

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.09.017

重庆市霾天气下大气能见度 与颗粒污染物的关系^①

杨 茜¹, 高阳华¹, 李振亮²

1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147

摘要: 利用重庆沙坪坝站 2013—2015 年逐时环境气象资料, 对大气能见度与相对湿度和 $PM_{2.5}$ 之间的关系进行分析研究, 结果表明: 重庆市区霾都是在相对湿度大于 65% 的条件下产生的, 重度霾时相对湿度达到 86% 左右, 重庆粗细粒子质量比 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在霾发生时大于 65%, 重度霾情况下粗细粒子质量比达 82%, 说明伴随着细粒子比例的增加, $PM_{2.5}$ 细颗粒对能见度的影响作用明显, 重庆霾进一步加重, $PM_{2.5}$ 相对 PM_{10} 来说对霾影响作用更大. 不同相对湿度条件下, 能见度与 $PM_{2.5}$ 颗粒物关系不同, 在 $70\% \leq RH < 80\%$ 湿度条件下 $PM_{2.5}$ 与大气能见度相关性最大, 非霾天气下 $PM_{2.5}$ 阈值仅为 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 相对湿度在 40%~90% 之间, 随着相对湿度的增加, 颗粒物逐渐吸湿增长, 其产生消光效应逐渐加剧, 导致能见度不断降低, 在 $PM_{2.5}$ 质量浓度大于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下, 不论相对湿度大小, 都极易形成霾天气, 而 $PM_{2.5}$ 质量浓度小于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下, 如果相对湿度较高, 随着湿度变化颗粒物吸湿增长, 也极易形成霾天气.

关键词: 能见度; 相对湿度; $PM_{2.5}$; 霾

中图分类号: X51

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)09-0134-07

能见度是反映大气透明度的一个指标, 与空气质量和气象条件密切相关^[1-4]. 近年来, 随着国民经济的快速发展, 城市规模日益扩大, 城市能见度恶化, 我国大中型城市霾频发已经成为一个重要的环境问题^[5-7], 吴兑, 胡荣章等^[8-10]对珠三角地区城市霾天气的研究指出, 大气中的灰尘、硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、有机碳氢化合物等粒子是使大气浑浊, 导致能见度恶化并形成霾天气的重要因素, 能见度是霾判别标准的重要部分, 研究能见度对深入理解霾有着重要意义. 我国早在 20 世纪 80 年代就开始大气能见度的相关研究, 近年来更多学者通过环境气象高分辨资料对城市能见度的演变规律和影响因子进行研究^[11-16]. 大量研究表明^[17-23], 能见度与颗粒物及相对湿度等气象因素间具有一定的相关性.

重庆市由于其独特的山地地形特征, 空气污染具有特殊性, 大气颗粒物导致的霾天气更为明显^[24-26], 因此本研究采用连续性的小时观测数据研究分析重庆市能见度与污染物及各气象要素之间的关系, 建立大气颗粒物质量浓度及与能见度之间的定量关系, 加深对霾产生气象条件的认识, 为重庆地区大气污染防治和改善空气质量提供基础数据和科学依据.

1 资料与方法

采用重庆市沙坪坝区气象观测站的能见度和相对湿度数据, 资料时段为 2013 年 1 月—2015 年 12 月这

^① 收稿日期: 2018-05-03

基金项目: 重庆市气象局 2017 年业务技术攻关团队-农业气象与生态环境应用技术攻关团队项目(YWGGTD-201714); 重庆市技术创新与应用示范重点项目(cstc2018jszx-zdyfxmX0003); 重庆市技术创新与应用示范一般项目(cstc2018jszx-msybX0149).

作者简介: 杨 茜(1984-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事大气物理与环境研究.

3 年间逐时自动观测数据, $PM_{2.5}$, PM_{10} 质量浓度观测数据来源于重庆市沙坪坝区高家花园环境自动监测站, 通过质量控制剔除缺测及异常值, 资料时段同样为 2013 年 1 月—2015 年 12 月, 时间分辨率为 1 h, 进行统计分析时自动选取对应时段的相关数据, 考虑到降水能有效地减小 $PM_{2.5}$ 质量浓度, 故分析能见度、相对湿度和 $PM_{2.5}$ 质量浓度之间的关系时, 均去除了降水时次。

依据气象观测行业标准(中国气象局, 2010), 排除时段内降水等天气造成的能见度降低, 当满足能见度 < 10 km, 且相对湿度 $< 80\%$, 或相对湿度在 $80\% \sim 95\%$ 且 $PM_{2.5} > 75$, 统计为霾; 当能见度 ≥ 10 km, 统计为非霾。当判识为霾时, 可根据能见度(V)将霾划分等级: 轻微($5 \text{ km} \leq V < 10 \text{ km}$)、轻($3 \text{ km} < V \leq 5 \text{ km}$)、中度($2 \text{ km} \leq V < 3 \text{ km}$)和重度($V < 2 \text{ km}$)。本研究依据此标准将霾时次进行定义, 得到不同程度霾的颗粒物质量浓度及气象要素特征。

2 大气能见度的日变化特征

利用能见度观测仪 3 年逐时观测数据, 按照季节进行划分, 分析不同季节重庆市区大气能见度的日变化特征(图 1, 图 2), 由图 1 可见, 不同季节能见度日变化趋势相似, 但值有一定差异, 除夏季外, 其余季节的平均能见度均不足 10 km, 夏季能见度最高(日均 9.24 km), 春季其次(日均 7.17 km), 秋季次之(日均 6.19 km), 冬季最低(日均 3.97 km), 从日变化特征来看, 各季节均呈单峰型分布, 这与太阳辐射及大气边界层的日变化有关, 能见度自凌晨 1 点—上午 9 点, 能见度维持小幅降低或不变, 上午 10 点之后能见度逐渐增加, 在下午 17 点左右能见度最高, 夏季 17 时能见度最高可达 12.93 km, 之后能见度逐渐降低, 春、冬季能见度最低出现在 04—08 时, 夏、秋季能见度最低出现在 07—08 时。

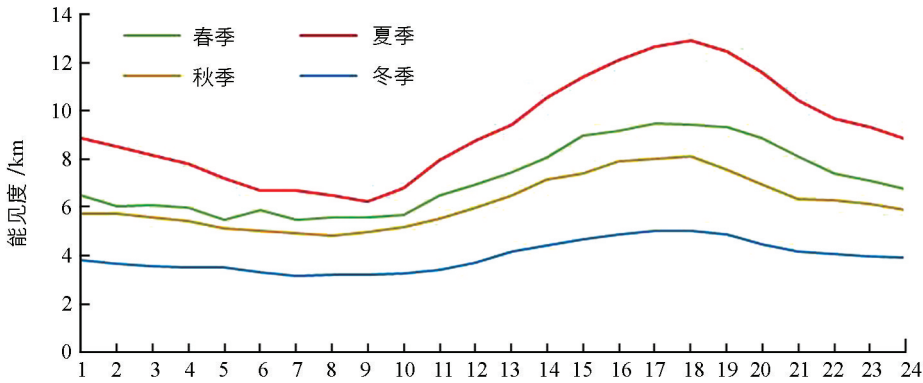


图 1 不同季节重庆市区大气能见度的日变化(未剔除雾和降水时次)

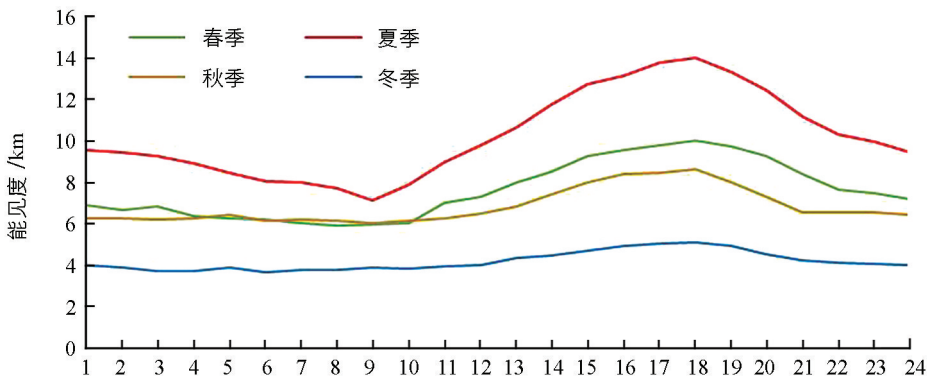


图 2 不同季节重庆市区大气能见度的日变化(剔除雾和降水时次)

考虑到雾(定义相对湿度大于 95% 时次)和降水对能见度的影响, 在剔除雾和降水时次的影响下(图 2), 各季节各时次的能见度均有不同程度的升高, 通过统计计算, 夏季各时次能见度平均升高 1.01 km, 秋季能见度平均升高 0.65 km, 春季能见度平均升高 0.44 km, 冬季能见度平均升高 0.23 km。冬季与其他季

节变化特征有所不同,在剔除雾和降水的影响之后,在12时之后能见度基本无变化,说明冬季降水相对本来就较少,在白天对能见度影响也较小,冬季能见度较低主要是由颗粒物吸湿增长以后演变成霾造成的,和雾与雨的关系不明显。

3 不同等级霾天气下的颗粒污染物特征

根据霾的定义,得到不同霾天气下的颗粒污染物特征(表1),重庆市区非霾时数占总时数的19.8%,而霾时数占总时数的55%左右,随着霾程度加重,能见度降低很明显,能见度由非霾时14.96 km下降到重度霾时1.54 km,下降了90%,可见,霾的加重是重庆市区能见度下降的重要原因。而随着霾加重,相对湿度是逐渐增加的,重度霾时相对湿度达到86%左右,湿度升高对气溶胶消光系数增大有重要作用,细颗粒物吸湿增长进一步使霾加重,重庆市区霾都是在相对湿度大于65%的条件下产生的。

表1 重庆不同霾等级下基本气象要素的特征

霾等级/占总时数	能见度/ km	相对湿度/ %	PM _{2.5} / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	PM ₁₀ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	PM _{2.5} /PM ₁₀
非霾 19.8%	14.96	62.21	37.13	64.12	0.59
轻微 23.8%	7.24	65.84	65.59	103.6	0.65
轻度 15.0%	3.94	73.37	101.92	144.24	0.72
中度 9.2%	2.47	80.54	123.98	160.54	0.78
重度 7.1%	1.54	86.63	156.02	192.43	0.82

不同等级霾条件下,颗粒污染物质量浓度也不同,PM_{2.5}质量浓度由非霾时的37.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 增加到重度霾时的156.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,增加近4倍,而PM₁₀质量浓度由非霾时的64.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 增加到重度霾时的192.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,增加3倍左右,细颗粒(PM_{2.5})比粗颗粒(PM₁₀)增加程度更明显。粗细粒子质量比PM_{2.5}/PM₁₀可以反映霾细粒子污染特征,可见,PM_{2.5}细颗粒对能见度的影响作用明显,随着能见度降低,霾逐渐加重,细粒子比例会明显增大,PM_{2.5}/PM₁₀的范围为80%~90%^[27],重庆PM_{2.5}/PM₁₀在霾发生时大于65%,重度霾情况下达82%,说明伴随着细粒子比例的增加,重庆霾进一步加重,PM_{2.5}相对PM₁₀来说对霾影响作用更大。

4 大气能见度与颗粒物污染物的关系

4.1 大气能见度与PM_{2.5}质量浓度的关系

大气中高质量浓度的颗粒物是造成能见度下降的重要原因,不同粒径的颗粒物对能见度的影响有着显著的区别^[14-16],因此下面主要利用PM_{2.5}质量浓度与大气能见度的关系进行分析,为了避免相对湿度对能见度的影响,将相对湿度划分为不同区间,得到各区间能见度和PM_{2.5}质量浓度的散点分布趋势图(图3),同时给出不同相对湿度条件下能见度与PM_{2.5}质量浓度的定量关系式(表2),不同湿度段情况下,大气能见度与PM_{2.5}质量浓度散点趋势分布呈幂函数关系,非线性关系较好,随着相对湿度的增加,拟合曲线向低能见度方向变化,说明相对湿度和大气颗粒物共同作用导致能见度逐渐变化。

因为筛选的不同湿度段样本大小差异较大,因此我们选取同样样本大小来计算不同湿度段下大气能见度与PM_{2.5}质量浓度的相关系数(表2),在RH<50%情况下,两者负相关系数为-0.59,之后随湿度的增加相关系数逐渐增加,在70%≤RH<80%湿度情况下,两者相关系数最高达-0.73,随后随相对湿度的增加相关系数又逐渐减小,在高湿度情况下相关系数减少到-0.62,可见重庆市区在70%≤RH<80%湿度条件下大气能见度与颗粒物相关性最强,PM_{2.5}对大气能见度的影响相对最大,与陈义珍等^[14]的结论较为一致,通过查阅相关文献得知,不同地区在相同湿度段下PM_{2.5}对大气能见度的影响程度也不相同,PM_{2.5}对北京影响最大(相关系数0.78~0.90),对广州影响其次(相关系数0.6~0.71),武汉各湿度段相关系数为0.73~0.84,表现出明显的地域特征。

由于能见度与PM_{2.5}质量浓度呈幂函数关系,当湿度在某一范围时,PM_{2.5}低于某质量浓度阈值时,

能见度随颗粒物质量浓度的降低而迅速升高,反之当 $PM_{2.5}$ 高于某质量浓度的阈值时,能见度随细颗粒物质量浓度的变化不明显.本研究将能见度 10 km(非霾天气)确定为 $PM_{2.5}$ 的阈值,将能见度 10 km 代入各拟合方程得到各湿度段下 $PM_{2.5}$ 阈值,可以看到,不同湿度段下对应 $PM_{2.5}$ 质量浓度的阈值也不同, $PM_{2.5}$ 质量浓度对能见度影响敏感阈值随着相对湿度增加而逐渐减小,由此可知,随着相对湿度的增加,空气中可容纳的污染物质量浓度也越小,如果超过 $PM_{2.5}$ 阈值,就极易形成霾天气,因此对某地区而言,相对湿度越大情况下,改善能见度的难度就越大,需要将细颗粒物质量浓度降低到更低的水平,对于重庆市区而言,年平均相对湿度在 75% 左右,当 $PM_{2.5}$ 质量浓度高于 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$,控制 $PM_{2.5}$ 对改善能见度效果较弱,反之低于这个阈值,降低 $PM_{2.5}$ 质量浓度可以较好地提高能见度.

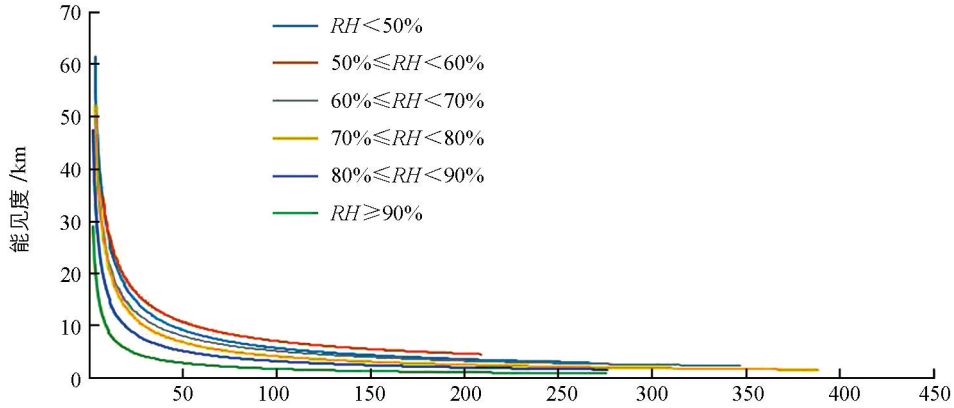


图 3 重庆市不同相对湿度段下大气能见度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度的关系

表 2 不同相对湿度条件下能见度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度的定量关系式及 $PM_{2.5}$ 对能见度的影响敏感阈值

相对湿度	拟合方程	相关系数	$PM_{2.5}$ 阈值
$RH < 50\%$	$y = 114.66x^{-0.606}$	-0.59	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$50\% \leq RH < 60\%$	$y = 129.9x^{-0.679}$	-0.69	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$60\% \leq RH < 70\%$	$y = 100.99x^{-0.648}$	-0.70	$36 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$70\% \leq RH < 80\%$	$y = 115.71x^{-0.725}$	-0.73	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$80\% \leq RH < 90\%$	$y = 76.853x^{-0.692}$	-0.72	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$RH \geq 90\%$	$y = 48.104x^{-0.726}$	-0.62	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.2 大气能见度与相对湿度的关系

毛节泰等^[23]研究认为,在气溶胶质量浓度一定的情况下,相对湿度和风速是影响能见度的关键因子,因为在同样气溶胶质量浓度条件下,不同相对湿度时气溶胶的消光系数可以有 10 倍的变化,能见度也就变化 10 倍,具体来说,气溶胶在高湿条件下,其中的水溶性粒子通过吸湿性增长,特别是硫酸盐的亲水增长更为明显,使得气溶胶半径增大,影响大气消光等光学特性,从而改变大气能见度.为了直观分析能见度与相对湿度的关系,将相对湿度数据重组为一定间隔数据,得到大气能见度与相对湿度及 $PM_{2.5}$ 的散点分布图,并用曲线拟合它们之间的关系(图 4, 图 5),由图 4 可见,能见度与相对湿度在一定程度上呈线性关系,在相对湿度 $RH < 40\%$ 情形下,能见度与相对湿度散点分布较为混乱无规则,非线性关系明显,能见度与相对湿度的关系较为复杂,在 $40\% \leq RH < 60\%$ 情形下,随着相对湿度的增加,能见度从 15 km 左右减小到 10 km 左右,当相对湿度 $RH > 60\%$ 之后,能见度与相对湿度的线性关系越来越显著,表明随相对湿度的升高,颗粒物吸湿性增长明显,导致能见度逐渐下降,高湿条件下($RH > 90\%$),能见度随相对湿度增加迅速下降.

而对于相对湿度导致 $PM_{2.5}$ 质量浓度的变化(图 5),总体来看,两者趋势也呈一定线性关系,但在干情形 $RH < 40\%$ 下以及高湿度情形 $RH > 90\%$ 下,散点分布较为离散,相对湿度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度关系较为复杂,非线性关系更为明显,这也就解释了图 4 的结论,当相对湿度在 $40\% \leq RH < 90\%$ 情形下, $PM_{2.5}$ 质量浓度从 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 增加到 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,能见度从 15 km 减少到 4 km 左右,从相对湿度、 $PM_{2.5}$ 与能见

度三者变化特征和关系来看,相对湿度低于 40% 时,能见度与相对湿度及 $PM_{2.5}$ 之间的非线性特征明显,关系较为复杂,相对湿度在 40%~90% 之间,随相对湿度的增加,颗粒物逐渐吸湿增长,其产生消光效应逐渐加剧,导致能见度不断降低,而相对湿度大于 90% 之后,气溶胶细粒子急剧吸湿增长,同时相对湿度大于 90% 时次前后多有降水发生,因此能见度迅速下降。

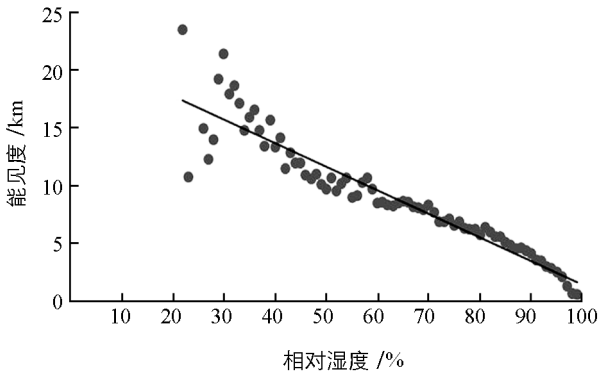


图 4 重庆市区大气能见度与相对湿度的关系

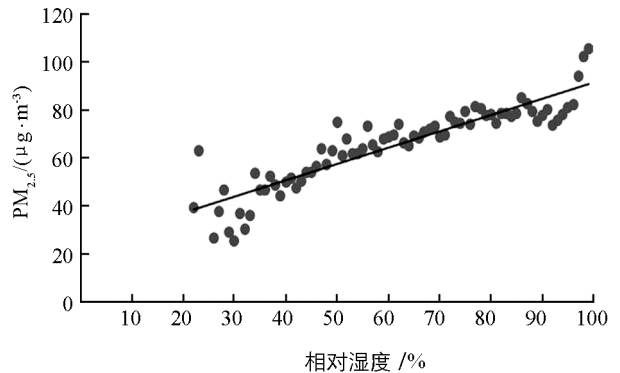


图 5 重庆市区相对湿度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度的关系

图 6 给出相对湿度、 $PM_{2.5}$ 、能见度三者的分布空间图,相对湿度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度的间隔都为 10%,由图可见,随着相对湿度以及 $PM_{2.5}$ 质量浓度的升高,能见度逐渐降低,随相对湿度变化,能见度变率较为均匀,而随 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化,能见度变率逐渐减小。等值线斜率越大(小),表明能见度受相对湿度影响越小(大),低能见度发生在高湿高质量浓度区域,高能见度发生在低湿低质量浓度区域,湿霾严重程度严重超过干霾,如果以能见度 10 km 作为霾的定义标准,可以看到当 $PM_{2.5}$ 质量浓度大于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下,不论相对湿度大小,都极易形成霾天气,而 $PM_{2.5}$ 质量浓度小于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下,如果相对湿度较高,随着湿度变化颗粒物吸湿增长,也极易形成霾天气。

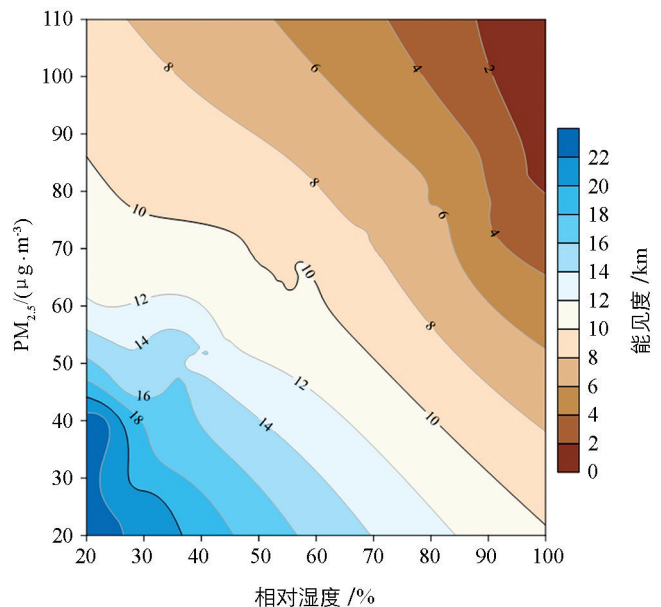


图 6 重庆市区大气能见度与相对湿度和 $PM_{2.5}$ 质量浓度的分布图

5 结 论

1) 重庆市区不同季节能见度呈单峰型分布,夏季最高,春季其次,秋季次之,冬季最低,春、冬季能见度最低出现在 04-08 时,夏、秋季能见度最低出现在 07-08 时。冬季降水较少情形下,能见度较低主要是由颗粒物吸湿增长演变成霾造成的。

2) 重庆市区能见度下降主要是由霾的加重导致,重度霾时相对湿度达到 86% 左右,重庆市区霾都是在相对湿度大于 65% 的条件下产生的。不同程度霾对应的大气颗粒物质量浓度也有所不同, $PM_{2.5}$ 质量浓度由非霾到重度霾时增加近 4 倍,而 PM_{10} 增加 3 倍左右,细颗粒($PM_{2.5}$)比粗颗粒(PM_{10})增加程度更明显,重庆粗细粒子质量比 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在霾发生时大于 65%,重度霾情况下达 82%,说明伴随着细粒子比例的增加,重庆霾进一步加重, $PM_{2.5}$ 相比 PM_{10} 来说对霾影响作用更大。

3) 重庆市区能见度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度呈幂函数关系,在 $70\% \leq RH < 80\%$ 湿度条件下大气能见度与颗

颗粒物相关性最强, $PM_{2.5}$ 对大气能见度的影响最大; 重庆市区年平均相对湿度在 75% 左右, 当 $PM_{2.5}$ 质量浓度高于 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 控制 $PM_{2.5}$ 对改善能见度效果较弱, 反之低于这个阈值, 降低 $PM_{2.5}$ 质量浓度可以较好地提高能见度。

4) 由相对湿度, $PM_{2.5}$ 与能见度三者关系分析得到, 相对湿度低于 40% 时, 三者的非线性特征明显, 关系较为复杂, 相对湿度在 40%~90% 之间, 随相对湿度的增加, 颗粒物逐渐吸湿增长, 其产生消光效应逐渐加剧, 导致能见度不断降低, 而相对湿度大于 90% 之后, 气溶胶细粒子急剧吸湿增长, 水汽含量较大, 能见度迅速下降。当 $PM_{2.5}$ 质量浓度大于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下, 不论相对湿度大小, 都极易形成霾天气, 而 $PM_{2.5}$ 质量浓度小于 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 情形下, 如果相对湿度较高, 随着湿度变化颗粒物吸湿增长, 也极易形成霾天气。

参考文献:

- [1] WANG K, DICKINSON R E, LIANG S. Clear Sky Visibility Has Decreased over Land Globally from 1973 to 2007 [J]. *Science*, 2009, 323(5920): 1468-1470.
- [2] ZHANG X Y, WANG Y Q, NIU T, et al. Atmospheric Aerosol Compositions in China: Spatial/temporal Variability, Chemical Signature, Regional Haze Distribution and Comparisons with Global Aerosols [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12(2): 779-799.
- [3] DOYLE M, DORLING S. Visibility Trends in the UK 1950-1997 [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(19): 3161-3172.
- [4] 宋 军, 孙丽娟, 孙 贞, 等. 1980—2013 年大连市能见度的变化特征及影响因子 [J]. *气象与环境科学*, 2016, 39(4): 98-103.
- [5] 吴 兑. 近十年中国灰霾天气研究综述 [J]. *环境科学学报*, 2012, 32(2): 257-269.
- [6] 吴 兑, 廖碧婷, 陈慧忠, 等. 珠江三角洲地区的灰霾天气研究进展 [J]. *气候与环境研究*, 2014, 19(2): 248-264.
- [7] 王红磊, 沈利娟, 施双双, 等. 武汉市三类不同大气污染过程下大气污染物特征及潜在源区分析 [J]. *三峡生态环境监测*, 2019, 4(2): 27-39.
- [8] 吴 兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究 [J]. *气象学报*, 2006, 64(4): 510-517, 538.
- [9] 吴 兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降 [J]. *热带气象学报*, 2007, 23(1): 1-6.
- [10] 胡荣章, 刘红年, 张美根, 等. 南京地区大气灰霾的数值模拟 [J]. *环境科学学报*, 2009, 29(4): 808-814.
- [11] 毕 凯, 王广河, 毛节泰. 2009 年上海浦东新区能见度资料的深度分析——兼论高时间分辨率地面观测资料的应用 [J]. *气象*, 2012, 38(2): 220-227.
- [12] 梁延刚, 胡文志, 杨敬基. 香港能见度、大气悬浮粒子浓度与气象条件的关系 [J]. *气象学报*, 2008, 66(3): 461-469.
- [13] 吕建华, 彭岩波, 谢 刚. 2013 年济南市大气能见度与相对湿度和 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的关系 [J]. *气象与环境科学*, 2016, 39(4): 93-97.
- [14] 陈义珍, 赵 丹, 柴发合, 等. 广州市与北京市大气能见度与颗粒物质量浓度的关系 [J]. *中国环境科学*, 2010, 30(7): 967-971.
- [15] 杜荣光, 齐 冰, 胡德云, 等. 杭州市区相对湿度及 $PM_{2.5}$ 对能见度的影响分析 [J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2015, 51(3): 473-480.
- [16] 龚识懿, 冯加良. 上海地区大气相对湿度与 PM_{10} 浓度和大气能见度的相关性分析 [J]. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 628-632.
- [17] 张 剑, 刘红年, 唐丽娟, 等. 苏州城区能见度与颗粒物浓度和气象要素的相关分析 [J]. *环境科学研究*, 2011, 24(9): 982-987.
- [18] 刘和平, 代佩玲, 张青珍, 等. 郑州市大气能见度变化特征及与空气污染的关系 [J]. *气象与环境科学*, 2008, 31(4): 44-46.

- [19] 宋明, 韩素芹, 张敏, 等. 天津大气能见度与相对湿度和 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的关系 [J]. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 34-41.
- [20] CHAN Y C, SIMPSON R W, MCTAINSH G H, et al. Characterisation of Chemical Species in $PM_{2.5}$ and PM_{10} Aerosols in Brisbane, Australia [J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(22): 3773-3785.
- [21] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市能见度下降与颗粒物污染的关系 [J]. 环境科学学报, 2003, 23(4): 468-471.
- [22] 张剑鸣, 陶俊, 张仁健, 等. 2008年1月广州大气污染特征及能见度观测研究 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 161-165.
- [23] 毛节泰, 李成才. 气溶胶辐射特性的观测研究 [J]. 气象学报, 2005, 63(5): 622-635.
- [24] 黄伟, 翟崇治, 余家燕, 等. 重庆区域性灰霾天气下大气污染分析初探 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(7): 142-146.
- [25] 张灿, 周志恩, 翟崇治, 等. 重庆市黑碳气溶胶特征及影响因素初探 [J]. 环境科学学报, 2014, 34(4): 812-818.
- [26] 江玉华, 王强, 李子华, 等. 重庆城区浓雾的基本特征 [J]. 气象科技, 2004, 32(6): 450-455.
- [27] 吴兑. 灰霾天气的形成与演化 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34(3): 157-161.

Relationship Between Atmospheric Visibility and Particulate Pollutants in Haze Weather in Chongqing

YANG Qian¹, GAO Yang-hua¹, LI Zhen-liang²

1. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China;

2. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, China

Abstract: Based on the hourly environmental meteorological data from 2013 to 2015 in Shapingba Meteorological Station of Chongqing, the relationship of atmospheric visibility with relative humidity and $PM_{2.5}$ was analyzed. The results showed that the haze in Chongqing city was produced under the condition of a relative humidity greater than 65%; that relative humidity reached about 86% in severe haze; that $PM_{2.5}/PM_{10}$ (fine and coarse particle ratio) was more than 65% when haze occurred and 82% under severe haze conditions, suggesting that with the increase in the proportion of fine particles, the effect of $PM_{2.5}$ fine particles on visibility became more obvious, thus further aggravating haze in Chongqing; and that the effect of $PM_{2.5}$ on haze was greater than that of PM_{10} . The relationship between visibility and $PM_{2.5}$ particles differed with relative humidity. The correlation between $PM_{2.5}$ and atmospheric visibility was the greatest under the condition of $70\% < RH < 80\%$ humidity. The threshold of $PM_{2.5}$ was only $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under non-haze weather. When the relative humidity was between 40% and 90%, with the increase in relative humidity, the particles gradually increased its moisture absorption and their extinction effect gradually intensified and, as a result, the visibility was reduced. When the mass concentration of $PM_{2.5}$ was greater than $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, haze weather was most likely to occur regardless of the relative humidity, and when the mass concentration of $PM_{2.5}$ was less than $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the relative humidity was high, haze weather was also most likely to occur due to higher moisture absorption by the particulates.

Key words: visibility; relative humidity; $PM_{2.5}$; haze