

由台风“海高斯”引起的一次暴雨过程分析

李泽凡

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月22日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月26日

摘要

本文采用台风路径及强度资料(RSMC)、逐小时降水资料、卫星云图资料、ECMWF逐6小时ERA-5再分析资料,对台山市2020年8月19日由台风“海高斯”引起的一次暴雨过程进行天气学诊断分析,结果表明:在本次天气过程中,广东台风受灾地区主要受西太平洋副热带高压控制。850 hPa高度场中印度半岛受低涡控制,有孟加拉湾的水汽和不稳定能量随着气旋向东传输,为“海高斯”的增强以及暴雨的形成提供有利条件。“海高斯”在登陆前的发展过程中由于广东的地形因素有过结构减弱,其对台风“海高斯”重新增强有着重要作用。在台风登陆后两小时内台山市有着低空辐合高空辐散的趋势,垂直速度负值中心出现在400~600 hPa高度层,有明显的上升气流,台山市迎来特大暴雨。台风中心过境后,由于高空气流有辐合趋势低层气流有辐散趋势,致使对流减弱,台山市降水逐渐减少。来自西太平洋以及孟加拉湾地区的水汽供应为此次暴雨过程提供了良好的水汽条件,较强的水汽通量遇上低层辐合气流和垂直方向上升气流形成高湿度气柱为本次降水的关键。该次降水过程中的动力条件以及水汽条件特征可为以后的台风天气预报提供参考和经验。

关键词

台风, 暴雨, 环流形势, 垂直速度, 水汽条件

Diagnostic Analysis of a Rainstorm Process Caused by Typhoon “Higos”

Zefan Li

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 22nd, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 26th, 2021

Abstract

In this paper, typhoon path and intensity data (RSMC), hourly precipitation data, satellite cloud

map data, and ECMWF 6-hourly ERA-5 reanalysis data are used to make a weather diagnosis of a heavy rainstorm caused by typhoon “Higos” in Taishan City on 19 August 2020. The results show that during this weather process, the typhoon-affected area of Guangdong was mainly controlled by the western Pacific subtropical high pressure. 850 hPa height field in the Indian peninsula was controlled by a low vortex, with moisture and unstable energy from the Bay of Bengal transferred eastward with the cyclone, which provided the basis for the intensification of Higos and the heavy rainfall. This provides favorable conditions for the intensification of Higos and the formation of heavy rainfall. The development of Higos prior to landfall had a structural weakening due to topographical factors in Guangdong, which played an important role in the re-enhancement of Typhoon Higos. Within two hours of landfall, there was a tendency for low-level convergence and high-altitude dispersion in Taishan, with negative vertical velocity centers in the 400 hPa to 600 hPa altitude layer and significant updrafts, resulting in very heavy rainfall in Taishan. After the transit of the typhoon center, the convection weakened due to the convergence trend of the high-level airflow and the divergence trend of the low-level airflow, resulting in a gradual decrease of precipitation in Taishan. The water vapor supply from the western Pacific Ocean and the Bay of Bengal region provided good water vapor conditions for the rainstorm process. The strong water vapor flux met the low-level converging airflow and the vertical updraft to form a high humidity column as the key to this precipitation. The dynamical conditions and the characteristics of the water vapor conditions during this precipitation process can provide reference and experience for future typhoon weather forecasting.

Keywords

Typhoon, Rainstorm, Circulation Situation, Vertical Velocity, Water Vapor Condition

Copyright © 2021 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

台风的到来往往会伴随暴雨且是最强的暴雨系统，国内外许多极端降水都和台风的活动有关[1] [2]，影响华南热带气旋特大暴雨的形成原因是复杂的，但概括来讲分为两大类，一是热带气旋自身环流影响为主而产生的特大暴雨，二是热带气旋与西风带系统相互作用而产生的特大暴雨[3]。东南沿海和华南沿海地区台风暴雨占比明显高于内地，其中海南、台湾、福建和浙江等部分地区占比超过 40%，而台湾东南沿海和海南西部高达 50%~60% [4]。

对于台风的形成发展机制，国内外学者也做了许多个例研究和对比研究。植江玲等在 2020 年对台风“天鸽”、“山竹”大风过程和成因进行对比，结果表明：台风本身的强度和结构对台风的影响范围、路径和持续时间等有决定性的影响作用，地面气压场的分布对大风天的出现时间起到重要作用，珠三角“喇叭口”的地形因素对台风有“狭管效应” [5]。REN 等针对东南沿海的台风暴雨展开特征分析，其认为东南沿海地区极端降水的特征与地形和环境配置等有关，且高低层有利的辐合辐散形势和充足稳定的水汽输送也是台风暴雨产生的重要因素[6]。暴雨的强度与位势不稳定层结、水汽辐合能量、垂直运动和边界层的辐合等有关；而充足的水汽和稳定的水汽输送则是发生暴雨的一个基本条件[7]。

台风低压中心风压很大且在登陆前地面阻力影响小，大风可吹毁房屋、建筑、高空设备、车辆、船只和农田等，对通信、网络、人身安全和农业生产都造成巨大危害；此外，台风还会引发山洪、泥石流、农田被淹和城市内涝等灾害，风暴潮还会引发大浪甚至海啸，是大多数海岸灾害的罪魁祸首[8]。台风除

了可导致大量伤亡和经济损失，还会使一些传染病出现爆发流行、慢性非传染病的危险上升[9]。台风在带来狂风暴雨的同时，也起着带来丰沛淡水、调节高低纬气候、保持地球热平衡以及增加捕鱼产量等作用。研究显示，在 0903 号台风北进过程中，海上风电场风机功率显著增加，风速未超出风力发电机的切出风速，为我国东部提高了发电量[10]。台风在对农业造成即时性的损害同时，减少了高温、干旱等更为棘手的农业难题，总体来说台风对农业的影响利大于弊[11]。所以我们需要辩证看待台风天气，在现如今不能随便改变台风天气且无法改变台风天气的情况下，提前预报台风天气、评估台风天气所带来的影响以及提前采取防灾减灾措施、利用好台风资源就显得尤为重要。

随着气象相关科技的进步、各种新型预报产品的出现，我国对台风天气的预报愈加准确[12]。但是由于台风规模大、蕴含能量强、所受影响因子多，对台风天气的预报还是难以精确[13][14]。比如台风暴雨的预报需要掌握水汽是否充沛以及能否持续供应的情况、降水的分布需要对台风路径以及云系变化有准确理解、台风路径又受地形和台风强度等的影响[15]。台风“海高斯”是 2020 年第 7 号台风，它于 2020 年 8 月 19 日 6 时许以近巅峰强度在广东省珠海市金湾区沿海登陆，登陆时中心附近最大风力有 12 级(35 m/s)，给我国珠三角地区人民生活造成重大影响。同时，在对其预报方面，“海高斯”的实际路径比官方气象部门的预测路径都更偏北，于南海北部爆发性增强，更正面吹袭珠江口一带，它也是自 1997 年台风“维克托”以来，首个于南海生成的热带气旋。

据此，本文将分析台风“海高斯”的路径和降水情况，从环流形势、风场以及卫星云图资料展开研究，结合垂直速度、水汽通量和涡度散度等相关物理量诊断分析本次台风过程[16]，以期寻找台风天气的气象因子特点，研究台风暴雨的成因，以期为后续台风天气预报的预报提供帮助和参考。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文使用的台风路径资料来自日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)的 RSMC 台风中心最佳跟踪数据[17]，下载地址：http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/bstve_2020_m.html。

高度场资料、风场资料、垂直速度量、涡度散度数据、湿度数据均采用欧洲中尺度天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的 ERA-5 资料[18]。卫星云图资料采用中国气象局 MICAPS 实况资料。其中高度场、风场、涡度散度、湿度数据资料为 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa 再分析数据，垂直速度数据为 100 hPa 开始每隔 100 hPa 到 1000 hPa 的平均再分析数据，以上数据时间跨度为北京时 2020 年 8 月 17 日 08 时开始每隔 6 小时到 20 日 02 时。卫星云图数据时间跨度为北京时 2020 年 8 月 17 日 0 时开始每隔两小时一次到 19 日 24 时。

2.2. 研究方法

本文主要采用欧洲中心的 ERA-5 再分析资料绘图以及调用现有的部分 MICAPS 实况资料。采用 MICAPS 中台风过程时段的小时降水资料和红外卫星云图，使用 NCL 编程绘制台风过程时段的大气环流形势图、垂直速度场时间剖面图、散度和涡度时空分布图以及水汽通量、水汽通量散度分布图等。

首先对台风路径、带来的降水情况进行分析，对台风过程的时空位置有准确的把握以及对台风大致的发展过程有大概了解后。其次结合环流形势图、风场图和卫星云图，找到台风生成有利条件以及发展过程中的影响因素。最后通过物理量诊断分析垂直速度、涡度散度、水汽通量和水汽通量散度，以确定台风带来暴雨的动力条件、水汽条件。

其中水汽通量和水汽通量散度没有直接的数据来源，需要通过计算获得：

$$F = \bar{v} \cdot q / g \quad (1)$$

$$A = \nabla \cdot \left(\frac{1}{g} \vec{V}q \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{g} uq \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{g} vq \right) \quad (2)$$

其中, 1) 为水汽通量计算公式。其中 \vec{v} 为风速, q 为比湿, g 取 9.8 m/s^2 。2) 为水汽通量散度计算公式, 其中 u 、 v 为水平风速大小, q 为比湿, g 取 9.8 m/s^2 。

如果水汽通量散度大于零, 水汽通量呈现辐散的趋势, 反之则为辐合区。绘制水汽通量和水汽通量散度分布图可以直观地总结出水汽通量和水汽通量散度的分布特征, 借此分析地面和高空的对流形势以及其对降水的影响。

3. 结果

3.1. 台风路径及强度、降水概况

3.1.1. 台风路径及强度

2020年8月16日12时(北京时, 下同), 一个热带扰动在菲律宾吕宋岛以东的西北太平洋洋面上生成, 之后缓慢加强, 当日17时, 中央气象台将其升格认定为热带低压。17日08时该热带低压位于 18.5°N 、 122.6°E 附近, 中心附近最大风力有7级(15 m/s), 中心最低气压为 1002 hPa , 且在17日持续加强, 日本气象厅于18日8时将其升格为热带风暴, 并给予国际编号2007, 命名为“海高斯”。随后在18日17时中央气象台加强升格为强热带风暴, 又在当日20时中央气象台将其认定为台风。2007号台风“海高斯”于8月19日6时左右在我国广东省珠海市金湾区沿海登陆(图1), 登陆时中心附近最大风力有12级(35 m/s), 中心最低气压为 970 hPa 。登陆口为一湾区, 存在有“狭管效应”, 使台风有一定加强。登陆后“海高斯”继续向西偏北方向移动(图1), 强度逐渐减弱。19日9时中央气象台将“海高斯”降格为强热带风暴, 当日11时降格为热带风暴。19日20时, “海高斯”已于广西苍梧县境内减弱为热带低压, 已难以确定其环流中心。“海高斯”生命期为三天半左右, 具有移速快、近海加强的特点, 在登陆时几乎为巅峰强度。

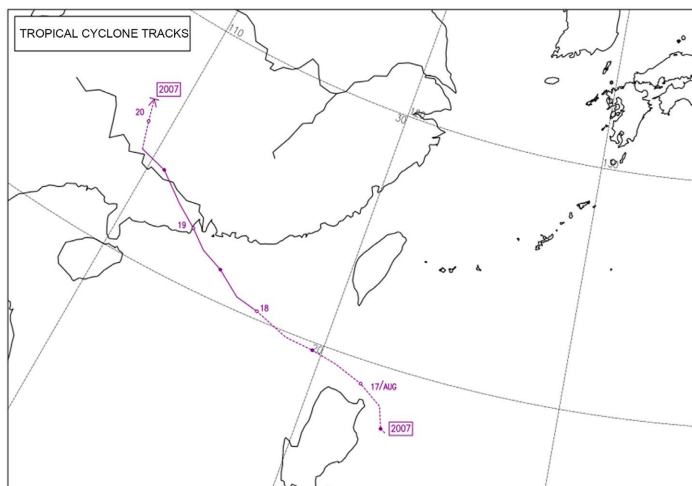


Figure 1. Typhoon “Higos” path change map released by JMA
图1. 日本气象厅2007号台风“海高斯”路径变化图

3.1.2. 降水概况

台风暴雨一般是指每小时降水量 16 mm 以上, 本文选取中央气象台 MICAPS 实况资料中的每小时降水量分析台风“海高斯”所引起的暴雨过程。台风“海高斯”登陆前后广东南部沿海地区普降暴雨并为

3.2. 环流形势分析、风场分析、卫星云图分析

3.2.1. 环流形势以及风场分析

从 500 hPa 亚欧环流高度场可看出, 在台风“海高斯”登陆当天与前一天里, 亚欧中高纬地区呈现“两槽一脊”的环流形势, 乌拉尔山脉附近有一稳定低压槽, 东亚地区也存在一稳定低槽, 西伯利亚地区为广阔的脊区, 内蒙地区为弱脊。中低纬地区中, 阿拉伯地区有一稳定高压, 高原地区中部有一高压, 高原南部有一低压中心。西太平洋副热带高压稳定存在, 高压中心位于 130°E 附近, 此天气系统下台风多向西偏北方向移动, 高压中心约为 596 hPa, 高压脊有所西伸北抬, 有利于台风转向北上。18 日期间, 广东地区处于西太平洋副高高压脊后控制下, 有利于低层气流辐合上升, 为降水提供有利对流环境。印度半岛有一高空低涡的存在加上在孟加拉湾地区有上升气流, 使得孟加拉湾的暖湿气流向高空抬升并在低涡的输送下向华南地区输送。从图 3(b)、图 3(c)中可看出, 18 日 20 时台风中心位于南海北部, 19 日 08 时台风向西偏北方向移动已经登陆。图 3(d)中可看出, 台风登陆后向广西方向移动, 并且规模缩小、强度减弱。

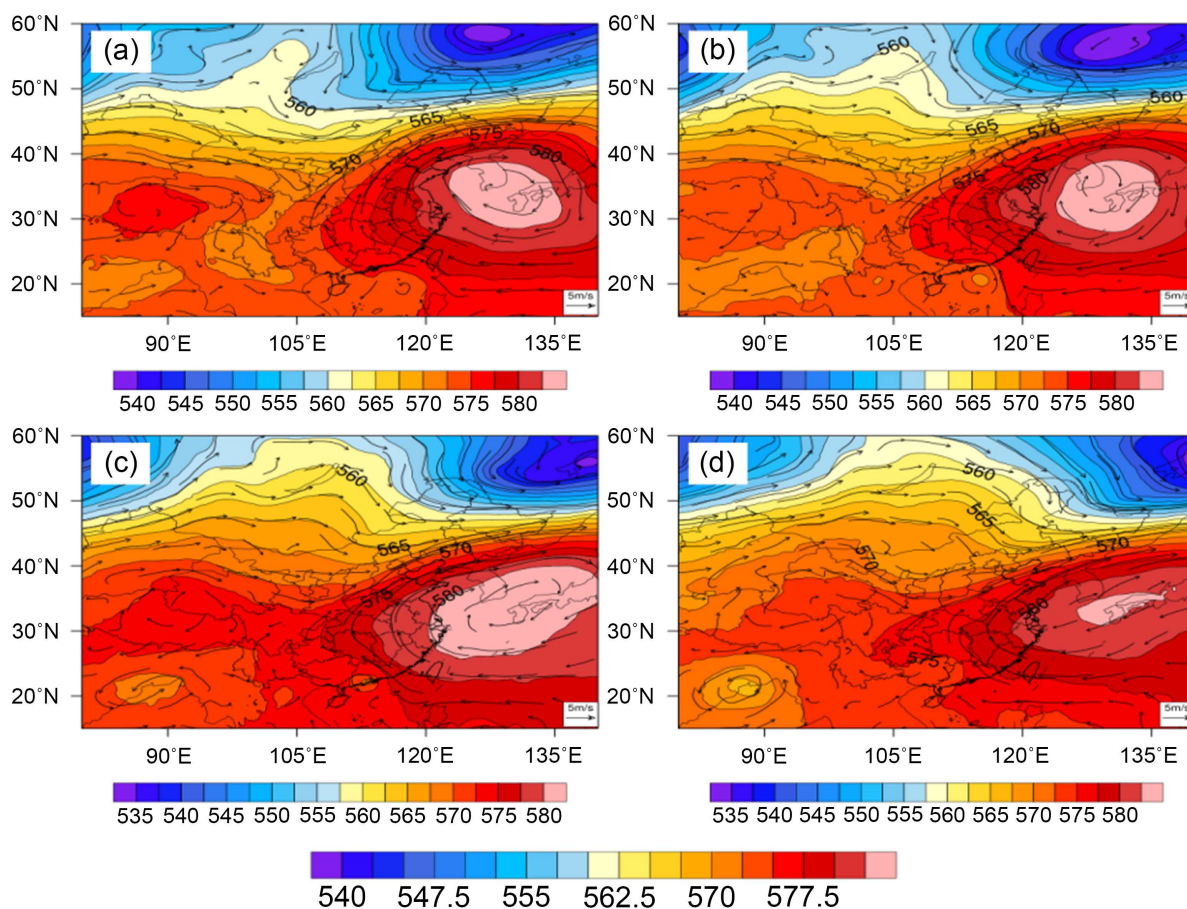


Figure 3. 500 hPa height field (shaded) and wind field (arrows) geopotential height in 10 gpm. (a) 08:00 on the 18th; (b) 20:00 on the 18th; (c) 08:00 on the 19th; (d) 20:00 on the 19th

图 3. 500 hPa 高度场(阴影)和风场(箭头)位势高度单位: 10 gpm。(a) 18 日 08 时; (b) 18 日 20 时; (c) 19 日 08 时; (d) 19 日 20 时

500 hPa 风场中, 中高纬两稳定低槽附近为气旋性涡旋, 西伯利亚及蒙古地区为带有反气旋性切变的西风, 有冷空气南下我国内蒙古和东北地区。高原北部东移高压携带冷空气但到四川东北地区已与太平

洋副热带高压合并,造成四川东北地区降水。18日08时我国川滇地区上空存在一气旋逐渐与西边印度地区东移的低涡合并逐渐移出我国,印度半岛东部风场有气旋性弯曲与西风带结合为我国华南地区输送水汽和不稳定能量。台风附近小部分区域风场有明显的气旋性弯曲。西太平洋副高有一高压脊于17日晚23时左右经过广东地区,广东地区500 hPa高空由偏南气流控制转变为受脊后偏东气流控制。一直到18日20时左右由于台风“海高斯”低压的靠近,又转变为偏南气流控制且风速明显加大。19日23时,台风消亡,广东地区又重新受西太平洋副高脊前偏东气流控制。从风场中也可以看出,台风到来前后的变化之大,18日08时为4级风,18日20时台风接近风速转变为7级,19日台风登陆后08时为9级,20时台风离开广东后重新受到西太平洋副高脊前控制,风速减慢。

700 hPa高度场中,中高纬地区环流形势与500 hPa场基本对应,见图4(a)~(d)。中低纬高原北部有高压东移与西太平洋副高合并与500 hPa场对应。印度地区存在低压与500 hPa场低涡相对应,将孟加拉湾地区暖湿气流抬升并向我国境内输送水汽。广东省700 hPa环流形势基本与500 hPa对应,先后受到高压脊后控制和台风系统控制,但是台风系统明显等高线较500 hPa场密集。同样可以看出台风“海高斯”向西偏北方向移动,并且等高线随着时间在近海变得较为密集,说明台风强度有所加强,体现本次台风近海加强的特点。

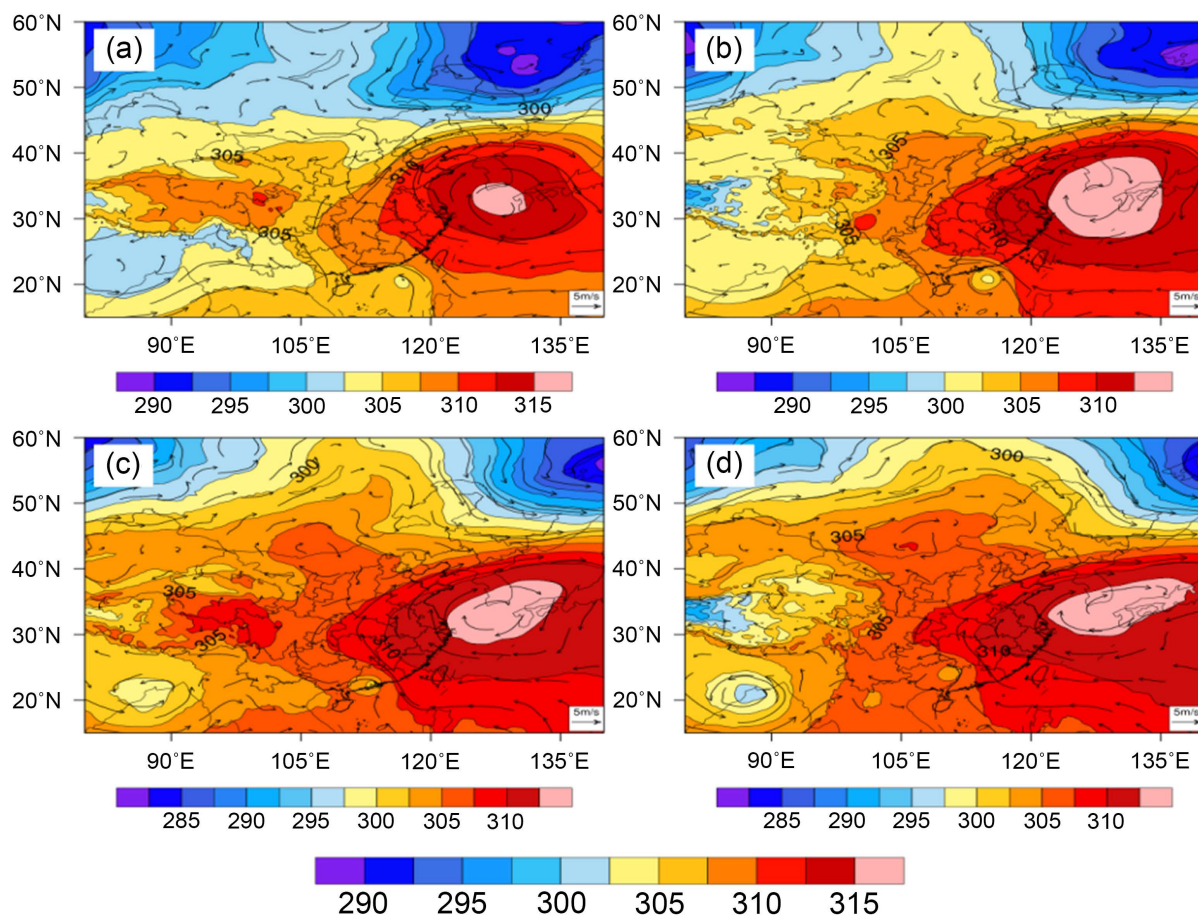


Figure 4. 700 hPa height field (shaded) and wind field (arrows) geopotential height unit: 10 gpm. (a) 08:00 on the 18th; (b) 20:00 on the 18th; (c) 08:00 on the 19th; (d) 20:00 on the 19th

图 4. 700 hPa 高度场(阴影)和风场(箭头)位势高度单位: 10 gpm。(a) 18 日 08 时; (b) 18 日 20 时; (c) 19 日 08 时; (d) 19 日 20 时

850 hPa 高度场中, 亚欧中高纬为两槽一脊型, 乌拉尔山和东亚各有一稳定大槽, 中西伯利亚有一脊有南下趋势后与西太平洋副高合并, 使得西太平洋副高有所加强。中低纬宁夏甘肃接壤处有一高压中心东移与太平洋副高合并, 对应高层高原北部过来的高压, 高原西部有一低压系统缓慢东移在高压离开后控制高原地区, 见图 5(a)~(d)。印度半岛地区先后有两个低涡随着西风带向东汇入原有低压中心, 低涡稳定存在与高层的低压系统相对应, 说明印度半岛地区存在一较强的气旋, 并且气流上升运动明显, 有孟加拉湾水汽和不稳定能量随着低涡气流向我国华南地区输送, 有利于台风系统带来的暴雨天气形成发展。广东地区先后受西太平洋副高和台风控制, 与高层高度场基本对应。同样在 850 hPa 高度场中明显可见, 台风接近广东前有所加强以及登陆后因摩擦和水汽供应不足迅速减弱。

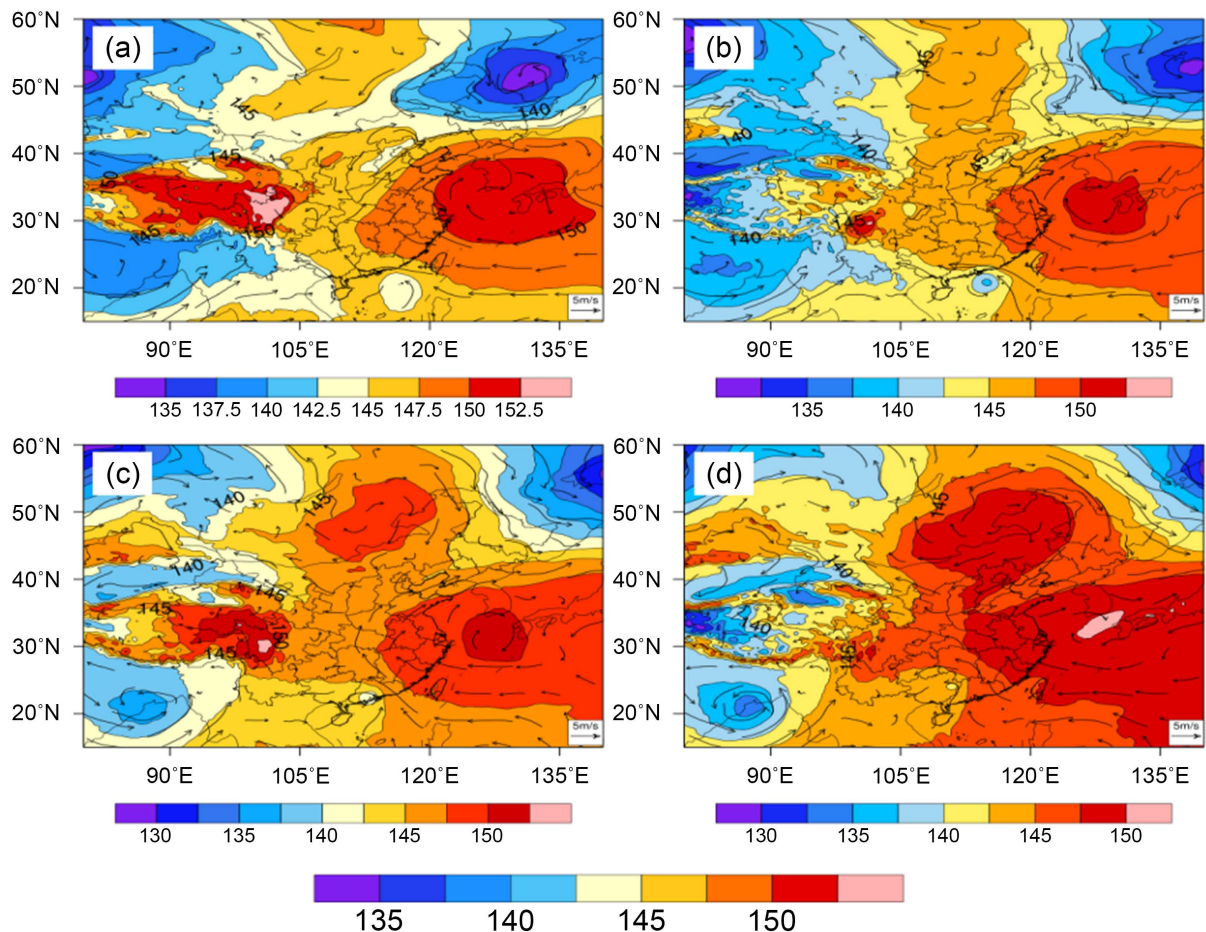


Figure 5. 850 hPa height field (shaded) and wind field (arrows) geopotential height unit: 10 gpm. (a) 08:00 on the 18th; (b) 20:00 on the 18th; (c) 08:00 on the 19th; (d) 20:00 on the 19th

图 5. 850 hPa 高度场(阴影)和风场(箭头)位势高度单位: 10 gpm. (a) 18 日 08 时; (b) 18 日 20 时; (c) 19 日 08 时; (d) 19 日 20 时

700 hPa 和 850 hPa 风场基本与 500 hPa 风场相对应, 但是还是有所差别。台风到来期间 500 hPa 台风附近风速与其他地区区别比低层不明显; 850 hPa 印度半岛地区涡旋更明显, 风速辐合更大。850 hPa 可明显看到蒙古有高压南下而高层难以发现。

通过对高度场和风场的分析, 可以得到以下结论: 本次台风过程主要受西太平洋副高控制, 蒙古和高原北部有高压汇入西太平洋副高使得高压加强, 对台风等高线有一定挤压使得台风增强, 并且印度半岛的涡旋帮助向台风系统输送水汽和不稳定能量, 本次台风具有移速快、近海加强的特点。

3.2.2. 卫星云图分析

图 6(a)可以发现,“海高斯”命名之初(18日 08 时),它与其他南海西太平洋热带气旋相似,呈现“9”字型旋臂结构。图 6(b)中,18日 08 时~14 时内“海高斯”迅速变化发展为“6”字型旋臂,结构上的变化不仅令“海高斯”快速发展增强,而且路径也从偏西转向偏北,使得台风“海高斯”向粤迅速靠近。图 6(c)中,18日 14 时~20 时内“海高斯”眼墙破裂、结构散乱,17 时“海高斯”6 字旋臂已进入粤东,由于粤东的高山地形作用旋臂被破坏,台风整体性受到极大影响,导致“海高斯”18 日晚没有再增强。图 6(d)中,直到 19 日 03 时结构重新调整,重新增强继续向西偏北方向移动。图 6(e)中,19 日 06 时左右,台风“海高斯”登陆珠海市金湾区,登陆后继续向西偏北移动,给广东地区带来暴雨。图 6(f)中,由于地形摩擦与水汽输送供应不足,台风在登陆后迅速减弱,并且在 19 日 23 时螺旋云系消失,台风消亡。通过对“海高斯”卫星云图的分析我们可以发现:“海高斯”在登陆前的发展过程中由于广东的地形因素有过结构减弱,其对台风“海高斯”的发展过程有着重要作用。

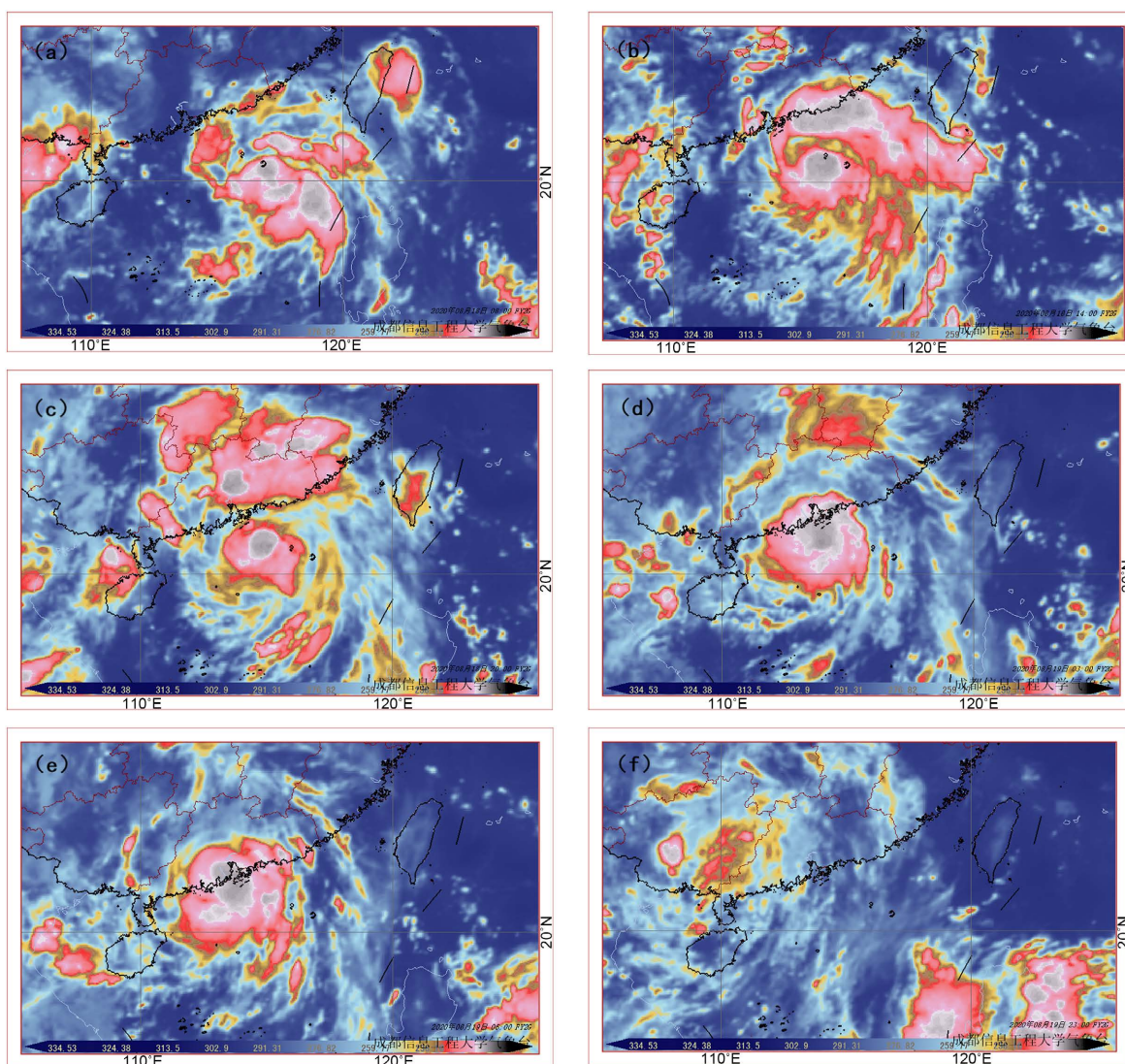


Figure 6. Infrared cloud map. (a) 08:00 on the 18th; (b) 14:00 on the 18th; (c) 20:00 on the 18th; (d) 03:00 on the 19th; (e) 06:00 on the 19th; (f) 23:00 on the 19th

图 6. 红外云图。(a) 18 日 08 时; (b) 18 日 14 时; (c) 18 日 20 时; (d) 19 日 03 时; (e) 19 日 06 时; (f) 19 日 23 时

3.3. 暴雨相关物理量诊断分析

3.3.1. 垂直速度场分析

本文选取台山市(113°E, 22°N)8月17日08时至20日时的垂直速度资料,通过NCL绘制垂直剖面图分析,见图7。

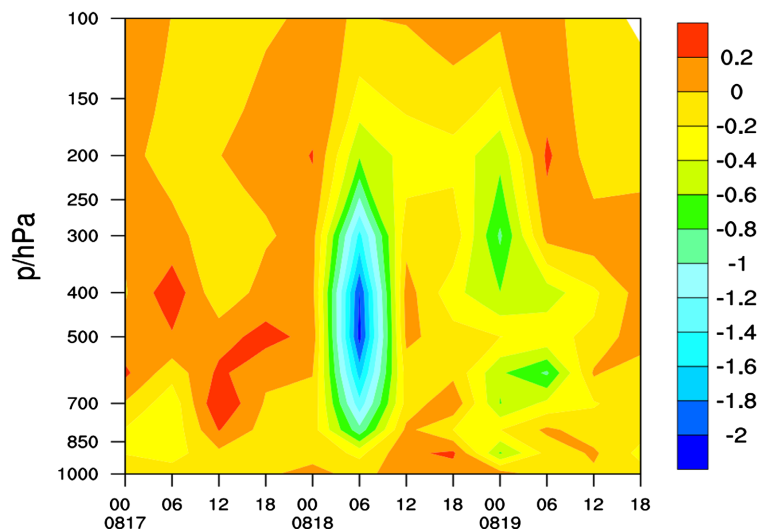


Figure 7. Vertical velocity profile of Taishan (113°E, 22°N) with time (utc time 17:00~19:18)
图 7. 台山(113°E, 22°N)垂直速度随时间(utc 时间 17 日 00 时~19 日 18 时)变化剖面图

17日08时~17日14时台山市上空以下沉气流为主,在400 hPa左右达到该时段最大下沉气流速度。11时之后在200 hPa左右开始出现微弱的上升气流随后上升气流范围扩张到整个台山市高层上空但是整体微弱,700 hPa中层及以下以上升气流为主在850 hPa左右达到该时段最大上升气流速度。17日14时至18日02时,500 hPa以上高空为微弱的上升气流为主,500 hPa到850百帕有下沉气流,最大下沉气流速度出现在500~850 hPa之间,近地面以上则为微弱上升气流。18日凌晨之后,大气环境下沉气流总体减弱,700 hPa以上仍保持微弱的下沉气流,700 hPa以下主要为微弱的上升气流,近地面在06时左右出现短暂有微弱下沉运动。

18日06时到14时,台山市上空的下沉气流急剧转变为较强的上升气流,最高上升气流速度出现在14时500 hPa左右,同时也是台山上空在本次台风时段中的高上升气流速度。通过卫星云图和高度场发现此时,台风“海高斯”风眼处于南海北部115.5°E, 21°N附近,并且台风已经开始影响到台山市,螺旋云系已进入台山市上空,降水资料也显示此时已开始降水但是降水持续时长仅有两小时且降水量不是很大,不认定为暴雨天气。

18日17时之后,台风旋臂被破坏、结构散乱,台山上空部分垂直速度场短暂恢复到微弱的下沉运动,其中近地面到700 hPa场下沉变化趋势较明显,期间台山地区没有降水、台风进行恢复调整、结构重建。19日02时左右,台风“海高斯”云墙区到达台山,气流场又向上升运动的趋势靠近。06时台风于金湾区登陆,台山上空200~400 hPa、600~700 hPa垂直速度负值增大较快,气流上升较明显。从降水资料中看到,台山市从19日06时到10时维持了四个小时的强降水,出现本次台风过程中台山市最大小时降水量(小时降水47.1 mm),过程中300 hPa层为上升气流大值中心,200~400 hPa、600~700 hPa气流上升也较为明显。到了19日14时许,台风“海高斯”中心已经经过台山市,台山上空300 hPa及以上已开始转变为微弱的下沉运动,各层气流垂直速度都向正值靠近。

通过分析台山垂直速度场时间剖面图,我们可得出以下结论:1)在台山强降水之前以及过程中有大值负垂直速度出现,气流上升强度强、高度高,为强降水天气提供了有利的对流条件。2)台风中最强烈的对流以及降水出现在台风外围涡旋区而非台风中心眼区。3)台风过程中最大降水时段不一定是垂直速度负值最大、上升气流最快时段。

3.3.2. 涡度散度分析

18日14时,台山市上空200 hPa散度为广东地区正值中心,强度达到1至2之间,850 hPa散度为广东地区负值中心,强度达到-1至-1.5之间,对应垂直速度场中该时刻为上升运动为主,有较强的低层辐合高层辐散形势,属于有利于降水发生的对流环境。并且高层辐散中心西边为负值散度中心,低层辐合中心西边为正值散度中心,呈现高层辐合低层辐散的下沉运动趋势,有利于低层辐合中心入流,加强对流天气强度。

19日08时,台山上空垂直速度场中可以看到主要分为三段上升气流的主要分布区,分别为200~400 hPa、600~700 hPa以及850 hPa到近地面层。通过散度分布图,可以发现200 hPa有辐散趋势(图8(a)),500hPa有微弱辐散趋势(图8(c)),700 hPa为辐合趋势(图8(d)),850 hPa(图8(b)为较强辐散趋势,与垂直速度场中的气流垂直运动都可以一一对应,该时段台山市降水水汽来源主要来自700 hPa)。

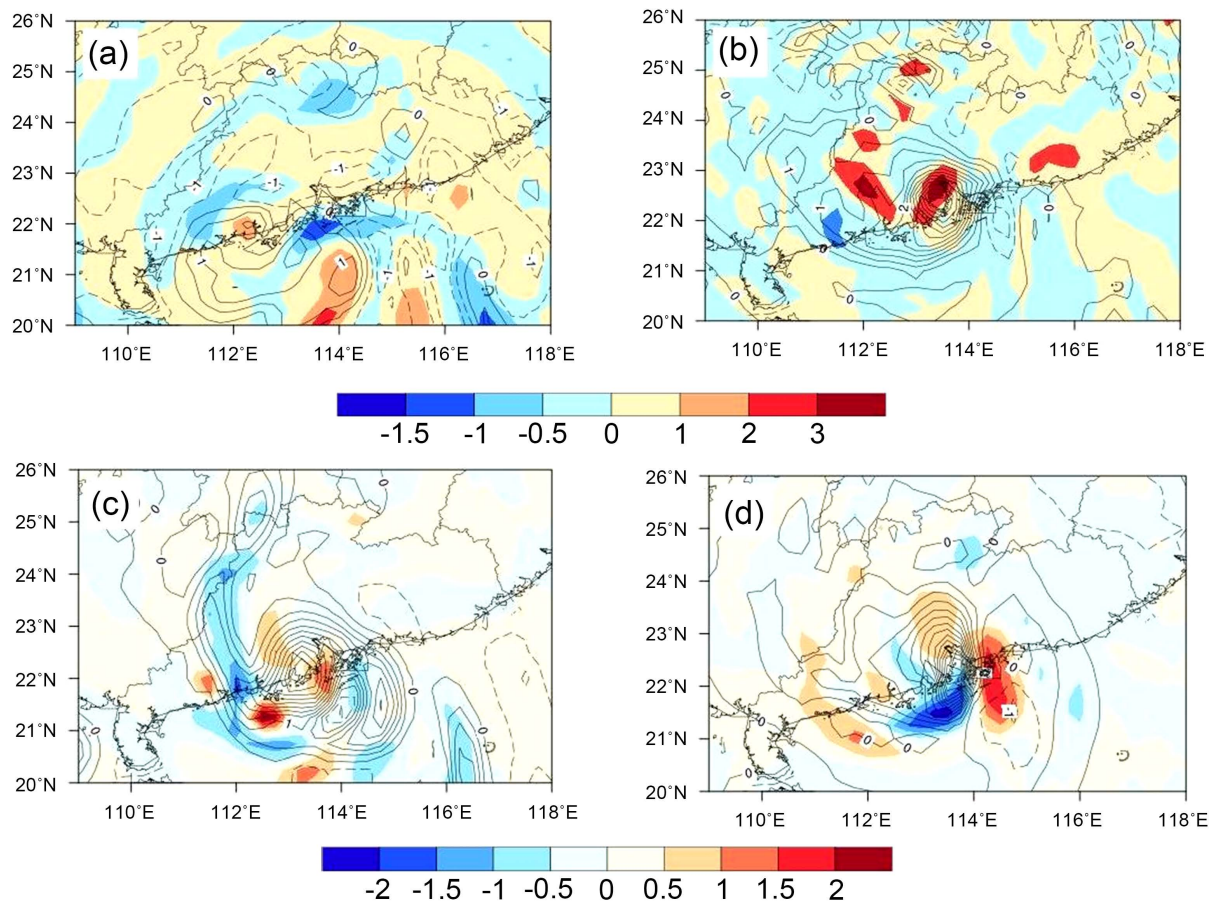


Figure 8. Distribution of dispersion (shading) and vorticity (contours) at 08:00 on the 19th (Unit: $10^{-4}/s$). (a) 200 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 700 hPa

图 8. 19 日 08 时散度(阴影)和涡度(等值线)分布图(单位: $10^{-4}/s$)。 (a) 200 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 700 hPa

从涡度角度来分析,见图9(a)、图9(b),19日08时,850 hPa广东地区基本都为正涡度区,正涡度

中心位于 113.5°E, 22.5°N 广东中部沿海地区附近。500 hPa 高空正涡度中心位于 113°E, 22°N 附近, 200 hPa 高空正涡度中心位于 113°E, 21.5°N 附近且与 850 hPa 正涡度中心相比范围较小、中心涡度较小, 200 hPa 正涡度中心北部为负值涡度区。这种涡度的垂直分布结构说明 19 日 08 时气流上升运动主要发生在 113°E, 22°N 沿海地区且该地区此时大气层结不稳定能量较强, 易形成强降水天气。根据降水实况资料也可验证该结论。19 日 14 时, 台风系统已处于粤西即将进入广西省, 200 hPa 散度正值中心位于 112.5°E, 23°N 云浮附近, 850 hPa 散度负值中心位于 112°E, 23°N 附近, 从降水资料可发现为该时段广东主要降水区, 同样是高空辐散低空辐合的形势。

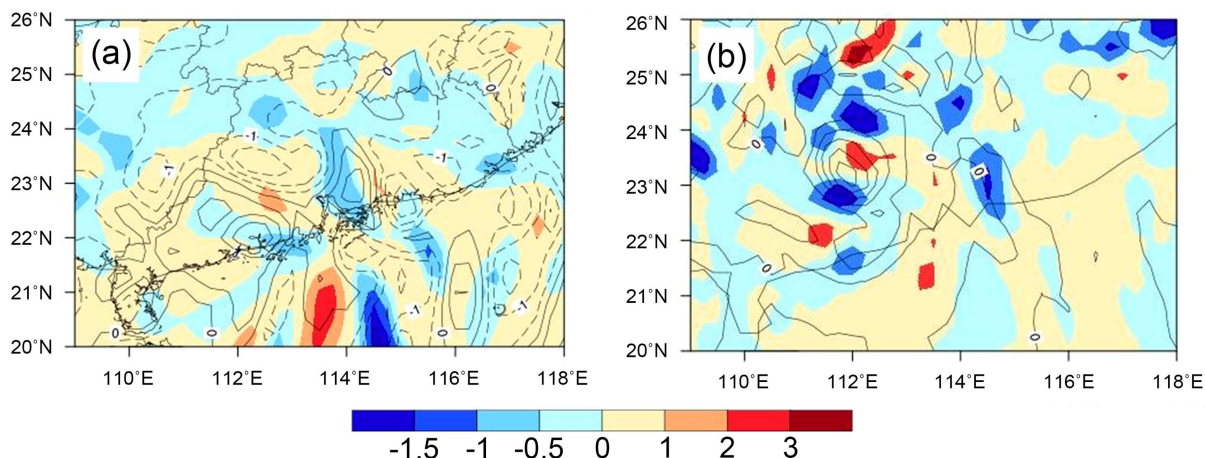
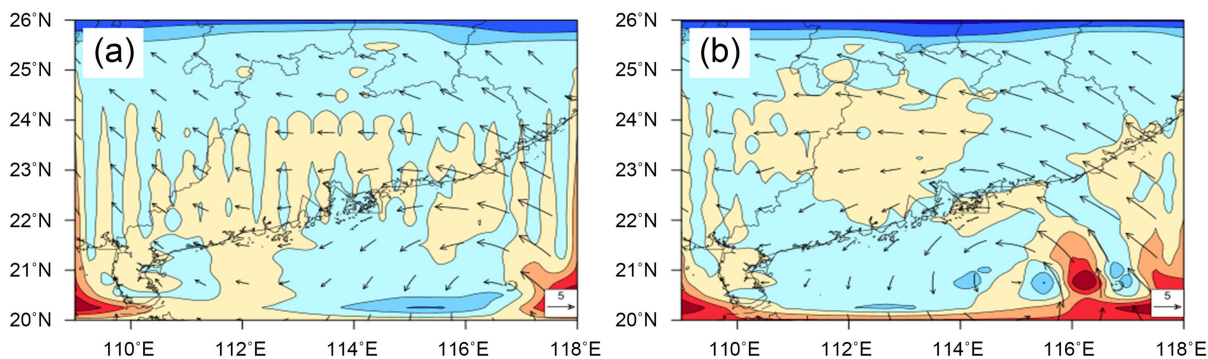


Figure 9. Divergence (shading) and vorticity (contour) distribution at 14:00 on the 19th (Unit: $10^{-4}/s$). (a) 200 hPa; (b) 850 hPa
图 9. 19 日 14 时散度(阴影)和涡度(等值线)分布图(单位: $10^{-4}/s$)。(a) 200 hPa; (b) 850 hPa

3.3.3. 水汽通量、水汽通量散度分析

通过 700 hPa 19 日 08 时水汽图(图 10)可以看到台风到来时, 洋面水汽通量散度增大到正值, 广东地区水汽通量散度减小, 有从南海北上的水汽通量明显增大且带有气旋性弯曲, 从粤东地区进入广东逆时针方向在广东境内传输, 为广东带来大量水汽。18 日 20 时 700 hPa 粤东和西南地区为水汽主要的汇, 850 hPa 水汽通量散度分布区别不明显且水汽通量主要是从东部过来而不是南部的台风系统, 该时段受台风被破坏旋臂的影响在粤东和广东西南地区有较强上升气流并且有降水。19 日 08 时粤东和江门中山一带沿海地区为水汽主要的汇。台风附近北部和东部为已较大范围的水汽辐散区, 但西部以及东北部外围仍为水汽辐合区。850 hPa 水汽图(图 11)中 19 日 08 时, 台风西北侧和东部都为水汽辐散区, 辐合区主要为广东西南侧以及东北侧外围区。台山市市区上空 19 日降水时段 700 hPa 层水汽充沛。到 19 日 20 时, 台风已离开广东, 广东地区水汽通量气旋性弯曲基本消失, 重新受到西太平洋副高控制。



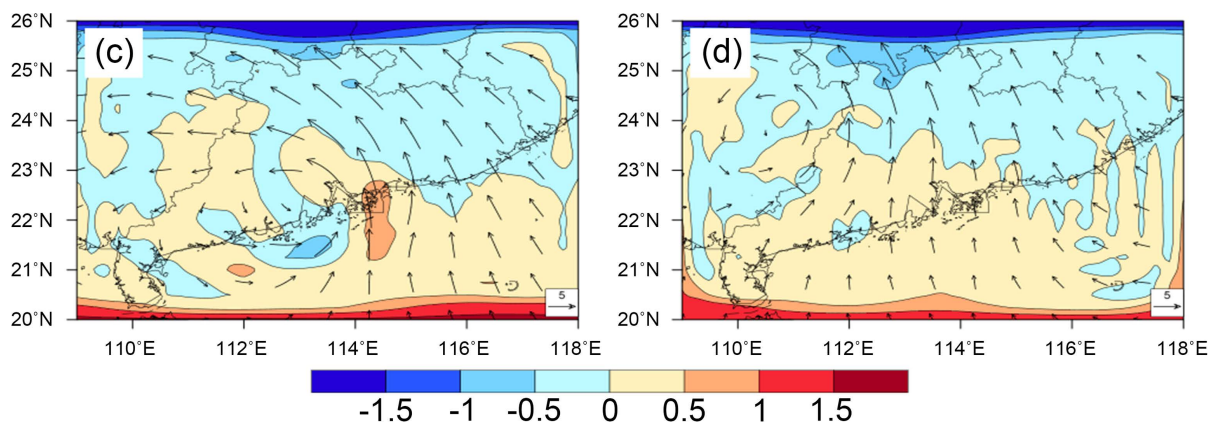


Figure 10. Distribution of water vapor flux (arrow) and water vapor flux divergence (shaded) at 700 hPa (Unit: $\text{m/s } 10^{-5}/\text{s}$). (a) 08:00 on the 18th; (b) 20:00 on the 18th; (c) 08:00 on the 19th; (d) 20:00 on the 19th

图 10. 700 hPa 水汽通量(箭头)和水汽通量散度(阴影)分布图(单位: $\text{m/s } 10^{-5}/\text{s}$)。 (a) 18 日 08 时; (b) 18 日 20 时; (c) 19 日 08 时; (d) 19 日 20 时

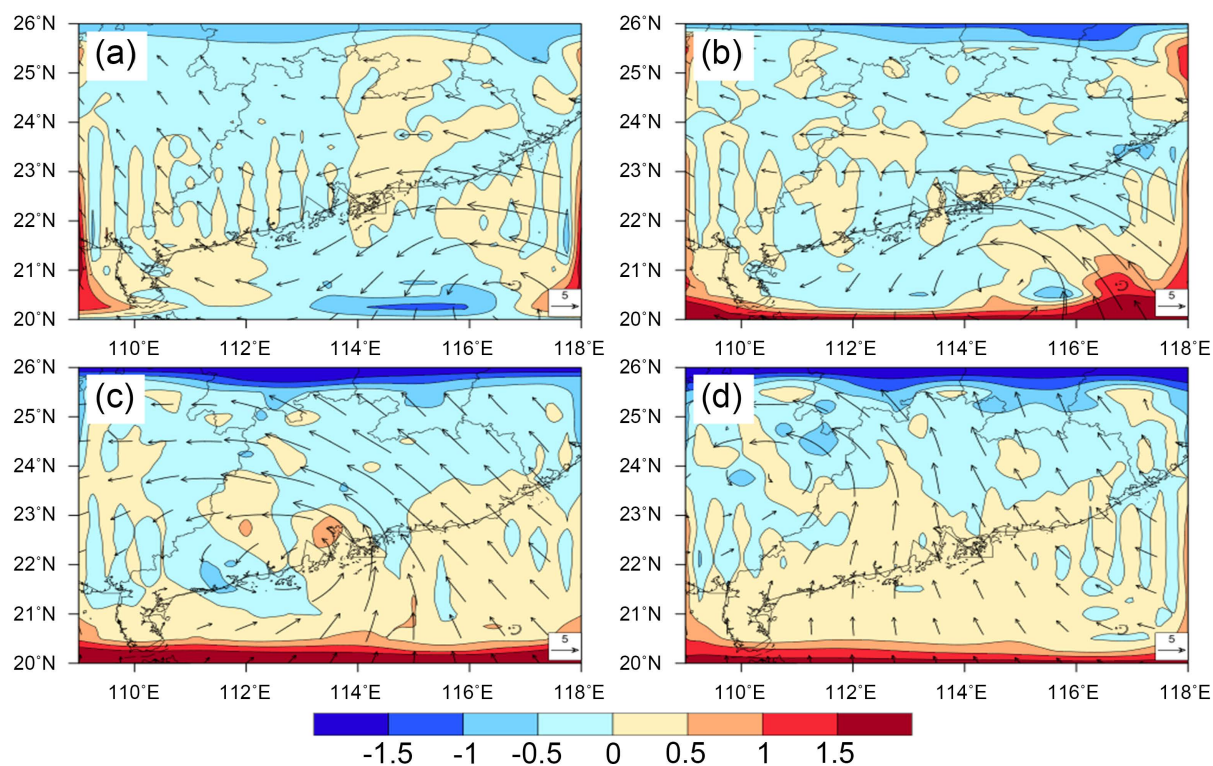


Figure 11. Distribution of water vapor flux (arrow) and water vapor flux divergence (shaded) at 850 hPa (Unit: $\text{m/s } 10^{-5}/\text{s}$). (a) 08:00 on the 18th; (b) 20:00 on the 18th; (c) 08:00 on the 19th; (d) 20:00 on the 19th

图 11. 850 hPa 水汽通量(箭头)和水汽通量散度(阴影)分布图(单位: $\text{m/s } 10^{-5}/\text{s}$)。 (a) 18 日 08 时; (b) 18 日 20 时; (c) 19 日 08 时; (d) 19 日 20 时

结合降水资料通过水汽图的分析,我们得到结论:本次台风带来的降水水汽辐合主要发生在 700 hPa 层,较强水汽通量遇到上升气流发生抬升凝结形成降水。

4. 结论

本文采用天气学诊断分析方法对台风“海高斯”所引发的暴雨天气过程进行环流形势的分析以及其

他相关物理量的诊断分析, 得到如下结论:

1) 本次台风过程中广东地区主要受西太平洋副高控制, 850 hPa 有高原北部东进的高压和蒙古地区南下高压使得副高加强, 对台风等高线有一定挤压, 使得“海高斯”有所加强。印度半岛地区有较强气旋存在, 使得孟加拉湾水汽和不稳定能量抬升并随着低涡南部西风向东朝台风“海高斯”输送, 对台风起加强作用。本次台风具有移速快、近海加强的特点。

2) 本次台风引起强对流天气在 19 日 05 时从珠海开始移动, 一直持续到 19 日 19 时广西境内结束。台风中最强烈的对流以及降水出现在台风外围涡旋区而非台风中心眼区。台风过程中最大降水时段不一定是垂直速度负值最大、上升气流最快时段。

3) 通过对散度和涡度场的分析可知, 低空辐合、高空辐散的散度场易引起强降水天气, 周围地区低空辐散高空辐合的散度场会加强该地区降水。相反, 低空辐散高空辐合的散度场会抑制降水天气。

4) 通过对水汽通量和水汽通量散度的分析可知, 本次台风暴雨的水汽主要来自西太平洋和孟加拉湾, 借由台风系统向广东境内输送, 水汽辐合主要发生在 700 hPa 层。暴雨天气需要有较好的水汽条件, 还需要配合强大的水汽辐合区, 强水汽辐合加上局部较好的水汽条件才形成极端降水天气。

参考文献

- [1] 史丽, 张柳红, 伍红雨. 1994-2018 年广东主要气象灾害特征分析[J]. 广东气象, 2021, 43(2): 54-57.
- [2] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [3] 鹿世瑾. 华南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [4] 任福民, 吴国雄, 王小玲, 等. 近 60 年影响中国之热带气旋[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [5] 植江玲, 黄先香. 1713 号台风“天鸽”与 1822 号台风“山竹”大风过程对比及成因分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(5): 54-60.
- [6] Ren, F.M., Gleason, B. and Easterling, D. (2002) Typhoon Impacts on China's Precipitation During 1957-1996. *Advances in Atmospheric Sciences*, **19**, 943-952.
- [7] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 第 3 版. 北京: 气象出版社, 1992.
- [8] 胡东奇. 1998-2017 年台风对我国的影响研究[J]. 中国新通信, 2019, 21(9): 239-240.
- [9] 康瑞华. 2008-2013 年登陆广东、福建、海南的热带气旋对手足口病的影响[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东大学, 2016.
- [10] 吕海滨, 陆银娟, 贺文通, 赵星宇, 刘昱君. 0903 号台风对我国海上风力发电的影响[J]. 海洋科学, 2018, 42(12): 23-29.
- [11] 赵秀兰. 近 50 年登陆我国热带气旋时空特征及对农业影响研究综述[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 1-11.
- [12] 罗晓丽. 基于红外卫星云图的台风智能识别及定位方法[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2017, 29(3): 72-76.
- [13] 毛夏, 贺忠, 毛绍荣. 华南热带气旋特大暴雨的统计特征[J]. 热带气象学报, 1996, 12(1): 78-84.
- [14] 高建华, 朱晓东, 朱大奎, 余有胜. 台风风暴潮对我国沿海地区的影响及其防御对策[J]. 海洋通报, 1999, 18(3): 14-19.
- [15] 任福民, 杨慧. 1949 年以来我国台风暴雨及其预报研究回顾与展望[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 526-540.
- [16] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤, 等. 热带气旋动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [17] Kunitsugu, M. (2012) Tropical Cyclone Information Provided by the Rsmc Tokyo-Typhoon Center. *Tropical Cyclone Research and Review*, **1**, 51-59.
- [18] Berrisford, P., et al. (2011) The ERA-Interim Archive. 2nd Edition, ERA Report Series No. 1.