

# 大孔隙基体沥青混合料性能影响因素研究

牟长江, 程 凯, 刘 瑞

中化学交通建设集团有限公司, 山东 济南

Email: 601786908@qq.com

收稿日期: 2021年3月22日; 录用日期: 2021年5月7日; 发布日期: 2021年5月14日

## 摘 要

大孔隙基体沥青混合料作为灌注式半柔性路面结构的骨架, 对灌注式半柔性路面混合料性能起到至关重要的作用。本论文通过对比研究不同级配类型的嵌挤结构、不同的击实功、不同类型外加剂等因素对大孔隙基体沥青混合料性能的影响规律, 试验结果表明掺加适量5~10 mm集料的级配嵌挤结构整体性能更优, 掺加0.3%聚酯纤维与0.2%高黏剂, 单面击实75次, 此时大孔隙基体沥青混合料肯塔堡飞散试验结果最小, 马歇尔稳定度最大, 连通孔隙率与灌注率都能满足规范要求, 大孔隙基体沥青混合料性能最优。

## 关键词

大孔隙基体沥青混合料, 灌注式半柔性路面, 性能影响因素, 路用性能

# Study on Influencing Factors of Performance of Asphalt Mixture with Macroporous Matrix

Changjiang Mou, Kai Cheng, Rui Liu

China Chemical Transportation Construction Group Co., Ltd., Jinan Shandong

Email: 601786908@qq.com

Received: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2021; accepted: May 7<sup>th</sup>, 2021; published: May 14<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

As the skeleton of semi flexible pavement structure, asphalt mixture with macroporous matrix plays an important role in the performance of semi flexible pavement mixture. In this paper, the influence of different gradation types of embedded structure, different compaction work, different types of admixtures on the performance of macro porous matrix asphalt mixture is studied. The test results show that the overall performance of the graded embedded structure with appropriate amount of 5~10 mm aggregate is better. When 0.3% polyester fiber and 0.2% high viscosity

agent are added and one side is compacted for 75 times, the performance of macro porous matrix asphalt mixture is better. The results of Kentucky dispersion test are the smallest, Marshall stability is the largest, the connected porosity and filling rate can meet the requirements of the specification, and the performance of macroporous matrix asphalt mixture is the best.

## Keywords

Asphalt Mixture with Macroporous Matrix, Pouring Semi Flexible Pavement, Performance Factors, Road Performance

Copyright © 2021 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

灌注式半柔性复合路面结构, 在柔性大空隙基体沥青混合料中灌注刚性较强的无机胶凝材料与高分子有机材料的复合浆体, 经合理养生形成的兼顾沥青路面的行驶舒适性与混凝土路面的强度稳定性的路面结构, 同时灌注式半柔性复合路面结构具有优良的耐火、耐有机溶剂侵蚀的性能, 可以根据用户需求变换路面颜色, 因此半柔性路面多用于国省干线重载路段、交叉路口、公交站台、BRT 专用车道、收费站、机场、港口码头、隧道路面铺装等车辙严重区域[1] [2] [3]。

灌注式半柔性复合路面的结构强度主要来源于大孔隙基体沥青混合料骨架嵌挤作用与灌注的复合浆体的粘结作用, 大孔隙基体沥青混合料起至关重要的骨架作用[4] [5]。大孔隙基体沥青混合料为骨架嵌挤结构, 连通空隙率在 20%~30%之间, 可灌注效果良好。大孔隙基体沥青混合料最关键的两个指标为稳定性与可灌性, 强度高稳定性强对于支撑半柔性路面结构稳定性至关重要, 灌浆料的灌注难易程度与灌注饱满度直接影响到半柔性路面结构服役性能。本文设计了 3 种不同嵌挤结构的级配类型, 分别使用单面击实 50 次与 75 次进行性能验证优选最佳级配类型, 设计聚酯素纤维与沥青高黏剂作为外加剂进行混合料设计, 通过大孔隙基体沥青混合料体积指标、马歇尔稳定度、肯塔堡飞散损失、灌浆料灌入率等综合指标评价基体混合料性能, 期望通过试验分析得到影响大孔隙基体沥青混合料性能的关键因素。

## 2. 材料检测

### 2.1. 矿料

粗集料压碎值、针片状与粒型对于大孔隙基体沥青混合料至关重要, 直接影响半柔性路面结构抗滑性能。粗集料选用内蒙古卓资山产玄武岩, 依据路面结构厚度设计要求, 采用公称粒径为 9.5~19 mm 玄武岩、4.75~9.5 mm 玄武岩, 考虑到沥青胶浆与粗集料的粘附性, 细集料选用 0~2.36 mm 石灰岩机制砂, 矿粉选用石灰岩磨细矿粉, 参照《公路工程集料试验规程》(JTGE42-2005)中的有关方法进行检验, 集料与填充料检测结果如表 1~3 所示。

### 2.2. 外加剂

聚酯纤维常用于桥面铺装沥青混合料, 用来增加混合料韧性提高抗拉强度, 考虑到孔隙率较大避免堵孔, 本文采用长度 3 mm 短切纤维。沥青高黏剂加入沥青中能够明显改善沥青粘度, 提高软化点增强粘结性能, 外加剂检测结果如表 4、表 5 所示。

**Table 1.** Test results of coarse aggregate

**表 1.** 粗集料检测结果

技术指标	单位	技术要求	检验结果		检测方法
			9.5~19 mm	4.75~9.5 mm	
表观密度	g/cm <sup>3</sup>	≥2.6	2.908	2.905	T0304-2000
吸水率	%	≤2.0	0.59	0.66	T0304-2000
针片状含量	%	≤15	8.4	10.7	T0312-2001
压碎值	%	≤25	8.3	-	T0316-2002
洛杉矶磨耗值	%	≤30	12.1	-	T0317-2003
与沥青粘附性	级	≥4	4	-	T0616-2000

**Table 2.** Test results of fine aggregate

**表 2.** 细集料检测结果

技术指标	单位	技术要求	检验结果	检测方法
表观密度	g/cm <sup>3</sup>	≥2.6	2.732	T0328-2000
吸水率	%	≤2.0	1.54	T0328-2000
砂当量	%	≥60	71	T0334-2000

**Table 3.** Test results of mineral powder

**表 3.** 矿粉检测结果

技术指标	单位	技术要求	检验结果	检测方法
视密度	g/cm <sup>3</sup>	≥2.5	2.701	T0352-2000
含水量	%	≤1.0	0	T0103-2000
外观	-	无团粒结块	无团粒结块	—
粒径范围	<0.6 mm	%	100	100
	<0.15 mm	%	90~100	95.1
	<0.075 mm	%	75~100	93.4

**Table 4.** Polyester fiber test results

**表 4.** 聚酯纤维检测结果

技术指标	单位	技术要求	检验结果
长度	mm	3 ± 0.5	3.0
耐热性	—	体积无变化	体积无变化

**Table 5.** High viscosity test results

**表 5.** 高黏剂检测结果

项目	单位	技术要求	检验结果
外观	—	实测	黄色
粒径	mm	≤4	3.8
密度	g/cm <sup>3</sup>	0.7~1.0	0.9
吸水率	%	<1	0.2

## 2.3. 改性沥青

本文采用 SBS I-D 改性沥青, 参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTGE20-2000)中的有关方法进行检验, 该沥青各项指标符合规范要求, 沥青检测指标如表 6 所示。

**Table 6.** Test results of modified asphalt

**表 6.** 改性沥青检测结果

检测项目	技术要求	检测结果	试验方法	
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/0.1 mm	60~80	73	T0604	
延度(5 cm/min, 5℃, cm)	≥20	35	T0605	
软化点(℃)	≥55	65	T0606	
运动粘度(135℃, Pa·s)	≤3	1.825	T0625	
闪点(℃)	≥230	320	T0611	
溶解度(%)	≥99	99.82	T0607	
25℃弹性恢复	≥65	93	T0662	
密度(25℃, g/cm <sup>3</sup> )	实测记录	1.022	T0603	
质量损失(%)	≤±1.0	-0.23	T0610	
旋转薄膜老化试验 (163℃, 85 min)	针入度比(25℃, %)	≥60	75	T0604
	延度(5℃, cm)	≥20	25	T0605

## 3. 大孔隙基体沥青混合料性能影响因素

### 3.1. 级配与击实功影响规律

#### 3.1.1. 级配设计

根据混合料级配设计原理, 不同矿料比例合成级配可以得到不同嵌挤结构和孔隙率的大孔隙基体沥青混合料, 采用单一粒径矿料组成间断级配时合成的大孔隙基体沥青混合料为完全骨架嵌挤结构, 采用多级矿料间断级配合成的大孔隙基体沥青混合料为骨架填充嵌挤结构。本文按照级配设计原则合成完全骨架嵌挤粗级配、多级骨架嵌挤中级配、多级骨架嵌挤细级配三种级配曲线, 单面击实 50 次与 75 次, 按照预估油石比 3.4% 分别进行马歇尔击实试验, 验证大孔隙基体沥青混合料体积指标、马歇尔稳定指标、肯塔堡飞散损失与灌浆料灌注率, 综合评价级配与击实功对大孔隙基体沥青混合料性能影响程度, 矿料级配如表 7 所示, 级配曲线图如图 1 所示。

**Table 7.** Gradation composition of mineral aggregate t

**表 7.** 矿料级配组成

级配类型	9.5~19 mm 玄武岩	4.75~9.5 mm 玄武岩	0~2.36 mm 机制砂	矿粉
粗级配	87	0	10	3
中级配	79	8	10	3
细级配	75	8	14	3

从合成级配曲线图可以看出 3 条级配曲线呈明显的“S”形走向，研究表明具有这种级配曲线的沥青混合料具有更好的嵌挤能力，为了更好地分析骨架嵌挤级配混合料性能影响，粗级配 4.75~9.5 mm 集料全部剔除导致 9.5 mm 筛孔通过率偏低，三种级配设计全部剔除了 3~5 mm 集料，使得 2.36 mm~4.75 mm 这一粒径的集料较少，从而使粗集料充分嵌挤形成了骨架结构，沥青与矿粉形成的沥青胶浆使骨料粘结成为具有一定热稳定性的整体结构。

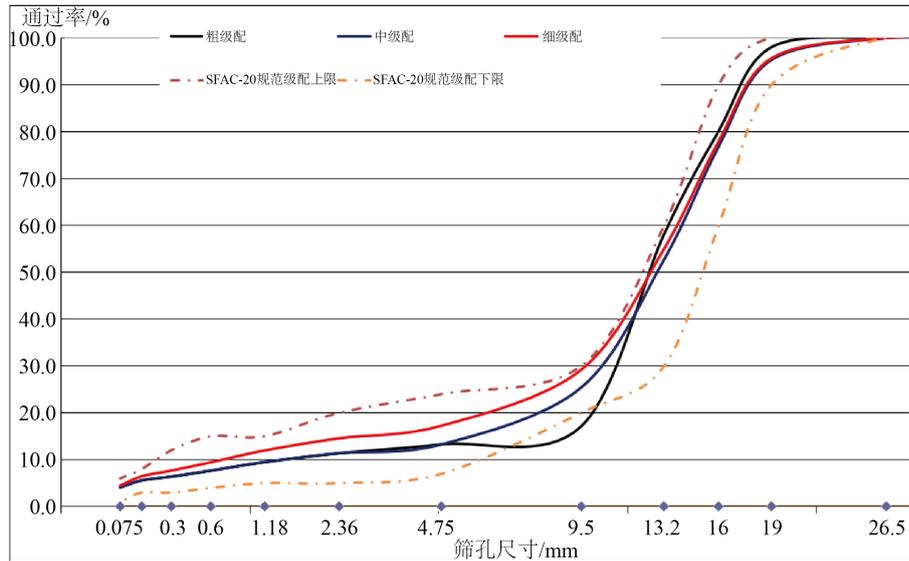


Figure 1. Composite grading curve  
图 1. 合成级配曲线

### 3.1.2. 不同击实功作用下性能影响

按照生产经验预估油石比 3.4%，分别按照单面击实 50 次与 75 次成型马歇尔试件，验证三种级配类型在不同击实功作用下的孔隙率变化规律、马歇尔稳定度变化规律、肯塔堡飞散损失变化规律与灌注率的变化规律，实验结果如表 8 所示，影响曲线如图 2 所示。

Table 8. Test results under different compaction work  
表 8. 不同击实功作用下试验结果

击实次数	连通空隙/%			飞散损失结果/%			稳定度/KN			灌注率/%		
	粗级配	中级配	细级配	粗级配	中级配	细级配	粗级配	中级配	细级配	粗级配	中级配	细级配
50	31.2	28.4	27.4	25.3	20.5	16.4	1.35	3.82	4.18	97.3	97.5	96.2
75	28.8	25.3	24.1	20.1	16.3	12.8	2.04	4.62	5.38	97.2	96.3	94.1

通过实验数据分析可知，三种合成级配类型随着击实功的增大连通孔隙率、飞散损失、稳定度都表现出相同的变化规律，灌注率变化规律不明显，分析原因由于实测连通孔隙率都在较高水平灌浆料都能够顺利灌注饱满，没有显著性的灌注率差异。随着粗集料用量越多连通孔隙率越大，飞散损失也越大，马歇尔稳定度变小。粗级配的飞散损失与马歇尔稳定度都不满足规范要求，完全的骨架嵌挤结构达不到要求的稳定度要求。单面 75 次击实结果 3 中级配类型性能指标较击实 50 次都有所增长，混合料没有击

碎现象且表现出更佳的效果。通过对比分析得出大孔隙基体沥青混合料最佳设计击实次数宜按照 75 次控制，级配类型宜按照中级配设计。

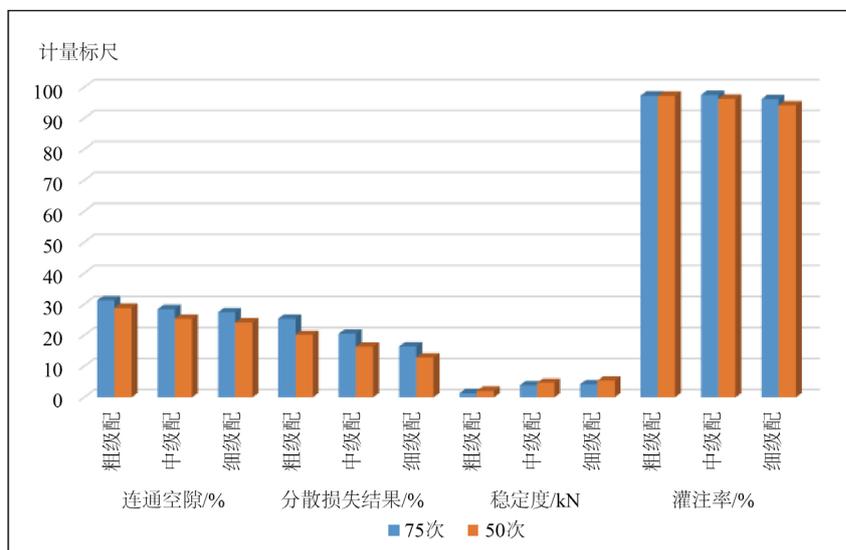


Figure 2. Performance influence curve of different compaction times  
图 2. 不同击实次数性能影响曲线

### 3.2. 外加剂类型影响规律

大孔隙基体沥青混合料强度来源于粗集料骨架结构嵌挤力与沥青胶浆的粘结力，骨架结构类型按照确定的中级配既能提够最佳的嵌挤效果，通过增加沥青粘度来提高沥青与矿料的粘结性能，纤维的加入起到沥青混合料加筋的作用以期获得预期效果。选用中级配作为目标合成级配，按照不参加外加剂、掺加 0.3% 聚酯纤维、掺加 0.2% 高黏剂、同时掺加 0.3% 聚酯纤维与 0.2% 高黏剂，单面击实 75 次，按照油石比 3.4% 成型马歇尔试件分别评价混合料体积指标、马歇尔稳定度、飞散试验损失与灌注率，混合料性能检测结果如表 9 所示，影响曲线如图 3 所示。

Table 9. Influence of different admixtures on Mixture Performance  
表 9. 不同类型外加剂对混合料性能影响

级配类型	连通孔隙率/%	飞散试验结果/%	稳定度/KN	灌注率/%
中级配 + 0	25.7	16.3	4.53	96.2
中级配 + 0.3% 纤维	22.1	12.3	5.36	93.1
中级配 + 0.2% 高黏剂	25.3	14.8	4.99	96.5
中级配 + 0.2% 高黏剂 + 0.3% 纤维	21.2	11.2	5.78	92.4

通过对比分析实验数据可知，同时掺加 0.3% 聚酯纤维与 0.2% 高黏剂之后大孔隙基体沥青混合料连通孔隙率最小但能够满足规范大于 20% 的要求，飞散损失最小，马歇尔稳定度最大，灌注率有所降低，同时添加两种外加剂对提高大孔隙沥青混合料性能作用明显。通过实验数据验证高黏剂能够增加沥青胶料与矿料的粘结性能，添加聚酯纤维之后对混合料的加筋效果明显，考虑到对连通孔隙率的影响选用 3 mm 短切纤维效果明显，对灌注率影响程度较小灌注率都能满足规范要求。

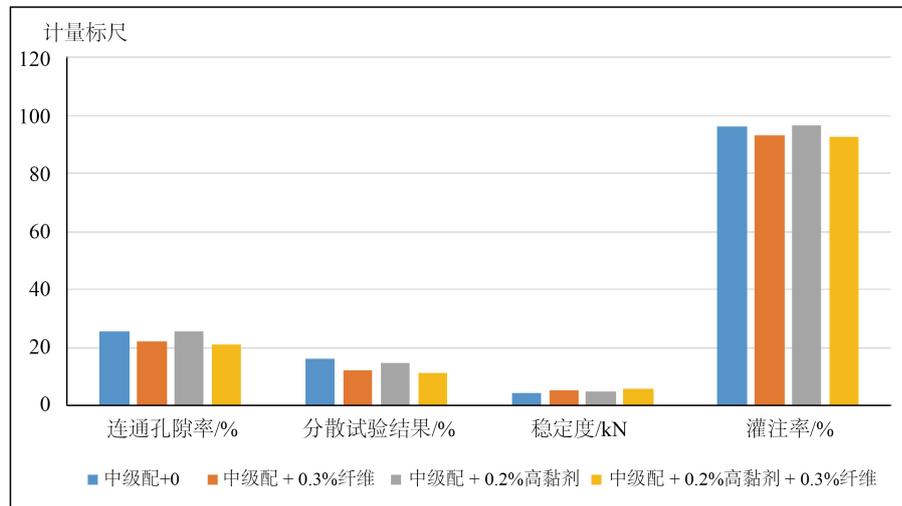


Figure 3. Influence of different types of admixtures

图 3. 不同类型外加剂影响规律

#### 4. 结论

(1) 大孔隙基体沥青混合料特有的骨架嵌挤结构强度决定了半柔性路面结构稳定性,大孔隙基体沥青混合料采用马歇尔配合比设计方法,采用中级配合成曲线组成骨架结构,单面击实 75 次成型马歇尔试件,能够达到最优的设计结果,基体沥青混合料体积指标、稳定度、飞散损失与灌注率全部达到理想结果。

(2) 单独掺加聚酯纤维与高黏剂对于大孔隙基体沥青混合料性能都有提升效果,但是同时掺加 0.3% 聚酯纤维与 0.2% 高黏剂对大孔隙基体沥青混合料飞散损失和稳定度都有显著改善,连通孔隙率与灌注率都能满足规范要求。

#### 参考文献

- [1] 董营营. 高性能半柔性路面设计参数及施工工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2008: 1-94.
- [2] 潘大林, 张肖宁. 半柔性路面基体沥青混合料的设计方法[J]. 中南公路工程, 2000(1): 22-23.
- [3] 李生隆, 孙登科, 胡玲玲. 半柔性复合路面设计与施工方法的探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2007(4): 70-73.
- [4] 胡玲玲, 刘祖国, 张大可, 等. 半柔性复合路面基体沥青混合料设计方法[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(5): 49-53.
- [5] 王亨庭, 易军艳, 王东升, 等. 复合混凝土基体沥青混合料空隙率设计方法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020(2): 245-249, 284.