

于文金, 文亚平, 于步云, 等. 河北省衡水市雾霾灾害天气演变特征分析[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 79–84. [Yu Wenjin, Wen Yaping, Yu Buyun, et al. Evolution characteristics of fog and haze disaster weather in Hengshui city of Hebei province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 79–84.]

河北省衡水市雾霾灾害天气演变特征分析^{*}

于文金¹, 文亚平¹, 于步云¹, 吴雁^{1,2}, 黄亦露¹, 邱新法¹

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 衡水市气象局, 河北 衡水 053000)

摘 要: 以1960–2013年河北省衡水市地面观测站资料为依据, 运用线性倾向估计、Morlet小波分析、Mann-Kendall突变检验等方法对衡水市雾、霾日数的演变特征及周期进行了分析, 结果表明: 1960–2013年衡水市雾日数是增多的趋势, 而霾日数(1971–2013年)是减少的趋势。四季中雾日数冬季>秋季>夏季>春季, 霾日数冬季>秋季>春季>夏季; 雾、霾日数均是12月最多, 1月份次之。1971–2013年衡水共出现雾日766 d, 其中浓雾日最多, 强浓雾最少, 共出现霾日491 d, 其中轻微霾最多, 中度霾最少。连续3 d及以上大雾天气110次, 1990年代年平均连续大雾次数最多, 1960年代最少, 连续大雾多出现在冬季; 连续3 d及以上霾日24次, 1980年代最多, 大部分连续霾日都出现在11月至次年2月。衡水市年雾日数和各月雾日数的周期性特征显著, 目前大多处于雾日偏多期, 年雾日数和12个月中6个月的雾日数发生了突变。

关键词: 雾霾; 灾害天气演变特征; 控制因素; 河北衡水市

中图分类号: P42; X541; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)02–0079–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.02.015

雾霾, 是雾和霾的统称。雾是悬浮于近地面气层中水汽凝结成水滴或冰晶使水平能见度小于1 km的天气现象。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且空气普遍混浊的天气现象^[1]。随着城市化和工业化的迅速发展, 都市雾霾天气日趋严重, 雾霾天气的频繁出现, 给人们的生活和健康带来了不利影响。雾霾已经成为影响区域经济发展和城市环境的重要因素。雾霾灾害已经成为世界热点问题^[2]。河北作为京津唐的核心地区是我国雾霾严重的区域之一, 近年来, 许多专家学者都对雾霾天气进行了研究^[3–7], 陈瑞敏等^[8–10]在分析衡水市2013年1月份连续雾霾天气时发现, 雾日时大部分时段为雾和霾的混合物。王丛梅等^[11–15]研究发现2013年1月河北中南部地面要素与历史同期相比异常, 强逆温层结、干暖盖、地面风向辐合线等有利于出现雾霾和严重污染。目前, 关于雾霾天气的规律及经济影响的定量分析尚少, 本文以河北省衡水市为研究区域, 重点对衡水市雾、霾天气演变特征进行分析, 以为衡水市雾霾天气的预报以及环境治理提供理论依据。

1 资料来源及研究方法

1.1 资料来源及处理

研究所用的资料为河北省衡水市常规气象观

测站1960–2013年气象观测资料, 包括逐日08、14和20时的能见度、相对湿度、天气现象、风向风速、降水等资料。本文以逐日观测资料08、14和20时3个观测时次任意2个时次的能见度<10 km, 且相对湿度<90%, 定为一个霾日, 但当同时有降水、雾、大风、沙尘暴、扬尘等天气现象时, 剔除该日。

本文中的雾日以观测站记录的雾为准。比较难区分的是轻雾、霾及烟幕。就衡水而言, 由于霾的记录较少, 很多霾被记录成了轻雾或烟幕。中国气象局2014年1月1日起, 取消了烟幕等天气现象的观测^[16], 因此把以前的烟幕现象归入到霾。由于资料缺测问题, 霾日的分析从1971年1月1日开始。

1.2 方法

Morlet小波分析

小波方差分析是小波分析的重要内容, 小波方差图反映了能量随时间尺度的分布, 可以确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度^[17–18], 对应峰值处的尺度称为主要时间尺度, 用以反映时间序列的主要周期。其计算式为:

$$\omega(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |K(a, \tau)|_2 d\tau. \quad (1)$$

Morlet小波系数的实部表示不同特征时间尺度信号在不同时间上的分布和相位两方面的信息,

^{*} 收稿日期: 2014–09–19 修回日期: 2014–11–17

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2013CB430202); 国家自然科学基金(41276187); 江苏高校优势学科建设工程(PAPD)

作者简介: 于文金(1967–), 男, 山东淄博人, 教授, 博士, 研究方向为气象灾害评估、区域经济发展与可持续发展。

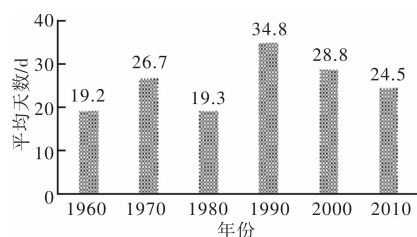
E-mail: yuwj@nuist.edu.cn

正的小波系数反映出分析对象在该时间段为偏多期, 负值时反映为偏少期, 零值对应着突变点。

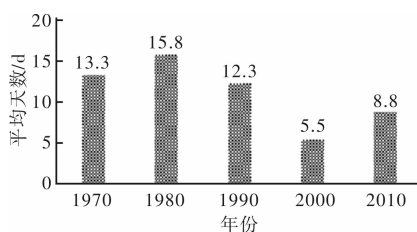
2 衡水市雾霾天气统计分析

2.1 年代际和年际变化特征

雾霾日数的年代际变化可以反映每个阶段雾、霾日数的平均特征。从 1960—2013 年衡水各年代平均雾日变化(图 1a)来看, 1990 年代年平均雾日数最多, 为 34.8 d; 其次是 2000 年代, 有 28.8 d; 1970 年代平均雾日 26.7 d; 近 4 年来年平均雾日数也达到 24.5 d; 1960 年代年平均雾日数最少, 为 19.2 d。年平均霾日数(图 1b)最多的是 1980 年代, 年平均达 15.8 d; 其次是 1970 年代, 年平均 13.3 d; 最少的是 2000 年代, 年平均霾日只有 5.5 d。



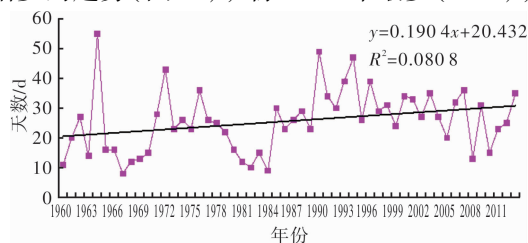
(a) 平均雾日数



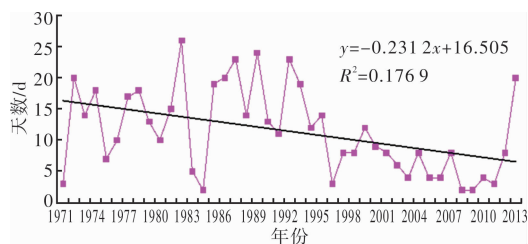
(b) 平均霾日数

图 1 衡水市各年代平均雾日数和霾日数

从逐年的雾、霾日数变化更能详细地反映出衡水雾、霾日数的变化趋势, 从图 2 可以看出, 总体来说在 1960—2013 年的 54 年里, 衡水的雾日数是增多的趋势(图 2a), 除 1964 年最多(55 d), 出



(a) 逐年雾日数



(b) 逐年霾日数

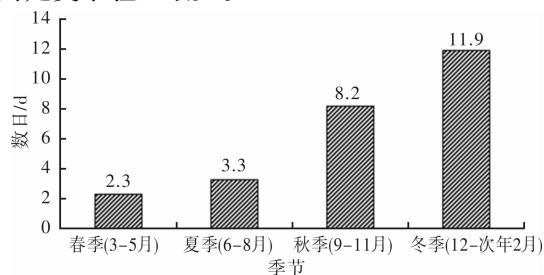
图 2 衡水市 1960—2013 年逐年雾日数和 1971—2013 年逐年霾日数

现了 2 个较明显的峰值区, 一个是 1971—1977 年, 另一个是 1990—1998 年。在 1960—1990 年的 30 年里, 平均每年 21.7 d, 而自 1990—2013 年的 24 年间, 年平均雾日数达 30.6 d。相对的低值区出现在 1965—1970 年、1979—1984 年, 这与年代际变化趋势是一致的。

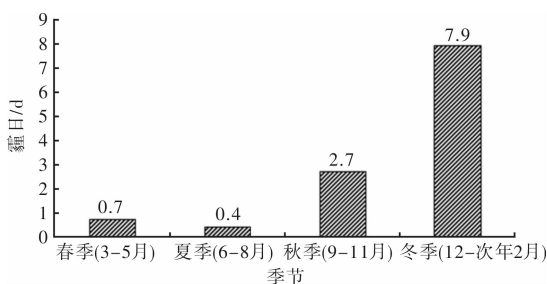
而 1971—2013 年衡水霾日是呈下降趋势的(图 2b), 且霾日数下降趋势比雾日的增多趋势要显著。期间霾日数最多的是 1982 年(26 d), 最少的是 1984 年、2008 年和 2009 年, 平均只有 2 d。1972—1982 年、1985—1995 年为两个峰值区, 1990 年代中期以后霾日数明显下降, 2012—2013 年又有所增加, 与其年代际变化趋势也是一致的。

2.2 季节和月变化特征

衡水市位于河北平原的东南部, 属温带大陆性季风气候, 特点是四季分明, 冷暖干湿差异较大, 其特殊的地理位置和气候特点决定了秋冬季多大雾天气。从图 3a 中我们也可以看出, 冬季雾日数最多(11.9 d), 秋季其次, 秋冬季占一年雾日数的 78.2%, 而春季因为干旱多风增温快, 雾日数最少(2.3 d), 夏季潮湿闷热, 湿度相对较大, 但温度较高对流旺盛, 不容易出现大雾天气。霾日最多的也是冬季(图 3b), 秋季其次, 与雾日不同的是夏季霾日最少。



(a) 四季平均雾日数



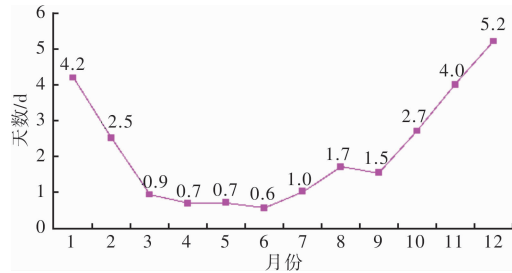
(b) 四季平均霾日数

图 3 衡水市 1960—2013 年四季平均雾日(a)及 1971—2013 年四季平均霾日数(b)

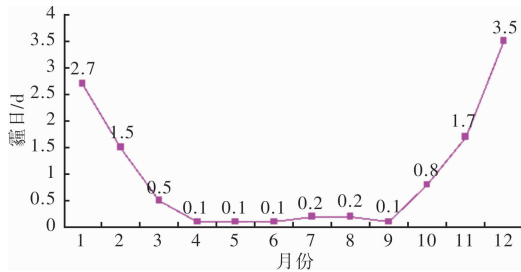
从衡水雾日的月变化来看(图 4a), 月际变化呈“W”型, 雾日数最多的为 12 月(5.2 d), 其次是 1 月、11 月, 平均都在 4 d 以上, 3—6 月出现大雾的频率不足 1 d, 其中 6 月份雾日数最少(0.6 d)。霾日的月变化趋势与雾日相似, 月平均霾日最多的也是 12 月份(3.5 d), 其次是 1 月、11 月, 5 月份最少(不足 0.1 d)。

2.3 雾、霾的等级分布

根据雾、霾天不同能见度将雾分为 3 个等级(中国气象局, 2010), 当 $0.5 \text{ km} \leq VIS < 1.0 \text{ km}$ 为雾, $0.05 \text{ km} \leq VIS < 0.5 \text{ km}$ 为浓雾, $VIS < 0.05 \text{ km}$ 为强浓雾。霾分为 4 个等级, 当 $5 \text{ km} \leq VIS < 10 \text{ km}$ 定为轻微霾, 当 $3 \text{ km} \leq VIS < 5 \text{ km}$ 为轻度霾, 2 km



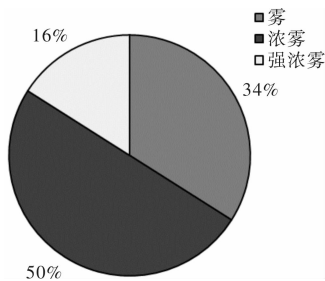
(a) 逐月平均雾日数



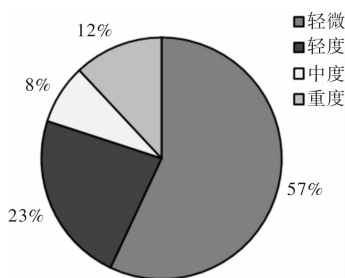
(b) 逐月平均霾日

图4 衡水市1960-2013年逐月平均雾日及1971-2013年逐月平均霾日数

$\leq VIS < 3$ km 为中度霾, $VIS < 2$ km 以下为重度霾。霾等级越高, 对户外活动及人体健康危害越大。由于能见度资料缺失, 雾的分级也是分析1971-2013年的情况。衡水市1971-2013年共出现雾日766 d, 其中浓雾日最多占50% (380 d), 雾日占34%, 强浓雾最少 (图5a)。雾出现在1990年代最多 (占35.8%), 其次是2000年代, 1980年代; 浓雾是1990年代最多, 其次是1970年代、2000年代; 强浓雾是2000年代最多, 其次是1990年代, 1980年代; 85%以上浓雾、95%以上强浓雾均出现在秋冬季节; 1971-2013年共出现霾491 d, 由图5b可以看出轻微霾占57%, 轻度霾次之, 中度霾最少仅占8%, 重度霾占12%。1970-1980年代轻微霾出现最多, 1990年代次之; 轻度霾1980年代最多, 1990年代次之, 中度霾1990年代



(a) 各级别雾日出现比例图



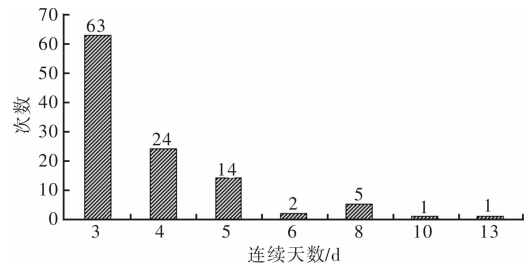
(b) 各级别霾日出现比例图

图5 衡水市1971-2013年各级别雾和各级别霾出现比例图

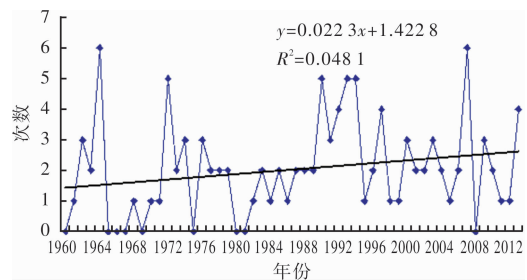
最多, 1980年代次之, 重度霾1980年代最多, 1990年代次之, 基本上各级别霾都是2000年代最少。87%以上轻微霾、92%以上轻度霾以及绝大多数中度霾和重度霾出现在秋冬季节。

2.4 连续3 d及以上雾、霾次数变化特征

1960-2013年以来衡水出现连续3 d及以上大雾天气110次, 具体天数见图6。由图6中可见, 连续3 d大雾占一半以上 (57.3%), 其次是连续4 d有24次 (21.8%), 连续5 d有14次, 时间最长的一次是连续13 d大雾, 为1972年的2月6-18日; 1次连续10 d的大雾出现在2002年的12月9-18日; 连续8 d的有5次, 其中有4次在1990-1997年之间, 剩下的一次也在1972年1月25日-2月1日, 可见大雾的连续出现也是与大气气候环流背景关系密切。从年代际变化看 (图略), 1990年代年平均连续大雾次数是最多的, 每年出现接近3次, 其次是2000年代, 年平均2.3次, 1960年代出现的频率是最低的, 年平均不到1.5次。



(a) 连续3 d及以上雾出现次数



(b) 连续多日雾

图6 衡水市1960-2013年连续3 d及以上雾出现次数以及连续多日雾的统计

从逐年分布变化情况来看 (图6b), 1960-2013年衡水的连续雾日数是增多的趋势, 期间有两个相对峰值区, 一个是1972-1979年, 另一个是1990-1994年, 1960年代连续雾日相对较少, 这与雾日数的逐年变化是一致的。另外我们还可以看到, 1980年代以前, 年出现连续大雾频率的变化幅度较大, 1980年代以后变化幅度相对较少。按季节分析 (图略), 冬季76次, 占总次数的69.1%, 秋季29次, 占总次数的26.4%, 夏季4次, 春季最少仅1次, 秋冬季节占了95%以上。分布到各月的情况, 54年来12月份最多, 共出现39次连续大雾, 其次是1月份25次, 11月份24次。4月、5月、6月和9月没有出现连续3 d及以上的大雾天气。

1971-2013年共出现连续3 d及以上霾日24次 (图略), 其中连续3 d有23次, 连续4 d有1次。1970年代出现连续3 d及以上霾日有5次, 1980年代有10次, 连续4 d霾日出现在1986年, 1990年代出现连续3 d及以上霾日有6次, 2010-2013年出现连续3 d及以上霾日有3次。分布到各

月,大部分连续霾日都出现在11月-次年2月,其中12月份最多(10次),占41.7%,其次是1月份(6次),唯一一次连续4 d霾日也是出现在1月份,2月、11月各3次,10月份2次,冬季占了79.2%。

3 衡水雾日时间序列的变化周期

霾的出现与人类活动关系密切,因此分析其时间序列周期变化意义不大,本文只分析衡水1960-2013年雾日时间序列的周期变化。

小波分析具有较好的多尺度分辨功能,已成为分析气象要素时间序列局部变化特征的通用工具,目前小波分析已广泛用于气温、降水等变化分析,并取得了一些成果,本文选用常用的 Morlet 小波对衡水市近 54 年来大雾天数进行周期性分析。

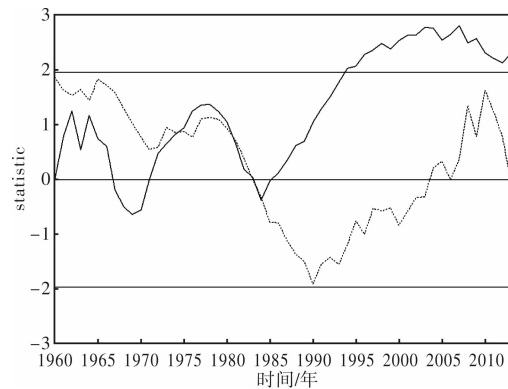
图7中信号的强弱通过小波系数模值的大小来表示,实线表示等值线为正,代表雾日偏多;虚线表示等值线为负,代表雾日偏少;小波系数为零则对应着突变点。图7表明,衡水年雾日数时间序列存在7年的周期振荡,2010-2011年为偏少年,2012-2013年为偏多年,可以推测2014-2015年仍为偏多年。同理,我们对衡水逐年各月雾日进行 Morlet 小波分析,结果见表1。

表1可见,除了3月和6月没有异常显著振荡周期外,其他月份都有异常显著的振荡周期存在,

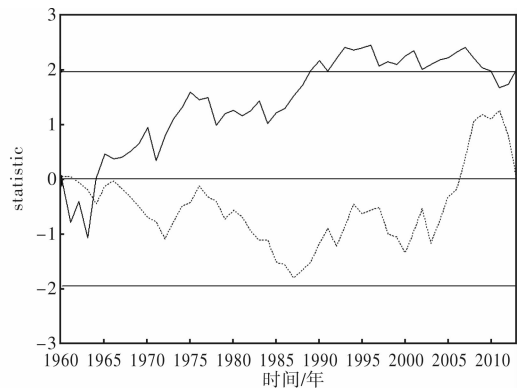
表1 衡水1960-2013年各月时间序列主要振荡周期

| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|----|--------|-------|--------|--------|----|-----|--------|-------|-------|---------|-------|------|
| 周期 | 8*、14* | 4*、9* | 4、7、14 | 11、17* | 6* | 3、8 | 2、4*、7 | 3*、10 | 6、18* | 5、8*、12 | 3*、15 | 5、8* |

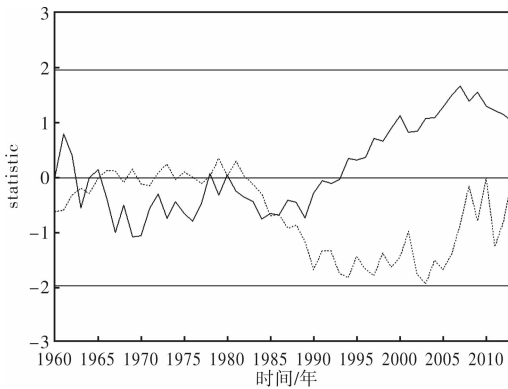
注:带“*”表示周期异常显著。



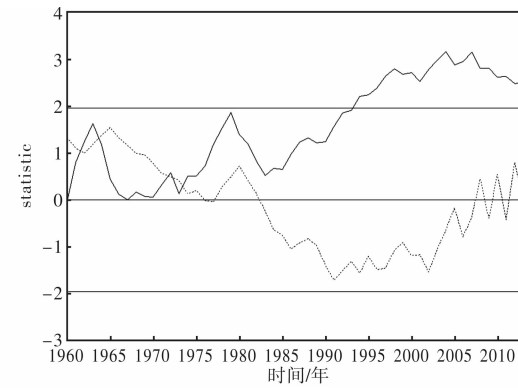
(a) 年雾日数



(b) 1 月份



(c) 11 月份



(d) 12 月份

图8 1960-2013年衡水年雾日数、1月份、11月份、12月份时间序列 Mann-Kendall 突变检验 (实线: UF, 虚线: UB)

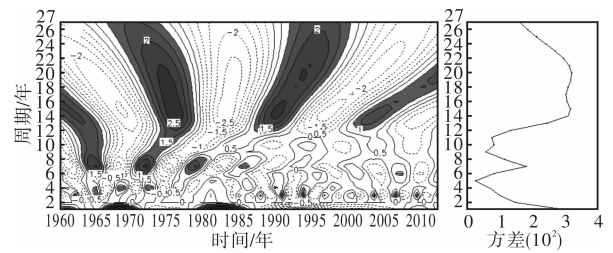


图7 1960-2013年雾日时间序列的 Morlet 小波分析及方差

可以由此推测2014-2015年各月份雾日情况。

4 雾日数时间序列的突变检验

前面分析了1960-2013年雾日数表现出的偏多、偏少阶段性变化,这种变化是否为突变,可利用 Mann-Kendall (M-K) 法进行突变点检验。M-K方法是一种非参数检验方法,可分析时间序列资料的变化趋势和突变点。图8a中 UF(实线)为按时间序列顺序计算出的统计量序列, UB(虚线)为按逆时间序列计算出的统计量序列。若 UF 值 > 0, 则表明序列呈上升趋势; UF 值 < 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界(1.96)直线时,表明上升或下降趋势显著。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF 与 UB 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的

时刻便是突变开始的时间。由图 7 可见, 54 年来衡水市雾日数除 1967 - 1971、1983 - 1985 年是下降的外, 大部分时段呈上升趋势的, 在 1974 年前后发生了突变, 突变后上升趋势加强, 尤其是 1994 年以后, 上升趋势非常显著。同理分析衡水各月雾日数时间序列的突变检验情况, 1 月份(图 8b)雾日数总体呈上升趋势, 突变发生在 1964 年, 1989 年以后上升趋势显著。2 月份雾日数也是呈上升趋势, 上升趋势不如 1 月份明显, 突变发生在 2004 年。3 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1991 年以后上升趋势显著。4 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1977 年以后上升趋势显著。5 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1975 年以后上升趋势显著。6 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1964 年以后上升趋势均很显著。7 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1990 年以后上升趋势显著。8 月份雾日数大部分时段也是呈上升趋势, 1964 年发生了突变, 1987 年以后上升趋势显著。9 月份雾日数呈上升趋势, 期间没有发生突变现象, 1993 年以后上升趋势显著。10 月份雾日数除 1964 - 1969、1971 - 1973 年是下降的外大部分时段也是呈上升趋势, 1973 年前后发生了突变, 2003 年以后上升趋势显著。11 月份(图 8c) 1962 - 1993 年基本是呈下降趋势的, 突变发生在 1986 年前后, 1993 年以后呈上升趋势, 但不显著。12 月份(图 8d)雾日数呈上升趋势, 突变发生在 1974 年, 1993 年以后上升趋势显著。以上突变检验情况与其他类似分析表现出一致性^[19-20]。

5 结论

(1) 1960 - 2013 年衡水市雾日数呈增多的趋势, 而霾日数(1971 - 2013 年)呈减少的趋势。雾日数是 1990 年代年平均最多, 1960 年代最少; 霾日数是 1980 年代最多, 2000 年代年平均最少。

(2) 一年四季中雾、霾日数均是冬季最多, 秋季次之, 雾日最少的是春季, 霾日最少的是夏季。12 个月中, 雾、霾日数均是 12 月最多, 1 月份次之, 11 月份第三。

(3) 1971 - 2013 年的 42 年间, 衡水共出现雾日 766 d, 其中浓雾天数最多, 强浓雾天数最少。雾、浓雾均是 1990 年代最多, 强浓雾是 2000 年代最多, 85% 以上浓雾、95% 以上强浓雾均出现在秋冬季节; 共出现霾日 491 d, 其中轻微霾最多, 中度霾最少, 1970 - 1980 年代轻微霾出现最多, 轻度霾 1980 年代最多, 中度霾 1990 年代最多, 重度霾 1980 年代最多, 基本上各级别霾都是 2000 年代最少。87% 以上轻微霾、92% 以上轻度霾以及绝大多数中度霾和重度霾出现在秋冬季节。

(4) 近 54 年衡水市共出现连续 3 d 及以上大雾天气 110 次, 其中连续 3 d 大雾占 50% 以上(57.3%), 最长的一次是连续 13 d 大雾。从年代际变化看, 1990 年代年平均连续大雾次数最多, 1960 年代最少。连续大雾多出现在冬季, 其次是秋季, 分布到各月是 12 月份最多, 1 月份其次。

1971 - 2013 年共出现连续 3 d 及以上霾日 24 次, 其中连续 3 d 23 次, 连续 4 d 1 次。1980 年代最多, 1990 年代次之, 大部分连续霾日都出现在 11 月至次年 2 月, 其中 12 月份最多, 1 月份次之。

(5) 1960 - 2013 年衡水年雾日数及各月份雾日数具有明显的偏多、偏少周期性特征, 其中年雾日数存在 7 年左右的变化周期, 各月份也存在 3 ~ 8 年、10 ~ 18 年的不同变化周期, 大部分月份的变化周期显著。

(6) 衡水年雾日数在 1974 年前后发生了突变, 突变后上升趋势加强; 12 个月中大多是上升趋势, 尤其是 1980 年代末以后, 上升趋势显著, 有 6 个月份发生了突变, 突变年份各不相同。

参考文献:

- [1] Zhang Y M, Zhang X Y, Sun J Y, et al. Characterization of new particle and secondary aerosol formation during summertime in Beijing, China[J]. *Tellus*, 2011, 63: 382 - 394.
- [2] Pan X L, Yan P, Tang J, et al. Observational study of influence of aerosol hygroscopic growth on scattering coefficient over rural area near Beijing mega-city[J]. *Atmos Chem Phys*, 2009, 9: 7519 - 7530.
- [3] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 21 - 27.
- [4] 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.
- [5] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. *气象*, 2006, 32(4): 9 - 15.
- [6] 吴兑, 吴晓京, 朱小祥, 等. 雾和霾[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 10 - 16.
- [7] 付桂琴, 张迎新, 谷永利, 等. 河北省霾日变化及成因[J]. *气象与环境学报*, 2014, 30(1): 51 - 56.
- [8] 陈瑞敏, 吴雁, 康文英, 等. 连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征分析[J]. *气候与环境研究*, 2014, 19(2): 209 - 218.
- [9] 过宇飞, 刘端阳, 周彬, 等. 无锡市霾天气特征及影响因子研究[J]. *气象*, 2013, 39(10): 1314 - 1324.
- [10] 魏文秀. 河北省霾时空分布特征分析[J]. *气象*, 2010, 36(3): 77 - 82.
- [11] 王丛梅, 杨永胜, 李永占, 等. 2013 年 1 月河北省中南部严重污染的气象条件及成因分析[J]. *环境科学研究*, 2013, 26(7): 695 - 702.
- [12] 周贺玲, 李丽平, 曹跟华. 河北省浓雾、强浓雾的气候特征及年代际变化[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(8): 94 - 100.
- [13] 中国气象局. QX/T 113 - 2010 霾的观测和预报等级[S]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2010.
- [14] 阎访, 岳艳霞, 张秉祥, 等. 石家庄地区大风日数气候变化特征[J]. *气象与环境学报*, 2013, 29(2): 81 - 88.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 63 - 66.
- [16] 白冰, 孔令旺, 王有恒, 等. 基于 Morlet 小波的甘肃省近 50 年气温变化分析[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(17): 7627 - 7628.
- [17] 张楠, 苗春生, 邵海燕. 1951 - 2007 年华北地区夏季气温变化特征[J]. *气象与环境学报*, 2009, 25(6): 23 - 28.
- [18] 勾丽杰, 刘利民. 基于小波分析的河北平原四季降水变化特征分析[J]. *沈阳农业大学学报*, 2012, 43(3): 273 - 278.
- [19] 张方, 顾万龙, 姬兴杰. 河南省 1981 年以来霾日变化特征分析[J]. *灾害学*, 2014, 29(2): 65 - 68.
- [20] 李松, 罗绪强. 综合 GIS 的贵阳冬季 PM_{2.5} 污染时空特征及驱动因素分析[J]. *灾害学*, 2014, 29(4): 63 - 68.

Evolution Characteristics of Fog and Haze Disaster Weather in Hengshui City of Hebei Province

Yu Wenjin¹, Wen Yaping¹, Yu Buyun¹, Wu Yan^{1, 2}, Huang Yilu¹ and Qiu Xinfu¹

(1. *Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*;

2. *Hengshui Meteorological Bureau, Hengshui 053000, China*)

Abstract: According to ground station data in Hengshui city from 1960 to 2013, evolution characteristics and cycle of fog or haze days in Hengshui city are analyzed by linear trend estimate, Morlet wavelet analysis, Mann-Kendall mutation testing methods, etc. Results show that: fog days in Hengshui city from 1960 to 2013 is increasing, while the haze days (1971–2013) are decreasing. Fog days are as winter > autumn > spring > summer, and haze days are as winter > autumn > spring > summer. Fog, haze days are the most in December, followed in January. From 1971 to 2013 in Hengshui there were 766 fog days, most of which were of dense fog, and strong dense fog ones were the least; there were 491 haze days, most of which were of light haze, and moderate ones were the least; Continuous heavy fog weather of 3d and above were 110 times, the average annual continuous heavy fog occurred most in 1990s and least in 1960s, continuous fog appeared most in winter; haze days of continuous 3d and above were 24 times, most in 1980s, and most of the continuous haze appeared in November to next February. The periodic characteristics of the annual fog days and the number of months of fog days in Hengshui City are significant, mostly in the fog day partial multi period. The number of yearly fog days and the days of 6 among 12 months mutated.

Key words: haze; evolution characteristics of disaster weather; controlling factor; Hengshui city in Hebei

(上接第 78 页)

- [9] 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理—全面整合模式与中国战略选择[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(10): 29–37.
- [10] 王巨丰, 齐冲, 车治颖, 等. 雷电流最大陡度及幅值的频率分布[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(3): 106–109.
- [11] 许颖, 刘继, 马宏达, 等. 建(构)筑物雷电保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 2010.
- [12] 戈尔德. 雷电[M]. 北京: 电力工业出版社, 1983.
- [13] 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [14] Luis E Gallego, Oscar Duarte. Lightning risk assessment using fuzzy logic [J]. Journal of Electrostatics, 2004(60): 233–239.
- [15] 江高. 模糊层次综合评价法及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2005.

Research on the Lightning Risk Assessment Method for Chongqing Based on Fuzzy Mathematics

Yu Shuyu^{1, 2, 3}, Ren Yan^{1, 2} and Qin Binqun^{1, 2}

(1. *Chongqing Engineering Research Center of Lightning Disasters Identification and Prevention, Chongqing 400000, China*; 2. *Chongqing Lightning Protection Center, Chongqing 400000, China*; 3. *Institute of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*)

Abstract: Reasonable and scientific lightning disaster risk assessment can effectively reduce losses caused by lightning, but at present the lightning risk assessment system is not perfect, sometimes it cannot well evaluate actual lightning disaster risks. For some certain occasions, IEC62305-2 standard dose not well reflect the true lightning risk, such as large-scale residential district, a large area factory, etc. In these cases, on the basis of in-depth study on the mechanism of lightning disaster, the lightning risk can be analyzed by three aspects of hazard, exposure and vulnerability of hazard bearing body. By AHP and fuzzy mathematics theory, the lightning risk assessment formula for Chongqing region is obtained. Through the lightning risk assessment method specific assessment verification shows that this method has better applicability and can better serve lightning protection and disaster reduction in Chongqing region, and it can be a good supplement for IEC62305-2 lightning risk assessment.

Key words: lightning disaster; risk assessment; fuzzy mathematic theory; lightning protection; Chongqing area