

PWD22 能见度仪监测上海市水平能见度的试验研究

李亚娟, 束炯

(华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 利用 PWD22 能见度仪监测数据, 分析了上海市 2008 年—2009 年能见度日变化规律和四季逐日变化特征, 以及能见度和混合层高度 (MLH, Mixed Layer Height)、空气污染指数 (API) 及气象要素 (相对湿度、风速、温度) 的相关性。结果表明, 能见度一峰一谷日变化特征明显, 峰值出现在 14:00~16:00, 谷值出现在 6:00~8:00。能见度与 MLH 相关性显著, 与温度最差。能见度和气溶胶光学厚度 (AOT) 线性拟合呈负相关关系, 且夏季相关性最显著, 冬季最差。

关键词: 能见度; 混合层高度; 气溶胶光学厚度; 空气污染指数; 上海市

中图分类号: X851 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2010)02-0024-05

Study of Horizontal Visibility in Shanghai by PWD22

LI Ya-juan, SHU Jiong

(Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education Shanghai 200062, China)

Abstract: Using visibility data from Vaisala Present Weather Detector (PWD22), diurnal and seasonal variation of visibility in Shanghai were analyzed, as well as relationship between visibility and MLH, API and major meteorological factors such as relative humidity, wind speed and temperature. Results indicated that diurnal variation of visibility was obvious, which showing a peak from 14:00 to 16:00 and a valley from 6:00 to 8:00. There was significant correlation between visibility and MLH and the worst with temperature. It showed a negative correlation between visibility and aerosol optical thickness (AOT) by correlation analysis and linear fitting, which is the most significant in summer and the worst in winter.

Key words: Visibility; Mixed layer height; Aerosol optical thickness; API; Shanghai

能见度是气象观测的常规项目,反映了大气的混浊程度,其好坏与空气中气溶胶含量有关,并且会受到天气系统、风、湿度等气象要素的影响。上海市为未来环境空气质量监测能力建设制定了中长期规划(2015年—2020年)^[1]。但是,仍存在一些亟待解决的问题,如城市能见度的降低就是其中之一^[2-4]。

气象台站对能见度的观测以目视估计为主,而人工目测常会因经验、解释能力、光源特性及透射因素等差别得出不同结果^[5],其规范性、客观性相对较差。能见度的仪器测量(器测)可以实时在线观测,数据比较客观。器测能见度会成为未来能见度观测的手段。

国外对大气能见度的研究很重视,美国、英国、韩国等国家在不同时段都开展过大气能见度的观

测研究^[6-8],中国各城市也做过不少类似研究。段玉森等^[4]用4年逐时能见度资料建立了上海市大气能见度等级和指标体系,将“造成能见度降低的主要因子”引入了指标体系。孙娟等^[9]用MODIS气溶胶产品反演上海地区的区域能见度分布,认为冬春季平均能见度较差。应用MODIS卫星资料反演能见度不失为一种较先进的方法,但是数据往往因受各种因素的影响而使其时间上不连续。而能见度仪的在线实时监测恰恰能弥补不足。

利用芬兰 Vaisala 公司的 PWD22 能见度仪观测的资料对上海市能见度变化规律进行了初步的实验研究,并且分析了其与气象要素、MLH、AOT

收稿日期: 2009-10-21; 修订日期: 2009-12-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40671176)

作者简介: 李亚娟(1985—),女,陕西蒲城人,硕士生,从事城市气候与大气环境研究。

的相关性,为上海地区改善空气环境决策提供基础数据和科学依据。

1 实验方法

1.1 观测点位

观测点位设在上海市普陀区华东师范大学地理馆四楼室外平台(31°14'N, 121°24'E),距离地面约 12 m。采样点周围基本无高层建筑物遮挡,能见度的监测数据在一定程度上能够反映上海城市区域能见度的平均水平。

1.2 数据采集

利用 PWD22 能见度仪在线观测大气能见度,时间间隔为 1 min,观测时段为 2008 年 6 月—2009 年 5 月,分析数据选用的是 2008 年 7 月和 10 月、2009 年 1 月和 4 月分别作为夏季、秋季、冬季、春季的代表数据。利用 Vaisala 公司的 CL31 型激光云高仪同步观测大气边界层,计算 MLH,数据时间间隔为 15 s。API 数据来自上海市环境监测中心网站提供的 3 个项目指标,可吸入颗粒物、NO₂ 和 SO₂,分析使用的指标项是可吸入颗粒物。使用美国 Solar Light 公司生产的 Microtops 型太阳光度计获取 AOT(无量纲)数据^[10]。气象要素数据(风速、温度、相对湿度)参照虹桥机场网站数据,因为虹桥机场与华东师范大学的直线距离约 7 km,气象要素数据在一定程度上具有一致性,理论上可以用于分析。

2 PWD22 能见度仪简介

PWD22 能见度仪也称为现时天气现象传感器,其特点是可以精准测量能见度,仪器高度集成,重量轻且易于安装。PWD22 能见度仪采用前散射测量原理,光学系统结构见图 1。

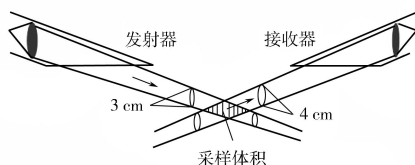


图 1 现时天气现象传感器光学系统

Fig 1 PWD22 optical system

PWD22 不仅可以测量水平能见度,并且能识别影响能见度的天气类型,如雾、轻雾、霾等,还可

以探测 7 种不同的降水类型,如雨、冻雨、毛毛雨、冻毛毛雨、雨夹雪、雪、冰雹。

发射器发出的 875 nm 近红外光照射到采样体,经过采样体内的大气粒子散射,位于发射器和接收器同一平面的固定散射角为 45° 的散射光束照射到光电探测器上,进而测量到散射光的强度。得到的光学信号被转化为频率的形式,经过校准的转换方程将不同的频率值计算为气象光学视程(MOR)。瞬时能见度值经过平均后得到 1 min 间隔的最终输出结果。

3 数据分析

3.1 能见度日变化特征

为了研究不同季节的能见度日变化特征,将 12 月—次年 2 月定为冬季,3 月—5 月定为春季,6 月—8 月定为夏季,9 月—11 月定为秋季,并选取每个季节的中间一个月即 2008 年 7 月、2008 年 10 月、2009 年 1 月、2009 年 4 月分别作为夏季、秋季、冬季、春季的代表月,代表月的能见度小时平均值日变化趋势见图 2。

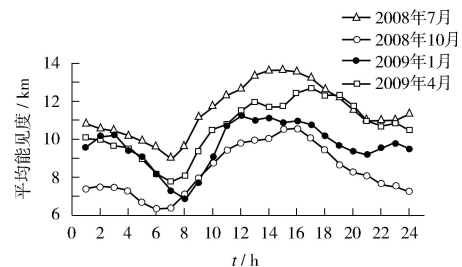


图 2 2008 年的 7 月和 10 月、2009 年的 1 月和 4 月小时平均能见度日变化

Fig 2 Diurnal change of average hour visibility in July, October 2008 and in January, April 2009

四季能见度日变化总体趋势非常明显,表现为“一峰一谷”。4 个季节的能见度日变化差异显著,夏季能见度最好,春季次之,冬季再次,秋季最差。夏季的小时平均能见度最大值为 13.6 km,最小值 9 km,而秋季的最大值与夏季相差约 3 km,最小值不足 6.5 km。

能见度日变化总体趋势是:从夜晚到清晨,能见度越来越低,6:00~8:00 为最差,之后逐渐转好,直到 14:00~16:00 达到一日内峰值,接着又逐渐降低,依此循环。由边界层气象学知识可知,日

出前,湍流弱,MLH 降到最低。日出后,地面接收来自太阳的热量使得暖空气热泡上升,湍流混合层逐渐加厚,由此产生的湍流有助于热量、湿度和动量在垂直方向上均匀混合。空气中的污染物部分进入暖热泡上升,近地层的污染物浓度稀释,使近地层水平能见度转好,直到下午湍流最强混合层发展至最高时能见度最好。随后逆向变化。

3.2 四季日平均能见度逐日变化

2008 年 7 月和 10 月、2009 年 1 月和 4 月日平均能见度、气象要素(相对湿度、风速 v 、温度 t)、MLH 及 API 逐日变化见图 3 (a) (b) (c) (d) 分别为 2008 年 7 月和 10 月,2009 年 1 月和 4 月的特征曲线。

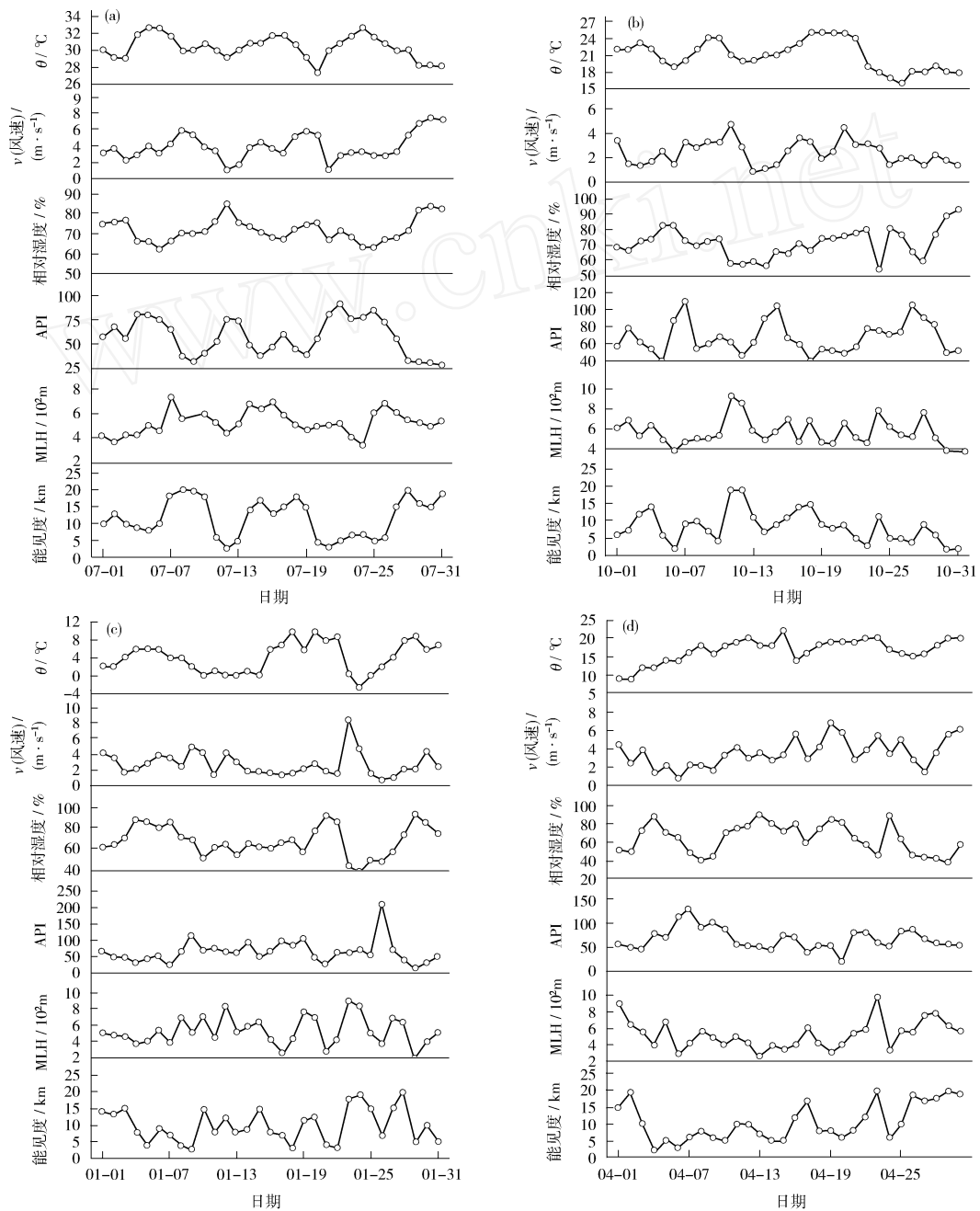


图 3 2008 年 7 月和 10 月、2009 年 1 月和 4 月日平均能见度、气象要素、MLH、API 逐日变化

Fig 3 Daily change of average visibility, meteorological elements, MLH, API in July, October 2008 and in January, April 2009.

2008 年 7 月,能见度日均值为 (11.8 ± 5.6) km,变化范围为 3.1 km ~ 20 km。2008 年 10 月能见度日均值为 (8.4 ± 4.6) km,变化范围为 1.7 km ~ 19.3 km。2009 年 1 月,能见度日均值为 (9.8 ± 5.0) km,变化范围为 2.7 km ~ 19.1 km,4 月日均值为 (10.6 ± 5.8) km,变化范围为 1.8 km ~ 20.0 km。能见度由大到小的季节排序是:夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季。

能见度大小和 MLH 关系密切。污染气象学定义混合层为,湍流特征不连续界面以下湍流较充分发展的大气层,其厚度为 MLH,它表征了污染物在垂直方向被热力湍流稀释的范围。文中 MLH 是由 CL31 云高仪监测的垂直方向大气后向散射数据反演得到。2008 年 7 月 MLH 的日均值为 (526 ± 97) m,10 月略高于 7 月,为 (564 ± 139) m,2009 年 1 月、4 月和 2008 年 7 月相差不多,分别为 (524 ± 174) m 和 (518 ± 176) m。4 个月的 MLH 的平均值基本处在同一水平,不能明显反映 MLH 对能见度的细部影响。但是从各要素的逐日变化图可见,能见度和 MLH 的变化趋势基本一致。MLH 升高,垂直扩散加强,能见度变好,反之能见度降低。四季的能见度和 MLH 之关系均满足这一变化特征。

API 是一种反映和评价空气质量的数量尺度方法,很多学者作过这方面的探讨,向敏等^[11]的研究显示一年四季中夏季 API 最小,现结果表明夏季能见度最好,反映了 API 与能见度存在密切的关系。

由图 3 可知,能见度变化趋势和 API 变化趋势相反,即 API 越高,能见度越低,表明粒径 $< 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物的光散射作用对能见度的影响大。存在某些特殊例子,API 升高,能见度反而增加。例如 2008 年 10 月的 6 日和 7 日都是晴天,6 日平均能见度仅 1.7 km,7 日上升到 8.7 km,能见度显著转好。而 API 由 6 日的 85(良)上升到 7 日的 109(轻微污染),说明 API 的上升并不能预示着能见度的变差,可能有其他因素的影响。7 日的平均风速较 6 日明显增大,较大的风有利于污染物的迅速扩散,从而使得能见度变好。

在试验监测过程中,降水对于能见度的影响也不可忽视,降水会使能见度迅速降低,同时雨水的冲刷作用又能净化大气,使 API 减小,雨过天晴,能见度会变好。可见,能见度的大小是受多种因素综合作用的结果。

能见度和相对湿度的变化趋势表现得不明显。温度对能见度的影响较小。由此,可得出能见度与气象要素的一般规律,即 MLH 越高,API 越小,风速越大,能见度就较好;反之,能见度较差。

3.3 能见度与 MLH、API 气象要素的相关分析

利用 4 个月的观测数据,对能见度、MLH、API 及主要气象因子进行相关性分析,结果见表 1。

表 1 四季能见度与 MLH、API 气象要素的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of visibility with MLH, meteorological elements in four seasons

| 季节 | 夏 | 秋 | 冬 | 春 | 4 个月总体 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MLH | 0.363* | 0.709** | 0.631** | 0.717** | 0.571** |
| API | -0.801** | -0.274 | -0.101 | -0.273 | -0.325** |
| 相对湿度 | 0.104 | -0.651** | -0.569** | -0.648** | -0.473** |
| 风速 | 0.694* | 0.358* | 0.323 | 0.318 | 0.481** |
| 温度 | -0.101 | 0.325 | -0.496** | -0.044 | 0.057 |

* 表示 = 0.05 水平,相关性显著(双侧检验); ** 表示 = 0.01 水平,相关性极显著(双侧检验)。

由表 1 可知,能见度与 MLH 呈显著正相关。并且在四季中春季的相关系数最高,其次为秋季。能见度与 API 的相关系数在夏季呈显著负相关,相关系数为 -0.801,说明夏季能见度好坏受大气中颗粒物浓度影响显著。而其他季节表现不显著,显然影响能见度的下降还有其他的因素,所以造成能见度与 API 在夏季相关性高而其他季节低的详细原因,还需要更为深入的研究。

与风速的相关性也是夏季最好。与相对湿度的相关性秋季最好,且为负相关,相关系数为 -0.651。将选取的 4 个月作为一个整体,与各要素进行相关分析,得到能见度与 MLH 的相关性最好,其次是风速,说明在污染物稀释方面对于能见度的贡献。最差的是温度,两者相关性较弱。

3.4 能见度与 AOT 的相关性分析

AOT 反映了大气中气溶胶对太阳直接辐射削弱能力的大小。研究中选用美国 Solar Light 公司生产的 Microtops 型太阳光度计来测量 AOT, AOT 的计算原理可见文献[12]。试验采用的太阳光度计包括 340 nm, 500 nm, 675 nm, 870 nm, 1020 nm 5 个波段。观测时间为 10:30,每次观测 5 个值,然后取平均作为此时此刻的观测值。为了研究对应时刻能见度与 AOT 的关系,将 10:00 ~ 11:00 的每分钟能见度作平均来与其对比。选择

500 nm 通道的 AOT 与平均能见度作相关分析和线性拟合, 见图 4。图 4 (a) (b) (c) (d) 分别为 2008 年 7 月和 10 月, 2009 年 1 月和 4 月 AOT 和能见度的关系。

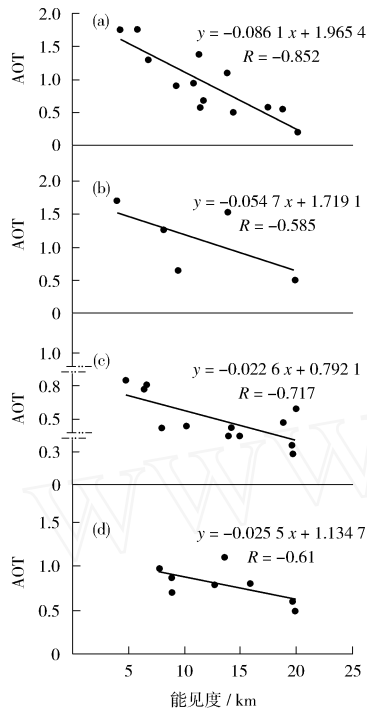


图 4 2008 年 7 月和 10 月、2009 年 1 月和 4 月晴天 10:30 平均能见度与 AOT 相关关系

Fig 4 Relation of average visibility and AOT at 10:30 in July, October 2008 and in January, April 2009

2008 年 7 月能见度与 AOT 的相关系数达到 -0.852, 在 $\alpha = 0.01$ 水平上相关性极显著 (双侧检验)。2008 年 10 月两者相关系数为 -0.585, 在 4 个月中为最差。AOT 观测实验受天气的影响, 2008 年 10 月只有 5 个样本, 所以, 样本数的差异也影响到相关系数的大小。2009 年 1 月, 能见度和 AOT 的相关性次于夏季, 相关系数为 -0.717, 同样在 $\alpha = 0.01$ 水平上相关性极显著 (双侧检验)。2009 年 4 月略差于 2009 年 1 月, 为 -0.61。总体能见度与 AOT 的相关性夏季最好, 且各季节都呈负相关, 表明 AOT 与能见度好坏关系密切。能见度低时, 低层气溶胶粒子较多, 消光系数较大, AOT 也较大; 反之能见度高时, AOT 较小, 并且夏季 AOT 受低层气溶胶粒子浓度的影响更为显著, 所以二者的相关性最高。鉴于样本量的多寡和不一致性, 还需要积累更多的数据作进一步研究。

4 结论

(1) 能见度的日变化趋势明显, 有一峰一谷。峰值出现在 14:00 ~ 16:00, 谷值出现在 6:00 ~ 8:00。夏季的小时平均能见度最大值为 13.6 km, 最小值 9 km, 而秋季的最大值与夏季相差约 3 km, 最小值 < 6.5 km。

(2) 上海四季能见度由大到小依次: 夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季。

(3) MLH 升高, 能见度变好, 反之能见度降低; 风速对能见度的影响较显著, 风速越大, 能见度越好; 相对湿度和 API 与能见度存在一定的相关性, 一般情况下, API 升高会导致能见度变小; 温度对能见度影响较小。

(4) 能见度与晴天 AOT 的数据做相关检验, 结果表明夏季相关系数最显著, 其次为冬季, 春秋略次, 且呈负相关关系。同时, 由于样本数据的欠缺, 能见度和 AOT 的关系还需进一步分析。

【参考文献】

- [1] 徐捷, 段玉森. 上海市环境空气质量监测体系规划设计 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 5 - 7.
- [2] 束炯, 李莉. 大气污染对城市能见度影响研究的理论与实践 [J]. 上海环境科学, 2003, 22(11): 785 - 789.
- [3] 陈明华, 潘汉生. 上海市环境空气质量改善措施研究 [J]. 上海建设科技, 2006, 22(3): 31 - 33.
- [4] 段玉森, 束炯. 上海市大气能见度指数指标体系的研究 [J]. 中国环境科学, 2005, 25(4): 460 - 464.
- [5] 濮江平, 胡宗刚. 能见度自动观测系统性能对比及分析 [J]. 气象科学, 2002, 22(1): 60 - 71.
- [6] SIKLER J F, MALM W C. Interpretation of trends of $PM_{2.5}$ and reconstructed visibility from the MPROVE network [J]. Air Waste Manag Assoc, 2000, 50: 775 - 789.
- [7] DOYLE M, STEPHEN D. Visibility trends in the UK 1950 - 1997 [J]. Atmos Environ, 2002, 36: 3161 - 3172.
- [8] KM KW. Physico-chemical characteristics of visibility impairment by airborne pollen in an urban area [J]. Atmos Environ, 2007, 41: 3565 - 3576.
- [9] 孙娟, 束炯. 上海地区气溶胶特征及 MODIS 气溶胶产品在能见度中的应用 [J]. 环境污染与防治, 2007, 28(2): 127 - 131.
- [10] USER'S GUIDE Microtops sunphotometer version 5.5 [M]. Pennsylvania: Solar Light Company, Inc., 2003.
- [11] 向敏, 韩永翔. 2007 年我国城市大气污染时空分布特征 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 33 - 36.
- [12] 毕雪岩, 吴兑. Microtops 型太阳光度计的使用、计算及定标 [J]. 气象科技, 2007, 35(4): 584 - 588.