

颗粒污染物对 AC-13 沥青路面抗滑性能影响

胡力群^{*1,2}, 许松¹, 徐峰¹, 贡迪¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;

2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要: 为探讨城市道路污染物对路面抗滑性能的影响, 模拟真实的道路情况, 采用城市道路吸尘车从实际城市道路中收集污染物; 利用振动摇筛机和激光粒度仪分析污染物的种类和粒径分布; 在干、湿两种情况下, 利用连续摩擦因数测定仪(T2GO系统)测定含有不同污染物的AC-13型沥青路面的摩擦因数。研究表明, 砂尘类污染物是城市道路的主要污染物类型; 在干燥条件下, 随着砂尘类污染物的增加, 路面摩擦因数逐渐降低; 并且, 在潮湿情况下, 污染物对沥青路面抗滑性能的影响会随着污染物类型变化而发生改变; 与干燥条件相比, 污染物在潮湿状态下对路面抗滑性能的影响更大。

关键词: 沥青路面; 污染物; 抗滑性能; 城市道路; 摩擦因数

中图分类号: U414

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb202102011

0 引言

车辆在城市道路行驶过程中, 沥青路面的抗滑性能对于行车安全有很大的影响。影响沥青路面抗滑性能的因素有很多, 例如轮胎的结构类型、花纹、胎压, 沥青路面的形貌纹理, 轮胎与路面之间的介质(水、冰雪、路面污染物), 温度和季节的变化等^[1]。一些学者提出车辆胎面与路面的接触状况将影响车辆在路面上行驶的抗滑性能, 由于沥青路面的成型方式, 路表面的集料之间存在一定的空隙, 他们认为这些空隙的分布以及疏密程度对路面结构的改性和对路面与轮胎之间的接触密切相关, 从而影响路面的抗滑性能。例如 Yun 等提出了轮胎与路面实际接触面积的概念, 而这会是影响路面抗滑性能的关键^[2]。道路表面的污染物会进入这些空隙中, 直接影响轮胎与路面的接触, 从而影响路表面的抗滑性能。

城市道路上的污染物是一个较为宽泛的概念, 包括许多不同类型, 例如在雨雪天气时, 路面上的雨水与冰雪类污染物; 路面结构在行车荷载

与环境因素作用下被剥离的集料和碎屑; 车辆在路面上行驶过程中带来的砂石、灰尘; 车辆行驶过程中散落在路面上的机油等^[3]。有学者对受油污影响的沥青路面进行检测, 结果显示该路段的抗滑性能已不符合相关规范对抗滑性能的规定, 说明机油类污染物会大大加快沥青路面抗滑性能的衰减速率^[4]。然而, 由于集料与碎屑的脱落需要经过对路面长时间的磨损才会产生; 并且由于目前车辆性能越来越好, 城市道路中散落在路面上的机油也日益减少, 城市道路上的污染物主要还是以砂石、灰尘、雨水为主。

摩擦是两个接触表面相互作用从而引发的滑动阻力并带来一定的能量损耗。轮胎与路面之间的摩擦可以视为高弹性的橡胶材料与刚性路面之间的摩擦, 其摩擦机理主要归纳为以下几个方面: (1) 轮胎与路面接触所产生的分子引力作用。(2) 轮胎与路面间的黏附作用, 例如胎-路间的静电吸引使路面上出现黏附的橡胶颗粒。(3) 路面上的微凸体在荷载作用下对胎面产生微切削作用, 使得胎-路接触过程中产生阻力。有学者认为路面

收稿日期: 2020-06-09; 修回日期: 2020-12-10。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFB1600200); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(310821173101, 300102218515)。

作者简介: 胡力群*(1971-), 男, 教授, E-mail: hlq123@126.com; 许松(1994-), 男, 硕士生, E-mail: xusong@chd.edu.cn。

上的这些颗粒污染物一方面改变了路面的表面纹理,另一方面影响了轮胎与路面的直接接触,改变了摩擦力产生的条件,从而会对路面的抗滑性能产生较大的影响。

为了研究这些颗粒污染物对路面抗滑性能的影响,有必要对污染物的粒径大小进行研究。因为不同粒径的颗粒污染物会从两方面改变路面的表面纹理,降低路面的抗滑性能,一方面是粒径较小的污染物埋于路面宏观结构中,会堵塞路面表面空隙,从而降低路面摩擦因数;另一方面,较大粒径的污染物会覆盖路面表面,阻碍车轮与路面直接接触,对路面起到润滑作用,从而降低路面摩擦因数^[5]。因此,在研究污染物对抗滑性能的影响时,对污染物的组成和粒径分析也十分重要。

有学者在室内通过试件的表面纹理更加细致地研究路面的抗滑性能。例如,有些学者^[6]制作了被污染物覆盖的试件,并利用微观结构测试仪观察其表面纹理,发现污染物不仅堆积在路表面的空隙中,也存在于路面集料的顶部。曹平^[7]选取了水、润滑油、泥粉、砂等作为污染物,研究其对沥青路面抗滑性能的影响,用英国摆式仪(BPT)测试摆值并换算成沥青路面的摩擦因数。在室内实验室内搭建了沥青路面宏观结构试验台,采用针形轮廓仪测量沥青路面试样的宏观和微观形貌,尝试对沥青路面形貌进行描述,结果表明污染物分布越密集对抗滑性能的负面影响越大。

然而,在室外以实际道路作为研究对象进行测试,可以更加真实反映污染物对路面抗滑性能的影响。部分学者从 2003 年到 2006 年采用实际路面试验与室内加速抛光试验探讨路面的抗滑性能^[8]。前期研究表明,抗滑值可能会有短期的变

化,这种变化会受到一些相关因素的影响,包括骨料性质和路面污染物特性等。后期的研究显示,在实验室加速抛光和污染物会使骨料表面的粗糙度发生较大变化,加速抛光前后路面抗滑性能的差异与集料的性质和污染物的类型有关。

实际工程中,沥青路面的种类有很多,例如 OGFC、SMA 等,本研究将在室外以一段典型的 AC-13 型沥青路面作为待测路段进行研究,以解释污染物质量分数和种类的变化对路面抗滑性能的影响,为建立路面性能与环境因素之间的关系奠定一定的基础。

1 材料与试验方法

1.1 城市道路污染物采集与组成分析

本研究通过咨询当地的道路环保部门,分析周围各个主干道的车辆通行情况,综合考虑,从西安市南二环的 3 段城市道路(A 路段、B 路段、C 路段),如图 1 所示,运用城市道路吸尘车收集每段路上的污染物,这种城市道路吸尘车已经被证实既可以从路面有效地收集固体颗粒,同时也可以保证所收集的固体颗粒的物理化学特性不发生改变^[9]。然后对收集到的污染物进行分类,其组成类型如图 2 所示。

如图 2(a)所示,片状污染物包括树叶、塑料袋、香烟和烟盒。它们多出现在道路的中间和边缘,不仅降低了路面的抗滑性,而且严重破坏了路面的外观。如图 2(b)表明,当车辆行驶时,轮胎和路面之间存在砂砾,使轮胎无法直接接触路面,削弱路面的抗滑性。砂子的尺寸比砾石小,对抗滑性的影响相对较小,但其影响抗滑的作用机理与砂砾影响抗滑作用机理是一致的,如图 2(c)所示。



(a) A 路段



(b) B 路段



(c) C 路段

图 1 西安市南二环市区 3 段城市道路

Fig. 1 Three sections of urban roads in the South Second Ring Road of Xi'an city

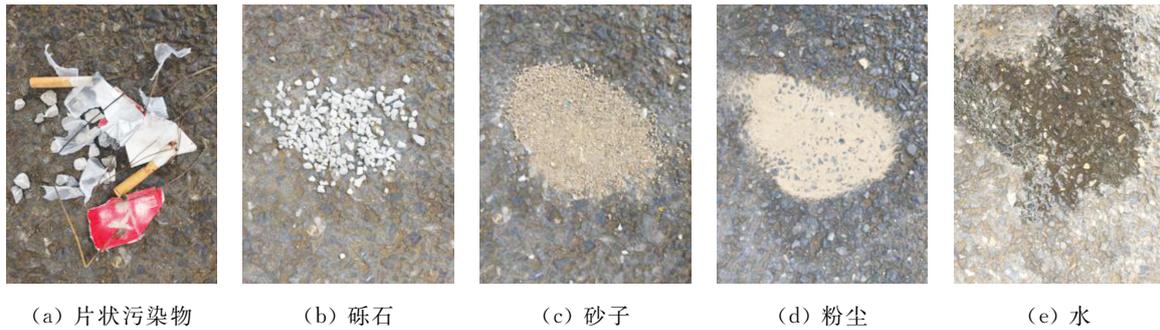


图2 不同类型的污染物

Fig. 2 The different types of pollutants

粉尘将填充路面集料之间的空隙,堵塞路面表面,从而改变沥青路面的纹理,降低路面的粗糙度,影响路面的抗滑性,如图2(d)所示.雨水在沥青路面上形成一层水膜,使沥青路面湿滑,严重降低了路面的抗滑性,如图2(e)所示.

路面抗滑性能与污染物类型有关.根据上述对污染物的分类,本研究将其分为三大类:(1)片状污染物;(2)砂尘类污染物(砾石、砂子、粉尘);(3)液态污染物(水).显然,砂尘类污染物的粒径大小不一,对路面的抗滑性能影响也是不同的^[8].需要分析砂尘类污染物的粒径大小分布,利用振动筛筛机对这些砂尘类污染物进行了初步筛分.根据粒径大小将砂尘类污染物分为5类: >2.4 mm(砾石); $1.2\sim 2.4$ mm(a砂); $0.6\sim 1.2$ mm(b砂); $0.3\sim 0.6$ mm(c砂); <0.3 mm(粉尘),并测量各类污染物所占的比例.由于振动筛筛机的筛分孔径有限,为了得到更细小粉尘的粒径分布,利用激光粒度分析仪对相对较小的污染物颗粒(粉尘)进行分析.激光粒度分析仪通过光散射原理测量粒子的大小和分布,可以实现从亚纳米到微米范围的全覆盖.本研究的激光粒度分析仪量程为 $0.01\sim 3\ 000\ \mu\text{m}$,可以更准确地对污染物的粒度分布进行分析.

1.2 铺撒污染物

由于片状污染物的形状不规则,在路面上的分布不均匀,无法准确地得出其对路面抗滑性能的影响,因此,本文主要研究液态污染物和5种砂尘类污染物对 AC-13 沥青路面抗滑性能的影响.为了定量地模拟真实情况下城市道路污染程度变化,采用污染物在路面空隙间的填充率作为评价污染程度的基准.定义填充率 P 如下式:

$$P=V/dS \quad (1)$$

式中: V 为污染物体积(mL), d 为路面构造深度(mm), S 为被污染面积($200\times 200\ \text{mm}^2$).采用铺砂法确定待测路面的构造深度,在待测路面上选取特征点,用铺砂法摊平 25 mL 的标准砂,得到摊平砂的直径,如表1所示.

表1 摊平砂的平均直径

Tab. 1 Average diameter of spreaded sand

测点	直径/mm
1	300
2	300
3	230
4	260
5	280
6	260
7	270
8	290
9	250
10	300
平均值	274

路面的构造深度即为标准砂的体积与 25 mL 标准砂所摊铺成圆形的面积之比,计算公式如下:

$$d=\frac{1\ 000V_s}{\pi D^2/4} \quad (2)$$

式中: V_s 为砂的体积(25 mL), D 为摊平砂的平均直径(mm),由上述公式可计算出待测路面的构造深度为 0.42 mm.再计算 $200\times 200\ \text{mm}^2$ 范围内污染物填充率分别为 0、2.5%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100%时的污染物体积与铺撒密度,结果如表2所示.

本文选取西安地区常见的路面结构类型 AC-

表 2 不同填充率对应的污染物体积和铺撒密度
Tab. 2 Pollutant volume and spread density corresponding to different filling rates

填充率/%	污染物体积/mL	污染物铺撒密度/(mL·m ⁻²)
0	0	0
2.5	0.4	10.6
5	0.8	21.2
10	1.7	42.4
20	3.4	84.8
40	6.8	169.7
60	10.2	254.5
80	13.6	339.4
100	17.0	424.2

13 沥青路面作为试验段,模拟城市道路的实际情况.该试验段所用的混合料类型为沥青混凝土;集料的公称最大粒径为 13 mm;试验段所用的骨料主要为石灰石.为了使污染物铺撒均匀,铺撒时采用网格法对待测区域进行精确划分.本研究采用

如图 3(c)所示的 200 mm×200 mm 木质框架,以保证污染物的均匀分布.试验开始前,将试验区域划分为 20 cm×300 cm 的若干条待测路面区域,如图 3(a)所示,并用吸尘器清扫各区域路面,如图 3(b)所示.在试验过程中,使用量筒对不同质量分数的污染物进行定量.随后,将它们分别放入一个塑料容器中,并使用一个木质框架均匀地铺在每个测试区域,如图 3(c)所示.每条车道用木质框架铺撒污染物 15 次,直到待测路面区域被规定质量分数的污染物所覆盖.

实际城市道路中,在降雨情况下,污染物对路面抗滑性能的影响更严重.根据当地气象局提供的降水情况,本研究以水膜厚度<0.4 mm,0.4~1 mm,1~2 mm 分别模拟不同降雨情况.为了模拟实际道路的真实污染情况,用喷壶将水喷洒在含有污染物的干燥道路上,以保证每次试验的洒水量相同.经计算,每个试验段分别喷洒了 266.4、532.8 和 1 598.4 mL 的水,分别模拟了小、中、大雨.



图 3 污染物铺撒过程

Fig. 3 The process of pollutant spreading

1.3 路面抗滑试验

摩擦因数采用连续摩擦因数测定仪 T2GO (ASFT Industries ABTM,瑞典)进行测试,它是一种连续便携式摩擦测试设备,如图 4 所示.该仪器主要由前后两个胎压为 50 kPa 的轮胎与路面接触,用皮带连接两轮,通过皮带上侧的力学传感器将轮胎的摩擦因数传输到把手处的操作员控制系统,具有全自动操作系统,可以在测试过程中自动连续地采集数据的变化.与一般摩擦因数试验车相比,T2GO 体积小,仪器总质量仅为 21 kg,操作方便,适用于小面积路面的抗滑试验^[10].值得一提的是,在使用 T2GO 时,最大速度仅需要保



图 4 连续摩擦因数测定仪(T2GO)

Fig. 4 Continuous friction coefficient tester (T2GO)

持在 4 m/s 以下,T2GO 系统单人便可操作,这就意味着在步行速度下可以得到摩擦因数.数据每隔 0.03 m 保存一次,并能够显示所需距离的平均摩擦因数^[11].综上所述,T2GO 适合于本工作

中的数据收集。

采用网格法将不同质量分数的污染物铺撒在待测路面区域后,匀速移动 T2GO 测试仪测量测试区域的平均摩擦因数,如图 5(a)所示.测试完成后,去除该区域的污染物,重复上述试验步骤进行下一组试验.为了避免测试错误,每组测试共进行 3 次平行试验.若试验误差超过 5%,则需重复测试.最后的试验数据取 3 个测试结果的平均值。

在干燥条件下进行试验后,使用喷壶在每个试验段上喷洒不同体积的水,模拟潮湿条件.用同样的测试方法测试含水路面的摩擦因数,如图 5(b)所示。

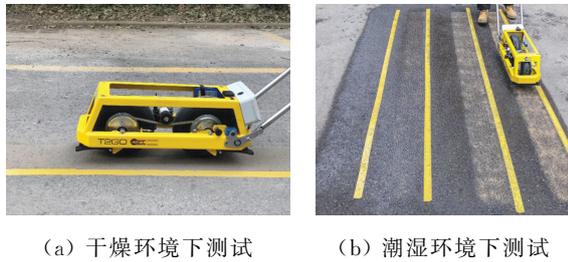


图 5 摩擦因数测试

Fig. 5 Friction coefficient test

2 结果与讨论

2.1 污染物的粒径分布

收集到的沙尘类污染物通过振动摇筛机进行初步筛分,得到不同粒径大小对应的质量分数,如图 6 所示.由 A、B、C 路段的污染物筛选结果发现,粉尘占沙尘类污染物的比例最大,达到 50%~60%.c 砂占 20%~25%,b 砂约占 13%,a 砂占 3%~4%,砾石约占 5%.可以得出结论,粉尘

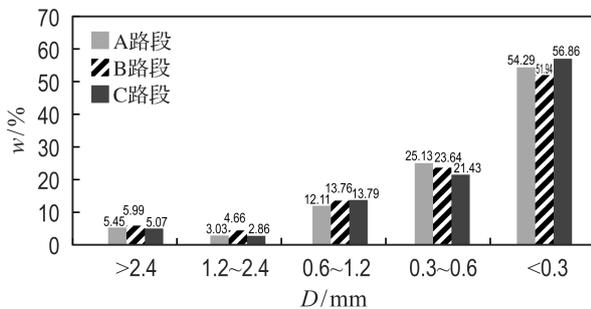


图 6 沙尘类污染物初步筛分结果

Fig. 6 Preliminary screening results of sand and dust pollutants

含量占到沙尘类污染物的一半以上,并且在沙尘类污染物中,粒径越小的颗粒所占比例较大。

从西安市南二环路收集到的污染物大部分为粉尘,而实际影响路面抗滑性能的是这些粉尘的体积分数而不是质量分数.因此,采用激光粒度分析仪分析粉尘类污染物的体积分数 φ ,结果如图 7 所示。

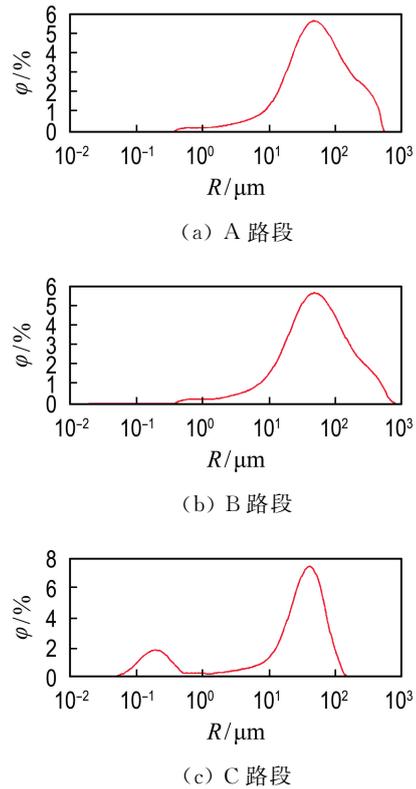


图 7 各路段粉尘激光粒度分析结果

Fig. 7 Laser particle size analysis results of roads dust

图 7 中的结果显示从 A、B、C 3 段路上收集到的粉尘污染物粒径分布分别为 0.418~549.496 μm 、0.422~724.389 μm 和 0.051~137.965 μm .在分析 C 路段的粉尘粒径时,图 7(c)中出现了一段粒径分布为 0.051~0.355 μm 的凸起,但这一粒径范围在路段 A 和路段 B 中没有出现.如图所示,3 段城市道路上的粉尘污染物粒径分布大多集中在 10~300 μm ,其中占比最多的是粒径为 50 μm 左右的颗粒.但由于从单颗粒分析,粒径为 50 μm 的颗粒体积明显小于粒径为 300 μm 的颗粒,因此粒径为 50 μm 的颗粒数明显多于其他粒径的颗粒数.从上述分析可以得出结论,在实际城市道路中,沙尘类污染物主要由粒径

为 $50\ \mu\text{m}$ 的粉尘所组成。

2.2 摩擦因数

摩擦因数是评价路面抗滑性能的一个重要指标. 各种被污染路面的平均摩擦因数由 T2GO 系统测试得出. 图 8 是在干燥情况下, 污染物质量分数与平均摩擦因数的关系曲线. 在干燥条件下, 加入污染物之后路面摩擦因数开始降低, 不同污染情况下路面摩擦因数均随污染物质量分数的增加而减小. 无论粒径大小如何, 摩擦因数从一开始的急剧下降到后来逐渐趋于平稳. 当污染物质量分数达到 $80\% \sim 100\%$ 时, 摩擦因数基本不变.

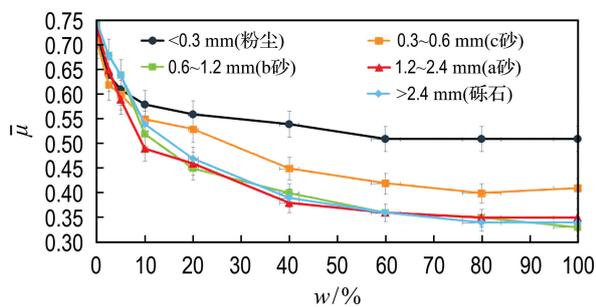


图 8 5 种粒径的污染物在干燥条件下质量分数与路面摩擦因数的折线图

Fig. 8 Line chart showing the variation of the friction coefficient with the mass fraction of five pollutants in dry condition

当污染物质量分数相同时, 随着污染物粒径的增大, 摩擦因数的减小幅度也随之增大. 在 5 类污染物中, 粉尘对沥青路面摩擦因数下降的影响最小. 但当污染物粒径达到 $0.6\ \text{mm}$ 以上, 摩擦因数的差异变化不大. 当污染物质量分数为 100% , 被粉尘和 c 砂污染的路面的摩擦因数降低了 28% 和 42% , b 砂、a 砂和砾石的摩擦因数降低了 $52\% \sim 56\%$. 当污染物质量分数相同时, 污染物粒径大小对路面摩擦因数的影响也是不同的. 从图 8 可以看出, 当各污染物质量分数均小于 10% 时, 粉尘和 c 砂的摩擦因数均小于 b 砂、a 砂和砾石的摩擦因数. 而当污染物质量分数大于 10% 时, 粉尘与 c 砂的摩擦因数的下降速率降低, 下降趋势趋于平缓, 导致此时 b 砂、a 砂和砾石污染物的摩擦因数低于 c 砂和粉尘的摩擦因数.

由于单颗大粒径污染物的体积明显大于单颗小粒径污染物的体积, 当总体积相同时, 前者的污

染物颗粒数明显少于后者. 在铺撒污染物的过程中, 本研究发现质量分数为 10% 的情况下, 大尺寸的砾石只能散落在路面上, 对路面抗滑性能影响不均匀, 大粒径污染物的摩擦因数高于小粒径污染物的. 随着污染物质量分数的增加, b 砂、a 砂、砾石的数量继续增加, 对摩擦因数的影响越来越显著, 但粉尘和 c 砂对道路摩擦因数的影响变化不大. 因此, 本研究发现当污染物质量分数大于 10% 时, 大粒径污染物的摩擦因数急剧下降, 但小粒径污染物的摩擦因数下降速度较慢, 导致随着污染物质量分数的上升, 大粒径污染物的摩擦因数低于小粒径污染物的摩擦因数.

通过污染物质量分数与实测摩擦因数的散点图, 再进行曲线拟合, 进一步分析了污染物质量分数与路面抗滑性能之间的关系. 各曲线的拟合优度如图 9 所示. 经过曲线拟合, 得出拟合函数为渐近线型指数函数, 曲线拟合收敛, 且拟合优度均接近 1.

相较于其他类型的污染物, 粉尘与水结合会产生类似于泥浆之类的产物, 对路面起到润滑的作用, 严重影响抗滑性能^[12-13]. 本研究讨论了被 8 种不同质量分数 2.5% 、 5% 、 10% 、 20% 、 40% 、 60% 、 80% 和 100% 粉尘污染的路面在潮湿状态下的抗滑性能. 潮湿与干燥状态下粉尘摩擦因数变化趋势不同. 在不同降雨情况下, 摩擦因数均呈现出先增大后减小后又略微增大的趋势, 最终随粉尘质量分数的增加而趋于稳定, 如图 10 所示. 当粉尘质量分数为 0 时, 路面上的污染物仅为雨水, 此时摩擦因数较小; 当粉尘质量分数略增时, 粉尘进入路表面的空隙中, 填充了一些细小的空隙, 从而增加了车轮与路面的接触面积, 导致摩擦因数上升; 当粉尘质量分数增加到一定量时, 粉尘与水混合形成泥浆, 使轮胎打滑, 摩擦因数开始下降; 之后, 粉尘质量分数继续增加, 车轮直接与粉尘颗粒接触, 摩擦因数略增后趋于稳定.

鉴于其他 4 种污染物在潮湿情况下摩擦因数变化趋势相似, 此处以砾石为代表进一步分析. 在潮湿条件下测量砾石质量分数为 5% 、 10% 、 20% 、 40% 、 60% 、 80% 、 100% 时路面的摩擦因数, 并绘制折线图, 如图 11 所示. 当砾石质量分数为 5% 时摩擦因数与无砾石时相似, 之后摩擦因数随

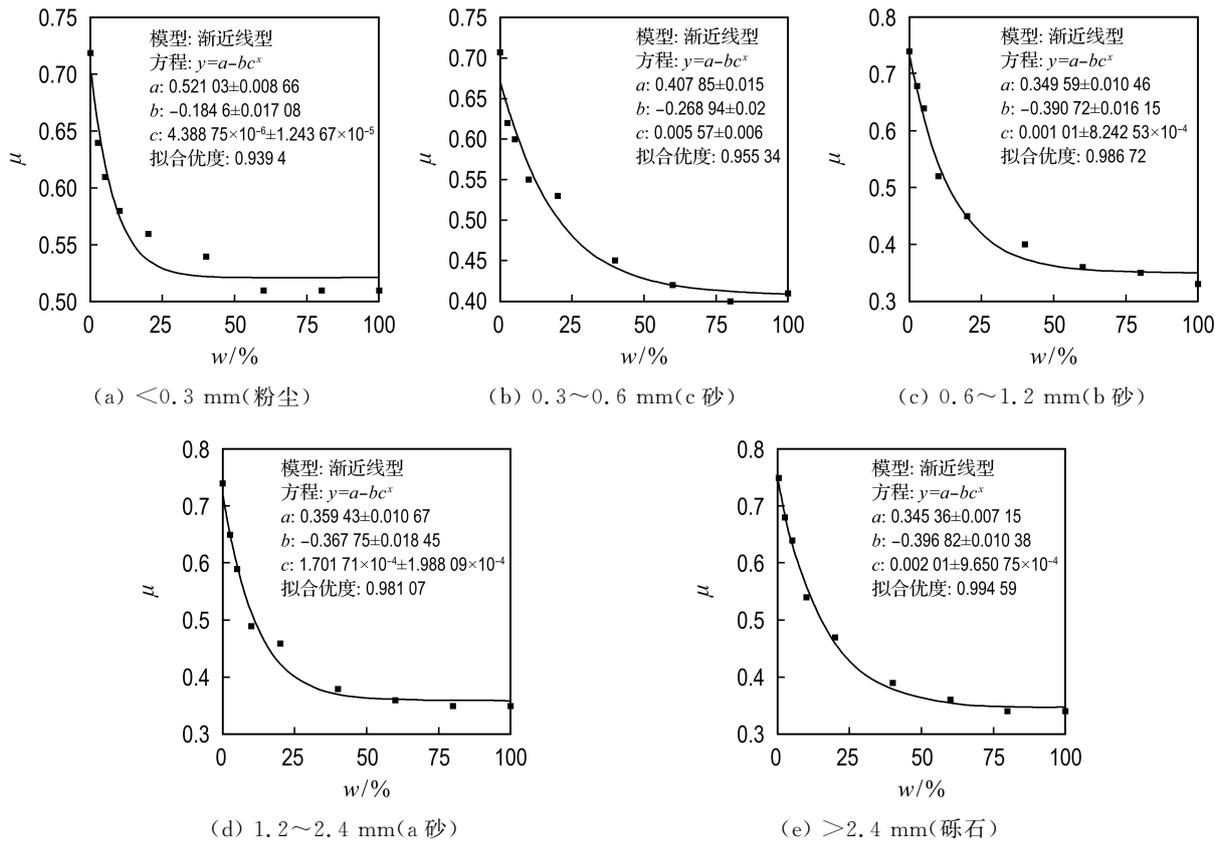


图 9 5 种污染物与路面摩擦因数关系拟合曲线

Fig. 9 Friction coefficient fitting curve performed for five different pollutant types

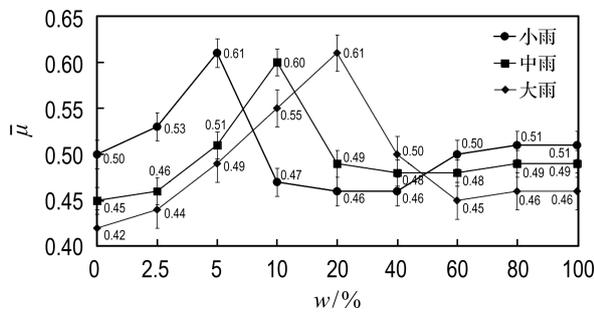


图 10 不同降雨条件下粉尘质量分数与路面摩擦因数的关系

Fig. 10 Relationship between dust mass fraction and friction coefficient under different rainfall conditions

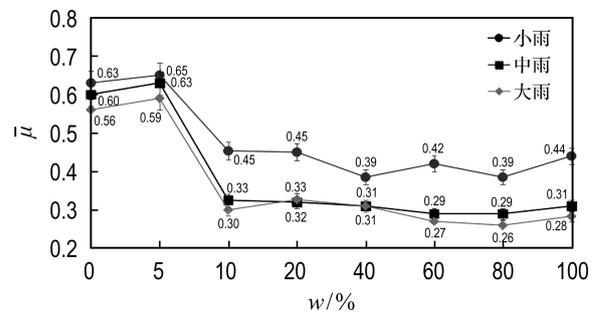


图 11 不同降雨条件下砾石质量分数与路面摩擦因数的关系

Fig. 11 Relationship between gravel mass fraction and friction coefficient under different rainfall conditions

着砾石质量分数的增加而急剧下降,之后趋于平稳,这与粉尘污染物的趋势曲线不同,这是由于砾石和水混合没有形成泥浆.当砾石质量分数较低时,其分散在路表面,因此,砾石对摩擦因数的影响不显著;但当砾石质量分数达到 10%左右时,摩擦因数急剧下降,此时大部分车轮与路面的滑

动摩擦变为车轮与砾石的滚动摩擦,同时减少了车轮的实际接触面积,使得摩擦因数迅速降低;但之后随着砾石的增加,其对摩擦因数影响不大.

接下来,分析不同降水量对被污染路面抗滑性能的影响.从图 8 和图 11 中可以看出,在干燥和小雨情况下,被砾石污染路面的摩擦因数基本

相同,说明当降水量很小时,砾石质量分数对路面摩擦因数影响不大;当降水量达到中雨时,摩擦因数整体下降较为明显;降水量从中雨增大到大雨时,摩擦因数变化不大,这可说明只有当降水量达到某一范围时,路面摩擦因数才发生突变,这和薄膜厚度与路面摩擦因数的关系是一致的^[12-13]。

3 结论和展望

(1)我国城市道路中的污染物大致可分为城市垃圾片状污染物、砂尘类污染物、雨水等其他液态污染物. 本研究发现,粉尘类污染物(粒径小于 0.3 mm)占砂尘类污染物的 50%~60%,并且粉尘类污染物粒径主要集中在 10~300 μm 。

(2)在干燥状态下,随着砂尘类污染物质量分数的增加,路面摩擦因数呈现先快速降低,之后逐渐平缓的趋势,通过曲线拟合,得出污染物质量分数和摩擦因数呈指数型下降趋势,并且污染物粒径越大,摩擦因数下降的趋势越明显. 即在城市道路中,路面的污染状况越严重,路面的摩擦因数越小。

(3)降雨条件下,不同粒径的污染物对路面抗滑性能的影响是不同的. 随着小粒径污染物质量分数的增大,路面摩擦因数呈现先增大后减小的趋势,但随着大粒径污染物质量分数的增大,路面摩擦因数始终呈下降趋势. 即在潮湿状态下,污染物会对路表面的抗滑性能造成更加严重的影响。

本文评价了污染物对沥青路面抗滑性能的影响,结论有助于了解污染物质量分数和类型与路面抗滑性能之间的关系. 路面抗滑性能与轮胎性质、路面类型、环境情况、行车速度等因素有密切联系^[14-16]. 后续可进一步开展不同测试速度下,污染物对不同类型路面抗滑性能以及表面纹理的影响。

参考文献:

- [1] 刘明智. 环境因素对沥青路面抗滑性能影响研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
LIU Mingzhi. Research of environmental factors on the asphalt pavement anti-sliding performance impact [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015. (in Chinese)
- [2] YUN D, HU L, TANG C. Tire-road contact area

on asphalt concrete pavement and its relationship with the skid resistance [J]. **Materials (Basel, Switzerland)**, 2020, **13**(3): 615.

- [3] ZHAI Xugang, BO Chen. Research of pollutants impact on anti-sliding performance in asphalt pavement [C] // **Proceedings of 2017 4th International Conference on Engineering Technology and Application (ICETA 2017)**, 2017-06-01. Nagoya: ICETA, 2017: 136-143.
- [4] 曹晓峰, 李浩, 李善强, 等. 柴油泄漏对沥青混凝土路面的长期影响研究 [J]. **公路**, 2016, **61**(5): 194-198.
CAO Xiaofeng, LI Hao, LI Shanqiang, *et al.* Research on the long-term impact of diesel leak on asphalt concrete pavement [J]. **Highway**, 2016, **61**(5): 194-198. (in Chinese)
- [5] 秦新, 何亮, 王大为, 等. 基于材料衰变的沥青路面抗滑特性研究 [J]. **西部交通科技**, 2017(1): 1-8.
QIN Xin, HE Liang, WANG Dawei, *et al.* Research on anti-skid characteristics of asphalt pavement based on material decay [J]. **Western China Communication Science and Technology**, 2017(1): 1-8. (in Chinese)
- [6] DO M T, CEREZO V, ZAHOUANI H. Laboratory test to evaluate the effect of contaminants on road skid resistance [J]. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J: Journal of Engineering Tribology**, 2014, **228**(11): 1276-1284.
- [7] 曹平. 表面形貌与污染物对沥青路面抗滑性能影响的研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
CAO Ping. Study on effects of texture and contaminants to skid resistance of asphalt pavements [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009. (in Chinese)
- [8] WILSON D J. The effect of rainfall and contaminants on road pavement skid resistance April 2013: NZ Transport Agency research report 515 [R]. New Zealand: Chippings, 2013.
- [9] LI Haiyan, SHI Anbang, ZHANG Xiaoran. Particle size distribution and characteristics of heavy metals in road-deposited sediments from Beijing Olympic Park [J]. **Journal of Environmental Sciences**, 2015, **32**(6): 228-237.

- [10] MAHBOOB KANAFI M, KUOSMANEN A, PELLINEN T K, *et al.* Macro- and micro-texture evolution of road pavements and correlation with friction [J]. **International Journal of Pavement Engineering**, 2015, **16**(2): 168-179.
- [11] IWANOWSKI P, BLACHA K, WESOŁOWSKI M. Review of modern methods for continuous friction measurement on airfield pavements [J]. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 2018, **356**: 012002.
- [12] ONG G P, FWA T F. Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: Modeling [J]. **Journal of Transportation Engineering**, 2007, **133**(10): 590-598.
- [13] FWA T F, ONG G P. Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: analysis [J]. **Journal of Transportation Engineering**, 2008, **134**(5): 182-190.
- [14] LUBIS A S, MUIS Z A, GULTOM E M. The effect of contaminant on skid resistance of pavement surface [J]. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2018, **126**(1): 012040.
- [15] 徐峰. 污染物对 AC-13 沥青路面抗滑性能的影响研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019.
XU Feng. Study on influence of contaminants on anti-sliding performance of AC-13 asphalt pavement [D]. Xi'an: Chang'an University, 2019. (in Chinese)
- [16] HU Liqun, YUN Di, LIU Zhuangzhuang, *et al.* Effect of three-dimensional macrotexture characteristics on dynamic frictional coefficient of asphalt pavement surface [J]. **Construction and Building Materials**, 2016, **126**: 720-729.

Effect of particle pollutants on skid resistance of AC-13 asphalt pavement

HU Liqun^{*1,2}, XU Song¹, XU Feng¹, YUN Di¹

(1. Highway School, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: To examine the impact of pollutants on urban roads to the skid resistance of pavements, and simulate the actual road conditions, the pollutants are collected from actual city road by vacuum truck. The types and particle size distributions of pollutants are analyzed by using a shaker and laser particle size analyzer. The friction coefficient of AC-13 roads containing different pollutants is measured using a continuous friction coefficient tester (T2GO system) under dry and wet conditions. The research results indicate that sand and dust pollutants are the main types of contaminants on urban roads; under dry condition, as the concentration of sand and dust pollutants increases, the road surface friction coefficient gradually decreases; however, under wet condition, the pollutant types have greater influence on the skid resistance of asphalt pavement and compared with the dry condition, under wet condition pollutants have greater effect on skid resistance.

Key words: asphalt pavement; pollutants; skid resistance; urban roads; friction coefficient