

城市扩展下大气污染物浓度的空间格局变化趋势研究

——以乌鲁木齐市为例

陈学刚¹, 魏疆^{2*}, 任泉³, 张克磊⁴

1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆大学资源与环境学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 乌鲁木齐市天山区气象局, 新疆 乌鲁木齐 830002; 4. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 城市环境污染是由于人类的生产和生活活动造成, 而不断的城市扩展势必导致环境污染物浓度的空间变化。乌鲁木齐市作为中国西部的内陆城市, 由于特殊的地理位置和能源结构, 在发展经济的同时也造成了严重的大气环境污染, 也给人们的生产生活带来了严重的影响。为了治理污染当地政府采取了一系列措施。分析了 2004—2009 年城市 3 个不同区域(市南区、市北区和市中区)大气环境质量监测点位的数据, 研究了在城市不断扩展的前提下, 污染物浓度在空间上的迁徙变化趋势。结果表明, PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 污染最严重的时段均出现在冬季采暖期(12 月至来年 1 月), 主要是因为采暖消耗大量原煤和高逆温频率所致。其峰值分别达到 0.379、0.510、0.120 mg·m⁻³。随着城市空间结构的不断北扩, PM₁₀ 和 SO₂ 的浓度呈现出向北迁徙的趋势, 原本污染最严重的市南区浓度逐步下降, 而市北区呈现出不断增加的态势。NO₂ 浓度则表现出不断南迁的趋势, 即原本 NO₂ 浓度高的市北区变化不大, 而市南区和市北区则呈现出快速增加的态势。说明大气环境中的污染物浓度随着城市空间结构的调整 and 人类活动频率的不断增加, 正发生着空间上迁徙变化。由于污染排放源的差异性, 导致大气污染物浓度在空间上的不同。通过分析得出, 乌鲁木齐市的大气环境污染主要是“煤烟型”污染, 随着产业的空间分布和城市的扩展, 污染物浓度在空间上呈现出了不同的迁徙变化特征, 是今后城市发展和环境治理值得关注的问题。

关键词: 污染物迁徙; 空间变化; SO₂; PM₁₀; NO₂

中图分类号: X16

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 06-1015-05

引用格式: 陈学刚, 魏疆, 任泉, 张克磊. 城市扩展下大气污染物浓度的空间格局变化趋势研究: 以乌鲁木齐市为例[J]. 生态环境学报, 2013, 22(6): 1015-1019.

CHEN Xuegang, WEI Jiang, REN Quan, ZHANG Kelei. Effects of the urban expansion on the spatially varying trends of distribution in air pollutants concentration: a case study of Urumqi [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(6): 1015-1019.

城市的形成和发展过程是人与物等各种“流”在一定地域空间上不断聚集的过程, 也是人类从事生产和生活活动的特定区域^[1]。当人类生产生活排放到大气环境中的污染物的浓度超过该区域大气环境容量的阈值时, 就产生了大气环境污染问题^[2]。大气环境污染成了所有大中城市的通病, 特别是在发展中国家^[3]。为了治理大气环境污染, 各地都采取了一系列的措施。比如产业结构调整, 污染企业的治理和搬迁等^[4]。城市发展过程中的人类生产生活活动在一定程度上影响着大气环境的质量, 而大气环境质量的变化也直接反映出了城市发展的水平^[5]。

乌鲁木齐市属典型的河谷型城市^[6], 城市的发育主要沿着乌鲁木齐河呈由南向北展开, 地势东南高, 西北低, 南北狭长, 东西窄的特点^[7]。在过去

的 20 年里, 经济高速发展的同时, 大气环境也受到了严重的污染, 引起了社会各界的广泛关注^[8-12]。研究认为特殊的地理位置导致乌鲁木齐市常年皆有逆温层存在, 尤其以冬季的逆温层最为突出, 静风频率高, 加之采暖消耗大量原煤排放的污染物, 使大气环境污染十分严重^[13]。为了治理大气污染, 1998 年, 地方政府推出了以“热电联产”为主的“蓝天工程”计划^[14]; 2005 年, 提出了“南控北扩”的城市发展战略^[15], 战略的实施势必改变城市发展的格局^[16]。这种城市格局的变化将对排入大气环境中的污染物质产生影响。从时间上看, 2000 年以前, 城市的建设主要集中在南片, 北片的开发强度相对较小。大气环境污染物浓度呈现出南高北低的态势^[17]。随着城市的发展和“南控北扩”战略的实施, 势必引起大气环境中污染物浓度空间变化和迁徙。文

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161029; 41161074)

作者简介: 陈学刚(1977 年生), 男, 副教授, 博士, 主要从事城市地理与环境方面研究。E-mail: caschxg@126.com

*通信作者: 魏疆(1975 年生), 男, 博士后, 主要从事环境科学与区域经济研究。E-mail: cd95hj@sina.com

收稿日期: 2013-01-23

章基于这个视角,依托2004—2009年的环境质量监测数据,结合城市的发展过程,讨论分析乌鲁木齐市大气环境中污染物浓度的变化趋势。

1 数据采集与处理

1.1 样点布置

文章选用2004—2009年乌鲁木齐市不同区域大气环境质量监测点的月均值,包括 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 污染物的在线监测数据。监测点设置采用梯度布局的原则从南到北展开,分别布设在市南区域的收费所、市中区域的监测站和市北区域的铁路局,各点间隔的直线距离大约为7 KM(图1),3个监测点代表城市不同区域的大气环境质量,监测设备均采用大西比仪器。

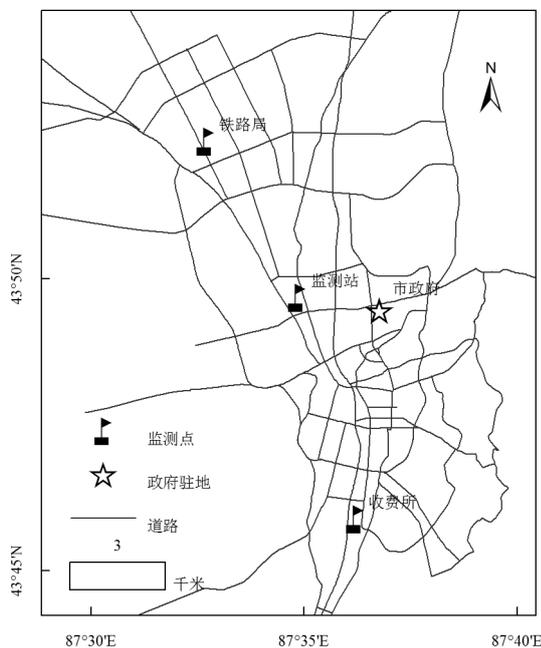


图1 监测点位设置

Fig.1 The location of monitor station

1.2 测定方法及数据处理

SO_2 -紫外吸收方法、 NO_2 -化学发光法、 PM_{10} -射线法。采用每日0~23点的小时监测数据,求得日

均质量浓度。通过计算日均浓度的算术平均值得到月均质量浓度(以下简称浓度)。利用SPSS 13.0和Excel 2003软件对数据进行处理分析。

2 结果

2.1 污染物浓度的变化趋势

2.1.1 PM_{10} 浓度的变化趋势

3个监测点位的 PM_{10} 浓度年内变化均呈现出明显的“U”型特征(图2)。1—4月, PM_{10} 浓度快速下降,5—9月,维持在一个相对较低的浓度范围,10—12月又出现快速拉升趋势。从年变化趋势来看,12—1月是各点污染物浓度最高的时段。从年际变化趋势来看,2006年以前,市南区和中区均呈现出污染物浓度增加态势,市南区和市中区分别在12月和次年1月,达到近年来的最大值 $0.447\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.379\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,且市北区的污染物浓度明显低于市南区和中区。2007年开始,市南区和市中区污染物浓度呈现出下降的趋势,市北区虽有降低但是不明显。最为显著的是市中区的污染物浓度低于了市北区。通过对2004—2009年 PM_{10} 的年际变化的数理分析来看,相对于2004年,2009年的年均浓度增加了22.4%;其中市南区增加29.8%,市中区增加-12%,市北区增加54.2%。污染物浓度变化呈现出,2004—2006年,市南区>市中区>市北区,2007—2009年市南区>市北区>市中区。从多项式趋势线可以看出,市南区和市中区分别在2008、2006年夏季呈现下降趋势,而市北区始终保持着持续上升的态势。

3.1.2 SO_2 浓度的变化趋势

3个监测站点 SO_2 年内浓度变化趋势与 PM_{10} 相同,均呈现为“U”型(图3),浓度曲线出现的拐点时间也与 PM_{10} 基本吻合,呈现出1—4月下降,5—10月维持在较低的水平波动,11—12月,快速拉升的趋势。峰值主要集中在12月和1月,大约在 $0.510\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。从年际变化来看,2006年以前, SO_2 浓度呈现出市南区>市北区>市中区;2006年之后,各点的 SO_2 浓度发生变化,市南区降低幅度较

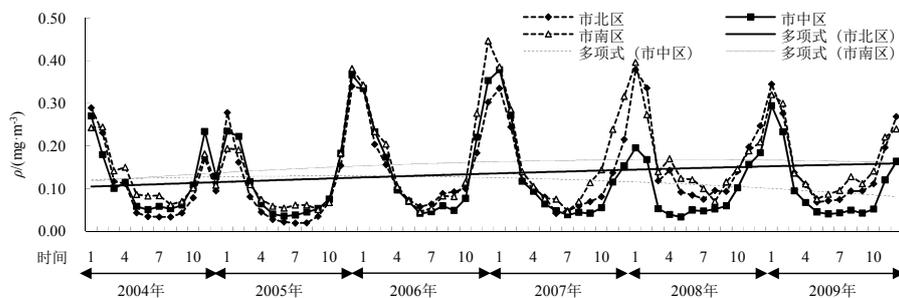
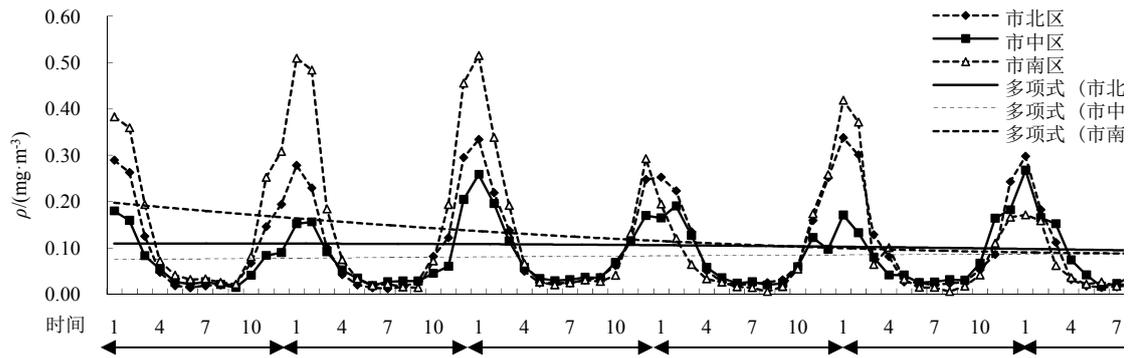


图2 2004—2009年 PM_{10} 浓度的月变化

Fig.2 Monthly PM_{10} concentrations in 2004—2009

图3 2004—2009年SO₂浓度的月变化Fig.3 Monthly SO₂ concentrations in 2004—2009

为明显，市中区的浓度开始增加，市北区基本保持不变。从多项式趋势线分析来看，市南区呈明显的下降趋势，市中区在缓慢上升，市北区基本保持不变。

3.1.3 NO₂ 浓度的变化趋势

NO₂ 年内浓度变化趋势同 SO₂ 和 PM₁₀ 基本相同，呈现出不光滑的“U”型趋势（图4），峰值主要出现在12月和1月期间。2004—2006年，3个监测点都呈现出峰值不断提升的态势，并在2006年底达到近年来的最大峰值0.125 mg·m⁻³。2004—2009年NO₂ 年均浓度整体呈上升趋势。相对于2004年，2009年NO₂ 年均浓度增长了19.6%。其中，市南区增长21.3%，市中区30.1%，市北区增长为8.4%。从多项式趋势线来看，从2007年夏季开始，市南区超过市中区和市北区，并呈现出快速增长的态势。

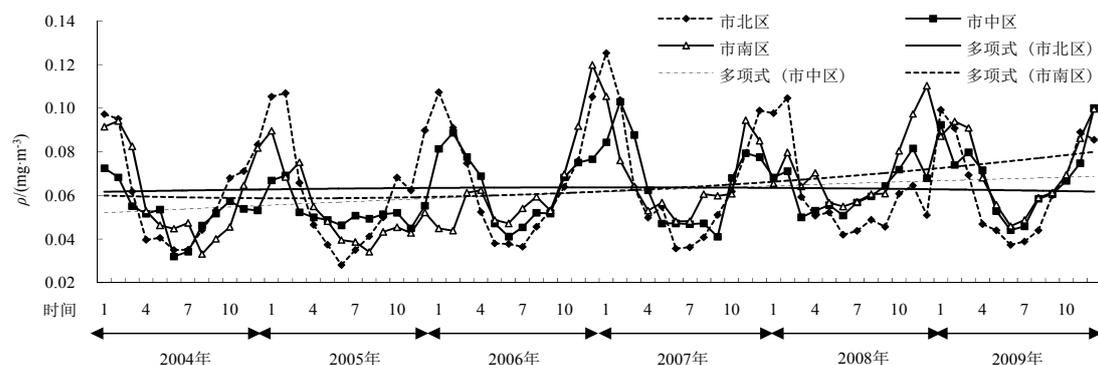
3 讨论与分析

3.1 PM₁₀ 变化分析与讨论

年内3个监测点的PM₁₀ 均呈现出相同的变化趋势“U”，说明污染物浓度具有同源性。这种变化趋势主要是因为特殊的地理位置和能源结构造成^[18]。10月中旬至来年4月为冬季（采暖期），采暖使城市中以煤主要能源的消耗增加，并在12—1月（气

温最低的时期）达到最大值。与此同时，逆温层厚度和强度增加，长时间静风，大气稀释扩散能力减弱，都是造成采暖期PM₁₀ 浓度陡增的主要原因。在非采暖期（5—10月），采暖耗煤的消减，逆温层厚度和强度的降低，加之风速的增加都使得污染物的浓度有明显的下降^[19]。虽然春季的风速会产生扬尘污染^[20]，但是属于偶发事件，并不能改变PM₁₀ 总体的变化趋势。

从2004—2009年的变化趋势来看，2006年前，PM₁₀ 始终处于不断增加的态势，且市南、市中区的PM₁₀ 保持着较高的浓度，这主要是因为市南区是老城区，人口聚集度高，采暖用煤量大，同时还有一定数量的工业造成的^[21]，而市北区开发强度较低，故浓度相对较低。随着城市的拓展和“南控北扩”发展战略的实施，2006年后，市北区的PM₁₀ 浓度有了显著的增加，主要是因为新建城区基础设施建设施工造成的大量扬尘的排放和人口快速增加导致大量的污染物质的排放^[22]，到2009年末，市北区的浓度呈现出超越原来污染严重的市南区了。市中区由于基础设施相对完善，加上近年来周边大面积的绿化，使得PM₁₀ 的浓度被控制在了一个相对较低的水平。3个站点的多项式趋势线可以看出，随着城市大气环境的治理和城市的不断发展，市南区

图4 2004—2009年NO₂浓度的月变化Fig.4 Monthly NO₂ concentrations in 2004—2009

的浓度开始下降, 市中区的 PM_{10} 有明显的降低, 而市北区的浓度值出现持续增加的态势。

3.2 SO_2 的变化分析与讨论

从时间上来看, 年度内 SO_2 浓度的变化趋势基本与 PM_{10} 相同, 其原因同前, 主要是因为采暖期以煤为主的能源消耗、特殊的地理位置和气象条件造成。但是在空间上又存在的明显的差异。2004—2005年, 市南区>市北区>市中区的趋势十分明显, 市南区作为城市的老城区, 城市开发强度大, 高楼林立, 人口密集, 冬季集中供热消耗的原煤量也最大, 加上脱硫设施的不完善导致大量的 SO_2 排放, 使得大气环境中 SO_2 的浓度最高^[23]。而市北区虽然城市建设的开发强度较低, 但城乡结合部存在着大量的分散小锅炉, 这种锅炉基本上没有除尘脱硫设施, 造成 SO_2 过量的排放^[24]。市中区介于两者之间, 污染状况相对较轻。2006—2009年, 随着锅炉脱硫设施的不断完善, 使各点的 SO_2 排放量都有明显的减少。市南区采暖以集中供热的形式为主, 烟气脱硫设施的完善使 SO_2 排放量大幅度降低, 而市北区由于城市开发强度的增加, 居住人口的增加, 使得原煤消耗也迅速增加, 虽然采用了烟气脱硫, 但仍然无法降低因采暖面积增加带来原煤消耗产生的 SO_2 的大量排放。市中区的 SO_2 浓度的增加, 主要是城市的进一步开发, 采暖用煤的增加。从多项式趋势线的变化可以看出, 市南区的 SO_2 成快速下降的趋势, 而市中区和市北区都有逐渐增加的趋势。

3.3 NO_2 的变化分析与讨论

NO_2 浓度的变化曲线同 PM_{10} 和 SO_2 基本相似, 整体上呈现出采暖期明显大于非采暖期, 原因同 PM_{10} 和 SO_2 的分析的一样, 与气象条件有着很重要的关系。 NO_2 的变化曲线又不如前两者光滑, 主要是因为 NO_2 浓度除了受燃煤影响外, 还与机动车(飞机)排放的污染物质有着紧密的联系^[25]。2004—2006年, 3个监测点位都呈现出峰值不断提升的态势, 且市北区明显大于市南区和市中区, 并在2006年达到近年来的峰值。是因为市北区的监测点位是离乌鲁木齐市国际机场最近, 受到飞机飞行的影响也最为严重, 市南区作为老城区城市, 辖区高楼林立造成区域下垫面极其粗糙, 不利于污染物质的扩散; 同时辖区内拥有自治区、兵团的党政机关和主要厅局以及主要的金融商业区, 极易造成交通堵塞, 增加污染物质的排放^[26]。2006—2009年。 NO_2 浓度整体呈现出下降的趋势, 但是空间格局上开始发生了变化, 市南区和市中区的浓度开始上升, 并在2009年超过了市北区的浓度。从多项式趋势线可以看出, 市北区的浓度变化趋势没有发生明显的变化, 而市南区和市中区的呈现出不断增加

的趋势, 并在2007年夏季穿越了市北区的趋势线, 加速上升。这主要是因为一方面私家车保有量的快速增加, 导致尾气的大量排放; 此外, 机动车保有量的增加使老城区(市南区)和市中区道路的通行条件进一步恶化, 交通堵塞严重, 通行条件不畅使污染物排放的浓度进一步增加。这种变化趋势与近年来机动车保有量的迅速增长的趋势相吻合^[27]。

4 结论

近年来, 虽然乌鲁木齐市采取了各种大气污染的治理措施, 但污染状况依然十分严重, 主要是以煤为主要能源消耗造成, 加之特殊的地理位置和气象条件, 使燃煤产生的污染在局部被进一步扩大, 属于典型的“煤烟型”污染。由于采暖对能源的消耗, 导致污染物质的大量排放, 使得冬季的大气环境污染物质浓度明显高于非采暖期。城市不断北扩各污染物浓度的迁徙变化呈现出如下趋势:

原本 PM_{10} 浓度最高污染最严重的市南区和市中区呈现出逐步降低的趋势, 而污染相对较轻的市北区出现递增并超越的态势。 SO_2 浓度总体上呈现下降的趋势, 但空间分布呈现出市南区快速下降, 市中区和市北区逐渐上升的趋势。由于机动车保有量的增加, 原本 NO_2 浓度最高的市北区, 逐步被市南区和市北区所替代, 从增长幅度来看, 市南区明显高于市北区。

综上所述, 乌鲁木齐市的大气环境污染主要是“煤烟型”污染, 但随着环境治理和城市扩展, 污染物浓度在空间呈现出不同的迁徙变化趋势, 是今后城市发展和环境治理值得关注的问题。

参考文献:

- [1] 李培祥. 城市与区域相互作用的理论与实践[M]. 北京: 经济管理出版社, 2006: 1-5.
- [2] NODEL D N. Air pollution control engineering[M]. 2nd ed. 北京: 清华大学出版社, 2000: 2-8.
- [3] 郝吉明. 大气污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 1-3.
- [4] 胡晏玲. 乌鲁木齐市采暖期 SO_2 污染空间分布特征分析[J]. 干旱环境监测, 2010, 24(2): 69-75.
- [5] 魏疆. 乌鲁木齐市大气污染特征及酸湿沉降的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012: 12-15.
- [6] 魏疆, 王国华, 任泉, 等. 乌鲁木齐市大气污染物浓度计量模型研究[J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 896-900.
- [7] 王健, 吴彦, 刘晖. 乌鲁木齐市地面风场特征及其对空气污染影响初探[J]. 新疆环境保护, 2008, 30(3): 24-28.
- [8] WEI B G, JIANG F Q, LI X M, et al. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China[J]. Microchemical Journal, 2009, 93(2): 147-152.
- [9] 彭林, 游燕, 朱坦, 等. 乌鲁木齐空气颗粒物中 PAHs 碳同位素组成及来源解析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 542-545.
- [10] 李新琪, 海热提·涂尔逊. 乌鲁木齐市大气环境承载力及污染防治对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(3): 17-24.

- [11] 刁平, 杨秀兰. 乌鲁木齐市大气污染的气象因素分析[J]. 新疆气象, 2000, 23(2): 1-3.
- [12] 李霞, 陈勇航, 胡秀清, 等. 乌鲁木齐大气气溶胶的光学特性分析[J]. 中国环境科学 2005, 25: 22-25.
- [13] 刘增强, 郑玉萍, 李景林, 等. 乌鲁木齐市低空大气逆温特征分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(3): 351-356.
- [14] 魏疆. 2000—2009年乌鲁木齐市湿沉降变化特征[J]. 干旱区研究, 2012, 29(3): 100-105.
- [15] 乌鲁木齐市统计局. 乌鲁木齐年鉴[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2005: 220-226.
- [16] 宋亚军. 干旱区绿洲背景下乌鲁木齐城市空间结构及演化研究[D]. 乌鲁木齐: 中国科学院新疆生态与地理所, 2011.
- [17] 乌鲁木齐市环境监测中心站. 乌鲁木齐市环境质量报告书(2001—2005)[R]. 乌鲁木齐: 乌鲁木齐市环境监测中心站, 2006: 56-90.
- [18] 兰国栋. 乌鲁木齐终端能源消费结构与采暖季PM₁₀污染相关性分析[J]. 干旱环境监测, 2007, 21(2): 87-91.
- [19] 赵丽莉, 魏疆, 孙红叶. 乌鲁木齐市大气污染物浓度与GDP、耗煤量之间关系探讨[J]. 干旱环境监测, 2011, 25(1): 9-12.
- [20] LI J, ZHUANG G S, HUANG K, et al. Characteristics and sources of air-borne particulate in Urumqi, China, the upstream area of Asia dust[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(4): 776-787.
- [21] 古丽努, 王勇. 乌鲁木齐市大气硫酸盐化速率变化规律及治理措施[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 531-535.
- [22] 魏疆, 刘志辉, 李生宇, 等. 乌鲁木齐市大气污染状况及污染物的空间变化[C]. International Conference on Remote Sensing. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2010: 137-140.
- [23] 钱翌, 巴雅尔塔. 乌鲁木齐市大气污染物时空分布特征研究[J]. 新疆农业大学学报, 2004, 27(4): 51-54.
- [24] WEI J, ZHANG H Z. Analysis of key factors for sulfation rate in Urumqi, NW, China[C]. International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2012: 1209-1212.
- [25] 吴新敏, 孙建国, 石斌, 等. 乌鲁木齐市空气中氮氧化物的污染特征及来源分析[J]. 干旱环境监测, 2002, 16(3): 137-139.
- [26] 李霞, 任宜勇, 吴彦, 等. 乌鲁木齐污染物浓度和大气气溶胶光学厚度的关系[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 541-546.
- [27] 李珂, 王燕军, 王涛, 等. 乌鲁木齐市机动车排放清单研究[J]. 环境科学研究, 2010, 23(4): 407-412.

Effects of the urban expansion on the spatially varying trends of distribution in air pollutants concentration: a case study of Urumqi

CHEN Xuegang¹, WEI Jiang^{2*}, REN Quan³, ZHANG Kelei⁴

1. School of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2. School of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830002, China;

3. Tianshan District Meteorology Bureau of Urumqi, Urumqi, Xinjiang 830002, China;

4. School of Pratacultural and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Human activities have resulted in increasing urban environmental pollution in cities, and the continuous urban expansion will inevitably lead to the spatial variation of the concentration of environmental pollutants. Urumqi is an inland city of northwest China. Its special geographical location, energy structure and economic development have caused serious air pollution and people's production and living have been seriously affected. Therefore, in order to control pollution, local government has taken a series of measures. In the present study, we analyzed the pollutants concentration data collected from three different regions (the south, middle and north of the city) of Urumqi atmospheric environmental quality monitoring station during 2004—2009. Moreover, the moving trends of the concentration of pollutants in space with the expansion of the city were studied. The present data indicated that the maximum PM₁₀, SO₂ and NO₂ reached 0.379, 0.510, 0.120 mg·m⁻³ respectively from December to January in winter. It was due to a large number of coal consumption for heating and the high occurrence frequency of temperature inversion layers. With the rapid spatial expansion of urban area in the north, the PM₁₀ and SO₂ concentrations showed a trend of northward migration. In addition, the pollutants concentrations in the most polluted south area of city have gradually declined, while the pollutants concentrations in north of city have increased during the city's expansion. The NO₂ concentrations showed a southward migration trends, namely, the NO₂ concentration changed a little in the north area of city, while it increased rapidly in south and middle areas. These results showed that the pollutants concentration is experiencing a migration change in the space due to the rapid expansion of city and high dense human activities. Differences pollution emission sources lead to the variation of the concentration of air pollutants in the space. Based on these findings, we conclude that atmospheric pollution is a type of "coal smoke" pollution in Urumqi and with the spatial distribution of industries and urban expansion, the concentration of pollutants in space showed different characteristics of migration.

Key words: pollutant migration; spatial variation; SO₂; PM₁₀; NO₂