

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.

文章编号:1006-4354(2022)01-0053-06

关中地区大气污染特征分析

魏俊涛,杨晓春,杜萌萌,白庆梅,白水成

(西安市气象局,西安 710016)

摘要:基于2014—2018年关中区域西安、咸阳、渭南、铜川、宝鸡等5个主要城市6种大气污染物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、 O_3)的逐日平均质量浓度和气象探空资料,分析了关中地区大气污染时空分布特征、重污染过程持续性特征及逆温发生频率。结果表明:关中地区大气污染超标日达31%以上,西安最多为47%,其中颗粒物的污染程度高于气态污染物,盆地底部西安、咸阳的年均颗粒物质量浓度较盆地边沿的铜川高 $10\sim 15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$;首要污染物在冬季以 $PM_{2.5}$ 为主,频率达84%以上,夏季以 O_3 为主;与北京、上海和广州相比,西安重污染过程持续时间最长,平均为9.4 d,这与冬半年频繁的逆温现象相关,西安08时逆温出现频率达69%。

关键词:关中地区;大气污染;首要污染物;重污染持续时间;逆温

中图分类号: X16 : X51

文献标识码: A

大气污染的区域性特征明显,在我国以京津冀、长三角和汾渭平原为典型代表^[1-4]。关中地区是汾渭平原经济发展的核心区域,包含了西安、咸阳、宝鸡、铜川、渭南五个地市。另外,关中地区位于西高东低的“喇叭口”地形中,比位于半开放地形中的京津冀,以及沿海平原的长三角更容易引发逆温,抑制污染物的垂直扩散^[5]。人为排放和不利的地形条件使得关中地区重污染天气频发、污染物浓度高、大气能见度低^[6-9]。针对关中区域的大气污染,胡琳等^[10]分析了2014—2018年关中地区重污染状况下气象条件的变化。高维英等^[11]则研究了该地区重污染发生和减弱时的天气类型特征。陈欣昊等^[12]、卢娣等^[13]、韩洁等^[14]分析了关中地区不同区域不同时段的气象条件对大气污染的影响。已有的研究主要侧重于关中地区大气污染物与气象条件之间关系,对该区域大气污染本身的特征与其他典型污染区域的差别方面的研究较少。本文基于2014—2018年大气污染物质量浓度监测数据计算相关污染指数,分析关中地区大气

污染特征,并对比与其他典型污染区域在重污染过程持续性上的不同,以期更科学地认识区域内大气污染状况,为治污减霾提供科学支撑。

1 资料和方法

关中地区5个城市(西安、咸阳、渭南、宝鸡和铜川)和北京、上海、广州的6种大气污染物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、 O_3)日均质量浓度数据(分别用 $C(PM_{10})$ 、 $C(PM_{2.5})$ 、 $C(SO_2)$ 、 $C(CO)$ 、 $C(NO_2)$ 、 $C(O_3)$ 表示)来自中国环保部全国城市空气质量实时发布平台(<http://106.37.208.233:20035>)。采用算术平均的方法来计算年、季节和月尺度的平均质量浓度。首要污染物取6种大气污染物中对大气污染贡献最大的污染物,采用《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ 633—2012)^[15]进行数据计算分析。

重污染过程的定义为:从AQI大于100的当日开始计数至AQI小于100的前一日,并且过程中至少包含1 d AQI大于200的重污染日。重污

收稿日期:2021-03-29

作者简介:魏俊涛(1979—),男,汉族,陕西洋县人,本科,高工,从事气象服务。

通信作者:杨晓春(1984—),女,汉族,陕西安塞人,博士,高工,从事天气预报和数值模拟。

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2021JQ-975);西安市科技计划项目(20SFS0015)

染过程发展日数定义为从重污染过程开始日至质量浓度峰值日的日数,重污染过程消散日数则为从质量浓度峰值日至结束日的日数。

逆温的计算和判定基于 2007—2018 年冬半年(10 月至次年 4 月)西安、北京、上海和广州每日 08 时的无线电探空数据。所选取的逆温高度为 700 hPa 以下的逆温。主要的计算方法为:选取探空数据中的地面、925 hPa、850 hPa 和 700 hPa 为特征层,特征层中任意层的温度与高度较低层温度相减大于 0,即认定为出现逆温。计算表达式为

$$\begin{aligned} T_{925} - T_s > 0 \text{ 或 } T_{850} - T_s > 0 \text{ 或} \\ T_{700} - T_s > 0 \text{ 或 } T_{700} - T_{850} > 0 \text{ 或} \\ T_{700} - T_{925} > 0 \text{ 或 } T_{850} - T_{925} > 0, \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中 T_{925} 、 T_{850} 、 T_{700} 分别代表 925 hPa、850 hPa 和 700 hPa 的温度, T_s 为地表气温。

2 关中地区大气污染时空特征

2.1 污染物质量浓度

2014—2018 年关中 5 个城市 6 种污染物中,

年平均质量浓度均略高于国家二级标准^[16](表 1)。6 种污染物年平均质量浓度分别用 $C_y(\text{PM}_{2.5})$ 、 $C_y(\text{PM}_{10})$ 、 $C_y(\text{SO}_2)$ 、 $C_y(\text{CO})$ 、 $C_y(\text{NO}_2)$ 、 $C_y\text{O}_3$ 表示。其中颗粒物的污染程度显著高于气态污染物, $C_y(\text{PM}_{10})$ 为 $118.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $C_y(\text{PM}_{2.5})$ 为 $63.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 高于国家二级标准 ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 而 $C_y(\text{SO}_2)$ 和 $C_y(\text{NO}_2)$ 为 $20.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $42.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 仅略高于二级标准 ($20.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。颗粒物年均质量浓度最高的两个地区为西安和咸阳, 其中 PM_{10} 尤为显著, 这与城市大规模的开发建设有关。位于海拔高度较高的盆地边缘的铜川的颗粒物质量浓度最低, 较西安偏低 $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 但臭氧年均质量浓度却最高。臭氧的生成涉及复杂的光化学反应, 与铜川相对较高的辐射有关。渭南、咸阳和铜川为 $C_y(\text{SO}_2)$ 高值区, 这 3 个城市正是关中地区火力发电厂和工矿企业密集区。

表 1 2014—2018 年关中城市 6 种污染物年平均质量浓度

| 城市 | $C_y(\text{PM}_{2.5})$ / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C_y(\text{PM}_{10})$ / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C_y(\text{SO}_2)$ / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C_y(\text{CO})$ / (mg/m^3) | $C_y(\text{NO}_2)$ / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C_y\text{O}_3$ / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ |
|----|--|---|--|--|--|---|
| 西安 | 67.00 | 129.30 | 21.50 | 1.60 | 50.70 | 91.50 |
| 宝鸡 | 58.50 | 107.00 | 14.50 | 1.25 | 38.00 | 88.00 |
| 渭南 | 66.60 | 124.80 | 22.10 | 1.10 | 45.70 | 88.90 |
| 咸阳 | 71.30 | 129.30 | 22.10 | 1.31 | 45.19 | 87.56 |
| 铜川 | 56.32 | 101.51 | 23.78 | 1.34 | 35.36 | 102.78 |
| 关中 | 63.94 | 118.38 | 20.80 | 1.32 | 42.99 | 91.75 |

基于污染物性质和质量浓度变化规律,表 2 列出关中 5 个城市 6 种污染物冬季和夏季日平均质量浓度。由表 2 可知:各城市冬季污染物质量浓度差别大于夏季,其中盆地底部区域的污染重于盆地边沿地区;冬季颗粒物日均质量浓度为轻度污染,气态污染物日均质量浓度中 NO_2 达二级, SO_2 、 CO 和 O_3 符合一级, $C(\text{PM}_{2.5})$ 最高区域为咸阳,而 $C(\text{PM}_{10})$ 最大值则在西安;夏季 6 种污染物日均质量浓度均符合二级标准,其中西安 $C(\text{O}_3)$ 显著高于其他地区,这与人口密度大所带来的机动车尾气排放高密切相关。

2.2 污染超标日

大气污染超标日为任意一类大气污染物日均质量浓度大于国家二级标准。2014—2018 年关中 5 个城市大气超标日分布如图 1 所示,位于盆地底部的西安、咸阳和渭南超标日数多,而盆地边沿,海拔高度较高的铜川和宝鸡超标日数相对较少。关中地区的大气污染状况较为严重,其中西安的超标率最高达 47%,最少的宝鸡为 31%。

关中地区污染超标率的季节变化较大,如图 2 所示。冬季的污染超标率最高,达 50% 以上,其中西安和咸阳超标率达到 65% 左右。西安夏季的

表 2 2014—2018 年关中城市 6 种污染物冬、夏季日平均质量浓度

| 城市 | $C(\text{PM}_{2.5})/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C(\text{PM}_{10})/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C(\text{SO}_2)/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C(\text{CO})/(\text{mg}/\text{m}^3)$ | $C(\text{NO}_2)/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C(\text{O}_3)/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ |
|----|---|--|---|---------------------------------------|---|--|
| | 冬/夏 | 冬/夏 | 冬/夏 | 冬/夏 | 冬/夏 | 冬/夏 |
| 西安 | 118.22/35.40 | 196.36/77.68 | 41.82/9.33 | 2.35/1.10 | 62.24/36.67 | 47.28/152.18 |
| 宝鸡 | 103.96/31.40 | 162.08/64.19 | 29.70/6.18 | 1.87/0.87 | 47.29/26.94 | 58.81/126.59 |
| 渭南 | 113.00/36.82 | 184.18/77.63 | 42.56/11.26 | 1.73/0.73 | 58.88/31.18 | 45.86/138.50 |
| 咸阳 | 122.57/36.13 | 190.27/80.05 | 33.04/14.45 | 1.83/0.98 | 54.12/31.68 | 47.70/138.30 |
| 铜川 | 89.68/35.09 | 143.31/66.67 | 47.72/10.45 | 1.88/1.00 | 45.25/24.29 | 73.00/136.06 |
| 关中 | 109.49/34.97 | 175.24/73.24 | 38.97/10.33 | 1.93/0.94 | 53.56/30.15 | 54.53/138.33 |

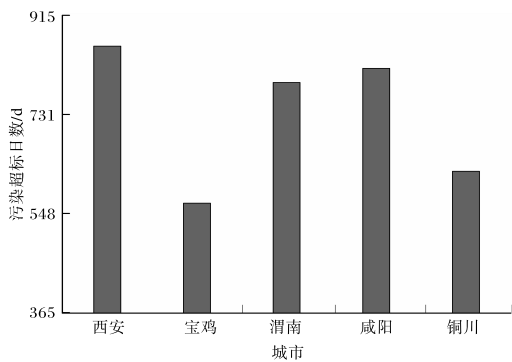


图 1 2014—2018 年关中 5 个城市累积污染超标日

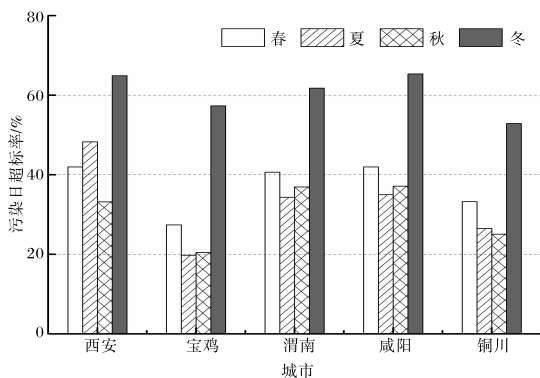


图 2 2014—2018 年关中 5 个城市的污染超标率季节分布
 超率率仅次于冬季,这主要受臭氧污染的影响(见表 2),与前文分析一致,而其余城市超标率排名第二的为春季,与春季大风天气频繁所引发的扬沙和浮尘天气有关。宝鸡为污染超标率最低的区域,夏、秋季的超标率仅为 20%。

2.3 首要污染物

首要污染物为大气污染超标日中对大气污染贡献最大的污染物。统计 2014—2018 年关中 5 个城市年平均和各季节中不同首要污染物占有

污染超标日的比率可以发现, $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 PM_{10} 为首要污染物的年平均比率最高。其中 $\text{PM}_{2.5}$ 占比最大,年平均为 47%~62%,冬季可达 84%以上;其次为 O_3 ,年平均占比为 21%~31%。由于我国北方春季多冷空气活动,易受沙尘影响^[17],关中地区除咸阳和铜川外,春季首要污染物占比最大的为 PM_{10} 。夏季太阳辐射增强, O_3 成为关中地区首要污染物的占比达 93%以上,西安最高为 96%。秋、冬季的首要污染物均以 $\text{PM}_{2.5}$ 占比最大,秋季为 60%以上,冬季可达 84%以上。

对比城市间首要污染物占比可以发现:夏季西安的 $C(\text{O}_3)$ 最高,同时 O_3 污染的占比也最大,这与前体物 NO_x 和 VOC 高排放量密切相关^[18]。其他季节中, PM_{10} 为西安首要污染物的占比明显高于其他城市。西安较高的 PM_{10} 污染主要可能来源于城市的大规模建设、道路扬尘和建筑扬尘等。

3 关中地区大气污染持续性特征

重污染过程持续时间长对人体健康和环境的危害更为严重。对 2014—2018 年秋冬季大气污染期(11 月至次年 2 月)关中地区的重污染过程按照前文的定义进行统计分析,如表 3 所示,所有城市重污染过程出现频次均在 25 次以上。盆地城市西安、咸阳和渭南的重污染过程平均持续日数较盆地边缘的宝鸡和铜川长,但最长的重污染过程出现在西安和宝鸡,分别为 31 d 和 30 d。铜川的重污染过程平均持续时间、平均消散时间和最长持续日数均为最短,这与其海拔高度较高,风速较大,扩散条件相对较好有关。

表3 2014—2018年关中地区5个城市冬季重污染过程参数统计

| 城市 | 出现频次/次 | 平均持续 日数/d | 平均发展 日数/d | 平均消散 日数/d | 最长持续 日数/d | 最长发展 日数/d | 最长消散 日数/d |
|----|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 西安 | 30 | 9.4 | 6.5 | 2.9 | 31 | 16 | 17 |
| 咸阳 | 30 | 9.9 | 6.4 | 3.4 | 22 | 13 | 14 |
| 渭南 | 28 | 9.3 | 6.4 | 2.9 | 27 | 26 | 13 |
| 宝鸡 | 30 | 7.9 | 4.3 | 3.7 | 30 | 11 | 24 |
| 铜川 | 26 | 7.2 | 5.0 | 2.2 | 19 | 14 | 12 |

基于相同的特征参数对比分析关中区域与其他区域重污染过程持续时间的不同。选取的对比城市为:半开放地形下的北京、长江三角洲的上海和珠江三角洲的广州。由于广州在2014—2018年间重污染过程仅有2次,故剔除了样本信息,结果如表4所示。分析可以发现:北京的重污染过

程出现频次最多,达40次,平均持续日数为4d;西安的重污染频次虽然少于北京,但过程持续时间最长,平均为9.4d,最长延续31d之久,平均发展日数和平均消散日数也长于北京和上海;上海重污染频次最少,生成和消散的时间短,平均持续时间仅有3.2d。

表4 2014—2018年西安、北京和上海3个城市冬季重污染过程基本信息统计

| 城市 | 出现频次/次 | 平均持续 日数/d | 平均发展 日数/d | 平均消散 日数/d | 最长持续 日数/d | 最长发展 日数/d | 最长消散 日数/d |
|----|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 西安 | 30 | 9.4 | 6.5 | 2.9 | 31 | 16 | 17 |
| 北京 | 40 | 4.0 | 2.8 | 1.2 | 9 | 7 | 6 |
| 上海 | 13 | 3.2 | 2.0 | 1.2 | 7 | 5 | 5 |

进一步对比分析西安、北京和上海出现不同持续时间重污染过程的频次,将过程持续时间分为1~<5d、5~<10d、10~<20d和20d及以上4个等级分别统计(图3)。北京和上海大部分的重污染过程持续时间小于5d,未出现超过10d的重污染过程。西安重污染过程中持续时间为5~<10d的频次最高,10~<20d次之,并存在持续时间超过20d的重污染。同样的方法分析了关中地区其余城市的情况(图略),基本与西安相似,仅铜川没有出现持续时间超过20d的重污染过程。这进一步表明了类似盆地地形下的关中地区重污染过程持续时间较长。

已有的研究表明,逆温的存在使得大气层结稳定,不利于污染物扩散,延长污染过程的持续时间^[19-21]。对比分析2007—2018年冬半年(10月至次年4月)4个典型城市(西安、北京、上海、广州)每日08时逆温出现状况(图4)。由于特殊的

地形条件,在4个城市中西安的逆温现象最多,冬半年69%的早晨出现逆温。半包围地形下北京的逆温出现频次仅次于西安,达到50%。临海城市广州和上海只有21%的早晨出现逆温。西安的逆温出现频次高,是造成冬半年重污染过程持续时间长的主要原因。

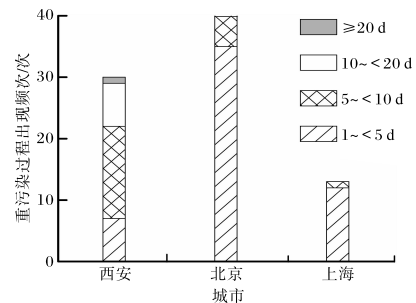


图3 2014—2018年冬季西安、北京和上海重污染过程频次图

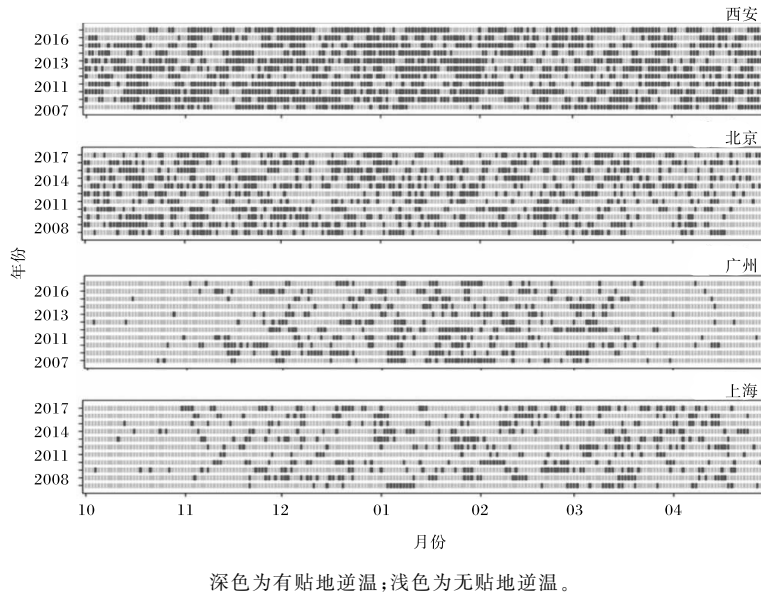


图4 2007—2018年冬半年西安、北京、广州和上海每日08时贴地逆温频次图

4 结论

(1)2014—2018年关中地区6种污染物的年平均质量浓度均略高于国家二级标准,其中颗粒物的污染程度高于气态污染物,且盆地底部区域的污染物质量浓度高于盆地边沿地区。西安和咸阳为颗粒物质量浓度最高区域,铜川最低。

(2)2014—2018年关中地区大气污染超标日达31%以上,西安最多为47%。污染超标日的季节变化较大,其中冬季最高,平均为50%以上,西安和咸阳可达65%。受臭氧影响,西安夏季的超标率仅次于冬季。其余城市受扬沙影响,春季的超标率排名第二。首要污染物中 $PM_{2.5}$ 、 O_3 和 PM_{10} 占污染超标日的比率最高,其中 $PM_{2.5}$ 占比最高,年平均47%~62%,冬季可达84%以上。

(3)与典型污染城市北京、上海和广州相比,相同的研究时段内,西安的重污染频次少于北京,但污染过程持续时间最长,平均为9.4 d,最长达31 d。这与西安冬半年频繁的逆温现象相关,08时逆温出现频率为69%。

参考文献:

[1] 朱彤,尚静,赵德峰. 大气复合污染及灰霾形成中非均相化学过程的作用[J]. 中国科学:化学,2010,40(12):1731-1740.
[2] ZHANG Yang, BOCQUET Marc, MALLETT Vivi-

en, et al. Real-time air quality forecasting, Part I: History, techniques, and current status[J]. Atmospheric Environment, 2012,60:632-655.

[3] 张小曳,孙俊英,王亚强,等. 我国雾-霾成因及其治理的思考[J]. 科学通报,2013,58(13):1178-1187.
[4] 王跃思,张军科,王莉莉,等. 京津冀区域大气霾污染研究意义、现状及展望[J]. 地球科学进展,2014,29(3):388-396.
[5] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2013:165
[6] 张利,吴润,张武. 1955—2000年中国能见度变化趋势分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2011,47(6):46-55.
[7] 潘竟虎,张文,李俊峰,等. 中国大范围雾霾期间主要城市空气污染物分布特征[J]. 生态学杂志,2014,33(12):3423-3431.
[8] 林巧莺,陈永山. 我国城市冬季 $PM_{2.5}$ 空间特征及其人为影响因子[J]. 生态与农村环境学报,2015,31(4):460-465.
[9] 张生玲,王雨涵,李跃,等. 中国雾霾空间分布特征及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(9):15-22.
[10] 胡琳,程路,林杨,等. 关中区域大气重污染年份气象条件分析[J]. 干旱区研究,2020,37(6):1496-1503.
[11] 高维英,李明,李茜,等. 关中地区重污染发生和

- 减弱天气类型及气象要素定量特征[J]. 灾害学, 2020, 35(2):102-109.
- [12] 陈欣昊, 张蕾, 杨晓春, 等. 近五年周至空气污染气象条件分析[J]. 陕西气象, 2019(1):29-32.
- [13] 卢娣, 董自鹏, 曹慧萍, 等. 西安市臭氧污染特征及其与气象条件的关系[J]. 陕西气象, 2020(1):14-19.
- [14] 韩洁, 徐迎春, 庞翻, 等. 近4年早春宝鸡市区气象条件对空气污染的影响[J]. 陕西气象, 2020(1):20-25.
- [15] 中华人民共和国生态环境部. 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行): HJ 633—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社. [2021-02-04]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcff-bz/201203/t20120302_224166.shtml
- [16] 中华人民共和国生态环境部. 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社. [2021-02-26]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqhjzlbz/201203/t20120302_224165.shtml
- [17] WANG Yangjun, LI Li, CHEN Changhong, et al. Source apportionment of fine particulate matter during autumn haze episodes in Shanghai, China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 119(4):1903-1914.
- [18] PUDASAINEE Deepak, SAPKOTA Balkrishna, SHRESTHA Manohar Lal, et al. Ground level ozone concentrations and its association with NOx and meteorological parameters in Kathmandu valley, Nepal [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(40):8081-8087.
- [19] BEI Naifang, XIAO Bo, MENG Ning, et al. Critical role of meteorological conditions in a persistent haze episode in the Guanzhong basin, China [J]. Science of The Total Environment, 2016, 550: 273-284.
- [20] 杨晓春, 杜萌萌, 吴其重, 等. 西安地区一次重污染过程的气象条件及轨迹分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(3):547-552.
- [21] 张雅斌, 林琳, 吴其重, 等. “13·12”西安重污染气象条件及影响因素[J]. 应用气象学报, 2016, 27(1):35-46.