

文章编号:1671-8879(2008)06-0016-05

格栅加筋沥青加铺层结构轮载疲劳模拟对比试验

王朝辉,王选仓,杨维国

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为探索格栅层位对加筋沥青加铺层结构整体疲劳寿命的影响,建立了不同加铺层结构疲劳模拟试验模型,提出基于车辙仪改进的加铺层结构疲劳模拟对比试验方法,模拟了荷载引起的沥青加铺层疲劳裂缝、反射裂缝以及其他裂缝扩展过程,最后将试件制成 $30\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的棱柱体小梁,对不同格栅设置层位及不同锯缝深度的加铺层结构进行试验。结果表明:在轮载作用下,不论试件底部有无锯缝,沥青层表面首先出现裂缝,且基本上与格栅的设置无关;锯缝深度及格栅的设置层位对加铺层的疲劳寿命影响较大,当加铺层较薄时,格栅设置于加铺层的底部效果较好,当加铺层较厚时,格栅之下设有一定厚度的调平层较好。

关键词:道路工程;沥青加铺层;格栅;疲劳试验;车辙仪

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Wheel tracking fatigue simulated test of asphalt overlay reinforced with grid

WANG Chao-hui, WANG Xuan-cang, YANG Wei-guo

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to explore the influence of grid position on whole fatigue life of asphalt overlay structure, the fatigue simulation test models of different overlay structures are established, the small prism beam samples with $30\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ are made, the ordinary wheel tracking apparatus is adopted to carry on fatigue simulation contrast test, so the expansion processes of asphalt overlay fatigue crack, reflection crack and other crack caused by loading are simulated. The overlay structures with different grid positions and different cutting crack depths are experimented. The results indicate that, under wheel load function, the surface of specimens first appears cracks, and they have nothing to do with grid establishment, the influence of cutting crack depth and grid position on overlay fatigue life is bigger, when asphalt overlay structure is thinner, it is better if the grid is put to overlay structure base, when asphalt overlay structure is thicker, it is better if leveling course with certain thickness under the grid. 6 tabs, 5 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; asphalt overlay; grid; fatigue life; wheel tracking apparatus

收稿日期:2007-12-16

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:王朝辉(1980-),男,河南滑县人,讲师,工学博士,E-mail:chaohuiyanjuan@163.com。

0 引言

自 20 世纪 80 年代塑料格栅(Tensar)应用于道路工程以来,国内外学者对格栅路用性能进行了大量的研究。其中大部分研究集中于格栅夹层延迟路面开裂及抵抗高温车辙性能上^[1-4],而对于格栅延长路面疲劳寿命的功能,国内外研究较少^[5],而且主要采用万能材料试验机(MTS)或者沥青路面分析仪(APA)等对加铺层板试件或梁试件进行室内疲劳试验^[6-8]。通过调查研究发现,以往的疲劳试验大都是将格栅置于沥青混凝土层底,并取得了相当好的效果。如果以层底出现裂缝作为加铺层破坏的标准,格栅置于加铺层层底是合理的,但层底出现裂缝,并不代表加铺层寿命的终结,格栅应当设置在能最大限度发挥其功能的地方,但对于这一点国内外

尚无进行相关的疲劳试验研究。为此,本文在总结已有试验经验的基础上,对沥青混合料车辙试验系统进行改装,实现对荷载引起的旧沥青混凝土路面沥青加铺层疲劳裂缝、反射裂缝以及其他裂缝扩展过程进行模拟,通过比较不同厚度沥青加铺层中的不同层位格栅和锯缝的深度对加铺层整体寿命的影响,为优选最佳沥青加铺层夹层的位置提供依据。

1 试验模型的建立

为了模拟不同厚度沥青加铺层中的不同层位格栅和锯缝的深度对沥青加铺层疲劳裂缝和反射裂缝的影响,拟采用 3 组试验模型,如图 1~图 3 所示。试件长度为 30 cm,宽度为 7 cm,高度为 10 cm,锯缝宽度为 0.5 cm,加载时下垫 2 cm 厚的橡胶板。

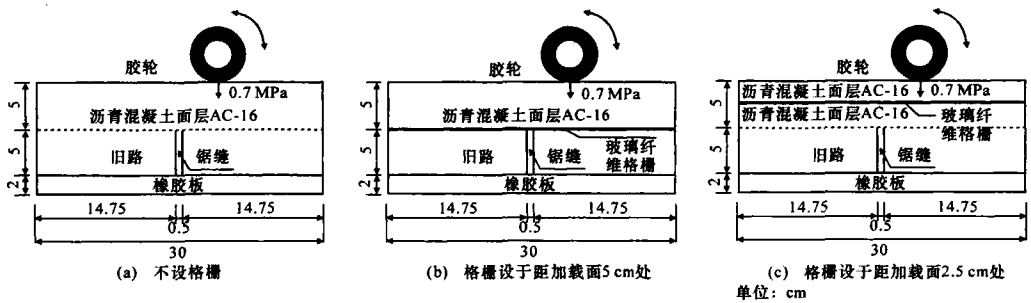


图 1 不同层位格栅加铺层疲劳模拟试验模型 I

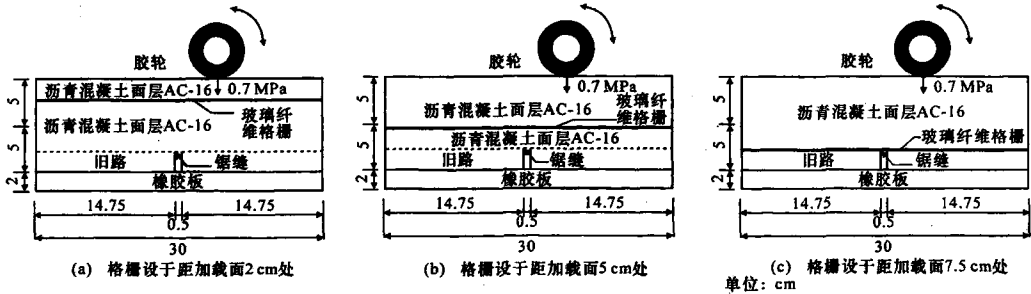


图 2 不同层位格栅加铺层疲劳模拟试验模型 II

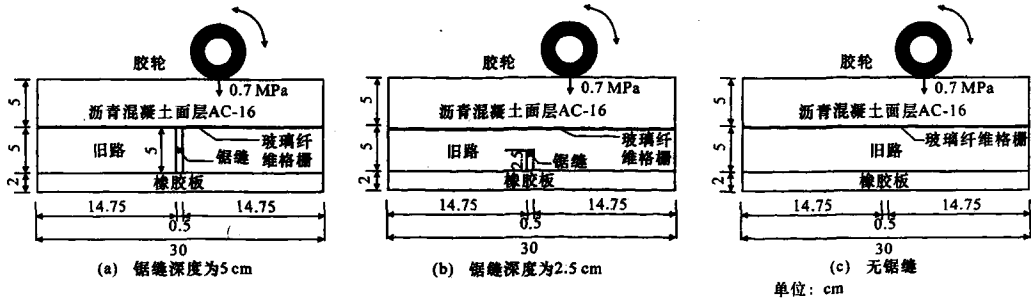


图 3 不同旧路锯缝深度加铺层疲劳模拟试验模型 III

2 试件的制备

所需主要材料为:AC-16 改性沥青混凝土原材料、玻璃纤维格栅等,其中玻璃纤维格栅试验时要求手工将格栅剪成 300 mm×300 mm 的矩形。相关指标如表 1、表 2 所示。

表 1 AC-16 沥青混合料级配										
粒径/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	95.0	84.0	70.0	48.0	34.0	24.5	17.5	12.5	9.5	6.0

表 2 玻璃纤维格栅技术指标									
规格	网眼尺寸/mm		断裂强度/(kN·m ⁻¹)		伸长率/%	弹性模量/MPa	幅宽/m	耐温性/℃	耐腐蚀性
	经向	纬向	经向	纬向					
EGA2×2B	9.5	9.5	≥100	≥44	≤4	67 000	1.5~2.0	-100~280	优良
单位面积质量/(g·m ⁻²)									560

按照《公路沥青混凝土路面施工技术规范》(JTG F40—2004)标准配制并拌合 AC-16 沥青混凝土,油石比(沥青混凝土中沥青与矿料质量比的百分数)为 4.75%,沥青为 SBS 改性沥青,检测结果均符合规范要求。然后制作如图 1~图 3 所示的轮碾成型试件^[9],其中玻璃纤维格栅粘层油用量为 0.4~0.6 kg/m²,最后室温((25±2)℃)静置 48 h,将试件均匀切割为 3 份,制成 30 cm×10 cm×10 cm 的棱柱体小梁试件。人工预制裂缝,切缝深度 50 mm 或 25 mm,宽度约 5 mm,如图 4 所示。为了便于观测,对试件部分用涂料刷白。

裂缝端部切割呈契型,便于荷载作用下裂缝的起裂和扩展。试件制作安排如表 3 所示。

表 3 疲劳模拟试验类型			
试验类型	试件序号	试件类型	试件组数
不同格栅位置试验模型 I	A	不设格栅,锯缝深度为 5 cm	3
	B	格栅设于距加载面 5 cm,锯缝深度为 5 cm	3
	C	格栅设于距加载面 2.5 cm,锯缝深度为 5 cm	3
不同格栅位置试验模型 II	D	格栅设于距加载面 2 cm,锯缝深度为 2.5 cm	3
	E	格栅设于距加载面 5 cm,锯缝深度为 2.5 cm	3
	F	格栅设于距加载面 7.5 cm,锯缝深度为 2.5 cm	3
不同锯缝深度试验模型 III	B	格栅设于距加载面 5 cm,锯缝深度为 5 cm	3
	E	格栅设于距加载面 5 cm,锯缝深度为 2.5 cm	3
	G	格栅设于距加载面 5 cm,无锯缝	3

3 加载及观测方式

将小梁试件放入车辙仪,试验温度为(23±2)℃。采用标准试验轮载,轮压 0.7 MPa,胶轮宽度 5 cm,加载周期 T 为 1.43 s,如图 5 所示(其中,P 为

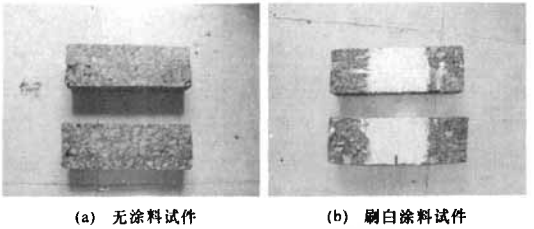


图 4 成型试件

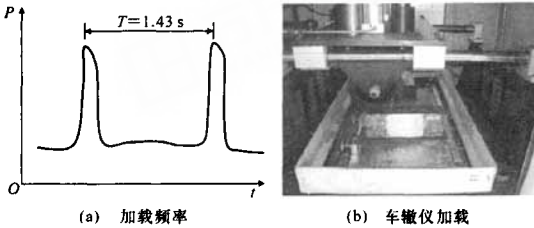


图 5 试件加载方式

试验轮载;t 为加载时间)。在重复荷载作用下,分别观测 3 组加铺结构裂缝的起裂和裂缝扩展等情况,记录不同疲劳荷载作用下试件中加铺层裂缝的发展情况,直至裂缝完全贯穿整个加铺层断面,试验终止。记录其作用次数,累计加载次数即疲劳寿命。记录每组类型试件的试验结果,计算平均值并进行比较。

4 轮载疲劳试验结果及分析

4.1 试验模型 I 轮载疲劳模拟试验结果

第 1 组疲劳试验,即加铺层厚度为 5 cm,将格栅设置在加铺层不同位置的试验结果见表 4。

表 4 不同格栅位置试验模型 I 的疲劳试验结果				
试件序号	疲劳次数/次			
	试件顶部出现裂缝	格栅处出现裂缝	锯缝处出现裂缝	加铺层破坏
A	2 474		25 042	41 240
B	1 666	6 236	28 049	67 880
C	1 936	8 820	26 460	39 549

注:1 次为车辙仪的胶轮行走 1 个来回,下同。
试验结果表明,试件出现裂缝并破坏的顺序依次为:试件顶部出现裂缝;格栅处出现裂缝;裂缝稍许“停滞”,直到锯缝处出现裂缝;最终加铺层破坏。对试验现象进行分析,可以看出有以下几个特点。
(1)在不考虑温度影响的情况下,通过胶轮的反复作用,使试件首先出现裂缝的地方不是在锯缝处,而是在试件的顶部(根据相关的理论研究,原因可能为最大竖向剪应力引起的由顶部向下发展的裂缝(TDC)开裂)。距加载面 5 cm 处设置格栅的试件

顶部最先出现裂缝,而未加格栅的试件顶部出现裂缝最晚,但作用次数都在 1 500~3 000 次之间。同时,胶轮作用相当长一段时间(大于 20 000 次,接近整个寿命的一半)后锯缝处才出现裂缝,没有设置格栅的试件锯缝处最先出现裂缝,格栅位于距加载面 2.5 cm 的次之,格栅位于加载面 5 cm 的试件锯缝处出现裂缝最晚。由此,可以推测:荷载是引起沥青路面的早期破坏并加剧反射裂缝发展的主要原因,而引起路面较早出现反射裂缝的原因却是温度。

(2)由于格栅的加入,将荷载反复作用产生的应力扩散到一个较大的范围内,从而把集中的宽裂缝分散成若干个细小的裂缝,延迟了裂缝的扩散和贯通。裂缝扩展到夹层底后转向水平,阻止了其垂直向上(或向下)扩展,提高了路面的抗裂能力和耐疲劳能力。

(3)试验中格栅处出现裂缝这是由于胶轮反复作用产生的水平力影响了格栅与沥青混凝土的粘结,使之成为裂缝的发生源之一。试验中观测到,格栅处虽然出现裂缝,但并不是加铺层结构破坏的主要原因。

(4)试件破坏的顺序为:C→A→B,即格栅位于距加载面 2.5 cm 处的试件最早破坏,作用次数为 39 549 次;没有加格栅的试件破坏次数为 41 240 次;最后破坏的是格栅位于距加载面 5 cm 的试件,作用次数为 67 880 次。

(5)在试验的过程中,格栅位于距加载面 2.5 cm 的试件,在胶轮作用 30 700 次后,格栅上的沥青混凝土出现“弹簧”现象,再作用 8 840 次后,试件发生破坏。这说明格栅位于距加载面 2.5 cm 的试件,最早破坏的主要原因不是下面反射裂缝的贯穿,而是由于格栅上沥青混凝土厚度太小。由此可以得出,格栅上的沥青混凝土必须具有一定的厚度,格栅才能体现出应有的作用。

4.2 试验模型Ⅱ轮载疲劳模拟试验结果

第 2 组疲劳试验,即加铺层厚度为 7.5 cm,将格栅设置在加铺层不同位置的试验结果见表 5。

表 5 不同格栅位置试验模型Ⅱ的疲劳试验结果

试件序号	疲劳次数/次				
	试件顶部出现裂缝	格栅处出现裂缝	锯缝处出现裂缝	加铺层底部出现裂缝	加铺层破坏
D	1 876	6 125		20 436	50 472
E	2 516	6 341		11 256	81 816
F	1 630	10 992		10 992	71 858

通过试验结果可以看出,试件出现裂缝并破坏的顺序与第 1 组试验相似,只是锯缝处没有出现裂

缝。表 5 中试件 D、E 加铺层底部出现裂缝的作用次数为试件底部裂缝向上发展 2.5 cm 的作用次数;试件 F 的加铺层底部出现裂缝的作用次数就是格栅处出现裂缝的作用次数。

对试验结果进行分析,可以看出第 2 组试验结果与第 1 组的试验结果有相似之处,但也有明显的不同,具有以下几个特点。

(1)距加载面 7.5 cm 处加格栅的试件顶部最早出现裂缝,作用次数为 1 630 次,而距加载面 5 cm 处加格栅的试件顶部最晚出现裂缝,作用次数为 2 516 次。这还是与第 1 组试验顶部出现裂缝的范围(1 500~3 000 次)相同。格栅设置于距离加载面 2.5 cm 和 5 cm 格栅处出现裂缝的次数相近,而格栅设置于距加载面 7.5 cm 的试件格栅处出现裂缝较晚。格栅设置于距加载面 7.5 cm 的加铺层底部最早出现裂缝,作用次数为 10 992 次;格栅设置于距加载面 2.5 cm 的加铺层底部最晚出现裂缝,作用次数为 20 436 次。

(2)格栅设置于距加载面 2.5 cm 的试件的破坏原因与第 1 组中的破坏原因相同。格栅设置于距加载面 7.5 cm 的试件的破坏,主要是因为顶部裂缝向下发展,使裂缝贯通,导致试件发生破坏,而加铺层底部的裂缝由于格栅的存在,对试件的破坏影响不大。格栅设置于距加载面 5 cm 的试件的破坏,则是顶部裂缝与加铺层底部裂缝共同作用的结果。

(3)加铺层破坏的试件顺序:D→F→E,作用次数分别为:50 472 次、71 858 次、81 816 次。由此可以得出,对于加铺层厚度为 7.5 cm 的试验,格栅设置于 5 cm 时的效果比设置于 7.5 cm 的效果好。由此可见,加铺层较厚时,格栅设置于加铺层中抗疲劳效果优于设于层底。

4.3 不同锯缝深度轮载疲劳模拟试验结果

第 3 组疲劳试验,即加铺层厚度为 5 cm,将格栅设置距加载面 5 cm 处,采用不同锯缝深度的疲劳试验结果见表 6。

表 6 不同锯缝深度的疲劳试验

试件序号	疲劳次数/次			
	试件顶部出现裂缝	格栅处出现裂缝	锯缝处出现裂缝	加铺层破坏
B	1 666	6 236	28 049	67 880
E	2 516	6 341		81 816
G	2 875	6 852		85 263

通过表 6 可以看出,试件出现裂缝并破坏的顺序与第 1 组相似。

(1) 试件顶部出现裂缝时的作用次数随锯缝的深度而减少,即锯缝越深,顶部越早出现裂缝。

(2) 格栅处出现裂缝的情况与顶部出现裂缝相似,锯缝越深,格栅处出现裂缝越早,但差别不是很明显。试件 B、E、G 的格栅处出现裂缝的次数分别为 6 236 次、6 341 次、6 852 次。

(3) 锯缝深为 2.5 cm 的试件,锯缝处到试件破坏时都没有出现裂缝。

(4) 锯缝越深,试件越易破坏。无缝试件的作用次数比缝深为 5 cm 的试件作用次数高 25.6%,缝深为 2.5 cm 的试件与无缝试件相差不大。由此可见,锯缝的深度对试件寿命的影响比较大,即加铺沥青加铺层前旧路的破坏状况将极大地影响加铺层的使用寿命。所以,在加铺前应当对旧路面进行妥善的处理。

5 结 语

(1) 提出了基于车辙仪改进的加铺层结构疲劳模拟对比试验方法,该方法成型简单,成本低,可操作性强,对实际路用状态模拟性强;同时,在无专门的数据采集系统下,此试验方法仅适用疲劳模拟对比试验。

(2) 在不考虑温度的情况下,荷载的反复作用使试件产生由顶部向下发展的裂缝和底部的弯拉裂缝,并加剧反射裂缝的发展。

(3) 格栅的设置位置对加铺层的使用寿命影响较大,以往的经验认为格栅设置于加铺层的底部效果最好。但本试验得出,当加铺层较薄时格栅设置于加铺层的底部效果最好;当加铺层具有相当的厚度时,格栅之下设有一定厚度的调平层(即格栅设于加铺层中)较好,其具体位置则须经过试验与力学计算来确定。

(4) 由试验结果可以看出,所有试件顶部出现裂缝的作用次数都在 1 500~3 000 次之间,即顶部裂缝出现的时间基本上与格栅的设置无关。

(5) 由格栅设置于距加载面 2.5 cm 处试件的试验破坏情况可以得出,格栅上方沥青混凝土层不宜过薄,否则会影响其疲劳寿命。

(6) 旧路面的破坏状况对加铺层的寿命影响较大,建议在加铺前对旧路面进行妥善处理。

参考文献:

References:

- [1] 李淑明,许志鸿,蔡喜棉.土工织物对复合式路面结构内力影响分析[J].中国公路学报,2006,19(1):28-31.
- LI Shu-ming, XU Zhi-hong, CAI Xi-mian. Analysis of impact of geo-textile on stress of composite pavement structure[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(1): 28-31.
- [2] 祝海燕,王选仓,曹宝贵.复合式路面中夹层对旧水泥混凝土板荷载应力影响分析[J].公路,2006(12):100-103.
- ZHU Hai-yan, WANG Xuan-cang, CAO Bao-gui. Analysis of impact of interlayer in composite pavement on loading stress of old cement concrete slab[J]. Highway, 2006(12): 100-103.
- [3] 廖卫东,王小雄.沥青加铺层抗反射裂缝足尺疲劳试验[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(5):9-12.
- LIAO Wei-dong, WANG Xiao-xiong. Full-scale-fatigue test on anti-reflective cracking of asphalt overlay[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(5): 9-12.
- [4] 袁宏伟,杨红辉.格栅加筋沥青混凝土路面的路用性能研究[J].公路,2002(11):6-9.
- YUAN Hong-wei, YANG Hong-hui. Study on pavement performance of geogrid-reinforced asphalt concrete pavement[J]. Highway, 2002(11): 6-9.
- [5] 王朝辉,王选仓.基于沥青加铺层结构疲劳寿命的夹层位置确定[J].中国公路学报,2008,21(1):29-34.
- WANG Chao-hui, WANG Xuan-cang. Interlayer position ascertainment based on fatigue life of asphalt overlay structure[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 29-34.
- [6] Austin R A, Gilchrist A J T. Enhanced performance of asphalt pavements using geocomposites[J]. Geotextiles and Geomembranes, 1996, 14(3/4): 175-186.
- [7] 杨 斌.旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构研究[D].西安:长安大学,2005.
- [8] 周志刚,谢 军,崔 鹏.加筋沥青混凝土梁式试件的 APA 弯曲疲劳试验研究[J].公路交通科技,2005,22(3):24-27.
- ZHOU Zhi-gang, XIE Jun, CUI Peng. Analysis of the reinforced asphalt concrete beam specimen with repeated bending test by APA[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 24-27.
- [9] JTJ 052—2000,公路工程沥青与沥青混合料试验规程[S].

[1] 李淑明,许志鸿,蔡喜棉.土工织物对复合式路面结构