

Optimization Design of Gradation for MS-III Micro-Surfacing Based on High Temperature Performance

Feng Jiang¹, Ailing Yao², Tianyu Wang², Fei Li³

¹Highway Management Bureau of Anji, Anji Zhejiang

²Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

³Henan Linfeng Landscape Construction Group Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Email: 527778861@qq.com

Received: Feb. 20th, 2018; accepted: Mar. 6th, 2018; published: Mar. 14th, 2018

Abstract

With its good performance and remarkable social and economic benefits, Micro-surfacing has a broad application in highway maintenance repair. Through contrastive analysis of the conventional grading at home and abroad, 7 mm mesh is increased between 4.75 mm and 9 mm mesh for grading control. Based on the preliminary design method of micro-surfacing, we used 9 orthogonal design methods to study the effect of aggregate accumulation on the high temperature performance of micro-surfacing mixtures. The results showed that gradation had a great influence on the high temperature performance of the mixture, and the 7 mm mesh had a significant effect on the bulk volume density and the Marshall stability. This paper not only proposed method—the maximum tapped bulk density method to determine optimum gradation, but also gives the optimal grading and grading range based on the high temperature performance of micro-surfacing, in order to provide a reference for the climatic zone that need to consider high temperature stability.

Keywords

Micro-Surfacing, Aggregate Gradation, Tap Bulk Density, High Temperature Performance

基于高温性能的MS-III微表处混合料级配优化设计

姜 锋¹, 姚爱玲², 王天宇², 李 飞³

¹安吉县公路管理局, 浙江 安吉

²长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安

³河南林峰园林建设集团有限公司, 河南 郑州
Email: 527778861@qq.com

收稿日期: 2018年2月20日; 录用日期: 2018年3月6日; 发布日期: 2018年3月14日

摘要

微表处以其优良的使用性能和显著的社会经济效益, 在公路养护中有着广泛的应用。本文在4.75 mm~9 mm筛孔之间增加了7 mm筛孔, 以便于更好的控制大粒径的级配; 在微表处混合料配合比初步设计的基础上, 采用正交设计法制定出9种不同的级配方案, 研究集料的堆积状态对微表处混合料高温性能的影响。结果表明, 级配对微表处混合料的高温性能有着较大的影响, 而且7 mm筛孔对微表处的毛体积相对密度和马歇尔稳定度有着显著的影响; 推荐出了最佳级配的确定方法——最大振实堆积密度法, 并给出了基于微表处高温性能的最优级配及级配范围, 可供需要考虑高温稳定性要求的气候区进行配合比设计使用。

关键词

微表处, 集料级配, 振实堆积密度, 高温性能

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

微表处养护技术以其养生和交通固化期较短, 能保持良好的抗滑耐磨性能、具有较高的经济和环保效益等特点, 得到了公路部门的广泛青睐。自2000年国家将微表处技术开发列入国家经贸委组织的“国家技术创新计划”以来, 微表处在我国多个省份得到了很好的推广和应用, 在应用中发现: ISSA微表处级配范围基本适合我国使用, 且微表处的油石比不宜过大[1]。此后东南大学对微表处作了系统的研究, 认为将改性剂进行复配(如2.5% SBS + 2.5% SBR)弥补了单用SBS延度较小和单用SBR弹性恢复差的弊端, 总体性能最优[2]。2006年交通部颁布的《微表处和稀浆封层技术指南》中对微表处原材料的技术要求、设计方法、技术指标等作了规定, 对微表处在我国的推广应用及其发展提供了规范与指南, 然而在实际操作过程中却存在着一系列的问题[3]。例如, 级配对微表处混合料的性能如何影响, 影响混合料性能的关键筛孔等问题均没有进行深入的研究。工程上在进行配合比设计时通常是套用规范中推荐的级配范围, 但是, 不同的气候与交通条件下, 最为关注的关键筛孔实质上是不同的。本文依托浙江省公路管理局的科技项目, 通过正交试验设计出9种矿料级配, 进行级配与MS-III型微表处高温性能的试验研究, 推荐出了最佳级配的确定方法——最大振实堆积密度法, 并给出级配范围以及影响微表处性能的关键筛孔, 实现级配设计方法与微表处混合料高温性能之间的科学联系。

2. 初拟微表处配合比

2.1. 试验原材料

微表处的主要原材料有: 改性乳化沥青、粗细集料、水泥、水。其中, 论文中采用的改性乳化沥青

由实验室自制而成,粗、细集料产自浙江安吉,粗集料为玄武岩,细集料为石灰岩。所用材料均符合《微表处和稀浆封层技术指南》[3]及《公路沥青路面施工技术规范》[4](JTGF40-2004)的要求。

2.2. 初拟微表处配合比

要确定微表处混合料的油石比,首先要进行集料的组成设计。根据《微表处和稀浆封层技术指南》[3]的级配范围,初步设计出MS-III型的集料比例为:0~3 mm、3~5 mm、5~10 mm = 55:25:20,为确定微表处的配合比提供基本数据。

混合料的配合比设计主要是解决乳化沥青与集料相容性的问题。对于冷拌和的封层系统,材料成分的相互作用是非常重要的,任何一个成分的变化都会改变整个混合料系统[5]。对MS-III型微表处,初步采用油石比为6.0%,水泥用量1%,选取四种加水量进行微表处混合料的拌和试验与粘聚力试验。拌和试验是为了保证微表处具有充足的拌和时间,为微表处摊铺和施工质量提供保障,微表处混合料的可拌和时间应不小于120 s。粘聚力试验则是为了确定微表处混合料摊铺后的初凝时间和开放交通时间。对初步拟定的MS-III型微表处配合比进行拌和以及粘聚力试验,试验结果见表1。表中油石比、水泥用量和外加水量均指占矿料的比例。

根据试验结果选择满足拌和时间和粘聚力试验的加水量。由表1可知6.5%与7.0%的加水量均能满足要求,同时在7.0%加水量时的粘聚力更好。因此,确定集料、水泥、水的比例为100:1:7。

2.3. 最佳油石比的设计

湿轮磨耗试验用于评价微表处混合料的耐磨性能,同时也用来限制沥青用量的最小值。负荷轮粘砂试验则用来限制沥青用量的最大值,防止因沥青用量偏大而导致路面泛油[6]。试验在6.0%~6.8%之间取5个油石比,并按照已确定的水、水泥用量进行试件制作。通过湿轮磨耗值和负荷轮粘砂量来确定满足微表处技术性能的油石比范围[7]。

以油石比为X轴,以1 h湿轮磨耗值及粘附砂量为Y轴,绘制成双Y轴曲线图(如图1),来确定符合要求的最大和最小沥青用量。其中最小油石比 $P_{b\min}$ 为 $WTAT(1h) = 540(g/m^2)$ 时的油石比,最大油石比 $P_{b\max}$ 为 $LWT = 450(g/m^2)$ 时的油石比。

可以看出,油石比在6.02%~6.73%范围内都能满足要求。考虑到依托项目浙江夏季湿热的气候特点,本文中确定微表处的最佳油石比为6.2%。

3. 集料级配的方案设计与试验的制作

比较MS-III级配中相邻筛孔尺寸差值将发现,4.75 mm和9.5 mm之间差值或间隔最大,且达到4.75 mm,而其他任何较大尺寸相邻筛孔间隔均小于4 mm,说明4.75~9.5 mm之间较大间隔必将给原本

Table 1. The mixing and cohesion test results of MS-III micro-surfacing

表1. MS-III微表处拌和试验及粘聚力试验结果

| 油石比(%) | 集料用量(g) | 水泥用量(%) | 外加水量(%) | 可拌和时间(s) | 粘聚力(N·m) | |
|--------|---------|---------|---------|----------|----------|--------|
| | | | | | 30 min | 60 min |
| 6.0 | 100 | 1 | 5.5 | 98 | - | - |
| 6.0 | 100 | 1 | 6.0 | 118 | - | - |
| 6.0 | 100 | 1 | 6.5 | 129 | 1.3 | 2.2 |
| 6.0 | 100 | 1 | 7.0 | 146 | 1.4 | 2.3 |

最需要精确控制的粗集料级配设计带来困难, 所以, 通过在 4.75~9.5 mm 之间增加一档 7 mm 的平均关键筛孔, 以实现了对大集料的严格控制。

3.1. 级配的正交试验设计

将《指南》[3]中的 MS-III 级配, 按照级配线形圆顺流畅的原则, 给出 7 mm 的筛孔通过量, 级配范围如表 2 所示。将 7 mm、4.75 mm、2.36 mm、0.075 mm 4 个筛孔的通过量作为 4 个因素, 给出每个筛孔的通过量取中值偏上、中值、中值偏下 3 个水平。

由 4 因素 3 水平可设计 $L_9(3^4)$ 正交表, 共 9 个方案。具体见表 3。

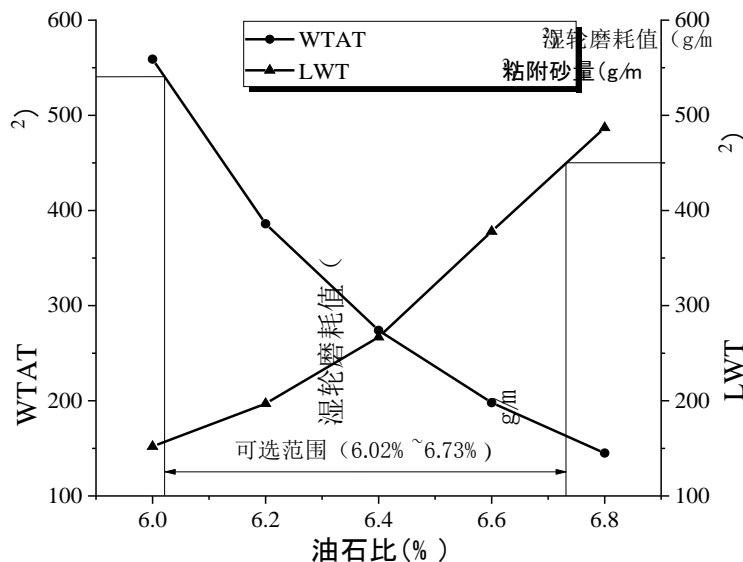


Figure 1. Curve: Determine the asphalt dosage of MS-III micro-surfacing
图 1. 确定 MS-III 微表处混合料沥青用量的曲线

Table 2. The gradation range of MS-III micro-surfacing

表 2. MS-III 型微表处级配范围

| 筛孔尺寸(mm) | 9.5 | 7 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
|----------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 通过率(%) | 100 | 100~80 | 70~90 | 45~70 | 28~50 | 19~34 | 12~25 | 7~18 | 5~15 |
| 级配中值 | 100 | 90 | 80 | 57.5 | 39 | 26.5 | 18.5 | 12.5 | 10 |

Table 3. The four factors and three levels of orthogonal test on MS-III micro-surfacing

表 3. MS-III 型微表处级配四因素三水平正交试验

| 处理号 | 7 mm | 4.75 mm | 2.36 mm | 0.075 mm |
|-----|------|---------|---------|----------|
| 1 | 86 | 72 | 47.5 | 6 |
| 2 | 86 | 76 | 52.5 | 8 |
| 3 | 86 | 84 | 62.5 | 12 |
| 4 | 94 | 72 | 52.5 | 12 |
| 5 | 94 | 76 | 62.5 | 6 |
| 6 | 94 | 84 | 47.5 | 8 |
| 7 | 98 | 72 | 62.5 | 8 |
| 8 | 98 | 76 | 47.5 | 12 |
| 9 | 98 | 84 | 52.5 | 6 |

Table 4. The tap bulk density test results of MS-III micro-surfacing
表 4. MS-III 型微表处各级配振实堆积密度试验结果

| 处理号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\rho(t/m^3)$ | 2.025 | 2.019 | 2.05 | 2.036 | 2.054 | 2.080 | 2.047 | 2.035 | 2.042 |

3.2. 振实状态下的堆积密度

集料的颗粒组成用级配表示, 集料的密实度和内摩阻力与其级配组成之间有着直接的关系。若各粒径集料颗粒在相互排列时, 能够互相嵌锁又不互相干涉, 形成紧密多级嵌挤的空间骨架结构, 则集料颗粒间将具有较大的内摩阻力。在一定的容量筒内, 所堆积的矿料越多, 即质量越大, 密度也越大, 说明级配的嵌挤填充越好。

本研究试验时, 对设计的每种方案采用振捣法测试其振实堆积密度, 密度最大者, 认为是集料堆积最好的方案。为了检验推断, 对正交设计的方案分别测试其振实堆积密度, 进行高温性能试验。振实堆积密度按照《公路工程集料试验规程》[8]的具体要求, 分三层装入容量筒中, 每装一层将一根直径为 25 mm 的圆钢筋放在筒底, 按住筒的边沿, 左右交替颠击地面各 25 次, 得到每一方案集料的振实堆积密度, 如表 4 所示。

3.3. 微表处混合料试件的制作

本文按照二次成型车辙板的方法成型长 300 mm × 宽 300 mm × 厚 50 mm 的车辙板, 首先在试模中铺一张裁好的普通纸, 使试模的底面及侧面均被纸隔离; 将拌和好的微表处混合料用小铲沿着试模按顺序先填补四个角, 再装入试模的中间部分, 将试件放置 1 h 后在车辙试样成型机上碾压 12 个往返; 将试模内第一次成型好的表面打毛, 再按上述方法将新拌和好的微表处混合料装入试模中进行第二次成型, 将试件放置 1 h 后碾压 12 个往返。压实成型后, 将盛有压实试件的试模, 在 60℃ 的烘箱中烘干, 不少于 48 h, 然后将试模冷却至室温时脱模。成型好的试件可用于进行车辙试验。

将试件置于钻机平台上固定, 钻机的直径为 100 mm, 钻取的芯样可用于马歇尔稳定度试验。

4. 级配对微表处混合料高温性能的影响

4.1. 试验方法与试验结果

反映热拌沥青混合料高温性能的指标常用的有马歇尔试验测得的稳定度以及车辙试验测得的动稳定度两个指标, 这两个指标都是在高温条件下进行测试的, 均能够很好地反映混合料的高温稳定性[9]。本文借鉴热拌沥青混合料的指标, 通过改变级配设计来分析级配对微表处混合料高温性能的影响, 以此为依据, 推荐出微表处混合料的最佳级配。

马歇尔稳定度试验方法简便, 是目前使用较为广泛的一种用来评价沥青混合料高温性能的重要方法。测试了试件的毛体积密度后, 将钻好的试件在 45℃ 的恒温水槽中保温, 保温时间 30 min; 以 50 ± 5 mm/min 的加载速度, 用马歇尔稳定度仪试验, 测试得出微表处混合料的稳定度(MS)以及相应的最大变形即为流值(FL)。

车辙试验评价沥青混合料对塑性流动变形的抵抗力是模拟行驶的汽车荷载进行的。将成型好的试件与试模一块放置在 45℃ 温度下, 试验温度为 45℃, 车辙试验设备以及试验后的试件见图 2。通过车辙试验测试出微表处混合料的动稳定度值。

4.2. 试验结果分析

毛体积相对密度是反映混合料致密程度的参数, 也是混合料体积指标计算的一个重要参数; 马歇尔稳定度和动稳定度越大, 说明混合料的高温性能越好[10]。根据表 5 中的结果给出集料的振实堆积密度与

马歇尔稳定性和动稳定性之间的关系，见图 3。

1) 从表 5 可知 6 号级配的毛体积密度、马歇尔稳定性、动稳定性均为最大，说明 6 号级配的混合料最优，而 6 号级配的振实堆积密度也是最大的，因此可以得出结论：振实堆积密度的大小能够反映级配的骨架和填充效果，采用集料最大振实堆积密度法可以实现对微表处混合料级配的优化。

2) 由图 3 可知，随着集料振实堆积密度的增大，混合料的马歇尔稳定性和动稳定性都是呈增加趋势，因而，基于微表处混合料的高温性能能够对该混合料进行级配的优化设计。

Table 5. The high-temperature performance test results of MS-III micro-surfacing

表 5. 各级配方方案微表处混合料的高温性能试验结果

| 处理号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 毛体积相对密度 | 2.326 | 2.33 | 2.337 | 2.351 | 2.348 | 2.363 | 2.339 | 2.341 | 2.345 |
| 马歇尔稳定性 (kN) | 1.49 | 1.27 | 1.71 | 1.55 | 1.93 | 2.1 | 1.65 | 1.53 | 1.47 |
| 流值(0.1 mm) | 34.3 | 40 | 35.8 | 32.5 | 43.4 | 42.1 | 54.9 | 50.8 | 38.7 |
| 动稳定性(次/mm) | 1.986 | 2.009 | 2.003 | 2.101 | 2.400 | 2.585 | 2.216 | 2.050 | 2.315 |



Figure 2. Rutting test equipment and test specimens

图 2. 车辙试验设备及试验后试件

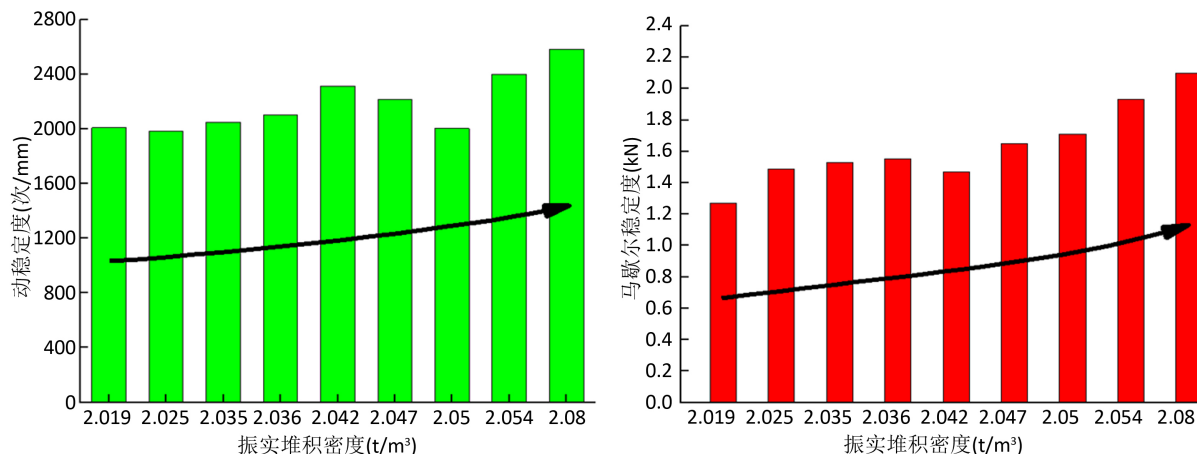


Figure 3. The relationship between tapped bulk density and Marshallian stability or dynamic stability

图 3. 集料的振实堆积密度与马歇尔稳定性和动稳定性之间的关系

4.3. 微表处混合料高温性能的正交试验极差分析

按照正交设计进行了马歇尔试验和车辙试验后,对 MS-III 微表处混合料毛体积相对密度、稳定度、动稳定度 3 个指标的 4 个不同影响因素(4 个筛孔)进行极差分析,得出影响各指标的最显著筛孔,分析结果见表 6。

通过极差计算分析可知:影响微表处的毛体积相对密度和马歇尔稳定度的最显著关键筛孔为 7 mm,影响动稳定度值的最显著筛孔是 2.36 mm,可见,对能够反映微表处混合料高温性能的不同指标,对应的关键筛孔的是不同的。

4.4. 微表处混合料最佳级配的推荐

通过分析集料的级配与微表处混合料高温性能之间的关系,最优的方案都是 6 号级配,据此,可给出基于高温性能的微表处混合料的最优级配,并给出级配的上下限范围,见表 7。为了便于比较,将《微表处与稀浆封层施工指南》[3]的 MS-III 微表处级配中值与本研究推荐的级配中值绘于图 4。

表 7 和图 4 可以看出,《微表处与稀浆封层施工指南》级配的中值并没有在基于高温性能优化给出的级配范围之内,可见,按经过高温稳定性优化出的级配范围比指南中给出的范围要大。在高温气候条件下,为了提高微表处的高温抗变形能力,推荐采用高温性能指标优化设计出的级配范围。

5. 结论

1) 集料级配对微表处混合料的高温性能有着较大的影响,同时,7 mm 筛孔对微表处的毛体积相对密度和马歇尔稳定度有着显著的影响。考虑到微表处混合料本身的高温性能,我们需对集料的级配进行优化设计。

Table 6. The orthogonal test range analysis table of MS-III micro-surfacing technical performance

表 6. 微表处混合料各项技术性能正交试验极差分析表

| 因素 | | 毛体积密度(g/m ³) | 稳定度(kN) | 动稳定度(次/mm) |
|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|------------|
| A (7 mm 筛孔) | K _{A1} | 2.331 | 1.49 | 1999 |
| | K _{A2} | 2.354 | 1.86 | 2362 |
| | K _{A3} | 2.342 | 1.55 | 2344 |
| | 极差 R ₁ | 0.023 | 0.37 | 363 |
| B (4.75 mm 筛孔) | K _{B1} | 2.339 | 1.56 | 2101 |
| | K _{B2} | 2.340 | 1.58 | 2303 |
| | K _{B3} | 2.348 | 1.76 | 2301 |
| | 极差 R ₂ | 0.009 | 0.20 | 202 |
| C (2.36 mm 筛孔) | K _{C1} | 2.343 | 1.71 | 2357 |
| | K _{C2} | 2.342 | 1.43 | 2142 |
| | K _{C3} | 2.341 | 1.76 | 2206 |
| | 极差 R ₃ | 0.001 | 0.33 | 215 |
| D (0.075 mm 筛孔) | K _{D1} | 2.340 | 1.63 | 2234 |
| | K _{D2} | 2.344 | 1.67 | 2270 |
| | K _{D3} | 2.343 | 1.60 | 2201 |
| | 极差 R ₄ | 0.004 | 0.07 | 69 |

Table 7. The recommended gradation range of MS-III micro-surfacing
表 7. 推荐的 MS-III 微表处级配范围

| 级配范围 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%) | | | | | | | | |
|---------|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 9 | 7 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.60 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 级配上限 | 100 | 100 | 89 | 52.5 | 36 | 26 | 19 | 14 | 12 |
| 级配下限 | 100 | 88 | 79 | 42.5 | 26 | 16 | 9 | 6 | 4 |
| 中值级配 | 100 | 94 | 84 | 47.5 | 31 | 21 | 14 | 10 | 8 |
| 波动范围 | | ±6 | ±5 | ±5 | ±5 | ±5 | ±5 | ±4 | ±4 |
| 指南级配的中值 | 100 | / | 80 | 57.5 | 39 | 26.5 | 18.5 | 12.5 | 10 |

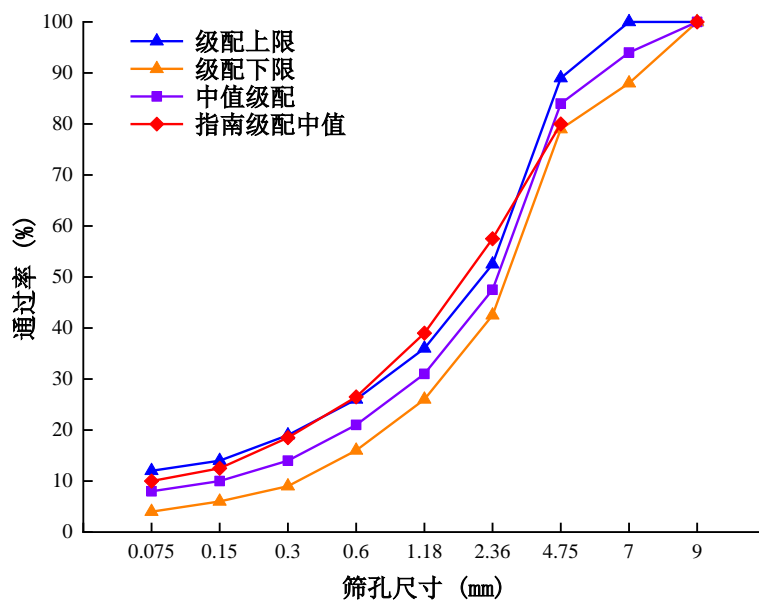


Figure 4. The recommended gradation range of MS-III micro-surfacing
图 4. 推荐的 MS-III 微表处级配图

2) 通过对集料振实堆积密度与微表处混合料高温性能的对比分析,我们发现振实堆积密度的大小能够反映级配的骨架和填充效果,集料最大振实堆积密度法能够作为一个简洁快速的评判级配优劣的指标,可为同类型工程进行级配优化设计提供理论支撑。

3) 基于 MS-III 微表处混合料的高温性能,我们优化出了最佳的级配范围,可供需要考虑高温稳定性要求的气候区进行配合比设计使用。

4) 对不同的微表处性能指标,所对应的最显著关键筛孔是不同的。为了针对不同的气候特征或者路用需求,在进行配合比设计时,应在满足推荐的最佳级配范围的条件下,尽量照顾关键筛孔的合成通过率值。

基金项目

浙江省公路管理局项目(2016-2-25)。

参考文献

- [1] 姜月波, 张长弓, 姚爱玲, 李飞. MS-III 型微表处混合料配合比优化设计方法研究[J]. 公路, 2015(8): 264-267.

- [2] 徐剑. 沥青路面微表处养护技术研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 东南大学, 2002.
- [3] 交通部公路科学研究所. 微表处和稀浆封层技术指南[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] 交通运输部. JTG E20-2011. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [5] 李荫国, 李桂芝. 对微表处用原材料选用及技术要求的建议[J]. 石油沥青, 2004, 18(6): 37-42.
- [6] 吴德龙, 马卫民. 微表处设计中乳化沥青用量的确定方法小议[J]. 石油沥青, 2004, 18(6): 47-48.
- [7] 周超, 吕蓬, 赵阳阳, 杨传光. 微表处混合料室内配合比设计方法研究[J]. 公路工程, 2014, 39(3): 161-164.
- [8] 交通部公路科学研究所. JTG E42-2005. 公路工程集料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [9] 徐剑, 秦永春, 黄颂昌. 微表处混合料路用性能研究[J]. 公路交通科技, 2002, 19(4): 39-42.
- [10] 钟建超, 何志勇, 姚爱玲, 杜金鹏. 低噪微表处混合料矿料级配优化设计[J]. 公路交通科技, 2014, 31(6): 41-46.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org