

俞科爱,胡晓,黄旋旋,等. 2015. 宁波区域霾过程的天气分型及环流场特征. 气象,41(12):1514-1524.

宁波区域霾过程的天气分型及环流场特征^{*1}

俞科爱¹ 胡 晓² 黄旋旋³ 顾小丽¹ 徐宏辉⁴
刘 洁⁴ 丁烨毅¹ 郭建民¹

1 宁波市气象台,宁波 315012
2 镇海区气象局,宁波 315200
3 宁波市气象服务中心,宁波 315012
4 浙江省气象科学研究所,杭州 310008

提 要: 利用 2001—2012 年 NCEP 逐日再分析资料和宁波 7 个县(市)区的地面气象资料,运用 Lamb-Jenkinson 客观分型方法和统计方法,分析宁波区域霾发生规律和大气环流场特征。结果表明,宁波区域霾具有冬季频发、夏季少发的季节分布特点,年均 15 次,2011 和 2012 年区域霾明显增多与大气环流密切相关;区域霾的主要环流类型为 A 型、AN 型、AS 和 C 型,分别占总数的 65.9%、12.3%、6.7%和 4.7%,A 型主要出现在稳定平直环流的秋、冬季,AN 型出现在环流经向度明显增加的冬季,AS 型出现在冷暖气流转换空隙期的春、秋季,C 型出现在西太平洋高压明显加强的地面弱低压环境场的春、夏季;东部沿海 500 hPa 气旋性环流、偏西气流及 850 hPa 微风有利于宁波区域霾发生,反之,500 hPa 反气旋环流、850 hPa 强盛偏南气流则不利于霾发生;A 型环流在弱冷空气影响或静稳天气条件下,连续霾日、重度霾出现概率增大。

关键词: 区域霾, 环流分型, 特征, Lamb-Jenkinson 方法
中图分类号: P466,X51 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.12.009

Weather Types and Characteristics of Atmospheric Circulation for Regional Haze in Ningbo

YU Keai¹ HU Xiao² WANG Xuanxuan³ GU Xiaoli¹
XU Honghui⁴ LIU Jie⁴ DING Yeyi¹ GUO Jianmin¹

1 Ningbo Meteorological Observatory of Zhejiang, Ningbo 315012
2 Zhenhai Meteorological Station of Zhejiang, Ningbo 315200
3 Ningbo Meteorological Service Center of Zhejiang, Ningbo 315012
4 Zhejiang Meteorological Science Institute, Hangzhou 310008

Abstract: By using NCEP daily reanalysis data and surface weather data of 7 counties in Ningbo over 2001—2012, and Lamb-Jenkinson objective classification method and statistical method, we analyzed the regular pattern of regional haze events in Ningbo and corresponding atmospheric circulation characteristics. The results show that the regional haze in Ningbo has a seasonal distribution feature, and winter is the period with most frequent haze, while in summer haze is the least. There are about 15 times on annual average. Jumpily increasing of the regional haze in 2011 and 2012 is closely related to atmospheric circulation. The circulation for regional haze is divided into four types: Type A, Type AN, Type AS and Type C, accounting for 65.9%, 12.3%, 6.7% and 4.7% respectively. Type A mainly occurs in autumn and winter with stable and straight circulation. Type AN occurs in winter with significantly increasing meridional

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206011)、宁波市科技计划项目(2013C51013)和浙江省自然科学基金项目(LQ13D050001) 共同资助
2014 年 9 月 15 日收稿; 2015 年 6 月 11 日收修定稿
第一作者:俞科爱,主要从事环境气象研究工作.Email:407519843@qq.com

circulation. Type AS occurs in spring and autumn during the changing intervals of cold air and warm air. Type C occurs in spring and summer with significantly strengthened western Pacific high pressure and weak low-pressure ambient field on the ground. Cyclonic circulation at 500 hPa, west airflow and gentle breeze at 850 hPa in eastern coast are helpful for the occurrence of regional haze in Ningbo. On the contrary, anticyclonic circulation at 500 hPa and strong partial south airflow at 850 hPa suppress the haze. When Type A circulation occurs with weak cold air or static and stable air condition, the probability of continuous haze days and severe haze event increases.

Key words: regional haze, circulation types, characteristics, Lamb-Jenkinson scheme

引 言

我国城市大气污染已由原来的单一煤烟型向复合型污染转变,这一转变最显著的特征就是雾-霾天气的逐年增多(张英娟等,2015;丁一汇等,2014;廖志恒等,2015;伍红雨等,2011;牛彧文等,2010;魏文秀,2010)。目前,雾-霾范围已经超越了城乡、内陆沿海界线,表现为连片的、大范围雾-霾区,形成了联动效应(王珊等,2014;苏捷等,2012;李小飞等,2012;袁博等,2009)。霾是在排除降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟幕、吹雪、雪暴等天气现象造成的视程障碍外,能见度 <10 km,相对湿度 $<80\%$ 的一种天气现象,霾不仅降低能见度,导致交通事故发生,而且还能诱发呼吸道等多种疾病,危害人类的身心健康,同时对气候以及生态环境均会造成较大危害(张小曳等,2012;陈雄飞等,2013)。研究表明天气类型与霾(曹伟华等,2013;过宇飞等,2013)、大气污染物浓度关系密切(靳军莉等,2014;李菲等,2012;王宏等,2008;张国珏等,2010),特别是出现范围大、强度强的霾,一般都会在一些特定的天气形势下发生(刘梅等,2014;谢付莹等,2010)。

大气环流分型分为主观和客观两种分类法。主观分型法比较直观、容易解释其物理意义,但因主观性明显,不利于推广应用。以 EOF 和 PCA 为代表的向量分析是常用的客观分型方法(Yamal,1993),具有可重复性,但由于需要依赖原始资料,即应用不同长度的气象资料得到的分型结果不同,从而限制了其在实际业务中的应用。Jenkinson 等(1977)通过定义指数及分类标准将 Lamb(1950)分类方法客观化,Lamb-Jenkinson 方法(简称 L-J 方法)操作性强,天气气候学意义明确,已被国内气象学者应用于研究天气气候大气环流分型(黄荣辉等,1994;贾丽伟等,2006;周荣卫等,2010),但该方法在灾害天气

分型研究应用不多(赖绍钧等,2009)。研究表明该方法在我国大部分地区适用(朱艳峰等,2007)。

本文利用 L-J 方法研究霾与环流的关系,通过对 2001—2012 年发生宁波地区大范围的霾过程进行环流归类,得出宁波区域霾的主要形势场类型及环流特征,指出宁波区域霾的时空分布特点等,从而提高对沿海地区霾天气的认识,也为进一步研究霾的形成机理及寻求预报线索提供一些科学依据,对霾预报预警业务有一定的指导意义。

1 资料来源与处理方法

1.1 资料来源

地面气象观测资料来自七个国家气象观测站(宁波的慈溪、余姚、北仑、鄞州、奉化、石浦、宁海)地面要素月报的一天四个时次(02、08、14 和 20 时)的能见度、相对湿度、风、目测霾日等资料,站点分布见图 1。目测霾日是指各站气象观测员根据人工观测,在当日记录霾天气现象,则记为一个霾日。地面、高空形势场来自 NCEP 的逐日再分析资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、API 数据来自宁波市环保局对外公开发布监测数据。宁波市主要社会发展经济指标来自宁波市统计局的统计年鉴。

1.2 处理方法

(1) 霾日标准:目测为霾日,该日即为霾日。如目测是非霾日时,则按中华人民共和国气象行业标准 QX/T 113-2010 规定,排除降水、沙尘暴、浮尘、扬沙、雪暴、吹雪和烟幕等造成视程障碍外,当一天四个时次内任一时次同时满足能见度 <10 km 和相对湿度 $<80\%$ 时,该日也归为霾日。符合任一霾日标准的,该日即为霾日。

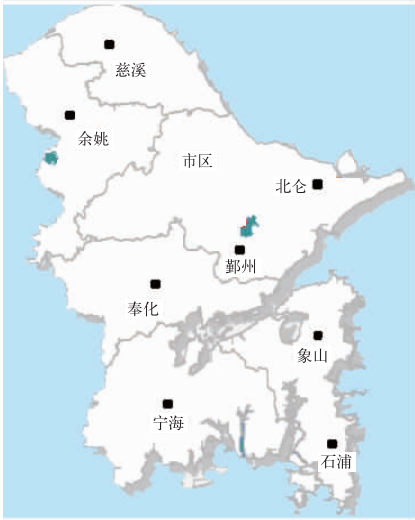


图 1 宁波市气象站点分布
Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Ningbo

(2) 霾等级划分:根据中华人民共和国气象行业标准(QX/T 113-2010)和气象预函〔2013〕34号文件,按水平能见度大小,将 3~10 km、2~3 km、1~2 km、<1 km 分别划分为轻度霾、中度霾、重度霾和严重霾,共四个等级。

(3) 区域霾标准:上述宁波七个站点有 2/3 及以上的县(市)区,即≥5 站出现霾,则认为是一次区域霾过程;以任一站出现最高霾等级,作为区域霾等级。

(4) Lamb-Jenkinson 环流分型方法是一种主客观结合的分型方法,通过定义一些客观的标准把主观的分型方法客观化,由定性的分型变为定量的分型。具体方法是在设定的计算范围内,每隔 10 个经度、5 个纬度的网格上取一个差分格点(图 2),共计 16 个点。

宁波位于我国海岸线中段,浙江宁绍平原东端,即 28°51′~30°33′N、120°55′~122°16′E。本文选取以(29°N、121°E)为中心点,以 20°~40°N、105°~135°E 的范围为研究区域(图 2),根据式(1)~(6)计算中心 C 点的地转风(u, v)和地转涡度(ξ_u, ξ_v),其中, p 为海平面气压, u, v 分别是地转风的纬向分量和经向分量, ξ_u 为 u 的经向梯度, ξ_v 为 v 的纬向梯度。

$$u = \frac{1}{2}[p(12) + p(13) - p(4) - p(5)] \quad (1)$$
$$v = \frac{1}{\cos\alpha} \times \frac{1}{4}[p(5) + 2p(9) + p(13) -$$

$$p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (2)$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

$$\xi_u = -\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_1} \times \frac{1}{2}[p(15) + p(16) - p(8) - p(9)] - \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_2} \times \frac{1}{2}[p(8) + p(9) - p(1) - p(2)] \quad (4)$$

$$\xi_v = -\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{2\cos^2\alpha} \times \frac{1}{4}[p(6) + 2p(10) + p(14) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (5)$$

$$\xi = \xi_u + \xi_v \quad (6)$$

根据地转风速、风向以及地转涡度之间的关系,把环流类型分为平直气流型、旋转型和混合型 3 大类,共计 27 小类,如表 1 所示。

上述方法得到的分型结果具有清晰明确的物理意义。如某一地区的环流型为 A 型,说明该地区被高压(反气旋)所控制;如为 C 型则被低压(气旋)所控制;N 型则表示该地区被偏北气流所控制;CN 型则表示该地区被低值系统控制下的偏北风影响;其余依此类推(下同)。

(5) HYSPLIT-4 方法是美国国家海洋和大气局(NOAA)等开发的供质点轨迹、扩散及沉降分析方法,通常用来跟踪气流所携带的粒子或气体移动方向,已被广泛应用于大气污染物输送研究(张维

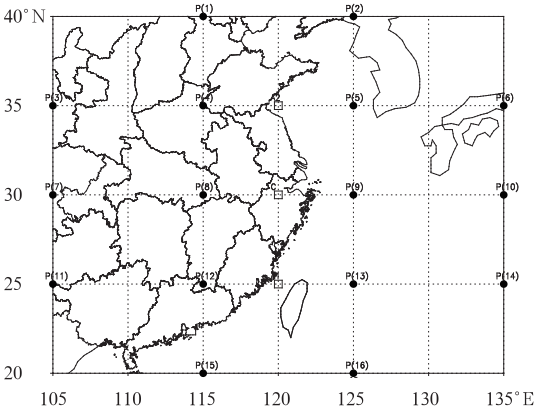


图 2 Lamb-Jenkinson 分型方法的
计算区域及 16 个差分格点的分布图
Fig. 2 Computational domain of Lamb-Jenkinson
classification and distribution of
16 differential grids points

表 1 Lamb-Jenkinson 环流分型表

Table 1 Type classification scheme of Lamb-Jenkinson circulation

分类标准	$ \xi \leq V$	$ \xi \geq 2V$	$V < \xi < 2V$	$V < 6$ 且 $ \xi \leq 6$
环流类型	平直气流型	旋转型	混合型	无定义
小型环流型	N, NE, E, SE, S, SW, W, NW	CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE AS, ASW, AW, ANW	A, C	UD

注: A 代表反气旋, C 代表气旋, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW 代表气流方向。
Note: A represents anti cyclone; C represents cyclone; NE, E, N, SE, S, SW, W, NW represent the direction of airflow.

等,1994;王喜全等,2011;王艳等,2008;苏福庆等,2004);聚类分析根据气团水平移动速度和方向对大量轨迹进行分组,采用组间差异极大、组内差异极小分组原则,估计大气污染物的潜在源区的不同输送态势分类。

2 结论与讨论

2.1 区域霾的时间分布

根据上述标准,2001—2012 年的 12 年宁波地区共发生区域霾 179 次,年均近 15 次,图 3 可见,

2010 年及之前霾日发生比较平稳,2011 和 2012 年霾过程呈跳跃性增多,分别达 49 和 32 次。从月分布看,秋冬季为霾频发期,10 月起明显增多,到 12 月达到峰值,一直持续到 1 月,之后霾日逐渐减少,7—9 月最少,统计时段中,9 月没发生过大范围的霾天气。另外,统计表明宁波地区大范围霾过程最长持续时间可达 4 d。

2.2 霾日变化的环流特征

霾天气形成的条件主要有两个:一是大气中污染物总量较多;二是当时的大气环流不利于污染物的扩散和稀释。由图 4 可见,2008—2012 年宁波主

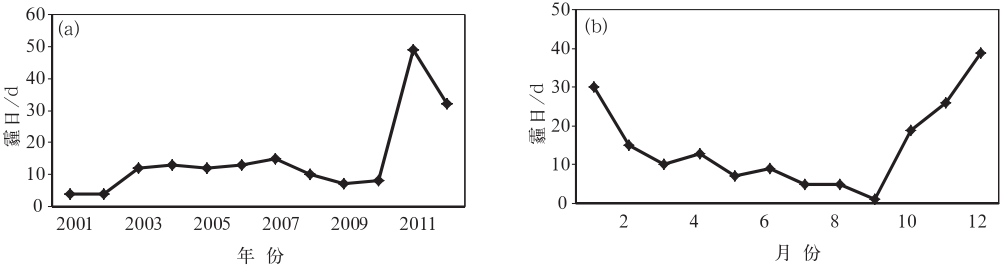


图 3 2001—2012 年宁波区域霾日年(a)和月(b)变化趋势

Fig. 3 The yearly (a) and monthly (b) variation trends of haze days from 2001 to 2012 in Ningbo

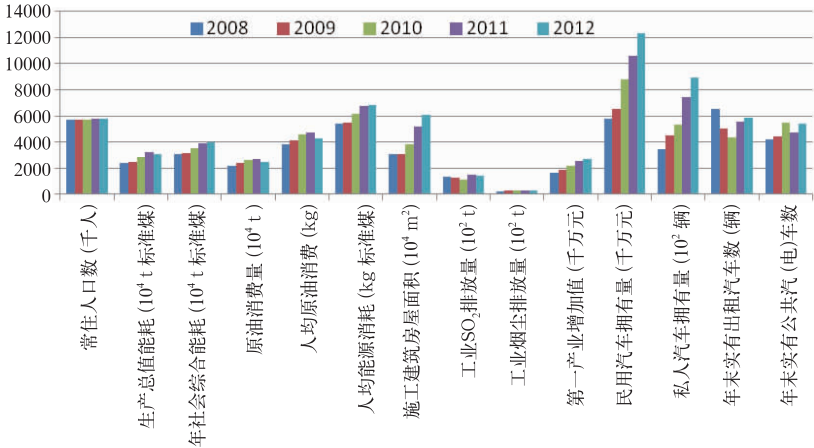


图 4 2008—2012 年宁波市社会主要经济发展指标

Fig. 4 Main economic indicators of social development of Ningbo from 2008 to 2012

要经济发展指标基本稳定或逐渐上升,说明人为污染排放物总量虽然逐年增多,但并没有出现突变。根据中国气象局国家气候中心的年度风场距平场图(图 5)分析,2010—2012 年环流特征各有不同,就浙

江东部沿海地区上空而言,2010 年 500 hPa 环流表现为处于反气旋环流,850 hPa 受较明显的偏南气流影响;2011 年 500 hPa 处于气旋环流,2012 年则受偏西气流控制。

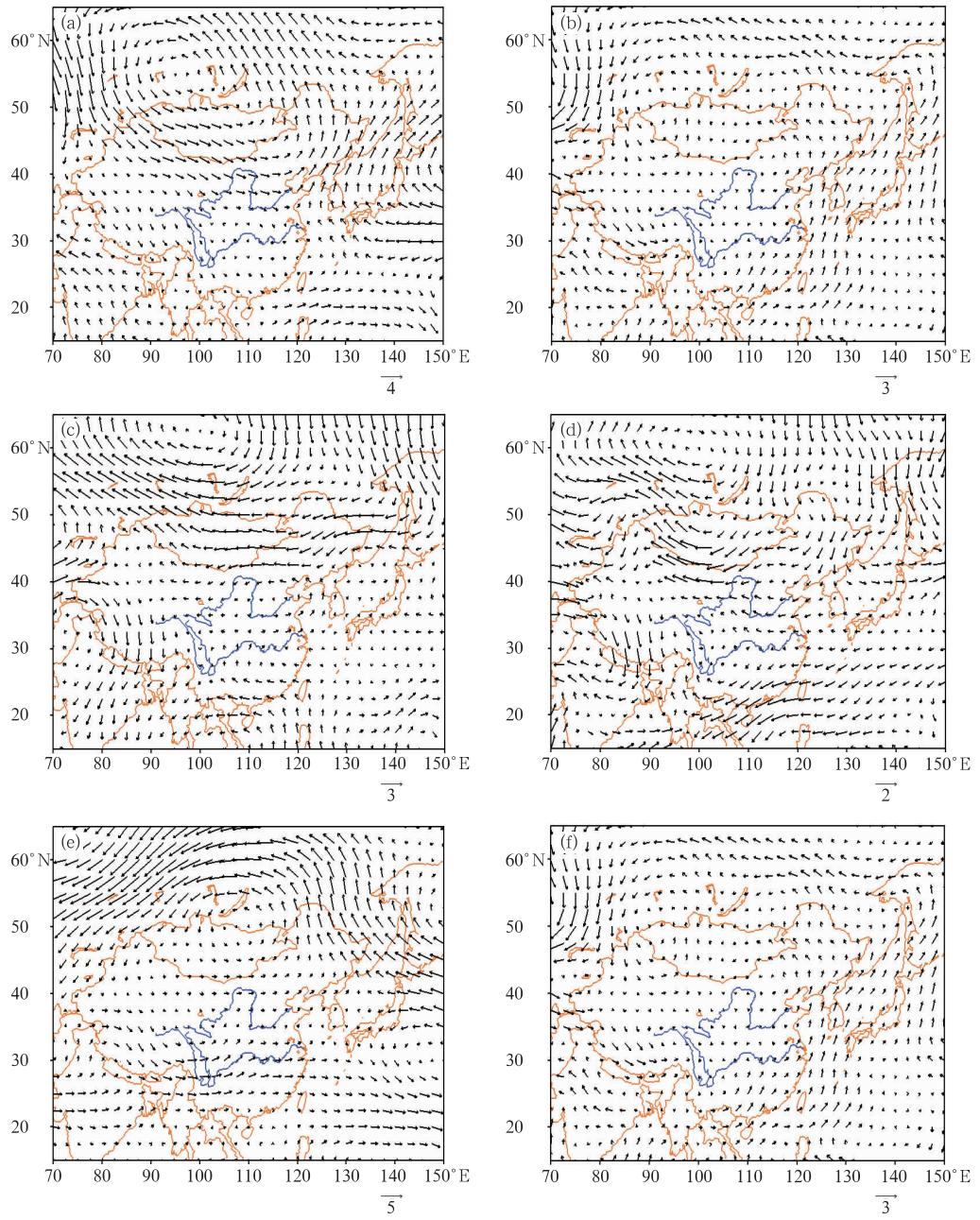


图 5 2010 年(a, b)、2011 年(c, d)、2012 年(e, f)500 hPa(a,c,e)和 850 hPa(b,d,f)的年风场距平场

Fig. 5 500 hPa (a, c, e) and 850 hPa (b, d, f) annual wind anomaly of 2010 (a, b), 2011 (c, d), 2012 (e, f)

2.3 后向轨迹分析

霾的产生与气象条件、大气颗粒物污染密切相关(赵普生等, 2012; 蒲维维等, 2011; 邓雪娇等,

2006; 魏文秀, 2010)。细粒子是宁波市大气颗粒物污染的主要组成部分,城市扬尘、机动车尾气尘、二次硫酸盐和煤烟尘对 PM_{2.5} 的分担率最多,为 14.4%~19.9%,研究表明宁波市对 PM_{2.5} 有明显

贡献的源类呈多源类并重的态势(肖致美等,2012)。结合环流形势分析,可以看出宁波大气颗粒污染与本地排放和外来输入均有关系。设定宁波市

(29.8°N,121.5°E)为起点,采用 HYSPLIT-4 方法对 2010—2012 年秋冬季节(11、12 和 1 月)宁波 100 m 上空的前 36 h 气流轨迹做聚类分析(图 6)。

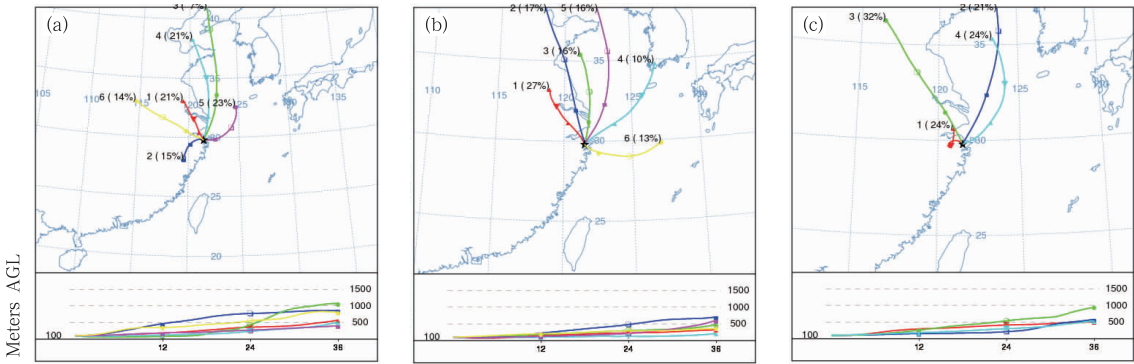


图 6 2010 年(a)、2011 年(b)、2012 年(c)的秋冬季后向轨迹图
Fig. 6 The backward trajectory in autumn and winter of 2010 (a), 2011 (b), 2012 (c)

由图 6 可见,2010 年秋冬季宁波气流轨迹相对比较分散,来自西南方向的占观测数 15%、偏东方向 23%,西北或偏北方向 62%;而 2011 和 2012 年气流轨迹则以宁波以北方向和长距离输送为主,2011 年占 87%、2012 年占 76%。这与前面分析的多霾年份气旋性环流有利于引导冷空气南下、少霾年份反气旋环流易致冷空气偏弱,或低层受较强盛偏南气流的环流形势基本吻合。由此可见,与 2010 年相比,2011 和 2012 年霾日跳跃性增多与大气环流不利于污染物的扩散和稀释密切关系。

2.4 Lamb-Jenkinson 环流分型

L-J 分型结果不仅可以用来研究温度、降水等基本气象要素,而且还可以用来研究大气污染扩散与环流的关系等。本文采用该方法,利用分辨率为 2.5°×2.5°NCEP 逐日平均海平面气压再分析资料,以宁波地区为中心区域,对 2001—2012 年 179 次霾过程的大气环流进行了客观分型。

图 7 给出了统计时段内,宁波市各环流类型出现的频率,可以看出,宁波区域霾的环流类型几乎集中在反气旋型及该型的南北两个气流方向,共占总数近 85%,出现频率最高的是环流 A 型,达 65.9%,其次是 AN 和 AS 型,分别为 12.3%和 6.7%,C、S、N、CS、CN 型环流的发生频率不超过 5%,其他环流均没有出现。据此分析结果,以下我们主要对 A、AN、AS 和 C 型(四型占总数的 89.6%)的高低空环流形势进行逐一分析。

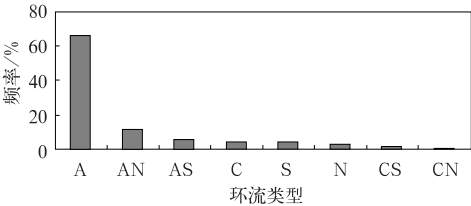


图 7 2001—2012 年宁波市环流类型发生频率
Fig. 7 Frequency of haze circulation in Ningbo from 2001 to 2012

2.4.1 A 型环流

统计 A 型环流型共发生 118 d,其中,发生在秋冬季节(1 月、10—12 月)的占该类总数的 75.4%,图 8 显示,850~500 hPa 的高空环流场表现为较浅薄的一槽一脊型控制,东亚地区为一致的西北偏西气流影响,地面为庞大高压控制,高压中心位于贝加尔湖的西南侧,东部沿海地区处于高压前部的稀疏气压场中,风力微弱。高空一致的西北偏西气流易致空气水汽含量较低,云量减少,有利于夜间辐射降温;同时贝加尔湖地区高压脊的明显偏弱,不利于冷空气东移南下,从而形成了静稳型环流形势特点,容易出现连续区域霾。在共 26 次连续 2 d 或以上的霾过程中,A 型就占了 24 次,共计 57 d,占到了近一半的该环流型霾日,其中,2011 年 8 d、2012 年 6 d,为历年最多的,最长的是 2011 年 2 月 18—21 日,持续 4 d。所以,预报员要特别警惕 A 型环流造成的连续霾天。

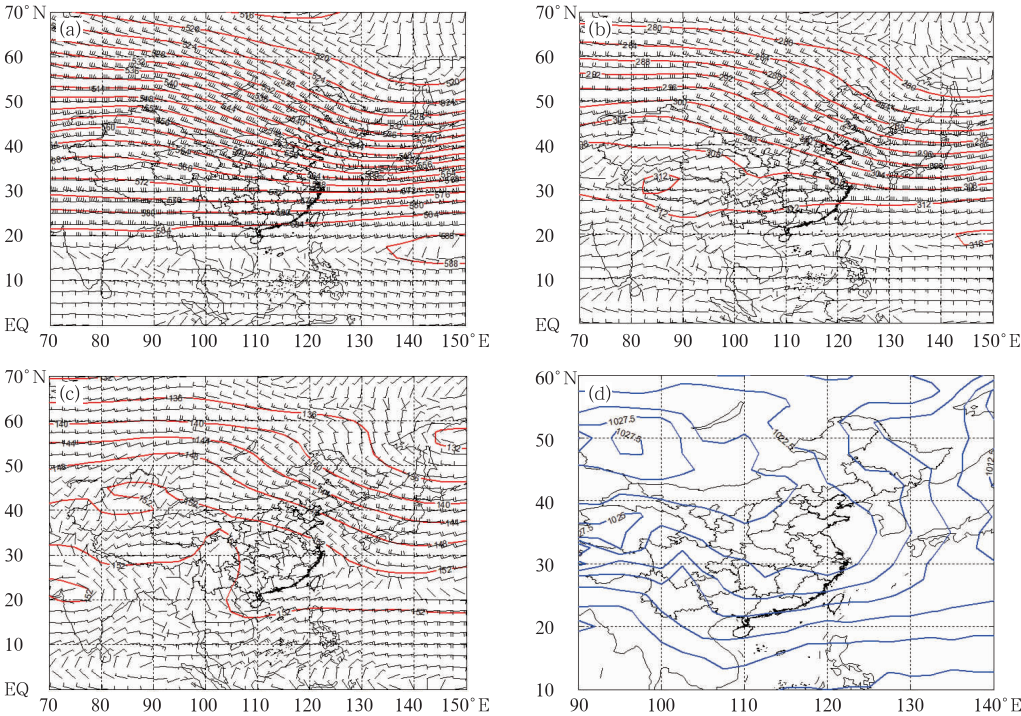


图 8 A 型高空(a,b,c, 单位: dagpm)、海平面气压(d, 单位: hPa)的平均环流场
(a) 500 hPa, (b) 700 hPa, (c) 850 hPa
Fig. 8 Average circulations of Type A high-level (a,b,c, unit: dagpm)
and sea surface pressure (d, unit: hPa)
(a) 500 hPa, (b) 700 hPa, (c) 850 hPa

2.4.2 AN 型环流

统计 AN 型环流型共发生 22 d, 发生在冬季(1 和 12 月)的占该类总数的 72.7%。850~500 hPa 的高空环流仍然表现为一槽一脊型(图 9), 但是与 A 型相比, 其环流经向度明显增加, 主要表现为东亚槽加深、槽后西北风速加大, 东部沿海一带 700 hPa 风速达到 $20\sim22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 东亚地区偏北风分量明显加大, 为西北偏北风, 风向随高度呈逆时针变化; 同时, 地面高压强度增强, 贝加尔湖西南侧的闭合环流中心气压为 1037.5 hPa, 且高压中心东移南压, 气压梯度明显加密, 以上迹象表明 AN 环流型有冷空气明显参与。此型环流出现连续霾概率较低, 仅出现过两次连续 2 d 的霾过程。

2.4.3 AS 型环流

统计 AS 型环流型共发生 12 d, 发生在春秋季节(2—4 月、6 和 11 月)的占该类总数的 83.3%。虽然 700~500 hPa 仍表现为浅薄的一槽一脊型(图 10), 但是 850 hPa 环流形势已发生调整, 主要表现为西北气流减弱北缩, 西南气流开始逐渐活跃,

西太平洋面出现 152 gpm 闭合高压环流, 脊线位于 20°N、西伸点 130°E; 贝加尔湖西南侧的地面高压已减弱消失, 东部沿海地区处于即将东移入海的高压中心附近, 说明冷高压已经变性, 宁波几乎处高压中心的静风区控制, 或即将转高压后部的弱偏南气流影响。所以, AS 型环流大多出现处于冷暖空气的交替调整期, 即冷空气减弱变性、暖空气还没得到加强发展的时期, 该型没有出现连续 2 d 或以上的霾过程。

2.4.4 C 型环流

统计 C 型环流型共发生 8 d, 其中发生在春夏季(3 月、5—6 和 8—9 月), 发生在夏季(6 和 8 月)占该类总数的 62.5%。700~500 hPa 为浅薄的两槽一脊型(图 11), 西太平洋高压继续加强, 出现了范围明显加大的块状高压区, 特别是 850~700 hPa 高压西侧的西南气流明显得到加强; 地面表现为与前三种环流型明显不同的是我国大陆已受低气压系统控制, 低压中心在新疆西北部地区, 东部沿海一带处于弱的低压环境场中, 该型也没有出现连续 2 d 或以上的霾过程。

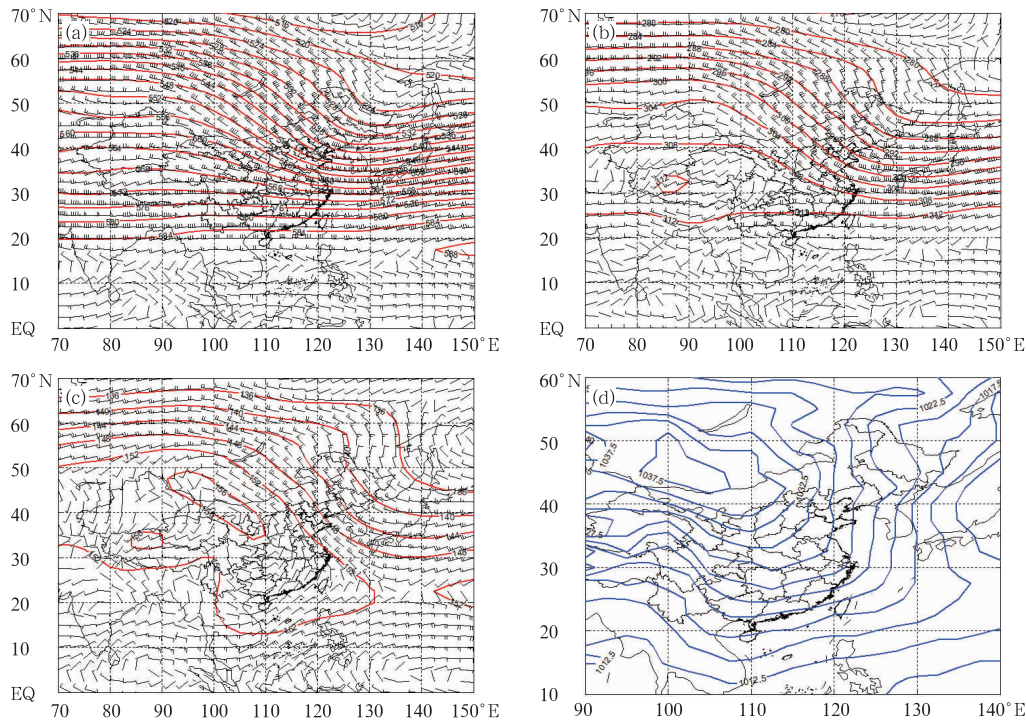


图 9 同图 8, 但为 AN 型
Fig. 9 Same as Fig. 8, but for Type AN

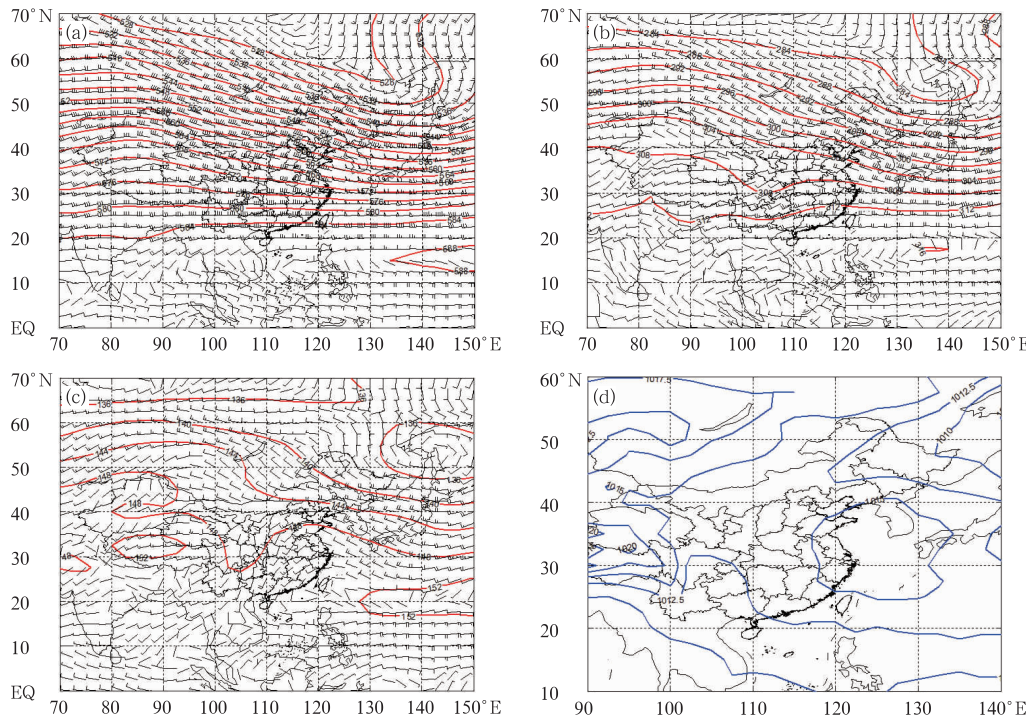


图 10 同图 8, 但为 AS 型
Fig. 10 Same as Fig. 8, but for Type AS

2.5 四类环流型的时间分布

上述四类环流型(合计类)的时间分布趋势与霾日基本一致(图 12),即呈现两头多中间少的月分布

特征,其中,A 型因日数多,分布特征更加明显;AN 型主要发生在 1 和 12 月;AS 型月特征不明显;C 型以 6 和 8 月居多。这与实际环流特征比较吻合。另外,2011—2012 年也是历年中四类环流发生日最多

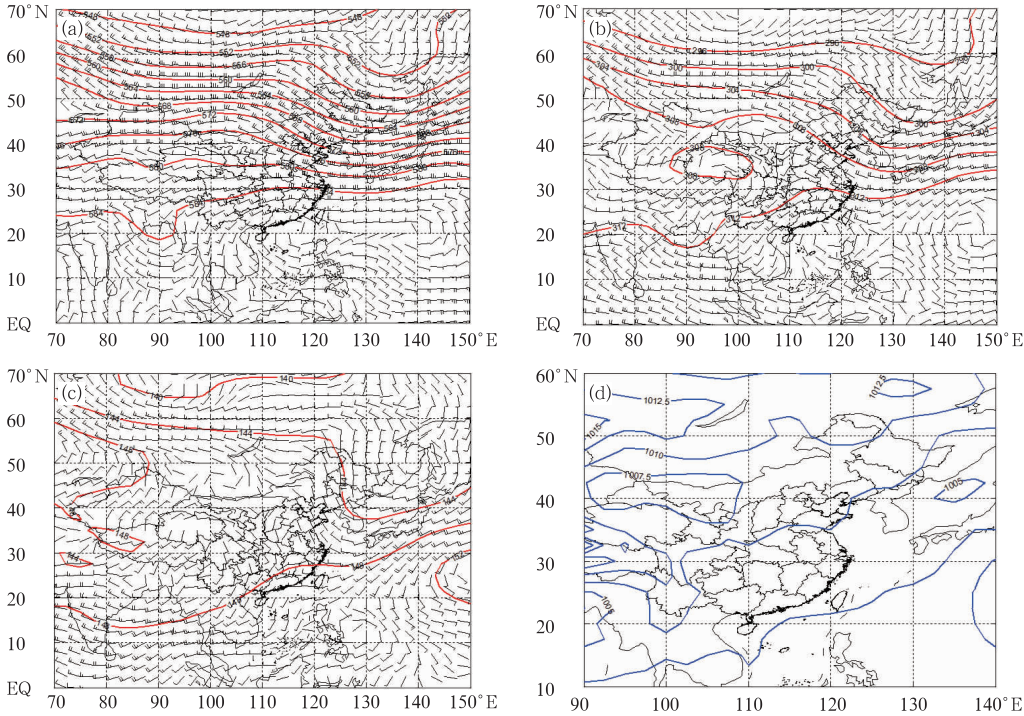


图 11 同图 8,但为 C 型
Fig. 11 Same as Fig. 8, but for Type C

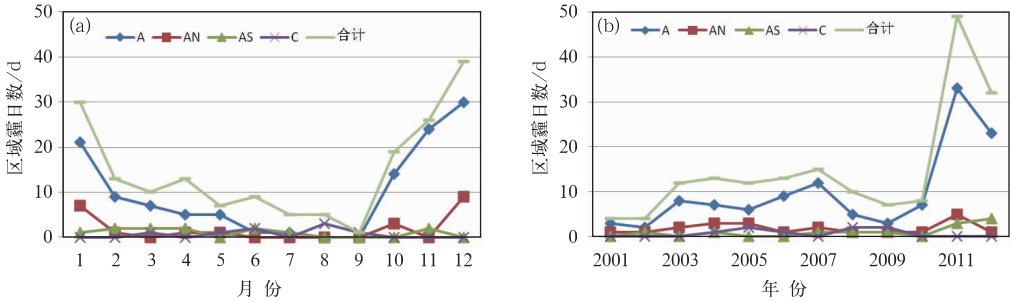


图 12 宁波区域产生霾的四种主要环流型霾日数的月(a)和年(b)分布
Fig. 12 Monthly (a) and yearly (b) variation trends of days with four types of circulations for haze events in Ningbo

的,分别占 49 和 32 d,表现为 A 型环流明显增多,也就是说冷空气强度总体减弱或影响位置偏北,导致静稳环流形势增多,这也是造成 2011 和 2012 年霾日增多的主要原因之一。所以,除了输入性霾外,预报员也注意本地环流变化导致霾发生可能性明显增大。

2.6 环流型与气象要素的关系

大范围霾天气过程与大尺度环流形势关系密切,一般来说,霾是发生在较干燥环境中(史军等, 2010;王建国等,2008;饶晓琴等,2008)。但因影响系统不同,各型的气象要素有差异。上述四个主要

环流类型的气象要素具有以下特征(表 2):能见度大多在 8 km 左右,C 型最差,不到 7 km;相对湿度在 66%~75%,AN 型空气最干燥,相对湿度为 66.6%;地面风速在 1.9~3.3 m·s⁻¹,AN 型风速较大,AS 型最小;中度霾是四种环流型出现概率最高的,特别是 C 型,占该类总数的四分之三, A 和 AN 型出现重度霾的概率明显高于另两型,AS 型出现严重霾的概率最高,C 型还没有出现过严重霾。

2.7 环流型与污染物浓度的关系

霾是直接反映空气质量的天气现象之一,表 3 为各型的污染物浓度和相应空气质量统计表,C型

表 2 宁波区域四种主要环流型产生霾的气象要素统计表
Table 2 The meteorological element statistics of four types of primary circulations in Ningbo

	A 型	AN 型	AS 型	C 型
能见度/km	8.12	8.37	8.46	6.93
相对湿度/%	68.8	66.6	70.9	75.5
风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2.2	3.3	1.9	2.2
霾频率/%	轻度	13.6	25.0	12.5
	中度	40.9	50.0	75.0
	重度	31.8	8.3	12.5
	严重	13.7	16.7	0

表 3 宁波区域四种主要环流型产生霾的污染物浓度(单位: $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)及空气质量统计
Table 3 The statistics of pollutant concentrations (unit: $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) and air quality indices of four types of primary circulations in Ningbo

环流类型	A 型	AN 型	AS 型	C 型
SO ₂	59	69	52	46
NO ₂	75	77	72	59
PM ₁₀	172	151	180	119
API	117	108	118	90
PM _{2.5}	102	102	106	无
空气质量等级频率/%	优	0	0	0
	良	36.5	45.4	75
	轻微-轻度污染	61.0	54.6	25
	中度污染	1.7	0	0
	重污染	0	0	0

注:PM_{2.5}浓度为 2011—2012 年统计数据。
Note: the data of PM_{2.5} is from 2011 to 2012

空气质量最好,四分之三的空气质 量等级为良,这与夏季宁波空气质量最好的统计结果相吻合;A 和 AN 型中 SO₂ 和 NO₂ 的浓度及污染空气出现频率均比较高;PM_{2.5} 浓度在 A、AN、AS 型均超过 100 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,但总体差别不大;PM₁₀ 浓度相对较低是否 与地面风速较大有关系,还有待于进一步研究分析。

3 结论与讨论

(1) 宁波区域霾年均近 15 次,2010 年及之前霾日发生比较平稳,2011 和 2012 年霾过程呈跳跃性增多,分别达 49 和 32 次。秋冬季为霾频发期,12 月达到峰值;夏季最少。霾发生与环流背景密切相关,500 hPa 气旋性环流有利霾日发生,而反气旋环流及低层强盛偏南气流有助空气对流,不利霾发生。

(2) Lamb-Jenkinson 分型结果表明宁波区域霾的环流类型出现 A 型频率最高,达 65.9%。其次为 AN、AS 和 C 型,四型共占总数近 89.6%;C、S、N、CS 和 CN 型环流的发生频率不超过 5%,其他环流均没有出现。四类环流型特别是 A 型的时间分布趋势与霾日基本一致,为两头多中间少的月分布

特征;各型出现时段不尽相同,A 型主要发生 1 月和 10—12 月,AN 型在 1 和 12 月;AS 型月特征不明显,C 型以 6 和 8 月居多。

(3) A 型环流平直、天气系统单一、形势稳定,容易出现连续区域霾,最长能持续 4 d;AN 型受冷空气影响,环流经向度明显,气压梯度加密;AS 型环流表现为冷空气变性北缩、西南暖湿气流开始活跃,但是还没得到加强发展,地面处于静风区,并即将转受入海高压后部偏南气流影响;C 型为西太平洋高压明显加强,地面处于弱的低压环境场。在霾预报预警业务中,预报员要特别警惕 A 型环流造成的连续霾过程。

(4) A 和 AN 型环流的 SO₂、NO₂ 的浓度偏高,重度霾和污染空气概率较高,后者还具有空气干燥、地面风速较大的特点;AS 型地面风小,平均风速不到 2 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现严重霾的概率最高;C 型以中度霾为主,能见度较差,但空气质量是四类环流型中最好的。

参考文献

陈雄飞,董晓梅,潘冰莹,等. 2013. 空气污染与健康关系的时间序列研究中序列分解方法比较,26(6):638-642.

- 曹伟华,梁旭东,李青春. 2013. 北京一次持续性雾霾过程的阶段性特征及影响因子分析. 气象学报, 71(5): 940-951.
- 丁一汇,柳艳菊. 2014. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系. 中国科学 地球科学, 44(1): 37-48.
- 邓雪娇,黄健,吴兑,等. 2006. 深圳地区典型大气污染过程分析. 中国环境科学, 26(Suppl): 7-11.
- 过宇飞,刘端阳,周彬,等. 2013. 无锡市霾天气特征及影响因子研究. 气象, 39(10): 1314-1324.
- 黄荣辉,孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 18(2): 141-151.
- 靳军莉,颜鹏,马志强,等. 2014. 北京及周边地区 2013 年 1—3 月 $PM_{2.5}$ 变化特征. 应用气象学报, 25(6): 690-700.
- 贾丽伟,李维京,陈德亮. 2006. 东北地区月平均大气环流型与哈尔滨市气候关系的初步研究. 气象学报, 64(2): 236-245.
- 廖志恒,孙家仁,范绍佳,等. 2015. 2006—2012 年珠三角地区空气污染变化特征及影响因素. 中国环境科学, 35(2): 329-336.
- 刘梅,严文莲,张备,等. 2014. 2013 年 1 月江苏雾霾天气持续和增强机制分析. 气象, 40(7): 835-843.
- 李小飞,张明军,王圣杰,等. 2012. 中国空气污染指数变化特征及影响因素. 环境科学, 33(6): 1936-1943.
- 李菲,吴兑,谭浩波,等. 2012. 广州地区旱季一次典型灰霾过程的特征及成因分析. 热带气象学报, 28(1): 113-122.
- 赖绍钧,何芬,赵汝汀,等. 2009. 福州市大雾天气环流分型研究. 气象科技, 37(2): 166-170.
- 牛或文,顾骏强,浦静姣,等. 2010. 浙江城市区域灰霾天气的长期变化. 热带气象学报, 26(6): 807-812.
- 蒲维维,赵秀娟,张小玲. 2011. 北京地区夏末秋初气象要素对 $PM_{2.5}$ 污染的影响. 应用气象学报, 22(6): 716-723.
- 气预函[2013]34 号文件. 2013. 霾预警信号修订标准(暂行).
- 饶晓琴,李峰,周宁芳,等. 2008. 我国中东部一次大范围霾天气的分析. 气象, 34(6): 89-96.
- 苏捷,王丽涛,魏巍,等. 2012. 2001—2011 年我国城市空气污染变化特征及分析. 河北工程大学学报(自然科学版), 29(4): 48-52.
- 苏福庆,杨明珍,钟继红,等. 2004. 华北地区天气型对区域大气污染的影响. 环境科学研究, 17(3): 16-20.
- 史军,崔林丽,贺千山,等. 2010. 华东雾和霾日数的变化特征及成因分析. 地理学报, 65(5): 533-542.
- 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.
- 魏文秀. 2010. 河北省霾时空分布特征分析. 气象, 36(3): 77-82.
- 王珊,修天阳,孙扬,等. 2014. 1960—2012 年西安地区雾霾日数与气象因素变化规律分析. 环境科学学报, 34(1): 19-26.
- 王宏,林长城,蔡义勇,等. 2008. 福州市 PM_{10} 突变特征与气象条件的关系研究. 热带气象学报, 24(5): 564-568.
- 王喜全,杨婷,王自发. 2011. 灰霾污染的跨控制区影响——一次京津冀与东北地区灰霾污染个案分析. 气候与环境研究, 6(6): 690-696.
- 王艳,柴发合,王永红,等. 2008. 长江三角洲地区大气污染物输送规律研究. 环境科学, 29(5): 1430-1435.
- 王建国,王业宏,盛春岩,等. 2008. 济南市霾气候特征分析及其与地面形势的关系. 热带气象学报, 24(3): 303-306.
- 谢付莹,王自发,王喜全. 2010. 2008 年奥运会期间北京地区 PM_{10} 污染天气形势和气象条件特征研究. 气候与环境研究, 15(5): 584-594.
- 肖致美,毕晓辉,冯银厂,等. 2012. 宁波市环境空气中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 来源解析. 环境科学研究, 25(5): 549-555.
- 袁博,肖苏林,蒋大和. 2009. 我国城市群空气污染及其季节变化特点. 环境科技, 22(1): 102-106.
- 张英娟,张培德,王冀,等. 2015. 1981—2013 年京津冀持续性霾天气的气候特征. 气象, 41(3): 311-318.
- 张小曳,张养梅,曹国良. 2012. 北京 PM_{10} 中的化学组成及其控制对策思考. 应用气象学报, 23(3): 257-264.
- 张国璁,甄新蓉,谈建国,等. 2010. 影响上海市空气质量的地面天气类型及气象要素分析. 热带气象学报, 26(1): 124-128.
- 张维,邵德民,殷鹤宝,等. 1994. 中国沿海城市的气块后向轨迹分析. 气象, 20(12): 46-49.
- 朱艳峰,陈德亮,李维京,等. 2007. Lamb-Jenkinson 环流客观分型方法及其在中国的应用. 南京气象学院学报, 30(3): 289-297.
- 周荣卫,何晓凤,苗世光,等. 2010. 北京地区大气环流型及气候特征. 气候变化研究进展, 6(5): 338-343.
- 赵普生,徐晓峰,孟伟,等. 2012. 京津冀区域霾天气特征. 中国环境科学, 32(1): 31-36.
- 中华人民共和国气象行业标准(QX/T113-2010). 霾的观测和预报等级.
- Jenkinson A, Collison F P. 1977. An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic Climatology Bransch Memorandum, No. 62. Meteorological Office, Bracknell, 18.
- Lamb H H. 1950. Types and spells of weather around the year in the British Isles. Q J R Meteorol Soc, 76: 393-438.
- Yamal B. 1993. Synoptic climatology in on Vimmmental all alysis. London: Belhaven Press.