

黔东南州冬春季大气污染气象条件研究

刘坝勋¹, 舒子倩², 宋光勇³, 董文韬¹

¹贵州省黔东南苗族侗族自治州气象, 贵州 凯里

²贵州省凯里市气象局, 贵州 凯里

³贵州省剑河县气象局, 贵州 剑河

收稿日期: 2026年6月10日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月28日

摘要

本文利用黔东南州2016年至2020年冬春两季空气质量日数据和同期地面气象观测资料, 通过相关分析和主成分回归分析确定空气质量指数AQI与各气象要素之间的相关性并建立回归方程, 结合MICAPS资料对典型污染天气过程的环流形势进行诊断分析, 归纳黔东南州大气污染气象条件的天气学特征, 为空气污染气象条件预报提供参考依据。

关键词

空气污染, 相关分析, 主成分回归分析, 天气学诊断

Study on Meteorological Conditions of Air Pollution in Winter and Spring in Qiandongnan Prefecture

Xunxun Liu¹, Ziqian Shu², Guangyong Song³, Wentao Dong¹

¹Qiandongnan Meteorological Bureau of Guizhou Province, Kaili Guizhou

²Kaili Meteorological Bureau of Guizhou Province, Kaili Guizhou

³Jianhe Meteorological Bureau of Guizhou Province, Jianhe Guizhou

Received: June 10, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 28, 2026

Abstract

This study uses daily air quality data from winter and spring in Qiandongnan Prefecture from 2016 to 2020, along with surface meteorological observation data during the same period, to determine the correlation between the air quality index (AQI) and various meteorological elements through

correlation analysis and principal component regression analysis, and to establish a regression equation. Combined with MICAPS data, pollution weather processes are analyzed, and a synoptic conceptual model of atmospheric pollution meteorological conditions in Qiandongnan Prefecture is established, providing technical support for improving the operational capability of air pollution meteorological condition prediction and air pollution prevention and control in Qiandongnan Prefecture.

Keywords

Air Pollution, Correlation Analysis, Principal Component Regression Analysis, Synoptic Diagnosis

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

随着经济社会快速发展和城市化进程日益加快,城市的空气污染问题已成为近年来的热点问题,空气污染对社会经济建设和人体健康的危害引起了社会各界和政府的高度关注。空气污染本质上是污染物的堆积问题,气象条件往往制约着空气污染物的稀释、扩散、输送和转化过程,影响着空气污染物的分布与浓度[1][2]。国内学者对京津冀、长三角等重点区域和直辖市、省会城市等重点城市的空气污染问题开展了大量研究。如今,黔东南州正加快生态文明建设、大力创建全域旅游示范区,空气质量问题已成为关系到经济社会发展和人民生活生产的重点问题。近年来黔东南州冬春季时有轻到中度污染发生,个别县市甚至出现过重度污染。本文利用黔东南州 2016 年至 2020 年冬春两季空气质量日数据和同期地面气象观测资料,分析空气质量指数 AQI 与各气象要素之间的相关关系,并结合 MICAPS 资料对典型污染天气过程进行环流形势诊断分析,归纳黔东南州大气污染的气象条件特征,为该地区空气污染气象条件预报提供参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究区域与数据来源

本文研究区域为贵州省黔东南苗族侗族自治州(以下简称黔东南州),地处云贵高原东南部,地形以山地和丘陵为主,海拔差异较大,气候属亚热带季风湿润气候。研究使用的空气质量数据来源于国家环境监测站 2016 年至 2020 年冬春两季(12 月至次年 5 月)的日均数据,包括空气质量指数(AQI)及 PM_{2.5}、PM₁₀、O₃ 等首要污染物浓度数据。AQI 的计算和空气质量等级划分依据《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ 633-2012)[3]。气象数据来源于黔东南州 16 个国家级地面气象观测站同期的逐日观测资料,包括平均风速、降水量、平均气温、平均气压和平均相对湿度等要素。冬季定义为 12 月至次年 2 月,春季定义为 3 月至 5 月。数据质量控制遵循中国气象局地面气象观测规范,缺测数据按相关标准进行处理。

2.2. 分析方法

本研究采用以下分析方法:(1) 利用 Pearson 相关分析方法,分别对冬春两季及全年 AQI 与各气象要素进行相关性分析,检验各相关系数的显著性水平;(2) 采用主成分分析(PCA)将存在相关性的气象要素降维为少数不相关的主成分,消除多重共线性影响;(3) 以标准化后的 AQI 为因变量,主成分为自变量

进行多元线性回归分析，建立回归方程并进行统计检验；(4) 利用 MICAPS 资料对典型污染天气过程进行环流形势诊断分析，归纳大气污染气象条件的天气学特征。统计分析使用 SPSS 软件完成。

3. 黔东南州空气质量状况

根据对黔东南州 2016 年至 2020 年冬春两季空气质量数据进行统计分析，如图 1 所示，黔东南州 16 县市有效样本数为 841 d~875 d，优良率 92.27%~99.54%，其中优率 43.88%~75.66%。其中 2017 年冬春两季污染最重，16 县市平均优良率为 93.02%，空气质量最差的岑巩县仅为 81.87%，2018 年以后全州冬春两季空气质量优良率逐年提高，分别为 96.91%、98.03%、99.57%。进一步对空气质量优良率进行分月统计分析，空气质量最差的月份为 1 月 91.55%，12 月 94.91%次之，1 月起空气质量优良率开始逐步提升，5 月仅出现 1d 轻度污染。从空间分布来看，2016 年至 2020 年冬春两季黔东南空气质量最好的苗岭西南段中低中山区的丹寨，最差的为东北部低中山区的岑巩。由此可见黔东南州空气质量时间变化规律与国内其他地区比较一致，同时，空气质量也受到复杂的地形地貌特征的影响。

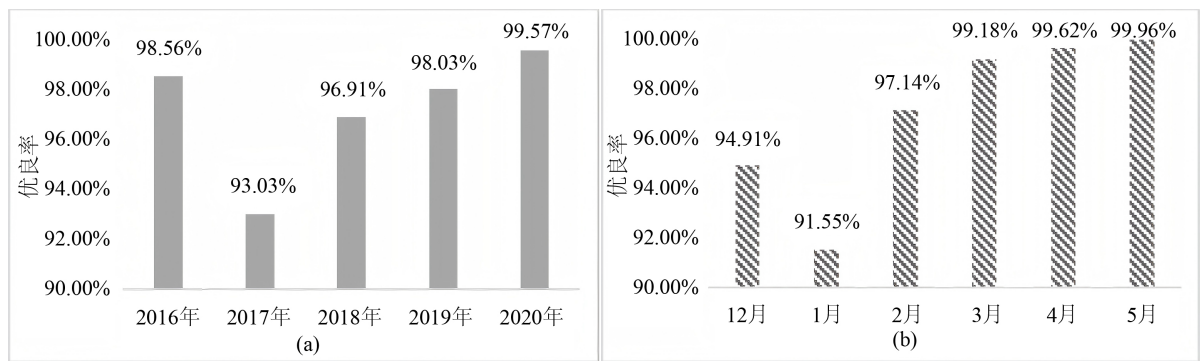


Figure 1. Excellent air quality rate in Qianzhongnan Prefecture
图 1. 黔东南州空气质量优良率

如图 2 所示，从首要污染物出现日数的时间分布来看，首要污染物为 $PM_{2.5}$ 的日数占比为 58.95%，主要出现在冬季；首要污染物为 PM_{10} 的日数占比为 29.08%，时间分布较为平均，春季多于冬季；首要污染物为 O_3 的日数占比为 11.1%，主要出现在春季；其余首要污染物出现日数占比均少于 1%。因此， $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 为黔东南州冬春两季的主要污染物，冬季以 $PM_{2.5}$ 为主，春季以 PM_{10} 为主。

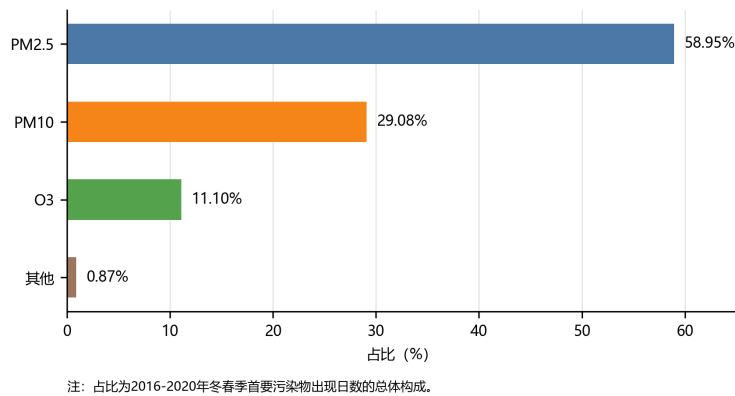


Figure 2. Proportion of days of occurrence of primary pollutants
图 2. 首要污染物出现日数占比

4. 气象要素对空气质量的影响分析

4.1. 黔东南州空气质量指数(AQI)与气象要素的相关分析

结合理论研究和预报经验,选取当日平均风速、降水量、平均温度、平均气压和平均相对湿度 5 个气象要素作为因子,利用 SPSS 软件分冬季、春季、冬春季分别进行 Pearson 相关分析,得出上述 5 种气象要素与 AQI 的相关性及其空间分布,详见表 1、图 3。

Table 1. Correlation between AQI and meteorological elements during the same period

表 1. AQI 与同一时期气象要素相关性

		平均风速	降水量	平均温度	平均气压	平均相对湿度
凯里	Pearson 相关性	-0.177**	-0.236**	-0.079*	0.230**	-0.406**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000
	N	870	870	870	870	870
镇远	Pearson 相关性	-0.034	-0.217**	-0.156**	0.236**	-0.402**
	显著性(双尾)	0.315	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	875	875	875	875	875
天柱	Pearson 相关性	-0.249**	-0.255**	-0.055	0.168**	-0.357**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.104	0.000	0.000
	N	865	865	865	865	865
台江	Pearson 相关性	-0.044	-0.173**	-0.047	0.203**	-0.491**
	显著性(双尾)	0.202	0.000	0.172	0.000	0.000
	N	858	858	858	858	858
施秉	Pearson 相关性	-0.064	-0.193**	-0.144**	0.231**	-0.430**
	显著性(双尾)	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	867	867	867	867	867
三穗	Pearson 相关性	-0.147**	-0.214**	-0.151**	0.254**	-0.374**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	860	860	860	860	860
榕江	Pearson 相关性	-0.285**	-0.191**	0.050	0.032	-0.197**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.143	0.352	0.000
	N	867	867	867	867	867
麻江	Pearson 相关性	-0.092**	-0.200**	0.061	0.177**	-0.520**
	显著性(双尾)	0.007	0.000	0.072	0.000	0.000
	N	859	859	859	859	859
黎平	Pearson 相关性	-0.256**	-0.225**	-0.032	0.052	-0.439**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.355	0.128	0.000
	N	859	859	859	859	859

续表

雷山	Pearson 相关性	-0.016	-0.153**	0.056	0.129**	-0.483**
	显著性(双尾)	0.638	0.000	0.098	0.000	0.000
	N	865	865	865	865	865
锦屏	Pearson 相关性	-0.323**	-0.227**	0.124**	0.258**	-0.452**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	862	862	862	862	862
剑河	Pearson 相关性	-0.103**	-0.225**	-0.094**	0.232**	-0.435**
	显著性(双尾)	0.003	0.000	0.006	0.000	0.000
	N	861	861	861	861	861
黄平	Pearson 相关性	-0.203**	-0.219**	-0.037	0.175**	-0.453**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.290	0.000	0.000
	N	830	830	830	830	830
丹寨	Pearson 相关性	0.004	-0.140**	0.118**	0.171**	-0.543**
	显著性(双尾)	0.915	0.000	0.001	0.000	0.000
	N	854	854	854	854	854
从江	Pearson 相关性	-0.002	-0.122**	0.051	0.082*	-0.356**
	显著性(双尾)	0.953	0	0.135	0.017	0
	N	848	848	848	848	848
岑巩	Pearson 相关性	-0.240**	-0.261**	-0.128**	0.267**	-0.425**
	显著性(双尾)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	841	841	841	841	841

注: **.在置信度(双侧)为 0.01 时, 相关性是显著的; *.在置信度(双侧)为 0.05 时, 相关性是显著的。

由表 1 可知, 平均风速、降水量、平均温度、平均气压和平均相对湿度均对 AQI 有较为显著的影响[4], 但不同要素的影响作用大小存在差异。总体上看, 平均相对湿度对 AQI 影响最大, 降水量、平均气压次之, 平均温度最小, 而平均风速对 AQI 的影响随空间分布有明显的差异。

分季节来看, 同一气象要素对冬春两季的空气质量影响存在差异, 其中平均相对湿度和降水量与冬春两季 AQI 均呈显著负相关关系, 平均气压与冬春两季 AQI 显著正相关关系, 平均温度与冬季 AQI 呈显著正相关关系, 而与春季 AQI 相关关系不显著[5]。不同气象要素分别对冬春两季的空气质量影响也存在差异, 按照相关性大小排序, 冬季主要影响因子依次为平均相对湿度、平均温度、降水量、平均气压, 春季主要影响因子依次为平均相对湿度、降水量、平均气压、平均温度。可见, 平均相对湿度对冬春两季 AQI 的影响均最大。

从空间分布上看, 同一气象要素对不同地点的空气质量影响存在明显不同, 见图 3。

平均相对湿度与冬春两季全州 16 县市 AQI 均呈显著负相关关系; 且无论冬春季节均表现为除月亮山区东侧、北侧的从江、榕江和东部较为平坦的天柱低中山区外, 其余地区负相关更为显著。

降水量与冬春两季全州 16 县市 AQI 均呈显著负相关关系; 冬季负相关较显著的地区为除舞阳河流域中下游和苗岭中段以外的地区; 而春季负相关性大体表现为北高南低。降水量与 AQI 呈显著负相关, 提示降水可能对空气中的污染物具有冲刷清除作用。

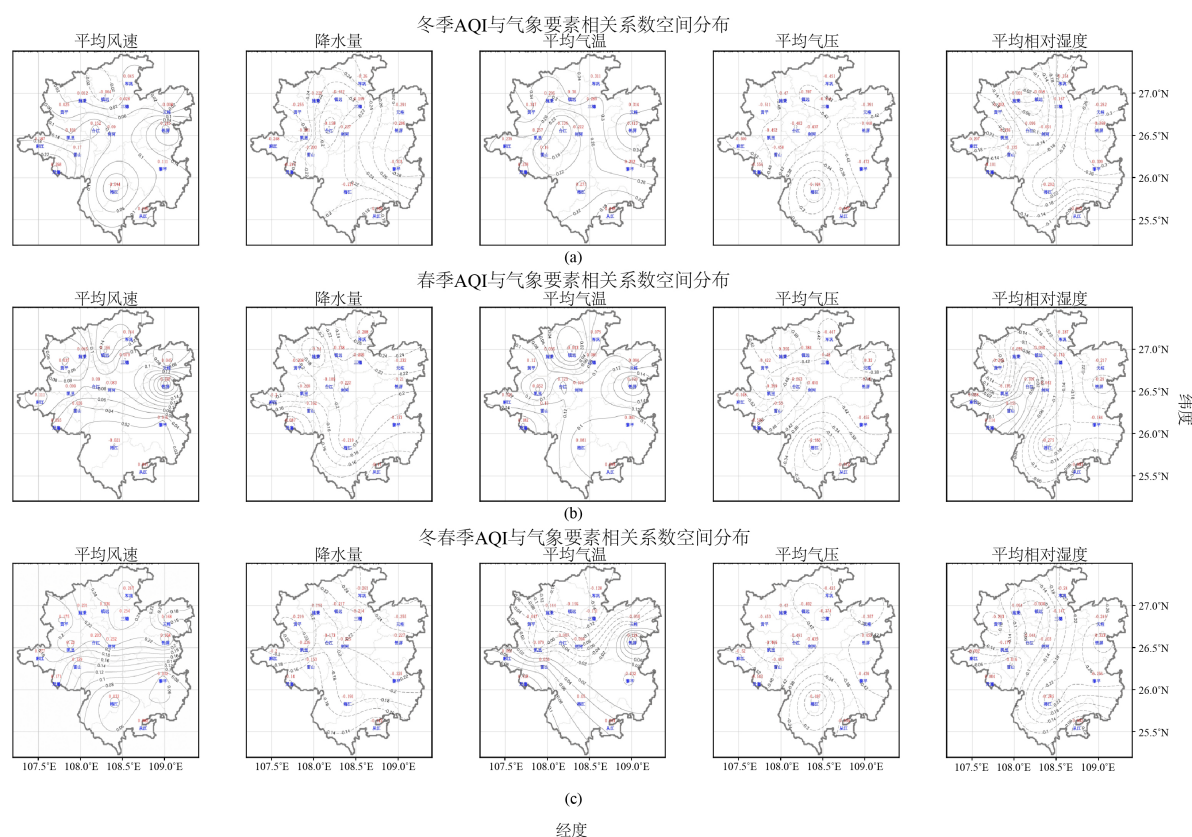


Figure 3. Spatial distribution of correlation between winter (a), spring (b), and winter spring (c) indices and meteorological elements at the same time

图 3. 冬季(a)、春季(b)和冬春两季(c)指数与同一时间的气象要素相关关系空间分布

平均温度与冬春两季 AQI 负相关性显著地区为舞阳河流域地区, 正相关性不显著; 冬季均呈显著正相关关系; 春季相关性不显著。

平均气压与冬春两季 AQI 正相关性显著地区为除月亮山区东侧、北侧的从江、榕江和东部黎平低中山区外的其他地区; 冬季正相关性显著地区为苗岭及其西侧地区和东部较为平坦的锦屏低中山区; 春季正相关性显著地区为东北部低中山区和东部较为平坦的锦屏低中山区。

平均风速与冬春两季 AQI 呈负相关性, 且其相关性显著地区无论冬春季节均表现出相同的空间分布特征, 西北部丘陵状低中山区、东部岑巩、三穗、天柱、锦屏、黎平低中山区和月亮山区北侧榕江为显著负相关地区。

4.2. 黔东南州空气质量指数(AQI)与气象要素的主成分回归分析

通过主成分分析将上述存在显著相关性的 5 个气象要素转化为少数几个不相关的主成分, 构造新的影响因子, 利用新构造的影响因子和标准化后的 AQI 进一步进行多元线性回归, 得到标准化主成分回归方程, 最后转换为一般线性回归方程即可得到 AQI 与上述 5 个气象要素之间的回归方程, 从而可对 AQI 与气象要素间的关系进行解释说明。

选取凯里市作为代表站点进行主成分回归分析[6] [7], 以期为该地区 AQI 与气象要素的定量关系提供参考。利用 SPSS 软件计算得到相关系数矩阵特征值及贡献率和特征值对应的特征向量, 分析可得, 凯里各气象要素前三个主成分的累计贡献率可达 83%以上, 第一主成分为平均气温和平均气压的综合指标,

第二主成分为平均相对湿度和降水量的综合指标，第三主成分为平均风速指标，进一步验证平均风速、降水量、平均温度、平均气压和平均相对湿度对黔东南凯里地区空气质量影响较大，见表 2、表 3。

Table 2. Eigenvalues and contribution rates of correlation coefficient matrix
表 2. 相关系数矩阵特征值及贡献率

组件	提取载荷平方和		
	总计	贡献率	累积 %
1	1.871	37.419	37.419
2	1.285	25.700	63.119
3	1.018	20.362	83.481

Table 3. Eigenvectors corresponding to eigenvalues
表 3. 特征值对应的特征向量

	组件		
	1	2	3
凯里 V	-0.019	-0.005	0.973
凯里 R	0.173	0.554	0.129
凯里 T	0.504	-0.167	-0.061
凯里 P	-0.498	-0.042	-0.041
凯里 U	-0.049	0.664	-0.118

对新构造的 3 个主成分进行多元线性回归，以经过 Z-score 标准化的 AQI 指数为因变量，3 个主成分为自变量，可得多元线性回归方程为：

$$\text{凯里标准化AQI} = -0.175Z_1 - 0.399Z_2 - 0.159Z_3$$

其中 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 分别第一、第二、第三主成分。

分别对上述回归方程进行 F 检验，对各系数进行 t 检验，显著性概率均小于 0.05，回归效果较好且各主成分对凯里标准化 AQI 影响显著。回归方程的 R^2 为 0.312，调整 R^2 为 0.309，F 统计量为 115.376 ($p < 0.001$)，表明回归方程整体显著。将 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 的线性表达式分别代入并转换为一般线性回归方程[6]，可得

$$\text{凯里AQI} = 88.56 - 0.15V - 0.272R - 0.012T + 0.11P - 0.238U$$

其中截距 88.56 为 AQI 基准值，V、R、T、P、U 分别为平均风速(m/s)、降水量(mm)、平均气温(℃)、平均气压(hPa)、平均相对湿度(%)。回归系数表明：平均相对湿度和降水量对 AQI 的负向影响最大，即湿度和降水增大时 AQI 降低，空气质量转好；平均气压的正系数表明气压升高时 AQI 增大，空气质量转差；平均风速和平均气温的影响相对较小。

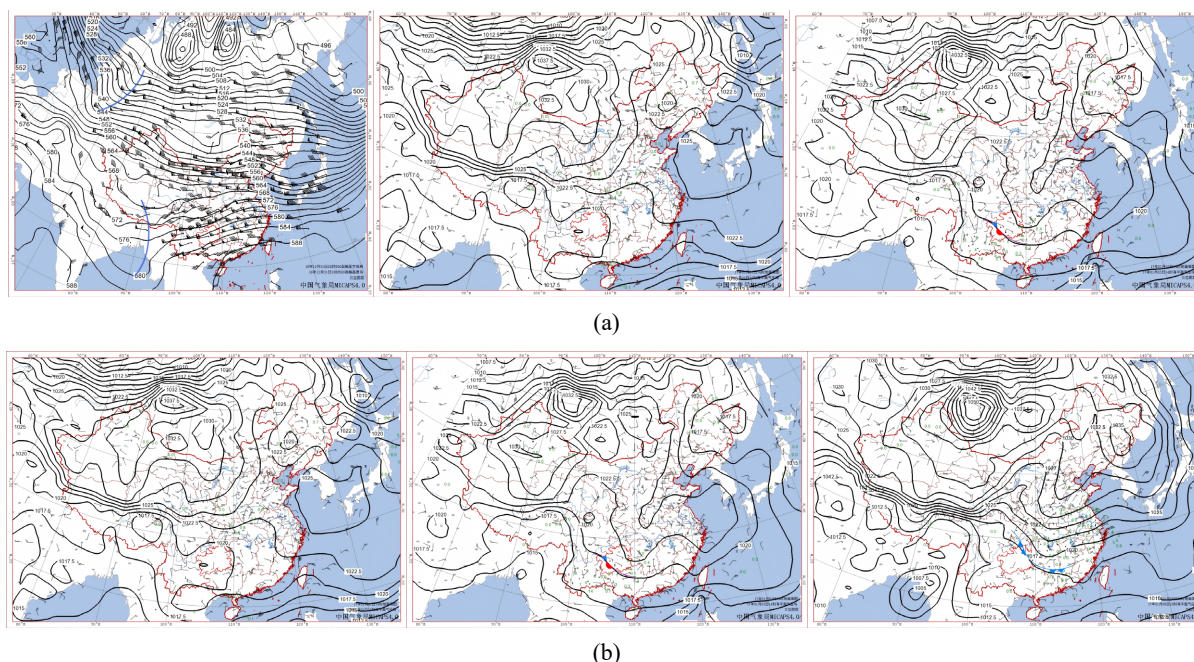
5. 典型个例分析

本研究从黔东南州 16 县市空气质量日数据中选取 3 个及 3 个以上站点 AQI>100 时，记为 1 个污染日；连续 3 日出现污染日，记为 1 次污染天气过程(间隔 1 日以内时记为同一天气过程)。经统计，2016 年至 2020 年冬春季黔东南州共出现 7 次污染天气过程，64 个污染日。7 次污染天气过程均发生在冬季(12

月至次年2月), 主要污染物均为 $\text{PM}_{2.5}$, 表明冬季黔东南州大气污染以细颗粒物为主。污染过程持续时间多为3天, 最长为第1次过程(6天); 影响范围以第1次过程最广(12个站点), 其余过程影响站点数在3~8个之间。

通过对上述7次污染天气过程进行综合分析, 从中选取2016年12月31日至2017年1月5日污染天气过程作为典型个例, 分析环流形势演变特征, 见图4。

2016年12月31日至2017年1月5日, 黔东南州连续6日出现轻度到中度污染, 其中中度污染出现在东北部三穗、岑巩、天柱。30日20时南支槽于 90°E 孟加拉湾附近建立并维持, 黔东南从偏西气流转为西南气流控制, 此时地面图上贵州、湖南至华东地区受均压场控制, 在近地面东北风导致的污染物输送下, 黔东南开始出现轻度污染。3日到4日南支槽略东移至 95°E 并加深, 西南气流进一步增强, 地面弱静止锋位于贵州省中部一线, 锋面附近的黔东南西南部出现明显降水, 但远离锋面的东北部仅出现微量降水或 0.1 mm 的弱降水, 小于 1 mm 的弱降水对污染物的稀释和冲刷作用有限, 该地区污染维持。5日后, 随着 500 hPa 转为西北气流控制, 中高纬低槽东移引导冷空气南下, 空气质量逐渐转好。静稳条件下细粒子更易累积维持, 与典型天气个例下气溶胶数谱观测认识一致[8]。同时, 污染持续期间温度对数图上低层均出现逆温层, 对污染物的扩散起抑制作用[9]。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0235 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 4. 500 hPa (a) and surface (b) circulation situation before, after and during the pollution process

图 4. 污染过程前后及期间 500 hPa (a)和地面(b)环流形势

持续大气污染多发生在静稳天气背景下, 但当黔东南处于静稳天气背景下时不一定伴随污染天气出现, 由于污染源管控良好, 除春节前后因燃放烟花爆竹产生的大量污染物外, 黔东南空气污染往往与来自周边地区的污染物输送相关, 因此, 近地面风场特征对黔东南空气污染影响显著。

6. 讨论与展望

本研究表明, 黔东南州冬春季 AQI 与气象要素关系较明确: 平均相对湿度、降水量和平均风速总体

与 AQI 呈负相关, 平均气压与 AQI 呈正相关, 说明弱风、高压或静稳背景不利于污染物扩散, 而降水对颗粒物具有一定清除作用。这与四川盆地及全国尺度研究中关于风、降水有利于颗粒物扩散和湿沉降, 冬季静稳条件易导致污染累积的认识基本一致[10] [11]。

四川盆地城市群污染物浓度受益地形、城市群排放和区域累积共同影响, 污染过程往往表现出较强的区域同步性[12]; 成都等西南大城市 $PM_{2.5}$ 还受到机动车、燃煤、工业排放和二次气溶胶生成等多源贡献影响[13]。相比之下, 黔东南州重工业比重相对较低, 生态旅游、民族文化旅游和山地城镇分布特征突出, 2016~2020 年冬春季空气质量优良率总体较高, 污染过程次数少、持续时间有限。因此, 本区空气质量变化不仅受静稳扩散条件约束, 还更容易表现出地形通道、局地弱排放和外来输送共同作用的特征。典型个例中东北部三穗、岑巩、天柱污染较重, 也提示在东北风或偏东风背景下, 应关注上游污染输送与低中山区地形收敛对污染维持的影响。

需要指出的是, 平均相对湿度与 AQI 呈显著负相关, 并不代表湿度升高必然改善空气质量。较高湿度可能伴随降水并增强湿清除, 也可能在无明显降水、边界层稳定时促进颗粒物吸湿增长和二次转化。本文中的负相关更可能反映冬春季湿润天气过程的清除效应, 实际预报应结合降水量、低层稳定度、边界层高度和近地面风场综合判断。

从业务预报看, 黔东南冬季 $PM_{2.5}$ 污染风险可重点关注三类信号: 500 hPa 孟加拉湾附近南支槽建立并维持、黔东南受西南气流控制且地面为均压或弱气压场; 近地面持续东北风或偏东风、本地风速偏小; 低层逆温维持且降水不足或弱降水。上述条件叠加时, 污染物易在谷地和低中山区累积, 并向东北部低中山区输送, 应重点关注岑巩、三穗、天柱、镇远及舞阳河流域站点。

从精细化管控看, 冬春季污染应对需结合节假日人流、交通排放、施工扬尘、餐饮油烟、烟花爆竹和农村生活燃烧等短时排放源。典型静稳过程前 1~2 d, 可提前开展道路保洁、扬尘管控、露天焚烧和高排放作业限制, 并在春节、元宵等时段加强烟花爆竹燃放引导。东北部和东部通道型县市还应强化与周边地区的空气质量和风场联动监测, 将外来输送风险纳入本地会商。

基金项目

贵州省气象局省市联合科研基金项目《基于深度学习的空气质量预报方法研究》(黔气科合 SS(2023) 34 号)。

参考文献

- [1] 周晗, 宋晓萌, 李福林, 等. 瑞丽市空气污染状况与气象条件的相关性研究[J]. 科学技术创新, 2020(34): 1-4.
- [2] 徐琼芳, 岳阳, 万立国, 等. 潜江市空气污染状况及其与气象条件的关系[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(S1): 274-277.
- [3] 环境保护部. HJ 633-2012 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [4] 周郡娇, 卢妍, 张赢心, 等. 淮南市大气环境质量状况及其影响因素分析[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版), 2021, 20(4): 319-324.
- [5] 张昊, 张佳意, 冯景瑜, 等. 吉林省中部地区 AQI 分布特征及其与气象要素的相关性分析[J]. 气象灾害防御, 2022, 29(1): 6-9.
- [6] 周兆媛, 张时煌, 高庆先, 等. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 191-199.
- [7] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [8] 沈小静, 孙俊英, 张养梅, 等. 北京上甸子典型天气个例的大气气溶胶数谱分布特征[J]. 气象科技进展, 2014, 4(1): 29-35.
- [9] 强杰. 气象因素对大气污染物扩散的影响分析[C]//河北省环境科学学会. 河北省土壤污染防治技术研讨会论文

集. 010: 54-56.

- [10] Li, Y., Chen, Q., Zhao, H., Wang, L. and Tao, R. (2015) Variations in PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0} in an Urban Area of the Sichuan Basin and Their Relation to Meteorological Factors. *Atmosphere*, **6**, 150-163.
<https://doi.org/10.3390/atmos6010150>
- [11] Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H. and Zhang, L. (2017) The Relationships between PM_{2.5} and Meteorological Factors in China: Seasonal and Regional Variations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**, Article 1510. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121510>
- [12] Zhao, S., Yu, Y., Yin, D., Qin, D., He, J. and Dong, L. (2018) Spatial Patterns and Temporal Variations of Six Criteria Air Pollutants during 2015 to 2017 in the City Clusters of Sichuan Basin, China. *Science of the Total Environment*, **624**, 540-557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.172>
- [13] Tao, J., Gao, J., Zhang, L., Zhang, R., Che, H., Zhang, Z., *et al.* (2014) PM_{2.5} Pollution in a Megacity of Southwest China: Source Apportionment and Implication. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **14**, 8679-8699.
<https://doi.org/10.5194/acp-14-8679-2014>