

文章编号: 1004-4965 (2005) 04-0420-07

厦门能见度的准周期性变化

王 鑫^{1,2}, 黄 菲¹, 周发琇¹, 李 岩³

(1. 中国海洋大学海洋环境学院, 山东 青岛 266003; 2. 中科院大气物理研究所大气科学
和地球流体力学数值模拟国家重点实验室/中国科学院研究生院, 北京 100029;
3. 民航福州空管站气象服务室, 福建 福州 350026)

摘 要: 利用厦门机场 2000~2002 三年白天 (08~20 时) 逐时能见度及相应的相对湿度、风资料, 通过统计方法和小波分析, 发现厦门能见度有显著的日变化、季节变化、季节内和准两周等不同尺度的变化, 并且分析了这几种变化的基本特征。在每天有记录的时刻 08~20 时, 能见度日变化明显, 在清晨、傍晚最低, 午后最高; 能见度存在季节变化, 在一年中 3~5 月能见度最低, 这正对应着厦门的雾季, 厦门地区的能见度与当地的雾关系密切; 能见度还存在显著的季节内 (30~60 d) 变化和准双周 (10~20 d) 变化, 这与东亚季风区内的大气振荡有关。

关 键 词: 能见度; 厦门; 准周期变化

中图分类号: P427.2

文献标识码: A

1 引 言

大气能见度是影响海、陆、空交通运输的重要因素, 而低能见度的出现不但影响交通运输的正常进行, 还具有极大的危险性, 在沿海地区, 海雾等引发的低能见度的出现, 是诱发航海、航空重大交通事故的主要气象因素, 它给人们的工作、生活带来极大不便。

早在 1970 年代, Marvin E. Miller et al^[1]认为气象变量 (风向, 风速, 相对湿度) 并不能解释能见度的变化。而 P. Stuart Naegele et al^[2]通过研究却得到与其不同的结果, 他们分析了美国西部和西南部 18 个城市的机场能见度资料, 提出了影响能见度的 4 个因素: 硫酸盐、人口增长、测量标准和某些天气形势 (高压, 逆温, 静风降低能见度)。在国内, 随着城市的迅速发展, 城市中的能见度的变化及其影响因素越来越受到关注。张军^[3]研究了佛山的能见度, 发现在近三十年呈恶化趋势; 能见度与相对湿度关系不大, 但却与地面风向有明显的关系。王继志等^[4]研究了北京及其近郊能见度和雾的特征及其演变, 发现北京能见度的变化存在显著的季节性差异, 并指出北京夏季能见度的降低主要由雾引起。王淑英等^[5]、赵习方等^[6]分别研究了北京能见度的日、季节变化, 都认为清晨能见度最低, 秋季是

收稿日期: 2004-04-07; 修订日期: 2004-09-28

基金项目: 863 青年基金 (2002AA639500); 海洋 863 计划 (2001AA633040) 共同资助

作者简介: 王 鑫 (1979-), 男, 山东淄博人, 博士研究生, 从事气候研究。E-mail: wangxin@mail.iap.ac.cn

低能见度的高发期。

厦门位于台湾海峡的西北端，具有重要的战略地位，对其能见度的研究在航海、航空和军事上都有重要意义。本文分析了厦门机场近 3 年（2000~2002 年）能见度观测资料的不同时间尺度的变化，这为提高能见度的预报提供了依据。

2 资料与方法

本文所用的厦门机场气象能见度资料是 MITRAS 大气透射计的自动观测数据，始于 2000 年 1 月 1 日，止于 2002 年 12 月 31 日，北京时 08~20 时逐时记录。

除了研究日变化外，其它分析均对于每天 08 时数据。在分析季节内变化和准两周变化时采用了功率谱分析和小波分析的方法。小波分析^[7]是傅立叶分析方法的突破，它既保持了传统傅立叶变换的优点，又弥补了某些不足，它不仅给出气候变化的周期，还可以显示出变化的时间位置，即能够给出变量在时域和频域上的详细的结构分布；此外，本文还利用小波进行滤波。本文采用 Morlet 小波作为基波。

3 分析结果

3.1 能见度的日变化

福建东南沿海，冬春季经常受到海雾的影响，苏鸿明^[8]曾指出台湾海峡无论何种类型的雾总是在清晨出现最多，14~15 时出现最少。雾直接影响能见度，从以下分析可见厦门能见度的日变化与雾有密切关系。

图 1 是能见度（visibility）、相对湿度（rh）和温度（temp）3 年平均日变化。在观测时段内（08~

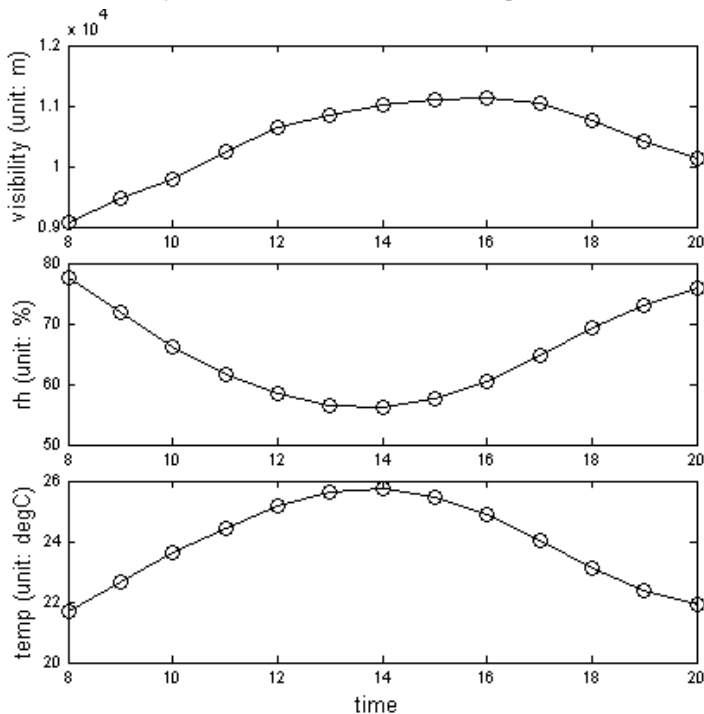


图 1 2000~2002 年 3 年平均能见度（visibility）、相对湿度（rh）、温度（temp）日变化

20 时), 能见度在早晨最低, 08 时仅有 9 km, 以后逐渐增加, 在 15、16 时达到最高 11 km, 以后又逐渐降低, 在 20 时能见度达到次低值 9.5 km, 略好于 08 时。温度的变化与能见度的变化相近, 二者显著相关。在观测时段内, 08 时温度最低, 以后逐渐上升, 在午后 (14 时) 达到最高, 然后逐渐减小, 在 20 时达到次低值, 这说明由于地面气温高导致垂直对流加强, 利于雾的消散和污染物的扩散, 从而使得能见度转好。值得指出的是最高能见度并不是出现在温度最高的时刻, 而是比其晚 2 个小时左右。相对湿度的变化与能见度呈负相关, 当能见度最差时 (08 时), 相对湿度最大, 达到 78%, 此后相对湿度逐渐减小, 直到午后 (14 时), 降到最低值 56%, 以后又开始上升, 在 20 时达到了次高值 (76%)。由此可见, 低能见度出现在清晨, 此时大气低温、潮湿, 利于成雾。虽然能见度存在日变化, 但总体而言, 厦门能见度良好, 平均在 10 km 左右。

3.2 季节变化

雾对厦门能见度的影响, 不仅表现在日变化上, 也体现在季节变化上。图 2 给出能见度、相对湿度和温度平均的逐月变化。3 年平均不能得到稳定的平均状态, 但仍能看到厦门能见度的季节变化。3、4、5 月份, 厦门的能见度最恶劣, 这正是厦门雾季^[8], 这说明雾直接影响能见度的季节变化。这 3 个月, 为华南前汛期, 相对湿度较高, 约 80% 左右, 温度在 15~25℃ 之间, 因处在冬夏季风高度时期, 天气变化频繁, 水汽充沛, 空气中的污染物与高湿的空气相结合, 从而影响大气的透明度, 造成能见度降低。

能见度季节变化 (图 2) 中, 6 月能见度突然增大, 这与大气环流的“六月突变”相一致, 说明厦门能见度的气候变化特征受大气环流的影响较大。在 6~9 月, 随着副高脊线的北跳和东亚夏季风的爆发, 尽管气温升高, 水汽丰富, 但华南被副高控制, 以下沉运动为主, 水汽很难凝结, 能见度明显转好。12、1、2 月能见度为次低值, 此时相对湿度较高, 尤其是在 1、2 月份, 月平均相对湿度最高, 气温最低, 说明此时相对湿度大主要是因为温度过低而非水汽充沛, 此时能见度的降低是冬季风期间天气现象比较频繁的缘故。

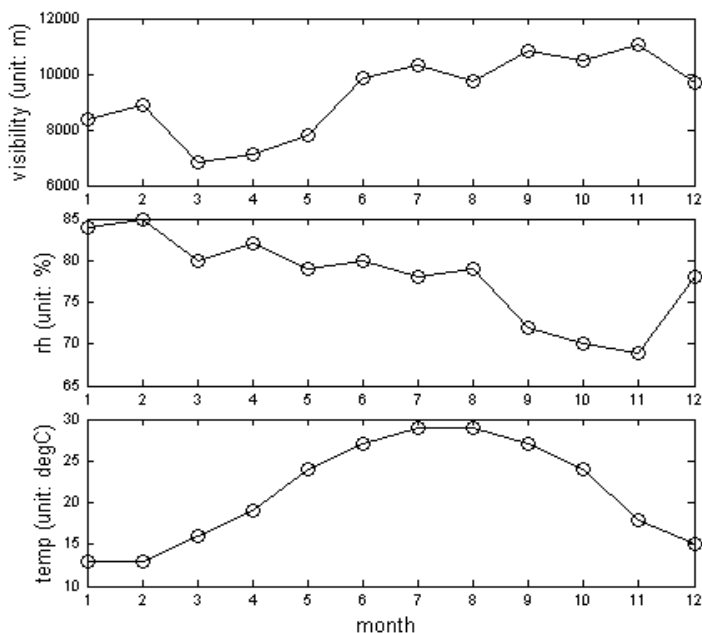


图 2 2000~2002 年 3 年月平均能见度的季节变化

总之, 厦门能见度有明显的季节变化。能见度与雾有很大的关系, 雾季能见度最低, 同时受天气系统的影响。

3.3 季节内变化和准双周变化

为了进一步研究厦门能见度可能存在的其他周期性变化, 先用谐波分析的方法剔除 2000~2002 年逐日 08 时能见度时间序列的低频变化 (周期大于半年), 然后进行功率谱分析和小波分析。

功率谱分析的结果 (图 3) 表明, 能见度存在明显的周期性变化, 主要周期为天气尺度 (3~7 d)、准两周 (10~20 d) 和季节内 (30~60 d) 周期变化, 小波分析也得到同样的结果 (图 4b), 这 3 种振荡在总体小波谱 (图 4c) 上也通过检验。此外小波能量谱 (图 4b) 还给出了能见度在时域-频域上的分布: 一周左右的振荡主要发生在每年的冬末春初, 准两周振荡主要出现在冬季, 发生在 2001 年初和 2002 年末; 季节内振荡冬夏季都出现, 主要发生在 2000 年 7 月~2001 年 4 月, 2001 年 9 月~2001 年 12 月, 2002 年 7 月~2002 年 9 月。图 4d 是用小波分析计算的 3~10 d 振荡的带通滤波 (虚线是 95% 信度检验线), 它表明在这 3 年中, 3~10 d 的振荡都不是很明显, 只在 2000 年 3、4 月和 2001 年的 1~3 月通过检验, 这可能是由于在冬季风期间时间较短、较强天气变化造成的。以下重点讨论准两周 (10~20 d) 和季节内 (30~60 d) 尺度的变化特征。

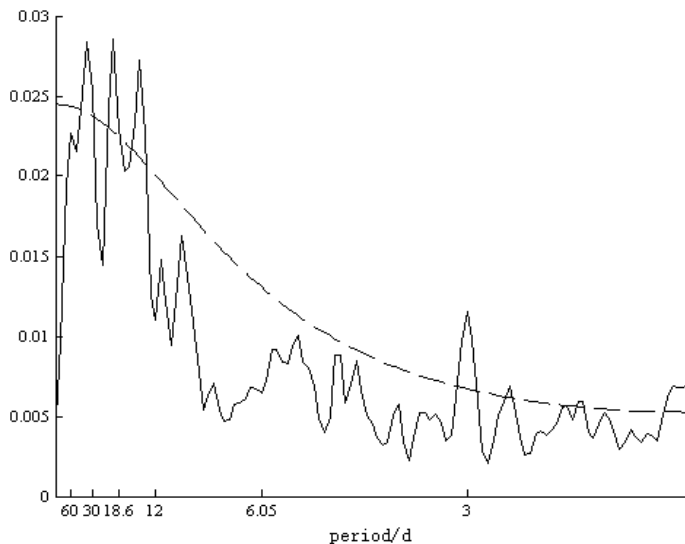


图 3 利用能见度的带通滤波 (2~156 d) 时间序列做功率谱分析

为了能够进一步分析季节内振荡和准两周振荡的变化特征, 利用小波分析作滤波分别得到 30~60 d、10~20 d 的带通滤波 (图 5、图 6)。从图 5 中发现: 在 2001 年末至 2002 年初, 季节内振荡的振幅出现最大值, 另外两个次大值分别出现在 2000、2002 年的夏季。冬季, 2000、2002 年的季节内振荡振幅小, 而 2001 年却很强; 而在夏季, 2000、2002 年季节内振荡振幅较大, 2001 年的振幅较小。可见厦门能见度在冬、夏季的季节内振荡有可能存在年际变化, 这反映了季风区中的年际振荡, 但是这个结论需要有更长的时间序列做进一步验证。图 6 是能见度 10~20 d 带通滤波的时间序列, 在 2001 年初和 2002 年末, 准双周振荡的振幅最大。冬季的准双周振荡振幅一般大于夏季。在冬季, 2000 年初和 2002 年初振荡较弱, 2001 年初和 2002 年末较强; 在夏季, 2000 年和 2002 年准双周振荡的方差很小, 而 2001 年的较强。无论冬夏, 都可以看到准双周振荡存在显著的年际变化, 这可能与季风中年际振荡有关。

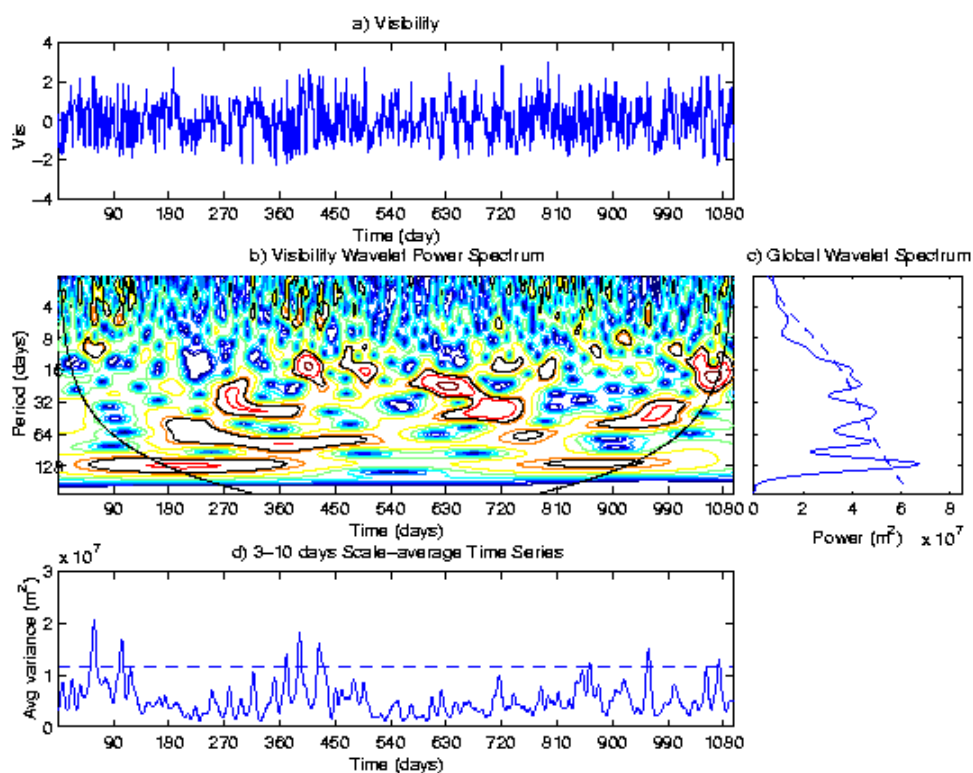


图 4 利用能见度的带通滤波波 (2~156 d) 时间序列做小波分析 a. 标准化的能见度序列; b. 小波能量谱, 黑色等值线以内范围表明超过 95% 信度检验, 锥形线以下不可信; c. 总体小波谱 (实线) 和 95% 信度水平 (虚线); d. 3~10 d 尺度平均的小波能量曲线 (实线) 和 95% 信度水平 (虚线)。

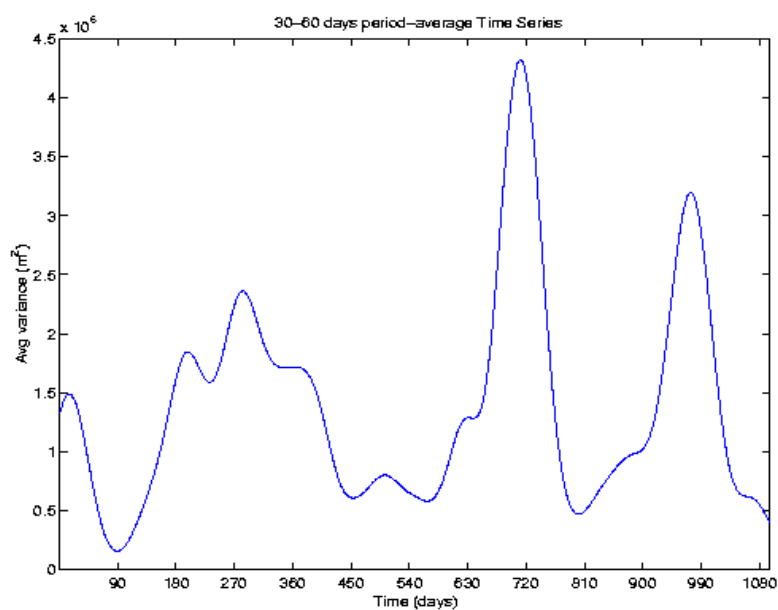


图 5 利用小波分析得到的能见度 30~60 d 尺度平均的小波能量曲线

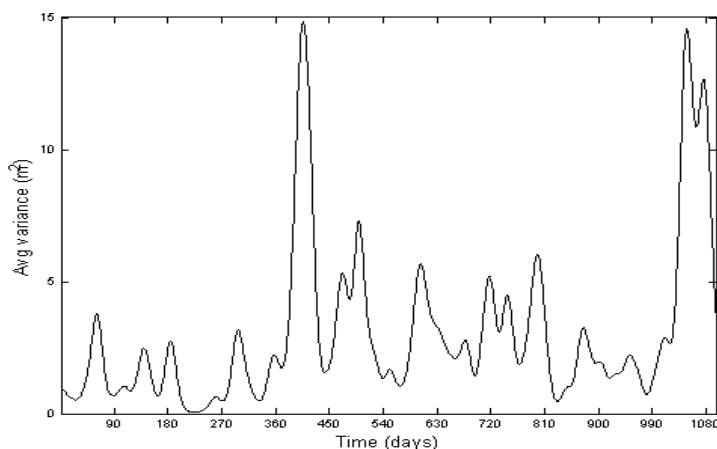


图 6 利用小波分析计算的能见度 10~20 d 尺度平均的小波能量曲线

厦门位于东亚季风区,东亚季风存在着显著的准双周和季节内两种振荡^[9],而能见度也存在同样明显的振荡,这说明能见度的变化与季风环流关系密切。选取经向风分量作为季风振荡的标志,利用小波分析分别得到 2000~2002 三年逐日 08 时的经向风 30~60 d (图 7)。图 7 表明,在 2001 年末~2002 年初,季节内振荡的振幅出现最大值,另外两个次大值分别出现在 2000、2002 年的夏季。冬季,2000、2002 年的季节内振荡振幅小,而 2001 年却很强;另外在夏季,2000、2002 年季节内振荡振幅较大,2001 年的振幅较小,因此无论冬夏,经向风的季节内振荡都存在显著的年变化。比较图 5、图 7,看到能见度的季节内振荡与经向风的季节内振荡有极其相似的变化,而冬、夏季风季节内变化尺度变化是广泛存在的,能见度的变化其实是大气环流变化的反映。在季节内变化尺度中,夏季风振荡强表明此时的季风偏强,带来更多的暖湿空气,湿度增大利于凝结,并且可以吸附空气中悬浮的污染物,从而降低能见度,使得季节内振荡尺度上的振幅较高;冬季季风偏强时,空气干燥能见度偏低,从而令能见度的振荡强烈。

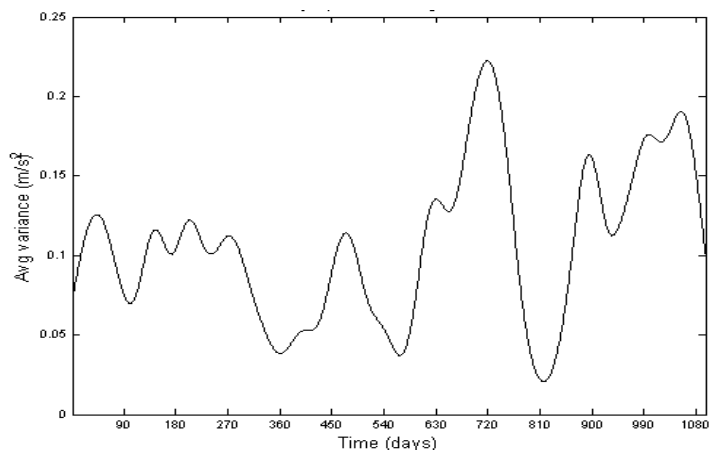


图 7 利用小波分析得到的经向风(V) 30~60 d 尺度平均的小波能量曲线

4 结 论

(1) 在观测时段厦门能见度有明显的日变化,08 时最低,随后逐渐升高,午后达到最高,然后逐

渐降低, 20 时到次低值。能见度的日变化与相对湿度一致。

(2) 能见度有明显的季节变化, 能见度的变化与大气的水汽含量有关, 厦门能见度在雾季(3~5 月, 主要是海雾)最低, 雾是影响厦门能见度的主要原因之一。

(3) 能见度存在显著的 10~20 d 的准双周变化和 30~60 d 季节内振荡, 在冬夏季这两种振荡都有明显的年际变化。值得指出的是, 能见度的季节内振荡与经向风的季节内振荡一致, 这说明能见度变化其实是大气环流变化的反映。

参 考 文 献:

- [1] MARVIN E MILLER, Norman L. Canfield, Terry A. Ritter et al. Visibility Changes in Ohio, Kentucky, and Tennessee from 1962 to 1969[J]. *Monthly Weather Review*, 1972, **100**(1): 67-71.
- [2] STUART P Naegele, WILLIAM D Sellers. A Study of Visibility in Eighteen Cities in the Western and Southwestern United States[J]. *Monthly Weather Review*, 1981, **109**(10): 2394-2400
- [3] 张 军. 佛山市近三十年来能见度变化趋势的分析[J]. *地理研究*, 1993, **12**(4): 54-61.
- [4] 王继志, 徐祥德, 杨元琴. 北京城市能见度及雾特征分析[J]. *应用气象学报*, 2002, **13**(1): 160-169.
- [5] 王淑英, 徐晓峰. 北京地区低能见度的气候特征及影响因素[J]. *气象科技*, 2001(4): 23-26.
- [6] 赵习方, 徐晓峰, 王淑英, 等. 北京地区低能见度区域分布初探[J]. *气象*, 2002, **28**(11): 55-58.
- [7] CHRISTOPHER Torrence, GILBERT P Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, **17** (1): 61-77.
- [8] 苏鸿明. 台湾海峡海雾的气候分析[J]. *台湾海峡*, 1998, **17** (1): 25-28.
- [9] 陈隆逖, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风[M]. 北京: 气象出版社, 1991.

THE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL VISIBILITY OF XIAMEN AIRPORT

WANG Xin^{1,2}, HUANG Fei¹, ZHOU Fa-xiu¹, LI Yan³

- (1. Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Academy of Sciences/ Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
3. Office of Meteorological service, Fuzhou airport, Fuzhou 350026, China)

Abstract: Using hourly diurnal visibility, relative humidity and wind of Xiamen airport from 2000 to 2002, we find that there are distinctly daily, seasonal, intraseasonal and quasi-two-week variations of visibility by statistical method and wavelet analysis method, and then study the characters of these variations. In the observed time, from 08UTC to 20UTC, daily data shows that visibility is the lowest in the morning and evening but reaches its maximum in the afternoon. In seasonal variation, visibility is the lowest from March to May, a foggy season in Xiamen. That is to say, the visibility of Xiamen is greatly related with the local fog. Besides oscillations mentioned above, visibility has two other remarkable variations: intraseasonal variability (30~60 days) and quasi-two-week variability (10~20 days). The two variations have the same variability of quasi-two-year period in both summer and winter which relates to oscillation of the monsoon in eastern Asia.

Key words: visibility; Xiamen; intraseasonal variability