

西安市夏、冬季大气能见度变化特征及影响因素

甘小凤^{1,2}, 曹军骥^{2,3}, 沈振兴⁴, 王启元⁴, 赵竹子²

(1. 西安交通大学环境科学与技术系, 西安 710049; 2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075; 3. 西安交通大学全球环境变化研究院, 西安 710049; 4. 西安交通大学环境工程系, 西安 710049)

摘要:利用 2009 年 7 月和 12 月的气象资料(风速、温度和相对湿度)、空气污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_x 和 O_3)和能见度的监测数据,探讨了西安市夏冬两个季节大气能见度变化特征及其影响因素。结果表明,西安夏季能见度平均值为 11.12 ± 5.78 km 变化范围在 2.99 ~ 26.99 km;冬季能见度明显低于夏季,其平均值为 8.31 ± 4.85 km,变化范围 2.56 ~ 18.08 km。夏季早晨 08 时能见度最低为 6.74 km,下午 18 时最高为 10.47 km,而冬季下午 14 时能见度最高为 8.10 km;凌晨 02 时最低为 5.13 km。能见度与气象要素及空气污染物的相关分析结果表明,夏季温度、风速和相对湿度对能见度的影响不大,而冬季风速和相对湿度对能见度影响较大(相关系数分别为 0.77 和 0.73)。夏、冬季能见度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_x 和 SO_2 均呈现较强的负相关,而 O_3 对能见度的影响相对较小。

关键词:大气能见度;气象要素;空气污染;相关性

中图分类号: X13, X51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)02-0395-06

Characteristic of atmospheric visibility and its effect factors at Xi'an in summer and winter

GAN Xiao-feng¹, CAO Jun-ji^{2,3}, SHEN Zhen-xing⁴, WANG Qi-yuan⁴, ZHAO Zhu-zi²

(1. Department of Environmental Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 3. Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
4. Department of Environmental Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The meteorological observation data (wind speed, temperature and relative humidity), air pollutants ($\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , NO_x and O_3) and the visibility of the monitoring data in July and December 2009 were obtained to investigate the characteristic of atmospheric visibility and its factors in Xi'an. The results showed that the visibility varied from 2.99 to 26.99 km with an average value of 11.12 ± 5.78 km in summer. The visibility of winter was ranged from 2.56 to 18.08 km with an average value of 8.31 ± 4.85 km, which was obviously lower than in summer. In summer, the lowest average visibility was 6.74 km at 8:00 am, while the highest average visibility was 10.47 km at 18:00 pm. In contrast, the lowest mean visibility was 5.12 km at 2:00 am in winter, and the highest mean visibility was 8.10 km at 14:00 pm. The correlation analysis showed that the temperature, wind speed and relative humidity had little correlation with visibility in summer, while the wind speed and relative humidity had good correlation with visibility in winter (the correlation coefficients were 0.77 and 0.73, respectively). In summer and winter, the visibility had a strong negative correlation with $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 and NO_x , however, O_3 had poor correlation with visibility.

Key words: atmospheric visibility; meteorological elements; air pollution; correlation

收稿日期: 2011-03-05

基金项目: 中国科学院西部之光联合学者项目(0929011018); 国家自然科学基金项目(40925009); 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室课题(SKLLQG0905)

通讯作者: 曹军骥, E-mail: cao@loess.llqg.ac.cn

大气能见度的变化可以反映大气浑浊度和空气污染状况,而影响能见度的主要因素是气象因子和空气污染因子。徐鹏炜等(2005)研究了杭州的能见度与颗粒物污染的关系,发现 $PM_{2.5}$ 对能见度的影响强于 PM_{10} ,不同的季节气象条件对能见度的影响是不同的。Baik et al(1996)认为细小颗粒物污染可导致烟雾日发生。林杨等(2007)分析表明能见度与空气污染物质量浓度呈负相关,污染物质量浓度对能见度的影响冬季最明显,秋季次之,夏季最差。张凯等(2008)研究表明污染气体浓度与能见度呈反相关关系,污染物浓度越高,能见度越低。

尽管国内外学者已经对多个城市的大气能见度做了相关分析,但由于各地气候条件、地形、人口数量、经济发展状况、机动车保有量、燃煤量等因素差异较大,因此探讨西安市大气能见度及其影响因素对于改善大气环境和维护公众健康具有积极的作用。

1 样品采集与分析

采样点则位于西安市($34^{\circ}16'N, 108^{\circ}54'E$)高新区中国科学院地球环境研究所楼顶,距离地面10 m周围没有明显的污染源,能较好的代表西安城市大气状况。

采样时间分别为2009年夏季7月1日至31日和冬季12月1日至24日。

1.1 大气能见度及气体污染物的监测

大气能见度使用 Aurora-1000 型浊度仪进行测量,根据 Koschmieder 的近似公式 $L_v = 3.912/\sigma_{sp}$ (σ_{sp} 为颗粒物的散射系数)来计算得到大气能见

度值。

NO_x 监测仪 (ML 9841B 型, 澳大利亚)、 SO_2 监测仪 (ML 9850B 型, 澳大利亚)、 O_3 监测仪 (ML 9810B 型, 澳大利亚) 实行 24 h 在线监测, 每 5 min 获得一个数据。

1.2 大气 $PM_{2.5}$ 样品的采集

使用配有 $2.5 \mu m$ 切割头的便携式微流量采样器 (Min-vol Sampler, Airmetrics, USA) 采集西安市大气中 $PM_{2.5}$ 样品, 采样器流量为 $5 L \cdot min^{-1}$, 采用直径为 47 mm 的石英滤膜。

1.3 气象资料来源

气象资料即相对湿度、风速和温度数据来源于 <http://www.wunderground.com>。

2 能见度变化特征

2.1 能见度的时间序列变化

图1反映出了西安市夏、冬季节大气能见度的时间序列变化图。从图中可以看到,夏季能见度的最大值为26.99 km,最小值为2.99 km,平均值为 11.12 ± 5.78 km;冬季能见度的最大值为18.08 km,最小值为2.56 km,平均值为 8.31 ± 4.85 km,表明西安市夏季能见度明显好于冬季。与冬季相比,夏季边界层内不易形成逆温层,混合层厚度明显大于冬季,大气垂直扩散加强,有利于空气中的气溶胶粒子在垂直方向的扩散和稀释(林杨等,2007)。此外,冬季为西安的采暖季,燃煤采暖导致污染明显高于夏季。另外,根据采样期间对气象数据统计可知,夏季降水明显高于冬季,可能是雨水对空气中的气溶胶粒子有冲刷作用,有利于大气能见度的提升,因此夏季平均能见度水平好于冬季。

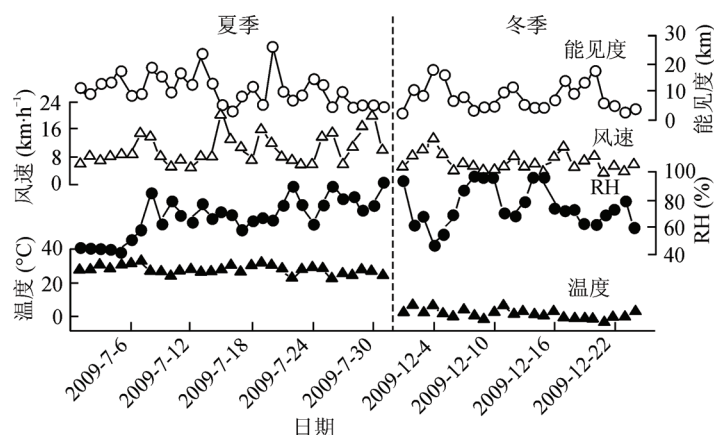


图1 西安市夏、冬季节气象条件与能见度的时间序列对比图

Fig. 1 Time-series comparison of visibility and meteorological factors at Xi'an in summer and winter

2.2 能见度的日变化

图2是夏、冬季能见度的日变化图。根据能见度测量资料日变化统计结果显示,夏季的日平均能见度明显高于冬季,其中,夏季早晨08时能见度最

低,为6.74 km,下午18时最高,为10.47 km;冬季中午14时能见度最高,为8.10 km,凌晨02时最低,为5.13 km。

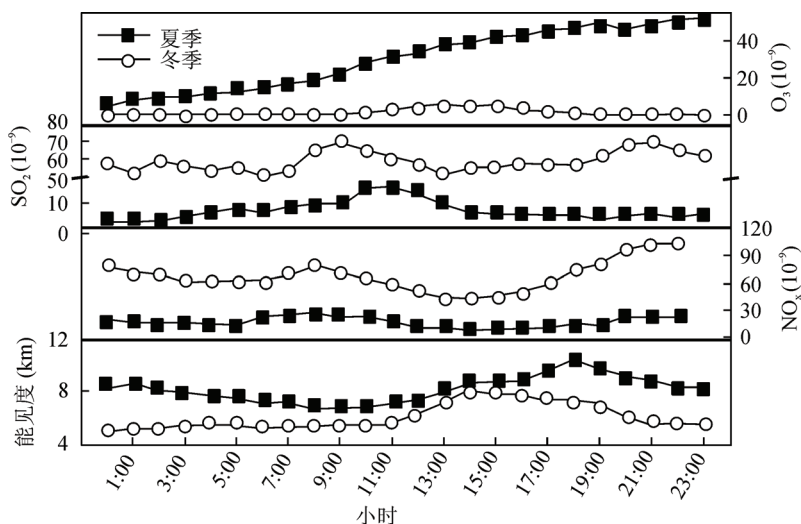


图2 西安市夏、冬季能见度及气体污染物日变化曲线

Fig. 2 Diurnal variations of visibility and gas pollutant at Xi'an in summer and winter

从图2中可以看到,夏季能见度变化主要分为四个阶段:第一个阶段为凌晨02时—08时,能见度从8.68 km逐渐降低至6.74 km。这主要是早晨由于炊事、交通等造成污染源排放量增大,加剧了空气污染程度,导致早晨能见度下降。第二个阶段为上午09时至18时,能见度从最低值逐渐上升至最大值。日出之后,太阳辐射加强,空气湿度相对减小,逆温逐渐被抬升而消失,大气垂直交换加强,风速增大,故空气污染物容易扩散,能见度相对较高。第三个阶段为晚间19时至22时,能见度开始有所下降,这可能是由于夜晚的到来使大气逐渐出现逆温层而造成污染物慢慢累积不易扩散,属于典型的辐射逆温。第四个阶段从22时至次日凌晨02时,这个阶段能见度趋于稳定,在8.5 km左右。

冬季能见度变化主要分为三个阶段:第一个阶段从上午11时至14时,能见度逐渐增大,其中日出后的2—3小时能见度上升最快,这是由于雾大多在这个时段内消散,故午后能见度最好;第二个阶段从15时至20时,能见度开始有所下降,这可能是由于辐射逆温造成;第三个阶段从21时至次日10时,夜间大气能见度下降缓慢,能见度趋于稳定。

其中, NO_x 和 SO_2 的变化曲线与能见度不一致,

冬季 NO_x 和 SO_2 浓度均高于夏季,而能见度则是冬季低于夏季。同一时间段内,夏、冬季能见度的变化趋势与 NO_x 和 SO_2 浓度变化刚好相反,当 NO_x 和 SO_2 浓度较高时,能见度较低;当 NO_x 和 SO_2 浓度较低时,能见度较高,而 O_3 浓度的变化趋势与能见度无关,说明 NO_x 和 SO_2 对能见度的影响较大。

能见度冬季比夏季低,主要原因有两个:一是冬季的大气层结相对比夏季稳定,污染物质更多地聚集在大气的低层,不易扩散;其次,西安市冬季为采暖期,比夏季消耗掉更多的煤、油等燃料,排放入空气层中的污染物质浓度比夏季高得多(刘和平等,2008)。

3 气象因素对大气能见度的影响

3.1 气象条件与大气能见度的时间序列对比

从气象条件与大气能见度的时间序列对比中可以得出(见图1),夏季温度的变化趋于平缓,其变化趋势反应出温度对能见度的影响不大,相对湿度和风速的日变化趋势与大气能见度的变化趋势也没有显示出很好的一致性,表明夏季的气象条件对能见度影响不大。冬季,能见度受温度的影响不大,而能见度与风速的日变化趋势一致,表明能见度与风速

呈正相关关系,而与相对湿度的日变化呈明显的反位相,表明能见度与相对湿度反相关,这是由于湿度增大容易吸附空气中悬浮的污染物,从而增大消光系数,造成能见度降低。

3.2 气象条件与大气能见度的相关性分析

通过大气能见度与气象条件的相关性分析,可知温度、相对湿度和风速与能见度呈线性相关,夏季温度、风速和相对湿度对能见度的影响不大,而风速与能见度的变化呈反比,这可能是由于扬尘或沙尘天气,风速大会使能见度变得更为恶劣(杨银娟和脱宇峰,2007);而冬季除温度对能见度影响较小外,风速和相对湿度对能见度的影响较大,其相关系数分别为 0.77($N=24, p<0.0001$)和 $-0.73(N=24, p<0.0001)$ (见表1),其中,风速与能见度呈明显的正相关,这是由于风速大,污染物稀释能力强,浓度降低,能见度较好。而相对湿度与能见度呈反相关,即随着相对湿度的增大,能见度呈下降趋势,这是因为空气中水汽较丰富时,容易发生凝结而生成大量的小液滴,从而降低能见度(刘和平等,2008)。此外,雾天的出现也会导致能见度降低。气象条件与大气能见度的相关性分析表明气象条件

对能见度的影响冬季大于夏季。

表1 大气能见度日平均值与气象要素的相关系数

季节	夏季	冬季
温度	0.20	0.11
相对湿度	-0.26	-0.73
风速	-0.35	0.77

4 空气污染物对能见度的影响

空气中漂浮的细小颗粒对光具有吸收和散射作用,颗粒物的增加会导致大气能见度的降低,因此能见度的变化与空气污染程度的变化密切相关(刘和平等,2008)。根据测得的2009年西安市夏冬两季大气能见度日平均值和空气污染物 $PM_{2.5}$ 、 NO_x 、 SO_2 、 O_3 的日平均浓度资料,进行大气能见度与各空气污染物的关系分析。

4.1 空气污染物与大气能见度时间序列变化

图3a和图3b为加强观测期间西安市夏、冬季污染物与能见度的序列变化。

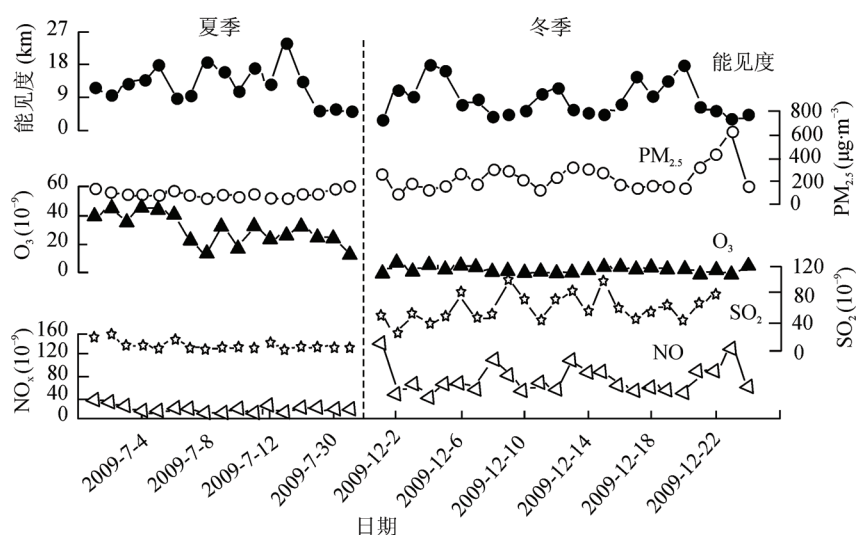


图3 西安市夏、冬季空气污染物与能见度的变化序列

Fig.3 Time-series comparison of visibility and atmospheric pollutant at Xi'an in summer and winter

从图3中可以看到, $PM_{2.5}$ 质量与能见度变化曲线呈相反趋势,当 $PM_{2.5}$ 质量浓度增大时,能见度降低;反之,能见度则增大。

夏季 O_3 浓度高于冬季,而 NO_x 、 SO_2 浓度则明显低于冬季。这主要是由于夏季温度较高,太阳辐射强烈,有利于 O_3 的形成,而冬季气温较低,不利于

O₃ 的形成,故 O₃ 浓度也较低,曲线变化不明显。同时,西安市冬季为采暖期,燃煤等增加导致 NO_x 和 SO₂ 浓度在冬季要高于夏季。SO₂ 对可见光的吸收和散射能力都很弱,其自身并不会影响能见度,但会通过一系列的光化学或非光化学反应转化成二次气溶胶硫酸盐粒子影响能见度(Tsai et al,2007)。NO_x 与能见度的变化曲线也呈相反趋势。一方面 NO_x 中 NO₂ 吸收蓝光,使光线呈棕黄色即光化学烟雾,从而影响能见度,另一方面它能促进微小粒子的生成,微小粒子散射光线影响能见度(刘和平等,2008)。故 NO_x 对能见度的影响高于 SO₂ 和 O₃。

4.2 空气污染物与大气能见度的相关性分析

Sisler and Malm(1994)研究表明,由于可见光的波长正好在 PM_{2.5} 的粒径范围内,因此 PM_{2.5} 与能见度的关系尤为显著,说明 PM_{2.5} 对大气能见度的影响较大。本文对夏冬季日平均能见度与空气污染物的相关性进行分析,结果表明,能见度随 PM_{2.5} 质量浓度的增大而减小。其中,冬季能见度与 PM_{2.5} 呈指数相关,相关性比夏季显著,相关系数达到了 0.64 (N=24),而夏季能见度与 PM_{2.5} 呈线性相关,相关系数为 0.50 (N=24, $p=0.009$) (见表2)。

表2 大气能见度日平均值与污染物的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between visibility and air pollutants		
季节	夏季	冬季
PM _{2.5}	0.50	0.64
NO _x	0.77	0.80
SO ₂	0.57	0.54
O ₃	0.16	0.42

通过对空气污染物与大气能见度的相关性分析可知,NO_x 和 SO₂ 对能见度的影响在夏、冬两个季节均呈现指数相关,而 O₃ 的影响在夏、冬两个季节均呈线性相关。其中,NO_x 对能见度的相关性最为显著,相关性系数在夏、冬季分别达到了 0.77 (N=17) 和 0.80 (N=24);其次是 SO₂,相关性系数在夏、冬季分别达到了 0.57 (N=17) 和 0.54 (N=24),而 O₃ 的相关性在夏季不明显,冬季相关系数为 0.42 (N=24, $p=0.043$)。总体来说,气体污染物对能见度的

影响,冬季明显高于夏季,而 NO_x 与能见度的相关性明显高于 SO₂ 和 O₃。所以改善西安大气能见度,应该优先控制 NO_x 的排放。

4.3 西安市夏、冬季能见度与部分城市的对比

西安市及其他城市的能见度见表3。通过几个城市的比较发现,09年西安市夏季平均能见度为 11.12 km,处于中游水平,略高于重庆市和高雄,比北京市和济南要小得多,与杭州市相差不大。虽然西安市冬季的能见度水平高于其他几个城市,但比济南小得多。可见,西安市的大气能见度有待进一步提高。

表3 西安市与其他城市夏、冬季平均能见度对比

Table 3 Time-series comparison of visibility and atmospheric pollutant at Xi'an in summer and winter				
城市	夏季(km)	冬季(km)	年份	参考文献
西安市	11.12	8.31	2009	本研究
重庆市	7.1	3.8	2007	(周志恩等,2009)
济南	14	16	2004.11—2005.9	(宋宇等,2003)
杭州市	11.9	5.8	2001	(徐鹏伟等,2005)
北京市	13.28	4.77	1999—2000	(Yang et al,2007)
Kaohsiung	9.1	3.4	1998—2001	(Yuan et al,2006)

5 结论

(1)夏季能见度的最大值为 26.99 km,最小值为 2.99 km,平均值为 11.12 ± 5.78 km;冬季能见度的最大值为 18.08 km,最小值为 2.56 km,平均值为 8.31 ± 4.85 km,表明西安市夏季能见度水平明显高于冬季。并且,夏季早晨 08 时能见度最低,为 6.74 km;下午 18 时最高,为 10.47 km;冬季中午 14 时能见度最高,为 8.1 km;凌晨 02 时最低,为 5.13 km。

(2)夏、冬季温度对能见度的影响不大,夏季风速和相对湿度与能见度相关性较差,而冬季风速和相对湿度与能见度相关性较高,其相关系数分别为 0.77 (N=24, $p<0.0001$) 和 0.73 (N=24, $p<0.0001$),说明气象条件对能见度的影响冬季高于夏季。

(3)冬季能见度与 PM_{2.5} 相关性比夏季显著,相关系数为 0.64 (N=24),而夏季能见度与 PM_{2.5} 的相关系数为 -0.50 (N=24, $p=0.009$)。

(4)气体污染物对能见度的影响,冬季明显高

于夏季,而 NO_x 与能见度的相关性明显高于 SO_2 和 O_3 ,说明所研究的气体污染中, NO_x 对能见度的影响最大,应该优先控制 NO_x 的排放。

参考文献

- 林 杨,胡 琳,邓小丽,等. 2007. 西安市大气能见度变化规律及与空气污染关系[J]. 陕西气象, (6): 29-31.
- 刘和平,代佩玲,张青珍,等. 2008. 郑州市大气能见度变化特征及与空气污染的关系[J]. 气象与环境科学, 31(4): 44-46.
- 宋 宇,唐孝炎,张远航,等. 2003. 北京市大气能见度规律及下降原因[J]. 环境科学研究, 16(2): 10-12.
- 徐鹏伟,谭湘萍,蔡菊珍,等. 2005. 杭州城市大气消光系数和能见度的影响因子研究[J]. 环境污染和防治, 27(6): 410-413.
- 杨银娟,脱宇峰. 2007. 济源水平能见度变化特征及气象影响因子分析[J]. 气象与环境科学, 30(增刊): 16-18.
- 张 凯,柴发合,陈义珍,等. 2008. 天津武清能见度特征分析[J]. 气候与环境研究, 13(6): 800-806.
- 周志恩,杨三明,张 丹,等. 2009. 重庆市主城区 PM_{10} 与能见度相关性研究[J]. 环境监测管理与技术, 21(3): 65-68.
- Baik N, Kim Y P, Moon K C. 1996. Visibility study in Seoul. 1993[J]. *Atmospheric Environmental*, 30: 2319-2328.
- Sisler J F, Malm W C. 1994. The relative importance of soluble aerosols to spatial and seasonal trends of impaired visibility in the united states[J]. *Atmospheric Environment*, 28(5): 851-862.
- Tsai Y I, Kuo S-C, Lee W-J, et al. 2007. Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two Rural areas of Taiwan[J]. *Science of the Total Environment*, 382: 324-341.
- Yang L X, Wang D C, Cheng S H, et al. 2007. Influence of meteorological conditions and particulate matter on visual range impairment in Jinan, China[J]. *Science of the Total Environment*, 383: 164-173.
- Yuan C S, Lee C G, Liu S H, et al. 2006. Correlation of atmospheric visibility with chemical composition of Kaohsiung aerosols [J]. *Atmospheric Research*, 82: 663 - 679.