

The Forecast and Effect Text of Air Pollution in Changji from 2016 to 2018 Years

Qiuxia Huang¹, Chunyan Wang¹, Bohua Zhen^{2*}, Xiaoxiao Tao¹, Aikedai Shalamu³

¹Changji Meteorology Bureau, Changji Xinjiang

²Weather Modification Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

³Kezhou Meteorological Bureau, Kezhou Xinjiang

Email: huangqiuxia0718@163.com, *115125991@qq.com

Received: May 19th, 2020; accepted: Jun. 8th, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

Based on the correlation analysis between daily air quality concentration and corresponding period of the meteorological factors at high altitude and ground in Changji City from January 2016 to December 2018, the multiple linear regression equation was established by SPSS software, and the prediction effect was tested. The concrete conclusions were as follows: 1) The change of concentration of various pollutants was basically V-shaped, and winter was the season in which the mass concentration of pollutants increased sharply; the change trend of ozone was "inverted V" type, and summer was the season with the highest mass concentration; the mass concentration of PM10 and PM2.5 increased obviously in winter; 2) PM10 as the primary pollutant appeared most frequently in spring, while the ozone as the primary pollutant appeared most frequent pollutant in summer, PM10 as the primary pollutant was appeared in autumn again, the most high frequency of PM2.5 was in winter, and SO₂ was not as a primary pollutant in four seasons; 3) The air quality in spring, summer and autumn was mainly secondary; 4) According to the test of forecast effect, the forecast value was higher, the forecast error of PM10 concentration in summer was bigger, and the other pollutants were slightly higher; the forecast result was slightly higher than the actual situation, the forecast effect of summer half year was better than winter half year, the forecast effect of PM10, PM2.5 was worse, the forecast effect of SO₂, CO and NO₂ was better; the prediction effect for air quality with serious pollution was poor.

Keywords

Air Pollution, AQI, Changji, Test, Multiple Linear Regression

2016~2018年昌吉市空气污染预报及效果检验

黄秋霞¹, 王春燕¹, 郑博华^{2*}, 陶笑笑¹, 艾克代·沙拉木³

¹昌吉回族自治州气象局, 新疆 昌吉

*通讯作者。

²新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室, 新疆 乌鲁木齐

³克州气象局, 新疆 克州

Email: huangqixia0718@163.com, 115125991@qq.com

收稿日期: 2020年5月19日; 录用日期: 2020年6月8日; 发布日期: 2020年6月15日

摘要

基于2016年1月至2018年12月昌吉市逐日空气质量浓度与同期高空、地面气象要素进行了相关性分析, 利用SPSS软件建立了多元线性回归方程, 并对预报效果进行检验, 具体结论如下: 1) 各类污染物变化基本呈V型, 冬季是各类污染物质量浓度剧增的季节; 其中臭氧的变化趋势为倒V型, 夏季是质量浓度最高的季节; PM₁₀、PM_{2.5}的质量浓度在冬季增加明显; 2) PM₁₀作为首要污染物在春季出现的次数最多, 夏季中臭氧的作为首要污染物出现次数最多; 秋季中PM₁₀再次转为首要污染物; 冬季PM_{2.5}出现频次最多, 四季中SO₂未作为首要污染物出现; 3) 春季、夏季和秋季空气质量主要以二级(良)为主; 4) 预报效果检验来看, 预报值偏高, 夏季PM₁₀浓度预报值误差较大, 其他类污染物为略偏高; 预报结果较实况略偏高, 夏半年的预报效果优于冬半年, PM₁₀、PM_{2.5}预报效果较差, SO₂、CO和NO₂的预报效果较好; 针对严重污染的空气质量预报效果较差。

关键词

空气污染, AQI, 昌吉, 检验, 多元线性回归

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的快速发展, 大气污染作为一个主要的环境问题正日趋凸显。自2001年6月47个环保重点城市联合发布环境空气质量预报至今, 很多城市相继开展大气污染预报业务。在气象业务技术改革的推动下, 气象部门的业务领域不断拓展, 研究和发布大气污染预报势在必行, 大气污染预报逐渐被各级气象和环保部门纳入常规业务中[1]。

目前, 常用的空气污染预报方法主要有统计预报、潜势预报和数值预报三种。数值预报方法对各种大气污染物在不同尺度下的不同类型污染过程进行模拟, 是未来空气污染预报的发展趋势, 但是此预报需要高分别率的气象数据和污染源作为数据支撑, 在一些监测水平较低的中小城市较难实现[2][3]。潜势预报避开了不确定性的污染源, 重点关注影响空气质量的气象因子[1][4]。美国自20世纪70年代已经开始了关于空气污染潜势预报相关的研究, 通过确定空气的滞留区域, 可预报出可能出现严重污染的气象条件[5][6]。近年来我国气象专家在空气污染预报方面做了许多研究工作, 如程水源等通过计算混合层高度预报污染物长期平均浓度[7]; 王迎春等考虑气象要素、不同的天气形势的影响下, 利用加权方法得出空气污染潜势指数[8]; 刘实、李琼等将污染指数与气象要素建立非线性关系, 进一步建立空气污染潜势预报统计模型[9][10]; 徐大海、周小珊等利用大气平流扩散箱格模型确定潜势指数, 用中尺度模型做污染气象条件预报等[11][12]。虽然目前模式预报的发展较为迅速, 但受模式所需的资料限值, 预报准确率

方面,统计模型效果较好[13]。统计预报模型是以数理统计为基础,以空气污染资料和同期气象资料为依据建立的预报模型,目前利用多元回归方法制作污染指数预报的研究较多。

发达城市早在十几年前大范围、大力度的开展了大气污染预报,新疆近几年才开始,仅在乌鲁木齐、石河子和哈密等少数地区开展了相关研究,主要集中在 TSP 离子化学组分、大气混合层厚度变化和空气污染变化特点等方面[14]-[24]。前期昌吉市针对大气污染方面的研究主要集中在大气污染现状和机理研究方面,有关昌吉市大气污染预报与检验方面的相关研究尚未开展。由于大气污染严重影响市民的生活质量和招商投资环境,为了营造良好的生存空间及投资环境,开展昌吉市空气污染预报统计模型研究具有十分重要的意义,即可以填补昌吉市大气污染预报与效果校验的空白,亦可供沿天山一带气候特点类似的城市提供预报参考方法,共同为新疆的环境保护提供一定的决策依据。

2. 资料及方法说明

2.1. 污染物质量浓度资料

由于当日污染物浓度实况值作为污染物变化的基础因子,反映了污染物的变化情况,通常是影响次日污染物浓度的最显著的因子,本文选取前一次污染物浓度作为重要的影响因子。本文所用的六项污染物质量浓度数据由昌吉州生态环境保护局提供,已经过质量控制,保证了数据的可靠性;时间采用北京时间;考虑到 2016 年以后昌吉市常规观测的污染物由三项(二氧化硫、二氧化碳、PM10)增加为六项(二氧化硫、二氧化碳、PM10、PM2.5、一氧化碳、臭氧),且 2016 年以后本地保存有较为完整的地面与高空数据,为确保气象要素与大气污染物质量浓度间建立良好的线性关系,本文大气污染物质量浓度统计时间为 2016 年 1 月至 2018 年 12 月。

2.2. 气象因子的选取

考虑大气污染物水平与垂直扩散的机理,本文选取代表大气水平扩散能力的地面气象要素,包括:风场(2 min 风速、风向和 10 min 风速、风向)、气压场;代表大气垂直扩散能力的水汽压、温度(日平均气温、高温、低温、整点气温)、最小相对湿度、露点、温度露点差;污染物扩散与稀释能力的气象要素:日降水量。高空气象要素选取可以及时获取的 850 hPa、700 hPa 风速、风向、气温、露点、温度露点差。共计 9 种气象要素 62 项因子。

2.3. 研究的方法

影响大气污染的气象因素较多,本文选取应用最广泛的逐步多元线性回归方法,借助 SPSS (Statistical Package for the Social Science)软件来建立方程。SPSS 是世界上最早采用图形菜单驱动界面的统计软件,具有操作界面友好,输出结果美观等特点,具备完整的数据输入、编辑、统计分析、报表、图形制作等功能,应用较为广泛。

本文采用逐步回归的方法对前一日污染物浓度和气象要素做预报模型,在综合考虑冬半年与夏半年的大气混合层厚度和稳定度存在较大的差异,为了提高预报准确率,统计时段分为高污染期(11 月至次年 2 月)和低污染期(3 月至 10 月)。待选因子进入模型的显著性水平控制为 0.10,模型自动剔除因子的显著性水平控制为 0.15,得到各污染物质量浓度预报方程。

通过得出的预报模型反向预测污染物浓度,计算预测值与实况值的平均误差、相对误差、与实况值的相关系数及级别预报准确率。

设 F_i 为某格点第 i 天的预报温度, O_i 为某格点第 i 天的实况温度。平均误差为预报值与实况值之差,其绝对值越小,误差越小;均方根误差是指预报值与实况值之差平方的期望值,值越小,说明数据的精

确度越高。

平均误差:

$$T_{ME} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (1)$$

均方跟误差:

$$T_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

级别预报准确率是指对预报的污染物浓度进行进一步的计算空气质量指数 AQI (Air Quality Index) 并确定污染等级, 然后采用级别评定对结果进行评分, 当预报与实况等级一致时为正确预报, 反之错误, 预报准确率为预报准确个数占样本总数的百分比。

3. 空气质量变化特征

从 2016 年至 2018 年昌吉市六类污染物质量浓度的月变化(图 1)可以看出, 各类污染物变化基本呈 V 型, 冬季是各类污染物质量浓度剧增的季节, 是夏季的数倍; 其中臭氧的变化趋势为倒 V 型, 夏季是质量浓度最高的季节, 臭氧是当前城市大气光化学烟雾的主要产物, 城市中臭氧过高的原因, 一方面是氮氧化物和挥发性有机物在空气中进行复杂的光化学反应而形成; 另一方面, 与高温、强烈的太阳辐射等气象外部条件有关。此外 CO、SO₂ 的质量浓度较其他污染物浓度偏低; PM₁₀、PM_{2.5} 的质量浓度在冬季增加明显, 冬季为夏季的 5 至 6 倍, 浓度超《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准, 环境大气有一定的污染; NO₂ 质量浓度变化较其他类变化略微平缓, 春季是浓度最小的季节。

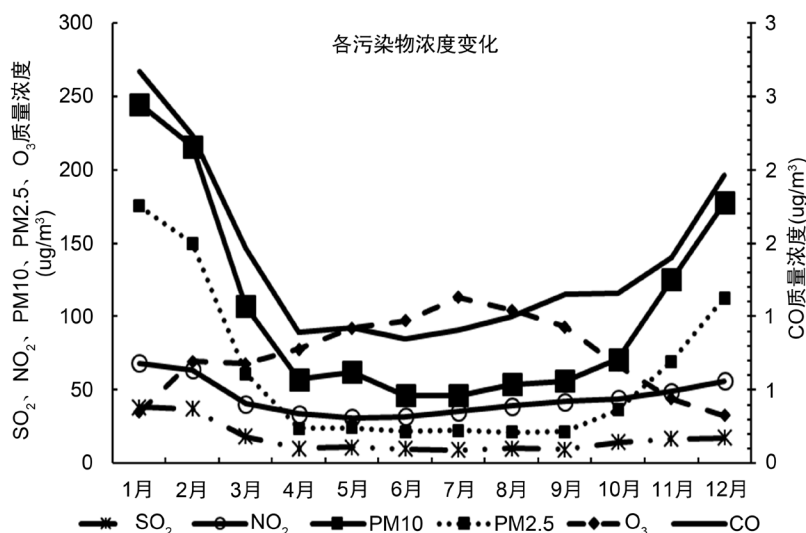


Figure 1. Characteristics of mass concentration changes of six types of pollutants
图 1. 六类污染物质量浓度变化特征

结合表 1 可以看出, PM₁₀ 作为首要污染物在春季出现的次数最多, 可能由于春季多大风天气过程, 且农事上存在春耕松土的现象, 导致空气中 PM₁₀ 浓度增大; 夏季中臭氧的作为首要污染物出现次数为 148 次, 臭氧浓度的增加与光化学反应和夏季较高的气温、强烈的太阳辐射关系密切; 秋季中 PM₁₀ 再次转为首要污染物, 其次为 NO₂ 和 PM_{2.5}, 秋季中秸秆燃烧、汽车尾气排放等原因会造成 NO₂ 浓度的增加, PM_{2.5} 来源复杂, 可由各种工业过程、燃煤与燃气或燃油排放的烟尘转化而成; 冬季 PM_{2.5} 出现频

次 251 次, 较其他类污染物(共 16 次)明显多, 占 94%, 几乎冬季首要污染物均为 PM2.5。四季中 SO₂ 未作为首要污染物出现。

Table 1. The main pollutants and air quality frequency of various grades in Changji City from 2016 to 2017
表 1. 2016~2017 年昌吉市首要污染物及各等级空气质量频次

项目	首要污染物出现频次						各等级空气质量出现频次					
	SO ₂	NO ₂	PM10	PM2.5	CO	O ₃	一级	二级	三级	四级	五级	六级
春季	0	38	112	45	2	45	79	183	13	7	8	2
夏季	0	56	51	0	3	148	65	203	8	0	0	0
秋季	0	65	84	65	3	22	51	183	13	13	2	1
冬季	0	5	11	251	1	0	1	28	63	56	99	18
总计	0	164	258	361	9	215	196	597	97	76	109	21

从各等级空气质量出现频次上来看, 春季、夏季和秋季空气质量主要以二级(良)为主, 分别占总频次的 63%、71%、70%, 可见空气质量总体较好; 冬季空气质量为五级(重度污染)出现了 99 次, 占总频次的 37%, 出现了 18 次严重污染。可以看出, 夏季空气质量最好, 冬季受大气逆温层、少降水、多阴雾、小风等原因的影响, 空气质量最差。

4. 逐步回归方法制作空气质量预报

4.1. 空气质量预报

逐步线性回归法必须满足有较长时期的污染物浓度和气象参数的同步监测资料, 且在此段时间内污染源基本保持不变的条件下[26] [27], 故将六种污染物分夏半年和冬半年分别来建立相应的方程, 选取方程拟合度较高的方程为最终的方程。通过气象要素与各类污染物浓度建立相关性, 选择相关性较好的气象要素, 主要包括: x_1 : 08 时 850 hPa 温度, x_2 : 日平均 10 分钟风向, x_3 : 日平均最低温度, x_4 : 20 时 850 hPa 风速, x_5 : 08 时 10 分钟风速, x_6 : 14 时气温, x_7 : 20 时露点温度, x_8 : 日平均湿度, x_9 : 20 时气温, x_{10} : 08 时 700 hPa 湿度, x_{11} : 08 时 10 分钟风向, x_{12} : 20 时 700 hPa 露点, x_{13} : 20 时 2 分钟风速, x_{14} : 02 时露点温度, x_{15} : 08 时 850 hPa 湿度, x_{16} : 20 时水汽压, x_{17} : 08 时 850 hPa 风速, x_{18} : 14 时 2 分钟风向, x_{19} : 20 时 850 hPa 温度, x_{20} : 08 时温度露点差, x_{21} : 08 时 850 hPa 露点, x_{22} : 日最高温度, x_{23} : 日平均 2 分钟风向, x_{24} : 日平均 10 分钟风速, x_{25} : 14 时 10 分钟风速, x_{26} : 08 时水汽压, x_{27} : 08 时湿度, x_{28} : 日平均 2 分钟风速, x_{29} : 14 时水汽压。

以重污染期(11 月至次年 2 月)为例列出方程, 单位为 ug/m³, 具体如下:

$$\text{SO}_2 = -51.887 + 1052 * x_1 - 0.074 * x_2 - 2.623 * x_3 + 0.569 * x_4 - 4.611 * x_5 + 1.485 * x_6 - 4.402 * x_7 + 0.6112 * x_8 + 3.313 * x_9 + 0.112 * x_{10} + 0.020 * x_{11} - 0.339 * x_{12} + 3.158 * x_{13} \quad (3)$$

$$\text{NO}_2 = 57.064 - 1.307 * x_{14} + 1.946 * x_{15} + 0.225 * x_{16} - 5.994 * x_{17} + 0.851 * x_{18} + 0.025 * x_{19} - 0.048 * x_{20} \quad (4)$$

$$\text{PM10} = 460.881 - 52.958 * x_{21} + 5.668 * x_{22} - 18.421 * x_{23} - 0.276 * x_{24} + 3.775 * x_{25} - 7.013 * x_{26} + 4.911105384750788 * x_{27} \quad (5)$$

$$\text{PM2.5} = 280.041 - 5.009 * x_{28} + 3.698 * x_{29} - 0.219 * x_{30} - 25.343 * x_{31} + 3.209 * x_{32} - 5.832 * x_{33} \quad (6)$$

$$\text{O}_3 = 419.570 - 26.654 * x_{34} + 2.235 * x_{35} - 10.807 * x_{36} - 3.832 * x_{37} + 16.154 * x_{38} - 0.500 * x_{39} + 6.869 * x_{40} \quad (7)$$

4.2. 预报结果分析

4.2.1. 平均误差与均方根误差

通过表 2 中平均误差来看,无论冬半年还是夏半年平均误差为正值,说明预报值偏高,由于夏季 PM10 浓度值本身较大,平均误差也较大,其他类污染物为略偏高;从平均绝对误差来看,除 O₃ 为夏半年误差大于冬半年,其他五类污染物均为夏半年平均绝对误差小于冬半年,其中 NO₂、CO 的预报效果最好,夏半年中的 PM10、PM2.5 预报效果较差;均方根误差是反映一个数据集的离散程度,值越小表示误差的变化幅度小,从均方根误差来看,SO₂ 和 CO 的均方根误差较小,PM10、PM2.5 预报的均方根误差较大。综合来看,预报结果较实况略偏高,夏半年的预报效果优于冬半年,PM10、PM2.5 预报效果较差,SO₂、CO 和 NO₂ 的预报效果较好。

Table 2. Forecast errors of six types of pollutants

表 2. 六类污染物预报误差

污染物	时段	样本数	平均值	平均误差	平均绝对误差	均方根误差
SO ₂	夏半年	734	11.6	0.3	4.3	10.9
	冬半年	359	27.3	1.1	9.5	12.1
NO ₂	夏半年	734	37.3	0.1	10.8	30.1
	冬半年	359	59.54	0.9	12.3	16.1
PM10	夏半年	733	62.8	55.2	61	77.9
	冬半年	359	190.8	3.7	58.0	86.5
PM2.5	夏半年	734	29.3	5.2	17	62.9
	冬半年	359	126.8	4.1	39.7	51.5
CO	夏半年	734	1.0	-0.02	0.3	0.8
	冬半年	359	2.1	0.03	0.5	0.7
O ₃	夏半年	734	89.1	1.0	20.1	26.3
	冬半年	359	43.6	0.4	15.1	19.8

4.2.2. AQI 级别预报准确率

通过表 3 可以看出,预报模型在夏半年预报二级(良)的准确率为 60%,三级准确率仅为 17.2%,未报出四级和五级;冬半年的预报准确率较高,一级达 100%,二级 68%,三级 71.5%,四级 100%,未预报出五级和六级。可以看出预报模型对冬半年预报优于夏半年,但是针对严重污染的空气质量预报效果较差。

Table 3. Forecast accuracy of air quality grade

表 3. 空气质量等级预报准确率

		一级	二级	三级	四级	五级	六级
夏半年	样本数	1	666	64	-	4	-
	正确个数	0	400	11	-	0	-
	准确率	0	60%	17.2%	-	0	-
冬半年	样本数	1	97	260	2	-	-
	正确个数	1	66	186	2	-	-
	准确率	100%	68%	71.5%	100%	-	-

5. 逐步回归法预报污染物质量浓度的误差分析

预报模型是建立在“污染源不变”这各假设的基础上,而事实上污染源排放存在周末效应、城市热岛效应等,并且人类活动对污染源排放也会起到一定的负面作用,污染源头存在较为复杂的现象[25],而该模型没有考虑污染源的变化,势必会对结果造成预报误差。

另外,当有剧烈天气变化时,预报主体会存在明显的转折性动态变化,天气的转折变化直接影响到空气质量的转折变化,二者的不同步是预报模型产生误差的主要原因之一。

鉴于以上产生预报误差的原因,在以后的工作中要充分考虑天气系统的变化,建立天气预报中的转折预报,对未来空气质量、分季节、分时段制作定性预报,可以更加客观、真实地反映空气质量的变化,提高空气质量的预报准确率。

6. 结论

本文对2016年1月至2018年12月空气质量浓度与气象要素进行了分析,利用SPSS软件建立了多元线性回归方程,并对预报效果进行检验,具体结论如下:

1) 从六类污染物质量浓度的月变化可以看出,各类污染物变化基本呈V型,冬季是各类污染物质量浓度剧增的季节;其中臭氧的变化趋势为倒V型,夏季是质量浓度最高的季节;CO、SO₂的质量浓度较其他污染物浓度偏低;PM₁₀、PM_{2.5}的质量浓度在冬季增加明显,冬季为夏季的5至6倍;NO₂质量浓度变化较其他类变化略微平缓,春季是浓度最小的季节。

2) PM₁₀作为首要污染物在春季出现的次数最多,夏季中臭氧的作为首要污染物出现次数最多,为148次;秋季中PM₁₀再次转为首要污染物;冬季PM_{2.5}出现频次最多,为251次,占94%,几乎冬季首要污染物均为PM_{2.5}。四季中SO₂未作为首要污染物出现。

3) 从各等级空气质量出现频次上来看,春季、夏季和秋季空气质量主要以二级(良)为主;冬季空气质量为五级(重度污染)出现了99次,占总频次的37%,出现了18次严重污染。夏季空气质量最好,冬季受大气逆温层、少降水、多阴雾、小风等原因的影响,空气质量最差。

4) 通过检验预报方程的效果来看,预报值偏高,夏季PM₁₀浓度预报值误差较大,其他类污染物为略偏高;预报结果较实况略偏高,夏半年的预报效果优于冬半年,PM₁₀、PM_{2.5}预报效果较差,SO₂、CO和NO₂的预报效果较好;针对严重污染的空气质量预报效果较差。

基金项目

新疆气象局中亚大气科学研究基金课题(CASS201719)资助。

参考文献

- [1] 魏璐,朱伟军,陈海山.郑州市空气质量统计预报方法探讨[J].南京气象学院学报,2009,32(2):314-320.
- [2] 王芳,程水源,李明君,等.遗传算法优化神经网络用于大气污染预报[J].北京工业大学学报,2009,35(9):1231-1234.
- [3] 杨民,王庆梅,马印飞.兰州市大气污染气象潜势预报研究[J].甘肃环境研究与监测,2002,15(3):155-157.
- [4] 黄晓娴,王体健,江飞.空气污染潜势-统计结合预报模型的建立及应用[J].中国环境科学,2012,32(8):1400-1408.
- [5] 程水源,郝瑞霞,杨智明.关于大气污染预测方法的新探讨[J].环境科学丛刊,1991,12(2):34-38.
- [6] 胡春梅,刘德,陈得劲.重庆市空气污染扩散气象条件指标研究[J].气象科技,2009,37(6):665-669.
- [7] 程水源,郝瑞霞.城市大气污染物长期平均浓度计算方法的研究[J].环境科学丛刊,1990,11(2):44-48.
- [8] 王迎春,孟燕军,赵习方.北京市空气污染业务预报方法[J].气象科技,2001,29(4):42-46.

- [9] 刘实, 王宁, 朱其文, 等. 长春市空气污染潜势预报的统计模型研究[J]. 气象, 2002, 28(1): 8-12.
- [10] 李琼, 李福桥, 叶燕翔, 等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系[J]. 热带气象学报, 1999, 15(4): 363-369.
- [11] 徐大梅, 朱蓉. 大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报[J]. 应用气象学报, 2000, 11(1): 1-11.
- [12] 周小珊, 张立祥, 刘万军. 利用中尺度模型做辽宁省空气污染气象条件预报[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 129-135.
- [13] 孙明华, 徐大海, 朱蓉, 等. 城市空气臭氧污染业务预报方案研究[J]. 气象, 2002, 28(4): 3-8.
- [14] 刘新春, 钟玉婷, 河清, 等. 乌鲁木齐大气总悬浮颗粒物(TSP)离子化学组分及影响因素[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 713-720.
- [15] 阿依古丽·艾力亚斯, 玉米提·哈力克, 迈迪娜·吐尔逊. 阿克苏市空气污染及其变化分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 649-654.
- [16] 魏疆, 陈学刚, 任泉, 等. 乌鲁木齐市能源结构调整对冬季大气污染物浓度的影响[J]. 干旱区研究, 2015, 32(1): 155-160.
- [17] 李帅, 郭志忠, 胡列群, 等. 乌鲁木齐冬季大气中黑炭气溶胶污染特征[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 727-734.
- [18] 李四清, 张向东. 气象因子与空气质量监测预报的关系[J]. 现代农业科技, 2007(16): 233-236.
- [19] 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.
- [20] 赵克明, 李霞, 杨静. 乌鲁木齐大气最大混合层厚度变化的环境响应[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 509-513.
- [21] 赵克明, 李霞, 孙鸣婧, 等. 乌鲁木齐冬季浅薄型焚风对大气扩散条件及空气质量的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 13-20.
- [22] 巩庆, 范金霞, 林卫, 等. 2014-2015年新疆库尔勒市空气质量的时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 77-82.
- [23] 屠月青, 穆彩云. 哈密市空气污染物浓度分布特征及其与气象因子的关系[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(6): 42-46.
- [24] 杨兴华, 河清, 刘涛, 等. 乌鲁木齐市冬季混合层厚度及对大气污染影响的个例分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(4): 18-21.
- [25] 赵惠芳, 陈雅莲, 唐会荣, 等. 晋江城市空气质量污染潜势统计预报方法初探[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(5): 27-30.
- [26] 张朝能, 胡兵. 空气质量预报方法综述[J]. 云南环境科学, 2003, 22(2): 55-57.
- [27] 许杨, 王凯, 贾桥莲, 等. 2007-2008年武汉市空气质量预报及检验[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 81-84.