

界面污染对沥青小梁疲劳性能的影响研究

张逸琳

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:为研究层间界面污染情况对沥青铺面整体使用性能所产生的影响,采用由不同类型混合料复合而成的、含有层间界面的复合沥青小梁,进行抗剪强度试验和四点弯曲疲劳试验;以机油污染和黄土污染作为污染源,调整污染量,用于模拟施工过程中可能存在的污染情况,并对其在不同工况下的层间抗剪强度和整体疲劳寿命进行测定。试验结果表明:(1)就各类影响层间抗剪强度因素的敏感性而言,机油污染的敏感性要高于黄土污染;(2)同等试验条件下,随着污染量的增加,复合小梁的疲劳寿命显著减小,一定程度后逐渐趋于稳定;(3)在相同污染量工况下,机油对于层间黏结性能的影响要大于黄土污染对其产生的影响;(4)就弯曲劲度模量损失量而言,当污染量达到一定程度后,复合小梁的层间黏结性就会丧失。

关键词:道路工程;污染源;沥青小梁;四点弯曲试验;弯曲劲度模量损失量

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)03-0194-03

0 引言

随着沥青作为主流路面材料使用愈加广泛,其疲劳破坏现象作为沥青路面的主要破坏方式之一,得到广泛关注^[1-2]。针对目前沥青路面疲劳破坏的各种类型,当前研究重点偏重其材料本身和材料间的结构组合,以及以此为依据,根据路面的使用状况和当地的温度变化,对其进行相应的优化和改进^[3]。然而,研究和实践均表明,如果忽略层间黏结、防水、应力吸收和耐久性等问题,即使大程度地提高面层和基层的强度,由于无法解决沥青路面层间黏结不足而导致的层间滑移状况,仍然无法从根本上解决沥青路面的疲劳破坏问题。一般认为,导致层间滑移病害的原因为水平力的强度大于层间的黏结强度。细化到实际状况中,原因主要表现为水平荷载作用过大或者路面层间黏结不足^[4]。研究表明,水平荷载的存在会进一步削弱层间的结构,从而导致层间滑移。并且,水平荷载的作用会在很大程度上影响路面应力场的分布,尤其对于上面层,将在层内产生较大的拉应力^[5-6]。当然,这是在前置条件为层间接触状态完全连续或完全光滑两种极端情况下而得到的结论,实际工况下的层间接触条件显然将介于两者之间^[7]。研究表明,不同的层间接触条件将对路面结构的力学响应状况和分布产生很大的影响^[8-11]。针对此

类问题,很多学者基于有限元理论,在不同的层间接触状态下,对水平荷载与竖向荷载联合作用、荷载与温度耦合作用等不同力学工况下,路面层内的力学响应指标的大小和分布特性展开了研究^[12-14]。同时,试验表明,在层间喷洒黏层油,能够有效地提高层间的黏结力和抗剪力^[15],但忽略了界面污染因素的影响。由于路面的日常工作状态完全暴露于自然环境中,外界的污染会引起沥青路面层间接触条件发生改变。文献[16]针对界面污染下,半刚性基层与沥青面层层间黏结性能进行了研究,却忽略了沥青路面面层层间接触状态受到污染的情况。

基于此,本文针对不同界面污染情况,在抗剪强度试验的基础上,进一步进行小梁弯曲疲劳试验,对复合沥青混合料小梁的疲劳寿命展开测试,并分析其弯曲劲度模量的变化规律,以分析其界面污染机理。

1 试验材料与方案

1.1 试验材料

考虑模拟钢桥面的沥青铺装结构工况,本试验采用新型骨架密实型防水混合料 SMAP-5 和骨架悬浮密实型沥青混合料 SMA-13,用以制备小梁结构件。用料选择上,黏层油类型选取 SBS 改性乳化沥青,集料类型选择玄武岩碎石,矿粉类型选择石灰石矿粉,纤维类型选择木质素纤维,沥青类型选择自主研发的高黏弹改性沥青。两种混合料级配组成详见表 1,混合料体积参数详见表 2。复合小梁纵截面如图 1 所示。

收稿日期: 2021-07-15

作者简介: 张逸琳(1993—),女,硕士,工程师,从事道路交通、城市运维等工作。

表 1 各混合料合成级配

筛空尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	SMA-5	100	100	100	97	46	38	30	22	17
	SMA-13	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10

表 2 复合小梁组合方式及其体积参数

混合料类型		混合料体积参数	
		2.36 mm 以上粗集料含量/%	孔隙率/%
上层	SMA-13	80	2.570
下层	SMA-5	54	0.729

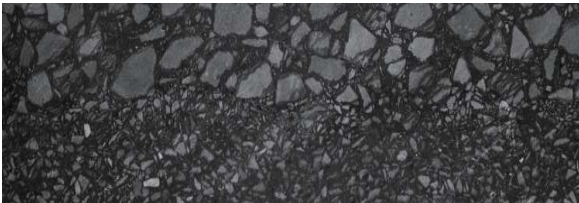


图 1 SMA-13+SMA-5 沥青混合料复合小梁试件

1.2 试验方案

以四点弯曲疲劳试验为主要试验方法。鉴于实际工况中，沥青混合料的疲劳破坏主要发生在 13 ~ 15℃ 之间，基本对应于北方春融期温度和南方地区的雨季温度。因此，该试验选取试验温度为 15℃。此外，出于提高试验效率、节约试验时间的考虑，试验采取应变水平为 1 250 με，且在加载时间上对制备的试件采取无间歇的荷载加载模式。

由于层间污染将对铺面层与层之间的黏结产生不利影响。在实际的道路施工工程中，自然环境中的风沙和施工时机械泄露的油污都是常见的路面结构层污染源。因此，本文以风沙和油污两种污染源为试验对象，研究层间污染对沥青混合料路面疲劳性能所产生的影响。

采用粉末状黄土或者集料灰尘模拟环境风沙，以及机油模拟施工时机械的油污，选取 0 kg/m²、0.1 kg/m²、0.2 kg/m²、0.3 kg/m² 四个水平，用以表征不同程度的污染量。

其他试验条件选取如下：试验温度 15℃，试验应变水平 1 250 με，试验加载频率 10 Hz。以马歇尔试件为例，其层间污染效果如图 2 所示。



(a)粉末状黄土 (b)机油

图 2 层间污染效果

2 试验结果分析

2.1 界面污染对层间抗剪强度的影响

根据试验方案，对制备的马歇尔试件进行不同预设工况的预处理之后，分别对其进行进一步的抗剪强度测试，得到表 3 中的试验结果。

表 3 不同层间污染抗剪强度试验结果

层间接触条件	用量/(kg·m ⁻²)	剪应力/kN	抗剪强度/MPa
层间洁净	—	12.64	1.56
层间污染	粉末状黄土	0.1	11.02
		0.2	10.13
		0.3	9.16
	机油	0.1	10.37
		0.2	9.48
		0.3	3.89

从表 3 中的试验结果可以看出，相比层间洁净的马歇尔试件，层间受到污染的试件抗剪强度都有不同程度的减小。以粉末状黄土作为层间污染源的混合料抗剪强度相对于层间洁净的混合料抗剪强度分别下降了 12.82%、19.87%、27.56%。以机油作为层间污染源的混合料抗剪强度相对于层间洁净的混合料抗剪强度分别下降了 17.95%、25.00%、32.05%。

从上述数据结果分析中可以得出，模拟自然封杀的黄土污染和模拟施工机械油污的机油污染，都会使层间抗剪强度下降。在相同污染量下，油污的影响比土污染的影响更大。

分析其原因，尽管土颗粒阻碍了上下层混合料之间的黏结，并且在剪切过程中促使上下层混合料之间静摩擦力转换成滑动摩擦力，从而造成混合料层间抗剪强度下降。然而，油污中的油类成分对层间抗剪强度造成的影响更大。根据相似相容原理，油污中的油类成分一定程度上充当了溶剂作用，部分溶解了原本充当黏结作用的黏层油。同时，较高水平的渗透作用也使黏层油材料中沥青的油分含量增加，从而导致层间黏结减弱。此外，油污不仅对上下层混合料之间的黏结造成了一定的阻碍，甚至还提供了一定的润滑作用。多种因素作用下，共同导致沥青混合料的抗剪强度大幅度下降。

2.2 界面污染对复合小梁疲劳寿命的影响

根据试验方案，层间污染考虑在路面铺装过程

中常见的污染,即尘土污染和机油污染。沥青混合料车辙板层间黏结状态如图3所示,小梁疲劳试验结果如图4所示。



(a)黄土污染 (b)机油污染
图3 层间污染方式对比

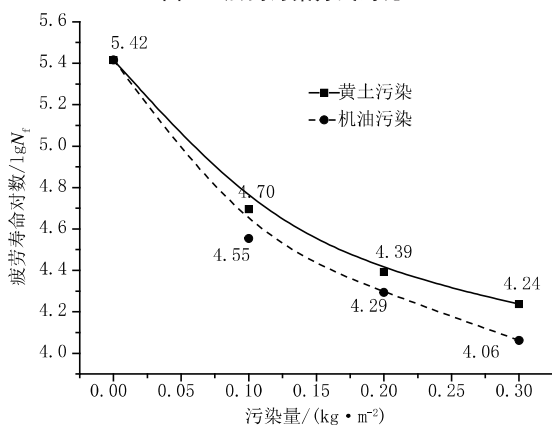


图4 层间污染疲劳试验结果

由图4可知,上下层混合料层间接触存在污染时,会导致混合料的疲劳寿命下降。相比于层间洁净,以黄土作为层间污染源时,不同的污染量工况下,混合料的疲劳寿命分别下降了13.37%、18.96%、21.83%。以机油作为层间污染源时,不同的污染量工况下,混合料的疲劳寿命分别下降了15.98%、20.78%、25.05%。试验结果表明,黄土污染源对混合料疲劳寿命的影响要小于机油污染源对混合料疲劳寿命的影响。其原因可能是:黄土颗粒存在与混合料层间黏结界面,虽然阻碍了上下层混合料的黏结,在车辆荷载作用的情况下,使混合料层间摩擦力由静摩擦变成滑动摩擦,但是,对于机油污染而言,其不仅阻碍了上下层混合料的黏结,而且在车辆荷载的作用情况下,在层间起到了润滑作用。

2.3 弯曲劲度模量损失分析

上述试验结果表明,界面污染情况作为复合小梁疲劳寿命的主要影响因素之一,其影响程度不仅与污染源相关,还与层间界面受到的污染量有关。复合小梁试件的弯曲劲度模量损失量变化结果如图5所示。

由图5可知,复合小梁试件层间界面在受到两种污染源的情况下,其弯曲劲度模量都有不同程度的损失。其中,相较于黄土污染,机油污染对于弯曲

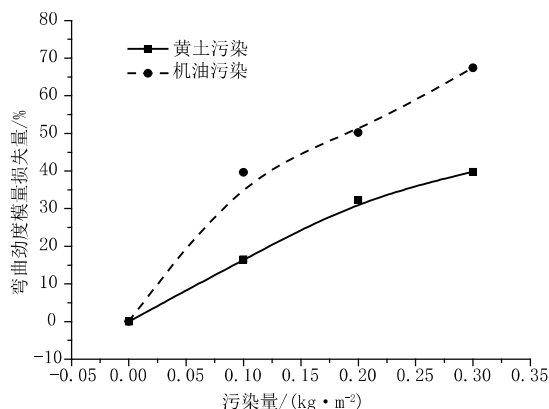


图5 弯曲劲度模量损失量试验结果

劲度模量损失的影响更大。同时,随着污染量增加至某一定限度,机油污染会率先使层间黏结失效。

3 结 语

(1)沥青复合小梁层间界面的抗剪强度指标,受到黄土污染的扰动敏感程度要小于机油污染,且层间界面的抗剪强度会随着界面污染源含量的增加而降低。

(2)随着污染源含量的增加,沥青混合料的疲劳性能存在显著下降的趋势,但随着污染量的增加,复合小梁的疲劳寿命有趋于稳定的趋势。

(3)相同污染量下,机油污染对层间黏结性能的影响大于黄土污染。

(4)根据弯曲劲度模量损失结果分析,随着污染量的逐步增加,小梁试件的弯曲劲度模量损失会逐渐增大。这说明层间黏结力不断减弱,当污染量增至某一值时,沥青路面上下面层的黏结性能基本丧失。

研究分析结果表明:采用分层铺装沥青路面时,应当保持沥青上下面层层间界面的洁净,尤其是防止施工作业时,器械油污对界面造成污染,对提高沥青路面的黏结性和整体性具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 赵延庆,谭忆秋,王国忠,等.黏弹性对沥青路面疲劳开裂的影响[J].吉林大学学报:工学版,2010,40(3):683-687.
- [2] 朱洪洲,高爽,唐伯明.沥青混合料常应变小梁弯曲疲劳试验[J].华中科技大学学报:城市科学版,2009,26(4):5-8.
- [3] 沈金安.高速公路沥青路面早期破坏分析与防治措施[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 陈平雁,等.SPSS13.0统计软件应用教程[M].北京:人民卫生出版社,2005.
- [5] 刘丽.沥青路面层间处治技术研究[D].西安:长安大学,2008.
- [6] 陈亚章,吕继群.层间状态对沥青路面力学性能与疲劳寿命影响研究[J].湖南交通科技,2017,3,43(1):88-92.
- [7] Whiffin A C, Lister N W. The application of elastic theory to flexible