

1951—2012 年沈阳市气象条件变化 及其与空气污染的关系分析

邹旭东*, 杨洪斌, 张云海, 汪宏宇

中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110166

摘要: 气象条件对城市空气质量有重要影响, 对比各气象要素和空气质量的相关性、分析气象要素的长期变化趋势是研究城市大气环境的重要内容。为增进对东北重工业城市沈阳市大气环境变化的理解, 分析了 1951—2012 年沈阳市气温、地表温度、风速、降水、气压等气象要素的变化特征和趋势, 阐明了 2008—2013 年冬季沈阳市空气污染指数和气象要素的相关性。对沈阳市 1951—2012 年气温、0 cm 地温、风速、降水、气压日平均资料分析结果表明: 沈阳市 1951—2012 年的气温与地表温度呈上升趋势, 而风速、降水、气压则呈下降趋势, 各气象要素呈显著的季节变化特征, 其中冬春季的气温与冬季的地表温度上升趋势最明显, 冬春季的风速、夏秋季的降水量和春秋季节的气压下降最为明显。20 世纪 90 年代以来, 沈阳市的气温、地表温度升高显著, 风速、气压下降明显, 年际变化幅度都有增大趋势。分析 2008—2013 年冬季沈阳市空气污染指数的逐日资料。沈阳市冬季的大气污染呈线性上升趋势, 空气污染指数与风速、气压、降水呈负相关, 而与气温、地表温度呈正相关, 且与地表温度的相关性最高。沈阳市的地表温度变化与东亚范围 200 hPa 的风速、500 hPa 高压、850 hPa 的南风呈正相关, 而与 850 hPa 的北风呈负相关。这表明, 沈阳市气候暖化及风速降低是空气污染加重的重要原因。

关键词: 气象条件; 城市化; 污染指数; 沈阳

中图分类号: X16

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2015) 01-0076-08

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.01.012

引用格式: 邹旭东, 杨洪斌, 张云海, 汪宏宇. 1951—2012 年沈阳市气象条件变化及其与空气污染的关系分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 76-83.

ZOU Xudong, YANG Hongbin, ZHANG Yunhai, WANG Hongyu. Changes of Meteorological Factors in Shenyang City during 1951—2012 and Its Relationship with Air Pollution [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 76-83.

气象条件是大气环境的重要组成部分, 各种气象条件的变化都和人类的生产、生活息息相关。一方面在长期的气候变化中各气象要素值发生着改变 (贺伟等, 2013; 陈超等, 2013); 另一方面随着经济的发展、城市化进程的加快, 城市环境也发生了很大变化, 城市环境变化也使得气象条件发生改变。城市规模扩大会产生城市热岛、城市冷岛、局地静风等局地气候的变化。关于城市化进程对气象条件的影响已经开展了大量的研究 (黄聚聪, 2012)。

沈阳市是我国东北地区的中心城市, 是著名的重工业城市。自 20 世纪 90 年代以来, 沈阳市的人口、城区面积扩张明显, 经济发展也步入了一个新的时期 (王厚军等, 2008)。当前沈阳市作为辽宁中部城市群区域经济共同体和环渤海经济区重要成员在振兴经济的大潮中高速前进着。在不断的建

设中, 沈阳市经历了城区面积的快速扩展、人口的快速增长、产业规模升级扩大等发展历程, 也经受着土地资源短缺、水资源短缺、大气污染严重、生态环境恶化、产业结构不合理、城市规划发展不合理、配套服务和配套设施跟不上、交通拥堵等发展过程中出现的各种问题。在城市发展的同时, 气象条件发生着怎样的变化, 这些变化的影响因素又是什么, 气象条件、大气环境、城市扩展之间存在着怎样的关联已经引起了科学家的高度关注。

城市空气质量和城市经济社会的发展紧密相关 (张菊等, 2006)。城市的污染物排放、地形地貌改变、气象条件等诸多因素直接影响着大气环境。人们对空气质量和各种因素的相互影响开展了大量的研究工作 (马雁军等, 2011; 孙家仁等, 2011; 王学远等, 2007)。在污染源排放相对稳定的条件下, 气象条件对空气质量状况起主导作用 (周兆媛

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41240034); 中央级公益性科研院所基本科研业务费 (2013IAE-CMA07)

作者简介: 邹旭东 (1979 年生), 男, 硕士, 主要研究方向为大气环境、气候变化。E-mail: zouxu_163.com@163.com

*通信作者

收稿日期: 2014-11-15

等, 2014; 郭勇涛等, 2011)。在气候变化的背景下, 探讨气象要素变化对空气质量影响, 能够为大气污染治理方案提供科学依据。很多学者开展了气象要素对空气质量的影响研究, 刘彩霞等对天津市采暖期气象因子与空气质量的相关关系进行了分析(刘彩霞等, 2007); 张加云等(2008)对一次强沙尘暴天气过程对中国大陆城市空气质量的影响进行了分析研究; 李小飞等(2012)分析了近 10 年我国城市空气变化特征和空气污染影响因素。还有很多关于气象因子对空气质量相关影响的研究工作(田良等, 2005; 马雁军等, 2012; 朱佳雷等, 2011)。然而对比分析不同气象要素和空气质量的相关性以及探讨长期的气象要素变化对空气质量的影响, 是现在缺少的。

沈阳市位于中国东北地区南部, 辽宁省中部。它背倚长白山麓, 是辽东半岛的依托和腹地。以平原为主, 山地、丘陵集中在东南部, 属温带半湿润大陆性气候。年平均气温 $6.2\sim 9.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 全年降水量 $600\sim 800\text{ mm}$, 降水集中在夏季, 四季分明, 温差大, 夏季最高气温 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冬季最低气温 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 夏季时间较短, 冬寒时间长达 6 个月, 降雪较少。春秋两季气温变化迅速, 持续时间短, 春季多风, 秋季晴朗。尽管关于沈阳市气象条件变化的研究已有很多, 但大多限于温度、降水等常规的气象要素变化特征的统计分析(张文兴等, 2009; 姜晓艳等, 2009)。

本研究试图通过分析近 60 年沈阳温度、0 cm 地温、风速、风向、降水、气压的变化, 阐明气象条件与污染指数的相关性, 探讨沈阳气象条件变化的原因以及气候变化背景下大气环境的变化, 为增进气候变化背景下东北重工业城市沈阳市大气环境变化的认识提供参考。

1 资料和方法

采用国家气象信息中心的 1951—2012 年气温、0 cm 地温、风速、降水、气压资料, 按季节分析近

60 年气候变化背景下沈阳各气象要素的年际变化和线性趋势。

空气污染指数是将常规监测的几种空气污染物浓度简化成单一的概念性指数值形式, 表征空气污染程度和空气质量状况。所用空气污染指数数据来源于国家环境监测总站。将 2008—2013 年冬季沈阳市空气污染指数的逐日变化趋势和气温、0 cm 地温、风速、降水、气压逐日变化趋势进行对比, 分析空气污染指数和各气象要素的相关程度。在对沈阳 0 cm 地温高年和 0 cm 地温低年的 200 hPa U 风、500 hPa 高度、850 hPa V 风进行对比分析时, 使用了 NCEP/NCAR 再分析资料。

2 结果分析

2.1 气象条件变化

气温: 气温的变化直接影响到生态环境建设和经济发展, 之前多项研究都表明沈阳气温呈上升趋势(张凯等, 2006; 马明敏等, 2008; 殷红等, 2011)。统计近 60 年沈阳季节平均温度的年际变化, 沈阳的气温变化都是上升趋势, 这和以前的研究结果是一致的。1951—2012 年沈阳 1 年 4 季的平均温度都是上升趋势(图 1), 其中春季和冬季平均温度上升最为明显, 1998 年春季平均温度达到 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2000—2004、2008、2009 年春季平均温度都在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。2001 年冬季平均温度最高, 达到 $-3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1994、1997、1998、2001—2003、2006 年冬季平均温度都在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。夏季平均温度上升幅度最小。20 世纪 90 年代以后, 冬季温度的变化幅度增大, 1999 年较 1998 年冬季平均温度下降了 $4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2001 年较 2000 年冬季平均温度上升了 $5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2004 年较 2003 年冬季平均温度又下降了 $3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2006 年较 2005 年和 2007 年冬季平均温度高出 3.2 、 $3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这可能是气候异常变化的表现。

地表地温: 地温是影响农业生产和生态环境的重要因素, 地温和气温有比较一致的变化规律(蒋

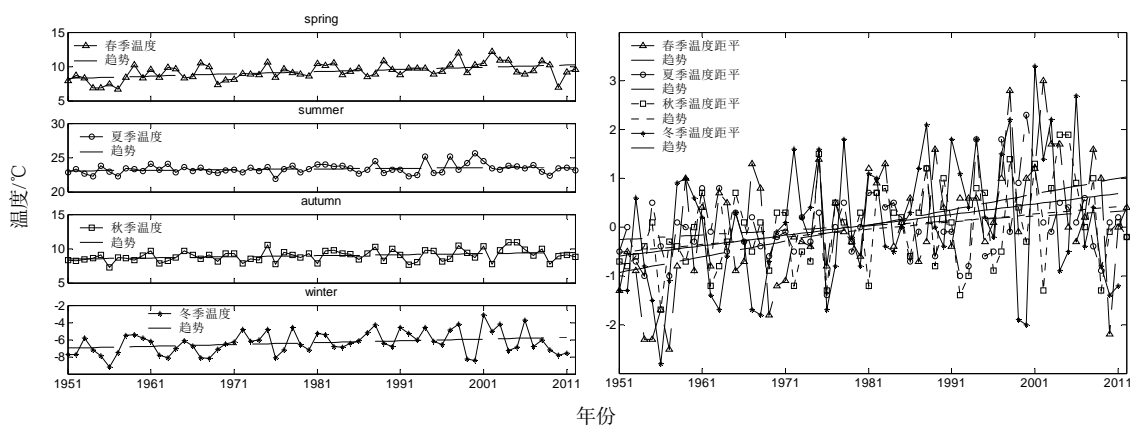


图 1 1951—2012 年沈阳季节平均温度年际变化

Fig. 1 Interannual variation of seasonal mean temperature in 1951—2012 years in Shenyang

正德等, 2012)。统计 1954—2012 年沈阳季节平均地温的逐年变化情况(图 2)。近 60 年沈阳季节平均地温的逐年变化都是上升。其中冬季平均地温的上升趋势最明显, 1956 年冬季平均地温最低, 为 -14.6°C , 1954—1957、1962—1969 年冬季平均地温都在 -10°C 以下。2005 年冬季平均地温最高, 达到 -4.5°C , 2003—2006、2008、2010 年冬季平均地温都达到了 -6°C 以上。夏季平均地温的逐年上升趋势最小。另外, 20 世纪 90 年代以后 0 cm 地温的年际变化幅度也增大明显。

风速: 统计 1951—2012 年沈阳季节平均风速的逐年变化(图 3)。季节平均风速的逐年变化趋势都是下降的, 而且下降趋势具有明显的阶段性。其中春季、冬季的下降趋势更显著。1955 年冬季平均风速最大为 $4.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 1953—1955、1958、1965 年冬季平均风速都超过 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。1983 年冬季平均风速最小, 为 $1.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 1998—2011 年冬季平均风速都在 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。20 世纪 90 年代以后风速持续下降明显。已有研究表明, 2010 年平均风速较 1971—2000 年的平均风速有明显下降(邹旭东等, 2014)。

与本研究的结论一致。风速直接影响着大气污染物的扩散(邹旭东等, 2008)。沈阳严重污染天气主要出现在冬季和春季, 所以冬季和春季风速的明显下降对沈阳环境空气质量的改善是极为不利的。

风向: 分别统计 1951—2002、2003—2012 年沈阳季节平均风向(图 4)。统计结果较为一致。春、夏、秋季都以西南风为主, 冬季都是偏北风。其中 1951—2002 年春、夏、秋季都是以 SSW 更为显著。2003—2012 年春季以 WSW、SW 更为显著, 夏季、秋季以 SW 更为显著。1951—2002 年冬季以 NNW 更为显著, 2003—2012 年冬季以 N 更为显著。如果单从风向角度考虑, 工业园区选在沈阳东南方向, 污染源排放对沈阳市区的影响最小。

降水: 沈阳市位于中国东北地区南部, 属北温带受季风影响的半湿润大陆性气候。降雨量集中在夏季, 近百年平均降水量为 709.8 mm (高鹏等, 2010)。统计 1951—2012 年沈阳季节平均降水量的年际变化(图 5)。其中夏季降水最多; 秋季多于春季; 冬季最少。季节平均降水量的逐年变化中, 夏季、秋季下降趋势更明显, 春季、冬季无明显变化。

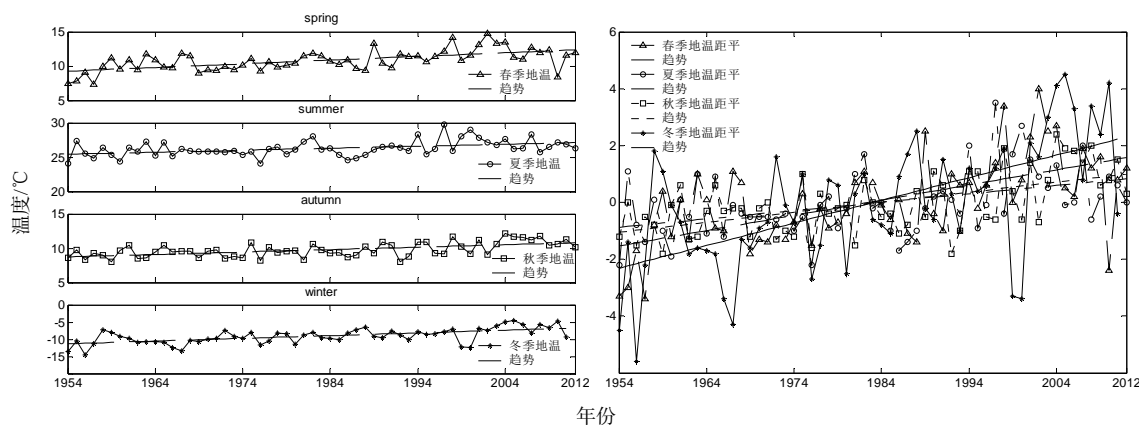


图 2 1954—2012 年沈阳季节平均 0 cm 地温年际变化

Fig. 2 Interannual variation of seasonal mean 0 cm ground temperature in 1954—2012 years in Shenyang

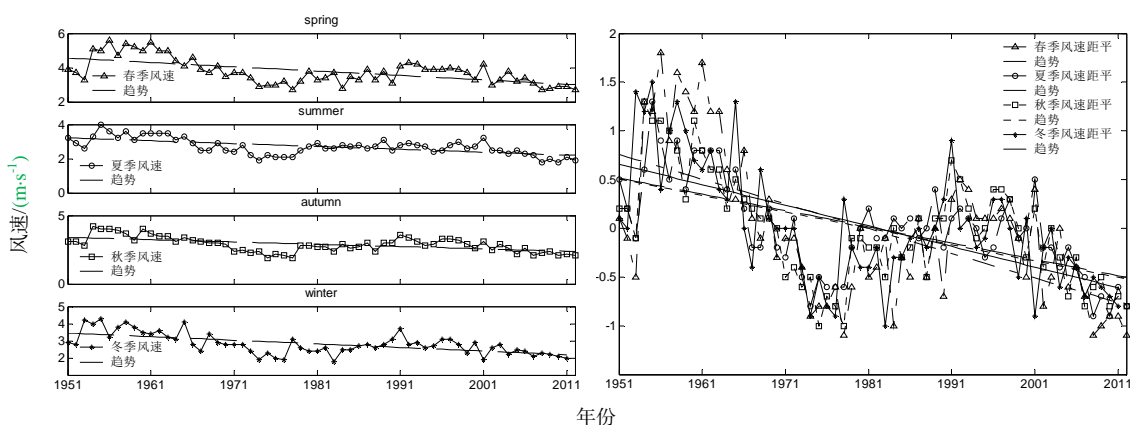


图 3 1951—2012 年沈阳季节平均风速年际变化

Fig. 3 Interannual variation of seasonal mean wind speed in 1951—2012 years in Shenyang

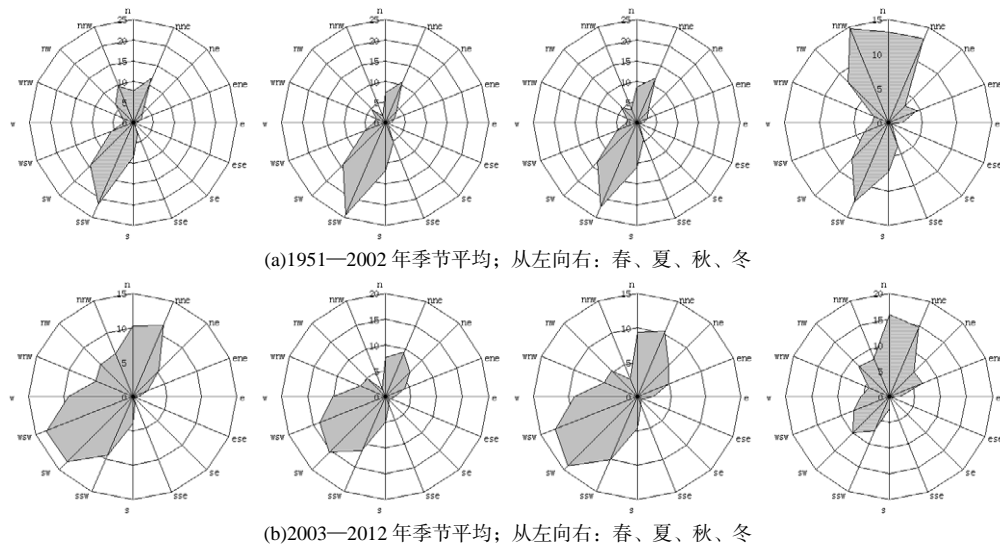


图 4 沈阳季节平均风向
Fig. 4 Season mean wind direction in Shenyang

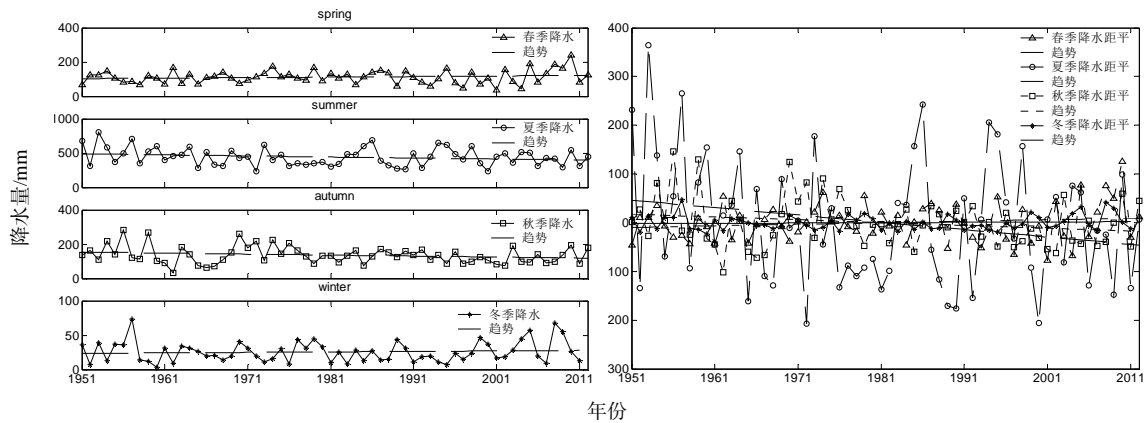


图 5 1951—2012 年沈阳季节平均降水年际变化
Fig. 5 Interannual variation of seasonal mean precipitation in 1951—2012 years in Shenyang

其中 2000 年之后春季、冬季降水年际变化幅度增大明显, 2007 年冬季的降水量仅为 9.1 mm, 2008 年冬季的降水量达到 68 mm。夏季降水占沈阳全年降水量接近 65% (孙号茗等, 2008), 夏季降水的减少导致了沈阳全年降水量下降, 这和之前多项研究表明沈阳的降水量有下降趋势, 极端降水事件的强度和频率均呈上升趋势是一致的 (刁军等, 2012)。

气压: 气压是随着天气和气候的变化不断变化的。气压变化和人体健康密切相关。在高压环境中, 人的机体各组织逐渐被氮饱和。在低压环境中, 由于空气稀薄, 空气中的氧分压也降低。致使人的血色素不能被氧饱和而出现血氧不足。气压骤升骤降, 会引起人体血压大的变化, 对心脏、血管造成强烈刺激。气压还会影响人的心理变化 (李起栋等, 2008)。统计 1951—2013 年沈阳气压季节平均的年际变化 (图 6)。冬季气压最高, 秋季、春季次之, 夏季气压最低。近 60 年各季节平均气压逐年变化

都是下降趋势, 其中春季、秋季下降趋势最明显, 2000、2001 年春季平均距平值分别达到 -3.5 和 -3.3。夏季气压下降最不明显。20 世纪 90 年代以后各季节气压值下降明显, 年际变化幅度也增大。有研究表明, 城市环境影响形成了城市及周围附近气压场的变化, 市中心比市郊气压要低 (陈德英等, 2011)。所以, 沈阳气压下降也可能是受城市化进程的影响。

2.2 气象条件变化与空气污染的关系

温度、风速、稳定度等气象条件对大气环境有重要影响 (李时蓓等, 2007), 在城市发展规划中合理考虑气象条件对改善城市环境有重要实用价值 (刘倩等, 2013)。人类活动、城市污染排放、地表类型改变、大气环境破坏又对城市气候环境产生影响 (徐祥德, 2002; 刘德义, 2010)。在气象条件和大气环境都发生改变的同时, 各气象要素的变化与大气环境变化有怎样的相关影响, 这是我们所要了解的内容。

由于受城市供暖、冷空气高压等诸多因素的影

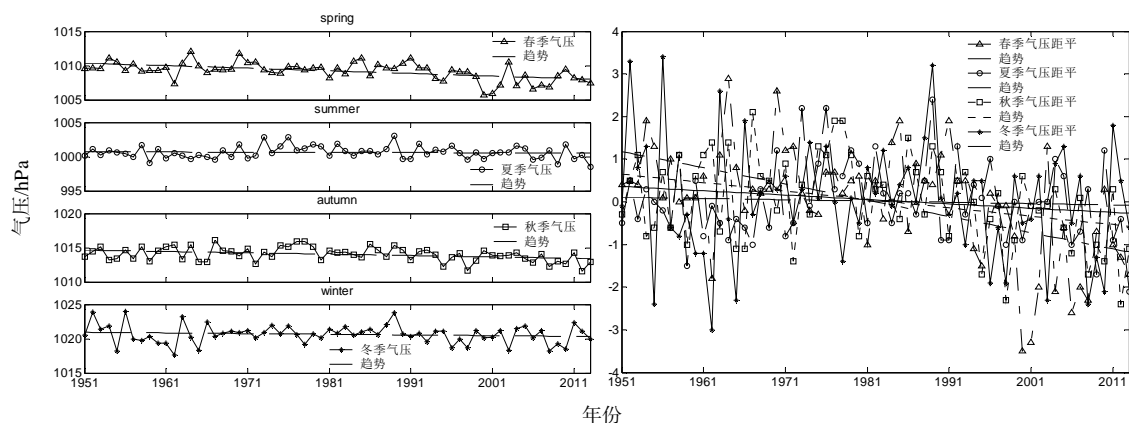


图6 1951—2012年沈阳季节平均气压年际变化

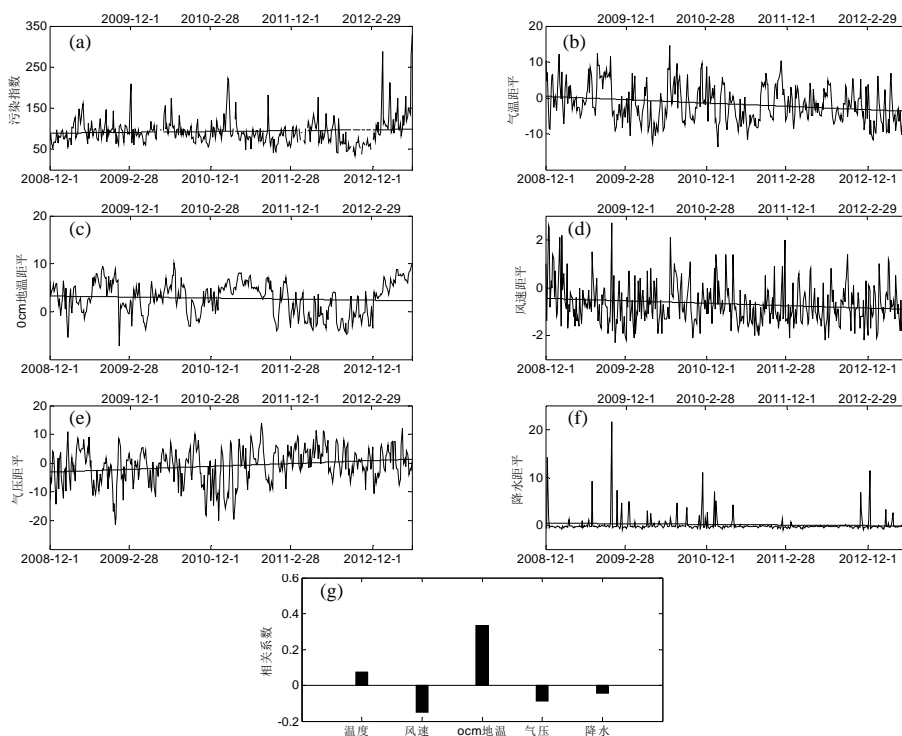
Fig. 6 Interannual variation of seasonal mean air pressure in 1951—2012 years in Shenyang

响, 冬季成为沈阳大气污染的高发时期。对 2008—2013 年冬季沈阳空气污染指数进行分析。2008—2013 年冬季沈阳空气污染指数的总体变化趋势是小幅上升(图 7a)。其中, 2012 年冬季沈阳大气污染很严重。据不完全统计, 2012 年 12 月 5 日、12 月 7 日、12 月 11—21 日、12 月 24 日、12 月 26—30 日、2013 年 1 月 1 日、2013 年 1 月 4—14 日污染指数都超过了 100, 其中 2012 年 12 月 12 日、12 月 20 日、2013 年 1 月 13—14 日污染指数超过 200。

在 2008—2013 年冬季沈阳污染指数统计期间, 0 cm 地温的变化总体趋势不明显, 气压变化呈上升

趋势, 气温、风速变化呈下降趋势, 降水变化趋势是略有下降(图 7b、c、d、e、f)。分别统计污染指数和各气象要素的相关系数。风速、气压、降水和污染指数的变化呈负相关, 其中风速和污染指数的相关度最高, 为 -0.1514; 气压: -0.0898; 降水: -0.0434。气温、0 cm 地温和污染指数的变化呈正相关, 其中 0 cm 地温和污染指数的相关度最高, 为 0.3351; 气温: 0.0745(图 7g)。

根据统计结果, 20 世纪 90 年代以来 60 多年的时间里, 沈阳市气温、0 cm 地温的变化趋势上升的; 风速、降水、气压的变化趋势是下降的。从相关角



(a) 污染指数; (b) 气温; (c) 0cm 地温; (d) 风速; (e) 气压; (f) 降水; (g) 相关系数

图7 2008—2013年冬季沈阳污染指数和各气象要素的逐日变化及相关系数

Fig. 7 Daily variation and correlation coefficient of pollution index and meteorological elements in winter 2008—2013 in Shenyang

度分析这些气象要素的变化都会造成空气污染指数增高,其中以 0 cm 地温上升、地面风速下降的相关影响最为显著。所以,沈阳市气候变暖 and 风速下降是空气污染加重的重要原因。

2.3 大气环流分析

各种天气现象和过程必定以其相关的平均大气环流过程为背景,而平均大气环流的异常变化必然会导致天气、气候的异常,会导致气象条件的改变。各种气象灾害、气候异常的大气环流特征常常受到广泛的关注和研究(马音等,2012;简茂球等,2012;李永华等,2009;张茜等,2011)。为了寻找和了解影响环境空气质量的大气环流特征,本研究对比分析了气象要素对应的大气环流特征。

25°~45°N, 110°~145°E 范围 200 hPa U 风、500 hPa 高度、850 hPa V 风能够反映东亚大气环流的主要特征(邹旭东等,2013)。因为 0 cm 地温和空气污染指数的相关程度最高,所以将 0 cm 地温高值年和低值年的大气环流场进行对比分析,试图了解影响沈阳环境空气质量的大气环流特征。对比分析沈阳 0 cm 地温最高值 5 年(2004、2007、2002、2005、2003 年)和最低值 5 年(1954、1956、1957、1969、1966 年)的 200 hPa U 风场、500 hPa 高度场、850 hPa V 风场大气环流形势以及两者的差值。

均通过了 80% 的显著性检验。

地温高值年和地温低值年相比(图 8),在 200 hPaU 风场上,西风急流增强、高值中心范围扩大。中国长江中下游、东海至日本以南,日本中部、北部以东海面上空西风加强明显,而中国大陆北部(华北地区北部、内蒙古东部、东北地区西部、南部)上空西风减弱。在 500 hPa 位势高度场上,位势高度值自北向南呈阶梯状增加,地温高值年和地温低值年相比,整个东亚范围位势高度值都是增加。由中国大陆东北部至日本以南、以东海面上空位势高度值增大程度不断减弱。在 850 hPaV 风场上,内蒙古东部、吉林中北部、黑龙江西部上空是负值中心,向南延伸至朝鲜半岛南部、日本以西东海面上空。中国大陆中部、南部;日本南部以东海面上空是正值中心。地温高值年与地温低值年相比,东亚范围大部分地区北风减弱,南风增强。中国大陆中部、南部是北风减弱中心,中国大陆东部、环渤海地区、朝鲜半岛、日本岛、西太平洋海面上空都是南风增强。表现为西部陆地上空北风减弱,东部海面上空南风增强,其中陆地上空北风减弱的程度要大于海面上空南风增强的程度。

地温高值年相对地温低值年东亚范围 200 hPa 西风急流增强;500 hPa 位势高度增加;850 hPa 西

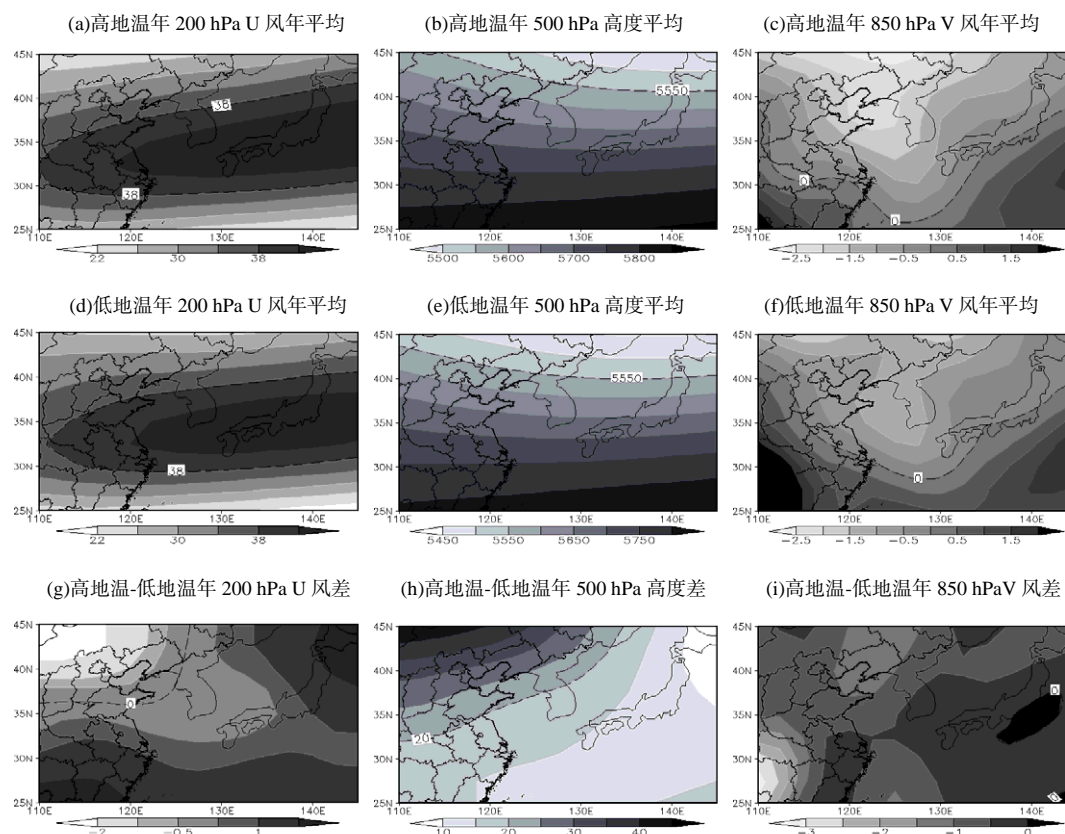


图 8 地温高、低年大气环流及其差值

Fig. 8 Atmospheric circulation difference of ground temperature high and low years

部北风减弱、东部南风增强。这些大气环流的变化对我国东北地区冷暖空气的交换产生影响,从而对大气污染物的扩散产生影响。气压升高、北风减弱也是不利于污染物扩散、不利于大气环境改善。

3 结论

1951—2012年沈阳气温、0 cm地温变化呈上升趋势,风速、降水、气压的变化呈下降趋势。2008—2013年冬季沈阳大气污染呈上升趋势。对比各气象要素和空气污染指数的相关影响,其中0 cm地温和污染指数的相关影响最大。总结了0 cm地温高值年和低值年的大气环流特征。主要结论如下:

(1)近60年的时间里沈阳气象条件的变化分别是:季节平均气温都是上升趋势,其中春、冬季的上升趋势更为明显;季节平均0 cm地温的变化也是上升趋势,其中冬季上升趋势最明显;各季节平均风速都是明显下降,其中冬、春季的下降趋势更为显著;各季节平均风向是春、夏、秋以西南风为主,冬季是偏北风;降水量是下降趋势,其中夏、秋季是明显下降趋势,春、冬季无明显变化;季节平均气压都是下降趋势,其中春、秋季下降趋势更明显。

(2)在各气象条件和污染指数的相关分析中,风速、气压、降水和污染指数的变化呈负相关;气温、0 cm地温和污染指数的变化呈正相关。其中0 cm地温和污染指数的相关程度最高,达到0.335 1。0 cm地温高值年和0 cm地温低值年相比,在东亚范围内大气环流特征是,200 hPa西风急流增强,500 hPa位势高度值增加,850 hPa北风减弱、南风增强。

(3)2008年以来沈阳冬季的空气污染有加重趋势。因为风速、气压、降水和污染指数负相关;气温、0 cm地温和污染指数正相关,而近60年来沈阳风速、气压、降水的变化是下降趋势;气温、0 cm地温的变化是上升趋势,所以气象条件变化对沈阳大气环境的改善是不利的,气候变暖和风速降低是沈阳市空气污染加重的重要原因。20世纪90年代以来沈阳气温、0 cm地温明显升高、年际变化幅度增大;风速持续下降明显;气压下降明显、年际变化幅度增大,这些可能是受城市扩展的影响。

致谢:感谢审稿老师给予详细的指导;感谢国家气象信息中心提供气象资料。

参考文献:

陈超,周广胜. 2013. 1961-2010年桂林气温和地温的变化特征[J]. 生态学报, 33(7): 2043-2053.

- 陈德英,梁国坚,田小琪. 2011. 城市化对城市及周围附近气压变化影响分析[J]. 山东师范大学学报: 自然科学版, 26(2): 101-105.
- 刁军,董晓明,姜晓燕. 2012. 气候变化对沈阳地区大田作物的影响[J]. 中国农学通报, 28(23): 266-270.
- 高鹏,穆兴民,王飞,等. 2010. 中国东北地区近百年来降水量变化趋势分析[J]. 水文, 30(5): 81-84.
- 郭勇涛,余峰,王式功,等. 2011. 兰州市空气质量状况及与常规气象条件的关系[J]. 干旱区资源与环境, 25(11): 100-105.
- 贺伟,布仁仓,熊在平,等. 2013. 1961-2005年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报, 33(2): 0519-0531.
- 黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等. 2012. 城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征—以厦门市为例[J]. 生态学报, 32(2): 0622-0631.
- 简茂球,乔云亭. 2012. 华南秋旱的大气环流异常特征[J]. 大气科学, 36(1): 204-214.
- 姜晓艳,明洋,张菁,等. 2009. 沈阳市风能资源分布特点及其开发利用研究[J]. 资源科学, 31(10): 1764-1771.
- 蒋正德,孙毅,樊月玲,等. 2012. 2006-2010年下辽河平原地温和土壤热通量变化特征[J]. 气象与环境学报, 28(3): 37-43.
- 李起栋,时翠华,洪钰锃,等. 2008. 环境大气压变化对年轻健康人心率及短程心率变异性影响的研究[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 15(3): 166-168.
- 李时蓓,戴文楠,杜蕴慧. 2007. 对环境空气质量预测中不利气象条件的研究[J]. 环境科学研究, 20(5): 26-30.
- 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分析[J]. 环境科学, 33(6): 1936-1943.
- 李永华,徐海明,刘德. 2009. 2006年夏季西南地区东部特大干旱及其大气环流异常[J]. 气象学报, 67(1): 122-132.
- 刘彩霞,边玮. 2007. 天津市空气质量与气象因子相关分析[J]. 中国环境监测, 23(5): 63-65.
- 刘德义,黄鹤,杨艳娟,等. 2010. 天津城市化对市区气候环境的影响[J]. 生态环境学报, 19(3): 610-614.
- 刘倩. 2013. 基于部分气象条件的北京市域空间布局规划方案比较研究[D]. 南京: 南京信息工程大学.
- 马明敏,姜晓艳,刘树华,等. 2008. 近47年城市化发展对沈阳区域局地气候影响研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 44(1): 108-114.
- 马雁军,刘宁微,洪也,等. 2012. 2011年春季辽宁一次沙尘天气过程及其对不同粒径颗粒物和空气质量的影响[J]. 环境科学学报, 32(5): 1160-1167.
- 马雁军,刘宁微,王扬锋,等. 2011. 沈阳及周边城市大气细粒子的分布特征及其对空气质量的影响[J]. 环境科学学报, 31(6): 1168-1174.
- 马音,陈文,冯瑞权,等. 2012. 我国东部梅雨期降水的年际和年代际变化特征及其与大气环流和海温的关系[J]. 大气科学, 36(2): 397-410.
- 孙号茗,迟道才,马宗正,等. 2008. 沈阳市降水变化特征初步分析[J]. 节水灌溉, 2008(12): 17-19.
- 孙家仁,许振成,刘煜,等. 2011. 气候变化对环境空气质量影响的研究进展[J]. 气候与环境研究, 16(6): 805-814.
- 田良,鲁然英,邢文听,等. 2005. 2001-2004年我国城市空气质量研究[J]. 干旱区资源与环境, 19(7): 101-105.
- 王厚军,李小明,张祖陆,等. 2008. 1979-2006年沈阳市城市空间扩展过程分析[J]. 应用生态学报, 19(12): 2673-2679.
- 王学远,蒋维楣,刘红年,等. 2007. 南京市重点工业源对城市空气质量影响的数值模拟[J]. 环境科学研究, 20(3): 33-43.

- 徐祥德. 2002. 城市化环境大气污染模型动力学问题[J]. 应用气象学报, 13(1): 1-12.
- 殷红, 张美玲, 辛明月, 等. 2011. 近 50 年沈阳气温变化与城市化发展的关系[J]. 生态环境学报, 20(3): 544-548.
- 张加云, 刘晓东. 2008. 一次强沙尘暴活动对中国城市空气质量的影响[J]. 中国沙漠, 28(1): 161-169.
- 张菊, 苗鸿, 欧阳志云, 等. 2006. 近 20 年北京市城近郊区环境空气质量变化及其影响因素分析[J]. 环境科学学报, 26(11): 1886-1892.
- 张凯, 娄德君, 潘静, 等. 2006. 1957-2000 年沈阳地区气温和降水变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 22(6): 38-42.
- 张茜, 李栋梁. 2011. 东北及邻近地区夏季气温异常的新特征及对大气环流的响应[J]. 高原气象, 30(6): 1604-1614.
- 张文兴, 姜晓艳, 张菁, 等. 2009. 沈阳市降水对水资源的影响及对策[J]. 气象与环境学报, 25(3): 25-29.
- 周兆媛, 张时煌, 高庆先, 等. 2014. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析[J]. 资源科学, 36(1): 0191-0199.
- 朱佳雷, 王体健, 邢莉, 等. 2011. 江苏省一次重霾污染天气的特征和机理分析[J]. 中国环境科学, 31(12): 1943-1950.
- 邹旭东, 杨洪斌, 刘玉彻. 2008. CALPUFF 在沈阳地区大气污染模拟研究中的应用[J]. 气象与环境学报, 4(6): 24-28.
- 邹旭东, 杨洪斌, 张云海, 等. 2014. 沈阳市 PM₁₀ 空间分布的季节差异[J]. 干旱区资源与环境, 28(3): 155-161.
- 邹旭东, 张飞民, 王澄海, 等. 2013. 我国东北地区冬季降水和东亚冬季风的关系研究[J]. 冰川冻土, 35(6): 1454-1461.

Changes of Meteorological Factors in Shenyang City during 1951—2012 and Its Relationship with Air Pollution

ZOU Xudong, YANG Hongbin, ZHANG Yunhai, WANG Hongyu

Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110166, China

Abstract: Weather conditions have an important influence on City air quality. Correlation of various meteorological elements and air quality, analysis of long-term trends of meteorological elements is an important research content of city atmospheric environment. For promote understand the changes of atmospheric environment in the northern Chinese heavy industrial city of Shenyang, analysis of variation characteristics and trend of air temperature, surface temperature, wind speed, precipitation, air pressure and other meteorological elements during 1951—2012 in Shenyang city. Clarifies the correlation of winter air pollution index and meteorological factors in Shenyang during 2008—2013. During the years of 1951—2012 in Shenyang City, analysis of air temperature, ground temperature, precipitation, wind speed, 0cm pressure daily average data, the results show that: air temperature and the surface temperature rise in Shenyang city during 1951—2012. Wind speed, precipitation, air pressure decreased. The meteorological factors showed significant seasonal variation characteristics, in which the air temperature in winter and spring and surface temperature in winter rise trend most obvious. Wind speed in winter and spring, precipitation in summer and autumn, air pressure in spring and autumn decreased obvious. 20 Centuries since 90 time, the air temperature and surface temperature increased obvious in Shenyang city, wind speed and air pressure decreased obvious, interannual variation has a trend of increase. Analysis of air pollution index daily data in Shenyang City during winter of 2008—2013. Air pollution is linear increase trend in winter in Shenyang city. Air pollution index and air pressure, wind speed, precipitation was negative correlation, and air temperature, surface temperature was positive correlation, in which and surface temperature most relevant. the change of the surface temperature in Shenyang city and 200 hPa wind speed, 500 hPa high voltage, 850 hPa south wind in East Asia was positive correlation, but and 850 hPa north wind was negatively correlated. These show that, Climate warming and the decrease of wind is an important cause of air pollution in Shenyang city.

Key words: meteorological conditions; urbanization; pollution index; Shenyang