

一次低涡造成的南宁机场强对流天气过程分析

李 叶

中国民用航空中南地区空中交通管理局广西分局, 广西 南宁

收稿日期: 2025年12月8日; 录用日期: 2026年1月2日; 发布日期: 2026年1月12日

摘 要

本文利用EC再分析资料ERA5 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$)、风廓线雷达资料、自动气象观测站资料、探空资料, 对2024年5月19日南宁吴圩国际机场发生的强对流天气过程进行分析。结果表明: (1) 高空短波槽东移、中低层低涡切变系统活动与地面冷空气南下共同作用, 是此次强对流天气的主要触发条件; (2) 低层湿舌北伸与偏南暖湿气流持续输送, 为对流发展提供了充足的水汽供应和辐合抬升条件; (3) 南宁机场探空“上干下湿”的垂直结构, 有利于对流不稳定能量积累与释放; (4) 低层辐合与高层辐散形成的垂直抽吸效应, 是此次对流天气维持、发展并增强的关键动力机制。

关键词

低涡, 强对流, 水汽输送, 动力抬升

Analysis of a Strong Convection Weather Process Caused by a Low Vortex at Nanning Airport

Ye Li

Guangxi Branch of the Central-South Region Air Traffic Management Bureau of the Civil Aviation Administration of China, Nanning Guangxi

Received: December 8, 2025; accepted: January 2, 2026; published: January 12, 2026

Abstract

This article analyzes the severe convective weather process that occurred at Nanning Wuwei International Airport on May 19, 2024, using EC reanalysis data ERA5 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$), wind profile radar data, automatic weather observation station data, and sounding data. The results show that: (1) The eastward movement of the high-level shortwave trough, the activity of the low-level low vortex

shear system, and the southward movement of cold air on the ground are the main triggering conditions for this severe convective weather; (2) The northward extension of the low-level wet tongue and the continuous transport of warm and humid air towards the south provide sufficient water vapor supply and convergence lifting conditions for convective development; (3) The vertical structure of “dry on top and wet on bottom” sounding at Nanning Airport is conducive to the accumulation and release of convective unstable energy; (4) The vertical suction effect formed by low-level convergence and high-level divergence is the key driving mechanism for the maintenance, development, and enhancement of this convective weather.

Keywords

Low Vortex, Strong Convection, Water Vapor Transport, Power Lifting

Copyright © 2026 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

雷雨作为典型的中小尺度强对流天气，其伴随的冰雹、积冰、大风、风切变等天气现象具有极强的破坏力[1][2]。在雷雨天气条件下，航空器易遭遇强烈的垂直气流扰动，导致机体剧烈颠簸，严重时可能破坏飞机结构的完整性[3][4]。同时，降雨引发的低能见度、跑道积水等问题，会显著增加飞机起降难度，严重威胁航空飞行安全[5]。据统计，雷雨天气是导致航空事故的主要气象因素之一，有超过 35% 的航空事故受雷雨天气影响[6][7]。因此，掌握雷雨天气的特点、研究雷雨天气的触发机制，对减少飞行事故具有重要的指示意义。本文选用 EC 再分析资料 ERA5 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$)、风廓线雷达资料、自动气象观测站资料、探空资料，对 2025 年 5 月 19 日南宁机场发生的强对流天气过程进行分析，用天气学分析及物理量诊断方法，从大气环流背景和垂直结构特征等方面探讨该过程的特点和成因，为今后强对流天气的实时监测、分析研判和预警预报提供有益的思路。

2. 天气过程概况及特点

2024 年 18 日至 19 日，受高空槽和西南低涡东移影响，有系统性对流天气自西北向东南横扫广西地区，强降水落区主要集中在广西东北部、西部、中部和南部沿海地区。南宁机场处于强降水区中部，19 日 04:24~04:47 (北京时、下同)、07:27~09:29、11:06~11:46 出现弱雷雨天气，19 日 07:40~08:19、08:22~09:12 出现中等及以上强度雷雨天气，其中 07:40~07:57、08:47~08:57 出现强雷雨，06~09 时的 3 小时降雨量达 50 毫米以上，达到暴雨级别，07:44 出现最大阵风 16 米/秒，短时最低能见度 800 米，日累计降雨量达 74.9 毫米。

3. 天气形势分析

3.1. 环流形势场

从 5 月 18 日 20 时空中风场可以看出(图略)，500 hPa 南宁机场处于西北气流中，有短波槽影响桂北，700 hPa 桂西北有短波槽活动，850 hPa 南宁机场受低涡东南侧的西南气流影响，925 hPa 桂北有风速辐合，机场处于辐合线南侧的偏南气流中。19 日 08 时天气形势如图 1 所示，500 hPa 副高南落，高原槽东移影响桂北，机场(红点位置，下同)有浅槽过境，700 hPa 西南低涡东移，切变线南压到南宁机场，相较

于 18 日 20 时, 850 hPa 低涡中心由桂西北东移南压至桂中附近, 925 hPa 切变线南压并形成低涡, 机场处于低涡偏东侧的东南风与西南风的水汽辐合区, 存在较强的风速辐合。

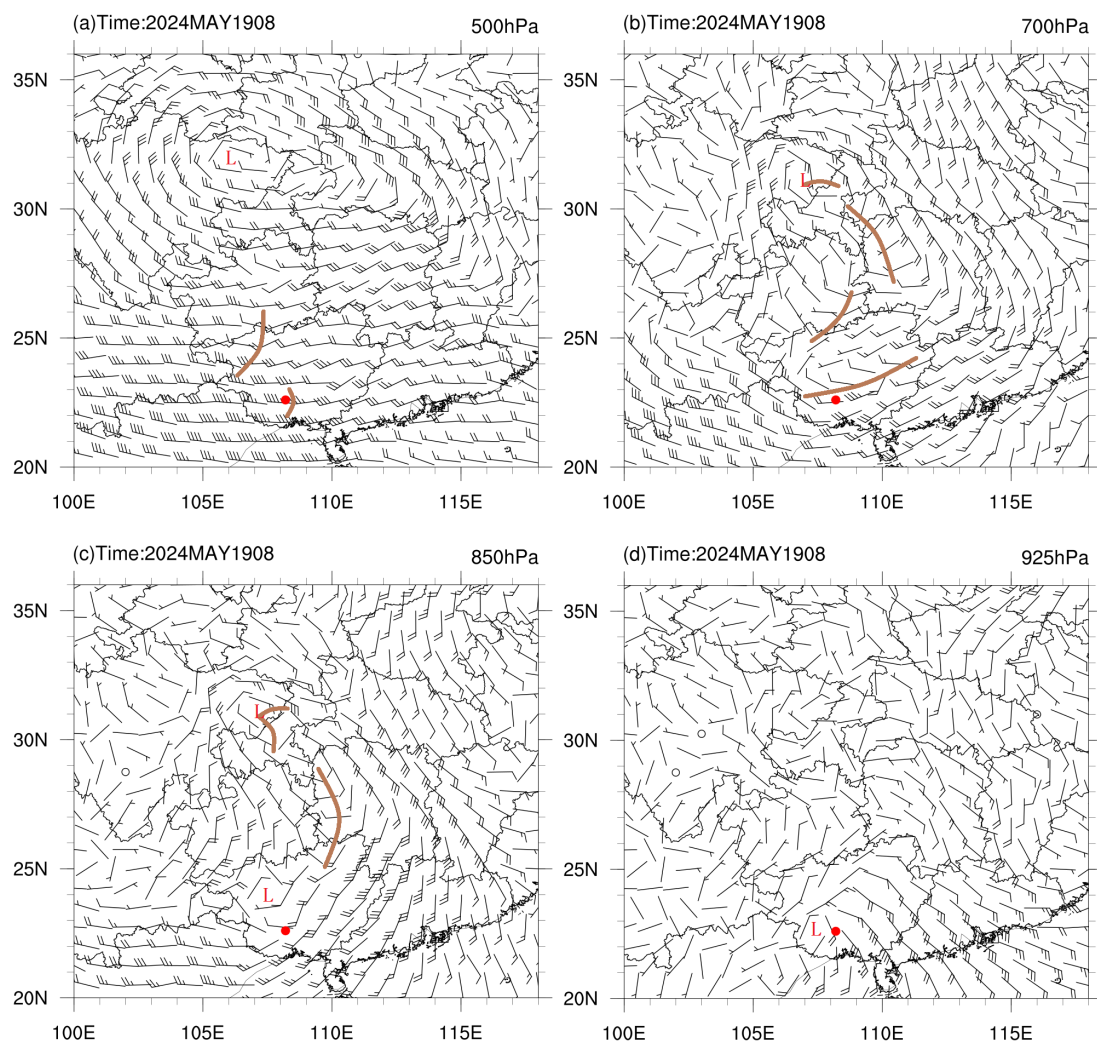


Figure 1. Circulation pattern field at 08:00 on May 19th: (a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa; (d) 925 hPa
图 1. 5 月 19 日 08:00 环流形势场: (a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa; (d) 925 hPa

3.2. 地面天气形势

由地面天气形势可知(图略), 18 日 20 时南宁地区处于低压槽内, 此时冷空气主体仍在四川北部区域, 桂北有弱冷空气渗透, 随着冷空气逐步向南推进, 19 日 08 时冷锋南压至南宁机场附近, 地面辐合线位于桂东南至沿海一带。

3.3. 风廓线雷达

从南宁机场风廓线雷达风羽图(图略)可以看出, 19 日 05:00~08:00 南宁机场 925 hPa 以下为偏南气流, 925 hPa~700 hPa 存在较强的西南低空急流, 08:00 冷空气渗透, 从近地面到 700 hPa 逐渐转为偏北气流, 08:20 时 700 hPa~500 hPa 有浅槽移到南宁机场上空。

由图 2(a)可以看出, 19 日 03:00 开始, 南宁机场风廓线雷达的最大探测高度由 5700 米突增至 7500

米, 19 日 04:00~06:00 减小, 06:00~07:00 再次增大至 11,000 米, 可知对流性降水发生前风廓线雷达的探测高度有两次增大, 在降水发生时最大探测高度达到最大, 表明在降水发生前南宁机场上空的水汽在增加, 水汽的辐合增强, 在强降水发生时段水汽条件充足。由图 2(b)可知, 19 日第 1 次降水过程(04:20~04:50)发生前, 探测到 400 米以下垂直速度几乎为零, 400 米以上有较小的垂直下降速度, 降水发生后期, 因降水粒子影响, 垂直下降速度加大, 07:27 第二次降水过程开始时, 因降水发生时降水粒子影响, 探测到垂直速度瞬速增大至 5 米/秒以上, 且 3000 米以下均为垂直下降速度, 一直维持至第三次降水过程(11:06~11:40)结束。

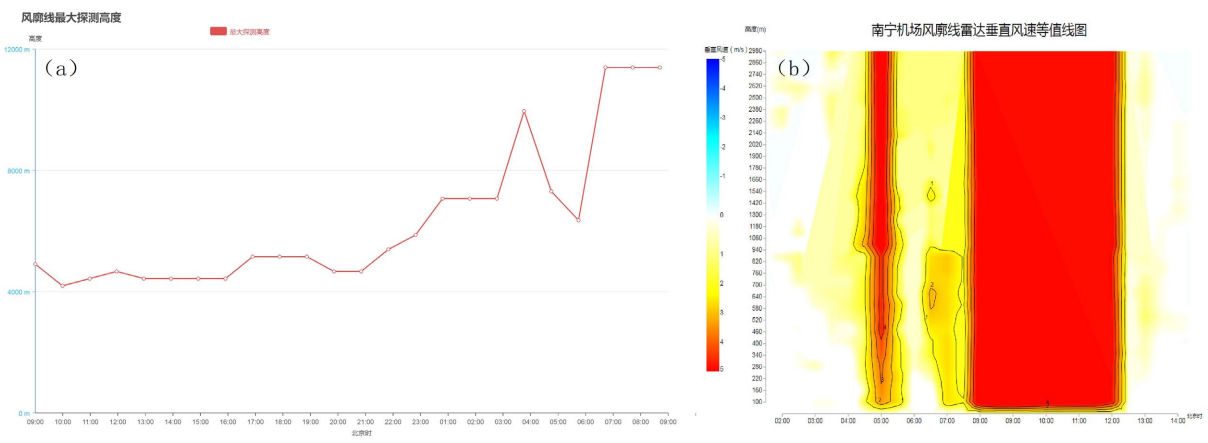


Figure 2. Nanning airport from May 18th to 19th: (a) Maximum detection altitude of wind profile radar; (b) Vertical velocity
图 2. 5 月 18 日~19 日南宁机场: (a) 风廓线雷达最大探测高度; (b) 垂直速度

4. 环境条件分析

4.1. 水汽条件分析

由比湿图来看, 850 hPa (图 3(a))湿舌呈东北 - 西南向, 由广西西南部向东北方向延伸, 南宁地区处于湿舌中部, 比湿接近 18 g/kg, 925 hPa (图 3(b))有显著湿区, 桂西南、桂南、桂中部分地区比湿达到 18 g/kg 以上, 南宁地区处于高值区内, 水汽条件充足。

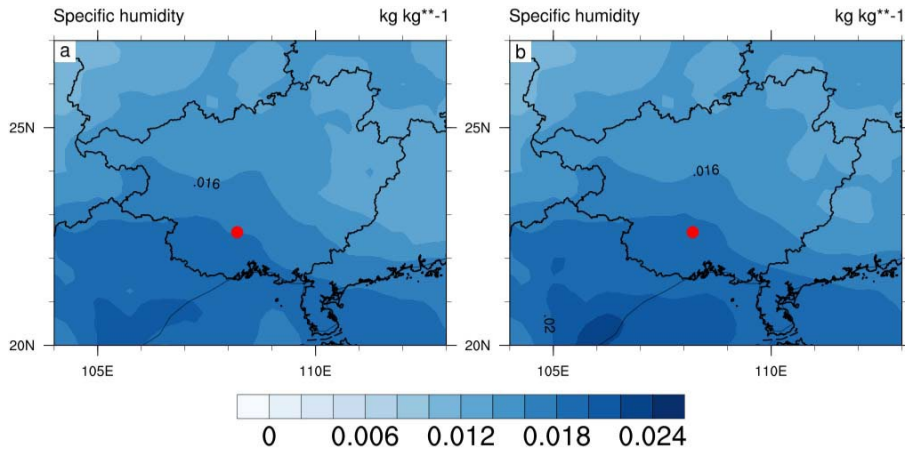


Figure 3. Nanning Airport specific humidity at 08:00 on May 19th: (a) 850 hPa; (b) 925 hPa
图 3. 5 月 19 日 08:00 南宁机场比湿: (a) 850 hPa; (b) 925 hPa

持续的水汽输送是降水形成与维持的必要条件。从 19 日 08 时 925 hPa 水汽通量及其散度的分布(图 4)可以看出,一条显著的水汽输送带自北部湾延伸至广西中部,其主要水汽源地为北部湾,广东南部沿海及南海北部也贡献了部分水汽。925 hPa 水汽通量最大值超过 $15 \text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$,表明低层有较强水汽输送。在水汽通量散度场上,广西沿海至南宁北部呈现明显的负值区,表明该区域低层存在持续的水汽辐合。低层水汽汇聚有利于增强垂直上升运动,为降水的发生与持续提供了必要的水汽条件,也从水汽收支角度解释了该时段降水系统的维持机制。

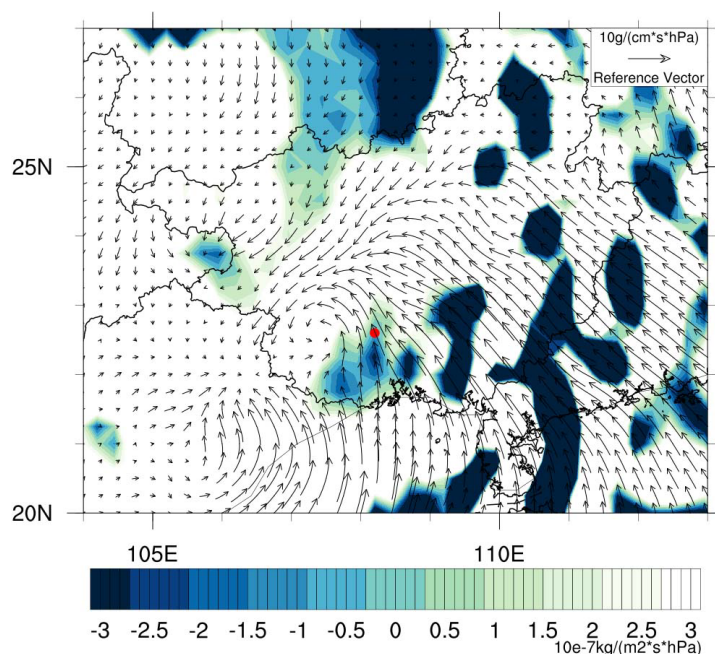


Figure 4. 925 hPa water vapor flux (vector arrow, unit $10 \text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$) and water vapor flux divergence (colored area, unit: $10\text{e}-7 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$) at Nanning Airport on May 19th at 08:00

图 4. 5 月 19 日 08:00 南宁机场 925 hPa 水汽通量(矢量箭头, 单位 $10 \text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$)和水汽通量散度(填色区, 单位: $10\text{e}-7 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$)

4.2. 层结条件分析

根据 18 日 20 时探空资料分析(图略), 南宁地区大气层结呈现有利于对流发展的条件。不稳定能量显著, 对流有效位能 CAPE 值达 814.9 J/kg , 不稳定能量主要集中在 750 hPa 到 200 hPa 之间, 表明具备较好的潜在不稳定能量, 容易受到扰动的影响而释放。从温湿结构来看, 地面至 700 hPa 为深厚的湿层, 700 hPa 以上高度较干, 形成典型的“上干下湿”层结。这种结构有利于在对流触发后, 因上层干空气卷入而增强蒸发冷却, 促进下沉气流发展, 从而维持和加强对流活动。风场垂直结构显示, 低层为东南风, 随高度逐渐转为西北风, 0~6 km 存在中等强度的垂直风切变。从常用热力指数看, 18 日 20 时 K 指数为 40.1°C , 沙氏指数(SI)为 -0.84°C , 两者均达到有利于雷暴发生的阈值, 表明当时大气具备较好的热力不稳定条件。

4.3. 动力条件分析

从水汽通量散度的垂直剖面图来看(图 5), 19 日 04 时弱雷雨天气发生时, 1000~925 hPa 为散度弱正值区, 925~775 hPa 为散度负值区, 表明 925 hPa 以下有较弱的辐散运动, 925 hPa 以上高度有辐合运动,

05 时后 925~825 hPa 之间的负值区向低层延伸且范围不断变大, 直至 07:40 左右中雷雨天气发生时, 1000~650 hPa 为散度负值区, 说明低层存在强的辐合运动, 中心最大值达 $-1.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, 450~200 hPa 为散度正值区, 中心最大值达 $0.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, 表明高层存在较强的辐散运动, 这种中低层辐合上升运动配合高层辐散的抽吸作用, 有利于上升运动的发展和维持, 为雷雨天气提供良好的动力条件。09 时后 825~500 hPa 为散度正值区, 中层为辐散运动, 此时中低层的辐合运动减弱, 与 09 时后减弱为弱雷雨天气相对应。

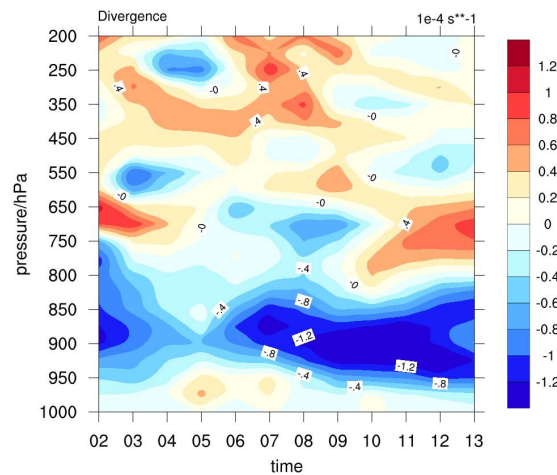


Figure 5. Divergence profile of Nanning airport from 02:00 to 13:00 on May 19th (unit: 10^{-4} s^{-1})
图 5. 5 月 19 日 02:00~13:00 南宁机场散度剖面图(单位: 10^{-4} s^{-1})

进一步分析南宁机场垂直速度剖面可知(图 6), 19 日大部分时段为垂直速度负值, 在强雷雨天气发生时段(07~08 时), 925~250 hPa 负值区中心最大值达 -2 Pa/s , 表明此时有强烈的垂直上升运动, 为强对流天气的触发提供了有利条件。

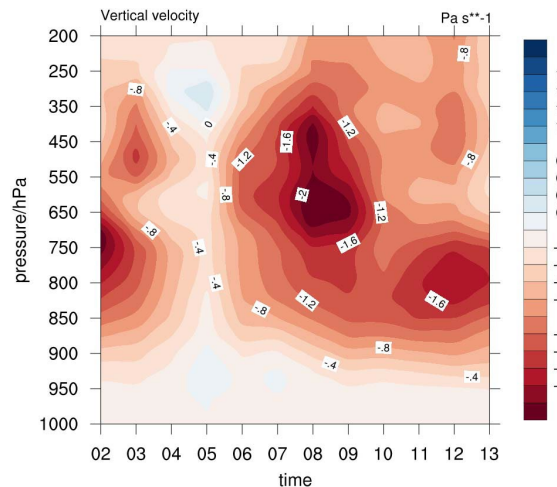


Figure 6. Vertical velocity profile of Nanning airport from 02:00 to 13:00 on May 19th (unit: Pa/s)
图 6. 5 月 19 日 02:00~13:00 南宁机场垂直速度剖面图(单位: Pa/s)

5. 总结与讨论

(1) 孟加拉湾季风和南海季风加强北推, 在华南地区与弱冷空气碰撞形成低涡切变, 地面冷空气侵入

与高层东移的短波槽相叠加，共同构成了此次强对流天气发生的环流背景。

(2) 风廓线雷达的最大探测高度在降水发生前出现两次显著跃增，与后续两次强降水时段相对应。该特征能有效反映大气中水汽含量的增加与低层辐合的增强，对判断降水的发生时间具有一定的参考意义。

(3) 雷雨天气过程发生时段低层水汽条件充足，低层存在一支强盛的偏南暖湿输送带，水汽主要来源于北部湾；850~925 hPa 层上湿舌明显，925 hPa 比湿在 18 g/kg 以上。水汽通量散度场显示桂西南地区为辐合区，为强降水提供了充足的水汽供应。

(4) 大气层结呈现显著的对流不稳定特征。5 月 19 日 08 时南宁机场探空资料显示 CAPE 值达 814.9 J/kg，K 指数为 40.1℃，沙氏指数为-0.84℃，其“上干下湿”的垂直结构有利于对流触发与增强。

(5) 南宁地区低层辐合、高层辐散的动力抽吸作用，有利于上升运动的维持和发展。19 日南宁地区大部分时段均为负的垂直速度，雷雨天气发生时段上升运动最强，为雷雨天气提供了动力条件。

参考文献

- [1] 黄方斌. 雷雨天气对飞行的影响及其对策[J]. 广西气象, 1996, 17(1): 28-30+57.
- [2] 陈云峰, 区志中. 白云机场一次强对流冰雹过程的闪电特征[J]. 广东气象, 2020, 42(4): 18-22.
- [3] 余锋. 浅谈雷雨天气飞行特点[J]. 科技创新导报, 2013(17): 241.
- [4] 王超. 关于雷雨天气对飞行的影响及安全飞行措施探讨[J]. 科技风, 2019(25): 133.
- [5] 张朝光. 雷雨对飞行的影响[J]. 气象, 1977(4): 6-7.
- [6] 张序. 雷暴天气的分析识别及对飞行的影响[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2011, 11(2): 49-54.
- [7] 马宇琪. 浅析雷雨天气对飞行的影响及空中飞行安全[J]. 科技风, 2019(30): 125.