

海南热带积雨云带降水特征分析

黄巧明^{1,2}, 邢峰华¹, 黄彦彬¹

¹海南省气象局人工影响天气中心, 海南 海口

²海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口

Email: Huangqiaoming@sina.com

收稿日期: 2020年12月22日; 录用日期: 2021年1月16日; 发布日期: 2021年1月22日

摘要

海南2020年4月22日出现云带持续的强降水天气, 这是冷空气偏西下锋消天气过程的重要天气类型之一, 深入研究其降水机理, 对人们的生产生活具有重要意义。利用常规地面、高空、卫星和雷达资料, 特别使用NCEP/NCAR的fml再分析资料, 对降水云带的结构及其特征进行分析研究。结果表明: 1) 海南岛中下层的相对湿度变化不大, 上层有水汽补充。2) 海南岛吹反气旋式, 下层东风, 中下层南风, 中上层西南风。3) 海南岛下层有一个正涡度区; 往上有一正一负涡度; 中下层有一正和二负涡度, 西北部海面的正涡度区向东南延伸, 西部和东北部各有一个负涡度; 上层有二正和二负涡度, 变为鞍马型, 西北部的正涡度区影响减少, 东南部的正涡度区影响增加。4) 海南岛的最大风为西南风, 风速在22~27 m/s之间, 其温度在-65℃~-59℃之间, 高度在13,280~13,947 m之间。5) 海南岛的对流风为西到西南风, 风速在7~16 m/s之间, 其温度在-78℃~-77℃之间, 高度在16,080~17,264 m之间。6) 海南岛的对流有效位能南部在1377~1650 J/kg之间, 西部在365~716 J/kg之间, 北部较低, 在270~284 J/kg之间。7) 海南岛的对流凝结高度在4826~4988 m之间。8) 海南岛的柱体云水为0.06 kg/m², 柱体可降水为45.9~54.1 kg/m²之间。

关键词

积雨云, 雷达回波, FNL再分析资料, 降水, 特征分析

The Precipitation Characteristics Analysis of Tropical Cumulonimbus in Hainan

Qiaoming Huang^{1,2}, Fenghua Xing¹, Yanbing Huang¹

¹Hainan Weather Bureau Artificial Weather Center, Haikou Hainan

²Hainan Key Laboratory for South China Sea Meteorology and Disaster Mitigation, Haikou Hainan

Email: Huangqiaoming@sina.com

Received: Dec. 22nd, 2020; accepted: Jan. 16th, 2021; published: Jan. 22nd, 2021

Abstract

The process of continuous heavy precipitation occurred on April 22, 2020, which is caused by one of the important weather types: the front disappearance of cold air westward. The study of its precipitation mechanism is significant to society. The structure and characteristics of precipitation cloud are analyzed using the radiosonde data, high-altitude observation, satellite and radar data, especially the NCEP/NCAR fnl data. The results show that: 1) The relative humidity of the middle height of Hainan Island is relatively stable, and the upper height is supplemented by water vapor; 2) The dominant wind direction of Hainan Island is anti-cyclone, which is east wind in the low height, south wind in the middle height, and southwestern wind in the upper layer; 3) There is a positive vorticity area in the low height of Hainan Island; there is a positive and a negative vorticity upwards; the middle height has a positive and two negative vortices. The positive vorticity area of the northwest sea surface extends to the southeast, and there is a negative vorticity in the west and northeast. There are two positive and two negative vortices in the upper layer, which becomes saddle-shaped. The influence of the positive vorticity area in the northwest is reduced, and the influence of the positive vorticity area in the southeast is increased; 4) The maximum wind on Hainan Island is southwest wind, with wind speed between 22 and 27 m/s, temperature between -65°C and -59°C , and altitude range from 13,280 to 13,947 m; 5) The convective wind on Hainan Island is from west to southwest, with wind speed ranging from 7 to 16 m/s, temperature ranging from -78°C to -77°C , and height ranging from 16,080 to 17,264 m; 6) The CAPE of Hainan Island is between 1377~1650 J/kg in the south, 365~716 J/kg in the west, and lower in the north, between 270~284 J/kg; 7) The convective condensation height of Hainan Island is between 4826~4988 m; 8) The cloud water of the air column in Hainan Island is 0.06 kg/m^2 , and the precipitable water vapor range from 45.9 and 54.1 kg/m^2 .

Keywords

Cumulonimbus, Radar Echo, FNL Reanalysis Data, Precipitation, Characteristics Analysis

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

海南的积雨云带强降水具有时间短、局地性、强度剧烈等特点，海南 2020 年 4 月 22 日 16 时~19 时出现持续性短时强降水天气过程，强对流天气由于具有突发性和强破坏力，一直是气象预报业务中的难点和重点内容之一。本文使用常规地面、高空观测资料、卫星云图和雷达资料，以及 NCEP/NCAR 的 FNL $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 每 6 h 再分析资料，研究了强降水的高低空配置，气象环境条件，降雨的雷达回波特征及其物理量特征；主要研究 FNL 再分析资料的各高度层(1000 hPa、925 hPa、850 hPa、500 hPa 和 300 hPa)空间结构的相对湿度、温度、风场、涡度场、位势高度等影响，还分析了最大风层、对流层、对流有效位能、云水、可降水等物理量场。探究降水云带的机制及特征，对人们的生产生活具有重要意义[1]-[13]。

2. 形势背景分析

海南 2020 年 4 月 22 日有一次重要的天气过程，受冷空气偏西下锋消天气过程[14] (WF)影响，08 时~20 时，925 hPa 海南岛为东南气流；850 hPa，切变线在两广北部，南压缓慢，海南岛吹反气旋式偏南风；

500 hPa, 副高控制华南沿海及南海海域, 海南岛偏西风。全岛北半部局地午后有雷阵雨, 个别乡镇伴有短时强降水等强对流天气。

由天气降水实况显示, 4月22日16时~19时, 降水主要集中在海南岛北部、西部和中部地区, 以白沙(最大雨量94.2 mm、平均雨量14.8 mm、温度23.7℃、湿度64%~95%, 如图1)、琼中、屯昌、海口、五指山、澄迈一带降水量较大, 其中最大的白沙县南开乡政府94.2 mm。岛四周海区风力5级、阵风6级, 北部湾北部海面雷雨时阵风7级; 平均气温22.2℃~30℃, 地面湿度49%~100%。

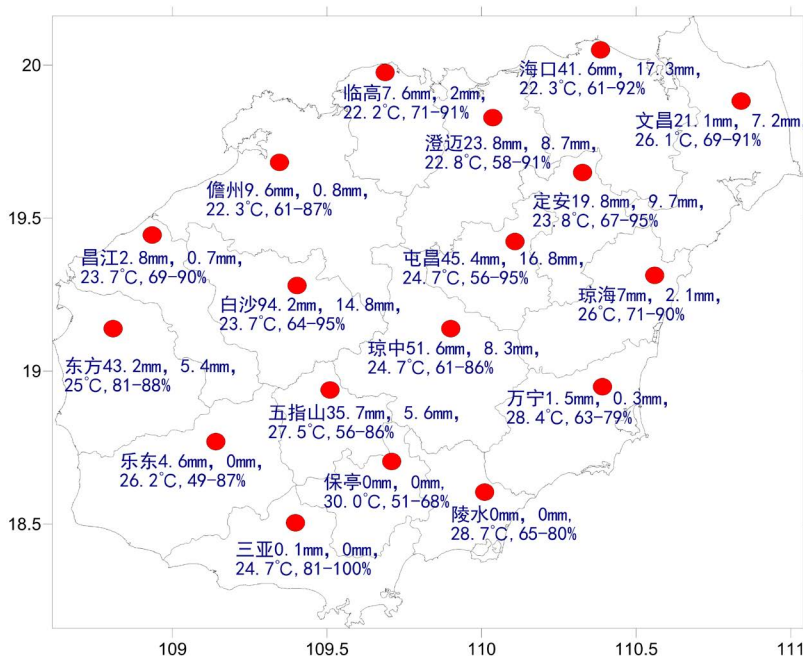


Figure 1. Statistics of ground observation at related areas (16:00 to 19:00 on April 22)
图 1. 市县地面要素统计(04月22日16时~19时)

FY-4 卫星产品分析表明, 4月22日16时36分, 海南岛西部陆地及北部地区有大面积混合云系持续发展(如图2)。

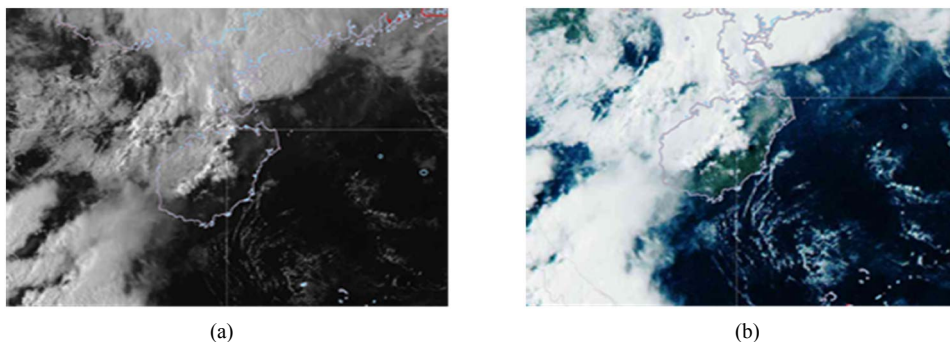


Figure 2. FY-4 satellite cloud observation (16:36 on April 22). (a) Visible imagery; (b) Colorful cloud imagery
图 2. FY-4 卫星云图(4月22日16:36)。(a) 可见光云; (b) 彩色云图

3. 探空数据分析

根据4月22日海口和三亚站探空监测(表1)数据分析。

海口 08 时的湿对流有效位能 CAPE 为 1520.4 J/kg, 降雨过后, 20 时变为 0; 三亚 08 时的湿对流有效位能 CAPE 为 1134.8 J/kg, 20 时比 08 时低 245.8 J/kg; 三亚 08 时的湿对流有效位能 CAPE 比海口 08 时高 385.6 J/kg, 三亚 20 时的湿对流有效位能 CAPE 比海口 20 时高 889 J/kg。08 时湿对流有效位能 CAPE 在 1134.8~1520.4 J/kg 之间, 降雨过后, 20 时湿对流有效位能变小。

K 指数在 26.4~39.9℃之间; 海口的 K 指数比三亚的大, 08 时大 6.1℃, 20 时大 13.5℃。海口和三亚的 K 指数 08 时和 20 时变化不大。

抬升凝结高度 TCL_P 在 936.1~975.1 m, 海口的抬升凝结高度 TCL_P 和三亚的相差不大。

海口 08 时的 0℃层高度 4709 m, 20 时比 08 时高 114 m; 三亚 08 时的 0℃层高度 4969 m, 20 时比 08 时低 7 m; 三亚 08 时的 0℃层高度比海口 08 时高 260 m, 三亚 20 时的 0℃层高度比海口 20 时高 139 m。0℃层高度在 4709~4969 m 之间。

海口 08 时的-20℃层高度 8080.7 m, 20 时比 08 时高 45.4 m; 三亚 08 时的-20℃层高度 8149.4 m, 20 时比 08 时高 192.8 m; 三亚 08 时的-20℃层高度比海口 08 时高 68.7 m, 三亚 20 时的-20℃层高度比海口 20 时高 216.1 m。-20℃层高度在 8080.7~8342.2 m 之间。

海口 08 时的-30℃层高度 9449.9m, 20 时比 08 时高 149.2 m; 三亚 08 时的-30℃层高度 9523.7 m, 20 时比 08 时高 158.5 m; 三亚 08 时的-30℃层高度比海口 08 时高 73.8 m, 三亚 20 时的-30℃层高度比海口 20 时高 83.1 m。-30℃层高度在 9449.9~9682.2 m 之间。

Table 1. The radiosonde data of Haikou and Sanya

表 1. 海口和三亚站探空监测数据

4 月 22 日	海口 08 时	三亚 08 时	海口 20 时	三亚 20 时
湿对流有效位能 CAPE [J/kg]	1520.4	1134.8	0	889
K 指数[℃]	33.9	27.8	39.9	26.4
抬升凝结高度 TCL_P [m]	975.1	954	961.7	936.1
0℃层高度[m]	4709	4969	4823	4962
-20℃层高度[m]	8080.7	8149.4	8126.1	8342.2
-30℃层高度[m]	9449.9	9523.7	9599.1	9682.2

分析可知: 08 时海南岛上空为不稳定层结, 存在较好的对流不稳定能量, 水汽条件较好, 午后西部内陆、北部局地抬升条件较好; 且边界层有逆温, 北半部局地有雷阵雨, 个别乡镇伴有短时强降水等强对流天气。

20 时降水过后, 海南岛存在弱对流不稳定能量, 低层水汽条件一般, 抬升条件减弱。

4. 云系雷达监测分析

受冷空气偏西下锋消天气过程(WF)影响, 偏西路径的冷空气往往势力强, 伴随着低层暖湿空气的东南气流, 使得中尺度辐合抬升运动增强; 中低层的切变线南压, 海南岛吹反气旋式偏南风; 高层的副高控制华南沿海及南海海域, 海南岛偏西风; 锋区内垂直风切变增大, 不稳定能量得以增强, 及充裕的水汽, 给海南岛的西部、中部和北部带来降水。

2020 年 4 月 22 日 15 时, 雷达回波在海南岛西北部地区存在辐合, 云带主要位于海南岛北部和西部区域。16 时 03 分~19 时 01 分的时段降水最大, 雷达回波(基本反射率仰角 0.5、回波顶高、垂直累积液态水含量和 1 小时降水)分析如下:

如图 3(a)所示, 16:03 的雷达回波在临高、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上, 白沙的回波最强达 53 db; 17:00 雷达回波由西向东移动到海口、澄迈、屯昌、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上, 回波最强达 57 db; 17:58 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、澄迈、定安、屯昌、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上, 回波最强的屯昌达 54 db, 回波强度有所回落; 19:01 雷达回波由西向东移动到海南岛的东面边缘的文昌、琼海、万宁的一条带上, 回波强度减弱, 岛上最强的回波在文昌, 达 46 db。

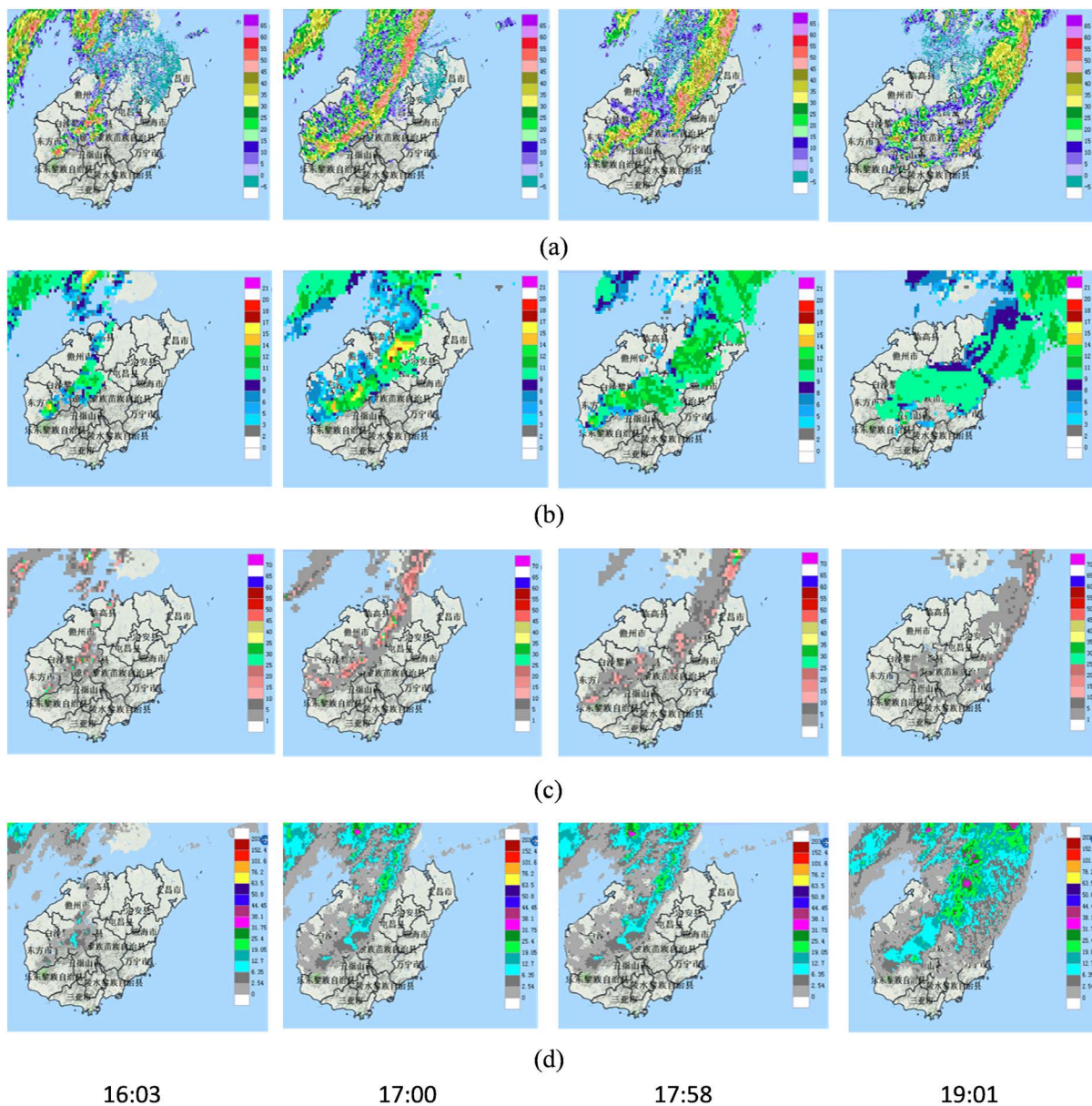


Figure 3. Radar echo in Haikou. (a) Basic reflectivity of elevation angle 0.5; (b) Top height of radar echo; (c) Vertical cumulative liquid water; (d) 1 hour precipitation

图 3. 海口雷达回波。(a) 基本反射率仰角 0.5; (b) 回波顶高; (c) 垂直累积液态水含量; (d) 1 小时降水

如图 3(b)所示, 16:03 的雷达回波在临高、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上, 白沙的回波顶最高在东方的江边乡达 15 km; 17:00 雷达回波由西向东移动到海口、澄迈、屯昌、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上, 回波顶高达 17 km 在白沙和澄迈; 17:58 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、澄迈、定安、屯昌、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上, 回波顶高达 17 km 在白沙和澄迈; 19:01 雷达回波由西向东移动到海南岛的东面边缘的文昌、琼海、万宁的一条带上, 回波顶高达 17 km 在文昌和琼海。

安、屯昌、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，回波顶高达 12 km，回波强度有所回落；19:01 雷达回波由西向东移动到海南岛的东面边缘的文昌、琼海、万宁的一条带上，回波强度减弱，岛上回波顶高达 10 km。

如图 3(c)所示，16:03 的雷达回波在临高、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上，白沙的回波垂直累积液态水含量最大在白沙达 25 kg/m^2 ；17:00 雷达回波由西向东移动到海口、澄迈、屯昌、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上，回波垂直累积液态水含量达 28 kg/m^2 在白沙和澄迈；17:58 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、澄迈、定安、屯昌、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，回波垂直累积液态水含量达 22 kg/m^2 ，回波强度有所回落；19:01 雷达回波由西向东移动到海南岛的东面边缘的文昌、琼海、万宁的一条带上，回波强度减弱，岛上回波垂直累积液态水含量达 17 kg/m^2 。

如图 3(d)所示，16:03 的雷达回波在临高、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上，白沙的回波 1 小时降水最大在白沙达 10 mm；17:00 雷达回波由西向东移动到海口、澄迈、屯昌、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上，回波 1 小时降水达 20 mm 在澄迈；17:58 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、澄迈、定安、屯昌、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，回波 1 小时降水达 21 mm，回波强度有所回落；19:01 雷达回波由西向东移动到海南岛的东面边缘的文昌、琼海、万宁的一条带上，回波强度减弱，岛上回波 1 小时降水达 35 mm。

5. fnl 再分析资料特征分析

NCEP/NCAR 再分析资料 FNL $1^\circ \times 1^\circ$ ，每 6 h 一次(0 h, 6 h, 12 h, 18 h)，在 2020 年 4 月 22 日的降水过程中，16 时 03 分~19 时 01 分的时段降水最大，所以利用 FNL $1^\circ \times 1^\circ$ 的 18 h 的资料进行分析。主要研究各高度层(1000 hPa、925 hPa、850 hPa、500 hPa 和 300 hPa)空间结构的相对湿度、温度、风场、涡度场、位势高度等等影响，还分析了最大风层、对流层、对流有效位能、云水、可降水等物理量场。

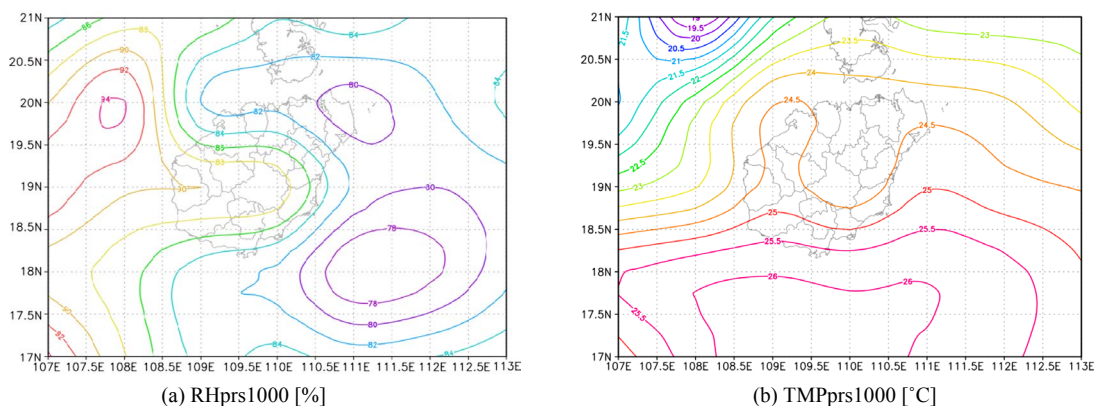
5.1. 降水过程特征分析

分析 22 日 18 时，各层(1000 hPa、925 hPa、850 hPa、500 hPa 和 300 hPa)空间结构的湿度、温度、风速、涡度场和高度等要素的物理量场。

5.1.1. 高度 1000hPa 层分析

RHprs1000 (Relative Humidity, pressure = 1000 hPa [%])海南岛的相对湿度在 75%~90%之间，如图 4(a)所示。

TMPprs1000 (Temperature, pressure = 1000 hPa [$^\circ\text{C}$])海南岛的温度在 24°C ~ 25°C 之间，在西北方向的海面上有冷空气，温度低于 20°C ，温度梯度增加方向为西北向东南，如图 4(b)所示。



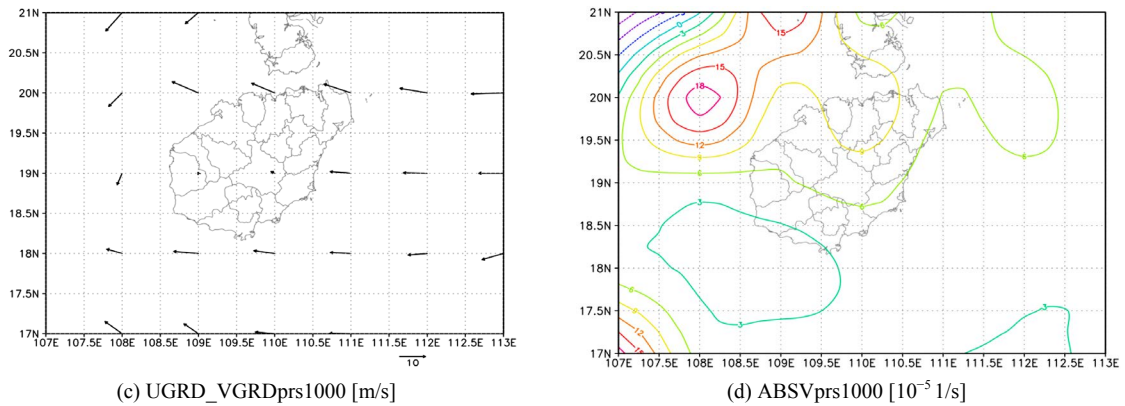


Figure 4. Analysis of 1000 hPa layer. (a) Relative humidity; (b) Temperature; (c) Wind speed; (d) Vorticity
图 4. 高度 1000 hPa 层分析。(a) 相对湿度; (b) 温度; (c) 风速; (d) 涡度

UGRD_VGRDprs1000 (U-V of Wind, pressure = 1000 hPa [m/s])海南岛的中西部风速度较低, 在 0.2~1.4 m/s 之间; 北部、南部风速较高, 达到 7.9~10.3 m/s 间; 全岛风向为东风, 如图 4(c)所示。

ABSVprs1000(Absolute Vorticity, pressure=1000hPa [1/s])海南岛的西北部海面处于正涡度区, 中心值 19.4 [10⁻⁵ 1/s]; 正涡度区在岛上的为 4.6~11.4 [10⁻⁵ 1/s]之间, 如图 4(d)所示。

HGTprs1000 (Geopotential Height, pressure = 1000 hPa [m])海南岛的位势高度在 11~12 m 之间。

5.1.2. 高度 925 hPa 层分析

RHprs925 海南岛的相对湿度在 84%~94%之间, 如图 5(a)所示。

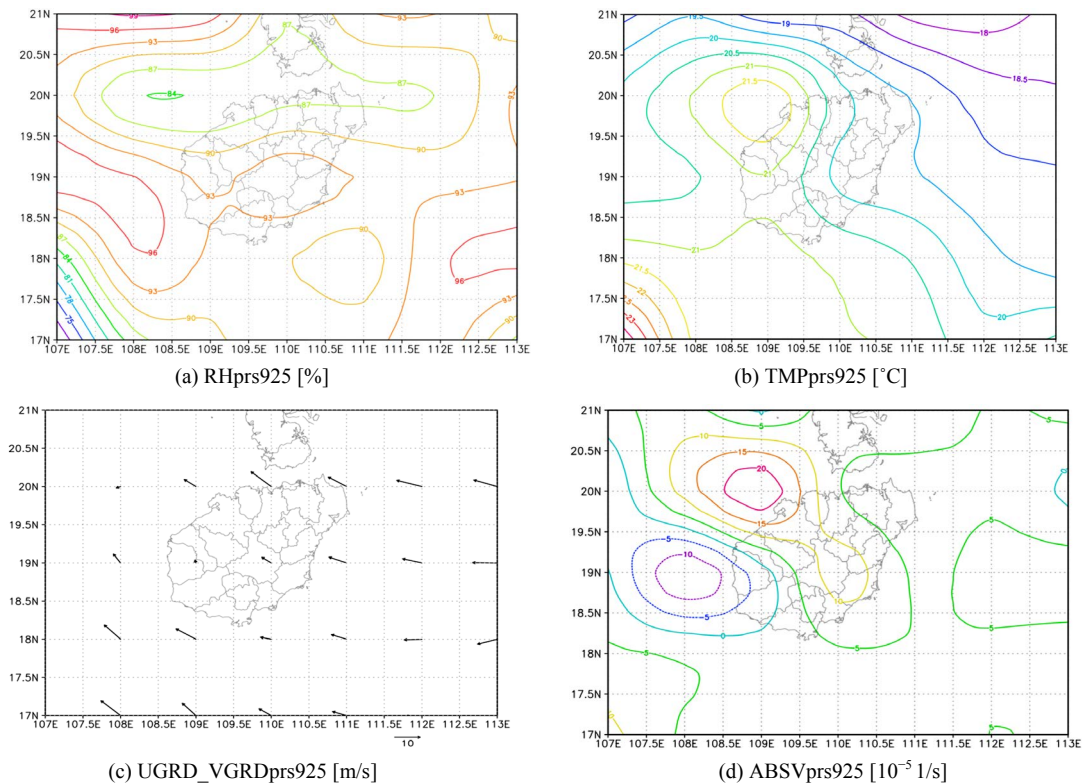


Figure 5. Analysis of 925 hPa layer. (a) Relative humidity; (b) Temperature; (c) Wind speed; (d) Vorticity
图 5. 高度 925 hPa 层分析。(a) 相对湿度; (b) 温度; (c) 风速; (d) 涡度

TMPprs925 海南岛的温度在 $19^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ 之间, 温度等值线为西北向东南向, 如图 5(b)所示。

UGRD_VGRDprs925 海南岛的西部风速较低, 在 0.3 m/s 之间; 其余的风速较高, 在 $3.6\sim 7.8\text{ m/s}$ 之间; 全岛风向为东南风, 如图 5(c)所示。

ABSVprs925 海南岛的西北部海面的正涡度区南伸, 中心值 $23.3 [10^{-5}\text{ 1/s}]$; 正涡度区在岛上的为 $5.3\sim 11.9 [10^{-5}\text{ 1/s}]$ 之间; 在西部有负涡度, 中心值 $-13.6 [10^{-5}\text{ 1/s}]$, 负涡度区在岛上的为 $-6.5\sim -2.1 [10^{-5}\text{ 1/s}]$ 之间, 如图 5(d)所示。

HGTprs925 海南岛的位势高度在 $79\sim 80\text{ m}$ 之间。

5.1.3. 高度 850 hPa 层分析

RHprs850 海南岛的北部相对湿度较高, 在 $60\%\sim 89\%$ 之间; 中部相对湿度在 $52\%\sim 59\%$ 之间; 南部相对湿度较低, 在 $40\%\sim 54\%$ 之间, 如图 6(a)所示。

TMPprs850 海南岛的温度在 $16^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间, 温度梯度为西北东南向, 如图 6(b)所示。

UGRD_VGRDprs850 海南岛的风速较低, 在 $0.08\sim 1.8\text{ m/s}$ 之间; 全岛风向为南风, 如图 6(c)所示。

ABSVprs850 海南岛的西北部海面的正涡度区东南延伸, 中心值 $13.4 [10^{-5}\text{ 1/s}]$; 正涡度区在岛上的为 $3.6\sim 6.1 [10^{-5}\text{ 1/s}]$ 之间; 在西部有负涡度向东延伸, 中心值 $1.8 [10^{-5}\text{ 1/s}]$, 负涡度区到岛的中部; 在岛的东北部有一个很小的负涡度, 如图 6(d)所示。

HGTprs850 海南岛的位势高度在 $1524\sim 1527\text{ m}$ 之间。

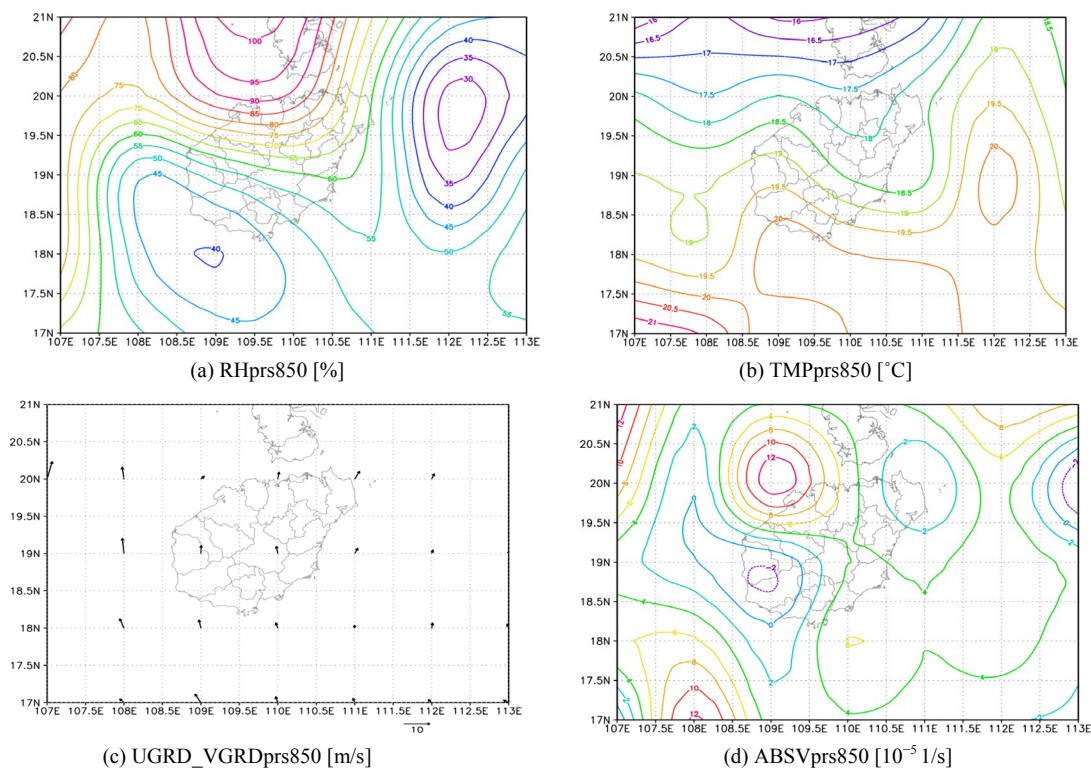


Figure 6. Analysis of 850 hPa layer. (a) Relative humidity; (b) Temperature; (c) Wind speed; (d) Vorticity
图 6. 高度 850 hPa 层分析。(a) 相对湿度; (b) 温度; (c) 风速; (d) 涡度

5.1.4. 高度 500 hPa 层分析

RHprs500 海南岛的北部、中部相对湿度较高, 在 $57\%\sim 75\%$ 之间; 南部相对湿度较低, 在 $26\%\sim 40\%$ 之间, 如图 7(a)所示。

TMPprs500 海南岛的温度在 $-6^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$ 之间, 如图 7(b)所示。

UGRD_VGRDprs500 海南岛的北部、中部风速较高, 在 $8.4\sim 14.4\text{ m/s}$ 之间; 南部风速较低, 在 $6.4\sim 6.9\text{ m/s}$ 之间; 全岛风向为偏西风, 如图 7(c)所示。

ABSVprs500 海南岛的西北部海面的正涡度区在岛上的为 $0.1\sim 1.9 [10^{-5}\text{ 1/s}]$ 之间; 东部、西部的负涡度影响减少, 如图 7(d)所示。

HGTprs500 海南岛的位势高度在 $5891\sim 5901\text{ m}$ 之间。

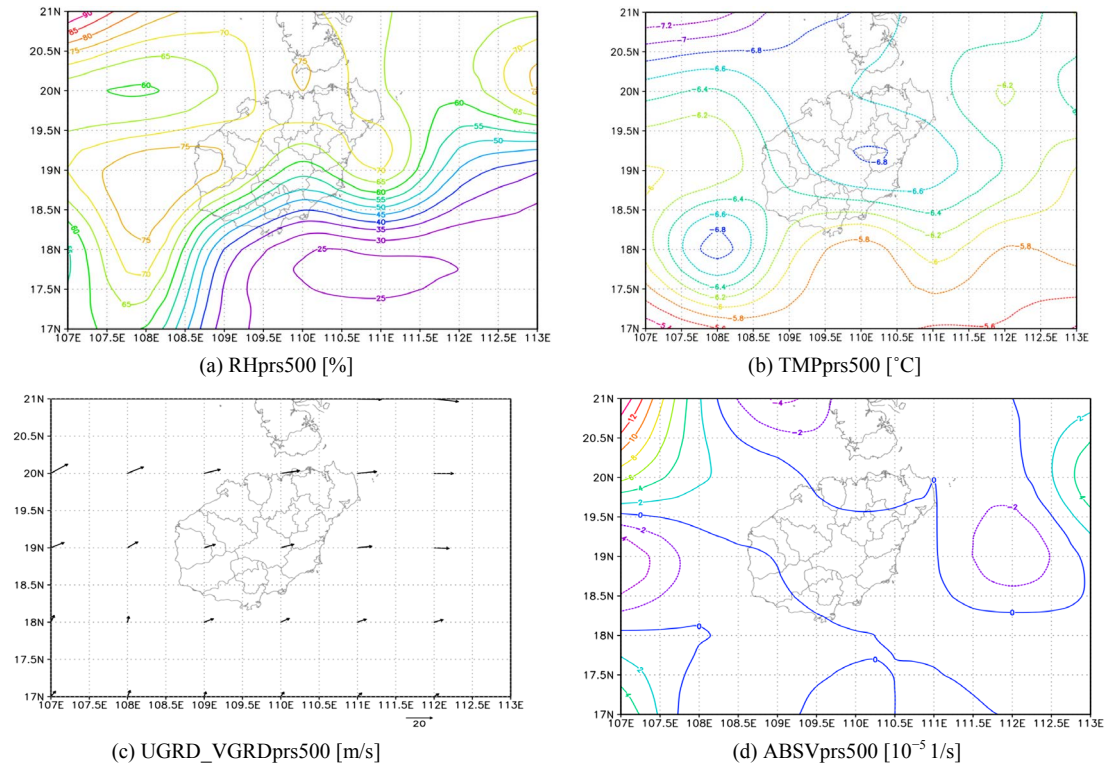
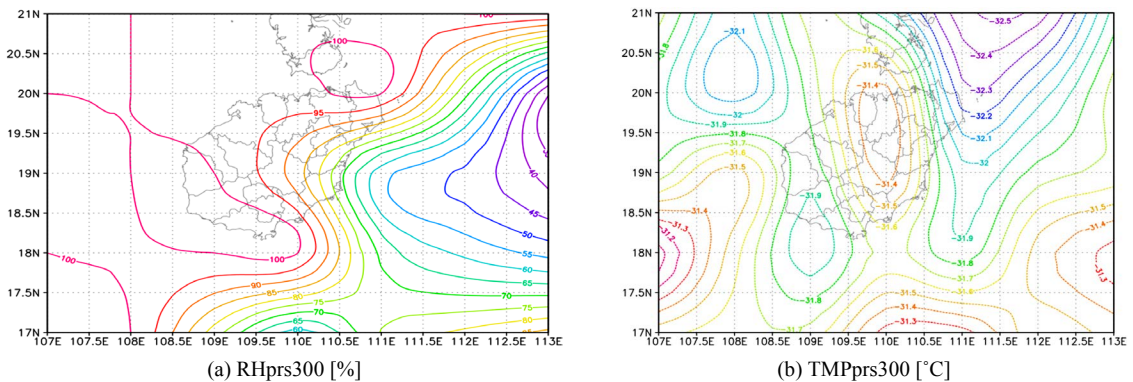


Figure 7. Analysis of 500 hPa layer. (a) Relative humidity; (b) Temperature; (c) Wind speed; (d) Vorticity
图 7. 高度 500 hPa 层分析。(a) 相对湿度; (b) 温度; (c) 风速; (d) 涡度

5.1.5. 高度 300 hPa 层分析

RHprs300 海南岛的东南相对湿度较低, 在 $57\%\sim 69\%$ 间; 其余的相对湿度较高, 达到 $97\%\sim 100\%$ 之间, 如图 8(a)所示。



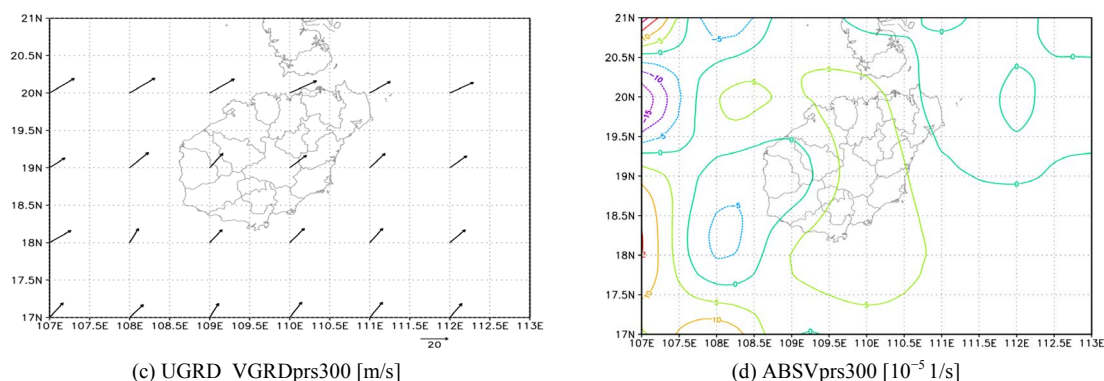


Figure 8. Analysis of 300 hPa layer. (a) Relative humidity; (b) Temperature; (c) Wind speed; (d) Vorticity
图 8. 高度 300 hPa 层分析。(a) 相对湿度; (b) 温度; (c) 风速; (d) 涡度

TMPprs300 海南岛的温度在 -32°C ~ 31°C 之间,如图 8(b)所示。

UGRD_VGRDprs300 海南岛的北部风速较高,在 14.8~19.4 m/s 之间;中部、南部风速在 9.0~12.1 m/s 之间;全岛风向为西南风,如图 8(c)所示。

ABSVprs300 海南岛的东南部的正涡度区在岛上的为 $1.1\sim 9.1 [10^{-5} 1/\text{s}]$ 之间,西北部的正涡度区影响减少;东北部的负涡度在岛上的为 $-1.9 [10^{-5} 1/\text{s}]$ 、西南部的负涡度在岛上的为 $-2.9\sim -1.8 [10^{-5} 1/\text{s}]$ 之间,如图 8(d)所示。

HGTprs300 海南岛的位势高度在 9691~9706 m 之间。

5.2. 最大风和对流风及其对应的温度和高度分析

5.2.1. 最大风及其对应的温度和高度

22 日 18 时,UGRD_VGRDmwl (max wind U-V of Wind [m/s])海南岛的最大风为西南风,风速在 22~27 m/s 之间,如图 9(a)所示;此时,TMPmwl (max wind Temperature [$^{\circ}\text{C}$])海南岛的最大风温度在 -65°C ~ -59°C 之间,温度北低南高,如图 9(b)所示;HGTmwl (max wind Geopotential Height [gpm])海南岛的最大风位势高度在 13,280~13,947 m 之间。

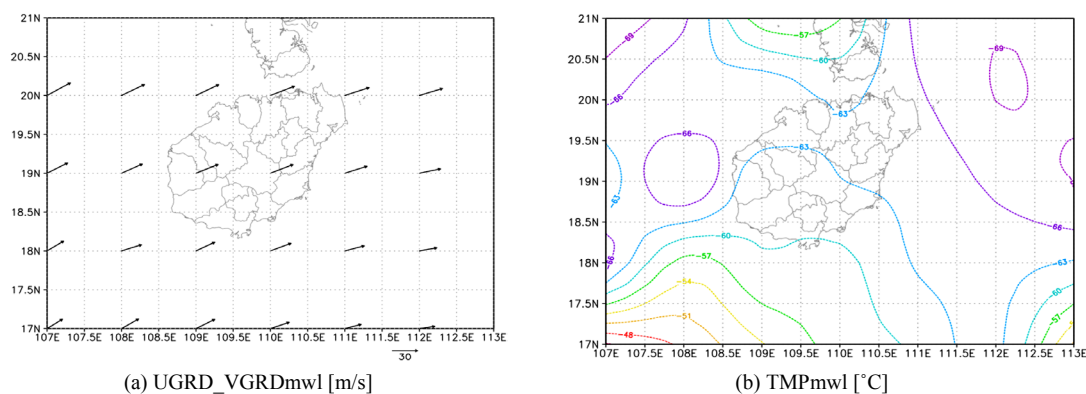


Figure 9. (a) Maximum wind; (b) Temperature
图 9. (a) 最大风; (b) 温度

5.2.2. 对流风及其对应的温度和高度

22 日 18 时,UGRD_VGRDtrop(tropopause U-V of Wind [m/s])海南岛的对流风为西到西南风,风速在 7~16 m/s 之间,如图 10(a)所示;TMPtrop(tropopause Temperature [$^{\circ}\text{C}$])海南岛的对流风温度在 -78°C ~ -77°C

之间，如图 10(b)所示；HGTrop (tropopause Geopotential Height [gpm])海南岛的对流风位势高度在 16,080~17,264 m 之间。

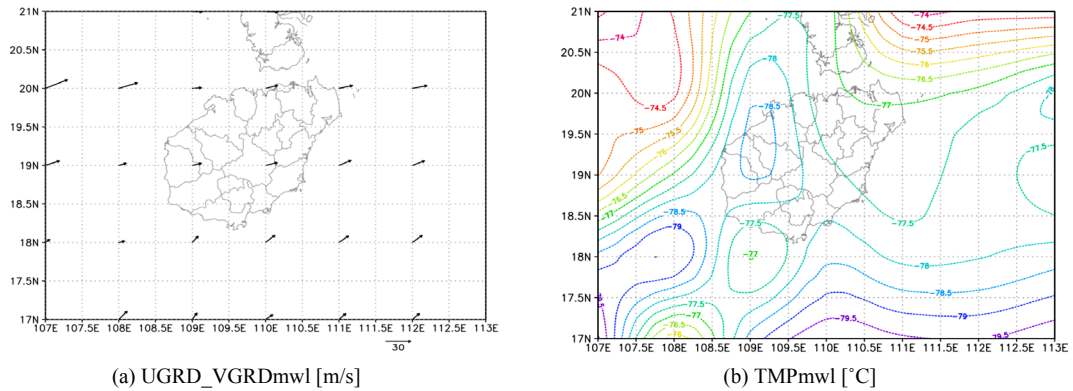


Figure 10. (a) Convection wind; (b) Temperature
图 10. (a) 对流风; (b) 温度

5.2.3. 对流有效位能、对流冰点位势高度、柱体云水和柱体可降水量分析

22 日 18 时，CAPEsfc(Convective Available Potential Energy [J/kg])海南岛的对流有效位能在海南岛的南部较高，在 1377~1650 J/kg 之间；西部在 365~716 J/kg 之间；北部较低，在 270~284 J/kg 之间。为云带降水的发生提供了能量，如图 11(a)所示。

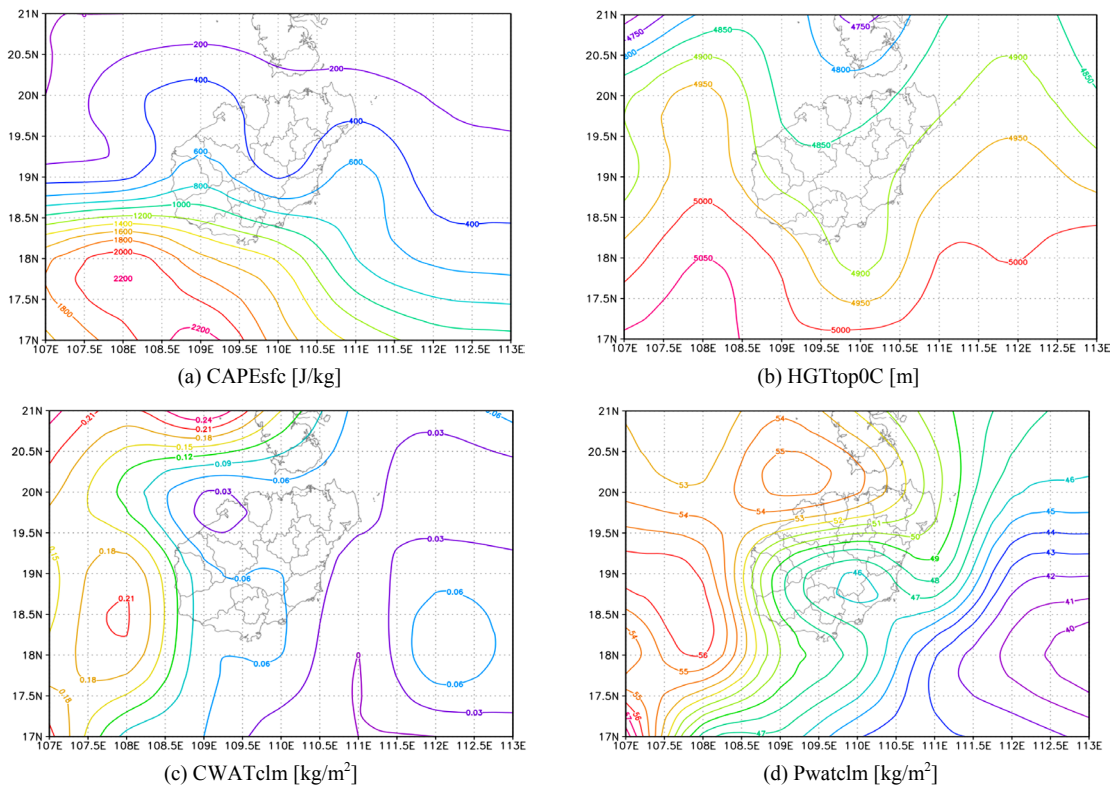


Figure 11. Factor analyses. (a) CAPE; (b) Convective ice point potential height; (c) Air column cloud water; (d) Air column potential precipitation

图 11. 要素分析。(a) 对流有效位能; (b) 对流冰点位势高度; (c) 柱体云水; (d) 柱体可降水量

HGTtop0C (highest tropospheric freezing level Geopotential Height [gpm])海南岛的对流冰点位势高度在 4826~4988 m 之间, 如图 11(b)所示。

CWATclm(Cloud Water [kg/m^2])对应雷达回波的整个柱体云水为 $0.06 \text{ kg}/\text{m}^2$, 如图 11(c)所示。

pwatclm(Precipitable Water [kg/m^2])对应雷达回波的整个柱体可降水量为 $45.9\sim 54.1 \text{ kg}/\text{m}^2$ 之间, 如图 11(d)所示。当大气可降水量达到某一阈值时将出现降水, 其表示整层大气在饱和状态下容纳的最大水汽量, 大气必须达到一定层次的饱和才能成云致雨。

6. 结语

冷空气沿西北路径扩散南下, 与海南岛上南海输送来的暖湿气流汇合形成云带, 使海南岛地区的水汽比较充裕。高空湿层和低层水汽的维持, 为降水的发生提供了较好的水汽条件; 同时低层辐合、高层辐散为强对流天气的发生提供了重要条件。

1) 地面站在 16 时~19 时, 降水主要集中在海南岛北部、西部和中部地区, 以白沙、琼中、屯昌、海口、五指山、澄迈一带降水量较大, 其中最大的白沙县南开乡政府 94.2 mm 。平均气温 $22.2^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$, 地面湿度 $49\%\sim 100\%$ 。

2) 海口和三亚站探空; 08 时湿对流有效位能 CAPE 在 $1134.8\sim 1520.4 \text{ J}/\text{kg}$ 之间, 降雨过后, 20 时湿对流有效位能变小。08~20 时, K 指数在 $26.4^\circ\text{C}\sim 39.9^\circ\text{C}$ 之间; 抬升凝结高度 TCL_P 在 $936.1\sim 975.1 \text{ m}$; 0°C 层高度在 $4709\sim 4969 \text{ m}$ 之间; -20°C 层高度在 $8080.7\sim 8342.2 \text{ m}$ 之间; -30°C 层高度在 $9449.9\sim 9682.2 \text{ m}$ 之间。

3) 天气雷达分析表明, 16 时 03 分~19 时 01 分, 海南岛西部及北部地区有大面积混合云系持续发展, 且有一条回波带呈西南-东北向, 从西边往东边移过海南岛, 移动过程中, 地面有强降水发生。

4) fnl 再分析资料 22 日 18 时分析表明:

a) RHprs1000、RHprs925 低层海南岛的相对湿度在 $75\%\sim 94\%$ 之间; RHprs850、RHprs500 中下层的北中部相对湿度在 $52\%\sim 80\%$ 之间, 南部相对湿度较低, 在 $26\%\sim 45\%$ 之间; RHprs300 上层相对湿度有所增大, 东南相对湿度在 $57\%\sim 69\%$ 之间, 其余的相对湿度达到 $97\%\sim 100\%$ 之间。从低层到上层, 中下层的相对湿度变化不大, 上层有水汽补充。

b) TMPprs1000 海南岛的温度在 $24^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$ 之间, TMPprs925 海南岛的温度在 $19^\circ\text{C}\sim 21^\circ\text{C}$ 之间, TMPprs850 海南岛的温度在 $16^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ 之间, TMPprs500 海南岛的温度在 $-6^\circ\text{C}\sim -5^\circ\text{C}$ 之间, TMPprs300 海南岛的温度在 $-32^\circ\text{C}\sim -31^\circ\text{C}$ 之间。西北方向的海面上有冷空气, 温度梯度增加方向为西北向东南。

c) UGRD_VGRDprs1000、UGRD_VGRDprs925 海南岛下层风速在 $0.2\sim 10.3 \text{ m}/\text{s}$ 之间, 低层全岛东风, UGRD_VGRDprs850 的风速在 $0.08\sim 1.8 \text{ m}/\text{s}$ 之间, 全岛南风。UGRD_VGRDprs500、UGRD_VGRDprs300 中上层风速在 $6.4\sim 19.4 \text{ m}/\text{s}$ 之间, 西南风。

d) ABSVprs1000 海南岛的区域有一个正涡度区; ABSVprs925 海南岛有一正一负涡度, 西北部海面的正涡度区南伸, 且在西部有负涡度产生; ABSVprs850、ABSVprs500 海南岛有一正和二负涡度, 海南岛的西北部海面的正涡度区向东南延伸, 在岛的西部和东北部各有一个负涡度, 东北的负涡度很小; ABSVprs300 海南岛有二正和二负涡度, 变为鞍马型, 西北部的正涡度区影响减少, 东南部的正涡度区影响增加。

e) HGTprs1000 海南岛的位势高度在 $11\sim 12 \text{ m}$ 之间, HGTprs925 在 $79\sim 80 \text{ m}$ 之间, HGTprs850 在 $1524\sim 1527 \text{ m}$ 之间, HGTprs500 在 $5891\sim 5901 \text{ m}$ 之间, HGTprs300 在 $9691\sim 9706 \text{ m}$ 之间。

f) UGRD_VGRDmwl 海南岛的最大风为西南风, 风速在 $22\sim 27 \text{ m}/\text{s}$ 之间; TMPmwl 最大风的温度在 $-65^\circ\text{C}\sim -59^\circ\text{C}$ 之间, 温度北低南高; HGTmwl 最大风的位势高度在 $13,280\sim 13,947 \text{ m}$ 之间。

g) UGRD_VGRDtrop 海南岛的对流风为西到西南风, 风速在 7~16 m/s 之间; TMPtrop 对流风的温度在 -78°C~-77°C 之间; HGTtrop 对流风的位势高度在 16,080~17,264 m 之间。

h) CAPEsfc 海南岛的对流有效位能在南部较高, 在 1377~1650 J/kg 之间; 西部在 365~716 J/kg 之间; 北部较低, 在 270~284 J/kg 之间。

i) HGTtop0C 海南岛的对流凝结位势高度在 4826~4988 m 之间, 探空的 0°C 层高度在 4709~4969 m 之间, 数值几乎一样。

j) CWATclm 海南岛的柱体云水为 0.06 kg/m²。

k) pwatchlclm 海南岛的柱体可降水为 45.9~54.1 kg/m² 之间。17:58 雷达回波垂直累积液态水含量达 22 kg/m², 柱体可降水比垂直累积液态水含量大一倍, 但都可以很好反应降水的潜力。

基金项目

国家自然科学基金地区基金项目: 热带暖底积雨云人工播撒吸湿性催化剂机制与效果研究(41865009)。

参考文献

- [1] 张磊. 太原地区短时强降水分析及预报指标研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [2] 张艺腾. 我国西北地区感热、潜热异常年份降水特征研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [3] 罗厚炎. 热带低压引起的 2018 年 8 月 24 日温州机场大暴雨天气分析[J]. 科学技术创新, 2020(28): 52-54.
- [4] 李明华, 李超, 陈芳丽, 等. 粤东暴雨中心前汛期降水异常的环流特征及前兆性信号分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2020, 59(271): 113-125.
- [5] 杨秀庄, 李刚, 周明飞, 等. 贵州地区一次持续性暴雨天气成因及预报误差分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(274): 1-10.
- [6] 白慧, 欧阳大亮, 周艳, 等. 低空急流在一次初春混合强对流天气过程中的作用[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(274): 11-18.
- [7] 王新强, 曾凡辉, 袁靖凯. 一次强降水过程中两类暖区暴雨特征对比[J]. 海峡科学, 2020, 164(8): 3-7+11.
- [8] 张梦彤, 张珍, 宋自福. 豫西北一次持续降水天气过程分析[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(458): 58-60+63.
- [9] 徐亮, 马秀梅, 管琴. 青海东部一次单点大暴雨的天气学分析初探[J]. 青海科技, 2019, 26(6): 54-62.
- [10] 刘彩虹, 陈优平, 曾令建. 浙江一次梅雨期暴雨过程中尺度特征及成因分析[J]. 浙江气象, 2019, 40(163): 16-21.
- [11] 任丽, 关铭, 李有缘, 等. 一次暴雨过程受不同系统影响的动力热力场结构特征[J]. 气象科技, 2019, 47(277): 959-968.
- [12] 金少华, 朱莉, 周泓, 等. 滇中一次局地大暴雨雷达特征分析[J]. 气象科技, 2019, 47(277): 986-996.
- [13] 余高杰, 汪思蓓, 贾岸斌. 2013 年 5 月 25-27 日常德市强降水天气过程分析[J]. 现代农业科技, 2019, 757(23): 184-187.
- [14] 高素华, 黄增明, 张统钦, 等. 海南岛气候[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 23-35.