

不同抗剥落剂对花岗岩沥青混合料路用性能影响研究

刘洪成<sup>1</sup>, 唐小丹<sup>1</sup>, 阚涛<sup>2</sup>, 齐广志<sup>1</sup>

(1. 山东高速建设管理集团有限公司, 山东 济南 250014; 2. 山东高速路用新材料技术有限公司)

**摘要:**采用 TR-500S(简称 TR)、消石灰和胺类抗剥落剂 3 种抗剥落剂改善花岗岩沥青混合料抗水损害性能。冻融劈裂和汉堡试验结果显示:经改善后的花岗岩沥青混合料抗水损害性能得到明显提高,满足工程设计要求。然后利用加速加载试验研究花岗岩沥青混合料长期路用性能,抗剥落剂改善后的花岗岩沥青混合料承受加载次数增加,其中 TR-500S 对花岗岩沥青混合料长期路用性能提高最为显著。

**关键词:**花岗岩沥青混合料; 抗剥落剂; 抗水损害性能; 汉堡试验; 加速加载试验

花岗岩具有质地坚硬、耐磨性好等特点,是作为集料的良好材料,但其化学性质为酸性,与沥青黏附性较差,花岗岩沥青混合料的抗水损害性能难以满足规范要求。可利用水泥、消石灰和抗剥落剂改善花岗岩与沥青黏附性,提高其混合料水稳定性,从而达到应用目的。现有改善技术存在混合料长期性能差的问题,而多数针对花岗岩的研究仅停留在沥青黏附性和混合料抗水损害性能方面,对其混合料长期性能研究较少。

小尺寸(1/3 足尺)加速加载试验系统可在较短时间内快速模拟道路结构在长期荷载作用下发生的破坏,同时能够控制试验时的温度、湿度等因素,更加贴合实际应用条件,试验结果具有很大指导意义。因此,在利用冻融试验和汉堡试验探究抗剥落剂改善花岗岩沥青混合料效果的同时,该文结合回转式路面加速加载设备(Accelerating Load Test,简称 ALT)对花岗岩沥青混合料长期路用性能进行研究,分析不同抗剥落剂对花岗岩沥青混合料长期性能的影响。

1 试验材料

1.1 集料和级配设计

粗细集料采用花岗岩,将集料按粒径分为 4 档,经检测集料强度高、耐磨性好、形状规整,矿粉为石灰岩磨细的石粉,具体花岗岩集料性能试验结果见表 1。

表 1 花岗岩粗集料性能

项目	压碎 值/%	洛杉矶磨 耗损失/%	磨光 值/%	针片状 含量/%	吸水 率/%
实测值	19.8	14.3	46.1	11.5	0.7
规范要求	≤28	≤30	≥42	≤12/18	≤3.0

从表 1 可看出:花岗岩作为沥青混合料集料完全满足设计规范要求,可进行沥青混合料的配合比设计。试验以 AC-20 沥青混合料作为研究对象,将各档集料按照规范要求设计级配,最佳油石比为 4.3%,具体试验级配见表 2。

表 2 混合料级配设计

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	100	92.0	80.0	72.0	56.0	44.0	33.0	24.0	17.0	13.0	7.0
下限	100	90.0	78.0	62.0	50.0	26.0	16.0	12.0	8.0	5.0	4.0	3.0
中值	100	95.0	85.0	71.0	61.0	41.0	30.0	22.5	16.0	11.0	8.5	5.0
试验级配	100	94.9	88.9	79.0	67.9	38.8	27.0	20.8	14.5	10.9	8.2	4.3

1.2 沥青

研究选取 70# 道路石油沥青作为沥青混合料黏结料,主要技术指标和规范要求见表 3。

表 3 70# 道路石油沥青主要技术指标及规范要求

指标	单位	试验结果	规范要求
25℃针入度	0.1 mm	68	60~80
针入度指数		-1.05	-1.5~+1.0
软化点	℃	47.5	≥46
10℃延度	cm	21.6	≥20
60℃动力黏度	Pa·s	198	≥180
质量变化	%	0.12	≤±0.8
老化后 25℃针入度比	%	89	≥61
10℃残留延度	cm	6.9	≥6

1.3 抗剥落剂

- (1) 消石灰。白色粉末,细度与矿粉相近,使用时代替矿粉,掺量占集料的 2%。
- (2) 胺类抗剥落剂。深褐色黏稠液体,用量为占沥青质量的 0.5%,先与沥青分散均匀,然后拌制沥青混合料。
- (3) TR-500S。由 A、B 组分复合而成,A 组分为酞酸接枝改性的低分子量聚合物,B 组分是以天然岩沥青为主要原材料,辅以其他高分子材料制作而成。A 组分加入沥青后搅拌均匀备用,掺量为 1%(占沥青质量),B 组分采用干拌工艺,即在加入沥青之前先将 0.5%(沥青混合料)B 组分与集料拌和一个周期,然后加入含 A 组分的沥青,最后加入矿粉。

2 试验结果及分析

2.1 冻融试验

根据上述试验配比拌制沥青混合料,分别为 1 组对照混合料和 3 组掺加抗剥落剂的混合料,双面各击实 50 次成型冻融劈裂试件,冻融循环后测其劈裂强度,试验结果如图 1 所示。

由图 1 可以得出:未掺加抗剥落剂的花岗岩沥青混合料冻融劈裂强度比在 4 种混合料中最低,说明花岗岩沥青混合料抗水损害性能较差,未达到设计标准 75%的要求,将花岗岩沥青混合料直接应用于公路路面存在一定风险系数。掺加 3 种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料冻融劈裂强度比有不同程度的提高,其数值均达到 80%以上。3 种抗剥落剂对花岗岩沥青混合料抗水损害性能改善效果不同,TR-500S 影响最大,然

后是消石灰、胺类抗剥落剂,冻融劈裂强度比分别提升了 20.2%、17.0%和 15.3%,完全满足工程应用需求。

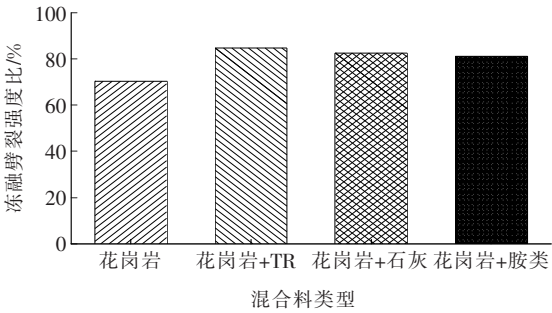


图 1 沥青混合料冻融劈裂试验结果

2.2 汉堡试验

试件采用旋转压实成型方式,试验温度为 50℃,荷载压力为 0.7 MPa。根据试验数据绘制车辙深度与碾压次数的关系曲线,并使用文献[10]描述方法对试验数据进行拟合,拟合公式如式(1):

$$RD_{LC} = \rho \left[ \ln \left( \frac{N_d}{LC} \right) \right]^{1/\beta}$$
 (1)

式中:RD<sub>LC</sub> 为车辙深度(mm);N<sub>d</sub> 为达到 12.5 mm 时的碾压次数或者 20 000 次;LC 为碾压次数;ρ 和 β 为相关系数。

对试验数据拟合完成后可以求出各个试验结果的相关系数 ρ 和 β,利用式(2)得到曲线剥落点次数。

$$LC_{SN} = N_d e^{(-\frac{\beta+1}{\beta})}$$
 (2)

根据剥落点次数将整个试验结果曲线分为蠕变区间和剥落区间两部分,剥落点次数之前为蠕变区间,剥落点之后部分为剥落区间。具体试验曲线和结果如图 2 所示。

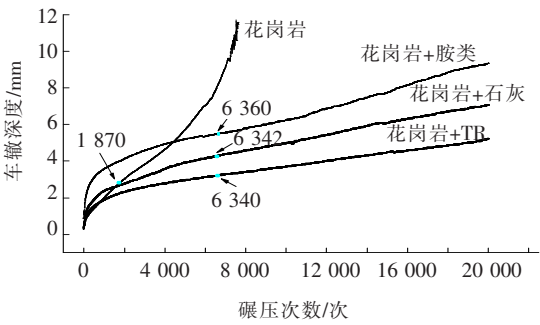


图 2 汉堡试验曲线与剥落点次数结果

由图 2 可知:

- (1) 花岗岩沥青混合料未添加抗剥落剂进行改性时,经 7 628 次荷载试验后即超过规范要求的最大值,而加入抗剥落剂后的 3 种花岗岩沥青混合料均在规定深度范围内达到 20 000 次荷载要求。依据混合料的

剥落点可以将整个试验分为两个区间:剥落点之前为混合料蠕变区间,此区间内主要由混合料的黏塑性变形引起;剥落点之后为剥落区间,此试验段内混合料开始受水侵害的影响,在荷载反复作用下水侵入到沥青与集料之间,使得沥青从集料表面脱落,混合料松散引起试件变形。

(2) 利用式(1)、(2)求得 TR、石灰粉和胺类抗剥落剂试验结果的剥落点次数分别为 6 340、6 342 和 6 360 次,不加抗剥落剂的花岗岩沥青混合料的抗剥落点次数仅为 1 870 次,无添加抗剥落剂的花岗岩沥青混合料剥落点的次数最低,其他 3 种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料抗剥落点次数相差不大,抗剥落剂可以提高沥青混合料抗水损害性能。在剥落区间内,添加 TR、石灰粉和胺类 3 种抗剥落剂的混合料车辙深度分别比剥落点深度增加 1.925、3.130、4.075 mm,TR 改性效果最好,其次为石灰粉,胺类抗剥落剂最差。同时对比 TR、石灰粉和胺类抗剥落剂 3 种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料汉堡试验后车辙深度,其数值分别为 5.296、7.036 和 9.350 mm,掺加 3 种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料综合性能从高到低依次为 TR、石灰粉和胺类。

### 3 长期路用性能研究

经抗剥落剂改善后的花岗岩沥青混合料抗水损害性能符合规范设计标准,但抗剥落剂对混合料的长期路用性能的影响还需试验进行研究。因此,该文采用回转式路面加速加载设备对 4 种花岗岩沥青混合料进行加速加载试验,探究各抗剥落剂对花岗岩沥青混合料长期路用性能的影响。

试验试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 标准车辙板试件,加载轮为橡胶轮胎,轮胎与试件接触压力为 0.7 MPa,试验碾压方向与试件成型方向相同。花岗岩沥青混合料主要问题是花岗岩与沥青黏附性较差,考虑试验目的是研究抗剥落剂对花岗岩沥青混合料改善效果,因此,确定加速加载试验在 50℃ 水中进行。试验工程中每隔 10 000 次采集一次车辙深度数值,当车辙深度达到 10 mm 时认定试件完全破坏,停止试验,试验结果见图 3、4。

图 3 为 4 种花岗岩沥青混合料破坏时所需要的加载次数。即试件的车辙深度达到 10 mm 所能承受最大碾压次数。从图 3 中可以看出:① 未掺加抗剥落剂的花岗岩沥青混合料加载次数最低,仅有 7 万次,而掺

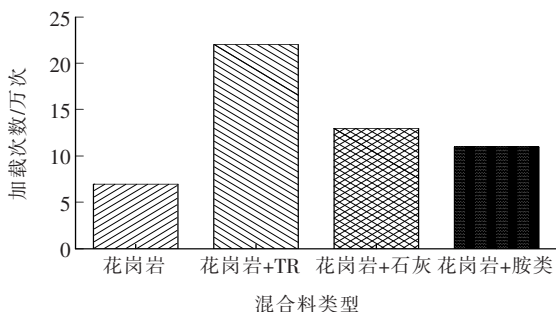
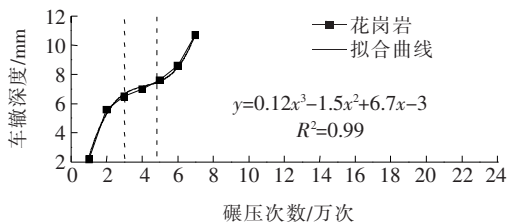
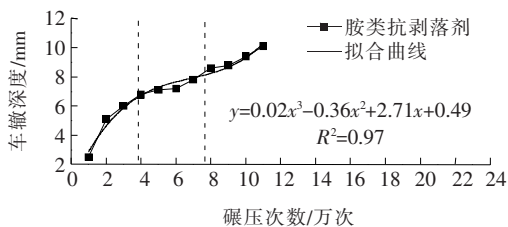


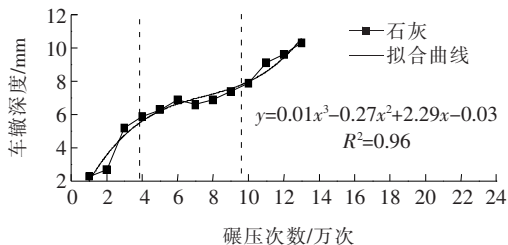
图 3 各花岗岩沥青混合料试件破坏时加速加载次数



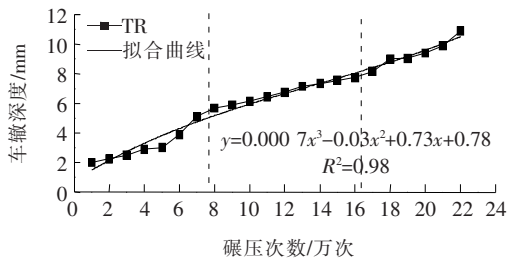
(a) 花岗岩



(b) 胺类抗剥落剂



(c) 石灰



(d) TR

图 4 各花岗岩沥青混合料车辙变化曲线

加抗剥落剂的花岗岩沥青混合料加载次数提高显著,加 TR、石灰、胺类抗剥落剂的花岗岩沥青混合料分别为 22 万次、13 万次和 11 万次,同比未掺加抗剥落剂的混合料提高了 214.3%、85.7%、57.1%,花岗岩沥



青混合料长期路用性能得到改善;②对比添加3种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料试验结果,掺加TR的混合料试验结果最好,承受22万次车轮碾压后试件车辙达到破坏标准,比石灰和胺类抗剥落剂的试验结果分别提高9万次和11万次。其次是石灰对花岗岩沥青混合料的改善效果,胺类抗剥落剂的花岗岩沥青混合料在3种混合料中承载最差。

由图4可知:对4种混合料试件的试验结果进行三次方程数据回归后发现,拟合方程的 $R^2$ 均达到0.96以上,试验结果与拟合方程具有很高的相关性,说明花岗岩沥青混合料的车辙深度变化趋势符合三次方程规律。根据三次方程的特点可以将试验过程分为3个阶段,如图4中虚线所示:第一阶段中车辙蠕变斜率较大,在此过程的变形主要由混合料中集料移动和空隙率减小所引起,刚成型的试件空隙率比较大,集料在混合料中骨架搭接不合理,持续的加载促使集料位置发生移动,内部结构更加合理,同时将混合料中的空气挤出,二者共同作用使混合料产生较大变形,蠕变斜率增大;第二阶段的车辙深度变化相对较小,通过第一阶段的结构重分配,混合料结构达到一个理想状态,沥青黏附作用和集料的骨架作用共同抵抗混合料变形,蠕变斜率降低;第三阶段试件产生破坏,随着加载次数的增加和作用时间的增长,沥青与集料黏附性逐渐减弱,同时增加水的侵入作用,加快混合料的破坏速度,因此,蠕变斜率增大。对比4种沥青混合料的整体变化,蠕变斜率从大到小依次是:未掺加抗剥落剂>胺类抗剥落剂>消石灰>TR,说明抗剥落剂能够提高花岗岩沥青混合料抗水损害性能和长期路用性能,改善效果依次是:TR>消石灰>胺类抗剥落剂。

消石灰能够与沥青中的有机酸反应生成钙盐,提高沥青强度,同时消石灰黏附在花岗岩表面,与空气和水接触后生成碳酸钙,将花岗岩表面转变为碱性,改善花岗岩与沥青的黏附性,从而提高花岗岩沥青混合料抗水损害性能,但此种方法形成的碱性膜在使用过程中容易破坏,因此长期路用性能较低。胺类抗剥落剂一方面可以增加沥青的表面张力,减小与集料的接触角,使集料与沥青的黏附功增大,从而提高与集料的黏附性;另一方面是使酸性石料表面形成一个碱性的表面电离层,以便带酸性的沥青与其之间有强的结合,以达到提高沥青与集料黏附性的目的,胺类抗剥落剂抗高温、老化性能较差,在混合料拌和、使用中极易分解,降低有效成分含量,因此,此类花岗岩沥青混合料长期路用性能最差。TR为复合改性剂,能够与沥青反应,

改变花岗岩表面官能团,使沥青与花岗岩之间以化学键连接,增加花岗岩黏附性,并且,岩沥青也具有改善沥青混合料水稳定性的作用;同时,岩沥青还能够提高混合料的高温性能,增加混合料抗车辙能力。TR-500S的复合改性方式,使其花岗岩混合料长期路用性能远远高于其他两种抗剥落剂拌制的花岗岩沥青混合料。

为清楚表述花岗岩沥青混合料加载过程中结构的变化,现将结构变化过程用图5表示出来,通过结构模拟图可以清楚沥青混合料从成型→碾压→破坏的结构变化。从图5(a)可以看出:沥青混合料刚成型时内部存在一定的空隙,集料的骨架结构相对稳定,但仍有部分粗集料未相互接触,不能形成完整骨架网,降低混合料承载能力;图5(b)经过加载,混合料结构更加密实,且在不断的加载过程中,混合料中的集料产生微小位移,致使受力状态更加完善,提高混合料的抗车辙能力,车辙蠕变斜率降低。图5(c)中沥青混合料试件破坏,由于高温、水和荷载的不间断作用,沥青黏附性降低,沥青从集料表面剥落,仅靠集料骨架作用不足以抵抗外部荷载,在此阶段车辙蠕变斜率又继续增大。

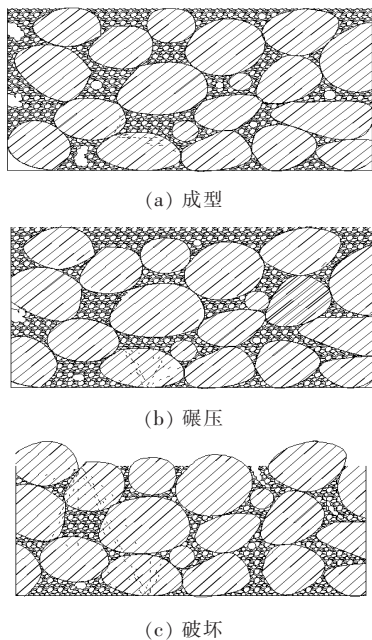


图5 沥青混合料结构模拟变化

沥青与集料黏附性和沥青混合料的长期路用性能关系密切,在集料类型统一的条件下,沥青黏附性决定沥青混合料性能,同理,沥青混合料长期路用性能也同样可以分析抗剥落剂对沥青黏附性的改善效果。3种抗剥落剂对沥青的改善效果从高到低依次是:TR、消

石灰、胺类抗剥落剂。

## 4 结 论

(1) 从冻融劈裂试验结果可以得出,抗剥落剂可以显著提高沥青与花岗岩的黏附性,其改善效果从高到低依次是:TR-500S>消石灰>胺类抗剥落剂。

(2) 从汉堡试验结果可以得出,抗剥落剂对花岗岩沥青混合料抗水损害性能和高温抗车辙性能有所提高,花岗岩沥青混合料综合性能规律与结论(1)相同。

(3) 对比 4 种花岗岩沥青混合料试件加速加载试验结果,抗剥落剂能够提高花岗岩沥青混合料长期路用性能,消石灰和胺类抗剥落剂提高幅度较低,TR-500S 对花岗岩沥青混合料改善效果最好,承载次数达到空白试验组的 3.1 倍。

(4) 分析加速加载试验过程中车辙变化趋势,可以将加载过程分为 3 个阶段,第一阶段主要变化为混合料空隙降低和集料结构重组,第二阶段混合料结构达到稳定状态,车辙蠕变斜率相对较低,第三阶段混合料试件破坏,车辙蠕变斜率继续增大。

## 参考文献:

- [1] 迟坤东. 集料掺配对沥青路面构造特征及抗滑性能的影响[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2016.
- [2] 李智,田力,陈思宇. 花岗岩沥青路面抗滑层抗滑性能及耐久性试验研究[J]. 科学技术与工程,2014(18).
- [3] 陈实. 集料与沥青的性质对沥青与集料粘附性的影响[J]. 中外公路,2010(6).
- [4] 郭荣昌,刘陵庆. 抗剥落剂与水泥对花岗岩沥青混合料性能的影响[J]. 中外公路,2013(6).
- [5] 刘涛. 石灰等添加剂改善沥青混合料的水稳定性[D]. 湖南大学硕士学位论文,2006.
- [6] 马英. 硅烷偶联剂对不同老化程度花岗岩沥青混合料水

稳定性影响[J]. 湖南交通科技,2018(4).

- [7] 武银君,王福满,张宜洛. 不同类型抗剥落剂对花岗岩沥青混合料性能影响研究[J]. 中外公路,2016(1).
- [8] 赵倩倩. MMLS3 试验方法介绍[J]. 北方交通,2013(6).
- [9] 王一琪,谭忆秋,王兴隆. 基于 MMLS3 的半刚性基层沥青路面材料冻融试验研究[J]. 公路,2017(5).
- [10] F. Yin, E. Arambula, R. Lytton, et al. Novel Method for Moisture Susceptibility and Rutting Evaluation Using Hamburg Wheel Tracking Test [J]. J. Transp. Res. Board, 2014, 2 446(2 446): 1-7.
- [11] JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [12] Ameri M, Kouchaki S, Roshani H. Laboratory Evaluation of the Effect of Nano-Organosilane Anti-Stripping Additive on the Moisture Susceptibility of HMA Mixtures under Freeze-Thaw Cycles[J]. Construction & Building Materials, 2013, 48(11): 1009-1016.
- [13] 吴登睿. 水泥与胺类抗剥落剂协同作用对沥青路面路用性能的影响研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文, 2016.
- [14] 张文涛. 花岗岩在高温多雨地区沥青路面上面层的应用研究[D]. 东南大学硕士学位论文, 2016.
- [15] Peng C, Chen P, You Z, et al. Effect of Silane Coupling Agent on Improving the Adhesive Properties between Asphalt Binder and Aggregates [J]. Construction & Building Materials, 2018, 169: 591-600.
- [16] 韩彪. 北美岩沥青改善混合料水稳定性的机理分析[J]. 建材与装饰, 2018(36).
- [17] 马琳. 北美天然岩沥青改性的研究与应用[J]. 中国公路, 2003(16).
- [18] 陈旭, 姜开明. 布敦岩沥青改性沥青混凝土配合比设计[J]. 山东交通学院学报, 2005(2).
- [19] 沈金安. 特拉尼达湖改性沥青的性能[J]. 国外公路, 2000(3).
- [20] 李丽娟, 王伟. 基于均匀设计的抗剥落剂组合对机制砂与沥青黏附性的影响研究[J]. 中外公路, 2018(1).