

塔城地区南部冬季能见度特征及其影响因子分析

张 玉¹, 许 铭², 罗斌全²

¹乌苏市气象局, 新疆 乌苏

²塔城地区气象局, 新疆 塔城

收稿日期: 2021年9月22日; 录用日期: 2021年10月21日; 发布日期: 2021年10月28日

摘 要

利用塔城地区南部乌苏、沙湾2015年~2020年国家气象观测站地面观测资料和环境监测站大气污染监测资料, 分析塔城地区南部大气能见度与污染要素和气象因子之间的关系。结果表明: 塔城地区南部2015年至2019年冬季平均能见度为5310 m; 月均能见度1月 < 12月 < 2月; 能见度的日变化呈现明显的双峰型特征, 冬季清晨至上午、傍晚至凌晨能见度相对较低; 小于800米的低能见度出现频次在09时至14时较高, 而小于200米的低能见度在03时至11时出现频次较高; 塔城地区南部冬季大气能见度与PM₁₀和PM_{2.5}呈负相关关系, 与NO_x, O₃, SO₂相关性不明显; 与相对湿度呈显著的负相关关系, 与气温呈正相关关系, 而与气压、风速相关性不显著; 冬季出现大雾日数占全年74%, 大雾是影响能见度的主要天气, 当EC细网格低层相对湿度925 hPa日均值 > 90%时, 出现大雾天气的可能性较大; 利用污染要素和气象因子建立线性统计回归模型, 发现利用PM_{2.5}、相对湿度建立的拟合公式最优, 能较好地模拟塔城地区南部冬季大气能见度变化。

关键词

能见度, 气象因子, 污染要素

Analysis of Winter Visibility Characteristics and Its Influencing Factors in the South of Tacheng Area

Yu Zhang¹, Ming Xu², Binqun Luo²

¹Wusu Meteorological Bureau, Wusu Xinjiang

²Tacheng Regional Meteorological Bureau, Tacheng Xinjiang

Received: Sep. 22nd, 2021; accepted: Oct. 21st, 2021; published: Oct. 28th, 2021

Abstract

Based on the ground observation data of national meteorological observation stations and air pollution monitoring data of environmental monitoring stations in Wusu and Shawan in the south of Tacheng area from 2015 to 2020, the relationship between atmospheric visibility and pollution elements and meteorological factors in the south of Tacheng area is analyzed. The results show that the average visibility in the south of Tacheng area in winter from 2015 to 2019 is 5310 m; Monthly average visibility: January < December < February; The diurnal variation of visibility shows obvious bimodal characteristics. In winter, the visibility is relatively low from early morning to morning and from evening to early morning; The frequency of low visibility less than 800 meters is higher from 09:00 to 14:00, while the frequency of low visibility less than 200 meters is higher from 03:00 to 11:00; There is a negative correlation between atmospheric visibility and PM₁₀ and PM_{2.5} in the south of Tacheng area in winter, but there is no obvious correlation with NO_x, O₃ and SO₂; It has a significant negative correlation with relative humidity, a positive correlation with air temperature, but not with air pressure and wind speed; The number of foggy days in winter accounts for 74% of the whole year. Foggy weather is the main weather affecting visibility. When the daily mean relative humidity in the lower layer of EC 925 hPa is >90%, it is more likely to have foggy weather; The linear statistical regression model is established by using pollution factors and meteorological factors. It is found that the fitting formula established by PM_{2.5} and relative humidity is the best, which can better simulate the change of atmospheric visibility in southern Tacheng area in winter.

Keywords

Visibility, Meteorological Factors, Pollution Elements

Copyright © 2021 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

大气能见度(Visibility)是反映大气透明度的一个重要指标。一般定义为具有正常视力的人在当时的天气条件下还能够看清楚目标轮廓的最大地面水平距离[1]。随着社会经济的快速发展,工业污染物排放、化石燃料消耗和过饱和的机动车尾气,造成雾霾天气日趋严重,雾霾天气是造成低能见度事件的主要原因。低能见度常会造成交通事故和飞机起降延误,已经成为当今政府和公众关注的焦点[2][3]。研究指出低能见度事件在冬季发生得更频繁。相对湿度和风速是影响能见度的主要气象因子,而大气中细颗粒物的增加是能见度降低的主要原因[4];北京地区能见度日间的最低值出现在06:00左右,最高值多出现在16:00前后,发生低能见度事件的概率为62.14%,且发生低能见度的事件集中于1~5 km [5]。能见度与相对湿度、PM_{2.5}浓度呈负相关关系,与风速、气温呈正相关关系[6][7][8][9],最低能见度通常出现在清晨,午后明显好转。其中PM_{2.5}浓度对能见度的影响最明显。当相对湿度小于80%时,能见度下降得较为缓慢;而当相对湿度超过80%时,能见度急剧降低[10]。乌鲁木齐北部城区大气能见度日、月及季节变化特征明显。春夏秋冬的大气能见度日变化规律类似,冬季则差异较大。夏季能见度最高,冬季最低[11]。

塔城地区南部是北疆主要的运输线路和交通枢纽,距离乌苏市偏东方向15公里处为国家“十三五”

规划拟建机场。低能见度会造成交通事故和飞机起降延误。近年来塔城地区南部冬季低能见度已经成为一个显现特征。随着气象观测自动化的逐步实现,能见度观测由人工观测实现自动化观测,更能客观、准确、高精度地记录大气能见度的实时变化。利用 2015 年至 2020 年能见度观测资料,探究塔城地区南部能见度的主要影响因子,为开展精细化的预报服务、大气污染防治、城区的发展规划提供一定的科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

塔城地区南部(乌苏市、沙湾市)地处天山北麓,南屏天山,准噶尔盆地西南缘、亚欧大陆桥和 312 国道沿线处。连霍高速贯穿东西,东与工商业城市石河子市毗邻。乌苏、沙湾之间有中国西部重要的石油化工基地独山子区和中国西北部新兴的工商业城市奎屯市。乌苏、沙湾两地地处北疆经济带,近年来与我国的中东部城市类似,因经济的快速增长,冬季空气污染尤为严重,阴雾天气是塔城地区南部冬季特有的气候特征,平均每年可出现 25~28 天。

2.2. 资料与方法

研究所选用的资料是乌苏国家基准气候站和沙湾一般气象观测站及环境监测站 2015~2020 年资料,所用数据经过严格的质量控制。本文分析的气象因子包括相对湿度、气温、气压、风速。污染要素包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_x 、 O_3 、 SO_2 ,取日平均值为日均值,月平均值为月均值。时间采用北京时,采用气候学划分方法,将 12 月至次年 2 月定为冬季。文中能见度日变化特征和月变化特征、低能见度出现频次均采用平均值,采用抽样分析方法进行相关性分析并做 T 检验,利用回归分析建立模型。

3. 结果与分析

3.1. 塔城地区南部冬季能见度时间分布特征

3.1.1. 塔城地区南部冬季能见度月变化特征

如图 1 所示塔城地区南部 2015 年至 2019 年冬季能见度呈先上升后下降趋势,2017 年能见度相对较好。1 月空气能见度相对较低,月平均值 3552 m;12 月次之,月平均值 5569 m;2 月能见度趋于好转,月平均值 6810 m。经统计,冬季(12 月至次年 2 月)平均能见度为 5310 m;小于 800 m 的低能见度占总样本量的 11%,其中 12 月占比 6%,1 月占比 3%,2 月占比 2%;而小于 200 m 的能见度集中出现在 12 月和 1 月,小

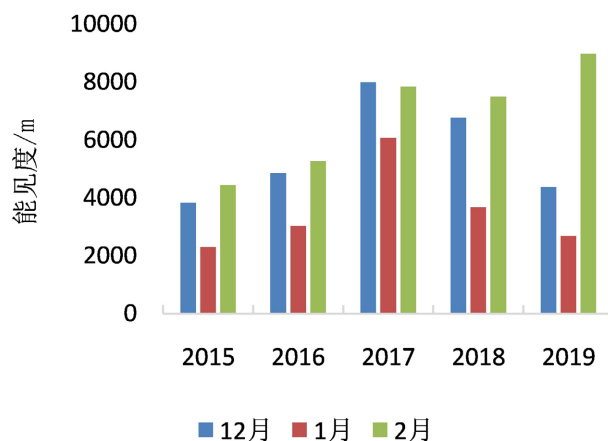


Figure 1. Monthly variation characteristics of visibility in southern Tacheng area in winter

图 1. 塔城地区南部冬季能见度月变化特征

时最低能见度 43 m, 出现在 03 时。12 月和 1 月是冬季低能见度出现的主要月份, 影响能见度的因素较多, 主要原因归结为冬季能源结构以燃煤为主, 且冬季漫长, 受地形和大气环流的共同影响, 下垫面经过辐射冷却, 多逆温层, 逆温层的形成, 对高湿条件有促进作用, 不利于空气中气溶胶颗粒的扩散, 两者共同作用下造成冬季雾霾天气频发。因此 12 月和 1 月既是大雾预报的关键期同时也是大气污染治理的重要阶段。

3.1.2. 塔城地区南部冬季能见度的日变化特征

如图 2 所示塔城地区南部能见度的日变化呈现明显的双峰型特征, 最大值出现在 06 时, 最小值出现在 22 时。02 时至 08 时与 15 时至 18 时为高值区, 低值区出现在 09 时至 14 时与 19 时至次日 01 时, 最低值出现在 22 时和 11 时。由此可见, 塔城地区南部冬季清晨至上午、傍晚至凌晨的能见度相对较低。

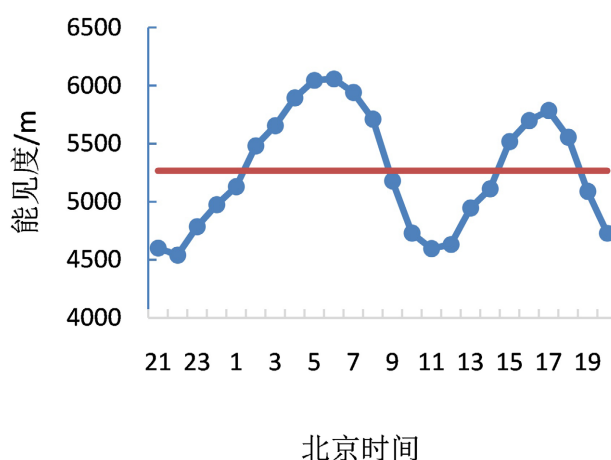


Figure 2. Daily variation characteristics of visibility in southern Tacheng area in winter
图 2. 塔城地区南部冬季能见度日变化特征

3.1.3. 塔城地区南部冬季低能见度逐时出现频次

如图 3 所示从能见度 <800 米、<500 米、<200 米的日变化特征来看, 整体波动性较明显, 其中小于 800 米、小于 500 米的能见度出现频次在 09 时至 14 时较高, 最大值出现在 10 时, 最小值出现在 18 时。

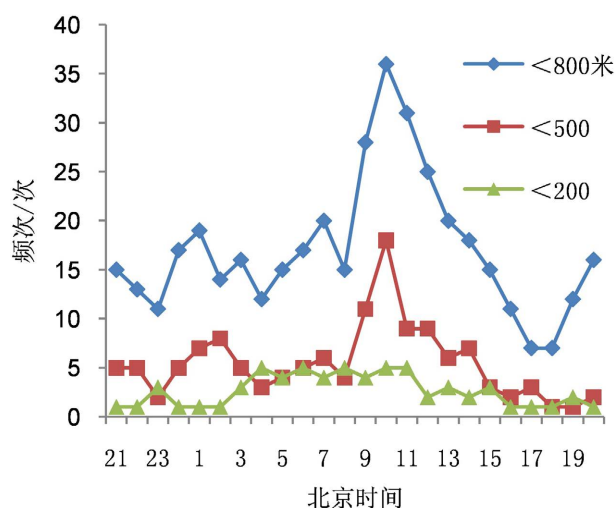


Figure 3. Frequency of low visibility in the south of Tacheng area
图 3. 塔城地区南部低能见度出现频次

由此推论清晨至上午是低能见度出现的高发时段;而小于 200 米的能见度在 03 时至 11 时出现频次较高,初步判定严重影响行车行路安全的低能见度在夜间至清晨出现频次较高,此时段应是预报人员重点关注的时段。导致能见度较低的主要原因是受冬季逆温层的影响,夜间辐射冷却,下垫面潮湿易形成大雾天气,严重影响大气能见度,对行车安全、飞机起降影响较大。

3.2. 大气能见度与 PM_{2.5}、PM₁₀、NO_x 等相关性分析

Table 1. Pearson correlation analysis results

表 1. Pearson 相关分析结果

	PM ₁₀	NO _x	PM _{2.5}	O ₃	SO ₂
能见度	-0.462	-0.237	-0.448	0.255	0.282

表 1 为能见度与污染要素之间的相关分析,采用 T-检验方法对数据进行检验,结果表明能见度与 PM₁₀、PM_{2.5} ($P < 0.01$) 呈负相关关系;与氮氧化物($P < 0.05$)呈弱负相关关系,而与臭氧、二氧化硫呈弱的正相关关系。通过相关系数可判断 PM₁₀、PM_{2.5} 对大气能见度的影响较为显著,是影响能见度的主要影响因子。

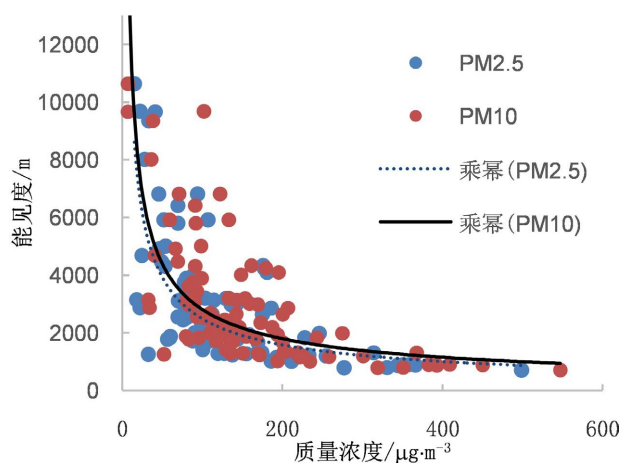


Figure 4. Relationship between visibility and air pollution concentration in the south of Tacheng area

图 4. 塔城地区南部能见度与大气污染质量浓度之间的关系

图 4 为大气能见度与 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度散点图,从图中可明显看出大气能见度与 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 呈幂函数关系,随着 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度的增加,大气能见度随之降低。当出现中度污染(PM_{2.5} 质量浓度分量标准为 115~150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)天气时,大气能见度呈现明显的降低趋势;而出现重度污染天气(PM_{2.5} 质量浓度大于 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)时,大气能见度急速下降;而当空气质量较好时,能见度也会出现较差情况,究其原因主要是因为受冬季大雾天气和降雪天气的影响,当出现大雾天气和明显的降雪天气时,大气能见度会显著下降。经统计,能见度实现自动化(2015 年至 2020 年)期间,年平均大雾(能见度 < 1000m)日数 25 天,而冬季大雾日数 18.5 天,占比 74%。因此大雾天气是塔城地区南部冬季影响能见度的重要原因,冬季的降雪天气对能见度的影响主要表现为时间短,当小时降雪量较大时,影响能见度明显,而冬季塔城地区南部特有的阴雪天气对造成低能见度事件的可能性较小。

3.3. 大气能见度与地面气象要素的相关性分析

表 2 为能见度与气象要素之间的相关分析,结果表明塔城地区南部冬季能见度与相对湿度($P < 0.01$)

呈显著负相关关系、与气温($P < 0.01$)呈正相关关系; 而与气压和风速的相关性不显著。

Table 2. Pearson correlation analysis results
表 2. Pearson 相关分析结果

	相对湿度	气温	气压	风速
能见度	-0.792	0.505	-0.037	-0.125

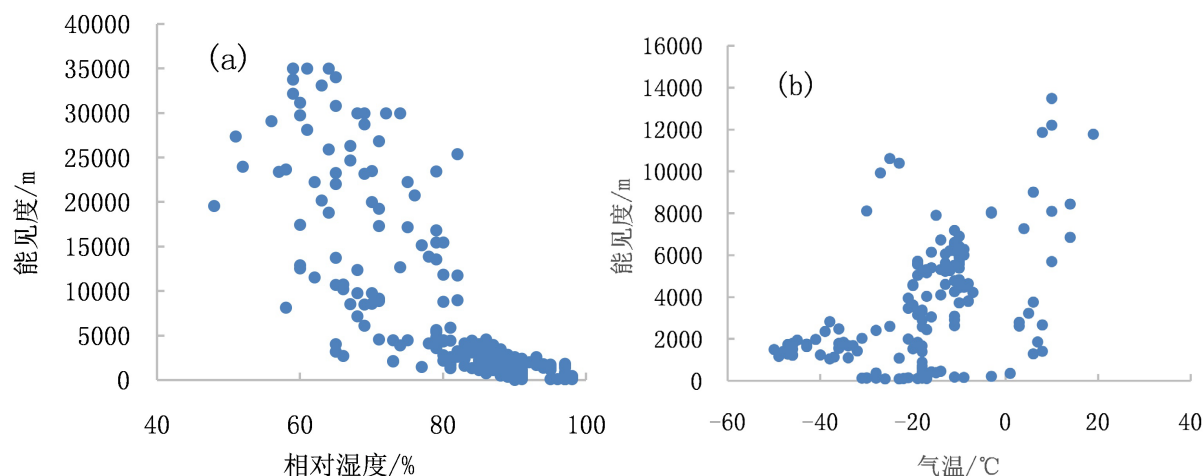


Figure 5. Relationship between visibility, relative humidity (a) and air temperature (b) in the south of Tacheng area
图 5. 塔城地区南部能见度与相对湿度(a)、气温(b)之间的关系

图 5 为塔城地区南部能见度与相对湿度和气温之间的关系。由图(a)可知能见度随空气中相对湿度的增加呈逐渐下降的趋势, 当相对湿度大于 80%时, 能见度下降较显著, 经统计出现能见度小于 800 米的浓雾天气时, 相对湿度通常大于 90%; 而高湿条件下并非一定伴随浓雾, 能见度通常会大于 1000 米, 此种情况常出现在受暖湿气流影响下而出现的降雪天气, 降雪与大雾相对而言, 对能见度的影响较弱; 从图中可看出相对湿度介于 60%至 80%时, 会出现高于 1000 m 低于 5000 m 的能见度, 此种情况一般受塔城地区南部冬季霾天气和特有的气候特征阴雾阴雪天气影响。

由图(b)可知冬季随着气温的逐渐降低能见度呈逐渐下降趋势, 气温在-4°C至 0°C之间时, 出现低能见度的频次较高, 究其原因 0°C左右的气温对大雾的生成和发展有促进作用, 进而影响能见度。

3.4. EC 细网格 925 hPa 相对湿度与大雾、能见度分析

Table 3. Analysis of EC fine grid 925 hPa relative humidity, fog and visibility
表 3. EC 细网格 925 hPa 相对湿度与大雾、能见度分析

相对湿度(%)	65~70	70~75	75~80	80~85	85~90	90~95	>95
大雾出现频率(%)	4	4	10	13	29	31	10
平均能见度(m)	680	675	618	456	475	386	365

由表 3 可知: EC 细网格 925 hPa 相对湿度小于 65%时, 大雾出现频率为 0; 83%的大雾发生时, EC 细网格相对湿度 $\geq 85\%$; 大雾发生时相对湿度主要集中在 85%~95%之间, 经统计发现 EC 925 hPa 相对湿度日均值 $> 90\%$ 时, 出现大雾天气的可能性较大。大雾发生时, 随着相对湿度增加, 平均能见度呈逐渐减小趋势。

3.5. 能见度模型建立与检验

大气能见度受多个因素相互制约共同影响, 主要影响因素有 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、相对湿度、气温等。本文结合大气污染要素和气象因子建立能见度的预测模型。以 PM_{10} (x_1)、 $PM_{2.5}$ (x_2)、相对湿度(x_3)、气温(x_4) 为自变量, 能见度为因变量, 从包含全部变量的回归方程逐步剔除不显著因子, 最终确定以 $PM_{2.5}$ 、相对湿度为因子确定的回归模型最优。构建的拟合公式为: $y = 112.834 + 15.383x_2 - 1.167x_3$ 。公式中: y 为大气能见度(单位: km), x_2 为 $PM_{2.5}$ (单位: $mg \cdot m^{-3}$), x_3 为相对湿度(单位: %)。该模型中相关系数 R 为 0.952, 判定系数 R^2 为 0.906, 调整后的 R^2 为 0.900, $F > F_{0.01}$ ($p < 0.01$), 方程通过了显著性检验。为验证方程, 拟合了 2015 年 12 月 1 日 0 时至 12 月 9 日 1 时能见度曲线, 如图 6 所示, 可以看出能见度的计算值与实际值的曲线大部分重合, 说明利用相对湿度、 $PM_{2.5}$ 建立的线性回归模型具有一定的可信度, 拟合效果较好, 能基本预测能见度的变化趋势。

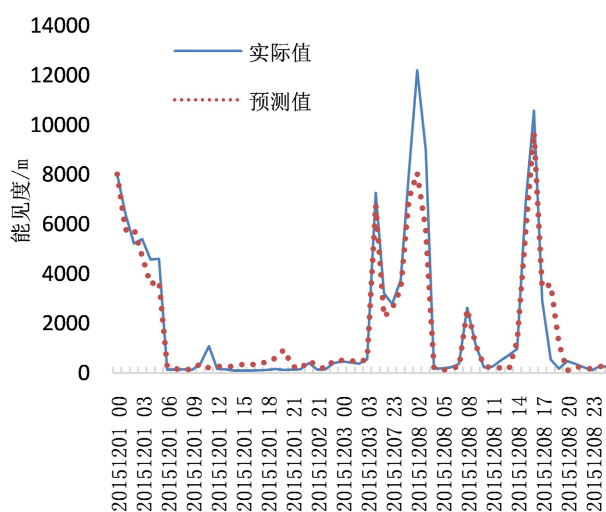


Figure 6. Variation curve of measured value and predicted value of visibility in the south of Tacheng area

图 6. 塔城地区南部能见度实测值与预测值的变化曲线

4. 结论与讨论

本文利用乌苏市 2015 年至 2020 年气象观测资料和环境监测资料, 运用统计学分析方法, 对塔城地区南部能见度特征及其影响因子进行分析, 主要分析结论如下:

1) 塔城地区南部 2015 年至 2019 年冬季能见度呈单峰型特征, 冬季平均能见度为 5310 m; 月均能见度 1 月 < 12 月 < 2 月, 1 月平均值 3552 m; 小于 800 m 的低能见度占比 12 月最多, 1 月次之。而小于 200 m 的能见度集中出现在 12 月和 1 月, 小时最低能见度 43 m。

2) 塔城地区南部能见度的日变化呈现明显的双峰型特征, 冬季清晨至上午对应时间一般为 09 时至 14 时、傍晚至凌晨对应时间一般为 19 时至次日 01 时能见度相对较低, 冬季傍晚至夜间由于下垫面辐射冷却, 积雪覆盖, 湿度条件较好, 受地形和环流形势共同影响, 逆温层易形成, 对雾霾的形成有促进作用, 进而影响能见度。

3) 能见度小于 800 米、小于 500 米的出现频次在 09 时至 14 时较高, 而小于 200 米的能见度在 03 时至 11 时出现频次较高。

4) 塔城地区南部冬季大气能见度与 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 呈负相关关系, 与相对湿度呈显著的负相关关系, 与气温呈正相关关系, 因此冬季影响能见度主要影响因子为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、相对湿度、气温。

5) 83%的大雾发生时, EC 细网格相对湿度 $\geq 85\%$; 大雾发生时相对湿度主要集中在 85%~95%, EC 925 hPa 相对湿度日均值 $> 90\%$ 时, 出现大雾天气的可能性较大。

6) 建立能见度预测模型, 并用此模型计算了 2015 年 12 月 1 日至 12 月 9 日小时能见度, 对比计算值与实测值, 两者变化趋势基本一致, 说明该模型拟合效果较好, 具有一定的可信度和实用性, 在已知 $PM_{2.5}$ 和相对湿度的情况下, 可用此模型估算大气能见度。

参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 21.
- [2] 王继志, 徐祥德, 杨元琴. 北京城市能见度及雾特征分析[J]. 应用气象学报, 2002, 13(U01): 160-169.
- [3] 高坤, 涂辉招, 时恒, 等. 雾霾天气低能见度对不同跟驰状态驾驶行为的影响[J]. 吉林大学学报, 2017, 47(6): 1716-1727.
- [4] 于超, 张蕾. 南京北郊大气能见度影响因子研究[J]. 三峡生态环境监测, 2019, 4(1): 56-60.
- [5] 姜江, 张国平, 高金兵. 北京大气能见度的主要影响因子[J]. 应用气象学报, 2018, 29(2): 188-199.
- [6] 李玮, 陈梓茹, 傅伟聪, 等. 厦门市大气能见度变化规律及影响因子分析[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(2): 289-299.
- [7] 陈婧, 马志强, 胡天洁, 等. 华北背景地区大气能见度变化特征及影响因素分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(2): 277-288.
- [8] 姜江, 郭文利, 王春玲. 2007-2015 年北京地区能见度时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(1): 45-52.
- [9] 李英华, 姚立英, 姚青, 等. 2013-2016 年天津城区大气能见度的变化特征与影响因素[J]. 环境工程技术学报, 2018, 8(4): 349-358.
- [10] 郭智亮, 高聪晖, 谢文锋. 2005-2017 年白云机场能见度变化特征及其与影响因子关系研究[J]. 气象科技进展, 2019, 9(6): 40-43.
- [11] 于志翔, 于晓晶, 李霞. 2013-2015 年乌鲁木齐北部城区大气能见度变化特征及其影响因素[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 412-419.