

Analysis of Rutting Resistance Performance Based on Structural Characteristics of Aggregate Space

Lei Feng, Xinrong Li*

Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi
Email: *retyryutuj@qq.com

Received: Jul. 1st, 2019; accepted: Jul. 18th, 2019; published: Jul. 25th, 2019

Abstract

In order to analyze the rutting resistance performance of different asphalt mixtures, this paper focuses on the spatial structure characteristics of asphalt mixture and starts from the volume index basing on the results of the rutting test. The computer-aided software is used to obtain the function curve between the VMA value, the VCAratio value and the dynamic stability DS and the 60 minutes rut depth of different asphalt mixture types. The trend of the change of the function curve was analyzed to evaluate the rutting resistance performance of different asphalt mixtures. And the continuous change law between the volume index of asphalt mixture and the rutting resistance performance is obtained, which provides the data support for subsequent related researches.

Keywords

Asphalt Mixture, Spatial Structure, Rutting Resistance Performance, Rutting Test

基于集料空间结构特征的抗车辙性能分析

鄢 磊, 黎新蓉*

桂林电子科技大学, 广西 桂林
Email: *retyryutuj@qq.com

收稿日期: 2019年7月1日; 录用日期: 2019年7月18日; 发布日期: 2019年7月25日

摘 要

为分析不同沥青混合料的抗车辙性能, 本文针对沥青混合料的空间结构特征, 基于车辙试验结果, 从体

*通讯作者。

积指标下手。借助计算机辅助软件得出不同沥青混合料类型的VMA值、VCARatio值与动稳定度DS、60 min车辙深度之间的函数变化曲线。分析其函数变化曲线变化趋势,评价不同沥青混合料的抗车辙性能,并得出沥青混合料体积指标与抗车辙性能之间的连续变化规律,为后续相关研究提供数据支持。

关键词

沥青混合料, 空间结构, 抗车辙性能, 车辙试验

Copyright © 2019 by author(s) 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. 国内外研究现状

沥青混合料是一种典型的粘弹性材料,其力学特性随着外界温度和荷载的变化而变化。由于材料本身的特性和外界环境的多样性,使得沥青路面车辙病害是一个世界性的难题。据不完全统计[1][2],在我国高等级公路维修中,车辙病害的发生率高达80%以上。因此对车辙病害的研究显得尤为重要,也是国内外研究人员一直关注的热点课题。

王端宜等[3]提出了基于粗集料接触点数量来评价沥青混合料的抗车辙性能。张德育等[4]对沥青混合料试件建立二维离散元模型,并进行车辙试验二维离散元模拟,通过集料的质心和角速度分析沥青混合料永久变形中粗集料的运动来评价其抗车辙性能。S.P.Atul Narayan等[5]研究了沥青混合料的力学特征如何影响其整体的非线性行为,分析了力学特性与沥青混合料路面车辙深度的相关性。Barugahare Javilla等[6]采用三种不同荷载组合在三种不同试验温度下进行车辙试验,得到车辙曲线在低于50℃时,其发展速度是线形的,但在高温下却呈指数增长。本文通过引入沥青混合料体积指标VMA、VCARatio和VV,基于车辙试验结果,利用计算机辅助软件生成不同沥青混合料体积指标VMA、VCARatio与车辙试验指标动稳定度DS、60 min车辙深度之间的连续函数变化曲线。车辙试验条件是在同一荷载和温度下进行,分析各函数变化曲线变化趋势,得出体积指标与抗车辙性能之间的连续变化规律。

2. 沥青混合料空间结构类型与体积指标

按照沥青混合料的矿料级配组成特点,将沥青混合料分为悬浮密实结构、骨架空隙结构和骨架密实结构。这三种空间结构的典型代表是AC型、OGFC型、SMA型沥青混合料,因此本次试验也采用这三种沥青混合料作为试验材料。沥青混合料常见的三大体积指标有矿料间隙率VMA、孔隙率VV、沥青饱和度VFA。其中VMA是沥青混合料的一个综合反映空隙率和沥青膜厚度的体积性指标,是反应抗车辙性能较为重要的指标;空隙率VV在沥青混合料的组成设计中占有很重要的位置,空隙率的大小直接与沥青混合料的抗车辙性能;实验数据处理和分析还需要一个指标来综合评定骨架状态,即VCARatio指标,其中 $VCARatio = VCAmix/VCADRC$,该指标用于衡量骨架的紧密程度,能够较好的反应不同沥青混合料的紧密程度的变化连续性。VCAmix表示压实状态下的粗集料骨架部分间隙率,VCADRC表示捣实状态下的粗集料骨架部分间隙率,VCADRC必须大于或等于VCAmix,其为判断粗集料能否形成骨架嵌挤结构的基本条件[7]。所以试验选取这三个体积指标作为变量因素,其他指标一致,得到不同沥青混合料车辙试件。

3. 车辙试验

3.1. 试验思路与材料准备

骨架结构对沥青混合料的高温性能影响最为显著。在温度和时间变化过程中, 车辙试验可以较好地反映出沥青混合料永久性变形的发展过程, 并与路面的实际受力情况比较相似。理论上, 沥青混合料的骨架性能越好, 抵抗永久性变形的能力越强。但车辙板总变形量的大小除受骨架结构的影响外, 与混合料的空隙率大小也有关联。

本次试验选取三个典型代表沥青混合料类型 OGFC-13、SMA-13 和 AC-13, 其中 AC-13 分为 AC-13 粗、AC-13 中和 AC-13 细, 共五种沥青混合料。测定不同体积指标下的动稳定度 DS、60 min 车辙深度, 以体积指标为横坐标, 动稳定度 DS、60 min 车辙深度为纵坐标生成函数变化曲线。根据《公路工程集料试验规程》[8], 以 4.75 mm 为关键性筛孔, 测出各集料中粗集料部分的相对毛体积密度, 从而计算出矿料中粗集料的合成毛体积相对密度。同时, 测量出实验前配制好的五种混合料的粗集料毛体积密度以及按捣实法测定的粗集料的自然堆积密度。得到的试验结果汇总如下(表 1~3):

Table 1. VCA indicators of five asphalt mixtures

表 1. 五种沥青混合料的 VCA 指标

混合料种类	AC-13 粗	AC-13 中	AC-13 细	SMA-13	OGFC-13
VCAmix	40.966	58.895	66.238	35.989	36.532
VCADRC	37.012	38.533	37.556	36.562	37.611
VCAratio	1.106	1.528	1.763	0.984	0.971

五种沥青混合料以选定的级配和最佳油石比制作的试件, 其 VMA 和 VV 值如下:

Table 2. VMA results of five asphalt mixtures

表 2. 五种沥青混合料的 VMA 结果

混合料种类	AC-13 粗	AC-13 中	AC-13 细	SMA-13	OGFC-13
VMA (%)	15.121	13.988	13.782	17.005	28.126

Table 3. Porosity of five asphalt mixtures

表 3. 五种沥青混合料的孔隙率

混合料种类	AC-13 粗	AC-13 中	AC-13 细	SMA-13	OGFC-13
VV (%)	4.918	3.931	3.027	4.005	20.402

3.2. 试验条件

车辙试验温度选择为 60℃, 轮压选择为 0.7 Mpa。用碾压机在一个方向碾压 12 个来回; 再调整成型试件方向, 碾压 6 个来回, 最后得到长 300 mm, 宽 300 mm, 厚度 50 mm 的车辙板试件。将静置 12 小时的车辙板进行脱膜处理, 并在温度为 60℃ 的保温箱中进行保温处理。将车辙板移至车辙试验机试验轮下方中部位置, 注意要使车轮的行走方向与试件碾压方向相符。车辙板在车轮下碾压 60 min 后, 实验结束, 变形曲线由记录仪自动记录。

3.3. 试验数据整合

试验数据如图 1~6 所示:

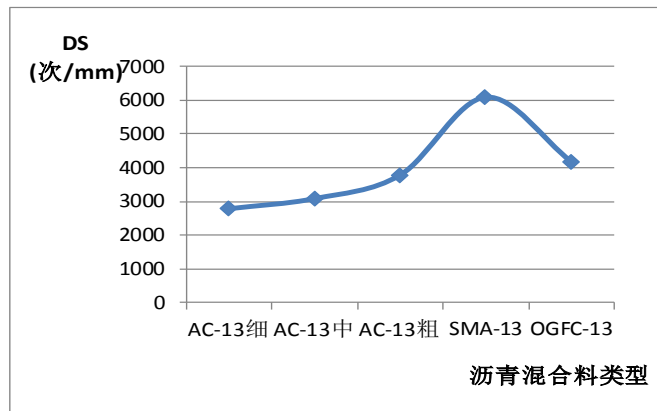


Figure 1. Dynamic stability of different
图 1. 不同类型沥青混合料的动稳度

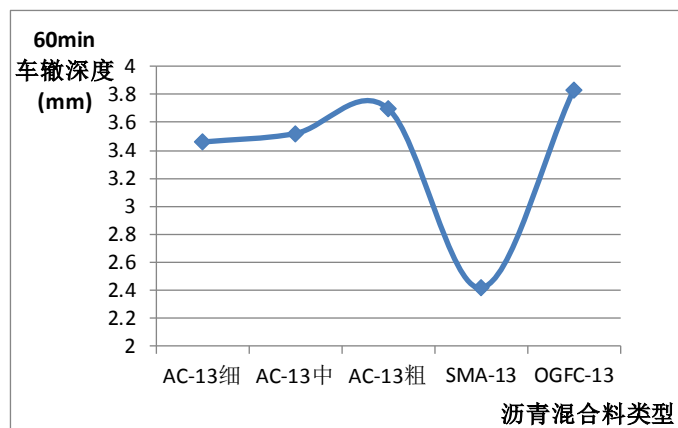


Figure 2. Different types of asphalt mixture types of asphalt mixture 60 minutes rut depth
图 2. 不同类型沥青混合料 60 min 车辙深度

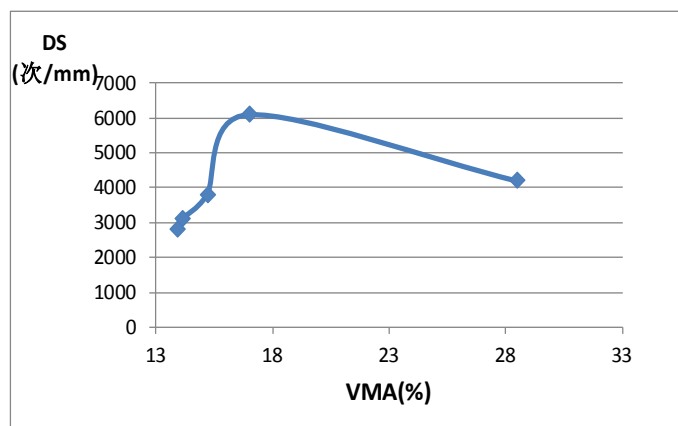


Figure 3. DS-VMA
图 3. DS-VMA

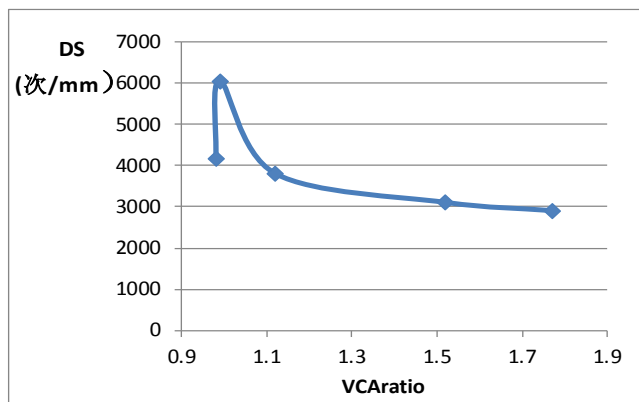


Figure 4. DS-VCAratio

图 4. DS-VCAratio

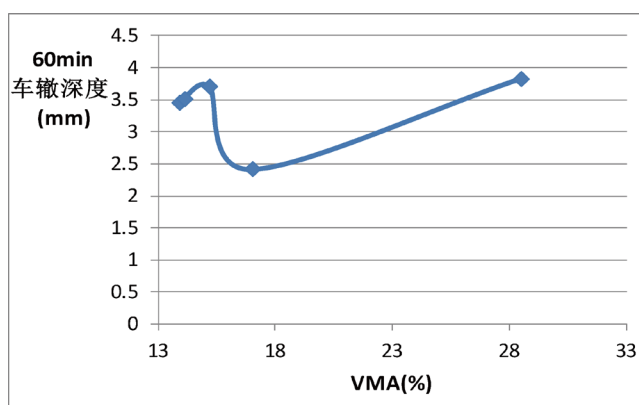


Figure 5. 60 minutes rut depth—VMA

图 5. 60 min 车辙深度—VMA

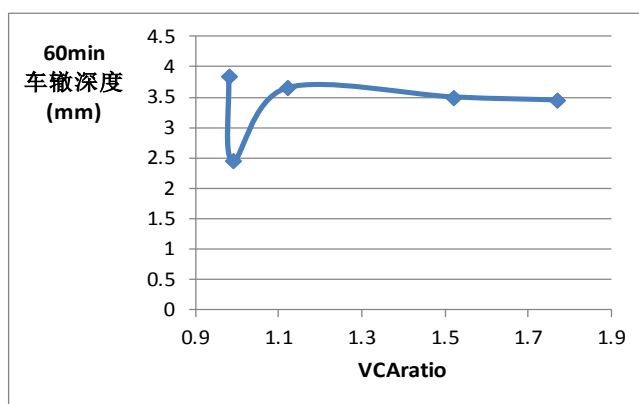


Figure 6. 60 minutes rut depth—VCAratio

图 6. 60 min 车辙深度—VCAratio

4. 抗车辙性能分析评价

以 VCAratio 指标来衡量这五种类型沥青混合料的骨架结构,其骨架紧密程度由大到小为:OGFC-13 > SMA-13 > AC-13 粗 > AC-13 中 > AC-13 细。其中,对于 OGFC-13 和 SMA-13,无论是在 4.75 mm~9.5 mm 级配斜率还是空间结构 VCAratio 指标的反映上,其骨架紧密程度接近,OGFC-13 略大于 SMA-13。而对

于 AC-13 粗、中、细, 均未形成骨架嵌挤结构, 但 AC-13 粗的骨架接近程度明显优于 AC-13 中和 AC-13 细, 抗车辙的能力也较强。这对混合料级配设计有一定的参考价值: 通过适当调整 4.75 mm~9.5 mm 档集料含量, 可以提高沥青混合料的抗车辙性能。

由图 3 可以看出, 在 VMA 由第一个点增加到峰值点的过程中, 动稳定度不断增大, 并且斜率较陡, 动稳定度增长较快; 在 3 点和 4 点之间的斜率, 较前三点之间的斜率增长更快, 说明在 VMA 较小时, 沥青混合料的抗车辙性能对 VMA 的敏感性较大, 且在 3 点和 4 点之间, 敏感性最高。在 4 点以后, 呈下降趋势, 且斜率较缓。说明当 VMA 继续增大时, 抗车辙性能变差, 但此时对 VMA 的敏感性降低。

在图 4 中, 除 OGFC-13 点所对应的 VCAratio 外, 随 VCAratio 值的减小, 动稳定度逐渐增强, 说明抗车辙性能随骨架紧密程度的增强而增强。2 点和 3 点间斜率明显大于后三点的斜率, 说明 VCAratio 值与 1 的大小关系对于混合料的抗车辙性能有较大的影响。而 1 点和 2 点斜率最大, 且与整体趋势相反。1 点和 2 点 VCAratio 值非常接近, 结合图 3, 两者的主要差别在于 VMA 值相差过大, 说明在骨架紧密程度接近时, VMA 值对抗车辙性能具有一定的影响, 但此时动稳定度对 VMA 的敏感性变低, 说明影响变小, 这说明此时骨架结构的形成与否成为影响抗车辙性能的关键因素。实际上, 这是由于沥青对温度的敏感性比较高。悬浮密实结构由于未形成骨架, 其强度主要靠沥青与混合料之间的粘结性来提供, 受沥青材料的性质和物理状态影响很大, 因此其抵抗高温变形的能力较差。而骨架密实结构, 其强度除了依靠沥青与混合料的粘结性以外, 主要依靠骨架之间的嵌挤力, 受温度的影响比较小, 抵抗高温变形的能力较强。

如图 1 所示, OGFC-13 的骨架性能优于 SMA-13, 但动稳定度却与 SMA-13 相差较大。原因有以下两点: 1) OGFC-13 在空间结构上发生变化, 其骨架结构使其抗车辙性能高于悬浮密实结构, 但其空隙率较大, 在骨架结构与 SMA-13 相差不大的情况下, 车辙深度明显变大, 动稳定度有所降低。2) 在路用排水性沥青路面中, 需要在基质沥青中加入 TPS 形成高粘改性沥青, 以防止集料产生离散。而在本试验中, 为了研究集料空间结构而采用控制变量的方法, 统一使用改性沥青。这样在一定程度上, 相对于其他空隙率较小的沥青混合料类型而言, OGFC-13 形成的试件强度构成略有不利影响。车辙深度与 VCAratio 存在一定的抛物线关系, 在悬浮密实结构中某一点出现峰值, 即抵抗高温变形的能力最弱。其后, 抵抗高温变形的能力随骨架结构的增强而增强。

由图 6 可以看出, 该结论与本实验结果有一定的符合性, 但在 OGFC-13 一点对应的 VCAratio 处存在偏离。该结果是由于 OGFC-13 与 SMA-13 的 VMA 值相差过大之一变量因素而引起的。如图 5 所示, 随着 VMA 的增长, 车辙深度先增加, 后骤然降低, 到低谷后, 随着 VMA 的继续增加, 车辙深度又开始增加。除了 SMA 点对应的车辙深度, 整体上车辙深度随 VMA 呈现增长趋势。在图 2 中, OGFC-13 的 60 min 车辙深度明显比其他四种混合料大很多。AC-13 粗也大于 AC-13 中和 AC-13 细, 而 SMA-13 车辙深度在最低谷。与图 1 的动稳定度相比, 除 SMA-13 较符合外, 其他混合料排序动稳定度和车辙深度反映的抗车辙性能具有一定的矛盾性。这说明车辙深度和动稳定度并没有很好的相关性, 除骨架程度外, VMA 和 VV 等因素会对车辙深度产生较大影响。当空隙率过大时, 如骨架空隙型沥青混合料, 即使骨架性较好, 也会产生较大的车辙深度。

5. 结语

1) 当 VMA 值不同, 沥青混合料的抗车辙性能对其敏感性也不同, 且变化较大, 结果表明 3 点到 4 点之间的变化速度是最快的。

2) VCAratio 值与 1 的大小关系对抗车辙性能具有较大的影响, 整体趋势上, 随 VCAratio 的减小, 混合料的抗车辙性能逐渐增强, 在实际应用中可利用这一相关关系保障路面的抗车辙性能。

3) 从实验结果可知, 三种空间结构抵抗高温变形的能力由强到弱的顺序为: 骨架密实型, 骨架空隙型, 悬浮密实型; 不同等级路面或不同功能路面层可以选用不同材料, 以达到工程要求的经济目的。

4) 在实际工程中, 文中所给出的函数变化曲线图可以作为变化规律, 其变化的快慢即相应的函数曲线变化率可以反应不同体积指标对抗车辙性能的敏感性。这一点很有利用价值, 可以通过其来控制抗车辙性能的变化。目前在国内外, 对沥青路面的抗车辙性能的研究长期以来虽一直在进行, 但车辙病害却仍然没有得到实质的解决。还需不断积极探索, 使相关研究工作进一步开展。

项目信息

广西高校大学生创新创业项目(编号: 201810595012)。

参考文献

- [1] 孟昕. 高速公路沥青路面车辙等早期病害防治的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [2] 吕伟民, 孙大权. 沥青路面早期车辙原因分析与防治对策[J]. 石油沥青, 2014, 37(4): 16-18.
- [3] 王端宜, 黎侃, 蔡旭. 基于集料接触特性的沥青混合料抗车辙性能评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, 40(11): 121-126+154.
- [4] 张德育, 白桃, 黄晓明, 等. 沥青混合料永久变形过程中粗集料空间运动分析[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(3): 421-427.
- [5] Atul Narayan, S.P., Little, D.N. and Rajagopal, K.R. (2014) Analysis of Rutting Prediction Criteria Using a Nonlinear Viscoelastic Model. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27, Article ID: 04014137. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001078](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001078)
- [6] Javilla, B. and Mo, L. (2017) Systematic Comparison of Two-Stage Analytical Rutting Models of Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*, 153, 716-727. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.083>
- [7] 邱颖峰, 许志鸿, 黄启舒. 级配对沥青混合料高温稳定性影响的研究[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(2): 10-15.
- [8] 中华人民共和国行业部标准. 《公路工程集料试验规程》(JTGF40-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

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

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org