

# 空气质量指数在贵阳机场辐射雾预报中的应用

陈义义, 宋媛, 罗娅

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9月10日; 录用日期: 2023年10月12日; 发布日期: 2023年10月19日

## 摘要

本文利用贵阳机场气候志、自动观测站资料, 分析2010~2022年贵阳机场辐射雾天气统计学特征, 分析发现近13年来贵阳机场辐射雾年平均发生次数约11次, 但辐射雾预报准确性仅仅30%左右。然后利用中国空气质量数据分析贵阳机场发生辐射雾过程的空气质量指数AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>的具体阈值。最后利用常规观测资料结合中国空气质量数据对2022年1月19日辐射雾空报案例进行分析, 发现造成“1·19”辐射雾空报的主要原因是凝结核浓度不足。

## 关键词

辐射雾, AQI, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>

# Application of Air Quality Index in Radiation Fog Forecast at Guiyang Airport

Yiyi Chen, Yuan Song, Ya Luo

Guizhou Sub-Bureau of Southwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Sep. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

This article uses the climate records and automatic observation station data of Guiyang Airport to analyze the statistical characteristics of radiation fog weather at Guiyang Airport from 2010 to 2022. It is found that the average annual occurrence of radiation fog at Guiyang Airport in the past 13 years is about 11 times, and the accuracy of radiation fog prediction is only about 30%. Then analyze the specific thresholds of air quality index AQI, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> when radiation fog occurs at Guiyang Airport using Chinese air quality data. Finally, using conventional observation data combined with Chinese air quality data, an analysis was conducted on the case of empty radiation fog forecast on January 19, 2022. It was found that the main reason for the empty radiation fog forecast on January 19 was insufficient condensation nucleus concentration.

## Keywords

Radiation Fog, AQI, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>

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

随着民航业的快速发展,不利天气已经成为影响航班安全、正常、效率的最主要原因,其中辐射雾就是影响航班正常运行的最主要不利天气之一。辐射雾天气相对于强对流、暴雨等天气虽然致灾较弱,可一旦生成,短时间内很难消散,往往会造成机场大面积航班延误,给旅客出行带来极大不便,同时也给航空运行保障单位带来极大安全压力。相对于其他“可视化”天气,辐射雾无论是在预报预警技术和监测探测设备方面能力均不足,造成辐射雾预报准确率不高,预警提前量不够,是航空业内预报难度最大的高影响天气。王博妮等[1]对2012年至2014年发生于江苏省沿海高速公路的浓雾过程(能见度<0.5)进行统计分析,探讨了低能见度浓雾的气候特征、气象要素变化以及主要环流形势背景;王丽娟等[2]分析了2014年1月29~30日发生在湖北省内的大雾天气过程的气象要素变化特征及大雾形成机理,结果表明,大雾过程能见度基本与相对湿度变化趋势相反,气温与能见度变化趋势基本一致,风速都较之前有所下降。许敏[3]分析了2002~2020年京津冀地区辐射雾气候特征,结果表明:高低气温差(辐射雾发生前一日最高气温与当日最低气温的差值)多集中在6.0℃~10.4℃,最大可达到20.3℃,最小为0℃。苟杨等[4]利用1991~2020年黔南地区,并采用正交函数分解(EOF)、Mann-Kendall突变检验、线性倾向估计等方法分析其时空分布特征。谢清霞等[5]分析2008~2012年贵州省3646站次的辐射雾天气过程,根据08时能见度大小将其划分为4级雾、3级雾、2级雾和1级雾四个等级其不同等级的气象要素特征。余佳[6]对2021年长沙黄花机场连续两日辐射雾对比分析发现:空中污染物多,PM<sub>2.5</sub>数值大的时候容易连续几日出现早间辐射雾天气;朱虹等[7]对昭通机场两次辐射雾过程的对比分析,认为日出后机场低温、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;司林青[8]分析了贵阳龙洞堡机场2019年12月6日和2022年1月18日的辐射冻雾过程,从气象要素时间演变、环流特征和水汽、热力及层结方面进行对比分析。

国内外对辐射雾生成机制更多地停留在环境背景场、水汽、风速、温度上的指标分析,对辐射雾生成的所需的凝结核分析研究较少,而往往凝结核的浓度决定了是否生成辐射雾的关键,本文重点从辐射雾形成所需的凝结核方面开展研究。

## 2. 资料和方法

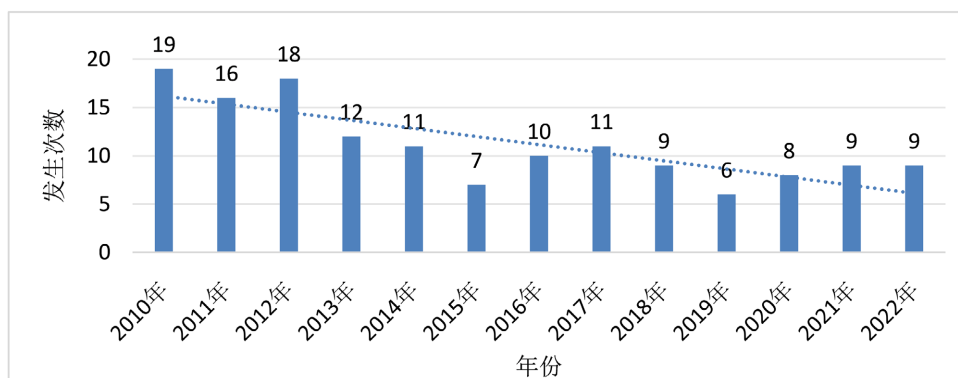
本文首先利用贵阳机场气候志、自动观测站资料,分析2010~2022年贵阳机场辐射雾天气统计学特征,并在此基础上分析贵阳机场辐射雾预报准确率情况;然后利用中国空气质量数据分析贵阳机场辐射雾发生前和发生后空气质量指数AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>的数值变化情况;最后利用常规观测资料结合中国空气质量数据对2022年1月19日辐射雾空报案例进行分析说明。

## 3. 贵阳机场辐射雾的统计学特征

### 3.1. 贵阳机场辐射雾的年际变化统计特征

如图1所示,2010~2022年贵阳机场共出现145次辐射雾,年平均出现约11次,2012年出现的

次数最多, 为 18 次, 而 2015 年出现的次数最少, 仅 7 次。从雾出现次数的趋势线(蓝色断线)可见, 2010~2022 年贵阳机场雾出现的次数呈减少的趋势, 2014 年以后雾出现的次数均低于平均值, 2014 年以后年平均发生次数几乎只有之前的一半左右, 尤其近五年来, 贵阳机场雾年平均出现的次数仅约 8 次左右。虽然近几年机场辐射雾出现次数大幅减少, 但是预报的难度仍然很大, 长期维持较低的预报准确率。



**Figure 1.** Statistical analysis of interannual changes in radiation fog at Guiyang Airport from 2010 to 2022  
**图 1.** 2010~2022 年贵阳机场辐射雾的年度变化统计

### 3.2. 贵阳机场辐射雾的预报准确率分析

据统计, 2010~2022 年期间贵阳机场辐射雾预报准确率平均值仅为 30% 左右, 例如 2022 年共发生 9 次辐射雾, 其中预报准确的有 3 次过程, 其余 6 次过程中空报 2 次、漏报 4 次, 准确率 33.3%、漏报率 45%、空报率 22% (表 1)。针对“1·19”辐射雾空报案例后续有详细分析。

**Table 1.** Statistics of radiation fog forecast results at Guiyang Airport in 2022

**表 1.** 2022 年贵阳机场辐射雾预报结果统计

1.18	1.19	1.29	3.7	4.3	6.4	9.16	9.17	11.26
准确	空报	空报	准确	准确	漏报	漏报	漏报	漏报

## 4. 贵阳机场辐射雾生成过程的空气质量分析

近地面有充足的凝结核是辐射雾形成的关键要素, 某种程度上可以认为是大气的环境污染情况。因为行业数据壁垒等种种原因, 大气凝结核实时数据这一辐射雾生成的必要要素一直无法在气象预报中得以有效应用或者说应用深度有限。本文通过分析 2010~2022 中国空气质量数据, 研究分析空气质量实时指数 AQI 及 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 等影响辐射雾生的主要大气污染物情况。需要说明的是, 贵阳市设大气环境监测站 7 个, 因贵阳机场未设站, 本文通过分析贵阳市的辐射雾时空分布特点, 结合 7 个监测站距离机场的距离, 选取 3 个站的平均数据进行分析。这三个站分别为马鞍山站(106.6856E、26.6029N)位于机场西北方向 15 公里、燕子冲站(106.7487E、26.6343N)位于机场北边 10 公里、贵阳市环保站(106.6971E、26.5689N)位于机场北边 10 公里。通过分析历年辐射雾发生期间的大气质量数据, 发现贵阳机场辐射雾生成期间 AQI 的平均值为 73、最小值为 65, 滑动平均值 40; PM<sub>2.5</sub> 的平均值为 60 μg/m<sup>3</sup>、最小值为 53 μg/m<sup>3</sup>, 滑动平均值 40 μg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> 的平均值为 102 μg/m<sup>3</sup>、最小值为 65 μg/m<sup>3</sup>, 滑动平均值 67 μg/m<sup>3</sup> (表 2)。

**Table 2.** Comparison of air quality and major pollutants during the generation of radiation fog at Guiyang Airport from 2010 to 2022**表 2.** 2010~2022 年贵阳机场辐射雾生成期间空气质量和主要污染物对比

项目	平均值	滑动平均值	最小值
AQI	73	65	40
PM <sub>2.5</sub> /( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	60	53	40
PM <sub>10</sub> /( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	102	85	67

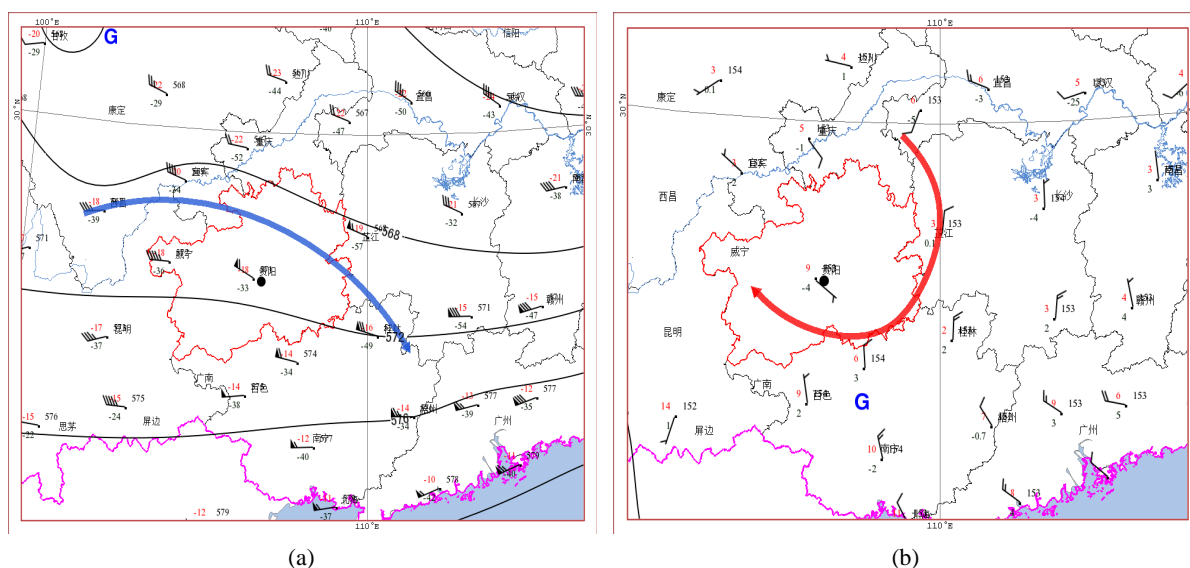
对于航空气象预报而言,除了关心辐射雾生成期间的大气污染物演变情况,更关心辐射雾生成前期的大气污染物演变情况。如表 3 所示,辐射雾形成前 6 小时和前 12 小时,AQI 平均值分别为 65 和 50、PM<sub>2.5</sub> 的平均值分别为 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM<sub>10</sub> 的平均值分别为 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。随着时间推进 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 这三个值均在不断增大,为机场辐射雾形成不断累计凝结核,对于机场辐射雾的预报指标建立具有一定指示意义。

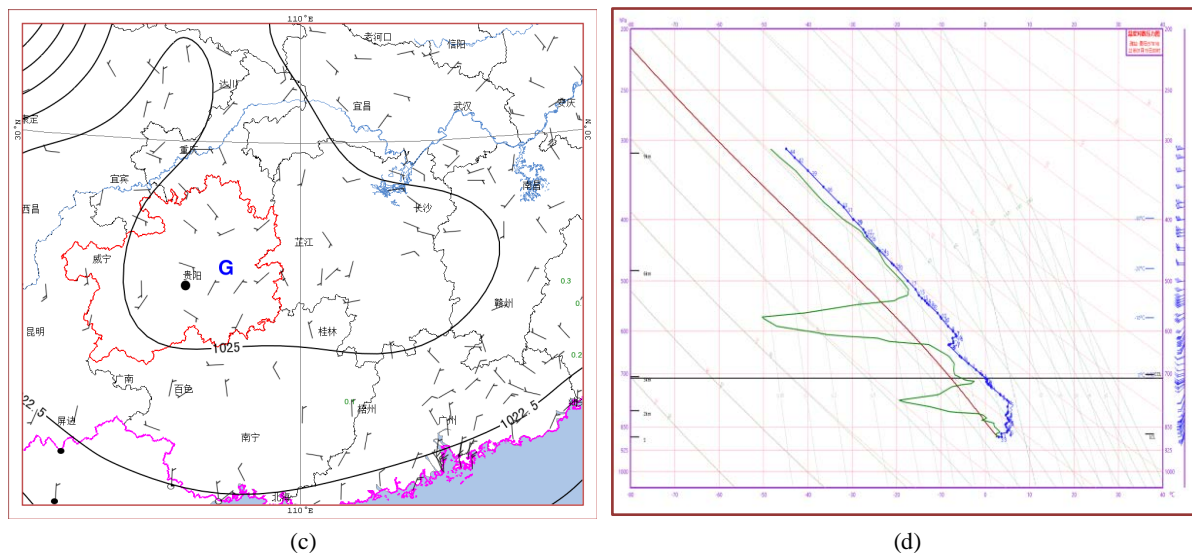
**Table 3.** Comparison of air quality and major pollutants in the early stage of radiation fog generation at Guiyang Airport from 2010 to 2022**表 3.** 2010~2022 年贵阳机场辐射雾生成前期空气质量和主要污染物对比

项目	辐射雾生前 6 小时平均值	辐射雾生前 12 小时平均值
AQI	65	50
PM <sub>2.5</sub> /( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	51	43
PM <sub>10</sub> /( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	90	76

## 5. 2022 年 1 月 19 日贵阳机场辐射雾空报案例分析

环流形式分析:如图 2(a)~(c)所示,2022 年 1 月 19 日 08 时(北京时,下同),500 hPa 高压脊控制贵州区域大部,850 hPa 亦受高压环流控制,地面上表现为均压场,整体是有利起辐射雾的环流形势。





**Figure 2.** At 08:00 on January 19, 2022, the circulation patterns of sea level pressure fields at 500 hpa (a) and 850 hpa (b) and the T-logP (c) profile of Guiyang station (d)

**图 2.** 2022 年 1 月 19 日 08 时 (a) 500 hpa、(b) 850 hpa、(c) 海平面气压场环流形式及 (d) 贵阳站探空图

逆温层分析：如图 2(d) 所示，2022 年 1 月 19 日 08 时贵阳站探空图可知，逆温层顶部为 859.9 hPa，海拔高度越 1430 m，距离机场垂直高度约 292 m (机场海报高度约 1138 m)，据统计，辐射雾的厚度一般不超过 300 m，符合辐射雾形成的逆温层层结结构。

近地面气象要素演变分析：如表 4 所示，通过分析 2022 年 1 月 19 日 00~08 时气象观测站气象要素逐时演变情况可知，贵阳机场风向不定，风速绝大部分时间维持在 1 m/s 左右，近地面层结稳定；云量方面，00~07 时机场区域基本无云，有利于辐射降温，最低温度降至 0.6℃，温度日较差达 13.40.6℃；相对湿度方面，00~08 时，地面 2 米相对湿度维持在 90% 以上，最高值达到 96%，趋近于饱和状态。

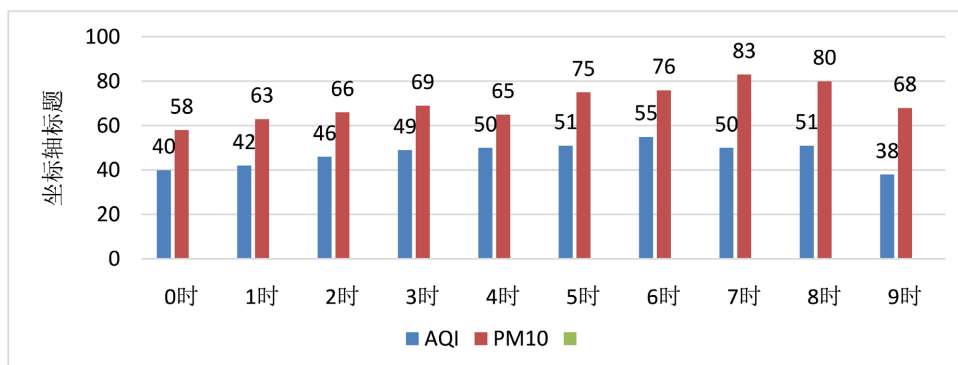
**Table 4.** Evolution of meteorological observation station elements at Guiyang Airport from 00:00 to 08:00 on January 19, 2022  
**表 4.** 2022 年 1 月 19 日 00~08 时贵阳机场气象观测站要素演变情况

时次(北京时)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
风向	VRB	190	190	VRB	120	090	VRB	VRB	VRB	VRB
风速(m/s)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
云量	0	0	0	0	0	0	0	6	5	5
温度(℃)	2.3	1.2	1.4	0.9	1.1	1.1	1.3	1.2	2.3	5.3
露点(℃)	0.8	-0.1	0.2	0.0	0.2	0.2	0.4	0.3	1.3	2.8
湿度(%)	90	91	92	94	94	94	94	93	84	73
主导能见度(m)	9000	7000	7000	6000	7000	6000	5000	6000	7000	7000

从环流形式、逆温层结构以及近地面水汽、温度分析结果来看，如此配置十分有利于生成辐射雾，但 2022 年 1 月 19 日 00~08 时的主导能见度最低仅 5000 米(表 4)，远远未达到 1000 米以下，导致了本次辐射雾预报空报(表 4)。

近地面大气污染物(凝结核)分析：2022 年 1 月 19 日 00~08 时马鞍山、燕子冲、贵阳市环保局站平均

AQI、PM<sub>10</sub> 演变情况可知(图 3), AQI 平均值 47.2, 最大值 55, 出现在 06 时, 对应的能见度也最低(表 4), PM<sub>10</sub> 平均值 70.3 μg/m<sup>3</sup>, 最大值 83 μg/m<sup>3</sup>, 同样出现在 06 时; 19 日凌晨至上午的 AQI、PM<sub>10</sub> 平均值和最大值均小于达到生成辐射雾的阈值(表 2), 可能是本次辐射雾天气未发生的主要原因。



**Figure 3.** Evolution of average AQI and PM<sub>10</sub> at Ma'an Shan, Yanzichong, and Guiyang Environmental Protection Bureau Stations from 00:00 to 08:00 on January 19, 2022

**图 3.** 2022 年 1 月 19 日 00~08 时马鞍山、燕子冲、贵阳市环保局站平均 AQI、PM<sub>10</sub> 演变情况

## 6. 总结

(1) 2010~2022 年贵阳机场年平均辐射雾出现次数约 11 次, 虽然贵阳机场辐射雾出现的次数呈逐年减少的趋势。虽然近几年机场辐射雾出现次数大幅减少, 但预报准确率平均值仅为 30%左右, 辐射雾预报的难度仍然很大。

(2) 通过对贵阳机场辐射雾生成过程的空气质量进行分析, 发现贵阳机场辐射雾生成期间 AQI 的平均值为 73, PM<sub>2.5</sub> 的平均值为 60 μg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> 的平均值为 102 μg/m<sup>3</sup>。辐射雾形成前期, AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 这三个值均在不断增大。通过对辐射雾形成前和形成后的空气质量的阈值分析, 对于机场辐射雾的预报指标建立具有一定指示意义。

(3) 通过对 2022 年 1 月 19 日辐射雾空报案例进行分析, 发现造成此次辐射雾空报的主要原因的贵阳机场及周边的环境大气含有的凝结核浓度不足。

## 7. 讨论

(1) 对于辐射雾的形成机制, 除了分析近地面水汽饱和情况、大气层结稳定度情况、天空状况以外, 还需要与周边的空气质量相结合。

(2) 辐射雾形成所需的各个气象要素阈值仍需要进一步定量细化分析, 并且需要结合不同气象要素之间的搭配情况, 建立更加完善的辐射雾形成机制及预报策略。

## 参考文献

- [1] 王博妮, 濮梅娟, 田力, 等. 江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究[J]. 气象, 2016(2): 192-202.
- [2] 王丽娟, 阳威, 何明琼, 等. 2014 年初冬湖北省一次大雾成因分析和数值模拟[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(3): 86-92.
- [3] 许敏, 李江波, 田晓飞, 等. 京津冀地区辐射雾生消影响因子和污染物特征分析[J]. 气象与环境学报, 2023, 39(3): 56-64.
- [4] 苟杨, 周智晖, 廖波, 等. 近 30 a 黔南地区辐射雾和雨雾时空分布特征[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(3): 73-79.

- [5] 谢清霞, 唐延婧, 庞庆兵, 等. 贵州辐射雾的时空变化特征及其气象要素分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(2): 119-125.
- [6] 余佳. 2021 年长沙黄花机场连续两日辐射雾对比分析[J]. 河南科技, 2022, 41(1): 113-116.
- [7] 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.
- [8] 司林青. 贵阳机场两次辐射雾过程对比分析[J]. 自然科学, 2022, 10(3): 254-263.