

对比分析海南热带积雨云带的降水特征

黄巧明^{1,2,3}

¹海南省气象科学研究所, 海南 海口

²海南省气象局人工影响天气中心, 海南 海口

³海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口

收稿日期: 2022年12月19日; 录用日期: 2023年1月21日; 发布日期: 2023年1月29日

摘要

海南2021年4月26日出现了与2020年4月22日类似云带持续的强降水天气过程, 这是冷空气偏东(西)下锋消天气过程的重要天气类型之一, 探讨其降水机理对人们的生产生活具有重要意义。本文利用常规地面、高空、卫星、多普勒雷达资料, 特别使用NCEP/NCAR的FNL再分析资料, 对这类天气的降水云带的结构及其特征进行研究, 最后与2020年4月22日作对比分析。结果表明: 1) 有一条雷达回波带呈西南-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; 2) 海南岛的对流风为西风, 风速在4~8 m/s之间, 其温度在-83℃~-81℃之间, 高度在16,640~17,889 m之间; 3) 海南岛的对流凝结高度在4844~5158 m之间, 柱体可降水为49.5~63.2 kg/m²之间; 4) 与2020年4月22日相比: 相对湿度中低层的变化不大, 上层有水汽补充; 位势高度低层有所增高, 中高层几乎相近; 各层温度也几乎相近; 对流风温度和位势高度、对流冰点位势高度也几乎相近。

关键词

积雨云, 雷达回波, NCEP/NCAR, 降水, 特征

Comparative Analysis of Precipitation Characteristics of Tropical Cumulonimbus Belt in Hainan

Qiaoming Huang^{1,2,3}

¹Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou Hainan

²Hainan Meteorological Bureau Weather Modification Centre, Haikou Hainan

³Hainan Key Laboratory for South China Sea Meteorology and Disaster Mitigation, Haikou Hainan

Received: Dec. 19th, 2022; accepted: Jan. 21st, 2023; published: Jan. 29th, 2023

Abstract

On April 26, 2021, in Hainan the weather process of continuous heavy precipitation occurred similar to that on April 22, 2020, which is one of the important weather types: the front disappearance of cold air eastward (westward). It is of great significance to study the precipitation mechanism for people's production and life. The structure and characteristics of precipitation cloud are analyzed using the ground observation, high-altitude data, satellite, Doppler radar data, especially the NCEP/NCAR FNL data. Finally, it is compared with April 22, 2020. The results show that: 1) There is a radar echo belt in the southwest northeast direction, moving across Hainan Island from the west to the east, accompanied by heavy rainfall; 2) The convective wind on Hainan Island is west wind, with wind speed ranging from 4 to 8 m/s, temperature ranging from -83°C to -81°C , and height ranging from 16,640 to 17,889 m; 3) The convective condensation height of Hainan Island is between 4844~5158 m; the precipitable water vapor of the column range from 49.5 and 63.2 kg/m²; 4) Compared with April 22, 2020: The relative humidity in the middle and lower layers is relatively stable, and the upper layer is supplemented by water vapor; The geopotential height is higher in the lower layer, and almost the same in the middle and upper layers; The temperature of each layer is almost the same; The temperature and geopotential height of the convective wind and the geopotential height of the convective freezing point are almost similar.

Keywords

Cumulonimbus, Radar Echo, NCEP/NCAR, Precipitation, Characteristics

Copyright © 2023 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 2021 年 4 月 26 日 16 时~19 时出现与 2020 年 4 月 22 日类似云带持续的积雨云带强降水天气过程, 其具有局地性、破坏力强、时间短等特点; 2021 年 4 月 26 日的积雨云带强降水天气过程, 与 2020 年 4 月 22 日相隔一年, 它们之间出现了很多相似性, 这是值得深入研究的问题, 探求其降水机理, 对人们的生产生活具有重要意义[1]-[9]。本文利用地面、高空观测资料、卫星云图、普通多普勒雷达和差分多普勒雷达资料, 研究了强降水的形势背景, 高低空配置, 雷达回波特征及其它物理量特征; 主要研究 NCEP/NCAR 再分析资料 FNL $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的各高度层的相对湿度、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; 最后把 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日进行对比分析。

2. 形势背景和地面降水

2021 年 4 月 26 日, 受冷空气偏东下锋消天气过程[10] (ES)和低空切变线的影响, 08 时~20 时, 地面仍旧有弱冷空气扩散; 850 hPa 切变线位于长江中下游到贵州南部一带, 以西南风为主, 切变线逐日减弱; 500 hPa 副高控制南海大部海域, 本岛位于副高西北侧, 588 线压在本岛上空, 以西到西南气流为主。全岛北半部地区有雷阵雨, 局地伴有雷雨大风、短时强降水等强对流天气, 南半部地区多云, 五指山以北最高气温略下降。

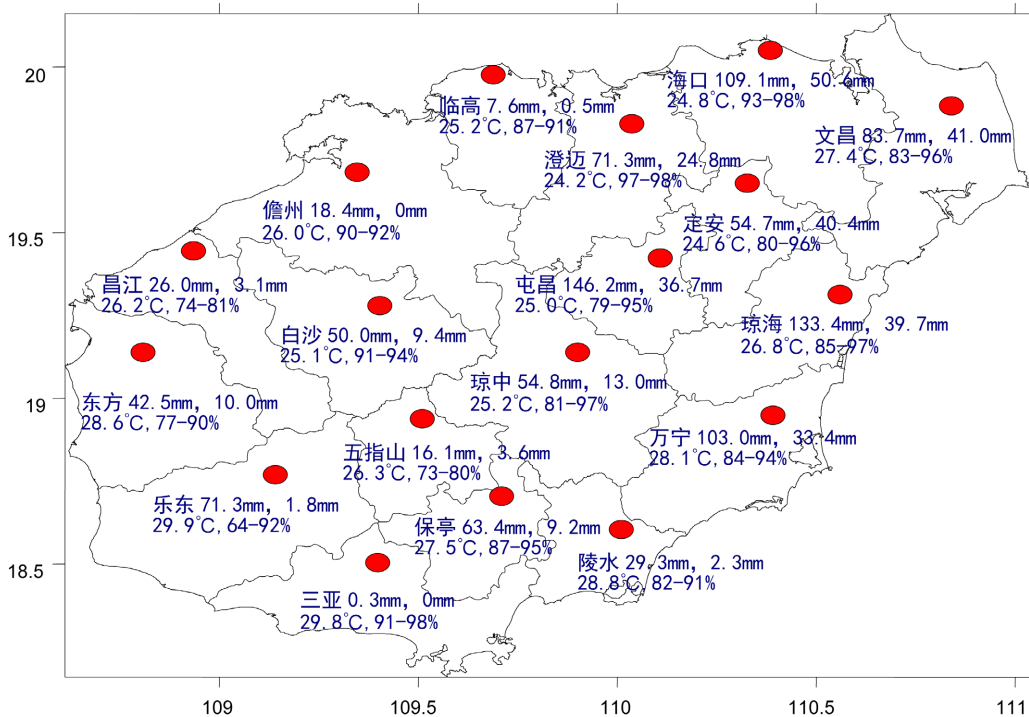
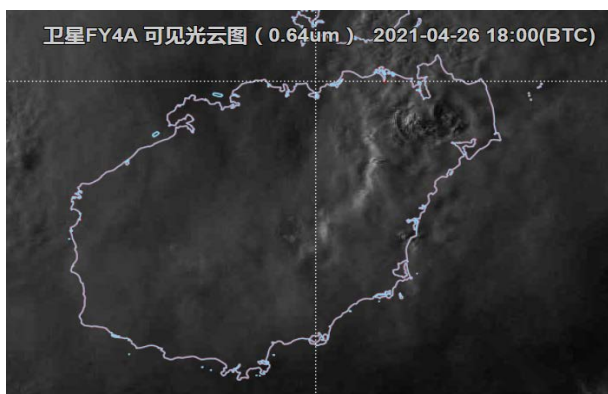


Figure 1. Statistics of ground observation at related areas (16:00 to 19:00 on April 26)
图 1. 市县地面要素统计(04月26日16时~19时)

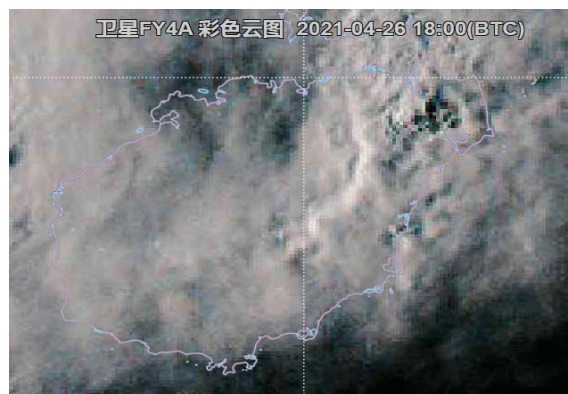
由降水实况显示，4月26日16时~19时，降水主要集中在海南岛北部、东部和中部地区，以屯昌(最大雨量146.2 mm、平均雨量36.7 mm、温度25.0°C、湿度79%~95%，如图1)、琼海、海口、万宁、文昌、澄迈、定安、琼中一带降水量较大，其中最大的屯昌木色水库146.2 mm，平均雨量最大的是海口市50.6 mm。平均气温24.2°C~29.9°C，地面湿度64%~98%。

3. 卫星产品分析

FY-4 卫星产品分析表明，2021年4月26日18时00分，海南岛北部和东部地区有大面积混合云系持续发展(如图2)。a) 可见光云图和 b) 彩色云图在文昌、海口、定安、屯昌、琼中、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，卫星云图显示最明显；c) 云类型，除了澄迈和三亚有少量的卷云外，全岛都是厚冰云；d) 对流强度，海南西部海面有快速发展的对流云，陵水有初生的对流云。



(a)



(b)

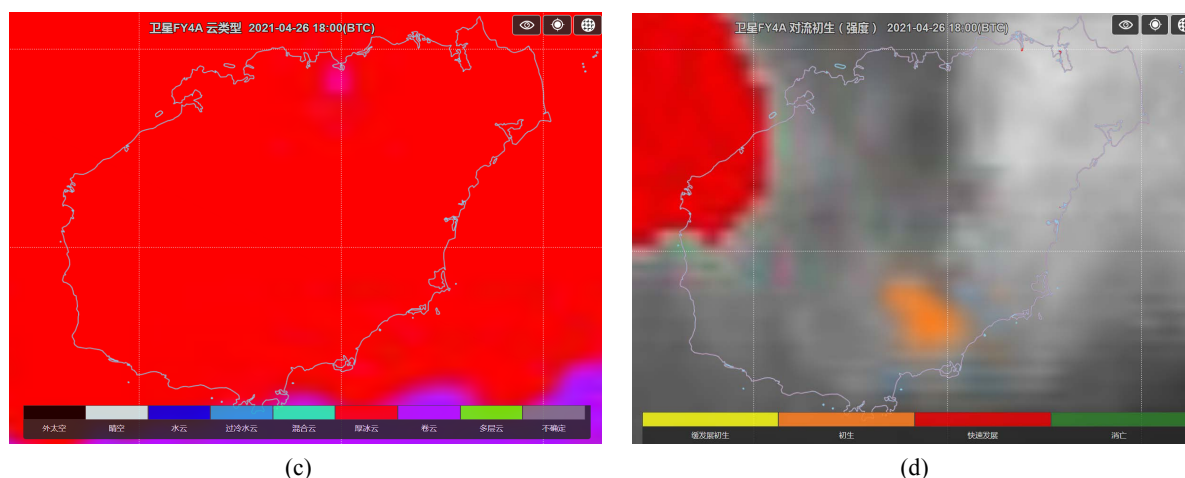


Figure 2. FY-4 satellite cloud imagery (18:00 on April 26). (a) Visible imagery; (b) Colorful cloud imagery; (c) Cloud types; (d) Convective intensity

图 2. FY-4 卫星云图(4月26日18:00)。(a) 可见光云图; (b) 彩色云图; (c) 云类型; (d) 对流强度

4. 探空数据分析

根据4月26日海口和三亚站探空监测(表1)数据分析。

Table 1. The radiosonde data of Haikou and Sanya

表 1. 海口和三亚站探空监测数据

2021年4月26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]	2212.5	586.7	340.6	2280.6
K 指数[°C]	38.4	36.2	42.3	36.8
抬升凝结高度 TCL_P [m]	982.7	962.9	994.6	963.9
0°C层高度[m]	4948	5132	4775	5282
-20°C层高度[m]	8131.1	-	8537.8	8329.5
-30°C层高度[m]	9695	-	9541.1	9801.2

海口和三亚的探空, 08时湿对流有效位能 CAPE 在 586.7~2212.5 J/kg 之间, 降雨过后, 20时湿对流有效位能 CAPE 在 340.6~2280.6 J/kg 之间, 海口湿对流有效位能变小, 三亚的变大。08~20时, K 指数在 36.2°C~42.3°C 之间; 抬升凝结高度 TCL_P 在 962.9~994.6 m; 0°C层高度在 4775~5282 m 之间; -20°C层高度在 8131.1~8537.8 m 之间; -30°C层高度在 9541.1~9801.2 m 之间。

5. 云系雷达分析

受冷空气偏东下锋消天气过程(ES)和低空切变线的影响, 地面仍旧有弱冷空气扩散; 850 hPa 切变线位于长江中下游到贵州南部一带, 以西南风为主; 500 hPa 副高控制南海大部海域, 本岛位于副高西北侧, 588 线压在本岛上空, 以西到西南气流为主。14~21 时, 雷达监测到海南岛西部及北部地区有大面积混合云系持续发展, 且有一条雷达回波带呈西南-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。

5.1. 多普勒雷达回波

2021年4月26日14~15时, 海南岛西北部地区存在辐合和对流, 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，如图3所示，分析如下：

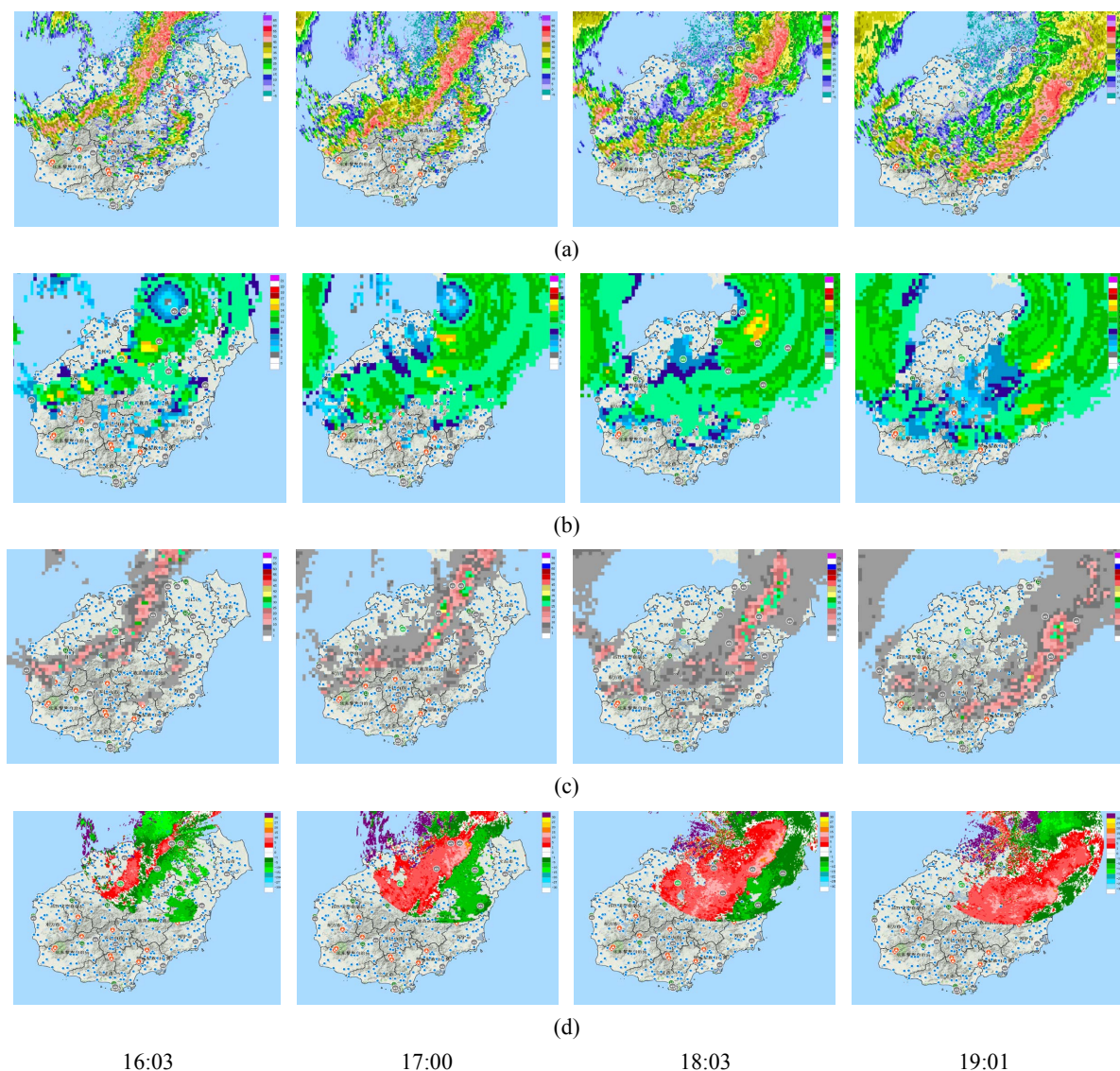


Figure 3. Radar echo in Haikou. (a) Basic reflectivity of elevation angle 0.5; (b) Top height of radar echo; (c) Vertical cumulative liquid water; (d) Basic velocity of elevation angle 0.5

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; (d) 基本速度仰角 0.5

16:03 的雷达回波在澄迈、临高、儋州、白沙、昌江和东方的一条带上，澄迈的基本反射率回波最强达 55 db；回波顶高最高在澄迈达 16 km；垂直累积液态水含量最大在澄迈达 34 kg/m²；基本速度最大达 7 m/s，由西向东移。

17:00 雷达回波由西向东移动到海口、澄迈、屯昌、白沙、昌江和东方的一条带上，海口的回波最强达 58 db；回波顶高达 15 km 也在澄迈，高度有所下降；垂直累积液态水含量达 33 kg/m² 也在澄迈；基本速度最大达 11 m/s 在澄迈和海口。

18:03 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、定安、屯昌、琼中、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，回波最强的屯昌达 60 db，回波强度有所增强；回波顶高最高达 16 km，高度有所升高；垂直累积液态水含量达 32 kg/m² 在海口；基本速度最大达 17 m/s 在海口和文昌。

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、万宁和琼中的一条带上，回波强度减弱，岛上最强的回波在琼海，达 56 db；岛上回波顶高在文昌也达 16 km；垂直累积液态水含量达 32 kg/m^2 在文昌和万宁；基本速度最大达 16 m/s 在琼海。

5.2. 差分多普勒雷达回波

为了更细致地研究回波的结构，用双偏振雷达回波来对 2021 年 4 月 26 日 18:03 进行研究，如图 4。

a) 18:03 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、定安、屯昌、琼中、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，回波最强的屯昌达 60 db，回波强度有所增强；差分反射率最大达 3.2 db 在屯昌，水平通道的强度比垂直通道的强度大，即横轴大；径向速度最大达 17 m/s 在海口和文昌，回波强度有所增强；相关系数达 0.97，表征的是同一时刻回波水平通道和垂直通道的相似性，规则降水的气象回波，其相关系数很高。

b) 18:03 雷达回波由西向东移动到文昌、海口、定安、屯昌、琼中、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上，差分传播频率最大 2.3 km 在海口，该参量和液态水含量直接相关，一般来说，该值越大，对应的降水也就越大；差分传播相移最大 140 度在文昌和琼海，表示水平通道和垂直通道的相位差，降水粒子浓度越高，对应差分传播相移值越大；在文昌、海口、定安、屯昌、琼海的一条回波带上，相态显示有小雹和雨夹雹，降水率在 17%~22%之间。

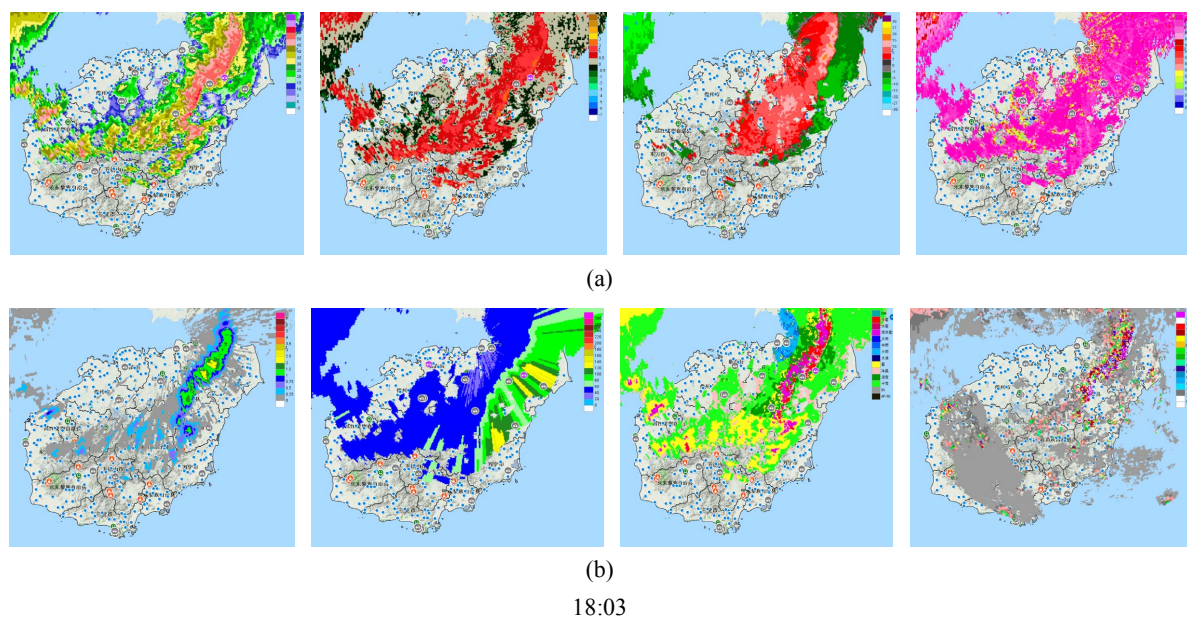


Figure 4. Dual-polarimetric radar echo of elevation angle 0.5 in Haikou. (a) Reflectivity, differential reflectivity, radial velocity, correlation coefficient; (b) Differential propagation frequency, differential propagation phase shift, phase state, precipitation rate

图 4. 海口双偏振雷达回波仰角 0.5。(a) 反射率，差分反射率，径向速度，相关系数；(b) 差分传播频率，差分传播相移，相态，降水率

6. FNL 再分析资料分析

2021 年 4 月 26 日，雷达回波显示 16 时 03 分~19 时 01 分的时段降水最大，所以用最接近这个时段 NCEP/NCAR 的 FNL $1^\circ \times 1^\circ$ 的 2021 年 4 月 26 日 20 时(资料 12 h)资料进行分析。主要研究各高度层的相对湿度、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。

6.1. 降水过程特征分析

分析各层(1000 hPa、925 hPa、850 hPa、500 hPa 和 300 hPa)的湿度、温度、风速、涡度场和高度物理量。

6.1.1. 湿度

RHprs1000 (Relative Humidity, pressure = 1000 hPa [%])、RHprs925 低层海南岛的相对湿度在 77%~97%之间; RHprs850 在 58%~98%之间; RHprs500 中层的西北部相对湿度较高, 在 55%~86%之间; 东南部相对湿度较低, 在 11%~15%之间; RHprs300 湿度的梯度由西北到东南减少; 南部相对湿度较低, 在 51%~58%间; 其余的相对湿度较高, 达到 96%~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。如图 5 所示(RHprs300 图略)。

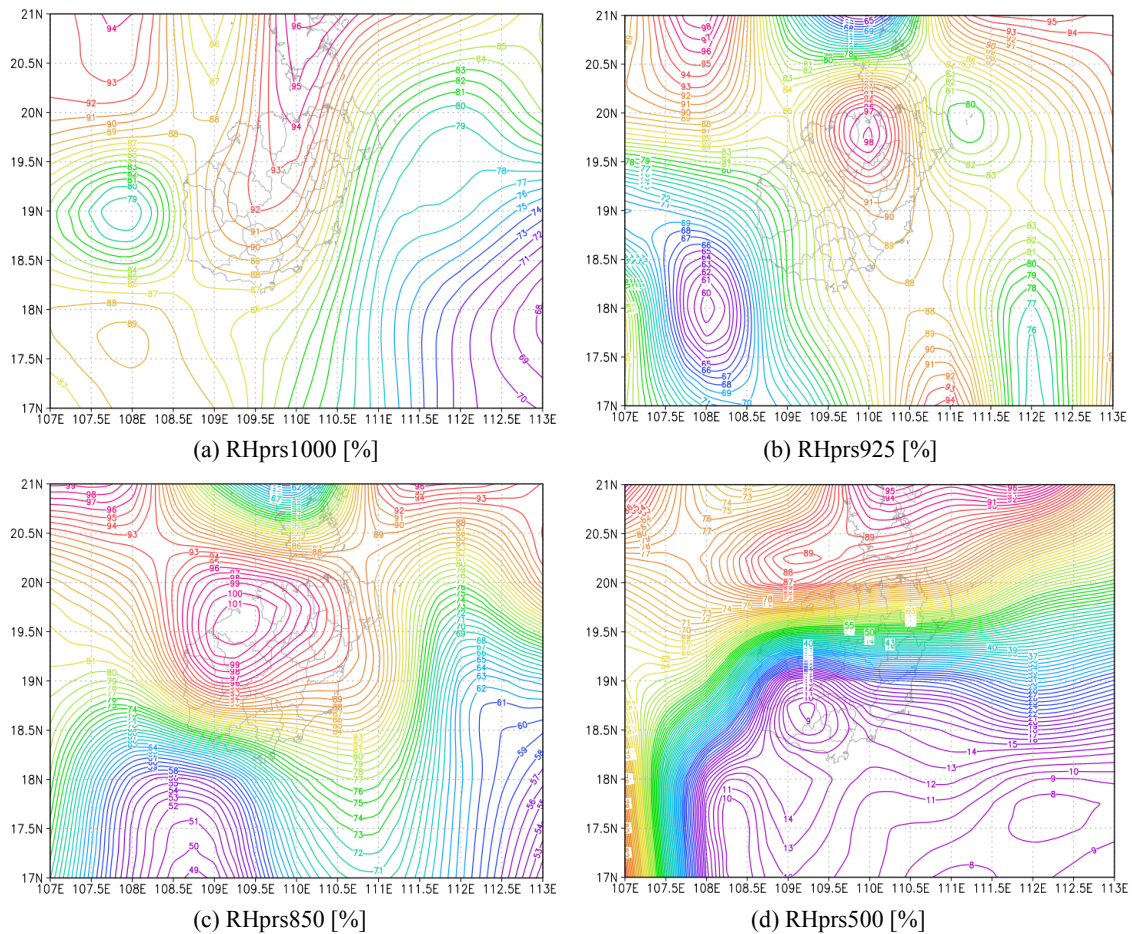


Figure 5. Analysis of relative humidity. (a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

图 5. 相对湿度分析。(a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

6.1.2. 温度

TMPprs1000 (Temperature, pressure = 1000 hPa [°C])、海南岛的温度在 23°C~26°C之间, 在西北方向的海面上有冷空气, 温度低于 22°C, 温度梯度增加方向为西北向东南; TMPprs925 温度在 20°C~22°C之间, TMPprs850 温度在 17°C~18°C之间, TMPprs500 温度在 -5°C~-4°C之间, TMPprs300 温度在 -29°C~-30°C之间。如图 6 所示(TMPprs300 图略)。

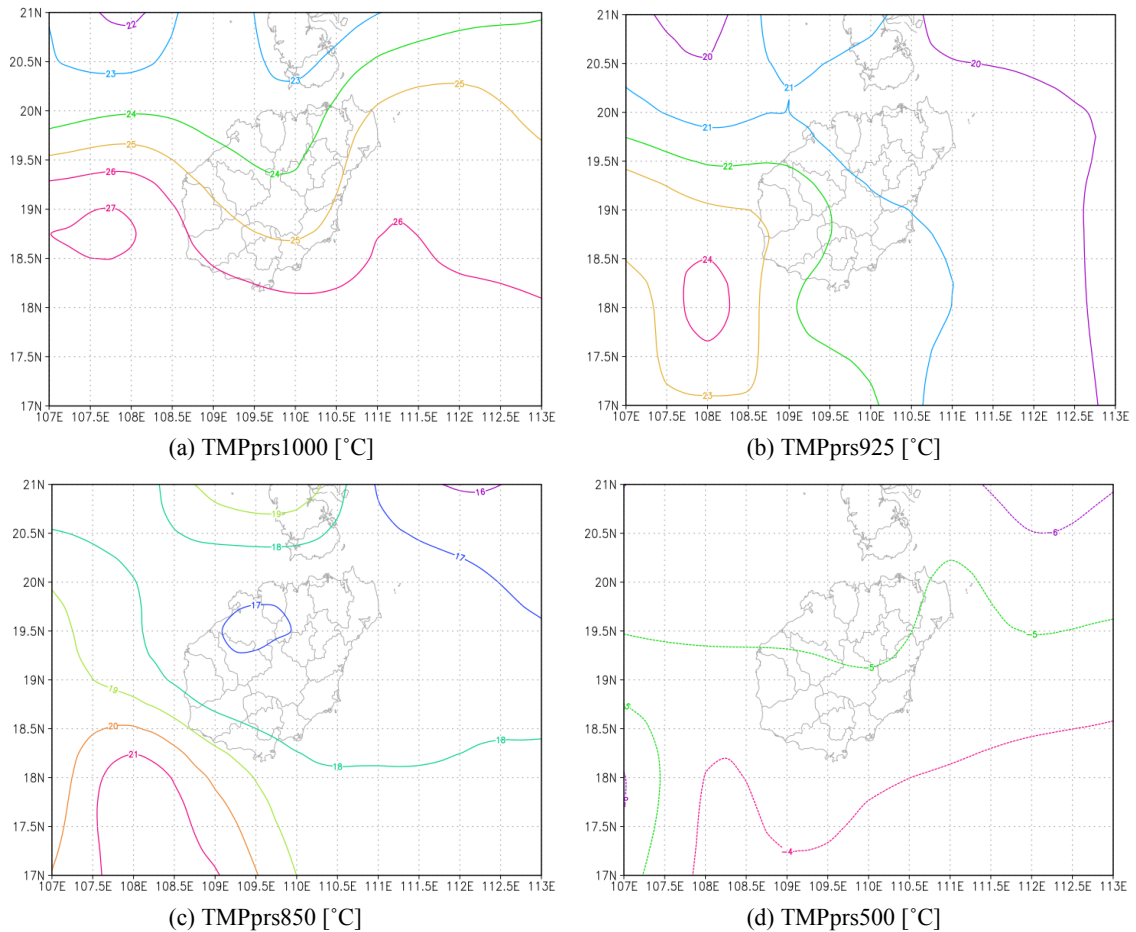


Figure 6. Analysis of temperature. (a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa
图 6. 温度分析。(a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

6.1.3. 风速

U_VGRDprs1000 (U-V of Wind, pressure = 1000 hPa [m/s])海南岛的中西部风速较低, 在 0.4~4.0 m/s 之间; 东部、南部风速较高, 达到 6.2~9.1 m/s 间; 全岛风向为东风; U_VGRDprs925 海南岛下层中西部风速较低 0.3 m/s; 其余的风速较高, 在 4.7~7.9 m/s 之间; 除了岛西部为东风, 其余风向为东南风; U_VGRDprs850 的除东部为西南风, 速度为 1.2 m/s 外, 全岛大部分风向为东南风, 在 1.2~3.8 m/s 之间; U_VGRDprs500 北部、中部风速较高, 在 8.8~18.5 m/s 之间; 南部风速较低, 在 4.9~6.0 m/s 之间; 全岛风向为偏西风; U_VGRDprs300 上层北部风速较高, 在 11.1~15.4 m/s 之间; 中部、南部风速在 10.4~14.4 m/s 之间; 全岛风向为西风。如图 7 所示(VGRDprs300 图略)。

6.1.4. 涡度

ABSVprs1000 (Absolute Vorticity, pressure = 1000 hPa [1/s])海南岛的西北部海面, 有负涡度, 西部海面中心值 $-14.5 [10^{-5} 1/s]$; 正涡度区处在海南岛的西部为 2.6~13.6 $[10^{-5} 1/s]$ 之间。ABSVprs925 海南岛西北部海面的正涡度区南伸, 中心值 40 $[10^{-5} 1/s]$; 正涡度区在岛上的为 2.7~17.8 $[10^{-5} 1/s]$ 之间; 在西部海面有负涡度, 中心值 $-11.1 [10^{-5} 1/s]$ 。ABSVprs850 正涡度区在 2.2~11.6 $[10^{-5} 1/s]$ 之间; 海南岛的北部向西部延伸的负涡度, 中心值为 $-11.6 [10^{-5} 1/s]$, 形成东西的一正一负 2 个涡度。ABSVprs500 海南岛东北部有一个负涡度中心, 负涡度区在岛上为 $-24.4 \sim -22.1 [10^{-5} 1/s]$ 之间。ABSVprs300 海南岛西部的正涡度

区在岛上的为 $1.5\sim 23.5 [10^{-5} \text{ 1/s}]$ 之间，西北部的正涡度区影响减少；东部的负涡度在岛上的为 $-19.8\sim -5.0 [10^{-5} \text{ 1/s}]$ 之间。如图 8 所示(ABSVprs300 图略)。

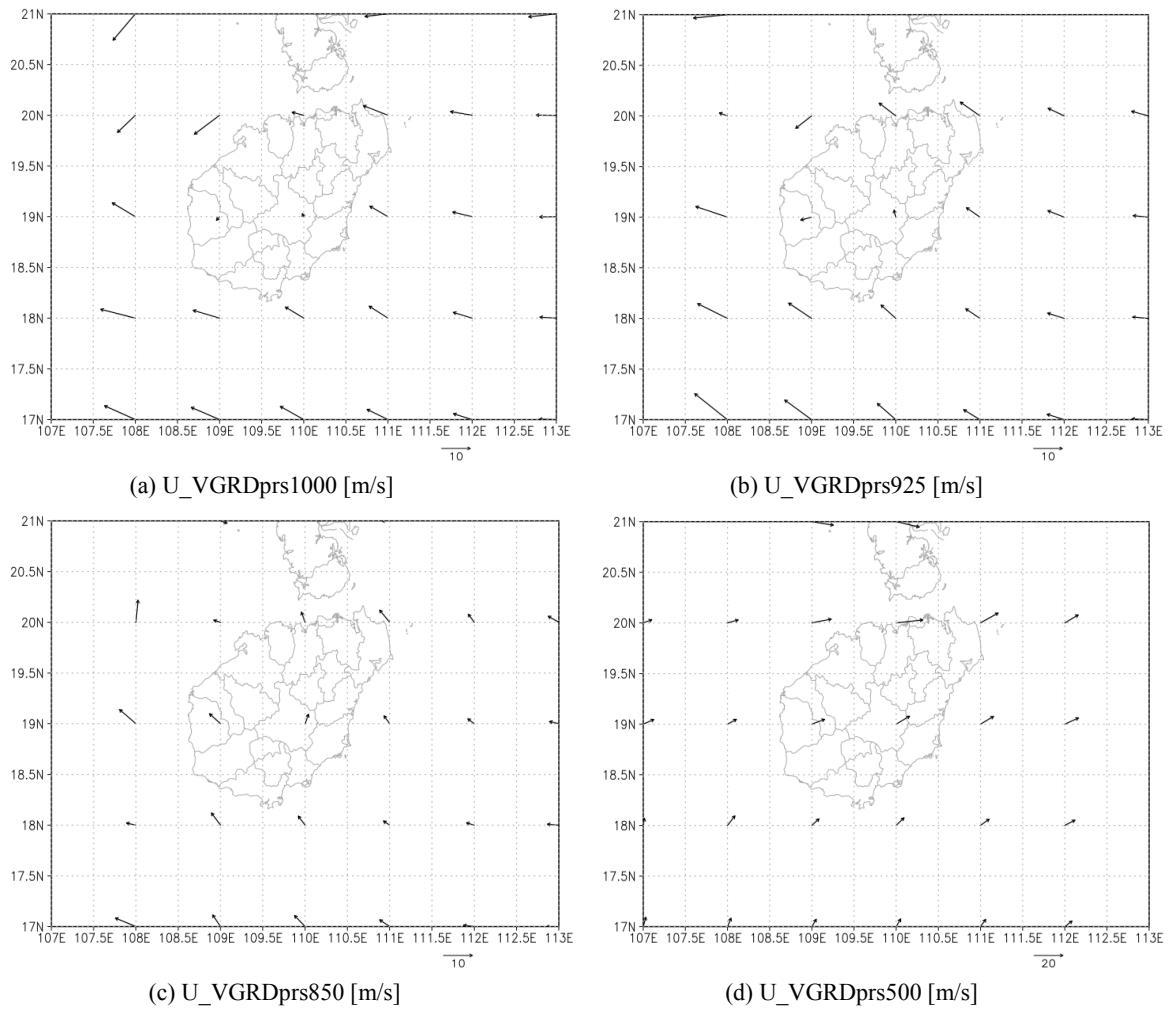
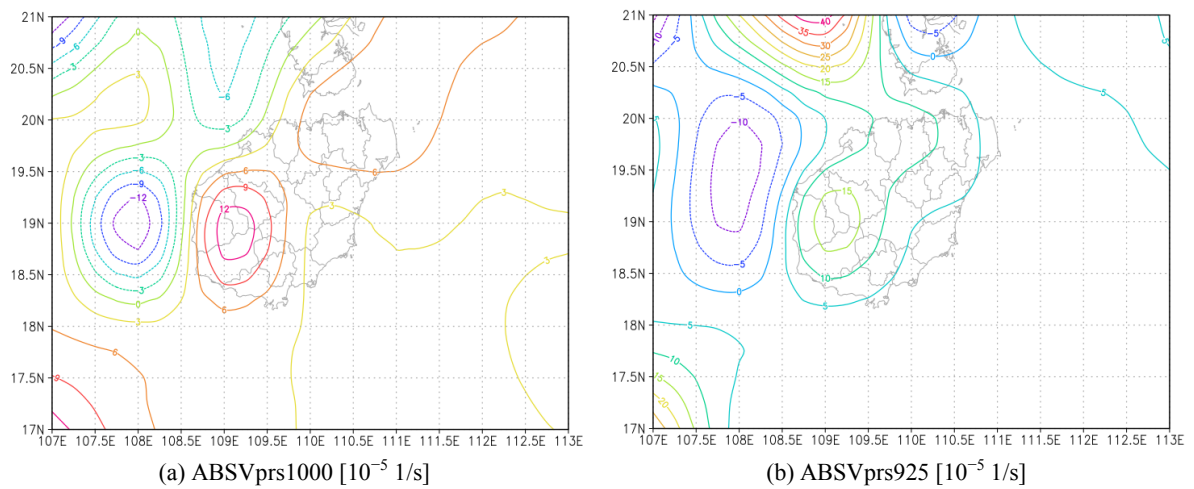


Figure 7. Analysis of wind speed. (a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

图 7. 风速分析。(a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa



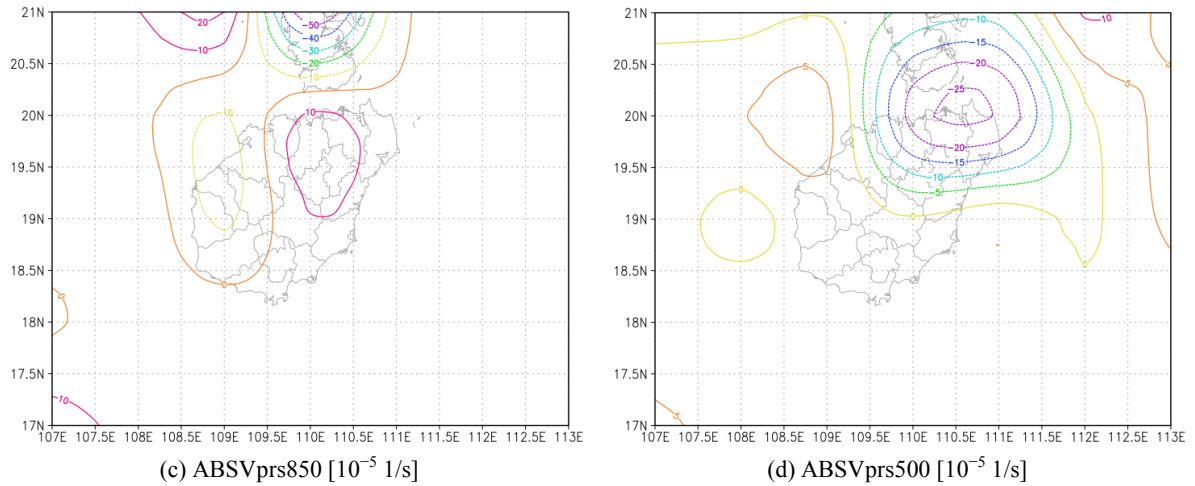


Figure 8. Analysis of vorticity. (a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

图 8. 涡度分析。(a) 1000 hPa; (b) 925 hPa; (c) 850 hPa; (d) 500 hPa

6.1.5. 位势高度

HGTprs1000 (Geopotential Height, pressure = 1000 hPa [m])位势高度在 94.9~103.5 m 之间, HGTprs925 在 774.5~783.6 m 之间, HGTprs850 在 1504~1513 m 之间, HGTprs500 在 5866~5883 m 之间, HGTprs300 在 9701~9710 m 之间。与 2020 年 4 月 22 日相比低层的位势高度有所增高, 中高层的位势高度相差不大。

6.2. 最大风和对流风及温度和高度

6.2.1. 最大风及温度和高度

U_VGRDmwl (max wind U-V of Wind [m/s])最大风为西风, 风速在 14~15 m/s 之间, 如图 9(a)所示; TMPmwl (max wind Temperature [°C])环海南岛的海面上的北部、西部和南部最大风温度较低, 在 $-80^{\circ}\text{C}\sim-69^{\circ}\text{C}$ 之间; 海南岛和东部海面的最大风温度较高, 在 $-26^{\circ}\text{C}\sim-14^{\circ}\text{C}$ 之间, 如图 9(b)所示; HGTmwl (max wind Geopotential Height [gpm])海南岛和东部海面的最大风位势高度较低, 在 7439~8742 m 之间; 环海南岛的海面上的北部、西部和南部最大风位势高度较高, 在 11,245~16,334 m 之间。

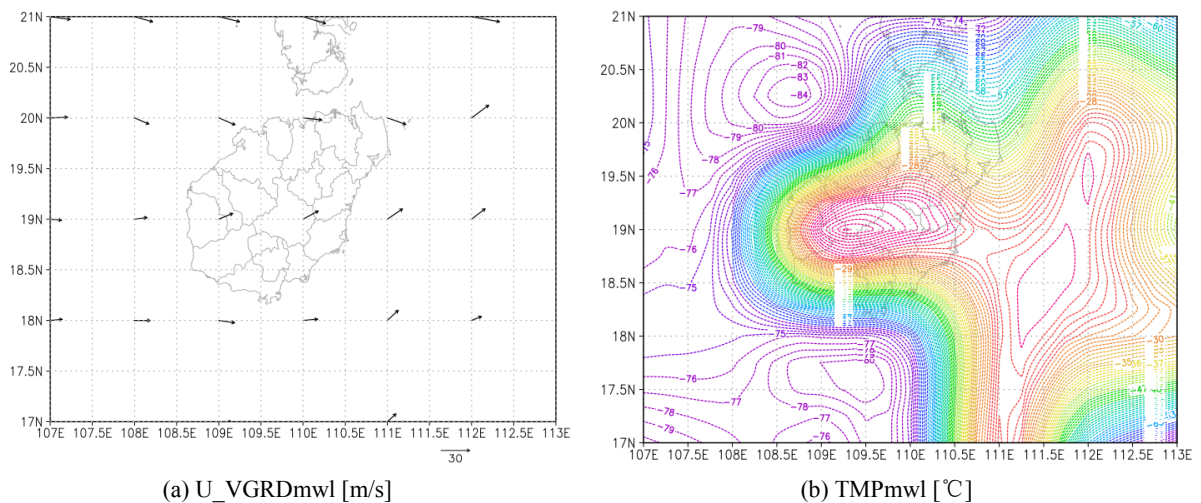


Figure 9. (a) Maximum wind; (b) Temperature

图 9. (a) 最大风; (b) 温度

6.2.2. 对流风及温度和高度

U_VGRDtrop (tropopause U-V of Wind [m/s])对流风为西风，风速在 4~8 m/s 之间，如图 10(a)所示；TMPtrop (tropopause Temperature [°C])对流风温度在-83°C~-81°C之间，如图 10(b)所示；HGTtrop (tropopause Geopotential Height [gpm])对流风位势高度在 16,640~17,889 m 之间。

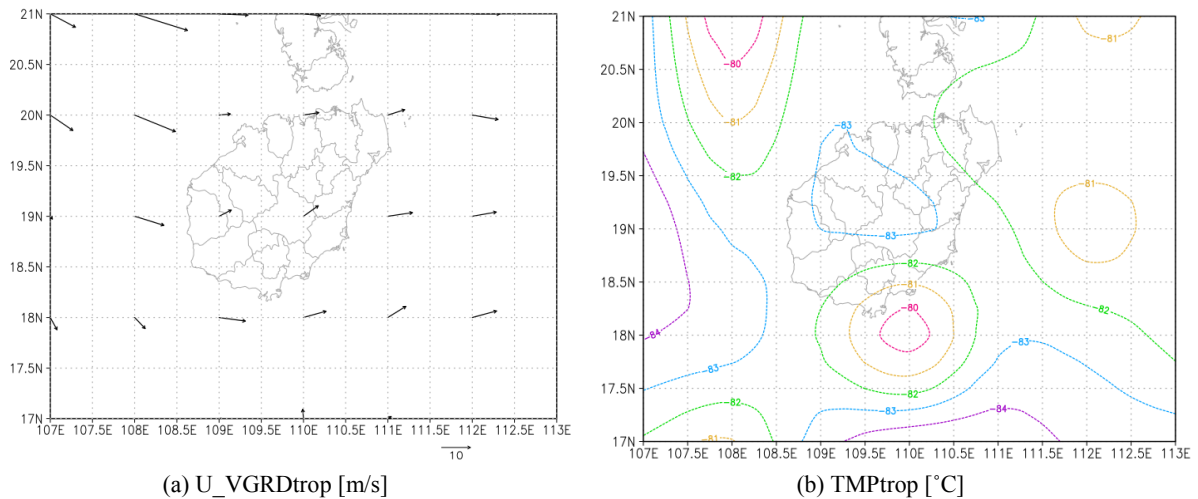


Figure 10. (a) Convection wind; (b) Temperature
图 10. (a) 对流风; (b) 温度

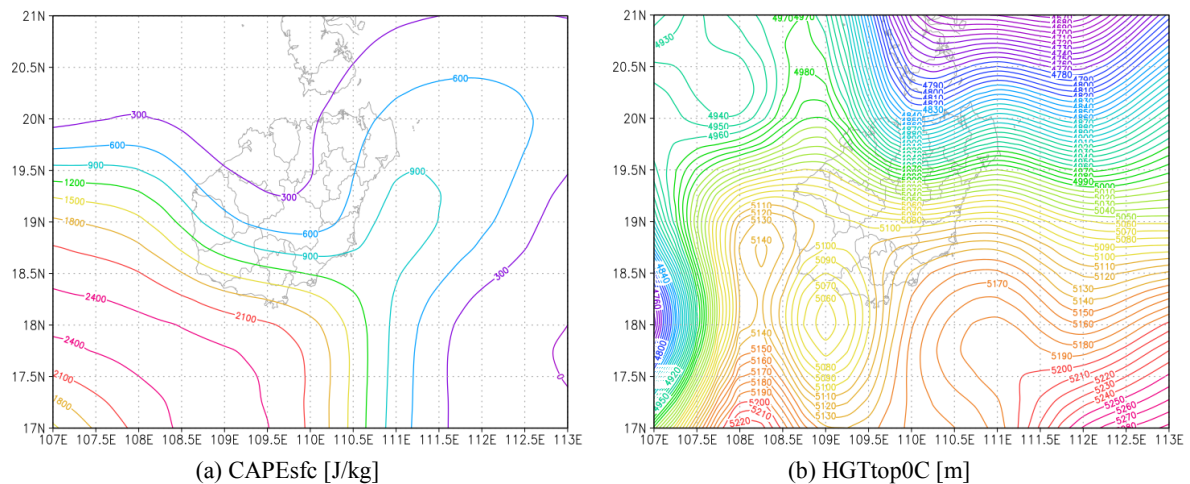
6.2.3. 对流有效位能、对流冰点位势高度、柱体云水和可降水量

CAPEscf (Convective Available Potential Energy [J/kg])对流有效位能在海南岛的西北部较低，在 126~263 J/kg 之间；东北部在 679~987 J/kg 之间，中部在 462~703 J/kg 之间，东南部在 987~1901 J/kg 之间；在西南部较高，在 1574~2266 J/kg 之间，如图 11(a)所示。

HGTtop0C (highest tropospheric freezing level Geopotential Height [gpm])对流冰点位势高度在 4844~5158 m 之间，如图 11(b)所示。

CWATclm (Cloud Water [kg/m²])海南岛整个柱体云水，北部在 0.14~1.59 kg/m²，中部在 0.02~0.08 kg/m²，南部在 0~0.05 kg/m²，如图 11(c)所示。

pwatclm (Precipitable Water [kg/m²])整个柱体可降水量为 49.5~63.2 kg/m² 之间，如图 11(d)所示。



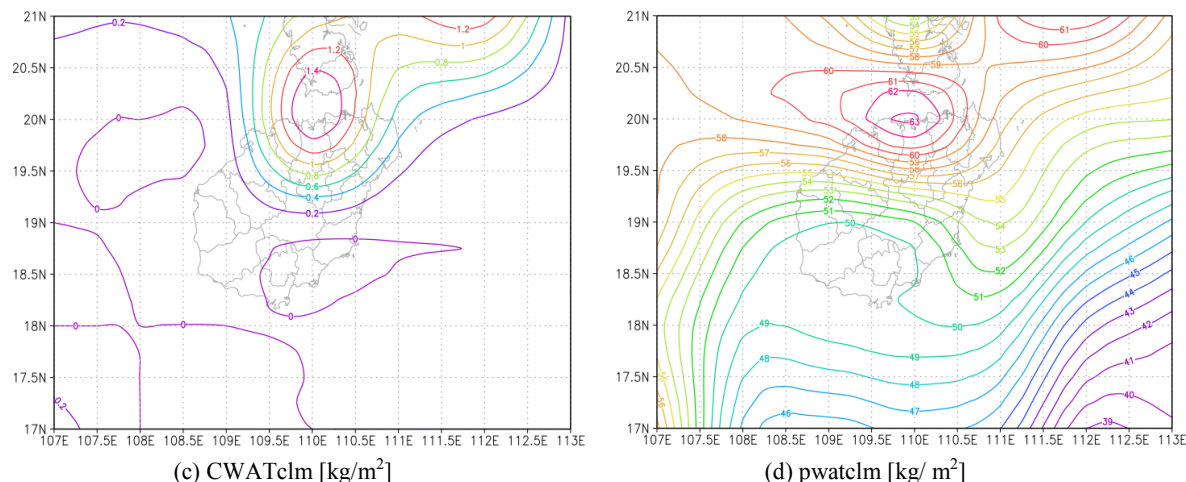


Figure 11. Factor analyses. (a) CAPE; (b) Convective ice point geopotential height; (c) Air column cloud water; (d) Air column geopotential precipitation

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

7. 对比分析

2021年4月26日16时~19时出现持续性短时强降水天气过程,与2020年4月22日(该日的强降水天气过程详细分析,见本作者论文[11]),相隔一年,它们之间有很多相似性,现在通过对它们的形势背景、降水实况、卫星产品、探空数据、多普勒雷达回波、高度(1000、925、850、500、300)hPa层、最大风及其温度和高度、对流风及其温度和高度、对流有效位能、对流冰点位势高度、柱体云水和可降水量等,作对比分析。如下表2:

Table 2. Comparative analysis

表 2. 对比分析

时间	2021年4月26日	2020年4月22日
形势背景	冷空气偏东下锋消天气过程(ES),低层西南气流,500 hPa副高控制南海大部海域,西到西南气流。	冷空气偏西下锋消天气过程(WF),低层东南气流,500 hPa副高控制华南沿海及南海海域,偏西气流。
降水实况	16时~19时,降水主要集中在海南岛北部、东部和中部地区,以屯昌、琼海、海口、万宁、文昌、澄迈、定安、琼中一带降水量较大,其中最大雨量屯昌木色水库146.2 mm,平均雨量最大海口市50.6 mm。平均气温24.2℃~29.9℃,地面湿度64%~98%。	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,其中最大雨量白沙南开乡政府94.2 mm。平均气温22.2℃~30℃,地面湿度49%~100%。
卫星产品	18时00分,海南岛东部陆地及北部地区有大面积混合云系持续发展。	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。
探空数据	08时湿对流有效位能在586.7~2212.5 J/kg之间,降雨过后,20时在340.6~2280.6 J/kg之间,海口湿对流有效位能变小,三亚的变大;08~20时,K指数在36.2℃~42.3℃之间;抬升凝结高度TCL_P在962.9~994.6 m;0℃层高度在4775~5282 m之间;-20℃层高度在8131.1~8537.8 m之间;-30℃层高度在9541.1~9801.2 m之间。	08时湿对流有效位能在1134.8~1520.4 J/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℃~39.9℃之间;抬升凝结高度TCL_P在936.1~975.1 m;0℃层高度在4709~4969 m之间;-20℃层高度在8080.7~8342.2 m之间;-30℃层高度在9449.9~9682.2 m之间。

Continued

	<p>16时~19时,有一条雷达回波带呈西南-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。</p> <p>a) 基本反射率回波: 16:03 澄迈 55 db, 17:00 海口 58 db, 18:03 屯昌 60 db, 19:01 琼海 56 db; 各时段, 岛上最强回波在 55~60 db 之间。</p> <p>b) 回波顶高: 16:03 澄迈 16 km, 17:00 澄迈 15 km, 18:03 16 km, 19:01 文昌 16 km; 各时段, 岛上回波顶高最高在 15~16 km 之间。</p> <p>c) 垂直累积液态水含量: 16:03 澄迈 34 kg/m², 17:00 澄迈 33 kg/m², 18:03 海口 32 kg/m², 19:01 文昌和万宁 32 kg/m²; 各时段, 岛上垂直累积液态水含量在 32~34 kg/m² 之间。</p>	<p>16时~19时,有一条雷达回波带呈西南-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。</p> <p>a) 基本反射率回波: 16:03 白沙 53 db, 17:00 57 db, 17:58 屯昌 54 db, 19:01 文昌 46 db; 各时段, 岛上最强回波在 46~57 db 之间。</p> <p>b) 回波顶高: 16:03 东方 15 km, 17:00 白沙和澄迈 17 km, 17:58 12 km, 19:01 10 km; 各时段, 岛上回波顶高最高在 10~17 km 之间。</p> <p>c) 垂直累积液态水含量: 16:03 白沙 25 kg/m², 17:00 白沙和澄迈 28 kg/m², 17:58 22 kg/m²; 19:01 17 kg/m²; 各时段, 岛上垂直累积液态水含量在 17~28 kg/m² 之间。</p>
多普勒雷达回波		
高度 1000 hPa 层	<p>相对湿度在 77%~94% 之间; 温度在 23°C~26°C 之间; 风速在 0.4~4.0 m/s 之间, 全岛风向为东风 岛西部正涡度区在 2.6~13.6 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 94.9~103.5 m 之间。</p>	<p>相对湿度在 75%~90% 之间; 温度在 24°C~25°C 之间; 风速在 0.2~1.4 m/s 之间, 全岛风向为东风 岛上正涡度区在 4.6~11.4 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 11~12 m 之间。</p>
高度 925 hPa 层	<p>相对湿度在 78%~97% 之间; 温度在 20°C~22°C 之间; 岛的中西部风速较低 0.3 m/s, 其余的风速较高, 在 4.7~7.9 m/s 之间, 为东风或东南风; 岛上正涡度区在 2.7~17.8 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 774.5~783.6 m 之间。</p>	<p>相对湿度在 84%~94% 之间; 温度在 19°C~21°C 之间; 岛的西部风速较低 0.3 m/s, 其余的风速较高, 在 3.6~7.8 m/s 之间, 为东南风; 岛上正涡度区在 5.3~11.9 [10⁻⁵ 1/s] 之间, 西部负涡度区在 -6.5~-2.1 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 79~80 m 之间。</p>
高度 850 hPa 层	<p>相对湿度在 58%~98% 之间; 温度在 17°C~18°C 之间; 除岛东部为西南风, 速度为 1.2 m/s 外, 其余为东南风, 在 1.2~3.8 m/s 之间; 岛东部正涡度区在 2.2~11.6 [10⁻⁵ 1/s] 之间, 西部负涡度, 中心值为 -11.6 [10⁻⁵ 1/s], 形成东西的一正一负 2 个涡度; 位势高度在 1504~1513 m 之间。</p>	<p>相对湿度在 60%~89% 之间; 温度在 16°C~20°C 之间; 岛上风速较低, 在 0.08~1.8 m/s 之间, 为南风; 西北东南延伸到岛上的正涡度区在 3.6~6.1 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 岛西部的负涡度, 中心值 -1.8 [10⁻⁵ 1/s], 东北部也有一个小的负涡度; 位势高度在 1524~1527 m 之间。</p>
高度 500 hPa 层	<p>岛的西北部相对湿度较高在 55%~86% 之间, 东南部相对湿度较低在 11%~15% 之间; 温度在 -5°C~-4°C 之间; 岛的北部、中部风速较高在 8.8~18.5 m/s 之间, 南部风速较低在 4.9~6.0 m/s 之间, 全岛为偏西风; 东北部有一个负涡度中心, 在岛上在 -24.4~-22.1 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 5866~5883 m 之间。</p>	<p>岛的北部、中部相对湿度较高在 57%~75% 之间, 南部相对湿度较低在 26%~40% 之间; 温度在 -6°C~-5°C 之间; 岛的北部、中部风速较高在 8.4~14.4 m/s 之间, 南部风速较低在 6.4~6.9 m/s 之间, 全岛为偏西风; 西北部海面在岛上的正涡度在 0.1~1.9 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 5891~5901 m 之间。</p>
高度 300 hPa 层	<p>岛的南部相对湿度较低在 51%~58% 之间, 其余的相对湿度较高在 96%~100% 之间; 温度在 -29°C~-30°C 之间; 全岛风速在 10.4~15.4 m/s 之间, 为西风; 西部正涡度区在 1.5~23.5 [10⁻⁵ 1/s] 之间, 东北部负涡度在 -19.8~-5.0 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 9701~9710 m 之间。</p>	<p>岛的东南相对湿度较低在 57%~69% 之间, 其余的相对湿度较高在 97%~100% 之间; 温度在 -32°C~-31°C 之间; 岛的北部风速在 14.8~19.4 m/s 之间, 中南部在 9.0~12.1 m/s 之间, 全岛为西南风; 东南部的正涡度在 1.1~9.1 [10⁻⁵ 1/s] 之间, 东北部的负涡度为 -1.9 [10⁻⁵ 1/s], 西南部的负涡度在 -2.9~-1.8 [10⁻⁵ 1/s] 之间; 位势高度在 9691~9706 m 之间。</p>

Continued

最大风及其温度和高度	最大风速在 14~15 m/s 之间, 为西风; 环海南岛的海面上的西部最大风温度较低, 在 -80℃~-69℃之间, 海南岛和东部海面的最大风温度较高在 -26℃~-14℃之间; 环海南岛的海面上的北部、西部和南部位势高度较高在 11,245~16,334 m 之间, 海南岛和东部海面的位势高度较低在 7439~8742 m 之间。	最大风速在 22~27 m/s 之间, 为西南风; 最大风温度在 -65℃~-59℃之间, 温度北低南高; 位势高度在 13,280~13,947 m 之间。
对流风及其温度和高度	对流风为西风, 风速在 4~8 m/s 之间; 温度在 -83℃~-81℃之间; 位势高度在 16,640~17,889 m 之间。	对流风为西到西南风, 风速在 7~16 m/s 之间; 温度在 -78℃~-77℃之间; 位势高度在 16,080~17,264 m 之间。
对流有效位能对流冰点位势高度、柱体云水和可降水量	对流有效位能在西北部较低在 126~263 J/kg 之间, 东北部在 679~987 J/kg 之间, 中部在 462~703 J/kg 之间, 东南部在 987~1901 J/kg 之间, 在西南部较高在 1574~2266 J/kg 之间; 对流冰点位势高度在 4844~5158 m 之间; 柱体云水, 北部在 0.14~1.59 kg/m ² , 中部在 0.02~0.08 kg/m ² 之间, 南部在 0~0.05 kg/m ² ; 整个柱体可降水量为 49.5~63.2 kg/m ² 之间。	对流有效位能北部较低在 270~284 J/kg 之间, 西部在 365~716 J/kg 之间, 南部较高在 1377~1650 J/kg 之间; 对流冰点位势高度在 4826~4988 m 之间; 整个柱体云水为 0.06 kg/m ² ; 整个柱体可降水量为 45.9~54.1 kg/m ² 之间。

对比分析可知: 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日相比, 相隔一年, 但它们之间有很多相似性:

冷空气偏东(西)下锋消天气过程。降水实况 16 时~19 时, 降水主要集中在海南岛北部、东(西)部和中部地区, 一条雨带呈西南 - 东北向降水量较大; 卫星产品显示, 海南岛西部陆地及北部地区有大面积混合云系持续发展。

探空数据表明 K 指数、抬升凝结高度 TCL_P、0℃层、-20℃层、-30℃层高度的数值几乎相近。

16 时~19 时, 有一条雷达回波带呈西南 - 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。

各高度层, 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日相比: 从低层到高层, 中下层的相对湿度变化不大, 上层有水汽补充; 位势高度低层有所增高, 中高层的位势高度的数值几乎相近; 各层温度的数值也几乎相近。

2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日相比, 对流风温度和位势高度的数值也几乎相近; 对流冰点位势高度的数值也几乎相近。

8. 结语

海南 2021 年 4 月 26 日出现与 2020 年 4 月 22 日类似的强降水天气过程, 相隔一年, 它们之间有很多相似性, 这是值得探讨的问题; 本文主要分析海南 2021 年 4 月 26 日的天气过程, 再把 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日作对比分析。

1) 16 时~19 时, 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, 地面伴有强降水发生。

2) 双偏振雷达显示, 18:03 回波由西向东移动到文昌、海口、定安、屯昌、琼中、白沙、昌江、乐东、东方的一条带上, 回波强度有所增强; 差分反射率水平通道的强度比垂直通道的强度大; 径向速度最大达 17 m/s 在海口和文昌; 相关系数达 0.97, 表征的是同一时刻回波水平通道和垂直通道的相似性; 差分传播频率最大 2.3 K/m 在海口, 对应的降水也就越大; 差分传播相移最大 140 度在文昌和琼海, 降

水粒子浓度越高, 对应差分传播相移值越大; 在文昌、海口、定安、屯昌、琼海的一条回波带上, 相态显示有小雹和雨夹雹, 降水率在 17%~22%之间。

3) FNL 再分析资料 26 日 20 时(资料 12 h)分析表明

a) 海南岛的相对湿度 RHprs 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; TMPprs1000 温度在 23°C~26°C 之间, TMPprs925 温度在 20°C~22°C 之间, TMPprs850 温度在 17°C~18°C 之间, TMPprs500 温度在 -5°C~-4°C 之间, TMPprs300 温度在 -29°C~-30°C 之间; HGTprs1000 海南岛的位势高度在 94.9~103.5 m 之间, HGTprs925 在 774.5~783.6 m 之间, HGTprs850 在 1504~1513 m 之间, HGTprs500 在 5866~5883 m 之间, HGTprs300 在 9701~9710 m 之间。

b) U_VGRDmwl 最大风为西风, 风速在 14~15 m/s 之间; TMPmwl 海南岛和东部海面的最大风温度在 -26°C~-14°C 之间。HGTmwl 海南岛和东部海面的最大风位势高度较低, 在 7439~8742 m 之间; U_VGRDtrop 海南岛的对流风为西风, 风速在 4~8 m/s 之间; TMPtrop 对流风温度在 -83°C~-81°C 之间; HGTtrop 对流风的位势高度在 16,640~178,89 m 之间。

c) CAPEscf 对流有效位能在海南岛的西北部较低, 在 126~263 J/kg 之间; 东北部在 679~987 J/kg 之间, 中部在 462~703 J/kg 之间, 东南部在 987~1901 J/kg 之间; 在西南部较高, 在 1574~2266 J/kg 之间。

d) HGTtop0C 对流冰点位势高度在 4844~5158 m 之间, 探空的 0°C 层高度在 4775~5282 m 之间, 数值几乎一样。

e) CWATclm 柱体云水海南岛北部在 0.14~1.59 kg/m², 中部在 0.02~0.08 kg/m², 南部在 0~0.05 kg/m²。pwatclm 柱体可降水海南岛为 49.5~63.2 kg/m² 之间; 16:03~19:01 雷达回波垂直累积液态水含量达 32~34 kg/m² 之间; 柱体可降水比垂直累积液态水含量接近大一倍, 但都可以很好反应降水的潜力。

4) 对比分析可知: 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日相比, 相隔一年, 但它们之间有很多相似性:

冷空气偏东(西)下锋消天气过程。探空数据表明 K 指数、抬升凝结高度 TCL_P、0°C 层高度、-20°C 层高度、-30°C 层高度的数值几乎相近。卫星产品显示, 海南岛西部陆地及北部地区有大面积混合云系持续发展。16 时~19 时, 有一条雷达回波带呈西南-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。降水实况 16 时~19 时, 降水主要集中在海南岛北部、东(西)部和中部地区, 一条雨带呈西南-东北向降水量较大;

各高度层, 2021 年 4 月 26 日与 2020 年 4 月 22 日相比: 从低层到高层, 中下层的相对湿度变化不大, 上层有水汽补充; 位势高度低层有所增高, 中高层的位势高度的数值几乎相近; 各层温度的数值也几乎相近。对流风温度和位势高度的数值也几乎相近; 对流冰点位势高度的数值也几乎相近。

基金项目

海南省气象局科研项目: 海南云水资源评估技术方法研究(hnqxZC202107);

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.
- [2] 李明华, 李超, 陈芳丽, 等. 粤东暴雨中心前汛期降水异常的环境特征及前兆性信号分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2020, 59(5): 113-125.
- [3] 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(4): 11-18.

-
- [4] 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(8): 3-7+11.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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(6): 959-968.
- [8] 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(6): 986-996.
- [9] 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(4): 16-21.
- [10] 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.
- [11] 黄巧明, 邢峰华, 黄彦彬. 海南热带积雨云带降水特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(1): 48-60.
<https://doi.org/10.12677/CCRL.2021.101007>