

文章编号: 1671-6833(2006)04-0044-05

基于图像的粗集料形态对沥青面层抗剪性能的影响

肖源杰¹, 倪富健¹, 蒯海东², 都敬丽¹

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 世宗大学土木与环境工程学院, 韩国 首尔 143-747)

摘 要: 由轮廓形状、棱角性和表面纹理量化的矿质集料的形态(形状特征)对沥青混合料的性能具有极为明显的影响. 为研究粗集料形态对沥青面层抗剪性能的影响, 将粗集料形态视为首要因素, 定义了基于图像的粗集料形状参数, 采用编制的图像处理程序, 获取了五组颗粒形状特征不同的粗集料其形状参数, 运用单轴贯入试验分析了粗集料形态参数对 SAC-16 混合料抗剪强度的影响. 结果表明, 粗集料各种形态参数对混合料抗剪强度都有不同程度的影响, 且扁平比对抗剪强度的影响最大, 必须控制粗集料中扁平颗粒的含量.

关键词: 粗集料形态; 沥青混合料; 抗剪性能; 单轴贯入试验; 图像分析

中图分类号: U 414

文献标识码: A

0 引言

目前随着我国高速公路里程的与日俱增, 沥青路面的破坏也出现了新的趋势, 造成了巨大的经济损失. 由于超载超限现象普遍存在, 多轴次、重轴载、高轮压等重载交通的出现, 在轮载作用下其非均布荷载将在混凝土面内产生较大的剪应力^[1], 对于面层抗剪性能不足的沥青路面, 这可能将是路面出现大面积损坏的根本原因, 而现行沥青混合料设计和评价方法又不能反映材料的抗剪能力, 所以有必要重点研究沥青混合料的抗剪性能并提出有效的沥青混合料抗剪性能评价方法. 影响沥青混合料抗剪性能的因素有许多, 就集料方面而言, 主要包括颗粒形状和性质、最大粒径、集料级配和集料的骨架等, 由于缺乏有效的技术手段定量测量集料特性, 目前关于这些因素对抗剪性能的影响只是局限于定性层面, 相关的定量研究却比较少. 为了弥补这方面的不足, 作者将试探性地利用图像分析技术展开研究, 为沥青混合料材料选择阶段提供一套可定量评价粗集料抗剪能力的方法, 为沥青混合料抗剪性能设计和评价提供参考和指导.

1 粗集料形态参数及其数字图像实现

1.1 粗集料形态参数介绍

大量的研究结果表明, 粗细集料颗粒的形状、棱角性和表面纹理会影响集料之间的共同作用和集料与沥青胶结料之间的相互作用, 还与路面层的耐久性、施工和易性、抗剪和抗拉强度、劲度、疲劳响应、最佳沥青含量和最终性能等有关, 尽管对集料形状特征的影响已经有了普遍的认识, 但目前并没有标准的试验方法来直接和客观地测量集料的棱角性和表面纹理. 目前我国的规范对沥青混合料用粗集料的形状特征没有相应的试验方法和技术指标, 这方面的相关研究也极少, 美国虽已出台了一些规范如 ASTM C1252-03、ASTM D3398-00 和 AASHTO TP56(AASHTO 2003)等, 但这些方法并不能精确地应用于大范围的集料, 且只是间接地测量集料颗粒的形状和纹理^[2~4]. 近年来, 由于图像分析技术已成功运用于材料科学及岩土工程等不同领域的材料微观结构分析之中, 故图像处理技术也开始被引入道路工程来测定集料的形状特征, 它可以对不同尺寸的各种类型的集料形状特征进行快速、精确和客观的测量. 利用图像处理和分析技术, 粗集料的形状特征完全可以用以下 3 个指标来量化: 轮廓形状(Fom)、棱角性(Angularity)和表面纹理(Surface Texture), 其示意图如图 1 所示.

收稿日期: 2006-07-11; 修订日期: 2006-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472120)

作者简介: 肖源杰(1984-), 男, 湖南衡阳人, 东南大学硕士研究生, 主要研究方向为道路工程.

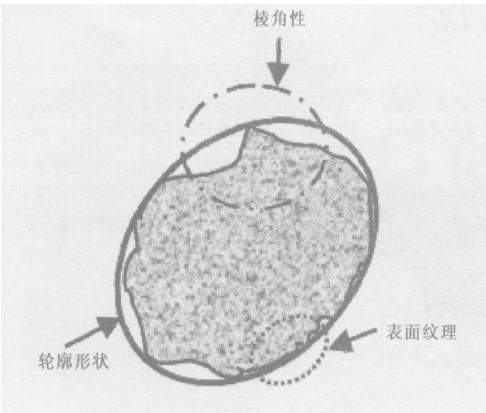


图 1 集料形态指标示意图

Fig.1 Schematic diagram of aggregate shape properties

综合国内外的研究成果以及本研究所做的大量比对试验结果^[3~5],作者根据集料三维视图确定了 6 个基于图像的关键性指标来描述粗集料的个体形状特征,即圆形度 ROUND (Roundness)、纵横比 AR (Aspect Ratio)、近似多边形周 APPR (Approximating Polygon Perimeter Ratio)、球形度 DS (degree of Sphericity)、扁平比 FER (Flat/Elongated Ratio)和形状因子 SF (Shape Factor),其中扁平比和形状因子指标相类似,具体介绍见表 1,其中 D_1 和 D_2 分别为图 2 正面图中每个颗粒的最小外接矩形的长和宽, D_3 为对应的侧面图中颗粒高度, $D_L = \text{Max} (D_1, D_2, D_3)$, $D_S = \text{Min} (D_1, D_2, D_3)$,剩下的一个中间值计为 D_i .

表 1 所确定的粗集料个体形态 6 个关键性指标

Tab.1 The six key parameters of individual coarse aggregate

指标维数	名称	定义/计算公式	表征的形状特征
二维指标	圆形度 ROUND	集料颗粒周长的平方与面积 4π 倍的商 (圆形颗粒值为 1,其他大于 1)	轮廓形状
	纵横比 AR	集料颗粒等效椭圆的长轴和短轴之比 (面积和一、二阶矩等效,即图 2 中的 D_1 和 D_2 之比)	
	近似多边形周长比 APPR	集料颗粒周长与轮廓近似多边形周长比值的平方	棱角性和纹理
三维指标	球形度 DS	$DS = \sqrt[3]{D_S \cdot D_i} / \sqrt[3]{D_L^2}$	轮廓形状
	扁平比 FER	$FER = D_L / D_S$	
	形状因子 SF	$SF = D_S / \sqrt{D_L * D_i}$	

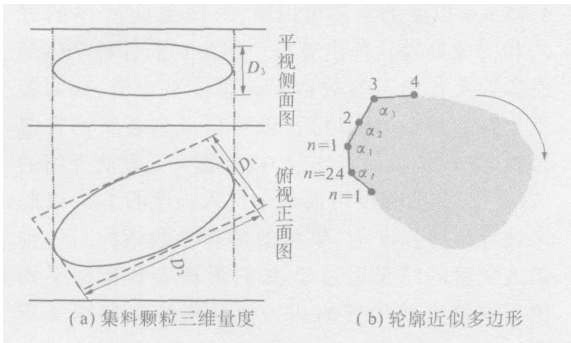


图 2 集料颗粒三维量度和轮廓

Fig.2 Schematic diagram of the 3-D measurement and the outline approximating polygon for aggregate particle

以上给出了粗集料个体的形状特征计算指标,由于研究集料的目的主要是研究其形状特征对沥青混合料宏观性能的影响,而宏观性能不是通过单个集料的形状特征表现出来,因此有必要研究一定数量集料总体的形状特征.对于集料总体的形状指标,考虑到与集料级配建立联系,作者采用集料复

合形状指标 $\sum_{i=1}^n [(a_i)(index_i)] / \sum_{i=1}^n a_i$,它是所设计混合料中所用粗集料经图像处理之后单个平均指标的加权总和,其中变量 a_i 是混合料设计中第 i 级粗集料的质量百分比,变量 $index_i$ 是混合料设计中第 i 级粗集料某一基于图像的指标的平均值,最终的累加计数器 n 是混合料中粗集料的粒径级数.由于该方法比较精确、计算方便且易于编程,故作者将采用这种方法来计算集料总体的形状指标.

1.2 粗集料形态参数的计算机程序实现

作者专门开发了基于 VC++ 的数字图像处理程序来求算粗细集料的个体及总体形状特征指标,程序主要包括两大模块,即粒径小于 4.75 mm 的细集料分析模块和粒径大于 4.75 mm 的粗集料分析模块^[6,7].将需要计算形状特征参数的粗集料分组按一字形排列于拍摄台上,分别获取粗集料的正面和侧面彩色图像,然后将彩色图像进行阈值化处理获得二值灰度图像,然后用本研究开

发的处理软件进行求算,具体流程及软件界面如图 3 所示.

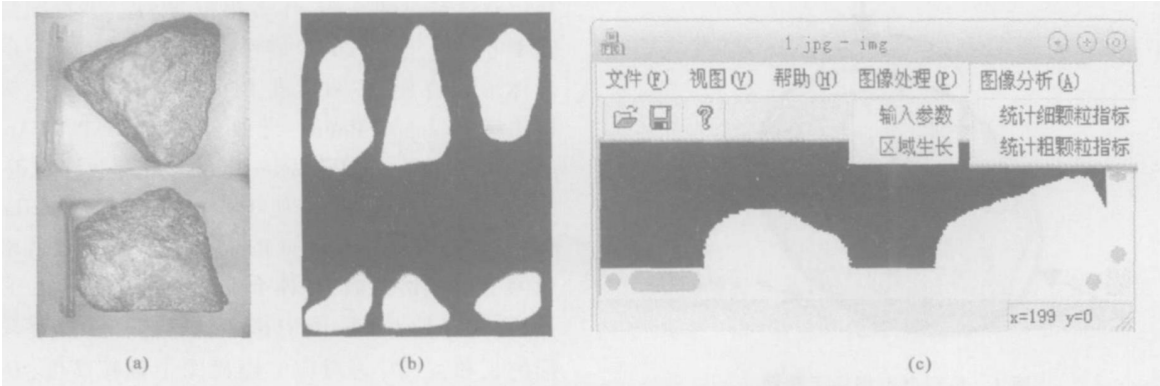


图 3 粗集料形态参数求算方法及软件介绍

Fig.3 The representation of the computing method of shape parameters and the procedure interface

2 原材料及试验设计

2.1 原材料

作者考虑到粗集料的形状特征对沥青混合料宏观抗剪性能的影响,因此所有试件所使用的沥青需要保证一致,实验采用较为常见的 SK 普通沥青.集料使用石灰岩材料,矿质填料采用石灰岩中的强基性岩石经磨细得到的矿粉,原材料各项技术指标在满足规范技术要求的前提下保证性能较优,限于篇幅,矿质集料及沥青的各项技术指标此处从略.

2.2 试验设计

鉴于沥青路面表面对抗剪性能要求较高且更容易发生剪切破坏,故试验中矿质集料级配均采用常被用作重要高速公路表面层的多碎石沥青混凝土 SAC-16 级配,它是同时具有 I 型和 II 型沥青混凝土的优点,还避免了两各自缺点的新型级配,试验级配采用中值级配^[8].为了充分考察粗集料形状特征对沥青混合料抗剪性能的影响,本试验将 4.75 mm 以上粗集料含量控制在 60% 左右,级配见表 2.

在沥青混合料试验中,除粗集料外其他原材料和试验条件均相同,经马歇尔试验确定 4.5% 为最佳油石比.为了能够研究不同形状特征的同批集料对混合料宏观性能的影响,本实验采用一种简便易操作的方法,即通过手工方法配置 5 组形状特征指标不一样的集料,每一组试件 4.75 mm

以上的每档集料中扁平细长颗粒的含量均不同,此方法的可靠性已经过本研究所做的大量试验所验证^[5].根据对沥青混合料抗剪切强度所做的大量研究结果^[1,9],作者采用单轴贯入抗剪切试验,试验在万能材料试验机 MTS 上进行,圆柱体试件采用旋转压实仪成型,直径为 100 mm,高为 63.5 mm,压头直径为 28.5 mm,实验温度为 25 ℃,加压速度为 1 mm/min.

3 粗集料形态对沥青面层抗剪性能的影响分析

在沥青混合料配料完毕后,选取粒径在 4.75 mm 以上的全部粗集料,采用前面所述的方法和图像处理软件求算单个粗集料的各种个体形态参数及各形态参数指标的总体平均值.获取各组集料的形态参数以后,就可以成型各组沥青混合料,进行单轴贯入实验,按照相关文献所介绍的方法^[10],抗剪强度可简化为贯入强度的 1/3,以此来计算抗剪强度值,集料的形态参数指标与单轴贯入实验的结果汇总于表 3,形态参数指标平均值与试验抗剪强度的相关性分析结果如图 4 所示.

试验结果分析:

(1)由表 3 可见,随着微观指标 $\sum FER$ 的增大,空隙率也在总体上呈现增大的趋势,再次说明集料扁平颗粒增多则试件难以压实而导致孔隙率变大.

表 2 矿质集料级配

Tab.2 The gradation of mineral aggregates

筛孔尺寸/mm	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16	19
通过百分率/%	6	9.5	13	17.5	22	29.5	40	60	80	95	100

表 3 粗集料形态指标与单轴贯入试验的结果

Tab.3 The results of shape parameters and the uniaxial penetration test

项目	试件编号				
	1#	2#	3#	4#	5#
ΣAR	1.416 0	1.495 1	1.546 0	1.540 0	1.666 9
$\Sigma ROUND$	1.104 6	1.099 4	1.160 0	1.173 2	1.149 8
$\Sigma APPR$	1.068 3	1.080 2	1.101 1	1.083 7	1.027 5
ΣDS	0.709 7	0.690 6	0.656 4	0.642 7	0.606 5
ΣFER	2.234 0	2.320 0	2.601 9	2.743 0	3.181 2
空隙率/%	4.476 5	4.672 5	4.644 5	4.669 7	4.954 6
贯入强度/kN	23.01	22.75	21.15	22.00	22.11
抗剪强度/MPa	0.244 1	0.241 4	0.224 4	0.233 4	0.234 6

(2)由图 4(a)、(b)、(d)和(e)反映了粗集料二维和三维轮廓形状(Fom)与混合料抗剪强度表现出比较显著的二次相关性,但三维指标的显著性更高,说明三维指标更能全面地反映集料的轮廓形状.图(a)和(e)表明,当集料总体的平均纵横比 ΣAR 小于 1.57 或者扁平比 ΣFER 小于 2.80 时,随扁平状集料颗粒的增加(即 ΣAR 或 ΣFER 增加)混合料的剪切强度下降,因此建议控制 ΣAR 和 ΣFER 指标以控制扁平状颗粒的含量,尽量使两个指标值远小于建议值 1.57 和 2.80. 图(b)和(d)的变化规律大致说明,粗集料二维外观越接近圆形(圆形度值为 1)或三维外观越接近球形(球形度值为 1)的混合料抗剪强度越高,可见提高圆形度和球形度值对提高混合料单轴贯入剪切强度是有利的,因为圆形或球形颗粒之间相互嵌挤程度较高,与扁平颗粒之间的点一点接触不同,多为面一面接触,更容易产生较大的骨架嵌挤力.鉴于本文试验结果的相关性只有 0.7 左右,故以上结论仅供参考之用,还有待进一步试验证实.

(3) 图 4(c)反映了棱角纹理特征(Angularity, Texture)与混合料剪切性能呈现出非常显著的二次相关性且存在剪切性能最佳点(本文为 1.06),说明在最佳点以外,粗集料越棱角缓和表面平整和越棱角尖锐表面坑洼的混合料剪切性能都不好.由于各组集料的棱角性指标基本保持在同一个水平上(最大相差率小于 7%),因此,图中的影响规律需要通过为棱角性和表面纹理分别建立新的更精确的指标,成型棱角纹理性有区分度的更多试件来进一步试验证明.

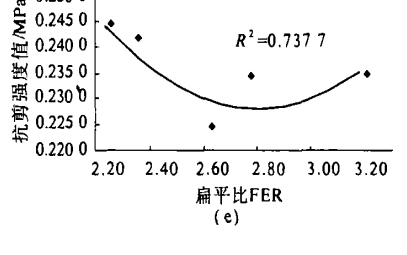
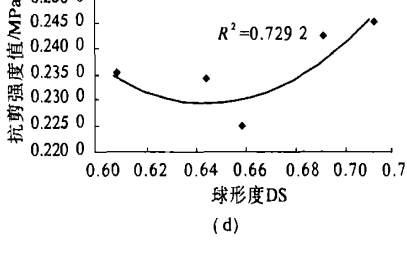
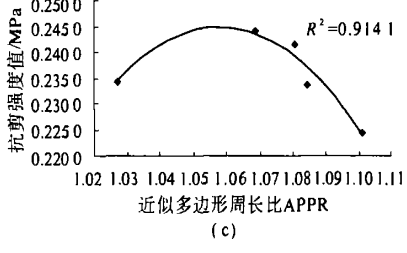
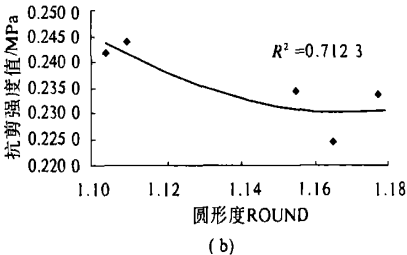
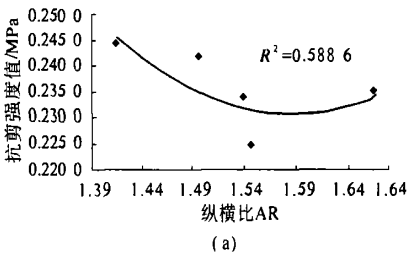


图 4 粗集料形状特征指标与抗剪强度关系
Fig.4 The illustrations of the relationship between shape characteristic parameters and the shear strength

4 结论

作者利用图像分析技术和所建立的一系列基于图像的指标对粗集料形态进行了量化,进而分析了其对 SAC-16 型沥青面层混合料抗剪性能的影响,结果表明:图像分析技术是直接、客观地测量集料形状特征的强有力工具,粗集料自身的物理特性如外观几何形状、棱角性、表面粗糙度和

纹理性是沥青混合料抗剪性能的直接影响因素,必须控制粗集料的轮廓形状、棱角性和表面纹理指标于适当的范围,以控制混合料中扁平、棱角性尖锐和表面粗糙颗粒的含量.作者在集料乃至混合料微观结构的研究方面介绍了一种全新的方法和思路,弥补了这方面的空白和相应规范的间接性测量这一不足,有助于更好地研究不同料源的集料相混合对整个集料特性和沥青路面使用性能的影响.由于图像采集设备及试验条件的限制,本文的一些结论仍值得商榷,有待进一步研究证实,下一步将着手建立更精确、更全面的形状指标,采用多种不同来源、种类的粗集料,着重于为各形态指标确定合理的限值,建立混合料微观结构与宏观性能之间的关系.

参考文献:

[1] 谭忆秋. 基于沥青路面应力场分布沥青混合料抗剪特性的研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2002.

[2] ASTM D3398—2000, Standard Test for Index of Aggregate Particle Shape and Texture[S].

[3] TALEB A R, EYAD M L. Aggregate shape classification system using AIMS [A]. 83rd Transportation Research Board Annual Meeting[C]. Washington D C: The National Academies, USA, 2004.

[4] TONGYAN P, EROL T, SAMUEL H. Carpenter. Effect of coarse aggregate morphology on the resilient modulus of hot mix asphalt [A]. 85rd Transportation Research Board Annual Meeting [C]. Washington D C: The National Academies, USA, 2006.

[5] 蒯海东. 基于数字图像处理的 HMA 集料形状及分布特征研究[D]. 南京: 东南大学交通学院, 2005.

[6] 容观澳. 计算机图象处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[7] 范文兵, 陈 静, 甄姬娜. 图像小波系数的自相似性在图像去噪中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2005, 26(3): 89~93.

[8] 李立寒, 张南鹭. 道路建筑材料[M]. 第二版. 上海: 同济大学出版社, 2002.

[9] 毕玉峰, 孙立军. 沥青混合料抗剪试验方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(8): 1036~1040.

[10] 林秀贤. 关于沥青混凝土路面设计中抗剪指标的建议[J]. 公路, 2004, 7(12): 66~69.

Influence of Coarse Aggregate Shape Characteristics on the Shearing Properties of Hot—Mix Asphalt

XIAO Yuan—jie¹, NI Fu—jian¹, KUI Hai—dong², DU Jing—li¹

(1. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. College of Civil and Environment Engineering, Sejong University, Souel 143—747, Republic of Korea)

Abstract: The coarse aggregate morphology quantified by angularity and surface texture properties affects performances of asphalt mixes. However, the relationship is not yet well understood due to the lack of quantitative measurement of coarse aggregate morphology, and at present the research about the influence is very little. Defining the image-based morphology parameters and using the compiled image processing procedure to obtain the shape characteristics of five different groups of coarse aggregates with the coarse aggregate morphology considered as the principal factor, the influence described above is analyzed through the uniaxial penetration test. The result shows that each shape characteristic parameter of coarse aggregate has different influences on the shear strength, and the flat index impacts it greatest, so the content of the flat particles must be controlled.

Key words: coarse aggregate morphology; asphalt mix; shearing property; uniaxial penetration test; image analysis