

文章编号:1007-9629(2022)12-1284-09

花岗岩机制砂细粉对聚羧酸减水剂 吸附性能的影响

李北星^{1,*}, 吕敦祥¹, 乔 敏²

(1. 武汉理工大学 硅酸盐建筑材料国家重点实验室, 湖北 武汉 430070;

2. 江苏苏博特新材料股份有限公司, 江苏 南京 211103)

摘要:测定了砂石联产制砂和制砂楼单独制砂 2 种干法制砂工艺生产的花岗岩机制砂中细粉的理化特性,研究了细粉含量对机制砂亚甲蓝值(MBV)和胶砂流动性的影响;通过测试总有机碳(TOC)和 Zeta 电位,分析了 5 种聚羧酸减水剂在联产机制砂细粉(CMF)和单产机制砂细粉(SMF)上的吸附性能.结果表明:随着细粉含量的增加,机制砂的 MBV 增大,胶砂达到等流动性所需减水剂掺量提高,且性能较差的 CMF 的影响程度显著;CMF 对 5 种聚羧酸减水剂的吸附性均很强,而 SMF 对减水剂的吸附率与水泥相差不大;CMF 对于减水剂的高吸附性并非源于纯石粉,而是源于机制砂生产中混杂在细粉中的泥粉或岩石风化颗粒.

关键词:花岗岩细粉;泥粉;亚甲蓝值;胶砂流动性;聚羧酸减水剂;吸附

中图分类号: TU528.01

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1007-9629.2022.12.010

Effect of Microfines in Granite Manufactured Sand on Adsorption Characteristics of Polycarboxylate Superplasticizer

LI Beixing^{1,*}, LÜ Dunxiang¹, QIAO Min²

(1. State Key Laboratory of Silicate Materials for Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Jiangsu Sobute New Materials Co., Ltd., Nanjing 211103, China)

Abstract: Physical and chemical properties of two microfines in the granite manufactured sands produced by two dry processes, namely the combination production of sand and gravel and the separate sand-manufacturing plant were tested. The effects of microfines content on methylene blue value (MBV) of manufactured sand and fluidity of mortar were studied. Total organic carbon (TOC) and Zeta potential were used to measure the adsorption properties of five polycarboxylate superplasticizers (PCE) on the two granite microfines of microfines contained in the manufactured sand from the combination production of sand and gravel process (CMF) and microfines contained in the manufactured sand from the separate sand-manufacturing plant process (SMF). The results show that with the increase of granite microfines content, the MBV of manufactured sand increases, and the PCE demand dosage to achieve equal fluidity of mortar is increased, and the influence of the low-quality CMF is more significant than that of the SMF; The CMF can be very strongly adsorbed onto the five PCEs, and the adsorption rate of the SMF onto the PCEs is similar to that of the cement. The high adsorption of the CMF onto PCE does not result from the pure rock fines, but from the clay powder or weathered particles which are mixed in the microfines during the production of manufactured sand.

Key words: granite microfines; clay powder; methylene blue value (MBV); fluidity of mortar; polycarboxylate superplasticizer; adsorption

收稿日期:2021-09-02; 修订日期:2021-12-20

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2020YFC1909904);江西省交通运输厅科技计划项目(2020H0002)

第一作者(通讯作者):李北星(1970—),男,江西丰城人,武汉理工大学教授,博士生导师,博士. E-mail:libx0212@126.com

机制砂由岩石经除土、多段破碎、整形和筛分后制得.该生产方式会产生一定量的粒径小于 $75\ \mu\text{m}$ 的细粉^[1].由于岩石开采时表层泥土未清理干净或破碎过程中岩层夹杂的泥土无法彻底清除,机制砂中的细粉实际上是由与母岩成分相同的石粉和泥粉共同组成的.众多研究表明,由于细粉具有润滑、增黏、降低内泌水等作用,当机制砂中的细粉含量适量时,不仅能在一定程度上改善混凝土的和易性,还可以提高其强度^[2-6];但当机制砂中的细粉含量较高或细粉多为泥粉时,混凝土在达到相同坍落度条件下的用水量或减水剂掺量增加,混凝土坍落度损失加快^[7-8],并可能劣化混凝土的收缩变形和抗冻性能^[9-13].为此,各国标准均对机制砂中的细粉含量进行了限定^[14].

机制砂因母岩材质和加工工艺的不同,导致不同机制砂中的细粉在矿物组成、细度、粒度分布、粒形、吸附性、需水性和活性等理化特性上有较大差异,其中细粉的需水性主要与其吸附性有关^[15],会直接影响砂浆和混凝土的工作性.当前,虽然无法定量测定细粉中泥粉的含量,但由于石粉和泥粉的吸附性和膨胀性存在显著差异. AASHTO T330-07《Standard method of test for the qualitative detection of harmful clays of the smectite group in aggregates using methylene blue》、BS EN 933-9: 1999《Tests for geometrical properties of aggregates-Part 9: Assessment of fines-Methylene blue test》和 JG/T 568—2019《高性能混凝土用骨料》

等通过直接测定 $0\sim 0.075\ \text{mm}$ 细粉颗粒的亚甲蓝值 (MBV_F) 来表征细粉颗粒的吸附性能.泥由多种黏土矿物(如蒙脱石、高岭石、绿泥石等)及有机质组成,其中黏土矿物因其特有的层状结构和较强的阳离子交换能力,能够吸附较多拌和水及减水剂分子^[12,16],因此,机制砂中的细粉特性对聚羧酸减水剂的适应性高度敏感.

为揭示花岗岩机制砂中细粉特性对减水剂适应性的影响,本文测定了采用砂石联产干法和制砂楼单独干法生产的 2 种花岗岩机制砂细粉的理化特性,研究了细粉含量对机制砂亚甲蓝值 (MBV)、胶砂流动性和强度的影响,并通过测试总有机碳 (TOC) 和 Zeta 电位,分析了 5 种聚羧酸盐减水剂在 2 种细粉上的吸附性差异.

1 试验

1.1 原材料

机制砂母岩为同一隧道开挖的花岗岩洞渣.2 种花岗岩机制砂源于同一机制砂石加工场,分别为由砂石联产干法工艺生产的机制砂(简称联产机制砂, CMS)和由制砂楼单独干法制砂工艺生产的机制砂(简称单产机制砂, SMS).表 1 为花岗岩机制砂的主要性能指标.由表 1 可以看出, CMS 的细粉含量、 MBV 、压碎指标和泥块含量等均高于 SMS.需要说明的是,除特别注明外,本试验均采用 SMS,其主要性能指标符合 II 类砂的要求.

表 1 花岗岩机制砂的主要性能指标
Table 1 Main property indexes of granite manufactured sands

Type	Fineness modulus	Packing density/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Apparent density/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	$\text{MBV}/$ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Crushing index (by mass)/%	Microfine content (by mass)/%	Mud lump content (by mass)/%
CMS	3.05	1 563	2 641	1.8	27	9.2	0.6
SMS	2.71	1 506	2 624	0.9	22	5.2	0.4

试验用细粉为联产机制砂细粉 (CMF) 和单产机制砂细粉 (SMF) 采用 $0.075\ \text{mm}$ 方孔筛,分别从联产机制砂和单产机制砂中干筛分离得到.2 种细粉的理化特性详见 2.1.

机制砂胶砂试验用水泥为 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;细粉对聚羧酸减水剂吸附性试验用水泥为 P·II 52.5 硅酸盐水泥.

机制砂胶砂试验用减水剂为 TS-HPC 缓凝型聚羧酸高性能减水剂成品,其固含量(质量分数,文中涉及的含量、水粉比等均为质量分数或质量比)为 14.6% ;细粉对聚羧酸减水剂吸附性试验用减水剂为某公司产 5 种分子结构不同的聚羧酸减水剂母液 (801、808、902、903 和 403).

机制砂胶砂试验采用自来水;细粉对聚羧酸减水剂吸附性试验和 Zeta 电位试验采用去离子水.

1.2 试验方法

1.2.1 机制砂的亚甲蓝值

机制砂的亚甲蓝值 (MBV) 依据 GB/T 14684—2011《建设用砂》测定.取花岗岩机制砂试样,先通过干筛筛除掉粒径大于 $2.36\ \text{mm}$ 和粒径小于 $0.075\ \text{mm}$ 的颗粒,再向 $0.075\sim 2.36\ \text{mm}$ 机制砂试样中外掺不同含量的细粉,以研究细粉含量对机制砂 MBV 的影响.

1.2.2 细粉的理化特性

细粉的含水量、细度 ($45\ \mu\text{m}$ 方孔筛筛余)、流动性比和抗压强度比参照 T/CECS 645—2019《石粉在

混凝土中应用技术规程》进行测试;细粉的比表面积按 GB/T 8074—2008《水泥比表面积测定方法 勃氏法》进行测定;细粉的粒度分布采用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行测试;细粉的亚甲蓝值(MBV_F)按 BS EN 933-9:1999 进行测试。

1.2.3 胶砂的流动性与强度

胶砂配合比为 $m(\text{水泥}):m(\text{机制砂}):m(\text{水})=1.0:3.0:0.5$ 。先将单产机制砂和联产机制砂中的细粉用 0.075 mm 方孔筛全部筛出,然后分别掺入单产机制砂中,细粉添加量为 6%、9%、12% 和 15%。当细粉特性或细粉含量变化时,通过调整减水剂用量控制胶砂流动度达到同一水平((180±5) mm)。以不同细粉含量的胶砂达到相等流动性下的减水剂掺量,来评价细粉吸附性对减水剂适应性的影响;同时测定胶砂强度,以间接反映细粉吸附性对机制砂混凝土力学性能的影响。胶砂流动度和强度试验分别参考 GB/T 2419—2005《水泥胶砂流动度测试方法》和 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》进行。

1.2.4 细粉和水泥对减水剂的吸附性

首先将聚羧酸盐减水剂用去离子水稀释,配制成 300 mL 质量分数为 0.15% 的水溶液。取 100 g 待测细粉或水泥或掺细粉的水泥($m(\text{细粉}):m(\text{水泥})=1:9$)样品,加入 200 g 上述溶液中,恒温搅拌至规定时间后,分别取出约 25 mL 混合液于离心管中,采用高速离心机以 10 000 r/min 转速离心 3 min,先取出 1.0 g 上层清液,再用 1.0 g 的 2 mol/L 盐酸溶液酸化,最后补加去离子水至 20 g。采用 Multi N/C 3100 型总有机碳 TOC 分析仪测试上层清液(吸附样品)、空白样(减水剂水溶液),以及细粉或水泥中的有机碳含量。利用差值法^[17],按式(1)计算减水剂在粉体样品表面上的吸附率($P, \%$)。

$$P = \frac{C_0 - C_1 + C_2}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_0 为减水剂中有机碳的质量浓度,mg/L; C_1 为上清液中有机碳的质量浓度,mg/L; C_2 为细粉或水泥粉体中有机碳的质量浓度,mg/L。

1.2.5 Zeta 电位测试

细粉浆体的 Zeta 电位采用 DT300 型 Zeta 电位仪测定。固定悬浮液的水粉比为 2:1,测试减水剂掺量为 0.3% 且细粉浆体静置 1、3、5、10、15 min 时的 Zeta 电位。

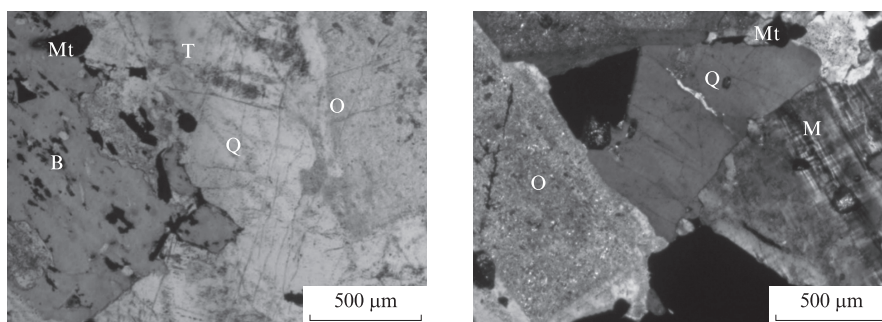
2 结果与分析

2.1 花岗岩细粉的理化特性

机制砂母岩为肉红色岩石,图 1 为花岗岩机制砂岩相分析。由图 1 可知:岩石结构构造为似斑状结构和块状结构;斑晶主要为钾长石类(正长石、条纹长石、微斜长石),还有少量石英;基质为中粗粒花岗结构;矿物组成主要为钾长石类矿物(含量约为 55%,其中正长石约为 25%、条纹长石约为 20%、微斜长石约为 10%)、石英矿物(含量约为 25%)、斜长石(含量小于 5%);次生矿物为黑云母(含量约为 5%)、白云母(含量为 1%~2%)、高岭石和碳酸盐矿物(长石蚀变产物,含量约为 3%)和不透明矿物(含量为 1%)。

表 2 和图 2 为 2 种花岗岩细粉的化学组成和 X 射线衍射(XRD)图谱。由表 2 和图 2 可以看出:2 种细粉的化学组成区别不大,均以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主,二者共占 80% 以上,还有少量碱金属氧化物;2 种细粉的 XRD 图谱也非常相近,主要物相均为 α -石英、钾长石和钠长石。

表 3 为 2 种花岗岩细粉的主要性能。由表 3 可见:SMF 和 CMF 的比表面积和密度相差不大,但 CMF 的 MBV_F 高于 SMF,流动度比低于 SMF,表明 CMF 对水和外加剂的吸附性更强;2 种细粉的抗压强度比均超过 60%,不过 SMF 的抗压强度比高于 CMF。



Q—Quartz; O—Orthoclase; T—Perthite; M—Microcline; B—Biotite; Mt—Magnetite

图 1 花岗岩机制砂岩相分析

Fig. 1 Petrographic analysis of granite manufactured sand

表 2 花岗岩细粉的化学组成
Table 2 Chemical compositions of granite microfines

Type	w/ %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	IL
CMF	65.46	16.01	1.79	4.24	0.65	0.18	2.98	5.30	0.11	0.12	0.21	2.84
SMF	69.05	16.32	1.53	1.70	0.67	0.23	3.83	4.95	0.10	0.13	0.11	1.25

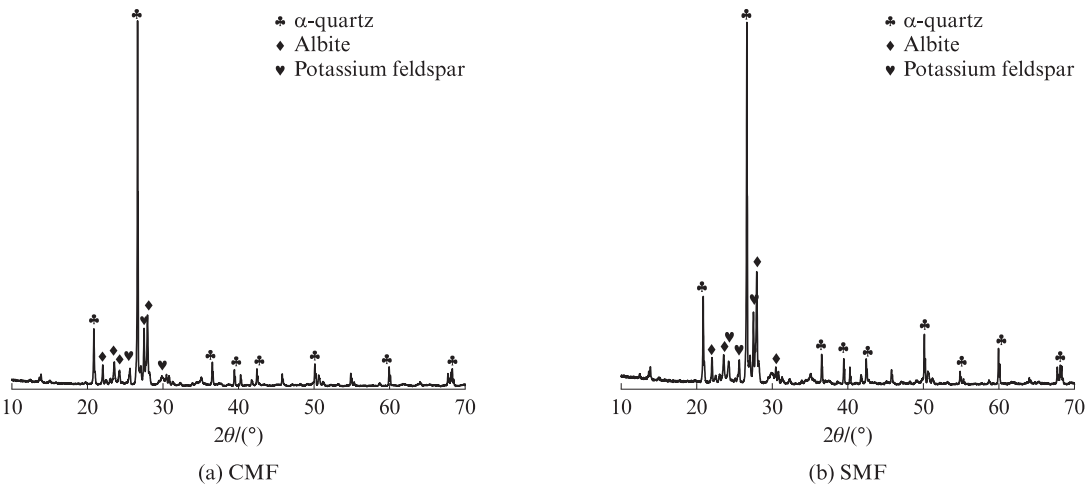


图 2 花岗岩细粉的 XRD 图谱
Fig. 2 XRD patterns of granite microfines

表 3 花岗岩细粉的主要性能
Table 3 Main properties of granite microfines

Type	Density/ (g·cm ⁻³)	Water content (by mass)/%	Fineness (by mass)/%	Specific surface area/ (m ² ·kg ⁻¹)	MBV _F / (g·kg ⁻¹)	Fluidity ratio /%	Ratio of compressive strength/%	
							7 d	28 d
CMF	2.67	0.65	25	314.7	10.0	87.1	60	63
SMF	2.65	0.42	20	326.3	7.4	91.6	62	70

图 3 为 2 种花岗岩细粉的粒度分布曲线。由图 3 可知, SMF、CMF 颗粒的中值粒径 (D_{50}) 分别为 17.77、22.98 μm , SMF 的粒度稍细, 且其粒度分布较 CMF 更加均匀。综上所述, SMF 的理化特性优于 CMF, 即 SMF 更有利于混凝土工作性和强度发展。

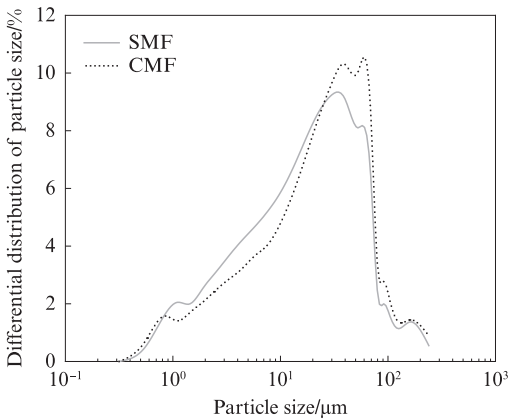


图 3 花岗岩细粉粒度分布曲线
Fig. 3 Curves of particle size distribution of granite microfines

虽然 2 种细粉的岩性同为花岗岩, 但 CMF 的吸附性显著高于 SMF. 这可能主要与砂石联产工艺产机制砂细粉中混杂了更多的泥粉有关, 泥粉中的黏土矿物为铝硅酸盐, 呈疏松多孔的层状结构, 具有高阳离子交换能力^[18], 对拌和水和减水剂的吸附量显著, 高于纯净石粉^[12,16], 从而导致 CMF 的 MBV_F 值高于 SMF. CMS 和 SMS 虽为同一隧道的花岗岩洞渣, 但因制砂工艺流程上的差异, 实际进入制砂机的原料粒度和所含杂质质量有很大不同: (1) SMS 由粒径为 9.5~19 mm 的单粒级成品碎石经立轴冲击制砂机破碎而成, 所用碎石原料表面洁净、含泥量低且颗粒经整形后变得圆润、棱角少. (2) CMS 是砂石联产工艺线生产碎石的筛下料, 即先经圆锥破碎机破碎为 5~31.5 mm 粒径的统料, 再由立轴冲击破碎机整形后所产生的筛下料. 由于生产线前端工序中未筛除干净的泥土或碎石中含有的风化岩石颗粒等在进入立轴冲击破碎机后易被粉碎成粉体而混于机制砂中, 导致机制砂中的细粉颗粒并不完全是与母岩成分相同

的岩石粉,而含有泥粉和风化岩石颗粒等杂质,这些泥粉和风化岩石颗粒组成中大多为黏土矿物。

2.2 花岗岩细粉对机制砂MBV的影响

机制砂的吸附性主要与细粉的吸附性及含量有关。图4为2种细粉含量与机制砂MBV的关系。由图4可见:(1)随着细粉含量的增加,机制砂的MBV呈线性增加。(2)因CMF含量增加所引起的机制砂MBV增幅远大于SMF,当CMF含量为15%时,机制砂MBV为2.25 g/kg,较未掺细粉时增加了246.1%;当SMF含量为15%时,机制砂MBV为1.25 g/kg,较未掺细粉时增加了92.3%。研究表明^[18-19],石粉含量的增加虽然增大了粉料的比表面积,增强了机制砂对亚甲蓝的吸附作用,但纯净石粉对MBV的贡献并不大。因此,本研究所用花岗岩细粉即使是MBV_F较低的SMF,其含量增加对机制砂MBV的贡献也较大,吸附性较强,这可能与该花岗岩组成矿物中含有一定数量的层状结构硅酸盐矿物黑云母和白云母有关^[20]。

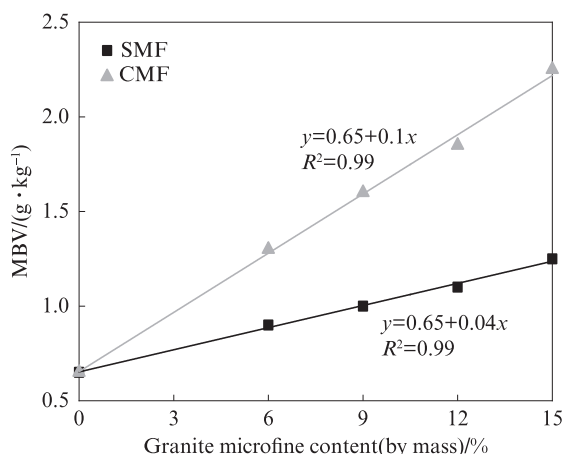


图4 细粉含量与机制砂MBV的关系

Fig. 4 Relationship between granite microfine content and MBV of manufactured sand

2.3 花岗岩细粉对等流动性下胶砂减水剂掺量及强度的影响

图5为细粉含量对等流动度下胶砂减水剂掺量的影响。由图5可见,随着细粉含量的增加,相同配比的机制砂胶砂为满足相同流动性所需减水剂掺量呈线性增大,且不同特性细粉对减水剂的需求量明显不同,细粉含量越大,CMF对减水剂的需求量与SMF的差值越大,即减水剂掺量增加幅度更加显著。机制砂中细粉含量越高,达到等流动性所需减水剂掺量越大,这是细粉的增黏效应和吸附效应所致。具体而言,由于细粉的比表面积远大于机制砂颗粒,随着机制砂中细粉含量的增加,包裹其所需的用水量

愈多,在用水量不变的情况下,胶砂黏度随之增加,表现为增黏效应。另外,花岗岩属于硅质岩石,硅质石粉对减水剂也有一定的吸附作用^[21],且该作用随着细粉含量的增加而增强,表现为吸附效应。高MBV_F的细粉对拌和水和减水剂吸附性更强,所以机制砂中细粉含量越大或MBV_F越高的细粉,在用水量一定的条件下,所配制的胶砂达到相同流动度时需要的额外减水剂掺量就越大。

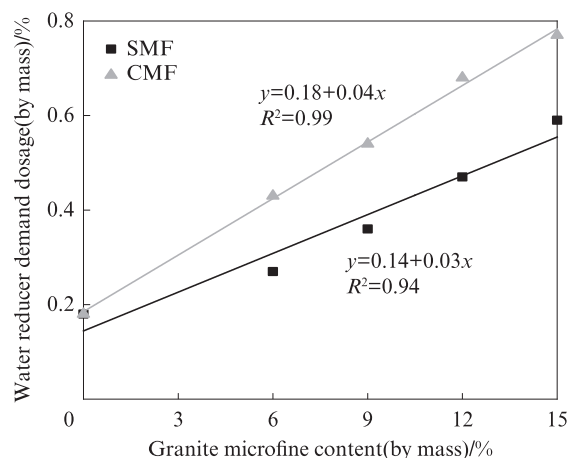


图5 细粉含量对等流动度下胶砂减水剂掺量的影响

Fig. 5 Effect of granite microfine content on water reducer demand dosage of mortar under equal fluidity

图6为细粉含量对机制砂胶砂强度的影响。由图6可见:(1)随着机制砂中细粉含量的增加,胶砂3、28 d抗压强度和抗折强度均呈先增后降趋势;2种细粉的最佳含量值不同,SMF的最佳含量为9%,CMF细粉的最佳含量为6%;当细粉含量超过最佳值后,胶砂强度随着细粉含量的增加,发展趋势也不同——当SMF含量大于最佳值9%后,胶砂强度缓慢下降,即使细粉含量达到15%(28 d抗压强度例外),其强度仍高于空白样;当CMF细粉含量大于最佳值6%,尤其是超过7.5%后,胶砂强度下降显著,且低于空白样,由此认为CMF含量不应超过6%。(2)相同细粉含量情况下,掺SMS的胶砂各龄期抗压强度和抗折强度均高于掺CMS的胶砂。相比CMF含量为6%的CMS胶砂,SMF细粉含量为9%的SMS胶砂3、28 d抗压强度和抗折强度分别提高9.2%、8.7%。其主要原因是CMF中混杂了更多的泥粉,而泥粉的主要成分为黏土,自身并无活性,不仅阻碍水泥水化反应,且会削弱水泥浆与骨料之间的界面过渡区,形成了黏结力弱化区^[22]。

2.4 花岗岩细粉对聚羧酸减水剂吸附性的影响

研究了5种聚羧酸减水剂母液在CMF、SMF、基准水泥(C),以及90%水泥+10%细粉(C+SMF和

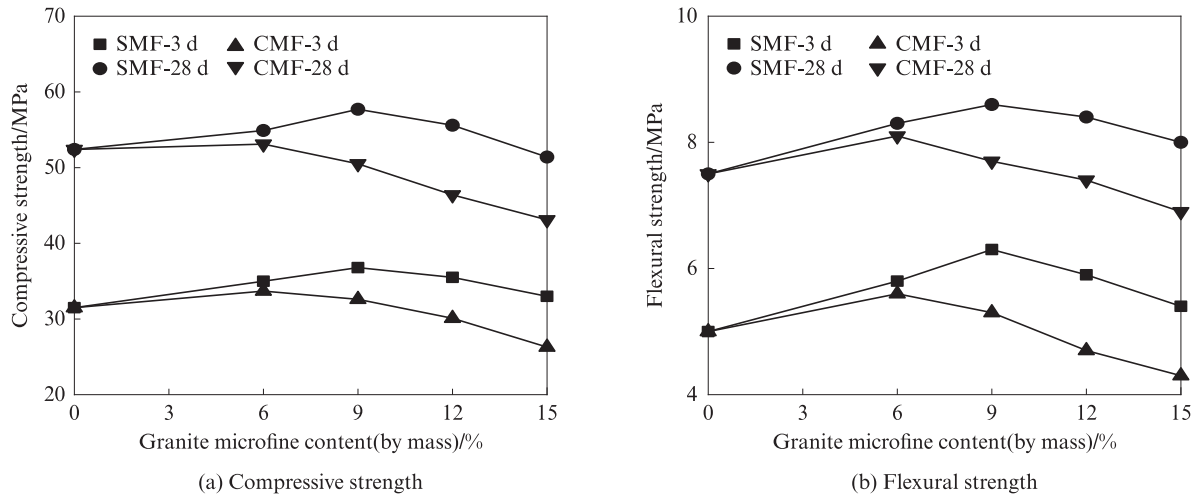


图6 细粉含量对机制砂胶砂强度的影响

Fig. 6 Effect of granite microfine content on strengths of manufactured sand mortar

C+CMF)等5种粉体材料表面上的吸附率与吸附时间的关系,结果见图7.由图7可见:

(1)CMF对5种聚羧酸减水剂的吸附率极高,吸附率均达到72%以上,是C的2.5倍左右,说明CMF细颗粒与水泥颗粒间存在对5种聚羧酸减水剂的竞争吸附,致使用于水泥分散作用的聚羧酸减水剂量减少,这也是2.3中CMF对胶砂流动性产生严重负面影响的主要原因;SMF对不同聚羧酸减水剂的吸附率在20%~39%之间,吸附率较低,与基准水泥对聚羧酸减水剂的吸附率相差不大,即SMF细颗粒与水泥颗粒之间基本不产生竞争性吸附.

(2)由于C与SMF对聚羧酸减水剂吸附率差别不大,使得C与C+SMF的吸附率相差并不大;而CMF的吸附率远高于C,由此推高了C+CMF对聚羧酸减水剂的吸附率,说明CMF的引入显著降低了聚羧酸减水剂在水泥浆体中的分散作用.

(3)5种聚羧酸减水剂中903减水剂最易被细粉吸附,CMF、SMF对903减水剂的初始吸附率(5 min)分别为89.0%、31.9%,60 min的吸附率分别为100.0%和38.9%;SMF对801减水剂的吸附率最低,其次是902减水剂,而CMF对902减水剂的吸附率最低,因此推测分别使用801减水剂和902减水剂的减水效果最佳.

为探明CMF和SMF吸附性差异很大的原因,本试验采用CMS和SMS分别磨细制备的纯岩石细粉(简称纯石粉)来研究其对聚羧酸减水剂吸附性能的影响.纯石粉的制备过程如下:为消除泥粉的影响,预先将CMS和SMS中的0.075 mm以下颗粒通过水洗去除,余下的纯砂颗粒(粒径0.075~4.75 mm)烘干后在振动磨上研磨,制成粒径小于0.075 mm纯石粉.

测定这2种纯石粉对上述5种聚羧酸减水剂吸附性的差异,结果见图8.由图8可知:除902减水剂外,其他4种减水剂在联产机制砂磨细的纯石粉(CMS-GF)颗粒表面的吸附率略高于单产机制砂磨细的纯石粉(SMS-GF);2种纯石粉的吸附率总体差异不大,对5种聚羧酸减水剂的吸附率均基本低于20%,且均低于基准水泥(C)对这些聚羧酸减水剂的吸附率.纯石粉的低吸附率意味着会有更大比例的减水剂用于水泥分散.由此可以推断,原状联产机制砂中的细粉CMF对于减水剂的高吸附性并非来源于纯石粉部分,而是来自细粉中混杂的泥粉或岩石风化颗粒,这些细粉中的黏土矿物具有很强或较强的阳离子交换能力和吸附性.

2.5 花岗岩细粉的Zeta电位

Zeta电位是度量水泥(粉体)-水浆体分散体系颗粒间排斥或吸引力的重要指标.其绝对值越高,颗粒分散越好,浆体越稳定;反之,颗粒分散被破坏而易发生凝聚现象.图9为聚羧酸减水剂品种对基准水泥(C)和花岗岩细粉浆体Zeta电位的影响.由图9可见:(1)未掺聚羧酸减水剂的水泥浆体Zeta电位为正值,掺入聚羧酸减水剂后水泥浆体的Zeta电位变为负值,电位绝对值在增加,电位值在-10~-24 mV之间变化,表明聚羧酸减水剂在水泥表面进行了吸附.(2)CMF和SMF 2种细粉浆体在未掺聚羧酸减水剂时的Zeta电位差异并不大,初始Zeta电位值分别为-129.0、-139.3 mV,细粉表面电位绝对值高于C;掺入聚羧酸减水剂后,2种细粉浆体的Zeta电位绝对值下降,减水剂品种不同,细粉的Zeta电位绝对值变化程度不一致,但总体上CMF浆体的Zeta电位绝对值显著低于SMF浆体.2种细粉浆体的Zeta

电位不同与聚羧酸减水剂在2种细粉表面的吸附量不同有关:CMF对不同聚羧酸减水剂的吸附率高达72%以上(见图7),高于SMF,聚羧酸减水剂大量吸

附于CMF表面,使得CMF浆体体系分散性降低,具体表现为Zeta电位绝对值显著降低,从而导致含有CMF的胶砂流动性下降;而CMF这种强吸附的来

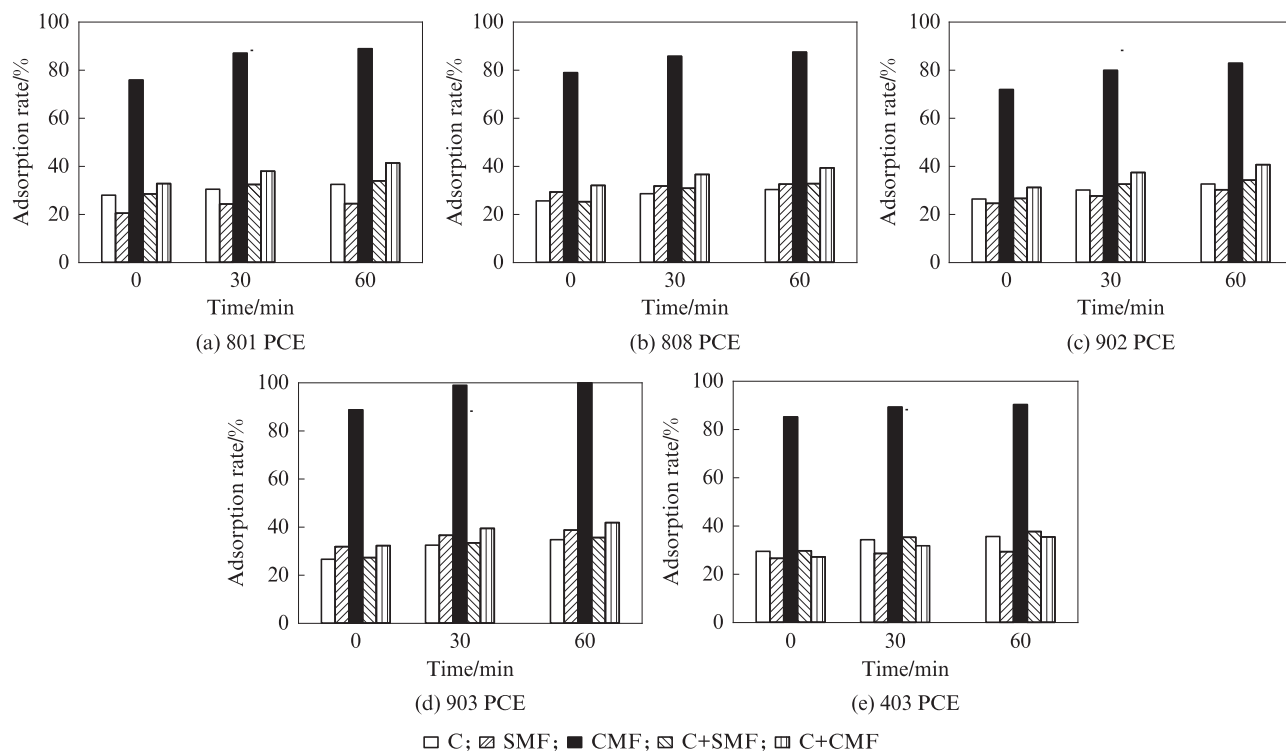


图7 花岗岩细粉对聚羧酸减水剂吸附性能的影响

Fig. 7 Effect of granite microfines on adsorption performance of PCE

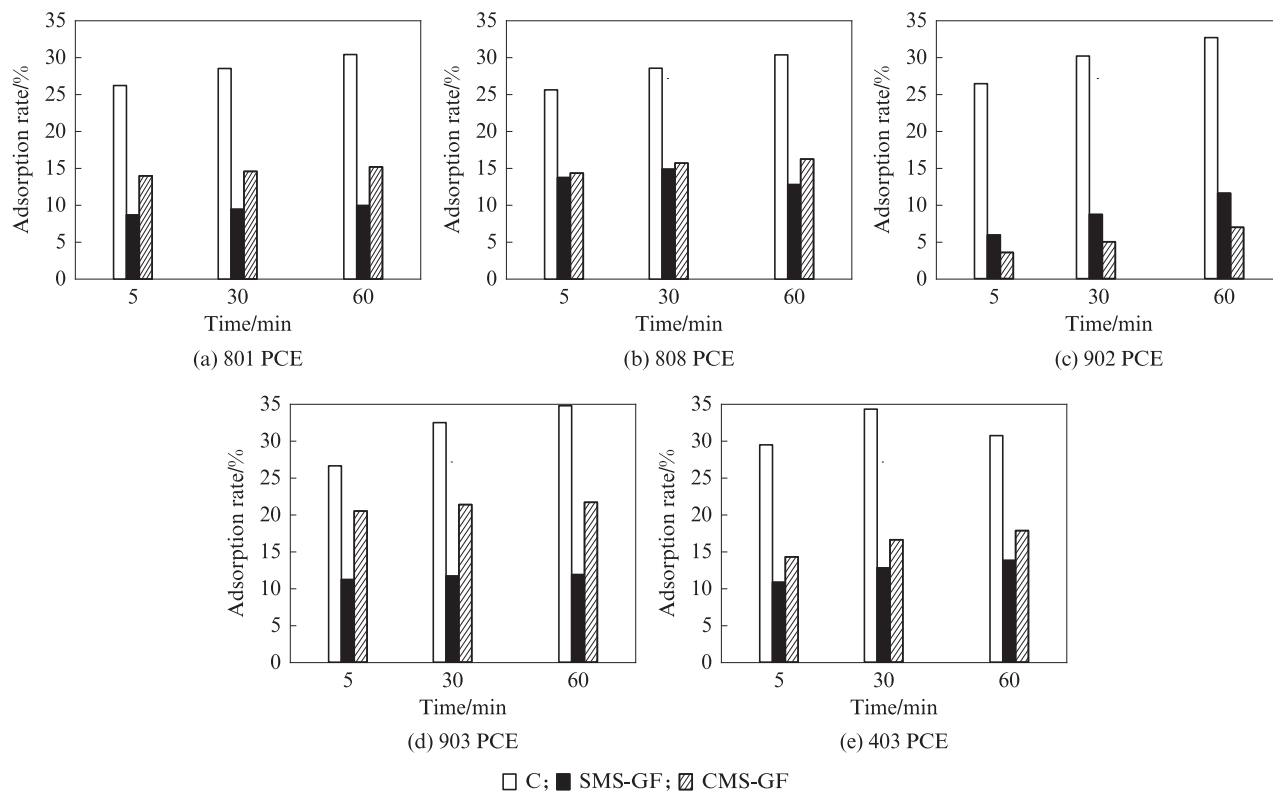


图8 纯石粉对聚羧酸减水剂吸附性能的影响

Fig. 8 Effect of pure rock fines on adsorption performance of PCE

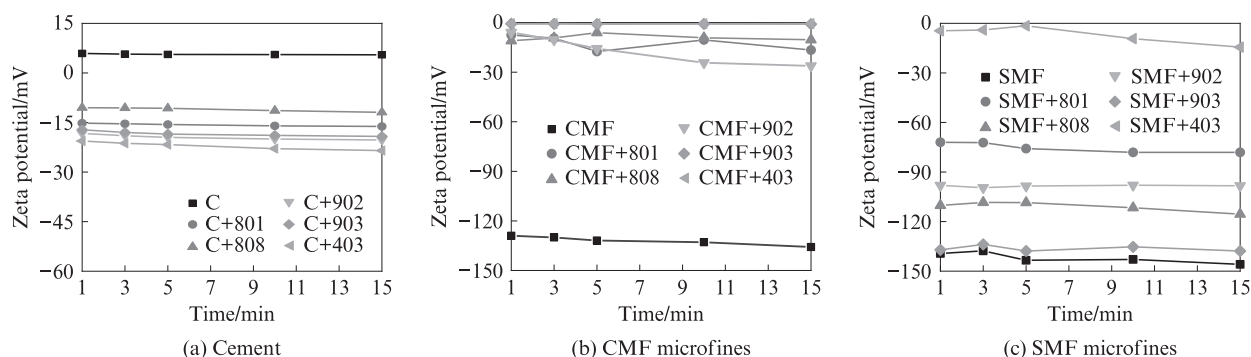


图9 聚羧酸减水剂品种对基准水泥和花岗岩细粉浆体Zeta电位的影响

Fig. 9 Effect of PCE type on Zeta potential of cement and granite microfine pastes

源主要为机制砂生产过程中混杂的泥粉或岩石风化颗粒等杂质.

3 结论

(1)砂石联产制砂和制砂楼单独制砂2种干法制砂工艺所生产的花岗岩机制砂细粉的理化特性有很大不同.联产机制砂细粉(CMF)的 MBV_F 显著高于单产机制砂细粉(SMF),使得因CMF含量增加所引起的机制砂 MBV 增幅远大于SMF.

(2)受花岗岩细粉增黏和吸附效应的影响,机制砂中细粉含量越高或所含细粉的 MBV_F 越大,机制砂胶砂达到等流动性所需的减水剂掺量就越大.相同细粉含量下,联产机制砂(CMS)的胶砂强度低于单产机制砂(SMS).

(3)CMF和SMF对聚羧酸减水剂的吸附作用有显著差异:CMF对聚羧酸减水剂具有很强的吸附作用,对5种分子结构不同的聚羧酸减水剂的吸附率均超过72%,约为基准水泥的2.5倍左右,与水泥对减水剂存在竞争吸附关系;SMF与基准水泥对聚羧酸减水剂的吸附率相差不大.

(4)CMF对于聚羧酸减水剂的强吸附能力并非来源于纯石粉部分,而是源于混杂在该机制砂细粉中含量较高的泥粉或岩石风化颗粒.聚羧酸减水剂大量吸附在CMF表面后,其Zeta电位绝对值显著降低,导致CMF浆体体系分散性降低,流动性下降.

参考文献:

[1] HUDSON B. Discovering the lost aggregate opportunity[J]. Pit and Quarry, 2002, 95(6):42-46.
[2] IMÈNE J B, ANDRÉ L, MONGI B O, et al. Use of limestone sands and fillers in concrete without superplasticizer[J]. Cement and Concrete Composites, 2012, 34(6):771-780.
[3] 姚燕,高瑞军,吴浩,等.白云岩石粉对水泥净浆和砂浆流变性能影响及机理[J].建筑材料学报,2019,22(6):860-865.

YAO Yan, GAO Ruijun, WU Hao, et al. Effect and mechanism of dolomite stone powder on rheological properties of cement paste and mortar[J]. Journal of Building Materials, 2019, 22(6): 860-865. (in Chinese)
[4] ÖZGÜR E, KHALED M. Effects of limestone crusher dust and steel fibers on concrete[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(2):981-988.
[5] QUIROGA P N, AHN N, FOWLER D F. Concrete mixture with high microfines[J]. ACI Materials Journal, 2006, 103(4): 258-264.
[6] 包丽丽.石粉含量对中高低强度等级混凝土工作性影响[J].低温建筑技术,2020,42(8):39-41,56.
BAO Lili. Effect of stone powder on the workability of medium and low strength concrete[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2020, 42(8):39-41,56. (in Chinese)
[7] 刘战鳌,周明凯,姚楚康.机制砂中细粉的危害及评价研究[J].建筑材料学报,2015,18(1):150-155.
LIU Zhan'ao, ZHOU Mingkai, YAO Chukang. Research on harmfulness and evaluate on of various microfines in manufactured sand [J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(1):150-155. (in Chinese)
[8] 陆加越,王方刚,李炜,等.抗吸附型聚羧酸减水剂在硅质石粉中的应用研究[J].混凝土与水泥制品,2018(5):24-27.
LU Jiayue, WANG Fanggang, LI Wei, et al. Application of anti-adsorption polycarboxylate water reducer in the siliceous stone powder [J]. China Concrete and Cement Products, 2018(5): 24-27. (in Chinese)
[9] LI B X, WANG J L, ZHOU M K. Effect of limestone fines content in manufactured sand on durability of low-and high-strength concrete[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(8):2846-2850.
[10] 李兴贵.高石粉含量人工砂在混凝土中的应用研究[J].建筑材料学报,2004,7(1):66-71.
LI Xinggui. Use of man-made sand with high content stone powder in concrete[J]. Journal of Building Materials, 2004, 7(1): 66-71. (in Chinese)
[11] 王雨利,王稷良,周明凯,等.机制砂及石粉含量对混凝土抗冻性能的影响[J].建筑材料学报,2008,11(6):726-731.
WANG Yuli, WANG Jiliang, ZHOU Mingkai, et al. Effects of manufactured fine aggregate and aggregate micro fines on

- frost-resistant performance of concrete [J]. Journal of Building Materials, 2008, 11(6):726-731. (in Chinese)
- [12] NORVELL J K, STEWAR J G, JUEBGER M C G, et al. Influence of clays and clay-sized particles on concrete performance [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(12): 1053-1059.
- [13] STEWART J G, NORVELL J K, JUENGER M C G. Influence of microfine aggregate characteristics on concrete performance [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(11):957-964.
- [14] 另春本. 机制砂技术标准的发展现状及应用探讨[J]. 混凝土世界, 2021(2):58-61.
- LING Chunben. Development status and application of technical standards for manufactured sand [J]. China Concrete, 2021(2): 58-61. (in Chinese)
- [15] 刘战鳌. 机制砂中细粉对混凝土性能的影响及机理研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2016.
- LIU Zhan'ao. Research on the effect and mechanism of microfines in manufactured sand on concrete properties [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [16] NG S, PLANK J. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers [J]. Cement and Concrete Research, 2012, 42 (6):847-854.
- [17] 水亮亮, 杨海静, 孙振平, 等. 聚羧酸系减水剂作用机理的研究进展[J]. 建筑材料学报, 2020, 23(1):64-69,76.
- SHUI LiangLiang, YANG Haijing, SUN Zhenping, et al. Research progress on working mechanism of polycarboxylate superplasticizer [J]. Journal of Building Materials, 2020, 23(1): 64-69,76. (in Chinese)
- [18] TOCPU I B, DEMIR A. Relationship between methylene blue values of concrete aggregates fines and some concrete properties [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008, 35(4):379-383.
- [19] 沈卫国, 杨振国, 邹晓丹, 等. 机制砂MB值的影响因素定量研究[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 33(12):44-47.
- SHEN Weiguo, YANG Zhenguo, ZOU Xiaodan, et al. Quantitative study on influence factors of manufactured sand's methylene blue value [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013, 33(12):44-47. (in Chinese)
- [20] FENG H, PAN L S, ZHENG Q, et al. Effects of molecular structure of polycarboxylate superplasticizers on their dispersion and adsorption behavior in cement paste with two kinds of stone powder [J]. Construction and Building Materials, 2018, 170: 182-192.
- [21] 张广田, 刘娟红, 隋宝龙, 等. 硅质机制砂改性剂的机理研究与应用[J]. 材料导报B:研究篇, 2017, 31(12):56-62.
- ZHANG Guangtian, LIU Juanhong, SUI Baolong, et al. Mechanism study and application of the modifier for siliceous machine-made sand [J]. Materials Reports B:Research, 2017, 31 (12):56-62. (in Chinese)
- [22] 陈建斌. 集料含泥量对混凝土性能的影响分析[J]. 福建建材, 2020(10):17-18,40
- CHEN Jianbin. Influence of mud content of aggregate on concrete performance [J]. Fujian Building Materials, 2020(10):17-18, 40. (in Chinese)