

祁栋林, 李晓东, 胡爱军, 等. 1991—2013年西北地区省会城市PM₁₀浓度变化特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 656—662. [QI Donglin, LI Xiaodong, HU Aijun, et al. Variation Characteristics of PM₁₀ Concentration in Provincial Capitals of Northwest China During 1991—2013[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 656—662], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0656

1991—2013年西北地区省会城市PM₁₀浓度变化特征

祁栋林^{1,2}, 李晓东^{1,2}, 胡爱军^{1,2}, 肖宏斌^{1,2}, 魏鸿业^{1,2}, 苏文将^{1,2}

(1. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810001)

摘要:基于我国西北各省省会城市1991—2001年平均TSP资料和2002—2013年平均PM₁₀资料,对PM₁₀浓度年变化趋势、突变特征和未来趋势进行分析。结果表明:(1)近23 a我国西北各省省会城市PM₁₀浓度整体呈显著下降趋势,下降速率为 $-0.12 \sim -0.04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,兰州最大,西安最小,且具有明显不尽相同的阶段性特征。PM₁₀污染负荷系数整体也呈下降趋势;(2)2001年乌鲁木齐、西安和银川PM₁₀浓度发生突变,兰州和西宁突变分别发生在2003年和2004年;(3)西北各省省会城市PM₁₀浓度变化存在着持续性,未来下降趋势仍将持续,但持续性强度不尽相同。

关键词:PM₁₀; Spearman秩相关系数; Hurst指数

文章编号:1006-7639(2016)-04-0656-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0656

中图分类号:P404

文献标识码:A

引言

随着工业化、城市化快速发展及机动车量的大幅增加,环境空气质量尤其是城市空气质量受到不同程度污染,已成为威胁可持续发展和人类健康的重要挑战。影响环境空气质量的主要污染物包括二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、臭氧(O₃)、气溶胶颗粒物等。其中,颗粒物是空气污染中较为普遍且危害较大的污染物之一^[1]。由于PM₁₀能够进入人体的呼吸系统甚至深入肺泡进入人体的血液循环^[2-3],对人体健康的危害更大,同时对大气能见度、温度和酸雨也产生一定影响,PM₁₀是我国大气环境质量的主要污染物。因此,PM₁₀的研究已经成为国际大气环境研究的热点之一^[4-6]。近年来,我国北方地区沙尘天气有减少的趋势,但强沙尘暴却频繁发生,且影响范围大、影响程度剧烈^[7-8],尤其对城市空气质量影响严重。本文根据《环境空气质量标准》^[9](GB3095-2012)中的二级标准对1991—2013年我国西北五省会城市(兰州、乌鲁木齐、西宁、银川和西安)PM₁₀或总悬浮颗粒物(Total Suspended Particulate,简称TSP)的变化趋势特征进行分析,以期为我国西北地区空气质量改善提供科学

依据,推动西北地区自然、经济和社会协调发展。

1 资料与方法

1.1 资料

西北五省会城市1991—2001年平均TSP资料来源于文献^[10],2002—2013年平均PM₁₀资料来自各省年度环境质量公报^[11-15]。

由于国家环境空气质量标准及分析方法的变化,气溶胶颗粒物监测经历了降尘—总悬浮颗粒物(TSP)—可吸入颗粒物(PM₁₀)—细颗粒物(PM_{2.5})的过程:2000年开始,部分城市开始开展PM₁₀监测,而大部分城市仍然监测TSP;2002年,监测PM₁₀和TSP的城市各约占1/2;至2006年,地级及以上城市基本实现PM₁₀监测。因而TSP和PM₁₀资料连续性较差。为保证监测数据的可比性和连续性,需将TSP和PM₁₀资料进行转换,因缺少同一时期2种监测数据,无法准确给出西北五省会城市的换算公式(或比例),只能根据李名升等^[16]的换算方法(TSP乘系数0.5,即PM₁₀标准限值占TSP标准限值的比例为50%),结合PM₁₀和TSP的标准限值,将西北地区各省省会城市2001年前的TSP监测数据按公式(1)进行统一换算,使PM₁₀质量浓度数据统一和延

收稿日期:2015-10-10;改回日期:2016-01-19

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(41161009)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306054、GYHY201506001)共同资助
作者简介:祁栋林(1967-),男,高级工程师,主要从事大气成分观测和天气气候研究。E-mail:qid1007@163.com

长,其公式为:

$$\rho_{iPM_{10}} = \frac{S_{PM_{10}}}{S_{TSP}} \times \rho_{iTSP} \quad (1)$$

式中, $S_{PM_{10}}$ 和 S_{TSP} 分别为《环境空气质量标准》中PM₁₀和TSP的年均值二级标准限值, ρ_{iTSP} 和 $\rho_{iPM_{10}}$ 分别为第*i*个城市TSP监测值和PM₁₀换算浓度值。

表1是中国北方部分城市PM₁₀占TSP的平均比例。可以看出,我国北方部分城市尤其是西北各省省会城市PM₁₀占TSP的平均比例比李名升等^[16]的转换系数偏高,使得转换后的PM₁₀质量浓度值偏低,但由于TSP和PM₁₀质量浓度的数量级较小,转换前后值的差别不大,并不影响其长期变化趋势,表明采用李名升等^[16]的数据换算方法进行长期趋势分析是可行的。

表1 中国北方部分城市PM₁₀占TSP的平均比例

Tab. 1 The average proportion of PM₁₀ in TSP in some cities of northern China

城市或地区	时间	比例/%
兰州 ^[17-18]	2005—2007年	60
	2011—2012年	61
乌鲁木齐 ^[19]	2002年	62
西宁 ^[20]	2009年9月和2010年3—5月	61
银川 ^[21]	1983—1987年	52
洛阳 ^[22]	1997年	66
南阳 ^[22]	2002—2003年	53
中国北方 ^[23]	2008—2009年春季	51

1.2 方法

1.2.1 空气综合污染指数

采用空气综合污染指数对空气质量总体变化、年际变化及污染程度进行评价,以SO₂、NO₂、PM₁₀为评价因子,以《中华人民共和国环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准为评价标准,采用污染负荷系数确定空气污染的主要污染物。综合污染指数是各项空气污染物的单项因子指数之和。其数学表达式为:

$$\begin{cases} P = \sum_{i=1}^N P_i \\ P_i = \frac{C_i}{S_i} \\ f_i = \frac{P_i}{P} \end{cases} \quad (2)$$

式中: P 为空气综合污染指数, P_i 为第*i*项空气污染物的分指数, N 为空气综合污染指数的污染物项数, C_i 为第*i*项污染物的年均浓度值(单位:mg·m⁻³), S_i 为第*i*项污染物的环境质量标准限值(单位:mg·m⁻³), f_i 为第*i*项污染物的负荷系数。

1.2.2 线性趋势

利用最小二乘法拟合^[24]一元线性方程 $y = ax + b$ (a, b 为回归系数, y 为PM₁₀值, x 为时间),斜率 a 表示变化倾向率,其符号正或负反映趋势上升或下降,大小则表示上升或下降的幅度。

1.2.3 Diniel 趋势分析

衡量环境污染变化趋势是否有显著性最常用的统计方法是Diniel趋势检验,它使用了Spearman^[25]秩相关系数。该方法用于单因素、小样本数(>4)的相关检验,方法简明扼要,精确性高。设有一组监测时序为 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 和对应的年均值 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$;然后,按浓度值从小到大依次给出序号,其序列中的排列次序称为该监测值的秩。通过下式计算这组数据的秩相关系数:

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \quad (3)$$

式中: γ_s 为Spearman秩相关系数; N 为时间周期(单位:a); d_i 为变量 x_i 和变量 y_i 之差; x_i 对应各时间周期按浓度值从小到大排列的序号; y_i 对应各时间周期按时间排列的序号。 γ_s 为负,呈下降趋势;反之则为上升趋势。若 $|\gamma_s| \geq W_p$ (秩相关系数统计表中的临界值),表明变化趋势有显著意义。

1.2.4 R/S 分析法

R/S分析法^[26]是对气候因子时间序列计算Hurst指数,探究气候因子在时间序列长期记忆过程下所暗示的非线性系统的演化趋势。Hurst指数能很好地揭示各气候因子时间序列的趋势性,并根据Hurst(H)值的大小来判断趋势性成分的强度^[27]。当 $0.5 < H < 1.0$ 时,表明时间序列具有持续性,即未来与过去的变化趋势相同, H 值越大,持续性越强;当 $0.0 < H < 0.5$ 时,表明时间序列具有反持续性,即未来变化的趋势与过去相反, H 值越小,反持续性越强; $H=0.5$,表明时间序列具有独立性,即现在与过去变化趋势无关。

1.2.5 变差系数

利用变差系数比较城市间PM₁₀对其均值的相对离散程度。变差系数^[24]的计算公式:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (4)$$

式中： C_v 为变差系数， S 为标准差， \bar{x} 为均值。

2 结果分析

2.1 PM_{10} 浓度和负荷系数年际变化

图 1 和表 2 分别给出 1991—2013 年西北各省会城市 PM_{10} 质量浓度的年际变化及变差系数和秩相关系数。从图 1 和表 2 可看出，西北各省会城市 PM_{10} 浓度整体上呈极显著的下降趋势，下降速率为 $-0.12 \sim -0.04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ，兰州下降速率最大，西安下降速率最小，但各省会城市 PM_{10} 浓度的阶段性特征不尽相同。其中，乌鲁木齐和银川表现为先波动下降，进入 2000 年代中后期变化相对平缓，下降最显著的时段为 2000—2005 年，且这一时期的速率前者远高于后者；西安和兰州表现为波动下降趋势，但 1990 年代前者波动较大，后者波动较小；西宁 2002 年以前 PM_{10} 浓度波动较小，2003 年急剧下降，而后略有波动。可见，5 个城市 2000 年代及以后的 PM_{10} 浓度均明显低于 1990 年代，5 城市 PM_{10} 平均浓度 2001 年以后比 2000 年以前下降了 2.3% ~ 65.0%，且 2000 年代中前期下降最快。另

外从表 2 还发现，1991—2003 年间 PM_{10} 浓度波动幅度最大的是兰州，最小的是西安。

PM_{10} 是影响我国北方城市大气环境质量的首要污染物，其来源广泛，主要包括燃煤、机动车排放、工业粉尘、扬尘（建筑施工、道路等）、风沙、二次气溶胶粒子等。1991—2013 年兰州、乌鲁木齐和西宁 PM_{10} 多年平均浓度较高，分别为 0.238 、 0.188 、 $0.185 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，银川和西安相对较低，分别为 0.162 、 $0.142 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，西部城市明显大于东部城市；5 个省会城市最大值均出现在 1990 年代（1991、1994、1996、1997 和 1992 年），最小值均出现 2005—2011 年。5 城市 PM_{10} 最大值、最小值和历年平均值全部超过国家二级标准，超标倍数分别在 3.4 ~ 5.9、1.2 ~ 1.8 和 2.0 ~ 3.4 之间。兰州、乌鲁木齐和西宁 3 城市城区地处河谷盆地，特殊的闭塞地形导致静风和逆温现象时常发生，不利于污染物的扩散^[19-21]，因此 PM_{10} 浓度相比其他 2 城市较高，但经过多年的环境整治其下降幅度也较明显，而银川和西安城区地处相对开阔地带，风对大气污染物的清洁能力较强，且自然条件较为优越，大气环境自净能力强^[22-23]。

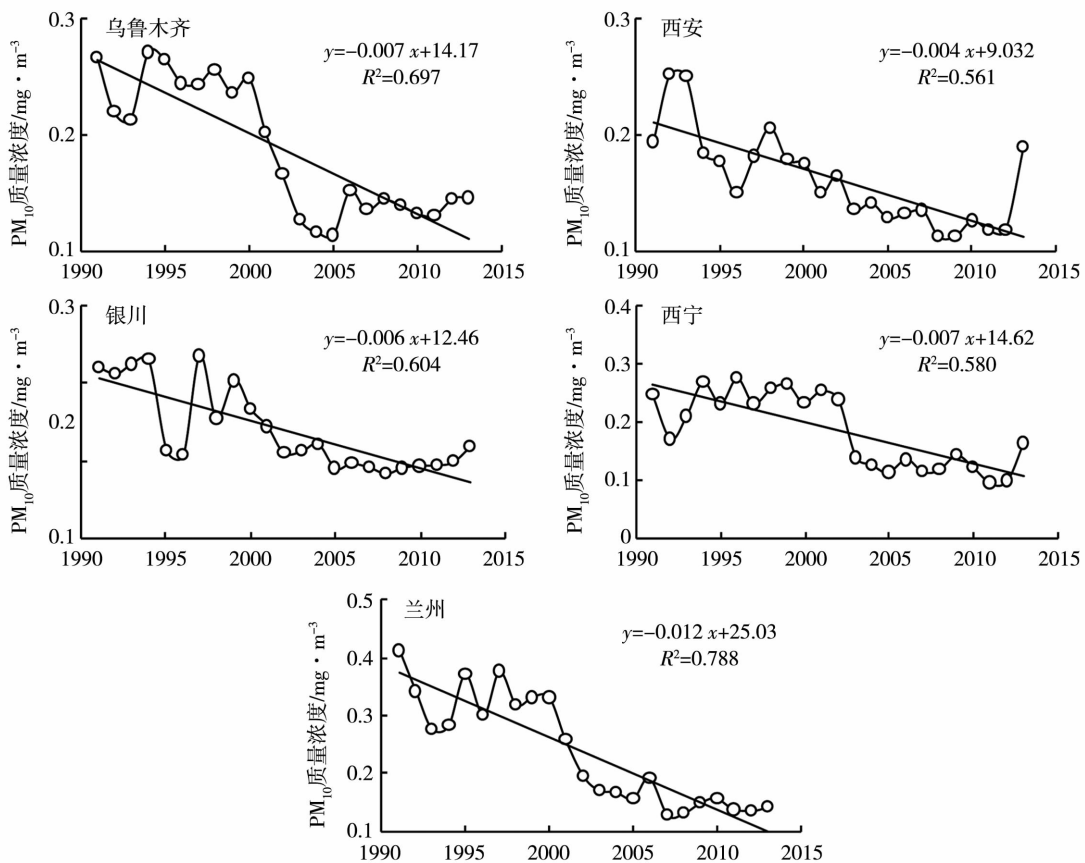


图 1 1991—2013 年我国西北各省会城市 PM_{10} 质量浓度的年际变化

Fig. 1 The annual variation of PM_{10} concentration in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

表2 1991—2013年我国西北各省会城市PM₁₀浓度变差系数和秩相关系数
Tab.2 The variation coefficient and rank correlation coefficient of PM₁₀ concentration in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

	乌鲁木齐	西安	银川	西宁	兰州
变差系数	0.30	0.25	0.38	0.35	0.40
秩相关系数	-0.76 **	-0.75 **	-0.75 **	-0.73 **	-0.88 **

注: ** 表示通过0.01的显著性检验

1991—2013年西北各省会城市空气中PM₁₀污染负荷系数整体呈下降趋势,除乌鲁木齐外的其他城市均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验(表3),以 $-0.12 \sim -0.03 (10 a)^{-1}$ 的速率下降,其中银川下降速率最大,乌鲁木齐下降速率最小;变差系数乌鲁木齐最大,西安最小。从多项式回归曲线趋势来看,各省会城市PM₁₀污染负荷系数表现出不同的阶段

性变化特征。近23 a来,乌鲁木齐和兰州PM₁₀负荷系数呈“上升—下降—平稳”3个阶段变化;西宁和西安表现为2个明显的阶段性变化,前者呈“先升后降”的阶段性变化,后者正相反,呈“先降后升”的阶段性变化,转折点分别在1998年和2008年;银川2000年代中期以前呈波动下降趋势,而后进入相对平稳期(图2)。

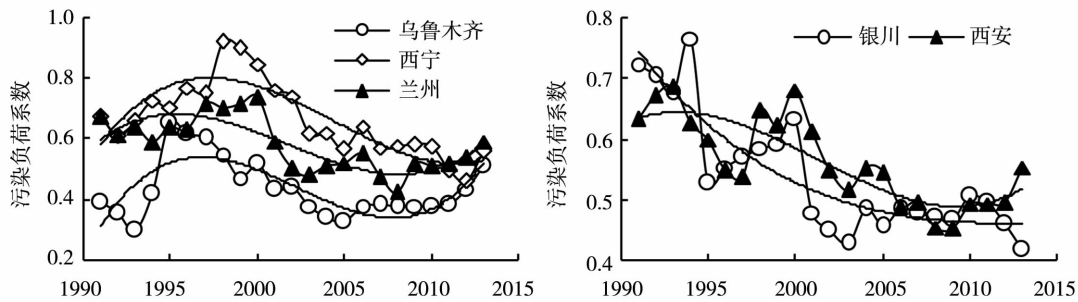


图2 1991—2013年我国西北各省会城市PM₁₀负荷系数的年际变化

Fig.2 Annual variation of PM₁₀ load coefficient in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

表3 1991—2013年我国西北各省会城市PM₁₀污染负荷系数变化速率、变差系数和秩相关系数
Tab.3 The linear change rate, variation coefficient and rank correlation coefficient of PM₁₀ load coefficient in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

	乌鲁木齐	西安	银川	西宁	兰州
变差系数	0.22	0.13	0.18	0.18	0.15
线性变化速率/(10 a) ⁻¹	-0.03	-0.08	-0.12	-0.11	-0.08
秩相关系数	-0.19	-0.75 **	-0.77 **	-0.69 **	-0.63 **

注: *、** 表示分别通过0.05和0.01显著性检验

2.2 PM₁₀浓度和负荷系数不同时期变化

表4为西北各省会城市不同时期PM₁₀质量浓度和负荷系数变化。可看出,1991—2010年西北各省会城市PM₁₀浓度均呈明显减小,减小率在41.5%~55.0%之间,减小率最大和最小的分别为兰州和西安,其中1996—2005年各省会城市PM₁₀质量浓度下降速度最快;2006—2013年,乌鲁木齐变化平稳,西宁和兰州延续前期下降趋势,而西安和银川出现转折,有增加的态势。1991—2000年乌鲁木齐、

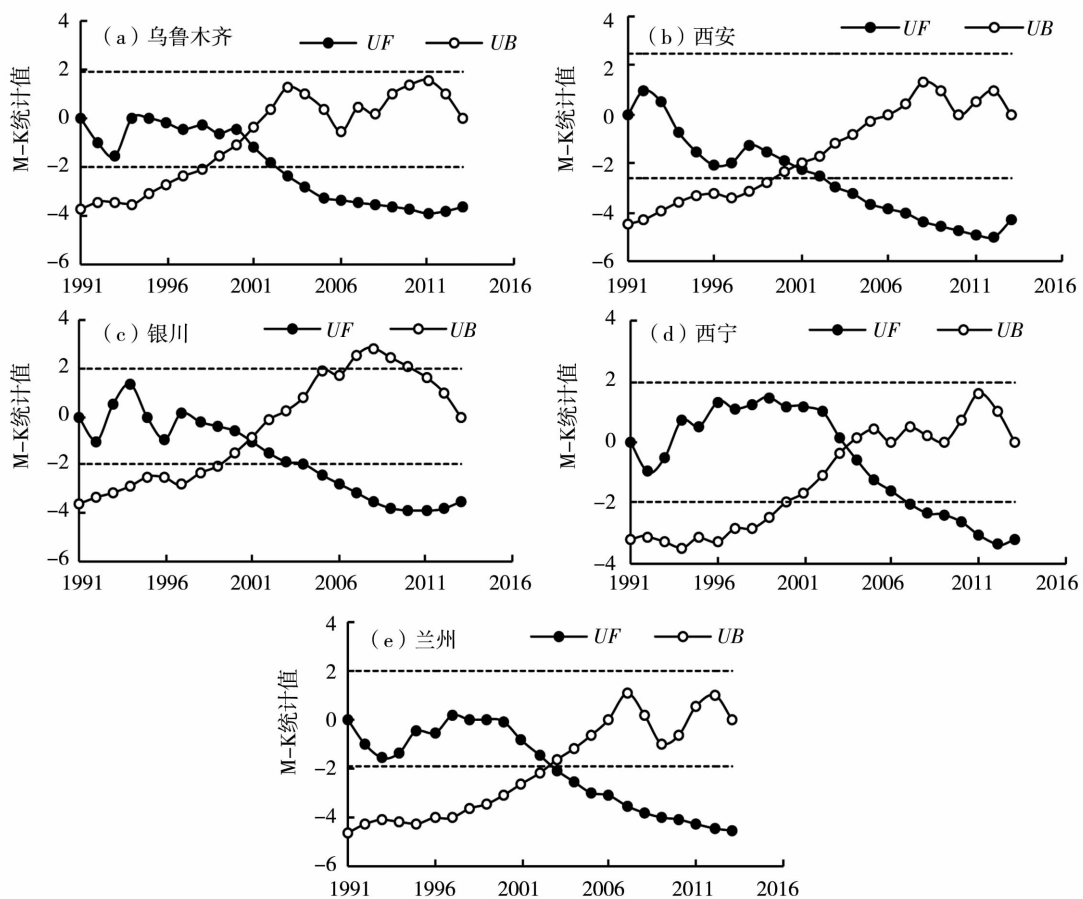
兰州和西宁负荷系数增大,之后逐渐减小,前2个城市2011—2013年间又有所回升;1991—2013年银川PM₁₀负荷系数持续减小;1991—2010年西安负荷系数逐渐减小,而后开始增大。

2.3 突变分析

图3为1991—2013年西北地区各省会城市PM₁₀浓度的Mann-Kendall突变检验。UF代表PM₁₀浓度的顺序统计曲线,UB则为逆序统计曲线,若UF或UB值>0,表明序列呈上升趋势,反之则呈

表 4 西北各省会城市不同时期 PM₁₀ 浓度 (单位: mg · m⁻³) 和负荷系数变化Tab. 4 The variations of PM₁₀ concentration (Unit: mg · m⁻³) and pollution load coefficient in provincial capitals of Northwest China at different times

时段	乌鲁木齐		西安		银川		西宁		兰州	
	浓度	负荷系数	浓度	负荷系数	浓度	负荷系数	浓度	负荷系数	浓度	负荷系数
1991—1995 年	0.247	0.424	0.212	0.643	0.200	0.678	0.226	0.674	0.338	0.630
1996—2000 年	0.246	0.552	0.179	0.590	0.173	0.565	0.253	0.807	0.332	0.679
2001—2005 年	0.145	0.423	0.145	0.582	0.116	0.496	0.175	0.716	0.190	0.565
2006—2010 年	0.141	0.380	0.124	0.478	0.091	0.481	0.127	0.589	0.152	0.496
2011—2013 年	0.141	0.444	0.142	0.514	0.104	0.458	0.119	0.505	0.139	0.549

图 3 1991—2013 年西北地区各省会城市 PM₁₀ 浓度的突变检验Fig. 3 M - K test of PM₁₀ concentration in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

下降趋势。给定显著性水平 $\alpha = 0.05$ (或 0.01), 临界线 $U = \pm 1.96$ (或 ± 2.56)。当统计曲线超过临界线时, 表明上升或下降趋势显著。若 2 条统计曲线在临界线之间出现交点, 则交点对应的的时间就是开始突变的时间。由图 3 可见, 乌鲁木齐、西安和银川 UF 和 UB 曲线在 2001 年左右出现交点, 且交点在信度线之间, 因此 2001 年是乌鲁木齐、西安和银川 PM₁₀ 浓度发生突变的时间。由乌鲁木齐、西安和银川的 UF 曲线可以看出, 1991 年以来 PM₁₀ 浓度总

体均呈下降趋势, 2004 年以后, 乌鲁木齐和银川 PM₁₀ 浓度减少趋势超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平临界线, 西安减少趋势超过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平临界线, 表明 2004 年以后 3 个城市 PM₁₀ 浓度进入显著下降阶段; 兰州和西宁 PM₁₀ 浓度突变分别发生在 2003 年和 2004 年, 兰州在 2004 年以后进入显著减少趋势, 而西宁在 2007 年后进入显著减少趋势。

综上所述, 近 23 a 来西北各省会城市空气中 PM₁₀ 浓度下降较明显, 空气质量均得到了明显改善。

可能原因是:1991年以后,随着国家对环境保护的重视、环境保护法的修改完善以及城市环境综合治理等措施的实施,各城市逐步开展了空气质量的综合整治,进一步调整优化产业结构,推广使用清洁能源,加强控制燃煤(油)排放的烟尘总量,严格控制市区二次扬尘污染力度,坚决取缔超标生产的工业企业等,加大市内空地绿化率,这一系列积极有效的措施明显改善了城区大气环境质量。同时,也与近年来西北地区沙尘天气逐渐减少有关^[8]。

2.4 未来趋势分析

有研究指出^[26],周期及趋势项的存在对Hurst指数的估计影响很大,在进行R/S分析前,应对时间序列数据进行预处理,以消除趋势项的影响。因此先对1991—2013年PM₁₀浓度进行二阶差分^[28],消除其线性趋势,再根据R/S分析原理对西北各省会城市PM₁₀浓度差分后序列的持续性进行分析,计算的Hurst指数见表5。可以看出,5城市PM₁₀浓度的H值均>0.5,存在明显的持续性,即未来变化与过去变化趋势一致,过去总体减小的趋势预示未来PM₁₀浓度总体将继续减小,短时期内不会发生逆转,尤其是西宁和兰州持续性强度很强,而银川的持续性强度较弱。

表5 1991—2013年西北各省会城市PM₁₀浓度的Hurst指数

Tab. 5 Hurst index of PM₁₀ concentration in provincial capitals of Northwest China during 1991 - 2013

	乌鲁木齐	西安	银川	西宁	兰州
Hurst 指数	0.74	0.69	0.65	0.82	0.79
持续性强度	较强	较强	较弱	很强	强

3 结论与讨论

(1)近23 a我国西北各省会城市PM₁₀浓度整体呈显著下降趋势,兰州下降速率最大,西安最小,但5城市PM₁₀浓度的阶段性变化特征有所差异,2000年代及以后的浓度值远低于1990年代,且下降最显著的时段为2000—2005年;未来PM₁₀浓度下降趋势仍将持续,但持续性强度不尽相同。

(2)乌鲁木齐、西安和银川2001年PM₁₀浓度发生突变,2004年后PM₁₀浓度进入显著下降阶段;兰州和西宁突变分别发生在2003年和2004年,兰州在2004年以后进入显著减少趋势,而西宁在2007年后进入显著减少趋势。

西北各省会城市地处西北内陆,植被覆盖率低,

受大陆性季风气候(干旱、少雨、大风等)影响,颗粒物一直是大气环境的首要污染物,尤其是颗粒物在城市的来源广泛,是城市治理大气污染的重中之重。近年来各级政府加强各方面环保力度,环境空气质量得以改善,但与国内其他城市相比,大气颗粒物污染状况仍然十分严重,尤其是2013年实行新的空气质量标准以来,以PM_{2.5}和PM₁₀为代表颗粒物的污染问题凸显,环境质量压力越来越大,西北各省会城市大气环境治理工作任重而道远。

参考文献

- [1] 李红,曾凡刚,邵龙义,等. 可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J]. 环境与健康杂志,2002,19(1):85-87.
- [2] 侯青,安兴琴,王自发,等. 2002~2009年兰州PM₁₀人体健康经济损失评估[J]. 中国环境科学,2011,31(8):1398-1402.
- [3] 侯斌,戴灵真,王铮,等. 西安市大气污染对城区居民每日死亡率影响的时间序列分析[J]. 环境与健康杂志,2011,28(12):1039-1043.
- [4] 吴庆梅,张胜军. 一次雾霾天气过程的污染影响因子分析[J]. 气象与环境科学,2010,33(1):12-16.
- [5] 茆长荣,尚广萍. 合肥市城市PM₁₀污染成因及控制对策[J]. 安徽大学学报,2005,29(4):87-92.
- [6] 朱玉周,刘和平,郭学峰,等. 郑州市空气质量状况及冬季持续污染过程的气象机理分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(3):47-50.
- [7] 段海霞,李耀辉. 2013年春季沙尘天气特征及其成因[J]. 干旱气象,2014,32(3):359-365.
- [8] 赵明瑞,杨晓玲,滕水昌. 甘肃民勤地区沙尘暴变化趋势及影响因素[J]. 干旱气象,2012,30(3):421-425.
- [9] GB3095-2012,环境空气质量标准[S].
- [10] 任春艳,吴殿廷,董锁成,等. 西北地区城市化与空气质量变化关系研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2005,41(2):204-208.
- [11] 甘肃省环境保护厅. 2002-2013年兰州环境状况公报[EB/OL]. <http://www.gsemc.cn>
- [12] 宁夏回族自治区环境保护厅. 2002-2013年宁夏回族自治区环境统计年报[EB/OL]. <http://www.nxep.gov.cn>
- [13] 青海环境保护厅. 2002-2013年青海环境状况公报(2002-2013)[EB/OL]. <http://www.qhepb.gov.cn>
- [14] 西安环境保护局. 2002-2013年陕西环境状况公报(2002-2013)[EB/OL]. <http://www.xaepb.gov.cn>
- [15] 新疆维吾尔自治区环境保护厅. 2002-2013年新疆维吾尔自治区环境状况公报[EB/OL]. <http://www.xjepb.gov.cn>
- [16] 李名升,张建辉,张殷俊,等. 近10年中国大气PM₁₀污染时空格局演变[J]. 地理学报,2013,68(11):1504-1512.
- [17] 李晓红,程慧波,王莉娜. 兰州市大气颗粒物污染特征分析[J]. 中国环境监测,2014,30(3):43-46.
- [18] 陶燕,刘亚梦,米生权,等. 大气细颗粒物的污染特征及对人体健康的影响[J]. 环境科学学报,2014,34(3):592-597.
- [19] 冯银厂,彭林,吴建会,等. 乌鲁木齐市环境空气中TSP和PM₁₀来源解析[J]. 中国环境科学,2005,25(增1):30-33.

- [20] 赵旭东,石丽娜,杨永顺,等. 西宁市环境空气中 TSP 和 PM₁₀ 来源解析研究[J]. 中国环境管理干部学院学报,2012,22(3): 59-62.
- [21] 樊曙先,郑有飞,金国兴,等. 银川市大气颗粒物物理化学特征研究 I: 大气颗粒物浓度特征[J]. 南京气象学院学报,2004, 27(1):20-28.
- [22] 李尉卿. 河南省主要城市大气气溶胶中的 TSP 和 PM₁₀ 污染特性[J]. 河南科学,2004,22(5):714-717.
- [23] 杜吴鹏,高庆先,孙丹,等. 中国春季北方大气气溶胶浓度特征[J]. 环境科学研究,2011,24(1):11-19.
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M]. 北京: 气象出版社,2007. 37-66.
- [25] 曲格平. 中国环境保护工作全书[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002. 10-12.
- [26] 江田汉,邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题—以在气候变化研究中的应用为例[J]. 地理科学,2004,24(2):177-182.
- [27] 冯新灵,罗隆诚,冯自立,等. 中国雨日变化趋势的分形研究[J]. 自然灾害学报,2009,18(6):112-117.
- [28] 徐宗学,米艳娇,李占玲,等. 和田河流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J]. 资源科学,2008,30(12):1833-1838.

Variation Characteristics of PM₁₀ Concentration in Provincial Capitals of Northwest China During 1991-2013

QI Donglin^{1,2}, LI Xiaodong^{1,2}, HU Aijun^{1,2},
XIAO Hongbin^{1,2}, WEI Hongye^{1,2}, SU Wenjiang^{1,2}

(1. Institute of Qinghai Meteorological Science Research, Xining 810001, China;
2. Qinghai Key Laboratory of Disaster Preventing and Reducing, Xining 810001, China)

Abstract: Based on the annual mean total suspended particulate (TSP) data during 1991-2001 and PM₁₀ data during 2002-2013 in provincial capitals of Northwest China, the annual variation characteristics of PM₁₀ concentration and their mutation test and future trends were analyzed by using the Diniel analysis, Mann-Kendall test and R/S analysis. The results are as follows: (1) The PM₁₀ concentration decreased significantly as a whole in provincial capitals of Northwest China in nearly 23 years, with the rate of $-0.12 - -0.04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ every 10 years, the maximum and minimum decreasing rate respectively occurred in Lanzhou and Xi'an. And the changes in phase of PM₁₀ concentration were obviously different in provincial capitals of Northwest China during 1991-2013, but the decreasing rates were fastest from 2000 to 2005. The pollution load coefficient of PM₁₀ in provincial capitals of Northwest China during 1991-2013 showed a downward trend. (2) The mutation of PM₁₀ concentration in Urumqi, Xi'an and Yinchuan occurred in 2001, and they decreased significantly after 2004, while in Lanzhou and Xining it occurred in 2003 and 2004, respectively, and the PM₁₀ concentration for the former decreased significantly after 2004, for the latter it decreased significantly after 2007. (3) The variations of PM₁₀ concentration were sustainable in provincial capitals of Northwest China, and the decreasing trend will be continuing in the years ahead, but the persistent strength will be different.

Key words: PM₁₀; Spearman rank correlation coefficient; Hurst index