

伍红雨, 杜尧东, 何健, 等. 华南霾日和雾日的气候特征及变化[J]. 气象, 2011, 37(5): 607-614.

# 华南霾日和雾日的气候特征及变化<sup>\*</sup>

伍红雨 杜尧东 何 健 潘蔚娟

广东省气候中心, 广州 510080

**提 要:** 利用华南 192 个测站 1961—2008 年的地面气象观测资料, 采用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验、计算气候趋势系数等统计诊断方法, 分析了华南年霾日、雾日的时空特征和变化。结果表明: 珠江三角洲、广东西北部和广西东北部为多霾区, 海南为极少霾区; 华南有三个多雾区, 分别位于海南中西部地区, 两广的西北部地区。两广雾日呈由内陆向沿海递减的趋势。华南平均年霾日以 5.8 天/10 年的速率显著增加, 明显高于全国平均(3.19 天/10 年)。华南年霾日长期变化趋势有明显的空间差异, 在珠江三角洲、广东西北部以及广西中部和东北部增加最明显, 增加中心在深圳(38.8 天/10 年)。华南平均年雾日以 -0.8 天/10 年的速率明显减少。但华南站点雾日变化存在明显差异, 广东东部和南部、广西西部和北部边缘地区以及海南的大部分地区, 雾日减少明显, 减少最大在海南保亭(-16.8 天/10 年), 增加最大在海南白沙(20.7 天/10 年)。华南年霾日在 1989 年发生增加的突变, 雾日在 1995 年发生减少的突变。

**关键词:** 霾日, 雾日, Mann-Kendall 检验, 华南, 气候特征

## Climatic Characteristics and Variations of Haze Days and Fog Days in South China

WU Hongyu DU Yaodong HE Jian PAN Weijuan

Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080

**Abstract:** Based on the surface observation data of 192 meteorological stations during 1961—2008 in South China, the climatic characteristics and variations of haze days and fog days in South China were studied by using statistical diagnostic methods, such as linear regression analysis, Mann-Kendall test and the computation of trend coefficients. The results showed that haze days were more in the Pearl River Delta area, northwest areas of Guangdong and northeast areas of Guangxi, the fewest areas of hazes were in Hainan. There were three more fog regions in South China: the middle and western area of Hainan, northeast area of Guangxi and Guangdong, the annual mean fog days showed a decreasing trend from inland to coastal regions. The annual haze days in South China have increased obviously at a mean rate of 5.8 d/10a, it was more than that of the country mean (3.19 d/10a) obviously. There were obvious regional differences in the variable trend of annual haze days in South China, the increasing trends of haze days were obvious in the Pearl River Delta area, northwest areas of Guangdong, the middle and northeast areas of Guangxi, the increasing center was in Shenzhen (38.8 d/10a). The annual fog days in South China have decreased obviously at a mean rate of -0.8 d/10a, it displayed significant regional differences in South China. The fog days have decreased obviously in eastern and southern Guangdong, western and northern Guangxi, most parts of Hainan. The largest decreasing rate was in Baoting of Hainan (-16.8 d/10a), the largest increasing rate was in Baisha of Hainan (20.7 d/10a). The annual mean haze days had an abrupt change in 1989,

\* 中国气象局气候变化专项(CCSF-09-11), “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD04B03)和广州区域气象中心项目(GRMC2007202)共同资助

2010 年 8 月 27 日收稿; 2010 年 9 月 29 日收修定稿

第一作者: 伍红雨, 目前主要从事短期气候预测、气候研究. E-mail: wuhy@grmc.gov.cn

fog days had an abrupt change in 1995.

**Key words:** haze days, fog days, Mann-Kendall test, South China, climatic characteristics

## 引 言

根据气象观测规范<sup>[1]</sup>的定义,霾是一种大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度小于 10 km,造成空气普遍浑浊的天气现象。霾使远处光亮物体微带黄、红色,使黑暗物体微带蓝色。研究表明<sup>[2-3]</sup>,霾中的物质成分除了细尘以外,还包括硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、碳氢化合物、黑碳等粒子,因此其发生的频数与人类活动所造成的气溶胶污染密切相关。正是由于大量极细微的污染性气溶胶的存在,霾天气对人类的身体健康具有极大的危害性<sup>[4]</sup>。而雾是指大量微小水滴浮游空中,常呈乳白色,使水平能见度小于 1.0 km 的天气现象<sup>[1]</sup>。吴兑<sup>[2]</sup>指出,都市霾的出现有重要的空气质量指示意义,而雾或轻雾与特定的天气系统相联系,霾与雾的区别在于发生霾时相对湿度不大,而雾中的相对湿度是饱和的。频繁出现的大雾天气不仅对交通、航运等有严重影响,其伴随的稳定层结大气也使城市污染加重,给经济建设和人民生活带来重大损失<sup>[5-6]</sup>,因此霾和雾是科学界、公众和政府广泛关注的灾害天气。

气象学者对全国或区域的霾、雾气候特征和成因的研究,取得很有意义的成果。如胡亚旦等<sup>[7]</sup>利用 1961—2007 年全国 721 个气象站的霾天气观测资料,分析了中国大陆地区霾天气的时空分布特征,指出中国霾天气显著增多的区域主要位于华北中南部、长江中下游和华南等经济发达或经济快速发展的地区,特别是近 5 年霾天气显著增多。高歌<sup>[8]</sup>对 1961—2005 年中国霾的时空气候分布特征、变化趋势进行了详细分析,并探讨了霾变化的可能原因及其与太阳总辐射、日照时数变化的关系,指出全国平均年霾日呈明显增加趋势,而年平均日照时数呈减少趋势。刘小宁等<sup>[9]</sup>分析了 1950 年以来我国大雾时空分布的基本气候特征后指出,我国大雾分布呈现东南多西北少的特点,且区域差异明显,我国大部分地区大雾日数呈减少趋势。王丽萍等<sup>[10]</sup>利用 1961—2000 年全国 604 个气象站的雾天气观测资料,分析了我国雾区的分布和季节变化,指出我国有 6 大雾区,大多数区域雾日年际变化有下降的趋势,特别是 1980 年以来下降趋势更明显。魏文秀<sup>[11]</sup>分

析了河北省霾时空分布特征,发现河北霾频数具有显著的地域性和月际分布特征。饶晓琴、周宁芳等<sup>[12-13]</sup>对我国发生大范围霾的天气成因进行分析,指出前倾槽和逆温层是灰霾形成的有利天气学条件,秋、冬季节是我国霾频发时期。针对华南的不同地区,刘爱君、许嘉玲、蒋珍姣、江崑、胡天玉等<sup>[14-18]</sup>分别分析了广州、柳州、桂林、深圳、雷州半岛的不同时期霾日特征及成因。李生艳、邓英姿、王婷等<sup>[19-21]</sup>分别分析了广西、广西沿海以及珠江口大雾天气环流形势特征。吴兑等<sup>[22-25]</sup>对珠江三角洲霾天气的成因和形成条件进行了大量研究,指出细粒子污染形成灰霾天气,导致该地区能见度下降。

华南地处热带、亚热带季风气候区,近年来,随着城市规模的不断扩大和城市化进程的迅速发展,灰霾现象急剧增多,2006、2007 和 2008 年的华南平均年霾日是近 48 年来最多的 3 年。霾及雾、霾结合物已经成为城市发展过程中影响城市环境的重要因素。由于霾和雾受地理位置、环境因素等影响,地域差异很大。华南也不在王丽萍等<sup>[10]</sup>划分并详细研究的中国六大雾区之内。对于华南霾日和雾日的总体气候特征及演变趋势等问题,目前还难以从已有的研究中找到详细的答案。为此,本文利用华南所有 192 个站 1961—2008 年霾和雾的观测资料,对华南霾日和雾日的时空分布特征及其演变趋势等进行研究,以期得出更多认识。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用资料是华南区域气候中心归档整理的华南全部 192 个地面气象观测站的霾和雾实际观测资料,资料年代为 1961—2008 年,观测记录中出现霾或雾现象,即记为一个霾或雾日。其中时间序列长度达 48 年的测站有 167 个,占总测站(192 个)的 86.98%;时间序列长度达 40 年的站有 189 个,占总测站(192 个)的 98.4%。统计表明,48 年来,有 183 个站出现过霾天气,有 146 个站 48 年的年平均霾日 > 1 天,占 76.0%;有 37 个站 48 年的年平均霾日 ≤ 1 天。48 年来,192 站中除海南三亚未有雾记录外,其余 191 个站都出现过雾。文中华南区域平均是指

有资料的站点年霾日或雾日的平均。

## 1.2 方法

### 1.2.1 计算趋势系数和回归系数

为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献[26]的方法,计算气象要素的时间序列与自然数数列之间的相关系数(称为气候趋势系数),并进行统计检验。本文在对华南霾日和雾日的长期趋势变化特征进行讨论时,还计算了华南地区平均和单站的线性回归系数。

采用 Mann-Kendall(M-K)方法对华南平均年霾日和雾日的时间系列进行突变分析,具体方法见参考文献[27]。

### 1.2.2 相似系数

为了定量地表示两张空间分布图(如平均霾日图与平均雾日图)的相似程度,根据文献[28]的方法,计算相似系数。它由下式计算:

$$\cos\theta = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}}, \quad m = 192(\text{站})$$

其中,  $\cos\theta$  是两幅图相似程度的定量指标,  $x_i$ 、 $y_i$  分别是第  $i$  站(空间点)在两幅图的要素值。相似系数等于 1.0 或 -1.0, 为完全相同(相反), 等于 0.0 时表示完全不相似, 正值越大图形越相似, 负值越大图形越相反。

## 2 华南年霾日、雾日的平均特征和变化

### 2.1 多年平均的空间分布特征

图 1a 为华南 192 站 1961—2008 年有资料时段年平均霾日的空间分布图, 可见, 华南各地霾日存在

明显差异。根据各站 48 年平均霾日的多少, 可将华南划分为 4 个影响区。(1)多霾区: 包括珠江三角洲、广东西北部和广西东北部, 年发生霾日 20.0~64.5 天; (2)次多霾区: 包括两广的中部偏北的部分地区, 年发生霾日 10.0~19.9 天; (3)少霾区: 广西中部以西、广东西南部和东南部地区, 年发生霾日 1.0~9.9 天; (4)极少霾区: 海南。海南共 18 个站, 有 9 个站(东方、临高、澄迈、儋州、琼中、定安、屯昌、乐东、通什)未观测有霾天气, 其余 9 站的 48 年平均霾日  $\leq 1$  天。年平均霾日排名前十位的站点见表 1, 最大在广西梧州(64.3 天), 前 10 位中有 6 个站点位于珠江三角洲, 其余位于广西东部。与胡亚旦等<sup>[7]</sup>统计的 1961—2007 年全国年霾日最高中心陕西西安 99.2 天相比, 华南霾中心(梧州)的霾日要少约 30 天。统计站点霾日逐年变化得出, 年霾日最多为广东东莞(242 天, 2007 年), 其次是广东深圳(241 天, 2008 年; 232 天, 2007 年)。这与珠江三角洲和广西东部地区经济快速发展密切相关。

图 1b 是华南 192 站 1961—2008 年有资料时段年平均雾日空间分布图。可见, 华南有三个多雾区, 分别位于以白沙为中心的海南中部以西地区, 年平均雾日在 40~127 天; 以三江、资源、西林为中心的广西西北部地区, 年平均雾日在 20~73 天; 以连山、封开为中心的广东西北部地区, 年平均雾日在 20~64 天; 其余地区年平均雾日在 0~20 天, 其中华南沿海和海南部分地区是少雾区, 年平均雾日在 0~10 天, 海南三亚 48 年没出现过雾日。两广雾日呈由内陆向沿海递减的趋势。

在 1961—2008 年华南全部 192 个站的观测资料中, 189 个站有 1966—2008 年完整资料, 只有广东茂名、广西防城和防港是 1972 年以后建站的, 资料少, 但 3 站都是处于华南西南沿海的少雾和少霾

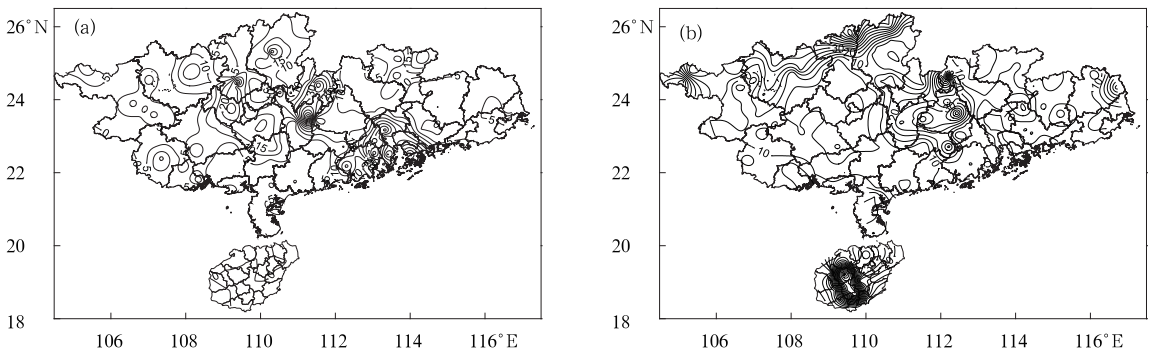


图 1 1961—2008 年华南各站有资料时段年平均霾日(a)、雾日(b)的分布(单位:天)  
Fig. 1 The distribution of annual mean haze days (a) and fog days (b) for having data period in South China during 1961—2008 (unit: d)

区,所以资料长度不一对多年平均的空间分布形势产生影响。

华南年平均雾日排名前十位的站点见表 1,前三名为:白沙(126.5 天)、保亭(87.4 天)、通什(83.5 天),都出现在海南。由表 1 得出,华南雾日最多的

表 1 华南年平均霾日和雾日排名前 10 位的城市(单位:天)

Table 1 The top 10 cities with the most annual mean haze days and fog days in South China (unit: d)

站点	梧州	新会	深圳	贺州	广州	顺德	南海	斗门	鹤山	桂林
年平均霾日	64.3	48.3	45.7	44.0	42.4	38.8	37.1	36.2	34.3	33.8
站点	白沙	保亭	通什	三江	连山	广宁	西林	澄迈	资源	封开
年平均雾日	126.5	87.5	83.5	72.7	63.5	54.5	52.4	45.3	44.8	44.3

天气现象,有明显差异。

## 2.2 区域平均的霾日和雾日时间变化特征

### 2.2.1 霾日的长期变化

图 2a 是华南站点平均后霾日的逐年变化,它可以反映华南霾日的总体变化。可见,48 年来华南年平均霾日为 9.1 天,2007 年最多(52.0 天),1964 年最少(0.98 天)。年霾日以 5.8 天/10 年的速率显著增加(趋势系数为 0.74),通过了 0.001 显著性水平检验,增加趋势非常明显,增加幅度明显高于全国平均霾日的增长速率(3.19 天/10 年)<sup>[7]</sup>。图 2b 是站点逐年最多霾日的时间演变。图 2b 与图 2a 很相似,都可以说明华南霾日在显著增加。逐年站点最

10 个城市,其霾日都是处于少或极少区。

计算图 1a 和图 1b 的相似系数为 0.295,可见两幅图大部分是不相似的,这表明霾与雾的分布特征大部分不相似,仅在两广的西南部存在相似,都是少霾和雾出现的地区。可见,霾与雾是两种灾害性

多年霾日以 32.2 天/10 年的速率显著增加(趋势系数为 0.87),也通过了 0.001 显著性水平检验,增加趋势非常显著。可见,站点年最多霾日在 1964 年最少(26 天,广西桂平),到 2007 年最多(242 天,广东东莞),增大了 9 倍多,次多年是 2008 年(241 天,广东深圳),第三是 2006 年(192 天,广东东莞)。由图 2a 和 2b 可见,2003 年以来,霾日增加最为明显。统计华南平均霾日的年代际变化得出,20 世纪 60—80 年代,华南平均霾日处于缓慢上升时期,从 60 年代的 2.1 天、70 年代 3.4 天缓慢上升到 80 年代的 5.3 天,90 年代后明显增加,为 10.2 天,2001—2008 年快速上升,达到 28.2 天,霾日是 20 世纪 60 年代的 14 倍。

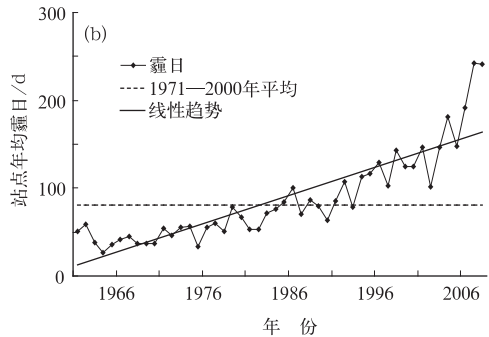
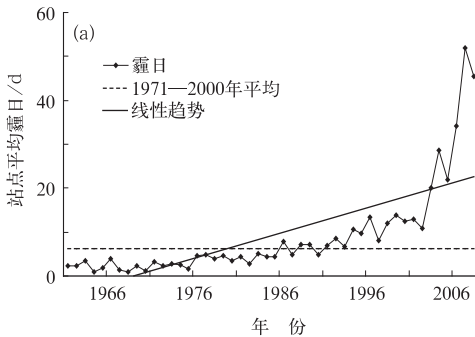


图 2 华南平均霾日(a)和最大霾日(b)的年代际变化(单位:天)

Fig. 2 Interannual variations of the haze days in South China for annual mean (a) and annual maximum (b, unit: d)

表 2 是华南 8 个代表站 1961—2008 年各年代年平均霾日数。统计结果表明,除海口几乎没有霾,其他 7 个代表站 2001—2008 年的霾日均是 1961 年以来各年代中最高的,并且除南宁是在 2000 年以后上升明显外,其余 6 站在 20 世纪 90 年代后上升很明显,特别是 2000 年以来,深圳、汕头、南雄、梧州的年平均霾日数都已超过 100 天,深圳已达 158 天,是

8 个代表站中最多的。各年代前后差异还非常明显,例如广州、深圳、汕头、桂林 2001—2008 年的霾日数分别是 20 世纪 60 年代的 46.3 倍、395.0 倍、532.0 倍和 17.9 倍。说明广东和广西大中城市霾天气明显增多,特别是在珠三角及周边地区、粤东南沿海及粤北增多最显著,这与区域经济发展所引起的大气污染物排放显著增多有关。

表 2 华南 8 个代表站各年代的年平均霾日数(单位:天)

Table 2 The average annual haze days of each decade at eight representative stations in South China (unit: d)

代表站	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2008
广州	2.0	9.3	46.4	71.9	92.6
深圳	0.4	0.8	9.3	82.3	158.0
汕头	0.2	1.0	1.6	41.6	106.4
南雄	2.2	3.9	9.5	38.8	112.5
南宁	11.4	23.4	8.8	0.0	32.8
桂林	4.5	12.4	26.8	54.3	80.4
梧州	5.5	30.6	73.0	104.5	118.5
海口	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0

2.2.2 雾日的长期变化

图 3a 为华南站点平均后雾日的逐年变化。可见,华南 48 年的年平均雾日为 14.5 天,最多雾日出现在 1978 年,为 20.6 天;最少雾日发生在 2007 年,为 10.7 天。48 年来,年平均雾日以 -0.79 天/10 年的速率明显减少(趋势系数为 0.50),并通过 0.001 显著性检验,减少趋势非常明显,这与王丽萍等<sup>[10]</sup>研究指出的我国大多数区域雾日的年际变化有下降的趋势相一致,但华南平均雾日减少幅度要

远低于长江中下游减少的幅度(13 天 /10 年)。从多项式曲线看,20 世纪 60 年代中期到 80 年代初期是相对多雾期,80 年代中期以来雾日减少非常明显。统计华南平均雾日的年代际变化得出,20 世纪 70 年代最多(17.8 天),其次是 60 年代(14.8 天)和 80 年代(14.5 天),最少为 2001—2008 年(13.0 天)和 20 世纪 90 年代(13.1 天),2001—2008 年的平均雾日比 20 世纪 70 年代少 4.7 天。可见,华南雾日的变化比霾日的变化相对要小得多。

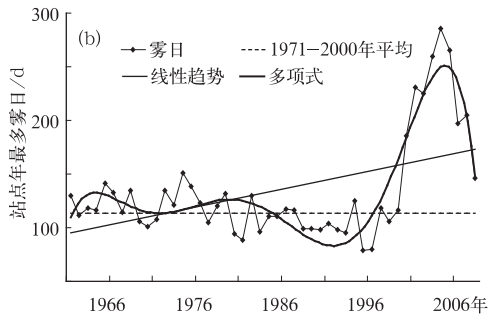
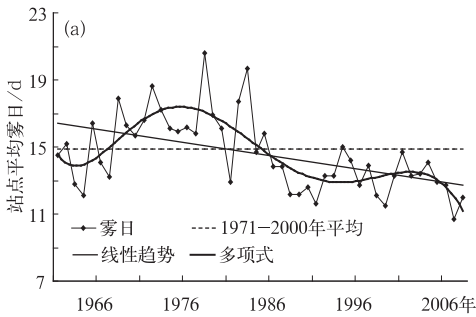


图 3 华南平均雾日(a)和最多雾日(b)的年代际变化(单位:天)

Fig. 3 Interannual variations of the fog days in South China for annual mean (a) and annual maximum (b, unit: d)

图 3b 是华南站点年最多雾日的时间演变。可见图 3b 与图 3a 差异大。华南多年平均年最多雾日为 113.3 天,站点年最多雾日以 16.6 天/10 年的速率明显增加(趋势系数为 0.47),通过了 0.001 显著性检验,增加趋势非常明显,这与平均雾日是显著减少有区别。站点年最多雾日 1995 年最少(79 天),2004 年最多(286 天)。1981 年以来,华南年雾日最多的站均是出现在海南白沙,说明其雾日增加非常明显。从多项式曲线看,1960—2000 年华南站点年最多雾日处于波动,2000 年以来,增加非常明显。

际变化主要由人类活动所造成。近年,由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快,大气气溶胶污染日趋严重,造成华南平均年霾日呈明显增加趋势。而雾的年际变化是大气、环境、生态综合变化的结果<sup>[29-30]</sup>,刘小宁等<sup>[9]</sup>研究表明:雾日的变化与最低气温、相对湿度等有密切相关,同时与森林覆盖率、城市热岛效应等的变化有关,而这些因素是在不断变化的,因此雾日也在不断的波动变化。

从上分析可以看到,华南平均霾日和雾日的年际变化有明显差异,以下是一点初步解释:霾日的年

表 3 是华南 8 个代表站 1961—2008 年各年代年平均雾日。统计结果表明,除海南白沙的年平均雾日在 2001—2008 年增加非常明显外,其余代表站都是 20 世纪 70 年代最多。广州、深圳、汕头在

2001—2008 年的雾日均是 1961 年以来各年代中最少且雾日减少明显,而广东连山、广西南宁和桂林雾日处于波动,海南雾日变化存在明显地区差异,保亭

从 20 世纪 70 年代的 120.5 天减少到 2001—2008 年的 56.4 天,而白沙从 1971—1980 年的 95.1 天增加到 2001—2008 年的 226.9 天,增加很明显。

表 3 华南 8 个代表站各年代的年平均雾日数(单位:天)

Table 3 The average annual fog days of each decade at eight representative stations in South China (unit: d)

代表站	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2008
广州	4.8	5.8	3.4	8.4	2.4
深圳	5.1	6.5	4.2	3.6	2.2
汕头	18.6	22	12.4	11.4	6.3
连山	58.6	73.8	65.9	57.7	60.7
南宁	9.2	9.9	4.1	0	6.75
桂林	2.7	5.3	2.6	4.2	4.1
保亭	105.8	120.5	85.9	69.5	56.4
白沙	113.3	95.1	106.5	110.7	226.9

以上分析了华南平均年霾日和雾日的时间变化,那么这种变化是否发生突变,有必要进行分析比较。

### 2.2.3 霾日和雾日的突变分析

图 4 是对 1961—2008 年华南站点平均年霾日和雾日的时间序列进行 Mann-Kendall 突变检验的

结果。由图 4a 可见,1973 年以后,霾日有增加的趋势,1978 年以后,增加趋势均超过 0.05 显著性水平临界线,在 1989 年发生突变,并且增加趋势大大超过 0.001 显著性水平( $u_{0.001} = 2.56$ ),增加趋势非常明显。由图 4b 可见,华南平均年雾日在 1995 年发生减少突变,特别是 1998 年以来,雾日减少明显。

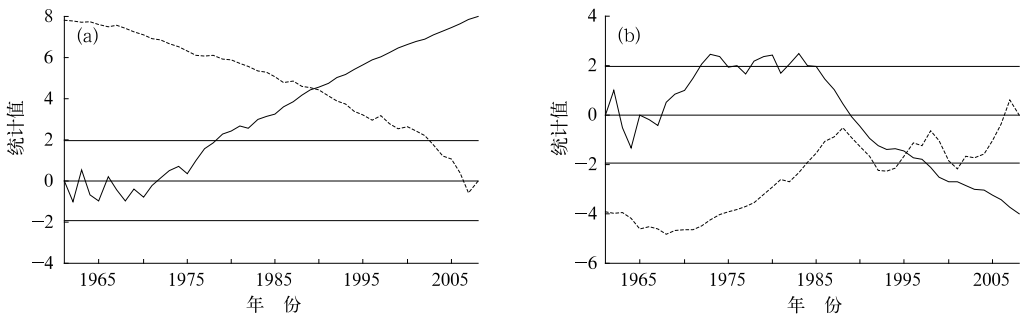


图 4 华南平均年霾日(a)和雾日(b)的 M-K 突变检验

实线:UF,虚线:UB,水平线:M-K 检验 0.05 显著性水平临界线

Fig. 4 Mann-Kendall abrupt change test of annual mean haze (a) and fog (b) days in South China

Straight solid line is UF,dashed line is UB,the level lines indicate the 0.05 significance level criteria of the M-K test

## 3 华南站点年霾日和雾日的变化

对华南 192 站的年霾日、雾日的时间序列逐站地计算趋势系数得到其长期趋势变化的空间分布如图 5。图 5a 和图 5b 的相似系数是 -0.038,说明年霾日和雾日的长期变化的空间分布完全不相似,这与它们本身数值的空间分布的相似程度(相似系数为 0.295)明显降低。可以看出,华南年霾日的变化趋势系数比年雾日的大,并且范围广。

图 5a 是华南站点年霾日的趋势系数分布图。华南 192 个站点中,有 146 个站为增加的趋势,其中在广东的大部分地区和广西的中部及以东地区有 120 个站的趋势系数大于 0.29,通过 0.05 显著性水平检验,增加趋势明显,特别是在珠三角、广东西北部以及广西中部和东北部有 57 个站趋势系数高达 0.56~0.94,通过 0.001 显著性水平检验,增加趋势非常显著。除海南 18 个站几乎很少出现霾日,无变化或变化很小外,广西西部和广东西南部局地有 28 个站有减少的趋势,其中广西的靖西、隆安、鹿寨、平



果、北流的趋势系数为 $-0.30 \sim -0.46$ ,通过 $0.05$ 显著性水平检验,减少趋势明显。计算回归系数得出,霾日增加速率的前十位是:广东深圳(38.8天/10年),新会(37.2天/10年),广西梧州(31.0天/10年),广东南海(29.6天/10年),斗门(29.6天/10年),顺德(26.3天/10年),珠海(25.9天/10年),东莞(25.3天/10年),鹤山(25.2天/10年),南雄(25.1天/10年),这10站中有8站出现在珠三角地区,这与珠三角气溶胶污染日趋严重密切相关<sup>[24]</sup>。

图5b是华南站点年雾日的趋势系数分布图。192个站中,有119个站雾日趋势系数是负趋势,其中有75个站雾日趋势系数在 $-0.29 \sim -0.90$ ,通过 $0.05$ 显著性水平检验,减少趋势明显,其主要位于

广东东部和南部、广西的西部和北部边缘地区以及海南的大部分地区,减少有3个中心,分别位于广西龙胜、海南通什和广东惠阳。有73个站雾日趋势系数是正趋势,其主要位于广西大部和海南,其中有34个站雾日趋势系数在 $0.29 \sim 0.79$ ,通过 $0.05$ 显著性水平检验,增加趋势明显,中心位于海南白沙、广西上林和广东新兴。计算雾日的回归系数得出:雾日减少速率最大的三个站是海南保亭( $-16.8$ 天/10年)、通什( $-15.2$ 天/10年)和广西龙胜( $-13.4$ 天/10年)。雾日增加最大的前五位是:海南白沙(20.7天/10年),广东新兴(8.1天/10年),云浮(7.2天/10年),广西三江(4.5天/10年)和上林(4.3天/10年)。

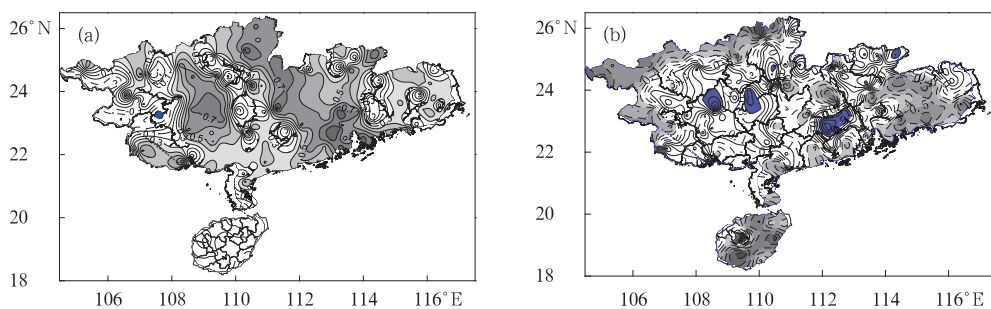


图5 华南年霾日(a)、雾日(b)变化趋势系数分布

阴影为通过 $0.05$ 显著性水平检验的地区

Fig. 5 The variable trend distribution of annual haze days (a) and fog days (b) in South China

Shaded areas indicate significance level passing through  $0.05$

以上分析说明除海南和广西西部地区的霾日变化不明显外,华南大部份地区霾日增加明显,特别是在珠三角及附近地区,这与这些地区经济快速发展有关。相对霾日的变化幅度,雾日要小很多。

## 4 结 论

(1) 1961—2008年华南站点平均霾日和雾日存在明显地区差异,珠江三角洲、广东西北部和广西东北部为多霾区,海南为极少霾区;华南有三个多雾区,分别位于以白沙为中心的海南中部以西地区,以三江、资源、西林为中心的广西西北部地区和以连山、封开为中心的广东西北部地区;两广雾日呈由内陆向沿海递减的趋势。最多年霾日出现在广西梧州(64.3天),最多年雾日出现在海南白沙(126.5天),最少霾日和雾日均出现在海南。

(2) 就多年平均来说,华南年霾日和雾日的空间分布大部分不相似,仅在两广的西南部存在部分

相似,该地区出现霾和雾天气较少。年霾日和雾日的长期变化的空间分布完全不相似,说明霾与雾是两种灾害天气现象,其变化趋势有明显差异。

(3) 华南平均年和站点年最多霾日分别以5.8天/10年、32.2天/10年的速率显著增加,明显高于全国平均霾日的增长速率(3.19天/10年)。华南平均霾日在20世纪90年代后明显增加,特别是2003年以来上升非常明显。华南平均雾日以 $-0.79$ 天/10年的速率明显减少,在20世纪60年代中期到80年代初期是相对多雾期,80年代中期以来雾日减少非常明显。而站点年最多雾日以16.6天/10年的速率显著增加,海南白沙雾日增加最显著。华南平均年霾日在1989年发生增加的突变,而雾日在1995年发生减少突变。

(4) 华南年霾日长期趋势变化有明显的空间差异,在珠江三角洲、广东西北部以及广西中部和东北部增加最为显著,速率高达 $20 \sim 39$ 天/10年,中心在广东深圳(38.8天/10年)。华南年雾日在广东东

部和南部、广西西部和北部边缘地区以及海南大部分地区减少趋势明显,雾日减少最大在海南保亭(-16.8天/10年)。而在海南的部分地区和广西大部分地区以及广东北部,雾日有增加趋势,增加中心在海南白沙(20.7天/10年)。

(5) 华南霾日快速增长的地区,也是气溶胶污染严重的区域,这与珠江三角洲城市群、经济等的快速发展密切相关。

## 参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003:21-27.
- [2] 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J]. 气象, 2005, 31(4):3-7.
- [3] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象, 2006, 32(4):9-15.
- [4] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3):198-201.
- [5] 黄荣辉, 张庆云, 阮水根, 等. 我国气象灾害的预测预警与科学防灾减灾对策[M]. 北京: 气象出版社, 2005:3-19.
- [6] 徐怀刚, 邓北胜, 周小刚, 等. 雾对城市边界层和城市环境的影响[J]. 应用气象学报, 2002, 13(特刊):170-176.
- [7] 胡亚旦, 周自江. 中国霾天气的气候特征分析[J]. 气象, 2009, 35(7):73-78.
- [8] 高歌. 1961—2005年中国霾日气候特征及变化分析[J]. 地理学报, 2008, 63(7):761-768.
- [9] 刘小宁, 张洪政, 李庆祥, 等. 我国大雾的气候特征及变化初步解释[J]. 应用气象学报, 2005, 16(2):220-230.
- [10] 王丽萍, 陈少勇, 董安祥. 中国雾区的分布及其季节变化[J]. 地理学报, 2005, 60(4):689-697.
- [11] 魏文秀. 河北省霾时空分布特征分析[J]. 气象, 2010, 36(3):77-82.
- [12] 饶晓琴, 李峰, 周宁芳, 等. 我国中东部一次大范围霾天气的分析[J]. 气象, 2008, 34(6):89-96.
- [13] 周宁芳, 李峰, 饶晓琴, 等. 2006年冬半年我国霾天气特征分析[J]. 气象, 2008, 34(6):81-88.
- [14] 刘爱君, 杜尧东, 王惠英. 广州灰霾天气的气候特征分析[J]. 气象, 2005, 30(12):68-71.
- [15] 许嘉玲, 陈美容. 柳州市灰霾天气的气候特征分析及对策研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(1):252-253, 256.
- [16] 蒋珍姣, 龙凤翔, 李艳玉, 等. 桂林市近10年霾的变化分析[J]. 气候研究与应用, 2009, 30(1):68-69, 79.
- [17] 江崧, 曹春燕. 2003年深圳市灰霾气候特征及影响因素[J]. 广东气象, 2004, 4:14-15.
- [18] 胡天玉, 杨显宇, 谢巨伦. 雷州半岛霾的初步分析与预报[J]. 广东气象, 2005, 1:21-22.
- [19] 李生艳, 周能, 苏洵. 广西大雾天气的气候及环流形势特征[J]. 气候研究与应用, 2009, 30(4):14-17.
- [20] 邓英姿, 李勇, 许文龙. 广西沿海地区大范围雾气候特征与天气形势分析[J]. 气候研究与应用, 2009, 23(4):20-22.
- [21] 王婷, 潘蔚娟, 谌志刚, 等. 珠江口持续性雾生消的环流特征和成因分析[J]. 气象, 2010, 36(6):13-20.
- [22] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1):1-9.
- [23] 吴兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降[J]. 热带气象学报, 2007, 23(1):1-6.
- [24] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲气溶胶云造成严重灰霾天气[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6):77-83.
- [25] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4):510-517.
- [26] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年四个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4):431-439.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007:63-66.
- [28] 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1):162-170.
- [29] 吴彬贵, 解以扬, 吴丹朱, 等. 京津塘高速公路秋冬雾气象要素与环流特征[J]. 气象, 2010, 36(6):21-28.
- [30] 严文莲, 刘端阳, 濮梅娟, 等. 南京地区雨雾的形成及其结构特征[J]. 气象, 2010, 36(10):29-36.