

邓小丽, 乔娟, 张楠, 等. 西咸高速公路低能见度特征及影响因子分析[J]. 陕西气象, 2021(5): 36-41.

文章编号: 1006-4354(2021)05-0036-06

# 西咸高速公路低能见度特征及影响因子分析

邓小丽<sup>1</sup>, 乔娟<sup>2</sup>, 张楠<sup>1</sup>, 刘敏茹<sup>1</sup>

(1. 西安市公共气象服务中心, 西安 710016; 2. 西安市气象台, 西安 710016)

**摘要:**利用西安咸阳国际机场高速公路(简称西咸高速公路)3个8要素气象监测站2013年8月至2019年12月逐小时资料、部分时段的逐分钟资料,对能见度 $<1\ 000\text{ m}$ 的低能见度(用 $v$ 代表低能见度)统计分析,结果发现,造成西咸高速公路低能见度现象的主要天气为大雾、霾和强降水。霾造成的低能见度出现次数最多且时间最长,雾造成的低能见度对高速公路的通行状态影响最大;一日中,低能见度出现的概率凌晨最大,下午最小,其中 $50\text{ m}\leq v<200\text{ m}$ 出现概率最高,是08时的18.6%;月平均低能见度时数在年内呈两高一低分布,1—4月、9—12月为高峰期,5—8为低谷区;3个监测站的年平均低能见度时数呈现由南向北依次增多的趋势。雾的影响因素主要是相对湿度和温度,当湿度达到一定饱和度后,近地面温度的连续降低对能见度的下降有一定的指示意义。在霾天气中,PM<sub>2.5</sub>质量浓度的高低对能见度有重要影响。强降水使能见度快速下降,当雨强大于 $1.3\text{ mm/min}$ 时能见度可降至 $200\text{ m}$ 以下,降水强度的预报对低能见度的预报预警有重要意义。

**关键词:**低能见度;雾;霾;PM<sub>2.5</sub>质量浓度;强降水;高速公路

**中图分类号:**U492.8:P429

**文献标识码:**A

能见度通常是指视力正常的人,在当时的天气条件下,能从背景中识别出目标物的最大距离。能见度的好坏对交通安全影响极大,特别是较低能见度对高速公路上车辆安全行驶构成的严重威胁不亚于对航空的影响。能见距离越小,司机目测前方目标物就越困难,并使其精神高度紧张,在低能见度条件下,长时间驾车容易疲倦,稍有疏忽便会酿成交通事故,带来严重的经济损失。近年来,我国高速公路建设发展迅速,高速公路的行车安全已成为人们日益关注的问题。高速公路上因突发性的浓雾、强降水等造成的低能见度使多车追尾相撞事故屡有发生,甚至形成十多辆车连环相撞的重大交通事故。能见度的研究对交通安全具有十分重要的意义。国内对能见度的研究已有很多的成果,张利等<sup>[1]</sup>对中国能见度

变化趋势做了分析,范引琪等<sup>[2]</sup>对京、津、冀地区的能见度变化趋势做了研究,朱焱等<sup>[3]</sup>对苏州市能见度与影响因子的关系做了研究,林杨等<sup>[4]</sup>西安市大气能见度变化规律及与空气污染关系也做了分析。杨晓丹等<sup>[5]</sup>总结了我国天气现象影响公路低能见度的特征,高红燕等<sup>[6]</sup>对西安市低能见度特征也做了总结,针对能见度的影响因素也有较多研究<sup>[7-15]</sup>。这些研究取得了有意义的成果,但都是在气象学意义上对能见度的研究,与交通安全的需求还有一定的差别。随着高速公路网的普及,对能见度监测和预报的需求更加精细,特别是对交通安全影响重大的低能见度的研究<sup>[16-17]</sup>更加迫切。西咸高速公路处于大城市的外围,受到大城市污染物的排放、城市热岛效应以及特殊天气条件的影响,低能见度造成的交通事故时有发生

**收稿日期:**2021-02-04

**作者简介:**邓小丽(1964—),女,汉族,陕西合阳人,高工,从事天气预报及公共气象服务工作。

**基金项目:**西安市气象局与西安咸阳国际机场高速公路分公司合作的共建项目“西安咸阳国际机场专用高速公路气象灾害监测预警应急服务系统”

生。因此运用监测站的小时和分钟资料分析西安咸阳国际机场专用高速公路(简称西咸高速公路)低能见度的时空分布特征和影响因子,对提高高速公路能见度预报预警的准确率,减少交通事故,提高公共交通气象服务的质量具有重要意义。

## 1 资料来源及方法

参照《中华人民共和国公安部关于加强低能见度气象条件下高速公路交通管理的通告》中有关高速公路上车辆行驶对能见度的要求,结合西安地区的实际情况,确定水平能见度小于1 000 m为低能见度(用 $v$ 代表低能见度)。考虑到不同距离的低能见度对交通的影响程度不同,西安市气象局2012年西安咸阳国际机场专用高速公路气象灾害监测预警应急服务系统项目组,参考河北省交通气象灾害服务经验,研究得出影响西咸高速公路通行状态的低能见度等级划分标准(表1)。资料选取2013年8月至2019年12月,西咸机场高速公路汉城、渭河桥北和机场收费站3个8要素气象监测站的逐小时资料、部分时段的逐分钟资料和西安市泾河站地面观测资料。天气现象以泾河站的地面观测资料为准,其中雾和霾的划分以实际台站的天气现象观测记录为主要依据,综合同一时次的相对湿度来划分。空气质量监测资料选取2014年1月17日至2月17日西安市草滩空气质量监测站的逐小时资料。

表1 西咸高速公路通行状态的低能见度等级划分

等级	能见度/m	能见度鉴定	高速公路通行状态
1	$v < 50$	最差	危机状态
2	$50 \leq v < 200$	很差	准危机状态
3	$200 \leq v < 500$	差	准安全状态
4	$500 \leq v < 1\ 000$	较差	安全状态

为了方便统计分析,定义:西咸高速公路3个观测站中,只要有1站24 h内出现1 h或者1 h以上的 $v < 1\ 000$  m现象即记为一次低能见度天气;低能见度现象出现的时长以小时为单位统计,累计时间记为低能见度时数。各站在24 h内的能见度同时达到低能见度时取累计时间最长的记录。各等级低能见度的记录方法同上。

## 2 低能见度的特征

### 2.1 影响西咸高速公路低能见度的天气现象

对2013年8月到2019年12月间影响西咸高速公路低能见度的天气现象出现的次数和影响累计时间做了统计(表2),发现造成低能见度的天气现象有雾、霾、雨和雪,其中影响次数最多的是霾,其次是雾,雪最少只有1次。从影响程度分析,在 $500 \text{ m} \leq v < 1\ 000 \text{ m}$ 时,霾出现次数最多,其次是雾,再次是雨,雪最少;在 $200 \text{ m} \leq v < 500 \text{ m}$ 和 $50 \text{ m} \leq v < 200 \text{ m}$ 时,雾出现次数最多,其次是霾,再次是雨,雪最少; $v < 50 \text{ m}$ 的情况出现1次,2018年11月11日07时的汉城收费站小时能见度为28 m,这是一次大雾过程。从影响时间分析,在 $500 \text{ m} \leq v < 1\ 000 \text{ m}$ 时,霾的影响时间最长,其次是雾,再次是雨,雪的影响时间最短;在 $200 \text{ m} \leq v < 500 \text{ m}$ 时,雾的影响时间最长,约为霾的2倍;在 $50 \text{ m} \leq v < 200 \text{ m}$ 时,雾的影响时间也是最长,约为霾的6倍多,是雨的11倍。雾是造成西咸高速公路通行处于准危机状态时间最长、次数最多的天气现象,西咸高速公路唯一的通行危机状态也是雾造成的。综上所述,霾造成的低能见度次数最多且时间最长,雾造成的低能见度对高速公路通行状态的影响最大。

表2 2013年8月—2019年12月影响西咸高速公路低能见度的天气现象出现次数和影响累计时间

能见度/m	大雾		霾		雨		雪	
	出现次数/次	累计时间/h	出现次数/次	累计时间/h	出现次数/次	累计时间/h	出现次数/次	累计时间/h
$v < 50$	1	1	0	0	0	0	0	0
$50 \leq v < 200$	16	55	6	9	3	5	1	1
$200 \leq v < 500$	20	65	16	32	7	7	1	4
$500 \leq v < 1\ 000$	29	155	39	278	22	83	1	37

## 2.2 低能见度的时间变化特征

图1为2013—2019年各等级低能见度出现概率的日变化图。各级低能见度在凌晨出现的概率最大,下午出现的概率最小。 $50\text{ m} \leq v < 200\text{ m}$ 的情况主要出现在04—10时之间,其中概率最大为08时的18.7%; $200\text{ m} \leq v < 500\text{ m}$ 的情况主要出现在01—09时之间,其中概率最大为01—03、07时的13.6%; $500\text{ m} \leq v < 1\,000\text{ m}$ 的情况在一日中的每个时刻均可能出现,主要出现在03—09时,概率最大为05时的10.6%。

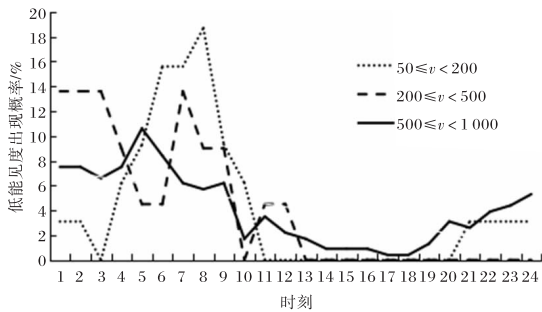


图1 2013—2019年西咸高速公路出现各等级低能见度(单位为m)出现概率的日变化

图2为2013—2019年各等级低能见度的月平均时数的变化特征。各级低能见度在全年出现两个高峰区一个低谷区,高峰区一个在1—4月,一个在9—12月,低谷区在5—8月。 $50\text{ m} \leq v < 200\text{ m}$ 的平均时数峰值为4.6 h,出现在11月; $200\text{ m} \leq v < 500\text{ m}$ 的平均时数峰值为3.6 h,出现在11月; $500\text{ m} \leq v < 1\,000\text{ m}$ 的平均时数峰值为11.3 h,出现在12月。

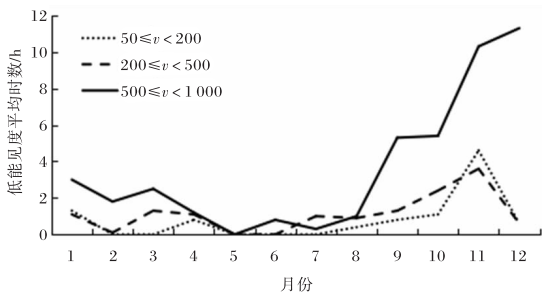


图2 2013—2019年西咸高速公路出现各等级低能见度(单位为m)平均时数的月分布

## 2.3 低能见度的空间分布特征

表3为2013—2019年三站各级低能见度的

年平均时数。三站出现各级低能见度的年平均时数不同,汉城站少,机场收费站最多,渭河桥北站次多。3个监测站中只有汉城站 $v < 50\text{ m}$ 的低能见度过程累计时间达到了1 h,渭河桥北站和机场收费站均未达到1 h; $50\text{ m} \leq v < 200\text{ m}$ 、 $200\text{ m} \leq v < 500\text{ m}$ 和 $500\text{ m} \leq v < 1\,000\text{ m}$ 的年平均时数都呈现由南向北有依次增多的趋势。资料显示在同一次低能见度天气过程中,3个站各级低能见度时数也不尽不同,汉城站常少于渭河桥北站和机场收费站。这可能与汉城监测站离市区最近有关。

表3 2013—2019年西咸高速公路三站各级低能见度的年平均时数 单位:h

能见度/m	汉城	渭河桥北	机场收费站
$v \leq 50$	0.1	—	—
$50 \leq v < 200$	3.1	4.1	8.7
$200 \leq v < 500$	6.3	11.1	11.6
$500 \leq v < 1\,000$	20.8	36.6	44.3

## 3 影响低能见度的天气现象

从上面的分析可知,影响低能见度的天气现象有雾、霾、雨、雪等,这几种天气现象对低能见度的影响可分为两类。一类是影响面积大,持续时间较长,能见度变化不是很剧烈,如霾、雾和大降水。这类天气造成的低能见度持续时间较长,对高速公路的通行造成很大的危害。另一类是短时间内使能见度急剧下降,如浓雾、团雾、短时强降水、大雪等。这类天气易造成能见度瞬间急速下降,常使高速公路通行处于危机状态中。造成低能见度的天气现象常常较为复杂,有时候这些天气会结伴发生,霾与雾混合出现,降水、降雪常伴有轻雾等。有时候天气现象会因有利因素的发展而增强,如雾在遇到湿度增加、温度下降时易形成浓雾使能见度进一步降低等。

### 3.1 大雾

雾是大量微小水滴或冰晶悬浮近地面空气中的天气现象,是近地面层空气中水汽凝结(或凝华)的产物。影响雾的因素主要是相对湿度和温度。由表2可知,大雾是影响能见度的最主要的

天气现象,西咸高速公路上出现  $v < 200$  m 的低能见度现象,主要由大雾造成。观测资料显示浓雾造成的能见度下降有时具有突发性,其危险性远远大于大范围的降雾。雾被抬升离开地面随风飘动,形成的团雾,使能见度变化剧烈、频繁,更容易引发严重的交通事故。

3.1.1 相对湿度 图3为渭河桥北站逐小时能见度和相对湿度的散点图。能见度与相对湿度呈负相关关系,相对湿度越大能见度越低。

除降水外,相对湿度越大,空气中的水汽越多,当空气中的相对湿度超过90%时,有利于雾的生成。空气中悬浮的颗粒物附着上水汽形成雾滴,碰撞合并使粒径增长,多数的无机盐具有吸湿性,会随大气中相对湿度的增加而吸收水汽,造成粒径的增长,而使消光系数增加,降低能见度<sup>[7]</sup>。因此,相对湿度对能见度的影响主要表现在对大气消光系数的影响,相对湿度越大,对能见度的影响越大。

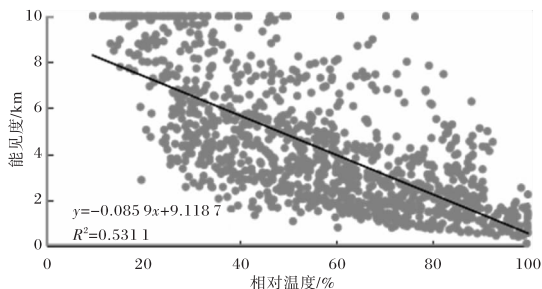


图3 2013—2019年西咸高速公路渭河桥北站逐时能见度与相对湿度的点聚图(实线为拟合线)

3.1.2 近地面温度 水汽要转化为雾滴需要通过降低气温实现,这也是大雾形成的原理。在大雾持续过程中,在相对湿度、风速、大气稳定度等诸多条件都是相对稳定的,近地面气温的变化是雾滴形成重要因素,雾滴浓度对能见度的影响表现明显<sup>[8]</sup>。2015年11月29日—12月1日的大雾过程中,汉城站观测资料显示有3个时间段的能见度低于1000 m。第一时间段的监测数据(表4)显示,能见度从2020 m降到85 m,温度由2.6℃降到-1.8℃,能见度上升到2843 m时温度也上升到5.9℃。其他两个时间段的低能见度过程重复了类似的变化。

表4 2015年11月28日21时—29日15时西咸高速公路汉城监测站小时资料

时间	能见度/m	温度/℃	相对湿度/%
28日21时	2020	2.6	86.8
28日22时	1513	1.6	90.3
28日23时	1249	1.4	93.8
29日00时	1233	1.6	93.7
29日01时	796	0.9	95.0
29日01时	895	0.1	95.5
29日03时	810	0.2	97.1
29日04时	806	0.1	97.4
29日05时	941	-0.2	97.7
29日06时	971	-0.1	98.0
29日07时	161	-1.3	97.8
29日08时	85	-1.8	99.3
29日09时	130	-1.3	99.3
29日10时	150	-0.6	99.4
29日11时	526	0.5	99.4
29日13时	2843	5.9	70.0
29日15时	2721	7.8	62.5

注:12、14时缺测。

降温是达到饱和形成雾滴的最主要、最重要的物理过程<sup>[9]</sup>。当湿度达到一定饱和度后,近地面温度降低时,能见度将随之降低,温度回升后能见度随着增高。在大雾存续过程中,近地面小时温度的连续降低对能见度的下降有一定的指示意义。

### 3.2 霾

霾是指大量极细微尘粒,均匀浮游于空中,使空气普遍浑浊,水平能见度小于1 km的现象。形成霾的天气条件一般是气团稳定、较干燥,在一天之中任何时候均可出现。霾对能见度的影响是均匀的,没有明显边界<sup>[10]</sup>。由表2分析可见,霾造成的低能见度天气累计时数最多,这与霾天气的相对稳定有一定的关系。

相关研究表明,大气颗粒物PM<sub>2.5</sub>质量浓度与霾的形成直接相关<sup>[11]</sup>。西安市草滩空气质量监测站与西咸高速公路段毗邻,是这一区域空气质量的代表站,图4是2014年1月17日—2月

17日逐时草滩空气质量监测站PM<sub>2.5</sub>质量浓度和渭河桥北站能见度的散点图。能见度与PM<sub>2.5</sub>质量浓度呈反相关关系,PM<sub>2.5</sub>质量浓度升高时能见度降低,PM<sub>2.5</sub>质量浓度降低时能见度增大。

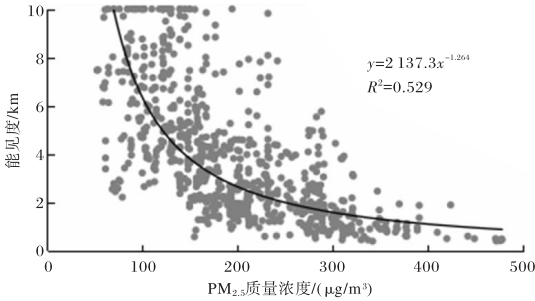


图4 2014年1月17日—2月17日西咸高速公路能见度与PM<sub>2.5</sub>质量浓度的散点图(实线为拟合线)

大气颗粒物消光是降低能见度的主要因素,其中散射消光占总体消光(包括散射消光和吸收消光)的80%<sup>[12]</sup>。PM<sub>2.5</sub>粒子是大气中对可见光散射能力很强的粒子,当大气中PM<sub>2.5</sub>粒子的质量浓度较高时,大气能见度降低<sup>[10,13]</sup>。在霾天气中,PM<sub>2.5</sub>质量浓度的高低对能见度有重要影响。

### 3.3 强降水

强降水可导致能见度下降,当雨强发生骤变时,能见度也随之发生骤变,对高速公路交通安全造成危害。依据2013年8月—2019年12月强降水造成的低能见度过程的分钟资料,得到雨强(mm/min)与能见度(m)的对应关系(表5)。降雨强度与能见度的下降密切相关,这是因为雨滴对光有一定的散射作用,当雨滴足够密集时,其散射作用会大大提高,能见度也快速下降,对高速公路通行状态造成很大的影响。

表5 2013年8月—2019年12月强降水过程中雨强与低能见度对应关系

雨强/(mm/min)	能见度平均值/m	能见度最小值/m
0.8~1.2	300~400	250
1.3~2.0	200左右	100~150
>2.0	100~150	50~100

2014年7月22日强降水过程的监测资料显示,西咸高速公路3个监测站的雨强变化与能见

度的变化密切相关,其中渭河桥北站因降雨造成的能见度下降最明显。图5为2014年7月22日22:20—23:59渭河桥北站能见度与雨强的散点图。能见度与雨强呈明显的反相关,即雨强增大时能见度降低,雨强减小时能见度增大,随着雨强的逐渐增大能见度逐渐降低。从降水过程的时间序列来看,在雨强增大阶段的23:07—23:21,雨强由0.9 mm/min增强到1.8 mm/min,能见度由263 m下降到151 m,出现最低能见度的时刻并不是雨强最强时,而是滞后于雨强最强时,随着雨强减弱能见度逐渐增大。综上可知,当雨强大于1.3 mm/min时能见度可降至200 m以下(表5),所以降水强度的预报对低能见度的预报预警有重要意义。

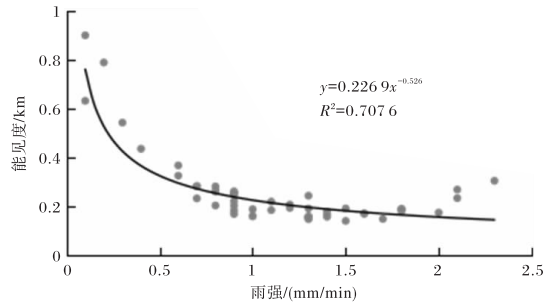


图5 2014-07-22T22:20—23:59渭河桥北站能见度与雨强散点图(实线为拟合线)

## 4 结论

(1)造成西咸高速公路低能见度的主要天气为大雾、霾和强降水。霾造成的低能见度次数最多且时间最长,雾造成的低能见度对高速公路的通行状态影响最大。一日之中,低能见度现象出现的概率在凌晨最大,下午最小。其中 $50\text{ m} \leq v < 200\text{ m}$ 出现概率最高,为08时的18.6%。低能见度的月平均时数在年内呈两高一低的分布趋势,1—4月、9—12月为高峰区,5—8为低谷区,其中 $500\text{ m} \leq v < 1000\text{ m}$ 的平均时数最多为11.3 h,出现在12月。3个监测站的低能见度年平均时数呈现由南向北依次增多的趋势。

(2)除天气形势外,影响雾的因素主要是相对湿度和温度。能见度与相对湿度呈负相关关系,相对湿度越大能见度越低。雾发生时,湿度达到一定饱和度,近地面温度的连续降低对未来能见

度的下降有一定的指示意义。

(3)大气颗粒物  $PM_{2.5}$  质量浓度与霾的形成直接相关。能见度与  $PM_{2.5}$  质量浓度呈现反相关。在霾天气中,  $PM_{2.5}$  质量浓度的高低对能见度有重要影响。

(4)强降水可导致能见度下降,当雨强大于  $1.3 \text{ mm/min}$  时能见度可降至  $200 \text{ m}$  以下,所以降水强度的预报对低能见度的预报预警有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 张利,吴润,张武. 1955—2000年中国能见度变化趋势分析[J]. 兰州大学学报,2011,47(6):46-55.
- [2] 范引琪,李春强. 1980—2003年京、津、冀地区大气能见度变化趋势研究[J]. 高原气象,2008,27(6):1392-1400.
- [3] 朱焱,杨金彪,朱连芳,等. 苏州市能见度与影响因子关系研究[J]. 气象科学,2011,31(5):626-631.
- [4] 林杨,胡琳,邓小丽,等. 西安市大气能见度变化规律及与空气污染关系[J]. 陕西气象,2007(6):29-31.
- [5] 杨晓丹,狄靖月. 天气现象影响公路低能见度的特征[J]. 科技导报,2013,31(32):58-63.
- [6] 高红燕,蔡新玲,李建科. 西安市低能见度特征分析[J]. 陕西气象,2005(6):26-27.
- [7] 杨军,李子华,黄世鸿. 相对湿度对大气气溶胶粒子短波辐射特性的影响[J]. 大气科学,1999,23(2):239-247.
- [8] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象,2006,32(4):9-15.
- [9] 盛裴宣,毛节奏,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003:299-322.
- [10] 韩毓,白志鹏,孙韧. 颗粒物质量浓度对大气能见度水平影响分析[J]. 环境监测管理与技术,2008,20(4):60-65.
- [11] 余锡刚,吴建,郗颖,等. 灰霾天气与大气颗粒物的相关性研究综述[J]. 环境污染与防治,2010,32(2):86-88.
- [12] 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.
- [13] 卢盛栋,赵俊杰,于小红,等. 太原大气能见度对相对湿度及颗粒物质量浓度的响应关系研究[J]. 陕西气象,2020(5):21-26.
- [14] 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J]. 气象,2004,31(4):4-7.
- [15] 苏维瀚,张秋彭,沈济,等. 北京地区大气能见度与大气污染的关系初探[J]. 大气科学,1986,10(2):138-144.
- [16] 胡迪. 武汉天河机场低能见度现象的气候特征分析[J]. 陕西气象,2006(3):18-20.
- [17] 周璞,张恬月,刘晓达. 成都双流机场跑道视程与低能见度的关系[J]. 陕西气象,2018(3):20-24.