

# 机制砂颗粒形状评价方法的相关性

叶建雄, 余林文, 颜从进, 杨长辉

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**采用间隙率法、流动时间法以及数字图像处理等方法测试了不同机制砂的颗粒形状, 研究颗粒级配及细度模数对测试结果的影响, 并分析了3种方法测试结果与相应水泥胶砂流动度的相关性。结果表明, 当采用流动时间法测试时, 流动时间随机制砂颗粒粒径增大而延长, 且流动时间与水泥胶砂流动度相关系数仅为0.064 4; 当采用间隙率法机制砂测试时, 未压实间隙率随机制砂粒径增大而减小, 其与水泥胶砂相关系数为0.719 3, 相关性良好。

**关键词:**机制砂; 颗粒尺寸; 未压实间隙率; 流动时间; 流动度; 相关系数

**中图分类号:** TU528      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-4764(2012)04-0161-04

## Correlation between Particle Shape Evaluation Methods of Manufactured Sand

YE Jianxiong, YU Linwen, YAN Congjin, YANG Changhui

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** Particle shapes of different manufactured sand were tested by several methods such as uncompacted void content (UVC) test, flow time test and image analysis, the effect of particle size distribution and fineness modulus on test results were also studied, and then the correlation was analyzed. It is found that with the increase of particle sizes, flow time prolongs and UVC decreases. The correlation coefficient between flow time and fluidity of cement mortar is only 0.064 while that between UVC and fluidity of cement mortar is 0.719 3.

**Key words:** manufactured sand; particle size; uncompacted void content; flow time; fluidity; correlation coefficient

细集料的颗粒形状是影响混凝土性能的重要因素之一, 一般来说, 天然砂表面光滑, 颗粒圆润; 而机制砂由天然岩石经机械破碎而成, 与天然砂相比, 其颗粒表面粗糙、棱角多, 这些特性决定了机制砂混凝土性能与天然砂混凝土存在较大差异。当采用颗粒形状差、棱角多的机制砂配制混凝土时, 需要提高胶凝材料用量以保证混凝土具有良好的工作性<sup>[1-3]</sup>。Meininger<sup>[4]</sup>研究证实, 细集料的性质(颗粒级配、颗粒形状、表面粗糙度等)对硅酸盐水泥混凝土拌合物需水量的影响很大, 用水量的不同导致混凝土硬化后的收缩、裂缝以及耐久性都有极大差异。Kosmatka

等<sup>[5]</sup>认为细集料的颗粒形状和表面纹理特征对新拌混凝土性能的影响相比对硬化后混凝土性能影响更大。

对细集料颗粒形状评价方法的研究主要集中在沥青混合料用细集料棱角性的评价, 包括细集料流动时间法<sup>[6-7]</sup>、未压实间隙率法<sup>[8]</sup>、CCR 试验<sup>[7]</sup>和数字图像处理方法<sup>[9]</sup>等。由于沥青混合料对车辙稳定性具有一定要求, 因此要求细集料颗粒间的咬合以及集料与沥青间的黏结作用较强<sup>[10-11]</sup>, 而大部分普通水泥混凝土需要具备良好的工作性以保证易于施工。因此, 适用于普通水泥混凝土用细集料应与沥

收稿日期: 2011-11-20

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目(CSTC2011AC0099)

作者简介: 叶建雄(1974-), 男, 高级工程师, 主要从事建筑材料研究, (E-mail) yjxiong1974@163.com。

青混合料用细集料颗粒形状评价方法有所区别,确定一种适用于水泥混凝土用机制砂颗粒形状的评价方法,对于控制机制砂生产质量、保证机制砂混凝土性能具有重要意义<sup>[9]</sup>。

笔者采用间隙率法、流动时间法以及数字图像处理法分别表征7种不同机制砂的颗粒形状,分析不同方法表征机制砂颗粒形状的结果与水泥胶砂流动度的相关性,以探讨适用于水泥混凝土的机制砂颗粒形状的合理表征方法。

## 1 试验

### 1.1 原材料

水泥采用的重庆拉法基水泥厂生产的P. O 42.5级水泥,其标准稠度用水量为27.6%,28 d水泥胶砂抗压强度为54.0 MPa。

采用的天然砂为岳阳中砂,编号为A,7种机制砂分别取自不同的机制砂生产厂家,依次编号为B~H。为了排除颗粒级配对试验结果的影响,将8种试验用砂参考《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006)规定的分区,按照相同的颗粒级配混合,细度模数为2.8和3.2,每种细度模数均包括2种级配,试验采用的级配如表1所示。

表1 试验用砂级配表

编号	筛孔尺寸/mm						细度模数
	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	
M <sub>1</sub>	0	8	23	59	90	100	2.80
M <sub>2</sub>	0	9	18	61	92	100	
M <sub>3</sub>	0	10	50	72	88	100	3.20
M <sub>4</sub>	0	23	39	76	82	100	

### 1.2 试验方法

机制砂的间隙率和流动时间均参照《公路工程集料试验规程》(JTJ 058-2000)规定的方法进行,试验均进行3次,取3次平均值作为最终结果。需要说明的是试验流动时间试验采用的装置与间隙率装置相同。水泥胶砂流动度试验方法参考《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T 2419-2005),分别用不同的砂代替标准砂进行。

采用数字图像处理法测试机制砂棱角性时,由于机制砂中细小颗粒的图像难以获取、分析,因此试验只选取粒径为2.36~4.75 mm间的颗粒,将其洗净烘干,然后按照李嘉等<sup>[12]</sup>设计的“逆光箱”法(如图1所示)获取图像。引入圆度(F)<sup>[9]</sup>和粗糙度(R)<sup>[13]</sup>2个概念表征细集料的棱角性,其计算式如

式(1)和式(2)所示。采用Image proplus(Ipp)图像分析软件处理获取的图片,计算圆度和粗糙度。

$$FF = \frac{4\pi \times A}{P^2} \quad (1)$$

$$R = \left(\frac{P}{C}\right)^2 \quad (2)$$

式中:A为图像面积;P为图像周长;C为集料颗粒外切椭圆的周长。

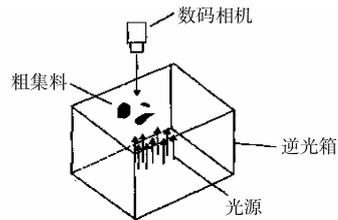


图1 “逆光箱”法示意图

## 2 结果与讨论

### 2.1 粒径及颗粒级配对流动时间的影响

将试验用的8种砂采用方孔筛筛分,分别测试单粒级的机制砂以及不同级配机制砂的流动时间,试验结果如图2、图3所示。

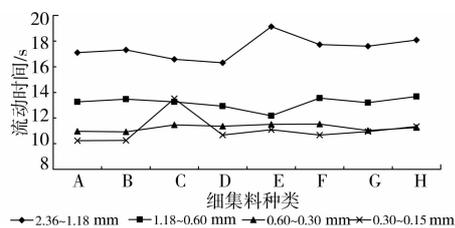


图2 粒径对流动时间的影响

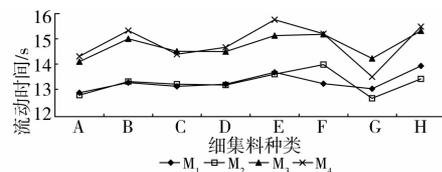


图3 颗粒级配对流动时间的影响

由图2和图3可以看出,试样流动时间随机制砂颗粒粒径增大而明显延长,而0.15~0.30 mm颗粒与0.30~0.60 mm颗粒流动时间差别不大。一方面这可能是受机制砂颗粒粒径与测试仪器漏斗的口径比例影响,颗粒粒径与口径比例越小,颗粒越容易流动,另一方面可能是由于颗粒越大,颗粒间棱角接触面积大,咬合力越强造成的;不同试样的流动时间随颗粒粒径的变化规律不一致,如颗粒粒径大于0.30 mm时,相同粒径的A试样与C试样流动时间差别不大,而0.15~0.30 mm间的C试样流动时间

明显大于 A 集料;当颗粒粒径为 0.30~0.60 mm 时,各试样流动时间无明显区别;对于同一种集料,细度模数为 3.2 时试样流动时间明显大于细度模数为 2.8 的试样;而细度模数相同时,2 种级配的试样流动时间相近。Topal 等<sup>[7]</sup>认为细集料的级配对流动时间有一定的影响,但是他们的研究表明,当细度模数更大时细集料的流动时间相对更短。

## 2.2 粒径及颗粒级配对间隙率的影响

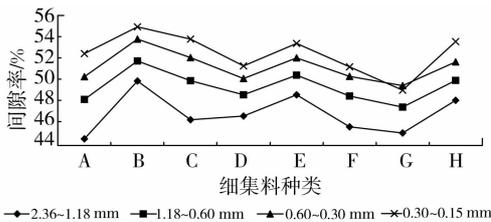


图4 粒径对间隙率的影响

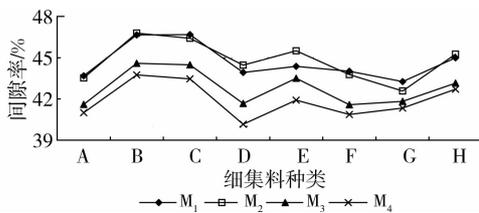


图5 颗粒级配对间隙率的影响

由图4和图5可以看出,各试样的未压实间隙率随着机制砂颗粒粒径的减小而增大,且颗粒粒径不同时,不同试样的未压实间隙率变化规律基本一致;在试验条件下,同一试样的未压实间隙率随细度模数增大而减小;当细度模数均为2.8时,除试样E和G以外,2个不同级配的试样未压实间隙率无明显区别,而当细度模数为3.2时,大部分试样2个级配的未压实间隙率有一定区别。从表1可以看出,相比细度模数为2.8的2个级配,细度模数为3.2时2个级配的差别更大,这也是造成模数为3.2时2个级配未压实间隙率差别更大的主要原因。

## 2.3 数字图像处理表征细集料棱角性

对8个不同砂样中筛选粒径范围为2.36~4.75 mm颗粒,进行图像量化处理,其量化指标圆度(F)与集料粗糙度(R)如图6所示。

由图6可以看出,天然砂A的圆度F和粗糙度R均较小,在试验所考察的8种集料中仅大于机制砂E,这说明大部分机制砂的颗粒形状投影比天然砂更接近于圆形。由图7可以看出,8种细集料的粗糙度和圆度线性相关系数为0.8466,粗糙度和圆度具有良好的相关性。

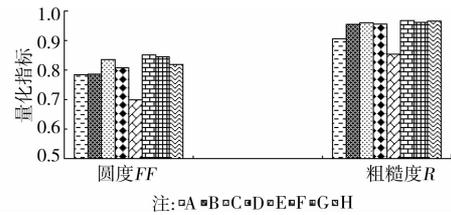


图6 各集料圆度和粗糙度

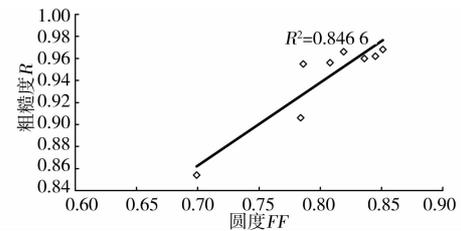


图7 粗糙度和圆度相关性

## 2.4 颗粒形状评价指数与胶砂流动度相关性研究

普通水泥混凝土与沥青混合料对集料的要求不同,因此有必要研究细集料的间隙率、流动时间以及粗糙度、圆度与水泥胶砂流动度的相关性。图8所示为不同细集料的水泥胶砂流动度。由图8可以看出,同一种细集料,细度模数为2.8时胶砂流动度大于细度模数为3.2时;级配对不同试样胶砂流动度影响无一致规律,如细度模数为3.2时,试样A、C、F、H 2种级配情况下胶砂流动度几乎相同,而级配对其余4个试样胶砂流动度影响较大,细度模数2.8时,D试样2种级配下胶砂流动度差别显著。

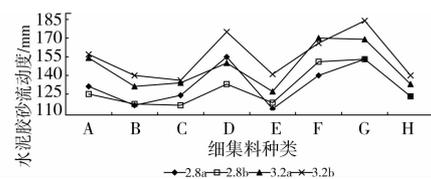


图8 不同细集料的水泥胶砂流动度

对比图8和图3容易看出,对于同一种集料,流动时间越短,其水泥胶砂流动度越小,而对于同一级配不同种类的集料,水泥胶砂流动度与流动时间变化规律相反。由图9(a)可以看出,8种集料在不同级配时水泥胶砂流动度和流动时间的线性相关系数为0.0644,细集料的水泥胶砂流动度与其流动时间并不相关。

结合图8和图5可以看出,对于同一种集料,水泥胶砂流动度基本都呈随着间隙率增大而减小的趋势;同一级配不同种类的集料,水泥胶砂流动度变化规律与间隙率变化规律相反。图9(b)所示为8种集料在不同级配时水泥胶砂流动度与间隙率关系,图中相关系数为0.7193,水泥胶砂流动度与间隙率具有良好的相关性。Chowdhury等<sup>[14]</sup>的研究表明,

一些石灰石质破碎的机制砂外观较规则,接近于正方体状,因此其测试出的间隙率虽小,但是这种细集料仍具有较大的内摩擦力,这也可能是水泥胶砂流动度与间隙率线性相关关系并不十分显著的原因之一。

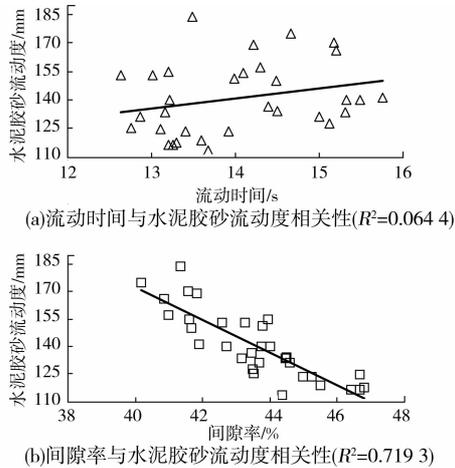


图9 间隙率、流动时间与胶砂流动度的相关性

对比图6和图8可以看出,天然砂A的圆度和粗糙度虽小于机制砂B、C、D,而其胶砂流动度大于3种机制砂;机制砂F、G及H的圆度依次为 $F > G > H$ ,三者的粗糙度大小几乎一致,而其胶砂流动度的大小顺序为 $G > F > H$ 。这说明数字图像处理方法所得的圆度、粗糙度和集料的水泥胶砂流动度之间无必然联系,数字图像处理方法获得的圆度和粗糙度仅能表征集料某一截面的形状,能够在一定程度上反映集料的间隙率<sup>[15]</sup>,而不能反映其整体形状以及颗粒表面的纹理特征,因此难以从水泥胶砂流动度的角度区分细集料的颗粒形状。

### 3 结论

1) 机制砂中的单级颗粒流动时间随着粒径增大而延长,而未压实间隙率随粒径增大而减小;同一种机制砂,细度模数为3.2时,其流动时间明显大于细度模数为2.8时,未压实间隙率小于细度模数为2.8时。

2) 当机制砂的细度模数相同时,机制砂流动时间与其胶砂流动度无相关性,而机制砂未压实间隙率与水泥胶砂流动的相关系数为0.7193,相关性良好。

3) 采用二维数字图像处理方法分析细集料2.36~4.75 mm级的形状不能客观反应机制砂颗粒形状特征。

#### 参考文献:

[1] 王稷良. 机制砂特性对混凝土性能的影响及机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.  
[2] Wang L J, Ai H M. Calculation of sand-aggregate ratio

and water dosage of ordinary concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32: 431-434.

- [3] 曹明莉. 混凝土架构模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.  
[4] Meininger R C. Aggregate test related to performance of Portland cement concrete pavement [C]//National Cooperative Highway Research Program Project, 2008.  
[5] Kosmatka S H, Kerkhoff B, Panarese W C. Design and control of concrete mixtures [C]//14th edition, Portland Cement Association, 2002.  
[6] 凌晨, 桂奇志, 侯俊. 细集料棱角性试验方法的探讨[J]. 现代交通技术, 2005(6): 4-7.  
LING Chen, GUI Qizhi, HOU Jun. Discuss on the test method of FAA [J]. Modern Transportation Technology, 2005(6): 4-7.  
[7] Topal A, Sengoz B. Evaluation of compacted aggregate resistant test compared with the fine aggregate angularity standards [J]. Construction and Building Materials, 2007, 22: 993-998.  
[8] Rismantojo E, Haddock J E, White T D. Comparison of fine aggregate uncompacted voids content measured by the ASTM C 1252 and the VTM-5 devices [J]. Journal of Testing and Evaluation, 2003, 31(4): 330-336.  
[9] Rousan T A. Evaluation of image analysis techniques for quantifying aggregate shape characteristics [J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(5): 978-990.  
[10] 陈璟, 彭波. 细集料几何特性对沥青混合料影响性研究[J]. 路基工程, 2009, 144(3): 73-74.  
CHEN Jin, PENG Bo. The effect of geometrical property of fine aggregate on the property of asphalt mixture [J]. Subgrade Engineering, 2009, 144(3): 73-74.  
[11] 何昌轩. 基于集料组成和几何形态分析的沥青混合料性能试验研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.  
[12] 李嘉, 林辉. 基于数字图像处理的粗集料棱角性量化研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(7): 27-31.  
LI Jia, LIN Hui. Quantification research of coarse aggregate angularity based on digital image processing [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(7): 27-31.  
[13] 汪海年, 郝培文, 肖庆一. 粗集料棱角性的图像评价方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(4): 637-641.  
WANG Hainian, HAO Peiwen, XIAO Qingyi. Digital image evaluation method for angularity of coarse aggregates [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008, 38(4): 637-641.  
[14] Chowdhury A, Button J W. Fine aggregate angularity: conventional and unconventional approach [J]. Aggregate Contribution to Hot Mix Asphalt (Hma) Performance, 2001: 144-159.  
[15] Chowdhury A. Image analysis techniques to determine fine aggregate angularity [J]. Aggregate Contribution to Hot Mix Asphalt (Hma) Performance, 2001: 128-143.

(编辑 王秀玲)