

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

(2008·2)

上海市气象科学研究所 编

大气科学研究与应用

(2008 · 2)

(第三十五期)

上海市气象科学研究所 编

图书在版编目(CIP)数据

大气科学研究与应用. 2008. 2/上海市气象科学研究
所编. —北京:气象出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-5029-4748-4

I. 大… II. 上… III. 大气科学-文集 IV. P4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 063285 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

策划编辑:沈爱华

责任编辑:蔺学东 俞卫平

封面设计:刘 扬

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:192 千字

版 次:2009 年 5 月第 1 版

定 价:25.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:7.5

印 次:2009 年 5 月第 1 次印刷

《大气科学研究与应用》第三届编审委员会名单

顾 问：秦曾灏 朱永禔

主 编：徐一鸣

副主编：端义宏

委 员：(以姓氏笔划为序)

王守荣	王迎春	王以琳	边富昌	许健民	刘万军
李泽椿	李永平	李 文	陈联寿	陈双溪	沈树勤
邵玲玲	罗哲贤	周诗健	钮学新	柯晓新	钟晓平
徐一鸣	钱永甫	梁建茵	崔春光	曹晓岗	黄 炎
黄家鑫	董安祥	雷小途	端义宏		

前 言

《大气科学研究与应用》是由上海区域气象中心和上海市气象学会主办、上海市气象科学研究所编辑、气象出版社出版的大气科学系列书刊。

自 1991 年创办以来,每年 2 本,到 2004 年共出版了 27 本,刊登各类文章 500 多篇共约 400 万字,文章的作者遍及于全国各地,文章的内容几乎涵盖了大气科学领域的各个方面,以及和气象业务有关的一些应用技术,经过历届编审委员会的努力,《大气科学研究与应用》已发展成为立足华东、面向全国,以发表大气科学理论在业务应用和实践中最新研究成果为主的气象学术书刊。作为广大气象科研和业务技术人员进行学术交流的园地,受到了华东地区乃至国内气象台站、气象研究部门和相关大专院校师生的欢迎,在国内具有一定的知名度。与此同时,我们也收到了不少读者的来信、来电,对书刊存在的不足之处和今后发展提出了很多宝贵意见和建议,在此一并表示由衷的感谢。

从 2005 年开始,根据各方面的意见,我们将对书刊的封面和部分版式、内容进行适当的调整,例如,在目录中不再划分成论文、技术报告和短论等栏目,而统一按文章的内容进行编排,使之更为符合本书刊所强调的理论与实际应用相结合的特色。希望经过调整后的《大气科学研究与应用》能更好地为广大大气气象科技人员服务,并继续得到大家的关心和热情支持。

《大气科学研究与应用》第三届编审委员会

主编 徐一鸣

大气科学研究与应用

(2008 · 2)

目 录

上海浦东地区大气能见度的变化特征及影响因子分析·····	施红 陈敏 韩晶晶(1)
高光谱遥感图像光谱域去噪的小波变换方法·····	王强 束炯(9)
2008 年上海“入梅”首日强对流天气过程分析 ·····	范富强 傅洁 王丽娟(18)
一次上海强风暴天气的综合分析 ·····	张德林(27)
上海城市夏季高温天气气候特征及天气系统分型 ·····	
·····	陈永林 万健 尹红萍 徐秀芳 王智(35)
夏季不同下垫面温度的对比观测及分析 ·····	范玉芬 盛文斌 杜俐萍 冯智(43)
杭州市西泠印社古建筑防雷保护方案 ·····	陆人治 鲁海洋(52)
上海徐家汇地区大气挥发性有机物的观测与分析 ···	米卫红 耿福海 俞琼 高伟(60)
简析九华山地形对降水的影响 ·····	丁仁海 苏化敏 王龙学(67)
闽西北一次连续性雨雪冻雨天气成因分析 ·····	
·····	章达华 沈永生 伍毓柏 邱章奴 王珊珊 刘玉 李衣长(75)
气象科研档案管理系统 ·····	栾瑾融 吴永琪(84)
NOAA 海浪预报资料在西北太平洋台风中短期预报中的应用 ·····	
·····	董明伦 营小华 边娜 周炯(100)
上海市奉贤区近 50 年四季初终期变化特征分析 ·····	顾品强(106)

Contents

Analysis of Factors Affecting Visibility and Its Variation Features in Pudong Area of Shanghai	
.....	SHI Hong CHEN Min HAN Jingjing (1)
Wavelet Transform Method on Removing Spectral Noises of Hyperspectral Images	
.....	WANG Qiang SHU Jiong (9)
Analysis of a Severe Convection Weather Process on the First Day of Meiyu Onset of Shanghai in 2008	
.....	FAN Fuqiang FU Jie WANG Lijuan (18)
A Synthetic Analysis of a Severe Storm Weather in Shanghai	
.....	ZHANG Delin (27)
Analysis of Climate Characteristics and Synoptic Systems of High Temperatures of Shanghai in Summer	
.....	CHEN Yonglin WAN Jian YIN Hongping <i>et al.</i> (35)
Comparison and Analysis of Temperature on Various Underlying Surfaces in Summer	
.....	FAN Yufen SHENG Wenbin DU Liping <i>et al.</i> (43)
Lightning Protection for Ancient Architecture in Xiling Seal Engravers' Society	
.....	LU Renzhi LU Haiyang (52)
Observational Analysis of Volatile Organic Compounds at Xujiahui, Shanghai	
.....	MI Weihong GENG Fuhai YU Qiong <i>et al.</i> (60)
Analysis of Jiuhua Mountainous Area Influences on Precipitation	
.....	DING Renhai SU Huamin WANG Longxue (67)
Causation Analysis of Persistent Snow-Rainfall and Freezing Rain Weather in Northwestern Fujian	
.....	ZHANG Dahua SHEN Yongsheng WU Yubo <i>et al.</i> (75)
Meteorological Research Archive Managing System	
.....	LUAN Jinrong WU Yongqi (84)
Application of NOAA Wave Forecast Data in Short-term and Medium-term Forecast of Northwestern Pacific Typhoons	
.....	DONG Minglun YING Xiaohua BIAN Na <i>et al.</i> (100)
Variation Characteristic Analysis of the First and Last Day of the Four Seasons in Fengxian District of Shanghai for Recent 50 Years	
.....	GU Pinqiang (106)

上海浦东地区大气能见度的变化特征 及影响因子分析

施 红 陈 敏 韩晶晶

(上海浦东新区气象局 上海 200135)

提 要

本文选择上海浦东自动气象站资料分析了上海浦东地区 2002—2007 年大气能见度的年际变化、季变化、月变化和日变化特征,结果显示,上海浦东地区能见度在 2002--2006 年呈逐年上升趋势,但 2006—2007 年明显下降;其季节变化特征非常明显,秋季能见度最佳,冬季最差;一日中凌晨能见度最差,午后能见度最好。大气能见度与同期地面气象要素和主要污染物的相关性分析表明,春季以空气相对湿度为影响能见度最主要的因子,夏、秋、冬季以 PM_{10} 为最主要的影响因子。大气能见度与相对湿度和空气污染物指数呈反相关,与风速呈正相关,与气温的相关性较为复杂(有时呈正相关,有时呈负相关),与气压的相关性较差。

关键词 大气能见度 气象条件 污染物 影响因子

一、引 言

能见度不仅反映一个城市的大气环境质量,而且与城市社会经济活动息息相关,特别是航空、公路运输业受其制约更为明显。低能见度常常是影响交通和飞机起降的重要因素,也给人们带来诸多不便和各种危害。因此,探讨和掌握大气能见度的变化特征及主要影响因素就变得重要而且必要了。

能见度通常指水平能见度,即指视力正常的人在当时天气条件下,从天空背景中看到和辨认出黑色、大小适度的目标物的最大水平距离;夜间则是能看到和确定出一定强度灯光的最大水平距离。除气象因素外,能见度的降低主要是受大气中污染物尤其是气溶胶对可见光吸收和散射所产生的消光作用所致。20 世纪 70 年代以来,国内外学者就已开始对大气能见度的研究,研究表明,气溶胶和气态污染物浓度特别高时,会改变天空颜色,能见度减小^[1],当其浓度极大时,会使天空呈现棕褐色^[2]。苏维瀚等^[3]对北京地区平均大气能见度与大气污染的关系进行了研究,指出北京地区平均大气能见度自 1970 年至 1979 年降低了 6~10 km,平均每年降低 0.6~1 km;对两次大气污染状况和大气能见度现场测量资料的分析结果表明,北京地区大气能见度的变化受大气中硫酸根浓度、颗粒物浓度、相对湿度和小于 10 μm 颗粒物浓度的影响较大。研究还认为造成北京地区低能见度的主要天气现象是雾^[4,5]。王淑英等^[6]对 1990—2000 年北京地区大气能见度与同期地面气象条件和主要污染物浓度的相关性分析表明,春、夏、秋季以空气湿度、 PM_{10} 和风速

为主要影响因子,冬季以 PM_{10} 、 SO_2 、空气湿度和风速为主要影响因子。

近年来,随着经济的迅速发展,上海的气候、空气质量和大气能见度也在不断的发生变化。本文基于气象资料与大气污染物资料,分析上海浦东地区大气能见度变化特征及气象条件和大气污染物对能见度的影响,为城市减灾及污染治理提供参考。

二、资料来源

本文选用 2002—2007 年浦东新区气象局 MILOS 500 自动站观测的能见度资料。董国青等通过 1998 年 3 月 1 日至 1999 年 10 月底进行的目测与 MILOS 500 自动站观测结果对比分析表明,MILOS 500 自动站的能见度记录在低能见度时,比目测能见度更客观、更精确;高能见度时,自动站的记录比较客观,人为影响小,更具有使用价值。同期的其他气象要素(包括气温、相对湿度、气压、风向、风速、降水量)资料(时间间隔为 min)也取自浦东新区气象局 MILOS 500 自动站观测记录;2002—2007 年逐日 PM_{10} 的 API 指数资料来源于上海市环境监测中心提供的上海市自动监测站记录。在分析前,用分钟数据求得小时平均值,以及逐日 24 个时次小时平均值求得逐日平均值。

三、上海浦东地区大气能见度变化特征

1. 年际变化

图 1 给出了 2002—2007 年上海浦东地区逐年和各季的平均能见度年际变化趋势。年平均能见度 2002—2006 年表现为逐年上升,2006—2007 年下降趋势明显,其中 2002 年最低(7.4 km),2006 年最高(9.3 km)。各季平均能见度年际变化表明,2002—2007 年上海浦东地区平均能见度有明显的起伏变化。其中春季 2002—2005 年逐年好转,2005—2006 年有所下降,2006—2007 年略有好转;夏季 2002—2003 年略有好转,2003—2004 年明显好转,2004—2005 年又有所下降,但 2005—2006 年明显上升,2006—2007 年下降幅度较大;秋季 2005—2006 年能见度有所下降,其他时间能见度变化趋势与年平均能见度变化趋势一致;冬季 2002—2003 年能见度下降明显,2003—2006 年逐年好转,2006—2007 年又表现为明显下降。

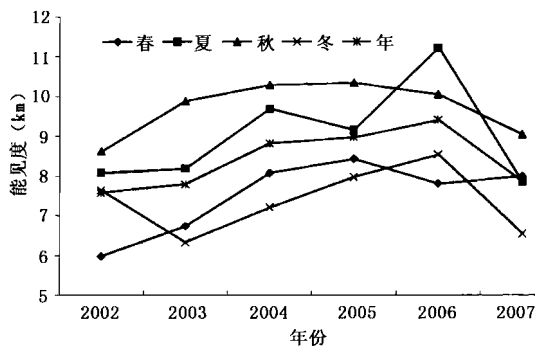


图 1 2002—2007 年上海浦东地区能见度的逐年变化

2. 月、季变化

图 2 是 2002—2007 年各月平均能见度的年际变化。由图 2 可以看出,冬春季节能见度较差,冬季与春季能见度相当,在 7.5 km 左右,其中春季比冬季略差;夏秋季节能见度较好,8、9 月的能见度达到最好,均超过了 11 km,7 月与 10 月能见度相当,均在 9 km 以上,其中 10 月能见度略好于 7 月。

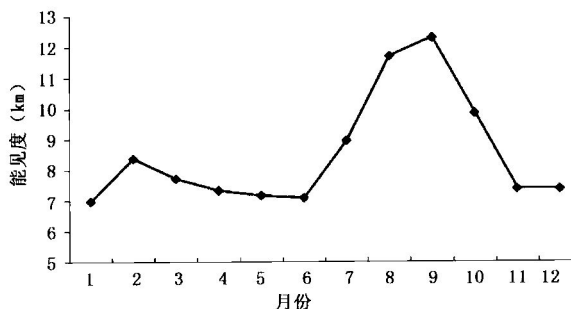


图 2 2002—2007 年上海浦东地区各月能见度的变化

3. 日变化

图 3 是 2002—2007 年上海浦东地区各季和年平均能见度的日变化。由图可见,上海浦东地区各季能见度的日变化趋势基本一致,日出前后为一天中能见度最差的时段,这是由于夜间大气层结较为稳定,边界层内往往有逆温存在,抑制了空气中气溶胶粒子的垂直扩散,而且此时气温低、湿度大、风速小,有利于雾的形成;日出后气温快速上升,湿度减小,风速逐渐增大,逆温逐渐消失,大气湍流加强,空气中污染物扩散速度加快,能见度开始好转,其中日出后的 2~3 h 能见度上升最快,冬季辐射雾大多在这个时段内消散,午后能见度最好;傍晚太阳西下,气温下降,相对湿度增加,大气能见度迅速下降,夜间大气能见度缓慢下降,与北京地区情况一致^[6]。

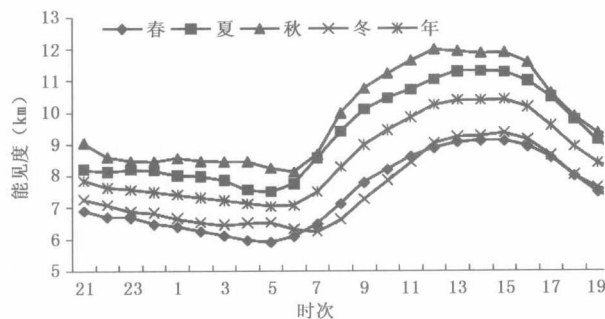


图 3 2002—2007 年上海浦东地区各季和年平均大气能见度的日变化

四、气象条件对大气能见度的影响

1. 地面气象要素对大气能见度的影响

(1) 能见度与相对湿度和风速的关系

图 4 为 2002—2007 年上海浦东地区能见度、相对湿度和风速的日变化曲线。由图 4

可看出,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,而能见度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有反相关关系。

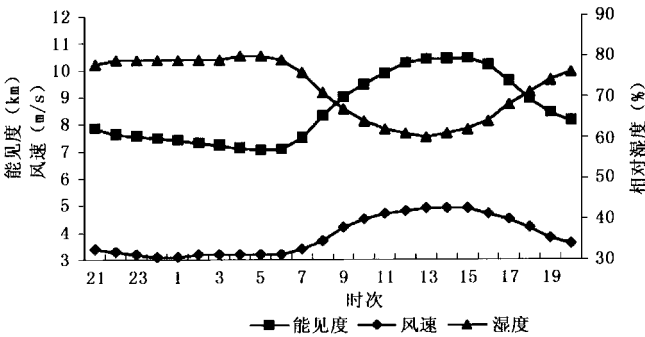


图4 2002—2007年上海浦东地区能见度、相对湿度和风速的日变化

(2)低能见度与风向风速和相对湿度的关系

统计2002—2007年间低能见度(指自动站1 h平均能见度 ≤ 1 km)事件发现,低能见度共出现267天,其中最多为静风天气,有208天,占77.9%;其次是东北风和东南风,各有15天;偏西风有8天;东到东北风有7天;偏南风有5天;西北风有4天;偏东风有3天;偏北风和东到东南风各有1天。由此可见,低能见度的出现不但与风向有关,与风速的关系尤为密切。这是因为小风速时有利于雾的形成,而不利于污染物的扩散。

计算研究时段内出现低能见度当天的平均相对湿度,结果表明,在267天低能见度中有204天的日平均相对湿度大于70%,占76.4%。其中99天的日平均相对湿度大于80%;14天日平均相对湿度大于90%。

2. 能见度与其同时次影响因子相关性比较

利用2002—2007年共1802天的资料,对地面常规气象要素日平均值与同期大气能见度的相关性进行分析,以找出对能见度影响最大的因子,及各种因子对能见度的影响程度(表1)。结果表明,春季能见度与相对湿度相关系数最大,为-0.54(通过99.9%的信度检验),与气温的相关系数最小,为-0.23(通过95%的信度检验);夏季能见度与风速的相关系数最大,为0.44(通过99.9%的信度检验),与气压的相关系数最小,为0.03(未通过90%的信度检验);秋季能见度与相对湿度的相关系数最大,为-0.29(通过99%的信度检验),与气压几乎没有相关;冬季能见度与相对湿度的相关系数最大,为-0.44(通过99.9%的信度检验),与风速、气温和气压的相关系数均不大,分别为0.29、-0.30和0.34(三者均通过了99%的信度检验)。

表1 2002—2007年上海浦东地区能见度与地面常规气象要素的相关系数

	相对湿度	风速	气温	气压
春季	-0.54	0.25	-0.23	0.30
夏季	-0.34	0.44	0.32	0.03
秋季	-0.29	0.28	0.20	0.00
冬季	-0.44	0.29	-0.30	0.34

3. 不同天气条件下低能见度影响因子分析

各个季节能见度与各地面气象要素的相关系数不同,同时各季节影响本地的天气系统也不同。对 267 天低能见度日影响本地的天气系统进行初步分析,发现低能见度时的天气系统主要分为 4 种。以下从 2006 年的 4 次个例来具体分析不同天气条件下低能见度的影响因子(表 2)。

表 2 造成低能见度的天气系统及要素特征

日期	天气系统	相对湿度	风	雾	API 指数(PM ₁₀)
2 月 15 日	低压倒槽	85%~90%	4~8m/s	平流雾	37
5 月 23 日	弱冷锋	90%~100%	静风	辐射雾	116
8 月 29 30 日	静止锋	90%~95%	静风	辐射雾	116
11 月 3 日	高压中心	95%~99%	静风	辐射雾	109

(1)地面冷锋过境前低压倒槽,如 2006 年 2 月 15 日,当天 PM₁₀ 的 API 值为 37(优),此次低能见度是由海上来的平流雾造成的,风速越大,平流雾越强,能见度就越低(图 5a)。此类天气主要出现在冬末春初。

(2)弱冷锋过境,并伴有小雨天气,如 2006 年 5 月 23 日,5 月 22 日下午上海处于弱冷锋南缘,有小雨,随着弱冷锋的南压,雨止转阴天,夜间云系消散,由于雨后湿度大、辐射降温、风力小,23 日凌晨近地面形成雾,日出后风速增大,相对湿度减小,能见度明显好转(图 5b);23 日 PM₁₀ 的 API 值为 116(轻微污染)。此次低能见度是由高湿、静风和高颗粒物浓度共同作用形成的。此类天气主要出现在春末夏初和秋末冬初。

(3)静止锋附近,如 2006 年 8 月 29 30 日。29 日下午本地有雷阵雨,29 日夜间相对湿度在 90%以上,连续 6 h 为静风,低能见度出现在 29 日夜间到 30 日凌晨(图 5c);30 日

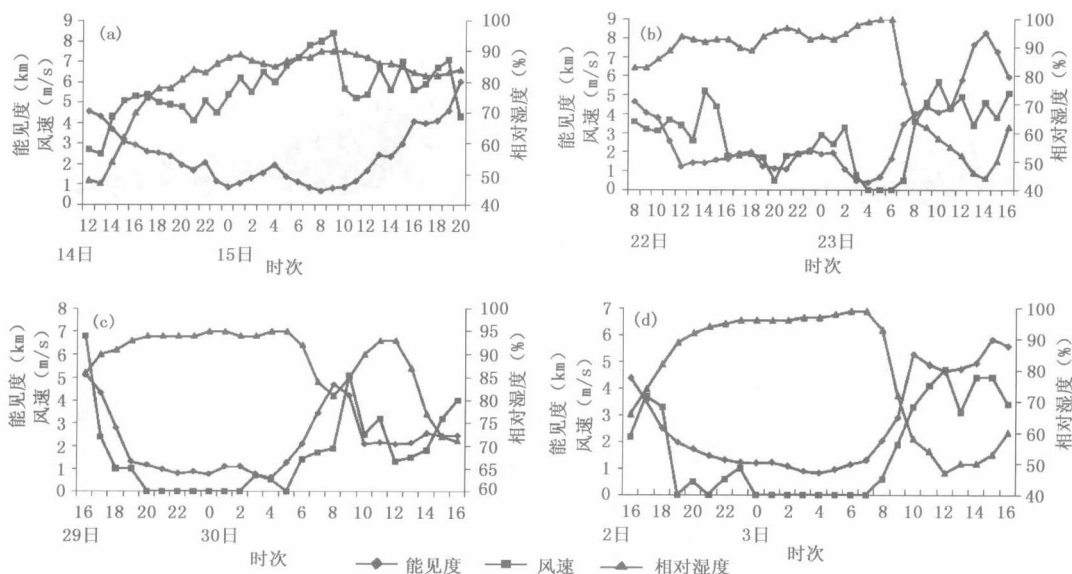


图 5 不同天气系统下能见度与同时次地面气象要素的变化

(a)2 月 14—15 日;(b)5 月 22—23 日;(c)8 月 29—30 日;(d)11 月 2—3 日

PM₁₀的 API 值为 116(轻微污染)。这次低能见度过程同样是由高湿、静风和高颗粒物浓度共同作用形成的。此类天气主要出现在夏季。

(4)高压中心附近,如 2006 年 11 月 3 日,2 日夜间上海处于高压中心附近,天气晴好,连续 8 h 为静风,3 日早晨出现了辐射雾(图 5d),3 日 PM₁₀的 API 值为 109(轻微污染)。此次低能见度也是由高湿、静风和高颗粒物浓度共同作用形成的。此类天气主要出现在春季、秋季和冬季。

五、大气污染物对大气能见度的影响

1. PM₁₀与大气能见度的相关性分析

根据 2002 年 1 月到 2007 年 12 月期间能见度和 PM₁₀的资料,作各季日平均能见度与 PM₁₀的 API 指数的散点图(图 6),并进行相关性趋势分析。结果表明,各季能见度与 API 指数的变化均相关较好(均通过 99.9%信度检验),日平均能见度随 API 指数的增高而减弱,其中夏季的相关性最为显著,其次是秋季,冬季相对较差,春季最差。

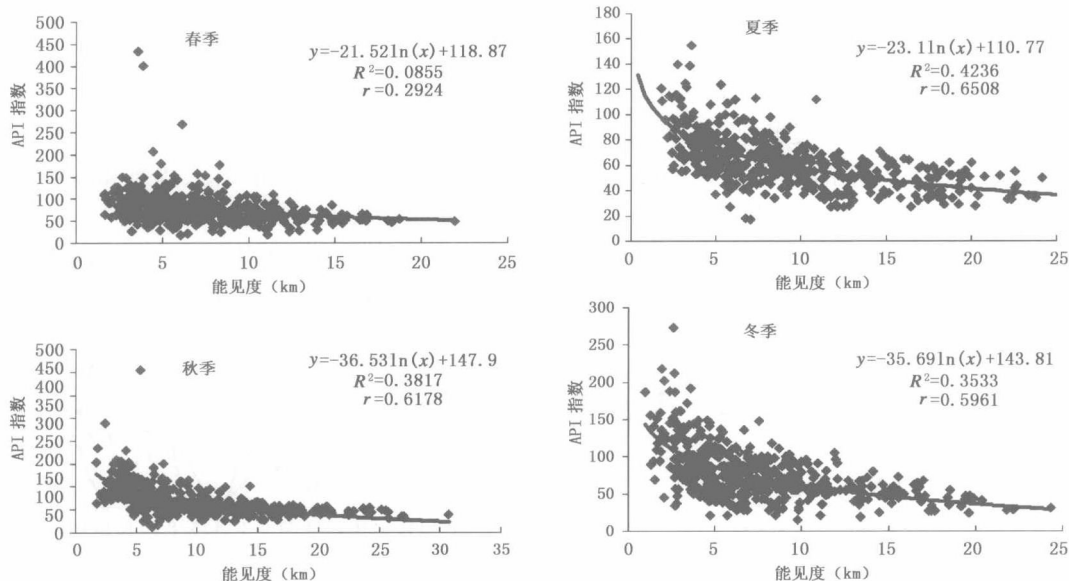


图 6 各季日平均能见度与 PM₁₀的 API 指数相关关系

2. 低能见度与空气污染等级的关系

表 3 是 2002 年 1 月到 2007 年 12 月期间浦东新区气象局 MILOS 500 自动站观测能见度低于 1 km 的天数,以低能见度持续 5 h 及以上为例,在研究时段内共有 63 天出现了能见度小于 1 km 且持续时间 5 h 及以上的天数,其中 PM₁₀日平均浓度污染等级在 1 级的有 1 天,2 级的有 24 天,3 级的有 36 天,4 级的有 2 天。

在 2002 年 1 月到 2007 年 12 月期间,PM₁₀在 3 级以上的有 299 天,这 299 天中有 110 天出现了 1 h 平均能见度小于 1 km,最低小时平均能见度在 1.0~2.0 km 的有 75 天,最低小时平均能见度在 2.0~3.0 km 的有 58 天,最低小时平均能见度在 3.0~4.0

km 的有 25 天。由此可说明大气污染物(尤其是颗粒物)是影响能见度的重要因素之一,而高污染也是造成低能见度的重要原因之一。

表 3 2002—2007 年上海浦东地区低能见度的天数

持续时间(h)	1	2	3	4	5	6	7	≥8
天数(天)	76	64	39	25	20	10	7	26

六、小 结

1. 2002—2007 年上海浦东地区大气能见度有明显的年际、月和季节变化及日变化。2002—2006 年平均能见度逐年好转,但 2006—2007 年明显下降;2002—2005 年春、秋两季和年平均能见度年际变化较为一致,2005—2007 年春季和 2005—2006 年秋季与年平均能见度变化相反;冬季 2002—2003 年表现为下降趋势,2003—2006 年为逐年上升趋势,2006 年—2007 年下降明显;夏季能见度年际变化在 2004—2005 年与其他季节相反。一年中秋季的能见度最好,冬季的能见度最差;一日之中凌晨能见度最差,下午最好。

2. 能见度与相对湿度呈明显反相关,与风速呈正相关,与气温的关系比较复杂,有时呈正相关,有时呈反相关。

3. 能见度与 PM₁₀ 的 API 指数具有较好的相关关系。PM₁₀ 的 API 指数对能见度的影响夏季最为明显,秋季次之,春季最不明显。

4. 能见度与同期 PM₁₀ 的 API 值和气象要素的相关性比较表明,夏、秋、冬季以 PM₁₀ 的 API 指数为最主要的影响因子,春季以相对湿度为最主要的影响因子。

5. 2006 年 4 次不同天气系统控制下的低能见度日中,2 月 15 日(低压倒槽)的低能见度是由海上来的平流雾造成;5 月 23 日(弱冷锋)、8 月 29—30 日(静止锋)和 11 月 3 日(高压中心)的低能见度是由高湿、静风及高颗粒物浓度共同作用形成。

参考文献

[1] 周淑贞,束炯.城市气候学.北京:气象出版社,1994:483—496.

[2] 周淑贞,大气光象.上海:科学技术出版社,1982:19—47.

[3] 苏维瀚,张秋彭,沈济等.北京地区大气能见度与大气污染关系初探.大气科学,1986,10(2):138—144.

[4] 孟燕军,王淑英,赵习方.北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析.气象,2000,26(3):40—42.

[5] 赵习方,徐晓峰,王淑英等.北京地区低能见度区域分布初探.气象科技,2001,29(4):19—22.

[6] 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.气象科技,2003,31(2):109—114.

Analysis of Factors Affecting Visibility and Its Variation Features in Pudong Area of Shanghai

SHI Hong CHEN Min HAN Jingjing

(Meteorological Bureau of Pudong New-District, Shanghai 200135)

Abstract

The yearly, seasonal and daily variation features of visibility were studied according to the Pudong AWS data from 2002 to 2007 in Shanghai. The results showed that visibility was improved yearly from 2002 to 2006, but it was decreased in 2007. In general, visibility in autumn is the best and worst in winter among a year, and it is the best in the afternoon and worst before daybreak. There existed a significant correlation between visibility and surface meteorological condition and the main air pollutants. The correlation analysis of visibility and air pollutants concentration and weather condition illustrated that humidity was the main influencing factor to the visibility in summer, autumn and winter. However, in spring, the main factor was PM_{10} concentration. The results indicated that there was a negative correlation between visibility and humidity and air pollutant concentration, and that there was a positive correlation between visibility and surface wind speed. On the other hand, the correlation between visibility and air temperature was complicated, sometimes it was negative, and sometimes it was positive.

高光谱遥感图像光谱域去噪的小波变换方法

王 强¹ 束 炯²

(1 上海市气象灾害防御工程技术中心 上海 201615;

2 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室 上海 200062)

提 要

由于小波变换在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力,对高光谱波谱维进行小波分解能够同时保留信号高频与低频信息,利于高光谱遥感光谱域噪声的去除。本文采用小波分解与重构法对高光谱遥感光谱域进行去噪,选择 Symlet8 小波基函数,应用离散小波分解对高光谱图像中提取的反射率光谱曲线进行小波分解,选择分解层数为 2,在去除 D1 和 D2 高频分量后进行小波重构,得到去噪后的反射率光谱曲线,经去相关法计算的信噪比结果显示,高光谱图像质量得到一定提高。

关键词 高光谱 小波变换 光谱域 信噪比

一、引 言

高光谱遥感具有非常高的光谱分辨率,它不仅可以探测到比常规遥感更精细的地物信息,而且也能探测到更精细的大气吸收特征。大气的分子和粒子成分在反射光谱波段反映强烈,能够被高光谱成像仪监测。高光谱遥感技术在大气研究中的突出应用是云盖制图、云顶高度与云层状态参数估算、大气水汽含量与分布估算、气溶胶含量估计以及大气光学特性评价等^[1,2]。Gao 等采用三通道比值技术从水汽吸收波段 $0.94\ \mu\text{m}$ 和 $1.14\ \mu\text{m}$ 的 AVIRIS 数据中提取水汽变化信息^[3]。Kaufman 等通过大量实验确定暗表面类型在蓝光、红光和 $2.1\ \mu\text{m}$ 波段反射率之间的比值关系,用卫星遥感或航空高光谱遥感在 $2.1\ \mu\text{m}$ 处测得的光谱反射率可以推求气溶胶光学厚度^[4~6]。大气中多种参数的高光谱定量反演精度主要取决于高光谱遥感图像的光谱分辨率与光谱信噪比。在高光谱图像成像时,由于自然光照明条件影响、地面地形影响、混合像元问题等原因在高光谱图像中引入各种噪声^[7],高光谱图像具有空间图像和地物光谱两方面的信息,因而噪声对高光谱图像的影响最终也会表现为空间域噪声和光谱域噪声两方面。为提高大气参数反演精度,对高光谱遥感图像光谱域进行去噪处理以提高光谱的信噪比是非常必要的。

小波变换具有良好的时频局部化性质,在信号去噪中得到了广泛应用。高光谱遥感的图像光谱可被视为一维信号,与化学中的分析光谱具有较多相似之处。目前,在光谱分析中,小波变换主要用于红外、紫外和 ICPAES 光谱的去噪。小波变换在光谱分析中能对光谱信号进行去噪、压缩、光谱重叠峰解析、光谱识别、相关组分提取、模型回归、光谱干扰检测以及聚类分析等方面的处理^[8],应用十分广泛。由于小波变换具有多分辨率分析

的特点,在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力,对高光谱波谱维进行小波分解能够同时保留信号的高频与低频信息,精细地描述光谱的波峰和波谷等曲线特性,因而有利于高光谱遥感光谱域噪声的滤波。本文采用小波分解与重构法(Mallat 塔式算法)对高光谱遥感光谱域进行去噪,选择 Symlet8 小波基函数,应用离散小波分解对高光谱图像中提取的反射率光谱曲线进行小波分解,选择分解层数为 2,在去除 D1 和 D2 高频分量后进行小波重构,在去除图像反射率光谱中的噪声后,得到平滑后的反射率光谱曲线,使高光谱图像的信噪比得到较大提高。

二、小波变换信号消噪方法

小波变换已成为信号去噪的主要方法之一,对于含噪信号的滤波处理,可以选用小波分解与重构法、小波收缩阈值法、平移不变量法和模极大值法。究竟选择哪种方法应根据信号的特点以及这几种方法的优缺点而定。小波分解与重构去噪法的优点在于方法简单,计算速度较快,适合用于信号和噪声的频带相互分离的确定性噪声去噪处理。小波收缩阈值法的优点在于能得到原始信号的近似最优估计、计算速度较快以及具有较好的适应性等优点,其缺点在于处理的信号类型不同其去噪的效果也将有很大差别^[9]。小波变换模极大值法的优点在于能处理含有较多奇异点或信噪比较低的信号,其缺点在于计算速度较慢。平移不变量法的优点在于能处理含有若干不连续点的信号,其缺点在于计算速度慢^[10]。

由于高光谱遥感对地面成像因地面的地物类型是多种多样的,其光谱曲线类型也有着很大差别,而由于小波收缩阈值法去噪效果依赖于处理的信号类型,对不同的信号类型而言,即使其噪声分布基本相同,其去噪效果也将有较大差别,因此,小波收缩阈值法不适合于高光谱图像的光谱域滤波。同时,高光谱图像波段众多,数据量大,这使得计算效率在选择高光谱图像处理方法时也是必须考虑而且是非常重要的一环。算法的时间性能—运行算法所需的时间度量,是衡量算法的主要性能指标。算法的时间性能一般以时间复杂度来衡量,时间复杂度大多采用基本语句执行次数的数量级来表示。各小波去噪方法所需计算量不一,若 N 为信号的长度,小波分解与重构法的计算数量级^[11]是 $O(N)$,平移不变量法的计算数量级^[12]是 $O(N \log N)$,而对于模极大值法而言,每次去噪要进行几十次的迭代,每迭代一次的计算数量级^[13]是 $O(N \log N)$ 。PHI 航空高光谱图像一景的像素个数为 652×3610 ,波段数为 124(相当于信号长度),应用小波去噪方法进行噪声滤波时,要逐像素提取出图像反射率光谱曲线以进行小波变换去噪,那么采用平移不变量法与小波分解与重构法去噪的计算数量级的差别为:

$$(652 \times 3610 \times O(124 \times \log 124) - O(124)) \approx O(3 \times 10^8) \quad (1)$$

而模极大值法与小波分解与重构法的计算数量级差别则更大。计算性能上的极大差别将严重影响去噪的速度,从而影响去噪方法的使用。因此,平移不变量法和模极大值法不适合用于高光谱遥感图像光谱域去噪。综合上述分析,本文选取小波分解与重构法用于高光谱遥感光谱域的噪声去除。