

沥青—石料界面冲击疲劳性能研究\*

孙喜军

(河南中州路桥建设有限公司, 河南 周口 466000)

**摘要:** 随着交通量的日益增加、重轴载车辆的增多及交通荷载严重渠化, 沥青路面在运营中呈现许多不容忽视的病害。沥青—石料界面粘附性能是沥青路面产生水损坏的关键原因, 水、车辆荷载及温度等因素是诱导沥青路面产生水损坏的外在原因。文中通过试验分析天然沥青种类和掺量、水、石料表面构造等因素对沥青—石料界面间沥青膜流变性能的影响, 结果表明, 沥青—石料界面抗冲击疲劳强度随 ARA、TLA 掺量的增大先升高后降低, 经过浸水处理后其抗冲击疲劳性能急剧下降。

**关键词:** 公路; 沥青—石料界面; 抗冲击疲劳性能; 粘附性; 表面构造

**中图分类号:** U416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671—2668(2018)05—0065—04

沥青混合料由粗细集料、沥青及矿粉等组成, 这些材料的性能不同程度上影响混合料的路用性能。前期研究时主要关注沥青混合料的力学性能, 各国都对试验设备和试验方法进行了研究, 如用马歇尔试验和车辙试验模拟高温天气沥青路面的高温稳定性, 用冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验评定混合料的水稳定性。研究发现沥青路面水损坏是沥青路面快速破坏及诱导其他病害的主要原因。水渗入沥青路面, 在车辆荷载作用下在路面空隙中形成动水压力, 水渗入沥青—石料界面使界面之间粘附性下降, 导致部分沥青从矿料表层剥落, 从而产生坑槽、剥落、松散等病害。沥青—集料界面的粘附性能能反映混合料的抗水毁能力, 界面粘附能力和混合料浸水后力学性能的衰减程度是评价沥青—石料界面粘附性能强弱的两方面。

1 原材料性能

1.1 沥青

基质沥青选用埃索 70# 石油沥青, 其技术性能测试结果见表 1。天然沥青采用阿尔巴尼亚岩沥青 (ARA) 和特立尼达湖沥青 (TLA), 其技术性能测试结果分别见表 2、表 3。

1.2 石料

所用辉绿岩石材产于广西大化县, 玄武岩石材产自内蒙古赤峰市。辉绿岩系火成岩中喷出岩, 主要由基性长石和辉石构成, 呈暗绿色~辉绿色, 其力

表 1 70# 基质沥青性能测试结果			
检测项目		技术指标	检测结果
针入度 (25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)		60~80	69
延度/cm	10 ℃	≥15	37
	15 ℃	≥100	124
软化点/℃		≥46	48.5
溶解度/%		≥99.5	99.6
密度 (15 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )		实测值	1.02
质量损失/%		±0.8	-0.23
TFOT 后	25 ℃ 针入度比/%	≥61	65
老化后 10 ℃ 延度/cm		≥6	9

表 2 阿尔巴尼亚岩沥青 (ARA) 性能测试结果		
检测项目	技术指标	检测结果
颜色	黑色或黑褐色	黑褐色
形态	粉末或颗粒	粉末
沥青含量/%	25~60	32.7
岩沥青灰分/%	40~70	53.6
密度 (25 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	实测值	—
闪点/℃	≥230	289
2.36 mm 筛孔通过率/%	100	100
1.18 mm 筛孔通过率/%	≥80	83.2

学强度较高, 是修建沥青路面的优良材料。玄武岩是火山迸发出的浆液在地表冷凝形成的基性喷出岩, 其质地坚硬密实、强度高、耐磨性好, 是一种良好的沥青路面材料。

\* 基金项目: 国家青年科学基金资助项目 (51408553); 河南省重点科技攻关计划项目资助课题 (152102210033)

表3 特立尼达湖沥青(TLA)性能测试结果

检测项目	技术指标	检测结果
针入度(25℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	0~5	2.9
延度(15℃)/cm	—	0.6
软化点(环球法)/℃	≥90	95.3
灰分/%	33~38	36.7
RTFOT后残留针入度/%	≥50	68
密度(25℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.3~1.5	1.376
布氏旋转粘度(135℃)/(Pa·s)	—	76.749

## 2 沥青—石料界面冲击疲劳性能分析

### 2.1 试验方案

采用自主研发的冲击疲劳性能试验加载系统,其借鉴层间力试验仪研制而成。原理是通过吊20 kg砝码对试件的沥青—石料界面施加水平剪切应力,相当于采用应力控制法进行加载;通过位移传感器及静态应变测试系统收集试件上下两石板相对位移随时间的变化情况,据此对石板间沥青膜的流变特性进行分析。

试验用试件为两面平行且剪切面打磨光滑的50 mm×50 mm矩形板块,厚18~22 mm。将试件放于170℃烘箱中加热2~3 h,沥青在设定温度比沥青软化点高90℃的烘箱中加热45 min,然后将加热好的沥青按计量均匀涂抹在石板表面,对上石板施加压力使板间的沥青膜尽可能地薄。将试件放于室温条件下冷却12 h,冷却后用热的薄刀片将试件两侧沥青除掉。试验前,将每个变化因素下的一组试件用保鲜袋装好放于5℃保温箱中养护24 h,将另一组试件放于25℃恒温水浴箱中浸水24 h,然后将水温调至5℃浸水1 h。试验过程中调节加载装置的位置,在上剪切板上放置一个20 kg砝码防止上剪切板翻转。

### 2.2 天然沥青种类及掺量对沥青—石料界面冲击疲劳性能的影响

沥青粘度是决定其粘聚力的重要因素,它影响沥青抵抗外力变形的能力,随着沥青粘度的增大,混合料抵御变形的能力增强,可保持混合料相对嵌锁作用。试件破坏界面见图1。

沥青对集料之间的粘附性能与沥青自身粘聚力关系密切,粘结性越好沥青粘附能力越强。下面主要研究不同天然沥青种类及掺量下沥青—石料界面粘附性的变化规律,分析天然沥青改性剂的改性机

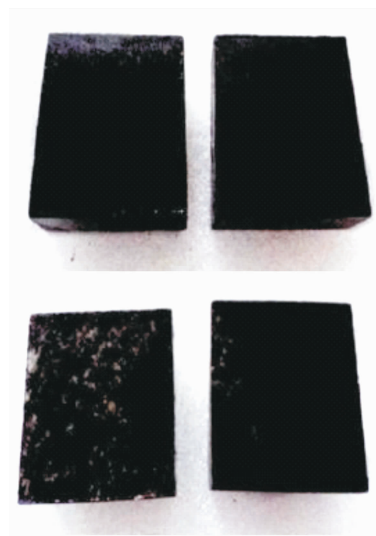


图1 试件破坏界面

理。试件的抗冲击疲劳性能随ARA、TLA掺量的变化见图2和图3。

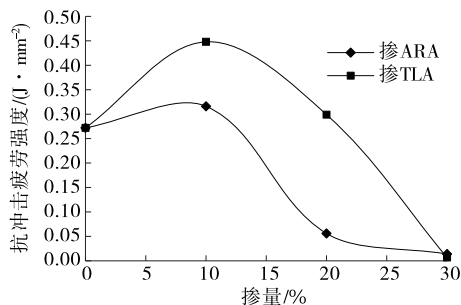


图2 辉绿岩试件抗冲击疲劳性能随ARA、TLA掺量的变化

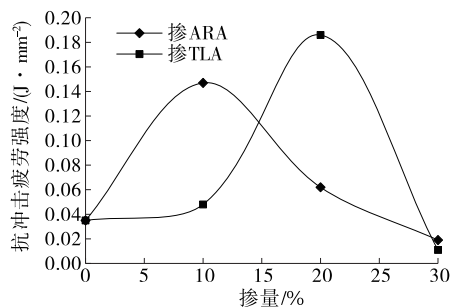


图3 玄武岩试件抗冲击疲劳性能随ARA、TLA掺量的变化

由图2可知:1) 辉绿岩的抗冲击疲劳强度随ARA掺量的增大先升高后降低。ARA掺量低于10%时,抗冲击疲劳强度随ARA掺量的增大缓慢升高;ARA掺量大于10%时,抗冲击疲劳强度随ARA掺量的增大降低;ARA掺量为20%、30%时,抗冲击疲劳强度分别降低79.4%、94.9%。2) 辉绿岩的抗冲击疲劳强度随TLA掺量的增大先升高后降低。TLA掺量小于10%时,抗冲击疲劳强度随TLA掺量的增

大而升高;TLA 掺量高于 10%时,抗冲击疲劳强度随 TLA 掺量的增大急剧降低;TLA 掺量为 20%时,抗冲击疲劳强度为 0.229 J/mm<sup>2</sup>,仅提高 9.9%,掺入 TLA 对辉绿岩抗冲击疲劳强度的影响很小;TLA 掺量为 30%时,抗冲击疲劳强度降低 97.4%。

由图 3 可知:1) 玄武岩的抗冲击疲劳强度随 ARA 掺量的增大先升高后降低,在 ARA 掺量为 10%时达到最大。ARA 掺量为 10%、20%时,抗冲击疲劳强度分别增加 320%、77.1%;ARA 掺量为 30%时,抗冲击疲劳强度降低 45.7%。2) 玄武岩的抗冲击疲劳强度随 TLA 掺量的增大先升高后降低。TLA 掺量为 10%、20%时,抗冲击疲劳强度分别提高 37.1%、431.4%;TLA 掺量为 30%时,抗冲击疲劳强度降低 68.6%。

在 ARA、TLA 改性沥青作用下,辉绿岩和玄武岩的抗冲击疲劳强度都随天然沥青掺量的增大而先

升高后降低,主要是因为 70# 基质沥青在掺入一定量天然沥青后粘结性能得到提高,上下石板之间抵抗冲击破坏的能力增强;但天然沥青掺量过多会导致沥青中灰分比较大,使沥青的粘附性降低。

2.3 水对沥青-石料界面冲击疲劳性能的影响

水是沥青路面水损坏的关键因素之一,水损坏是因水置换集料表面的沥青使沥青粘附性下降而形成的。在干燥状态下,沥青的粘附性较好,这是因为水比沥青更易浸湿集料,在潮湿环境下,集料表面沥青更易被水带走,导致沥青从集料表面脱落。下面主要研究试件浸水后抗冲击疲劳强度的变化,分析水对试件抗冲击疲劳强度的影响。试件在 25 ℃恒温状态下浸泡 24 h,然后将温度调至 5 ℃浸泡 1 h。浸水处理前后试件的抗冲击疲劳强度对比见表 4、图 4、图 5。

从表 4、图 4 和图 5 可看出:1) 两种岩石试件经

表 4 浸水处理前后试件的抗冲击疲劳强度试验结果

TLA 掺量/%	辉绿岩抗冲击疲劳强度/(J·mm <sup>-2</sup> )		玄武岩抗冲击疲劳强度/(J·mm <sup>-2</sup> )		浸水残留抗冲击疲劳强度/%	
	未浸水	浸水	未浸水	浸水	辉绿岩	玄武岩
0	0.272	0.035	0.035	0.002	12.87	5.71
10	0.448	0.128	0.048	0.004	28.57	8.33
20	0.299	0.092	0.186	0.019	30.77	10.22
30	0.007	0.001	0.011	0.001	14.29	9.09

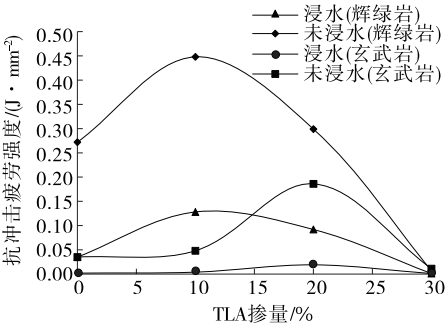


图 4 浸水处理前后试件的抗冲击疲劳强度对比

浸水处理后其抗冲击疲劳性能急剧下降。TLA 掺量为 0、10%、20%、30%时,辉绿岩浸水后的抗冲击疲劳强度比浸水前分别降低 87.13%、71.43%、69.23%、85.71%,玄武岩分别降低 94.29%、91.67%、89.78%、90.91%。2) 在相同 TLA 掺量时,辉绿岩试件的冲击疲劳强度比玄武岩试件大,这与评定沥青-集料之间粘附性的试验结论相吻合。该研究中不仅要考虑沥青和集料的性能,还要考虑试验过程中加载装置的冲击作用,其本构关系更接近沥青路面的实际受力状况。

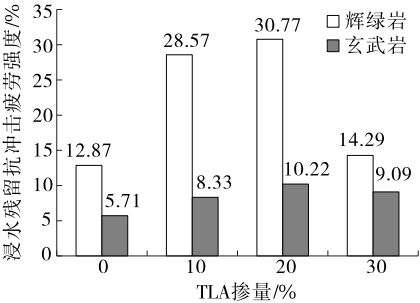


图 5 不同岩石试件浸水残留抗冲击疲劳强度对比

2.4 集料构造对沥青-石料界面冲击疲劳性能的影响

集料粗糙程度会影响沥青-石料界面的粘附性能,集料表面越粗糙、棱角越多能增加沥青与集料的接触面积,吸附沥青的能力越强,且沥青膜不易从集料表面剥落,能增强沥青-石料界面的粘附性。不同表面构造辉绿岩、玄武岩试件的抗冲击疲劳性能随 ARA 掺量的变化见图 6 和图 7。

由图 6 可知:表面粗糙辉绿岩试件的抗冲击疲劳强度随 ARA 掺量的增大先降低后升高,与表面

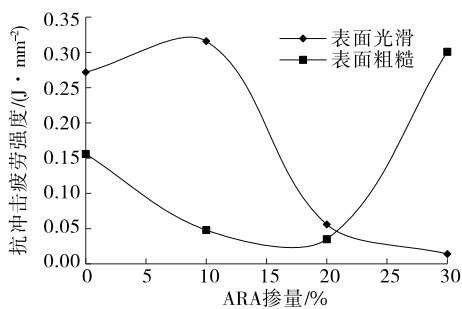


图6 表面构造对辉绿岩抗冲击疲劳性能的影响

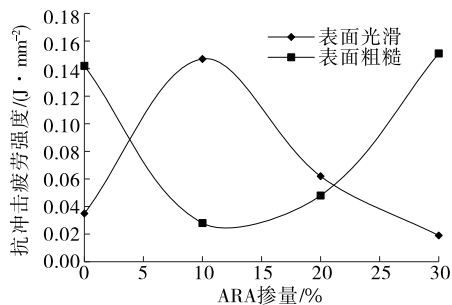


图7 表面构造对玄武岩抗冲击疲劳性能的影响

光滑试件的抗冲击疲劳强度变化规律相反。ARA 掺量低于 25% 时,掺入 ARA 对试件的抗冲击疲劳性能未能起到提高的效果;ARA 掺量高于 25% 时,随着掺量的增大抗冲击疲劳性能逐渐增强。

由图 7 可知:表面粗糙玄武岩试件的抗冲击疲劳强度随 ARA 掺量的变化规律与表面粗糙辉绿岩类似。ARA 掺量低于 5% 或高于 20% 时,在相同掺量下,表面粗糙玄武岩试件的抗冲击疲劳强度比表面光滑玄武岩试件的大;ARA 掺量为 5%~20% 时则相反。

剪切面粗糙试件的抗冲击疲劳强度未随天然沥青掺量的变化呈线性变化,与评定沥青-石料之间粘附性的试验结果不符。剪切面粗糙试件的破坏并不是因为沥青-石料之间粘附性不足,而是由沥青-石料之间的沥青膜决定。因此,选用冲击疲劳试验模拟沥青-石料之间的粘附性需对石板表面进行打磨处理。

### 3 结论

(1) 辉绿岩的抗冲击疲劳强度随 ARA、TLA 掺量的增大先升高后降低;掺量低于 10% 时,抗冲击疲劳强度随 ARA、TLA 掺量的增大而升高;TLA 掺量高于 10% 时,抗冲击疲劳强度随 TLA 掺量的增大急剧降低。玄武岩的抗冲击疲劳强度随 ARA、TLA 掺量的增大先升高后降低,在 ARA 掺量为 10% 时达到峰值,TLA 掺量为 30% 时抗冲击疲劳强度降低 68.6%。

(2) 辉绿岩和玄武岩经浸水处理后其抗冲击疲劳性能急剧下降;表面粗糙辉绿岩、玄武岩试件的抗冲击疲劳强度随 ARA 掺量的增大先降低后升高;ARA 掺量低于 5% 或高于 20% 时,在相同掺量下,表面粗糙玄武岩试件的抗冲击疲劳强度比表面光滑试件的大,ARA 掺量为 5%~20% 时则相反。

### 参考文献:

- [1] 刘洋.沥青路面水损害机理分析及对策研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [2] 马峰,郝景贤,傅珍,等.天然沥青改性沥青的表面自由能分析[J].交通运输工程学报,2015,15(1).
- [3] 孔维川.集料特性对沥青-集料界面性能影响研究[D].西安:长安大学,2012.
- [4] 袁峻,董文斌,钱武彬.基于超声波的沥青-集料粘附性试验方法研究[J].科学技术与工程,2013,13(5).
- [5] 梅迎军,吴金航.沥青胶浆-集料界面水损机制及评价研究进展[J].武汉理工大学学报,2013,35(3).
- [6] 陈燕娟,高建明,陈华鑫.基于表面能理论的沥青-集料体系的粘附特性研究[J].东南大学学报:自然科学版,2014,44(1).
- [7] 董满生,鹿婧,凌天清,等.考虑温度效应的沥青混合料参数模型[J].工程力学,2016,33(6).
- [8] 季节,索智,文博,等.水、温拌剂对沥青-集料界面粘附能力的影响[J].中国公路学报,2015,28(7).

收稿日期:2018-02-26

(上接第 64 页)

- [16] 蒋应军.基于振动试验法设计的抗裂型水泥稳定碎石基层应用研究[J].公路,2008(12).
- [17] 李明杰.水泥稳定碎石振动试验方法研究及应用[D].西安:长安大学,2010.
- [18] 周诚喜.水泥稳定碎石基层抗裂机理的微观分析[J].上海公路,2005(2).
- [19] 施洲辉,甘先永,罗增杰.振动搅拌技术对水泥稳定碎石强度性能的影响[J].公路与汽运,2016(3).
- [20] 章迁.水泥稳定碎石层刚度控制指标研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.

收稿日期:2018-04-03