

石粉含量和含泥量对砂浆流变性能的影响

苏斌, 袁芳, 吕慧敏

中国电子工程设计院有限公司, 北京

收稿日期: 2022年2月3日; 录用日期: 2022年2月23日; 发布日期: 2022年3月2日

摘要

基于目前机制砂大量用于混凝土砂浆拌制的现状,对机制砂中石粉含量和MB值对砂浆流变性能的影响程度进行试验,结果表明:在低水胶比条件下,一定含量的石粉有利于降低砂浆的粘度,石粉含量在3%和6%时,砂浆流动效果较明显;剪切速率小于30 rpm,含泥量高的砂浆触变环大,剪切速率大于30 rpm时,含泥量低的砂浆触变环大,表现出明显的触变性;机制砂中含泥量较小时,不会明显降低减水剂作用,砂浆浆体的屈服应力和塑性黏度随着含泥量增加而增大。

关键词

机制砂, 石粉含量, MB值, 触变环, 流变性能

Influence of Stone Powder Content and Mud Content on Rheological Properties of Mortar

Bin Su, Fang Yuan, Huimin Lv

China Electronics Engineering Design Institute Co. Ltd., Beijing

Received: Feb. 3rd, 2022; accepted: Feb. 23rd, 2022; published: Mar. 2nd, 2022

Abstract

Based on the current situation that mechanical sand is widely used in mixing concrete mortar, the influence degree of stone powder content and MB value on the rheological property of mortar is tested. Under the condition of low water-binder ratio, a certain content of stone powder is benefi-

cial to reduce the viscosity of mortar. When the content of stone powder is 3% and 6%, the flow effect of mortar is more obvious. When the shear rate is less than 30 rpm, the mortar with high mud content has a large thixotropic ring and when the shear rate is greater than 30 rpm, the mortar with low mud content has a large thixotropic ring, showing obvious thixotropy. When the mud content in machine-made sand is small, the effect of water reducing agent will not be decreased obviously, and the yield stress and plastic viscosity of mortar slurry increase with the increase of mud content.

Keywords

Mechanical Sand, Powder Content, MB Value, Thixotropic Ring, Rheological Property

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑行业中混凝土用量巨大，保障混凝土的质量以及稳定性满足工程质量安全需要是其关键环节。在混凝土原材料选择时，由于天然砂资源有限，混凝土拌制中已大量采用机制砂进行替代。有别于天然砂，机制砂添加了一些合成材料，如果利用机制砂来浇筑混凝土，会导致混凝土的工作性能、力学性能等发生一定程度的改变，尤其是对高性能混凝土的特性影响更大，因此针对机制砂特性的研究较为迫切 [1] [2] [3] [4]。

机制砂本身是由各种物质组成的混合体，因此机制砂中各成分的含量不同会导致混凝土的整体性能的差异 [5] [6]。按机制砂成分而言，其母岩岩性 [7] [8]、颗粒特性 [9] [10]、石粉含量 [11] [12]、颗粒级配 [13] [14] 以及 MB 值 [15] [16] 等都会对混凝土的特性产生一定的影响。

董瑞、沈卫国 [17] 研究了石粉和泥粉对 MB 值的动态关系，孙辉、王勇等 [18] [19] 研究了 MB 值对特殊混凝土的影响。高育欣、刘明 [20] 探究改性剂的种类和用量对机制砂吸水率与 MB 值的影响以及与减水剂吸附量、黏土层间距之间的关系，同时研究了表面改性处理工艺对胶砂流变行为以及混凝土工作性能、力学性能和耐久性能的影响。温金宝、杜志芹 [21] 试验结果表明含泥量对水泥浆体塑性黏度的影响程度明显大于其对流动度的影响，水灰比与未掺减水剂的水泥浆体的流动度、塑性黏度、屈服应力分别呈线性关系、幂函数关系、指数关系；曾冲盛、徐志华等 [22] [23] 研究了 MB 值对混凝土性能的影响，并给出了合理的 MB 值取值范围，本文从机制砂的石粉含量和 MB 值出发，进一步探究该值对砂浆流变性能的影响。

2. 试验材料选取

为了探究配制混凝土所使用的机制砂中石粉含量和 MB 值对砂浆流变性能的影响，选取石灰岩机制砂为研究对象，筛分出不同石粉含量及含泥量的机制砂配制混凝土，以研究石粉含量和 MB 值对砂浆流变性能的影响。试验用砂浆配比成分及比例为：水泥 150 g、机制砂 3375 g、水 355 g、聚羧酸 6 g。石粉含量选取 0%、3%、6%、8% 和 10% 五个比例添加，添加量见表 1。

砂浆流变试验采用德国 Viskomat XL 型混凝土 - 砂浆流变仪 (图 1)，通过仪器测量得到扭矩随剪切速率的变化以及浆体的触变性，研究机制砂不同石粉含量和 MB 值条件对砂浆流变性能的影响。

Table 1. Test mortar mix-proportion
表 1. 试验砂浆配合比

序号	石粉含量/%	石粉/g	水泥/g	砂/g	聚羧酸/g	水/g
S1	0	0	1500	3375	6	355
S2	3	101.25	1500	3375	6	355
S3	6	202.5	1500	3375	6	355
S4	8	270	1500	3375	6	355
S5	10	337.5	1500	3375	6	355



Figure 1. Viskomat XL concrete-mortar rheometer
图 1. Viskomat XL 型混凝土 - 砂浆流变仪

Viskomat XL 型混凝土流变仪包括一个 3 升的反应池和适合用于混凝土和砂浆的探针，可测量 8 毫米直径的骨料颗粒；浇注料物料允许颗粒尺寸为 16 mm，旋转速度范围为 0.001 到 220 转每分钟，可顺时针或逆时针双向旋转，扭矩测量范围为 0 至 300 Ncm，测量分辨率为 0.05 Ncm，准确度优于 0.2 Ncm。样品的温度控制是通过双层杯壁的反应池实现的，循环液体在双层杯壁中流动调节反应池的温度；样品的温度测量是通过探针内的温度传感器完成的。

3. 石粉含量对砂浆流变性能的影响

试验按照表 1 的比例进行砂浆的配制, 将配置浆液装入样品池, 通过搅拌器形状的探针来测量扭矩。选用石灰石石粉进行外掺实验, 实验结果见图 2。

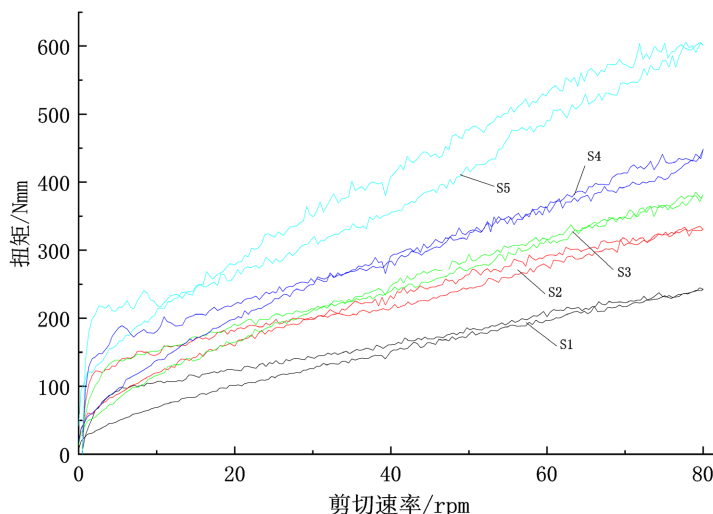


Figure 2. Influence of stone powder content on rheological properties of mortar

图 2. 石粉含量对砂浆流变性能的影响

从图 2 可以看出, 在相同的剪切速率下, 石粉含量在 3% 和 6% 时砂浆体系的剪切应力最小, 而且剪切应力差最小, 即石粉含量在 3% 和 6% 时的砂浆由粘稠状变为流动态较容易, 触变环的面积较小。说明在低水胶比下, 石粉含量在 3% 和 6% 时, 砂浆流动效果较明显。石粉含量达到 10% 时, 砂浆扭矩显著提高。按照宾汉姆流体回归方程(公式 1)进行不同石粉含量条件下的砂浆流变曲线拟合, 参数值见表 2。

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} + B\dot{\gamma}^2 \quad (1)$$

其中, τ ——剪切应力, Pa;

τ_0 ——屈服应力, Pa;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s^{-1} ;

η_p ——塑性粘度, Pa·s;

B ——稠度系数, Pa·s。

Table 2. Parameters of multiple regression equation of mortar rheology with different stone powder contents

表 2. 不同石粉含量的砂浆流变多项回归方程参数

序号	石粉含量/%	τ_0	η_p	B	R^2
S1	0	51.41159	3.0283	-0.00862	0.95726
S2	3	91.02282	3.95171	-0.01204	0.96399
S3	6	81.19619	4.69205	-0.01267	0.97491
S4	8	102.36958	5.34392	-0.01548	0.96504
S5	10	149.49967	6.4214	-0.00764	0.96717

石粉含量为 0% 时, 砂浆浆体屈服应力和塑性粘度最小, 分别为 51.41159 Pa 和 3.0283 Pa·s, 随着石

粉掺量的增加，砂浆浆体塑性逐渐增加，当石粉含量为 10%时达到最大值，表明随着石粉掺量的增加浆体开始流动时所需要的能量越来越大，浆体流动性变差。而屈服应力在 3%石粉含量到 6%含量时有所下降，而后又随石粉的增加而变大，表明一定含量的石粉有利于降低砂浆的粘度。

4. 含泥量对砂浆流变性能的影响

图 3 为机制砂含泥量对砂浆流变性能的影响曲线，从该图可以看出，剪切速率不变时，当含泥量为 0%和 2.8%时，砂浆体系流变性能的结果近似；当含泥量为 4.5%时，砂浆在同一剪切速率下所需的扭矩明显增加，体系流变性能变差，在剪切速率较低时砂浆体系的流变性就表现出不稳定状态，触变环的面积较大。

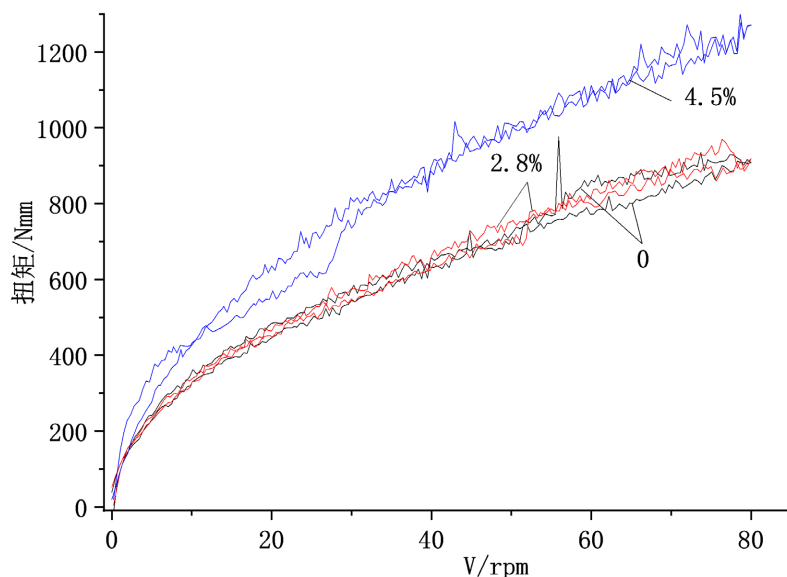


Figure 3. Influence of mud content on rheological properties of mortar
图 3. 含泥量对砂浆流变性能的影响

此外，当剪切速率小于 30 rpm 时，含泥量高的砂浆有较大的触变环，表现出明显的触变性；在剪切速率大于 30 rpm 时，不含泥的砂浆有较大的触变环，表现出明显的触变性。说明随着机制砂含泥量的逐渐增加，砂浆的触变性逐渐向低剪切速率变化。这可能是由于机制砂的泥成分导致的。机制砂含泥量为 0%时，砂浆体系中的减水剂全部用于分散水泥颗粒，整个体系流变性能稳定。对曲线进行回归分析，相关参数如表 3 所示。

Table 3. Parameters of rheological regression equation of mortar with different mud content
表 3. 不同含泥量砂浆流变回归方程参数

含泥量/%	τ_0	η_p	B	R^2
0	51.52260	4.0394	-0.00973	0.96836
2.8	56.58433	4.63835	-0.00845	0.96567
4.5	96.05336	8.41172	0.00849	0.8627

机制砂含泥量为 0%时，砂浆浆体屈服应力和塑性粘度最小，分别为 51.52260 Pa 和 4.0394 Pa·s；含泥量为 2.8%时，砂浆浆体屈服应力和塑性粘度和含泥量 0%的砂浆体系比较接近，砂浆浆体屈服应力和

塑性粘度为 56.58433 Pa 和 4.63835 Pa·s；机制砂含泥量为 4.5%时，砂浆浆体屈服应力和塑性粘度最大，分别为 96.05336 Pa 和 8.41172 Pa·s。表明了机制砂含泥量为 0%时浆体开始流动时所需要的能量最小，所以浆体较易流动，对砂浆流变性能影响较小，含泥量在一定范围增加时，泥份对减水剂的吸附较弱，尚未影响到体系中减水剂对水泥颗粒的分散性，砂浆浆体屈服应力和塑性粘度变化幅度很小。当机制砂含泥量过高时，减水剂会首先吸附于泥中，而用于分散水泥颗粒的有效减水剂则大大减少，砂浆浆体屈服应力和塑性粘度增大。

因此在不影响体系流变性能的条件下，机制砂含泥量存在一个临界数值。一旦含泥量超过此数值，砂浆浆体流变性能开始劣化，粘度随之增加。

5. 结论

通过本试验可得到如下结论：

- 1) 低水胶比条件下，一定含量的石粉有利于降低砂浆的粘度，石粉含量在 3%和 6%时，砂浆流动效果较明显，超过 10%时浆体的流动性变差。
- 2) 剪切速率小于 30 rpm，含泥量高的砂浆触变环大，剪切速率大于 30 rpm 时，含泥量低的砂浆触变环大，表现出明显的触变性，需要更长时间来恢复。
- 3) 机制砂中含泥量较小时，不会明显降低减水剂作用，砂浆浆体的屈服应力和塑性黏度随着含泥量增加而增大，且 2.8%~4.5%含泥量之间可能存在某个导致其性能突变的含泥量临界值，需要进一步研究。

参考文献

- [1] 陈家珑, 方源兴. 我国混凝土骨料的现状与问题[J]. 建筑技术, 2005, 36(1): 23-25.
- [2] 范文昭, 霍世金, 李宪军. 浅谈细骨料的应用现状与研究进展[J]. 混凝土, 2009(7): 60-63.
- [3] 刘贞鹏, 王晶, 陆芳, 等. 机制砂及机制砂混凝土研究应用现状综述[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(2): 20-21.
- [4] 郑威. 混凝土中混合砂资源应用的现状问题与优化措施研究[J]. 上海建材, 2021(2): 16-19.
- [5] 赵社民. 机制砂品质对混凝土性能的影响[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [6] 孟亚锋, 谢兼量, 沈卫国, 等. 机制砂在混凝土中适应性研究[J]. 混凝土, 2019(5): 58-61.
- [7] 唐凯靖, 刘来宝, 周应. 岩性对机制砂特性及其混凝土性能的影响[J]. 混凝土, 2011(12): 62-63+66.
- [8] 周鸿煜, 李家和, 王云东, 等. 不同岩性机制砂对混凝土力学性能的影响研究[J]. 混凝土世界, 2018(4): 54-57.
- [9] 季韬, 李锋, 庄一舟, 等. 机制砂比表面积对混凝土性能的影响[J]. 混凝土, 2011(2): 80-82.
- [10] 闫光明, 殷素红, 郭文昊, 等. 砂岩机制砂颗粒特性及其配制的混凝土性能[J]. 材料研究与应用, 2019, 13(4): 299-306.
- [11] 林基泳, 蒋勇, 吴兴颜, 等. 石粉对混凝土性能影响的研究现状[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(12): 3842-3848.
- [12] 武军宝. 石粉对混凝土性能的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2020.
- [13] 王恒. 机制砂级配对 C80 混凝土性能影响研究[J]. 煤炭工程, 2021, 53(8): 161-165.
- [14] 宋少民, 张智茹, 庄凯群. 石灰岩机制砂级配对大流态混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土, 2021(11): 108-111+116.
- [15] 孙辉, 游吟, 夏京亮, 等. 机制砂 MB 值对混凝土碳化性能的影响研究[J]. 混凝土, 2021(11): 89-92.
- [16] 夏京亮, 高彦鹏, 张鹏翔, 等. 机制砂 MB 值对混凝土电通量和氯离子扩散系数的影响[J]. 建筑科学, 2021, 37(3): 78-84.
- [17] 董瑞, 沈卫国. 石粉和泥粉对 MB 值的动态关系研究[J]. 混凝土, 2017(12): 67-70+74.
- [18] 孙辉, 游吟, 夏京亮, 等. 机制砂 MB 值对混凝土碳化性能的影响研究[J]. 混凝土, 2021(11): 89-92.
- [19] 王勇, 杜雪剑, 敖建华, 等. 利用高 MB 值机制砂制备泵送 C50 自密实混凝土的研究[J]. 新世纪水泥导报, 2020, 26(2): 6-9.

- [20] 高育欣, 刘明, 曾超, 王福涛, 王鹏, 叶子, 张磊. 机制砂表面改性技术研究与应用[J]. 材料导报, 2021, 35(22): 22072-22078+22084.
- [21] 温金保, 杜志芹, 唐修生, 刘兴荣. 聚羧酸减水剂和含泥量对水泥浆体流变性能的影响[J/OL]. 混凝土与水泥制品, 2022: 1-5.
- [22] 曾冲盛. 人工砂石粉含量及 MB 值对自密实混凝土性能的影响及模型研究[J]. 混凝土, 2011(9): 102-106.
- [23] 徐志华, 邓俊双, 刘战鳌, 等. 机制砂中细粉 MB 值对混凝土性能影响规律的研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2021, 45(6): 1151-1157.