

西北干旱区 PM₁₀ 浓度特征及其与水平能见度的关系

邱雪, 张明军*, 王圣杰

西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070

摘要: 利用环保部门的 API、PM₁₀ 数据和气象部门的能见度、相对湿度等相关数据, 分析了 2011—2013 年西北干旱区 (包括新疆、甘肃、内蒙古 PM 监测站点分别 19 个、5 个、13 个) PM₁₀ 浓度的空间分布特征和时间变化特征, 并以新疆为例, 研究了其 PM₁₀ 浓度特征及其与水平能见度 (包括全部天气条件和晴空条件, 以及干能见度、干消光系数) 的关系, 以期了解西北干旱区的 PM₁₀ 浓度状况, 为有效控制 PM₁₀ 污染提供科学依据。结果表明, (1) 2011—2013 年, 整个西北干旱区的 PM₁₀ 浓度存在明显的区域差异, 新疆的 PM₁₀ 浓度明显高于甘肃、内蒙古, 且新疆和甘肃大部分城市的 PM₁₀ 浓度已超过国家二级质量标准。就季节分布而言, 整个西北干旱区冬春季 PM₁₀ 浓度相对较高, 秋季次之, 夏季最低。(2) 2011—2013 年, 西北干旱区绝大多数城市的 PM₁₀ 浓度月变化波动都比较大, 波动曲线基本呈现出“M”型、“U”型、“N”型和“n”型 4 种。(3) PM₁₀ 浓度与水平能见度呈负相关关系。为了降低分析误差, 我们将 PM₁₀ 数值以 100 μg·m⁻³ 为步长进行了分组, 分析了 PM₁₀ 浓度距平与水平能见度的关系, 得出当 PM₁₀ 浓度为负距平时, 能见度距平多为正值, 且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值高, 而当 PM₁₀ 浓度为正距平时, 能见度距平多为负值, 且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值低。

关键词: PM₁₀; 西北干旱区; 新疆; 水平能见度

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.03.010

中图分类号: X16

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2015) 03-0436-08

引用格式: 邱雪, 张明军, 王圣杰. 西北干旱区 PM₁₀ 浓度特征及其与水平能见度的关系[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 436-443.
QIU Xue, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie. The PM₁₀ Concentration Characteristics and Its Relationship with Horizontal Visibility in Arid Northwest China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(3): 436-443.

大气可吸入颗粒物 (PM₁₀) 指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 10 μm 的颗粒物 (中华人民共和国环境保护部, 2012), 是影响城市大气环境质量的重要污染物之一 (安俊岭等, 2000; Ta 等, 2004)。它主要来源于人类活动如工厂、家庭、交通运输、建筑施工等产生的废气、烟尘、扬尘以及自然起源如火山喷发、森林火灾、海水泡沫而进入大气的火山灰、烟尘、盐粒和被风吹起的扬尘等 (朱能文, 2005)。大气可吸入颗粒物由于其对全球气候变化、大气能见度以及人体健康的影响已经引起科学界的广泛重视 (Dockery 和 Pope, 1994), 是近年来大气环境研究的重要对象之一。例如, PM₁₀ 对人类呼吸系统、心肺功能等的危害性已经被国内外大量流行病学和毒理学研究所证实 (Fuji 等, 2001; 魏复盛等, 2000); 环境空气中的颗粒物会引起大气能见度降低 (王淑英等, 2003; 宋宇等, 2003), 对全球气候变化也有严重影响 (Buseck 和 Posfai, 1999); 此外, PM₁₀ 在酸沉降、气候强迫、

大气化学过程等方面也具有重要作用 (纪飞等, 2001)。赵伟等 (2008) 的研究结果表明, 春季中国沙尘气溶胶柱的高值区主要集中在西北地区, 并且由西向东、由北向南递减, 沙尘气溶胶的存在, 一方面会导致中国大部分地区出现地面降温, 另一方面也会导致小雨降水量减少 20% 左右。相关研究还发现, PM₁₀ 浓度与大气能见度之间存在着一定相关性 (Dayan 和 Levy, 2005; Dayan 等, 2008; Chung 等, 2003), 在中国北方, PM₁₀ 浓度与能见度存在着显著的幂函数关系 (Wang 等, 2008)。

长期以来国家环保部门对空气质量的重点监测城市多集中于中东部地区 (Qu 等, 2010; 郭元喜等, 2012), 在新疆、甘肃、内蒙古等西北部省区, 每个省区一般仅有 1~2 个国控点, 不足以代表这一区域的环境状况, 特别是新疆南部等地长期缺乏代表站点, 因此有必要采用更多监测站来反映该地区的 PM₁₀ 浓度特征。本研究根据各省区环保部门公布数据, 分析了西北干旱区 PM₁₀ 浓度时空变

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41161012; 41461003); 全球变化国家重大科学研究计划项目 (2013CBA01801)

作者简介: 邱雪 (1993 年生), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为全球变化与可持续发展。E-mail: shi_zhiyou@126.com

*通讯联系人, E-mail: mjzhang2004@163.com

收稿日期: 2015-01-04

化特征，有助于完善对西北地区 PM₁₀ 浓度变化的认识。考虑到新疆 PM₁₀ 浓度较高，因此选取新疆境内数据完整的 17 个监测站，分析了其 PM₁₀ 浓度特征及其与能见度的关系，以期了解 PM₁₀ 浓度的变化情况，为有效控制 PM₁₀ 污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文使用的 API 及 PM₁₀ 浓度数据分别来自于新疆维吾尔自治区环境保护厅、甘肃省环境监测中心站、内蒙古自治区环境保护厅。其中新疆和甘肃部分城市的 PM₁₀ 数据由其环保部门提供的空气污染指数 (API) 换算而来。西北干旱区范围内，新疆、甘肃、内蒙古、宁夏 4 省区的 PM 监测站点分别有 19、5、13、3 个 (图 1)。由于宁夏环保部门提供的 PM₁₀ 数据不完整，因此没有研究该区域。鉴于数据的完整性和一致性，本文分析了西北干旱区 (除宁夏外) PM₁₀ 浓度 2011—2013 年的空间分布特征和时间变化特征，并以新疆为例研究了其 PM₁₀ 浓度特征及其与水平能见度的关系，相关气象参数由中国气象科学数据共享服务网提供，除北屯、阜康、和静、奎屯、五家渠、昌吉外，其他 13 个城市均有气象资料支持 (图 1)，但由于石河子、博乐、阿图什气象数据不完整，因此在这部分研究中也剔除了这 3 个站点。

1.2 研究方法

1.2.1 PM₁₀ 的换算方法

关于 PM₁₀ 的换算方法已有大量描述，且被广泛应用于早期研究 (Choi 等, 2008; Gong 等, 2007; Qu 等, 2010)。

对于以 PM₁₀ 为首要污染物的时段，PM₁₀ 浓度

即为

$$c = c_L + \frac{(I - I_L)(c_U - c_L)}{I_U - I_L} \quad (1)$$

式中, I 为 API 日值, I_U 和 I_L 分别为表 1 中 API 日值所在区间的上限与下限, c_U 和 c_L 分别为相应区间 PM₁₀ 浓度的上限与下限。就本研究区而言, 在各种污染物中, PM₁₀ 为首要污染物的比例远大于其他污染物 (SO₂ 与 NO₂)。因此, 对于无标注首要污染物的时段, 亦以 PM₁₀ 为首要污染物计算。

1.2.2 干消光系数及干能见度的计算

另外, 本文中引入了一个相对订正因子来降低相对湿度可能对不同区域产生的差异, 最终获得干消光系数 (Husar 和 Holloway, 1984), 及干能见度 (Rosenfeld 等, 2007)。

具体计算方法如下:

$$b_{\text{ext}} = \frac{b_{\text{ext}}^w}{(\text{RH} - k_1) \times k_2 + k_3} \quad (2)$$

这里 b_{ext} 为“干消光系数”, RH 为相对湿度, b_{ext}^w 为“湿消光系数”(未经过订正的消光系数), 可以利用 Koschmieder 关系式 $b_{\text{ext}}^w = K/V$ (Koschmieder, 1926) 计算获得, 其中 K 根据 Griffing (1980) 和 Ozkaynak 等 (1985) 取值 1.9, V 是观测得到的能见度, 单位为 km, 参数 k_1 、 k_2 、 k_3 参考 Che 等 (2007) 的文献。

干能见度即为

$$V_d = \frac{V}{0.26 + 0.4285 \times \lg(100 - \text{RH})} \quad (3)$$

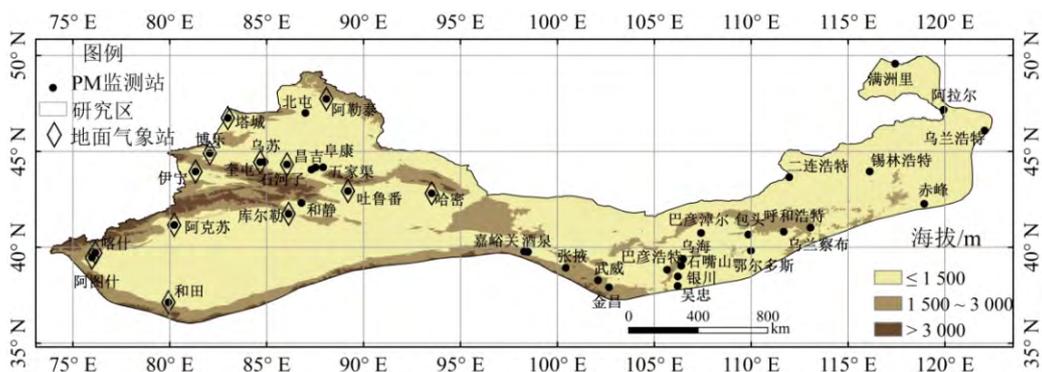


图 1 西北干旱区 PM₁₀ 监测站分布图

Fig. 1 The distribution of PM₁₀ monitoring stations in arid northwest China

表 1 PM₁₀ 为首要污染物情况下 PM₁₀ 浓度与空气污染指数(API)的对应关系

Table 1 Relationship between PM₁₀ concentration and individual Air Pollution Index (API) with PM₁₀ as primary pollutant

API	0 < API ≤ 50	50 < API ≤ 100	100 < API ≤ 200	200 < API ≤ 300	300 < API ≤ 500
$\rho(\text{PM}_{10})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	0 < c ≤ 50	50 < c ≤ 150	150 < c ≤ 350	350 < c ≤ 420	420 < c ≤ 600

式中, V 为水平能见度实测值, RH 为相对湿度。

1.2.3 其他方法

在 ArcGIS 9.3 软件中对相关的空间分布等图进行了绘制, 并运用 SigmaPlot 软件分析了 PM_{10} 浓度的时间变化以及 PM_{10} 与能见度(包括干能见度、干消光系数)的距平关系。

2 结果与分析

2.1 PM_{10} 浓度的空间变化特征

2.1.1 全年变化

从 2011—2013 年西北干旱区 PM_{10} 浓度的空间分布来看(图 2), 整个西北干旱区的 PM_{10} 浓度存在明显的区域差异, 新疆的 PM_{10} 浓度年均值明显高于甘肃、内蒙古。依据我国 PM_{10} 二级质量标准(GB3095-2012) 年均值 $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 衡量, 新疆和甘肃大部分城市已超过 PM_{10} 二级质量标准, 新疆和甘肃的 PM_{10} 年均值分别为 114 、 $91 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 而内蒙古的 PM_{10} 年均值仅为 $71 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 略高于国家二级质量标准。就新疆而言, 天山以北的 PM_{10} 浓度普遍低于天山以南, 其中天山以南的 8 个监测站(自西向东依次为阿图什、喀什、和田、阿克苏、库尔勒、和静、吐鲁番、哈密) 都出现高值, PM_{10} 年均值大于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。天山以北的 11 个监测站中也有 6 个站 PM_{10} 年均值超过国家二级标准, 但均低于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 甘肃的最高值出现在酒泉, PM_{10} 年均值为 $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 此外甘肃的其他 4 个监测站 PM_{10} 年均值都高于 $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 低于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 超过国家二级标准; 内蒙古 PM_{10} 浓度普遍相对较低, 仅乌海出现高值, 其 PM_{10} 年均值为 $109 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。13 个监测站点有 5 个未超过国家二级质量标准, 自西向东分别为: 巴彦浩特、二连浩特、满洲里、阿拉尔、乌兰浩特。除乌海外, 超过国家二级质量标准的其余站点 PM_{10} 年均值都低于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2.1.2 季节变化

由图 3 可看出, 整个西北干旱区春季和冬季

PM_{10} 浓度相对较高, 秋季次之, 夏季相对较低。从 4 个季节分别来看, PM_{10} 浓度都是新疆>甘肃>内蒙古。就新疆而言, 春、秋、冬三季的 PM_{10} 均值都很高, 分别为 138 、 126 、 $119 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 远远超过国家二级标准。新疆天山以南的阿图什、喀什、和田、阿克苏、和静、吐鲁番在春、秋、冬三季 PM_{10} 均值均大于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。夏季整个新疆 PM_{10} 浓度相对较低, 均值为 $78 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 仅和田 PM_{10} 均值大于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 喀什和阿克苏大于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 甘肃的 PM_{10} 浓度在冬春两季相对较高, 春季 PM_{10} 均值为 $124 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 冬季 PM_{10} 均值为 $90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。春秋两季中, 酒泉的 PM_{10} 浓度均为最高, 分别为 160 、 106 、 $108 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 从内蒙古 PM_{10} 浓度的季节分布来看, 春季 PM_{10} 浓度均值较高, 为 $86 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 稍高于国家二级标准。除秋季外, 乌海的 PM_{10} 浓度均为最高值, 春季时达 $138 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2.2 PM_{10} 浓度的月变化特征

在本节中, 新疆北屯由于 PM_{10} 数据不完整被剔除。

从图 4a 可看出, 新疆的 PM_{10} 浓度月变化趋势可分为 3 种类型: 第一种是“M”型, 包括喀什、和田、阿克苏、和静、库尔勒、阿图什、吐鲁番、哈密 8 个监测站, 它们的 PM_{10} 浓度变化曲线都有两个峰值, 分别在 3 月份和 11 月份左右, 即冬春季高, 夏秋季低。喀什、和田、阿克苏、吐鲁番和哈密 5 个站, 月均值最低也都高于国家二级质量标准, 其中喀什、和田、阿克苏最低值甚至超过 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。第二种是“U”型, 包括石河子、阜康、昌吉、奎屯、五家渠、乌苏、伊宁和博乐 8 个监测站, 它们的 PM_{10} 浓度月变化趋势波动都较小, 仅在冬季出现较高值, 月均值全部低于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。第三种是很稳定的变化趋势, 包括塔城和阿勒泰两个站点, 分别在 50 和 $39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右上下波动, 月均值最大也不超过二级标准 $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

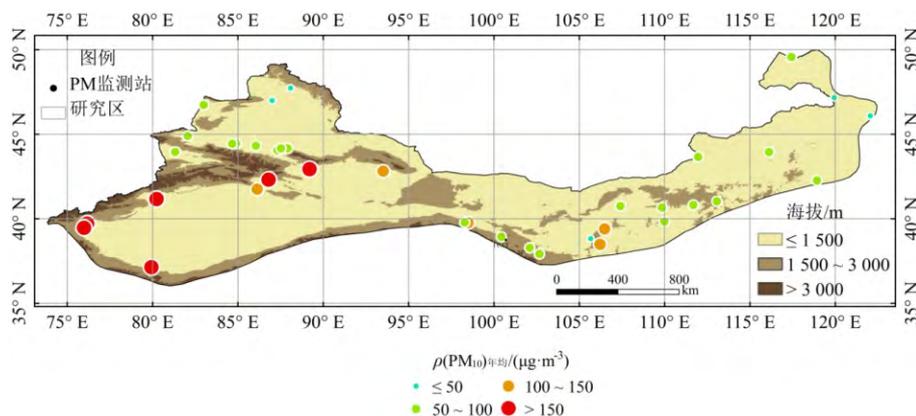


图 2 2011—2013 年西北干旱区 PM_{10} 浓度空间分布图

Fig. 2 The spatial distribution of PM_{10} concentrations in arid northwest China from 2011 to 2013

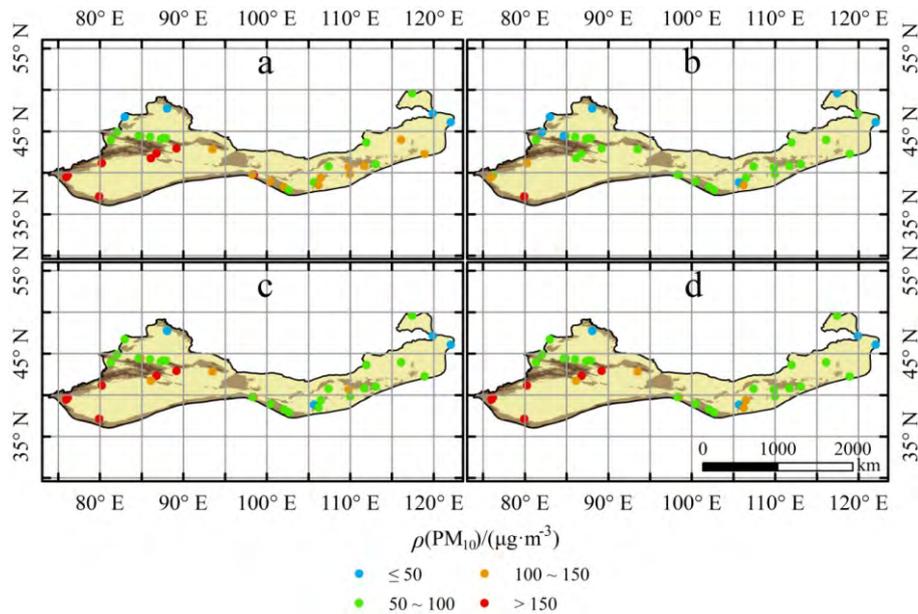


图 3 2011—2013 年西北干旱区 PM₁₀ 浓度季节分布图(a, b, c, d 依次为春、夏、秋、冬)

Fig. 3 The Seasonal distribution of PM₁₀ concentrations in arid northwest China from 2011 to 2013

(a, b, c, d represent spring, summer, autumn, winter, respectively)

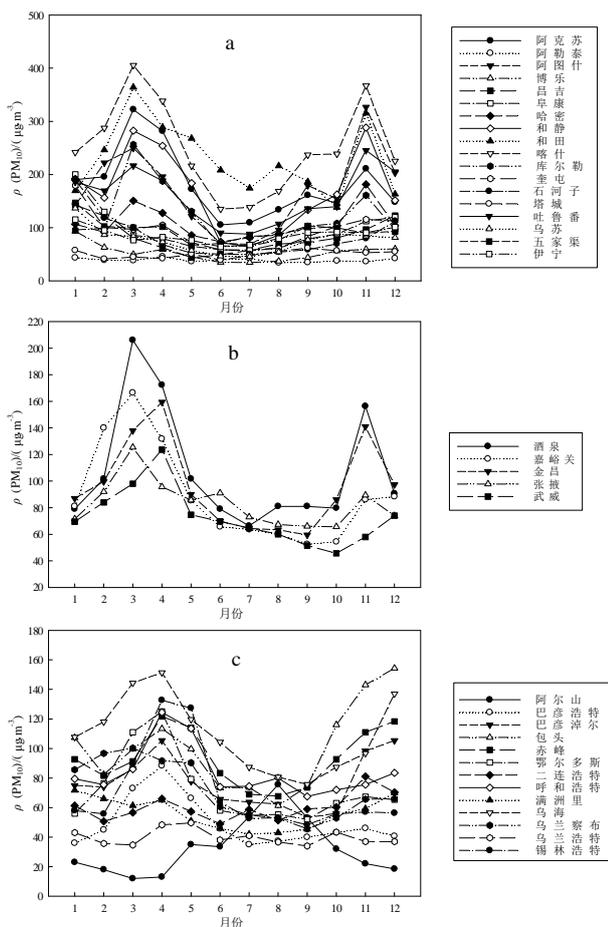


图 4 2011—2013 年西北干旱区 PM₁₀ 浓度月变化图
(a, b, c 依次为新疆、甘肃、内蒙古)

Fig. 4 The monthly variability of PM₁₀ concentrations in arid northwest China from 2011 to 2013 (a, b, c represent Xinjiang, Gansu, Inner Mongolia, respectively)

甘肃 5 个监测站的 PM₁₀ 浓度月变化都呈现出“M”型变化趋势(图 4b), 即冬春季节高于夏秋季节。其中, 酒泉的月变化波动最大, 最大值和最小值分别为 206、66 μg·m⁻³。张掖和武威的 PM₁₀ 浓度月变化波动相对较小。5 个站的 PM₁₀ 月均值全部高于 70 μg·m⁻³。

图 4c 反映出, 内蒙古的 PM₁₀ 浓度月变化有 4 种变化趋势: 第一种是“N”型, 即冬春季节高于夏秋季节, 包括乌海、赤峰、包头和巴彦淖尔 4 个站。第二种是“n”型, 即只在某一个季节呈现出最大值。其中锡林浩特、鄂尔多斯、呼和浩特、乌兰察布和巴彦浩特都是春季 PM₁₀ 浓度最大; 二连浩特是冬季 PM₁₀ 浓度最大; 阿尔山是夏秋交际 PM₁₀ 浓度最大。第三种是“U”型, 只有满洲里表现出这种曲线变化, 但 PM₁₀ 浓度也是冬春高于夏秋。最后一种是呈现稳定变化趋势的乌兰浩特, 其 PM₁₀ 月均值在 40 μg·m⁻³ 上下波动。整体而言, 只有乌海的 PM₁₀ 浓度月最低值超过国家二级质量标准, 而乌兰浩特 PM₁₀ 月最高值仅为 50 μg·m⁻³。

2.3 新疆 PM₁₀ 浓度特征及其与水平能见度的关系

鉴于新疆 PM₁₀ 浓度较高, 具有很强的代表性, 本节研究了 PM₁₀ 与水平能见度的关系, 时间段为 2004—2013 年, 由于晴空条件下的 PM₁₀ 浓度能够有效排除天气过程的影响, 更好地反映其真实水平, 将降水量为 0 mm、总云量小于 1 成的天气定义为晴空 (Gong 等, 2007)。考虑到和静 PM₁₀ 数据缺值较多, 因此在这部分研究中, 也剔除了和静这一站点。即研究了新疆全部天气条件下 17 个城

市和晴空条件下10个城市的PM₁₀浓度变化特征及其与水平能见度的关系。

2.3.1 新疆PM₁₀浓度的变化特征

(1) 新疆PM₁₀浓度的空间变化

从图5可看出,无论是在全部天气条件下,还是在晴空条件时,和田和喀什的PM₁₀均值都最高,超过185 μg·m⁻³。整体而言,两种天气条件下,天山以北的PM₁₀浓度普遍低于天山以南,天山以北的塔城和阿勒泰PM₁₀都低于国家二级标准70 μg·m⁻³。对于PM₁₀浓度较高的天山以南城市,全部天气条件和晴空条件时相比,PM₁₀浓度基本不变,而阿克苏在晴空条件时PM₁₀浓度有所降低;对于PM₁₀浓度较低的天山以北城市,也同样出现全部天气条件和晴空条件时,PM₁₀浓度基本不变的情况,仅乌苏在晴空条件时有所降低。

(2) 新疆PM₁₀浓度的年际变化

从2004—2013年新疆PM₁₀浓度的年际变化图(图6)可看出:在全部天气条件下,2004年新疆的PM₁₀均值很高,达177 μg·m⁻³,2005年剧烈下降,低至100 μg·m⁻³,从2005—2012年,PM₁₀一

直很稳定,都维持在100 μg·m⁻³左右,2013年有小幅上升,PM₁₀达到134 μg·m⁻³。整体而言,全部天气条件下,除2004年外,新疆PM₁₀浓度年际变化基本稳定。PM₁₀波动范围为96~177 μg·m⁻³,多年均值为112 μg·m⁻³;晴空条件下,新疆的PM₁₀浓度年际变化整体上呈上升趋势,波动较大,波动范围为49~140 μg·m⁻³,多年均值为102 μg·m⁻³。整体来看,全部天气条件下的PM₁₀浓度均值大于晴空条件。

2.3.2 新疆PM₁₀浓度特征与能见度(干能见度、干消光系数)的关系

为降低相对湿度可能对不同区域产生的差异,本节引入干消光系数和干能见度两个相对订正因子。

2004—2013年新疆全部天气条件、晴空条件能见度,以及晴空条件干能见度均为天山以北高于天山以南,相应的晴空干消光系数为天山以北低于天山以南(图7)。

就天山以北的4个站点而言,晴空条件下的能见度都比全部天气条件下的要高,伊宁、塔城、乌

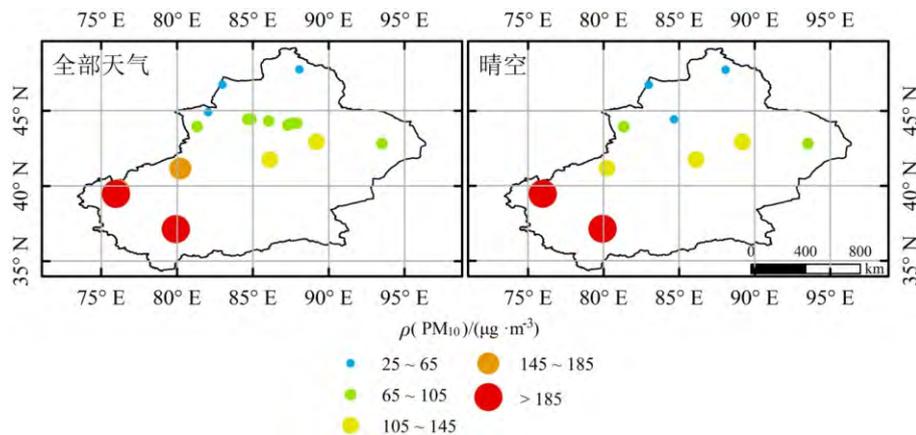


图5 2004—2013年新疆PM₁₀浓度空间分布图

Fig. 5 The Spatial distribution of PM₁₀ concentration in Xinjiang from 2004 to 2013

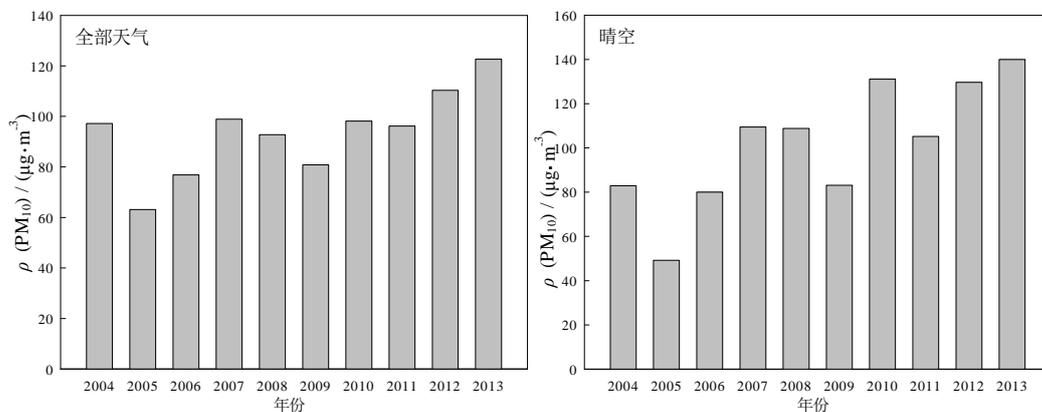


图6 2004—2013年新疆PM₁₀浓度年际变化图

Fig. 6 The interannual variability of PM₁₀ concentrations in Xinjiang from 2004 to 2013

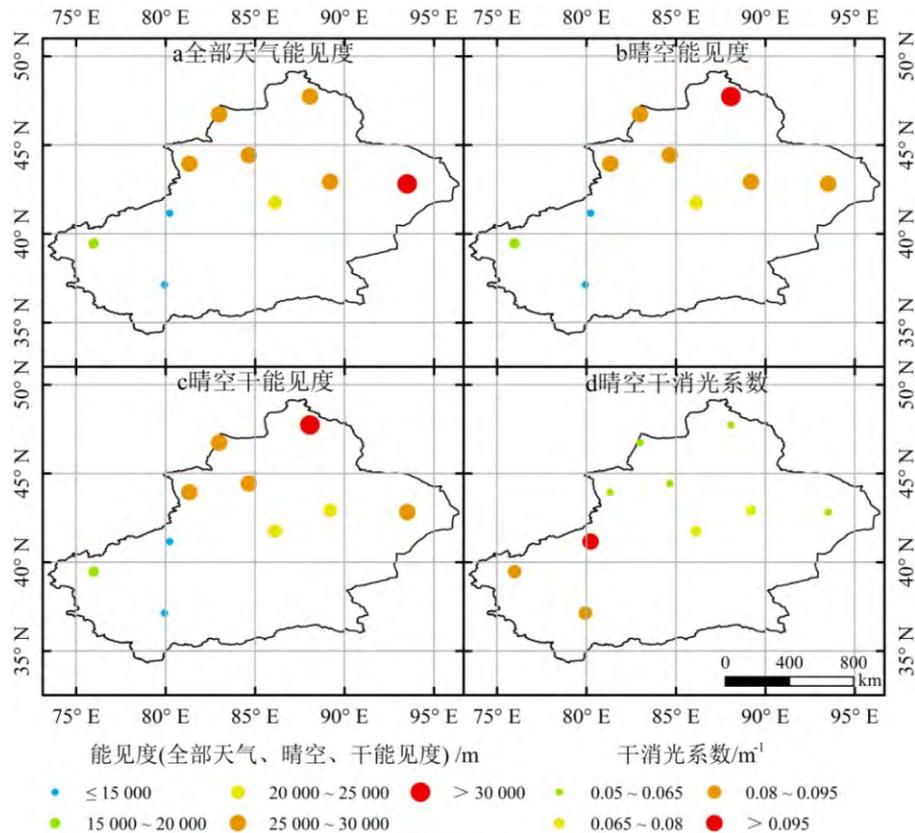


图 7 2004—2013 年新疆水平能见度的空间分布

Fig. 7 The spatial distribution of horizontal visibility in Xinjiang from 2004 to 2013

苏、阿勒泰的晴空能见度分别比全部天气能见度增加了 1 224、1 074、802、1 484 m (图 7b)。经订正后的晴空干能见度也比晴空能见度略微高些，尤其是阿勒泰增加了 658 m (图 7c)。天山以北 4 个站点的晴空干消光系数波动范围为 0.05~0.12 m⁻¹。纬度越高，受人类活动影响越少的站点，干消光系数越小。

天山以南的 6 个站点，晴空条件能见度与全部天气能见度相比都减少了，即晴空能见度相对较差，这可能是由于无天气过程影响的晴空条件下 PM₁₀ 浓度值较高的缘故。其中和田、喀什、库尔勒的晴空能见度分别比全部天气能见度减少了 1 093、938、897 m (图 7b)。除阿克苏外，订正后的晴空干能见度也比订正前要低，尤其是吐鲁番和田分别减少了 1 087、736 m (图 7c)。即经过湿度订正后的晴空干能见度还是因为 PM₁₀ 的影响而较低。天山以南站点的晴空干消光系数波动范围为 0.05~0.08 m⁻¹。

整体而言，新疆天山以北站点的晴空能见度比全部天气能见度略微高些、经订正后的晴空干能见度比订正前高些。但天山以南站点的晴空能见度却比全部天气能见度要低、经订正后的晴空干能见度也比订正前低。这可能是由于人口分布较多的天山

以南受 PM₁₀ 污染影响较多。

在分析 PM₁₀ 浓度与水平能见度之间的关系时，需要考虑气象观测站与环境监测站的差异。每日平均的 PM₁₀ 浓度反映的是城市以及郊区多个监测站的平均情况，而气象测站却是单点记录，而且，PM₁₀ 浓度在不同时刻、不同地点的变化很大。为了降低分析误差，我们将 PM₁₀ 数值以 100 μg·m⁻³ 为步长进行分组，这样处理，一是可以忽略每档内每日 PM₁₀ 浓度之间的观测误差，二是在一定程度上将日 PM₁₀ 浓度的非正态分布正态化，更适合进行统计分析(郭元喜等，2012)。图 8 表明，随着 PM₁₀ 浓度的增长，水平能见度整体上呈现出下降的趋势。当 PM₁₀ 浓度为负距平时，能见度距平多为正值，且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值高，而当 PM₁₀ 浓度为正距平时，能见度距平多为负值，且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值低。

3 结论

(1) 2011—2013 年，整个西北干旱区的 PM₁₀ 浓度存在明显的区域差异，新疆的 PM₁₀ 浓度明显高于甘肃、内蒙古。新疆和甘肃大部分城市的 PM₁₀ 浓度已超过国家二级质量标准。3 省的 PM₁₀ 浓度最高值分别出现在喀什、酒泉和乌海。就季节分布而

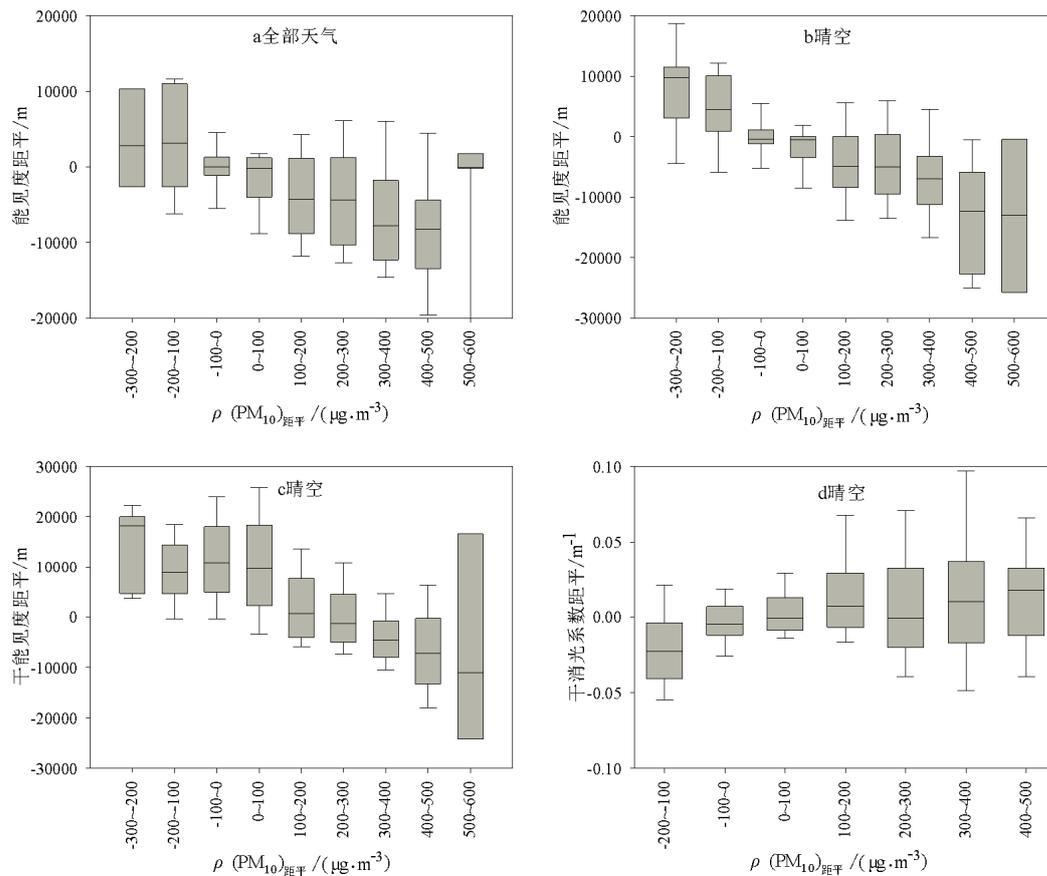


图8 2004—2013年新疆PM₁₀浓度与能见度(全部天气、晴空、干能见度、干消光系数)的关系

Fig. 8 The relationship between PM₁₀ concentration and horizontal visibility

(all weather, clear sky, dry visibility, dry extinction coefficient) in Xinjiang from 2004 to 2013)

言, 整个西北干旱区冬春季PM₁₀浓度相对较高, 秋季次之, 夏季最低。

(2) 2011—2013年, 绝大多数西北干旱区的PM₁₀浓度月变化波动比较大, 基本呈现出“M”型、“U”型、“N”型和“n”型4种变化趋势, 即冬春季节高于夏秋季节。

(3) 随着PM₁₀浓度的增长, 水平能见度整体上呈现出下降的趋势。当PM₁₀浓度为负距平时, 能见度距平多为正值, 且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值高, 而当PM₁₀浓度为正距平时, 能见度距平多为负值, 且对应的水平能见度比相应气象条件下的平均值低。

参考文献:

- BUSECK P R, POSFAI M. 1999. Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment[J]. *Proceedings of National Academy of Science USA*, 96(7): 3372-3379.
- CHE H Z, ZHANG X Y, LI Y, et al. 2007. Horizontal visibility trends in China 1981-2005[J]. *Geophysical Research Letters*, 34, L24706, doi: 10.1029/2007GL031450.
- CHOI Y S, HO C H, CHEN D, et al. 2008. Spectral analysis of weekly

variation in PM₁₀ mass concentration and meteorological conditions over China[J]. *Atmospheric Environment*, 42(4): 655-666.

CHUNG Y S, KIM H S, JUGDER D, et al. 2003. On sand and duststorms and associated significant dustfall observed in Chongju-Chongwon, Korea during 1997-2000[J]. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 3(2): 5-19.

DAYAN U, LEVY I. 2005. The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM₁₀ and visibility in Tel Aviv[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5): 606-619.

DAYAN U, ZIV B, SHOUB T, et al. 2008. Suspended dust over southeastern Mediterranean and its relation to atmospheric circulations[J]. *International Journal of Climatology*, 28(7): 915-924.

DOCKERY D W, POPE C A. 1994. Acute respiratory effects of particulate air pollution[J]. *Annual Review of Public Health*, 15: 107-132.

FUJI T, HAYASHI S, HOGG J C, et al. 2001. Particulate matter induces cytokine expression in human bronchial epithelial cells[J]. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 25(3): 265-271.

GB 3095-2012. 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社.

GONG D Y, HO C H, CHEN D, et al. 2007. Weekly cycle of aerosol-meteorology interaction over China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 112, D22202, doi: 10.1029/2007JD008888.

GRIFFING G W. 1980. Relationships between the prevailing visibility, nephelometer scattering coefficient, and sunphotometer turbidity coefficient[J]. *Atmospheric Environment*, 14(5): 577-584.

- HUSAR R B, HOLLOWAY J M. 1984. The properties and climate of atmospheric haze[C]/Ruhnke L H, Deepak A. Hygroscopic Aerosols. Hampton, Virginia, USA: Deepak Publishing.
- KOSCHMIEDER H. 1926. Theorie der horizontalen Sichtweite Beit[J]. Physical Atmosphere, 12: 33-55.
- MENON S, HANSEN J E, NAZARENKO L, et al. 2002. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. Science, 297(5590): 2250-2253.
- OZKAYNAK H A, SCHATZ D, THURSTON G D, et al. 1985. Relationships between aerosol extinction coefficients derived from airport visual range observations and alternative measure of airborne particle mass[J]. Journal of Air Pollution Control Association, 35(11): 1176-1185.
- QU W J, ARIMOTO R, ZHANG X Y, et al. 2010. Spatial distribution and interannual variation of surface PM₁₀ concentrations over eighty-six Chinese cities[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 10(12): 5641-5662.
- ROSENFELD D, DAI JIN, YU XING, et al. 2007. Inverse relations between amounts of air pollution and orographic precipitation[J]. Science, 315(5817): 1396-1399.
- TA W Q, WANG T, XIAO H L, et al. 2004. Gaseous and particulate air pollution in the Lanzhou Valley, China[J]. Science of The Total Environment, 320(2-3): 163-176.
- WANG Y Q, ZHANG X Y, GONG S L, et al. 2008. Surface observation of sand and dust storm in East Asia and its application in CUACE/Dust[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 8(3): 545-553.
- 安俊岭, 张仁健, 韩志伟. 2000. 北方15个大型城市总悬浮颗粒物的季节变化[J]. 气候与环境研究, 5(1): 25-29.
- 郭元喜, 龚道溢, 汪文珊, 等. 2012. 中国中东部秋季 PM₁₀ 时空变化及其与日气温的关系[J]. 地理学报, 67(9): 1155-1164.
- 纪飞, 苏文颖, 秦瑜. 2001. 对流层光化学过程中的气粒转化研究[J]. 大气科学, 25(2): 269-276.
- 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 2003. 北京市能见度下降与颗粒物污染的关系[J]. 环境科学学报, 23(4): 468-471.
- 王淑英, 张小玲, 徐晓峰. 2003. 北京地区大气能见度变化规律及影响因素统计分析[J]. 气象科技, 31(2): 109-114.
- 魏复盛, 胡伟, 滕恩江, 等. 2000. 空气污染与儿童呼吸系统患病率的相关分析[J]. 中国环境科学, 20(3): 220-224.
- 赵伟, 刘红年, 吴润. 2008. 中国春季沙尘气溶胶的辐射效应及对气候影响的研究[J]. 南京大学学报: 自然科学, 44(6): 598-607.
- 朱能文. 2005. 颗粒物浓度的影响因素及变化规律[J]. 环境科学动态, (2): 16-18.

The PM₁₀ Concentration Characteristics and Its Relationship with Horizontal Visibility in Arid Northwest China

QIU Xue, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie

College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: By using the API, PM₁₀ data from meteorological departments and the visibility, humidity data from environmental departments, the spatial and temporal distribution characteristics of 19, 5, 13 PM monitoring stations in Xinjiang, Gansu, Inner Mongolia in arid northwest China in 2011—2013 is analyzed respectively. The relationship between PM₁₀ concentration and horizontal visibility(including all weather and clear sky, dry visibility and dry extinction coefficient) in Xinjiang is researched, to realize PM₁₀ concentration situation in arid northwest China and to provide a scientific basis to control PM₁₀ pollution. The results show that: (1)From 2011—2013, there are obvious differences in PM₁₀ concentration over the whole arid northwest China, and the PM₁₀ concentration in Xinjiang is significantly higher than in Gansu, Inner Mongolia. The PM₁₀ concentration of the most cities in Xinjiang and Gansu has already exceeded the national quality standards grade 2. In terms of the seasonal distribution, the PM₁₀ concentration in spring and winter is relatively higher than in autumn over the whole arid northwest China, and in summer the lowest. (2)From 2011—2013, the PM₁₀ concentration monthly variability fluctuations of the most cities in arid northwest China are large, and the fluctuation curves are “M”, “U”, “N” and “n”, respectively. (3) PM₁₀ concentration is negatively correlated with the level of horizontal visibility. To reduce the analytical deviation, PM₁₀ data is grouped by 100 μg·m⁻³ step, and the relationship between PM₁₀ concentration anomaly and horizontal visibility anomaly is analyzed. Visibility anomaly shows positive value if PM₁₀ concentration is negative anomaly, and the horizontal visibility is higher than mean value under the correspondingly appropriate weather conditions. Visibility anomaly shows negative value if PM₁₀ concentration is positive anomaly, and the horizontal visibility is lower than mean value under the correspondingly appropriate weather conditions.

Key words: PM₁₀; arid northwest China; Xinjiang; horizontal visibility