

某钒钛磁铁矿尾矿制备加气 混凝土砌块的研究

丁春江, 张凯峰

(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)

摘 要:以承德某钒钛磁铁矿尾矿为主要原料, 采用免蒸压的方法, 制备了一种性能优良的加气混凝土砌块, 研究了配方组成对样品干密度与抗压强度的影响。结果表明: 添加水泥与石灰使样品的抗压强度先增大后减小, 干密度先减小后增大, 添加矿渣可提高样品的抗压强度与干密度, 添加 Al 粉造成样品的抗压强度与干密度下降。采用最佳配方(钒钛磁铁矿尾矿: 矿渣: 生石灰: 水泥: 石膏=6: 6: 4: 3: 1, 铝粉添加量为 0.05%)可制备出抗压强度为 4.41 MPa, 干密度为 695 kg/m³ 的加气混凝土砌块。样品经 28 d 养护后, 生成了托勃莫来石与水化硅酸钙等水化产物。样品孔隙结构发达, 大量结晶良好的叶片状及纤维状的托勃莫来石与 CSH 相互交织, 形成典型的“桥连”结构, 从而赋予样品较低的导热系数、优良的耐热性及环境安全性。为高效利用承德地区的钒钛磁铁矿尾矿提供了依据。

关键词:钒钛磁铁矿; 尾矿; 加气混凝土砌块; 抗压强度; 干密度; 显微结构

中图分类号: X757

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2022)02-0094-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2022.02.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Study on preparation of aerated concrete block from vanadium-titanium magnetite tailing

Ding Chunjiang, Zhang Kaifeng

(State Key Laboratory of Silicate Building Materials, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: The aerated concrete block was prepared with the tailings as the main raw material by auto-clave-free method. The influence of formula composition on dry density and compressive strength was studied. The results showed that the compressive strength increased first and then decreased, while the dry density had the opposite trend with the addition of cement and lime. The slag improved the compressive strength and dry density, which was lowered by the introduction of Al powder. Aerated concrete blocks with compressive strength of 4.41 MPa and dry density of 695 kg/m³ could be achieved, when the optimum formula (vanadium titanomagnetite tailings : slag : quicklime : cement : gypsum = 6 : 6 : 4 : 3 : 1, 0.05% aluminum powder) was adopted. After 28 days of curing, tobermorite and calcium silicate hydrate were produced. A large number of well-crystallized and fibrous tobermorite interweaved with CSH, forming a typical bridging structure. Therefore, the samples were endowed with low thermal conductivity, excellent water resistance, environmental safety, heat and fire resistance. This paper provides reference for efficient utilization of vanadium titanomagnetite tailings in Chengde.

Key words: vanadium titanomagnetite, tailings, aerated concrete block, compressive strength, dry density, microstructure

收稿日期: 2018-11-10

作者简介: 丁春江(1989—), 男, 博士研究生, 研究方向: 能源材料, E-mail: wustzhxy@163.com。

0 引言

河北承德是国内著名的钒钛磁铁矿产区, 文献 [1-2] 报道该地区的钒钛磁铁矿尾矿年排放量高达 1 000 万 t, 大量的尾矿污染了环境与土地, 威胁居民的生命财产安全, 因此开发利用钒钛磁铁矿尾矿是当务之急。目前大多学者^[3-5] 利用重磁浮选矿工艺, 从尾矿中提取出目的矿物, 但大宗综合利用钒钛磁铁矿尾矿的研究还尚未报道, 因此亟待一种高效利用该钒钛磁铁矿尾矿的方法。

加气混凝土是一种新型的建筑材料, 具有轻质、节能保温、抗震能力强的优点^[6], 利用尾矿制备加气混凝土是当今研究的热点。倪文等^[7] 以低硅高铁的铁尾矿为主要原料, 开发出一种符合国家 A3 标准的加气混凝土砌块。杨力远^[8] 利用磷尾矿研制出性能优异的加气混凝土砌块。杜辉等人^[9] 以沂南地区的某金矿尾矿为原料, 通过添加粉煤灰与石灰制备出干密度与强度均满足国家 GB 11968—2006 标准的加气混凝土砌块。

然而, 目前利用钒钛磁铁矿尾矿制备加气混凝土砌块的研究还鲜有报道。因此笔者以承德某钒钛磁铁矿尾矿为主要原料, 通过添加冶金矿渣、水泥、石灰、石膏、铝粉, 成功制备了性能优良的加气混凝土砌块, 从而为开发利用该地区的钒钛磁铁矿尾矿提供借鉴。

1 原料及方法

1.1 试验原料

1.1.1 钒钛磁铁矿尾矿

本试验所用的钒钛磁铁矿尾矿来自河北承德某地, 外观为灰色, 样品的化学组成见表 1, 粒度组成见表 2。从表 1 可知, 该尾矿含有 72.05% 的 SiO₂ 与 11.03% 的 Al₂O₃, 符合硅酸盐建筑制品对硅质原料化学成分的要求 (SiO₂ 和 Al₂O₃ 的总含量 > 70%, 烧失量 < 15%)^[10], 且该尾矿的 Fe 和 Ti, V 含量均较低。从表 2 可知, 该尾矿的粒度较细, -0.074 mm 粒级含量高达 80%, 符合硅酸盐建筑制品对硅质原料粒度的要求。

表 1 钒钛磁铁矿尾矿的化学成分

Table 1 Chemical compositions of the vanadium-titanium magnetite tailings

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	V ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃	烧损
72.05	11.03	3.21	1.26	2.77	2.50	0.49	0.20	2.30	0.49	3.70

表 2 钒钛磁铁矿尾矿粒度分析

Table 2 Particle size analysis of the vanadium-titanium magnetite tailings

粒度范围/mm	含量/%
-0.25 ~ +0.18	3.10
-0.18 ~ +0.12	5.30
-0.12 ~ +0.106	5.30
-0.106 ~ +0.074	6.20
-0.074	80.10

图 1 表明该尾矿的物相组成简单, 仅含有 α-石英, 少量的长石与辉石。

1.1.2 其他原料

采用某冶金矿渣调整配方的硅铝比。该矿渣为粉状, -0.074 mm 粒级约占 80%。表 3 表明该矿渣的 Al₂O₃ 含量高达 24.41%, 因此能有效调整配方的硅铝比。本试验使用承德华新水泥厂生产的 P.042.5 复合硅酸盐水泥; 采用石膏 (AR, 0 ~ 20 μm,

国药集团化学试剂有限公司) 作为水泥的缓凝剂; 采用生石灰 (AR, 0 ~ 50 μm, 国药集团化学试剂有限公司) 作为配方的钙源; 采用铝粉 (AR, 0 ~ 100 μm, 天津市科密欧化学试剂有限公司) 作为发气剂。

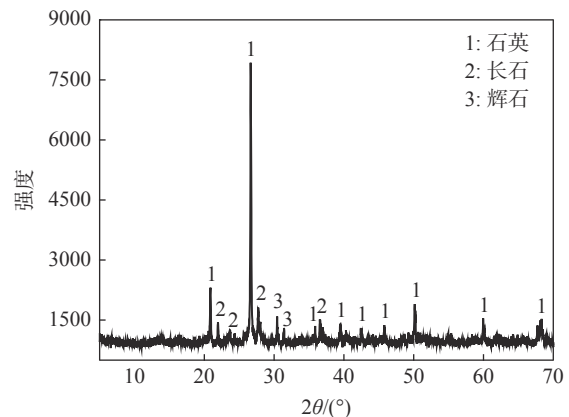


图 1 钒钛磁铁矿尾矿物相组成

Fig. 1 Phase composition of the vanadium-titanium magnetite tailings

表3 矿渣化学成分
Table 3 Chemical composition of the slag powder

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Na ₂ O
32.23	24.41	32.95	9.68	0.69	0.04

1.2 试验方法

将钒钛磁铁矿尾矿、石膏、石灰与矿渣按比例混匀,然后用瓷衬球磨机球磨混合料,磨矿条件:干磨,磨矿时间 20 min,球料比为 8/3。球磨结束后将温水(40~60℃)、Al粉与混合料搅拌均匀,将上述料浆倒入模具,并置于 55℃ 的快速沸煮箱中养护 1 d。硬化的坯体拆模后,放入温度与湿度分别为 20% 与 95% 的快速沸煮箱养护 28 d,即制得加气混凝土砌块。

上述样品经 80℃ 干燥 1 d 后测试相关性能,测试方法参照《蒸压加气混凝土性能试验方法(GB/11969—2008)》,其中抗高温性能的测试方法如下所述:将样品放置于高温炉,以 3~5℃/min 的升温速度升至指定温度,然后保温 3 h,结束后测试砌块的抗压强度。样品的安全性测试方法按照《危险废物鉴别标准》(GB 3838—2002)。本试验所用的仪器如表 4 所示。

表4 相关试验仪器
Table 4 Related experimental instruments

仪器名称	型号	生产厂家
瓷衬球磨机	XMCQ	武汉探矿机械厂
增力电动搅拌器	JJ-1	金坛市易晟仪器制造有限公司
水泥胶砂搅拌机	JJ-5	无锡市建工仪器有限公司
快速沸煮箱	ZSA-5A	北京三思行测控技术有限公司
恒温干燥箱	101-4	上海新正机械仪器制造有限公司
智能测力仪	RFP-03	济南天辰试验机制造有限公司

1.3 结构与性能分析

用 PANalytical. B.V 公司的 Axios advanced X 型射线光谱仪分析原料的化学组成;用 DX-2700 型 X 射线衍射仪对样品进行物相分析,工作电压为 35 kV,工作电流为 40 mA,扫描速度 10°/min;用 FEQUANTA-300 型扫描电镜观察样品的微观形貌;按照 GBT 10294—2008《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定防护热板法》,用 DRE-2C 导热系数测试仪测定样品的导热系数,测试温度 30℃,样品的直径与高度分别为 48 mm 与 10 mm;参照文献 [11] 中的相关步骤预处理样品,并采用美国的 ICAP 7200 等离子发射光谱仪测试重金属离子的浸出浓度。

30%、15% 与 0,矿渣的添加量则为 0、15%、30%、45% 与 60%,试验结果如图 2 所示。

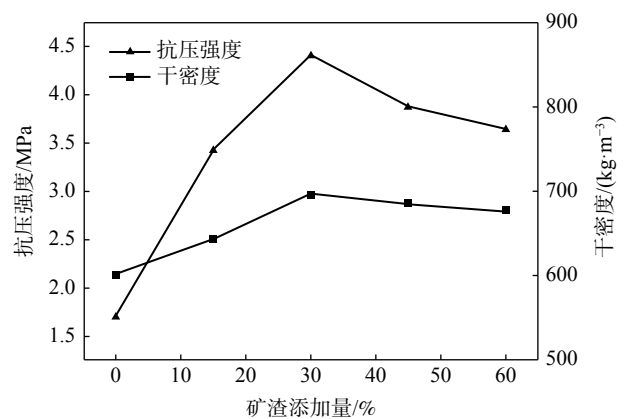


图2 钒钛磁铁矿尾矿-矿渣添加量对加气混凝土的影响
Fig. 2 Influence of vanadium-titanium magnetite tailings-slag addition on the non-autoclaved aerated concrete

2 结果分析与讨论

2.1 尾矿-矿渣添加量对加气混凝土的影响

水泥、石膏、生石灰与铝粉的添加量分别为 15%、5%、20% 与 0.05%。设计尾矿与矿渣的总添加量为 60%,其中尾矿添加量分别为 60%、45%、

从图 2 可知,添加矿渣提高样品的抗压强度与致密度。由于该矿渣中含有较多的氧化钙与二氧化硅,因此添加矿渣有利于生成水化硅酸钙(CSH),水

化铝酸钙(CAH)与托勃莫来石, 上述水化产物形成了骨架结构, 有效提高了样品的抗压强度^[12]。然而 CSH 和 CAH 阻碍了 Al 粉发气, 影响了样品的孔隙结构。因此矿渣的添加量从 15% 增加至 30%, 样品的抗压强度从 3.42 MPa 增大至 4.41 MPa, 干密度从 642 kg/m³ 增大至 695 kg/m³。当矿渣添加量超出 30% 时, 样品的抗压强度与干密度均开始下降, 这可能是由于添加过多的矿渣导致样品中的 SiO₂ 含量过低, 反而不利于产生 CSH 与托勃莫来石^[6]。

2.2 尾矿-水泥添加量对加气混凝土的影响

水泥是样品强度的来源, 本试验矿渣、生石灰、石膏、铝粉的添加量分别为 30%、20%、5% 与 0.05%。设计尾矿与水泥总添加量为 45%, 其中尾矿添加量分别为 40%、35%、30% 与 25%, 水泥添加量则为 5%、10%、15% 与 20%, 试验结果如图 3 所示。

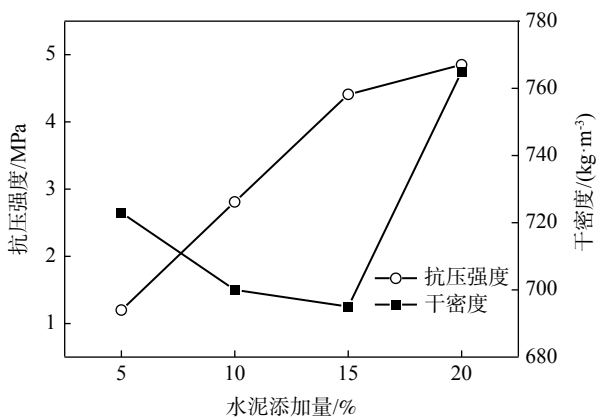


图 3 钒钛磁铁矿尾矿-水泥添加量对加气混凝土的影响
Fig. 3 Influence of vanadium-titanium magnetite tailings-cement addition on the aerated concrete

从图 3 可知, 该样品的抗压强度曲线先快速上升, 后趋于平缓, 但干密度曲线呈先降后升的趋势。文献 [12] 指出水泥既可调节料浆的稠度, 促进坯体成型, 又能和其他原料反应生成低碱硅酸盐(C₂SH)和托勃莫来石, 赋予制品强度。此外, 水泥中的碱性物质促进了 Al 粉发气, 因此添加适量的水泥有利于提高样品的抗压强度, 改善样品的孔隙结构。但是水泥添加量不宜过多, 否则将生成强度相对较低的菱柱-薄片状双碱水化硅酸钙, 并且添加过多的水泥增大了料浆的粘稠性, 不利于 Al 发气^[10,12]。因此综合上述分析, 添加 15% 的水泥较为合适。

2.3 尾矿-石灰添加量对加气混凝土的影响

石灰既能与 SiO₂、Al₂O₃ 反应, 生成 CSH 凝胶与托勃莫来石, 又能促进 Al 粉发气。本研究水泥、石膏、矿渣与铝粉的添加量分别为 15%、5%、30%

与 0.05%。设计尾矿与生石灰总添加量为 50%, 其中尾矿添加量分别为 50%、40%、30%、20% 与 10%, 生石灰的添加量则为 0、10%、20%、30% 与 40%, 试验结果如图 4 所示。

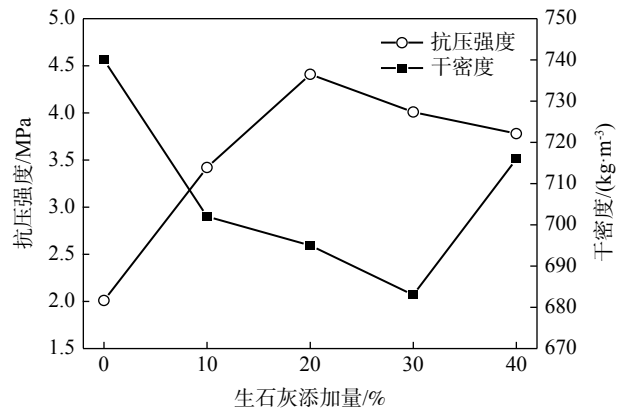


图 4 钒钛磁铁矿尾矿-生石灰添加量对加气混凝土的影响
Fig. 4 Influence of vanadium-titanium magnetite tailings-calcined lime addition on the aerated concrete

从图 4 可知, 添加生石灰使样品的抗压强度先升后降, 而干密度先降后升。其原因是添加钙质材料促进了水热反应, 生成了更多的水化硅酸钙与托勃莫来石, 从而提高了制品的强度^[11,13-14]。此外生石灰经水化后产生了 Ca(OH)₂, 有利于 Al 粉发气, 因此坯体孔隙度得以改善。然而添加过多的石灰 (>30%) 增大了料浆的黏度, 不利于铝粉发气, 并造成样品中的硅质材料不足, 不利于生成托勃莫来石。

2.4 Al 粉添加量对加气混凝土的影响

铝粉发气赋予样品孔隙结构, 本试验尾矿、矿渣、生石灰与石膏添加量分别为 30%、30%、20% 与 5%, Al 粉的添加量为 0.01%、0.03%、0.05% 与 0.07%, 试验结果如图 5 所示。

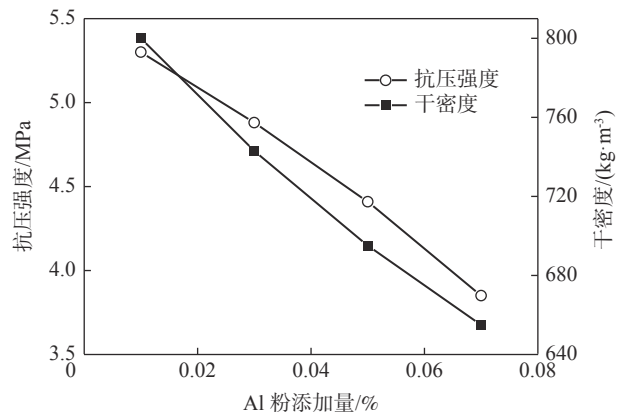
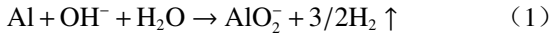


图 5 钒钛磁铁矿尾矿-铝粉添加量对加气混凝土的影响
Fig. 5 Influence of vanadium-titanium magnetite tailings-aluminite powder addition on the non-autoclaved aerated concrete

由图5可知,添加Al粉降低了加气混凝土的抗压强度与干密度。文献[15]表明,Al粉与碱性物质反应产生H₂,赋予样品孔隙结构,其反应如式(1)所示:



气孔容易造成应力在其附近集中,从而造成样品破损。此外气孔容易相互吞并,影响结构的均衡性,因此增大气孔含量不利于改善样品的强度。当Al粉的添加量大于0.07%时,试验过程中发现发气速度过快,难以协调发气速度和料浆的稠化速度,且脱模时容易发生坍塌现象,不利于坯体成型,因此添加0.05%的Al粉较为合适。

3 加气混凝土砌块的结构与性能

表5为样品相关物理性能。采用钒钛磁铁矿尾矿:矿渣:生石灰:水泥:石膏=6:6:4:3:1,铝粉添加量为0.05%的工艺条件,制备的加气混凝土砌块经28d养护后,其抗压强度与干密度分别为4.41 MPa与695 kg/m³。用DRE-2C导热系数测试仪测定样品的导热系数仅为0.101~0.106 W/(m·K)。因此利用钒钛磁铁矿尾矿可制备出符合GB 11968—2006《蒸压加气混凝土砌块》标准的加气混凝土砌块。对该样品进行显微结构分析,环境安全性与隔热保温性研究,其结果见图6,表6、7。

表5 砌块相关性能
Table 5 Related performance of block

性能	干密度/(kg·m ⁻³)	抗压强度/MPa	干缩值/%	导热性能/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	抗冻性	
					质量损失/%	冻后强度/MPa
砌块	695	4.41	0.69	0.11	2.9	4.09
标准值	≤725	≥4.0	≤0.80	≤0.18	≤5.0	≥4.0

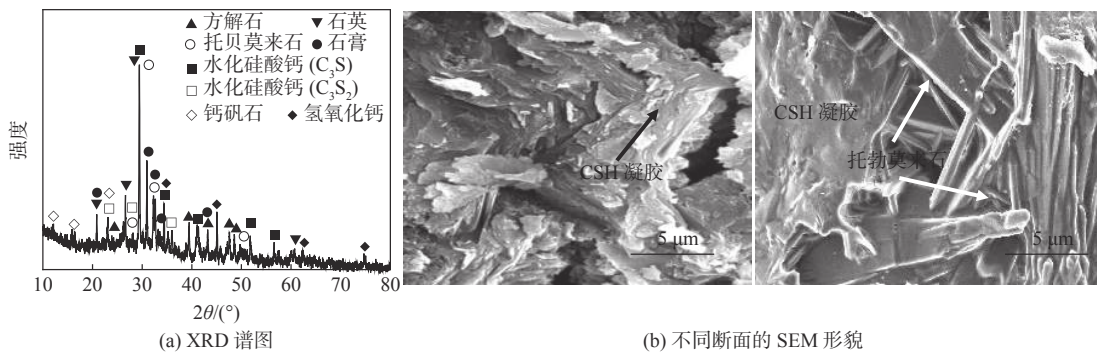


图6 样品的XRD谱图及断面的SEM形貌
Fig. 6 XRD spectra and fracture surface SEM image of sample

3.1 相组成及显微结构分析

图6为样品的相组成与显微结构分析。图6表明该样品主要由托勃莫来石、石英与水化硅酸钙等物质组成。0~5 μm的叶片状与针状的托勃莫来石均匀分布,并与大量无定型态的CSH相互胶结,因此样品的强度较高。大量结晶良好的纤维状托勃莫来石分布于样品的空隙中,与周边的CSH一起形成典型的“桥连”结构,其他文献也出现了类似的现象^[14-16]。吴笑梅等人认为,当样品受力时,该“桥连”结构促使裂纹发生偏转和分叉,能显著改善样品的强度。因此,加气混凝土的强度及孔隙结构来源于叶片状与针棒状托勃莫来石形成的刚性骨架结构。

表6 样品耐热性测试结果
Table 6 Heat resistance test results of samples

温度/℃	冷却强度/MPa	外观
200	4.55	正常
300	4.38	正常
400	4.40	灰黑色
500	2.63	灰白色
600	1.44	有裂纹
700	1.21	有裂纹

3.2 耐热性及环境安全性分析

表6为样品的耐热性分析结果。从表6可知,

该样品经过 200~400 °C 处理后, 样品外观与抗压强度没有明显变化。一旦处理温度高于 500 °C, 样品抗压强度显著降低, 当温度高于 600 °C, 样品表面出现了裂纹, 所以该样品适宜在室温大约 400 °C 范围内使用。

安全性是固体废弃物综合利用过程中重要的研究内容。由于尾矿与废渣中含有少量的重金属元素,

因此需要对该样品进行环境安全性分析。本试验根据 HJ/T299-2007 中规定的硫酸-硝酸浸出法对制品中重金属的浸出浓度进行检测, 其试验结果见表 7。表 7 表明该样品浸出液中的 Cu、Pb、Cd、Cr 与 Zn 元素浓度远低于相关标准, 因此该样品在使用过程中不会产生二次污染。

表 7 样品重金属浸出浓度与相关标准要求

Table 7 Leaching concentration of heavy metals from sample and the corresponding standard requirements	mg/L				
	Cu	Pb	Cd	Cr	Zn
含量	0.013	0.001	0.001	0.040	0.100
标准限值	<3.00	<5.00	<1.00	<15.00	<100.00

4 结论

以承德某地的钒钛磁铁矿尾矿为原料, 通过掺杂其他原料, 采用免蒸压的方式制备了一种性能优良的加气混凝土砌块, 并探讨了原料组成对样品干密度与抗压强度的影响, 分析了该样品的显微结构与物理性能, 其结论如下:

1) 添加水泥与石灰使样品的抗压强度先增大后减小, 干密度先减小后增大。添加矿渣可增大样品的抗压强度与干密度, 添加 Al 粉造成样品的抗压

强度与干密度下降。采用钒钛磁铁矿尾矿: 矿渣: 生石灰: 水泥: 石膏=6: 6: 4: 3: 1, 铝粉添加量为 0.05% 的工艺条件可成功制备出加气混凝土砌块。经 28 d 养护后, 样品抗压强度与干密度分别高达 4.41 MPa 与 695 kg/m³。

2) 样品中大量结晶良好的叶片状与纤维状的托勃莫来石与 CSH 相互胶结, 形成典型的“桥连”结构, 赋予样品较高的强度。该样品的导热系数低, 环境安全性好, 适合在室温大约为 400 °C 的环境中使用。

参考文献

- [1] Zhang Jun. New light wall materials can be produced by low-temperature autoclaving process from low-lean vanadium ilmenite resources[J]. Building Materials Development Orientation, 2013, (5): 107-108.
(张均. 低贫钒钛铁矿资源可以采用低温蒸压工艺生产的新型轻质墙体材料[J]. 建材发展导向, 2013, (5): 107-108.)
- [2] Yu Minzhu. Study on safety supervision and management of tailings pond in Chengde [D]. Baoding: Hebei University, 2014.
(于明珠. 承德市尾矿库安全监管问题与对策研究[D]. 保定: 河北大学, 2014.)
- [3] Zhang Shaomin. Recovery of iron and titanium from a vanadium-titanium magnetite concentrate tailings in Chengde area[J]. Modern Mining, 2013, 29(10): 108-109.
(张韶敏. 承德地区某钒钛磁铁矿选铁尾矿回收铁、钛试验[J]. 现代矿业, 2013, 29(10): 108-109.)
- [4] Song Xiaomin, Wang Yonggang. Comprehensive recovery of titanium and iron from a tailings in Twin Towers mountain in Chengde[J]. Modern Mining, 2015, (1): 86-87.
(宋晓敏, 王永刚. 承德双塔山某尾矿综合回收钛、铁试验[J]. 现代矿业, 2015, (1): 86-87.)
- [5] Liu Changmiao, Wu Dongyin, Lv Zhihu, et al. Study on beneficiation of ilmenite in tailings of a vanadium titanium magnetite ore[J]. China Mining, 2015, (5): 115-117.
(刘长淼, 吴东印, 吕子虎, 等. 某钒钛磁铁矿尾矿中钛铁矿的选矿研究[J]. 中国矿业, 2015, (5): 115-117.)
- [6] Zou Xiaotong, Wu Qisheng, Guang Jianmiao, et al. Effect of calcium-silicon ratio on properties of hydrothermal nickel slag aerated concrete[J]. Materials Report, 2016, 30(10): 126-129.
(邹小童, 吴其胜, 光鉴淼, 等. 钙硅比对水热合成镍矿渣加气混凝土性能的影响[J]. 材料导报, 2016, 30(10): 126-129.)
- [7] Wang Changlong, Ni Wen, Li Dezhong. Experimental study on preparation of aerated concrete from low silicon iron tailings in Lingqiu, Shanxi[J]. Journal of Coal Mine, 2012, 37(7): 1129-1133.
(王长龙, 倪文, 李德忠, 等. 山西灵丘低硅铁尾矿制备加气混凝土的试验研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(7): 1129-1133.)

- [8] Yang Liyuan, Wan Huiwen, Li Jie. Exploration and study on technological parameters of preparation of aerated concrete from phosphorus tailings[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, (9): 20–22.
(杨力远, 万惠文, 李杰. 利用磷尾矿制备加气混凝土工艺参数的探索研究[J]. 武汉理工大学学报, 2011, (9): 20–22.)
- [9] Du Hui, Liu Xingwei, Li Qiuyi, *et al.* Effect of ultrafine mineral powder on the strength of high performance concrete[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2009, 30(4): 162–165.
(杜辉, 刘星伟, 李秋义, 等. 超细矿粉对高性能混凝土强度的影响[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(4): 162–165.)
- [10] Guang Jianmiao, Wu Qisheng, Liu Xiaoyan, *et al.* Hydrothermal synthesis of nickel slag aerated concrete and its hydration products[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2016, 34(3): 421–426.
(光鉴淼, 吴其胜, 刘小艳, 等. 水热合成镍矿渣加气混凝土及其水化产物[J]. 材料科学与工程学报, 2016, 34(3): 421–426.)
- [11] Wang Bin. Study on preparation and performance of iron tailings aerated concrete [D]. Shenyang: Shenyang Construction University, 2015.
(王斌. 铁尾矿加气混凝土的制备及其性能研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2015.)
- [12] Wang Changlong, Ni Wen, Qiao Chunyu, *et al.* Preparation and properties of iron tailings aerated concrete[J]. Journal of Materials Research, 2013, (2): 157–162.
(王长龙, 倪文, 乔春雨, 等. 铁尾矿加气混凝土的制备和性能[J]. 材料研究学报, 2013, (2): 157–162.)
- [13] Wu Xiaomei, Fan Yueming. Types and microstructure of hydration products of aerated concrete from fly ash[J]. Journal of South China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2003, 31(8): 57–61.
(吴笑梅, 樊粤明. 粉煤灰加气混凝土水化产物的种类和微观结构[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2003, 31(8): 57–61.)
- [14] Sun Guokuang, Tang Di, Zhao Yuping. Study on carbonization of aerated concrete and its hydration products[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1985, (4): 24–33.
(孙国匡, 唐弟, 赵宇平. 加气混凝土及其水化产物碳化的研究[J]. 硅酸盐学报, 1985, (4): 24–33.)
- [15] Mu Shanbin, Sun Zhenya. Study on hydration products and structure of aerated concrete with fly ash[J]. *Comprehensive Utilization of Fly Ash*, 2002, (1): 16–18.
(牟善彬, 孙振亚. 粉煤灰加气砼的水化产物及其结构的研究[J]. *粉煤灰综合利用*, 2002, (1): 16–18.)
- [16] Sun Baozhen, Su Erda. Crystallinity and carbonization rate of hydrated calcium silicate[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1984, (3): 25–30, 132.
(孙抱真, 苏而达. 水化硅酸钙的结晶度与碳化速度[J]. 硅酸盐学报, 1984, (3): 25–30, 132.)

编辑 杨冬梅

鲁北化工年产 6 万 t 氯化法钛白粉项目已正式投产

4月11日晚间,鲁北化工发布公告称,公司全资子公司山东祥海钛资源科技有限公司(以下简称“祥海钛业”)投资建设的年产6万t氯化法钛白粉项目已完成主体建设及设备安装、调试工作,项目已于2021年12月进入试车阶段,目前该项目已正式投产。

据了解,祥海钛业年产6万t氯化法钛白粉项目预算总投资8.9亿元,项目主体由氯化、氧化、后处理及辅助生产设施构成,主要生产高档金红石型钛白粉,产品主要用于涂料、油漆、造纸、橡胶、油墨、塑料等行业高端产品。相对于硫酸法钛白粉生产工艺而言,氯化法钛白粉项目具有工艺流程短、产品品质高、易于实现自动化、“三废”排放少等优势,属于国家鼓励类项目。

鲁北化工表示,项目达产后,每年可新增6万t氯化法钛白粉产能,使公司钛白粉产能提升至超26万t/a,有利于进一步提高产品竞争力和市场占有率,增强盈利能力,巩固公司在钛白粉行业的地位。

摘自 <http://news.cnpowder.com.cn/64478.html>