

DOI: 10.7672/sgjs2024100039

# 硬沥青改性沥青混凝土黏结层路用性能研究

胡赛鸿<sup>1</sup>, 杨武<sup>2</sup>

(1. 长沙市城市建设投资开发集团有限公司, 湖南 长沙 410118;

2. 中交(长沙)建设有限公司, 湖南 长沙 410118)

[摘要] 选择硬沥青作为一种天然沥青添加剂,通过在沥青混凝土黏结层中添加6%,7%,8%的硬沥青,与未添加硬沥青的混合物进行比较,评估硬沥青对沥青混凝土性能的影响。结果表明:添加硬沥青的混合物稳定性提高的同时,流动性增加,导致混合物具有更大的变形性;当硬沥青添加比例为6%时,混合物具有最优路用性能,表明在沥青混凝土黏结层中添加适量的硬沥青可有效提升道路铺装的质量和耐用性。

[关键词] 混凝土;硬沥青;性能;空隙率

[中图分类号] TU528;U414

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)10-0039-05

## Study on Road Performance of Gilsonite Modified Asphalt Concrete Bonding Layer

HU Saihong<sup>1</sup>, YANG Wu<sup>2</sup>

(1. Changsha Urban Construction Investment Development Group Co., Ltd., Changsha, Hunan 410118, China;

2. China Communications Construction (Changsha) Co., Ltd., Changsha, Hunan 410118, China)

**Abstract:** Gilsonite is selected as a natural asphalt additive, and by adding 6%, 7% and 8% gilsonite into the asphalt concrete binder layer, the effect of gilsonite on the performance of asphalt concrete was evaluated by comparing with the mixture without gilsonite. The results show that the stability of the mixture with gilsonite is improved, and the fluidity is increased, resulting in greater deformability of the mixture. When the proportion of gilsonite is 6%, the mixture has the best road performance, indicating that adding an appropriate amount of gilsonite to the asphalt concrete bonding layer can effectively improve the quality and durability of road pavement.

**Keywords:** concrete; gilsonite; performance; void ratio

### 0 引言

随着交通负荷的持续增长,道路铺装材料质量亟需提升<sup>[1]</sup>。为了优化铺装质量,通常在沥青中加入各种添加剂以改善其性能,并探索沥青混合物中的替代材料<sup>[2]</sup>。沥青按其来源可分为天然沥青和石油沥青。天然沥青可直接使用或稍加处理;石油沥青是石油精炼过程的副产品,通常称为残余沥青,是通过原油蒸馏得到的。沥青添加剂的选用范围广泛,从合成橡胶到再加工橡胶(如废旧轮胎)及塑料材料等。这些添加剂的使用能显著改变沥青的物理性质。研究发现,随着天然橡胶含量的增加,沥青变得更硬且对温度变化的敏感性降低,这主要归因于天然橡胶乳液的非沥青性质和其固有

的弹性<sup>[3-5]</sup>。

硬沥青作为一种天然沥青添加剂,其沥青烷含量达70.9%,远高于其他添加剂。此外,硬沥青还含有27%的马耳他烷、2%的油分和3.2%的氮,能显著改善骨料的黏结力和防水剥离性能。研究显示,在60/70穿透度沥青中添加硬沥青能改变沥青的基本性质,如穿透度、软化点、闪点和燃点,从而使沥青变硬。为了验证硬沥青添加剂对沥青混合物性能的影响,研究人员进行了一系列测试<sup>[6]</sup>。结果表明,硬沥青的使用能提升混合物的稳定性,当沥青含量为5.5%时,硬沥青的最佳添加量为6.8%。在沥青混凝土层混合物的测试中,8%硬沥青含量满足了马歇尔测试参数的要求<sup>[7]</sup>。此外,还对硬沥青在多孔沥青混合物中的应用进行了研究,发现添加硬沥青能减小混合物的渗透系数<sup>[8]</sup>。

鉴于上述研究背景,开发和研究新的混合物级配变得尤为重要,沥青混凝土黏结层即是其中之一。该层作为道路表面层的一部分,位于基层和面层之间,通常适用于承担重型交通负荷的道路。本研究通过分析硬沥青改性沥青混凝土黏结层混合物的马歇尔特性,评估该混合物使用马歇尔浸泡法的耐久性,旨在为高性能道路铺装材料的研发提供科学依据和技术支持。

## 1 试验方案

硬沥青树脂是一种富含树脂、沥青烷和氮的烃类矿物,其特性使其能轻易与沥青混合。本试验设计选用了 60/70 渗透度沥青、硬沥青树脂及粗细骨料作为主要材料。通过将硬沥青树脂与 60/70 渗透度沥青按特定比例混合,分析硬沥青树脂对沥青性能的改善效果。试验中设计了 3 种不同的硬沥青树脂添加量,分别占沥青总重的 6%、7% 和 8%。所制备的混合物将遵循热拌沥青的标准测试流程进行性能评估。路面设计采用中间层 Laston 级配,目的是模拟实际道路铺装工程中的应用情景。为了准确评估硬沥青树脂对沥青混合物性能的影响,采用马歇尔方法对混合物的稳定性、软化点和空隙率进行测量。此外,还通过马歇尔浸泡法对混合物的残余强度进行测试,从而确定最佳沥青含量(OAC)。通过一系列的测试,精确分析硬沥青树脂添加量对沥青混合物性能的改善效果,并确定其最优添加比例。

为了深入评估硬沥青树脂对沥青混合物性能的影响,根据预定的比例(6%、7%和8%)将硬沥青树脂加入到 60/70 渗透度沥青中;然后将改性沥青与精选的粗细骨料混合,确保混合物的均匀性,以模拟实际应用中的沥青混合物。

1) 马歇尔稳定性测试 使用马歇尔测试仪对混合物进行压缩,测量其承受最大荷载前的稳定性。这一指标反映了混合物在承受交通荷载时的性能表现。

2) 软化点测试 通过环球软化点仪测定改性沥青混合物的软化点温度,评估其在高温条件下的变形抗力。

3) 空隙率分析 计算混合物中空隙总体积百分比,对于评估混合物的紧实度和可能的渗水性至关重要。

4) 马歇尔浸泡测试 将制备好的沥青混合物样本浸泡在水中,经过一定时间后测试其残余强度,以此模拟混合物在长期浸水条件下的耐久性。

5) 最佳沥青含量的确定 通过综合马歇尔稳

定性测试、软化点测试和空隙率分析的结果,确定加入硬沥青树脂的沥青混合物的最佳沥青含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硬沥青改性材料

通过在 60/70 渗透度沥青中添加 6%、7%、8% 的硬沥青树脂进行渗透度测试,结果如表 1 所示。由表 1 可知,添加 6%、7% 和 8% 硬沥青树脂后,渗透值分别下降至 46.5、45.5、41.5mm,随着硬沥青添加量的增加,沥青脆性增大;获得较高的闪点和燃点,说明经硬沥青树脂改性的沥青具有较好的防火性能;软化点分别升至 50.2、52.5、54.2℃,进一步证实了硬沥青的添加使沥青变硬。随着温度的升高,沥青的渗透度降低,因沥青达到软化点所需的温度更高;延伸性分别减少至 698、598、498cm,说明添加硬沥青后的沥青更不易拉伸或脆弱,这反映了硬沥青具有增强沥青硬度的特性。

表 1 硬沥青树脂材料性能

Table 1 Properties of gilsonite resin materials

测试类型	硬沥青树脂含量/%		
	6	7	8
渗透值/mm	46.5	45.5	41.5
闪点/℃	305	315	335
燃点/℃	315	330	340
软化点/℃	50.2	52.5	54.2
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.04	1.03	1.03
延性/cm	698	598	498
135℃黏度/(mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	686	705	718

黏度作为混合料设计的关键参数,能反映沥青随温度变化的行为。通过测试添加 6%、7%、8% 硬沥青添加剂的沥青黏度,得到混合温度分别为 161~167℃、162~169℃ 和 166~172℃,凝固温度分别为 149~154℃、150~155℃ 和 153~159℃。混合温度高于压实温度,意味着沥青需在更高温度下与骨料结合。硬沥青对黏度测试的影响说明随着硬沥青含量的增加,达到理想混合温度和压实温度所需的温度随之升高。

### 2.2 硬沥青改性沥青混凝土黏结层混合物的马歇尔测试

通过评估混合物的空隙率(VIM)、沥青填充空隙(VFB)、骨料中的空隙(VMA)、密度、稳定性和流动性,确定最佳沥青含量(OAC)。该 OAC 值将应用于后续的马歇尔浸泡测试中,以便获得残余稳定性指数值。

硬沥青改性混合物密度变化如图 1 所示。由图 1 可知,硬沥青的加入可能导致混合物密度值的下降,这主要是由于混合物中骨料比例随沥青含量的

增加而减少,进而影响混合物的压实度,骨料与沥青之间形成了紧密的结合。硬沥青含量由6%增加至7%时,密度值增加,硬沥青含量增至8%时,密度值与7%时相同。

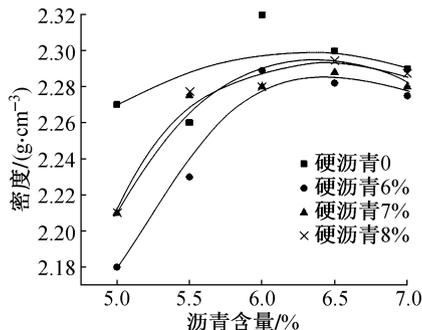


图1 硬沥青改性混合物密度变化

Fig. 1 Density change of gilsonite modified mixture

硬沥青改性混合物骨料空隙率变化如图2所示。由图2可知,硬沥青含量由0增至6%时,VMA值随之增加,表明混合物中骨料空隙率随硬沥青含量百分比的增加而增加,硬沥青的加入引起了内部空腔的扩大。沥青填充空隙率变化如图3所示。由图3可知,添加6%,7%和8%硬沥青的沥青混合物,与不添加硬沥青的沥青混合物相比,因骨料间的空隙减小,VFB值有所降低。沥青含量百分比越低,混合物中未被沥青覆盖的表面和空隙越多,因此骨料与沥青之间的结合不是最佳的。8%的硬沥青含量降低了混合物对水和空气的阻隔性,使沥青层变薄,更易开裂。

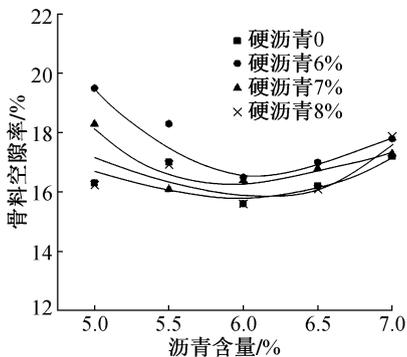


图2 硬沥青改性混合物骨料空隙率变化  
Fig. 2 Changes of VMA ratio of gilsonite modified mixtures

硬沥青改性混合物空隙率变化如图4所示,对于硬沥青含量为0的混合物,VIM值为3.82%,添加了6%,7%,8%硬沥青的混合物VIM值分别为3.74%,3.62%和3.96%。结果显示,8%硬沥青含量的混合物具有最高的空隙率,导致混合物变得多孔或易吸水,进而降低了混合物的密度,使水和空

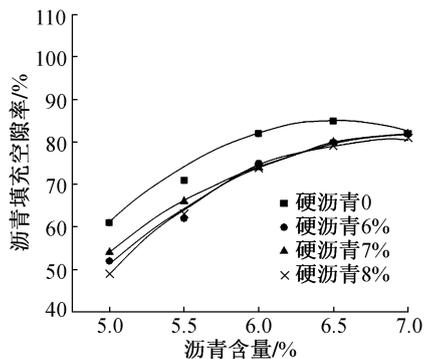


图3 沥青填充空隙率变化

Fig. 3 Changes of VFB ratio of gilsonite modified mixtures

气更易渗透到混合物的空隙中,从而加速了沥青的氧化过程,降低了骨料粒间的黏结力,导致颗粒脱落和路面层剥落。

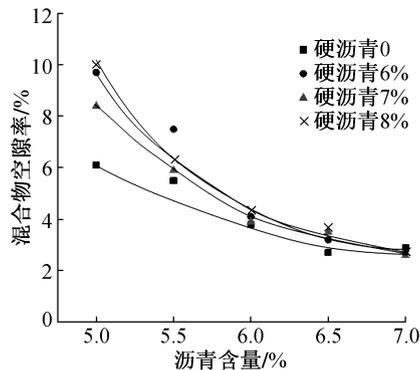


图4 硬沥青改性混合物空隙率变化

Fig. 4 Changes of VIM ratio of gilsonite modified mixtures

硬沥青改性混合物稳定性值变化如图5所示。由图5可知,添加6%和7%的硬沥青可提升混合物的稳定性值,与未添加硬沥青的混合物相比,耐久性和承载能力更好。未添加硬沥青混合物的稳定性值为1357.1kg,而添加6%,7%和8%硬沥青混合物的稳定性值分别为1314.6,1598.4,1658.7kg。

流动性受沥青含量、黏度、骨料级配及混合物压实量和温度的影响。硬沥青改性混合物流动性值变化如图6所示。由图6可知,硬沥青含量为0的混合物的流动值为3.80mm,而添加6%,7%和8%硬沥青混合物的流动值分别为3.32,4.24,5.61mm。这表明,硬沥青的添加提高了沥青混合物的流动性,从而在受载时可能导致较大的变形。

对于未添加硬沥青的沥青,其最佳沥青含量为5.8%,而添加了6%,7%和8%硬沥青树脂的混合物的OAC值分别为6.1%,6.2%和6.0%。测试结果表明,硬沥青的添加提高了混合物的最佳沥青含量。

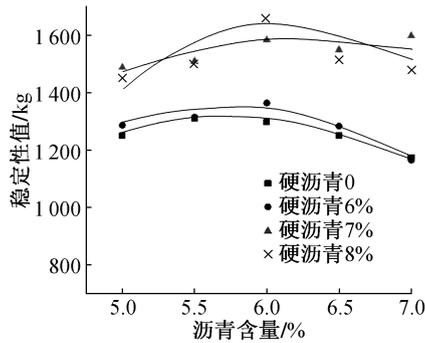


图5 硬沥青改性混合物稳定性值变化

Fig. 5 Changes of stability values of gilsonite modified mixtures

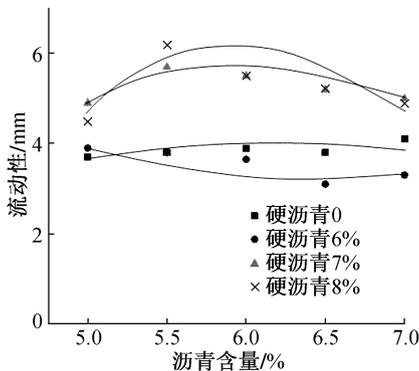


图6 硬沥青改性混合物流动性值变化

Fig. 6 Changes of flowability of gilsonite modified mixtures

马歇尔浸泡测试旨在评估混合物对温度的抵抗力。硬沥青改性混合物马歇尔浸泡值如图7所示。由图7可知,未添加硬沥青混合物的马歇尔浸泡测试结果为90.77%,而添加了6%、7%和8%硬沥青混合物的马歇尔浸泡值分别为91.48%、93.12%和93.51%。这说明添加硬沥青的混合物能提高沥青混合物的马歇尔浸泡值,相比于未添加硬沥青的混合物表现更佳。

### 2.3 硬沥青含量分析

为确定最佳硬沥青含量,本研究采用了两种方法。首先,分析了将硬沥青树脂添加至沥青中所产生的性质变化。这一分析基于沥青的测试结果,主要关注渗透度、延伸性和软化点3个指标。结果表明,随着硬沥青含量的增加,沥青的渗透度和延伸性降低,而软化点值则有所提升。即添加硬沥青会使沥青比未添加时更加脆硬或僵硬。

第2种方法是通过观察含硬沥青的沥青混合料的性能,并回顾其马歇尔测试结果。此分析主要考察了混合料的稳定性和熔点。根据表2所示,采用6%的最佳硬沥青含量后,混合料的稳定性提高了

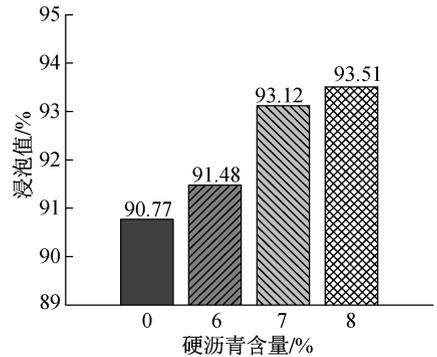


图7 硬沥青改性混合物马歇尔浸泡值

Fig. 7 Marshall immersion values of gilsonite modified mixtures

22%,熔点也提高了10%。添加硬沥青不仅提升了混合料的刚性和强度,还能增加其稳定性和熔点。然而,过量添加硬沥青会对沥青的性能产生负面影响,导致在承载时的开裂或破碎风险增加。

表2 硬沥青添加剂对混合物路用性能影响

Table 2 Impact of gilsonite additive on the road performance of mixtures

硬沥青含量/%	稳定性值/kg	流动性/mm
0	1 357.1	3.80
6	1 314.6	3.32
7	1 598.4	4.24
8	1 658.7	5.61

### 3 结语

1) 在60/70渗透度沥青中添加硬沥青树脂能使沥青变硬,由于硬沥青树脂中的矿物质含量对60/70渗透度沥青性质的影响所致。

2) 添加6%硬沥青树脂的改性沥青,其渗透测试结果为46.5mm;而添加7%和8%硬沥青树脂的渗透值分别为45.5、41.5mm。软化点测试显示,添加6%、7%、8%硬沥青树脂的软化点值分别为50.2、52.6、54.2℃。延伸性测试结果表明,添加6%、7%、8%硬沥青树脂的改性沥青延伸性值分别为698、598、498cm。

3) 马歇尔测试结果表明,添加硬沥青能显著提升沥青混凝土黏结层混合物的稳定性和熔化特性。向沥青和混合物中添加硬沥青能增强沥青混合物本身的刚性和强度。然而,过量添加硬沥青可能对沥青产生不利影响,导致铺装在接受负荷时易开裂或破碎。

4) 添加硬沥青后,沥青混凝土黏结层混合物的特性表现良好,适合作为黏结层使用。硬沥青对沥青混凝土黏结层的改性效果良好,能使黏结层混合物承受高交通负荷,并在铺装展现出高强度。然

而,添加硬沥青会导致混物流动值增高,特别是在添加量为7%和8%时。因此,考虑到性能和施工的平衡,推荐添加量为6%为最佳选择。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 冯云龙,周振东,张静晓,等. 沥青混凝土路面施工质量监督系统的构建与实现[J]. 施工技术(中英文),2023,52(5):13-19.  
FENG Y L, ZHOU Z D, ZHANG J X, et al. Construction and implementation of a quality monitoring system for asphalt concrete pavement[J]. Construction technology, 2023, 52(5):13-19.
- [ 2 ] 吴尧珍. 高模量沥青添加剂对混合料路用性能的影响[J]. 交通世界,2022(32):26-28.  
WU Y Z. The effect of high modulus asphalt additives on the road performance of mixtures[J]. Transpworld, 2022(32):26-28.
- [ 3 ] 宋莉芳,薛亚楠,薛哲,等. 天然橡胶/丁苯橡胶胶粉对改性沥青性能的影响[J]. 橡胶工业,2023,70(10):789-795.  
SONG L F, XUE Y N, XUE Z, et al. Effect of natural rubber/butadiene rubber powder on the performance of modified asphalt[J]. China rubber industry, 2023, 70(10):789-795.
- [ 4 ] 赵映琴,封志佼,张林艳,等. 后掺法环氧沥青混合料施工工艺研究及应用[J]. 施工技术(中英文),2023,52(20):134-138.  
ZHAO Y Q, FENG Z J, ZHANG L Y, et al. Research and application of construction technology of post-mixing epoxy asphalt mixture[J]. Construction technology, 2023, 52(20):134-138.

- [ 5 ] 谢军,房格莉,魏振国. 建筑垃圾粗骨料含量对路用性能的影响与工程应用[J]. 施工技术(中英文),2022,51(10):101-106.  
XIE J, FANG G L, WEI Z G. Effect of coarse aggregate content of construction waste on road performance and engineering application[J]. Construction technology, 2022, 51(10):101-106.
- [ 6 ] 董夫强,张玉贞,辛雪,等. 复合改性硬质沥青的制备及微观结构[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(4):174-179.  
DONG F Q, ZHANG Y Z, XIN X, et al. Preparation and microstructure of composite modified hard asphalt[J]. Journal of China University of Petroleum (edition of natural science), 2014, 38(4):174-179.
- [ 7 ] 杨耀辉,魏慧,申全军,等. 基于不同硬沥青的SBS复合改性沥青性能研究[J]. 化工矿物与加工,2023,52(8):20-25.  
YANG Y H, WEI H, SHEN Q J, et al. Study on the performance of SBS composite modified asphalt based on different hard asphalts[J]. Industry minerals & processing, 2023, 52(8):20-25.
- [ 8 ] 王云超. 硬沥青改性沥青结合料的抗车辙性能和疲劳行为研究[J]. 江苏建筑职业技术学院学报,2023,23(2):23-28.  
WANG Y C. Study on the rutting resistance and fatigue behavior of hard asphalt modified asphalt binder[J]. Journal of Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, 2023, 23(2):23-28.

(上接第38页)

试样,随着水通过永久磁场的次数增加,泡沫混凝土的稳定性和强度得到提高。

4)与未磁化的对照组相比,磁化水流速为0.65m/s和1.65m/s时,磁化10次试件的力学性能最好。磁化水流速为2.65m/s时,磁化1次试件的力学性能最好。对泡沫混凝土拌合水进行磁化,可以提高混凝土的承载能力和耐久性,延长混凝土的使用寿命,在确保混凝土质量的同时,减少维修费用,也降低了材料综合成本。

5)同样流速时,采用通过永久磁场1,5和10次的磁化水试样,相对于对照组而言,28d抗压强度和劈裂抗拉强度分别提高了约29%和25%,40%和50%及38%和44%,提高混凝土结构整体承载能力和耐久性、密封性、抗震性能、安全性,延长混凝土的使用寿命,在确保混凝土质量的同时,减少维修费用,也节约了材料综合成本。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 唐睿志,赵瑞,张传振,等. 泡沫混凝土力学性能研究及应用[J]. 广东建材,2023,39(7):5-9,51.  
TANG R Z, ZHAO R, ZHANG C Z, et al. Research and application of mechanical properties of foam concrete[J]. Guangdong building materials, 2023,39(7):5-9,51.

- [ 2 ] 谢洪阳,戴宜文,董建军,等. 不同因素对泡沫混凝土性能的影响[J]. 中国粉体技术,2023,29(4):120-129.  
XIE H Y, DAI Y W, DONG J J, et al. Effects of different factors on the performance of foam concrete[J]. China powder science and technology, 2023,29(4):120-129.
- [ 3 ] 张伟,吴兆锋. 轻质泡沫混凝土的物理性能试验研究[J]. 中国新技术新产品,2023(6):102-104.  
ZHANG W, WU Z F. Experimental study on physical properties of lightweight foam concrete[J]. New technology & new products of China,2023(6):102-104.
- [ 4 ] 戎鑫,李建军,但宏兵,等. 磁化水的特性、机理及应用研究进展[J]. 材料导报,2022,36(9):65-71.  
RONG X, LI J J, DAN H B, et al. Research progress on the characteristics, mechanisms, and applications of magnetized water[J]. Materials reports, 2022,36(9):65-71.
- [ 5 ] 牛林菁. 磁化水混凝土梁斜截面受剪性能试验研究[D]. 焦作:河南理工大学,2022.  
NIU L J. Experimental study on shear performance of magnetized water concrete beams in diagonal sections[D]. Jiaozuo: Henan University of Technology, 2022.
- [ 6 ] 肖其远,龙广成,董荣珍,等. 基于电磁场方法的混凝土性能调控研究进展[J]. 硅酸盐学报,2022,50(11):2981-2991.  
XIAO Q Y, LONG G C, DONG R Z, et al. Research progress on concrete performance control based on electromagnetic field methods[J]. Journal of the Chinese ceramic society, 2022, 50(11):2981-2991.