

微表处沥青混合料斜剪试验研究

黄维蓉^{1,2}, 杨玉柱^{1,2*}, 王成², 黄峰², 杨波³

(1.重庆交通大学 材料科学与工程学院,重庆市 400074;2.重庆交通大学 交通土建工程材料国家地方

联合工程实验室,重庆市 400074;3.智翔铺道技术工程有限公司,重庆市 400067)

摘要:采用新型45°斜剪试验研究在不同加载速率、不同界面状态、不同温度和水的影响下SBR改性乳化沥青微表处混合料的抗剪性能,阐释不同温度下微表处的剪切破坏形式,分析黏层油、泥土和水对微表处抗剪强度的影响效果。结果表明:微表处加载速率越快,抗剪强度越高;微表处在常温环境下的剪切破坏形式主要为层间剪切破坏,在高温环境下的破坏形式主要为自身剪切破坏;当原路面表面粗糙时,洒布黏层油对层间抗剪强度的增加贡献不大,泥水会降低微表处的层间抗剪强度;水的浸泡会损害微表处的层间抗剪强度,洒布黏层油能有效提高微表处与原路面界面的抗水损害性能。

关键词:SBR改性乳化沥青;加载速率;微表处;45°斜剪试验;剪切破坏形式;浸水抗剪强度

中图分类号:U414

文献标志码:A

微表处是一种常见的预防性养护技术,由于其拥有经济环保、施工方便、抗滑性好等优点而受到国内外学者越来越多的关注和研究^[1-6]。微表处混合料在实际工程应用中容易发生“脱皮”现象,实际上这是微表处发生剪切破坏造成的。当大型汽车在微表处路面急速刹车时,短时间内轮胎对微表处会产生一个较大的摩擦力,当摩擦力大于微表处与原路面的抗剪应力或大于微表处自身所能承受的剪切应力时,就会产生微表处路面与原路面的层间错动或剥落,导致微表处路面破坏,影响其长期性能,因此有必要对微表处路面的抗剪性能进行研究。

微表处路面抗剪性能研究可以采用黏结层力学性能室内评价试验,主要包括剪切试验和直接拉伸试验,其中剪切试验包括正压力(如斜面剪切、固定正压力剪切)和无正压力(如直接剪切)试验。王笑风等^[7]利用LLM测试系统通过直剪试验研究了混凝土表面特性、环境温度等对桥面防水层抗剪强度的影响规律;徐伟等^[8]对4种混凝土桥面铺装黏结层进行了27°斜剪、无正压力直剪和直接拉伸试验,其结果表明直接拉伸用于评价黏结层材料更合

适;张占军等^[9]通过室内直剪试验得出了不同防水材料层间结合料对应于实际行车状况的层间抗剪强度,在沥青混凝土黏结层的剪切与直接拉伸性能方面也有一些研究;谭巍等^[10]通过无正应力直接剪切试验研究了温度、油石比、界面对沥青路面微表处抗剪性能的影响;王震^[11]采用30°和40°斜剪试验研究了界面条件、矿料级配与剪切角度对微表处层间抗剪性能的影响;赵岩等^[12]采用应变式控制仪对5种不同方案的微表处层间抗剪性能进行了研究;韩森等^[4]利用直剪试验研究了不同掺量的环氧树脂、不同油石比、不同黏层油种类及用量、不同旧路面类型及水分对环氧树脂微表处层间抗剪性能的影响。

综上所述,研究者在水泥混凝土黏结层的剪切与直接拉伸性能方面进行了大量试验,而沥青混凝土黏结层方面的研究相对较少,因此有必要对微表处沥青混凝土黏结层抗剪性能进行研究。此外,微表处厚度对剪切强度影响较大^[11],而目前中国学者进行剪切试验的微表处试件厚度多数超出了10 mm,且成型方式没有很好地模拟微表处的实际成型情况。为了更好地模拟微表处路面实际剪切破

收稿日期:2020-10-22

基金项目:重庆交通科技项目(编号:KJXM2018-0884);材料工程重庆市研究生联合培养基地基金项目(编号:201902);重庆交通大学研究生科研创新(创新基金)项目(编号:2019S0108)

作者简介:黄维蓉,女,硕士,教授.E-mail:hwr228@163.com

*通信作者:杨玉柱,男,硕士研究生.E-mail:y-yuzhu@163.com

坏情况并易于操作和推广,本文使用一种新型45°斜剪试验对厚度为10 mm的微表处沥青混合料抗剪性能进行研究。

1 原材料

制备乳化沥青的基质沥青为SK-70[#]基质沥青,其针入度为65(0.1 mm),软化点为47.8℃,15℃延度大于100 cm;乳化剂为黏稠状的慢裂快凝MQK-1M

型乳化剂,掺量为预制备的改性乳化沥青质量的2%;改性剂选择SBR,掺量为乳化沥青质量的4%;稳定剂为氯化钙,掺量为乳化沥青的0.2%。集料选择玄武岩,SMA-13合成级配见表1,在此级配下通过马歇尔试验确定最佳油石比为6.0%,微表处合成级配见表1,在此级配下试验出最佳油石比为6.5%;填料为P.O 42.5普通硅酸盐水泥,固定掺量为1.5%;水为饮用水;黏层油为SBS黏层油,其性能指标符合规范要求,涂洒量为0.3 L/m²。

表1 SMA-13合成级配、MS-3微表处级配范围

级配	SMA-13:通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										MS-3微表处:通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8	100	90	70	50	34	25	18	15
下限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12	100	70	45	28	19	12	7	5
合成	100	93.9	58.3	27.2	19.4	17.5	15.6	13	11.3	9.8	100	80.3	56.6	35.7	25.3	13.9	8.7	6.4

2 试件制备及试验方法

2.1 改性乳化沥青的制备

为符合工程实践应用,SBR改性乳化沥青按先乳化后改性的方式制得,每次制取1 kg的基质乳化沥青的具体步骤为:将基质沥青放入135℃烘箱中加热到熔融状态备用;将20 g乳化剂加入380 g温度为55℃的温水中充分搅拌,待乳化剂全部溶解之后用浓盐酸并借助pH计调节皂液的pH值至2;开启胶体磨倒入多余皂液清洗胶体磨并进行预热,之后放出清洗皂液后关闭阀门;倒入预备好的全部皂液进行剪切,同时缓慢倒入600 g预备好的基质热沥青,从倒入沥青到剪切完成大概需要3 min,待沥青剪切完成后打开阀门用玻璃瓶对乳化沥青进行封装,放置至常温备用。在试验时,取用制得的基质乳化沥青,加入4%掺量的SBR胶乳进行机械搅拌,使改性剂均匀分布在乳化沥青之中,得到SBR改性乳化沥青,其各项性能见表2。

2.2 微表处沥青混合料的制备

在MS-3微表处合成级配下制备SBR改性乳化沥青微表处混合料,制备的微表处沥青混合料各项性能如表3所示。

2.3 试验试件的制备

(1)车辙板成型。按照合成级配成型300 mm×300 mm×40 mm的SMA-13沥青混凝土车辙板,并将车辙板冷却至常温备用。

表2 SBR改性乳化沥青技术指标及检测结果

试验项目	单位	检测结果	技术要求	试验方法
筛上剩余量(1.18 mm筛)	%	0.07	≤0.1	T0652
电荷		正电(+)	阳离子	T0653
恩格拉黏度E ₂₅	s	11.2	3~30	T0622
蒸发残留物含量	%	64.2	≥60	T0651
针入度	0.1 mm	68	40~100	T0604
蒸发残留	软化点	℃	≥53	T0606
物性质	延度(5℃)	cm	≥20	T0605
	溶解度(三氯乙烯)	%	≥97.5	T0607
存储	1 d	%	≤1	T0655
稳定性	5 d	%	≤5	

表3 微表处混合料技术指标

试验项目	单位	检测结果	技术要求
湿轮磨耗试验	1 h	g/m ²	≤540
	6 d	g/m ²	≤800
黏聚力试验	30 min	N·m	≥1.2
	60 min	N·m	≥2.0
负荷载轮黏附砂量	g/m ²	323	≤450
宽度变形率	%	4.2	≤5
配伍性等级值		11	≥11
可拌和时间(25℃)	s	178	≥120

(2)界面处理。沥青混凝土面层界面处理主要模拟3种情况:①洒布黏层油;②不洒布黏层油;③界面有泥水污染(将泥水混合物均匀涂在车辙板表面上,再摊铺微表处混合料)。

(3)加铺微表处。在MS-3微表处合成级配下

制备 SBR 改性乳化沥青微表处混合料,再将其加铺到成型的 SMA-13 车辙板上,高度为 10 mm,用刮板将微表处混合料刮平,使复合板总厚度为 50 mm,然后放入 60 ℃ 烘箱养护不少于 16 h,待微表处混合料成型后,拿出烘箱冷却至常温备用。

(4) 试件切割。将 300 mm×300 mm×50 mm 的复合车辙板切割成 100 mm×100 mm×50 mm 的试件,在切割过程中,保证试件界面不发生破损。

2.4 试验方法

试验夹具为自主设计的 45° 斜剪试验夹具,夹具各项参数见图 1。保持试验室内温度为 25 ℃,将

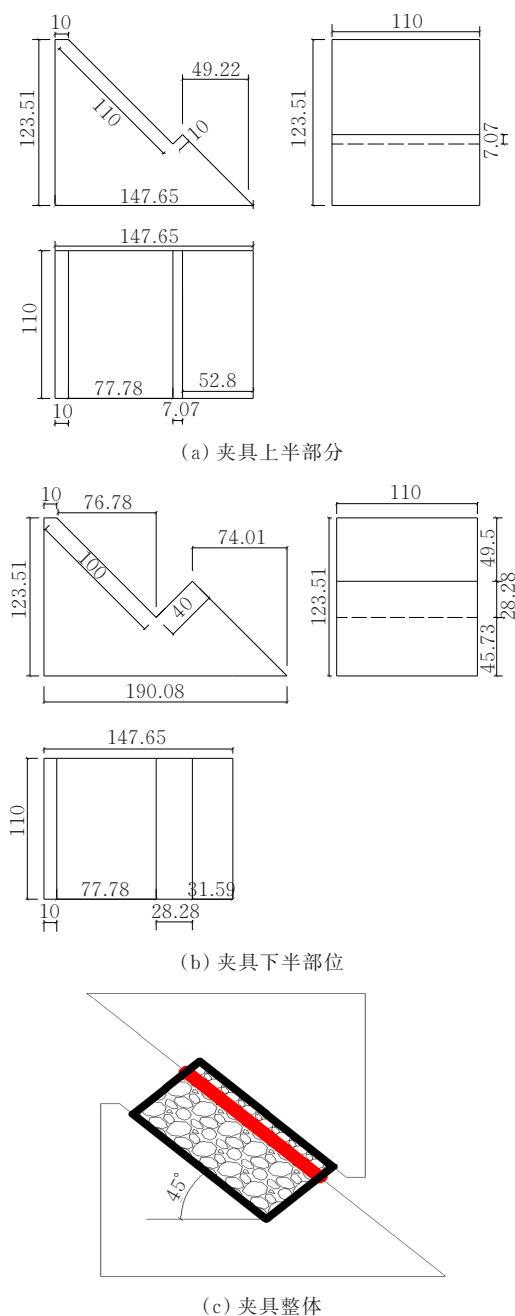


图 1 夹具参数图(单位:mm)

夹具和试件安装在万能试验机上,使试件的界面层恰好处于上、下夹头之间(图 2),调试好操作系统后,启动万能试验机,使压头以一定速率加载,压头会对试件施加一个竖向应力 F ,当夹具倾角为 45° 时,这个竖向应力会在剪切面上分解为平行于剪切面的分力(大小为 $F \sin 45^\circ$)和垂直于剪切面的正应力(大小为 $F \cos 45^\circ$)。当平行于剪切面的分力大于微表处和沥青混合料面层之间的抗剪强度时,微表处就会产生剪切破坏,此时万能试验机系统将自动记录竖向荷载的峰值应力,通过该峰值应力按式(1)计算出层间剪切强度,相同条件下成型的试件取 4 个一组,当一组中的某个测定值与平均值之差大于标准差的 1.46 倍时,舍弃该测定值,以其余测定值的平均值作为试验结果。

$$\tau = \frac{F \sin 45^\circ}{A} \quad (1)$$

式中: τ 为层间剪切强度(Pa); F 为竖向应力峰值荷载(N); A 为试件的层间剪切面积(m^2)。

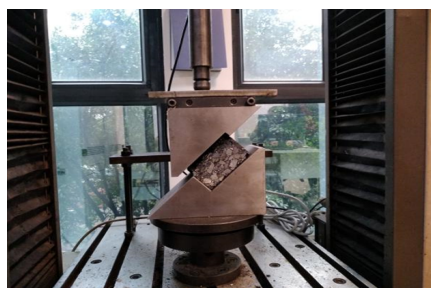


图 2 夹具与试件

3 结果与讨论

3.1 加载速率对微表处抗剪强度的影响

沥青路面在长期的交通荷载作用下出现层间破坏,一方面是组成材料自身特性、施工工艺、设计或者后期养护等原因,另一方面是由于车辆荷载的大小、荷载的运动速率以及制动等原因造成的。为模拟实际路面层间抗剪性能受荷载变化的影响,本文分别在 20 mm/min、30 mm/min、40 mm/min、50 mm/min 的加载速率下进行 45° 的斜剪试验,试验温度为 25 ℃,试验结果如图 3 所示。

由图 3 可知:随着加载速率的升高,微表处的抗剪强度也随之增加,且在加载速率为 50 mm/min 时达到最大,比 20 mm/min 时提高了约 30%。说明车辆在微表处上行驶速度越快,对层间破坏越小,在实际路面运营过程中可以提高微表处公路的最高

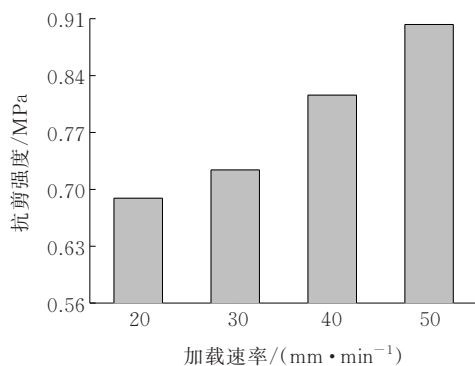


图3 不同加载速率下微表处抗剪强度

限速以达到提高微表处使用寿命的目的。

3.2 温度对不同界面状态微表处抗剪强度的影响

沥青作为一种感温性材料,其力学性能会随温度的改变而改变,而微表处作为一种沥青混合料,受温度影响也很大。为研究温度对微表处抗剪强度的影响,将3种不同界面处理的试件放入温度为25℃、35℃、45℃、55℃、65℃的烘箱中保温5h后,立即进行45°的斜剪试验,试验加载速率为50 mm/min,结果见图4。

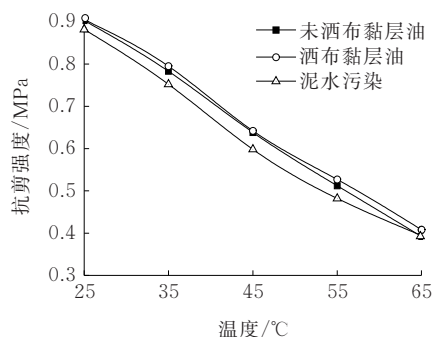


图4 不同温度下不同界面状态的微表处抗剪强度

由图4可知:3种不同界面状态的微表处抗剪强度均随温度升高而下降,在相同温度下,未洒布黏层油和洒布黏层油的微表处层间抗剪强度相近,但均大于界面有泥水污染的微表处抗剪强度,这与文献[10]在直剪试验下清洁路面较污染路面抗剪强度高的结论一致;在65℃时,3种不同状态下微表处的抗剪强度大小相近,但均大于BZ-100重车产生的理论最大剪应力0.389 MPa^[13-14]。这是因为在温度较低时,由于微表处自身较硬,剪切破坏的主要形式为层间剪切破坏,由于车辙板成型后未对板面进行磨耗处理,车辙板板面粗糙,具有较大的摩擦系数,微表处与原路面的界面接触状态为完全连续接触^[11]。3种界面状态的层间摩阻力没有太大

差异,另外,微表处混合料自身也有一部分乳化沥青会黏附到车辙板上,导致了额外涂洒的黏层油对黏附力的提升作用不大,因此抗剪强度相近。当沥青混合料路面有泥水污染时,泥土会影响微表处和原路面之间的黏附性,但由于车辙板养生温度为60℃,层间的水分蒸发较快,泥土对界面黏附性的影响有限,因此微表处成型后黏附力下降幅度较小。65℃下,3种界面状态的抗剪强度相差不大,可以说明在微表处混合料与车辙板之间进行的界面处理对斜剪试验影响较小,在控制变量的情况下,微表处破坏的抗剪强度接近,可知此时的剪切破坏主要形式为高温环境下微表处变软,层间剪切破坏还来不及发生,就已经产生了自身剪切破坏。因此,为增大微表处的抗剪破坏能力,不仅要考虑微表处与原路面的界面状态,还要考虑微表处自身的抗剪强度。

3.3 湿度对不同界面状态微表处抗剪强度的影响

为提高路面抗滑性能,进而增加行车安全性,通常需要提高微表处的空隙率,而微表处厚度通常为1~2 cm,路表水的下渗会增加水与层间的接触概率。另外,由于降雨会导致整个环境的湿度增加,不排除各结构层的水因天气原因蒸发,而积聚在微表处与原路面层间,当温度降低后,又成为液态水遍布在层间位置,再加上行车作用反复冲击使得层间抵抗力丧失造成破坏。因此,湿度变化对层间性能存在一定影响。通过浸水时长来控制微表处湿度,将3种不同界面处理的试件,分别在干燥情况下和25℃恒温水浴中浸泡1 h、6 h、24 h、48 h后进行45°斜剪试验,加载速率为50 mm/min,试验结果见图5。

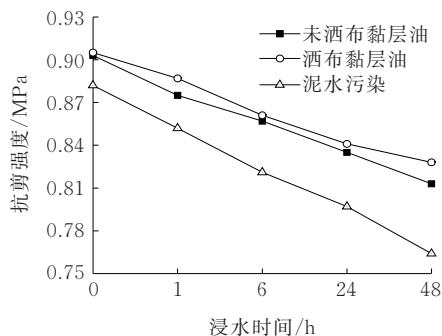


图5 不同湿度下微表处抗剪强度

从图5可知:随着湿度的增加(浸水时间增大),抗剪强度随之降低,从不同界面状态来看,洒布黏

层油的微表处试件抗剪强度比未洒布黏层油与泥水污染状态下的抗剪强度有所提高,浸水时间越长,其增加趋势越明显;而不浸水时,未洒布黏层油与洒布黏层油微表处的抗剪强度差别不大,表明黏层油的优势在湿度较大时才更能得以体现。主要是因为干燥状态下,微表处在SBR改性乳化沥青的作用下与SMA车辙板混合料之间有良好的黏结性能,所以洒布黏层油与否对其抗剪性能影响不大,但随着浸水时间延长,表面未洒布黏层油的微表处与车辙板之间的黏结强度会逐渐被消耗,使抗剪强度降低,而洒布黏层油的微表处与车辙板之间由于多了黏层油的黏结作用,使其抗剪性能降低幅度较未洒布黏层油的微表处小;界面有泥水污染的微表处与车辙板之间由于泥水的作用,微表处与车辙板之间的黏附性降低,使其抗剪性能在任何湿度下均较低。

3.4 水对不同界面状态微表处残留抗剪强度比的影响

为模拟水对微表处层间界面的影响,将3种不同界面处的试件在25℃恒温水浴中浸泡48h,然后再进行45°斜剪试验,试验加载速率为50 mm/min,比较不同界面状态下微表处浸水48h后的抗剪强度与未浸水的抗剪强度之比,试验结果见图6。

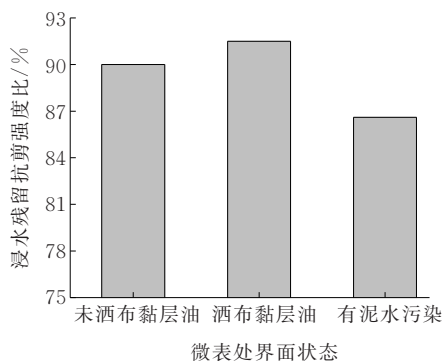


图6 不同界面状态的浸水残留抗剪强度比

由图6可知:洒布黏层油的微表处残留抗剪强度比最高,受到泥水污染的微表处残留抗剪强度比最低,表明黏层油能有效提高微表处与原路面界面间的抗损害性能,且微表处施工时特别需要注意对原路面进行清洁。

4 结论

(1) 微表处的抗剪强度随加载速率增加而提高,且在50 mm/min时达到最大,建议适当提高公

路最高限速以提高微表处的使用寿命。

(2) 在常温环境下,微表处的剪切破坏形式主要为层间剪切破坏,在高温环境下,微表处的破坏形式主要为自身剪切破坏。当原路面表面粗糙,具有较大的摩擦系数时,洒布黏层油对层间抗剪强度的增加贡献不大,而泥土会影响微表处和原路面的黏附性,从而降低微表处的层间抗剪强度。

(3) 干燥状态下,洒布黏层油与否对微表处的抗剪性能影响不大;湿度越大,洒布黏层油对微表处抗剪性能提高的优势越明显;界面洒布黏层油较界面有泥水污染的微表处的残留抗剪强度有明显提高,因此,建议在微表处施工过程中对原路面进行深度清洁,并洒布黏层油。

参考文献:

- [1] 陈惠旋.微表处技术在公路桥梁桥面铺装养护工程中的应用研究[J].公路工程,2017,42(6):332-336.
- [2] 董哲.橡胶粉-聚丙烯纤维复合改性微表处混合料技术性能研究[J].公路工程,2015,40(1):79-83.
- [3] 段辉林.掺加天然沥青的微表处混合料技术性能研究[J].公路工程,2015,40(2):25-29.
- [4] 韩森,郭寒,尚为公,等.水性环氧树脂微表处的层间抗剪性能[J].科学技术与工程,2019,19(36):325-330.
- [5] 周启伟,徐光红,王庆珍,等.水性环氧乳化沥青性能及其微表处修复车辙效果评价[J].公路工程,2017,42(5):247-251.
- [6] 陈才敏,朱勇强,谢海彬,等.热阻微表处材料制备与性能研究[J].公路,2019,64(7):288-292.
- [7] 王笑风,胡仁东,张占军,等.混凝土桥面防水层直剪试验[J].长安大学学报(自然科学版),2006,26(4):30-34.
- [8] 徐伟,李智,张肖宁.混凝土桥面铺装粘结层体系力学性能试验研究[J].哈尔滨建筑大学学报,2002,34(4):126-130.
- [9] 张占军,乔东祥,周庆华,等.混凝土桥面防水层应用与研究[J].公路,2004,49(8):11-16.
- [10] 谭巍,董春晖,薛林华.沥青路面微表处抗剪性能试验研究[J].公路交通技术,2011,27(5):35-39.
- [11] 王震.基于不同界面接触状态的高性能微表处混合料设计研究[D].兰州:兰州理工大学,2019.
- [12] 赵岩,张新天,高金岐,等.降噪微表处沥青路面层间抗剪强度试验研究[J].市政技术,2015,33(5):20-23.
- [13] 陈宝,吴德军,刘崧.沥青路面结构的最大剪应力[J].长安大学学报(自然科学版),2010,30(6):20-23.
- [14] 刘朝晖,郑健龙.CRC+AC复合式沥青路面层间界面粘结层抗剪强度试验研究[J].中外公路,2007,27(4):46-49.