

北京及周边城市群落气溶胶影响域及其相关气候效应

徐祥德 施晓晖 张胜军 丁国安 苗秋菊 周丽

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081; 南京信息工程大学, 南京 210044; 中国气象局国家气候中心, 北京 100081. E-mail: cep99@cma.gov.cn)

摘要 采用晴空、稳定天气条件下卫星遥感 MODIS 反演气溶胶光学厚度资料, 结合地面观测 PM_{10} 浓度资料进行变分分析, 并利用卫星 TOMS 反演气溶胶光学厚度资料和北京及周边各气象站观测日照时数、雾日数、低云量等气象要素资料进行统计分析, 探讨了北京及周边城市群落的气溶胶分布及其区域气候效应特征, 研究结果表明, 通过晴空、稳定天气条件 MODIS 卫星遥感气溶胶反演指数结合地面实测场进行变分订正多样本合成分析, 亦可发现北京与南部周边“马蹄型”大地形“谷地”内类似“三角形”气溶胶高值区的分布特征图像. 上述气溶胶分布特征表明, 城市群落污染物大尺度迁移、扩散过程可构成更大空间尺度城市群落气溶胶相对持续稳定的特征分布. 北京及周边区域在区域特殊大地形影响背景下 TOMS 卫星气溶胶反演指数高值区及其与晴空日照时数的区域相关分布均类似于上述 MODIS 气溶胶反演光学厚度变分场合成图像, 即大气气溶胶影响效应在北京及周边地区表现显著. 晴空日照时数与 TOMS 气溶胶指数两者负相关高值区域与 20 世纪 80~90 年代日照时数偏差负值显著区分布特征近似吻合, 且气溶胶指数与晴空日照时数的逐日变化呈互为反相关关系. 上述京津地区城市气溶胶影响高相关区偏于两城市南部周边范围; 其“重心”偏于京津城市群落南部, 主体大范围向南延伸, 构成类似偏心椭圆影响区, 即北京城市周边存在某种“半径”范围的气溶胶影响域. 此类气溶胶影响域内外, 日照时数、低云量和雾日数的年际变化趋势呈区域性显著差异. 城市群落下风方存在雾或低云量年代际增多趋势显著区, 上述现象可能与气溶胶影响域内城市群落污染扩散动力过程中区域性气流汇合流场局地气候特征相关, 此类局地动力特征可能导致城市群落下风方气溶胶影响的区域性“加剧”效应. 研究结果揭示出气溶胶影响域内低云量年代际变率显著区与城市“下游羽流区”局地风场结构的气溶胶影响区域性增强效应有关.

关键词 北京 城市群落 气溶胶 影响域 气候效应

近年来, 随着工业发展与人类活动的加剧, 人们十分关注气溶胶的影响及其气候效应问题, 与人为气溶胶相关的“变异”云现象亦是十分引人注目的焦点. “亚洲棕色云”这一名词首先是由国际研究项目——印度洋试验(INDOEX)的科学家所提出的, 它被用来描述 1~3 月间出现在南亚地区、热带印度洋、阿拉伯海和孟加拉湾上空棕色的霾. 这种霾已经被新闻界称作“地毯似的污染”, 因为“在 INDOEX 中发现的所谓南亚的霾是气溶胶污染问题的显著证据”. 这种污染决不是只在亚洲地区, 而是在有人为污染源排放特别是二氧化硫排放的世界其他地区都可以看到. 霾出现在北美、欧洲和世界其他地区的大城市中, 如洛杉矶霾和起源于美国东岸, 在大西洋上空延伸 1000 多公里的霾等^[1]. 为了更深入地了解气溶胶在气候变化、大气质量、酸沉降以及云和降水过程中的作用, 1995 年初, 国际气候与大气科学协会等将国

际地圈生物圈计划(IGBP)的国际大气化学计划(IGAC)和全球气溶胶计划(IGAP)合并为一个名为“气溶胶重点研究”的计划(FAA: Focus on Atmospheric Aerosol). 该计划最主要的目的是提高对大气气溶胶, 尤其是人类活动产生的气溶胶的气候强迫机制及对地圈-生物圈过程影响的认识^[2].

东亚是全球硫化物排放较多的地区之一, 近年来伴随着经济的高速增长有更多的含硫气体排入大气中. 大量生成的硫酸盐气溶胶除了使环境恶化外, 还可能对该区域的气候造成一定影响, Li Xiaowen 等^[3]便认为中国四川盆地近 40 年来气温的变冷趋势可能与这一地区硫酸盐气溶胶含量的增加有关.

城市大气气溶胶可分为粉尘、烟尘和雾滴. 常根据粉尘和烟尘的颗粒大小, 将它分为飘尘与降尘, 降尘在空气中滞留的时间短, 大部分在源附近降落; 飘尘在空气中可悬浮很长时间, 它分布广影响范围大.

城市群上空由于长期累积污染源排放的颗粒物,形成了相对稳定类似“霾”的气溶胶气团,城市群各种颗粒物排放源源源不断地给这种相对稳定“气团”提供新的颗粒物,该气团也不断地与外界大气混合,其间有扩散、输送、沉降等过程,形成称为“城市气团中综合TSP”。另外,我国北方城市冬、夏两季燃煤量的差异造成大气环境质量变化很大,气溶胶谱分布随季节的变化原因在于冬季取暖燃煤增加所致^[4]。

统计分析表明,在大气风温湿特定条件下通常污染物以城市烟羽的形式被传播到下风方,烟羽范围可以向下游输送数百公里远^[5,6]。若在北京地区偏南风的背景下,城市群周边“马蹄型”大地形结构将抑制南来污染物继续向北输送,而导致城市周边来自南部的空气污染物在北京地区的“迁移”过程“减速”或短期“堆积”现象。显然,在上述地理、气候以及城市发展格局等诸多方面的综合影响下,可能会导致周边地区(重点为北京城市南部周边天津、石家庄、保定、衡水等城市以及山东、河南等省)的排放源对北京大气污染构成显著影响^[7,8]。另外,在北京地区偏北风或特定风场的背景下,北京及周边城市群“下风方”区域亦可能构成气溶胶影响显著区等现象。因此处于三面环山“马蹄型”谷地背景下的北京及周边城市群是否亦存在类似“亚洲棕色云”的相对稳定特征的气溶胶气团?周边大地形“谷区”城市群气溶胶高浓度频发区是否可能产生区域气候效应?此类气溶胶影响气候效应显著区的分布特征如何?气溶胶影响的区域气候效应时空变化与局地风场结构特征是否亦有一定的相关联系?这些与城市群区域污染排放源影响气溶胶总体效应对局地气候的影响问题亦是当前大气环境科学领域中亟待探索的难点。

1 北京城市群气溶胶分布特征及其周边影响源

1994 年 1 月华北地区空中大气气溶胶的航测(3000 m 以下,平均 1500 m)表明,华北广大地区空中大气受到非常严重的污染,污染严重时的气溶胶浓度水平与华北冬季地面测点的浓度水平相当,从近地面到空中的一定高度,形成了立体的污染区域,而且同属于煤烟型污染。10 次飞行测得的质量浓度加权平均为 0.42 mg/m^3 ,最大值出现在石家庄工业区上

空,分别为 0.80 和 0.78 mg/m^3 。这一区域高空的高浓度气溶胶可能通过高层扩散、远距离输送以及沉降影响周边地区^[9]。

对于北京及周边城市群污染物及其气溶胶远距离输送、迁移及扩散影响域问题,本文选取 BECAPEX(北京城市大气污染试验)^[10]2003 年冬季 1~2 月的观测资料,采用变分订正技术处理方案^[11],该技术处理方法已在城市热岛卫星遥感反演,沙尘暴过程大气要素场等诸多方面取得了显著效果,在特定天气背景条件下,采用卫星遥感反演数据与地面光度计或气溶胶 PM_{10} 粒子浓度实测值偏差场,构造变分函数场,迭代求解 Euler 方程数值解,可获取相似的高分辨率气溶胶变分订正场分布特征。

采用 2003 年 1~2 月 BECAPEX 试验期间晴空条件 MODIS 卫星遥感气溶胶光学厚度资料,结合稳定天气背景地面 PM_{10} 粒子浓度实测值进行变分订正(共 10 个样本个例),得到观测试验阶段晴空条件下星下点时段卫星遥感—地面观测综合分析样本合成图。值得提出的是采用卫星遥感气溶胶反演指数,结合地面 PM_{10} 粒子浓度实测值进行变分订正,其前提条件是假定在晴空、稳定天气条件背景下城市群某空间范围气溶胶垂直分布亦具有相似特征^[11]。图 1(a)计算结果表明,试验阶段地面气溶胶变分场可描述出北京周边“马蹄型”大地形谷地内城市群点源与面源交叉污染扩散过程,气溶胶分布呈南北向带状特征,即北京与南部周边“马蹄型”大地形谷地内形成北京与南部周边天津、河北南部、山东等城市群范围类似“三角形”气溶胶高值区图像,且所选取的晴空条件样本相似于此类分布特征的比例为 7/10,即试验阶段大部分样本亦可描述出北京及周边气溶胶高浓度区带状分布,表现为主体“通道”为东北-西南走向,即北京与西南部周边保定、石家庄等城市高值区呈带状分布;其次为东南-西北走向“通道”,即北京-天津及沿海城市范围的高值区。

根据 1996~2000 年冬季 TOMS 卫星反演气溶胶指数的平均场分布特征,由图 1(b)可发现,气溶胶反演指数高值区域(北京与南部周边地区)亦呈相对稳定的南北向带状分布,即北京地区气溶胶高值范围可延伸至河北、河南及山东、山西等省,这表明大地形“谷地”内北京地区的污染程度与周边各省的污染排放源影响密切相关。此类城市群及其周边较大范围气溶胶“气团”相对稳定或持续维持现象是否可

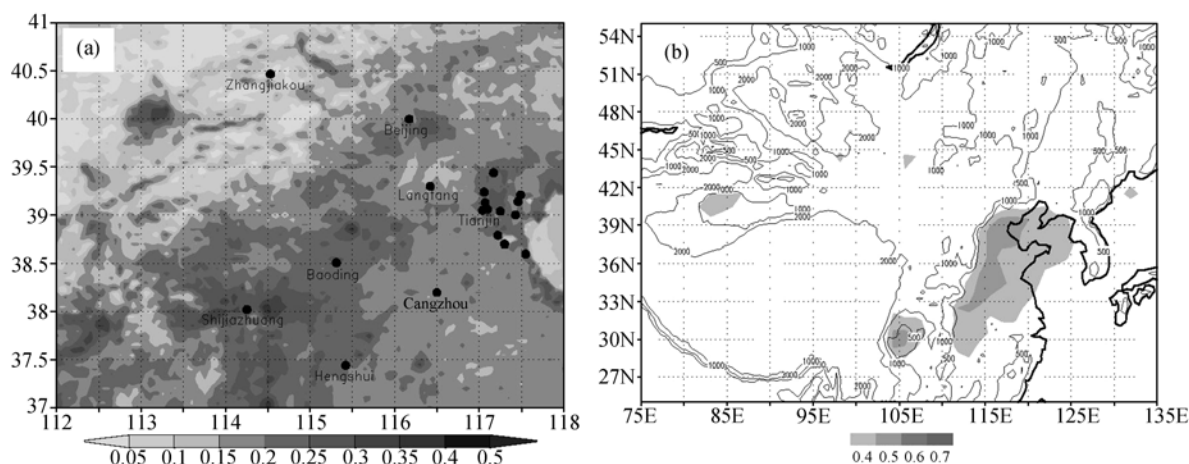


图1 2003年1~2月 BECAPEX 试验期间卫星遥感 MODIS 反演气溶胶光学厚度-地面 PM_{10} 观测变分处理后的合成气溶胶分布图像

(a) 10个样本和1996~2002年冬季TOMS反演气溶胶光学厚度的平均分布;(b) 图中等值线为地形高度,阴影为 ≥ 0.4 的气溶胶光学厚度

能对区域气候特征产生某种程度的影响效应? 上述问题是人们十分关注的焦点,亦是城市经济圈可持续发展决策中急需探索的关键研究目标。

2 气溶胶对太阳辐射影响的区域特征

就城市区域气溶胶而言,其浓度较高、细粒偏多,对太阳辐射的散射较强,对长波辐射具有一定程度的吸收作用,并主要集中于近地面和边界层^[12]。以我国1992~1993年污染物排放资料(包括硫酸盐和TSP),按简单的辐射模式估算,我国大气气溶胶的辐射强迫高值区集中在山东、江苏和四川等局部地区的冬、春季节,其值在 -4 W/m^2 以上^[13]。

实际上,天空云状况不同,气溶胶辐射强迫效应呈显著差异,为了“剔除”天空云状况影响因素,以便突出局地气溶胶辐射效应,本文统计上述北京及南部周边气溶胶“三角形”高值区内北京、石家庄、保定、天津等城市冬季晴空(总云量小于2成)条件下日照时数的年际变化特征(图2),由图2可发现北京及周边城市群落气溶胶高值区内各代表站晴空日照时数的年际变化均呈显著下降趋势。为进一步探讨晴空日照时数长期变化影响因子问题,本文统计了2001年1~3月北京区域TOMS卫星气溶胶反演指数逐日变化及其与该站晴空日照时数逐日变化的相关关系,其中逐日变化统计计算方案为当日减去前一日要素值,发现气溶胶指数与晴空日照时数逐日变化呈反相关特征,其相关系数达 -0.31 ,已超过 $\alpha =$

0.10的显著性检验水平。

由图2与上述综合相关分析结果可以推测北京及周边地区冬季晴空日照时数减少很可能与大气气溶胶增多的辐射影响效应相关。

3 城市群落气溶胶影响域特征

城市多点源或面源(污染源群体),空气污染散布过程亦是在边界层湍流运动中发生,其基本遵循梯度输送原理。就理论而言,湍流扩散过程亦存在区域显著性及影响域范围界定问题。本文以晴空日照时数与卫星遥感TOMS气溶胶反演指数相关显著区作为气溶胶影响域。

选取1996年11月~1997年3月晴空条件下的逐日资料样本,获取华北地区各站晴空日照时数与卫星遥感TOMS气溶胶反演指数的相关系数场(图3)。由图3可见,京津地区城市气溶胶影响域(高相关区)偏于城市南部周边范围,构成了“重心”偏于京津城市群落南部,主体范围呈向南伸展的偏心椭圆型特征。上述由城区向南扩展的气溶胶高影响特征亦描述出冬季大地形谷区北京城市群落气溶胶周边源扩散相关影响域。上述相关显著区特征某种程度上揭示了京津南部周边河北、山东等省城市群落工业或居民生活燃煤等排放源引起的气溶胶影响效应。图3相关显著区分布亦呈类似于图1(a), (b)南北向带状分布特征,本文以通过 $\alpha = 0.10$ 显著性检验区为界划分京津城市群落南部为“重心”的偏心“椭圆型”影响域

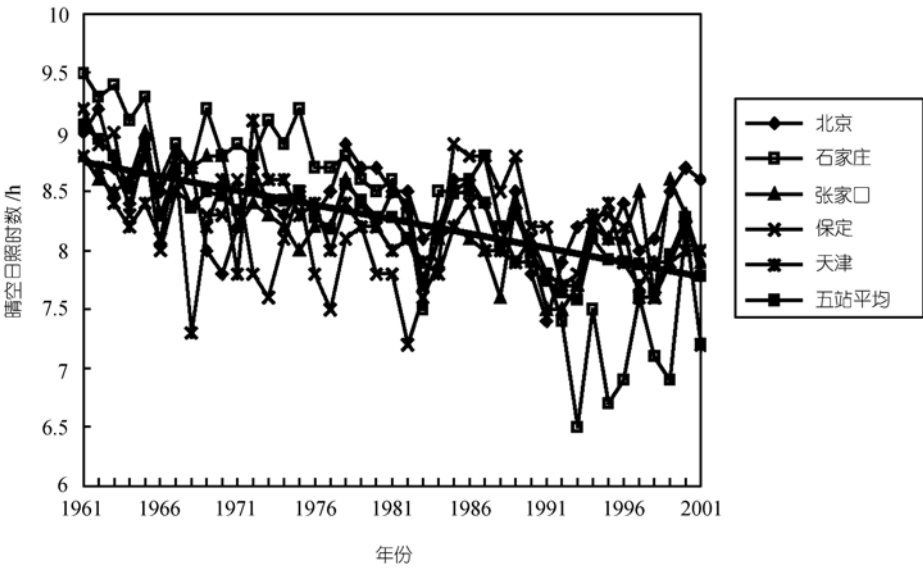


图 2 北京及周边城市冬季平均晴空日照时数年际变化曲线
图中趋势线为 5 站平均晴天日照时数年际变化趋势线

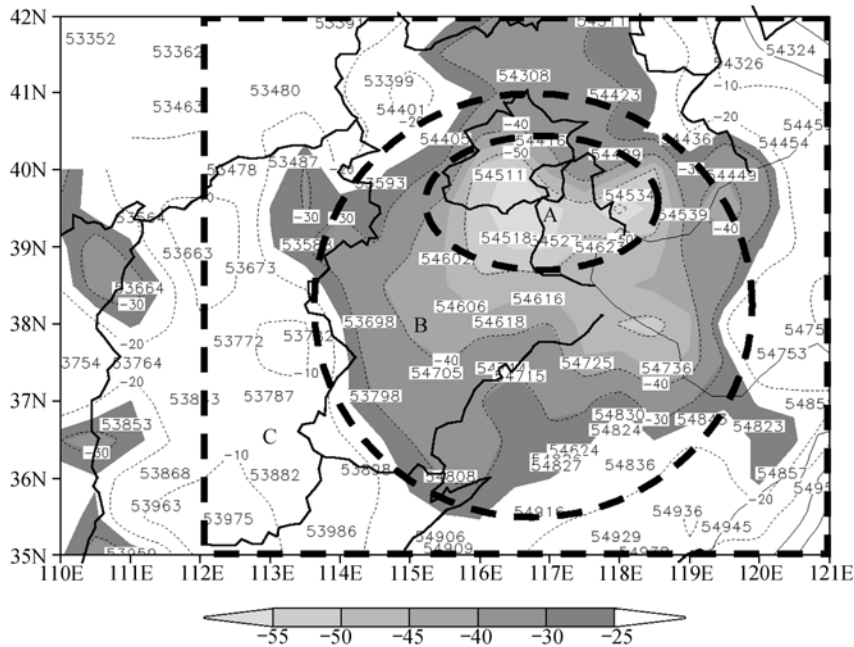


图 3 华北各站逐日晴空日照时数与相近格点卫星遥感 TAMS 气溶胶反演指数的相关系数分布
阴影区 A、B(虚线椭圆形“内区”)为通过 90%信度检验范围,此区域称为气溶胶主体影响域,C 区(虚线方框范围)为未通过检验的“外区”

内、外区范围,探讨气溶胶影响域内、外区范围区域气候变化趋势的差异.由图3还可发现逐日晴空日照时数与气溶胶高相关区位于北京南部、天津中部以及保定北部区域(“小椭圆型”A区),次高相关区位于北京与天津北部以及京、津南部周边地区(“大椭圆型”B区),本文将相关系数超过 $\alpha = 0.10$ 显著性检验标准的椭圆型A

区“内圈”与B区“外圈”称为京津城市气溶胶主体影响域,大部分未通过统计检验的虚线方框负相关区,即椭圆外区(C区)则为气溶胶影响域周边外围地区.

根据图3中相关系数高值影响域内区(A、B区)以及影响域外(C区)各站点分布,分别求取上述三类气溶胶影响域范围内冬季日照时数、低云量和雾日数

的年际变化趋势演变曲线(图4), A, B, C区域各要素长期变化趋势三阶拟合曲线方程为:

$$\begin{pmatrix} y_A^S \\ y_B^S \\ y_C^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.9904 \\ 6.9109 \\ 5.0548 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x^3 \\ x^2 \\ x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -8 \times 10^{-5} & 0.0054 & -0.1196 \\ -8 \times 10^{-5} & 0.0059 & -0.1466 \\ 0.0001 & -0.0083 & 0.1546 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} y_A^C \\ y_B^C \\ y_C^C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10.106 \\ 9.5460 \\ 6.5407 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x^3 \\ x^2 \\ x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 7 \times 10^{-6} & -0.0008 & -0.0920 \\ 2 \times 10^{-5} & -0.0019 & -0.0421 \\ -1 \times 10^{-4} & 0.0074 & -0.1799 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} y_A^F \\ y_B^F \\ y_C^F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.5363 \\ 1.3389 \\ 1.8198 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x^3 \\ x^2 \\ x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 \times 10^{-5} & 0.0002 & 0.0832 \\ -2 \times 10^{-5} & 0.0007 & 0.0310 \\ -6 \times 10^{-5} & 0.0047 & -0.0925 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

式中上标 S, C, F 分别代表日照时数、低云量、雾日数; 下标 A, B, C 对应气溶胶影响域内、外 A 区、B 区、C 区; x 为时间(单位: a).

对比分析 A, B, C 区各要素三阶拟合曲线方程系数矩阵((1)~(3)式), 3 个系数矩阵具有如下特征: 第一、二行各列系数正、负号一致, 且系数值大小相近, 第三行各列大部分系数与第一、二行对应列系数正、

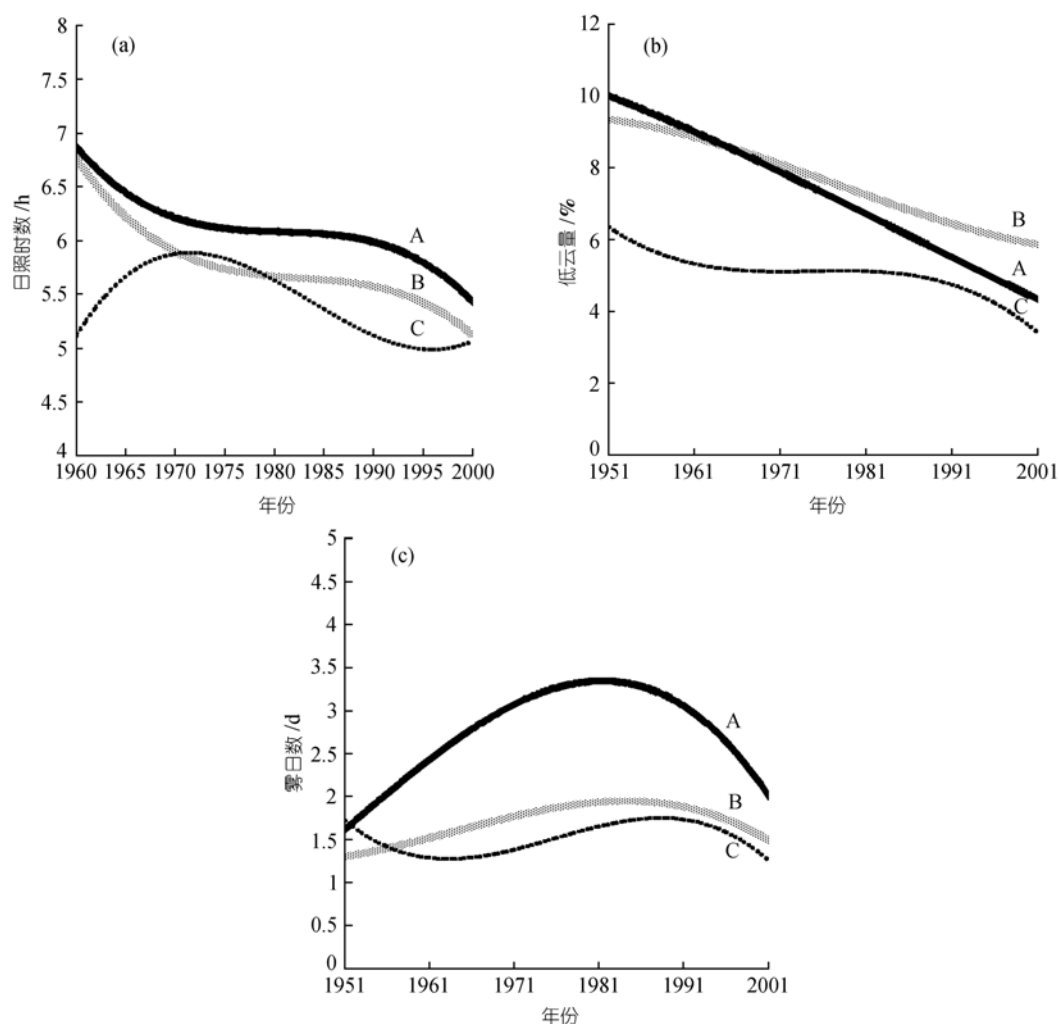


图4 气溶胶与晴空日照时数相关系数高值(图3中A区, A线)、次高值(图3中B区, B线)、低值区(图3中C区, C线)冬季平均日照时数(a)、低云量(b)和雾日数(c)的年际变化三阶多项式拟合趋势线

负号相反, 系数值大小亦有所差异, 以上系数矩阵描述了气溶胶影响域 A 区与 B 区长期演变趋势特征相似, 且 C 区与 A, B 区演变趋势特征有较大的差异. 由图 4(a)~(c)中影响域内、外 A, B, C 区各要素的长期变化趋势线特征亦可发现, 在气溶胶影响域内 A 区内圈(对应 A 线)与 B 区外圈(对应 B 线)冬季日照时数、低云量、雾日数年际变化趋势线相似, 而影响域外部 C 区(对应 C 线)年际变化长期趋势特征则呈显著差异; 另外, 气溶胶影响域内 A, B 区冬季日照时数与低云量均呈明显下降趋势, 雾日数年际变化呈明显上升后趋于平缓或下降特征, 且两者年际变化趋势呈显著相似特征; 而 C 区特征则存在显著差异, 其低云量、日照时数、雾日数年际变化趋势均不明显或呈缓变“周期”波动特征. 根据上述气溶胶影响域不同范围气象要素年际变化趋势特征分析, 可发现北京城市周边区域存在某种“半径”范围的气溶胶影响域, 此类影响域内、外区域气候变化特征亦呈显著差异.

4 城市群落及周边区域气溶胶的局地气候效应

城市工业发展, 大量的工业废气排放至城市大气中, 不仅严重地污染了大气环境, 而且使空气浑浊度增大, 特别是大气中气溶胶的大量增加, 可能显著地改变了城市太阳辐射强度. 为突出区域气候变化趋势大尺度特征, 本文分析计算日照时数、雾日数及低云量的年代际偏差和变率时, 均采用 9 点空间平滑计算方案先对变量场进行了处理. 从日照时数 20 世纪 90 年代与 80 年代的年代际偏差场(图 5)可发现, 90 年代北京及周边地区日照时数的减少趋势显著, 且其减少程度明显大于 20 世纪 60~90 年代平均变率(图略); 另外气溶胶影响域内京津及南部周边地区为日照时数 20 世纪 80~90 年代偏差低值中心, 其与晴空日照时数和气溶胶指数相关显著区特征相似(图 3). 图 3 中气溶胶指数与晴空日照时数高相关区(A, B 区)与图 5 中 20 世纪 90 年代与 80 年代冬季日照时数显著减少区域(虚线圈内)空间位置和尺度范围均几乎重合. 这一计算结果表明, 京津及南部地区 20 世纪 90 年代日照时数减少区域性特征某种程度上可能反映了该区域的气溶胶影响的局地气候效应.

城市大气气溶胶中, 大部分属于吸湿性很强的云凝结核, 例如黑碳、硫酸盐占城市上空气溶胶质量相当大的比例, 是气溶胶尺度谱中的光学活跃区, 其

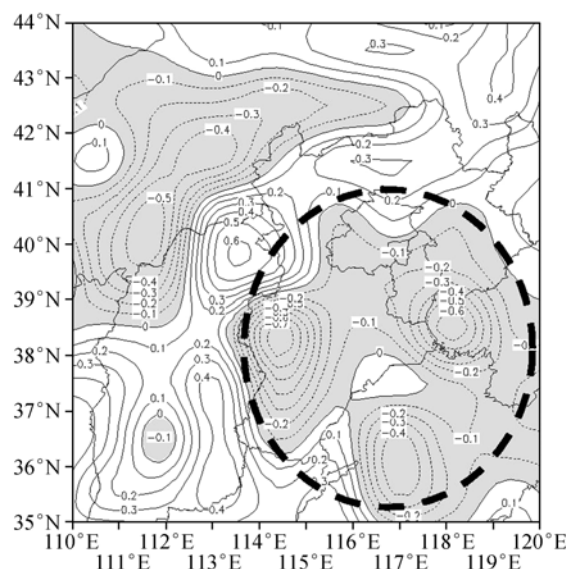


图 5 20 世纪 80~90 年代冬季平均日照时数偏差
阴影区 ≤ 0.0 ; 单位: h

散射系数很高, 在较高的相对湿度条件下, 很易形成雾, 从而使空气浑浊度急剧增大. 而城市中的雾往往与烟尘混合在一起, 形成浓度较大、持续时间较长的烟雾, 使能见度明显降低, 造成航空、公路交通和内河航运不能畅通, 而且间接影响城市人工景观的美学效应^[14].

由北京及周边城市冬季雾日数的年代际变化统计分析结果可发现, 20 世纪 60~90 年代, 冬季平均雾日数在北京及南部周边地区呈显著上升趋势, 尤其在北京西南部山区边缘为冬季平均雾日数年代际变率高值中心区域(图 6(a)), 本文还统计了 1996 年~2001 年当年 11 月至次年 3 月华北地区逐月 TOMS 气溶胶光学厚度与各站雾日数的相关系数分布(图 6(b)), 由图 6(b)可发现自南部周边地区到北京城区, TOMS 气溶胶光学厚度与局地月平均雾日数呈正相关特征, 此高相关系数区域亦与冬季平均雾日数年代际变率高值中心区域(图 6(a))相吻合. 尤其值得注意的现象是, 冬季雾日数增多极值区、气溶胶与月平均雾日数高相关区均位于京津周边西南部保定等地区, 且该区域内北京西南部周边相当范围属气溶胶分布高值区之一(图 1(a), (b)), 上述综合相关特征亦反映了北京周边大地形影响及大气环流背景下冬季城市群落周边气溶胶影响效应区域性特征显著. 京津城市群落南部周边地区为冬季主导风向的下风方, 上述冬季雾日数增加的区域变化特征是否亦反映城市群落

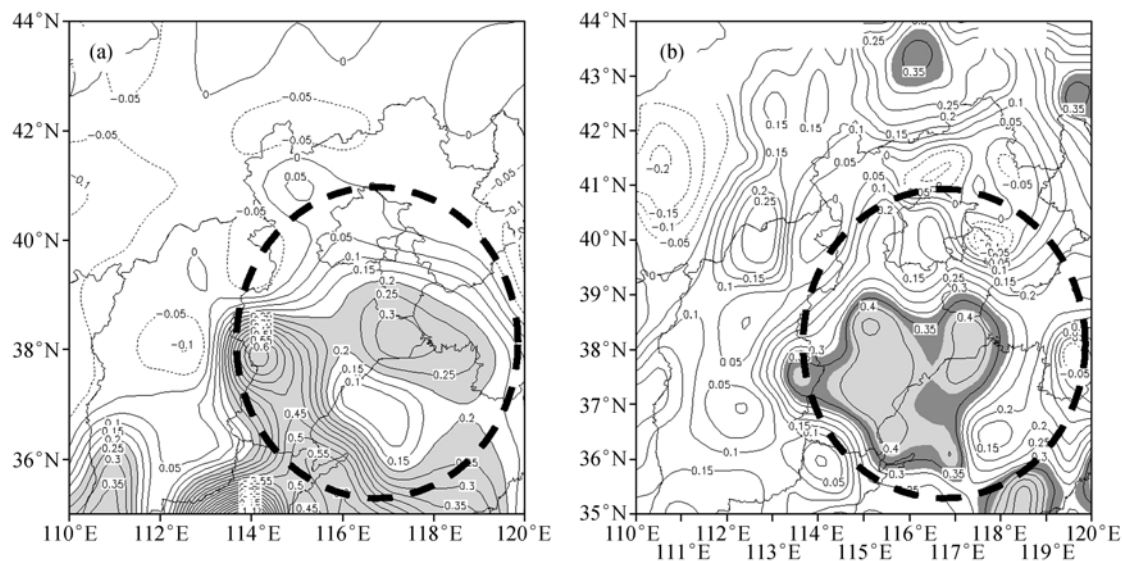


图6 20世纪60~90年代冬季平均雾日数年代际变率

(a) 阴影区 ≥ 0.2 ; 单位: d/10 a)和1996~2002年当年11月~次年3月北京及周边各站雾日数与TOMS卫星遥感气溶胶指数的相关系数场; (b) 深、浅阴影区分别通过90%、95%信度检验, 样本数 ≥ 25

大气污染过程中气溶胶向下风方输送的“羽流”或“尾流”影响效应?

从大气污染扩散动力学特征角度分析, 上述京津南部周边地区气溶胶与雾日数相关显著现象(图6(a), (b))反映了经济发达区域, 京津及周边多个城市可构成“城市群”, 污染扩散混合或特大城市下风方的羽流影响效应; 同时大量的气溶胶、温室气体进入对流层后, 在特定大尺度环流动力结构影响下, 可形成城市群间污染物的远距离输送和再扩散。

有关气溶胶对云物理过程影响的研究表明^[4], 悬浮于大气中的气溶胶粒子可以直接吸收和散射太阳辐射; 另外, 气溶胶能作为云凝结核, 并以此可导致暖云的初期云滴数增加, 而云滴愈小, 碰撞形成降水尺度的大云滴机会也愈少。因此, 由人为气溶胶排放所引起的云滴数增加和云滴尺度减小将可能引起云寿命延长。为了进一步分析京津城市群气溶胶影响域低云量的分布特征, 本文计算了20世纪90年代与80年代冬季低云量偏差场(图7(a)), 由图7(a)可发现90年代低云量增加显著区位于京津城市群南部周边区域, 且低云量增多区域亦呈南北向带状分布。上述现象类似于南部周边区域雾日数增多特征。值得注意的是, 这些云、雾现象年代际变化显著区为何偏于北京城市群南部周边区域? 此分布规律是否与冬季偏北主导风场背景下的区域动力结构对污染

物的输送特征相关?

相关文献的研究表明^[4], 城市上空及其下风向存在一些利于形成大云滴的巨核, 如硝酸盐核, 以及造纸厂烟囱排放的高效人为吸湿性核。许多美国东部城市规划者, 都将工业区划分在城市的东缘, 那是因为他们了解“盛行西风”能将工业区所排出的废气, 顺风吹离市区。在主导风向型地区, 大气污染物质主要分布在污染源的下风方向, 在城市规划时, 将向大气排放有害物质的工业企业布置在常年主导风向的下风方向, 居住区布置在常年主导风向的上风方向。根据污染物输送下游效应, 本文采用NCEP/NCAR再分析资料, 计算了20世纪90年代冬季925 hPa平均流场, 并利用高通滤波分离出次天气空间尺度流场(图7(b)), 由图7(b)可发现在京津城市群南部, 即冬季平均风场下风方存在一区域性流场汇合中心, 此90年代区域性风场气候特征可能导致雾或低云量年代际增多显著区不仅位于主导风向下风方, 而且与次天气空间尺度气流汇合区相对应。这表明污染颗粒物由于局地动力结构气候特征, 加剧了下风方区域气溶胶影响效应, 即上游大气污染过程将在主导风向及其局地辐合动力结构的综合影响下, 对下风方局地云、雾物理过程产生显著影响。

为了进一步探讨城市群气溶胶下游影响效应, 本文计算了60~90年代冬季低云量的年代际变率(图

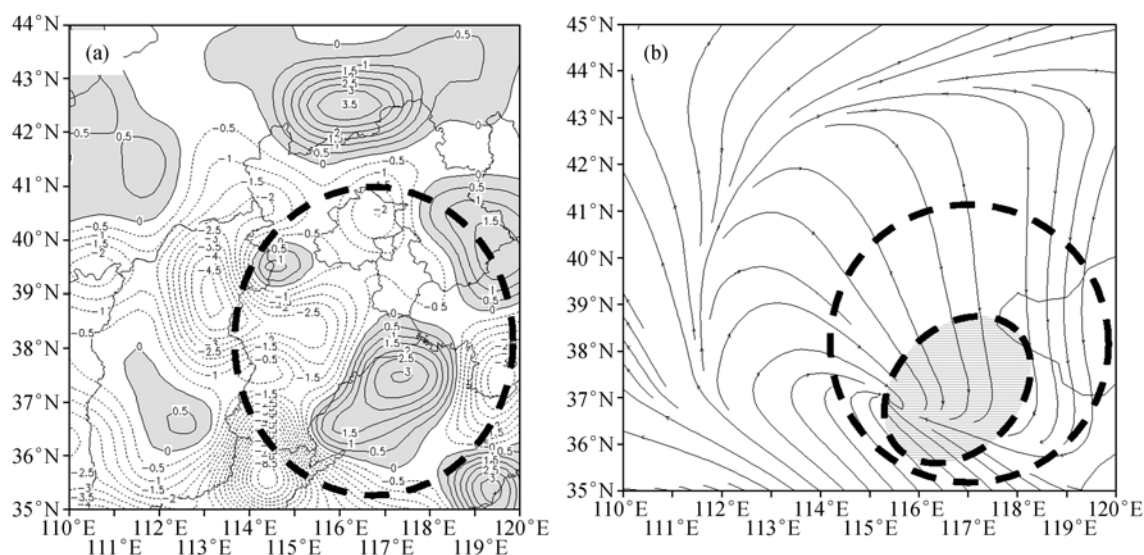


图 7 20 世纪 80~90 年代冬季平均低云量偏差

(a) 阴影区为低云量增加的区域; 单位: %和 20 世纪 90 年代平均冬季 925 hPa 风场高通滤波(次天气空间尺度)流线图(b)

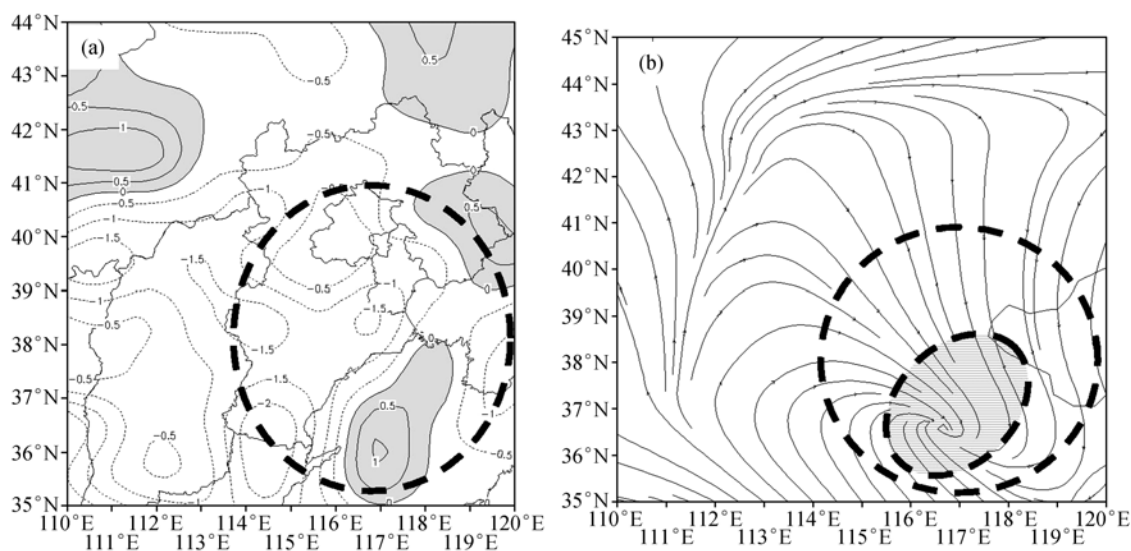


图 8 20 世纪 60~90 年代冬季平均低云量的年代际变率(a, 阴影区为正值)和 1958~1997 年多年平均冬季 925hPa 风场高通滤波(次天气空间尺度)流线图(b)

8(a)). 对比图 7(a)和图 8(a)可知, 60~90 年代, 冬季京津城市下风方南部周边区域仍存在类似 90 年代的低云量显著增多区。另外本文亦利用 NCEP/NCAR 再分析资料计算了 1958~1997 年冬季 925 hPa 高通滤波(次天气空间尺度)流场气候分布图(图 8(b)), 由图 8(b)可发现冬季低云量年代际气候变率增加显著区与 925

hPa 次天气空间尺度流场中京津城市南部上风方汇合区两者位置相近, 此特征某种程度上揭示出北京市周边气溶胶影响域内低云量年代际变率显著区的分布不仅与城市群落大气污染排放源气溶胶影响效应相关, 而且与气溶胶影响域内, 城市下风方羽流区的次天气空间尺度风场汇合结构有关。

5 结论

本文采用 MODIS 反演气溶胶光学厚度资料, 结合地面 PM_{10} 观测资料进行变分分析, 并统计分析了 TOMS 气溶胶光学厚度、北京及周边各气象站日照时数、低云量、雾日数等资料, 获取如下结论:

() 晴空、稳定天气背景 MODIS 反演气溶胶光学厚度资料结合有关地面 PM_{10} 浓度观测值的变分分析可发现, 北京与南部“马蹄型”大地形谷地内形成类似“三角形”气溶胶高值区分布图像。上述分布特征表明, 城市群落污染物大尺度迁移过程可形成更大空间城市群落相对稳定气溶胶“气团”分布特征。

() 北京及周边地区各站冬季日照时数呈年代际显著偏少趋势, 大气气溶胶影响效应在北京及周边地区亦表现显著。晴空日照时数与气溶胶指数负相关高值中心与 20 世纪 80~90 年代日照时数偏差场负值显著区分布特征一致, 这表明北京及南部周边地区气溶胶辐射影响效应趋于显著的区域性变化特征。

() 京津地区城市气溶胶相关影响域偏于两城市南部周边范围, 其“重心”偏于京津城市群落南部, 主体大范围向南延伸, 呈类似偏心椭圆型结构。该区域描述了京津南部周边河北、山东等省城市群落工业与居民生活燃煤等排放导致的气溶胶影响效应。此类影响域内、外, 与气溶胶气候效应相关的日照时数、低云量、雾日数等气象要素的年际变化趋势特征亦呈显著区域性差异。

() 有关城市群落主导风向下风方的雾或低云量年代际增多显著区的特征分析表明, 上风方城市群落污染扩散过程由于局地气候特征动力效应, 可形成下风方“羽流”区域气溶胶影响增强的局地效应。上述结论揭示出气溶胶影响域内低云量年代际显著变化区与城市群落下风方“羽流”区局地风场结构的气溶胶影响区域性增强效应存在显著相关。

致谢 本文受国家重点基础研究发展规划项目(批准号: TG1999045700)和科技部国际合作重点项目(2004DFA06100)共同资助。

参 考 文 献

- 1 Center for Clouds, Chemistry and Climate (C4). UNEP Assessment Report. San Diego: University of California, 2002. 15~55
- 2 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状. 地球科学进展, 1998, 13(6): 572~581
- 3 Li Xiaowen, Zhou Xiuji, Li Weiliang, et al. The cooling of Sichuan Province in recent 40 years and its probable mechanisms. Acta Meteorologica Sinica, 1995, 9(1): 57~68
- 4 徐祥德, 汤绪. 城市化环境气象学引论. 北京: 气象出版社, 2002. 139~170
- 5 Oke T R. The energetic basis of the urban heat island. Quart J Roy Meteor Soc, 1982, 108: 1~24[DOI]
- 6 Hanna S R, Ramsdell J V, Cramer H E. Urban Gaussian diffusion parameters. In: Modeling the Urban Boundary Layer. Boston: Amer Meteor Soc, 1987. 337~379
- 7 徐祥德. 城市化环境大气污染模型动力学问题. 应用气象学报, 2002, 13(特刊): 1~12
- 8 徐祥德, 丁国安, 周丽, 等. 北京城市冬季大气污染动力-化学过程区域性三维结构特征. 科学通报, 2003, 48(1): 496~502[摘要] [PDF]
- 9 王伟, 汤大钢, 刘红杰, 等. 中国华北地区冬季大气污染物航空测量()——空中大气气溶胶污染特征研究. 环境科学研究, 2000, 13(1): 11~13
- 10 徐祥德, 卞林根, 丁国安, 等. 城市大气环境观测工程技术与原理. 北京: 气象出版社, 2003. 1~22
- 11 徐祥德, 周秀骥, 翁永辉, 等. 星载MODIS资料与地面光度计探测气溶胶变分场. 科学通报, 2003, 48(15): 1680~1685[摘要] [PDF]
- 12 王体建, 闵锦忠, 孙照渤, 等. 中国地区硫酸盐气溶胶的分布特征. 气候与环境研究, 2000, 5(2): 165~174
- 13 高庆先, 任阵海, 姜振远. 人为排放气溶胶引起的辐射强迫研究. 环境科学研究, 1998, 11(1): 5~9
- 14 沈清基. 城市生态与城市环境. 上海: 同济大学出版社, 1998. 212~279

(2004-12-28 收稿, 2005-06-25 收修改稿)