的可能。4 到 6 月份不仅台风登陆个数少, 且强度较弱。

(2) 导致韶关强降雨的台风路径主要有三类, 第一类为福建到粤东登陆后西行路径, 第二类为台风在粤东或珠江口东侧登陆后北上路径, 第三类为珠江口附近登陆后稳定西北行路径。

(3) 台风的移动速度和影响时间是产生暴雨的重要原因, 当台风在副热带高压和大陆高压之间缓慢西行或在弱的环境场中回旋打转缓慢北上时, 台风环流影响韶关的时间较长, 从而产生较大量级的降雨过程。台风环流登陆后若有西南季风持续卷入且偏南急流强度较强时, 能为台风环流提供强烈的低层辐合上升运动; 高层的辐散抽吸作用有利于低层气压进一步下降, 加强低层的辐合。

(4) 低层水汽的持续输入有利于大范围持续性强降雨的发生。当有弱冷空气渗透影响台风外围时, 能增强低层的辐合和大气的斜压性, 使对流发展更为旺盛。除此之外, 还需关注低层假相当位温的平流输送, 若低空急流经过相对暖区输入台风内部, 将为降雨提供有利的能量条件, 加强本地的降雨强度。

基金项目

广东省气象局科学技术研究项目 GRMC2021Q14《粤北地区台风降雨的特征和预报概念模型》资助。

参考文献

- [1] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [2] 黄昌兴, 周国良, 郑磊, 等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6): 81-85.
- [3] 宿海良, 东高红, 王猛, 等. 1949 年-2018 年登陆台风的主要特征及灾害成因分析研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(5): 128-131.
- [4] 程正泉. 登陆台风与环境因子相互作用对暴雨的影响研究综述[J]. 广东气象, 2008(5): 4-7.
- [5] 李英, 陈联寿, 王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. 气象学报, 2004(2): 167-179.
- [6] 李丽, 郑勇. 1996-2006 年韶关热带气旋暴雨统计分析[J]. 广东气象, 2008(4): 30-31+38.
- [7] 刘艳群. 在我国阳江以西登陆的热带气旋对韶关的影响分析[J]. 广东气象, 2002(3): 6-7.
- [8] 叶永恒. 影响韶关的热带气旋及其暴雨预报[J]. 广东气象, 2003(3): 7-9.
- [9] 林运源, 刘艳群, 张录青. 强热带风暴“玛莉亚”对韶关大暴雨过程影响的分析[J]. 广东气象, 2001(3): 5-7.
- [10] 张录青, 邹思为, 郑勇, 等. 强热带风暴“碧利斯”大暴雨的数值模拟试验和成因分析[J]. 广东气象, 2007(4): 24-26.
- [11] 唐宇, 张录青, 黄成南. 韶关一次台风低压大暴雨预报失误的诊断分析[J]. 广东气象, 2009, 31(4): 20-23.
- [12] 陈超, 卢山, 任志杰, 等. 强西南季风背景下 1311 号台风“尤特”的暴雨特征分析[J]. 广东气象, 2015, 37(2): 13-17.