

文章编号: 1004-4965(2007)06-0652-07

高速公路气象预报系统研究现状与未来趋势

张朝林¹, 张利娜^{2,3}, 程丛兰¹, 王必正²

(1. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 高速公路交通安全运输属于对气象高度敏感的行业, 其所追求的快速、高效、安全、准时的目标, 在很大程度上要受到气象因素的制约。随着国家经济与城市化的快速发展, 由气象条件引起的高速公路交通安全保障问题已成为影响经济发展的一个关键因素。对国内、外在高速公路气象预报系统研究方面的进展进行了简要回顾与介绍, 探讨了目前国际上主要高速公路气象预报系统的特点, 主要涉及的大气科学问题, 所面临的主要问题和未来发展趋势。对研发影响高速公路安全的高危险天气预报系统具有参考价值。

关 键 词: 道路气象; 数值预报; 高速公路; 交通安全

中图分类号: P49

文献标识码: A

1 引 言

在现代化经济高速发展的今天, 交通道路(尤其是以高速路为代表的交通干道)是国家物质运输的大动脉, 其发达程度是一个国家经济实力的重要标志。但高速公路都会面临冰雪雨雾等恶劣的天气的影响, 而恶劣的天气通常会导致高速公路路段出现诸如能见度低、路面积冰(积水)打滑等恶劣路况, 蕴藏着交通事故隐患, 并常常引发重大安全事故。因此, 高速公路交通安全运输属于对气象高度敏感的行业, 其所追求的快速、高效、安全、准时的目标, 在很大程度上要受到气象因素的制约。提供准确及时的高速公路气象与路况信息对道路交通安全保障具有至关重要的作用。

高速公路气象预报系统是指通过一系列监测手段获取有关路况和气象信息, 并对这些信息进行加工整理, 在数学物理方法基础上通过多种技术组合, 利用历史的和当前的监测数据来生成道路气象信息(如当前状况播报及未来趋势预报)。通过高速公路气象预报系统, 可以为高速公路养护人员提供及时、准确的路况和气象信息。帮助政府职能部门和公路

养护人员采取适当的防护措施进行道路养护以及提示行人, 降低交通事故发生率。在我国, 高速公路气象作为交通气象中的主要组成部分, 其属于特种气象预报范畴, 主要向政府职能与决策部门提供^[1]。

随着国家经济与城市化的快速发展, 由气象条件引起的高速公路交通安全保障问题已成为影响经济发展的一个关键因素。统计表明, 高速公路交通事故的高发期多为多雾、多雨、多冰雪、多大风和沙尘的季节, 高速公路上因恶劣天气造成的交通事故大约占总事故的 1/4 左右。如在华南京珠高速公路粤境大瑶山路段, 由于地形复杂高度变化大, 浓雾发生频率非常高, 该路段 12 个月均可能出现能见度较低的浓雾, 尤其在 10 月~次年 3 月间, 浓雾出现概率高达 40%。在 1999 年 1 月连续 7 天 7 夜大雾未散, 高速公路因浓雾和结冰导致 124 辆汽车追尾相撞事故^[2]。在华北, 以京、津、冀区域为例, 年平均雾日在 3~22 天, 最高记录为 51 天, 平均每周一次, 由雾天造成的交通事故每年有很大比例。如 1997 年 11 月 14 日和 12 月 17 日, 北京地区的两次大雾, 使京石高速公路和京津塘高速公路发生了四起近 60 辆汽车相互追尾, 死 9 人伤 40 余人的惨重事故。京津塘高速公路封路时间达 48 小时, 仅北京段过路费收入

收稿日期: 2006-06-19; 修订日期: 2006-08-28

基金项目: 国家科技部公益研究专项(2005DIB3J098); 2006 年“城市气象基金”(UMRF200602)共同资助

作者简介: 张朝林, 男, 博士, 研究员。主要从事数值预报模式开发应用和地基 GPS 气象研究。E-mail: clzhang@ium.cn 或 c_lzhang@yahoo.com

损失就达 60 余万元。

研发高速公路气象预报系统并做出及时准确的道路气象条件预报信息,一方面可为道路养护等政府部门提供道路维护(如洒盐、扫雪铲冰等)的科学决策依据,改善道路的使用性能和耐久性,使得这些道路对使用者及其维护者都更加安全;另一方面更有利于道路养护等政府部门有更充足的时间进行及时有效的道路维护作业准备与安排,进而可以降低因高影响天气引发的道路交通维护成本,保障道路畅通,减少交通事故造成的人民生命财产损失。如及时的防冰策略可以省却大量的除雪剂,减少道路停止运行的时间,提高道路的使用率。因此具有重大的实际应用价值。1996 年 Wikelius 等^[3]报告指出,道路气象预报系统开发方面具有很高的投入产出性价比,直接经济效益约为投入成本的 2 倍,而产生的间接经济效益高达 10 倍左右。英国气象局 Thornes^[4]在 1994 年的研究报告表明,道路冰况预报系统的使用,每年可减少约 272 百万美元的经济损失,挽回约 25~50 人的生命。美国威斯康星州(Wisconsin)采用冬季道路气象预报系统,仅在一次冬季暴风雪天气中就减少 7 万多美元的损失,节约道路维护用盐 2 500 吨^[5]。可见,无论从提供生命财产安全保障,还是从减少交通事故经济损失、维护并保障道路畅通来看,研发道路气象预报系统均具有重要的现实意义和实用价值。

近几年我国道路运输发生了极大的变化,高速公路发展用短短的十年时间走过了发达国家三四十年的发展历程。1989 年我国大陆高速公路通车里程仅为 271 km,到 1999 年突破 1 万 km,2001 年底达 1.9 万 km,2002 年底达 2.52 万 km。公路运输上升迅猛,公路网正逐步健全。这使得气象条件对道路运输的影响愈来愈明显。但是,由于我国高等级公路的发展较晚,道路气象方面的研究还较少,处于起步阶段。与国际先进水平相比还有很大的差距。而且我国至今未加入国际道路气象委员会(Standing International Road Weather Commission,简称 SIR-WEC),这与我国的国际地位及道路运输的容量很不相称。国外道路气象方面的研究成果为我国高速公路气象的研究提供了可资借鉴的宝贵经验。本文对高速公路气象预报中主要涉及的一些大气科学问题进行了简要讨论,并回顾和介绍了国内外高速公路气象预报系统研究方面的进展。其中重点分析探讨目前国际上主要道路气象预报系统的技术特点,所面临的问题和未来的发展趋势。期望能对开展影响高

速公路安全保障的高危险天气预报系统的研究和应用提供参考。

2 高速公路气象预报所涉及的主要大气科学问题

高速公路气象安全保障问题受众多因素的影响。如车速快慢、车辆负载多少等等。而气象变化因素的影响却是至关重要的。如在冬季,行驶在有积雪或有结冰的路面上的汽车就较在干燥路面情形下更容易发生停车慢、侧滑、原地调头或失去控制,甚至翻车或相撞的危险。而在夏季高温天气里,烈日曝晒会使沥青路面软化发粘,减少路面附着系数,使车辆制动距离延长。因此要进行高速公路气象预报,首先应对路况与气象两方面的信息进行有效及时的监测。而路况信息和气象信息是有着本质区别的两类环境信息。这两类信息虽然相互影响,但是它们之间的影响程度是不对称的。气象对道路的影响较宏观而全面的。而道路对气象的影响却较为微观。例如,路面温度影响局部大气温度和水的蒸发,路缝的轮廓、充填和结构影响着风速。甚至汽车也在传递热量,向空气中排放废气,促使空气流动。虽然这些影响对一般的气象分析和预报来说微不足道,但是它们对道路状况却是至关重要的。

因此,对于以满足高速公路安全运行保障为目标的气象预报系统来说,需要解决的问题主要在有效的路面状况与气象监测信息监测基础上,利用各种数学物理方法准确及时做出路面状况和能见度好坏两个方面的预报。这两个方面的预报问题涉及的大气科学问题各不相同。如:(1)对于路面状况,影响高速公路行车安全的主要方面有路面结冰、积雪、积水、沾湿,另外还有路面高温。它们所涉及的大气科学问题与不同的物理过程有关,十分复杂。例如对于路面结冰,即可能与降水和路面温度下降有关,也可能是没有降水仅仅和路面降温有关(这种情形主要决定于路面附近的大气热平衡状况)。在进行道路洒盐等人工维护作业后,还取决于路面化成分布与含量状况。显然,路面机动车辆流量以及建筑物对路面热辐射平衡的影响也不容忽视。要对其进行预报,需要针对高速公路天气状况(降水、风、

本文主要讨论受气象条件直接影响的高速公路气象安全保障问题。与气象条件间接紧密相关的泥石流、山洪暴发等地质灾害也会对高速公路安全保障产生重大影响,但不在本文讨论范围之内。

温、湿、气压等),环境地理、交通流量、路面结构与路表化学成分,路面水、热、能量收支平衡状况进行全面的实时监测和预报。对于路面积雪,由于其涉及到几天后高速公路能否开通的预报问题,因此也很重要。路面积雪显然与高速路段的降雪分布有关,但同时还涉及雪的融化和雪的堆积问题,这既与未来几天天气情况(如太阳辐射、风)有关;另一方面也和高速公路路段地面的热量平衡紧密联系。在某些地形和合适的风条件下,某些路段可能有雪的堆积,那里的雪深可能远远大于大范围的降雪量。路面沾湿、积水会引起快速行驶的机动车辆打滑,究其原因,除与大气降水过程等较大范围的天气状况和分布有关外,显然也与局地路面的物理化学结构和大气水汽饱和状况相关。路面高温对引发爆胎安全事故,其主要取决于影响路面附近的能量与热量平衡的收支状况。(2)对于高速公路能见度,目前虽已可采用数字摄像法等设备进行直接有效的监测^[6-7];但从预报的角度,仅直接监测道路能见度则是不能满足要求的。这是因为测能见度只能给出实况,作为预报而言,需要深入了解与其它气象变量间相互影响的复杂关系。如研究表明,大气能见度与云雾的含水量,大气细粒子浓度和局地气象条件密切相关^[8-9]。对于雾尤其是大雾这一导致高速公路低能见度的主要气象现象,其通常还受形成机理、地域、宏观天气形势、大气气溶胶分布等诸多因素的影响,雾结构的时间、空间变化通常比人们想象的要大得多,因而给预测预报带来了很大的难度^[10-12]。

综上所述,高速公路气象预报系统的研发,即需要从监测技术或手段上不断提供新型有效的路面状况(物理和化学的)与气象信息监测,还需要我们针对不同的预报服务主体和信息类型,深入了解与其相关的大气科学实质。才可望利用科学合理的数学物理方法做客观准确的预报。其中,是否能客观地反映路面与近地层大气间水、热、动量交换以及热量和能量收支的影响机制无疑是大气科学中至关重要的问题。

3 高速公路气象预报系统研究现状

对于以高速公路气象安全保障为主体的道路气象的研究,国外开始得比较早。1984年在荷兰海牙召开了第一次国际道路气象研讨会,这标志着国际社会首次对道路气象信息研究予以高度关注。在此次会议上成立了国际道路气象委员会“SIRWEC”,

其目标是加强气象学家、气候学家与道路管理人员的交流与合作,以保障道路运输的安全畅通。此组织成立以来,为促进国际交流,已开展学术研讨会13次,为提高道路气象服务水平做出了很大的贡献。目前该组织有30多个成员国,绝大多数来自北半球。在亚洲只有日本是成员国,南朝鲜正积极准备加盟,中国至今还没有成为成员国^[13]。2006年举行的SIRWEC-2006研讨会会议文集^[14]较全面地反映了目前国际道路气象预报系统研究方面的现状。

一些经济发达的国家和地区,如北欧、美国、加拿大、日本等,已经逐步建立了高速公路的气象监测及预报业务系统。他们在道路气象方面的研究起步较早,研究也较深入,许多研究成果已投入实际应用。在欧洲,丹麦、瑞典、瑞士、英国、波兰、芬兰和德国等国家在1980年代就已经建立手动实时预报系统,为道路气象部门提供路面维护的指导。其气象预报员可根据道路观测网得到的资料和其他数值产品对不同地区提供未来3小时的路面防滑预警信息。目前,这些国家都已发展了自动公路气象监测预报系统,用以制作未来5~24小时的路面温度、降水、露点温度等气象要素的预报。他们通过建立上百个道路气象监测站来保障国家道路安全行驶,减少因恶劣天气导致的交通事故,并且还把道路气象预报纳入气象服务保障系统里^[15-30]。在美国,联邦高速公路局与国家气象科研单位合作建立了道路气象预报系统,进行冬季公路的维护^[3, 30]。除此之外,美国各州还建立了自己的道路气象监测与预报系统。如:美国华盛顿州交通部与华盛顿大学根据陆面模式建立了适合当地天气的道路路面预报模式,进行路面温度等气象要素的预报,同时还建立了网站发布道路的实时与预报信息^[31-32]。2001年美国佛罗里达州开始发展道路气象信息系统,首要目标是为交通管理部门道路的使用者、灾害管理部门等提供及时有效的天气预警信息,以便保证交通安全,减少与天气相关的交通事故,提高预警管理能力。其用户可以通过其公布的网址了解目前和未来的道路气象状况;弗吉尼亚州于1997年,在整个州建立了40个道路气象监测站,每个监测站主要观测气象信息,路面和路面下的状况;爱荷华州到1999年,整个州建立了50个道路气象监测站。主要是利用道路气象站的观测资料并结合卫星资料进行道路气象研究。其中还进行了道路气象对经济的影响评估。另外美国还有很多私人单位进行道路气象状况预报项目,主要是为一些特定的高速公路提供道路气象信

息和36~48小时的预报。用户可以通过拨打电话知道自己所处道路的目前和未来的气象状况^[33]。加拿大也自行开发了道路气象条件预报系统“METRo”^[34]，其可在人工与自动两种模式下运行，两种模式均能提供相当精度的预报信息，并具有利用道路气象观测和系统前期预报结果对道路测站预报误差进行耦合订正的机制。

近几年我国道路运输发生了极大的变化，高速公路发展用短短近十年时间走过了发达国家三四十年的发展历程。道路网正逐步健全。这使得气象条件对道路运输的影响愈来愈明显。针对高速公路和城市道路服务的需要，中国开展了一些关于能见度和雾方面的研究。如北京市气象局研究出了一套高速公路能见度监测预报方法，包括高速公路大气能见度自动监测系统建设、高速公路大气能见度预报方法研究、高速公路大气能见度预报业务系统建设^[35-37]。至2007年，北京市气象局采用芬兰ROSA仪器建立了18个高速公路气象监测站，并利用自动研制的数字化能见度仪建成了6个能见度观测站(总计划约20个)。同时，利用监测资料开展了对高速公路上大气能见度的演变特征和物理分析^[38]以及其与大尺度的动力热力场之间关系^[39]的研究。以上方面为今后北京高速公路气象服务的深入开展打下了良好的基础。江苏进行了沪宁高速公路雾的研究，上海率先建成了城市公路能见度监测及预报系统，并成为城市公路信息系统的有机组成部分^[40-41]。广东开展了南岭山地高速公路雾区能见度预报系统开发与应用服务研究，在实际中取得了很好的效果^[2, 42-43]。另外，河北、陕西等地也做过高速公路能见度的预报技术研究^[44-46]。但我国相关工作主要集中于能见度的监测技术和雾的物理化成分分析领域，在雾预报方面开展数值模式释用预报方法、结构预测方法、天气学预报方法和雾的动态统计预报等方法研究，取得了较好的应用效果^[2]。但整体水平与国际相比，涉及面较窄，仍有很多科技问题有待进一步深入。如：(1) 道路气象预报方法以在长期的气象观测或中尺度数值预报产品基础上直接进行统计释用为主，缺乏针对道路与近地层大气相互物理作用而建立的专业道路数值预报模型；(2) 对道路路面温度怎样变化、公路什么时候结冰、什么类型的降水会发生、路面降水总量和降水强度变化等方面的物理机制缺乏科学认识；(3) 对怎样把这些信息与地

理信息相结合并及时分发服务缺乏较技术的方法等。总体来看，我国道路气象预报系统的开发和应用能力与国际先进水平还有很大的差距。特别是中国至今还未加入国际道路气象委员会，与我国的国际地位及道路运输的容量很不相称。

4 国际上主要高速公路气象预报系统的特点

北欧、美国等国际主要的高速公路气象预报系统，主要以满足冬季冰、雪天气状况下应如何进行优化的道路维护与管理决策为核心目标。图1简要给出了目前国际上主要道路气象预报系统的技术流程，由图可见，国际上主要道路气象信息预报系统通常具有以下几方面的特点。

(1) 在道路的天气敏感地段布设稠密的道路气象专业站网进行代表性的道路气象条件监测；

(2) 在考虑道路结构和物理属性基础上，结合由区域中尺度短期数值天气预报产品提供的背景场，驱动在道路辐射能量平衡原理上建立的道路路面温度数值预报物理模型(在路下考虑了一维的水热垂直输送物理过程)，做出道路气象观测站的未来路面气象信息预报(路面温度、降水等)及相应的专业服务产品(湿滑、积雪、结冰等状况)；

(3) 在各种代表性天气状况下，沿道路进行较长期的路面温度等气象信息的流动观测，建立由道路气象测站网测点路面预报与道路沿线路面温度的统计关系(热映射——Thermal mapping 技术)，进而做出道路沿线路面温度状况的未来预报；

(4) 结合精细的地理信息，将道路气象信息产品进行集成与可视化开发，及时向相关应用与决策服务分发。

在整个系统中，基于道路辐射能量平衡原理，开发并不断完善路面温度数值预报物理模型，进而自动提供尽可能精准及时的路面温度预报信息，这是评介整个系统性能优劣的技术核心与关键支撑。同时，应注意到国际主要高速公路气象预报系统的应用，大多已精细考虑了交通流量、路面测站的天空可视因子对太阳辐射的影响。

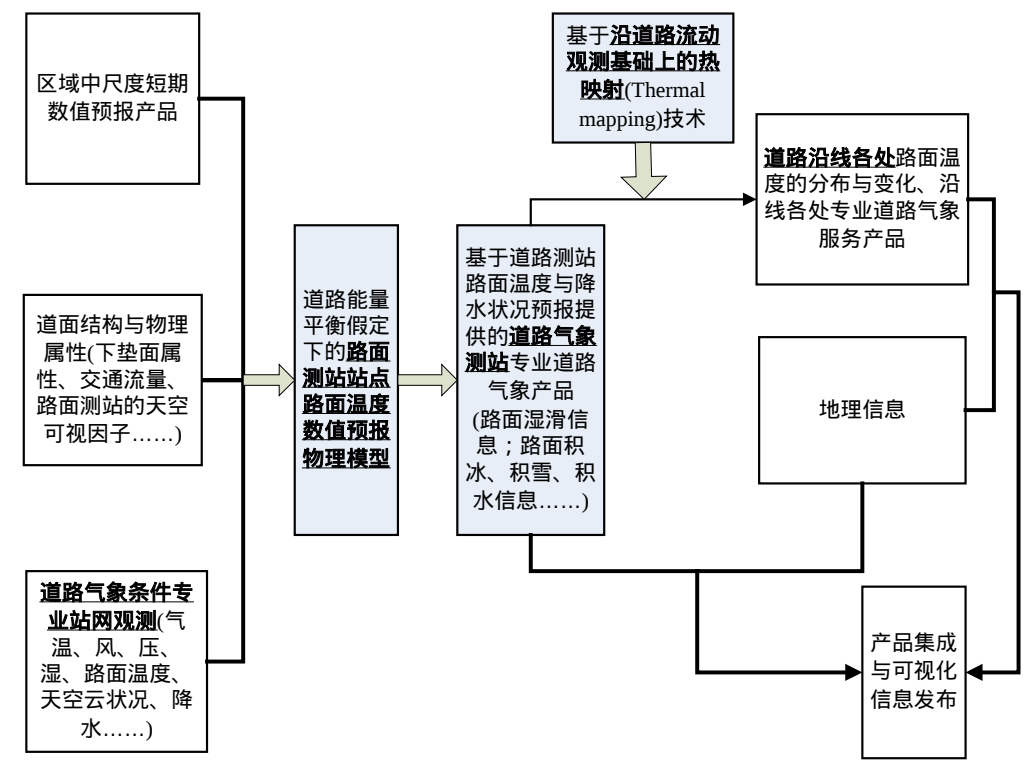


图1 国际主要道路气象预报系统的技术流程示意

5 所面临主要问题和未来发展趋势

高速公路气象的环境状况很复杂,具有很强的局地性与特殊性。目前的高速公路气象信息预报对具体某条道路的气象状况预报与实际偏差还是比较大。为了更精确及时地预报道路气象状况,以下方面是目前在相关技术领域所需解决的主要问题和未来发展的趋势。

(1) 由于高速公路气象预报与服务具有广泛的社会与应用需求。因此应特别指出,尽管冬季积雪、结冰天气是影响美欧等中高纬国家或地区交通的主要因子,其高速公路气象预报系统通常以满足冬季冰、雪天气状况下应如何进行优化的道路维护与管理决策作为核心目标;但由于道路气象信息具有很强的局地性与特殊性,在中国高速公路气象预报系统的建立与设计应从实际天气气候条件对交通影响的实际出发进行分析,进而加以研制。如在华北等地,大雾等低能见度天气事件对交通的影响更为频繁和严重,系统的开发就应更多考虑影响低能见度天气事件的大气微物理过程与机制。在华南等低纬热带地区,山区低能见度、暴雨、路面高温是主要的高速

公路气象安全保障问题,这需要在设计和发展高速公路预报系统时有针对性地加以考虑。

(2) 除高速公路气象安全保障需求外,由于大城市城市化高速发展引发的城市交通生命线脆弱,因此在大城市功能区,交通气象保障和相关研究也日益成为引人关注的问题,如大城市雪天和雨天会给城市交通带来严重影响。在2001年12月7日,北京市突降一场降雪量仅为1~2 mm的雪,由于没有预报,缺乏准备,结果几乎造成北京全城交通大瘫痪,时间长达数小时之久。2004年7月10日下午,十年以来最大的一次暴雨使得北京共41处公路出现不同程度的积水情况,交通严重受阻。对大城市核心区域公共道路交通安全的气象保障和预报系统的研发,必需考虑城市交通与大城市规划、交通布局等复杂因素的影响。

(3) 深入观测与揭示路面和近地层大气间的物理演变规律,是做好自动路面气象数值预报系统研制、改善与应用的核心基础,是一个高速公路气象系统开发完善过程进行中需要永远关注的主题。

(4) 如何结合道路气象条件演变的一般性与局地特殊性规律,进行道路气象信息监测网络的优化布设,进而使建设资料效益最大化仍需深入研究。

(5) 道路气象监测技术、方法以及现有仪器设备的性能需要不断改善。在道路维护过程中,洒盐及其它化学合成剂等对环境与路面气象条件的相互影响已不容忽视,因此在监测气象信息的同时,需要未来的道路气象监测站同时具有对路面含盐量等相关化成分进行监测的能力。

(6) 目前路面气象预报系统与中尺度短期数值预报系统、临近预报系统的相互耦合技术是单向的,随着数值预报技术的发展,发展双向精细耦合技术是深入研究路面-大气相互影响机理所必需解决的重要问题。

(7) 汽车尾气排放对环境和健康的影响已引起人们的高度关注,在提供道路沿线气象信息的同时,

提供如氮化物等化合物含量等信息是目前正在兴起的研究方向。

(8) 道路气象信息的集成分发技术向和精细地理信息结合的WEB自动分化方向发展,产品除直接提供预报或预警应用服务外,还应向同时提供信息可靠性验证和应用风险性的评估方向发展。在未来,道路气象信息系统将和其它智能交通系统集成在一起。政府职能部门和用户可以通过各种通讯方式来选择并获取使用最新的信息。

随着国内外道路气象预报研究的深入与技术的进步,相信气象可为交通安全提供更好的服务,产生更大更深远的社会与经济效益。

参 考 文 献:

- [1] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[J]. 气象, 2000, 6 (8): 3-5.
- [2] 李卫民, 李爱民, 吴兑. 高速公路雾区预测预报与监控系统[M]. 北京: 人民交通出版社出版. 2005.
- [3] WIKELIUS M J, FLEECE E J, ROCKVAM J L, et al. Integrated statewide road/weather information system in Minnesota. Preprints[C]. Fourth Int. Symp. On Snow Removal and Ice Control Technology, Reno, NV. Transportation Research Board, 1996: 20.
- [4] THORNES J E. Salt of the earth[J]. Surveyor, 1994, 8 Dec: 16-18.
- [5] STEPHENSON T E. Wisconsin's winter weather system[C]. Proc. Fourth Int. Conf. On Weather and Road Safety, Florence, Italy, Accademia Dei Georgofili, 1988: 61-101.
- [6] 谢兴生, 陶善昌, 周秀骥. 数字摄像法测量气象能见度[J]. 科学通报, 1999, 44 (1): 97-100.
- [7] 王京丽, 程丛兰, 徐晓峰. 数字摄像法测量能见度仪器系统比对实验[J]. 气象科技, 2002, 30 (6): 353-357.
- [8] 谢兴生, 吴兑, 邓雪娇, 等. 用 CCD 摄像机动态估算测量云雾含水量的初步试验[J]. 光学技术, 2001, 27 (4): 321-323.
- [9] 王京丽, 刘旭林. 北京市大气细粒子质量浓度与能见度定量关系初探[J]. 气象学报, 2006, 64 (2): 221-228.
- [10] 邓雪娇, 吴兑, 叶翔翔. 南岭山地浓雾的物理特征[J]. 热带气象学报, 2002, 18 (3): 227 - 236.
- [11] 吴兑, 邓雪娇, 叶翔翔, 等. 南岭大瑶山浓雾雾水的化学成分研究[J]. 气象学报, 2004, 62 (4): 476-485.
- [12] FAN Qi, WANG Anyu, FAN Shaojia, et al. Numerical prediction experiment of an advection fog in NanLing Mountain area[J]. ACTA Meteor Sinica, 2003, 17 (3): 337-350.
- [13] [2006-05-01]. <http://www.sirwec.org/>[Z].
- [14] SIRWEC 2006 Conference Volume[C]. 2006, 13th International Road Weather Conference, Polytechnic of Turin, Corso Duca degli Abruzzi 24. Turin, Italy
- [15] BOGREN J, GUSTAVSSON T. Nocturnal air and road surface temperature variations in complex terrain[J]. Int J of Climatol, 1991, 11: 443-455.
- [16] BOGREN J, GUSTAVSSON T, POSTGÅRD U. Temperature differences in relation to weather parameters[J]. Int J of Climatol, 2000, 20: 151-170.
- [17] CHAPMAN L, THORNES J E, BRADLEY A V. Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets[J]. Theoretical Appl Climatol, 2001, 69: 81-89.
- [18] CHEN D, GUSTAVSSON T, BOGREN J. The applicability of similarity theory to a road surface[J]. Meteor Appl, 1999, 6: 81-88.
- [19] GUSTAVSSON T. Thermal mapping - a technique for road climatological studies [J]. Meteor Appl, 1999, 6: 385-394.
- [20] HERTL S, SCHAFFAR G. An autonomous approach to road temperature prediction[J]. Meteor Appl, 1998, 5: 227-238.
- [21] SHAO J, LISTER P J. An Automated Nowcasting Model of Road Surface Temperature and State for Winter Road Maintenance[J]. J Appl Meteor, 1996, 35: 1352-1361.
- [22] JACOBS W, RAATZ W E. Forecasting road-surface temperatures for different site characteristics[J]. Meteor Appl, 1996, 3: 243-256.
- [23] MAISEY P E, HOPWOOD W P, PEARMAN I J. Impact of high resolution site specific modelling on road surface temperature forecasts[C]. Proceedings of the 10th SIRWEC conference, Davos, Switzerland, 2000: 41-45.
- [24] NORRMAN J. Slipperiness on roads—an expert system classification[J]. Meteor Appl, 2000, 7: 27-36.
- [25] SHAO J, LISTER P J, HART G D, et al. Thermal mapping -reliability and repeatability[C]. Proceedings of the 8th SIRWEC, Birmingham, UK,

- 1996: 235-242.
- [26] SASS B H. A numerical model for prediction of road temperature and ice[J]. J Appl Meteor, 1992, 31: 1 499-1506.
- [27] SASS B H. A numerical forecasting system for the prediction of slipper roads[J]. J Appl Meteor, 1997, 36: 801-817.
- [28] THORNES J E, SHAO J. A comparison of UK ice prediction models[J]. Meteorol Mag, 1991, 120: 51-57.
- [29] KESKINEN A. Road Weather 30 Years - Hindsight, Insight, Foresight[C]. Proceedings of the 12th SIRWEC, Bingen, Germany, 2004: 16-18.
- [30] THORNES J E. A comparative real-time trial between the UK Met. Office and Oceanroutes to predict road surface temperature[J]. Meteor Appl, 1995, 7: 27-36.
- [31] [2006-05-01]. [http://wsdot.wa.gov/traffic/\[Z\]](http://wsdot.wa.gov/traffic/[Z]).
- [32] BOON C, CLUETT C. Road Weather Information Systems (RWIS): Enabling Proactive Maintenance Practices in Washington State[R]. University of Washington, Washington State Transportation Center (TRAC) and Washington State DOT (WSDOT), Research Report for Project T1803 Task 39, 2002, Report No. WA-RD 529.1.
- [33] [2006-05-01]. [http://www.usroadconditions.com/\[Z\]](http://www.usroadconditions.com/[Z]).
- [34] CREVIER L P, DELAGE Y. Metro: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada[J]. J Appl Meteor, 2001, 40: 2 026-2 037.
- [35] 孟燕军, 赵习方, 王淑英, 等. 北京地区高速公路能见度气候特征[J]. 气象科技, 2001, (4): 27-32.
- [36] 王淑英, 孟燕军, 赵习方, 等. 北京高速公路大气能见度与气象条件的相关分析[J]. 气象科技, 2002, 30 (5): 306-320.
- [37] 张德山, 魏建明, 陈廷良, 等. 首都机场高速公路能见度预报方法[J]. 气象科技, 2002, 30 (6): 358-361.
- [38] 张利娜, 张朝林, 王必正, 等. 北京机场高速公路能见度影响因子分析. 大气科学, 2007(已接受)
- [39] 张利娜, 张朝林, 王必正, 等. 北京机场高速公路能见度与大气动力和热力因子的诊断和物理分析. 气候与环境研究, 2007(已接受)
- [40] 方乾, 路红英, 邓华君, 等. 宁沪高速公路大雾气候特征分析和预报[J]. 大气科学研究与应用, 2001, (2): 32-37.
- [41] 徐萌, 居为民, 唐勇, 等. 城市热岛效应在沪宁高速公路大雾监测中应用的初步探讨[J]. 遥感信息, 1999, (4): 45-46.
- [42] 万齐林, 吴兑, 叶燕翔. 南岭局地小地形背风坡增雾作用的分析[J]. 高原气象, 2004, 23 (5): 709-713.
- [43] 吴兑, 邓雪娇, 游积平, 等. 南岭山地高速公路雾区能见度预报系统[J]. 热带气象学报, 2006, 22 (5): 417-422.
- [44] 康锡言, 李根娥, 王宗敏, 等. 河北高速公路雾的专项预报方法[J]. 河北气象, 1999, 18 (1): 18-212.
- [45] 贺皓, 刘子臣, 徐虹, 等. 陕西省高等级公路大雾的预报方法研究[J]. 陕西气象, 2003, (1): 7-10.
- [46] 杨亚新, 范德新. 建立高速公路气象灾害实时监测与决策服务系统的设想[J]. 公路, 2003, 7 (7): 90 - 93.

ADVANCES IN ROAD WEATHER FORECASTING SYSTEM AND ITS FUTURE DEVELOPMENT

ZHANG Chao-lin¹, ZHANG Li-na^{2,3}, CHEN Cong-lan¹, WANG Bi-zheng²

(1. Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China ;

2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China;

3. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Weather condition for highways is a highly sensitive factor in traffic safety. Fast, efficient, safe and timely transportation is always a goal that has been pursued by the transportation industry but is restrained by meteorological factors to a large extent. With the rapid development of national economy and urbanization, the issue of safety support of transportation under adverse weather conditions, especially for main traffic network such as highways, has become a key factor that has impacts upon national economical development. In this paper, the progress of domestic and international research on major highway weather forecasting systems are briefly reviewed, and then their characteristics, difficulties and future developing tendencies discussed. This paper provides some useful information on how to design and develop highway weather forecasting systems for highly hazardous weather events so as to ensure more traffic safety in highways.

Key words: road weather information; numerical prediction; highways; traffic safety