

付桂琴,张迎新,张庆红,等. 2013. 河北省低能见度事件特征分析. 气象, 39(8):1042-1049.

河北省低能见度事件特征分析^{*1}

付桂琴^{1,3} 张迎新^{2,3} 张庆红⁴ 张南² 张彦恒¹

1 河北省气象服务中心, 石家庄 050021

2 河北省气象台, 石家庄 050021

3 河北省气象与生态环境实验室, 石家庄 050021

4 北京大学大气物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871

提 要: 利用1981—2010年河北省99个地面气象站资料,分析河北省低能见度事件变化特征,为河北环境保护及综合治理提供参考。结果表明:低能见度事件地理分布呈北少南多特点,冀北高原少,太行山东麓、燕山南部地区多,低能见度出现频次排在前6位的站点都集中在太行山东麓;20世纪80年代低能见度频次相对较少,90年代迅速增长,2000年后随着对环境保护的重视,低能见度出现频次有所下降;12和1月低能见度出现频次明显偏多,占全年总频次的37.9%,5和6月低能见度出现频次较少,约占全年的5%,季节变化明显;低能见度变化增加趋势的站点主要分布在太行山东部和唐山、张家口东南部,经济工业相对比较发达且交通便利地区,呈现减少变化趋势的站点主要分布在冀北高原、衡水经济工业相对滞后地区,秦皇岛、沧州沿海一带也呈减少趋势;相对湿度与能见度有显著的负相关,小于2 km的低能见度主要出现在相对湿度>80%的天气,5 km以上的低能见度主要出现在相对湿度<60%的天气条件下。

关键词: 低能见度, 时空分布, 特征分析

中图分类号: P427

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.08.011

Analysis on Characteristics of Low Visibility Events in Hebei Province

FU Guiqin^{1,3} ZHANG Yingxin^{2,3} ZHANG Qinghong⁴ ZHANG Nan² ZHANG Yanheng¹

1 Hebei Meteorological Service Centre, Shijiazhuang 050021

2 Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021

3 Key Laboratory for Meteorological and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021

4 Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Peking University, Beijing 100871

Abstract: Based on the visibility data of 99 weather stations in Hebei Province during 1980 to 2010, the change characteristics of low visibility events were analyzed, providing references for the environmental protection and comprehensive management in Hebei Province. The results show that the low visibility days appear fewer in northern Hebei, but more in southern Hebei, especially in the eastern part of Taihang Mountains, where the top 6 cities with the most low visibility days are located. In 1980s, the low visibility events are relatively fewer, but have a rapid growth in 1990s, then along with the attention to environmental protection, the low visibility days have been dropping since 2000. Comparatively, the low visibility days in December and in January are more, occupying 37.9% of a whole year, but are fewer in May and June, accounting for about 5%. The weather stations that show an increasing trend of low visibility days are mainly located in the eastern part of Taihang Mountains and southeastern part of Zhangjiakou where the industry is developed and the transportation is convenient. The weather stations showing a decreasing

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006011和GYHY200906025)共同资助

2012年5月7日收稿; 2012年12月14日收修定稿

第一作者:付桂琴,主要从事专业气象预报服务技术研究. Email:fgq84@tom.com

通信作者:张迎新,主要从事天气预报及技术研究. Email:zhangyx92005@yahoo.com.cn

trend of low visibility days are mainly located in the plateau of north of Hebei Province and Hengshui Region, as well as the coastal areas of Qinhuangdao and Cangzhou. The relative humidity and visibility have a remarkably negative correlation. The events of visibility under 2 km are seen mainly in the days with the relative humidity above 80% while the events of visibility above 5 km are mainly appear when the relative humidity is under 60%.

Key words: low visibility, spatial and temporal distribution, characteristic analysis

引 言

能见度是反映大气透明度的一个指标。影响大气能见度的因素包括人为因素和自然因素,其中人为因素是指污染物排放所造成的空气污染,自然因素是指影响大气能见度的天气现象,如降水、雾、大风、沙尘天气等。近年来,随着全球经济的迅速发展,矿物燃料的迅猛应用,使得大气中因油、煤和废弃物燃烧而产生的气溶胶粒子数量明显增加,造成大气能见度下降且空气混浊,因此低能见度污染问题受到人们的高度关注。

国外学者从 20 世纪 60 年代就开始了大气能见度变化趋势的研究工作,他们将能见度变化趋势进行量化分析,并以此作为衡量空气污染的指标,分析空气污染的变化规律。Doyle 等(2002)统计分析了英国 1950—1990 年大气能见度的长期变化趋势及空气污染变化特征;Lee(1988;1990;1994)分别从区域变化、气象影响因子、环流形势和空气污染等方面分析了英国大气能见度的变化特征,Quinn 等(2003)对北美、亚洲及印度低能见度霾的区域分布、气候特征进行了分析。Chan 等(1999)分析了美国能见度降低成因,得出影响大气能见度的因素除降水和水汽形成的雾外,大气层中的气溶胶浓度与能见度密切相关。中国改革开放以来,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,由气溶胶造成的能见度恶化事件越来越多(吴兑等,2010a)。苏维瀚等(1986)分析了北京地区大气能见度与空气污染的关系,王继志等(2002)、赵习方等(2002)和李海萍等(2009)分别分析了北京地区低能见度的区域分布特征、能见度与雾的关系、低能见度污染天气发生频率与成因等。张运英等(2009)分析了广东雾霾天气能见度时空分布特征;Deng 等(2008)分析了珠江三角洲区域能见度的变化趋势;吴兑等(2006;2007)、谭吉华(2007)重点对广州地区、珠江三角洲灰霾天气导致的能见度下降

问题进行研究,得出大气能见度的变化反映了环境空气质量的优劣,是空气中颗粒物污染的重要标志。胡亚旦等(2009)通过对中国霾天气的气候特征分析,得出我国霾天气主要分布在 100°E 以东、 42°N 以南的地区,且“浊岛”现象非常明显。河北处于霾日较多的区域之中,但河北关于低能见度、霾的研究相对较少。范引琪等(2005)通过对河北省 11 个城市 1960—2002 年间 14 时大气能见度数据进行统计分析,得出 43 年来受空气污染城市能见度逐渐降低的结论。魏文秀(2010)利用河北省 1971—2007 年气象站观测的霾日资料,分析了河北霾日的区域分布特征,总结出 5 种易出现霾的天气分型。关于河北省低能见度的时空分布变化趋势方面的研究还不多见。因此,本文利用河北省气象站能见度和相对湿度观测资料,分析河北省低能见度区域分布及变化趋势特征,为河北环境保护及综合治理提供参考。

1 资料及处理说明

由于雾和霾都易造成能见度降低,且相对湿度在 80%~95%时,多是雾霾混合物不易区分,也没有严格意义的雾霾划分标准(吴兑等,2010b),因此本文重点从低能见度事件进行分析。利用河北省 99 个地面气象基本站(包括基准站 5 个,基本站 14 个,一般站 80 个)1981—2010 年能见度观测资料及对应时次的相对湿度实测资料,分析河北省低能见度的时空分布、变化趋势。

低能见度定义:陈静等(2010)把日均能见度低于 10 km 的视程障碍现象定义为“低能见度”事件。范引琪等(2008)和吴兑等(2010b)使用 14 时地面观测资料,把观测时能见度小于 10 km 定义为“低能见度”。本文依据上述两种低能见度定义方法,且参照轻雾、雾、霾的定义(吴兑等,2006),在统计分析时,按照定时观测时能见度低于 10 km 的事件记为“低能见度”。

根据《地面气象观测规范》(中国气象局,1979)

规定:对能见度每天有 4 次定时观测,观测时间为 02、08、14 和 20 时(北京时,下同)。1980 年以后的能见度观测值以 km 为单位,保留一位小数(李雄,2010)。由于夜间 02 时能见度观测资料不完整,本文重点分析 08、14 和 20 时低于 10 km 的能见度出现频次,根据霾的观测和预报等级标准(中国气象局,2010),并将低能见度按照 $V < 2.0$ km、 2.0 km $\leq V < 3.0$ km、 3.0 km $\leq V < 5.0$ km、 5.0 km $\leq V < 10.0$ km 的 4 个区间进行统计,对比分析各区间下不同相对湿度出现的百分率特征。

2 低能见度气候特征

2.1 低能见度空间分布

图 1 是河北省 99 个地面气象基本站 1981—1990、1991—2000 和 2001—2010 年 08、14 及 20 时 3 个时次低能见度出现频次分布图。可以看出河北省低能见度分布有以下特征:

(1) 空间分布特征。低能见度总体呈北少南多的分布特征。河北省北部的张家口、承德冀北高原地区低能见度频次明显少于中南部平原地区,尤其是太行山东麓的保定、石家庄、邢台和邯郸地区低能见度频次显著偏多。另外燕山南麓也有一个相对大值区,主要以唐山的玉田、迁安和唐海为代表,而秦皇岛、沧州沿海地区低能见度出现相对偏少。这种分布与河北省的地形地貌及当地气候特征有关。冀北高原地区海拔高,地势宽阔,年平均风速较大,因此出现低能见度的频次显著偏少,而太行山东麓的保定、石家庄、邢台、邯郸地区、燕山南麓的唐山地区受山地地形阻挡,不利于污染物的扩散,低能见度频次显著偏多。秦皇岛、沧州邻近渤海,受海上风大和清洁空气的稀释,低能见度事件明显少于其他地区。另外当地经济工业发展也是一个影响因素。

以 99 个气象站 1981—2010 年 14 时低能见度为代表,进行单站频次统计,低能见度频次最高的区域主要集中在太行山东麓中南段(石家庄到邯郸一带)。1981—1990 年期间 14 时低能见度频次排在前 6 位的依次是宁晋、石家庄、平山、邢台、磁县和隆尧,年平均低能见度频次在 70~91 d,主要集中在太行山东麓地区。1991—2000 年期间低能见度频次排在前 6 位的依次是行唐、武安、赞皇、石家庄、隆尧和赵县,年平均在 86~135 d,与 20 世纪 80 年

代相比,平均增长了 16~44 d 不等。2000 年以后的 10 年间,低能见度大值区依然集中在太行山东麓地区,排序前 6 位的分别为赞皇、武安、井陘、平山、隆尧和新乐,年平均频次在 80~135 d,与 90 年代基本持平。此外保定及唐山地区低能见度频次相对较多。

(2) 日变化特征。08 时低能见度频次显著偏多。无论是冀北高原地区,还是中南部平原地区,08 时低能见度频次比 14 和 20 时都显著偏多。20 世纪 80 年代张家口的阳原在早上 08 时出现低能见度频次最少为 129 次,是当地同年代 20 时低能见度频次(19 次)的 6 倍之多。邯郸磁县 80 年代 08 时低能见度频次最多达 2912 次,是当地同年代 14 时的 4 倍,20 时的 3 倍。河北省 08 时低能见度频次平均为 14 或 20 时的 5 倍左右。这种分布主要与 08 时的天气条件有关。08 时的能见度受两方面的影响:一是 08 时气温较低、相对湿度较大,容易出现雾或轻雾;二是由于夜间形成的逆温层的阻挡,不利于污染物扩散,导致大气中颗粒物浓度升高(范引琪等,2005),影响能见度。

(3) 年代际变化特征。从各年代低能见度频次平均看,08、14 和 20 时 3 个时次 20 世纪 80 年代低能见度频次相对较少,90 年代呈上升趋势,2000 年以后略有下降,但这种下降趋势不太显著。80 年代是我国改革开放初期,经济发展处于起步阶段,相应各代表站低能见度频次相对较少,90 年代河北经济处于快速发展阶段,表现在各时次低能见度频次成快速上升趋势,2000 年以后的 10 年,随着人们对环境保护的重视,综合治理力度的加大,相应低能见度频次有所减少,特别是省会石家庄的低能见度频次迅速减少。最典型的事例,2008 年北京奥运会,河北三年大变样工程实施,工业结构调整和环境治理力度增大,当地低能见度日数显著减少。

2.2 典型站低能见度变化趋势

图 2 是 14 时各站低能见度频次长期变化(图 2a)和代表站(磁县、隆尧、石家庄、保定和唐海)08、14 及 20 时平均低能见度频次变化趋势(图 2b)。可以看出:代表站 08、14 和 20 时 3 个时次平均低能见度频次长期变化趋势基本一致,但各站的年代际变化却不尽相同。

石家庄 1997 年以前,低能见度频次相对于其他站偏多,且处于快速增长期,1997 年达近 30 年最高

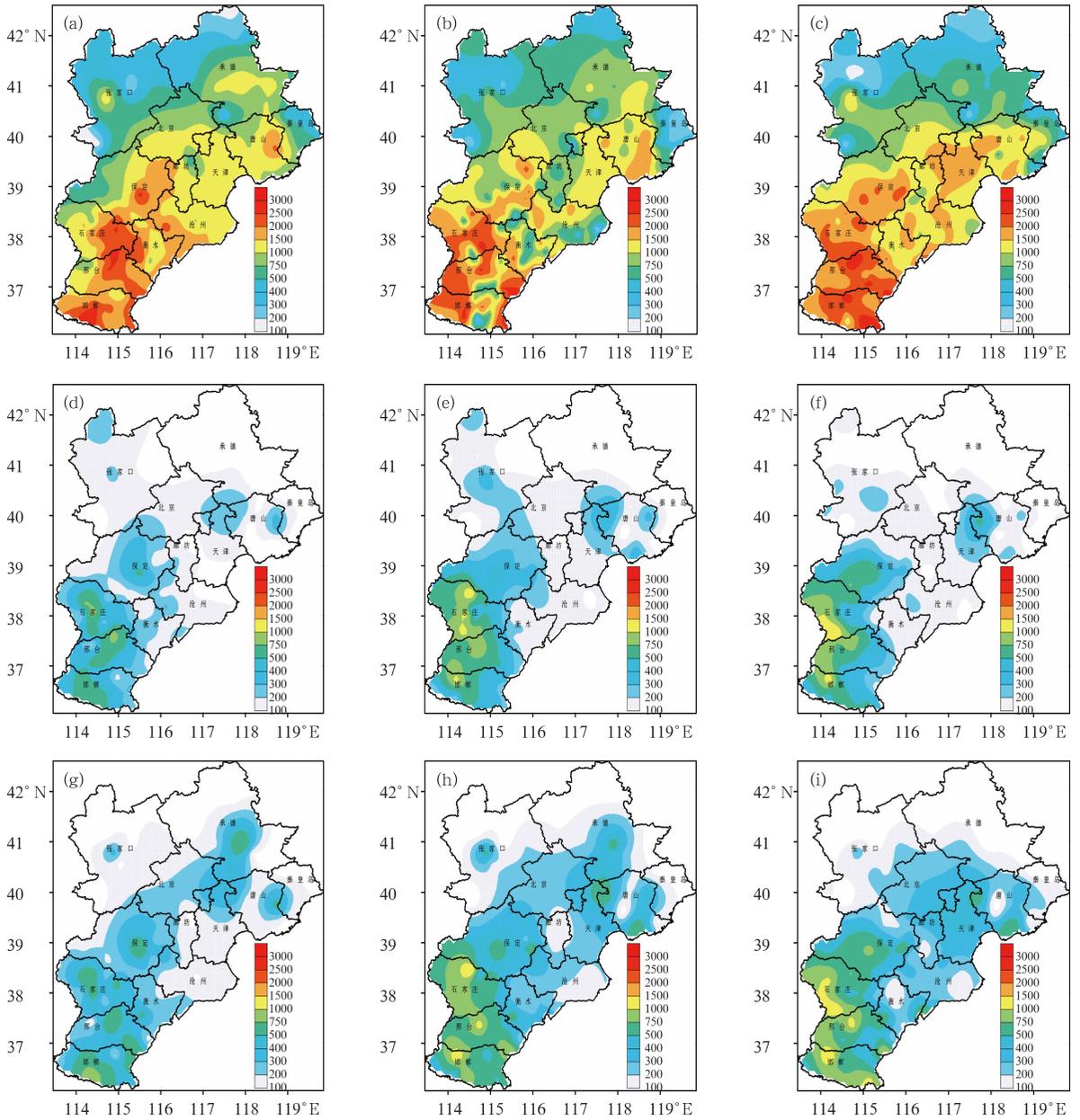


图 1 1981—2010 年河北省低能见度频次分布 (单位: d)

(a) 1981—1990 年 08 时, (b) 1991—2000 年 08 时, (c) 2001—2010 年 08 时, (d) 1981—1990 年 14 时, (e) 1991—2000 年 14 时, (f) 2001—2010 年 14 时, (g) 1981—1990 年 20 时, (h) 1991—2000 年 20 时, (i) 2001—2010 年 20 时

Fig. 1 The frequency distribution of low visibility in Hebei Province during 1981—2010 (unit: d)

(a) 08:00 BT from 1981 to 1990, (b) 08:00 BT from 1991 to 2000, (c) 08:00 BT from 2001 to 2010, (d) 14:00 BT from 1981 to 1990, (e) 14:00 BT from 1991 to 2000, (f) 14:00 BT from 2001 to 2010, (g) 20:00 BT from 1981 to 1990, (h) 20:00 BT from 1991 to 2000, (i) 20:00 BT from 2001 to 2010

值为 148 d,之后开始下降,2004 年下降到一个“低谷”,14 时石家庄低能见度只有 21 d,其后又开始反弹,2007 年达到第二峰值。2008 年北京奥运会环境治理和河北三年大变样工程实施,使石家庄低能见

度呈现跳水式减少。太行山东麓的隆尧、磁县低能见度频次长期变化基本一致,表现为先增加后减少的变化趋势,只是 2000 年以后这种减少变化不如石家庄显著。另外 20 世纪 80 年代隆尧低能见度频次

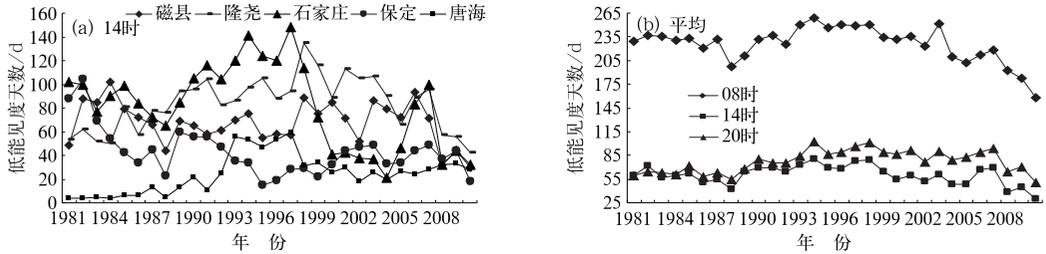


图2 1981—2010年典型代表站低能见度长期变化

Fig. 2 The long-term variation of low visibility at the representative stations during 1981—2010

一直处于波动增长阶段,而磁县1982—1984年低能见度频次明显偏高,1985年开始下降,到1988年降到44 d,90年代又开始增长。唐海邻近渤海,低能见度出现频次明显低于其他代表站;80年代低能见度频次相对较少,仅为个位数字,90年代表现出迅速增长趋势,到1997年达到最高峰值为124 d,其后开始下降,低能见度频次在18~34 d间波动,是80年代平均值的2倍之多;2008年低能见度频次仍保持在32 d,不同于其他站迅速减少,这可能与当地工业发展、首都钢铁公司搬迁到唐山曹妃甸一带有关。5个典型代表站中,只有保定站低能见度频次变化明显不同于其他站。80年代初期保定低能见度频次较多,此后呈锯齿波动下降,到1995年保定14时低能见度频次下降到15 d,之后开始缓慢上升到2007年达49 d,2008年又开始下降。

上述5个典型代表站14时低能见度频次长期变化既有趋势上的一致性,又有短时间段的变化差异。影响低能见度的因素有天气因素(姚青等,2012)、气候因素(伍红雨等,2011)、地理环境因素(杨汉波等,2010)和经济发展人为因素(吴兑等,2010a)等多种因素。因此,这种差异变化只是某一特定时期,某一种或多种因素对能见度的影响更加显著而至。究其原因,还有待进一步探索。

根据1981—2010年14时99个气象站低能见度频次的年变化趋势显示,低能见度趋势增加的站点有36个,减少的36个,没有明显变化的站点有27个,其分布如图3所示。其中实心点代表30年来站点平均低能见度频次有增加趋势,空心点代表30年来站点平均低能见度频次有减少趋势,“+”代表趋势变化不明显。低能见度趋势增加的区域主要分布在石家庄、保定、邢台、唐山地区及张家口东南部区域,这些地区经济工业相对发达,交通运输便利,2005年开始首都钢铁公司逐渐搬迁到唐山,钢铁厂的污染是唐山地区低能见度趋势增加的主要因

素。而在张家口北部地区、承德和衡水经济发展相对较慢的地区低能见度有减少趋势变化,另外秦皇岛、沧州东部沿海一带低能见度也呈减少趋势分布。

2.3 典型站低能见度的年变化

分析表明,河北省低能见度可出现在一年当中的各个月份。对于影响能见度的因素来说,在一段时期内,可以认为人类活动影响气溶胶排放源的变化较小,主要表现在颗粒物得以输送、堆积、稀释扩散的大气层结条件和天气系统背景有着明显的月季变化。图4是以石家庄、隆尧、磁县、保定和唐海典型县市为代表08、14和20时3个时次月平均低能见度出现频次分布。可以看出,虽然不同地区、不同时次低能见度出现频次差异很大,但是各代表站低能见度月季变化趋势基本相同。对所有的站点低能见度频次进行月平均,得到能反映区域低能见度月平均变化曲线(图4d)。

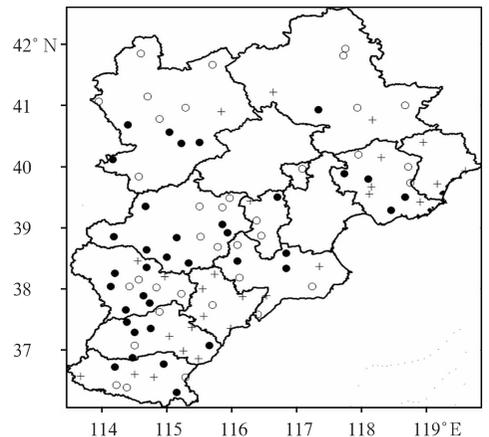


图3 1981—2010年低能见度趋势变化

(●增加趋势,○减少趋势,+无明显变化)

Fig. 3 The changes of low visibility during 1981—2010

(● increasing trend, ○ decreasing trend, + without obvious variation)

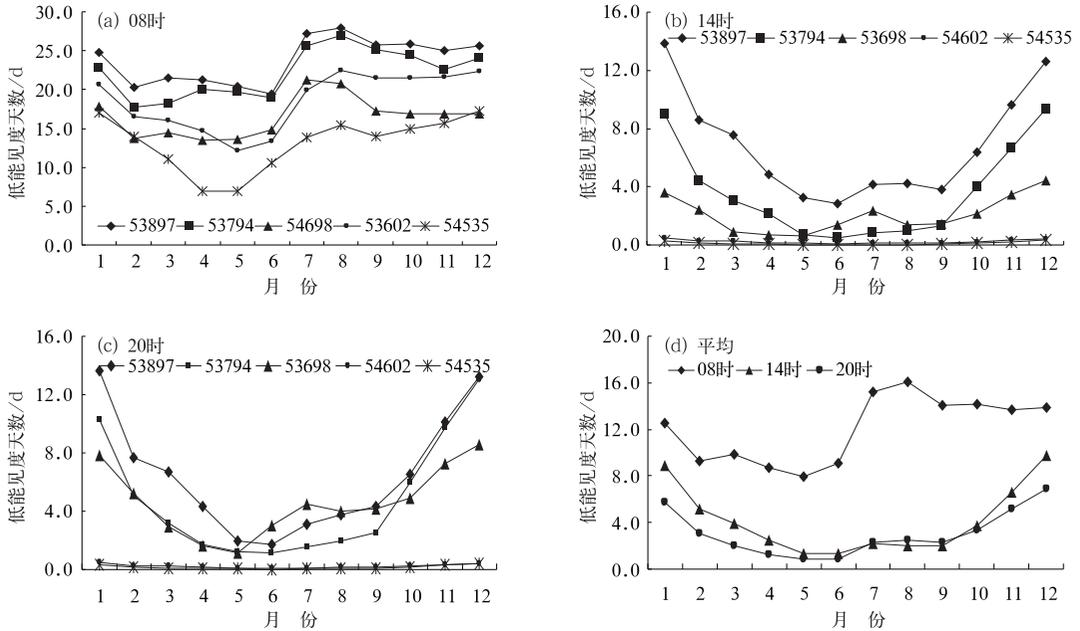


图 4 1981—2010 年河北省代表站低能见度频次月平均分布
 Fig. 4 The distribution of monthly averaged low visibility day at representative stations during 1981—2010

图 4d 表明 14 和 20 时低能见度平均出现频次特征基本相同,即冬季 1 和 12 月低能见度频次高,夏季 5 和 6 月低能见度出现频次低,其他月份呈逐渐过渡状态分布,且具有一定的规律。仅冬季 1 和 12 月两个月低能见度出现频次占全年总频数的百分比,14 时为 37.9%,20 时为 34.8%,而 5 和 6 月占全年总频次的百分比依次为:14 时 5.5%,20 时 4.7%,季节差异显著。08 时低能见度出现频次月分布与 14 及 20 时有明显不同,主要表现在 7 和 8 月低能见度频次明显高于其他各月。这主要是夏季的早晨,湿度大,风速小,多短时间雾或轻雾。低能见度各时次的差异可以反映能见度的日变化,早晨是一天中能见度最差的时段。

3 低能见度与相对湿度关系

3.1 不同级别低能见度变化

按照霾的观测和预报等级标准,统计石家庄、隆尧、磁县、保定和唐海 5 个代表站 1981—2010 年间 14 时低能见度在 $V < 2.0 \text{ km}$ 、 $2.0 \text{ km} \leq V < 3.0 \text{ km}$ 、 $3.0 \text{ km} \leq V < 5.0 \text{ km}$ 、 $5.0 \text{ km} \leq V < 10.0 \text{ km}$ 的 4 个级别出现频次百分率(如图 5)。可以看出各站

能见度小于 2 km 达到雾或重度霾级别的所占比率在 9%—11%之间。在此基础上又将能见度小于 2 km 细分为能见度小于 1.0 km 雾和能见度在 $1.0 \text{ km} \leq V < 2.0 \text{ km}$ 之间的重度霾。发现能见度小于 1 km,99%都出现在冬季 11 月至翌年 2 月大雾多发时段,对应的天气现象全部有雾出现。能见度在 $1 \text{ km} \leq V < 2 \text{ km}$ 主要出现在 10 月到翌年 2 月,对应的天气现象中,只有 2 个样本有沙尘记录,其他全部对应雾、轻雾、霾、露、霜、烟幕等。能见度在 $2.0 \text{ km} \leq V < 3.0 \text{ km}$ 之间,达到中度霾程度所占比率最少,只有 3.7%~9.4%不等,可出现在一年中任何月份。其中石家庄该级别所占比率最大达 9.4%,其次是磁县在 7.1%,隆尧第三为 6.1%,保定最小为 3.7%。可见太行山东部中南段不仅霾日多,达到中度霾日所占比率也较其他地区多。能见度在 $3.0 \text{ km} \leq V < 5.0 \text{ km}$ 之间,达到轻度霾日所占比率都在 10%以上,其中石家庄所占比率最大为 31.0%,保定所占比率依然最小为 10.6%。能见度在 $5.0 \text{ km} \leq V < 10.0 \text{ km}$ 之间,为轻微影响的所占比率最大,均超过 50%。保定所占比率最大达 76.4%,石家庄最小 50.7%。可见,河北低能见度主要以 5.0 km 以上的低能见度为主。30 年来,石家庄的空气污染要明显重于其他代表县(市)。

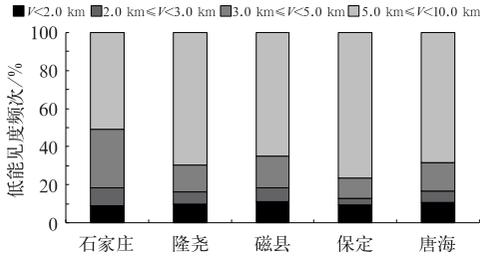


图 5 1981—2010 年,河北省代表站 14 时不同区间低能见度频次百分率

Fig. 5 Percentage of visibility frequency at 14:00 BT in different intervals at representative stations during 1981—2010

3.2 低能见度事件对应相对湿度范围

研究表明,能见度的好坏不仅与气溶胶粒子数、天气现象有关,还与相对湿度有关。大气相对湿度越大,气溶胶粒子吸湿性增长越快,造成的消光系数增大,能见度降低(孙景群,1985)。图 6 是石家庄、隆尧、磁县、保定及唐海 5 个代表站 14 时各能见度级别对应相对湿度变化百分率分布。能见度分 $V < 2.0$ km、 2.0 km $\leq V < 3.0$ km、 3.0 km $\leq V < 5.0$ km、 5.0 km $\leq V < 10.0$ km 的 4 个区间,相对湿度分别为 $rh \geq 90\%$ 、 $80\% \leq rh < 90\%$ 、 $70\% \leq rh < 80\%$ 、 $60\% \leq rh < 70\%$ 、 $rh < 60\%$ 的 5 个变化区间。横坐标为能见度区间变化,纵坐标为不同区间能见度在该相对湿度下所占百分比。从图 6 可以看出,能见度在 2 km 以下,对应相对湿度 $\geq 90\%$ 的比率平均达到 44.6%,相对湿度在 $80\% \leq rh < 90\%$ 所占比率 20.6%,对应相对湿度在 60% 以下所占比率仅有 9.4%。能见度在 2.0 km $\leq V < 3.0$ km 之间,相对

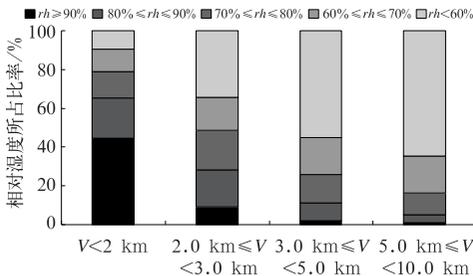


图 6 1981—2010 年河北省代表站 14 时不同能见度区间对应相对湿度变化百分率

Fig. 6 Percentage of relative humidity corresponding to different visibility intervals at 14:00 BT at representative stations during 1981—2010

湿度 $> 90\%$ 的比率明显减少,其他相对湿度区间的比例明显增加。相对湿度在 80% 及以上的比率达 28.3%,其他 3 个相对湿度区间所占比率在 20.3% ~ 34.2% 之间。能见度在 3.0 km $\leq V < 5.0$ km 对应相对湿度 $\geq 90\%$ 所占比率减少到 2.2%,其他 4 个区间随着相对湿度的减小其所占比率逐渐增大,相对湿度 $< 60\%$ 比率增大到 55.0%。能见度在 5.0 km $\leq V < 10$ km 时,相对湿度 $> 80\%$ 的比率只有 5.1%,相对湿度在 $70\% \leq rh < 80\%$ 的比率也只有 11.1%,而相对湿度 $< 60\%$ 的比例增大到 64.8%。由此可见,小于 2 km 的低能见度事件多见于 80% 以上的相对湿度范围,相对湿度越大,造成的能见度越低,也就是低能见度事件有随相对湿度的增大造成视程障碍有更严重的趋势。在此基础上,对各站能见度与对应相对湿度进行相关分析,各站相关系数在 $-0.56 \sim -0.37$ 之间,能见度与相对湿度具有显著的负相关性,且均通过 $\alpha = 0.001$ 的显著性水平检验。

4 结 论

利用 1981—2010 年河北省 99 个地面气象站资料,统计分析 08、14 和 20 时定时观测能见度小于 10 km 的低能见度出现频次及变化特征,分析河北省低能见度的时空分布变化趋势结论如下:

(1) 低能见度的空间分布特点呈南多北少特征。即冀北高原一带频次少,中南部平原尤其是太行山东部、燕山南部频次多。单站低能见度频次排序在前 6 位的主要集中在太行山东麓地区。

(2) 低能见度的年代际变化特征:20 世纪 80 年代改革开放初期,低能见度频次相对较少,90 年代随着经济的快速发展,低能见度频次也呈快速上升趋势,且处于 30 年来最高峰,2000 年以后,随着人们环境保护意思增强及综合治理力度的加大,低能见度频次有所减少,尤其是 2008 年北京奥运会环境治理及河北三年大变样工程的实施,低能见度频次显著减少。

(3) 河北省 14 时低能见度频次年变化显著。12 和 1 月明显偏多,这两个月低能见度频次之和占到了全年的 37.9%;5 和 6 月低能见度频次最少,约占全年的 5%,其他月份呈过渡变化趋势。

(4) 30 年 14 时低能见度频次变化趋势表明,趋势增加的站有 36 个,减少的站有 36 个,没有变化的

有27个站。具有低能见度增加变化趋势的站点主要分布在太行山东部和唐山、张家口东南部,这些地方工业经济相对发达,交通运输便利。具有低能见度减少变化趋势的站点主要分布在冀北高原和衡水,工业经济水平相对滞后地区,另外秦皇岛及沧州沿海一带也呈减少趋势。

(5) 河北省14时能见度与相对湿度有显著的负相关性,相对湿度增大,低能见度出现越多。2 km以下的低能见度事件主要出现在相对湿度在80%以上的天气里,5 km以上的低能见度事件主要出现在相对湿度小于60%的天气条件下。

致谢: 本文在写作过程中,得到北京大学赵春生老师的大力指导和帮助,在此对赵老师表示衷心感谢!

参考文献

- 陈静,吴兑,刘放汉. 2010. 广州地区低能见度事件变化特征分析. 热带气象学报, 26(2):156-165.
- 范引琪,李春强. 2008. 1980—2003年京、津、冀地区大气能见度变化趋势研究. 高原气象, 27(6):1392-1400.
- 范引琪,李二杰,范增禄. 2005. 河北省1960—2002年间城市大气能见度的变化趋势. 大气科学, 29(4):526-535.
- 胡亚旦,周自江. 2009. 中国霾天气的气候特征分析. 气象, 35(7):73-77.
- 李海萍. 2009. 北京低能见度污染天气发生频率与成因特征研究. 环境与可持续发展, 34(3):50-52.
- 李雄. 2010. 1980年地面气象观测规范变更对能见度资料连续性影响研究. 气象, 36(3):117-122.
- 苏维瀚,张秋彭,沈济,等. 1986. 北京地区大气能见度与大气污染的关系初探. 大气科学, 10(2):138-144.
- 孙景群. 1985. 能见度与相对湿度的关系. 气象学报, 43(2):230-234.
- 谭吉华. 2007. 广州灰霾期间气溶胶物化特性及其对能见度影响的初步研究. 广州:广州地球化学研究所.
- 王继志,徐祥德,杨元琴. 2002. 北京城市能见度及雾特征分析. 应用气象学报, 13(特刊):160-169.
- 魏文秀. 2010. 河北省霾时空分布特征分析. 气象, 36(3):77-82.
- 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等. 2006. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究. 气象学报, 64(4):510-517.
- 吴兑,邓雪娇,毕雪岩,等. 2007. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降. 热带气象学报, 23(1):1-6.
- 吴兑,吴晓京,李菲,等. 2010a. 1951—2005年中国大陆霾的时空变化. 气象学报, 68(5):680-688.
- 吴兑,杨士汤,邓雪娇,等. 2010b. 霾的观测和预报等级 QX/T 113-2010//中国气象局. 中华人民共和国气象行业标准. 北京:气象出版社, 5-6.
- 伍红雨,杜尧东,何健,等. 2011. 华南霾日和雾日的气候特征及变化. 气象, 37(5):607-614.
- 杨汉波,杨大文,李萍云,等. 2010. 五台山区地形雨减少与能见度减小的可能联系. 气象, 36(4):16-20.
- 姚青,韩素芹,蔡子颖. 2012. 天津一次持续低能见度事件的影响因素分析. 气象, 38(6):688-694.
- 张运英,黄菲,杜鹃等. 2009. 广东雾霾天气能见度时空特征分析——年际年代际变化. 热带地理, 29(4):324-328.
- 赵习方,徐晓峰,王淑英. 2002. 北京地区低能见度区域分布初探. 气象, 28(11):55-58.
- 中国气象局. 1979. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社, 16-20.
- 中国气象局. 2010. 霾的观测和预报等级. 北京:气象出版社.
- Chan Y C, Simpson R W, Mctainsh G H, et al. 1999. Source apportionment of visibility degradation problems in brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. Atmos Environ, 33(19):3237-3250.
- Deng X J, Tie X X, Wu D, et al. 2008. Long-term trend of visibility and its characterizations in the Pearl River Delta (PRD) region. China. Atmos Environ, 42(7):1424-1435.
- Doyle M, Doding S. 2002. Visibility trends in the UK 1950—1997. Atmos Environ, 36(19):3161-3172.
- Lee D. 1988. The choice of visibility satiation in the analysis of long-term visibility trends in Southern England. Weather, 43:332-338.
- Lee D. 1990. The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in Southern England. Atmos environ, 24(1):195-201.
- Lee D. 1994. Regional variations in long-term visibility trends in the UK, 1962—1990. Geography, 79(2):108-121.
- Quinn P K, Bates T. 2003. North American, Asian, and Indian Haze: Similar Regional III impacts on climate. Geophy Res Lett, 30(11):1-55.