

崔健, 黄建平, 周晨虹, 等. 江苏省能见度时空分布特征及其影响因子分析[J]. 热带气象学报, 2015, 31(5): 700-712.

文章编号: 1004-4965(2015)05-0700-13

江苏省能见度时空分布特征及其影响因子分析

崔健^{1,3}, 黄建平^{1,3}, 周晨虹^{1,3}, 焦圣明², 袁成松²,
包云轩^{1,2,3}, 谢晓金^{1,2}, 王琳^{1,2}

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044;
2. 中国气象局交通气象重点开放实验室, 江苏 南京 210008;
3. 耶鲁大学-南京信息工程大学大气环境中心, 江苏 南京 210044)

摘 要: 为探明江苏省能见度的时空分布特征及其影响因子, 采用传统的统计学方法和主成分分析(PCA), 详细分析了2012年江苏省70个自动气象站和常规气象观测台站的能见度、气压、相对湿度、风速等气象要素观测数据以及遥感大气气溶胶光学厚度(AOD)等资料, 揭示了江苏省能见度的时空分布特征, 评估了AOD、气象要素、雾霾天气等对江苏省能见度的影响。研究表明: (1) 江苏省的能见度呈早晨低、下午高的变化特征; (2) 空间分布差异较大且存在季节差异。具体而言, 其年平均呈现东高西低分布特征, 春季南低北高, 夏季反之, 而秋、冬两季则为东高西低; (3) 灰霾是导致江苏省能见度降低的最主要天气现象, 其次为轻雾, 雾引起低能见度的频次相对较少; (4) 江苏省能见度与AOD、相对湿度呈显著的负相关, 与风速呈明显的正相关; (5) 通过数理统计分析发现, 天气条件和污染物对能见度有重要影响。

关键词: 大气环境; 能见度; 大气光学厚度(AOD); 气象因子; 雾霾

中图分类号: X16

文献标识码: A

Doi: 10.16032/j.issn.1004-4965.2015.05.013

1 引 言

能见度是反映大气透明度的一个指标, 定义为具有正常视力的人在当时的天气条件下能够看清楚目标物轮廓的最大距离^[1-3]。近30多年来, 全球平均能见度呈现下降趋势。究其原因, 能见度的下降是由于大气中悬浮粒子对于光的散射和吸收所造成的^[4-6], 高浓度的大气颗粒物(PM)是造成低能见度事件的主要原因。能见度的下降已经成为城市空气质量下降的一个重要指标^[7]。

大气中的颗粒物来源主要有有人为源和自然源^[8-10]。有许多国外研究表明那些含有硫酸盐、硝

酸盐、有机碳、元素碳等物质的颗粒物能有效地散射或者吸收可见光部分, 从而使能见度降低^[11-17]。雨、雾、雪、森林大火、沙尘暴等自然现象和工业排放、秸秆燃烧、建筑扬尘等人为活动都有可能引起低能见度事件的发生。所有这些自然现象或人为排放所含有的气溶胶粒子都会导致雾霾的发生, 使得能见度下降到10 km以下。而能见度下降到10 km以下时会给交通和人类健康带来极大的危害^[18-20]。

除了大气污染物, 气象要素诸如相对湿度、气压、风向、风速、温度等, 都会直接或间接影响能见度的变化^[21-26]。相对湿度自身变化不会使能见度产生变化, 但是相对湿度增大会导致可吸

收稿日期: 2014-08-30; 修订日期: 2015-06-28

资助项目: 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306043、GYHY201406029); 江苏省科技支撑计划项目(BE2014734); 教育部长江学者和创新团队发展计划; 江苏省高校优势学科建设工程共同资助。

通讯作者: 包云轩, 男, 江苏省人, 教授, 博士研究生导师。研究方向: 交通气象、大气环境、气象与农业防灾减灾、遥感与资源环境。E-mail: baoyunxuan@163.com

湿性颗粒物吸收更多的水分，从而增加颗粒物的散射截面，最终导致能见度下降。因此相对湿度直接影响了大气中的颗粒物，导致能见度下降。然而，其他气象要素(诸如风向、风速、温度、气压等)对能见度没有直接影响，但通过对大气颗粒物浓度的影响，进而影响大气的散射特性。

近十几年来，国内许多学者也对大气能见度开展了大量的研究。范引琪等^[27-28]对京、津、冀地区大气能见度变化趋势进行了研究，发现京、津、冀大部分地区能见度呈下降趋势，大气能见度变化趋势与能源消耗和机动车增长存在很好的相关性。黄健等^[29]、沈家芬等^[30]对珠江三角洲局部区域和广州市大气能见度变化特征及其影响因子进行了分析。白爱娟等^[31]、周书华等^[32]先后分析成都市能见度变化特征及其影响因子，其结果均表明过去 30 年成都市区年平均大气能见度呈下降趋势，夏季平均值最高，春季次之，冬季最低；PM_{2.5}浓度的快速增长是造成成都市大气能见度急剧降低的重要原因。侯灵等^[33]研究了南京市大气能见度变化特征及其影响因子，发现 1980—1984 年南京市能见度呈上升趋势，1985 年后呈波动下降趋势，能见度与相对湿度呈负相关，与风速呈正相关，与温度和气压的相关性相对较小，PM₁₀是影响南京地区大气能见度的首要污染物；张剑等^[34]对苏州市城区能见度与颗粒物浓度、气象要素的相关性进行了研究，研究发现能见度与黑碳的相关性最显著。周须文等^[35]通过对高速公路周围低能见度雾生消过程分析，建立了预报方程，从而达到客观预报的效果。陈静等^[36]使用 3 年资料进行科学的统计分析，得出广州地区发生低能见度事件的频率呈下降的走势。蓝静等^[37]在利用 CMAQ 模式对香港一次低能见度事件进行模拟，发现造成低能见度的原因是由雾和霾共同造成。由此可见，能见度的变化是受很多因素共同影响，不同地区变化特征和影响因子也存在较大差异。

长江三角洲地处我国东部沿海，是我国三大经济圈之一，其经济增长速度最快、经济总量规模居首位。江苏与上海、浙江共同构成的长江三

角洲城市群已成为国际 6 大世界级城市群之一。江苏省地跨北亚热带湿润季风气候区和南暖温带北湿润季风气候区，总面积 10.26 万 km²，常住人口 78 659 903 人。江苏人均 GDP、综合竞争力、地区发展与民生指数(DLI)均居全国各省第一，成为我国综合发展水平最高的省份。随着人口和经济的快速发展，能见度的快速下降已成为社会公众所关心的重要环境问题，这一问题已引起各级政府部门的高度关注。

过去，国内外对江苏省能见度的研究主要停留在单个城市或几个城市的长时间变化分析或某一次极端个例事件的分析，且主要是使用人工观测能见度资料^[38-40]。由于人工观测存在较大的不确定性，对分析结果会产生一定的影响。而自动站采用相同仪器，避免了观测员目测所带来的误差，资料可靠，便于进行各种对比分析。为此，本研究采用 2012 年江苏省维护较好的自动观测站点的能见度资料。并结合 AOD 指数和各种相关气象要素资料如相对湿度、温度、风速、气压、雾霾天气等，探讨江苏省能见度的时空分布特征及其影响因子，为江苏省能见度的改善和大气污染的控制提供科学依据。

2 资料与方法

2.1 资料来源

本研究采用 2012 年江苏省 70 个国家自动气象站的观测资料(站点位置如图 1 所示)。其中包括 2012 年全年每小时能见度观测数据、每小时常规气象要素(包括相对湿度、温度、风速、气压)等观测数据。能见度是由洛阳 CAMA 测量和控制有限公司生产的前向散射能见度仪 CJY-2B 观测，常规气象要素资料由江苏省气象信息中心提供，各种数据经过严格的质量控制。前向散射能见度仪是利用大气对光的散射情况来确定散射系数，进而反算出能见度，而人工观测的有效能见度是指视野内二分之一以上范围内能辨识的参照物的最大水平距离^[41]。能见度仪每分钟测一个数据，本研究使用的是小时平均资料。而人工观测一般

站每天只有 08:00、14:00 和 20:00 三个时段有能见度观测。能见度仪和人工观测能见度的原理、观测的时间分辨率和精度都不相同,本文选择了观测原理更科学、客观,观测时间分辨率更高,数据更精确的能见度仪观测数据。

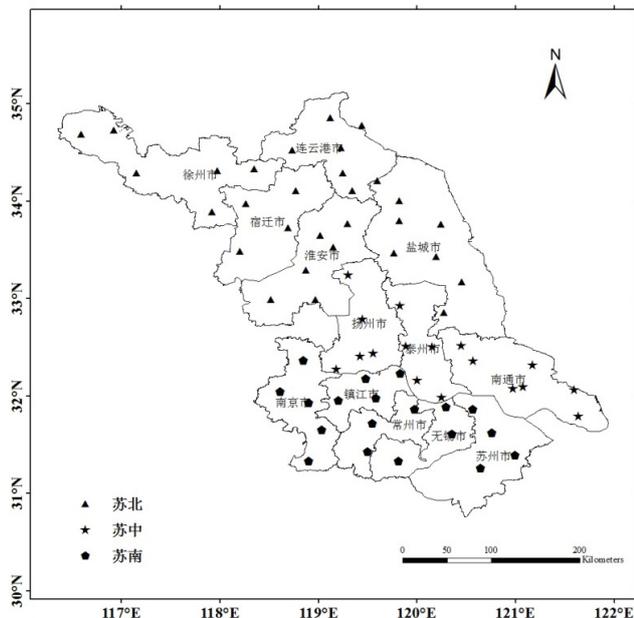


图 1 江苏省自动气象观测台站分布

搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上的 MODIS 传感器,目前是探测大气光学厚度 (Atmospheric Optical Depth, AOD) 的常用仪器。MODIS 可以提供达到 36 个通道的探测资料,产品数据空间分辨率较高^[39]。本文从美国国家航空航天局网站下载的是 MODIS-Terra 大气气溶胶光学厚度产品数据 (MOD04) (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>),其空间分辨率为 10 km,时间跨度为 2012 年整年。利用自动气象观测站点经纬度逐一提取 MODIS 的 AOD 产品,使 MODIS AOD 数据和自动气象观测数据能够空间匹配。

2.2 方 法

本文采用 SPSS (Statistical Product and Service Solutions) 软件中主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 方法来定量研究影响能见度的因子。主成分分析是一种把多个变量化为少数几个综合变量的多元统计方法。主成分分析采取降维处理的思路找出几个综合变量来代表原来较多的变量,使这些综合变量尽可能全面地描述出原来

变量的真实信息,且这些综合变量之间互不相关,从而达到减少变量的效果^[40]。

假设对于某一变量的研究和分析涉及 n 个变量,即 X_1, X_2, \dots, X_n , 主成分分析是将这 n 个变量建立如公式(1)的数学模型。设 Σ 为 X_1, X_2, \dots, X_n 的协方差矩阵,则公式(1)中 $a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{pi}(i=1, \dots, m)$ 为 Σ 的特征向量, $TX_i(i=1, \dots, n)$ 为对 $X_i(i=1, \dots, n)$ 经过标准化处理后的值。SPSS 软件会根据每一种线性组合的方差值的大小来筛选主成分,方差越大能反映研究失误的信息就越多,最大的为第一主成分,以此类推^[41]。

$$\begin{cases} Y_1 = a_{11}TX_1 + a_{21}TX_2 + \dots + a_{n1}TX_n \\ Y_2 = a_{12}TX_1 + a_{22}TX_2 + \dots + a_{n2}TX_n \\ \dots \\ Y_n = a_{1n}TX_1 + a_{2n}TX_2 + \dots + a_{nn}TX_n \end{cases} \quad (1)$$

3 结果与分析

3.1 江苏省能见度及其影响因子时空变化特征

3.1.1 能见度年平均时空变化

首先对2012年江苏省各自动站的能见度资料进行分析(表1),各站小时平均能见度在 15 ~ 28 235 m 之间,平均值为 6 858 m。日平均能见度的最小值和最大值分别为 524 m 和 26 125 m,平均值为 5 790 m。就全年日平均而言,江苏地区能见度比我国其他地区低^[29-30, 32-35, 42]。

表1 2012年江苏能见度概况

能见度	最大值	最小值	平均值	标准偏差
每小时/m	28 235	15	6 858	5 569
每天/m	26 125	524	5 790	3 419

江苏省年平均能见度空间分布如图 2 所示,其空间分布呈现东高西低的分布。东部沿海城市(连云港市、盐城市、南通市)能见度年平均在 7 000 ~ 9 000 m 之间。江苏省西部地区能见度年平均值为 5 000 ~ 7 000 m。其中徐州市大部分地区能见度小于 6 000 m,另外淮安市、宿迁市、镇江市、无锡市部分地区年平均能见度在 5 000 ~ 6 000 m,相对其他地区较低。徐州市由于拥有徐

州重工和徐州矿业集团两大型企业，其在生产的过程中产生大量污染物和粉尘是徐州地区能见度偏低的主要原因。

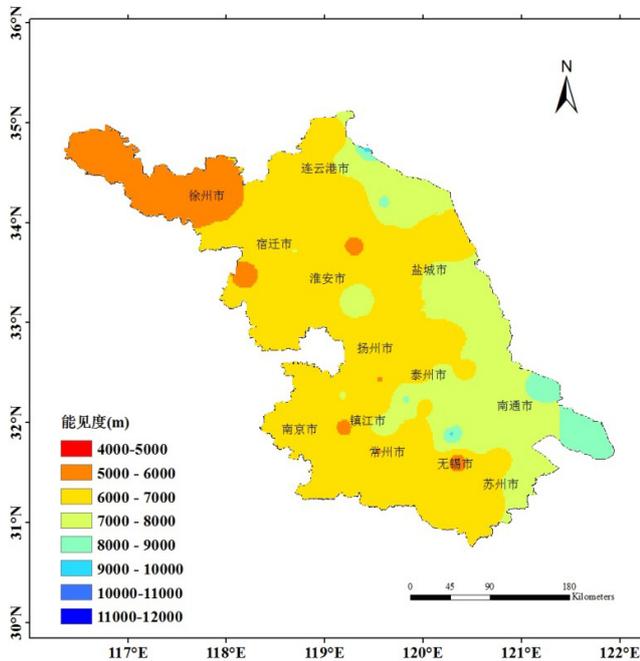


图2 江苏省2012年能见度年平均空间分布

3.1.2 能见度日变化

图3给出了2012年江苏不同地区能见度的日变化，江苏省能见度存在明显的日变化。早晨06时左右出现低值，峰值出现在午后14—16时。夜晚，由于稳定大气边界层(ABL)和逆温层存在而抑制了气溶胶粒子传输和扩散，大量颗粒污染物积聚在大气边界层底部。此外，夜间温度低，相对湿度高，风速较小，吸湿能力强的粒子会更多

地聚集在一起吸收更多的气水汽，增大其吸收和散射截面积，从而成比例地降低能见度。而且，雾易在凌晨形成，导致能见度降低。日出后，地表吸收太阳短波辐射，近地层气温升高，相对湿度减小，大气边界层不稳定性增加，逆温层高度抬升并最终消失，垂直输送加强，能见度逐渐升高。午后，风速变大，湍流混合和热对流活动进一步增强，地表附近的颗粒污染物浓度减小，近地层水平能见度显著提高。从图3还可看出，苏中的能见度最好，09时之前苏南能见度略好于苏北，09—18时之间苏北能见度逐渐超过苏南，18时后苏北能见度再次低于苏南地区。

为进一步探明气象要素对能见度日变化的影响，图4是江苏省四种气象要素(风速、相对湿度、温度、气压)的日变化，风速和温度与能见度的日变化相同，呈现清晨的低谷值和午后的峰值；相对湿度与能见度日变化呈相反的趋势，峰值出现在清晨，最低值出现在午后14—15时。实际上，午后14—15时，由于近地层气温高，常出现大气层结不稳定，且风速大、气流扩散快，导致大气能见度高，空气质量好。2012年江苏省日平均气压在1 012~1 014 hPa之间，呈偏态两峰(09—10时、21—22时)和两谷型(14—17时、02—07时)，与能见度之间没有显著的关系。因此，能见度与气温、风速呈显著的正相关，与相对湿度呈显著的负相关，而与气压之间没有直接相关。

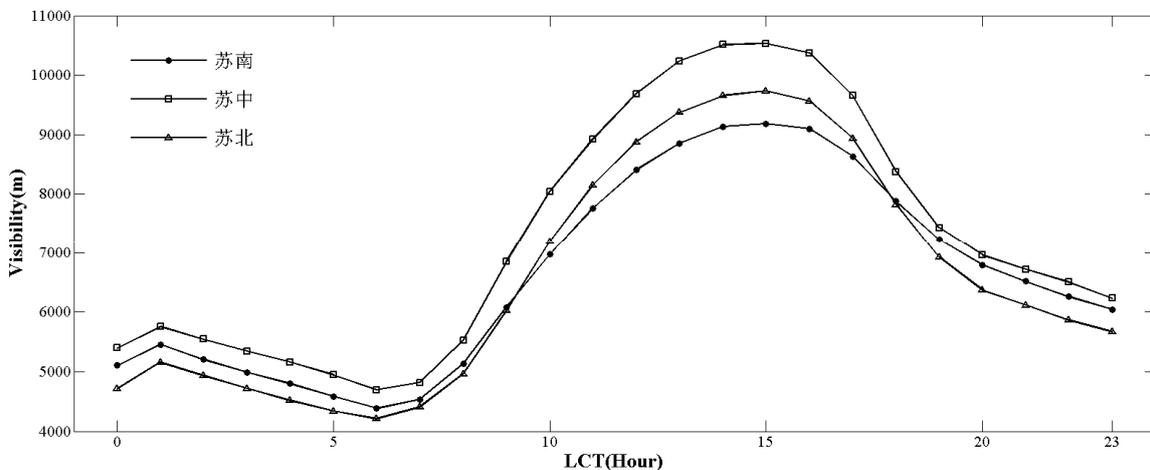


图3 江苏省2012年能见度的日变化曲线

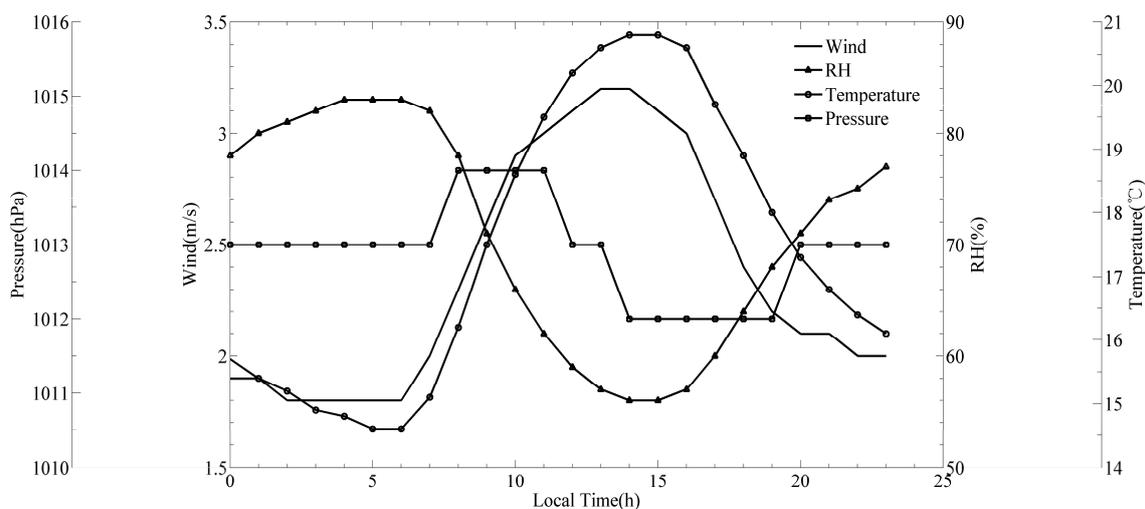


图4 江苏省2012年气象要素的日变化曲线

3.1.3 能见度季节变化时空分布

为进一步揭示能见度在月、季尺度上的变化规律,图5给出2012年江苏省能见度及其气象要素的月平均变化。春季(3—5月)江苏省平均能见度为6 171 m,夏季(6—8月)达到7 352 m,秋季(9—11月)为6 510 m,冬季(12—2月)为5 873 m。能见度最大值出现在7月为8 742 m,最小值出现在6月为5 130 m。夏季能见度最好,首先因为夏季大气对流活动频繁,垂直交换强而速度快;其次6月中旬—7月上旬的梅雨期,降水频繁,降水量大,降水对大气中的污染物粒子具有良好的“清洗”和“冲刷”作用;再次夏季东亚夏季风北上时如遇小股冷空气南下常会导致中尺度的对流天气,促使污染物扩散,导致大气中的污染物粒子减少。相反,冬季降水较少、大气层结稳定,扩散条件较差,大气污染物累积,导致能见度降低。除天气条件外,秋季农作物收割后的生物质燃烧、燃煤排放也大量增加了污染物,导致雾霾频繁出现。6月的能见度仅有5 130 m,这是因为江苏省冬春主要种植的农作物是冬小麦和油菜,在初夏6月正是它们成熟收割的时候,收割后大量的秸秆燃烧产生的含碳、含氮气溶胶直接排放到大气中,与此同时大量二次气溶胶(硫酸盐、硝酸盐、二次有机气溶胶等)会在大气中产生,气溶胶会直接散射和吸收太阳辐射,从而导致能见度降低。

图5b为江苏省2012年相对湿度和风速的月平

均值变化图。从相对湿度的变化可看出,夏季相对湿度较大,最大值出现在9月为80%,最小值出现在2月为57%,从变化趋势上看,除了7、8两月之外相对湿度与能见度有着很好的负相关关系,可见,相对湿度对太阳辐射并没有直接的吸收和散射作用,但其可以通过增加吸湿性粒子的散射截面积间接地导致能见度降低。7、8两月的降水增加使得相对湿度上升并且“清洗”、“冲刷”了污染物粒子使能见度升高,这进一步解释了这段时间内能见度和相对湿度都较高的情况。地表风速的月平均变化没有很明显的季节规律,最大值为2.7 m/s在7月,最小值为1.5 m/s出现在1、6月。从趋势上看,全年风速与能见度存在很好的正相关。这表明地表风速的增加有利于大气的水平和垂直扩散,增强污染物的扩散,从而导致能见度升高。

图5c显示7月的平均气温最大为28.7 °C;1月最小为2.2 °C。气压最大值出现在1月,为1 026 hPa;最小值出现在7月,为1 002 hPa。从整体趋势上看,能见度与气温和地面气压之间没有明显相关。

江苏省不同地区能见度都有明显的季节变化,但是不同地区之间季节变化不尽相同。图6给出了江苏省能见度四季平均的空间分布。

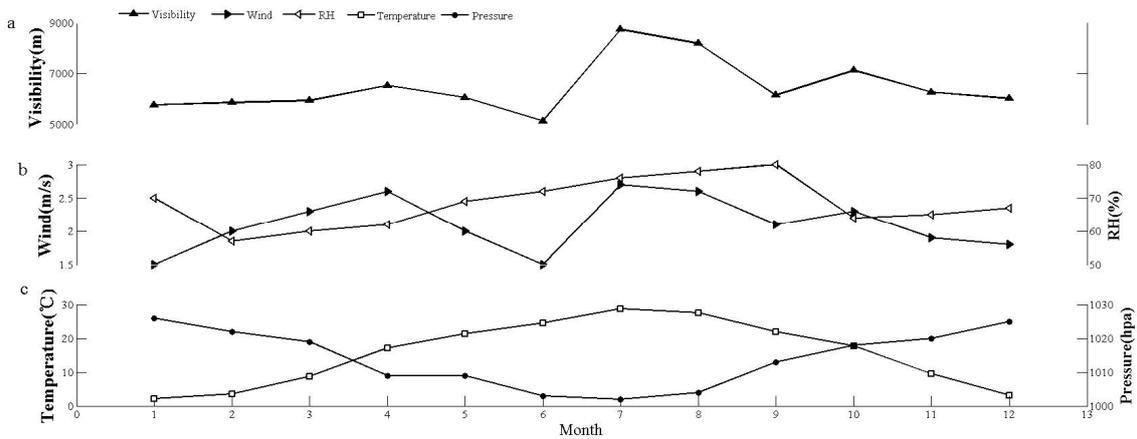


图 5 2012年江苏省能见度与气象要素的月变化 a. 能见度; b. 风速与相对湿度; c. 温度与气压。

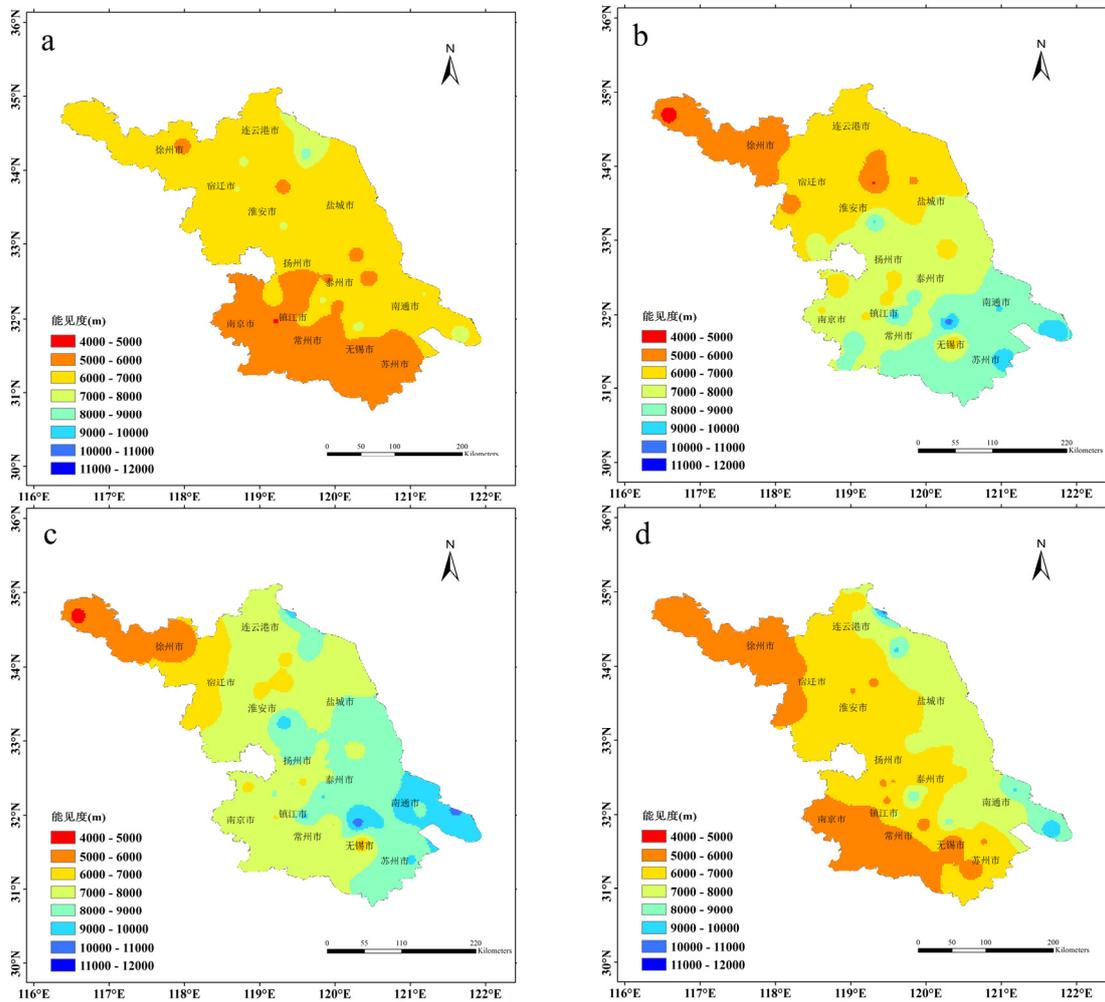


图 6 江苏省 2012 年能见度季节平均空间分布 a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季。

从图 6a 可看出,春季江苏省能见度呈现南低北高分布,苏南地区能见度普遍在 5 000 ~ 6 000 m,苏中和苏北大部分地区能见度在 6 000 ~ 7 000 m。图 6b 显示夏季能见度分布与春季相反,呈南

高北低分布,即能见度从南到北逐渐降低。如苏南大部分地区能见度达 8 000 ~ 9 000 m,部分地区能达到 9 000 ~ 10 000 m;苏中大部分地区夏季能见度在 7 000 ~ 8 000 m;而苏北大部分地区夏

季能见度低于 7 000 m, 如徐州市大部分地区、宿迁市、淮安市、盐城市小部分地区夏季能见度低于 6 000 m, 徐州丰县甚至低于 5 000 m。与春夏两季的南北分布不同, 秋季能见度空间分布(图 6c)呈现一个东高西低分布的走势, 西部内陆地区的秋季能见度要比东部沿海地区小, 西北部的徐州市和东南部的南通市对比尤为明显, 差异高达 6 000 m 左右。从图 6 d 可看出, 冬季江苏省能见度东高西低分布趋势比秋季更明显, 其中冬季西北部的徐州市和苏南地区能见度低于 6 000 m, 而东部沿海城市冬季能见度都超过了 7 000 m, 连云港市和南通市的部分地区冬季能见度甚至超过了 8 000 m。

3.1.4 能见度影响因子的时空分布

为进一步分析影响江苏省能见度时空分布的各个因子, 分别给出各个因子的时空分布及与能见度的关系。图 7 给出了江苏省 AOD 指数的四季变化分布, 四季 AOD 指数空间分布特征与能见度空间分布基本一致, 且与能见度之间存在很好的负相关关系。春季, AOD 指数呈现南高北低的分布, 苏南加上扬州市和泰州市等地区 AOD 指数均大于 0.9, 苏北与南通地区 AOD 指数在 0.6 ~ 0.8 之间。夏季 AOD 指数呈现与春季相反分布, 即南低北高。其中, 徐州地区的 AOD 最大, 其后依次是除了徐州市的苏北地区、苏中和苏南地区。秋季和冬季与春夏不同, 其 AOD 呈东低西高分布, 而且东部沿海地区的 AOD 指数要明显低于西部内陆地区, 与能见度秋冬季呈现的分布正好相反。

雾和霾是影响能见度的两种主要天气现象。根据中华人民共和国气象行业标准^[43], 本文将霾定义为能见度小于 10 km, 相对湿度小于等于 80% 的天气现象; 雾为能见度小于 1 km、相对湿度大于 80% 的天气现象; 轻雾为能见度在 1 ~ 10 km 之间, 相对湿度大于 80% 的天气状况。图 8 给出了 2012 年江苏省轻雾日和霾日空间分布。由于 2012 年的雾日较少, 故其分布图未给出。从图 8a 可看出, 苏北地区的徐州市、盐城市、连云港市、淮安市, 苏南地区的南京市轻雾日数在江苏全省中

较少, 都在 50 d 以下, 其他地区均在 50 d 以上, 苏南除南京以外的其他地区都超过了 75 d, 盐城市部分地区轻雾日数也超过了 75 d。图 8b 中霾的日数则基本和轻雾相反, 苏北地区盐城市、连云港市、淮安市, 苏南地区南京市霾出现的日数在江苏全省最多, 均达到 250 d 以上, 南通市部分地区霾日数为江苏全省最少, 小于 150 d, 其他地区霾发生的日数在 150 ~ 250 d 之间。江苏省轻雾日数远少于霾日数。

图 9 进一步给出了江苏省 2012 年雾、轻雾、霾发生的日数占全年总日数的比例, 其中“其他”表示 2012 年除了雾、轻雾、霾天气现象的日数。从图中可看出霾日占全年总日数的比例达 58.13%, 超过了一半, “其他”占 26.95%, 轻雾占 14.90%, 最少的是雾, 只有 0.02%。因此, 导致江苏省能见度降低的天气现象中霾的作用最大, 轻雾次之, 雾最小。

3.2 能见度影响因子的数理统计分析

3.2.1 回归分析

基于上述能见度影响因子的定性分析, 本节将对能见度和气象要素进行定量的统计分析。图 10a 为江苏省能见度与风速的线性回归分析, 能见度与风速呈明显的正相关, 能见度小于 4 000 m 时, 风速基本小于 1 m/s, 大气处于静风状态, 有利于颗粒污染物在大气边界层内积聚。随着风速增大, 大气扩散和垂直输送增强, 颗粒污染物浓度稀释, 能见度也随之变好。

从图 10b 中明显看出江苏省能见度与相对湿度呈负相关, 当能见度小于 4 000 m 时, 所对应的相对湿度都大于 80%, 相对湿度增大伴随着的吸湿性粒子反射辐射能力增强, 从而间接地影响能见度。再结合风速对能见度的直接影响, 在静风和高湿的条件下, 能见度会维持一个较低的值, 能见度会随着这一状态的打破而增大。

综合图 10c 和 10d, 能见度和气温有微弱的负相关关系, 和气压的关系相反呈较弱的正相关。能见度小于 5 000 m 时, 对应的是高温和低压的天气。伴随着冷高压天气到来的是较大的风速, 因而吹散了江苏省局地的污染物, 使得能见度有显

著提高。

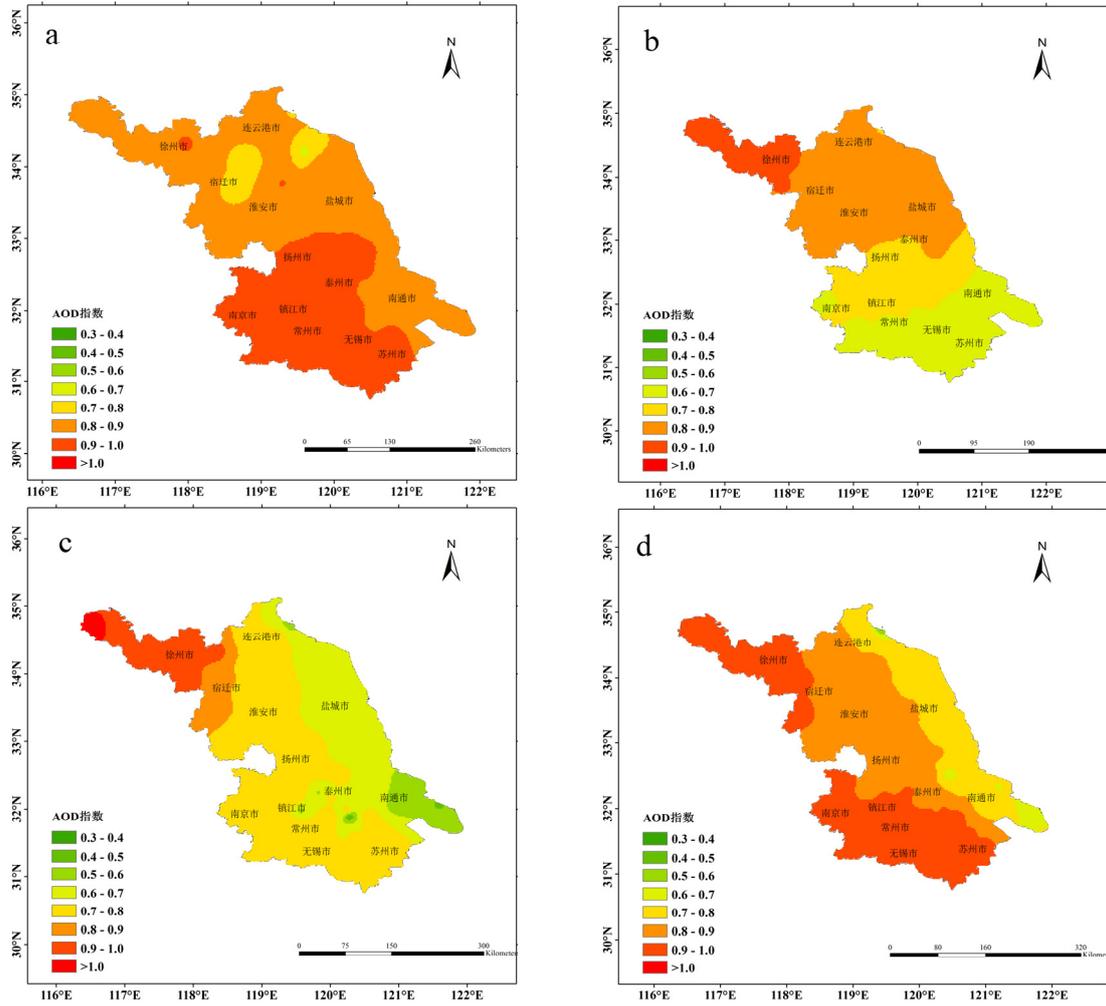


图7 江苏省2012年AOD指数季节平均空间分布 a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季。

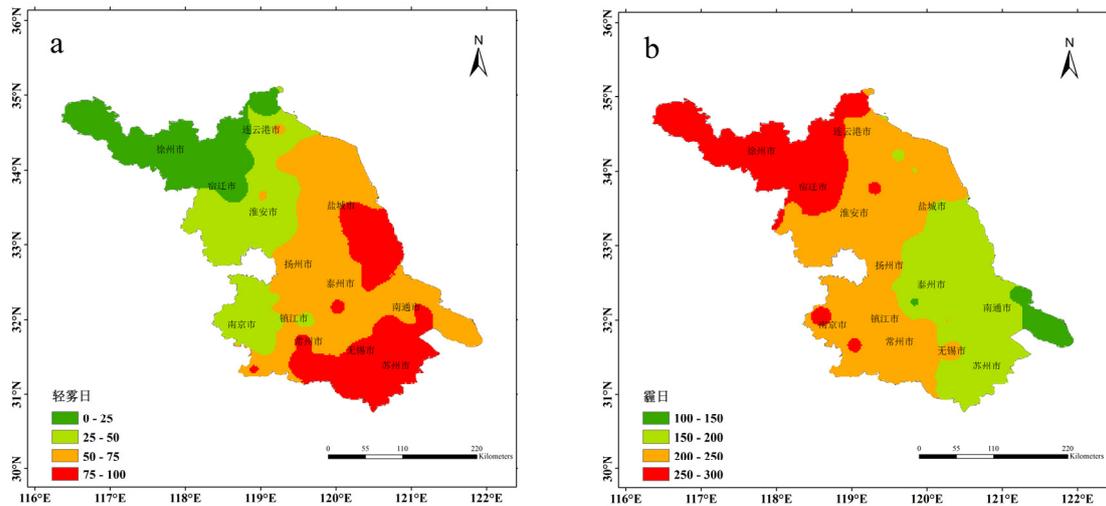


图8 江苏省2012年轻雾、霾日空间分布。 a. 轻雾日; b. 霾日。

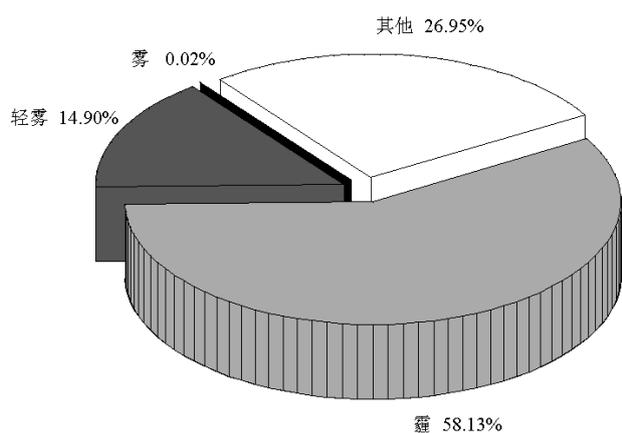


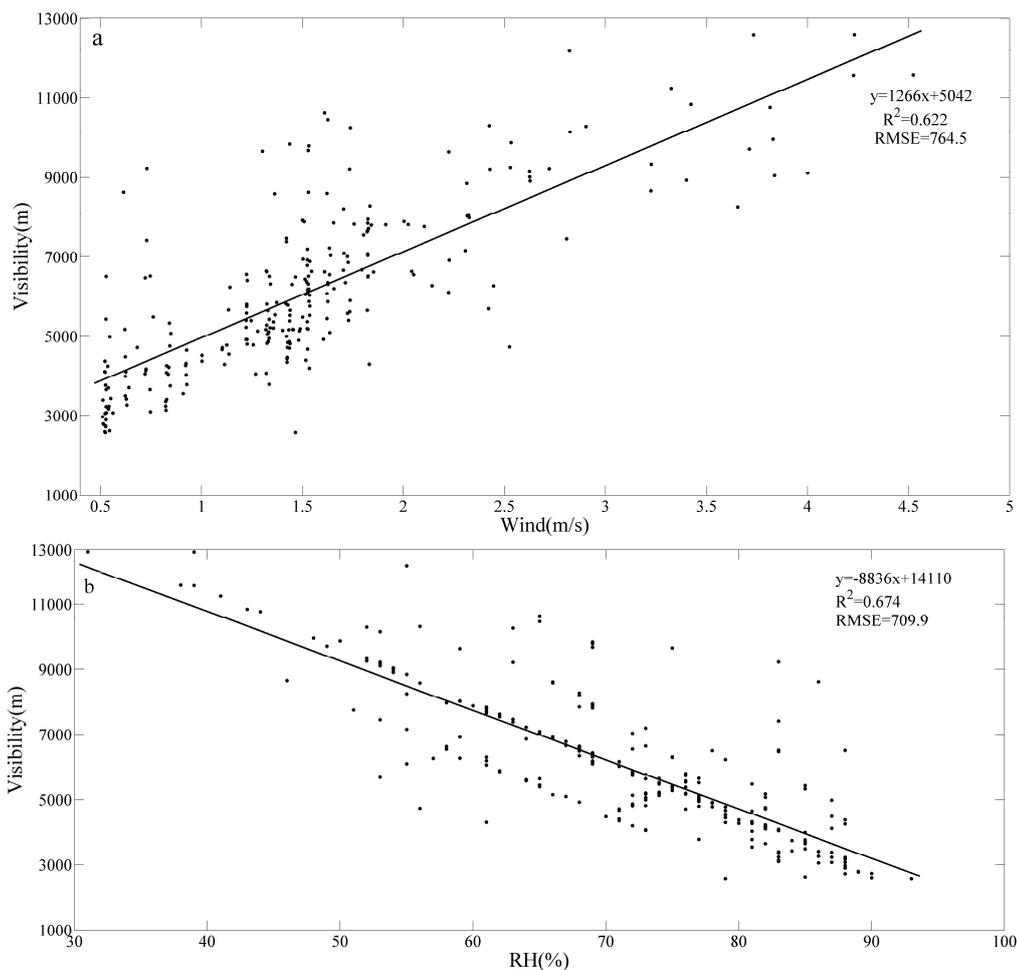
图9 2012年江苏省雾霾日占全年总日数的比例

3.2.2 主成分分析

如上节所述，影响能见度的因子众多，过程复杂，因此，很有必要评估各个因子对能见度的相对贡献。本文利用主成分分析(PCA)来估算各因子对能见度的影响，表2为5个能完全包含所研

究事物全部信息的成分经过主成分分析后的统计结果，从统计结果中可看出5种成分所对应的特征值分别为：1.477、1.062、1.023、0.365、0.102，按照主成分提取特征值大于1.0原则，选取前三个成分为主成分，其累计方差贡献率达82.05%。

主成分1方差贡献率最大，为31.2%，它与AOD指数、温度和气压有较强的相关，对应的是高浓度污染物、高温度和低气压，主成分1所表示的是能见度降低主要受高浓度污染物、高温和低压天气条件控制。图11a给出了一个2012年1月25—30日的个例分析，从图中的Factor1可看出，大气气溶胶污染物浓度高且在暖低压控制的条件下，能见度有下降的趋势。



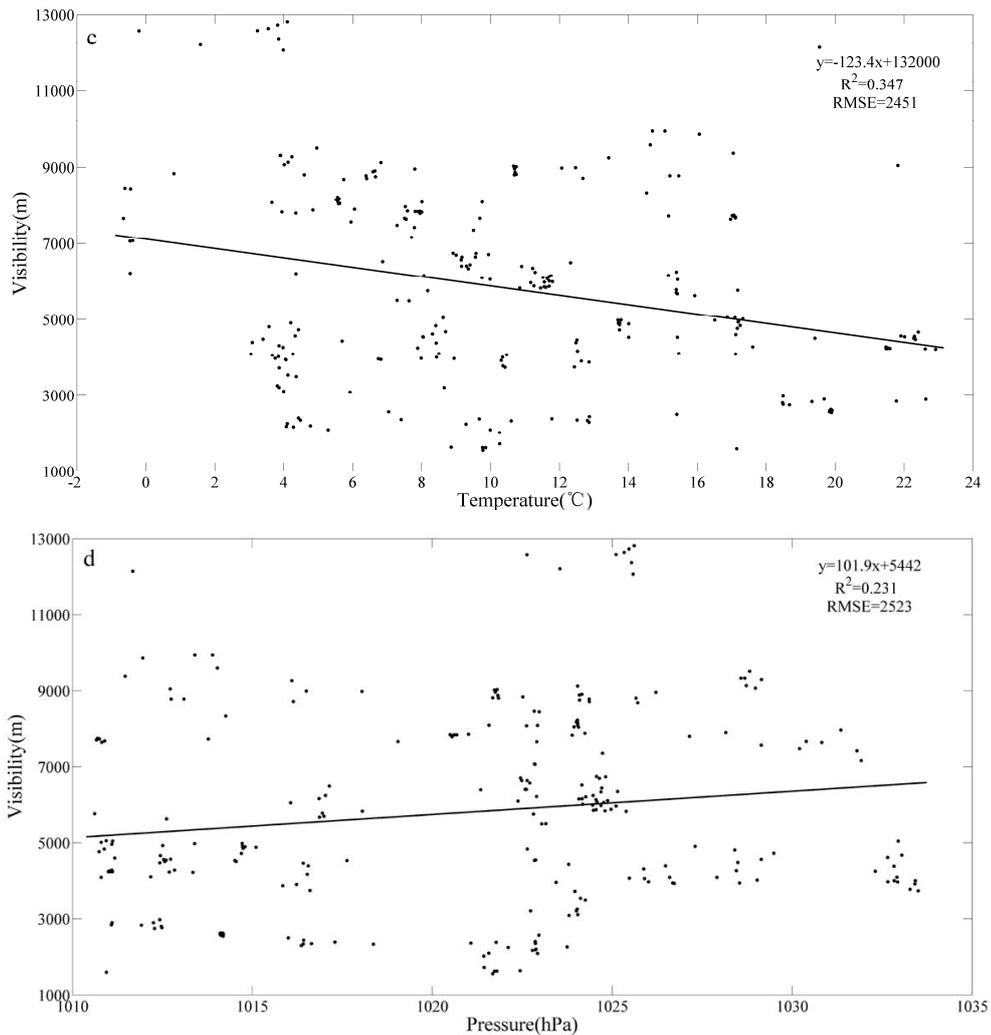


图10 2012年江苏省能见度与气象要素回归分析 a. 风速; b. 相对湿度; c. 气温; d. 气压。

主成分2(方差贡献率28.75%)对应的是高浓度污染物和低风速,主成分2表示的是能见度降低多发生在静稳天气时的高浓度污染物条件之下。图11b给了2012年1月5—10日的个例,其中Factor2所对应就是高浓度气溶胶污染物和低风速所带来能见度降低的情况。

主成分3(方差贡献率22.10%)对应的是高浓度污染和湿润的天气,主成分3表示的是低能见度降低通常与高相对湿度和高浓度污染物等条件紧密相关。如2012年10月10—15日个例中Factor3区域(图11c)所示,高浓度气溶胶污染的潮湿天气(如雾霾天气)是导致能见度下降的一个重要因素。

表2 主成分分析统计结果

成分	特征值	百分率	累计百分率
1	1.477	31.20	31.20
2	1.062	28.75	59.95
3	1.023	22.10	82.05
4	0.365	10.50	92.55
5	0.102	7.45	100.00

表3 主成分分析结果

主成分	主成分 1	主成分 2	主成分 3
AOD	-0.835	-0.835	-0.764
RH	0.042	0.032	-0.643
风	0.032	0.743	0.048
温度	-0.822	0.032	0.035
气压	0.764	0.041	0.044
方差	31.20%	28.75%	22.10%

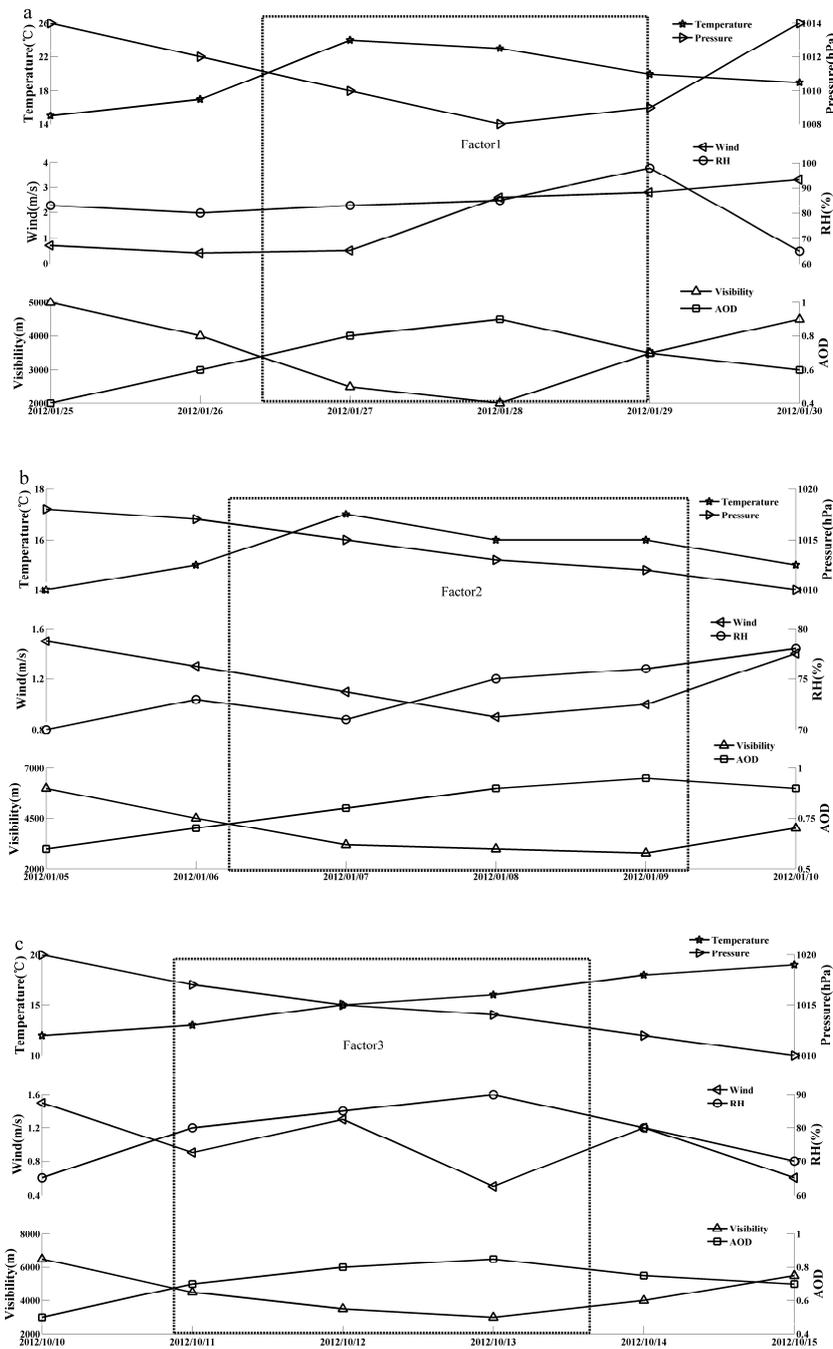


图 11 江苏省能见度与影响因子时间序列 a. 1月 25—30 日; b. 1月 5—10 日; c. 10 月 10—15 日。

4 结 论

本文利用 2012 年江苏省 AOD 指数、70 个自动气象站点能见度与常规气象要素观测资料, 采用常规的统计和主成分分析(PCA)方法, 系统地分析了江苏省能见度的时空分布特征及其影响因

子。

(1) 江苏省能见度年平均为 6 858 m, 空间分布呈明显的地区差异, 分布呈现东高西低特征。这种分布与江苏省海陆分布、地形起伏和空气污染高排放企业的东少西多等因素有关。

(2) 江苏省能见度有早晨低、下午高的日变

化特征,但苏南、苏中和苏北之间存在一定差异。日变化主要与各气象要素(如风速、温度、相对湿度等)和气溶胶的日变化有关,而地区差异主要与各地的大气污染有关。

(3) 江苏省能见度的空间分布在不同季节存在较大差异。春季能见度南低北高,夏季南高北低,秋、冬季能见度东高西低。

(4) 影响江苏省能见度的天气主要是灰霾,其次为轻雾,雾的作用较小。

(5) 通过统计分析发现,能见度与 AOD 和相对湿度呈反相关、与风速呈正相关。污染物浓度是影响能见度变化的最重要因子,天气条件对能

见度的变化也有重要影响。这与其他相关研究的结论一致。

由于数据积累时间有限,本文现阶段只分析了江苏省 2012 年能见度时空变化特征及影响因素。下一步会着重积累足够长时间序列的资料,并获取较细致的大气化学成分资料(如: SO_2 、 NO_x 、VOC、 $\text{PM}_{2.5}$ 等)、气象背景资料、基础地理环境资料和人类活动信息,全面而系统地分析江苏省能见度的时空变化特征及其影响因素以及影响机理。在数据完整的情况下,还要进一步分析江苏省器测能见度的时空特征与以往目测能见度的时空特征差异,以及引起其差异变化的原因。

参 考 文 献:

- [1] KOSCHMIEDER H. Theorie der horizontalen Sichtweite[J]. Beitr Phys Atmos, 1924, 12: 33-55.
- [2] DUNTLEY S Q. The reduction of apparent contrast by the atmosphere[J]. JOSA, 1948, 38(2): 179-187.
- [3] MIDDLETON W E K. Vision through the atmosphere[M]. University of Toronto Press, 1952.
- [4] APPEL B R, TOKIWA Y, HSU J, et al. Visibility as related to atmospheric aerosol constituents[J]. Atmos Env, 1985, 19(9): 1 525-1 534.
- [5] CHAN Y C, SIMPSON R W, MCTAINSH G H, et al. Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques[J]. Atmos Env, 1999, 33(19): 3 237-3 250.
- [6] ELIAS T, HAEFFELIN M, DROBINSKI P, et al. Particulate contribution to extinction of visible radiation: Pollution, haze, and fog[J]. Atmos Res, 2009, 92(4): 443-454.
- [7] WATSON J G. Visibility: Science and regulation[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, 52(6): 628-713.
- [8] HUSAR R B, HOLLOWAY J M, PATTERSON D E, et al. Spatial and temporal pattern of eastern US haziness: A summary[J]. Atmos Env, 1981, 15(10): 1 919-1 928.
- [9] MALM W C, PITCHFORD M L. Comparison of calculated sulfate scattering efficiencies as estimated from size-resolved particle measurements at three national locations[J]. Atmos Env, 1997, 31(9): 1 315-1 325.
- [10] KIM K W, KIM Y J, OH S J. Visibility impairment during Yellow Sand periods in the urban atmosphere of Kwangju, Korea[J]. Atmos Env, 2001, 35(30): 5 157-5 167.
- [11] MALM W C, SISLER J F, HUFFMAN D, et al. Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States [J]. J Geophys Res: Atmospheres (1984–2012), 1994, 99(D1): 1 347-1 370.
- [12] MALM W C, MOLENAR J V, ELDRER R A, et al. Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon area[J]. J Geophys Res: Atmospheres (1984–2012), 1996, 101(D14): 19 251-19 265.
- [13] SISLER J F, MALM W C. The relative importance of soluble aerosols to spatial and seasonal trends of impaired visibility in the United States[J]. Atmos Env, 1994, 28(5): 851-862.
- [14] MADHAVI LATHA K, BADARINATH K V S. Black carbon aerosols over tropical urban environment—a case study[J]. Atmos Res, 2003, 69(1): 125-133.
- [15] KIM Y J, KIM K W, KIM S D, et al. Fine particulate matter characteristics and its impact on visibility impairment at two urban sites in Korea: Seoul and Incheon[J]. Atmos Env, 2006, 40: 593-605.
- [16] TAN J H, DUAN J C, CHEN D H, et al. Chemical characteristics of haze during summer and winter in Guangzhou[J]. Atmos Res, 2009, 94(2): 238-245.
- [17] TAN J, DUAN J, HE K, et al. Chemical characteristics of $\text{PM}_{2.5}$ during a typical haze episode in Guangzhou[J]. J Env Sci, 2009, 21(6): 774-781.
- [18] HUSAR R B, PATTERSON D E, HOLLOWAY J M, et al. Trends of eastern U S haziness since 1948[C]//Symposium on Turbulence, Diffusion, and Air Pollution, 4 th, Reno, Nev. 1978: 249-256.
- [19] FIELD R D, WANG Y, ROSWINTIARTI O. A drought-based predictor of recent haze events in western Indonesia[J]. Atmos Env, 2004, 38(13): 1 869-1 878.
- [20] CHE H, ZHANG X, LI Y, et al. Horizontal visibility trends in China 1981–2005[J]. Geophys Res Lett, 2007, 34(24). L24706, doi: 10.1029 /2007GL031450.
- [21] LEE D O. The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England[J]. Atmos Env (A. General Topics), 1990, 24(1): 195-201.
- [22] GREEN M C, FLOCCHINI R G, MYRUP L O. The relationship of the extinction coefficient distribution to wind field patterns in southern California[J]. Atmos Env (A. General Topics), 1992, 26(5): 827-840.
- [23] MALM W C, SISLER J F, HUFFMAN D, et al. Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States [J]. J Geophys Res: Atmospheres (1984–2012), 1994, 99(D1): 1 347-1 370.

- [24] RAUNEMAA T, KIKAS U, BERNOTAS T. Observation of submicron aerosol, black carbon and visibility degradation in remote area at temperature range from -24 to 20 C[J]. Atmos Env, 1994, 28(5): 865-871.
- [25] TSAI Y I, CHENG M T. Effects of sulfate and humidity on visibility in the Taichung harbor area (Taiwan)[J]. J Aerosol Sci, 1998, 29: S1 213-S1 214.
- [26] TSAI Y I, CHENG M T. Visibility and aerosol chemical compositions near the coastal area in central Taiwan[J]. Science of the Total Environment, 1999, 231(1): 37-51.
- [27] 范引琪, 李春强. 1980-2003 年京、津、冀地区大气能见度变化趋势研究[J]. 高原气象, 2009, 27(6): 1 392-1 400.
- [28] 范引琪, 李二杰, 范增禄. 河北省 1960—2002 年城市大气能见度的变化趋势[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 526-535.
- [29] 黄健, 吴兑, 黄敏辉. 1954—2004 年珠江三角洲大气能见度变化趋势[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 61-70.
- [30] 沈家芬, 冯建军, 谢利, 等. 广州市大气能见度的特征及其影响因子分析[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1 199-1 204.
- [31] 白爱娟, 钟文婷, 华兰, 等. 成都市大气能见度变化特征及影响因子研究[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 21-25.
- [32] 周书华, 倪长健, 刘陪川, 等. 成都市 1980—2010 年能见度的变化趋势分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(1): 91-96.
- [33] 侯灵, 安俊琳, 朱彬. 南京大气能见度变化规律及影响因子分析[J]. 大气科学学报, 2014, 37(1): 91-98.
- [34] 张剑, 刘红年, 唐丽娟, 等. 苏州城区能见度与颗粒物浓度和气象要素的相关分析[J]. 环境科学研究, 2011, 24(9): 982-987.
- [35] 周须文, 时青格, 贾俊妹, 等. 低能见度雾的分级预报方法研究[J]. 热带气象学报, 2014, 30(1): 161-166.
- [36] 陈静, 吴兑, 刘啟汉. 广州地区低能见度事件变化特征分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(2): 156-164.
- [37] 蓝静, 陈柏纬, 范绍佳, 等. 香港地区一次低能见度事件的数值模拟研究[J]. 热带气象学报, 2013, 29(6): 993-1 000.
- [38] 赵静, 孟小绒, 赵荣. 自动观测能见度与人工观测能见度对比分析[J]. 现代农业科技, 2014 (11): 257-258.
- [39] 何秀, 邓兆洋, 李成才, 等. MODIS 气溶胶光学厚度产品在地面 PM10 监测方面的应用研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010(2): 178-184.
- [40] 李清翠, 张振华, 姚付启, 等. 烟台地区水面蒸发量主成分分析法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 289-292.
- [41] 张文霖. 主成分分析在 SPSS 中的操作应用[J]. 市场研究, 2006(12): 31-34.
- [42] 王淑英, 张小玲, 徐晓峰. 北京地区大气能见度变化规律及影响因子统计分析[J]. 气象科技, 2003, 31(2): 109-114.
- [43] 中华人民共和国气象行业标准[Z]. 霾的观测与预报等级. QX/T 113-2010.

TEMPORAL-SPATIAL VARIATIONS OF VISIBILITY AND ITS AFFECTING FACTORS IN JIANGSU PROVINCE

CUI Jian^{1,3}, HUANG Jian-ping^{1,3}, ZHOU Chen-hong^{1,3}, JIAO Sheng-ming²,
YUAN Cheng-song², BAO Yun-xuan^{1,2,3}, XIE Xiao-jin^{1,2}, WANG Lin^{1,2}

(1. NUIST Collaborative Innovation Center on Meteorological Disaster Forecast Warning and Assessment, Nanjing 210044, China; 2. Key Laboratory of Transportation Meteorology, China Meteorological Administration, Nanjing 210008, China; 3. Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing 210044, China)

Abstract: Observational data from more than 70 automatic meteorological stations in 2012 are utilized to investigate the temporal-spatial variation patterns of visibility in Jiangsu province. Various meteorological data (e.g., relative humidity, wind direction and wind speed) are combined with air quality data (e.g., AOD, aerosol optical depth) to assess their impacts on the temporal-spatial variations in visibility. Several important features are identified from the study. First, the diurnal variation of visibility is low in the morning but high in the afternoon. Second, on the annual average, visibility displays a pattern of being high in the east and low in the west (HELW) in Jiangsu. Besides, spatial distributions show very different seasonal variations. A pattern of being high in the north but low in the south appears in spring and the pattern is reversed in summer. In contrast, The HELW pattern represents the distributions in autumn and winter. Third, haze is the most important factor affecting visibility, followed in turn by mist and fog in Jiangsu, 2012. Forth, visibility has a negative relationship with relative humidity and AOD but a positive relationship with the wind. And fifth, from the analysis of PCA, weather and air pollution play important roles in visibility variations.

Key words: atmospheric environment; visibility; atmospheric optical depth (AOD); meteorological factor; fog and haze