

钽铌尾矿制备发泡陶瓷材料的研究

朱逸^{1,2,3}, 何桂春^{1,2,3}, 江长松^{1,2,3}, 段奕龙^{1,2,3}, 汪劲刚^{1,2,3}, 江银美^{1,2,3}, 林悦^{1,2,3}

- 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000;
- 江西省矿业工程重点实验室, 江西 赣州 341000;
- 战略性稀有金属矿产资源绿色开发利用教育部重点实验室; 江西 赣州 341000

中图分类号: TD926.42 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)06-0054-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.06.006

摘要 利用尾矿制备发泡陶瓷是尾矿高值化利用途径之一,但烧结参数和尾矿成分组成对钽铌尾矿基发泡陶瓷抗压强度的影响尚不清楚。为此,以钽铌尾矿为主要原料、高岭土(28%)和钠长石(12%)为辅助材料、碳化硅(SiC)为发泡剂,采用直接发泡法制备了钽铌尾矿基发泡陶瓷,研究了烧结温度、保温时间、SiC 掺量和尾矿加入量对发泡陶瓷抗压强度的影响。结果表明,随着保温时间和烧结温度的增加,发泡陶瓷的抗压强度均呈减小的趋势;同时,抗压强度随着尾矿加入量的增加而增加,随着 SiC 掺量的增大钽铌尾矿基发泡陶瓷的抗压强度先减小后增大。机理分析表明,孔隙结构变化是导致其抗压强度改变的主要因素。在烧结温度为 1150 ℃、保温时间为 40 min、尾矿加入量为 65%、SiC 掺量为 0.5% 条件下,制备的发泡陶瓷抗压强度和孔隙率分别为 9.94 MPa 和 67.16%。本研究为钽铌尾矿制备高强度发泡陶瓷提供了理论依据。

关键词 钽铌尾矿; 发泡陶瓷; 抗压强度

1 引言

发泡陶瓷是一种具有防火等级高、抗裂防水、节能环保、安全可靠、施工简便、耐久性好、寿命长、节省面积和防水防潮等诸多优良特性的新型多孔材料,被广泛应用于环保、金属铸造和建筑等领域^[1]。尾矿作为选矿过程中产生的固体废物,它的堆存不仅占用土地,而且会对矿山和周围环境造成环境污染和生态破坏^[2]。研究发现,部分尾矿中含有二氧化硅和氧化铝,是制备发泡陶瓷的理想原料之一^[3-4]。

目前,一些研究者已经对用尾矿制备发泡陶瓷进行了大量研究,发现发泡陶瓷材料的结构受原料组成和烧结条件影响很大,且影响效果复杂多变^[5-7]。例如, Liu 等^[8]研究了以粉煤灰为主要原料制备发泡陶瓷,结果表明粉煤灰的添加量和烧结温度的提高均能增大发泡陶瓷的堆积密度、减小发泡陶瓷的孔隙率;而以金尾矿^[9]、石棉尾矿^[10]和铜尾矿^[11]等为主要原料制备的发泡陶瓷材料,随着烧结温度的上升,堆积密度先减小后增大。

抗压强度是发泡陶瓷的核心性能和关键指标,抗压强度越大,发泡陶瓷越不容易破碎,是发泡陶瓷在不同领域应用的基础条件之一^[12-14]。相关研究发现,随着保温时间和烧结温度的上升,以煤矸石^[15]、钼尾矿^[16]和粉煤灰^[10]等制备的发泡陶瓷的抗压强度下降。此外,有研究表明,发泡陶瓷的抗压强度也受尾矿加入量的影响。例如, Zhu 等^[6]以钽铌磁铁尾矿、长石尾矿和高岭石型黄铁矿尾矿为原料制备了发泡陶瓷,发现发泡陶瓷样品的抗压强度随尾矿加入量的增加而减小;潘德安等^[7]研究结果显示,铁尾矿的加入会提高发泡陶瓷的抗压强度。因此,探究不同因素对发泡陶瓷材料抗压强度的影响具有重要意义。

钽铌尾矿中含有丰富的石英和长石,但采用钽铌尾矿制备发泡陶瓷的研究较少^[17-18]。为此,本文在前期实验的基础上,研究了烧结温度、保温时间、SiC 掺量和尾矿加入量等因素对钽铌尾矿基发泡陶瓷抗压强度的影响,以期更好地为钽铌尾矿资源化、清洁化和高值化利用提供一条切实可行的新途径。

收稿日期: 2023-05-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51104070); 江西省重点研发计划项目(20203BBGL73231)

作者简介: 朱逸(2001—),女,本科生, E-mail: 2510694115@qq.com。

通信作者: 何桂春(1971—),女,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为矿产资源综合利用、矿物加工分选及理论研究, E-mail: heguichun@jxust.edu.cn。

2 实验材料与方案

2.1 实验材料

本实验采用江西宜春某钽铌尾矿作为主要原料、河南郑州的高岭土和钠长石作为辅助原料、碳化硅(SiC)作为发泡剂制备发泡陶瓷。钽铌尾矿、高岭土和钠长石的主要成分如表 1 所示。

表 1 钽铌尾矿、高岭土和钠长石的化学成分 /%
Table 1 Chemical composition of tantalum niobium tailings, kaolin and albite

原料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	其他
钽铌尾矿	71.60	16.45	0.13	0.03	2.20	6.60	0.19	2.80
高岭土	55.70	42.50	0.80	—	—	—	—	1.0
钠长石	70.26	17.80	0.06	0.12	0.87	9.50	—	1.39

2.2 试验设计

为探究原料组成和烧结条件对钽铌尾矿基发泡陶瓷抗压强度的影响,使用单因素分析法在不同钽铌尾矿加入量(质量分数,60%、65%、70%、75%和80%)、SiC 掺量(质量分数,0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、1.0%)、烧结温度(1 110、1 130、1 150、1 170 和 1 200 ℃)和保温时间(20、30、40、50 和 60 min)下制备发泡陶瓷,具体配方如表 2 所示。

2.3 发泡陶瓷的制备

按照表 2 中的配方准确称取钽铌尾矿、高岭土、钠长石和 SiC 于球磨罐中,在三辊四筒棒磨机(XMB)中粉磨 20 min($V_{\text{料}}:V_{\text{球}}:V_{\text{水}}$ 为 1:3:1),球磨完成后将混合样品放入干燥箱(DHG-9623A)中烘干,并过 200 目筛备用。然后将混合干粉倒入方形刚玉舟模具(50 mm×50 mm×25 mm)中振实抹平,置于箱式电阻

表 2 发泡陶瓷的原料组成和烧结条件
Table 2 Chemical composition of raw materials and sintering conditions of foam ceramics

影响因素	原料组成/%				烧结条件	
	钽铌尾矿	高岭土	钠长石	SiC	温度/℃	保温时间/min
SiC掺量	60	28	12	0.1	1 150	40
	60	28	12	0.3	1 150	40
	60	28	12	0.5	1 150	40
	60	28	12	0.7	1 150	40
	60	28	12	1	1 150	40
烧结温度	60	28	12	0.5	1 110	40
	60	28	12	0.5	1 130	40
	60	28	12	0.5	1 150	40
	60	28	12	0.5	1 170	40
	60	28	12	0.5	1 200	40
保温时间	60	28	12	0.5	1 150	20
	60	28	12	0.5	1 150	30
	60	28	12	0.5	1 150	40
	60	28	12	0.5	1 150	50
	60	28	12	0.5	1 150	60
钽铌尾矿加入量	60	28	12	0.5	1 150	40
	65	28	12	0.5	1 150	40
	70	28	12	0.5	1 150	40
	75	28	12	0.5	1 150	40
	80	28	12	0.5	1 150	40

炉(QXR1400-40)中以 9 ℃/min 的速率从室温加热至 900 ℃,随后以 3.7 ℃/min 的速率加热至烧结温度并保温一定时间,最后随炉冷却至室温获得发泡陶瓷烧结试样。其工艺流程如图 1 所示。

2.4 性能测试与表征

烧结样品的抗压强度使用万能试验机(WDW-20,中国)测试,其计算公式如式(1)所示^[10]:

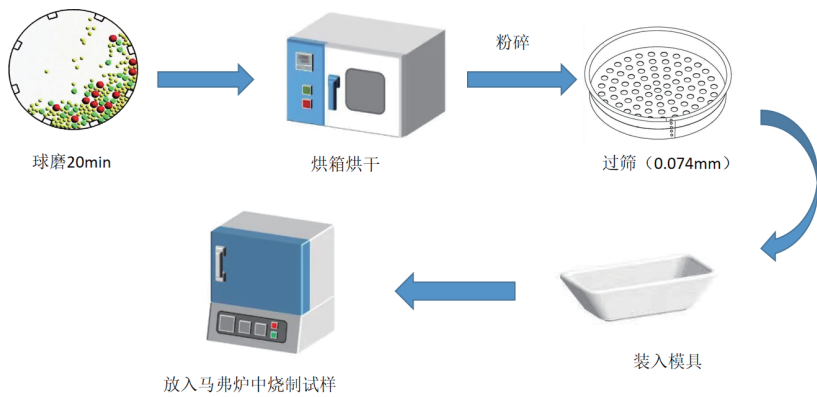


图 1 发泡陶瓷制备工艺流程
Fig. 1 Preparing process of foam ceramics

$$P = \frac{F}{100S} \quad (1)$$

式中: P 为烧结样品的抗压强度, MPa; F 为烧结样品破坏时的压力值, N; S 为烧结样品的受力面积, cm^2 。

根据阿基米德原理, 使用煮沸法测定烧结样品的总孔隙率, 其计算公式如式(2)所示^[15]:

$$P_t = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_t}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: P_t 为烧结样品的总孔隙率, %; ρ 为烧结样品的表观密度, g/cm^3 ; ρ_t 为烧结样品的理论密度, $2.55 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

采用 X 射线衍射仪(XRD, Empyrean, 荷兰)对原料和烧结试样进行物相分析; 烧结试样的微观结构使用扫描电子显微镜(SEM, MLA650F, 美国)观察, 并基于 SEM 图样通过 Nano-measure 软件(版本 1.2.5, 中国)测定其孔径。

3 结果与讨论

3.1 不同制备条件对钽铌尾矿基发泡陶瓷抗压强度的影响

抗压强度是决定发泡陶瓷应用的主要参数之一, 且发泡陶瓷制备工艺参数繁多、成分组成复杂^[4]。因此, 测试了不同保温时间(20~60 min)、烧结温度(1 110~1 200 $^{\circ}\text{C}$)、SiC 掺量(0.1%~1.0%)和尾矿加入量(60%~80%)下发泡陶瓷烧结样品的抗压强度, 结果如图 2 所示。从图 2 可知, 4 种因素均对发泡陶瓷

的抗压强度具有显著影响, 且不同影响因素的影响趋势和强度存在显著差异。由图 2 a 和 b 可知, 随着保温时间延长和烧结温度的升高, 烧结样品的抗压强度分别从 16.01 MPa 下降到 2.08 MPa 和从 16.32 MPa 降低到 2.07 MPa。从图 2 c 可知, 烧结样品的抗压强度随着 SiC 掺量的增大先从 16.31 MPa 降低到 9.07 MPa, 在 0.5% SiC 掺量下获得最小值, 然后从 9.07 MPa 上升到 1% SiC 掺量的 16.04 MPa。此外, 从图 2 d 可知, 当尾矿加入量分别为 60%、65%、70%、75% 和 80% 时, 烧结样品的抗压强度分别为 8.92、9.94、10.36、11.73 和 14.73 MPa, 随着尾矿加入量的增加而增大。

3.2 不同制备条件对钽铌尾矿基发泡陶瓷孔隙率的影响

已有大量的研究证明发泡陶瓷的抗压强度与其孔结构密切相关, 且孔隙率为孔结构的显现形式之一^[19-21]。因此, 4 种影响因素下所制备的发泡陶瓷的总孔隙率被测量, 结果如图 3 所示。从图 3 可知, (1)随着保温时间延长和烧结温度的升高, 发泡陶瓷的总孔隙率分别从 50.98% 上升到 81.96% 和从 60% 上升到 72.94%; (2)随着 SiC 掺量的增大, 发泡陶瓷的总孔隙率先增大后减小, 在 0.5% SiC 掺量下获得最大总孔隙率 72.78%; (3)当尾矿加入量从 60% 提高至 80% 时, 发泡陶瓷的总孔隙率从 70.78% 降低至 34.20%。与抗压强度的测试结果(图 2)对比可知, 4 种影响因素对钽铌尾矿基发泡陶瓷的抗压强度和总孔隙率影响呈现

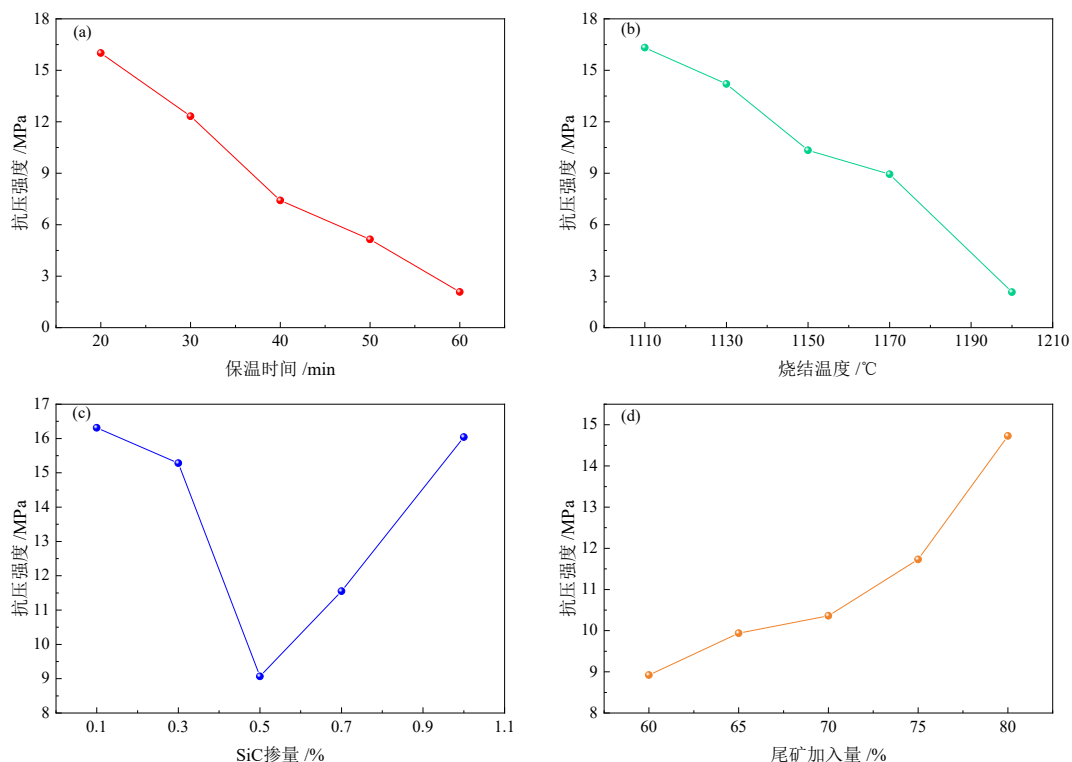


图 2 钽铌尾矿基发泡陶瓷在不同影响因素下的抗压强度(a: 保温时间; b: 烧结温度; c: SiC 掺量; d: 尾矿加入量)
Fig. 2 Compressive strength of tantalum niobium tailings-based foam ceramics at different impact factors

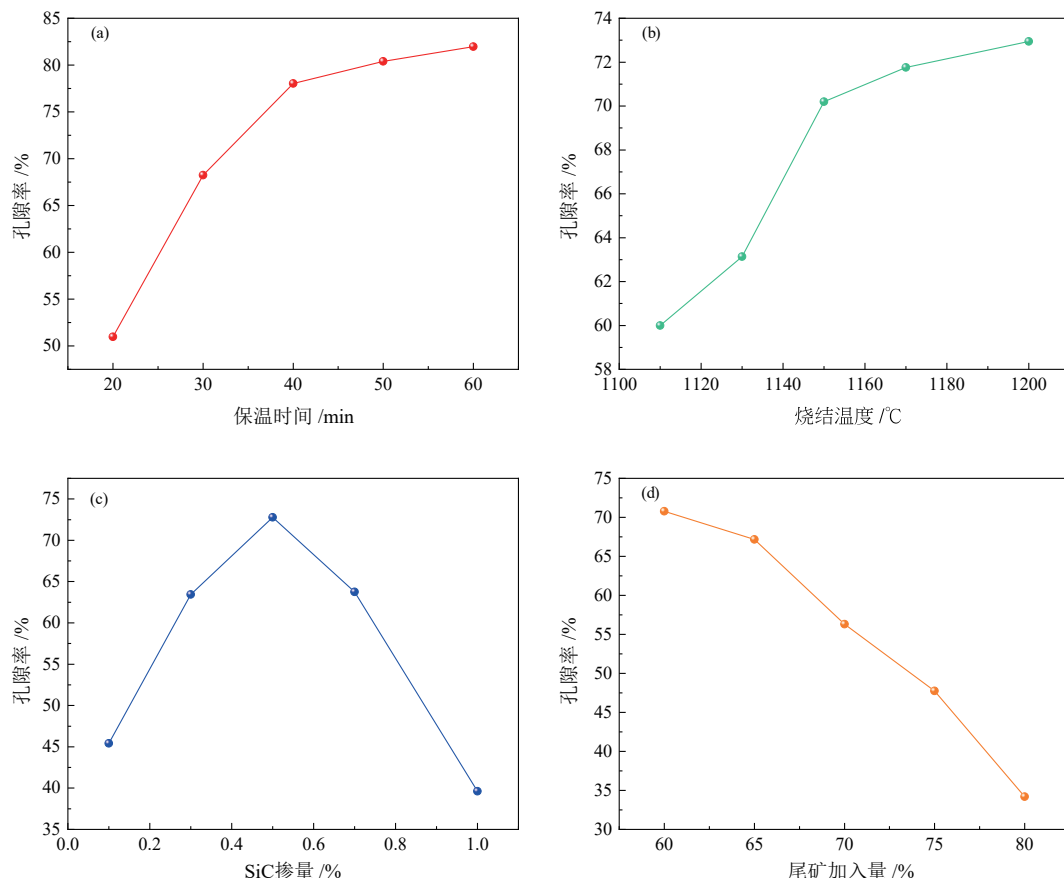


图3 钽铌尾矿基发泡陶瓷在不同影响因素下的孔隙率(a: 保温时间; b: 烧结温度; c: SiC 掺量; d: 尾矿加入量)
Fig. 3 Porosity of tantalum niobium tailings-based foam ceramics at different impact factors

相反的趋势。

为进一步分析发泡陶瓷总孔隙率对其抗压强度的影响,分别计算了4种影响因素变化时样品总孔隙率与抗压强度之间的一元线性回归关系(见图4)。从图4可以观察到:(1)保温时间、烧结温度、SiC 掺量和尾矿加入量变化时,抗压强度与孔隙度关系直线斜率均为负值分别为-0.409、-0.865、-0.192和-0.147,这说明总孔隙率与抗压强度之间存在较强的负相关性($R^2 \geq 0.697$);(2)不同保温时间、烧结温度、SiC 掺

量和尾矿加入量下所制备发泡陶瓷的总孔隙率每增加1个百分点,发泡陶瓷的抗压强度分别下降0.409、0.865、0.192和0.147 MPa。上述结果表明发泡陶瓷的总孔隙率是控制其抗压强度的一个重要因素,且控制强度受发泡陶瓷的烧结条件和原料成分组成显著影响。

3.3 尾矿加入量和 SiC 掺量对钽铌尾矿基发泡陶瓷表面形态的影响

已有研究显示,发泡陶瓷的抗压强度不仅与其孔隙率密切相关,还受其内部孔隙结构的影响^[9]。因此,探究了不同尾矿加入量和 SiC 掺量下烧结样品表面的孔隙结构,结果如图5所示。从图中可以观察到:(1)随着尾矿加入量的增大,样品孔径发生显著性变化,孔壁变厚,且孔壁上存在较致密的小孔;(2)当 SiC 掺量较低时,气孔显现出不规则的形状,气孔数量较多;当掺量较高时,气孔数量较少,形状较为均匀;(3)结合前期的实验中^[18]堆积密度结果可知,尾矿加入量为65%、碳化硅掺量为0.5%时,表观密度较为合适,孔径也较为均匀。其他研究表明,发泡陶瓷单位体积孔壁数量的减少会减弱其抗压强度^[22]。

为进一步了解孔隙结构变化,测试了烧结样品的孔径(见图6)。从图可知,随着钽铌尾矿加入量的增

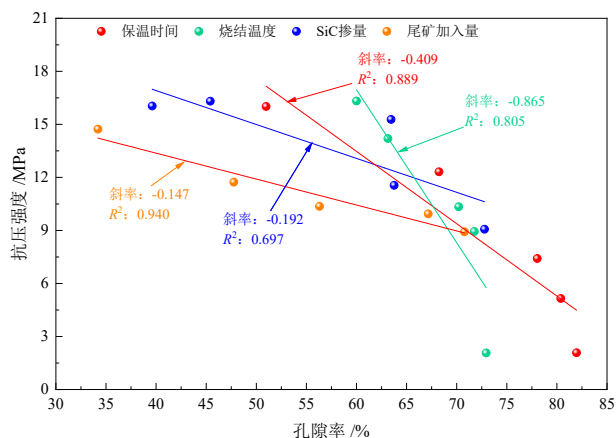


图4 钽铌尾矿基发泡陶瓷抗压强度与总孔隙率的关系
Fig. 4 Relationship between the compressive strength and porosity for tantalum niobium tailings-based foam ceramics

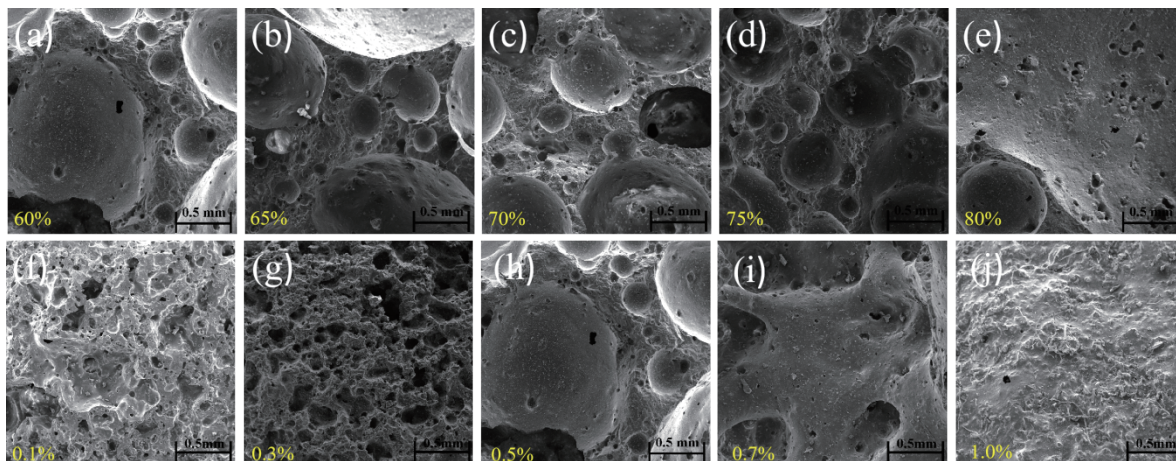


图5 不同尾矿加入量(a~e)(上图)和SiC含量(f~j)下烧结样品的SEM图像(下图)

Fig. 5 SEM image of sintered samples at different tailings addition amount (a ~ e)(the picture above) and SiC contents (f ~ j)(the picture below)

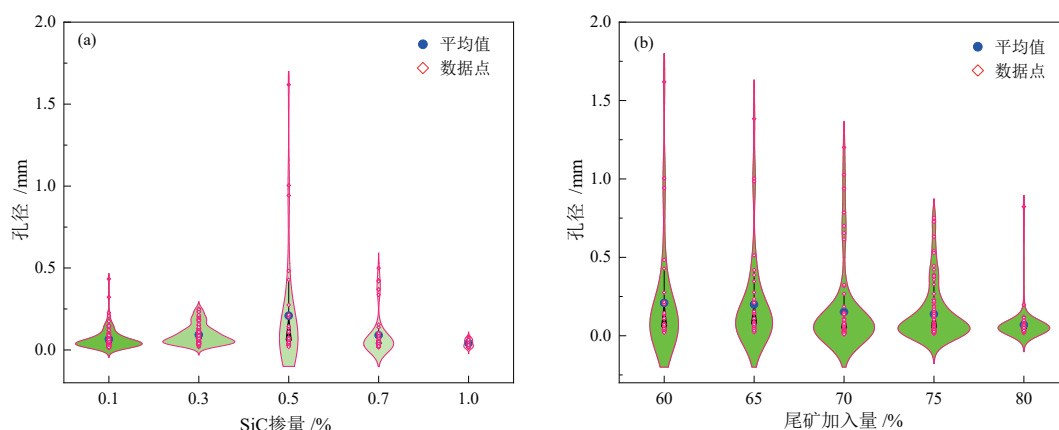


图6 不同SiC掺量(a)和尾矿加入量(b)下发泡陶瓷的孔径

Fig. 6 Poresize and porosity of foam ceramics at various tailings addition amount (b) and SiC (a)

加烧结样品的最大孔径和平均孔径均减小,而随着SiC掺量的增加,烧结样品的孔径先增大后减小。一般而言,烧结样品中孔径大小和数量由高温烧结时内部气泡的大小和数量所决定。产生上述结果的原因可能是:(1)随着钽铌尾矿含量的增加, SiO_2 含量增加,导致内部液相增多、熔体黏度加大,进而抑制气泡长大^[23];(2)随着SiC掺量增加,发泡陶瓷内部气泡数量增多、气泡体积增大^[24];(3)过量的SiC会导致气泡内部的压力增加,进而引起气泡塌陷、融合并形成缺陷孔^[24]。

3.4 尾矿加入量对钽铌尾矿基发泡陶瓷成分组成的影响

发泡陶瓷的原料在烧结过程中会发生化学反应,进而影响烧结样品的抗压强度。因此,选择不同尾矿加入量的影响为代表,对发泡陶瓷的主要原料(钽铌尾矿、高岭土和钠长石)和不同尾矿加入量下烧结样品进行了物相分析(图7)。从主要原料的XRD谱图(图7a~c)可知,钽铌尾矿的主要成分为石英(SiO_2)和钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$),其中钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)的含量较

多(图7a);高岭土中成分主要为莫来石、 SiO_2 和硅线石(图7b);钠长石以 SiO_2 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 、白云石为主,还含有少量的明矾(图7c)。

从烧结样品的XRD图谱中可以观察到,不同尾矿加入量下制备的发泡陶瓷均具有较好的结晶程度,且各尾矿加入量下的X射线衍射曲线的差异性很小,主要物相均由 SiO_2 和 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 及少量钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)组成。结合主要原料的物相(图7a~c)分析可知,发泡陶瓷的原料在烧结过程中莫来石、硅线石、白云石和明矾等矿物消失,同时产生了新物质钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)。钙长石也是作为发泡陶瓷的基本骨架,提高发泡陶瓷的抗压强度。从图中还可以观察到,随着尾矿加入量的不断升高,各试样物相中 SiO_2 的衍射峰的相对强度逐渐增强,但钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)衍射峰的相对强度逐渐减弱,这可能归因于原料中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Na_2O 含量的改变。

4 结论

(1)采用江西宜春某钽铌尾矿作为主要原料、高

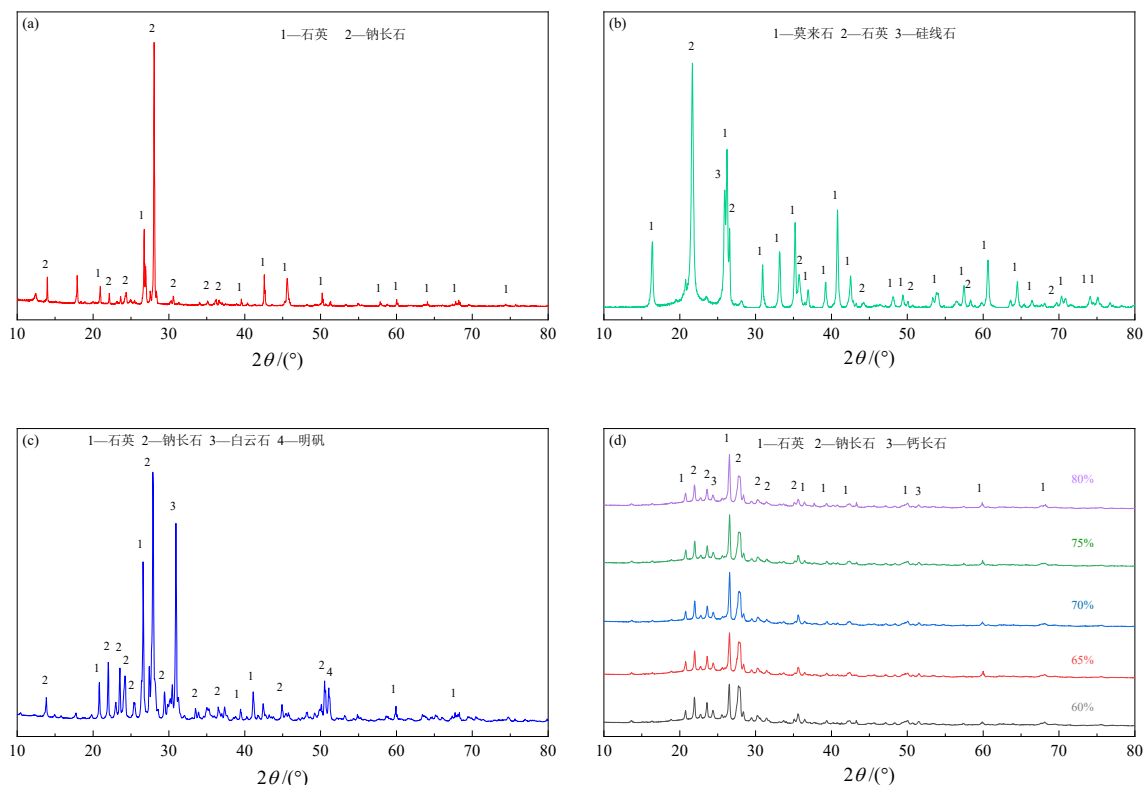


图 7 主要原料(a—钽铌尾矿, b—高岭土, c—钠长石)和不同尾矿加入量下烧结样品(d)的 XRD 图谱

Fig. 7 XRD spectrum of main materials (a. tantalum niobium tailings, b. kaolin, c. albite) and sintered samples (d) in different tailings addition amount

岭土和钠长石作为辅助原料、碳化硅(SiC)作为发泡剂,在烧结温度为 1 150 ℃、保温时间为 40 min、尾矿加入量为 65%、SiC 掺量为 0.5% 条件下,制备的发泡陶瓷抗压强度、孔隙率分别为 9.94 MPa 和 67.16%。

(2) 烧结温度升高和保温时间的延长减弱了钽铌尾矿基发泡陶瓷的抗压强度;钽铌尾矿的加入能有效提升发泡陶瓷的抗压强度;随着 SiC 掺量的上升,钽铌尾矿基发泡陶瓷的抗压强度先下降后上升。

(3) 烧结样品的孔隙结构显示,4 种影响因素对烧结样品总孔隙率的影响和抗压强度的影响呈现相反的趋势,且抗压强度与总孔隙率之间呈现较好的负相关性;随着尾矿加入量和 SiC 掺量的上升,烧结样品的平均孔径分别持续减小和先增大后减小。

(4) 烧结样品 XRD 分析结果显示,发泡陶瓷具有较好的结晶程度,且各尾矿加入量下的 X 射线衍射曲线的差异性很小,主要物相为 SiO_2 和 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$,烧结过程中莫来石、硅线石、白云石和明矾等矿物消失,同时产生了新物相钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)。

参考文献:

- [1] WANG M, XU S. Preparation and applications of foam ceramics; proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, F, 2018[C]. IOP Publishing.
- [2] DONG L, TONG X, LI X, et al. Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for cleaner production in mines[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 210: 1562–1578.
- [3] 李泽华,邢军,孙晓刚,等.利用高炉矿渣和铁尾矿制备开孔发泡

陶瓷的研究[J]. *金属矿山*, 2022(10): 238–244.

LI Z H, XING J, SUN X G, et al. Study on Preparation of open-cell foamed ceramics from blast furnace slag and iron tailings[J]. *Metal Mine*, 2022(10): 238–244.

- [4] LI L, JIANG T, CHEN B, et al. Overall utilization of vanadium–titanium magnetite tailings to prepare lightweight foam ceramics[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, 139: 305–314.
- [5] 江彬轩,李月明,王竹梅,等.利用黄金尾矿废渣制备多孔墙体建材的研究[J]. *中国陶瓷*, 2021, 57(12): 65–71.
JIANG B X, LI Y M, WANG Z M, et al. Preparation of porous wall materials from gold tailings[J]. *China Ceramics*, 2021, 57(12): 65–71.
- [6] ZHU X, SUN N, HUANG Y, et al. Preparation of full tailings-based foam ceramics and auxiliary foaming effect of vanadium-titanium magnetite tailings[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2021, 571: 121063.
- [7] 潘德安,逯海洋,刘晓敏,等.高硅铁尾矿制备轻质闭孔泡沫陶瓷研究[J]. *中国陶瓷*, 2020, 56(3): 51–58.
PAN D A, LU H Y, LIU X M, et al. Study on preparation of lightweight closed-pore foaming ceramics with high silicon iron tailings[J]. *China Ceramics*, 2020, 56(3): 51–58.
- [8] LIU M, YANG X, GUO J, et al. Fabrication of SiC foam ceramics at a low sintering temperature by adding fly ash[J]. *Ceramics International*, 2022, 48(20): 30462–30467.
- [9] HUI T, SUN H, PENG T, et al. Recycling of extracted titanium slag and gold tailings for preparation of self-glazed ceramic foams[J]. *Ceramics International*, 2022, 48(16): 23415–23427.
- [10] HUI T, SUN H J, PENG T J. Preparation and characterization of cordierite-based ceramic foams with permeable property from asbestos tailings and coal fly ash[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2021, 885: 160967.
- [11] 张国涛,邓仕豪,杨景琪.以铜尾矿制备发泡陶瓷墙板的研究[J]. *山东陶瓷*, 2020, 43(1): 3–7.
ZHANG G T, DENG S H, YANG J Q. Study on preparation of foamed ceramic wallboard from copper tailings[J]. *Shandong Ceramics*, 2020,

- 43(1): 3–7.
- [12] 赵威, 张国春, 周春生, 等. 商洛钨尾矿制备泡沫陶瓷的研究[J]. 人工晶体学报, 2017, 46(3): 475–479.
ZHAO W, ZHANG G C, ZHOU C S, et al. Preparation of foaming ceramics with Shangluo molybdenum tailings[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2017, 46(3): 475–479.
- [13] TANG Z, LIANG J, JIANG W, et al. Preparation of high strength foam ceramics from sand shale and steel slag[J]. *Ceramics International*, 2020, 46(7): 9256–9262.
- [14] CHEN Y, WANG N, OLA O, et al. Porous ceramics: Light in weight but heavy in energy and environment technologies[J]. *Materials Science and Engineering: Reports*, 2021, 143: 100589.
- [15] LI X, PAN M, TAO M, et al. Preparation of high closed porosity foamed ceramics from coal gangue waste for thermal insulation applications[J]. *Ceramics International*, 2022, 48(24): 37055–37063.
- [16] 赵威, 韩硕, 陈明堃. 钨尾矿基发泡陶瓷墙材的制备及其性能研究[J]. 商洛学院学报, 2021, 35(6): 1–5+12.
ZHAO W, HUAN S, CHEN M K. A study on preparation and performance of molybdenum tailings-based foamed ceramic wall materials[J]. Journal of Shangluo University, 2021, 35(6): 1–5+12.
- [17] 胡红喜, 张忠汉, 刘超, 等. 内蒙古某钨钼尾矿回收锂云母工艺[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(5): 79–84+136.
HU H X, ZHANG Z H, LIU C, et al. Process for recovering lepidolite from tantalum-niobium tailings in inner mongolia[J]. *Nonferrous Metals(Mineral Processing Section)*, 2022(5): 79–84+136.
- [18] 汪劲刚, 何桂春, 肖志, 等. 钨钼尾矿制备发泡陶瓷研究[J]. 有色金属科学与工程: 1–12[2023-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/36.1311.tf.20221209.1657.004.html>.
WANG J G, HE G C, XIAO Z, et al. Preparation of foamed ceramics from tantalum niobium tailings[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*: 1–12[2023-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/36.1311.tf.20221209.1657.004.html>.
- [19] 熊惠明, 鲜雯, 邓威, 等. 锂渣基发泡陶瓷的制备及其性能研究[J]. 非金属矿, 2023, 46(1): 99–102+6.
XIONG H M, XIAN W, DENG W, et al. Preparation of lithium slag based foamed ceramics and high temperature phase transformation[J]. *Non-Metallic Mines*, 2023, 46(1): 99–102+6.
- [20] 赵绘婷, 董龙浩, 谢梅竹, 等. 以煤矸石制备发泡陶瓷的研究[J]. 中国陶瓷工业, 2022, 29(3): 26–30.
ZHAO H T, DONG L H, XIE M Z, et al. Study on preparation of foamed ceramics from coal gangue[J]. *China Ceramic Industry*, 2022, 29(3): 26–30.
- [21] 潘红, 王瑾, 高子栋, 等. 发泡陶瓷多孔保温材料制备及性能影响研究[J]. 广东建材, 2022, 38(3): 1–5.
PAN H, WANG J, GAO Z D, et al. A study on preparation and properties influence of porous foamed ceramic[J]. *Guangdong Building Materials*, 2022, 38(3): 1–5.
- [22] 朱建平, 乐红志, 白荣, 等. 利用黄金尾矿制备发泡陶瓷的研究[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40(9): 2989–2997.
ZHU J P, YUE H Z, BAI R, et al. Research on preparation of foamed ceramics from gold tailings[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2021, 40(9): 2989–2997.
- [23] LI L, JIANG T, ZHOU M, et al. The influence of temperature and SiC content on the recycling of iron ore tailings for the preparation of value-added foam ceramics[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2021, 23: 330–340.
- [24] XIA F, CUI S, PU X. Performance study of foam ceramics prepared by direct foaming method using red mud and K-feldspar washed waste[J]. *Ceramics International*, 2022, 48(4): 5197–5203.

Preparation of Foamed Ceramics Materials with Tantalum-niobium Tailings

ZHU Yi^{1,2,3}, HE Guichun^{1,2,3}, JIANG Zhangsong^{1,2,3}, DUAN Yilong^{1,2,3}, WANG Jingang^{1,2,3}, JIANG Yinmei^{1,2,3}, LIN Yue^{1,2,3}

1. College of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Mining Engineering, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

3. Key Laboratory of Green Development and Utilization of Strategic Rare Metal Mineral Resources, Ganzhou 341000, Jiangxi, China

Abstract: The preparation of foamed ceramics from tailings is one of the high value utilization ways. Unfortunately, the influences of sintering parameters and raw composition on the compressive strength of tantalum-niobium tailings-based foamed ceramics are still obscure. In this paper, tantalum-niobium tailings-based foamed ceramics were prepared by direct foaming method with tantalum-niobium tailings as the main raw material, kaolin(28%) and albite(12%) as auxiliary materials, and silicon carbide (SiC) as the foaming agent. The influence of sintering temperature, holding time, SiC content and tailings addition amount on the compressive strength of the foamed ceramics were investigated. The results showed that with increasing holding time and sintering temperature, the compressive strength of foamed ceramics decreases. Furthermore, the compressive strength of tantalum-niobium tailings-based foamed ceramics with the increase of SiC content, first decreased and then increased. Further analysis of the influencing mechanism indicated that the change of pore structure was the main factor leading to the change of compressive strength. The compressive strength and porosity of the foamed ceramic prepared under the conditions of sintering temperature of 1 150 °C, holding time of 40 min, tailings addition amount of 65%, and SiC content of 0.5% are 9.94 MPa and 67.16% respectively. This paper provides a theoretical basis for the preparation of high-strength foamed ceramics from tantalum-niobium tailings.

Keywords: tantalum niobium tailings; foam ceramics; compressive strength

引用格式: 朱逸, 何桂春, 江长松, 段奕龙, 汪劲刚, 江银美, 林悦. 钨钼尾矿制备发泡陶瓷材料的研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(6): 54–60.

ZHU Yi, HE Guichun, JIANG Zhangsong, DUAN Yilong, WANG Jingang, JIANG Yinmei, LIN Yue. Preparation of foamed ceramics materials with tantalum-niobium tailings[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2023, 43(6): 54–60.