

郝天依,王式功,尚可政,等. 环渤海地区大气低能见度气候特征及影响因子分析[J]. 气象,2012,38(9):1087-1095.

环渤海地区大气低能见度气候 特征及影响因子分析^{*1}

郝天依 王式功 尚可政 余 峰

兰州大学大气科学学院,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,兰州 730000

提 要: 利用环渤海地区地面和高空观测资料,统计分析了该地区大气低能见度出现频率的时空分布特征及各相关气象因子的变化情况。结果表明:该地区大气低能见度出现频率年际变化特征表现为弱的上升趋势和周期振荡,主要周期为2、4和6~8 a;月际变化特征为双峰型,高峰值出现在夏季的7月,次峰值为冬季的12月,一天中的08时刻最易出现大气低能见度,整个地区大气低能见度出现频率的空间分布存在较大的不一致性;根据各季节大气低能见度出现频率空间分布特征的不同将整个地区分为三个区域,Ⅰ区包括渤海湾东北角的辽宁靠近黄海的小部分地区及渤海西北面的辽宁与河北毗邻的一部分地区,Ⅱ区包括渤海北部的辽宁小部分地区和京冀大部地区及南部的鲁北部等地区,Ⅲ区为黄海沿岸地区,各区高湿度、小风速是造成大气低能见度的相对重要的气象条件;大气低能见度出现前期或同时刻,低层基本都会维持一个逆温层或等温层和湿层。

关键词: 环渤海地区, 大气低能见度, 影响因子

Analysis on Climatic Characteristics of Poor Atmospheric Visibility and Its Influencing Factors in Bohai Rim

HAO Tianyi WANG Shigong SHANG Kezheng SHE Feng

Gansu Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, College of Atmospheric Sciences,
Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract: We analyzed space and time distributed characteristics of poor visibility frequency and the changing situation of its interrelated meteorological factors by using the ground station data as well as the upper-air and the earth's surface data in the region of Bohai Rim. The results have shown that the characteristics in the interannual change of poor visibility present a weak upward trend and periodic oscillations, with main periods of 2 a, 4 a and 6—8 a. The frequency of poor visibility has two peaks in a year and one peak in a day at local time 08 h. The spatial distribution of low visibility's frequency exists a great inconformity. According to the different spatial distribution in the seasonal frequency of poor visibility, the whole region can be divided into three areas. It seemed that high humidity and light wind are the main meteorological conditions prone to produce low visibility. While the early or the same time as the appearance of poor visibility, these conditions maintain an inversion or isothermal layer and wet layer in the lower atmosphere.

Key words: the Bohai Rim region, poor atmospheric visibility, influencing factors

* 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403701)和国家科技支撑计划(2007BAC29B03)共同资助
2011年8月7日收稿; 2011年12月1日收修定稿
第一作者: 郝天依,主要从事极端天气气候与预报技术研究. Email:htybreeze@yahoo.cn

引言

大气能见度能反映出一地区的大气透明状况,并与人们的生活息息相关,特别是航空、航海和陆地交通等活动,而且还对人们的身体健康产生间接影响。大气低能见度的发生是一种局地的小概率事件,目前进行较准确预报还存在很大困难。影响大气能见度的天气现象主要有霾、雾、扬沙、浮尘、吹雪、沙尘暴和降水等,然而不同地理位置各天气现象对大气能见度影响程度不同。吴兑等^[1-2]从气溶胶的环境效应角度分析了细粒子对珠江三角洲由灰霾导致的大气能见度下降的影响。黄健等^[3]分析了1954—2004年珠江三角洲大气能见度变化趋势,并指出珠江三角洲大气能见度未得到有效改善的主要原因很可能是由于细粒子污染。对由雾造成的大气能见度降低的研究主要从以下三方面进行:雾造成的大气低能见度的气候特征研究,雾的微观物理结构成因以及雾的数值模拟与预测的研究。刘小宁等^[4]第一次较全面地分析了我国大雾的空间和时间分布的基本特征。王丽萍等^[5]用1961—2000年地面观测雾日资料将中国地区划分为6个雾区,并讨论了不同区域雾的月年变化特征。林建等^[6]统计了我国大雾的时空分布特征和环流形势。陈潇潇等^[7]分析了不同等级雾的时空分布及基本气候特征、雾生时间和持续时间的年代际变化。李子华^[8]总结了我国近40年来雾的物理化学特性、雾生消物理过程研究等方面的成就。中国雾的数值模拟是从20世纪80年代开始的,经历了一维辐射雾模式^[9-11]、二维辐射雾模式^[12-13]到三维辐射雾模式^[14-15]。

环渤海地区海拔较低,主要以平原和丘陵为主,跨越辽宁、河北、北京、天津和山东五省(市)的部分地区,同时又是我国重要的经济发展区域,海陆空交通发达便利,渤海也是东北、华北、西北和华东部分地区的主要出海口。崔晶等^[16]分析了威海市沿海大雾的特点;刘学萍等^[17]研究了烟台市不同天气形势下海雾生成的基本特征;梁军等^[18]对大连地区的大雾特征及预报做了大量工作;杜长峰等^[19]对成山头地区平流雾的成因及预报做了研究;陈连友等^[20]分析了秦皇岛地区雾天气气候特征并做出预报,青岛地区也进行了大量相关研究^[21-23],周贺玲等^[24]分析了河北省雾的特征及趋势,以上都是针对全国或单点及部分省市的大雾及大气能见度的研究,缺乏

对整个环渤海地区的细化的区域性研究,所以本文针对环渤海地区大气低能见度天气的气候特征和与大气低能见度出现时相关的各因子的变化情况进行分析,以期对环渤海地区大气低能见度的气候特征及其与影响因子的关系有所了解,为大气能见度的预报提供一定的依据。

1 资料与资料处理方法

本文所研究的大气低能见度是指大气能见度小于1000 m的天气现象,采用的资料如下:(1)环绕渤海地区完整性较好的37个测站1980—2009年4时次大气能见度的观测资料和沙尘月资料;(2)环绕渤海地区完整性较好的37个测站1980—2009年的常规气象要素观测资料,主要要素有:相对湿度、降水、风速和云等要素;(3)2001—2009年地面及高空资料。

资料的处理过程如下:(1)采用大气低能见度出现的频率作为统计量,即出现大气低能见度的观测次数比上大气能见度的观测次数,统计了整个环渤海地区大气低能见度出现频率的时空分布特征,主要为大气低能见度出现频率的一天四时次变化,月、季变化,年际变化等,采用五点三次平滑和关联度方法分析影响大气能见度的主要天气现象的比例,并利用Morlet小波分析方法分析了大气低能见度出现频率的多时间尺度周期;(2)根据其时空分布特征将环渤海地区划分为三区,分别统计了各区大气低能见度出现频率的气候特征,分析各区30年出现大气低能见度时相对湿度、地面风速和云量的等级分布情况;(3)选取基本围绕渤海地区的6个代表站,分析了雾日温度和温度露点差随高度的变化特征。

2 环渤海地区大气低能见度的时空分布特征

2.1 环渤海地区大气低能见度的时间变化特征

分析1980—2009年环渤海地区37个台站资料,如图1所示,与我国大部分地区峰值出现在12月的单峰值月际特征不同,整个环渤海地区大气低能见度的月际变化特征为双峰型,最高峰值出现在夏季的7月,次峰值出现在冬季的12月,这可能与环渤海地区独特的地理位置有关。渤海为内陆海,

该地区西北部为内陆且为沙地,北部和西南部均为平原与渤海相邻,山东半岛与辽东半岛东南部濒临黄海,可受到来自黄海与东海的水汽的影响,所以影响这一地区大气能见度的雾天气类型不像内陆地区类型相对单一为辐射雾,而可能是平流雾、辐射雾或两者的混合型。另外,7月副热带高压(简称副高)北上,该地区进入雨季,东南气流为该区提供大量来自黄海的水汽,水汽相对较充沛,有利于大气低能见度天气的出现。

1980—2009年大气低能见度出现频率的年际变化如图2,30年来环渤海地区大气低能见度出现频率总体上呈波动变化。历年大气低能见度出现频率变化较大,频率高低值交替出现,30年来最高值出现在1990年,20世纪80年代大气能见度相对较好,90年代波动较大,进入21世纪大气低能见度出现频率相对90年代较平稳且大气低能见度出现频率有所降低。五点三次平滑曲线可以较好地反映序列的实际变化趋势,从中可以看出大气能见度的变化趋势总体上有一定起伏但不是十分明显,20世纪80年代比较平稳,90年代起伏相对较大,大气低能见度出现频率较前期和后期相对较大,进入21世

纪,大气低能见度出现频率整体较90年代是有所降低的,但呈现相对较小的上升趋势。

分析环渤海地区的大气低能见度出现频率的日变化特征表明(如图3),无论四季或全年,大气低能见度出现频率最大值是在一天中的08时左右,次大值出现在02时,14时大气低能见度的出现频率最小。其中,冬季08时前后出现大气低能见度的频率高于其他三个季节,而夏季02、14和20时相对于其他季节较易出现大气低能见度。

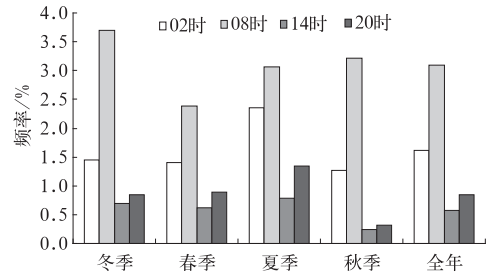


图3 1980—2009年环渤海地区各季节和全年大气低能见度出现频率的日变化
Fig. 3 The diurnal variations in seasonal and annual frequency of poor visibility from 1980 to 2009 in Bohai Rim region

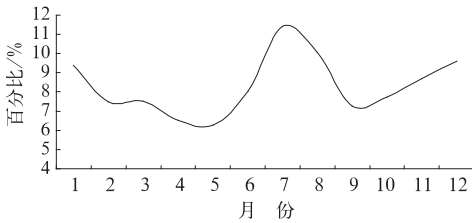


图1 环渤海地区30年各月大气低能见度日数占总大气低能见度日数的比例
Fig. 1 The percentage of monthly low visibility days to the total days of low visibility during 30 years in the Bohai Rim region

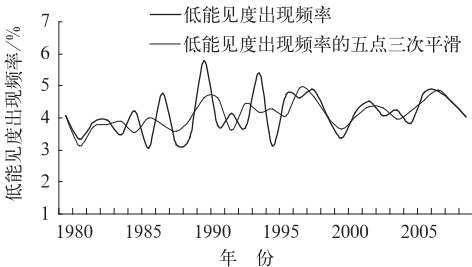


图2 环渤海地区1980—2009年大气低能见度出现频率的年际变化
Fig. 2 The interannual change of low visibility's frequency from 1980 to 2009 in the Bohai Rim region

2.2 环渤海地区大气低能见度的空间变化特征

为了比较环渤海各地区出现大气低能见度的不同特点,分析了该地区1980—2009年平均大气低能见度频率的空间分布(如图4),可以看出整个地区

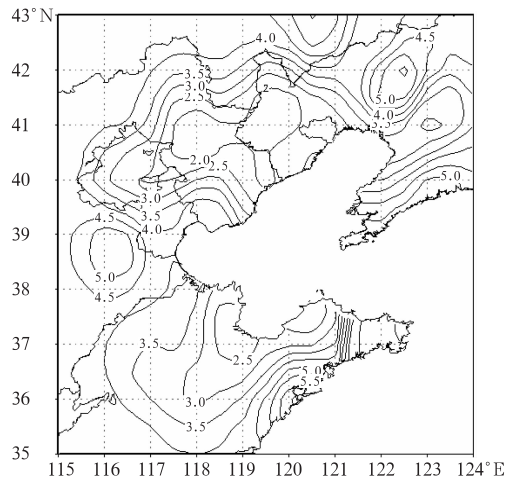


图4 环渤海地区1980—2009年平均大气低能见度出现频率的空间分布
Fig. 4 The spatial distribution in the average frequency of poor visibility from 1980 to 2009 in the Bohai Rim region

大气低能见度出现频率的分布存在较大的不一致性。总体来说,黄海沿岸比内陆地区较易出现大气低能见度,在成山头大气低能见度的出现频率最大,这可能与在沿岸地区来自黄海的水汽较充沛有较大关系;渤海东北部的辽宁东部、南部,西北部的京冀大部地区和南部的鲁北部等的内陆地区大气低能见度年平均出现频率相对较低;而内陆的辽宁和河北一

小部分地区大气低能见度出现频率相对高于其他内陆地区,这可能与地形地势有关,这两小部分地区与其他平原地区不同,分别西邻大兴安岭与太行山脉。

基于年大气低能见度出现频率空间分布差异性,试图找出大气低能见度出现频率空间分布较一致的地区,进一步分析了环渤海地区大气低能见度出现频率的季节分布(如图 5 所示)。各季节大气低

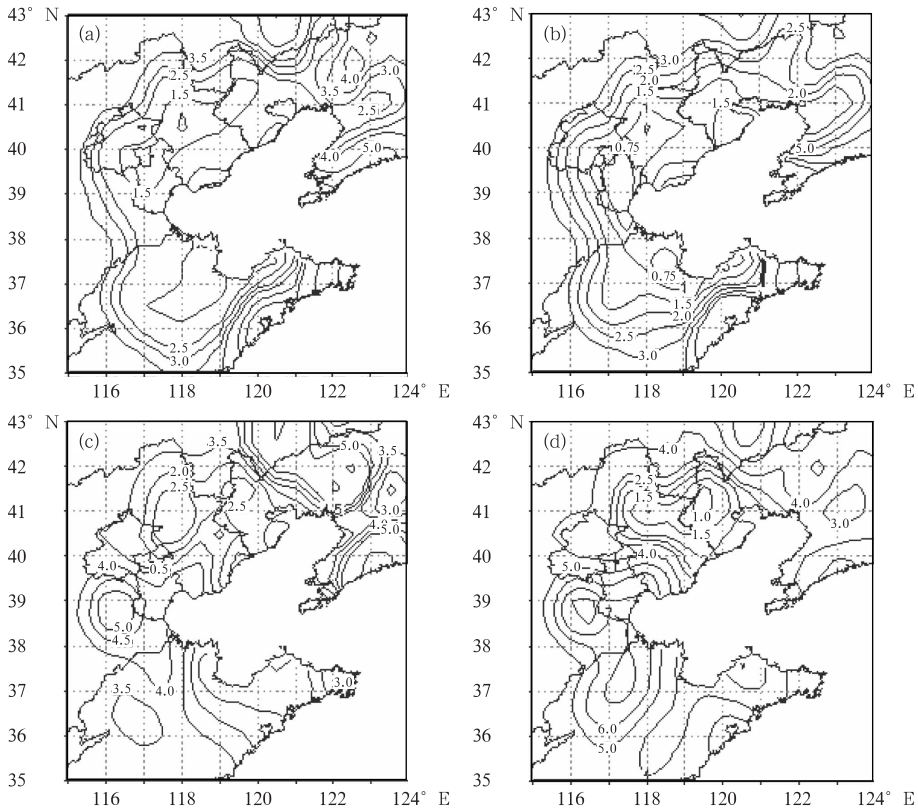


图 5 环渤海地区大气低能见度出现频率的季节分布
(a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

Fig. 5 The seasonal distributions of poor visibility's frequency in the Bohai Rim region
(a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter

能见度出现频率的分布型存在差异,但总体分布型春夏较一致,即整个环渤海的内陆地区相对沿岸地区频率较低;秋、冬频率分布型较一致,即辽宁、河北、内蒙古交界的地区和外海沿岸地区大气低能见度频率相对较低,而其两侧的内陆地区大气低能见度出现频率相对最大。根据环渤海地区大气低能见度出现频率的季节差异将该区划分为三区,划分站点分布如图 6, I 区全年四季大气低能见度出现频率相对其他两地区均较低; II 区秋冬季大气低能见度出现频率较高,而夏春季较低; III 区夏春季大气低能见度出现频率较高,而秋冬季较低。按此分类,下

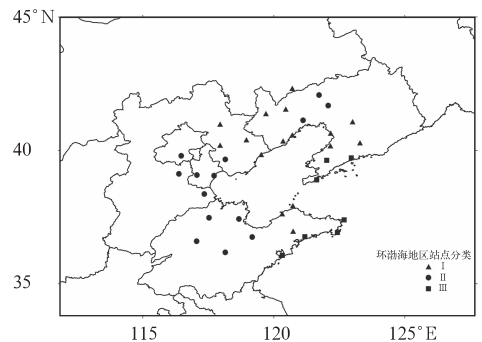


图 6 环渤海地区三区站点分布图
Fig. 6 The distribution of three categories of sites in the Bohai Rim region

文分类统计各区情况。

2.3 环渤海地区影响大气能见度的主要天气现象年际变化特征

影响大气能见度的主要天气有沙尘暴、扬沙、浮尘、降水、雾和霾等,为基本了解该地区影响大气能见度的主要天气,对影响大气能见度的天气现象和大气能见度的出现频率做五点三次平滑,利用其年际变化特征与关联度分析了 1980—2009 年各天气现象与大气低能见度出现频率的关联(如图 7),根据其年际变化特征可以得到,沙尘暴、浮尘、扬沙和霾日数呈逐年减少的趋势,而雾日数与大气能见度出现频率的变化趋势较吻合,初步表明 20 世纪 80 年代,沙尘天气和霾天气相对较多,对大气低能见度发生频率的贡献较大;90 年代至今雾、霾天气相对较多,沙尘天气较少,雾、霾对大气低能见度发生频率的贡献较大。而本文采用的是灰色系统理论中适合气候变量的小样本的关联度计算方法(优序度),表 1 表明本地区大气低能见度出现频率与雾天气现象的出现关系较密切,与沙尘天气现象的出现关系最差,这也与其年际变化曲线较相符,初步证明了雾、霾对该地区大气低能见度发生起到了较大的作用。

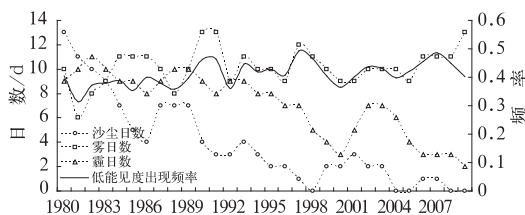


图 7 1980—2009 年环渤海地区沙尘、雾日、霾日与大气低能见度出现频率的年际变化(五点三次平滑值)

Fig. 7 The interannual variations of poor visibility's frequency and the days of dust, fog and haze from 1980 to 2009 in the Bohai Rim region

表 1 大气低能见度出现频率与影响其天气现象序列的关联度

Table 1 Connection degree between poor visibility's frequency and the weather phenomenon sequence to impact visibility

天气现象	沙尘	雾	霾
关联度	0.7172	1.0000	0.9712

2.4 大气低能见度出现频率的多尺度周期

图 8a 为环渤海地区 1980—2009 年月大气低能见度出现频率的小波变换系数的实部在时域中的分布,其中正值(实线)对应大气低能见度出现频率较高,负值(虚线)对应大气低能见度出现频率较低。由图可清楚看出 30 年来环渤海地区月大气低能见度出现频率的多时间尺度的结构,年际变化主要表现为准 2、4 和 6~8 a 的周期振荡,其中准 2 和 4 a 时间尺度的周期振荡在时间域中分布很不均匀,具有明显的局部化特征,准 2 a 周期振荡从 1980 年至 20 世纪 80 年代后期周期信号明显,80 年代后期至 2009 年主要表现为 4 a 左右时间尺度的周期振荡,6~8 a 的周期振荡较稳定,贯穿于整个时域中。年代际变化主要表现在 12~16 a 左右的时间尺度上,时域分布均匀,无局部化特征,在 32~36 a 左右的时间尺度也有微弱的周期性变化。在 12~16 a 时间尺度上,30 年来环渤海地区大气能见度主要经历了优→劣→优交替的时期,突变点位置分别出现在 1987 和 1995 年前后。

图 8b 为环渤海地区月大气低能见度出现频率的 Morlet 小波变换系数模的对数值在时域中的分布,小波系数模的大小实际上表明了其所对应时段的时间尺度的周期性是否明显,图中虚线表示模值小于 -1.0,实线表示模值大于等于 1.0。由图可见,年际尺度变化中,以 4 a 和 6~8 a 的周期变化比

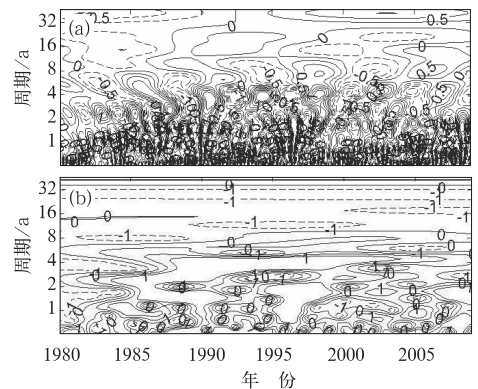


图 8 1980—2009 年环渤海地区月大气低能见度出现频率的 Morlet 小波变换系数的实部(a)、模(b)

Fig. 8 The coefficient's real part (upper) and mode (bottom) of Morlet wavelet transform of poor visibility's frequency each month from 1980 to 2009 in the Bohai Rim region

较明显;年代际尺度变化表现为 12~16 a 和 32~36 a 的周期信号,12~16 a 尺度的振荡周期在 1900 年之前较明显,32~36 a 的周期相对较弱。

3 环渤海各区与大气低能见度出现的相关气象因子的变化特征

3.1 相对湿度

1980—2009 年环渤海各区出现大气低能见度天数的日平均相对湿度统计结果表明(表 2),大气能见度与相对湿度存在较好的负相关,这可能是因

为相对湿度增大易形成雾,从而影响大气透明度,造成大气能见度降低,也有人研究发现水汽、雾滴本身会增强光的吸收和散射,因而会对大气能见度降低有贡献^[25]。I 区出现大气低能见度时,相对湿度大于 70% 的出现概率约为 87%,各级相对湿度最大概率出现在 90%~80% 为 37.11%;II 区出现大气低能见度时,相对湿度大于 70% 的出现概率约为 78%,相对湿度在 70%~60% 的出现概率为 11.38%;III 区出现大气低能见度时,相对湿度在 100%~90% 这一等级就高达 66.38%,相对湿度大于 80% 的出现概率约为 87%。由三区大气低能见度发生频率的不同和相对湿度等级的分布表明,在大气低能见

表 2 环渤海各区大气低能见度时各级相对湿度的出现概率(单位:%)

Table 2 The occurrence probability of relative humidity at all grades with poor visibility in three areas of the Bohia Rim region (unit: %)

分区	相对湿度/%					
	100~90	90~80	80~70	70~60	60~50	<50
I	28.27	37.11	21.42	9.00	2.44	1.76
II	21.24	32.92	24.18	11.38	5.45	4.83
III	66.38	19.91	7.42	3.61	1.65	1.03

度出现时,基本都是高湿的情况下。

3.2 地面风速

统计 1980—2009 年大气低能见度时地面风速的变化情况,表明地面风速是影响大气能见度的一个关键因子,当地面风速较小或静风情况下,大气低能见度出现频率较大,许多研究也表明地面风速是影响大气能见度的关键因子^[26-27],风速对大气能见度的影响实质上可以间接反映在湿度平流、空气中

污染物和水汽扩散情况对大气能见度的影响。从各级风速出现概率(表 3)可以看出在发生大气低能见度的前 18、12 和 6 h 至大气低能见度发生时风速是逐渐减小的,在大气低能见度发生时达到最小,此时各区最大概率出现的风速等级为 0~1 m·s⁻¹,而这一条件又不利于空气中水汽与污染颗粒物的扩散,从而导致大气低能见度的发生与维持。由表 3 可以得到:出现大气低能见度的前 18 h 各区的风速最大概率都是出现在 0~1 m·s⁻¹ 之间,前 12 和 6 h

表 3 环渤海各区大气低能见度时同时刻,前 6、12 和 18 h 地面各级风速的出现概率(单位:%)

Table 3 The probability of ground wind speed at all force scales at the same time, 6, 12 and 18 hours ago while poor visibility occurred in three areas of the Bohai Rim region (unit: %)

时间	分区	风速各级/m·s ⁻¹					
		0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
同时刻	I	82.34	11.15	4.28	0.74	0.56	1.12
	II	54.61	23.54	13.59	4.37	1.46	2.18
	III	35.21	17.90	18.23	11.14	7.15	10.04
前 6 h	I	68.77	14.13	7.43	2.97	0.56	6.32
	II	50.49	25.97	17.23	3.64	1.21	1.21
	III	32.04	16.32	17.52	10.97	8.30	14.52
前 12 h	I	50.56	18.59	16.73	6.69	2.42	5.20
	II	41.26	20.63	20.87	9.47	3.88	3.64
	III	30.40	15.72	16.81	12.72	10.37	13.65
前 18 h	I	46.28	11.71	12.27	10.97	7.99	10.97
	II	38.11	19.66	16.75	11.17	5.83	8.25
	III	29.69	15.56	15.50	12.28	10.75	15.88

至大气低能见度出现的同期出现在这一风速等级的概率逐渐加大。大气低能见度出现的同期, I 区静风和 $0\sim 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间风速出现概率高达 82.34%; II 区与 I 区情况类似但在各风速等级出现概率较 I 区略小; III 区出现大气低能见度时风速出现在 $0\sim 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间的概率为 35.21%。

3.3 云量与云状

分析各区 4 个观测时次出现大气低能见度时低云量、总云量及低云状的变化表明, 在出现大气低能见度的同时刻: (1) 02 时总云量、低云量在排除不明的情况下 I 和 II 区出现无云的概率最大, 次大频率出现在云量达到了 10 层的情况下, III 区则与 I 和 II 区相反, 总云量、低云量最大频率出现在天空云量达到了 10 层的情况下, 次大频率出现在无云的情况下; (2) 08 时 3 个区出现大气低能见度时, 均是在天空总云量达到了 10 层的情况下相对频率最大, 在无

云的情况下次大, I 和 III 区在天空低云量为 10 层的出现频率最大, II 区则是在天空无低云的出现频率最大; (3) 14 时出现大气低能见度时, 3 个区在天空总云量达到 10 层时的频率最大, I 和 III 区在天空总云量为 9~10 层出现频率次大, II 区无云的出现频率次大, 大气低能见度时在 II 和 III 区在无低云的情况下出现频率最大, I 区在天空布满低云的出现频率相对最大; (4) 20 时 3 个区出现大气低能见度时, 均是在天空总云量达到了 10 层的情况下相对频率最大, 在无云的情况下次大, I 和 II 区在无低云的出现频率相对最大, III 区在低云量达到 10 层的出现频率最大。

统计分析了大气低能见度同时刻的低云云状如表 4, 可见在大气低能见度的同时刻, 低云的云状为普通层积云的比例相对最高为 44.64%。低空出现层云或碎层云的比例次之为 19.75%。

表 4 在排除无低云和缺测的情况下各低云状所占的比例(单位: %)

Table 4 The percentage of all low clouds except the condition of no low clouds exist and no observations (unit: %)

比例	各低云状								
	淡积云	浓积云	秃积雨云	积云性层积云	普通层积云	层云或碎层云	碎雨云	不同高度的积云和层积云	鬃积雨云或砧状积雨云
比例	2.27	1.07	0.03	11.67	44.64	19.75	12.08	0.20	8.29

4 与大气低能见度相对应的气象要素的垂直分布特征

选取环渤海地区大连、锦州、北京、济南、青岛和成山头 6 个代表站, 各代表站分别选取 1000、925、850、700 和 500 hPa 的 5 个高度层, 分析了该站出现大气低能见度时各季节的温度、温度露点差随高度的垂直变化特征。

4.1 温度的垂直变化特征

温度的层结结构可以判定大气的稳定性, 通过对 6 个代表站大气低能见度日温度垂直变化的统计分析可以得出, 大气低能见度出现前期或同时刻, 低层基本都会维持一个逆温层, 说明此时的大气层结是稳定的。6 个代表站出现大气低能见度时温度随高度变化的多年平均情况基本相似, 都是在 08 时在 1000~925 hPa 出现逆温。如图 9 为锦州站出现大气低能见度时各季节 08 时及 20 时温度随高度的变化, 可见, 各季节在 08 时 1000~925 hPa 存在一个

逆温层, 尤其在冬季 925 与 1000 hPa 温差较大, 而夏季也接近于等温层, 20 时, 逆温层不存在。其他 5 站, 北京站在冬、春、秋季 08 时 1000~925 hPa 都存在一个逆温层。说明影响大气能见度状况, 导致大气低能见度的一个重要条件就是逆温层的存在, 逆温层平均厚度大概达到 700~800 m。

4.2 温度露点差的垂直变化特征

温度露点差可以判断空气接近饱和的程度, 本文将温度露点差小于 4°C 作为饱和湿空气的判别标准, 继而通过分析大气低能见度日的温度露点差随高度的平均变化, 得出大气低能见度时湿层的平均高度。通常 800 m (相当于 925 hPa) 以上温度露点差大于 5°C 表明空中少云或无云, 天气晴朗有利于地面辐射降温增加大气饱和度。图 10 为大连站温度露点差随高度的变化, 由图可见大气低能见度日湿层高度的特征为: 夏季 08 时的湿层高度较高, 达到了 900 hPa 左右, 直到正午湿层高度有所下降, 降为 950 hPa 左右, 其余各个季节湿层高度都在 950 hPa 以下, 且到 20 时基本上湿层较低或不存在湿

层;锦州、北京和青岛 3 站基本上都是夏季 08 时湿层高度相对最高,在 900~925 hPa 之间,20 时空气相对较干燥;成山头站基本上全年 950 hPa 以下都是湿空气,而济南站只在夏秋季 08 时湿空气高度达到了 925 和 975 hPa 左右,在春季近地面层为干空

气层,到 925 hPa 左右存在一较薄湿层,其余季节各时刻空气都是相对干燥的。

5 小 结

(1)大气低能见度出现频率的年际变化总体上呈波动变化并有较小的上升趋势;环渤海地区大气低能见度出现频率的月际变化特征为双峰型,最高峰值出现在夏季的 7 月,次峰值出现在冬季的 12 月;大气低能见度出现频率的日变化为出现频率最大值是在一天中的 08 时左右。环渤海地区月大气低能见度出现频率存在周期振荡,年际变化主要表现为准 2、4 和 6~8 a 的周期振荡,年代际变化主要表现在 12~16 a 左右的时间尺度的周期变化。

(2) I 区出现大气低能见度时,相对湿度大于 70% 的出现概率约为 87%, II 区大气低能见度时,相对湿度大于 70% 的出现概率约为 78%, III 区大气低能见度时,相对湿度在 100%~90% 这一等级就高达 66.38%,相对湿度大于 80% 的出现概率约为 87%。

(3)发生大气低能见度的前 18、12 和 6 h 至大气低能见度发生时风速是逐渐减小的,在大气低能见度发生时达到最小,此时各区概率最大出现的风速等级为 0~1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,说明风速较小或静风是大气低能见度出现的相对重要条件。

(4)在大气低能见度的同时刻,低云量和总云量各区不同时刻概率分布不同,低云的云状为普通层积云的比例相对最高为 44.64%。

(5)大气低能见度出现前期或同时刻,低层基本都会维持一个逆温层或等温层,说明大气层结较稳定,逆温层平均厚度大概达到 700~800 m,且低层存在一湿层。

参考文献

- [1] 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等.珠江三角洲大气灰霾导致大气能见度下降问题研究[J].气象学报,2006,64(4):510-517.
- [2] 吴兑.关于霾与大雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J].气象,2005,31(4):3-7.
- [3] 黄健,吴兑,黄敏辉,等.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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 林建,杨贵名,毛冬艳.我国大雾的时空分布特征及其发生的

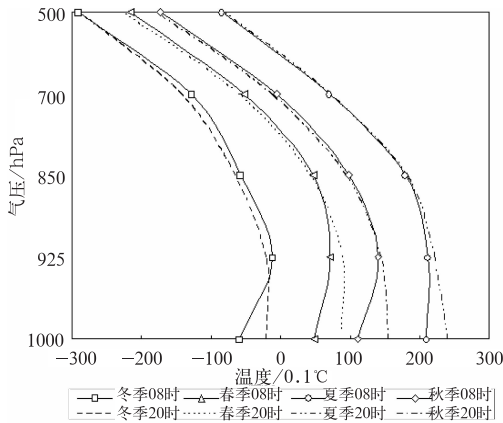


图 9 锦州站出现大气低能见度时各季节 08 和 20 时温度随高度的变化

Fig. 9 The temperature changes with height at the time of 08 h (solid) and 20 h (dashed) in four seasons (from left to right, curves are for winter, spring, summer, and autumn, respectively) when poor visibility occurred in Jinzhou Station

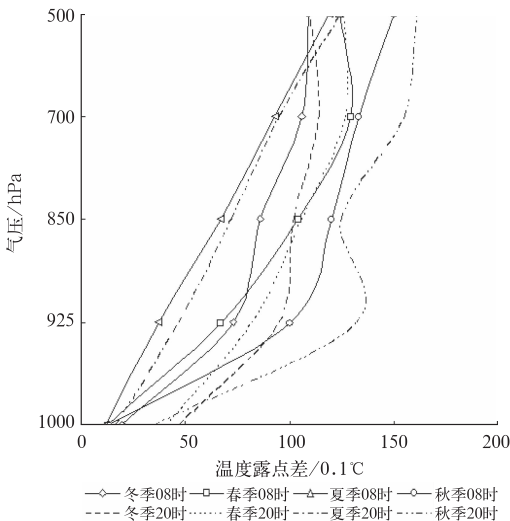


图 10 大连站出现大气低能见度时各季节 08 和 20 时温度露点差随高度的变化

Fig. 10 The changes in depression of the dew point with height at the time of 08 h and 20 h in four seasons when poor visibility occurred in Dalian Station

- 环流形势[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 171-181.
- [7] 陈潇潇, 郭品文, 罗勇. 中国不同等级雾日的气候特征[J]. 气候变化研究展, 2008, 4(2): 106-110.
- [8] 李子华. 中国近40年来雾的研究[J]. 气象学报, 2001, 59(5): 616-624.
- [9] 黄培强, 郭岚. 辐射雾形成的数值模拟[J]. 气象学报, 1986, 44(2): 68-74.
- [10] 周斌斌. 辐射雾的数值模拟[J]. 气象学报, 1987, 45(1): 21-29.
- [11] 张福深, 周明煜, 吕乃平. 地面辐射雾和低层云对夜间边界层影响的数值研究[J]. 大气科学, 1987, 11(2): 128-137.
- [12] 钱敏伟, 雷孝恩. 长江上空辐射雾的数值模拟[J]. 大气科学, 1990, 14(4): 483-489.
- [13] 张利民, 李子华. 重庆雾的二维非正常数值模拟[J]. 大气科学, 1993, 17(6): 750-755.
- [14] Shi Chun'e, Sun Xuejin, Yang Jun, et al. 3D Modle study on fog over complex terrain part I: Numerical study[J]. AMS, 1996, 10(4): 493-506.
- [15] Li Z, Shi C, Lu T. 3D Modle study on fog over complex terrain part II: Numerical experiment[J]. AMS, 1997, 11(11): 86-94.
- [16] 崔晶, 褚昭利. 威海市沿海大雾的特点及预报[J]. 气象科技, 2001, 29(4): 55-57.
- [17] 刘学萍, 徐旭然. 烟台市春季海雾特征及其预报[J]. 山东气象, 1994, 56(3): 47-49.
- [18] 梁军, 张胜军, 隋洪起, 等. 大连地区大雾特征[J]. 应用气象学报, 2009, 20(1): 28-35.
- [19] 杜长峰, 李爱霞, 陈晓静. 成山头地区平流雾的成因及预报分析[J]. 现代农业科技, 2008, (22): 367-368.
- [20] 陈连友, 李月英, 曹秀芝, 等. 秦皇岛地区雾天气气候特征及预报[J]. 气象, 2009, 35(12): 126-132.
- [21] 王晓丽, 张苏平, 张晓梅, 等. 青岛市水平大气能见度变化特征及气象影响因子分析[J]. 气象科学, 2008, 28(增刊): 31-36.
- [22] 刁学贤. 青岛及其近海雾的主要特征[J]. 海洋通报, 1996, 15(3): 87-91.
- [23] 王厚广, 曲维政. 青岛地区的海雾预报[J]. 海洋预报, 1997, 14(3): 52-58.
- [24] 周贺玲, 李丽萍, 乐章燕, 等. 河北省雾的气候特征及趋势研究[J]. 气象, 2011, 37(4): 462-467.
- [25] 苏维瀚, 张秋彭, 沈济. 北京地区大气能见度与大气污染的关系初探[J]. 大气科学, 1986, 10(2): 138-144.
- [26] 叶堤, 蒋昌潭, 王飞. 重庆市区大气能见度变化特征及其影响因素分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(6): 6-10.
- [27] 王淑英, 徐晓峰. 北京地区大气低能见度的气候特征及影响因素[J]. 气象科技, 2001, 29(4): 23-26.