

# 高速公路 交通气象智能化 监测预警系统研究



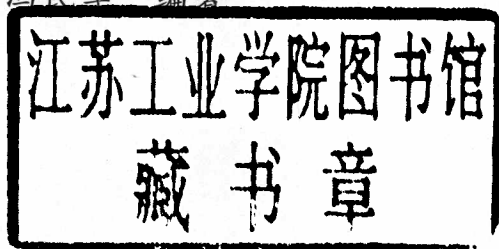
冯民学 编著

GAOSUGONGLU  
JIAOTONGQIXIANGZHINENGHUA  
JIANCEYUJINGXITONG  
YANJIU

气象出版社

# 高速公路交通气象 智能化监测预警系统研究

冯民学 编著



气象出版社

## 内 容 简 介

本书针对我国智能交通系统(ITS)特别是高速公路 ITS 发展的实际需要,选择在 我国具有一定代表意义的沪宁高速公路为试验路段,由点到“线”,分期分批建立相关 气象要素的自动监测站,逐步延扩试验路段,重点研究探索与高速公路智能交通紧密 相关的低能见度浓雾的监测方法和预警应用技术,为超低能见度的预报、路政管理及 驾乘人员提供新的实时信息源;研究全天候实时采集并发布整个路段的气象能见度和 其他气象要素的技术途径,为相关工程设计提供科学依据,为我国智能交通系统(ITS) 的建设特别是为改进和提升高速公路 ITS 的管理功能提供技术支撑。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速公路交通气象智能化监测预警系统研究/冯民学编著. —北京:气象出 版社,2007.9

ISBN 978-7-5029-4369-1

I. 高… II. 冯… III. 高速公路-气象要素-监测系统;预警系统;自动化 系统-研究-中国 IV. U495

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148330 号

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E - mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室 010-68407112,发行部 010-68409198

责任编辑:张 斌

终 审:林雨晨

封面设计:福瑞来书装

责任技编:都 平

责任校对:王广田

印 刷 者:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:850 mm×1168 mm 1/32

字 数:160 千字

印 张:6.25

版 次:2007 年 8 月第 1 版

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:20.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页,请与本社发行部联系调换

# 序

随着我国高速公路里程的不断增长,大雾、暴雨、冰雪等灾害性天气已成为影响交通安全和效率的主要因素。虽然从世界上第一条高速公路建成运营以来,国内外科技工作者对影响高速公路安全运营的气象条件的监测预报和决策管理研究就从未停止,广大科技工作者也开展了多方面的研究工作,取得了许多重要成果。但由于影响高速公路行车安全的浓雾等灾害性天气现象的发生机制十分复杂,如局地浓雾,空间尺度仅几公里,生存时间仅几十分钟,且突发性明显,因而危害极大。研究建立高速公路气象实时监测、临近预报保障系统,对保障出行驶辆和人民生命财产安全、提高高速公路的营运效率尤显迫切。

自1996年以来,江苏省气象局与江苏省宁沪高速公路股份公司紧密合作,并得到了中国气象局、江苏省科委的大力支持,先后完成了“沪宁高速公路雾情预报系统研究”、“高速公路气象保障与决策管理系统”等多项课题的研究,在沪宁高速公路建立了具有科学性、针对性、系统性的气象监测系统和精细化的预警、临近预报服务系统,研究成果已得到国内同行和用户的高度评价,并被同行广泛应用。

本书作者在沪宁高速公路建设阶段就参与了高速公路气象服务工作,十多年来一直承担着高速公路气象监测和服务保障课题和项目的研究开发。在此期间,作者还在导师的指导下,完成了“高速公路交通气象智能化监测预警系统研究”的博士学位论文。本书是作者在其博士论文基础上结合近年来的科研成果进一步完

善撰写的,是江苏省气象部门拓展专业服务领域的一项重要研究成果,是一本富于创新性且具有一定理论深度和较高使用价值的好书。我读了他的书稿后,很受启发,特向广大读者推荐,相信本书对从事交通气象研究和开展气象服务的同志都具有一定的参考价值。

卡光新

2007年7月

# 前 言

随着我国社会经济的快速发展,交通运输对国民经济建设和国家安全的影响日益重要,经济的高速发展又势必推动高速公路的大力发展。但暴雨、大雾等恶劣气象条件对高速公路安全运营带来极大危害,尤其是大雾对交通的影响、危害以及由此造成的车毁人亡的灾难都已达到了空前的程度。随着高速公路建设的不断建成开通,气象监测、预警、预报对高速公路安全运营的保障将日益受到关注,所以研究建立高速公路恶劣气象条件的监测、预警、预报等气象保障与营运决策管理已迫在眉睫。

江苏省地处我国东部沿海,经济发达,路网纵横,也是气象灾害尤其是大雾的多发地区。从1996年起,江苏省气象局和沪宁高速公路运营管理部门紧密合作,开展高速公路气象条件的监测、预警、预报服务等工作,在保障高速公路安全运营方面取得了可喜成绩,并积累了一些宝贵经验。

作者从1996年开始,先后参加了“沪宁高速公路(江苏段)秋冬季雾害预防研究”、“江苏省高速公路大雾遥感监测业务系统”、“沪宁高速公路雾情预报系统研究”、“高速公路气象保障与决策管理系统”等项目研究工作,涵盖了高速公路能见度监测技术方法研究、交通气象监测站及通信网络设计、智能交通气象监测预警系统总体设计方案、低能见度浓雾的预警预报支持技术的开发应用等。本书主要是对以上工作的研究总结,且系统地介绍了沪宁高速公路监测预警系统试验应用情况。

鉴于浓雾等局地气象灾害的形成除了与大气环流密切相关

外,还受局地环境影响,而我国现有的气象观测站网无论是安装位置、观测要素和时空间密度、精度都还无法满足高速公路对气象条件的监测预报需要,本书中涉及的研究成果均是在沪宁高速公路沿线相关路段设置一定数量的气象监测站条件下得到的。

本书的编写得到了江苏省气象局、江苏省沪宁高速公路股份有限公司和南京信息工程大学有关专家的大力支持和帮助。尤其要感谢顾松山教授、陈忠荣副教授和课题组成员孙涵、卞光辉、周曾奎和吴赞平正研级高级工程师的支持和帮助,课题组的吴震、王宏伟、袁成松高级工程师以及焦圣明、汪卫东工程师等一并参加了课题研究 and 资料整理工作,在此一并表示感谢!

作者

2007年7月1日

## 摘 要

随着高速公路的快速发展,智能交通系统(Intelligent Transportation System,ITS)作为一个高新产业日益受到国内外的高度重视,其中,气象对 ITS 发展的贡献不可低估,它是提升 ITS 智能功能的关键要素之一。本书的目的就是针对我国高速公路交通安全管理的实际需要和智能交通系统技术需求,研究严重影响交通的低能见度浓雾监测与预警的技术方法。

根据能见度定义和现有各种能见度仪的器测原理和性能价格比,选择单光路前向散射式能见度仪作为高速公路能见度监测的采集器。针对 WT-1 能见度仪在非标准场地的信号过饱和现象,根据光的大气传输和方向性反射理论,提出了采用挡光板截断无效接收光路,有效地解决了光饱和问题,通过改进能见度算法模型,从而显著降低了新改进的 WT-2 能见度仪对场地的要求,提高了反演精度。

根据智能交通系统对实时动态监测信息的需求,设计了网络式交通气象综合监测站(NTMS),与常规自动气象站的主要区别在于:① 实现了交通与气象要素采集的一体化;② 采用了智能单元分布式集成方式;③ 强化了对异常事件的智能化处理功能,即设计了内环境温度、电压测控和通讯、采集状态监测与报警功能,设计了监视入侵者的安全告警功能,设计了危险天气等警示信息发布功能。

根据雾的形成机理,分析了地形、地貌和空气污染源对雾的影响,揭示了江苏省西部丘陵山区和东部水网地区多雾的原因,为交



通气象监测站的选址、观测要素的选择和预警提供了理论依据。

根据总体设计、分步实施的原则,研制了沪宁高速公路江苏段的交通气象监测预警系统,实现了路况气象信息综合采集、基础数据库建设、警示信息发布等功能。试验与示范应用表明,该系统具有良好的稳定性、可靠性和实用性,为低能见度的精细分级预报提供了有效的技术支持,所实现的智能预警功能有助于提升 ITS 的超前决策能力。

研究表明:

(1)通过观测事实揭示的雾的一些基本特征是高速公路测站选址、观测要素选择和仪器安装规则等相关工程和雾的预报、预警的科学依据。

(2)研制的沪宁高速公路江苏段的交通气象监测预警系统已在试验、示范与服务中取得了较理想的服务效果,为最终完成高速公路的交通气象智能化监测预警系统(ITMS)积累了经验。

(3)新改进的 WT-2 能见度仪具有更强的环境适应性,特别适用于高速公路。

(4)设计的交通气象综合监测站(NTMS)是一种基于 Mini 网络的可实现分散要素分布式采集的带有预警功能的高速公路交通气象综合监测站。

# 目 录

<b>第 1 章 引言</b> .....	(1)
1.1 研究的意义与目的 .....	(1)
1.2 国内外研究现状 .....	(7)
1.3 需要研究的主要问题分析.....	(18)
1.4 研究的主要内容.....	(19)
<b>第 2 章 高速公路能见度监测技术方法研究</b> .....	(26)
2.1 能见度的定义与测量.....	(26)
2.2 国内外能见度仪研究现状.....	(34)
2.3 能见度器测原理及其适用性.....	(36)
2.4 WT-1 型能见度仪技术性能及外场试验 .....	(51)
2.5 WT-2 型能见度仪技术性能及外场试验 .....	(58)
2.6 小结.....	(63)
<b>第 3 章 网络式交通气象监测站研制</b> .....	(69)
3.1 网络式交通气象监测站的定位与需求.....	(69)
3.2 国内外研究现状.....	(70)
3.3 设计原则与保障措施.....	(73)
3.4 网络式交通气象综合监测站的研制.....	(75)
3.5 NTMS 监测站试验情况 .....	(87)
3.6 小结.....	(95)

<b>第 4 章 低能见度浓雾的预警支持技术</b> .....	(100)
4.1 高速公路的雾情监测预警要求及分级 .....	(100)
4.2 国内外研究现状 .....	(102)
4.3 雾的监测预警理论 .....	(109)
4.4 低能见度浓雾的分级研究 .....	(113)
4.5 低能见度浓雾监测预警的支持技术 .....	(117)
4.6 小结 .....	(128)
<b>第 5 章 智能型交通气象监测预警系统</b> .....	(135)
5.1 ITMS 的定义及与高速公路 ITS 的关系 .....	(135)
5.2 国内外研究现状 .....	(137)
5.3 ITMS 的设计原则 .....	(139)
5.4 ITMS 总体结构设计 .....	(140)
5.5 沪宁高速公路江苏东段的 ITMS 建设 .....	(141)
5.6 小结 .....	(176)
<b>第 6 章 监测预警系统的试验示范</b> .....	(178)
6.1 试验目的 .....	(178)
6.2 试验安排与任务 .....	(178)
6.3 试验分析 .....	(179)
6.4 小结 .....	(190)

# 第①章 引 言

---

## 1.1 研究的意义与目的

随着我国社会经济的快速发展,交通对国民经济建设和国家安全的影响日益重要,其中高速公路的作用众所周知、显而易见。根据日本交通厅安全情况统计,其高速公路每百千米交通事故发生率仅为普通公路的  $1/2$  或  $1/3$ ,而交通流量却是普通公路的 10 倍左右,美国的统计情况表明,其高速公路每百千米交通事故发生率仅为普通公路  $1/10$  左右<sup>[1,2]</sup>。因此,经济的高速发展势必推动高速公路的大力发展。

我国自 1988 年 10 月 31 日上海沪嘉高速公路建成通车以来,高速公路从无到有,呈逐年加速发展的态势。根据相关公开资料,到 2004 年底,我国高速公路总里程已达到 3.42 万千米,居世界第二位。今后几年,高速公路建设将继续保持每年新增里程 3000~4000 千米的进度,到 2010 年将建成 5~5.5 万千米的高速公路网。根据《国家高速公路网规划》,未来 30 年我国将建成 8.5 万千米的国家高速公路网。

高速公路远辐射和快捷舒适的运输环境,改善了人们的出行条件,缩短了地域间的距离。以高速公路为依托,大量新兴产业群体的经济带和经济圈正在形成,以高速公路为轴线的“经济走廊”已经显现。高速公路的建设正在以前所未有的速度改变着人们的生产、生活环境,改变着经济发展格局。

另一方面,经济的高速发展,也使交通拥挤、事故增多、环境污

染等问题日益恶化,从而对高速公路建设和管理提出了更高的要求。自 20 世纪 80 年代以来,欧美、日本等发达国家和地区为保证运营安全、提高运输效率,在完善道路基础设施的同时,开始将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子传感技术、自动控制技术及计算机处理技术等有效地集成并运用于高速公路的运营管理,并逐步向智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)方向发展。改革开放以来,我国经济发展速度很快,在今后一段时间内仍将保持经济高速发展的态势,并对交通运输形成更大的压力,这势必要求高速公路交通的发展能够跟上经济高速发展的需要。根据有关公开资料,目前我国的机动车拥有量已超过 6000 万辆,并以每年 10% 以上的速度增长,预计 2010 年前后将达到 1.3 亿辆以上。但与发达国家相比,我国高速公路的基础条件还有较大差距。因此,在加大道路基础设施建设的同时,提高智能化管理已十分迫切。交通智能化管理涉及路政、收费、网管、交管等众多领域和部门,需要在多个行业、部门之间建立良好的协调关系。智能交通系统(ITS)是一个较为庞大、复杂的系统,包含许多复杂的技术问题,诸如自动收费划转、路况实时监控、违章肇事监督、紧急情况报警、车流安全调度、网络安全管理等。在智能交通系统中,通讯网络是基础,实时监控是手段,超前决策是关键。智能交通的核心问题是确保交通安全高效,而影响交通安全的最主要自然因素是气象灾害。可以说气象条件是影响安全行车的最主要自然因素,气象保障是智能交通系统超前决策的基础。

气象条件对交通的影响表现在很多方面。从影响机理方面看,影响交通安全的主要环节有车辆状况、路面状况、车流状况、乘车环境以及司机的判断和反应能力等方面,不同的气象条件对交通的影响程度和作用机理也有所不同。

### 1.1.1 气象条件对交通的直接影响

主要表现在改变路面物理性质、观察视线、车辆自身安全性等方面。主要灾害及影响有：

①**雾** 雾主要通过降低能见度而引发交通事故。在我国大部分地区引起恶性交通事故的天气现象中，雾的影响最大。大雾特别是 $<50$ 米的超低能见度的灾害性浓雾是引起重大交通事故的重要原因，往往引起数辆甚至数十辆汽车的连续追尾，局地存在或突发的“团雾”现象是引发车辆“追尾”的罪魁祸首。大雾常常造成重大车辆损失和人员伤亡，导致高速公路限速或关闭，延误行车时间，造成巨大经济损失。

②**降雨** 降雨也是影响高速公路交通安全最常见的气象要素，它使路面附着系数降低，导致汽车制动距离增加，易发生车辆侧滑和控制失灵从而危及行车安全。同时降雨使能见度降低，司机视线模糊不清，导致驾驶失误。此外，降雨过后，路面如有积水或干湿不一，路面摩擦系数不均，车辆制动性变差，从而引发交通事故。

③**冰雪** 降雪与降雨一样，漫天飞舞的大雪使能见度降低，而且一旦路面积雪被压实或是白天在阳光照射下融化，夜间路面降温结冰，造成路面摩擦系数显著降低，严重影响车辆的操作和制动性能，使控制失灵，车辆发生空转、打滑或侧滑，从而危及行车安全。

④**大风** 对于车辆行驶阻力、能耗、抗侧向倾翻及抗滑移性能都有很大影响，特别是侧向大风对高箱、双箱汽车的行驶影响尤甚。大风会引起沙尘暴、扬沙、吹雪、浮尘等天气，影响高速公路能见度。近年来，沙尘暴数量增加，强度增强，影响范围扩大，随着车流的增加，将成为公路交通的新隐患。

⑤**霜冻** 公路路面有霜时，路面摩擦系数接近于雪面，雨后结

冰同雪面结冰的物理性质一样,从而引发交通事故。

⑥**高温** 高温天气使车辆自身的故障率明显上升,可能引起汽车发动机混合“自燃”、“自爆”等现象,从而引发重大的交通事故。同时受吸热、摩擦及汽车尾气等的影响,高速公路路温比气温高得多,有时高达六七十摄氏度以上,汽车轮胎因此受热,使胎内气压升高,长途高速行驶,极易引起“爆胎”。高温直接影响司机的生理、心理和精神状态,无空调车更易疲劳,注意力不集中甚至中暑。

⑦**冰雹** 一般情况下,冰雹对交通的影响与雪类似,但特大冰雹还直接危及车辆的自身安全,虽然出现概率不高,但危害很大。

### 1.1.2 气象灾害对交通的间接影响

①**暴雨型** 在山区,暴雨还常常引发山洪、山体塌方或泥石流,从而导致车辆被冲,桥梁垮塌,道路被毁;在平原和盆地,暴雨常常引发洪涝,导致道路被淹,交通受阻;在城市,暴雨常常引发积涝,导致交通瘫痪。

②**大风型** 大风易使路边树木、杆线类等折断阻塞交通;易使塑料薄膜类、干草类、丝状物类等漂移到路面上引起车辆打滑、失控;易使灰尘、扬沙、尘卷影响视线造成交通事故。

③**扩散型** 当发生毒气、污染物泄漏时,其扩散速度和方向则主要取决于气象条件;一些排放废气较重的工厂也会对交通安全产生间接影响,当大气层结比较稳定、废气积累到一定浓度时,也会严重影响司机的精神状态,出现反映迟钝。由于前者发生较少、后者司空见惯,所以,这方面的问题还没有引起人们的高度重视。

### 1.1.3 气象条件对交通影响的季节和时间特征

①**季节特征** 浓雾是秋冬季和冬春季最主要的气象灾害,冰

雪、霜冻是冬季最主要的气象灾害,大风、暴雨、高温、冰雹是夏季最主要的气象灾害。

②**时间特征** 最明显的是浓雾,主要交通事故大多数发生在早晨至上午这段时间。

#### 1.1.4 气象条件对交通影响的地域空间特征

①在多雨的泥质山区,暴雨引发的山体滑坡、塌方、泥石流等地质灾害是影响交通最主要的间接原因。

②在植被覆盖度高的山区,山谷中地形云(接地为雾)的影响尤为重要。

③在我国的华东、华中、华北、东北及西南的大部分地区,雾是影响交通最主要的直接气象灾害,江苏就是一个典型代表区。

雾对交通的影响主要表现在两个方面<sup>[3]</sup>:

一是使行车能见度下降。由于雾使光线发生散射,使视物明度下降,影响驾驶员观测视线,致使车距、车速估计不足,对交通标志、路面设施和行人识别产生困难。同时雾气朦胧也容易给驾驶员心理造成紧张感,根据有关研究,70%左右的司机在进入雾区时心理过度紧张,85%的司机在雾天开车感到疲劳,87.5%的司机驾驶姿势会发生变化,因此,一有意外,容易惊慌失措而引发交通事故。

二是由于雾水与积灰、尘土混合,导致轮胎与路面的附着系数减小,特别是高原及北方冬季,冰雾会在道路表面形成薄冰,附着系数下降更为明显,从而发生制动距离延长、行驶打滑、制动跑偏等险象。

世界各国高速公路运行情况表明,在所有不利气象条件中,大雾对高速公路运行所产生的危害最大。1975年,在美国加利福尼亚通往纽约的高速公路上,由于大雾引发了非常严重的一起道路



交通事故,造成 300 多辆车相撞、死伤 1000 多人;1986 年,法国有 1200 起因雾引起的交通事故(不含市内),造成 182 人死亡,175 人受伤,1352 人轻伤,虽然高速公路上因雾产生的事故率仅为该年度的 4%,但死亡率却高达 7%~8%。美国每年因浓雾而引起的车辆碰撞损失高达 3 亿美元以上<sup>[1~5]</sup>。

在我国由于大雾造成数十辆汽车追尾相撞的恶性交通事故每年都有数十起报道。1999 年 11 月 11—15 日,成绵高速公路、成渝高速公路、沈大高速公路、京津塘高速公路都相继发生了多车相撞的特大交通事故,济青高速公路曾发生过 190 多辆车的追尾事故。1996 年,西安市机场路共有 28 个雾日,其中 15 个雾日发生了 25 起交通事故,事故雾日数占整个雾日数的 53.57%,其中完全因雾而产生的事故共 15 起,占交通事故数的 60%,经济损失为 5314 万元,由雾诱发的事故占 28 个雾日内经济损失的 63.65%。1996 年 10 月到 1997 年 3 月期间,西安—宝鸡高速公路在雾天共发生 29 起事故,其中重大与特大事故 10 起,死亡 13 人,伤 34 人<sup>[5,6]</sup>。

沪宁高速公路通车以来,因大雾天气造成的交通事故每年都有发生。根据江苏高速公路记录,1996 年 11 月 24 日、1997 年 12 月 13 日分别出现了 44 辆追尾、伤亡 24 人和 54 辆车追尾的恶性交通事故。1999 年 2 月 7 日上午,沪宁高速公路丹阳段因大雾有 50 多辆驶往上海方向的汽车三五成群撞在一起,最多的一处有十几辆车追尾相撞,事故路段约 3 千米长。同年 11 月 14 日 07 时 55 分,沪宁方向 130~136 千米路段因突发性局地浓雾(团雾)造成 19 辆车相撞并有人员伤亡。2002 年 10 月 25 日,江苏宁通高速公路泰兴段发生一百余辆车相撞,财产损失和人员伤亡惨重,原因就是局地团雾。这些事故造成人员的重大伤亡和车辆损毁,给国家财产和人民群众的生命造成严重损失,同时产生了不良的社会