

# 贵阳龙洞堡机场雾的气候特征与低能见度变化原因浅析

邓小光

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年2月10日; 录用日期: 2023年3月7日; 发布日期: 2023年3月14日

## 摘要

根据贵阳龙洞堡机场气象观测资料,运用统计学相关方法对2017~2022年龙洞堡机场的雾天气进行统计分析。结果表明:统计时段内龙洞堡机场年雾频次总体呈下降趋势,1月和11月是雾的重点高发期,2月、6月、12月则是雾的低发期。平均起雾时段为01~07点,平均雾散时段为07~09点并表现出起雾时间春季早、秋季晚,维持时间冬春季长、夏秋季短,雾散时间春夏季早、秋冬季晚的特征。相关分析指出低能见度天气下能见度和跑道视程对于表征低能见度天气强度变化具有较为一致的结果。多元线性回归分析指出冬春季地面风速和地面露点温度的变化会对其产生正效应,而地面气温的变化会对其产生负效应,夏秋季则与之相反,并且不同季节三个因素影响占比也会有所不同。

## 关键词

统计分析,相关性分析,多元线性回归分析

# Analysis of Climatic Characteristics and Causes of Low Visibility Change of Fog at Longdongbao Airport in Guiyang

Xiaoguang Deng

Guizhou Branch of Southwest Air Traffic Administration of Civil Aviation of China, Guiyang Guizhou

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 7<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 14<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

According to the meteorological observation data of Longdongbao Airport in Guiyang, the foggy

weather of Longdongbao Airport in 2017~2022 was analyzed by statistical correlation method. The results showed that the annual fog frequency of Longdongbao Airport showed a decreasing trend in the statistical period. January and November were the key peak periods of fog, while February, June and December were the low peak periods of fog. The average fogging period is 01~07, and the average fogging period is 07~09. The fogging time is early in spring and late in autumn, and the maintenance time is long in winter and spring, short in summer and autumn, and the fogging time is early in spring and summer, and late in autumn and winter. Correlation analysis shows that visibility and runway visual range are consistent with the variation of weather intensity in low visibility weather. Multiple linear regression analysis indicated that the changes of surface wind speed and surface dew point temperature in winter and spring would have a positive effect on it, while the changes of surface air temperature would have a negative effect on it. It was the opposite in summer and autumn, and the proportion of the three factors would be different in different seasons.

## Keywords

Statistical Analysis, Correlation Analysis, Multiple Linear Regression Analysis

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

雾是在水汽充足、微风及大气层稳定的情况下,当接近地面的空气冷却至某程度而达到饱和时,水汽在气溶胶粒子上凝结(或凝华)为水滴(或冰晶)悬浮于空中,常呈乳白色,使地面水平的能见度小于 1 km 的天气现象[1]。雾会导致能见度急速下降,从而对飞机起飞和降落阶段产生重要影响。

国内外学者已经做了不少关于雾的研究,多位学者针对雾的局地变化特征,利用地面观测数据研究了不同地区雾的空间分布和时间变化特征[2] [3]。王博妮等通过研究江苏地区雨雾天气成因发现辐射冷却、平流因素和蒸发作用均是雾生成的重要机制[4]。高淞等[5]研究了近年来沈阳桃仙机场雾的气候特征并结合风速、水汽以及温度等因素对雾的影响情况展开了分析。刘开宇等[6]普查了 1997~2005 年贵阳机场逐时的风、温、压、湿、能见度和降水资料,指出贵阳机场雾多发生在静风和弱的偏北风以及湿饱和和空气条件下。罗璇等[7]统计分析了贵阳机场锋面雾气候特征并结合天气系统对锋面雾的发生进行了研究。朱虹等[8]研究发现水汽含量和动力条件明显较好时,雾的浓度更高,持续时间更长,机场低温、高湿的环境条件有利于雾维持,近地面风速有利于雾层混合,使机场区域雾得到爆发性发展。

贵阳龙洞堡机场位于中国贵州省贵阳市东郊,坐标为(106.7988°E、26.5438°N),海拔高度 1139 米,地处云贵高原东麓,其复杂的地形条件导致预报雾的生消变得尤为困难。本文通过研究贵阳机场近六年来雾的气候特征以及气象要素对低能见度天气下能见度变化的影响情况,为贵阳龙洞堡机场雾的预报、预警工作提供一定参考和指导。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 数据

2017 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日共 6 年的贵阳龙洞堡机场气象观测小时数据,变量包括:能

能见度、地面风速、地面温度、地面露点、跑道视程。

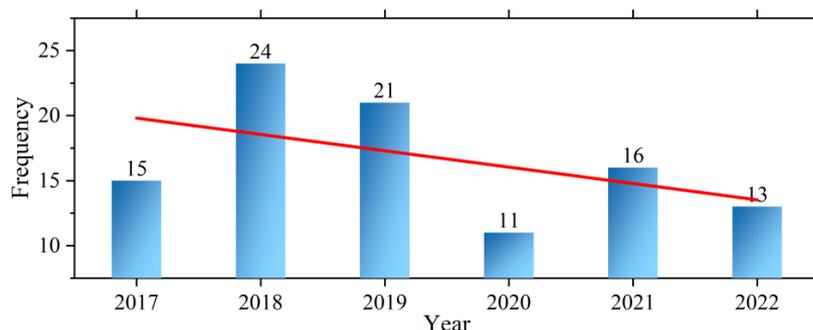
## 2.2. 方法

利用贵阳龙洞堡机场气象观测资料,运用统计学相关方法对 2017~2022 年龙洞堡机场出现的雾天气进行年、季节、月变化以及不同季节雾出现时段的统计分析。利用相关分析方法研究了在低能见度天气下,能见度(VIS)与跑道视程(RVR)之间的关系,并在此基础上利用多元线性回归分析方法研究了低能见度天气下地面风速、地面气温以及地面湿度与能见度之间的变化关系。文中将雾天气定义为能见度小于 1000 米的天气,当某一天中任一时段出现能见度小于 1000 米时,就将该天视为雾天气。

## 3. 机场雾的统计特征

### 3.1. 雾天气的年变化特征

对 2017~2022 年的年度雾天气出现天数进行统计分析,如图 1。2018 年和 2019 年雾天气出现天数较多,分别为 24 天和 21 天;2020 年出现天数是近六年来最少的,为 11 天。从近六年的变化趋势分析得出,整体呈现出雾天气天数逐年递减的规律。



**Figure 1.** Frequency distribution of foggy days from 2017 to 2022. The abscissa is the time, the ordinate is the number of foggy days, and the red line is the trend

**图 1.** 2017~2022 年度雾天气天数频次分布图。横坐标表示时间,纵坐标表示雾天气天数次数,红线表示变化趋势

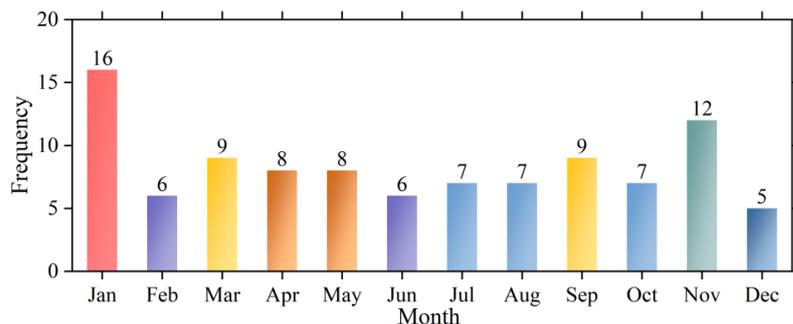
### 3.2. 雾天气的月变化特征

通过对 2017~2022 年出现的雾天气按照月份进行统计,于是得到了 1~12 月各月雾天气天数的结果,如图 2。经过分析可知,龙洞堡机场雾天气春季主要出现在 3 月(9 天),夏季主要出现在 7 月(7 天)和 8 月(7 天),秋季主要出现在 11 月(12 天),冬季主要出现在 1 月(16 天)。机场雾在 2 月(6 天)、6 月(6 天)和 12 月(5 天)出现次数最少。说明 1 月和 11 月是龙洞堡机场雾天气的高发期,而 2 月、6 月和 12 月是龙洞堡机场雾天气的低发期。

### 3.3. 雾天气的日变化特征

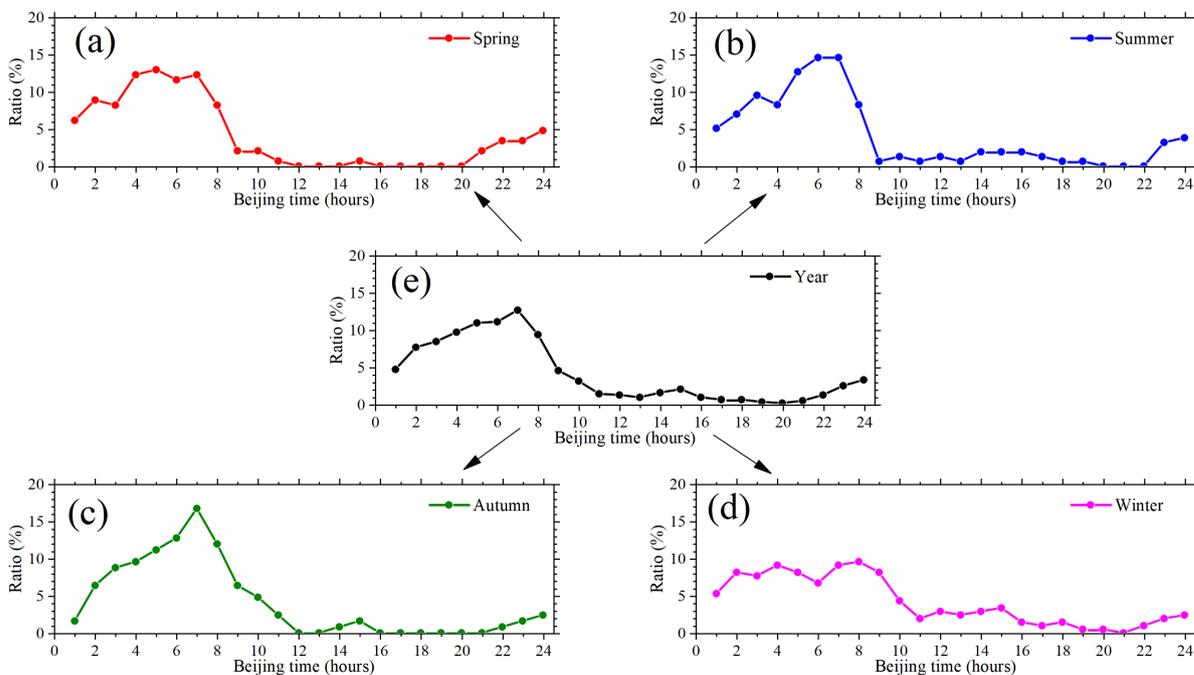
通过对 2017~2022 年出现的雾天气按照年度和季节分类并在此基础上统计一天 24 小时中各小时机场雾的分布占比,得到了不同季节一天中各小时出现雾的次数分布,如图 3。从图(e)可以看出,贵阳龙洞堡机场近六年来平均起雾时段在 1 点~7 点,平均雾散时段在 7 点~9 点,其中,7 点对应的雾天气频次占比为 12.7%,说明雾发生后大多能持续到 7 点。从图(a)~(d)中可知,春季平均起雾时段在 0 点~7 点,平均雾散时段在 7 点~9 点;夏季平均起雾时段在 1 点~7 点,平均雾散时段在 7 点~9 点;秋季平均起雾时

段在 2 点~7 点，平均雾散时段在 7 点~10 点；冬季平均起雾时段在 1 点~8 点，平均雾散时段在 8 点~10 点。不同季节一天中雾的出现时间呈现出春季早、秋季晚的特征；雾的维持时段呈现出冬春季持续时间长，夏秋季持续时间短的特征；雾的消散时间呈现出春夏季早，秋冬季晚的特征。



**Figure 2.** Frequency distribution of monthly fog days from 2017 to 2022. The horizontal axis indicates the month, and the vertical axis indicates the frequency of foggy days

**图 2.** 2017~2022 年的月雾天气天数频次分布图。横坐标表示月份，纵坐标表示雾天气天数频次



**Figure 3.** Hourly distribution of frequency proportion of foggy weather from 2017 to 2022. (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter, (e) Year

**图 3.** 2017~2022 年雾天气出现频次占比的小时分布图。(a) 春季, (b) 夏季, (c) 秋季, (d) 冬季, (e) 年度

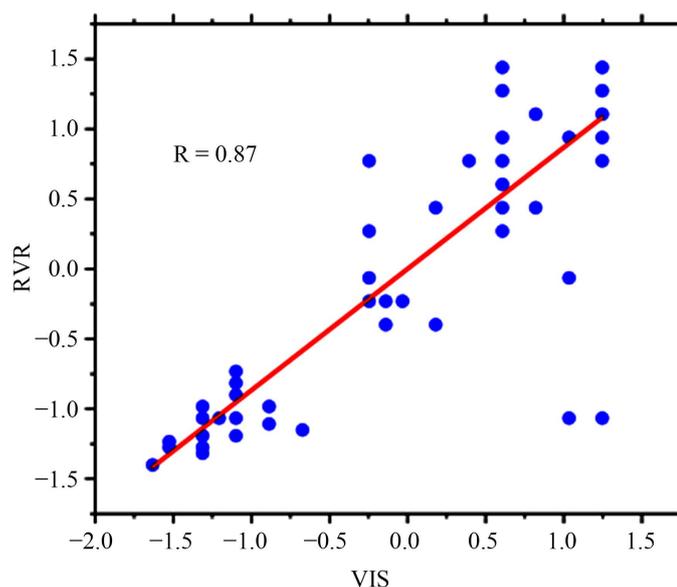
## 4. 机场低能见度天气强度变化与地面风速、地面气温、地面水汽之间的关系

### 4.1. 低能见度天气下能见度 VIS 与跑道视程 RVR 之间的关系

该部分着眼于研究机场地面风速、地面气温、地面水汽发生变化时与机场低能见度天气强度变化之间的关系。由于气象观测资料中的能见度(VIS)数据和跑道视程(RVR)数据均可以在一定程度上反映机场低

能见度天气的强度变化情况,但两者从观测原理和仪器上也存在一定差异。因此,首先研究低能见度天气下能见度(*VIS*)与跑道视程(*RVR*)之间的关系,选取2017年1月至2022年12月共6年逐小时观测数据,分两步对数据进行挑选。以*VIS*小于或等于1500米为阈值筛选数据,这样可以保证在不影响研究结果的前提下能够获得更多样本数据以保证研究更具有准确性;由于满足上述条件的*RVR*数据中存在P2000的值,这些值对研究*VIS*与*RVR*之间的关系有着一定的不确定性,因此将*RVR*中P2000的值进行剔除,同时也对*VIS*的相应值进行剔除。

经过上述方法进行筛选后得到*VIS*、*RVR*样本数均为65个,将*VIS*和*RVR*数据先进行标准化处理后再进行相关分析,见图4。可以得到*VIS*和*RVR*在低能见度天气下相关系数可达0.87,并通过了99%的显著性检验,说明在低能见度天气下*VIS*和*RVR*对于表征低能见度天气强度变化具有较为一致的效果。



**Figure 4.** Correlation analysis diagram between visibility *VIS* and runway visual range *RVR*

**图4.** 能见度 *VIS* 与跑道视程 *RVR* 的相关性分析图

## 4.2. 多元线性回归分析

实际分析中,能见度的变化常常是与地面风速大小、地面气温以及水汽条件等多个因素相联系的,由多个自变量的最优组合共同来预测或估计能见度,比只用一个自变量进行预测或估计更有效,更符合实际。因此选取能见度*VIS*小于或等于1000米时对应的地面风速(*Sp*)、地面气温(*T*)、地面露点温度(*Td*)数据,得到237个样本数据。将*VIS*与*Sp*、*T*、*Td*进行多元线性回归分析,得到结果如下:

$$VIS = 391.7605 + 88.7958 \times Sp - 15.0983 \times T + 21.0622 \times Td$$

分析上式得出,低能见度天气下对于能见度的年度变化,地面风速和地面露点温度的变化会对其产生正效应,而地面气温的变化会对其产生负效应。其中,地面风速变化对能见度的影响最大,其回归系数约为88.80;水汽条件变化的影响次之,其回归系数约为21.06。

由于不同季节影响贵阳龙洞堡机场低能见度天气的天气系统以及气温等因素存在差异,因此为了更进一步研究不同季节低能见度天气下*Sp*、*T*、*Td*对能见度变化的影响情况,将上述237个样本数据按照春季、夏季、秋季和冬季进行分类,并分别进行多元线性回归分析,结果见表1。

**Table 1.** Multiple linear regression formulas between visibility (*VIS*), surface wind speed (*Sp*), surface air temperature (*T*) and surface dew point temperature (*Td*) in different seasons**表 1.** 不同季节能见度(*VIS*)与地面风速(*Sp*)、地面气温(*T*)、地面露点温度(*Td*)之间的多元线性回归公式

季节	多元线性回归公式	样本数
春季	$VIS = 510.7276 + 107.8745 \times Sp - 225.3908 \times T + 221.4256 \times Td$	66
夏季	$VIS = 784.9436 - 40.0664 \times Sp + 513.4902 \times T - 528.2793 \times Td$	48
秋季	$VIS = 270.8375 - 15.9683 \times Sp + 488.8013 \times T - 471.6134 \times Td$	58
冬季	$VIS = 368.8766 + 89.2421 \times Sp - 60.3020 \times T + 100.5566 \times Td$	65

分析表 1 可知, 地面风速、地面气温以及地面露点温度变化对能见度的影响并不是固定的, 不同季节会呈现出一定的差异。春季, *Sp* 和 *Td* 对 *VIS* 产生正效应, *T* 对 *VIS* 产生负效应。*T* 的影响占比最大, 其回归系数约为-225.39; *Td* 的影响占比次之, 其回归系数约为 221.43。夏季, *Sp* 和 *Td* 对 *VIS* 产生负效应, *T* 对 *VIS* 产生正效应。*Td* 的影响占比最大, 其回归系数约为-528.28; *T* 的影响占比次之, 其回归系数约为 513.49。秋季, *Sp* 和 *Td* 对 *VIS* 产生负效应, *T* 对 *VIS* 产生正效应。*T* 的影响占比最大, 其回归系数约为 488.80; *Td* 的影响占比次之, 其回归系数约为-471.61。冬季, *Sp* 和 *Td* 对 *VIS* 产生正效应, *T* 对 *VIS* 产生负效应。*Td* 的影响占比最大, 其回归系数约为 100.56; *Sp* 的影响占比次之, 其回归系数约为 89.24。

## 5. 结论

该文利用 2017 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日的贵阳龙洞堡机场气象观测数据统计分析了机场雾的年变化、月变化特征和日变化特征, 并研究了低能见度天气下能见度与跑道视程之间的关系, 最后采用多元线性回归分析方法研究了地面风速、气温以及水汽条件与能见度之间的关系, 具体结论如下:

1) 机场雾出现天数呈现出逐年递减的趋势, 研究月变化特征发现 1 月和 11 月是龙洞堡机场雾天气的高发期, 而 2 月、6 月和 12 月是龙洞堡机场雾天气的低发期。不同季节一天中雾的出现时间呈现出春季早、秋季晚的特征; 雾的维持时段呈现出冬春季持续时间长, 夏秋季持续时间短的特征; 雾的消散时间呈现出春夏季早, 秋冬季晚的特征。

2) 通过相关分析方法研究发现, 低能见度天气下能见度(*VIS*)和跑道视程(*RVR*)相关系数可达 0.87, 并通过了 99% 的显著性检验, 说明在低能见度天气下 *VIS* 和 *RVR* 对于表征低能见度天气强度变化具有较为一致的效果。

3) 通过多元线性回归分析研究发现, 低能见度天气下对于能见度的年度变化, 地面风速和地面露点温度的变化会对其产生正效应, 而地面气温的变化会对其产生负效应, 地面风速变化对能见度的影响最大; 通过进一步研究不同季节低能见度天气下 *Sp*、*T*、*Td* 对能见度变化的影响, 发现冬春季地面风速和地面露点温度的变化会对其产生正效应, 而地面气温的变化会对其产生负效应, 夏秋季则与之相反。

## 参考文献

- [1] 江柯, 段炼. 影响航空飞行的大雾天气研究进展评述[J]. 科技和产业, 2022, 22(3): 279-284.
- [2] 丁一汇, 柳艳菊. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 37-48.
- [3] 杨华, 柳艳香, 章开美. 江西省雾日数的时空分布特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2015, 38(1): 66-72.
- [4] 王博妮, 张雪蓉, 孙明, 田力, 濮梅娟. 江苏地区雨雾天气特征及成因研究[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(1): 58-66.
- [5] 高淞, 方纯纯, 高振铎. 沈阳桃仙机场雾的统计特征与要素分析[J]. 黑龙江气象, 2022, 39(3): 31-34.

---

<https://doi.org/10.14021/j.cnki.hljqx.2022.03.013>

- [6] 刘开宇, 王世权, 刘贵萍, 等. 贵阳机场雾的气候统计分析[J]. 高原山地气象研究, 2007(S1): 73-79.
- [7] 罗璇, 刘辉权, 年艾冰, 李跃春, 赵夏菁. 贵阳机场锋面雾气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 837-843.
- [8] 朱虹, 沈茜, 何娟. 昭通机场两次辐射雾过程的对比分析[J]. 气象科技, 2021, 49(5): 770-776.