

doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2016.11.026

# 室内成型的沥青混合料粗集料排布的研究

郭辉, 赵永利, 周健

(东南大学交通学院, 江苏南京 210096)

**摘要:** 为了定量地评价粗集料排布在室内沥青混合料成型过程中的变化规律, 利用数字图像处理技术, 提出一种评价沥青混合料粗集料排布的合成质心矩方法. 选取常用 AC20, SMA20 型沥青混合料, 以控制两种混合料旋转压实次数为条件制成成型试件, 横向切割获取截面采集图像进行参数提取. 分别计算二维累计筛余粗集料和二维分计筛余粗集料的合成质心矩. 结果表明两种不同类型的沥青混合料粗集料合成质心矩随压实次数增加发生不同的变化, SMA20 压实 60 次排布性已达到较好水平.

**关键词:** 沥青混合料; 排布性; 图像处理; 合成质心矩; 压实

**中图分类号:** U 414      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2016)11-1645-05

## Study of Coarse Aggregate Configuration of Asphalt Mixture in Laboratory

GUO Hui, ZHAO Yong-li, ZHOU Jian

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China. Corresponding author: GUO Hui, E-mail: 230129422@seu.edu.cn)

**Abstract:** In order to quantitatively evaluate the variation of the coarse aggregate alignment in the pitch mixture molding indoors, the digital image processing technology is used to propose a synthetic centroid moment method. The commonly used AC20 and SMA20 pitch mixtures are selected to define the number of rotations and compactions as test specimens of conditional molding for the two types of mixtures. Parameters are extracted through horizontal segmentation of the collected images. The synthetic centroid moments of the 2-D accumulate residual coarse aggregate and the 2-D non-accumulate residual coarse aggregate are computed, respectively. Results show that the synthetic centroid moments vary differently with the number of compactions for the two types of pitch mixture and coarse aggregate. The configuration of SMA20 is excellent after 60 compactions.

**Key words:** asphalt mixture; configuration; image process; synthesis of center of mass; crush

沥青混合料粗集料的排布对沥青路面有着重要的作用. 一般认为, 粗集料排布性与施工工艺和施工水平有关. 但研究表明, 粗集料排布规律还与混合料级配、成型方式等因素相关<sup>[1-2]</sup>. 目前沥青混合料均匀性的研究多以粗集料的排布和个数为主, 没有充分考虑到粗集料形状不规则性的影响, 同时也没有研究混合料成型过程中粗集料排布的变化情况<sup>[3-5]</sup>.

在二维图像处理领域, 粗集料的排布、形状已有较为成熟的研究, 并根据结果开展了细观结构

仿真<sup>[6-8]</sup>. 但粗集料组合分布规律, 尤其是在成型过程中组合指标的变化规律还没有明确的认识. 本文对我国常用密级配沥青混合料 AC20 和 SMA20 成型试件进行切割. 分别选取不同压实功、不同切面的粗集料排布参数提取并进行对比分析.

### 1 沥青混合料粗集料排布参数

沥青混合料中, 集料, 胶浆, 空隙构成了肉眼

可识别的三相. 在大量室内实验中发现, 空隙大都集中在集料与砂浆交界处, 所以研究粗集料的排布特征可以很大程度上反映混合料的均匀性. 目前已有研究大都对混合料截面区域进行分区, 然后指标参数进行对比<sup>[9-10]</sup>. 本文提出了混合料粗集料合成质心的指标参数, 利用与粗集料形状相关的质心和粗集料质量相关的面积来确定合成质心位置, 并对筛选各档集料的合成质心和各个区域的合成质心进行计算分析.

合成质心计算. 令合成质心为  $(X, Y)$ , 粗集料质心为  $(x_i, y_i)$ , 粗集料面积为  $s_i$ .

定义合成质心为

$$\sum_n s_i (X - x_i) = 0, \quad (1)$$

$$\sum_n s_i (Y - y_i) = 0. \quad (2)$$

式中:  $i$  为集料标记;  $n$  为集料个数.

经推导得出合成质心:

$$(X, Y) = \left( \frac{\sum_n s_i x_i}{\sum_n s_i}, \frac{\sum_n s_i y_i}{\sum_n s_i} \right). \quad (3)$$

合成质心矩定义为

$$D = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2}. \quad (4)$$

式中  $X_0, Y_0$  为截面几何中心.

$D$  值越小, 说明合成质心距离混合料中心越小, 说明粗集料排布更优越.

## 2 试件成型和图像采集

本实验选取我国道路常用沥青混合料 AC20 和 SMA20, 利用旋转压实 (SGC) 制作成试件. 为了方便进行图像处理, 同时为了保证后期图像分割精确简易, 选取具有与沥青光学对比差异显著的白云石代替常用石灰岩粗集料成型试件. 成型试件粗集料级配如表 1 所示, AC20, SMA20 油石比分别为 4.2, 5.4.

表 1 沥青混合料配合比

Table 1 Proportion of asphalt mixture

控制筛孔/mm	>19	16~19	13.2~16	9.5~13.2	4.75~9.5
AC20/%	1.9	14.3	12.9	16.8	18.7
SMA20/%	9.2	9.5	12	21.7	26.8

控制温度对两种沥青混合料分别成型两个试件, 其中分别压实 60 次一个试件, 压实 80 次一个试件. 对全部试件相同位置横向切割. 考虑到后期处理的方便, 统一把背景设置为黑色, 在等高度下

对截面提取图像, 如图 1 所示.



图 1 实验试件的配制

Fig. 1 Configuration of the specimens

由于采用白云石矿料为后期图像处理提供了很好的保障, 可以比较精确地对图像进行分割. 图 2 是灰度化以后的亮度直方图, 可以看到直方图有比较明显的双峰.

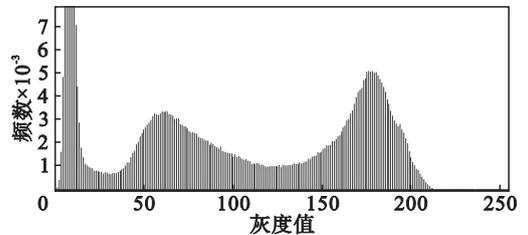


图 2 灰度直方图

Fig. 2 Gray histogram

图 2 可以很明显地看出形成的分割点, 为图像分割创造了很好的条件.

## 3 图像处理

采集的图像进行裁剪, 统一调整为  $560 \times 560$ , 然后进行灰度化处理. 采用大小为  $3 \times 3$  的领域来进行中值滤波, 并用 0 来填充图像边界. 对分割后的图像采取补洞、开运算得到集料的图像. 然后对图片上的各个区域计算面积后换算成等效直径作为控制指标, 利用式 (5) 滤去 4.75 mm 以下的集料.

$$r_0 = \frac{r_1 d_1}{d_0}. \quad (5)$$

式中:  $r_0$  为图像等效直径;  $d_0$  为直径像素数;  $r_1$  为筛孔尺寸;  $d_1$  为试件直径. 在本文中  $d_0$  为 560,  $d_1$  为 150.

## 4 合成质心矩的计算结果

按照前述的算法, 计算出粗集料合成质心的图上坐标. 图 3 是随累计筛余粗集料粒径由大到

小地合成质心位置变化的情况。A, B, C, D 4 个点分别代表控制筛孔(4.75, 9.5, 13.2, 16 mm) 累计粗集料合成质心位置。从图上可以看出,随着投放粒径较小的二维粗集料,试件合成质心有明显靠近图像几何中心的趋势。粗集料的合成质心并不一定位于白色集料之上,也有可能在黑色的区域。

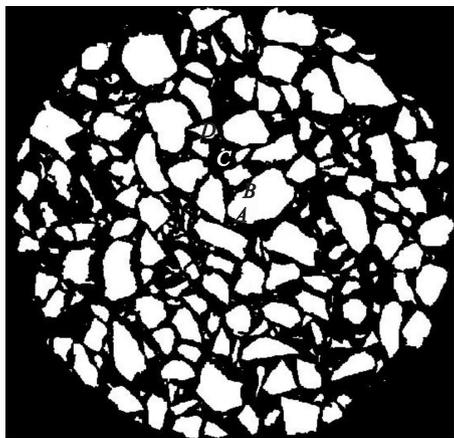


图 3 合成质心位置  
Fig. 3 Position of the synthetic

#### 4.1 AC20 计算结果

经过计算得到 AC20 各档粗集料累计筛余的合成质心矩。

表 2 AC20 合成质心矩  
Table 2 AC20 synthesis of center distance

d/mm	>19	>16	>13.2	>9.5	>4.75
60 次上截面	—	148.1	63.6	41.2	18.8
60 次中截面	132.1	87	46.1	15.9	13.7
60 次下截面	104.9	67	53.5	39.5	18.7
80 次上截面	55.4	39.6	45.2	22.6	11.7
80 次中截面	—	9.2	37.1	19.7	11.7
80 次下截面	67.7	59.1	95.9	47.4	34

注:表中数据为合成质心到几何中心的距离,单位为图上像素距离。空白处表明截面未检测到此粒径的截面矿料。

图 4 是 AC20 粗集料累计筛余合成质心矩随着控制筛孔累计筛余而变化的折线图。

可以看出,60 次压实下 AC20 粗集料的合成质心距随着添加粒径变小而变小。而 80 次压实下 4.75 mm 以上粗集料合成质心距进一步变小。相对于旋转 60 次压实功的趋势,80 次压实功下 13.2 mm 以下粗集料合成质心距变化较小,而 13.2 mm 以上有明显波动,但较粗矿料的合成质心距一般都小于 60 次压实功下对应累计合成质心距。说明各个档位的粗集料排布是不同的,也可以看出增加压实功主要使较粗矿料排布更合理。另外试件底部粗集料排布波动较大,说明旋转压

实试件底部粗集料排布受压实影响大。

对三个截面各档粒径合成质心矩取平均值。

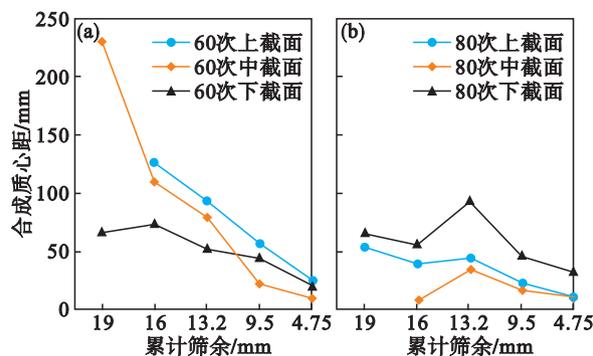


图 4 合成质心矩 - AC20 分层  
Fig. 4 Synthesis of center distance-AC20 layers  
(a)—60 次压实; (b)—80 次压实。

图 5 表明 AC20 沥青混合料随着压实次数的增加粗集料总均匀性虽未见显著增加,但较大粒径的矿料随着压实功的增加合成质心矩越小。可见压实过程中,大颗粒矿料有均匀排布的运动趋势。空隙率的降低有可能来自于大颗粒矿料的均匀性增加。

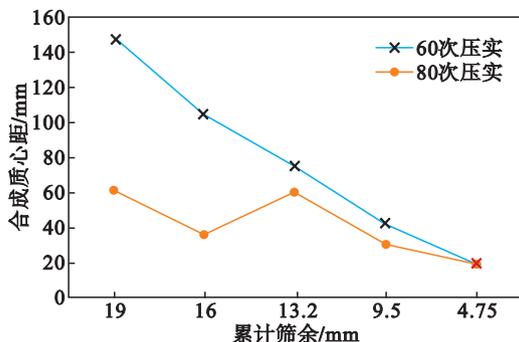


图 5 合成质心矩 1-AC20  
Fig. 5 Synthesis of center distance 1-AC20

进一步计算分计筛余 AC20 粗集料的合成质心距。各档筛孔截面矿料的通过个数如表 3 所示,各个粒径的 AC20 粗集料累计筛余合成质心距如图 6 所示。

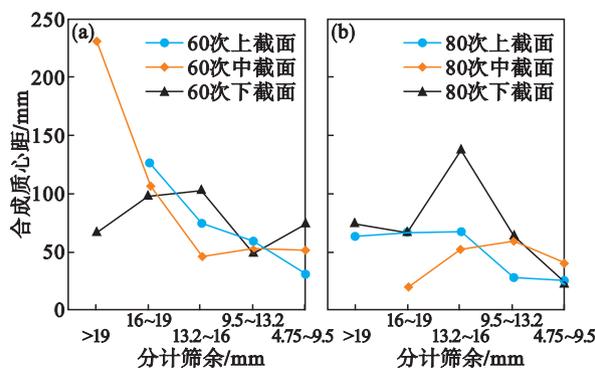


图 6 各档质心矩 AC20  
Fig. 6 Grade distances AC20  
(a)—60 次压实; (b)—80 次压实。

表 3 SMA20 合成质心矩

Table 3 SMA20 synthesis of center distance

D/mm	>19	>16	>13.2	>9.5	>4.75
60 次上截面	29.7	35.3	25.6	8	3.4
60 次中截面	117.7	27.9	20.5	6	10.3
60 次下截面	79.9	79.9	72.4	20.6	5.9
80 次上截面	56.7	44.8	24.6	15.1	12.6
80 次中截面	78	70.7	33.7	17.7	18.6
80 次下截面	122.9	80.1	6.2	18.7	19.1

由图 6 可以看出,AC 型沥青混合料旋转压实成型过程中试件上部排布更易形成,中部和底部排布变化较大.60 次到 80 次压实过程中,3 个位置的 4.75~9.5 mm 粗集料合成质心矩有明显降低一致的趋势.然后分别取 3 个截面分计筛余合成质心矩的平均值.

图 7 表明 80 次压实下各个粒径的矿料合成质心矩一般都要比 60 次压实下要小,只有 13.2~16 mm 数值接近.进一步说明了,60 次压实并未使 AC20 沥青混合料粗集料排布达到最终状态.结合图 5 分析,也说明,各档粒径矿料排布与各档叠加矿料粒径的排布并无直接相关性,混合料各档粒径粗集料排布存在明显的干涉特性.

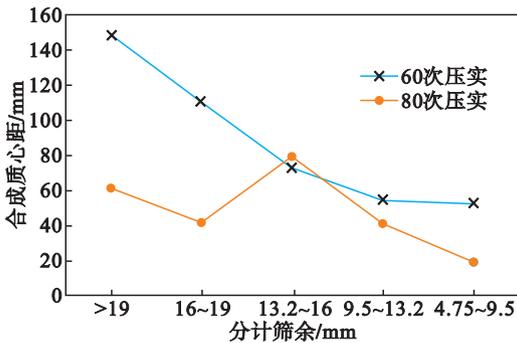


图 7 合成质心矩 2-AC20

Fig. 7 Synthesis of center distance 2-AC20

#### 4.2 SMA20 计算结果

经过计算得到 SMA20 各档粗集料累计筛余的合成质心矩见图 8、图 9.由图 8 可以看出,SMA20 型混合料在压实 60 次时粗集料已经获得了比较小的合成质心矩.在进一步压实的过程中,SMA20 沥青混合料粗集料合成质心矩有所增加.另外,从图中也可以看出,试件上部和中部的变化有类似性,而试件下部随着压实功变化,变异性较大,可能由于压实功传递性的影响.

对比图 5 和图 9 可以看出,AC20 和 SMA20 是两种截然不同的混合料类型.相对而言,AC20 各档粗集料合成质心矩在 60 次压实下还有进一步减小的空间,而 SMA20 各档粗集料在增加压

实功下合成质心矩没有明显的增加.另外还说明基于体积参数的 SMA 沥青混合料空隙率与粗集料运动无明显联系.

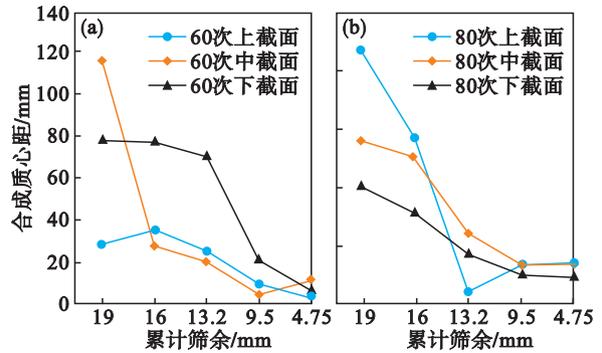


图 8 合成质心矩 -SMA20 分层

Fig. 8 Synthesis of center distance-SMA20 layers

(a)—60 次压实; (b)—80 次压实.

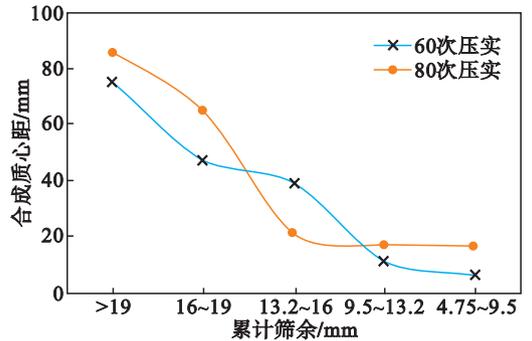


图 9 合成质心矩 -SMA20

Fig. 9 Synthesis of center distance -SMA20

进一步计算分计筛余 SMA20 粗集料的合成质心矩.各个粒径的 AC20 粗集料累计筛余合成质心矩如图 10 所示.

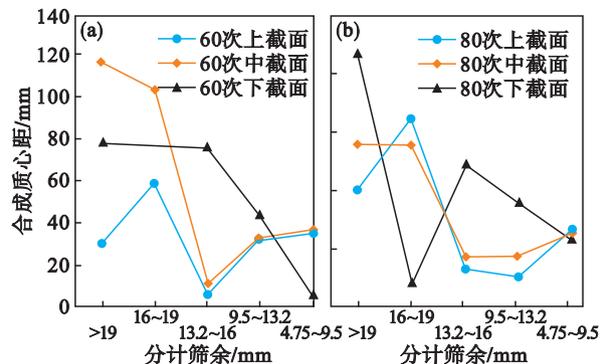


图 10 各档质心矩 SMA20

Fig. 10 Grade distances SMA20

(a)—60 次压实; (b)—80 次压实.

图 10 各档粗集料的合成质心矩表明,在两种压实功下,SMA20 沥青混合料试件上部和中部分计筛余合成质心矩变化趋势在 13.2~16 mm 区间以下比较一致,而下部各档粗集料均匀性有明显差异性.说明旋转压实过程中,底部粗集料均匀

性变异比较大。

对比图 9 和图 11 可以看出 SMA20 各档粗集料均匀性并未随着压实过程而显著提高。可见 SMA20 在压实 60 次时粗集料已经形成较好排布。

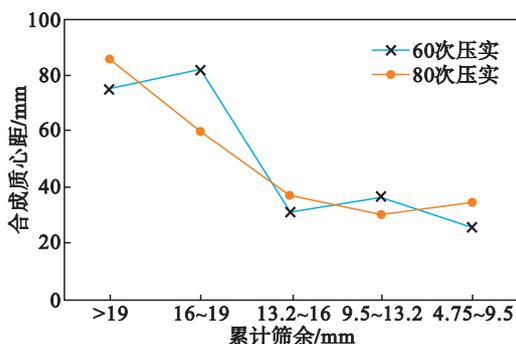


图 11 合成质心矩 2-SMA20

Fig. 11 Synthesis of center distance 2-SMA20

## 5 结 论

1) 二维沥青混合料累计筛余粗集料合成质心矩随着控制筛孔减小而减小。

2) AC20 型沥青混合料大于 9.5 mm 粗集料合成质心矩有随着压实功增加减小的趋势。粗集料整体合成质心矩变化不大。

3) SMA20 在压实 60 次时,各档粗集料已经获得了相对稳定的合成质心矩。进一步压实到 80 次会使粗集料整体合成质心矩有所增加。这也说明,两种混合料有着本质的区别。

4) 混合料在压实过程中下部粗集料变化较大,粗集料排布并不均匀。SMA2 沥青混合料粗集料合成质心矩明显小于 AC20。

## 参考文献:

- [1] Sefidmazgi N R, Bahia H U. Effect of compaction conditions on aggregate packing using 2-dimensional image analysis and the relation[J]. *Materials and Structures*, 2014, 47: 1313 - 1324.
- [2] Muraya M. Homogeneous test specimens from gyratory compaction [J]. *International Journal of Pavement Engineering*, 2007, 8(3): 225 - 235.
- [3] Masad E, Muhunthan B, Shashidhar N, et al. Internal structure characterization of asphalt concrete using image analysis[J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1999, 13(2): 88 - 95.
- [4] Hassan N A, Airey G D, Hainin M R. Characterisation of micro-structural damage in asphalt mixtures using image analysis[J]. *Construction and Building Materials*, 2014, 54: 27 - 38.
- [5] Bruno L, Parla G, Celauro C. Image analysis for detecting aggregate gradation in asphalt mixture from planar images [J]. *Construction and Building Materials*, 2012, 28: 21 - 30.
- [6] Masad E, Muhunthan B, Shashidhar N, et al. Quantifying laboratory compaction effects on the internal structure of asphalt concrete [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1999, 1691: 179 - 185.
- [7] Zhang D, Huang X M, Zhao Y L. Algorithms for generating three-dimensional aggregates and asphalt mixture samples by the discrete element method [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2013, 27(2): 111 - 117.
- [8] Fernlund J M R. Image analysis method for determining 3-D shape of coarse aggregate [J]. *Cement and Concrete Research*, 2005, 35(8): 1629 - 1637.
- [9] 沙爱民, 李亚非, 秦雯. 基于数字图像处理技术的沥青混合料运动特性[J]. *长安大学学报*, 2011, 31(16): 1 - 5. (Sha Ai-min, Li Ya-fei, Qin Wen. Movement characteristics of asphalt mixture based on digital image disposal technology [J]. *Journal of Chang'an University*, 2011, 31(16): 1 - 5.)
- [10] Liu T, Zhang X N, Li Z, et al. Research on the homogeneity of asphalt pavement quality using X-ray computed tomography (CT) and fractal theory [J]. *Construction and Building Materials*, 2014, 68: 587 - 598.