

高速公路路面摩擦气象指数预报方法

谢静芳¹ 吕得宝² 王宝书¹

(1. 长春市气象台, 长春 130062; 2. 吉林省交通科学研究所, 长春 130012)

摘要:根据目前不同气象条件下高速公路路面摩擦系数的测试结果,分析了吉林省高速公路路面摩擦系数的主要影响因素及其与天气之间的关系。结果表明:天气变化是使高速公路路面摩擦系数在短时间内发生显著改变的最主要因素。定义了与气象条件有关的路面摩擦气象指数,根据其对于车辆安全行驶的影响,制定了吉林省高速公路路面摩擦气象指数的等级划分标准,研究探讨了根据天气条件预报高速公路路面摩擦气象指数的方法。

关键词:高速公路;摩擦系数;气象指数预报

天气变化是影响高速公路路面摩擦性能、造成交通事故的最主要自然因素。车辆在路面上行驶时,影响车辆制动效果和刹车距离的主要因子是轮胎与路面之间的摩擦系数。摩擦系数大,则制动效果好、刹车距离短,车辆行驶安全就有保障;摩擦系数小,则制动效果差、刹车距离延长,容易发生交通事故。受雨、雪等不良天气影响时,由于路面与轮胎之间存在雨水、积雪甚至冰层等物质,对路面与轮胎之间的摩擦系数有明显影响。实地测试结果表明:同一路段,晴天摩擦系数为 0.72,雨天摩擦系数下降为 0.5,路面积雪摩擦系数下降到 0.4 以下。由此可见,天气变化能使路面摩擦系数明显减小,或者使路面摩擦系数在短时间内发生显著改变,是影响交通运输和安全的主要不利因素。尤其是我国东北地区,冬季冰雪路面对交通的影响,明显超过大雾天气。因此,研究路面摩擦系数与气象条件的关系,开展路面摩擦气象指数预报服务,提高气象服务的专业性、针对性和科技含量,对有效预防和减少交通事故的发生具有积极作用。

1 路面摩擦系数及其影响因子

路面与车辆轮胎之间摩擦系数的大小主要取决于路面状态和轮胎状态。路面状态包括:路面温度、杂质、磨损情况等;轮胎状态主要是指车辆轮胎表面的磨损情况。当路面或者车辆轮胎状态等因素不同时,摩擦系数可能有很大的差异。因此,车辆在行驶过程中,轮胎与路面之间的实际摩擦系数 μ 是影响车辆有效制动距离和行驶安全的主要因素,它主要与路面杂质 s 、路面温度 t 、路面磨损状况 μ_0 、车辆轮胎状况 m 等因子有关,即:

$$\mu = f(s, t, \mu_0, m) \quad (1)$$

式(1)中, μ_0 与路段有关。对于特定的路段,在短时间内 μ_0 变化不大,可视为常数; m 在不同的车辆之间存在差异,但对同一车辆来说,短时间内状况稳定少变。因此,对于同一车辆来说, m 可视为常数。对于不同车辆,当天气发生变化时,不论轮胎的状态如何,路面状况的改变对所有车辆的影响及变化趋势是一致的。因此,在分析天气影响时,即使对不同的车辆, m 也可视为常数。由此,式(1)进一步简化为:

$$\mu = f(s, t) \quad (2)$$

式(2)中,轮胎与路面之间的摩擦系数主要与路面杂质 s 和路面温度 t 这 2 项因子有关。因此,对于特定的道路和车辆,气象条件是影响路面摩擦系数的最主要因素。

2 气象条件与路面摩擦系数的关系

天气变化尤其是温度的变化是使路面状态及摩擦性能发生明显变化的最主要自然因素。受雨雪天气影响时,道路表面可能产生水、雪、冰等覆盖物,形成潮湿、积水、积雪、结冰等不同的路面状态。路面温度变化时,路面的物理特性也会发生变化,并使摩擦系数也发生改变。测试和分析结果表明,当路面状态不同时,其摩擦系数也有显著的差异。

通常将常温、干燥、无杂质的路面视为正常路面;天气和温度变化造成的不良路面状态主要有:潮湿、积水、霜、雪、冰等,路面状态不同时,其摩擦性能也不同。本文采用国际上普遍通用的方法,使用英国 80B190 摆式抗滑性能测定仪,对不同天气条件和路面状况下的路面摩擦系数分别进行实验室模拟测试和路面实地测试。通过实验室测试可获得不同温

度和路面状态下路面摩擦性能连续变化特征;实地测试的主要目的,是对不同标准抗滑性能的路面进行对比测试和分析,并对实验室条件下难以模拟的浮雪、积雪、雪水混合物等几种北方地区冬季常见的气象条件及使用融雪剂时对路面抗滑性能的影响等进行路面实地测试,以便为研究预报方法提供更加充分的科学依据。

室内模拟测试采用轮碾成型机制成模拟高速公路路面的 SMA-16 与 AC-16(构造深度分别为 1.10 mm 和 0.61 mm)沥青混合料的测试件。室内测试的环境气温为 15~20℃,测试件表面的温度范围为 -40~50℃ 之间变化,每隔 5℃ 或 10℃ 为一个测试点;对测试件表面干燥、潮湿、积水、结冰等 4 种情况分别进行测试。室外测试点为实际路面。

2.1 天气与摩擦系数的关系

表 1 给出了干燥、潮湿、积水和结冰等 4 种路面

表 1 不同路面状态的摩擦系数测试统计

项目	干燥:0℃以上	潮湿	积水	干燥:0℃以下	结冰
平均值	0.91	0.67	0.67	0.65	0.32
最大值	0.96	0.72	0.70	0.76	0.40
最小值	0.82	0.62	0.64	0.55	0.18

摩擦系数的测试统计结果。这 4 种路面的实际摩擦系数有很大差别。干燥路面温度在 0℃ 以上时,摩擦系数最大,其平均值为 0.91;其次为潮湿和积水路面,平均摩擦系数为 0.67;干燥路面在 0℃ 以下时摩擦系数平均值略小于潮湿路面,但气温变化时,摩擦系数的变化幅度较大;结冰路面的摩擦系数最小,平均值仅为 0.32,已经低于车辆安全行驶临界值。

另一组测试结果表明:降雪天气对路面摩擦系数的影响也十分显著。在同一路段上,路面干燥时摩擦系数为 0.72,路面积水时为 0.5,路面有浮雪时为 0.42,路面有陈旧积雪时仅为 0.3。实际测试结果还表明,气温接近 0℃ 时,使用融雪剂可促使积雪融化;但在低温条件下使用融雪剂,对路面摩擦系数的影响不大,其主要作用是避免路面积雪被车辆压实板结,便于清除。

2.2 路面温度与摩擦系数的关系

路面温度及其变化对摩擦系数有显著的影响,这种影响同时还与路面状态有关。图 1 给出了几种路面的实际摩擦系数与温度变化的关系。路面干燥时,路面温度 20℃ 以上,摩擦系数较大且随温度变化较小;路面温度在 20~-5℃,摩擦系数随温度下降而明显减小,尤其是在 0~-5℃ 具有显著的突变特征;当路面温度在 -5℃ 以下时,摩擦系数随温度下降反而有所增大。潮湿、积水路面,摩擦系数都与

路面温度呈近似线性关系。结冰路面在 0℃ 附近时

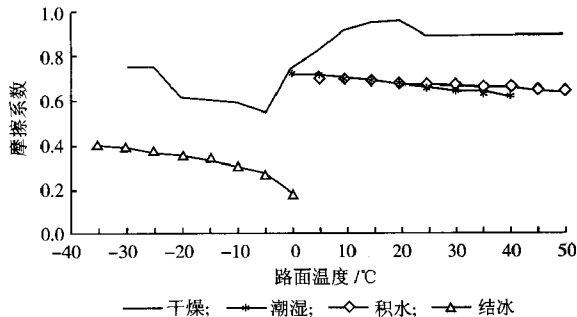


图 1 路面温度和路面状况与摩擦系数的关系

摩擦系数最小,随着温度的下,降摩擦系数反而有所增大。由图 1 还可以看出,不同路面之间摩擦系数差异较大,同一种路面状态下,摩擦系数随温度的变化幅度较小,变化趋势也比较平稳。

3 其他因子与路面摩擦系数的关系

3.1 路面磨损与摩擦系数

路面摩擦系数是公路设计、建设和养护部门检测、评价公路建设质量、使用磨损情况和确定是否需要维护的一项重要技术指标。因此,其检测必须在相关规范规定的标准条件下进行,或者将检测结果订正到标准条件下。规定的标准测定条件:路表面温度为 20℃、表面被水充分浸湿但无积水。本文将标准条件下测定的摩擦系数称为路面基本摩擦系数。在公路的使用过程中,由于车辆行驶时轮胎的磨擦以及环境因素的侵蚀等影响,路面的基本摩擦系数也会随着时间而不断变化^[1]。新建公路未通车时,因沥青面层骨料表面附着一层沥青薄膜,摩擦系数略小。通车后由于车辆轮胎的摩擦,沥青薄膜很快消失,摩擦系数达到最大值,这一阶段路面的抗滑性能最好。在此后约 1 a 的时间内,摩擦系数还将继续减小,然后能保持较长时间的稳定状态(图 2)^[1]。

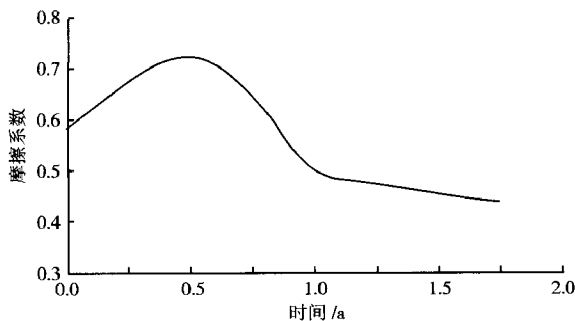


图 2 路面基本摩擦系数与使用时间的关系

当路面磨损严重,基本摩擦系数小于 0.37 时,不能保证雨天行车安全^[2],必须重新铺设路面,才能使摩擦系数达到规定的标准,保障车辆行驶安全。由此可见,路面的基本摩擦系数也是随公路的使用时间、

磨损及养护维修等情况而变化的,在常温和路面上没有任何杂质的情况下,它是影响路面实际摩擦系数的最主要因子。

对磨损状况不同的实际路面进行测试和对比分析表明:在路面干燥、潮湿和有积水时,路面的实际摩擦系数与基本摩擦系数呈近似线性关系;在冰雪路面上,由于车辆行驶时,轮胎与路面之间已经没有接触,实际摩擦系数受基本摩擦系数的影响不大。图1的测试是在基本摩擦系数为0.68的沥青表面上进行的。对照图2可以看出,其结果相当于新建高速公路路面的情况。

3.2 轮胎状态与摩擦系数

车辆轮胎的磨损状况也是影响路面与轮胎之间摩擦系数的主要因素之一。表2给出了潮湿路面状

表2 轮胎状态与摩擦系数及刹车性能的关系

	新	半磨耗	磨耗
摩擦系数	0.55	0.48	0.28
刹车距离/m	23	26	45

态下,在一处表面已磨光且结构紧密的路面上,以50 km/h速度行驶的小轿车,其不同的轮胎状态与摩擦系数和刹车距离之间的关系。从表2中可以看出,车辆轮胎磨耗越严重,其与路面之间的摩擦系数越小,刹车距离也就越长。磨耗状态的轮胎和新轮胎相比,与路面之间的摩擦系数前者只有后者的50%,刹车距离延长了近1倍。由此可以看出,轮胎状态对摩擦系数和行车安全也具有很重要的影响。

4 路面摩擦气象指数及预报

上述分析表明:气象条件是影响摩擦系数和公路交通安全的主要因子,本文定义了与天气变化有密切关系的交通气象指数,即路面摩擦气象指数,以此定性描述摩擦性能的好坏及程度。

4.1 路面摩擦气象指数等级划分

路面摩擦系数大小与车辆行驶安全有直接关系。研究表明:当路面摩擦系数小于0.37时,不能保障车辆行驶安全;当路面摩擦系数小于0.34时,交通事故率将成倍增加^[2]。根据实际路面摩擦系数的变化范围及其对车辆安全行驶的影响程度,将路面摩擦气象指数分为5个等级,即1级:路面摩擦性能良好或正常,车辆可正常行驶;2级:路面抗滑性能稍差,车辆须适当减速慢行;3级:路面摩擦性能较差,车辆必须减速慢行并保持车距;4级:路面摩擦性能很差,严重影响车辆行驶和道路通行,在路况复杂的地段,尤其要注意行车安全,必要时需关闭公路;5级:路面状况极差,无法保障车辆安全行驶,必须关

闭公路。当路面摩擦气象指数达到4级或以上,或者路面摩擦气象指数在较短时间内发生显著改变时,对高速公路交通安全都有显著的不利影响,是摩擦气象指数预报服务和防范交通事故的重点。表3

表3 摩擦指数与抗滑性能、摩擦系数及路面状况的关系

摩擦指数	抗滑性能	实际摩擦系数	对应路面状况
1级	良好	≥ 0.65	常温、干燥、无杂质
	正常	0.56~0.64	潮湿、少量积水、低温
2级	稍差	0.51~0.55	积水、低温
3级	较差	0.41~0.50	积水、浮雪、霜
4级	很差	0.31~0.40	积雪
5级	极差	≤ 0.30	结冰

给出了摩擦气象指数等级与路面抗滑性能、实际摩擦系数的对应关系,同时还给出了在新建高速公路上($\mu_0 > 0.55$)与路面状况的对应关系。

4.2 路面摩擦气象指数预报

以摩擦系数计算式(1)为依据,在车辆轮胎状况 m 为半磨耗的条件下,分别对不同磨耗路面和不同路面状态进行测试,根据测试结果建立摩擦系数统计预报方程。对于干燥、潮湿和积水路面,其实际摩擦系数预报因子为基本摩擦系数和温度,其中,积水路面的实际摩擦系数计算方程:

$$\mu = \mu_0 + 0.13\mu_0(t - 20) \quad (3)$$

在积冰和积雪路面上,实际摩擦系数只与温度有关,其中,积冰路面的实际摩擦系数计算方程:

$$\mu = 18.96 - 1.39t - 0.028t^2 \quad (4)$$

根据上述分析结果,可以在常规天气预报的基础上,进一步分析路面状态,计算和预测未来路面的摩擦气象指数及其对交通安全的影响程度。对样本的摩擦气象指数预测拟合率平均为93%。

5 结论

(1)影响车辆制动效果和刹车距离的主要因素是车辆轮胎状况、路面使用磨损情况、路面杂质和路面温度。其中车辆轮胎状况和路面使用磨损情况对于固定的车辆和道路而言,在较短时间内变化很小。所以,天气变化是影响车辆安全行驶的最主要因素,根据天气变化对路面实际摩擦系数及其对车辆安全行驶的影响进行预报具有充分的科学依据和重要的实用价值。

(2)天气条件对路面摩擦系数的影响,以冰雪路面最为严重,其次为积水和潮湿路面,低温天气对路面摩擦系数也有显著的不利影响。

(3)高速公路的路面摩擦气象指数为1级时,车辆可正常行驶;指数为2~3级时,需根据情况控制车速;指数在4级以上,或路面摩擦指数在较短时间

内发生显著改变时,对交通安全有显著的不利影响,是摩擦气象指数预报和防范交通事故的重点。

参考文献

[1] 和松,夏秀礼.高速公路路面摩擦系数的测试与评价

[J].公路交通科技,2004,19(1):8-11.

[2] 蔡果.我国高速公路交通事故趋势分析[J].中国安全学报,2001,11(2):11-17.

Forecasting method of surface friction meteorological index for high way

XIE Jingfang¹ LV Debao² WANG Baoshu¹

(1. Changchun Meteorological Observatory, Changchun 130062;

2. Jilin Institute of Traffic Sciences, Changchun 130012)

Abstract: Based on the testing results of surface friction coefficient for high way in different meteorological conditions, main influencing factors of surface friction coefficient and its relationship with weather factors were analyzed in high way of Jilin province. The results showed that the weather change was the main factor to make the surface friction coefficient changed obviously in a short time. Surface friction meteorological index related to meteorological conditions was defined. Based on its influence to safety driving, surface friction meteorological index grades were established in high way of Jilin province. And a method of forecasting surface friction meteorological index was discussed according to weather conditions.

Key words: High way; Friction index; Meteorological forecast index