

广州白云机场一次长时间雷雨的特征及其形成机制分析

袁帅 林璇 陆欣欣

(中国民用航空中南地区空中交通管理局气象中心, 广东 广州 510000)

【摘要】利用广州白云机场激光测风雷达及欧洲中心 ERA5 再分析资料, 对 2023 年 5 月 17 日发生在广州白云国际机场的一次长时间雷雨天气进行分析, 结果表明: 1) 该次过程出现在短波槽后的西北气流中, 低空急流出口处强烈的辐合抬升提供了触发机制, 也为对流的维持带来了充沛的水汽, 上干冷、下暖湿的层结条件有利于强对流天气的发生; 2) 这次过程的雷达回波具有后向传播的特征, 径向速度图上旧雷暴单体的流出与环境风的西南气流间形成辐合线, 新的雷暴单体在辐合线上生成, 列车效应式的回波在偏西气流的引导下不断影响广州机场; 3) 激光测风雷达可以作为探测、监视机场周边近地面风场中的中小尺度辐合系统的一种有效手段, 对强对流天气的短临预报预警有一定参考意义。

【关键词】长时间雷雨; 后向传播; 辐合线; 激光雷达

一、引言

雷雨天气是目前世界航空界公认的严重影响航空运行的主要原因, 长时间系统性雷雨覆盖机场一方面会威胁航空运行安全, 另一方面会造成不同程度的航班运行障碍^[1]。

研究表明, 对流的移动是平流运动和传播运动的合成, 在对流某侧由新生单体引发的运动称为传播, 使得风暴整体运动偏离风暴单体的运动方向。如果新单体在对流系统平流的反方向生成则称为后向传播^[2], 这往往是造成对流系统稳定少动并引发局地暴雨的重要原因。而旧对流单体外流形成的阵风锋与环境风场间形成的辐合线会触发新单体, 造成系统的后向传播。

在郭鸿鸣等的研究中, 上干冷、下暖湿的层结条件有利于强对流天气的发生和维持^[3]。广州白云机场已有个例中, 500hPa 涡度中心、200hPa 散度中心和 850hPa 辐合中心的耦合是暴雨云团得以维持和发展的重要原因^[4]。

本文分析影响广州白云机场 2023 年 5 月 17 日多单体风暴的形成和维持机制, 探讨长时间雷雨发生的原因, 并借助激光测风雷达对辐合线上新生的雷暴进行有效监测和预警。

二、资料与方法

本研究采用广州白云国际机场的机场天气实况报文和激光测风雷达 PPI 扫描资料(扫描周期 1min30s)。天气形势场使用的是欧洲中期天气研究预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 简称 ECMWF)的 ERA5 再分析数据集的高空、地面资料。

三、天气特点概述

2023 年 5 月 17 日, 广州白云机场出现了长时间的雷雨天气, 从北京时间 13 时 54 分出现小阵雨伴雷暴天气开始, 整个雷雨过程持续至 19 时 30 分。其中影响最大的时段主要集中在午后(15:42-16:20)和傍晚(16:54-18:18)两个时段, 过程中雨强变化快,

并伴有 15 米/秒的阵风和风切变等现象。

当天 13 时左右终端区内有分散的对流回波逐渐发展起来, 14 时左右第一块孤立回波影响到机场。在 14 时 20 分对流东移出机场范围后, 机场西侧 20 公里范围内又有新的对流逐渐发展并东移影响到广州机场, 对流回波呈现出后向传播的特征。16 时之后, 广州终端区西侧不断有对流新生并与前侧的回波合并, 逐渐发展为有组织的多单体风暴使机场出现了间歇性的强降水天气, 严重影响到航班起降。受长时间雷雨天气影响, 广州机场 17 日 17:34-18:03 无航班起飞, 17:43-18:22 无航班降落, 期间共造成 51 架次航班备降, 当天机场放行正常率为 67.7%。

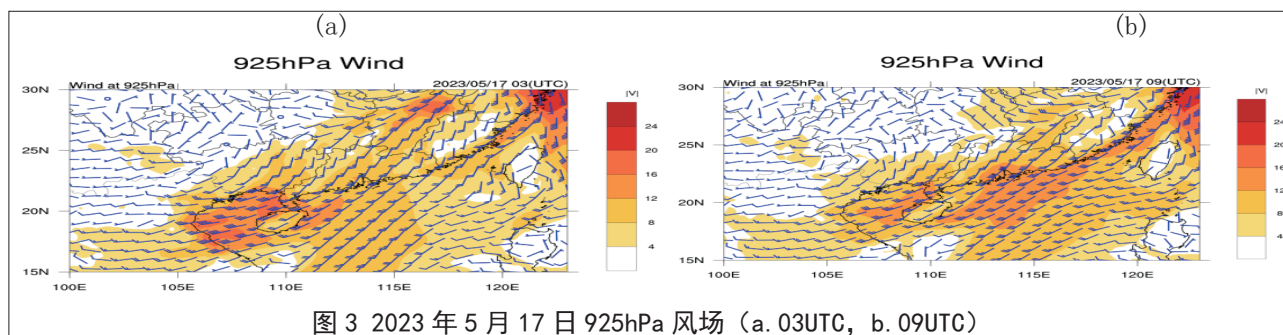
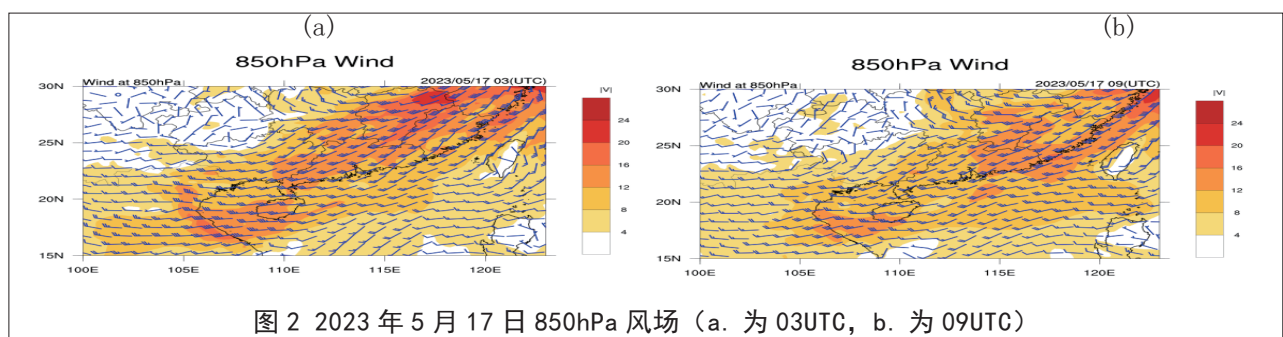
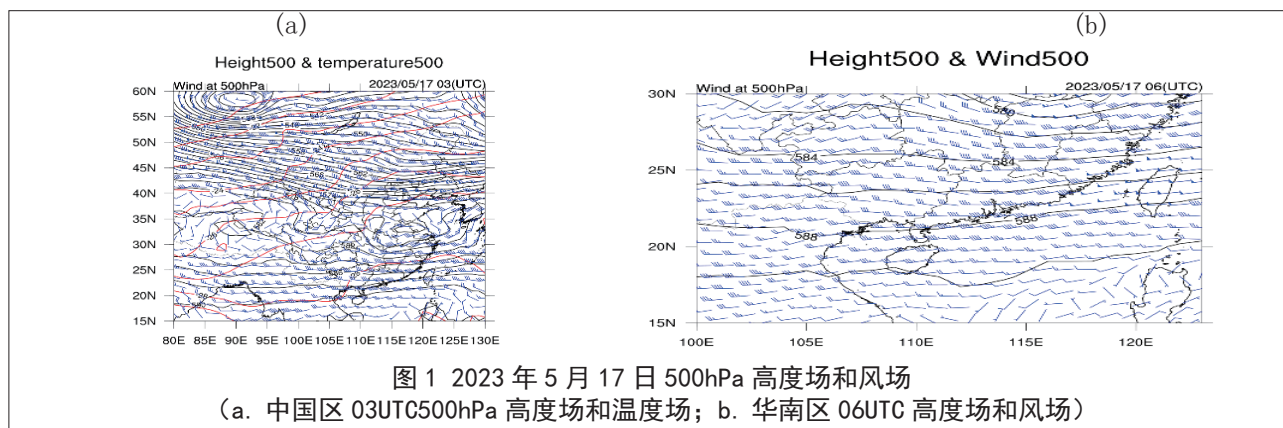
四、环境背景分析

(一) 天气形势

500hPa 上, 河套以西和江淮地区均有低涡活动, 副高稳定控制华南沿海地区, 广州白云机场位于副高北侧多波动的偏西气流中, 17 日上午两广交界处有短波槽发展并东移影响广东大部(图 1b), 14 时左右经过广州机场, 17 时完全移出机场。广西西部有一个明显的温度槽落后于短波槽(图 1a), 使得短波槽在东移的过程中逐渐加深, 并且在槽后西北气流的引导下, 有干冷平流入侵到机场上空。850hPa 西南气流逐渐东移(图 2), 尤其是中午前后(11-14 时)暖湿气流显著加强, 而在 17 时后急流中心逐渐东移出珠三角区域。

(二) 水汽条件

925hPa 上华南地图区的西南气流逐渐加强并发展为一支超低空急流(图 3a, b), 在珠三角区域出现明显的气旋性切变, 超低空急流前侧的辐合成为此次对流过程的触发条件。随着 925hPa 西南气流的加强, 为珠三角区域的对流发展输送了水汽。并且随着超低空急流向东北方向推进, 水汽辐合的中心也逐渐向东传播, 午后(14 时)在广州机场附近出现了明显的水汽辐合中心。而在当天 12UTC 急流迅速减弱, 也导致傍晚以后对流显著减弱。



(三) 动力抬升条件

由于 500hPa 短波槽逐渐加深, 槽前的正涡度也逐渐增大 (图 4a)。17 日午后, 在对流发展的初期, 机场位于 500hPa 槽前的正涡度平流区内, 有利于上升运动的发展, 使得低层由于气流辐合发展起来的对流能够发展到更高的高度, 使得对流强度逐渐加强。当日 17 时后, 虽然正涡度区逐渐移出机场范围, 但对流仍然继续维持了较长时间, 这部分的原因将在下一节中进行具体分析。

此外, 200hPa 上南海有一个明显的反气旋环流中心 (图 4b), 珠三角区域上空的辐散中心在傍晚后 (17 时) 逐渐发展加强, 这一方面是珠三角对流上升发展起来后在对流层中上部流出的结果, 另一方面也对对流的维持起到了一定的正反馈作用。

(四) 不稳定能量条件

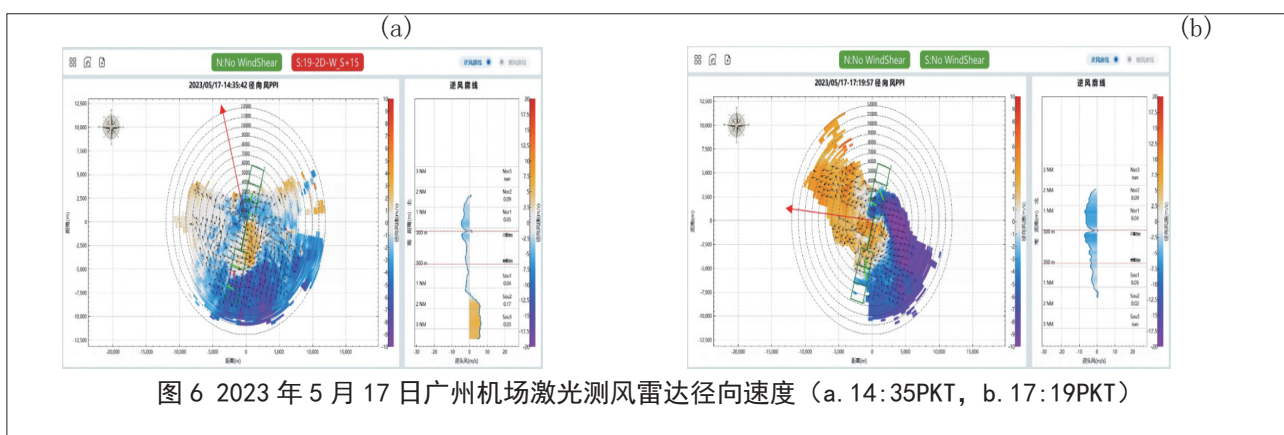
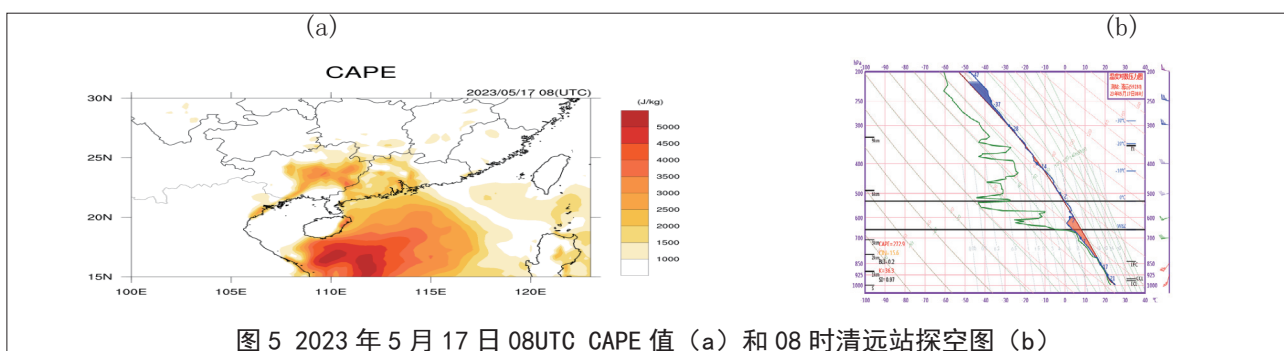
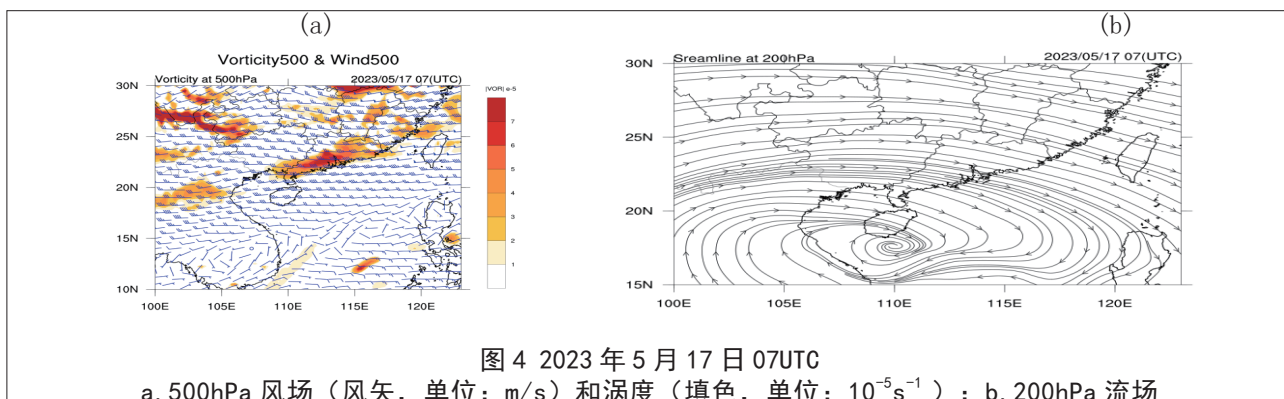
随着低层暖湿气流的加强, 高能区逐渐向内陆推进 (图 5a), 广州白云机场附近的不稳定能量得到有效积累, 16 时 CAPE 值为 545.31J/kg, 大气处于不稳定状态, 极易在低层辐合的触发下发展出对流。

500hPa 短波槽的移出后, 机场上空在西北气流的引导下出现明显的干冷平流 (图略), 形成了上干下暖, 上干下湿的不稳定层结, 这是导致珠三角区域对流继续维持的重要原因。08 时的广州北部清远探空图上 (图 5b), 探空曲线呈现显著的上干下湿的喇叭口形态, 由于中层百帕高原下来的气流较干, 650 百帕到 400 百帕附近形成一个显著的干层, 其中 500 百帕最干, 露点温度达到 -45°C , 温度露点差超过 40°C 。

五、激光雷达资料分析

通过分析广州机场的激光测风雷达径向速度场 (图 6a), 可以发现午后发展起来的对流后部有明显辐散向外的偏出流。反演出的风场显示, 偏北出流与环境风场补充的西南气流间形成了一条中尺度辐合线, 在辐合线上有新的对流逐渐发展起来, 并在偏西风的引导下东移影响机场, 使得对流回波出现了后向传播的特征, 雷雨天气得以维持。

当天傍晚 (17 时) 机场附近的分散对流逐渐发展合并为成片的多单体风暴, 主要是由于在前侧对流回波的后部出流与后侧对流的前部出流在两块回波之间



形成明显的中尺度辐合线（图 6b），并伴有新对流的发展，在反射率因子图上就反映为回波的合并。

六、总结

1. 925hPa 的边界层辐合是造成 17 日广州机场雷雨天气的触发条件，而 500hPa 短波槽前强烈的正涡度平流使得对流上升运动可以继续发展。500hPa 槽后干冷平流的入侵叠加在暖湿平流上，使不稳定能量累积，进而使对流能维持较长时间。

2. 旧雷暴单体的出流与环境风的西南气流间形成辐合线，新的雷暴单体在辐合线上生成，导致对流的 backward propagation，列车效应式的回波在偏西气流的引导下不断影响广州机场

3. 由于机场预报缺乏加密自动站的风场监测，而激光雷达可以在一定程度上弥补这一空缺，其可以作为探测、监视机场周边近地面风场中的中小尺度辐合系统的一种有效手段，对强对流天气的短临预报预警有一定参考意义。

参考文献：

- [1] 郑少华. 浅谈大范围长时间雷雨影响下的航空运行决策与保障 [J]. 中国科技信息, 2015, 01: 35-37.
- [2] 孙敏, 戴建华, 袁招洪, 等. 双多普勒雷达风场反演对一次后向传播雷暴过程的分析 [J]. 气象学报, 2015, 73(2): 247-262.
- [3] 郭鸿鸣, 李江波, 李颀, 等. 一次多单体风暴的传播特征及其预警研究 [J]. 气象与环境学报, 2017, 33(4): 1-10.
- [4] 李晟, 刘峰, 谷文龙, 等. 2010 年广州白云机场一次暴雨及长时间雷雨过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 12(31): 7-9.

作者简介：袁帅（1997.7-），男，汉族，广东省广州市人，助理工程师，大学本科，单位：中国民用航空中南地区空中交通管理局气象中心，研究方向：气象观测。