

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.01.009

高温煅烧对新疆和田地区火山岩活性影响试验

王怀义^{1,2}, 杨桂权^{1,2}, 贺传卿^{1,2}, 王刚³

(1. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆水利水电材料工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830049;
3. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了提高新疆和田地区火山岩的火山灰活性, 拓展其在混凝土工程中的应用, 通过采用 XRD、化学法、SEM 微观及宏观强度指数法等多种测试手段, 对经温度从 800 ℃ 至 1 400 ℃ 的煅烧, 恒温保持 0 ~ 60 min, 且经水淬或自然冷却的和田地区火山岩的火山灰活性进行测试分析。结果表明: (a) 随煅烧温度的提高, 火山岩中的玻璃质含量逐步提升, 但当煅烧温度达到或超过其熔融温度后, 虽 XRD 中晶体衍射峰明显消失, 但玻璃质含量则开始下降; (b) 火山岩中的主要氧化物 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 及可溶出的 2 种氧化物 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的含量, 除煅烧温度 800 ℃ 外, 均有所下降; (c) 煅烧温度若超过 800 ℃, 更高的煅烧温度会造成火山岩宏观活性指数下降。由此可知, 高温煅烧可以一定程度地提高火山岩玻璃质含量, 但过高的煅烧温度会使火山岩可溶出氧化物含量下降, 并造成其宏观活性指数下降。

关键词: 火山岩; 高温煅烧; 火山灰活性; XRD; 可溶氧化物; 新疆和田地区

中图分类号: TU521.2⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2020)01-0060-06

Experimental study on the effects of high-temperature calcination on volcanic rock activity in Hotan area of Xinjiang

WANG Huaiyi^{1,2}, YANG Guiquan^{1,2}, HE Chuanqing^{1,2}, WANG Gang³

(1. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydroelectricity Science, Urumqi 830049, China;
2. Xinjiang Water Conservancy and Hydropower material Engineering Technology Research Center, Urumqi 830049, China;
3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to improve the pozzolanic activity of volcanic rock in Hotan area of Xinjiang and extend its application in concrete engineering, XRD test, chemical method, SEM micro and macro strength index method are adopted, to test and analyze the pozzolanic activity after 0-60 min calcination of constant temperatures from 800 ℃ to 1 400 ℃ and with water quenching or natural cooling. Results indicate that with the increase of calcination temperature, the vitreous content of volcanic rocks gradually increased. But when the calcination temperature reaches or exceeds the melting temperature, the crystal diffraction peak obviously disappeared in the XRD test and the vitreous content began to decrease. The content of main oxides in volcanic rock, such as SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃, decreased, and all the contents of two soluble oxides, SiO₂ and Al₂O₃, have decreased except the calcination temperature of 800 ℃. Finally, too high calcination temperature, over 800 ℃, will result in decreased activity, and the vitreous content of volcanic rocks can be improved to a certain extent by calcining with high temperature. However, high calcining temperature will reduce the dissolved oxide content of volcanic rocks and cause the decline of their macroscopic activity index.

Key words: volcanic rock; high-temperature calcination; pozzolanic activity; XRD; soluble oxide; Hotan area of Xinjiang

基金项目: 新疆自然科学基金(2019D01A74)

作者简介: 王怀义(1973—),男,教授级高级工程师,硕士,主要从事水工材料及混凝土研究。E-mail:510995732@qq.com

引用本文: 王怀义,杨桂权,贺传卿,等. 高温煅烧对新疆和田地区火山岩活性影响试验[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(1):60-65.
WANG Huaiyi, YANG Guiquan, HE Chuanqing, et al. Experimental study on the effects of high-temperature calcination on volcanic rock activity in Hotan area of Xinjiang[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2020, 48(1): 60-65.

掺加一定量的矿物掺合料是提升混凝土工作性能和耐久性的主要手段之一,但类似新疆和田缺乏人工矿物掺和料,但有着丰富天然火山岩资源的地区,开发利用当地火山岩作为混凝土矿物掺合料,对当地工程建设作用十分巨大。本项目组前期对新疆和田地区天然火山岩作为混凝土矿物掺合料应用的可行性进行了较为深入的研究,认为此火山岩属玄武岩共生有粗安岩,这种多孔玄武岩经加工磨细所产出的火山岩粉,性能可达到 JG/T 315—2011《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》^[1] 和 DL/T 5273—2012《水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范》^[2] 的要求。试验研究表明,掺加一定量和田地区火山岩粉,对改善混凝土性能、抑制硫酸盐侵蚀和碱骨料反应均有效果^[3]。但火山岩粉作为混凝土掺合料,也有活性较差、早期强度低的缺点,制约了火山岩粉的应用推广,因此,提高火山岩粉的活性和掺加后混凝土的强度,是本项目研究的主要目标。

低活性的天然矿物质材料,高温煅烧是提升其火山灰活性的手段之一。例如:国外学者对不同类型碳酸盐进行了煅烧的活性试验^[4],国内学者也对不同岩性火山岩煅烧后的活性进行了研究,其中研究均主要集中于用作水泥活性混合材料或混凝土掺合料方面,对页岩、凝灰岩、磨细渣渣等的煅烧活性进行研究^[5-8]。以上研究均发现煅烧制度、煅烧温度对这些材料活性的影响较大,但由于所研究的天然火山岩系不同矿物组成,造成煅烧对活性影响的效果均有不同。然而,类似新疆和田地区岩性的火山岩经煅烧的活性方面的研究尚为空白。人们一般认为火山岩中玻璃质或无定形氧化物含量较高,其活性也较高。笔者采用高温煅烧的方法,是基于提高火山岩玻璃质含量,以提高其活性为目的,旨在研究高温煅烧对其活性的影响规律。

1 试验研究

1.1 试验原材料

a. 火山岩粉。试验所用的天然火山岩粉由和田地区火山岩机械研磨(球磨)而成,勃氏透气法测得其比表面积为 450 ~ 480 m²/kg。化学成分(测试项目)为 loss、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、SO₃、Na₂O、K₂O、R₂O,相应的质量分数分别为 1.88%、55.97%、15.80%、7.98%、6.96%、3.84%、0.13%、3.00%、3.38%、5.50%。颗粒级配曲线见图 1。

b. 水泥。为了避免水泥混合材料对研究结果造成影响,故选用新疆天山水泥厂生产的 P. I 硅酸盐水泥,其比表面积为 385 m²/kg。

c. 砂。选用中国 ISO 标准砂,由厦门艾思欧标准砂有限公司生产,符合 ISO679 中 5.1.3 的要求。

1.2 研究方法

1.2.1 煅烧制度

首先,升温时间确定为从室温升至设定的最高温度的时间(120 min),当升温达最高温度时,即刻开始降温;其次,选择最高煅烧温度分别为 800℃、1000℃、1200℃ 和 1400℃,并增加 1 个火山岩原岩未煅烧的对比样;第三,每个温度煅烧后均进行室温自然冷却和水淬(当煅烧温度开始下降时,在最高温度下降不超过 100℃ 范围内,将煅烧试样投入室温蒸馏水中)急速冷却;最后,在火山岩熔融温度点,增加此煅烧温度的恒温时间,便于考查煅烧保持时间对玻璃质含量的影响。

1.2.2 活性测试方法

为了综合考察高温煅烧对火山岩活性的影响,选取从微观到宏观、从化学到物理多种活性测试方法,包括:玻璃质含量测试采用 XRD 法,氧化物含量测定采用化学法,可溶氧化物含量测试采用化学溶出法,宏观活性的测定采用胶砂强度的活性指数法。其中试样玻璃质含量依照 GB/T 18046—2008《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》^[9] 中附录 C 方法,根据火山岩粉 X 射线衍射图中玻璃体图形的面积与底线上面积之比确定其玻璃体含量;微观分析则采用 SEM 对比分析煅烧前、后试样微观形貌的变化,并借鉴其他学者对火山灰活性的研究方法^[7,10-11]。首先,采用 GB/T 176—2008《水泥化学分析方法》^[12] 中相应化学法测试试样 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 中氧化物的含量;其次,参考廉慧珍等^[13] 专家提出的火山灰质材料活性的快速评定方法,测定其可溶氧化物含量的变化,其基本原理为火山灰质材料的化学反应性来源于无定形的硅、铝等氧化物,其中的活性 SiO₂、Al₂O 与

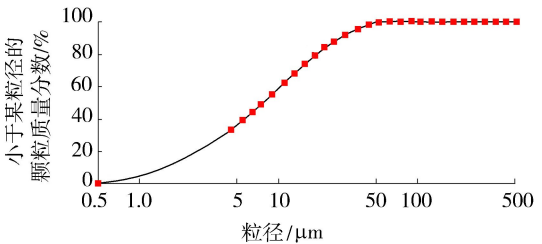


图 1 原岩经磨细的火山岩粉颗粒级配曲线
Fig.1 Grain size distribution of ground volcanic powder from the original rock

CaO 反应后,生成水化硅酸盐、铝酸盐,水化物生成量与环境温度及 CaO 含量有关,采用在饱和石灰水中煮沸(回流冷凝以保证溶液浓度)的方法,既可加速反应,又可使反应充分,从而准确测定其活性氧化物的含量;最后,将部分煅烧样品磨细至比表面积 $450 \sim 480 \text{ m}^2/\text{kg}$ 的粉末,并按 JG/T 315—2011《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》^[1] 中的方法分别测试其 28 d 强度活性指数和 60 d 强度活性指数。

2 试验结果与分析

2.1 各试样的煅烧制备

各编号试样煅烧及冷却制度见表 1。1 号试样为未经煅烧处理的火山岩原样;2 ~ 11 号试样为经不同温度煅烧后,水淬或自然冷却的火山岩样,其中 8 号及 9 号为煅烧至最高温度后并保持 60 min 的试样,以上试样均采用球磨机研磨至比表面积 $450 \sim 480 \text{ m}^2/\text{kg}$ 的粉末后进行相应测试。

表 1 各试样的煅烧及冷却制度

Table 1 Calcination and cooling system of each sample

试样编号	最高煅烧温度/℃	最高煅烧温度恒温时间/min	冷却方式	试样编号	最高煅烧温度/℃	最高煅烧温度恒温时间/min	冷却方式
2	800	0	水淬	7	1 200	0	自然冷却
3	800	0	自然冷却	8	1 200	60	水淬
4	1 000	0	水淬	9	1 200	60	自然冷却
5	1 000	0	自然冷却	10	1 400	0	水淬
6	1 200	0	水淬	11	1 400	0	自然冷却

注:1 号试样为原岩,其他试样都进行煅烧。

2.2 试验测试结果

2.2.1 玻璃质含量及微观测试结果

XRD 的测试结果见表 2。

表 2 各试样的玻璃质、氧化物及可溶氧化物质量分数

Table 2 Vitreous, oxide and soluble oxide contents of each sample

试样编号	最高煅烧温度/℃	质量分数/%			试样编号	最高煅烧温度/℃	质量分数/%		
		玻璃质	氧化物	可溶氧化物			玻璃质	氧化物	可溶氧化物
1		37.8	81.05	4.525	7	1 200	44.4	77.87	4.403
2	800	38.3	79.11	4.535	8	1 200	90.9	78.24	4.029
3	800	30.1	79.43	4.555	9	1 200	86.4	78.34	3.898
4	1 000	48.0	79.39	4.323	10	1 400	75.0	77.41	3.939
5	1 000	37.8	79.47	4.378	11	1 400	59.6	77.54	3.874

由表 2 可知,当煅烧温度达到 1 200 ℃ 并恒温 60 min(试样开始熔融)时,试样玻璃质含量达到最高,此后煅烧温度再上升则玻璃质含量开始下降,而且相同煅烧温度下急速冷却水淬的试样较自然冷却玻璃质含量明显增高。由图 2 XRD 测试结果可见,煅烧温度达到 1 200 ℃ 后,XRD 测试中的晶体衍射峰明显下降,而此煅烧温度试样宏观表现为表面岩石开始处于熔融状态(图 3),且煅烧温度 1 200 ℃ 恒温 60 min 的试样宏观熔融加速加剧,不论何种冷却方式,其衍射曲线趋向平滑,无明显的晶体衍射峰,玻璃质化较为完全;此外,从相同细度的原岩样粉末(图 4)与 1 000 ℃ 煅烧后水淬试样磨细后粉末(图 5)的 SEM 照片相对照,两者颗粒大小和不规则状形貌相似,表明煅烧后火山岩粉的微观形态没有明显变化。

2.2.2 氧化物测试及宏观强度活性指数

对于不同煅烧温度及冷却的试样,采用 GB/T 176—2008《水泥化学分析方法》中的相应方法,分别测试

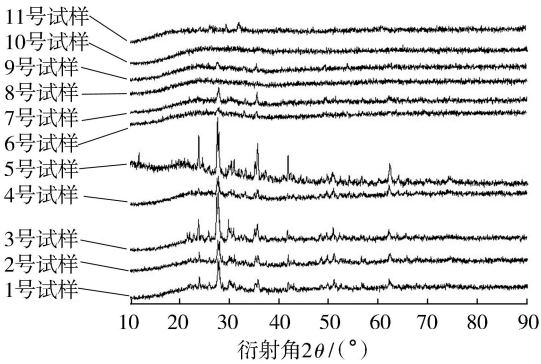


图 2 各试样物相变化的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD spectrum of phase variation for each sample



图 3 1200 °C煅烧水淬后火山岩玻璃质化照片

Fig.3 Vitrification photo of volcanic rock after 1200 °C calcination and water quench

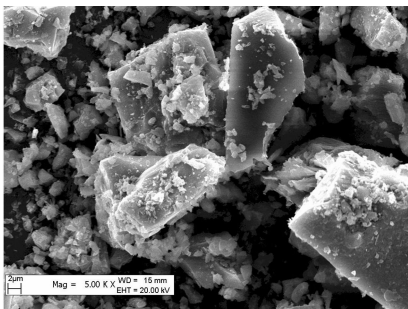


图 4 磨细火山岩粉末 SEM 照片

Fig.4 SEM photo of milled volcanic rock powder

SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 三者的含量,并求和。不同温度煅烧及冷却后 3 种氧化物总含量(质量分数,下同)的变化见表 2。相对于未煅烧的原始样品,高温煅烧使 3 种氧化物总含量均有所下降,并随煅烧温度的上升,有逐步降低的趋势。试验结果表明,水淬或自然冷却对氧化物总量降低趋势影响不大。通过采用火山灰质材料活性的快速评定方法,分别测试经不同温度煅烧和冷却处理样品中可溶出 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的总含量,并与原始样品结果相对比,发现除自然冷却中 1200 °C 和 1200 °C 并恒温 60 min 的 2 个结果波动较大外,基本随煅烧温度的提高,此 2 项可溶出氧化物总量逐步减小(表 2),但变化较小,不超过 1%。图 6 反映了对部分试样进行的宏观胶砂强度活性指数试验结果:仅当煅烧温度为 800 °C 时,28 d 强度活性指数有所上升;燃烧温度 1000 °C 及 1200 °C 时,强度活性指数均有所下降,且 28 d 强度活性指数降幅较大。

2.3 试验结果分析

笔者从 3 个方面对以上试验测试结果进行分析。

a. 当试样进行高温煅烧时,火山岩样中 SiO₂、CaO 及 Na₂O 在高温下发生反应,生成 CaSiO₃ 和 Na₂SiO₃(见化学反应式(1)(2)),而玻璃的主要成分就是 SiO₂、CaSiO₃ 和 Na₂SiO₃ 的混合物^[14-15],高温煅烧时随热量由表及里地传导,从表面开始的反应(即试样的玻璃质化(图 3)),进而过高温度的煅烧熔融,使试样内部晶体结构发生较大变化,造成了过高温度的煅烧后玻璃质含量先增加而后降低,此结果与很多学者对页岩、高岭土煅烧后活性变化影响规律的研究结果相同。



b. 由于本火山岩与页岩等矿物组成相类似,均以 SiO₂、Al₂O₃ 为主要成分,当进行煅烧时这类黏土质矿物也开始大量逸出羟基,造成晶格畸变或羟基逸出后留下空位而出现大量的晶格缺陷,导致分解产物处于热力学上的高能态,使其具有高的反应活性,能提高它们与 Ca(OH)₂ 反应的速率,这是煅烧提升活性的原因。但是随着煅烧温度的继续升高,虽然火山岩中分解出来的无定形的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 仍在继续增加,玻璃质化加剧,由于较高的温度使无定形的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 获得一定热能后,晶格缺陷得以调整甚至消除,进而从热力学上的高能态变为能量相对较低的介稳态,从而使活性急剧下降,即过高的煅烧温度使其活性不升,反而降^[8,16-20],而较低的煅烧温度和合适的煅烧温度保持时间,对提升天然岩石等材料的火山灰活性有益^[21]。

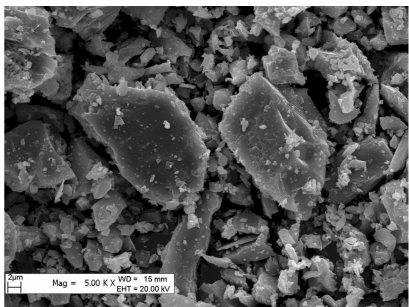


图 5 1200 °C煅烧水淬后火山岩粉末 SEM 照片

Fig.5 SEM photo of volcanic rock powder after 1200 °C calcination

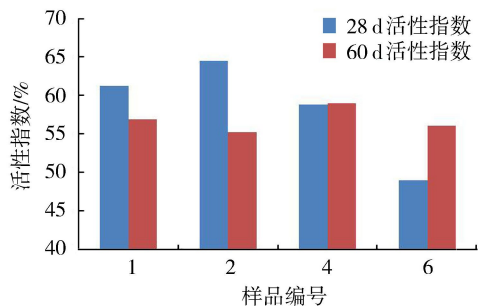


图 6 各试样强度活性指数测试结果

Fig.6 Test results of strength active index for each sample

c. 高温煅烧使试样中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 有小部分的损失转化,尤其是水淬后,部分溶解于水中,造成水淬试样3种氧化物减少较多,而且通过测定 K_a 活性率,即可溶 SiO_2 和 Al_2O_3 与 SiO_2 和 Al_2O_3 的全量之比^[13],表现出高温煅烧后的 K_a 值在 5.1%~6.3% 之间,均属于低活性,且用溶出法测的可溶 SiO_2 、 Al_2O_3 的总含量,当煅烧温度在 800℃ 时基本无变化,但当煅烧温度提升则含量减少。分析原因,是由于过高温度的煅烧使原可溶出的一分部 SiO_2 参与到式(1)和式(2)的化学反应当中,从而使其含量有所下降。

3 结 论

a. 随煅烧温度的提高,火山岩中无定形的 SiO_2 和 Al_2O_3 (玻璃质)质量分数增加,从原岩的 40% 左右最高升至 90%。当煅烧温度达到或超过其熔融温度后,虽然 XRD 中晶体衍射峰明显消失,但热力学上的高能态变为能量相对较低的介稳态,使玻璃质质量分数开始下降。

b. 过高的煅烧温度,使火山岩中的主要氧化物 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 质量分数下降,最高下降 5% 左右,且其可溶出的 2 种氧化物 SiO_2 、 Al_2O_3 的含量(除煅烧温度 800℃ 外),也均有所下降,不超过 1%。

c. 除煅烧温度 800℃ 的火山岩的宏观强度活性指数略有提升外,过高温度的煅烧,其宏观强度活性指数下降较大,下降幅度在 10%~20%。

d. 本研究成果宏观、微观、化学组成相互关联,综合证明了过高温度的煅烧对提升和田火山岩活性无益,建议后续研究应以较低煅烧温度(800℃ 及以下)和相对最高温度煅烧的保持时间为重点,并且深入研究煅烧对火山岩矿物组成变化的影响。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料:JG/T 315—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[2] 国家能源局. 水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范:DL/T 5273—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.

[3] 赵明,王怀义,杨桂权,等. 新疆磨细天然火山灰岩作为混凝土掺合料的可行性研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015,26(1):175-178. (ZHAO Ming, WANG Huaiyi, YANG Guiquan, et al. Study on feasibility of Xinjiang grinding fine natural volcanic ash used in concrete[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2015,26(1):175-178. (in Chinese))

[4] IOANNIS B, GEORGE L, ALEXANDER P. Physico-chemical properties of different carbonate rocks: are they highly enough to control lime reactivity? [J]. International Journal of Chemistry,2011,3(2):187-197.

[5] 洪建平,陈运本,李玉寿,等. 煅烧页岩作水泥混合材的活性研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2008,33(3):24-29. (HONG Jianping, CHEN Yunben, LI Yushou, et al. Study on activity of burnt shale as cement admixture[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology),2008,33(3):24-29. (in Chinese))

[6] 苗琛,冯春花,李东旭. 烧页岩作为水泥混合材的研究[J]. 硅酸盐通报,2010,29(6):1397-1401. (MIAO Shen, FENG Chunhua, LI Dongxu. Study on calcined shale as cement admixture[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society,2010,29(6):1397-1401. (in Chinese))

[7] 喻乐华,周双喜,欧辉,等. 用作混凝土掺合料的火山岩的组成与火山灰活性[J]. 硅酸盐学报,2013,41(10):1387-1394. (YU Lehua, ZHOU Shuangxi, OU Hui, et al. Constitution and pozzolanic activity of volcanic rocks used as mineral admixture in concrete[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society,2013,41(10):1387-1394. (in Chinese))

[8] 田文玉,唐伯明,俞志龙. 煅烧温度对磨细锶渣强度活性的影响[J]. 建筑材料学报,2009,12(2):136-140. (TIAN Wengyu, TANG Boming, YU Zhilong. Influence of combustion temperature on strength activity of pulverized strontium slag[J]. Journal of Building Materials, 2009,12(2):136-140. (in Chinese))

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉:GB/T 18046—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[10] 周世华,董芸,杨华全. 天然火山灰质材料品质指标的分析与探讨[J]. 水利水电技术,2012,43(4):99-101. (ZHOU Shihua, DONG Yun, YANG Huaquan. Analysis and discussion on quality index of natural pozzolanic material[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2012,43(4):99-101. (in Chinese))

[11] 袁政杰. 火山岩火山灰活性评价方法的研究[J]. 四川建筑,2014,35(5):196-198. (ZHONG Zhengjie. Study on the evaluation method of volcanic ash activity[J]. Sichuan Architecture,2014,35(5):196-198. (in Chinese))

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 水泥化学分析方法:GB/T 176—2008[S]. 北

京:中国标准出版社,2008.

[13] 廉慧珍,张志龄,王英华. 火山灰质材料活性的快速评定方法[J]. 建筑材料学报,2001,4(3):299-304. (LIAN Huizhen, ZHANG Zhiling, WANG Yinghua. Rapid evaluation on activity of pozzolanic materials[J]. Journal of Building Materials,2001, 4(3):299-304. (in Chinese))

[14] KARAMBERI A, MOUTSATSON A. Participation of colored glass cullet in cementitious materials[J]. Cement & Concrete Composites, 2005, 27:319-327.

[15] MOHAMMADREZA M, KYLE A R. Influence of different particle sizes on reactivity of finely ground glass as supplementary cementitious material(SCM)[J]. Cement & Concrete Composites, 2015, 56:45-52.

[16] 元敬顺,孙婧,岳丽娇,等. 热激发张家口尚义页岩的火山灰活性研究[J]. 硅酸盐通报,2013,32(3):476-485. (YUAN Jinghun,SUN Jing,YUE Lijiao,et al. Research on the pozzolanic activity of shangyi shale in zhangjiakou by thermal excitation [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society,2013,32(3):476-485. (in Chinese))

[17] 王浩林,李金洪,侯磊,等. 硅藻土的火山灰活性研究[J]. 硅酸盐通报,2011,30(1):19-24. (WANG Haolin, LI Jinhong, HOU Lei, et al. Study on the pozzolanic activity of diatomite[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2011,30(1):19-24. (in Chinese))

[18] 魏博,张一敏,包申旭. 煅烧制度对高岭土活性及地聚物性能的影响[J]. 非金属矿,2016,39(4):31-34. (WEI Bo, ZHANG Yimin, BAO Shenxu. Effect of calcination conduction on activity of kaolin and property of geopolymer[J]. Non-Metallic Mines, 2016,39(4):31-34. (in Chinese))

[19] 任国浩,孙振亚,牟善彬,等. 烧页岩的火山灰活性研究[J]. 武汉工业大学学报,1996,18(4):21-23. (REN Guohao, SUN Zhenya, MU Shanbin, et al. Study on the pozzolanic activity of burnt shale[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 1996,18(4):21-23. (in Chinese))

[20] 高翠翠. 煅烧炭质页岩作活性掺合材的研究[D]. 重庆:重庆大学,2014:23-26.

[21] 牟善彬,孙振亚. 烧页岩的水化活性及在水泥混合材中的应用机理[J]. 非金属矿,2002,21(1):29-30. (MU Shanbin, SUN Zhenya. Study on microcosmic pattern of calcined shale and its hydrate activit[J]. Non-Metallic Mines, 2002,21(1):29-30. (in Chinese))

(收稿日期:2018-07-20 编辑:高建群)

· 简讯 ·

江苏省水力发电工程学会学术年会暨 水力机械与系统高端学术论坛在河海大学举办

2019 年 12 月 20—22 日,江苏省水力发电工程学会学术年会暨水力机械与系统高端学术论坛在河海大学举办。本次论坛由江苏省水力发电工程学会主办、河海大学农业工程学院承办、扬州大学水利科学与工程学院协办。河海大学校长徐辉、江苏省水力发电工程学会理事长朱跃龙、江苏省水力发电工程学会水力机械与系统专业委员会主任刘超在开幕式上致辞。南水北调东线江苏水源有限责任公司副总经理冯旭松、江苏省水利厅河湖长制工作处处长黄海田等出席会议。

徐辉校长在致辞中介绍了河海大学水力机械与系统相关学科的发展历程及对学校“双一流”建设提供重要支撑的情况。江苏省水力发电工程学会理事长朱跃龙、南水北调东线江苏水源有限责任公司副总经理冯旭松、扬州大学成立教授、江苏大学康灿教授、河海大学郑源教授、江苏大学裴吉副研究员、江苏航天水力设备有限公司副总经理邵春兵以及江苏省水力发电工程学会水力机械与系统专业委员会主任刘超分别做主题报告。参会的专家学者还围绕“水力机械与系统仿真分析”、“水力机械系统振动及运行稳定性”等主题内容开展了交流研讨。

(本刊编辑部供稿)