

文章编号:1671-6833(2006)03-0038-04

沥青粘结层抗剪强度试验探析

侯航舰

(同济大学交通运输工程学院,上海,200092)

摘 要:通过自制的抗剪试验卡具,在设定的剪切温度条件下,以一定的剪切速率进行抗剪强度试验,对比改性沥青、改性乳化沥青、乳化沥青、粘层油乳化沥青4种不同沥青粘结层的抗剪强度,比较水泥混凝土、水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石3种常用基底材料对粘结层抗剪强度的影响,结果表明:基底材料强度越高,粘结材料用量适当,层间粘结效果就越好。结合造价节省和施工方便的因素,推荐在高速公路中优先采用乳化沥青下封层。

关键词:乳化沥青;下封层;抗剪强度;沥青用量;基底材料;粘结力

中图分类号: U 416.03

文献标识码: A

0 引言

下封层已经成为高速公路路面结构中的重要组成部分,应用也越来越普遍。下封层的一个重要作用就是粘结作用,面层与基层间的良好结合,对于沥青面层的使用质量是非常重要的。它可以减少面层底层由行车荷载引起的拉应力和拉应变,还可以明显减少温度变化引起的沥青面层内的拉力和拉应变。笔者想通过抗剪强度试验对比不同沥青粘结层的抗剪强度,比较不同基底材料对粘结层抗剪强度的影响,对确定下封层沥青材料的最佳用量起到指导作用。

1 试验材料

1.1 基底材料^[1]

按沥青混合料道路结构的组成,沥青混合料层下面的基底材料为:

(1) 水泥混凝土基底块。水泥混凝土基底块所用材料是,普通硅酸盐水泥(C32.5),中砂(河砂)和5~10 mm碎石。按C30强度等级设计,制作成圆型,其直径为 $\Phi 100$ mm,高为40 mm的水泥混凝土基底块,基底块成型脱模后放入标准养护室中养护,使其强度达到C30标准。

(2) 水泥稳定碎石基底块。水泥用量5%,试件用直径 $\Phi 100$ mm的无侧限抗压强度试模静压

成型,脱模后试件用塑料薄膜包裹,放入标准养护室中养护6 d以上,试件干密度为 2.10 g/cm^3 ,试件尺寸为直径 $\Phi 100$ mm,高40 mm。

(3) 石灰粉煤灰稳定碎石基底块。将厂拌的石灰粉煤灰稳定碎石材料加水至最佳含水量9.0%,试件用直径 $\Phi 100$ mm的无侧限抗压强度试模静压成型,脱模后试件用塑料薄膜包裹,放入标准养护室中养护6 d以上,试件干密度为 2.10 g/cm^3 ,试件尺寸为直径 $\Phi 100$ mm,高40 mm。

1.2 沥青混合料^[2]

沥青混合料试件为AC-16 I级配,见表1。

表1 AC-16 I 沥青混合料的级配

Tab.1 Grade of AC-16 I Asphalt Mixture

筛孔尺寸/mm	通过筛孔的质量百分率/%	沥青用量/%
19.00	100	4~6
16.00	95~100	
13.20	75~90	
9.50	58~78	
4.75	42~63	
2.39	32~50	
1.18	22~37	
0.60	16~28	
0.30	11~21	
0.15	7~15	
0.075	4~8	

所用的沥青为滨洲90号重交通道路石油沥青,见表2。

收稿日期:2006-04-18;修订日期:2006-05-23

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(200511061127)

作者简介:侯航舰(1972-),男,河南周口人,同济大学在读博士研究生,主要从事公路路基路面工程方面的研究设计工作。

表 2 滨州 90 号重交道路石油沥青的技术指标

Tab.2 Technology Index of Binzhou 90# Oil Asphalt
Used in Building Heavy-duty Road

试验项目	技术要求	实测
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	80~100	91.2
延度(5cm/min,15℃)/cm	不小于100	大于100
软化点(环球法)/℃	42~52	45.7
闪点(COC)/℃	不小于230	—
含蜡量(蒸馏法)/%	不大于3	2
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	实测记录	1.0326
溶解度(三氯乙烯)/%	不小于99.0	99.805
薄膜加热试验 质量损失/%	不大于1.0	0.0135
163℃,5h 针入度比/%	不小于50	75.8
延度(25℃)/cm	不小于75	大于100

1.3 粘结材料^[3]

为了对比不同沥青材料的抗剪强度,选用了 SBS 改性沥青(Caribit),SBR 改性乳化沥青(SS), 乳化沥青(PS)和粘层油乳化沥青(TC),其性能见表 3~6。

表 3 改性沥青(SBS)性能指标^[4]

Tab.3 Performance Index of Modified Asphalt(SBS)

检测项目	试验结果	改性沥青 (I-C)级标准 技术要求
(15℃)	31.1	—
针入度/0.1mm (25℃)	78.3	>60
(30℃)	115.3	—
针入度指数 PI	+0.31	>-0.6
延度(5℃,5cm/min)/cm	35	>30
软化点 T _{R&B} /℃	64.5	>55
运动黏度(135℃)/(Pa·s)	<3	<3
闪点/℃	>230	>230
溶解度/%	>99	>99
分离、软化点差/℃	1.0	<2.5
弹性恢复(25℃)/%	85	>65
TPOT 质量损失/%	0.53	<1.0
针入度比/%	83.9	>60
后残留物 延度(5℃)/cm	22	>20

2 试件制作^[6]

(1) 对于以水泥混凝土为基底的试件,在水泥混凝土表面涂刷乳化沥青或改性乳化沥青,待乳化沥青破乳并且其中的软化剂挥发后,涂刷改性沥青层室内静置 24 h,备用。将涂刷粘结层后的基底放入温度为 150±1℃的马歇尔试模中,将厂拌冷却后的沥青混合料加热到 150±1℃后放入马歇尔试模中,通过马歇尔击实仪进行 50 次击实,冷却后脱模,击实后沥青混合料高度为 32.0

mm±1.0 mm,室内静置 24 h,备用。

表 4 改性乳化沥青(SS)性能指标^[5]

Tab.4 Performance Index of Modified Emulsified Asphalt(SS)

检测项目	试验结果	改性乳化沥青参考标准 技术要求
筛上剩余量/%	0.20	<0.3
恩格尔黏度/°E	2.16	1~10
破乳速度/Pa·s	慢	慢
蒸发残余物含量/%	50	50±2
蒸发针入度(25℃,5s,100g)/0.1mm	62.0	60~160
残余物延度比(25℃)/%	90	>85
残余物弹性恢复(25℃)/%	43	>25
残余物溶解度(三氯乙烯)/%	>99	>99
储存稳定性试验(1d)/%	<1	<1
低温储存稳定性试验(-5℃)	无粗颗粒或 结块	无粗颗粒或 结块
与矿料的黏附性试验	>2/3	>2/3

表 5 乳化沥青(PS)性能指标^[5]

Tab.5 Performance Index of Emulsified Asphalt(PS)

检测项目	检测方法	结果	技术标准
沥青含量(蒸馏法)/%	ASTM D244	60	≥60
破乳指数	T-66017	慢	慢
筛上剩余量(630μm)/%	ASTM D244	0.014	<0.1
恩格拉黏度(25℃)/Ev	ASTM D1665	5.1	3~15
冷藏试验	ASTM D244m	无粗颗粒 或结块	无粗颗粒 或结块
裹覆试验	ASTM D244m	均匀良好	均匀良好
集料拌和试验	ASTM D244m	均匀	均匀
残留物 针入度/0.1mm	ASTM D5	135	>80
延度(25℃)/cm	ASTM D113	>80	>80
性能 溶解度(三氯乙烯)/%	ASTM D2042	99.5	>99

表 6 乳化沥青(TC)性能指标^[5]

Tab.6 Performance Index of Emulsified Asphalt(TC)

检测项目	检测方法	结果	技术标准
沥青含量(蒸馏法)/%	ASTM D244	59	≥55
破乳指数	T-66017	快	快
筛上剩余量(630μm)/%	ASTM D244	0.015	<0.1
恩格拉黏度(25℃)/Ev	ASTM D1665	3.4	1~6
电荷	ASTM D244	正电	正电
冷藏试验	ASTM D244	通过	通过
裹覆试验	ASTM D244	通过	通过
集料拌和试验	ASTM D244	通过	通过
残留物 针入度/0.1mm	ASTM D5	109	>60
延度(25℃)/cm	ASTM D113	8601	>80
性能 溶解度(三氯乙烯)/%	ASTM D2042	99.5	>99

(2) 对于石灰粉煤灰稳定碎石和水泥稳定碎石为基底的试件,涂刷粘结层的方法同以水泥混凝土为基底的试件一样。将厂拌冷却后的沥青混合料加热到 150±1℃后放入马歇尔试模中,通过马歇尔击实仪进行 50 次击实,冷却后脱模,制成沥青混合料试件,其高度为 32.0 mm±1.0 mm,室

内静置 24 h,备用.粘结时将沥青混合料试件表面 试件制备及粘结材料用量情况如表 7 所示.
用喷灯加热至 100 ℃,静压 5 kg,1 h.

表 7 试件制备一览表
Tab.7 Schedule of Sample Preparation

基层材料	方案	底油种类及用量 /(L·m ⁻²)	粘层油种类及用量 /(kg·m ⁻²)	粘结形式	剪切时试件 温度/℃
水泥混凝土	I	TC 乳化沥青 0.0,0.4	Caridit 改性沥青 0.0,0.2,……1.6	击实	60
	II	无	Caridit 改性沥青 0.4,……1.2	击实	60
	III	无	SS 乳化沥青 0.8,1.2,1.6,2.0	击实	60
	IV	无	PS 乳化沥青 0.34,0.67,1.00,1.33,1.67	击实	30
水泥稳定碎石	V	TC 乳化沥青 0.0,0.4	Caridit 改性沥青 0.0,0.2,……1.6	静压 5kg, 1 h	30
石灰粉煤灰 稳定碎石	VI	TC 乳化沥青 0.4	Caridit 改性沥青 0.2,……1.6	静压 5kg, 1 h	30
	VII				50

3 试验过程

(1) 测定抗剪强度的试验方法主要有三轴试验、直接剪切试验和单轴贯入试验,我们选用了比较适于检测具有明确滑动面构件抗剪切特性的直接剪切试验.抗剪卡具参照土工剪切试验的剪切盒制成的有导向边的半圆型上、下卡具,为了保证剪切的效果,上、下卡具与压力机采用刚性连接.抗剪卡具如图 1 所示.

(2) 抗剪试件放在预定剪切温度的烘箱中加热 4 h 以上,将加热后的试件放在抗剪卡具中以 2 mm/min 的速率剪切,记录其抗剪最大荷载值,并计算其抗剪强度.

表 7 中 7 种方案的试验结果如表 8 所示.

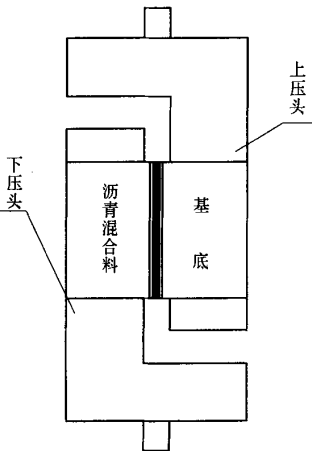


图 1 抗剪卡具示意图

Fig.1 Schematic diagram of Shearing Test Fixture

表 8 试验结果

Tab. 8 Test Result

方案	粘结层 /(kg·m ⁻²)	沥青总用量 /(kg·m ⁻²)	抗剪力 /kN
I	0.0	0.24	0.07
	0.2	0.44	0.14
	0.4	0.64	0.16
	0.6	0.84	0.08
	0.8	1.04	0.10
	1.0	1.24	0.11
	1.2	1.44	0.21
	1.4	1.64	0.11
II	1.6	1.84	0.12
	0.6		0.32
	0.8		0.05
	1.0		0.24
III	1.2		0.04
	0.48		0.16
	0.72		0.18
	0.96		0.22
	1.20		0.30
IV	0.2		0.84
	0.6		0.62
	1.0		0.94
V	0.2	0.44	0.35
	0.4	0.64	0.23
	0.6	0.84	0.14
	0.8	1.04	0.18
	1.0	1.24	0.10
	1.2	1.44	0.08
	1.4	1.64	0.26
	1.6	1.84	0.08
VI	0.2	0.44	0.08
	0.4	0.64	0.13
	0.6	0.84	0.11

续表 8

方案	粘层 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	沥青总用量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	抗剪力 (kN)
VI	0.8	1.04	0.09
	1.0	1.24	*
	1.2	1.44	0.09
	1.4	1.64	0.06
	1.6	1.84	0.04
VII	0.2	0.44	0.05
	0.4	0.64	0.03
	0.6	0.84	0.02
	0.8	1.04	0.02

说明:1. 方案 I、V、VI、VII 底油 TC 乳化沥青用量为 $0.4\text{L}/\text{m}^2$; 2. 方案 I、II、V、VI、VII 粘层油为 Caridit 改性沥青, III 为 SS 乳化沥青, IV 为 PS 乳化沥青, kg/m^2 ; 3. 粘层形式 I ~ IV 为击实, V ~ VII 为静压, $5\text{ kg}, 1\text{ h}$; 剪切温度 I ~ III 为 60°C , IV ~ VI 为 30°C ; VII 为 50°C ; 4. 由于抗剪力 0.26 和 0.08 与其他数据相比偏差较大, 故删去。

4 试验结果分析

4.1 击实成型试件

抗剪强度同粘层的沥青用量的关系表现为: 试验温度 60°C 时, 在一定的范围内随着沥青用量的增加抗剪强度有所增加^[7]。其原因在于, 沥青混合料在基底表面击实后, 沥青混合料与基底表面紧密接触, 抗剪强度源于沥青混合料中的骨料与基底的摩擦力及沥青的粘结力, 由于沥青用量的增加, 沥青混合料与基底的接触面增大, 这样抗剪强度有所增加。粘层沥青厚度超过沥青混合料纹理深度之后, 沥青粘层的粘结力降低, 由于击实的作用多余的沥青被挤出试件, 其粘结力降低的水平趋于稳定。试验温度 30°C 时, 由于温度的降低, 沥青的粘度增加从而粘结力有所增加, 但随着沥青用量的增加多余的沥青被挤出, 其粘结力趋于稳定。

4.2 静压成型试件

抗剪强度同粘层的沥青用量的关系表现为: 抗剪强度随着沥青用量的增加逐渐减小并趋于稳定。其原因在于, 静压成型与击实成型不同基底与沥青混合料试件的接触较弱, 基底与沥青混合料之间的粘结力占主导地位。在粘层沥青用量较低时, 粘层的沥青形成一个较薄的膜, 按沥青黏度定义: $F = \eta AV/d$, (其中: F 为沥青抵抗移动的力; η 为沥青的黏滞度; A 为沥青粘层面积; V 为抗剪变形速度; d 为沥青层厚度) 这时的抗剪强度较高。随着沥青用量的提高, 沥青膜变厚, 抗剪强度降低。但随着沥青用量的进一步提高, 试件多余的沥青会溢出试件, 而使沥青粘层保持一定的厚度不变, 因此, 抗剪强度趋于恒定。

5 结论

(1) 击实法与实际较吻合既可用于确定沥青粘层的合理用量, 也可以用来确定沥青粘层的抗剪强度。基底应当具有足够的强度和平整度, 否则击实时基底材料会破坏。

(2) 静压法只对基底材料强度较低的试件使用, 可以用来对比或确定沥青粘层的抗剪强度。

(3) 试件的试验温度是关键, 为了得到合理的结论, 其温度以不高于沥青的软化点为宜, 否则沥青变得稀软而难以确定沥青粘层用量对抗剪强度的影响。

(4) 沥青用量不宜太小, 否则影响整体裹覆和防水效果, 也不便于施工。但沥青用量又不能太大, 太大反而会降低粘结性和减弱抗剪力, 特别是改性沥青用量稍微偏大, 粘结性和抗剪力会明显下降。考虑到材料经济性和施工方便性, 推荐采用单层式或双层式乳化沥青表面处治作为高速公路下封层, 沥青总用量单层式宜为 $0.9 \sim 1.0\text{ kg}/\text{m}^2$, 双层式宜为 $2.8 \sim 3.2\text{ kg}/\text{m}^2$ 左右, 具体可结合试验段来确定, 一般采用用量范围的中高限, 同时要保证下封层的均匀性和密水性^[8]。

(5) 在一定沥青用量范围内, 水泥混凝土为基底的试件抗剪强度大于水泥稳定碎石为基底的试件, 水泥稳定碎石为基底的试件抗剪强度大于石灰粉煤灰稳定碎石为基底的试件, 这说明基底材料的强度越高, 则粘结效果越好。

(6) 在保证下封层质量的同时, 一定要保证基层具有足够的强度和平整度^[9]。

参考文献:

- [1] 张登良. 沥青路面工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 51 ~ 177.
- [2] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 2001. 211 ~ 225.
- [3] 李立寒, 张南鹭. 道路建筑材料[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999. 111 ~ 152.
- [4] 谢福炯. 影响 SBS 改性沥青性能主要因素的试验研究[J]. 中外公路, 2004, 24(1): 82 ~ 85.
- [5] 交通部阳离子乳化沥青课题协作组. 阳离子乳化沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999. 72 ~ 85.
- [6] JTJ 052 - 2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [7] 侯航舰. 半刚性基层乳化沥青下封层材料与施工工艺技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2003. 20 ~ 28.

(下转第 58 页)

- 列车动力学仿真中的应用[J]. 汽车工程, 1997, 19(5): 286 ~ 290.
- [3] 李智峰, 吴光强. 基于虚拟样机的整车系统动力学研究[J]. 上海汽车, 2000, (2): 8 ~ 10.
- [4] 顾柏良, 鲁三才, FISCHER G, 等. 在中国使用条件下汽车零部件设计谱和试验谱的确定[J]. 汽车工程, 1996, 18(2): 65 ~ 71.
- [5] LEE G H, LIM J H, KIM G T. Improving ride quality on the cab suspension of a heavy duty truck. SAE SP-1201, SAE SP-1201, SAE 962151.
- [6] 李 军. ADAMS 实例教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 129 ~ 133.

Application Research on Vehicle Handling Stability Dynamics Simulating Using ADAMS

CEN Shao-qi, PAN Xiao, QIN Dong-chen

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A multi-body simulation approximate model of one vehicle is established by using ADAMS software. Especially the front rear suspension system and the tire model are studied and analyzed in detail. At the same time, a new medium surface method (in building leaf spring) is proposed and vehicle handling stability is simulated under different steering angle and different location of vehicle mass center. Compared with the performance of the practical vehicle, the simulation result is precise and reliable. It can be applied for the study in vehicle performance.

Key words: ADAMS; vehicle simulation; handling stability

(上接第 41 页)

- [8] JTJ F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S]. 南大学, 2005. 25 ~ 31.
- [9] 曾凡奇. 重载交通沥青关键指标研究[D]. 南京: 东

An Analysis of the Experiments on the Shearing Strength of Asphalt Binding Course

HOU Hang-jian

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: At a given shearing temperature, shearing tests are conducted with a self-made shearing test fixture at a given shearing speed. In the tests, the shearing strength of four kinds of asphalt binding courses is compared, namely modified asphalt, modified emulsified asphalt, emulsified asphalt and bonding emulsified asphalt. In addition, the influences of three common base materials-cement concrete, cement-stabilized macadam and lime-flyash-stablized macadam-on the shearing strength of binding course are also compared. Through the tests, the conclusion is drawn that if using the right amount of binding materials, the higher the intensity of the base material, the better the binding of different courses. In addition, emulsified asphalt undersealing course is comparatively cheap and convenient for construction. Therefore, emulsified asphalt undersealing course is recommended for building expressways.

Key words: emulsified asphalt; undersealing course; shearing strength; amount of asphalt; base material; binding strength