

李迅,尹志聪,丁德平,等. 北京地区高速公路道面结冰特征及气象条件. 应用气象学报,2012,23(5):578-584.

北京地区高速公路道面结冰特征及气象条件

李 迅 尹志聪* 丁德平 谢 庄

(北京市气象局,北京 100089)

摘 要

通过对 2007—2010 年北京市气象局交通气象监测站所采集的数据进行分析,研究了北京市高速公路道面结冰特征及气象条件。结果表明:北京市的道面结冰主要出现在西北部和城市环线高速公路;结冰次数年际变化显著,且同降水和气温之间关系密切。除此之外,北京地区高速公路内、外车道的结冰时刻均存在显著日变化,80% 以上的结冰事件发生在 20:00(北京时,下同)到 08:00 之间,又以发生在后半夜为主,且前半夜结冰的持续时间明显长于后半夜。发生降雪结冰的气象条件:道面温度和气温均低于 0℃,且道面温度略高于气温,环境风速较小,一般低于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

关键词: 高速公路;道面结冰;日变化

引 言

北京市高速公路交通非常发达,从 1986 年修建第 1 条高速公路(京石高速)到 2010 年下半年为止,北京市投入运营的高速公路总里程已经达到 892 km。根据“7918 国家高速公路网”建设规划^[1],北京市将形成外有 7 条首都放射线,内有高速城市环线的高速路网。和其他城市相比,北京市高速公路交通除了存在通车总里程长的特点外,还存在通车总量大、增速快和本地车辆使用率高等显著特点。高速公路运输体系是否能够高速、高效、安全、舒适运转,很大程度上受气象因素的影响和制约。北京市交通气象灾害种类较多,季节变化明显,春季主要为大风和沙尘天气,夏季主要为降雨,秋季主要为雾霾,而冬季主要是降雪和道面结冰。调查显示,驾驶员认为道面结冰在影响交通安全的恶劣天气中排第 1 位^[2]。在结冰道面上,汽车轮胎与道面的摩擦系数减小、附着力大大降低,汽车驱动轮很容易打滑或空转,尤其是上坡、起步、停车时还会出现后溜车的现象^[3-4]。2001 年 12 月 7 日下午,北京下了一场小雪,虽然 24 h 累积降雪量只有 1.8 mm,但由于地

面温度很低,雪融化后在路面结冰。此时北京正值周末下班车流高峰期,北京市交通阻塞达数小时^[5],造成严重影响。当温度、降水等达到一定的标准后,给出道面结冰警报,有助于减小交通流量的波动、降低事故的发生,此外提前喷洒融雪剂还能降低材料的使用量。

Bent^[6]的道面状态预测模型主要考虑积水(雪)、温度和热量收支情况。Shao 等^[7]认为当道面存在积水(雪),道面温度低于 0℃时,道面将产生结冰。Samodurova^[8]发现对应不同类型道面结冰,结冰条件也不尽相同,但共同条件是道面温度低于 0℃,道面存在积水。国内对道面结冰特征及物理机制的研究比较少,刘梅等^[9]对南京地区冬季路面结冰的天气标准进行了统计,发现路面结冰时地表最低温度一般要达到 0℃以下。建立预报模型时,一般是通过预报路面温度,间接预报道面是否结冰^[10-12],而对结冰厚度的预报非常少。国内一些针对电线结冰厚度的研究可以借鉴,相关研究认为平均结冰厚度同前期冰冻日数、前 1 天的最低气温、相对湿度、风速和降水量有很好的相关性^[13-15]。由于监测设备的限制,以前的研究往往采用传统观测资料来间接分析高速公路道面结冰特征。与以往不

2011-10-12 收到,2012-06-15 收到再改稿。

资助项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2009BAG13A03)

* 通信作者,E-mail: yinzhc@163.com

同,本文将采用高速公路交通气象站监测资料,详细讨论北京市高速公路内外车道的结冰特征,并对物理机制做出简单解释。

1 交通气象监测资料简介

本文所用资料为北京市稳定运行的14个道面监测站(图1)的观测数据,资料频率为每5 min 1次,序列长度为2007—2010年。除1个站点布设在京津塘高速路41 km处外,其他13个站点均布设在北京市内,呈西北—东南向,主要覆盖京藏高速、京哈高速、京津塘高速以及其他首都放射线和五环

路的交界处。道面监测站的型号为芬兰 Vaisala 公司生产的 ROSA 道路气象站,监测数据 5 min 上传 1 次,除了常规要素观测外,还包括一些特殊要素的观测,如天气现象、能见度、道面温度、道面状态等。道面温度和道面状态的观测依靠布设在高速公路内车道和外车道上的道面传感器进行,道面状态通过对道面覆盖层的导电性和电化学极化性的观测得出。

高速公路观测环境复杂多变,对观测精度有一定影响,在使用资料前,先对资料进行初步的质量控制。对结冰持续时间小于 10 min 的情况,认为结冰不稳定,在本文中不予讨论。

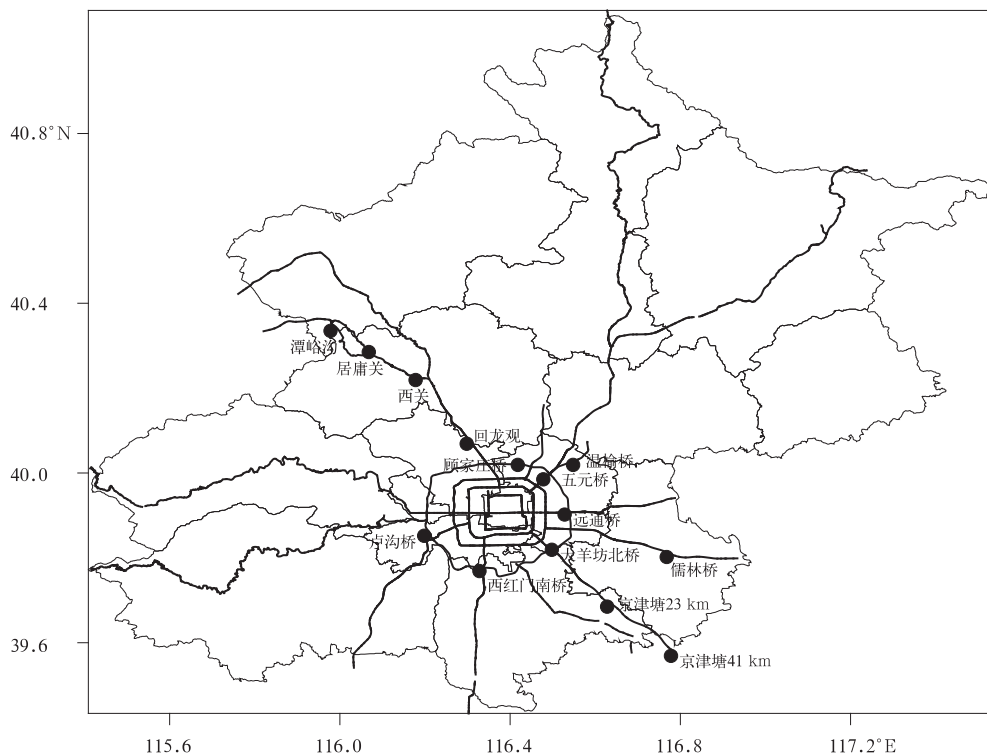


图1 北京高速公路交通气象监测站分布

Fig. 1 The traffic-weather stations on Beijing expressway

2 高速公路道面结冰特征

2.1 道面结冰的空间分布

北京的高速公路四通八达,结冰次数在空间分布上存在明显的差异。图2为2007—2009年冬季每个站点的总结冰次数,可以发现东南部高速路结冰较少,尤其是京津塘高速在这3个冬季从未发生结冰,而西北部的京藏高速结冰较多,居庸关外车道结冰

26次,是所有站点中道面结冰灾害最严重的。城市环线的结冰次数也比较多,卢沟桥站无论内、外车道结冰次数都超过10次。由此可见,结冰灾害和地形关系密切,北京西北部山区较平原气温低,高速公路更容易出现道面结冰灾害。3个冬季外车道共结冰83次,内车道共结冰34次。除卢沟桥外,外车道的结冰次数都大于内车道。外车道车流量少,道路表面环境稳定,且道面温度低于内车道,更易结冰。外车道由于受车辆影响比较小,更具有气象意义上的代表性。

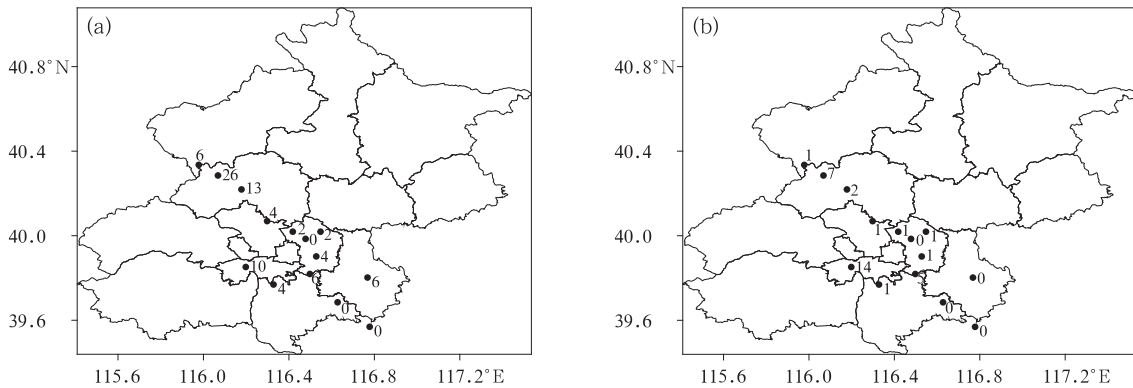


图2 北京市高速公路道面结冰次数空间分布 (a)外车道, (b)内车道
Fig. 2 The spatial distribution of the number of road surface icing on Beijing expressway (a)outside lane, (b)inside lane

2.2 结冰的时间变化

对14个站点2007, 2008年和2009年冬季的初冰日和终冰日进行统计(图3)。由图3可以发现, 外车道初冰日最早出现在11月1日, 终冰日最晚出现在3月9日, 内车道初冰日最早出现在12月4日, 终冰日最晚出现在3月15日。外车道可结冰时间明显大于内车道。和空间分布一致, 北京西北

部的高速路面可结冰时间段明显长于东南部, 尤其是京藏高速在秋末到初春这段时间内都有结冰的可能, 而京津塘高速和机场高速没有结冰出现。

图4给出了每年的结冰次数以及11月1日—3月15日的累积降水量、平均气温、平均最高气温和平均最低气温, 道面结冰次数存在显著的年际变化, 2009年冬季结冰次数大于前两年的总和。2009年

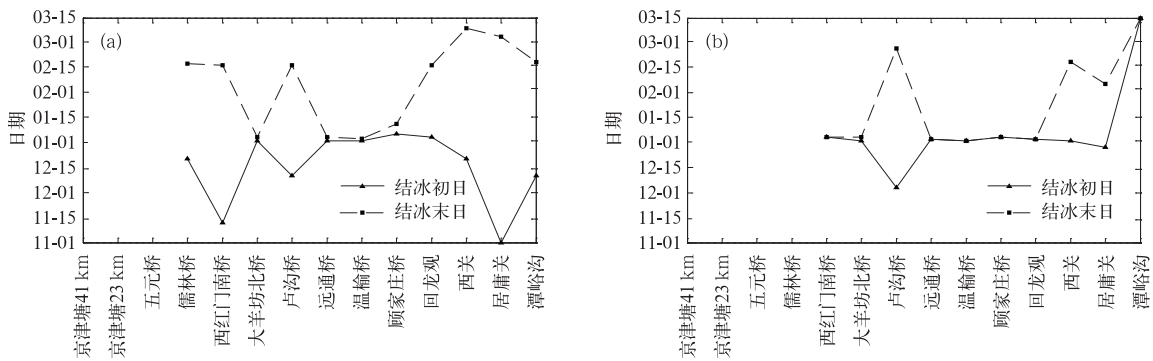


图3 北京高速公路初冰日和终冰日 (a)外车道, (b)内车道
Fig. 3 The beginning and ending date of icing on Beijing expressway (a)outside lane, (b)inside lane

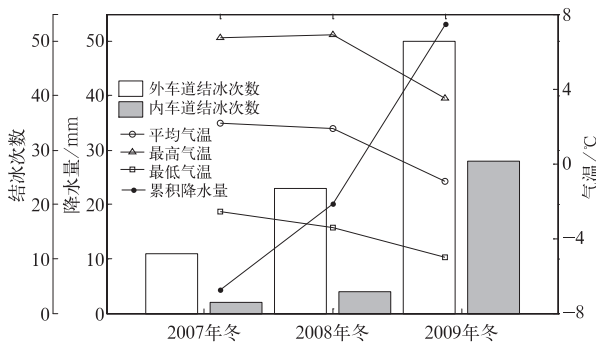


图4 北京市高速公路道面结冰次数、平均气温、最高气温、最低气温和累积降水量
Fig. 4 The number of icing, mean air temperature, maximum air temperature, minimum air temperature and accumulated rainfall

冬季北京的累积降水量为53.2 mm, 明显偏多, 而平均气温、最高气温和最低气温全部显著偏低, 降水和气温的变化与道面结冰之间存在紧密的联系, 但由于样本数较少, 无法进行相关性分析。

2.3 结冰出现时刻的日变化

北京高速公路内、外车道的结冰出现时刻存在显著日变化(图5), 80%以上的结冰事件发生在20:00(北京时, 下同)到08:00之间, 其中又以发生在后半夜为主。这是因为北京降雪(雨)容易出现在夜间, 且夜间气温和道面温度都较低; 夜间车流量比较小, 有稳定的环境条件。后半夜结冰持续时间基本都在6 h以下, 而前半夜结冰持续时间明显大于后半夜, 最长可以达到23 h。造成这种差异的原因有

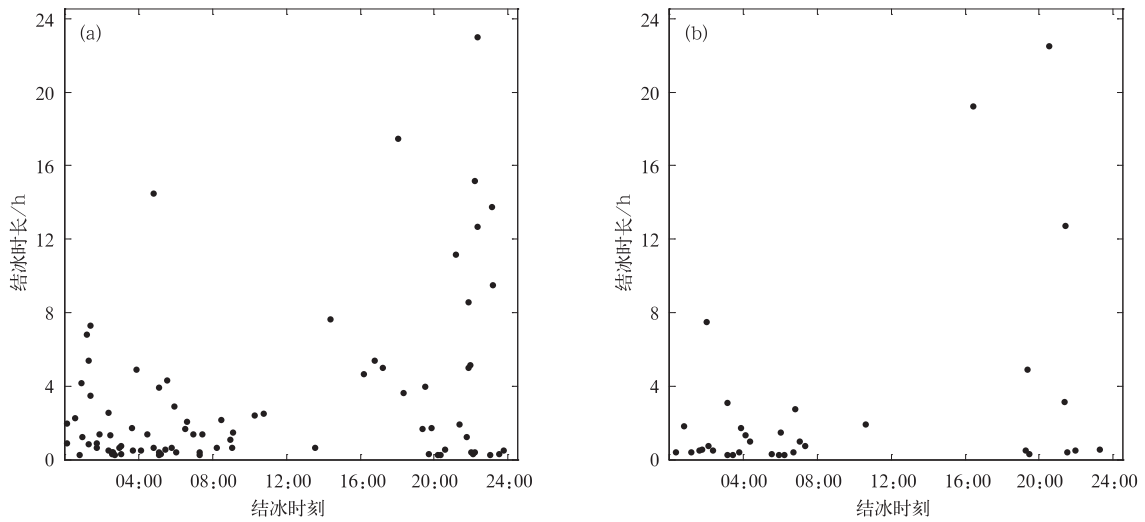


图 5 北京市高速公路路面结冰时刻和持续时间 (a)外车道, (b)内车道

Fig. 5 The moment and duration of the road surface icing on Beijing expressway (a)outside lane, (b)inside lane

两个:距离日出和车流量早高峰的时间差异;前半夜结冰有足够的时间来使冰层达到一种较为密实的状态,不容易融化。

3 路面结冰的气象条件

道面积水(雪)是发生路面结冰灾害的必要条件,由图 6 可以发现,降雪引起的路面结冰事件占 75%以上,其次是冻雨和雨夹雪。这与北京地区季节变化关系密切,北京地区冬季降水主要以固态降水为主,即使有降雨,也会因为环境温度较高,很难发生结冰。反之,降雪则存在反照率高、固态不易移动和环境温度低等特点,更容易结冰。

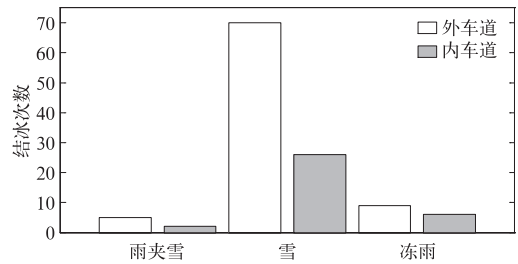


图 6 北京高速公路路面结冰次数和天气现象的关系

Fig. 6 The relationship between the number of icing and weather phenomenon

降雪引起的路面结冰可以分为两种情况:降雪时结冰和降雪后结冰。如图 7、图 8 所示,两者在结

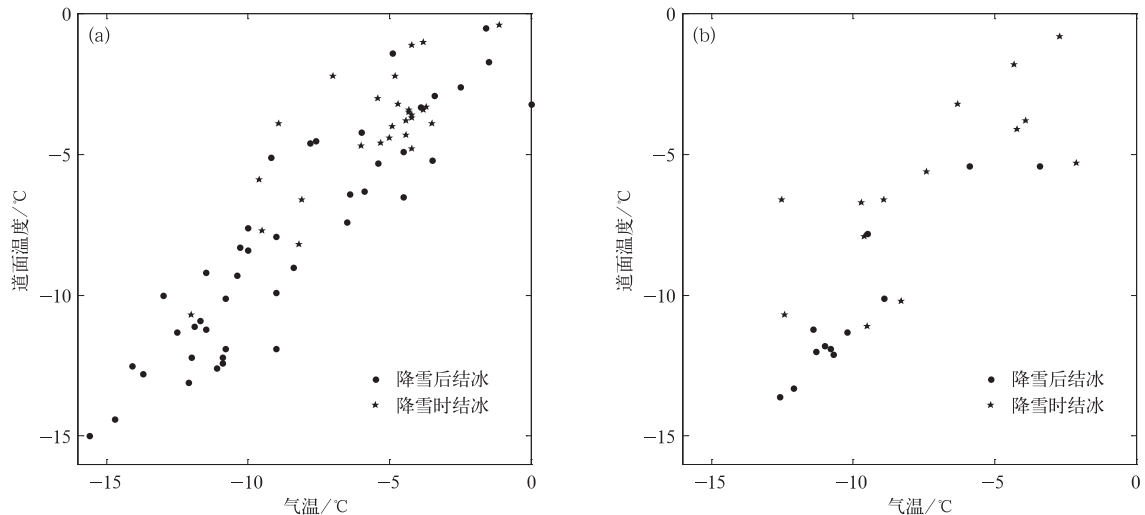


图 7 北京高速公路发生降雪结冰时的气温和路面温度 (a)外车道, (b)内车道

Fig. 7 The air and road surface temperature when icing caused by snow occurred on Beijing expressway (a)outside lane, (b)inside lane

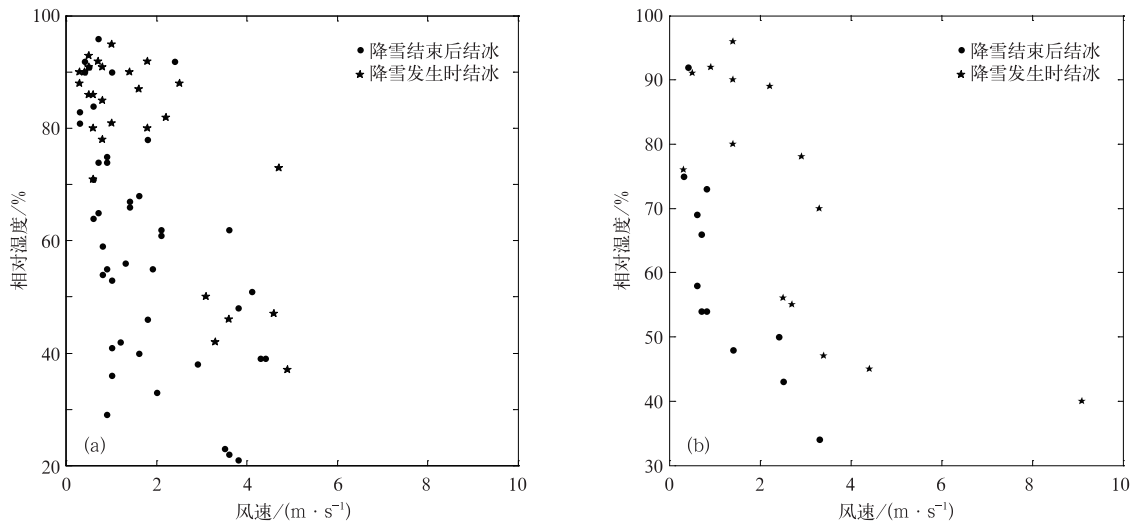


图 8 北京高速公路降雪发生道面结冰时的风速和相对湿度 (a)外车道, (b)内车道

Fig. 8 The wind speed and relative humidity, when icing caused by snow occurred on Beijing expressway (a)outside lane, (b)inside lane

冰条件上既有共同点也有不同点。

两者的共同点:出现结冰时,道面温度和气温都低于 0°C ,且绝大部分情况下道面温度高于气温,这可能是由于结冰释放热量加热道面所致。这一点在降雪时结冰表现更加明显,内车道和外车道道面温度大于气温的比例分别为 78.6% 和 90%,道面温度和气温差的平均值分别为 1.24°C 和 1.41°C 。结冰时周围环境的的风速较小,一般低于 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,有利于地面积雪保持稳定的状态,也有利于辐射降温。

两者的不同点:降雪时发生结冰时气温和道面温度大部分集中在 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间,而降雪后发生结冰时,道面温度和气温大都低于 -5°C ,产生这种区

别的原因是降雪后结冰受到外界扰动太多,如车辆碾压等;积雪融化时和道面之间产生相互作用,从道面和大气中吸收了大量的热量。此外,降雪时结冰的相对湿度明显大于降雪后结冰,因此在选取相对湿度为预报因子时需要区分这两种情况。

由于其他降水产生道面结冰的情况很少,因此将雨夹雪和冻雨引发道面结冰的情况放在一起讨论(图 9)。雨夹雪和冻雨引发的道面结冰都发生在降水发生的过程中,道面温度和气温一般低于 -2°C ,且道面温度高于气温,环境风速也都比较小,利于保持周围的稳定状态和辐射降温。

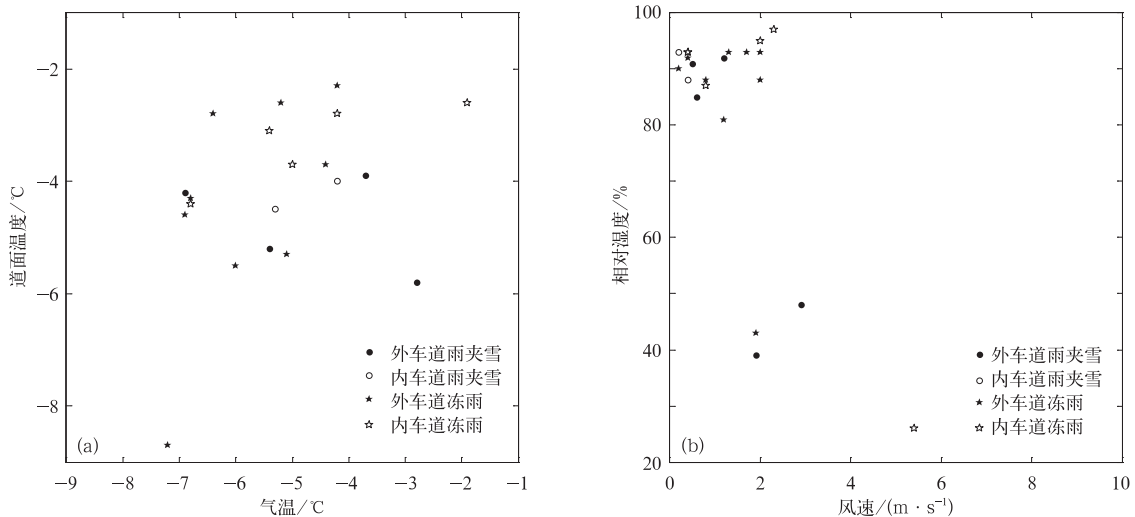


图 9 北京高速公路发生道面结冰(除降雪外)时道面温度和气温(a)以及风速和相对湿度(b)

Fig. 9 The air and road surface temperature when icing occurred, except for that caused by snow on Beijing expressway (a)road surface and air temperature, (b)wind speed and relative humidity

4 结论与讨论

本文通过对2007—2010年北京市气象局交通气象监测站所采集的数据进行分析,讨论了北京地区高速公路路面结冰的特征,得到以下结论:

1) 北京西北部地区路面结冰较多,居庸关外车道结冰26次,在所有站点中路面结冰灾害最严重。城市环线的结冰次数也比较多,卢沟桥站内、外车道结冰次数均超过10次,而东南部高速路结冰较少,京津塘高速在这3个冬季从未发生结冰。

2) 结冰次数存在显著的年际变化,同降水和气温之间存在着紧密联系。由降雪引起的路面结冰占75%以上。

3) 北京高速公路结冰出现时刻存在显著日变化,80%以上的结冰事件发生在20:00到08:00时段,其中又以发生在后半夜为主。后半夜的结冰时长基本都在6h以下,而前半夜结冰的时长明显长于后半夜,最长可以达到23h。

4) 发生降雪结冰时,路面温度和气温都低于0℃,且绝大多数情况下路面温度高于气温。结冰发生时,周围环境的风速一般都比较小,基本都在 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。

由于观测资料的限制,本文在选取结冰样本时年份跨度较短。由于2009年北京市降雪量显著大于常年,因此本文所选样本大多集中在2009年,这可能会对分析结果产生一定影响,需要以后继续对此方面的工作进行验证。需要指出的是,用直接监测资料对高速公路结冰进行研究在国内尚属首次,资料的时间跨度也比较短,其结果是初步的。随着观测样本增多,一些新的特征可能会被揭示出来,对

本文的结论也会有很好的补充。

参 考 文 献

- [1] 交通部规划研究院. 国家高速公路网规划. 2004. <http://wenku.baidu.com/view/56859c19227916888486d758.html>.
- [2] 赵琳娜,马清云,杨贵名,等. 2008年初我国低温雨雪冰冻对重点行业的影响及致灾成因分析. 气候与环境研究,2008,13(4):556-566.
- [3] 刘聪,卞光辉,黎健,等. 交通气象灾害. 北京:气象出版社,2009:26-31.
- [4] 罗慧,李良序,胡胜,等. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型. 应用气象学报,2007,18(3):350-357.
- [5] 蒋建莹,史历,倪允祺. 一次“高影响天气”的弱降雪过程的数值研究. 应用气象学报,2005,16(2):231-237.
- [6] Bent H S. A numerical model for prediction of road temperature and ice. *Notes and Correspondence*,1992,31:1499-1506.
- [7] Shao J, Lister P J. An automated nowcasting model of road surface temperature and state for winter road maintenance. *J Applied Meteor*,1996,135:1352-1361.
- [8] Samodurova T V. Estimation of Significance the Parameters, Influencing on Road Ice Formation. The 11th International Road Weather Conference, 2002.
- [9] 刘梅,尹东屏,王青楼,等. 南京地区冬季路面结冰天气标准及其预测. 气象科学,2007,27(6):685-690.
- [10] 田华,吴昊,赵琳娜,等. 沪宁高速公路路面温度变化特征及统计模型. 应用气象学报,2009,20(6):737-744.
- [11] 冯涛,李迅,丁德平. 高速公路路面温度预报. 公路交通科技,2012,29(5):19-23.
- [12] 刘熙明,喻迎春,雷桂莲,等. 应用辐射平衡原理计算夏季水泥路面温度. 应用气象学报,2004,15(5):623-628.
- [13] 殷水清,赵珊珊,王遵娅,等. 全国电线结冰厚度分布及等级预报模型. 应用气象学报,2009,20(6):722-728.
- [14] 温华洋,田红,唐为安,等. 安徽省电线积冰标准冰厚的气象估算模型. 应用气象学报,2011,22(6):747-752.
- [15] 吴素良,蔡新玲,何晓媛,等. 陕西省电线积冰特征. 应用气象学报,2009,20(2):247-251.

Meteorological Conditions of Road Surface Icing on Beijing Expressway

Li Xun Yin Zhicong Ding Deping Xie Zhuang

(*Beijing Municipal Meteorological Service, Beijing 100089*)

Abstract

Based on the datasets monitored by Vaisala ROSA stations from 2007 to 2009 (preliminary quality controlled) and diagnostic analysis, the characteristic and meteorological condition of Beijing expressway road surface icing is discussed on outside and inside lane separately. The results are as follows: The road surface icing almost occurs on the northwest and City Link of Beijing expressway, and the road surface icing in Juyongguan Station is the worst. Compared with inside lane, the outside lane is easier to ice because of lower road surface temperature, less traffic volume, and more stable road surface environment. According to the statistic results, the road surface icing may occur from November to the next March in Beijing. The annual variation of the icing is also significant, and the frequency of freezing has a close relationship with precipitation and atmospheric temperature. Furthermore, the diurnal variation of the icing-moment is significantly both on the inside and outside lane, with more than 80% of the icing events occurs between 2000 BT and the next 0800 BT, mainly after midnight. The duration of icing before midnight is markedly longer than that of after midnight and could last 23 hours. Ponding and snow on road are necessary for icing, and the icing caused by snow accounts for more than 75%, followed by freezing rain and sleet. Snow has several characteristics such as high albedo rate, solid and low surrounding temperature, making it easier to ice. The meteorological conditions of road surface icing are investigated. When the icing caused by snowfall occurs, the surrounding wind speed is mostly below $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in favor of keeping stable and radiation cooling. And the road surface and atmospheric temperature are both below 0°C , and the former is often slightly higher than the latter, which account for more than 80% of the situations. The cause may be that the road surface is heated up by release of heat when icing. The differences are also obvious: The road surface temperature and atmospheric temperature is always between -5°C and 0°C when icing during snowfall, but below -5°C after snowfall. The conditions of icing caused by other phenomena are similar, but the temperature is almost below -2°C . It should be pointed out that the time span of datasets is short and the datasets directly monitored by road weather station are used to study the road surface icing for the first time inland, so the results are preliminary. With the observation samples increasing, some new characteristics may be revealed, and added to the conclusions.

Key words: expressway; road surface icing; diurnal variation