

# 基于结构组成形态的沥青混合料路用性能研究

岳志强<sup>1</sup>, 赵宇成<sup>1</sup>, 王怡昕<sup>1</sup>, 董昭<sup>2</sup>, 徐书东<sup>2</sup>, 柳久伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>内蒙古高等级公路建设开发有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特

<sup>2</sup>山东省交通科学研究院, 山东 济南

收稿日期: 2022年3月1日; 录用日期: 2022年5月9日; 发布日期: 2022年5月17日

## 摘要

沥青路面作为我国路面结构的重要形式, 对我国的道路交通发展有着积极的推动作用。为进一步分析沥青混合料的组成结构形态对沥青路面路用性能的影响, 论文分别以AC-13、PAC-13、SMA-13作为典型代表分析了密实-悬浮结构、骨架-空隙结构、密实-骨架结构三种结构类型混合料的路用性能。研究表明骨架-密实类混合料具有更好的承载能力, 骨架-空隙类混合料具有更好的高温稳定性, 密实-悬浮类混合料具有更好的低温抗裂性和水稳定性, 为沥青混合料级配组成设计的选择提供了理论依据与技术支持。

## 关键词

沥青混合料, 组成结构, 路用性能, 道路工程

# Study on Pavement Performance of Asphalt Mixture Based on Structural Composition

Zhiqiang Yue<sup>1</sup>, Yucheng Zhao<sup>1</sup>, Yixin Wang<sup>1</sup>, Zhao Dong<sup>2</sup>, Shudong Xu<sup>2</sup>, Jiuwei Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inner Mongolia High-Grade Highway Construction and Development Co. Ltd., Hohhot Inner Mongolia

<sup>2</sup>Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Received: Mar. 1<sup>st</sup>, 2022; accepted: May 9<sup>th</sup>, 2022; published: May 17<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

As an important form of pavement structure in China, asphalt pavement plays a positive role in promoting the development of road traffic in China. In order to further analyze the influence of the composition and structure of asphalt mixture on the road performance of asphalt pavement, the

文章引用: 岳志强, 赵宇成, 王怡昕, 董昭, 徐书东, 柳久伟. 基于结构组成形态的沥青混合料路用性能研究[J]. 交通技术, 2022, 11(3): 178-185. DOI: 10.12677/ojtt.2022.113018

paper analyzes the road performance of three structural types of mixture, namely, dense suspended structure, skeleton void structure and dense skeleton structure, respectively, with AC-13, PAC-13 and SMA-13 as typical representatives. The research shows that the skeleton dense mixture has better bearing capacity, the skeleton void mixture has better high temperature stability, the dense suspension mixture has better low temperature crack resistance and water stability, which provides theoretical basis and technical support for the selection of asphalt mixture gradation design.

## Keywords

Asphalt Mixture, Composition Structure, Road Performance, Road Engineering

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着公路交通事业的高速发展, 沥青路面因其良好的路用性能得到广泛应用。沥青路面是指采用沥青作为胶结料将矿料按照一定的比例黏结在一起经摊铺、压实修筑而成的路面。由于沥青较强的黏结力, 提高了沥青混合料的强度和稳定性, 使沥青路面的使用质量及耐久性均得到了提高。与水泥混凝土路面相比, 沥青路面具有其独特的优势[1]:

- 1) 具有较强的承载力, 可以承受车辆荷载施加到路面上的各种作用力;
- 2) 是一种弹塑性材料, 能够承受应变而不发生破坏;
- 3) 具有较强的抗滑能力, 增大了轮胎与路面间的附着力, 减少了交通事故的发生;
- 4) 具有良好的减震、吸声效果, 降低了行车噪声;
- 5) 维修养护简便, 容易清扫和冲洗。

沥青混合料在组成结构形态上主要可分为三种典型结构[2], 即密实 - 悬浮结构、骨架 - 空隙结构、密实 - 骨架结构, 如图 1 所示。

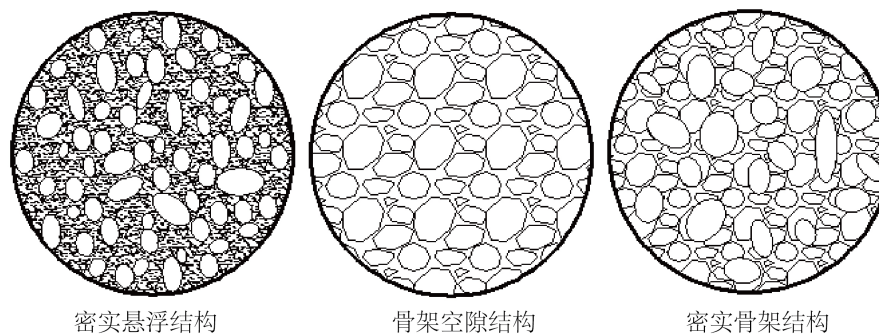


Figure 1. Typical composition of asphalt mixture

图 1. 沥青混合料典型组成结构

### 1) 密实 - 悬浮结构

该种结构形态的沥青混合料通常采用连续型密级配, 这种材料集料颗粒尺寸由大到小连续存在, 混

合料中细集料多而粗集料少，且粗集料间几乎没有接触，仅仅悬浮于细集料中，该结构沥青混合料具有较高的粘结力，但内摩阻力较小，混合料性能受沥青材料性质影响较大。典型代表是 AC 型密级配沥青混合料。

### 2) 骨架 - 空隙结构

该种结构形态的沥青混合料通常采用连续型开级配，混合料中细集料含量极少，主要依靠粗集料颗粒间的嵌挤作用和内摩阻力获得强度，该结构沥青混合料间具有较强的内摩阻力但粘结力较小，混合料性能受沥青材料性质影响较小。典型代表是 PAC 型或 OGFC 型开级配沥青混合料。

### 3) 密实 - 骨架结构

该种结构形态的沥青混合料采用间断型级配，综合以上两种结构类型特点，混合中既有足够数量的粗集料相互嵌挤形成骨架结构，又有一定数量的细集料填补粗集料间的空隙结构，该结构沥青混合料间既有较强的粘结力又兼具较大的内摩阻力。典型代表是 SMA 型间断级配沥青混合料。

沥青路面直接承受车辆荷载和大气环境因素的作用，为了保证路面为车辆提供稳定耐久的服务，沥青路面必须满足一定的路用性能要求，而混合料的组成结构形态对沥青路面的性能有着重要影响，论文以三种典型组成结构形态为基础，从高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等方面对混合料的路用性能进行了对比分析，为沥青混合料级配组成设计的选择提供了理论依据与技术支持。

## 2. 原材料选择与级配设计

### 2.1. 沥青

沥青作为胶结料可以将松散的集料黏结为一个整体而不产生位移，对沥青混合料的性能有着重要的影响[3]。SBS 改性沥青既提高了混合料的高温稳定性又提高了混合料的低温抗裂性，是道路工程中常用的胶结材料[4] [5] [6] [7]。论文选用 SBS 改性沥青作为密实 - 悬浮结构材料和骨架 - 密实结构材料的胶结料，其主要技术指标见表 1。

**Table 1.** SBS modified asphalt technical indicators

**表 1.** SBS 改性沥青技术指标

检测项目	技术要求	试验结果	试验方法	
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/0.1mm	60~80	68	T0604	
延度(5 cm/min, 5℃, cm)	≥20	28	T0605	
软化点(℃)	≥55	63.7	T0606	
运动粘度(135℃, Pa·s)	≤3	1.831	T0625	
闪点(℃)	≥230	331	T0611	
溶解度(%)	≥99	99.83	T0607	
25℃弹性恢复	≥65	95.7	T0662	
密度(25℃, g/cm <sup>3</sup> )	实测记录	1.020	T0603	
旋转薄膜 老化试验 (163℃, 85 min)	质量损失(%) 针入度比(25℃, %) 延度(5℃, cm)	≤±1.0 ≥60 ≥20	-0.27 77 26	T0610 T0604 T0605

对于骨架 - 空隙结构材料，混合料主要由粗集料组成，在车辆荷载和环境因素的作用下，混合料极

易发生松散剥落,造成沥青路面的破坏[8] [9] [10]。论文选用添加了TPS改性剂的高粘度改性沥青作为胶结料,高粘改性沥青可以有效增加集料间的粘结力,防止沥青路面松散剥落病害的发生[11] [12]。高粘度改性沥青主要技术指标见表2。

**Table 2.** Test results of high viscosity modified asphalt  
**表 2.** 高粘改性沥青试验结果

检测项目		技术要求	试验结果	试验方法
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/0.1mm		≥40	61.1	T0604
延度(5 cm/min, 5℃, cm)		≥30	52.1	T0605
软化点(℃)		≥80	87.9	T0606
动力粘度(60℃, Pa·s)		≥20,000	114,735.6	T0625
密度(25℃, g/cm <sup>3</sup> )		实测记录	1.028	T0603
旋转薄膜	质量损失(%)	≤±0.6	-0.06	T0610
老化试验	针入度比(%)	≥65	85.1	T0604
(163℃, 85 min)	延度(5℃, cm)	-	34.1	T0605

## 2.2. 集料

集料的岩性是影响沥青路面路用性能的重要因素,论文选用强度较高、磨耗性好、磨光值较小的玄武岩作为原材料,其主要技术指标见表3。

**Table 3.** Aggregate technical index  
**表 3.** 集料技术指标

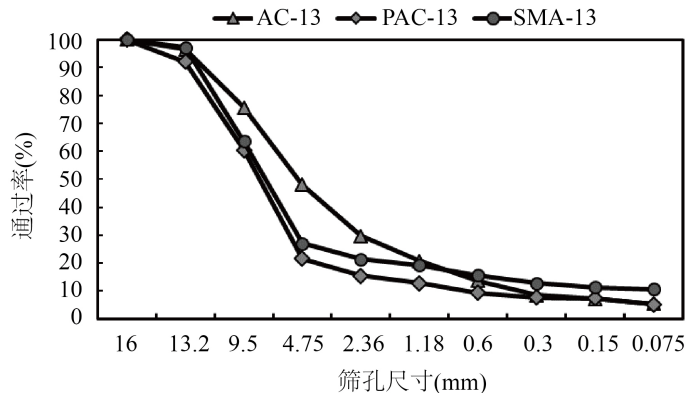
物理技术指标	单位	技术要求	试验方法	集料规格		
				10~15	5~10	0~3
毛体积密度	g/cm <sup>3</sup>	实测值	T0304-2005	2.682	2.938	2.792
表观密度	g/cm <sup>3</sup>	实测值		2.826	2.984	2.888
针片状含量	%	≤15	T0312-2005	6.13	5.76	-
压碎值	%	≤26	T0316-2005		13.88	
吸水率	%	实测值	T0304-2005	1.90	0.52	1.19
磨耗值	%	≤28	T0317-2005		14.98	
砂当量	%	≥60	T0334-2005	-	-	72.69
棱角性	s	≥30	T0345-2005	-	-	50.62
液限	%	≤25	T0118-2007	-	-	18.6
塑性指数	%	≤8		-	-	3.7

## 2.3. 级配设计

结合沥青混合料组成结构形态特点及原材料筛分结果,论文分别设计了AC-13、PAC-13、SMA-13三种典型结构形态,混合料级配设计见表4、图2。

**Table 4.** Mixture gradation design  
**表 4.** 混合料级配设计

级配类型 \ 筛孔(mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13	100	96.6	75.7	48.0	29.7	20.8	13.6	8.6	7.2	5.4
PAC-13	100	92.0	60.4	21.5	15.5	12.8	9.3	7.7	7.3	5.2
SMA-13	100	97.2	63.5	27.1	21.4	19.3	15.6	12.8	11.4	10.7



**Figure 2.** Mixture gradation curve  
**图 2.** 混合料级配曲线

### 3. 混合料路用性能对比分析

#### 3.1. 马歇尔稳定度

论文采用马歇尔击实法确定 AC-13 和 SMA-13 沥青混合料最佳沥青用量，并对 SMA-13 沥青混合料进行了飞散和析漏试验验证，确定 AC-13 沥青混合料最佳沥青用量为 4.7%，SMA-13 沥青混合料最佳沥青用量为 6.1%。由于 PAC-13 沥青混合料材料组成的特殊性，论文根据析漏试验确定其最大沥青用量，根据飞散试验确定其最小沥青用量，并在该沥青用量范围内根据飞散试验和析漏试验曲线的拐点确定 PAC-13 混合料最佳沥青用量为 4.9%。马歇尔稳定度反映了沥青混合料在规定条件下所能承受的最大荷载，一定程度上表征了混合料的承载能力。论文对比了三种混合料类型在最佳沥青用量条件下的马歇尔稳定度如图 3 所示。

由图 3 可知，密实型沥青混合料的承载能力远高于骨架空隙类混合料，由粗骨料构成骨架结构并根据空隙大小由细集料填充空隙的 SMA-13 沥青混合料承载能力最好，被广泛应用于高速公路的表面层。主要由细集料组成的 AC-13 混合料受沥青性能的影响较大，在保证沥青性能的基础上同样具有较好的承载能力，可广泛应用于高速公路和交通量较大的国、省道路。PAC-13 沥青混合料主要由粗集料组成，混合料间存在较多的空隙结构，承载能力相对较小，现阶段主要作为良好的功能层应用于交通量较小的城市道路。

#### 3.2. 高温稳定性

高温稳定性是指高温条件下沥青混合料在荷载作用下抵抗永久变形的能力，混合料高温稳定性不足易造成沥青路面车辙、推移、拥包等病害的发生[13][14]。论文通过车辙试验对三种类型沥青混合料的高

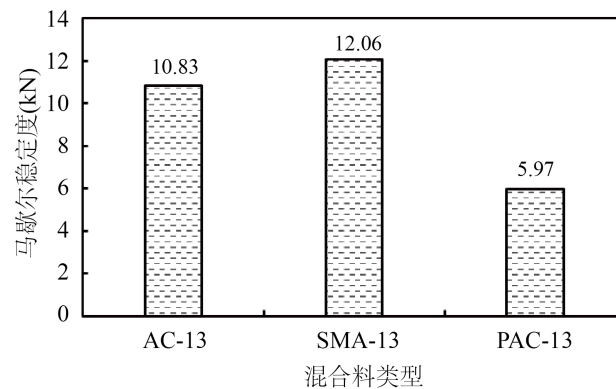


Figure 3. Mixture Marshall stability

图 3. 混合料马歇尔稳定度

温性能进行了试验对比分析, 混合料试件尺寸为长 300 mm × 宽 300 mm × 高 50 mm, 试验温度 60℃, 轮压为 0.7 MPa, 试验轮行走距离为 230 mm ± 10 mm, 往返碾压速度为 42 次/min ± 1 次/min。试验结果如图 4 所示。

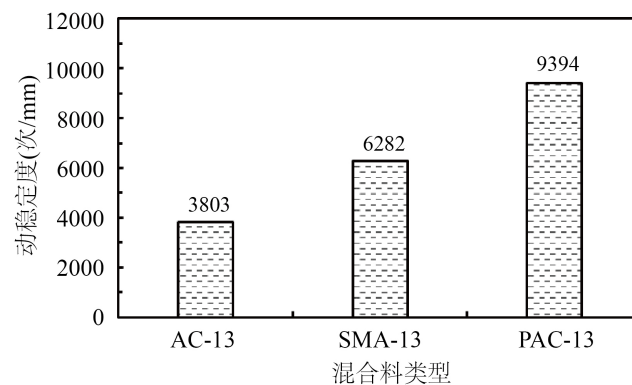


Figure 4. Mixture dynamic stability

图 4. 混合料动稳定度

由图 4 可知, 由粗集料构成骨架结构的沥青混合料具有更好的高温稳定性, 其中主要由粗集料相互嵌挤构成的 PAC-13 高温性能最好, 而更依靠沥青胶结作用形成的 AC-13 沥青混合料高温稳定性较差, 主要是由于高温条件下处于半固态的沥青混合料, 沥青及胶浆在荷载作用下首先发生流动, 导致混合料的粗、细集料组成的骨架逐渐成为荷载的主要承担者, 而 AC-13 混合料受沥青性能影响更大, 混合料间的摩阻力较小, 在车轮荷载作用下更易发生流动, 导致混合料骨架失稳, 形成车辙。PAC-13 混合料则主要由粗集料组成, 集料颗粒间相互嵌挤, 混合料间具有良好的摩阻力, 荷载作用下具有更好的稳定性, 不易产生车辙病害。

### 3.3. 低温抗裂性

沥青路面的低温开裂有两种形式: 一是气温突然降低, 在沥青层内产生的温度应力大于沥青混合料的抗拉强度, 导致沥青路面开裂。二是沥青混合料经受长时间的温度循环, 应力松弛性能下降, 极限拉应变变小, 导致沥青路面开裂[15] [16]。沥青路面开裂主要是由于温度下降引起材料的体积收缩, 产生温

度应力, 当应力达到材料的抗拉强度时, 沥青路面产生开裂。论文通过弯曲试验评价沥青混合料的低温拉伸性能, 混合料试件尺寸为长 250 mm × 宽 30 mm × 高 35 mm, 小梁跨径 200 mm, 试验温度 $-10^{\circ}\text{C}$ , 加载速率为 50 mm/min。试验结果如图 5 所示。

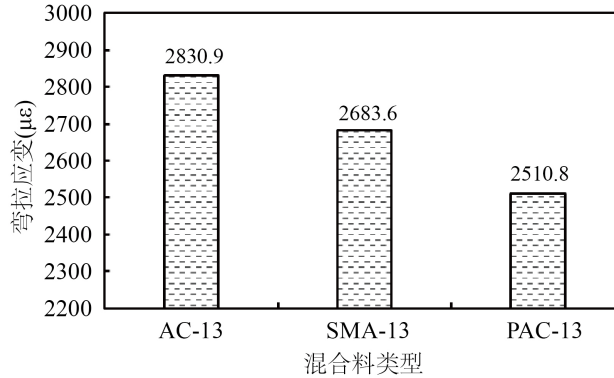


Figure 5. Low temperature flexural strain  
图 5. 低温弯拉应变

由图 5 可知, 密实型混合料的低温抗裂性能要优于骨架空隙率混合料。主要是由于骨架空隙类混合料自身的抗拉强度较小, 低温条件下产生了较大的温度应力, 导致混合料开裂, 表明 PAC-13 沥青混合料在低温抗裂和抗变形能力较低, 在寒冷低温地区不适宜采用骨架空隙类沥青路面。

### 3.4. 水稳定性

沥青路面的耐久性主要依靠沥青与集料间的粘附作用, 而水的存在会破坏沥青与集料间的粘附性, 造成沥青与集料脱离, 导致沥青路面松散、坑洞病害的发生。论文分别通过浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对沥青混合料的水稳定性进行了对比分析。浸水马歇尔试件在  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  的恒温水浴中保温 48 h 后进行马歇尔试验; 冻融劈裂试验先在  $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的环境中冷冻  $16\text{ h} \pm 1\text{ h}$ , 然后置于  $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  的环境中保温 24 h 后进行劈裂试验, 试验结果如图 6 所示。

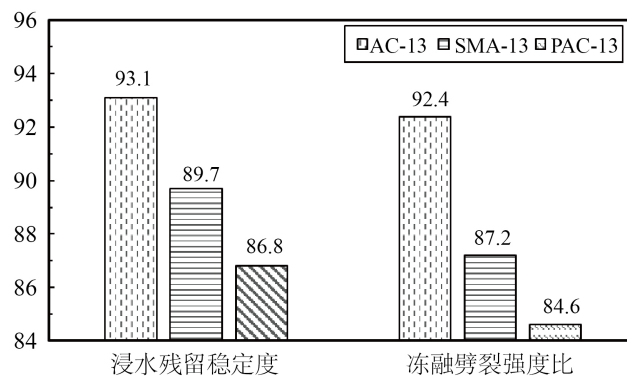


Figure 6. Water stability performance  
图 6. 水稳定性性能

由图 6 可知, 密实型混合料的水稳定性优于骨架空隙混合料。主要是由于骨架空隙类混合料间具有更多的空隙结构, 与水的接触面积更大, 水的浸润会导致沥青粘附性降低, 导致混合料强度和劲度降低,

其次水会浸入到沥青膜与集料间, 阻断沥青与集料间的粘结, 导致沥青从集料表面脱落。混合料间空隙率越小, 水对混合料粘附性的影响越小, 混合料的水稳定性越好。

#### 4. 结语

1) 混合料的结构组成形态对沥青路面性能有着重要影响, 骨架-密实类混合料和密实-悬浮类混合料的马歇尔稳定度明显高于骨架-空隙类混合料, 具有更好的承载能力。

2) 由粗集料组成的骨架-空隙类混合料和骨架-密实类混合料具有更高的动稳定度, 表明适当增加粗集料含量形成骨架嵌挤结构可以提高沥青混合料的高温稳定性。

3) 悬浮-密实类混合料和骨架-密实类混合料具有更好的低温抗裂性和水稳定性, 表明减小空隙率, 提高混合料的密实度是提高混合料低温性能和水稳定性的重要方法。

#### 参考文献

- [1] 黄晓明. 路基路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2017: 297-301.
- [2] 黄维蓉. 道路建筑材料[M]. 北京: 人民交通出版社, 2017: 187-194.
- [3] 郭金星, 张书华. 沥青种类对 SMA-13 级配的影响[J]. 公路交通科技, 2018, 35(9): 9-14.
- [4] 胡晋川. SBS 改性沥青混合料工程应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2004.
- [5] 查旭东, 谢忠杰, 陈定. SBS 改性沥青混合料 AC-13C 配合比优化[J]. 交通科学与工程, 2009, 25(2): 23-28.
- [6] 沈金安. 关于沥青混合料配合比设计确定最佳沥青用量的问题[J]. 公路, 2001(11): 3-7.
- [7] 王随原, 周进川. SBS 改性沥青混合料蠕变性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(12): 14-17.
- [8] 王慧, 刘黎萍, 朱琨琨. 排水性面层高粘度改性沥青的选择[J]. 公路工程, 2010, 35(5): 129-132.
- [9] 徐洪跃. 透水沥青混合料透水特性及路用性能研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(6): 42-47.
- [10] 蒋玮. 透水沥青路面材料和结构的组成设计与功能评价[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [11] 倪富健, 覃勉, 刘清泉. TPS 改性剂在排水性沥青混合料中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(10): 17-21.
- [12] 熊子佳, 程金梁, 邓成. 高粘改性剂对沥青及 OGFC 混合料性能的影响[J]. 大连交通大学学报, 2017, 38(5): 94-97.
- [13] 阮鹿鸣, 邹晓翎, 柴明明, 等. 高温地区沥青路面结构抗车辙性能分析[J]. 武汉理工大学学报, 2015, 37(11): 49-53.
- [14] 程亮, 王珏. 重载高温区沥青路面车辙的力学机理研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(11): 62-65.
- [15] 周超, 范文东, 经冠举. 改善沥青路面低温性能措施方法对比研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(3): 184-187.
- [16] 张争奇, 赵战利, 张卫平. 矿料级配对沥青混合料低温性能的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2005, 25(2): 3-7.