

文章编号:1671-6833(2010)02-0031-04

层间接触条件对沥青路面高温性能的影响研究

纪小平¹, 郑南翔¹, 李欣²

(1. 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; 2. 山西省交通建设工程监理总公司, 山西 太原 030012)

摘要:应用 BISAR 软件计算了不同层间接触条件下的沥青面层剪应力, 通过直剪试验测定了洒布不同粘层材料的复合马歇尔试件的抗剪强度, 并采用车辙试验测定复合式车辙板的 *DS* 和总变形量。研究表明: 完全光滑的层间接触条件大幅提高了沥青面层的最大剪应力, 加速沥青面层发生剪切破坏而出现车辙; 粘层提高了层间抗剪强度, 不同的粘层材料对层间接触条件的改善效果不同; 高抗剪强度的层间接触能提高复合式车辙板的高温性能。
关键词:道路工程; 高温性能; 层间接触条件; 粘层油; 复合式车辙
中图分类号: U416.14 **文献标识码:** A

0 引言

随着公路运输量日益增长和运输向重型化发展, 尤其是高等级公路渠化交通的运行, 沥青路面车辙已成为主要的病害类型^[1-3]。半刚性基层沥青路面的车辙有压密性车辙和失稳性车辙, 而失稳性车辙是主要的^[4]。失稳性车辙是指在荷载反复作用下产生的剪切力超过沥青混合料的抗剪强度, 使流动变形累积成车辙, 也叫流动性车辙^[4]。因此, 若要提高沥青路面的抗车辙性能有两种途径: 一是优化路面结构设计, 尽量降低沥青面层在荷载作用下的剪应力, 如采取必要措施改善层间接触条件等; 二是优化材料设计提高沥青混合料的抗剪强度, 包括原材料的优化选择、合理的配比设计等。笔者主要讨论前一问题。

我国采用多层弹性层状体系理论设计沥青路面结构, 假定层间接触条件为完全连续。但实际道路中层间接触状态非常复杂, 如粘层油的材料类型及用量都会影响层间的联结。如果忽视层间结合的结构要求, 或者没有有效的材料与施工工艺来实现层间粘结处理, 层间结合面就会成为路面整体结构的薄弱环节, 导致路面结构的实际受力状况发生变化, 加速路面发生永久变形等破坏^[5-6]。

笔者首先计算不同层间接触条件下的沥青面

层剪应力的变化规律, 从剪应力角度分析沥青路面发生车辙的潜在趋势; 然后, 应用不同的粘层材料处理上下层厚均为 5 cm 复合式车辙板, 并测定复合式车辙板的动稳定度 *DS* 和总变形量 *l*, 分析层间接触条件对混合料高温性能的影响。

1 试验原材料

为了室内验证层间接触条件对沥青路面高温性能的影响, 进行上、下层厚均为 5 cm 复合板车辙试验。在上、下层间洒布不同的粘层材料以模拟不同的层间接触状况, 所用的粘层材料为 SBS 改性沥青、中海 70#A 级沥青、SBR 改性乳化沥青, 技术指标如表 1~表 3 所示。

表 1 SBS 改性沥青技术指标
Tab. 1 Specifications of SBS modified asphalt

技术指标	实测值	规范值	试验依据
25℃针入度/(0.1 mm)	76.6	60~80	T 0604
针入度指数 PI	0.25	≥ -0.4	T 0604
5℃延度/cm	45.4	≥ 30	T 0605
软化点/℃	81.5	≥ 55	T 0606
135℃运动黏度/(Pa·s)	2.7	≤ 3	T 0625
25℃弹性恢复/%	94.2	≥ 65	T 0662
48 h 软化点差/℃	1.2	≤ 2.5	T 0661
质量损失/%	0.48	≤ 1.0	T 0610
RTFOT 25℃针入度比/%	80.1	≥ 60	T 0604
5℃延度/cm	26.4	≥ 20	T 0605

收稿日期: 2009-09-10; 修订日期: 2009-12-30
基金项目: 西部交通建设科技项目(200831800029)
作者简介: 纪小平(1982-), 男, 浙江温州人, 长安大学博士研究生, 研究方向为路面工程, E-mail: jixiaoping2008@yahoo.cn.

表2 中海70#A级沥青技术指标
Tab.2 Asphalt specifications of ZH70#

技术指标	实测值	规范值	试验依据
25℃针入度/(0.1 mm)	68.4	60~80	T 0604
针入度指数 PI	-0.95	-1.5~1.0	T 0604
软化点/℃	49.2	≥46	T 0606
10℃延度/cm	46.0	≥25	T 0605
15℃延度/cm	>100	≥100	T 0605
60℃动力黏度/(Pa·s)	225.6	≥180	T 0620
质量损失/%	0.24	≤±0.8	T 0610
RTFOT 25℃针入度比/%	71.3	≥61	T 0604
10℃延度/cm	8.7	≥6	T 0605

表3 SBR改性乳化沥青技术指标
Tab.3 Specifications of SBR modified emulsion asphalt

试验项目	实测值	规范值 (PCR)	试验 方法
1.18 mm 筛上剩余量/%	0.01	≤0.1	T 0652
恩格拉黏度 E_{25}	3.8	1~10	T 0622
蒸发 蒸发残留物含量/%	62.2	≥50	T 0651
残留 25℃针入度/(0.1 mm)	53.1	40~120	T 0604
物 软化点/℃	53.4	≥50	T 0606
5℃延度/cm	50.3	≥20	T 0605
1 d 贮存稳定性/%	0.6	≤1	T 0655

复合车辙板上层面采用 AC-16(最佳油石比为4.85%),下面层采用 AC-20(最佳油石比为4.6%),按照规范级配中值设计,沥青统一采用中海70#A级沥青,粗集料为玄武岩。

2 层间接触条件对面层剪应力的影响

2.1 计算结构及计算图式

采用我国广泛使用的半刚性基层路面结构,各层的厚度、材料参数见表4。

表4 路面结构计算参数
Tab.4 Calculation parameters of pavement structure

层位	材料	厚度 /cm	抗压模 量/MPa	泊松比
上面层	细粒式沥青混凝土	4	1 200	0.30
中面层	中粒式沥青混凝土	5	1 000	0.30
下面层	粗粒式沥青混凝土	6	800	0.30
基层	水泥稳定碎石	30	1 500	0.25
底基层	二灰碎石	20	1 300	0.30
	土基	—	40	0.35

计算轴载采用标准轴载 BZZ-100,双轮组,轴重 $P=100$ kN,轮胎接地压强 $p=0.7$ MPa,单轮传压面当量圆直径 $2\delta=21.3$ cm,两轮中心距为 $1.5d$ 。计算剪应力时计算图示如图1,要求计算 B、D、E、C 这4点,最大值作为最大剪应力。

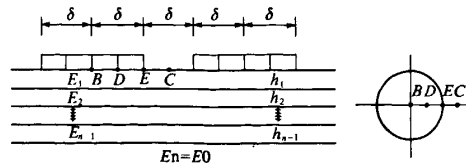


图1 力学计算图式

Fig.1 Mechanics calculation schema

2.2 层间接触条件设置

将层间接触条件设置为完全连续和完全光滑两种,以对比分析不同层间接触条件对面层剪应力的影响。采用 Shell 设计法的 BISAR3.0 程序计算分析沥青面层的最大剪应力,该程序不仅可以计算任何一点的应力、应变和位移,还能设置不同的层间接触条件,既有连续,又有滑动。Bisar3.0 软件通过层间摩擦函数定义层间接触条件,该函数取决于轮载半径、接触面上的模量及接触面上的泊松比。具体计算时,Bisar3.0 中提供了两个定义层间接触条件的函数,一个是“标准剪切弹簧模型”,另外一个为“简化的剪切弹簧模型”。笔者采用后一种模型,该模型将摩擦系数函数简化为单变量函数,变量为轮载半径的倍数,其值从0变化到100倍的轮载半径,其范围覆盖了从完全连续到完全光滑。

2.3 计算结果分析

分别计算不同深度处的 B、D、E、C 点的剪力,将最大值作为该深度处的最大剪应力,以1.5 cm作为一个计算深度,计算结果如图2所示。由计算结果可知,当层间完全连续时,最大剪应力随深度的增大先增大后逐渐减小,最大值出现在距路表1.5 cm处;当层间完全光滑时,最大剪应力总体上随着深度的增加而逐渐增大,最大值出现在15 cm处;进一步分析,层间完全连续时上面层的平均剪应力是完全光滑时的1.07倍,中面层的为1.32倍,下面层的为2.19倍。

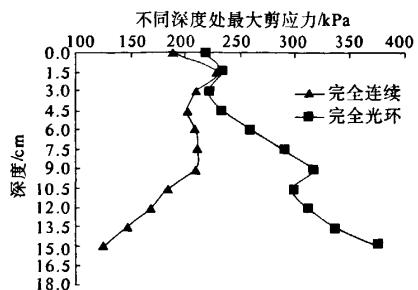


图2 不同接触状态下的面层最大剪应力

Fig.2 Maximum shear stress of surface under

由此可知层间接触条件对沥青面层的剪应力

影响很大,不良的层间接触条件能大幅度地提高面层的最大剪应力,导致沥青面层发生剪切破坏而加速出现车辙。

3 层间接触条件对复合式车辙板的影响

3.1 不同粘层材料的层间抗剪强度

为了有效区分不同粘层材料的层间粘结强度(层间接触条件),进行层间抗剪强度测试。

试验时先成型 5 cm 厚的 AC-20 车辙板,待冷却 16 h 后洒布粘层油,室温下放置 3 h 后待粘层油冷却,套上上层车辙板模子并加铺 5 cm 的 AC-16 混合料,碾压成型总厚度为 10 cm 的复合式车辙板,复合式车辙板可直接用作 DS 试验。当需要进行剪切试验时,还需对复合式车辙板钻芯,使用钻芯机取样,芯样尺寸为 $\Phi 10 \times 10$ cm,每块复合车辙板可钻取 4 个试件。

采用直剪仪进行剪切试验,剪切速度为

50 mm/min,不施加正应力,试验温度为 60 ℃,试验结果如表 5 所示。由表 5 可知,不同粘层材料的层间抗剪强度差别很大,其大小排序为:改性乳化 > SBS 改性 > 中海 70# > 无粘层油,加改性乳化沥青的是无粘层油的 2 倍,说明采用适当的粘层材料能显著改善层间接触状况。粘层材料统一采用 0.6 kg/m²。

表 5 不同粘层油的抗剪强度

Tab. 5 Anti-shear strength under different tack coat

层间状况	无粘层油	中海 70#	SBS 改性	改性乳化
层间抗剪强度/MPa	0.072	0.085	0.135	0.156

3.2 不同层间状况下的复合式高温车辙试验

与层间抗剪强度相同的复合式车辙板进行车辙试验,并测定动稳定度 DS、总变形量 l ,试验结果如表 6 所示。

表 6 不同层间接触条件的车辙试验结果

Tab. 6 Rutting test results under different interlayer touch types

层间状况	动稳定度 DS/(次·mm)				变型量 l /mm			
	测量值	均值	标准差	变异系数	测量值	均值	标准差	变异系数
无粘层油	850				11.345			
	1 020	936.7	85.0	9.1	10.104	10.7	0.6	5.8
	940				10.750			
中海 70#	1 230				9.546			
	1 098	1 224.7	124.1	10.1	10.109	9.6	0.5	5.0
	1 346				9.147			
SBS 改性	1 567				8.871			
	1 712	1 724.7	164.4	9.5	8.179	8.0	0.9	11.7
	1 895				7.016			
改性乳化	1 996				7.413			
	2 143	2 236.7	298.7	13.4	6.349	6.7	0.6	8.6
	2 571				6.467			

动稳定度 DS 代表沥青混合料每增加 1 mm 变形需要行走的次数,其值越大,说明沥青混合料的抗车辙能力越强。由图 3(a)可知,不同层间接触条件下的 DS 的大小排序为:改性乳化 > SBS 改性 > 中海 70# > 无粘层油,与层间抗剪强度的变化趋势一致,说明复合式车辙板的高温性能随着层间接触条件的改善而逐渐提高。进一步分析可知,复合式车辙板 DS 与层间抗剪强度 τ 满足线性关系 $DS = 14\,090\tau - 47.426$ ($R^2 = 0.968\,7$),说明层间抗剪强度越大,得到的 DS 就越高。

总变形量 l 为车辙板在规定作用次数下的竖

向累积变形,其值越小说明混合料抗荷载作用的能力就越强,即高温性能越好。由图 3(b)可知,不同层间接触条件的总变形量的大小排序为:改性乳化 < SBS 改性 < 中海 70# < 无粘层油,与层间抗剪强度的排序相反,这也说明复合式车辙抵抗荷载的变形能力随着层间接触条件的改善而变强。进一步分析可知,总变形量 l 与层间抗剪强度 τ 满足线性关系: $l = -43.25\tau + 13.619$ ($R^2 = 0.973\,5$),说明层间抗剪强度越大,总变形量 l 就越小。

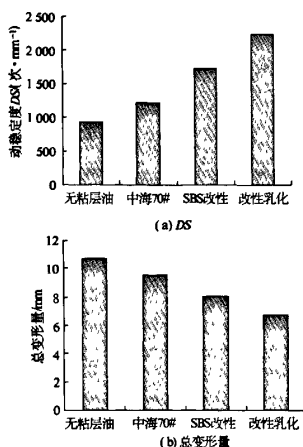


图3 不同层间接触条件的车辙试验

Fig. 3 Rutting test results under different interlayer touch types

4 结论

(1)层间接触条件对面层最大剪应力的影响大,完全光滑的层间接触条件大幅提高了沥青面层的最大剪应力,加速沥青面层发生剪切破坏而出现车辙;

(2)粘层油提高了层间抗剪强度,即改善了层间接触条件;不同粘层材料的对层间接触条件的改善效果不同,效果最优的为改性乳化沥青, SBS

改性沥青次之,基质沥青的最差;

(3)复合式车辙板的高温性能随层间抗剪强度的增大而得到提高,改善层间接触条件能提高复合式车辙板的高温性能;

(4)采取适当的措施改善层间接触条件,对提高沥青路面的高温性能具有重要意义。

参考文献:

- [1] 薛小刚,徐坤,张争奇,等.间接拉伸试验评价沥青混合料高温性能的研究[J].郑州大学学报:工学版,2009,30(2):44-47.
- [2] 谭忆秋,宋宪辉,纪伦,等.粗集料性能对沥青混合料高温性能的影响[J].中国公路学报,2009,22(1):29-33.
- [3] 马荣贵,沙爱民,宋宏勋.路面车辙多路传感器检测误差分析[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(3):34-41.
- [4] 孙立军.沥青路面结构行为理论[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 胡小弟,孙立军,刘兆金.沥青路面非均布荷载下层间接触条件不同时力学响应的三维有限元分析[J].公路交通科技,2003,20(3):1-4.
- [6] 纪小平,李兵,王宇.不同层间接触条件对沥青路面力学特性的影响分析[J].交通科技与经济,2007,19(6):31-33.

Influence of Different Interlayer Touch Types on High - Temperature Performance of Asphalt Pavement

Ji Xiao - ping¹, ZHENG Nan - xiang¹, LI Xin²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Transportation Construction Project Supervision Company of Shanxi Province, Taiyuan 030012, China)

Abstract: The influence of different interlayer touch types on high - temperature of asphalt pavement was discussed. The influence of different interlayer touch types on shear stress of asphalt pavement was studied with the soft of BISAR, and the anti - shear strength of compound Marshall sample bonded with different tack coats was tested with the method of direct shear test. At last, the DS and total deformation of compound rutting sample was tested by the rutting test. The results showed that: the shear stress of asphalt surface increased substantially when the interlayer touch type was smooth, and as a result, the rutting was easier to occurred; the tack coat improved the anti - shear strength of interlayer and different materials had different effect; the interlayer touch with high anti - shear strength would help to improve the high - temperature of compound sample; it is meaningful to take appropriate measures to improve the interlayer touch condition for improving high temperature performance of asphalt pavement.

Key words: road engineering; high temperature performance; interlayer touch type; tack coat; compound rutting