

文章编号: 0451-0712(2005)11-0151-04

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

基于数字图像处理技术的 VCA_{mix} 量测方法

徐 科, 张肖宁, 王端宜

(华南理工大学道路工程研究所 广州市 510641)

摘 要: 沥青混合料试件粗集料骨架间隙率(VCA_{mix})是沥青混合料试件的重要体积参数之一。长期以来, VCA_{mix} 的量测主要依赖于利用密度将重量换算为体积的计算法。由于转换过程的误差,加之吸附沥青的影响,导致计算值与实际值存有一定偏差。本文介绍了一种利用数字图像处理技术直接量测 VCA_{mix} 的方法。该方法使用彩色石料区分粗、细集料,并利用彩色阈值直接分割图像。结果证明该方法准确性好。

关键词: VCA_{mix} ; 数字图像处理; 彩色石料

沥青混合料试件中粗集料骨架间隙率(VCA_{mix})是沥青混合料试件的重要体积参数之一。对于沥青玛蹄脂碎石(SMA)类混合料,尤为如此。

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的规定, VCA_{mix} 按式(1)计算^[1]。

$$VCA_{\text{mix}} = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{ca}} \times P_{ca} \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: VCA_{mix} 为沥青混合料试件的粗集料间隙率(即粗骨架之外的体积,通常指小于 4.75 mm 的粗细集料、矿粉、沥青及空隙占总体积的比例),%; γ_f 为用表干法测定的试件的毛体积相对密度; P_{ca} 为沥青混合料中粗集料的比例(由 $P_{ca} = P_s \times PA_{4.75}$ 计算, $PA_{4.75}$ 为矿料级配中 4.75 mm 筛余量,即 100 减去 4.75 mm 通过率之差),%; γ_{ca} 为矿料中所有粗集料颗粒部分对水的合成毛体积相对密度,按式(2)计算。

$$\gamma_{ca} = \frac{P_{1c} + P_{2c} + \dots + P_{nc}}{\frac{P_{1c}}{\gamma_{1c}} + \frac{P_{2c}}{\gamma_{2c}} + \dots + \frac{P_{nc}}{\gamma_{nc}}} \quad (2)$$

式中: P_{1c}, \dots, P_{nc} 分别为各粗集料在矿料配合比中的比例,%; $\gamma_{1c}, \dots, \gamma_{2c}$ 分别为相应的各种粗集料对水的毛体积相对密度。

从以上计算公式,可以看出有关体积结果是通过毛体积密度利用重量间接得到。由于采用的是集料毛体积相对密度,未考虑吸附沥青对 VCA_{mix} 的影响,必然使计算结果存有较大偏差。而试件中吸附沥

青的数量,与集料的种类,集料颗粒的大小,集料的吸水率,以及沥青用量等诸多因素相关,很难准确获得。现在一般通过经验公式估算吸附沥青对集料密度的影响。式(3)为美国 Superpave 设计规范中所使用的考虑了吸附沥青后集料有效相对密度的经验计算公式^[2]。

$$G_{se} = G_{sb} + C(C_{sa} - G_{sb}) \quad (3)$$

式中: G_{se}, G_{sa}, G_{sb} 分别为集料有效相对密度、集料表观相对密度和集料毛体积相对密度; C 为经验系数,通常用 0.8,当为吸水性集料时,用 0.6 或 0.5。

经验系数的取值使试件的 VCA_{mix} 计算结果带有较大的不确定性。本文介绍的基于数字图像处理技术的量测方法可直接得到试件的 VCA_{mix} ,不涉及毛体积相对密度、吸附沥青等难以确定的因素。

1 数字图像处理技术简介

数字图像处理(Digital Image Processing)技术是指通过扫描仪或数码相机将一幅连续的图像离散化为计算机可以处理的信息,并对此信息进行各种操作处理,以达到某一效果的过程。由于数字图像处理技术的方便性、经济性、可利用信息量大和形像化存储等方面的优点,其工程应用已成为国际上道路领域的热门课题。一个典型的数字图像处理系统如图 1 所示^[3]。

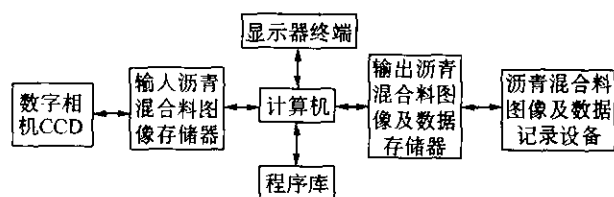


图1 典型的数字处理图像处理系统

在实际处理中,使用双面锯将成型的马歇尔试件锯开。截面平行于试件圆柱轴线;截面位置约为试件直径的 $1/3$ 处,如图2所示。对于每个马歇尔试件,可得4个截面。利用数码相机,拍摄截面,输入计算机,完成前期工作。

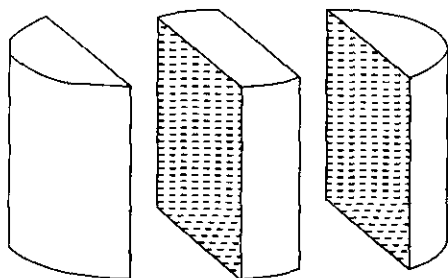


图2 马歇尔试件截面示意

2 利用数字图像处理技术直接量测试件的 VCA_{mix}

2.1 使用彩色石料区别粗、细集料

沥青混合料试件的 VCA_{mix} 是指粒径大于 2.36 mm 的粗集料间隙率。为了得到 VCA_{mix} ,首先需要通过一定方法判识出试件中的粗、细集料。在传统研究中,由于使用普通集料成型试件,需通过引入一个类似“面积筛”的概念来区分粗、细集料。例如,在参考文献[4]中,通过寻找与原集料颗粒具有相同面积和最大主轴的等效椭圆,利用该等效椭圆的短轴长度作为判识、分离粗、细集料的依据。

实际上,数字图像处理技术处理的是沥青混合料试件的断面图。在某一断面中,集料的空间位置、集料被断面所剖截面的位置均不定。仅仅使用与集料截面相应参数有关的“筛”的概念,很容易将粗集

料判识为细集料。

为解决这一问题,本文使用彩色石料作为粗集料,普通石料为细集料。利用颜色的鲜明对比,直接区分粗、细集料,如图3所示。

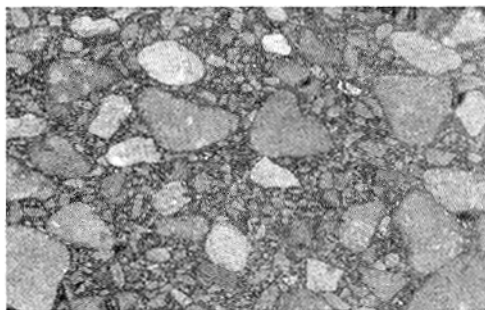


图3 利用彩色石料区别粗、细集料

在研究中,曾尝试选用绿色、蓝色、黄色、红色等石料作为粗集料。在综合考虑造价与下一步的颗粒提取等问题后,最后选择红色石料进行试验。

2.2 制备试件

沥青混合料试件采用马歇尔法成型。混合料级配如表1所示,采用70号台湾中油基质沥青,石灰岩碎石,石灰岩矿粉。分别在 6.0% 、 6.3% 、 6.6% 三组油石比下成型,每组4个试件。级配如表1所示。

表1 混合料试件的级配

规格/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	95	63	25	18.5	17	16	13	11.5	10

红色粗集料的各种相对密度如表2所示。

表2 粗集料相对密度

粒径/mm	毛体积相对密度	表观相对密度	吸水率/%	经验系数C	有效相对密度
13.2	2.809	2.852	0.53	0.8	2.843
9.5	2.797	2.856	0.73	0.8	2.844
4.75	2.780	2.856	0.95	0.8	2.841

根据规范方法,测各个试件的体积参数,利用集料有效相对密度,计算得到试件的 VCA_{mix} ,如表3所示。

表3 混合料试件的 VCA_{mix} (规范算法)

试件编号	601	602	603	604	均值	631	632	633	634	均值	661	662	663	664	均值
$VCA_{mix}/\%$	37.2	37.4	37.0	37.4	37.2	37.5	37.5	37.4	37.9	37.6	37.5	37.5	37.6	37.7	37.6

2.3 利用彩色阈值提取颗粒并计算 VCA_{mix} (IMAGE)

在以往的数字图像处理技术分析沥青混合料试

件的研究过程中,一般均采用黑白灰度阈值提取集料颗粒图像。方法简述如下。

在获得混合料试件的彩色截面图后,先将其转换为有 0~255 个灰阶的灰度图,对此图进行初步处理。根据灰度直方图,按照一定的阈值选取策略,选定 0~255 中某一适合灰阶作为阈值,将灰阶大于此值的像素分割出来,完成集料颗粒的提取工作。该过程如图 4 所示。

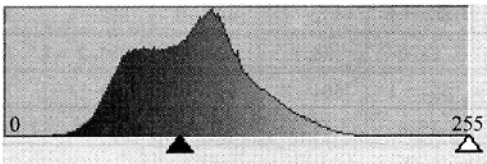


图 4 利用单一灰度直方图分割图像

使用黑白阈值提取颗粒信息,不能充分利用图像的彩色信息,需要进行大量的后期处理工作。为克服以上问题,本文使用彩色阈值提取图像。

对于任何一种人眼可见的颜色,都可以使用 RGB 格式对色彩进行编码。方法是对红、绿、蓝三种色彩的亮度定义,大小限定在 0~255 之内。例如,一个纯红(RED)的像素颗粒,使用 RGB 格式表示它的颜色,应该为 (255,0,0);而 (255,255,0) 表示的颜色为黄色(Yellow)。使用 RGB 格式表达色彩如图 5 所示的色彩立方体所示^[3]。

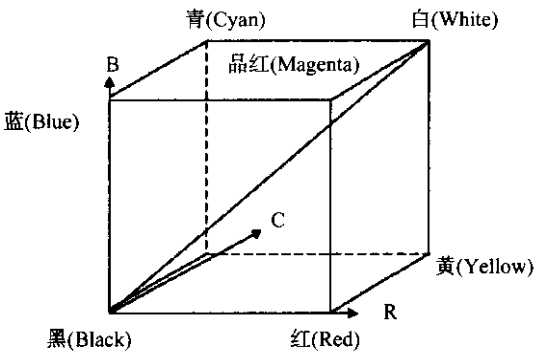


图 5 RGB 色彩立方体

直接利用彩色灰度直方图选定阈值。使用彩色阈值图像提取方法不需要将试件的彩色截面图转换为灰度图。对彩色截面图进行初步处理后,可直接得

到截面图的红、绿、蓝三原色直方图。对应于图 3 的红、绿、蓝三原色直方图如图 6 所示。

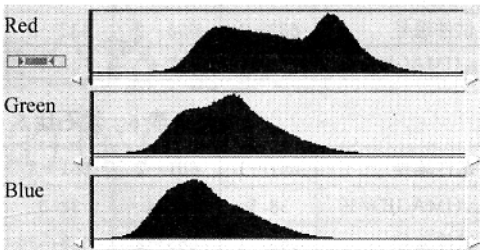


图 6 彩色图像红、绿、蓝三原色直方图

从图 6 可以明显看出,由于采用红色石料作为粗集料,导致红色灰度直方图呈明显的双峰。而绿色与蓝色直方图双峰效果不明显。因此,可直接根据红色的灰度直方图选定适合的阈值,对图像进行二值化处理,从而完成了对粗集料颗粒的提取。结果如图 7 所示。

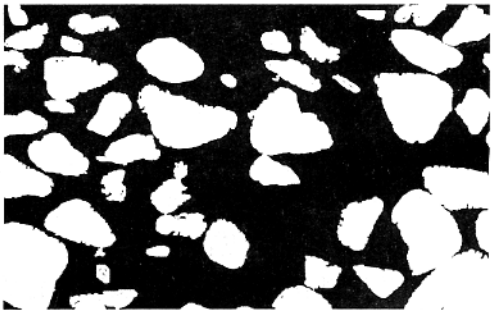


图 7 图像二值化结果

2.4 计算试件 VCA_{mix} (IMAGE)

根据数字图像处理技术,试件的 VCA_{mix} (IMAGE)按下式计算。

$$VCA_{mix}(\text{IMAGE}) = \left(1 - \frac{M}{N}\right) \times 100 \tag{4}$$

式中: VCA_{mix} (IMAGE)为由数字图像法计算所得的沥青混合料试件粗集料骨架间隙率,%; M 为图像中粗集料的面积,像素; N 为全幅图像的面积,像素。

结果如表 4、5、6 所示。

表 4 油石比 6.0 %混合料试件的 VCA_{mix} (IMAGE)

试件编号	601-1	601-2	601-3	601-4	均值	602-1	602-2	602-3	602-4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	34.9	35.3	33.3	35.3	34.7	32.6	37.8	35.4	36.1	35.5
试件编号	603-1	603-2	603-3	604-4	均值	604-1	604-2	604-3	604-4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	37.6	38.2	36.8	32.9	36.4	38.4	35.5	34.9	35.1	36.0

计算法与数字图像法处理结果比较如表 7 所示。

表 5 油石比 6.3 %混合料试件的 VCA_{mix} (IMAGE)

试件编号	631—1	631—2	631—3	631—4	均值	632—1	632—2	632—3	632—4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	32.0	36.1	35.8	33.5	34.4	31.6	33.4	35.7	32.3	33.3
试件编号	633—1	633—2	633—3	634—4	均值	634—1	634—2	634—3	634—4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	33.5	32.9	33.1	32.9	33.1	37.4	36.0	39.4	40.0	38.2

表 6 油石比 6.6 %混合料试件的 VCA_{mix} (IMAGE)

试件编号	661—1	661—2	661—3	661—4	均值	662—1	662—2	662—3	662—4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	38.5	31.4	32.6	38.5	35.3	38.0	36.1	35.3	36.3	36.3
试件编号	663—1	663—2	663—3	664—4	均值	664—1	664—2	664—3	664—4	均值
VCA_{mix} (IMAGE)/%	33.7	32.2	33.3	31.3	32.6	35.8	35.9	35.1	37.0	35.9

表 7 混合料试件的 VCA_{mix} (规范算法)与 VCA_{mix} (IMAGE)

试件编号	601	602	603	604	均值	631	632	633	634	均值	661	662	663	664	均值
VCA_{mix} /%	37.2	37.4	37.0	37.4	37.2	37.5	37.5	37.4	37.9	37.6	37.5	37.5	37.6	37.7	37.6
VCA_{mix} (IMAGE)/%	34.7	35.5	36.4	36	35.6	34.4	33.3	33.1	38.2	34.7	35.3	36.3	32.6	35.9	35.0

从表 4、5、6 中可知数字图像法处理结果与考虑吸附沥青的规范算法结果非常接近,后者大于前者约为 2.5%。这是由于在计算集料的有效相对密度时,经验系数 C 有可能取值过大,导致试件实测 VCA_{mix} 偏大。

3 结 语

本文探讨了利用数字图像处理技术直接量测沥青混合料试件粗集料骨架间隙率(VCA_{mix})的原理和步骤。该方法具有以下特点:

(1)不涉及集料有效相对密度、吸附沥青数量等难确定因素;

(2)利用彩色石料区分粗、细集料,使用彩色灰度直方图确定阈值提取颗粒信息;

(3)结果准确性好,数字图像法处理结果与计算法处理结果误差约为 2.5%。

参考文献:

[1] JTJ 052—2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
[2] 江苏省交通科学院. 高性能沥青路面 Superpave 技术实用手册[Z]. 2002.
[3] Kenneth R Castleman. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
[4] 李智. 基于数字图像处理技术的沥青混合料体积组成特性分析[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2002.
[5] 郝培文. 集料吸入沥青数量评价方法的研究[J]. 公路, 2001, (7).

A Measurement Method of Percent Voids in Coarse Mineral Aggregates in Asphalt Mixtures Based on Digital Image Processing Technique

XU Ke, ZHANG Xiao-ning, WANG Duan-yi

(Road Research Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Percent voids in coarse mineral aggregate in asphalt mixtures (VCA_{mix}) is one of the important volumetric properties of asphalt mixtures. The measurement of VCA_{mix} depends on transferring weight into volume by density for a long time. Due to the error of the transformation and the influence of asphalt absorption, it leads to deviation between calculation results and real results. In this paper, a method measuring VCA_{mix} based on digital image processing technique is presented. Coloured aggregates are used to distinguish the coarse and the fine aggregate and color threshold is used to segment the image in this method. The results show this method is more accurate.

Key words: VCA_{mix} ; digital image processing; color aggregate