

三亚凤凰国际机场近11年降水气候特征分析

陈求振, 许宇芬, 欧紫娴, 席哲良

中国民用航空三亚空中交通管理站, 海南 三亚

收稿日期: 2024年10月5日; 录用日期: 2024年11月7日; 发布日期: 2024年11月15日

摘 要

随着民航事业发展, 航空用户对更加精细的气象服务有迫切的需求, 强对流分类中关于强降水的预报主要依托于数值预报产品的分析预测以及临近预报产品的运用分析, 但是由于大多数数值预报模式的精度、更新频次无法满足机场单站预报以及短临预报的需求, 而气象雷达虽然能在临近预报中快速地帮助业务人员进行对流影响的直线外推, 但其产品更新依旧存在一定的延时性, 同时对流回波并不能反应强降水的持续时间, 还需要结合本地化降水特征进行主观订正。因此, 为了寻找适用于实际业务中降水的预报指标, 通过对2012年~2022年三亚凤凰国际机场历史气象资料, 针对机场降水的发生特点, 从气候、环流形式, 日变化特征的角度, 利用统计学的方式进行降水特征规律的分析, 由于使用的数据来源于机场历年气候志资料, 因此具备本机场降水发生特点的代表性。结果表明: (1) 三亚机场降水变化特点与季风转换密切相关; (2) 春、冬季机场以晴好天气为主, 夏、秋季为主要的雨季, 其中秋季的降水日数最多, 而夏季的强降水日数最多; (3) 春、夏、冬降水特点表现为: 后半夜是强降水主要发生时段, 而秋季强降水发生时段集中在下午; (4) 强降水持续时间基本以30 min以内为主, 只有在夏、秋季出现较多60 min, 甚至120 min以上强降水过程。本文的创新点在于一方面有效利用了本地化的气象数据资料, 得出的结论具备鲜明的本地化特点, 能直接运用、指导实际业务工作, 另一方面丰富了单站降水预报领域的研究, 该方法同样适用于其他气象部门进行本地化的单站降水预报。

关键词

航空气象, 单站预报, 分类统计, 降水特征, 强降水, 气候特点, 机场

Analysis of the Precipitation and Climate Characteristics of Sanya Phoenix International Airport in Recent 11 Years

Qiuzhen Chen, Yufen Xu, Zixian Ou, Zheliang Xi

Civil Aviation Sanya Air Traffic Control Station of China, Sanya Hainan

文章引用: 陈求振, 许宇芬, 欧紫娴, 席哲良. 三亚凤凰国际机场近 11 年降水气候特征分析[J]. 自然科学, 2024, 12(6): 1292-1304. DOI: 10.12677/ojns.2024.126140

Abstract

As civil aviation continues to develop, there is an urgent demand from airline users for more refined meteorological services. The forecasting of heavy precipitation within the classification of severe convective weather primarily relies on the analysis and prediction provided by numerical weather prediction (NWP) products, as well as the application of short-term forecast products. However, due to limitations in accuracy and update frequency of most NWP models, they often fail to meet the requirements for single-station forecasts at airports and short-term predictions. While meteorological radar can quickly assist operational personnel in extrapolating convective impacts during near-term forecasts, its product updates still exhibit certain delays. Additionally, convective echoes do not accurately reflect the duration of heavy rainfall; thus, subjective corrections based on localized precipitation characteristics are necessary. To identify suitable forecasting indicators for precipitation applicable in practical operations, this study analyzes historical meteorological data from Sanya Phoenix International Airport between 2012 and 2022. By examining the occurrence characteristics of airport precipitation from perspectives such as climate patterns, circulation forms, and diurnal variations using statistical methods. The data utilized in this study is derived from the historical climate records of airports, we ensure that our findings represent the unique precipitation characteristics specific to this airport. The results indicate: (1) The variation in precipitation at Sanya Airport is closely related to monsoon transitions; (2) Clear weather predominates during spring and winter months while summer and autumn constitute major rainy seasons-autumn records the highest number of rainy days whereas summer has a greater frequency of intense rainfall events; (3) Precipitation patterns observed in spring, summer, and winter show that significant rainfall mainly occurs during late night hours while intense rainfalls in autumn are concentrated in afternoon periods; (4) The duration of heavy rainfall predominantly lasts under 30 minutes with occurrences exceeding 60 minutes or even 120 minutes being more frequent only during summer and autumn. This study innovatively utilizes localized meteorological data which yields conclusions characterized by distinct local features that can be directly applied to guide practical operations. Furthermore, it enriches research within the domain of single-station precipitation forecasting. This methodology is also applicable for other meteorological departments aiming for localized single-station precipitation predictions.

Keywords

Aviation Meteorology, Single Station Forecast, Classification Statistics, Precipitation Characteristics, Heavy Precipitation, Climate Characteristics, Airport

Copyright © 2024 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

在当前极端天气频发的严峻背景下,对民航气象服务提出了更高的要求,航空气象是促进民用航空平稳、安全、正常运行的重要组成部分,因此,如何结合本地化特点准确预测影响航空飞行的强对流天气具有紧迫性和实用性。通过对三亚机场近 11 年出现的降水特征进行分析,从统计学的角度,对机场发生降水的时段、持续时间、气候环流背景场进行分析、分类,从而寻找可用于实际工作的有效指标,为解决机场单站降水预报提供参考依据。

过去大多数降水特征研究主要针对某个较大区域的降水分布变化特征进行分析。例如,陈冬冬等[1]对中国西北地区夏季降水场变化特征进行了分析,表明西部尤其是南疆的降水增多与西伯利亚上空位势高度增加以及伊朗高原上空位势高度减少有密切关系。邓欢等人[2]对中国华西地区近 60 年秋季降水特征进行了分析并发现 9 月、10 月和 11 月存在明显“偏多-偏少-偏多”的年代间变化特征。在单站对流天气预报研究技术中,郑复基通过归纳出现暴雨前的天云模型,然后用单站指标进行过滤消空,建立不同云天模型[3],进行单站暴雨预报。崔永刚等人则通过对 2011 年 8 月 31~9 月 1 日伊春单站上空形势场以及物理量场的分析研究暴雨产生机制[4]。针对机场单站的降水预测上,刘康[5]通过统计近十年遂宁机场降水量和降水日数气候特点和变化特征,从而了解当地机场的降水变化规律,从而有效避开降水天气,提高可飞行日数和保证飞行安全。在成都机场庞玉莹[6]为深入了解影响成都机场的天气因素,提高民航气象服务保障能力,对近五年的强降水天气过程,运用统计学方法,得出双流机场近五年降水总体情况和强降水统计特征,统计分类的方法同样适用于其他强对流天气的分析,如罗璇运用贵阳机场近 10 年机场气象观测数据对机场的雷暴气候特征展开分析[7]。张亚男,罗浩利用贵阳机场自动观测数据,对 2014~2020 年贵阳机场出现的低空风切变进行分型、统计分析[8]。

从所使用的技术来看,基本方法可以分成两类:一类是从天气学原理角度分析形式场或物理量场分布配置,一类是直接运用本地化预报经验。因此,综合以上的方法,对三亚机场四季环流特点以及多年降水气象要素特征进行统计分类、分析,虽然单站气象要素变化反映的是局地情况,但因其既受大尺度天气形势的制约和影响,又有它本身的特殊性,所以也能一定程度反映出当地对流演变规律,在强对流预报以及数值订正方面具有一定参考意义。因此,从中寻找出的预报指标,一方面有助于落实民航局下发的有关气象服务“实用性”“准确性”的要求,另一方面也可以让新晋业务人员快速掌握三亚机场有关降水的本地化特点,因此具有重要的实际业务运用价值。

2. 方法

运用统计学方法将 2012~2022 年三亚机场降水按四季特点进行分类。划分标准如下:

① 首先将季节进行划分:春季(3~5 月),夏季(6~8 月),秋季(9~11 月),冬季(12~次年 2 月),绘制不同季节平均环流形式场进行分类讨论。

② 针对中期预报,将月份进行上旬(1~10 日)、中旬(11~20 日)、下旬(21~30 或 31 日)对降水出现次数进行分类,统计各旬降水发生频次占比。

③ 针对短期/短时预报,将时段分类为早上(06~08 时),上午(08(含)~12),下午(12(含)~18 时),傍晚(18(含)~20 时),前半夜(20(含)~24 时),后半夜(24(含)~次日 06 时),找到强降水高发时间点/段。

④ 将强降水时段分成 $t \leq 30 \text{ min}$, $30 \text{ min} < t \leq 1 \text{ h}$, $1 \text{ h} < t \leq 1.5 \text{ h}$, $1.5 \text{ h} < t \leq 2 \text{ h}$, $2 \text{ h} < t < 3 \text{ h}$, $t \geq 3 \text{ h}$ 进行统计。

⑤ 其他分类标准:根据《民用航空气象预报规范》[9]中或大的降水均视为强降水的标准,将机场观测记录中的中等或以上强度的降水作为此次统计对象。

3. 三亚机场地理特征及年际降水特点

3.1. 机场地理及气候特征

三亚凤凰国际机场位于海南省三亚市天涯区。机场地势自北向南逐渐倾斜,三面环山,南面临海。在机场东及东偏北方向 5~16 公里之内有金鸡岭、鹿回头等高度在 300~400 米的丘陵小山。而北侧分布着海拔 1000 米以上的山峰,包括尖峰岭、同安岭、五指山等山峰。此外,还存在海拔高 1126 米的七仙岭[10]。这些地理特征使得机场北侧的山脉阻隔了南北气流的交换,成为海南岛南北气候的分界线。

机场属于典型的热带海洋性季风气候,受季风和海洋的共同影响,终年气温较高,阳光充沛。全年四季变化不分明,主要表现为长夏无冬,春秋紧接,其中夏秋、冬春两季干湿特征比较明显,夏秋季主要盛行西南季风,高温多雨、对流天气频发,对飞行活动影响较大。冬春季主要盛行东北季风,干旱少雨,冷空气影响频繁,以晴好天气为主,偶有连续阴雨、低云和轻度雾霾天气,但雨量不大,是飞行活动的黄金季节,5~11月容易受到热带气旋的影响,热带气旋带来的强对流天气会对航空器的飞行安全造成巨大危害。

3.2. 三亚凤凰国际机场年际降水变化特点

由于强盛西南季风通常会为强降水输送大量的水汽和不稳定能量,为了分析三亚机场年际降水特点,选取(105°E~118°E, 4°N~21°N)作为西南季风变化情况研究区域[11],参照文献提供的方法,将低空风投影到西南-东北风向上[12],计算 850 hPa 层次上 2012~2022 年 1~12 月所选地区逐日西南风分量平均值(见图 1)。图中正值表示西南风分量,而负值表示东北风分量,可以明显看出,1 月至 5 月上旬前平均东北风分量逐渐减小,5 月上中旬开始出现较小的西南风分量,5 月中上旬至 10 月上旬基本为稳定西南风影响,大值区集中在 6 月至 9 月,峰值点出现在 8 月上中旬,对应海南岛的雨季,10 月上中旬开始有弱的东北风分量影响,随后西南风逐渐消失,区域内受稳定东北气流影响,三亚机场迎来晴好天气。

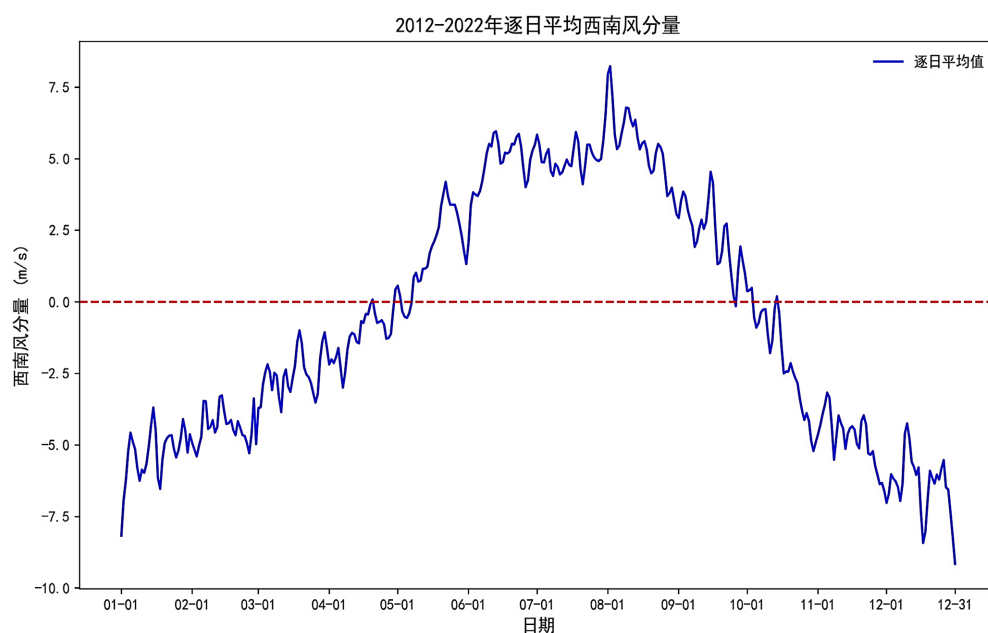


Figure 1. Average change of southwest wind in 850 hPa from 2012 to 2022

图 1. 2012~2022 年 850 hPa 逐日西南风平均变化

三亚凤凰国际机场年均降水为 1305.7 mm, 年际变化特点(见图 2(a)): 4 月份开始逐月增多, 7 月降水量达到峰值, 降水主要集中在 6~10 月, 平均降水量总和占全年的 85%, 7~10 月均降水量均在 179.5 mm 以上。从 11 月至次年的 3 月, 降水量骤降, 2 月降至最低。三亚机场年际降水变化与季风转换时期基本对应。

降水日分布的年际变化特征(见图 2(b)), 5 月开始增加, 9 月达到最大值, 12 月~3 月相差不大, 6~10 月各月降水日数均占当月总日数一半以上; 12 月~次年 4 月各月降水日数占当月总日数最少, 根据旬统计结果(见图 3), 春季 3 月和 4 月的强降水发生频次差异不大, 而 5 月上旬有所增加, 随后中旬出现下

降,但下旬频次再次增大。进入6月后,各旬的降水频次差别较小,直至7月出现明显增加。7月之后,8月强降水频次在上旬和中旬有所下降,但下旬再次增加,并达到全年最高值。进入秋季后,强降水频次逐渐下降,9月下旬开始明显减少,直至2月各旬强降水发生频次为0% (因数值计算舍入产生误差)。

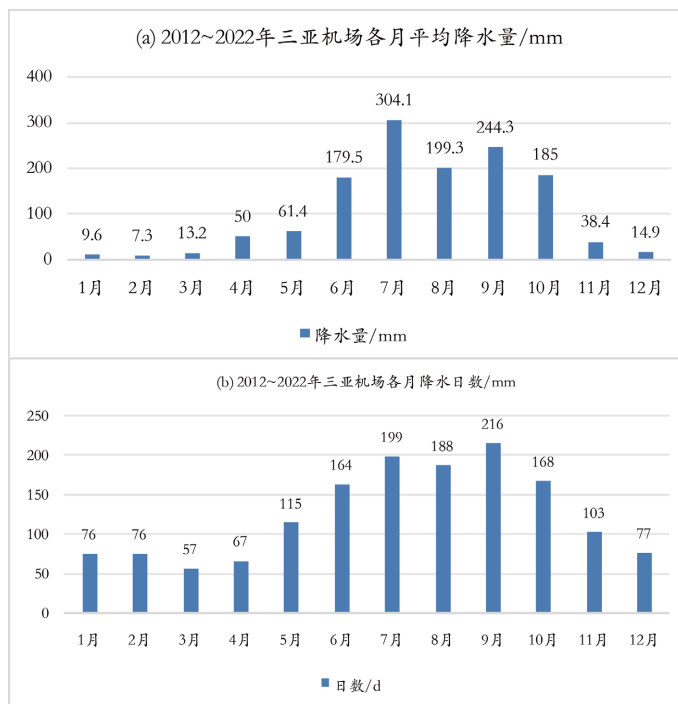


Figure 2. Interannual change of average precipitation (a) and number of precipitation days (b) from 2012 to 2022 at Sanya airport

图 2. 2012~2022 年三亚机场平均降水量(a)、降水日数(b)年际变化

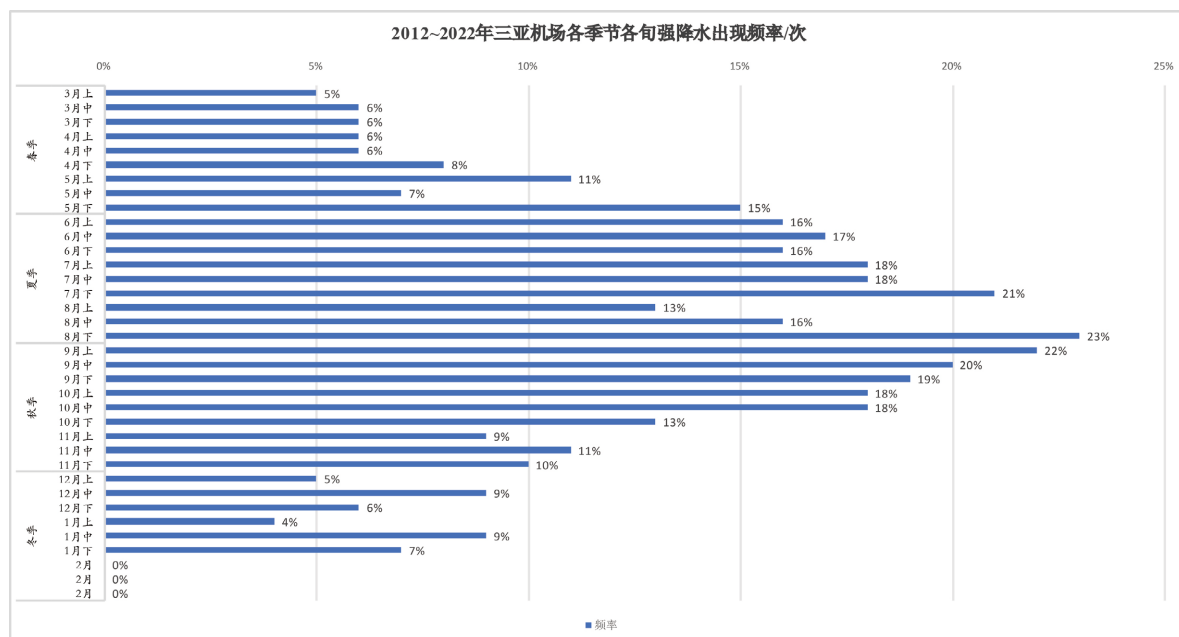


Figure 3. Changes in the frequency of intense precipitation at Sanya airport across seasons and decadal periods from 2012 to 2022

图 3. 2012~2022 年三亚机场各季节各旬强降水出现频率变化

综上,根据 2012~2022 年西南风逐日平均、三亚机场降水年际分布特征统计可知(图 2),西南风影响大致从 5 月上中旬至 10 月上中旬,对应机场雨季,5 月作为冬季风向夏季风的过渡阶段,降水量以及降水日数开始逐渐增加,10 月上中旬后,海南岛转受强大冷高压控制,干冷东北气流影响,降水量、降水日数显著减少。由于三亚机场降水特征存在明显的季节性差异,因此需要针对各个季节降水气候特点进一步分析找到其中的规律。

4. 2012~2022 年三亚机场降水气候特点

4.1. 春季平均环流形势场及机场降水特点

春季影响三亚凤凰机场的主要天气系统有:大陆冷高压脊、变暖高压脊、地面弱锋面、副热带高压、低压槽、热带辐合带[13]等。春季是海南岛冬季风向夏季风过渡季节,春季平均环流中(见图 4(a)),我国大陆未见明显反气旋高压环流,5 月上中旬(见图 4(b))开始出现西南风影响,5 月上中旬后稳定控制中南半岛、北部湾和海南岛,东北季风被替代,同时地面冷高压东移入海、变性,本场常处在其西南边缘偏东气流的影响下,春季三亚机场出现降水基本以小雨为主。

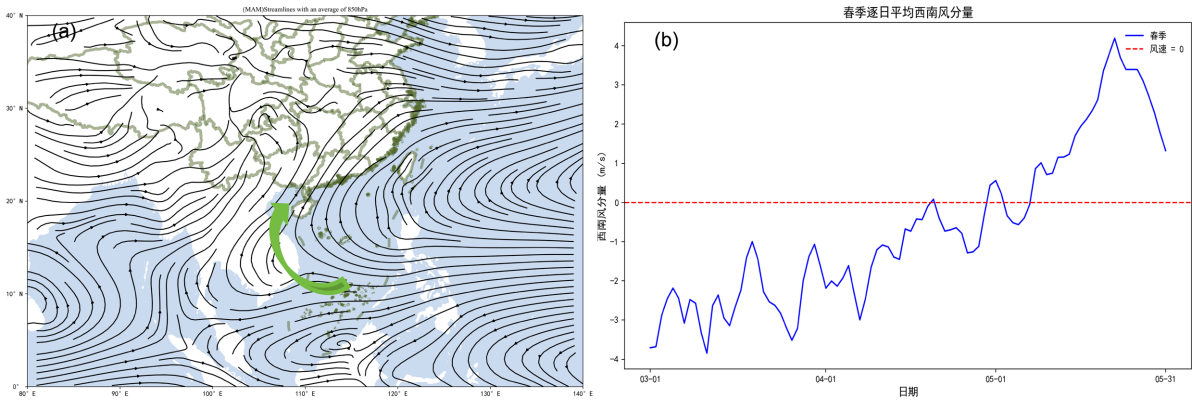


Figure 4. Daily average change of (a) average circulation situation field and (b) 850 hPa southwest wind in spring from 2012 to 2022

图 4. 2012~2022 年春季(a) 平均环流形势场、(b) 850 hPa 西南风逐日平均变化



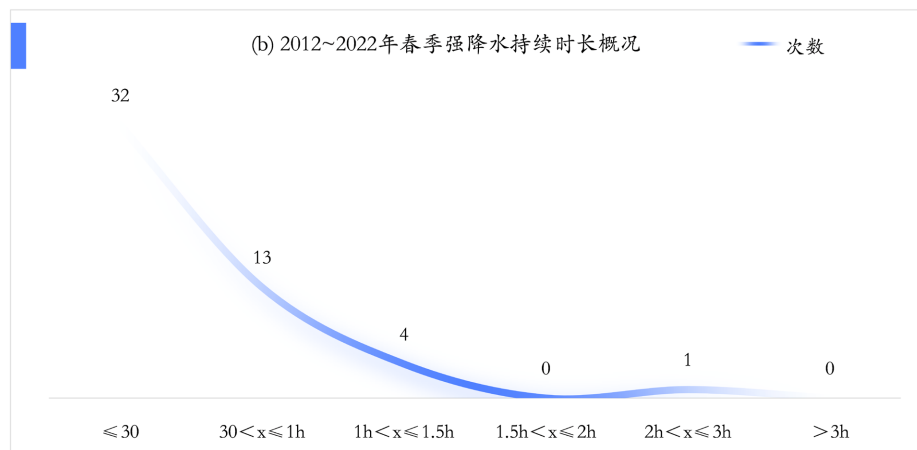


Figure 5. Characteristics of heavy precipitation period (a) and duration (b) in spring from 2012 to 2022

图 5. 2012~2022 年春季强降水时段(a)及持续时长(b)特征

2012~2022 年春季机场年均降水量为 124.7 mm, 降水日数(见图 2)占当季总日数的 24%, 降水呈现逐月增加的趋势。各月降水均值分别为 13.2 mm、50 mm、61.4 mm, 这与海南岛受逐渐增大的西南气流有关。

根据春季强降水发生时段(见图 5(a))以及持续时长(见图 5(b))统计, 强降水日数为 43 d, 占春季总日数的 4%, 除 13 时、18 时外, 机场其余时次均有分布, 极大值出现在后半夜的 04 时, 强降水发生特征为: 后半夜 > 上午 > 下午 > 前半夜 > 早上 > 傍晚, 持续时长 ≤ 30 min 的次数占总数 64%。

综上, 三亚机场春季主要还是以晴好天气居多, 降水在 3、4 月各旬强降水发生频率变化不大, 5 月呈先增后减再升的趋势。随着 5 月西南暖湿气流逐渐加强, 南下冷空气势力减弱, 低压槽等热带系统开始频繁影响, 机场午后因热力作用开始出现局地热对流, 其次西南季风常在夜间与海南岛陆风环流构成海陆风辐合, 造成降水。春季降水持续时间多在 30 min 以内。

4.2. 夏季平均环流形势场及机场降水特点

夏季影响三亚凤凰机场主要天气系统有: 副热带高压、热带气旋、南海辐合带、东风波、低压槽[13]等。夏季环流形式中(见图 6(a)), 西南季风稳定影响, 来自阿拉伯海的西南气流和越赤道西风在南海汇合而成, 控制了印度半岛、中南半岛、南海、菲律宾这一广大区域, 且深入我国东部大陆, 强盛的西南急流给本岛输送大量暖湿水汽与不稳定能量, 本场受偏南暖湿气流, 易产生强对流天气。

西南气流带来潮湿气流的同时, 副高的西进或东退, 本场处于其边缘不稳定区域, 动力作用叠加午后的热力作用, 常出现对流天气; 南海辐合带活跃, 夏季对流性降水持续时间较长, 若本场处在辐合带风场强辐合区, 甚至出现暴雨到大暴雨等恶劣天气。影响本场的低压槽一般有西南低压槽、南海低压槽和越南低压槽, (1) 有高空西风槽前暖湿气流和西南低压槽共同影响, 本场就会有雷雨出现; (2) 南海低压槽和越南低压槽向东延伸时, 本场会有阵性降水、中至大雨或雷雨等天气出现; (3) 热带气旋也是影响本场出现强降水天气的另一原因, 在海南登陆、从本场南面近海经过的热带气旋, 一般会对本机场有影响, 当热带气旋正面登陆本地时, 常带来狂风暴雨。

2012~2022 年夏季机场年均降水量为 685.1 mm, 较春季显著上升, 降水日数(见图 2)占当季总日数的 47%, 降水呈现“单峰”形势, 7 月为降水频发期。各月降水均值分别为 179.5 mm、304.1 mm、199.3 mm。值得注意的是, 7 月西南风强度小于 8 月(见图 6(b)), 但是降水日数上 8 月少于 7 月, 这一原因有待之后

研究，此处不对此展开分析。

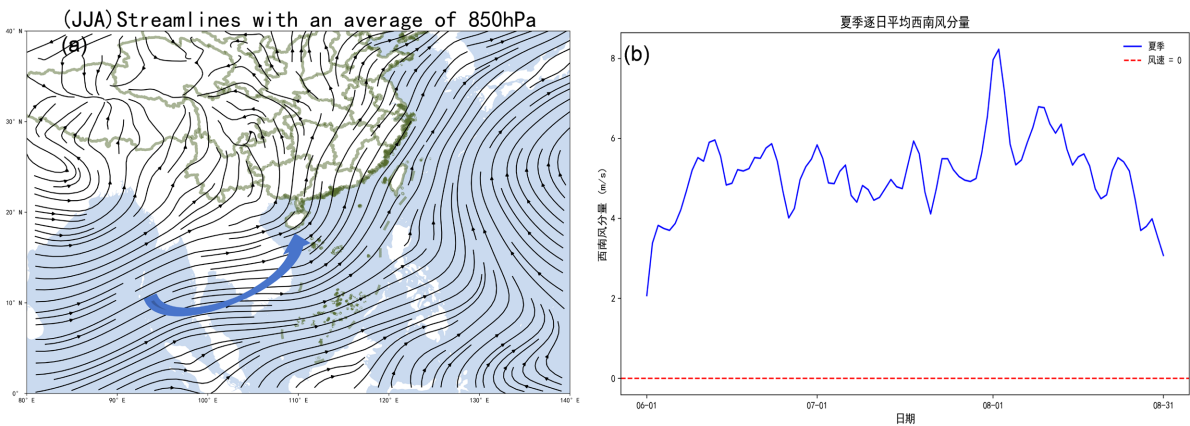


Figure 6. Daily average change of (a) average circulation situation field and (b) 850 hPa southwest wind in summer from 2012 to 2022

图 6. 2012~2022 年夏季(a) 平均环流形势场、(b) 850 hPa 西南风逐日平均变化

根据夏季强降水时段(见图 7(a))以及持续时长(见图 7(b))统计，强降水日数为 234 d，占夏季总日数的 24%，各时次均有出现，极大值出现在后半夜的 07 时，强降水发生特征为：后半夜 > 上午 > 下午 > 早上 > 前半夜 > 傍晚，持续时长 ≤ 30 min 的次数占总次数 74%，持续时长在 30 min~60 min (含)占 16%，60 min~90 min (含) 5%。持续长时间的强降水次数较春季显著增加。

综上，夏季作为三亚机场主要雨季之一，对流日较春季有显著增加，6 月降水旬特征继 5 月后增加不明显，但在 7 月开始有较大幅度上升、在 8 月的上、中旬会有所下降，下旬再次有较大幅度上升。夏季对流特征同样呈现夜间出现次数多于白天，但是随着西南季风加强，水、热条件相较春季更加充足，所构成夜间海陆风辐合情况更加频繁。夏季强降水持续时间在 30 min 以内的情况依旧占主要部分，持续时间在 30 min~60 min (含)的强降水次数也有显著增加，也开始出现持续时间 90 min 以上的强降水过程。



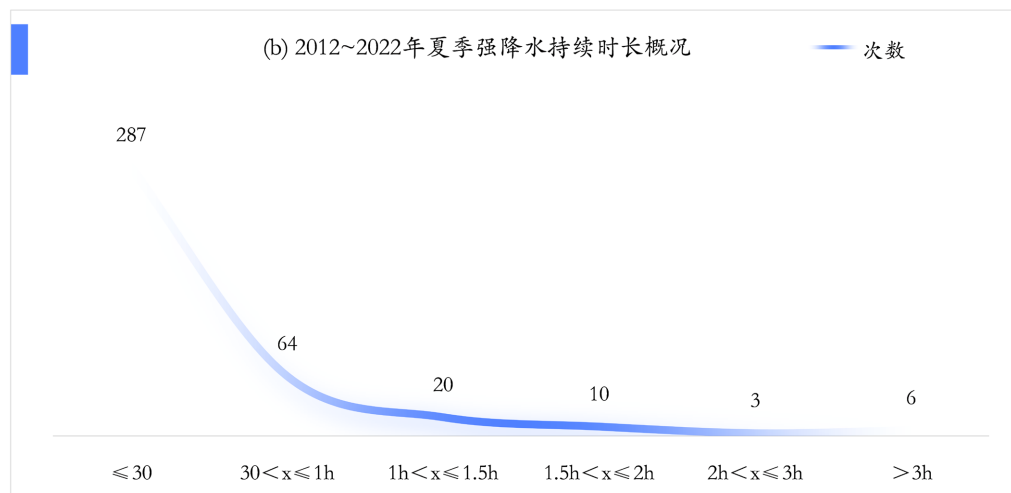


Figure 7. Characteristics of heavy precipitation period (a) and duration (b) in summer from 2012 to 2022
图 7. 2012~2022 年夏季强降水时段(a)及持续时长(b)特征

4.3. 秋季平均环流形势场及机场降水特点

秋季影响三亚凤凰机场主要天气系统有：副热带高压、热带气旋、热带辐合带、低压槽、大陆冷高压脊、变性高压脊[13]等。根据环流形式(见图 8(a))，9 月、10 月由于副高中心位置北抬，热带辐合带随之北抬，本场处于副高南侧或西南侧的偏东气流中，东风波、秋季台风等热带天气系统活跃，本场依旧容易出现对流性天气。10 月上中旬后影响本场西南气流强度逐渐减弱(见图 8(b))，冷空气势力开始加强南下，盛行风向由西南风过渡为东北风，本场对流影响开始减弱。

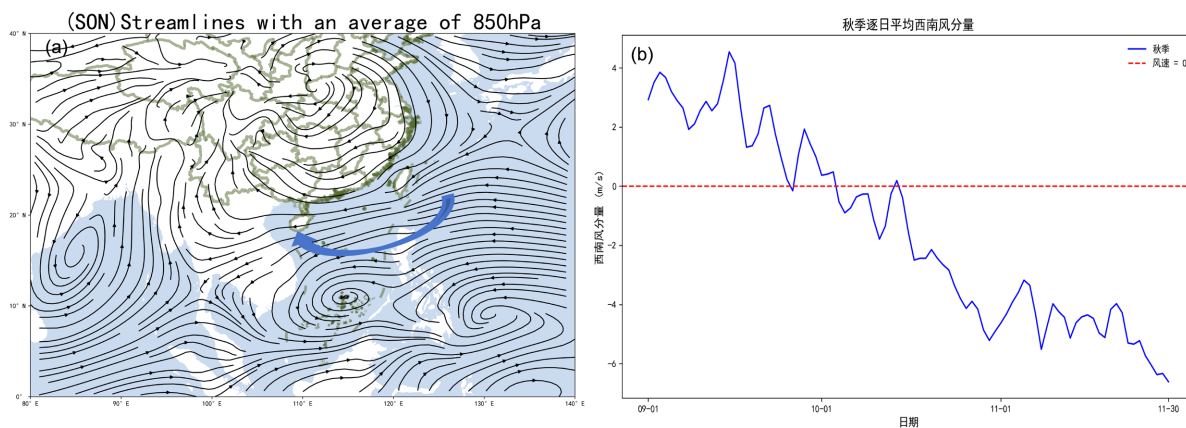


Figure 8. Daily average change of (a) average circulation situation field and (b) 850 hPa southwest wind in autumn from 2012 to 2022

图 8. 2012~2022 年秋季(a) 平均环流形势场、(b) 850 hPa 西南风逐日平均变化

2012~2022 年秋季机场年均降水量为 467.7 mm，降水日数(见图 2)占当季总日数的 49%，降水呈现逐月递减的趋势，9 月为降水频发期。9~11 月降水均值分别为 244.3 mm、185 mm、38.4 mm。

根据秋季强降水时段(见图 9(a))以及持续时长统计(见图 9(b))，强降水日数为 144 d，占秋季总日数的 14%，较夏季有所下降，同样各时次均有出现，极大值出现在后半夜的 06 时，强降水发生特征为：下午 > 后半夜 > 上午 > 早上 > 前半夜 > 傍晚，持续时长 ≤ 30 min 的次数占总次数 75%，持续时长在 30

min~60 min (含)占 17%，60 min~90 min (含) 4%。

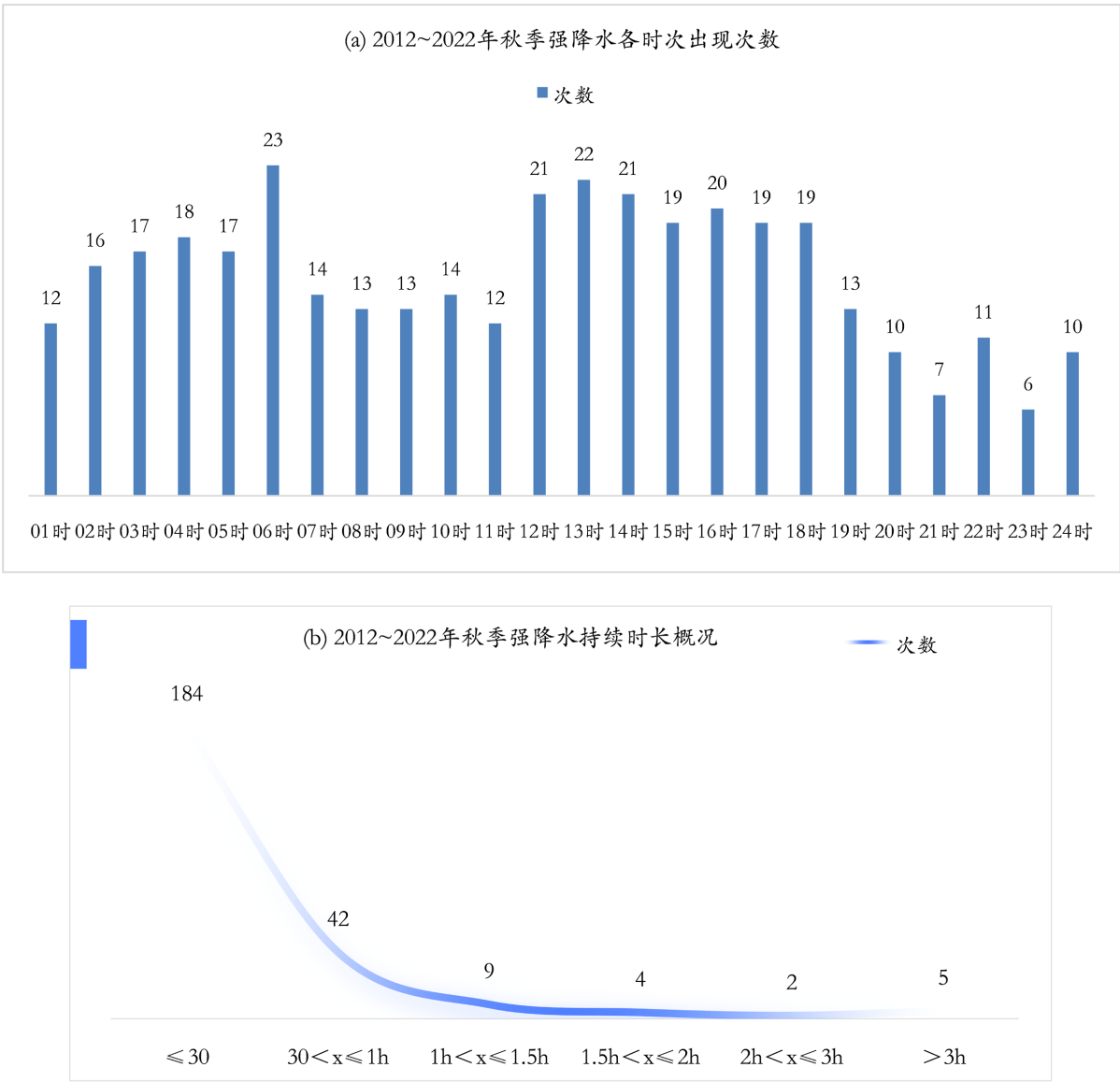


Figure 9. Characteristics of heavy precipitation period (a) and duration (b) in autumn from 2012 to 2022
图 9. 2012~2022 年秋季强降水时段(a)及持续时长(b)特征

综上，秋季作为三亚机场主要雨季之一，秋季降水日数占比较夏季略有增加，但出现的强降水次数有所减少，旬特征表现为 9 月下旬后期开始逐旬下降。秋季与夏季在强降水出现时次存在差异，下午强对流出现频次大于后半夜。有研究[14]通过追踪登陆海南岛的台风后向水汽来源通道，发现夏秋两季西南和偏东气流对热带气旋水汽贡献有所差异，这是否是导致夏、秋两季降水差异的原因有待后续研究。秋季强降水的持续时间与夏季基本一致。

4.4. 冬季平均环流形势场及机场降水特点

冬季影响三亚凤凰机场的主要天气系统有：大陆冷高压脊、变性高压脊、地面冷锋面、南海高压、

西南弱槽[13]等。流场(见图 10(a)), 我国大陆东部一直到南海北部存在明显反气旋环流, 即大陆冷高压, 冷高脊一直向西延伸至中南半岛, 整个南海以及菲律宾受东北季风(见图 10(b))的影响, 机场盛行干冷的偏北气流, 气候干旱少雨。地面风以东北或东风为主, 冬季, 一般以少云或晴天日数居多, 几乎没有恶劣天气出现, 当有南下冷空气或冷锋面影响到时, 本场会出现小雨, 有时也会出现中雨, 有时也会出现几天的阴雨天气, 甚至持续时间达十几天以上, 没有大到暴雨天气出现。

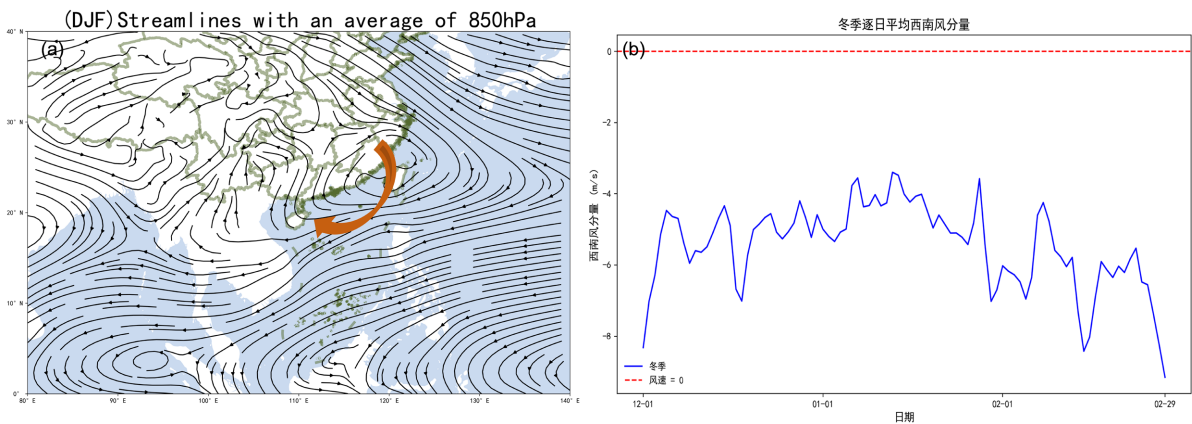
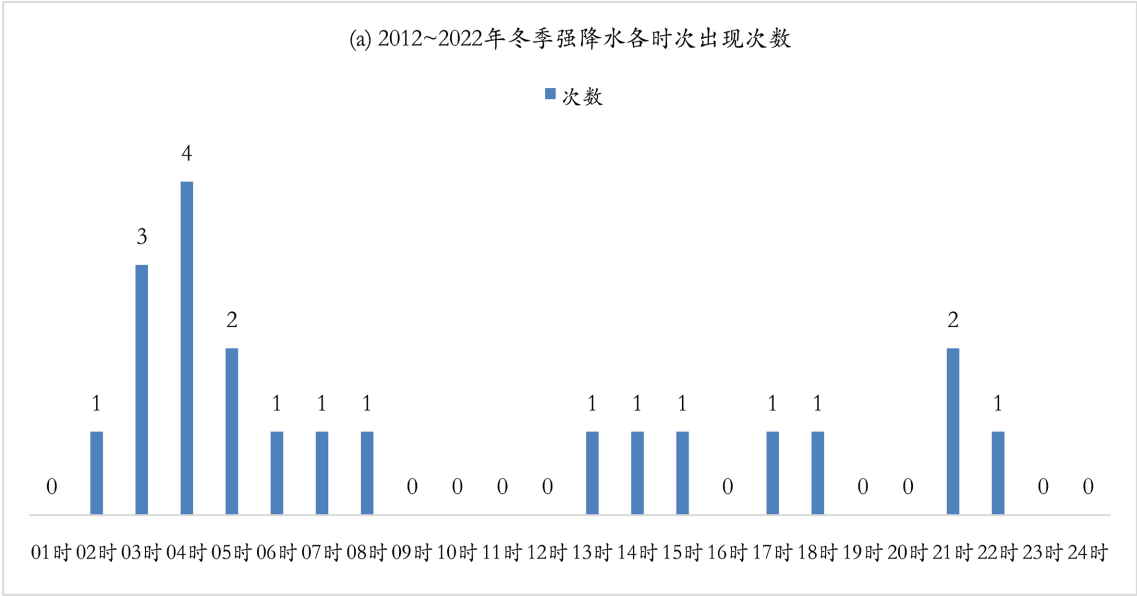


Figure 10. Daily average change of (a) average circulation situation field and (b) 850 hPa southwest wind in winter from 2012 to 2022

图 10. 2012~2022 年冬季(a) 平均环流形势场、(b) 850 hPa 西南风逐日平均变化

2012~2022 年冬季机场年均降水量为 31.8 mm, 降水日数占当季总日数的 23%, 强降水日数占冬季总日数 2%, 降水总量相较其他季节显著降低, 各月降水为全年最低。12 月~次年 2 月降水均值分别为 14.9 mm、9.6 mm、7.3 mm, 根据冬季强降水时段分布(见图 11(a)), 强降水极值出现在后半夜的 04 时, 次极值出现 03 时, 强降水发生特征为: 后半夜 > 下午 > 前半夜 > 早上 > 上午 = 傍晚, 持续时长 ≤ 30 min 的次数(见图 11(b))占总次数 80%。



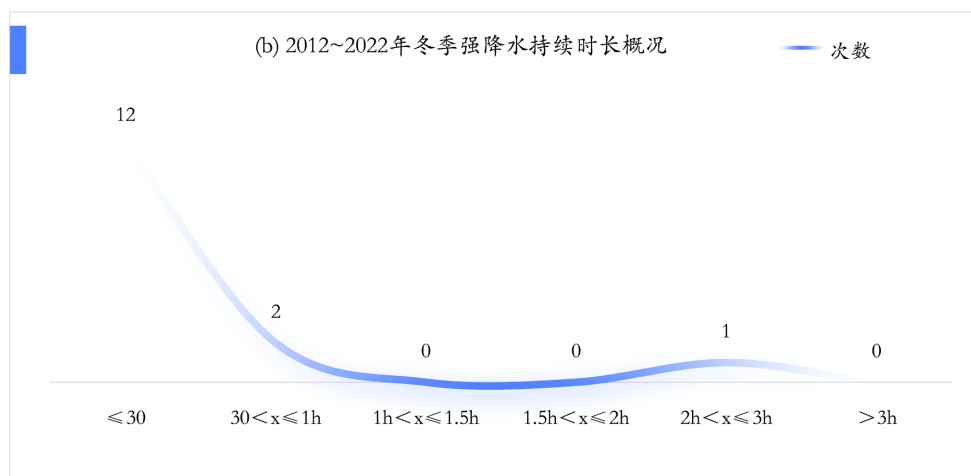


Figure 11. Characteristics of heavy precipitation period (a) and duration (b) in winter from 2012 to 2022

图 11. 2012~2022 年冬季强降水时段(a)及持续时长(b)特征

综上, 三亚机场冬季基本以晴好天气为主, 对流日仅占总日数 2%, 是航空飞行的最佳季节, 此时冷空气影响达到最强, 影响飞行的主要天气是较强冷空气南下及锋面影响时, 出现的阴雨、低云天气, 但出现的概率较少, 强降水持续时间大多在 30 min 以内, 时间分布上呈夜间次数多于白天且集中于后半夜。

5. 结论

(1) 三亚机场降水年际变化特点与西南风增强和减弱时段基本一致, 5 月上中旬对应机场开始出现频繁降水, 直至 10 月的上中旬后降水日数开始显著降低。

(2) 春季、冬季三亚机场基本以晴好天气为主, 主要的降水时间集中在夏季、秋季。

(3) 降水旬变化特征为: 3、4 月各旬降水发生次数较少, 5 月下旬有较为明显的增加, 6 月继五月下旬后变化不大, 直至 7 月降水频次开始逐旬增加, 8 月上、中旬频次在继 7 月后发生频次有所下降, 但在下旬有较大幅度回升, 9、10 月中旬前特征与 8 月相比变化幅度不大, 10 月中旬后开始逐月逐旬下降。

(4) 春季、夏季、冬季强降水多发生于后半夜, 而秋季则多发生在下午, 其中强降水日数集中在夏季, 而降水日数则多集中在秋季。

(5) 三亚机场强降水大多维持在 30 min 以内, 只有在夏、秋季节出现较多 60 min, 甚至 120 min 以上强降水过程。

注 释

本文绘制图片所用资料来自 ECWMF 再分析数据(分辨率 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$)以及三亚凤凰机场自动观测数据, 用于制作的地图底图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2016)1665 号的标准地图制作, 底图无修改。

参考文献

- [1] 陈冬冬, 戴永久. 近五十年中国西北地区夏季降水场变化特征及影响因素分析[J]. 大气科学, 2009, 33(6): 1247-1258.
- [2] 邓欢, 华维, 冯亮亮, 等. 近六十年中国华西地区秋季降水时空特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(5): 584-591.
- [3] 郑复基. 单站暴雨预报的一种有效方法[J]. 气象, 2000(5): 57.

-
- [4] 崔永刚, 张福娟, 曲宏亮. 伊春 2011 年 8 月 31 日-9 月 1 日单站暴雨过程分析[J]. 黑龙江科技信息, 2012(1): 10.
 - [5] 刘康. 近十年遂宁机场降水量和降水日数气候特点和变化特征[J]. 科技传播, 2011(14): 32-33.
 - [6] 庞玉莹. 成都双流机场降水天气统计分析[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(15): 62-65+68.
 - [7] 罗璇. 贵阳机场近 10 年雷暴气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(3): 122-126.
 - [8] 张亚男, 罗浩. 贵阳机场低空风切变气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1): 7-16.
 - [9] 中国民用航空局空管行业管理办公室. AP-117-TM-2019-01, 民用航空气象预报规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2019.
 - [10] 三亚空管站气象台. 三亚凤凰国际机场航空气候志[M]. 三亚: 民航三亚空管站气象台, 2019.
 - [11] 陈超, 卢山, 任志杰, 等. 强西南季风背景下 1311 号台风“尤特”的暴雨特征分析[J]. 广东气象, 2015, 37(2): 13-17.
 - [12] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1980: 225.
 - [13] 《海南省天气预报技术手册》编委会. 海南省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2013.
 - [14] 罗婷, 周宇, 何忠桂, 等. 登陆海南岛的台风水汽输送气候特征分析[J]. 气象科技进展, 2021, 11(2): 152-157.