

袁成松 卞光辉 冯民学 吴震 周曾奎

(江苏省气象局, 南京 210008)

提 要

介绍了对高速公路低能见度的数学描述,从相变理论、能见度突变的实际表现及车辆制动距离的需求,论证了对低能见度监测与预报的必要性,并介绍了在沪宁高速公路无锡段应用了一年多的低能见度监测与预报系统,实例表明对高速公路上造成低能见度的浓雾、包括局地性雾和突发性团雾具有可预报性,减少乃至避免重大交通事故的发生。

关键词: 高速公路 低能见度 雾

引 言

2000年我国因安全事故造成的伤亡人数中,交通事故居首位,年死亡人数逾十万,平均每天达三百人,确保交通安全已是亟待解决的问题。我国的高速公路已近两万公里,随着社会经济的快速发展,以高速公路为轴线的“经济走廊”正在显现,高速公路上的车流量迅速增大,沪宁高速公路上部分路段的平均日车流量已经达到5.4万辆,而雾对交通的影响、危害和造成的灾难也达到了空前的程度,已成为交通安全的第一杀手,车辆损毁和人员伤亡惨重。为此,沪宁高速公路与江苏省气象局于2002年春季始正式进行沪宁高速公路无锡段低能见度监测与预报的试验研究。试验研究中,在锡东、锡澄、锡北和南京的解放军理工大学气象学院、小校场设置了AMW自动监测站,建立了监测网络和远程传输终端,研制了预报流程,并将预报结果传至公路指挥中心。自试验研究开始后,沪宁高速公路无锡段未出现因能见度低劣而造成的交通事故。试验表明AMW监测仪是可信的,对能见度小于200m浓雾的预报准确率达到86%。实践证明,无论是大范围的平流雾、辐射雾还是局地性突发性的团雾都具有可预报性。试验研究已取得明显的

阶段性成果。

1 对低能见度的数学描述

低能见度是个模糊(Fuzzy)概念,二值逻辑不能对其进行客观描述^[1]。不同交通工具及不同速度条件下对这一概念隶属度的设定是不同的,例如在机场、高速公路、普通公路上对低能见度的界定差异是明显的。就高速公路而言,能见度小于500m需预警;小于200m因不能确保200m车距要求已容易发生事事故,需采取相应措施;当能见度小于50m时极易发生交通事故,必须采取更为严格的措施。所以,高速公路上的能见度 x 对低能见度隶属函数 $\mu(x)$ 的设计为:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 50 \\ 1 - (x - 50)/750 & 50 < x \leq 200 \\ 0.8 - (x - 200)/375 & 200 < x < 500 \\ 0 & 500 \leq x \end{cases} \quad (1)$$

其函数图像见图1。

2 低能见度监测与预报的必要性

2.1 能见度突变的原因

雾是悬浮在近地面空气中大量微小的水滴(或冰晶),由于雾对可见光的散射作用使能见度显著减小。形成雾的物理过程是近地

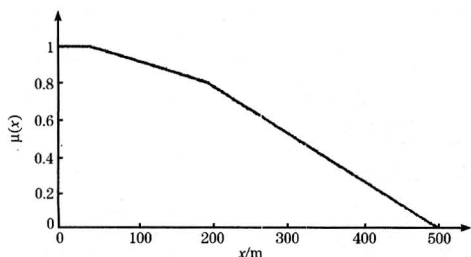


图1 高速公路低能见度的隶属函数与能见度关系面大气降温增湿趋于饱和的过程,雾的形成、增浓减淡、移动及消散都与大范围的天气形势及各种气象要素分布变化有着密切的关系,当然也与当地的地理、地貌和环境状况有关。

此外,在风力的作用下加剧了雾粒的碰并,使部分雾粒增大。雾滴表面的饱和水汽压只随半径的增大而减小($E \propto 1/\gamma$),空气中有了较大的雾粒,促进小雾粒及空气中的水汽向大雾粒凝聚。气象学中给出,能见距离与雾粒半径的平方成反比:

$$x = 4.98 / (\sum n_i \cdot a_i^2) \quad (2)$$

若把单位体积内雾粒半径大小分为若干组, n_i 是第 i 组的雾滴数, a_i 为第 i 组的半径, x 为能见距离。所以,在风力作用下因碰并形成雾粒的曲率半径出现差异,使大雾粒迅速形成,是能见度急剧下降的又一种物理过程。

2.2 能见度突变的表现

在我们监测的过程中,发现雾的生消变化不是一个渐变的过程,测站能见度从 1000~2000m 降至 100m 以下平均为 20~30min,有时甚至几分钟内能见度剧降,无论是平流雾、辐射雾或团雾的影响、发生过程大体皆如此。图 2 是 2003 年 1 月 19~20 日晨出现的一次大范围的辐射雾,范围几乎遍及苏皖两省,在无锡段的锡东,19 日 21:25~21:35,10min 内能见度由 1050m 下降到 220m;锡北 20 日 1:15~1:50 能见度由 1150m 下降到 95m。

这种能见度的剧降的表现绝不是一种个别的偶然现象,查阅试验研究期间的逐次个

例档案,这种表现具有普遍性。

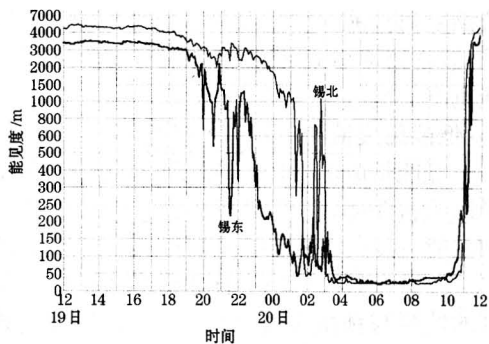


图2 2003年1月19~20日能见度记录曲线

2.3 车辆制动距离的实际需要

在公路上行驶的车辆在遇到情况时紧急制动距离包含以下几项^[2]:

(1) 驾驶员发现情况反应的时间和实际采取制动的时间(t_1)一般为 0.3~1.0s, V_0 为制动前初速度,在 t_1 时间里车辆移动距离 S_1 :

$$S_1 = t_1 \cdot V_0 / 3.6 \quad (3)$$

若 $V_0 = 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $S_1: 2.5 \sim 8.3 \text{ m}$

$V_0 = 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $S_1: 5.0 \sim 16.6 \text{ m}$

(2) 制动传动机构迟滞时间(t_2)和制动增长时间(t_3),一般为 0.2~0.9s。

(3) 制动持续时间(t_4)

在制动开始后汽车所行走的距离:

$$S_2 = V_0(t_2 + t_3/2) / 3.6 + V_0^2 / (25.9t_4) \quad (4)$$

对此,车辆检验制定了制动距离标准,以 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为例,见表 1。

表1 制动距离

总质量	<5 吨	4.5~12 吨	>12 吨
S_2	7m	8m	<9.5m

即在能见度已经恶化车辆行驶速度已降至 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的情况下,车辆真正实现制动所行驶距离: $S = S_1 + S_2$ 为 10~18m。这是在车辆已经减速和车辆制动功能良好状况下的数值,然而在能见度急剧下降之前,原车速(V_0)一般都大于 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 甚至远大于 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的情况下,故从发现情况到制动完成所需的距离会比上述列举的值大得多,甚

至因紧急制动出现失控现象。为此,在高速公路上对低能见度的监测与预报是十分必要的,以使公路管理人员和司机对将要遇到的能见度突变心中有数。

3 低能见度监测与预报的实施

低能见度浓雾的监测与预报是近几年来提出的新课题,对沪宁高速公路雾害的研究和低能见度的预报,经过多年实际工作中的研究改进,已构建了一个对高速公路低能见度的监测与预报系统,设置了定点连续记录并可实时远程调用的自动监测站,建立了预报流程,一年多的实践证明对低能见度(浓雾)是可监测的也是可预报的。

3.1 高速公路低能见度的监测与预报系统

该系统既借助了已有的组织严密工作规范的大范围的气象观测、信息收集与播发的宏观监测系统,又包含公路沿线自动监测站所测定、传输、显示的具有确定地点、时间、数值的监测结果。该系统融入了天气学预报方法和数值预报产品,也包含在不断探索过程中对沪宁高速公路沿线出现浓雾特征的认识及预报着眼点,给出了预报的流程,并将预报结果及时传输给公路指挥部门,事后依路政报告对监测与预报结果作出评价。总体的信息流程及工作过程见图3所示。

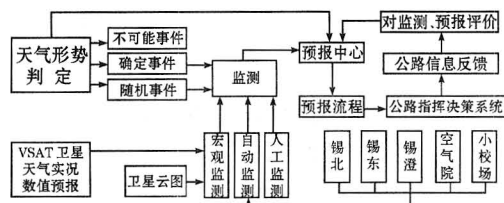


图3 高速公路低能见度监测预报系统示意图

3.2 研制了AMW自动监测站

课题组与多家科研机构、南京气象学院合作,共同研制了适用于高速公路浓雾监测的AMW自动监测站,并进行了比对观测,做了误差分析,数据传输采用远程调用。经过实际测试认为性能稳定、测值准确、远程传输及时,于2002年在沪宁高速公路无锡段的锡东、锡澄、锡北及南京的空气院、小校场等地布点投入实用,在雾的监测试验研究中发挥

了作用。2002年4月15日,经过以中国气象局网络监测司司长为首的专家组评审,对AMW自动监测站的性能、功能、精度等予以肯定,并通过验收。

3.3 雾的预报

雾的形成有着大体相似的天气形势背景,因而使雾具有一定的可预报性。最有利于浓雾形成的形势背景是:500hPa低槽东移,地面有降水,低层从华北有冷空气南下,低槽过境后,雨区东移,且地面高压主体尚未南下,江苏南部处于高压主体南伸的均压场中,或在分裂的弱高压控制下,雨后低层空气湿度较大,晴空区东扩后,秋冬和春季夜晚时间长,累积辐射降温幅度大,加之有冷空气的渗透南侵,很易出现浓雾。若雨后伴随着强冷空气爆发,虽然天气转晴、但冷平流很强,近地层水汽很快被大风吹走,不具备成雾的条件;寒潮过后,在较强的地面高压控制下,空气干冷,也不具备成雾的条件;在阴雨天气里,由于没有辐射降温的条件,一般也不会有雾,在春季气旋的暖区里,有时会雾雨并存,但这类雾的能见度不会很低。根据天气形势综合研制了成雾形势的概念模式,再应用宏观监测和定点监测得到的信息及时作出是否发生浓雾的预警、临近预报的判断,当已有浓雾的时段还要发布雾消预报。沪宁高速公路浓雾的预报流程如图4所示。

4 监测预报实例

4.1 一次具有平流雾特征的浓雾

2002年3月12日凌晨4~10时的浓雾。在11日8~20时500hPa(属II型)高空形势图上,低槽从112°E东移至118°E,当低槽逼近时,南京及苏南地区下雨,在12日02时苏南地区(包括无锡段)过去天气有雨,雨区随低槽规律东移。此时处在槽后的安徽已雨过天晴,出现天顶不可辨的浓雾。05时地面图上(属I型),南京出现目测能见度为:“0”(小于1000m)的大雾。所以雾区东移东扩过程在宏观监测中可明显地分析出来。根据AMW监测仪接收到的能见度值:南京12日2~3时已在50m以下,且地面风向为偏

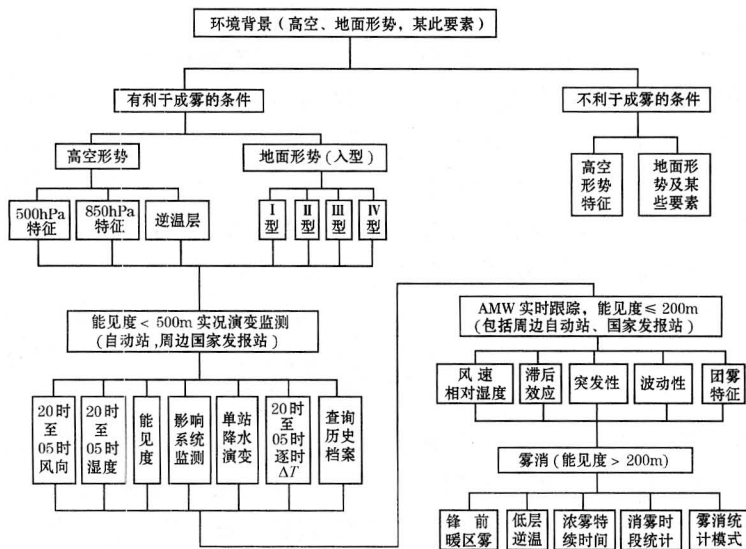


图4 高速公路低能见度预报流程示意图

西,预报员4时08分发布5时起无锡段能见度小于200m的预报,当时锡东能见度1800m,锡澄3500m,锡北6200m,此后能见度实况演变:5时降至200m,6时降至50m左右,8时40分后消散。

这次大雾是平流加辐射,且平流的特征非常明显,由于大形势明朗,宏观监测和定点监测发挥了显著的作用。

4.2 一次典型的辐射雾

2003年1月20日出现了一次比较典型的大范围的辐射雾,其浓度之大持续时间之长在1月份是少见的,地域上大体覆盖了苏皖两省,能见度小于150m持续达11h,小于50m达7.5h,监测到的能见度记录表明很长一段时间只有十几米。据报纸报道:苏皖两省312国道上先后发生了近十起多车相撞的事故。对这场浓雾课题组提前发布了准确的预报,路政方面及早采取了相应的措施,沪宁高速公路上未出任何事故。

这一天的天气形势也是明朗的,500hPa属I(2)型,地面形势属II型。其演变过程,19日08时前500hPa低槽过境时苏皖两省

普降小雨,低槽过境后19日上午雨止,15时南京转晴,17时无锡转晴,此时地面高压主体仍在内蒙古,苏南处于高压主体南部的均压区内,地面气压1022hPa,近地层空气因雨后湿度大,14时 $T - T_d$:南京5℃,常州4℃,苏州东山4℃,此后 $T - T_d$ 继续减小。21时从布设的自动监测仪上获知,南京到锡东相对湿度均不小于90%,南京解放军理工大学气象学院已达94%,虽然无锡段的能见度在1000~3000m,但随着辐射降温的继续成雾已是必然事件。课题组于21:15发布22时无锡段能见度小于200m,实况21:45锡东能见度降至不足250m,20日0~11时稳定在200m以下,其中3:15~10:50能见度小于50m。

4.3 一次团雾的影响与消散

2002年12月13日500hPa和850hPa江苏均处于槽后西北气流控制下,属I(2)型和II型,天空晴朗且有冷平流,地面形势属III型,无锡处高压南部的均压场中,在34~40°N、113~118°E范围内存在大片雾区,江苏除

徐州外均不在雾区内,但在锡北却出现了团雾,能见度很不稳定。从表2列出的几段资料中可见,导致能见度剧变的触发因子是风的脉动。表中所列的数据是5min均值,显然风的瞬间脉动应比均值明显得多,预报人员根据天气形势的判断和监测到的这种风速脉动及由此产生的能见度突变,于5:05发布锡北在5:45~7:30能见度小于150m的预报,实况:第一段5:35~6:20能见度小于150m;6:25~7:00能见度恢复到500~2000m;第二段7:05~8:20能见度小于150m,8:25恢

表2 2002年12月13日无锡北能见度观测资料

时间 /时:分	气温 /℃	湿度 /%	能见度 /m	风速 /m·s ⁻¹	风向/°
4:25	1.0	93	3275	0.3	193
4:30	1.0	94	2664	0.4	193
4:35	1.0	94	1874	0.5	193
5:25	0.8	95	1006	0.3	239
5:30	0.9	95	291	0.4	245
5:35	0.6	95	89	0.3	250
6:15	0.5	96	63	0.8	197
6:20	0.5	96	82	0.7	192
6:25	0.6	96	2033	0.6	192
6:30	0.6	96	2033	0.5	194
6:55	0.6	97	460	0.4	242
7:00	0.5	96	630	0.5	256
7:05	0.3	96	81	0.4	266
8:20	2.8	95	83	0.3	258
8:25	3.2	94	631	0.3	245
8:30	2.9	91	1336	0.5	249

复到600m以上。

这次团雾在日出后维持了近一个小时,8时20分后随着太阳高度角的升高,地面受热明显,7:40~8:40气温以每5min平均0.25℃的幅度上升,雾滴蒸发湿度减小,8:25起锡北能见度大于500m。

5 结 语

实践证明,对高速公路上低能见度的监测与预报既是必要的也是可行的,在沪宁高速公路与江苏省气象局的共同努力下,课题组已经构建了一个用于无锡段的监测与预报系统,并已投入实际工作,取得了明显的成效,避免了事故的发生。显然这一工作思路和监测预报系统也适用于沪宁高速公路的其他地段甚至更大的地域。试验研究中,在取得一些研究成果的同时,也发现了一些有待改进的方面,我们相信随着试验研究的进一步深入,对该系统还会不断改进与完善,这对高速公路的安全运行将是非常有益的。

参考文献

- 汪培庄. 模糊数学简介. 数学的实践与认识. 北京: 科学出版社, 1980: 2, 3.
- 杨德华. 汽车检测与诊断技术. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994: 110~116.

Monitoring and Forecasting of Low Visibility on Highways

Yuan Chengsong Bian Guanghui Feng Minxue Wu Zhen Zhou Zengkui

(Jiangsu Province Meteorological Bureau, Nanjing 210009)

Abstract

The mathematical description of low visibility over highways is intruduced. It proves the necessity of monitoring and forecasting of low visibility on the basis of the theory of phase change and the actual sudden change of visibility and the braking distance requirement. The monitoring and forecasting system of low visibility that has been used on the Shanghai—Nanjing highway in Wuxi for more than a year are discribed. Some examples are given to show that this system can forecast the heavy fog, including the regional fog and the sudden fog so that serious traffic accidents can be lessened or avoided.

Key Words: highways low visibility fog