

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.05.006

碱液处理对硬化砂浆中胶凝材料 质量分数测定的影响

张亚涛, 张成银, 刘长顺, 秦岭

(安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院(安徽省水利工程质量检测中心站), 安徽 蚌埠 233000)

摘要:基于测定硬化混凝土中胶凝材料质量分数的可溶性 SiO_2 法, 文章结合宏观试验和微观分析, 研究碱液处理对硬化砂浆中胶凝材料质量分数测定试验的影响, 结果显示: 碱液可进一步溶解未被酸液溶解的 C-S-H 凝胶, 而其对硅质原材料的侵蚀可以忽略不计; 碱液处理减小了硬化砂浆中胶凝材料质量分数测定试验的误差, 是影响试验结果的重要因素之一; 含有碱液处理步骤的可溶性 SiO_2 法, 可以较准确地测出掺合料是粉煤灰和矿粉的硬化砂浆中胶凝材料(水泥和矿粉)的质量分数。

关键词:硬化砂浆; 可溶性 SiO_2 法; 胶凝材料质量分数; 微观形态; 碱液处理; 宏观试验

中图分类号: TQ172 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-5060(2023)05-0609-07

Influence of lye treatment on the determination of cementitious material content in hardened mortar

ZHANG Yatao, ZHANG Chengyin, LIU Changshun, QIN Ling

(Anhui Province(The Huaihe River Commission of the Ministry of Water Recourses) Institute of Hydraulic Research(Anhui Province Water Conservancy Engineering Quality Inspection Center Station), Bengbu 233000, China)

Abstract: Based on the soluble SiO_2 method for determining the content of cementitious material in hardened concrete, the effect of lye treatment on the determination of the cementitious material content in hardened mortar was studied via macroscopic tests and microscopic analyses. The results showed that the C-S-H gel that was not dissolved by the acid could be dissolved by the lye solution in the sample, and the erosion of the siliceous raw material by the lye solution was negligible; the testing errors were reduced by the lye treatment in the determination of the content of the cementitious material in the hardened mortar, and the lye treatment was one of the important factors affecting the testing results; the content of cementitious material(cement and mineral powder) in the hardened mortar with the admixture of fly ash and mineral powder could be measured more accurately by the soluble SiO_2 method with lye treatment.

Key words: hardened mortar; soluble SiO_2 method; cementitious material content; microscopic morphology; lye treatment; macroscopic test

硬化混凝土中胶凝材料质量分数测定可以通过测定其中的砂浆质量分数和砂浆中胶凝材料质量分数两步实现, 而硬化混凝土中砂浆质量分数

测定结果的相对误差绝对值可以控制在 2% 以内^[1], 因此硬化混凝土中胶凝材料质量分数测定的关键是砂浆中胶凝材料质量分数的测定。砂浆

收稿日期: 2022-03-01; 修回日期: 2022-07-05

基金项目: 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院青年科技创新基金资助项目(KY201705); 安徽省水利厅科研及技术咨询资助项目(slkj2018-05)和安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院科技攻关资助项目(KJGG201901)

作者简介: 张亚涛(1983—), 男, 安徽亳州人, 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院(安徽省水利工程质量检测中心站)工程师。

中胶凝材料质量分数的测定可以参照氧化物(可溶性 SiO_2 、 CaO)分析法、溶液(葡萄糖酸钠和马来酸溶液)溶解法、光电分析法(显微镜法)和染色法。

氧化物分析法分别测定水泥和硬化砂浆(或混凝土)中氧化物质量分数,然后通过两者的比值计算硬化砂浆(或混凝土)中水泥质量分数。文献[2]通过可溶性 SiO_2 法测定硬化混凝土中水泥质量分数时发现,水泥的测定值与设计值的比值在 0.94~1.43 之间,其中未加掺合料的混凝土试块测得的单位水泥用量与实际配合比值较为接近,而单掺 35% 粉煤灰或 35% 矿粉时比值分别为 1.22 和 1.43。该方法简单易操作,对试验人员和仪器设备要求不高,但需要进一步减小试验误差。

溶液溶解法分别测定水泥和硬化砂浆(或混凝土)在有机溶剂中的溶解度,然后通过两者的比值计算硬化砂浆(或混凝土)中水泥质量分数。文献[3]分别用马来酸溶解法和葡萄糖酸钠溶解法测定硬化混凝土中水泥质量分数时得出:掺加了 35% 矿粉的混凝土的结果偏差分别为 17.3% 和 12.7%,掺加了 35% 粉煤灰的混凝土的结果偏差分别为 12.0% 和 8.7%,虽然未水化的水泥能完全溶解于这种溶液中,但水化后的水泥则不能,一般需要进行校正,且上述方法仅适用于各种硅酸盐水泥混凝土中水泥质量分数的测定^[3-5]。

显微镜法^[5]是在直线法或记点法的基础上,利用显微镜测定混凝土中的磨光片,结果为体积比,换算后可得质量比,其误差一般为 $\pm 10\%$;文献[6]利用从整体非晶相 X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)图像中分离出单组衍射图像的方法,实现了对水泥和硅质粉煤灰组成的二元体系中的 2 种组分的定量分析。上述 2 种方法中制样的偶然因素对试验结果影响较大,且对试验人员和仪器要求相对较高。

染色法^[7]是用单宁酸-酒石酸溶液对混凝土试样截面进行染色,由于硬化水泥浆与骨料染色后存在色差,捕获并计算出水泥浆在该截面中的占比,在事先做好的标准曲线(横坐标为混凝土中水泥掺量,纵坐标为水泥浆在混凝土截面中占比)中查出该混凝土中水泥掺量,相比传统的化学分析法更高效、经济和环保,与美国材料与试验协会(American Society for Testing and Materials, ASTM)标准中的方法相比,不受粗骨料组成的影响,但需要事先做好水泥质量分数与染色图像百分比的标准曲线,当原材料变化时,标准曲线需更

换,试验前期工作量较大,较适用于大批量同类型原材料混凝土中水泥质量分数的测定。

文献[8]针对硬化粉煤灰水泥基材料中水泥质量分数,分别进行了 X 射线荧光光谱(X-ray fluorescence, XRF)分析法和氧化物(CaO 、 SiO_2)分析法的比较,结果显示氧化物分析法误差较小。文献[9]针对没有掺加矿物掺合料的硬化混凝土(粗、细骨料均用水洗净)中水泥的质量分数,分别利用氧化物(CaO 、 SiO_2)分析法和 XRD 分析法进行测定,结果显示氧化物分析法误差较小;不同氧化物分析法的主要区别如下:保证水泥中全部氧化物溶出并减少该氧化物从集料中溶出所采取的措施不同^[5,10-12]。国内大部分粗集料为沉积岩(钙盐质量分数较多),且随着国家对生态保护力度的加大,使用人工砂的混凝土越来越多,进一步导致集料中钙质化合物增多,从而使 CaO 法的误差变大。因此,综合分析获得试验结果的难易程度(试验设备和操作)和试验误差大小可知,可溶性 SiO_2 法在国内推广的潜力较大。

可溶性 SiO_2 法中试样酸溶后的残渣存在有、无碱液处理 2 种情况。文献[10-11]规定将酸溶后试样残渣分别用 Na_2CO_3 溶液或 NaOH 溶液进行处理,但会增加对硅质集料的侵蚀风险^[5]。文献[12]认为文献[10-11]中碱液处理步骤意义不大,即国外针对不加掺合料的硅酸盐水泥混凝土中水泥质量分数测定方法(可溶性 SiO_2 法)存在酸溶后试样残渣是否需要碱液处理的争议,而对于国内最常见的掺加掺合料的普通硅酸盐水泥混凝土,在用可溶性 SiO_2 法测定其中胶凝材料质量分数时,酸溶后试样残渣是否需要碱液处理,有待试验验证。

本文从宏观和微观 2 个方面探究有无碱液处理对试验结果的影响,以期可为可溶性 SiO_2 法测定掺加掺合料的硬化混凝土中胶凝材料质量分数试验的改进提供一定的依据。

1 试 验

1.1 原材料

为更接近实际情况,水泥采用 P·O 42.5 级,生产厂家为蚌埠海螺水泥有限公司,安定性合格,烧失量 3.53%,3 d 抗压强度 24.7 MPa,28 d 抗压强度 47.5 MPa;粉煤灰为淮南市珍珠粉煤灰开发利用有限责任公司产 F 类 II 级粉煤灰,细度(45 μm 方孔筛筛余)24.3%,需水量比 93%,烧失量 2.70%,强度活性指数 71%;矿粉为江苏准龙新

型建材有限公司产 S95 矿粉,比表面积 $413 \text{ m}^2/\text{kg}$,需水量比 100% ,烧失量 1.62% ,7 d 活性指数 76% ,28 d 活性指数 96% ;中粗天然砂产自安徽明光,含泥量为 1.2% ,泥块质量分数为 0 ,性能指标见表 1 所列;5~25 mm 和 5~10 mm 连续级配碎石均产自淮南上窑产,含泥量为 1.0% ,泥块质量分数均为 0 ,其性能指标见表 2 所列;聚羧酸高性能减水剂产地为蚌埠,萘系减水剂产地为合肥,性能指标见表 3 所列;水为当地生活用自来水。

表 1 细集料不同筛孔尺寸对应的实际累计筛余 %

尺寸/mm	10.0	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16
筛余		10	27	38	56	86	99

表 2 粗集料不同筛孔尺寸对应的实际累计筛余 %

规格/mm	26.5	19.0	16.0	9.5	4.75	2.36
5~25	0	14	36	88	99	99
5~10			0	8	90	99

表 3 减水剂性能指标

减水剂	减水率/%	含固量/%	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	pH
聚羧酸	29	17.15	1.044	4.56
萘系	20	31.30	1.187	7.38

1.2 试验仪器

NOVA NANO 450 型扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) (捷克 ThermoFEI);L3 型可见分光光度计(上海精密仪器仪表有限公司);AL104 型电子天平(瑞士梅特勒);HJS-60 型双卧轴混凝土试验用搅拌机(北京耐久伟业科技有限公司);ZT-1×1 型振动台(无锡建筑材料试验厂)等。

1.3 试验内容及方案

1.3.1 试验内容

在活性掺合料、水泥、外加剂和细骨料 4 个因素中,活性掺合料对标准养护 90~360 d 龄期混凝土抗压强度影响最大^[13],且活性掺合料的二次水化受到酸碱环境的影响,结合实际情况,设计配合比 1[#] 和 2[#] 时使用了活性掺合料的单掺(粉煤灰)和双掺(粉煤灰和矿粉),以及酸性减水剂(聚羧酸)和碱性减水剂(萘系);3[#] 和 4[#] 配合比用于对比试验。1[#]~4[#] 配比见表 4 所列。

按照表 4 中配比(水胶比为 0.46 和 0.47)制作尺寸为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的混凝土试件,标准养护 90 d 后进行试验,通过可溶性 SiO_2 法对硬化砂浆中胶凝材料质量分数进行分析。该方法包括碱液处理和未经碱液处理 2 种试样处理方法:碱液处理^[14-15] 为倒入 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 10 g/L 的 NaOH 溶液 75 mL ,放入 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 的水浴中 15 min ,期间不时搅拌,使滤纸破碎,再垫 2 层中速定量滤纸于布氏漏斗中过滤;未经碱液处理即试样处理时没有上述步骤。由于水胶比为 $0.18 \sim 0.50$,粉煤灰掺量不超过 50% 的粉煤灰-水泥浆体,标准养护 90 d,其中粉煤灰水化程度^[16-18] 不超过 20% ,即大部分粉煤灰未水化,其对胶凝材料质量分数测定结果的影响程度有限^[19]; 15% 矿粉掺量的水泥复合胶凝材料,标准养护 28 d,产生的水化热相较于纯水泥反而更高,表明与水泥掺合在一起的矿粉 28 d 水化反应程度不比水泥低^[20];硬化砂浆中胶凝材料(水泥、矿粉和粉煤灰)质量分数的测定,主要是硬化砂浆中水泥和矿粉质量分数的测定;试验后的残渣经真空离子流溅射法喷金后进行 SEM 表征。

表 4 混凝土配比

单位: kg/m^3

配比 编号	掺合料		水泥 P·O 42.5	减水剂		细骨料 (中粗河砂)	粗骨料		水
	粉煤灰	矿粉		聚羧酸	萘系		大石	小石	
1 [#]	110		270	4.56		740	910	150	175
2 [#]	80	30	270		4.56	740	910	150	175
3 [#]	110		270			740	910	150	180
4 [#]	80	30	270			740	910	150	180

1.3.2 试样方案

1-1 表示 1[#] 配比成型的试件标准养护 90 d 后分离出的砂浆,采用碱液处理的可溶性 SiO_2 法试验;1-2 表示 1[#] 配比成型的试件标准养护 90 d 后分离出的砂浆,采用未碱液处理的可溶性 SiO_2 法试验;2-1 和 2-2、3-1 和 3-2、4-1 和 4-2 含义与

1-1 和 1-2 类似。

S-1 和 S-2 分别表示未经水洗的天然砂利用碱液处理的可溶性 SiO_2 法和未经碱液处理的可溶性 SiO_2 法试验;F-1 和 F-2、K-1 和 K-2、P-1 和 P-2 含义与 S-1 和 S-2 类似。其中:F 表示粉煤灰;K 表示矿粉;P 表示 P·O 42.5。

2 试验结果与分析

2.1 宏观试验

2.1.1 工作曲线

按照 GB/T 176—2017 中 6.1.72 的方法对 SiO₂(光谱纯级)进行处理,配成一定质量浓度的可溶性 SiO₂ 标准溶液,再配成不同可溶性 SiO₂ 质量浓度的待测液,在 10 mm 比色皿中,用可见分光光度计于波长 660 nm 处测其吸光度,以吸光度作为可溶性 SiO₂ 质量浓度的函数,绘制工作曲线,如图 1 所示。

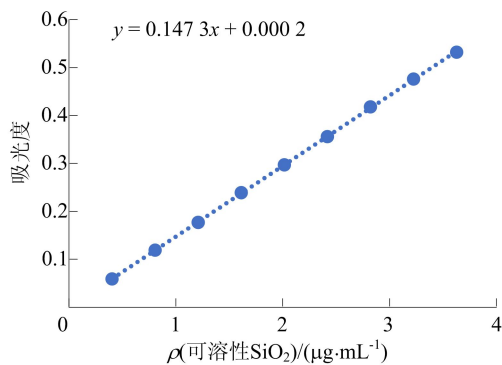


图 1 工作曲线

2.1.2 胶凝材料质量分数试验

本试验试样中可溶性 SiO₂ 质量分数的计算公式为:

$$\omega(\text{可溶性 SiO}_2) = \frac{\rho V}{10\,000 m_1 V_1} \times 100\% \quad (1)$$

其中: ρ 为分取的适量溶液定容至 100 mL 时可溶性 SiO₂ 质量浓度(根据测得的吸光度在工作曲线中查得); V 为试样萃取后滤液的定容体积; m_1 为试样质量; V_1 为分取适量溶液的体积。

每个试样做 2 次试验,取平均值,结果见表 5 所列。

试样中胶凝材料质量分数计算公式为:

$$\omega_1 = \frac{\omega_2}{\omega_3} \times 100\% \quad (2)$$

其中: ω_1 为砂浆试样中胶凝材料(水泥和矿粉)的质量分数; ω_2 为砂浆试样中可溶性 SiO₂ 质量分数,可以通过(1)式算得; ω_3 为砂浆试样用胶凝材料(水泥)中可溶性 SiO₂ 质量分数,可以通过(1)式算得,尽管矿粉中可溶性 SiO₂ 质量分数约为水泥中的 1.5 倍(表 5),但矿粉掺量仅为水泥掺量的 11%,对最终测定结果影响有限,为便于计算,本文假定矿粉中可溶性 SiO₂ 质量分数与水泥中相同。

试样中胶凝材料质量分数见表 6 所列。

表 5 原材料中可溶性 SiO₂ 质量分数 %

试样编号	ω (可溶性 SiO ₂)	差值
S-1	0.07	0.05
S-2	0.02	
F-1	1.12	0.49
F-2	0.63	
K-1	33.97	0.13
K-2	33.84	
P-1	19.56	-0.47
P-2	20.03	

表 6 砂浆试样中胶凝材料质量分数 %

试样编号	可溶性 SiO ₂	胶凝材料		相对误差
		测定值	理论值	
1-1	4.08	20.88	24.11	-13.40
1-2	3.60	18.00	24.11	-25.34
2-1	5.30	27.09	26.79	1.12
2-2	4.50	22.44	26.79	-16.24
3-1	4.02	20.55	24.11	-14.77
3-2	3.27	16.33	24.11	-32.27
4-1	5.51	28.17	26.79	5.15
4-2	4.54	22.64	26.79	-15.49

注:理论值=(水泥质量+矿粉质量)/(水泥质量+矿粉质量+天然砂质量+粉煤灰质量)×100%

由表 5 可知:经过 2 种溶样方式处理后,相较于未经碱液处理的天然砂,碱液处理后的天然砂能够溶出更多的可溶性 SiO₂,说明碱液溶解了部分硅质细骨料^[5],间接表明经过碱液处理的其他含 SiO₂ 试样中也存在该现象,但试验用原材料有无碱液处理对可溶性 SiO₂ 质量分数影响不大,最大差值绝对值不超过 0.5%,即原材料中 SiO₂ 溶解很少,对砂浆中胶凝材料质量分数测定结果影响不大,可以忽略不计。

从表 6 可以看出:经碱液处理的砂浆试样(1-1、2-1、3-1、4-1)中测出的胶凝材料质量分数比未经碱液处理的砂浆试样(1-2、2-2、3-2、4-2)更接近理论值,说明碱液能够进一步溶解未被酸液萃取出来的可溶性 SiO₂^[5],减小试验误差;单掺粉煤灰(掺量 29%)的 P·O 42.5 水泥砂浆试样 1-1、1-2、3-1、3-2,有无碱液处理的测定结果相对误差均为负值,经碱液处理试样(1-1 和 3-1)测定结果的相对误差分别为 -13.40% 和 -14.77%,误差远大于该方法测得单掺粉煤灰(掺量 30%)的 P·I 42.5 水泥砂浆(标准养护 90 d,测试结果相

对误差^[21]为2.95%),说明P·O 42.5水泥中混合材料的增多,使得水泥熟料水化产物Ca(OH)₂多消耗于混合材料中活性成分的二次水化,不利于粉煤灰的二次水化,最终使砂浆试样中粉煤灰二次水化及其微细颗粒溶解贡献的可溶性SiO₂量极其有限,小于残渣内剩余可溶性SiO₂量^[5];双掺(矿粉和粉煤灰)砂浆试样2-1和4-1测定结果的相对误差为正值,且在6%以内,说明相较于单位质量的水泥,单位质量矿粉中溶出的可溶性SiO₂量更大(与表5中结果一致),且该差值大于单位质量残渣内剩余可溶性SiO₂量;是否添加减水剂(1#和3#配比、2#和4#配比)对试验测定结果相对误差绝对值的影响在7%以内,若利用经过碱液处理的可溶性SiO₂法,其对结果相对误差绝对值的影响可在5%以内(试样1-1和3-1、2-1和4-1),影响较小的主要原因是减水剂添加量很小时,对混凝土砂浆中酸碱性环境的影响不大。

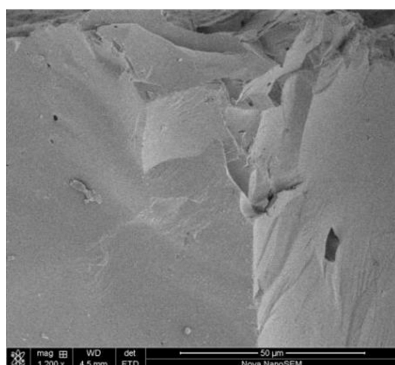
综合分析表5和表6中结果,得出可溶性SiO₂法测定砂浆中胶凝材料质量分数需要经过碱液处理,并且该环境下的碱液处理不会过度侵蚀原材料中的SiO₂。

2.2 微观测试

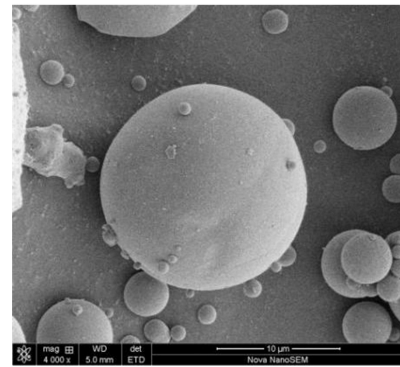
因为90 d龄期的硬化砂浆中可溶性SiO₂多来源于胶凝材料水化后产物C-S-H凝胶^[18],所以C-S-H凝胶的溶解程度直接影响试验结果,基于随着水化时间的延长(龄期增长),C-S-H凝胶形态变化过程一般是纤维状→蜂窝状→不规则大粒子,最终常与片状氢氧化钙晶体等其他水化产物形成不规则的固溶体^[22-23],通过SEM测试,从微观角度对碱液处理前后的原材料和砂浆试样进行分析。

2.2.1 原材料微观形态分析

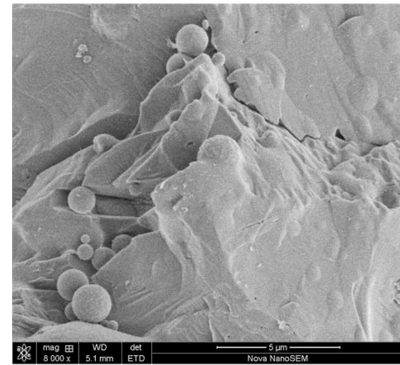
经过可溶性SiO₂法溶样(有碱液处理步骤)后的天然砂、粉煤灰和矿粉残渣的微观结构如图2所示。



(a) 天然砂



(b) 粉煤灰



(c) 矿粉

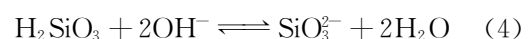
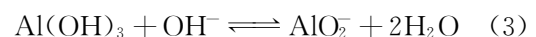
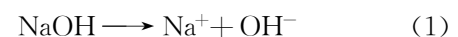
图2 天然砂、粉煤灰和矿粉残渣的SEM图

由图2可知,制样(研磨过0.6 mm方孔筛)形成的棱角依然存在,基本呈现试样的原始状态,说明经过碱液处理后,天然砂、粉煤灰和矿粉表面均无明显碱液侵蚀痕迹,因此,碱液处理后可溶性SiO₂质量分数测定结果稍大(表5)的主要原因是碱液溶解了天然砂、粉煤灰和矿粉中的微细颗粒,生成可溶性SiO₂^[18],但从微细颗粒中溶出的可溶性SiO₂量极其有限,不超过0.5%。

2.2.2 1#配比试样残渣微观形态分析

经可溶性SiO₂法溶样后的试样1-1和1-2残渣微观结构如图3所示。

由图3a可知,经碱液处理试样残渣表面较光滑,未发现硅质骨料被碱液侵蚀的痕迹,在OH⁻作用下,试样残渣表面大部分C-S-H凝胶和其他水化产物被进一步以SiO₃²⁻和AlO₂⁻的形式电离溶解,在离子的交换迁移循环作用下,试样残渣-碱液达到该环境下离子浓度平衡,过程^[24]如下:



因此会有部分包括C-S-H凝胶在内的水化产物依然存在(图3a中颗粒表面点状附着物),并

出现试样 1-1 中水泥质量分数测定值为负误差,且与理论值相差较小的现象(表 6 结果)。

由图 3b 可知,未经碱液处理试样残渣表面存在不少 C-S-H 凝胶与其他水化产物一起形成的不规则絮状固溶体,因此出现试样 1-2 中水泥质量分数测定值为负误差,且与理论值相差较大的现象(表 6 结果)。

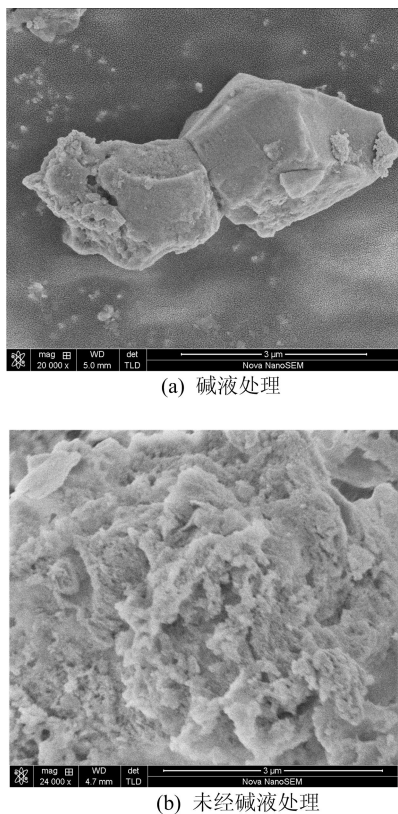


图 3 试样 1-1 和 1-2 残渣微观结构

2.2.3 2# 配比试样残渣微观形态分析

经过可溶性 SiO_2 法溶样后的试样 2-1 和 2-2 残渣微观结构如图 4 所示。

由图 4a 可知,经碱液处理试样残渣未发现硅质骨料被碱液侵蚀的痕迹,多是前期 C-S-H 凝胶形成的蜂窝状结构和少量其他水化产物,后期 C-S-H 凝胶与其他水化产物形成的絮状固溶体已基本被碱液电离溶解,由于试样残渣-碱液在该环境下也存在 2.2.2 中所述的离子浓度平衡,因此 C-S-H 凝胶仍有少量剩余。由图 4b 可知,未经碱液处理试样残渣仍有部分 C-S-H 凝胶与其他水化产物一起形成的不规则絮状固溶体,表明仍有不少后期形成的 C-S-H 凝胶未被酸液溶解。

从图 4 可以看出,未经碱液处理的残渣中剩余 C-S-H 凝胶质量分数较多,因此测得的水泥和矿粉质量分数小于理论值(表 6 结果),经碱液处

理的残渣尽管还有少量 C-S-H 凝胶未被溶解,但测得的水泥和矿粉质量分数依然略大于理论值,主要原因是单位质量矿粉提供的可溶性 SiO_2 较多,大于单位质量水泥和剩余残渣中 C-S-H 凝胶提供的可溶性 SiO_2 之和。

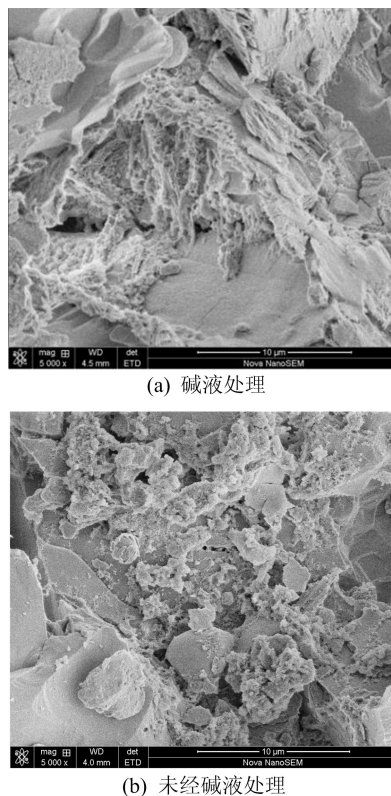


图 4 可溶性 SiO_2 法溶样后的试样 2-1 和 2-2 残渣微观结构

综合以上原材料和含有不同掺合料水泥砂浆处理后残渣的微观形态可知,没有溶解的 C-S-H 凝胶是产生试验误差的主要来源之一,碱液处理对原材料(天然砂、粉煤灰和矿粉)酸溶后残渣的微观结构无明显影响,不会对硅质原材料造成过度溶解,而对掺加掺合料的硬化砂浆酸溶后残渣的微观结构影响较大,经碱液处理试样残渣中剩余的 C-S-H 凝胶更少,适当的碱液处理能进一步减小可溶性 SiO_2 法测定硬化砂浆中胶凝材料质量分数试验的误差。

3 结 论

可溶性 SiO_2 法中,经碱液处理的硬化砂浆的 C-S-H 凝胶被进一步溶解,而其对硅质原材料的侵蚀可以忽略不计,有效减小了硬化砂浆中胶凝材料质量分数测定试验误差,使其更接近理论值,双掺(粉煤灰和矿粉)的 P·O 42.5 水泥砂浆(龄期 90 d)中胶凝材料(水泥和矿粉)质量分数相对

误差小于6%。

国内对掺加掺合料的普通硅酸盐水泥混凝土中水泥质量分数、水泥和矿粉质量分数的测定,对国外测定硬化混凝土中水泥质量分数标准^[10-11]中的可溶性SiO₂法具有一定的借鉴意义。

[参 考 文 献]

- [1] 张亚涛,孙述彬,刘长顺. 硬化混凝土中粗骨料和砂浆质量分数测定方法[J]. 混凝土与水泥制品,2017(9):77-81.
- [2] 杨竞,徐晓云,刘军,等. 硬化混凝土中单位水泥用量的测定[J]. 化学分析计量,2013,22(2):45-48.
- [3] 徐晓云,杨竞,刘军,等. 葡萄糖酸钠和马来酸溶解法测定硬化混凝土中的水泥用量[J]. 混凝土,2013(6):145-148.
- [4] SUDO E, NAKATA Y, KASAI Y, et al. Applicability of assessment method of unit cement content by sodium gluconate to hardened high-strength concrete [J]. AIJ Journal of Technology and Design, 2009, 15(30):373-376.
- [5] LEA F M. 水泥和混凝土化学[M]. 3版. 唐明述, 杨南如, 胡道和, 等, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980:732-849.
- [6] BHAGATH SINGH G V P, SUBRAMANIAM K V L. Direct decomposition X-ray diffraction method for amorphous phase quantification and glassy phase determination in binary blends of siliceous fly ash and hydrated cement [J]. Journal of Sustainable Cement-Based Materials, 2017, 6(2):111-125.
- [7] LINARES L, LOPEZ-ATALAYA M, CHINCHON S. Cement content determination through selective stain in hardened concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2009(39):1105-1109.
- [8] 林晖, 王玲, 杨柳. 硬化粉煤灰水泥基材料水泥含量分析方法[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(4):736-740.
- [9] 李悦, 童欢, 杨进波, 等. 硬化混凝土中水泥和粗细集料用量的测定方法[J]. 混凝土, 2015(1):147-150.
- [10] ASTM. Standard test method for portland-cement content of hardened hydraulic-cement concrete: ASTM C1084—2002[S]. [S. l. : s. n.], 2002:1-8.
- [11] BSI. Testing concrete-Part124: methods for analysis of hardened concrete; BSI 881-124-1988[S]. [S. l.]; British Standards Institution, 1988:1-32.
- [12] GOMA F, PINHEIRO-ALVES M T, VICENTE M. A new procedure covering the diagnosis of hardened structural concrete in service[C]//Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. [S. l. : s. n.], 2010:1-7.
- [13] 张亚涛,汪宇,陈吉春,等. 不同因素对长龄期混凝土抗压强度的影响[J]. 水泥工程,2020(5):82-85.
- [14] 张亚涛,刘磊,张成银,等. 硬化砂浆中水泥含量试验制样方法探讨[J]. 中国测试,2016,42(11):39-43.
- [15] 张亚涛,刘长顺,朱田生,等. 用可溶性SiO₂法测定掺加粉煤灰硬化砂浆中水泥含量的研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2017(6):72-75.
- [16] 王志亮,丁庆军,黄修林. 复合胶凝浆体中粉煤灰组分反应程度定量表征方法研究[J]. 武汉理工大学学报, 2014, 36(2):32-37.
- [17] 唐咸燕,肖佳,陈锋,等. 水泥-粉煤灰-矿渣复合胶凝材料的水化性能研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2006(6):28-31.
- [18] 冯春花,冯爱虎,李东旭. 辅助性胶凝材料反应程度与水泥力学性能关系研究[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(10):2410-2416.
- [19] 张亚涛,郑继,刘磊,等. 掺加粉煤灰硬化混凝土中水泥含量的测定[J]. 混凝土, 2019(1):61-64.
- [20] 孟凡兴,薛鲁阳,郝巧超,等. 粉煤灰及矿渣粉对水泥水化热的影响[J]. 水泥, 2020(12):1-3.
- [21] 张亚涛,刘长顺,张成银,等. 掺加粉煤灰的硬化砂浆中水泥含量测定方法探讨[J]. 混凝土与水泥制品, 2018(2):86-89.
- [22] 耿建. 混合水泥水化产物中 C-S-H 凝胶的半定量分析[D]. 武汉:武汉理工大学, 2005.
- [23] 杨南如. C-S-H 凝胶结构模型研究新进展[J]. 南京化工大学学报, 1998, 20(2):78-85.
- [24] 李高. 浸泡条件下碱污染红土宏微观特性研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2016.

(责任编辑 闫杏丽)

· 信息与动态 ·

《合肥工业大学学报(自然科学版)》专栏征稿启事

为了贯彻落实党的二十大精神,紧密围绕科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,《合肥工业大学学报(自然科学版)》设置“机器人与人工智能”“环境污染与防治”两个专栏,即日起面向国内外专家学者征集“机器人与人工智能”“环境污染与防治”领域的原创性学术论文、专题综述;稿件一经录用将优先刊发。

来稿要求政治导向正确、论证充分、具有较强的引领性和创新性。格式要求参见《合肥工业大学学报(自然科学版)》网页投稿指南的征稿简则和投稿模板。

在线投稿网址:<http://xbzss.hfut.edu.cn/xbzk.html>。