

贺瑶,韩彦霞,卢晔,等. 宝鸡 2017—2019 年冬季 PM_{2.5} 分布特征及重污染过程分析[J]. 陕西气象, 2023(2):43-47.
文章编号:1006-4354(2023)02-0043-05

宝鸡 2017—2019 年冬季 PM_{2.5} 分布特征及重污染过程分析

贺瑶¹, 韩彦霞², 卢晔¹, 张震宇¹

(1. 宝鸡市气象局, 陕西宝鸡 721006; 2. 阳泉市气象局, 山西阳泉 045099)

摘要:利用宝鸡市 2017—2019 年 PM_{2.5} 质量浓度小时数据及相对湿度等气象数据,探讨了宝鸡市 PM_{2.5} 质量浓度、相对湿度和能见度三者的关系,并利用 HYSPLIT 后向轨迹模式对 3 a 冬季重度及以上污染过程主导来源气团进行了聚类分析。研究发现:宝鸡冬季重度及以上污染过程多发生在 1 月,期间主导风向为西北风和东南风;PM_{2.5} 质量浓度与能见度在不同相对湿度条件下有不同的拟合幂函数关系,空气相对湿度 > 80% 时,空气中水汽含量是影响能见度的主要因素,空气相对湿度 ≤ 60% 时,影响能见度的主要因子是 PM_{2.5} 质量浓度。2017—2019 年冬季宝鸡达重度污染及以上的过程后向轨迹聚类结果略有不同,其中 2017 年污染以偏北及西南气团近距离输送为主,2018 年污染以宝鸡本地积累为主,2019 年污染以关中临近城市(西安地区)近距离输送为主;西北路气团移速最快,远距离传输能力最强,偏东路气团移速最慢,远距离传输能力最弱。

关键词:PM_{2.5} 质量浓度;冬季污染过程;后向轨迹;聚类分析

中图分类号:X16

文献标识码:A

近年来,随着城市化和工业化发展,大气污染已成为影响区域经济发展和城市环境的重要因素^[1-3],汾渭平原由于其复杂的地形条件及高度集中的煤炭能源产业,PM_{2.5} 质量浓度持续上升,目前已成为中国大气污染最严重的地区之一,日趋严重的颗粒物重污染问题已经成为制约汾渭平原经济持续稳定快速发展的瓶颈。宝鸡地处汾渭平原渭河盆地,三面环山的地形不利于污染物扩散,宝鸡市区冬季空气污染严重,冬季雾霾已成为宝鸡面临的主要大气环境问题^[4]。已有研究^[5-7]表明宝鸡市区冬季空气污染主要以 PM_{2.5} 为主。有研究发现^[8] 相对湿度的增加会延缓污染物的扩散,致使污染物堆积污染加重,并且冬季东南气流发生频率的增加会加重宝鸡市区冬季的大气污染。刘瑞芳^[9] 等研究表明以宝鸡为代表的关中城

市本地污染排放和近距离输送是污染累积的重要途径。姬艺珍^[10] 通过对汾渭平原区域污染研究分析发现,宝鸡为汾渭平原城市群中 PM_{2.5} 积累水平较强的城市。

本文利用 2017—2019 年宝鸡 PM_{2.5} 质量浓度(C(PM_{2.5}))小时数据,分析冬季 C(PM_{2.5}) 的分布特征,并讨论 C(PM_{2.5})、相对湿度(H_R)和能见度三者的关系;此外还利用 HYSPLIT 后向轨迹模式对宝鸡城区 2017—2019 年冬季重度及以上污染过程的气团轨迹进行聚类分析,探讨 2017—2019 年 3 a 冬季宝鸡 PM_{2.5} 的输送来源差异,以为宝鸡冬季大气污染治理提供理论依据。

1 资料的选取

1.1 观测数据

C(PM_{2.5}) 来自中国环境监测总站公布的城

收稿日期:2022-03-25

作者简介:贺瑶(1992—),女,汉族,陕西宝鸡人,硕士,工程师,从事大气环境污染研究。

基金项目:宝鸡市气象局自立科研项目(研究型业务专项,202006);宝鸡市气象局城市天气气候适应性研究重点实验室开放研究基金课题(202104)

市空气质量数据,选取宝鸡 2017—2019 年观测资料。气象资料来源于渭滨国家气象观测站(34.35°N,107.13°E)。根据气候季节划分法,冬季为当年 12 月至来年 2 月。对冬季 AQI 指数达到重度及以上的污染过程进行轨迹分析。

1.2 后向轨迹

后向轨迹模式在分析污染物来源和传输路径等方面^[11-13]应用广泛,利用 HYSPLIT-4 模型和 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)的 GDAS(global data assimilation system)背景数据,选取渭滨国家气象观测站作为后向轨迹的起始点,模拟的起始高度为 500 m。模

拟时间范围包括 2017—2019 年冬季所有重度及以上污染过程,模式后推时间为 48 h。使用 TrajStat^[14]软件对后向轨迹进行聚类分析,依据气团的移动速度和方向,将大量轨迹进行分组,以估计污染物的潜在源区。聚类分析的原则是要求同组内各轨迹之间差异很小,而不同组间的差异较大。最终得到造成宝鸡冬季重度及以上污染过程的气团来源路径。

2 结果与讨论

2.1 重度及以上污染过程日数变化特征

由图 1 可得,宝鸡市 2017 年 AQI 指数达重度及以上的污染日数最多,为 24 d,出现在 1 月

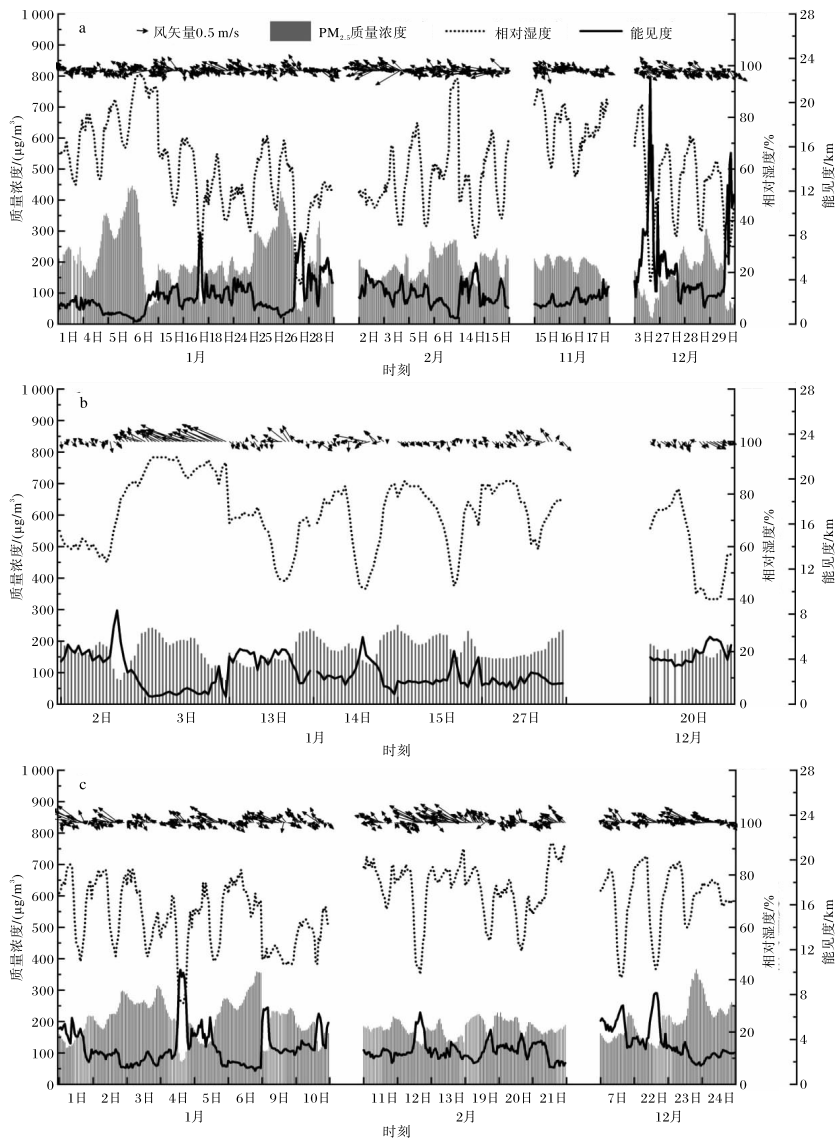


图 1 宝鸡市 2017—2019 年 AQI 指数达重度及以上污染 $C(\text{PM}_{2.5})$ 及对应的能见度和风矢量的时间序列(a 2017 年,b 2018 年,c 2019 年; $C(\text{PM}_{2.5})$ 为小时数据)

(11 d)、2月(6 d)、11月(3 d)和12月(4 d);2018年污染日数最少,只有7 d,出现在1月(6 d)、12月(1 d),重度及以上污染过程多发生在1月。2017、2018、2019年C(PM_{2.5})极大值分别为446、251、366 μg/m³,对应的H_R分别为87%、79%、73%;对C(PM_{2.5})≥400 μg/m³对应的所有H_R求平均得到结果为82%,C(PM_{2.5})≥300 μg/m³时H_R平均为70%,说明C(PM_{2.5})高值区基本对应H_R高值区。重度及以上污染过程主导风向为西北风和东南风(风矢量资料来源于渭滨国家气象观测站)。

2.2 冬季C(PM_{2.5})变化特征

根据环境空气质量标准GB 3095—2012,日平均C(PM_{2.5})≥75 μg/m³则环境空气质量超标,小于75 μg/m³为环境空气质量二级,小于35 μg/m³为环境空气质量一级。由图2可知,2017—2019年冬季环境空气质量达到二级标准及以上的日数占当年冬季日数的比例依次为43.18%、33.33%和45.05%;达到一级标准的日数占比依次为2.27%、5.75%和7.69%,一级标准达标日数呈明显增加态势。以上数据表明,宝鸡市空气质量正在不断改善。

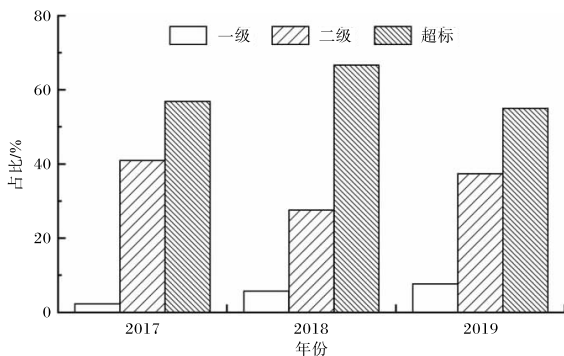


图2 宝鸡市 2017—2019 年冬季环境空气质量不同等级的日数占比

2.3 C(PM_{2.5})、H_R 和能见度的关系

图3反映了2017—2019年冬季C(PM_{2.5})、H_R和能见度三者间的关系。可以看出,散点的分布受H_R影响较大,并呈现一定规律性。能见度随H_R的降低而提高,当H_R大于90%(红色散点)时,散点多分布在能见度小于5 km的区域。

对不同H_R条件下(分别为H_R≤40%、40%<H_R≤60%、60%<H_R≤80%、80%<H_R≤90%、

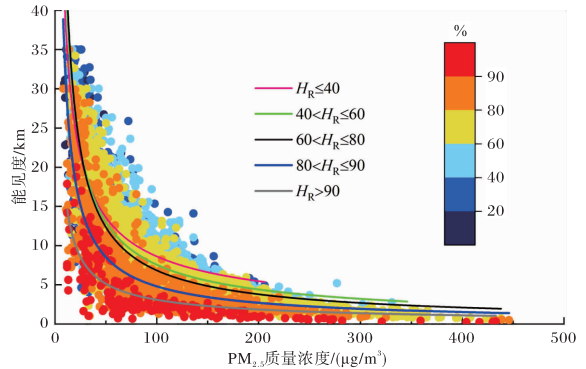


图3 宝鸡 2017—2019 年冬季 H_R、C(PM_{2.5}) 和能见度的关系

H_R>90%)的C(PM_{2.5})与能见度的关系分别进行拟合分析(表1),发现二者拟合良好,具有幂函数关系。当60%<H_R≤80%时,两者相关程度最差,相关系数仅为0.29。当H_R>80%时,H_R增加,相关系数减小。当H_R≤60%时,H_R增加,相关系数增大,这可能是由于PM_{2.5}粒子在该条件下,吸湿性增强,粒子吸湿增长导致散射能力提高,能见度降低,即当H_R≤60%时,影响能见度的主要因子是C(PM_{2.5}),该结果与文献[15]的研究结果相近,但H_R阈值不同。

表1 宝鸡 2017—2019 年冬季不同 H_R 条件下 C(PM_{2.5}) 和能见度的拟合关系

H _R 范围	拟合方程	相关系数
H _R ≤40%	$y=177.84x^{-0.66}$	0.82
40%<H _R ≤60%	$y=273.31x^{-0.78}$	0.87
60%<H _R ≤80%	$y=342.45x^{-0.85}$	0.29
80%<H _R ≤90%	$y=217.27x^{-0.83}$	0.84
H _R >90%	$y=89.92x^{-0.73}$	0.74

注:y代表能见度;x代表C(PM_{2.5})。

2.4 后向轨迹聚类分析

对2017—2019年3a冬季所有重度及以上污染过程所有气团轨迹进行聚类分析,结果见图4(轨迹分3类,以不同线型标识。占比最多的轨迹用实线表示,次之用虚线表示,占比最少的轨迹用点划线表示),可以看出3a中宝鸡后向轨迹变化较明显。

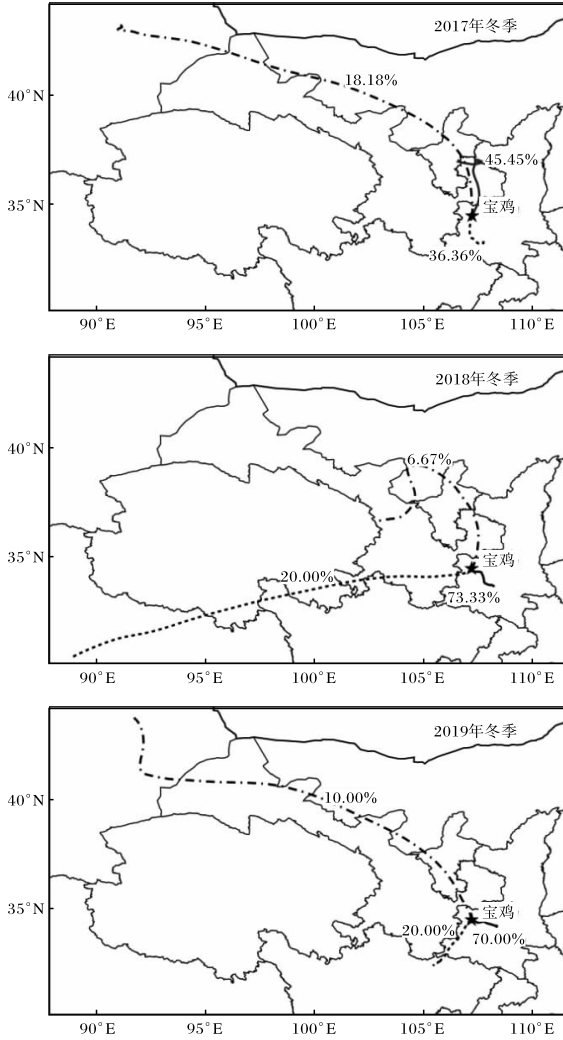


图4 宝鸡市 2017—2019 年冬季重度及以上污染过程 48 h 后向轨迹聚类分析(审图号为 GS(2016)2556 号)

2017 年冬季,实线轨迹占比 45.45%,48 h 移动速度最慢,始于银川东部,途径甘肃省庆阳、平凉两市,由北路到达宝鸡市区,气团远距离输送能力较弱。虚线轨迹占比 36.36%,由汉中经南路输送至宝鸡。点划线轨迹占比 18.18%,始于

新疆,途径甘肃、内蒙部分地区及宁夏大部到达宝鸡,远距离传输能力最强。由此可以看出,2017 年冬季宝鸡达重度污染及以上的过程中,以偏北及西南气团近距离传输为主,西南气流带来的水汽提供吸湿增长的条件,加剧污染。

2018 年冬季,实线轨迹占比 73.33%,来自东南方向,48 h 移动速度最慢,传输距离最短,以本地积累为主。虚线轨迹占比 20.00%,远距离输送能力最强,始于高原地区,途径青海南部、甘肃南部,由西路到达宝鸡市区。点划线轨迹占比最低,仅为 6.67%,由偏北路进入宝鸡,贡献较小。由此可以看出,2018 年冬季宝鸡达重度污染及以上的过程,污染以本地积累为主,偏西路有少量远距离输送。

2019 年冬季,实线轨迹占比 70.00%,48 h 移动速度最慢,传输距离最短,来自宝鸡以东(西安地区),以临近城市近距离传输为主;虚线轨迹占比 20.00%,沿西南方向经汉中西部到达宝鸡,有少量输送;点划线轨迹占比 10.00%,始于新疆,沿西北方向途径甘肃、内蒙古部分地区、宁夏大部到达宝鸡,远距离传输能力最强。由此可见,2019 年冬季宝鸡达重度污染及以上的过程,污染以关中临近城市近距离输送为主,西南路和西北路有少量输送。

结合轨迹模拟同时段的地面风场资料分析(图 5),2017 年重度污染及以上过程前 48 h 的地面主导风向为偏北、西北和东南方向;2018 年主导风向为东南风,且远高于其他风向的频率;2019 年主导风向为偏东风。以上 3 a 主导风向与主要污染轨迹来向基本相符。

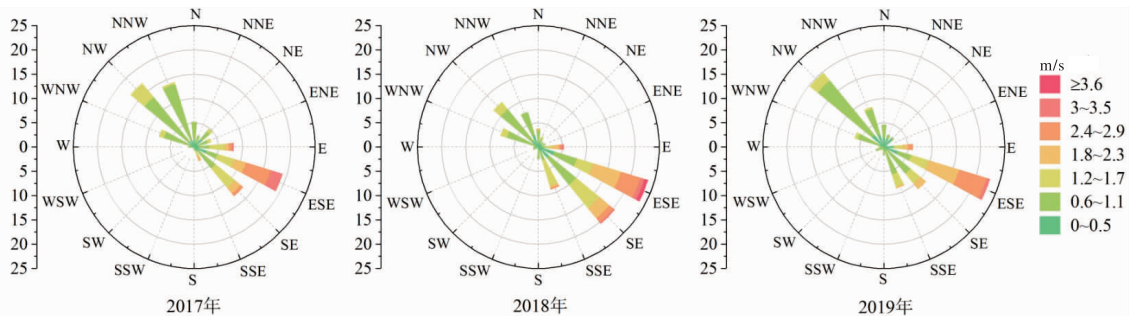


图5 宝鸡 2017—2019 年冬季轨迹模拟同时段渭滨国家气象观测站点风玫瑰图(纵坐标为风向频率/%)

3 结论

(1)2017—2019 年的冬季,宝鸡重度及以上污染过程多发生在 1 月,期间主导风向为西北风和东南风。

(2)PM_{2.5} 质量浓度与能见度在不同相对湿度条件下有不同的拟合幂函数关系。当 $H_R > 80\%$ 时, H_R 增加, $C(\text{PM}_{2.5})$ 与能见度相关性减小,表明此时空气中水汽含量为影响能见度的主要因素;当 $H_R \leq 60\%$ 时, H_R 增加, $C(\text{PM}_{2.5})$ 与能见度相关性增大,影响能见度的主要因子为 $C(\text{PM}_{2.5})$ 。

(3)2017—2019 年的冬季,宝鸡重度污染及以上的过程后向轨迹聚类结果略有不同,其中 2017 年轨迹来源以偏北及西南气团近距离输送为主,2018 年以宝鸡本地积累为主,2019 年以关中临近城市(西安地区)近距离输送为主。西北路气团移速最快,远距离传输能力最强;偏东路气团移速最慢,远距离传输能力最弱。

参考文献:

- [1] ZHANG Y, SHEN L, SHUAI C, et al. How is the environmental efficiency in the process of dramatic economic development in the Chinese cities? [J]. *Ecological Indicators*, 2019, 98(MAR.): 349–362.
- [2] CAO S S, ZHAO W J, GUAN H L, et al. Comparison of remotely sensed PM_{2.5} concentrations between developed and developing countries: Results from the US, Europe, China, and India[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 182: 672–681.
- [3] LI Y, LIAO Q, ZHAO X, et al. Premature mortality attributable to PM_{2.5} pollution in China during 2008–2016: Underlying causes and responses to emission reductions [J]. *Chemosphere*, 2020, 263: 127925.
- [4] 徐衡. 宝鸡市区环境空气质量现状及影响因素 [D]. 西安:西北大学, 2015.
- [5] 叶鑫. 宝鸡市城区环境空气质量时空变化特征 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2021.
- [6] 王红军,何晓媛,苏静,等. 关中区域主要大气污染物时空分布特征分析[J]. *陕西气象*, 2020(3): 26–30.
- [7] 魏俊涛,杨晓春,杜萌萌,等. 关中地区大气污染特征分析[J]. *陕西气象*, 2022(1): 53–58.
- [8] 武洋洋,周变红,赵阿玲,等. 宝鸡市区大气污染物浓度特征及与气象要素的关系[J]. *江西农业学报*, 2017, 29(6): 5.
- [9] 刘瑞芳,贺瑶,刘慧,等. 陕西关中大气污染时空分布特征及天气学分型[J]. *陕西气象*, 2021(5): 23–29.
- [10] 姬艺珍. 汾渭平原大气污染特征的研究 [D]. 南京:南京信息工程大学, 2021.
- [11] 岳毅,李金娟,马千里. 临本底站 2010~2015 年 PM₁₀ 污染特征及影响因素分析简[J]. *中国环境科学*, 2017, 37(8): 11.
- [12] 赵恒,王体健,江飞,等. 利用后向轨迹模式研究 TRACE-P 期间香港大气污染物的来源[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(2): 6.
- [13] 葛跃,王明新,白雪,等. 苏锡常地区 PM_{2.5} 污染特征及其潜在源区分析[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(3): 11.
- [14] WANG Y Q, ZHANG X Y, DRAXLER R R. TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(8): 938–939.
- [15] 卢文,王红磊,朱彬,等. 南京江北 2014—2016 年 PM_{2.5} 质量浓度分布特征及气象和传输影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2019, 39(4): 1039–1048.