

矿物材料

高硫铜尾矿制备多孔陶瓷材料及其孔结构性能研究

李伟光¹, 林荣琪², 宋厚彬², 李勇¹, 杨浩², 张艳平², 徐海波²

1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 大兴 102628;
2. 黑龙江紫金铜业有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161041

中图分类号: TD926.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)02-0091-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.02.013

摘要 以高硫铜尾矿为主要原料制备多孔保温陶瓷材料。首先对尾矿进行浮选和磁选脱硫, 将尾矿中的总硫含量从 6.40% 降低至 0.69%, 然后通过条件实验研究了原料配比、粉磨时间、发泡剂用量对多孔陶瓷材料表观密度和抗压强度的影响。当脱硫铜尾矿用量为 60%、钾长石用量为 20%、钠长石用量为 15%、硅微粉用量为 5%、发泡剂 SiC 用量为 0.3%、粉磨时间为 40 min 时, 多孔陶瓷性能最佳, 表观密度为 412 kg/m³, 抗压强度为 2.94 MPa, 采用工业 CT 对多孔陶瓷材料的孔结构进行分析, 多孔陶瓷的总孔隙率为 56.93%, 其中闭合孔隙率高达 56.51%, 平均喉道长度为 1 357.1 μm, 有较高的封闭性, 为多孔陶瓷提供了优良的保温隔热性能。

关键词 高硫铜尾矿; 多孔陶瓷; 工业 CT; 孔结构

引言

我国是全球最大的铜资源消费国, 由于我国大多数铜矿石品位较低, 导致铜尾矿产生量巨大, 在铜矿选矿过程中原矿的 90% 以上会成为铜尾矿, 全国每年新排放的铜尾矿高达 3 亿 t^[1-2]。铜尾矿中仍含有部分有价资源和可用于建筑、陶瓷、玻璃行业的多种硅酸盐组分, 尾矿堆存造成资源浪费, 并带来严重的环境和安全问题, 亟需开发尾矿制备高附加值材料技术, 解决铜尾矿堆存及资源浪费问题^[3]。

现有大量建筑采用可燃甚至是易燃的有机保温材料如聚苯板 (EPS)、挤塑板 (XPS) 和聚氨酯 (PU) 等, 其最大的缺陷是易燃烧、防火安全性差、易老化, 具有巨大的安全隐患。多孔陶瓷材料是具有良好的保温性、耐磨性和耐腐蚀性能的新型保温隔热材料, 制备方法主要有高温熔融发泡法和免烧直接发泡法两种, 其中熔融发泡法制备的多孔陶瓷材料具有更优良的性能^[4]。采用熔融发泡法制备多孔陶瓷材料的原料主要包括石英、长石、白云石和高温发泡剂等, 根据原料不同, 多孔陶瓷材料的组成成分设计范围为: SiO₂: 50~70%、Al₂O₃>10%、碱金属氧化物: 8~24% 等^[5]。Liu 等^[6]将铅锌尾矿和粉煤灰作为主要原料, 以 SiC 为发

泡剂, 直接烧结制备出了多孔陶瓷材料, 添加 60% 粉煤灰可以制备出体积密度为 0.93 g/cm³、气孔率为 65.5% 的多孔陶瓷材料; 赵威等^[7]以钼尾矿为主要原料, 钾钠长石粉、黏土等为辅助原料, 制备了轻质保温多孔陶瓷材料, 当钼尾矿掺量为 40%、SiC 掺量为 0.4% 时, 制备出的多孔陶瓷材料体积密度为 0.67 g/cm³、吸水率 8.7%、导热系数 0.13 W/(m·K), 而铜尾矿中含有大量的硅酸盐矿物, 此外还含有 CaO、Na₂O 和 K₂O 等低熔点成分, 与多孔保温陶瓷原材料的化学组成相似, 具有作为多孔陶瓷原料的基础^[8], 但部分硫化铜尾矿中的 S 在高温烧成过程中会产生 SO₂ 气体, 不仅会干扰高温过程中多孔陶瓷均匀气孔的生成, 造成大面积连通孔产生, 还会增加烟气处置成本^[9], 因此采用高硫铜尾矿制备多孔陶瓷材料首先需考虑 S 组分的脱除。

以铜尾矿作为主要原料制备多孔陶瓷材料, 一方面可以充分利用铜尾矿中的硅酸盐矿物成分, 实现高附加值利用; 另一方面可以减少尾矿的堆存, 环境效益和社会效益巨大^[10-11]。本文首先通过浮选和磁选对高硫尾矿进行脱硫预处理, 实现尾矿-矿物-原料的过渡, 进而添加硅微粉、钾长石、钠长石、发泡剂等原料, 通过开展物料配比、粉磨时间、发泡剂用量实验, 制备出了高性能多孔陶瓷材料。通过工业 CT 对多孔陶

收稿日期: 2024-01-30

基金项目: 矿冶科技集团有限公司青年科技创新基金 (04-2238)

作者简介: 李伟光 (1992—), 男, 北京人, 博士研究生, 主要研究方向为矿冶固废资源化利用研究, E-mail: liweiguang@bgrimm.com。

通信作者: 林荣琪 (1985—), 男, 福建人, 高级工程师, 主要研究方向为冶金工程, E-mail: linrongqi1@126.com。

瓷材料进行扫描,形成其内部孔隙结构模型,并进行二维和三维孔隙特征分析,明晰多孔陶瓷的孔隙特征和保温原理,为高硫铜尾矿的高值化利用提供了一条新的路径。

1 实验

1.1 实验原料

实验用高硫铜尾矿来自安徽省铜陵市某铜矿,样品为灰黑色粉末状固体,辅助原料选用铜矿周边购买的硅微粉、钾长石、钠长石和发泡剂 SiC,原料的 X 射线荧光光谱分析结果见表 1,对尾矿中硫的赋存状态和嵌布特征进行分析,结果见图 1。

表 1 主要原料的 X 射线荧光光谱分析

/%

Table 1 X-ray fluorescence spectrum analysis of copper tailings

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Loss
铜尾矿	34.30	6.33	21.06	5.84	0.96	0.57	18.21	11.61	0.84
钾长石	77.50	11.98	0.61	1.52	0.36	7.15	0.32	0.02	0.45
钠长石	71.28	11.56	2.03	0.47	3.58	9	0.22	0.01	0.36
硅微粉	98.85	—	—	—	—	—	—	—	—

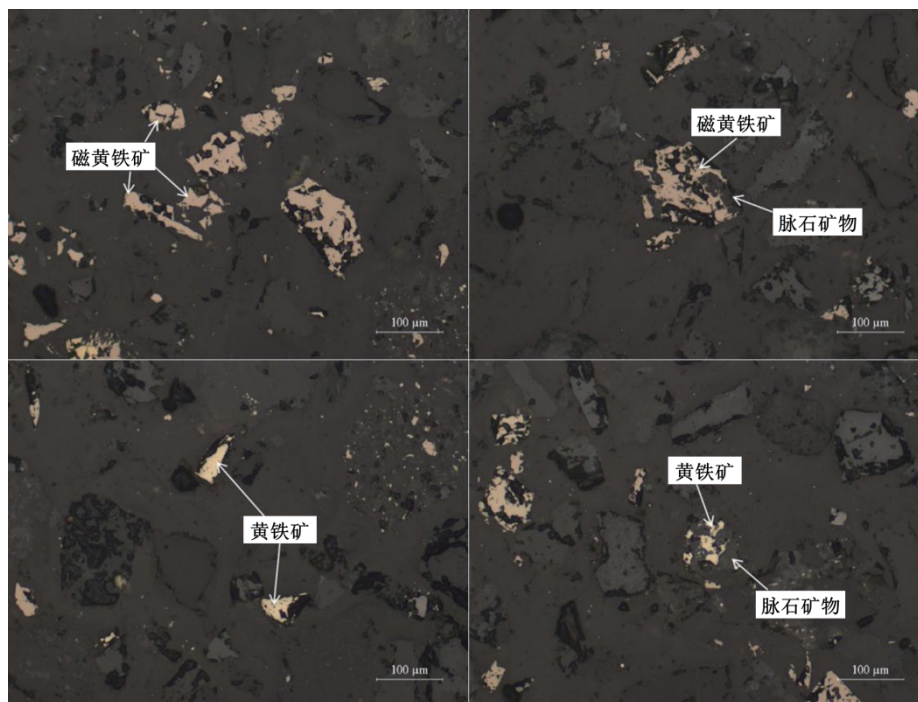


图 1 铜尾矿中硫的赋存状态

Fig. 1 Occurrence state of sulfur in copper tailings

1.2 实验方法

多孔保温陶瓷材料的制备流程见图 2。首先将铜尾矿进行浮选—磁选结合的方式进行脱硫预处理,脱硫铜尾矿中含有大量的硅、铝组分,基本满足制备多孔保温陶瓷材料的含量要求,但是尾矿中碱金属氧化

分析结果表明,铜尾矿中的 SO₃ 含量高达 11.61%,采用偏光显微镜对尾矿中硫的赋存状态进行分析,分析结果见图 1。尾矿中的硫大部分以磁黄铁矿的形式存在,少量硫赋存在黄铁矿和硬石膏中,微量硫赋存在黄铜矿中;磁黄铁矿大部分以单体(约为 90% 以上)形式存在,少量与脉石矿物连生(约 5% 左右)产出;黄铁矿大部分以单体(约为 90% 左右)形式存在,少量与脉石矿物连生(约 10% 左右)共存。整体来看,铜尾矿硅铝元素含量适中,大量的 Ca、Mg 元素非常适宜作为烧制多孔陶瓷材料的主要原料,但其中的磁黄铁矿和黄铁矿等高硫矿物又会对多孔材料的烧成产生不利的影响,应首先采用浮选和磁选手段对其进行脱除预处理。

物含量无法满足制备多孔保温陶瓷材料的含量要求,需要添加额外的辅助材料。发泡剂选用 SiC,发泡机理为在高温烧制过程中发泡剂 SiC 颗粒被高温液相完全包裹,分解生产大量 CO₂ 气体形成初始气泡形核,随着反应速率逐渐加快,气泡内压力逐渐增加,致使气泡长大、上浮,从而形成均匀稳定的孔隙结构^[12]。

将脱硫铜尾矿、钾长石、钠长石、硅微粉、发泡剂 SiC 按比例加入到湿法粉磨球磨机中, 脱硫尾矿和硅微粉可为多孔陶瓷材料提供硅铝质组分, 起到骨架支撑增加强度的作用, 同时钠长石及钾长石可为多孔陶瓷体系提供大量钾、钠组分作为熔剂, 降低多孔陶

瓷材料烧成体系的共熔点, 促进体系的半熔融软化发泡, 球磨后进行压滤、烘干、打散, 随后放入马弗炉中进行烧成, 烧成后检测多孔保温陶瓷材料的抗压强度和表观密度, 随后采用工业 CT 对最优条件下制备的多孔陶瓷内部孔隙结构进行表征。

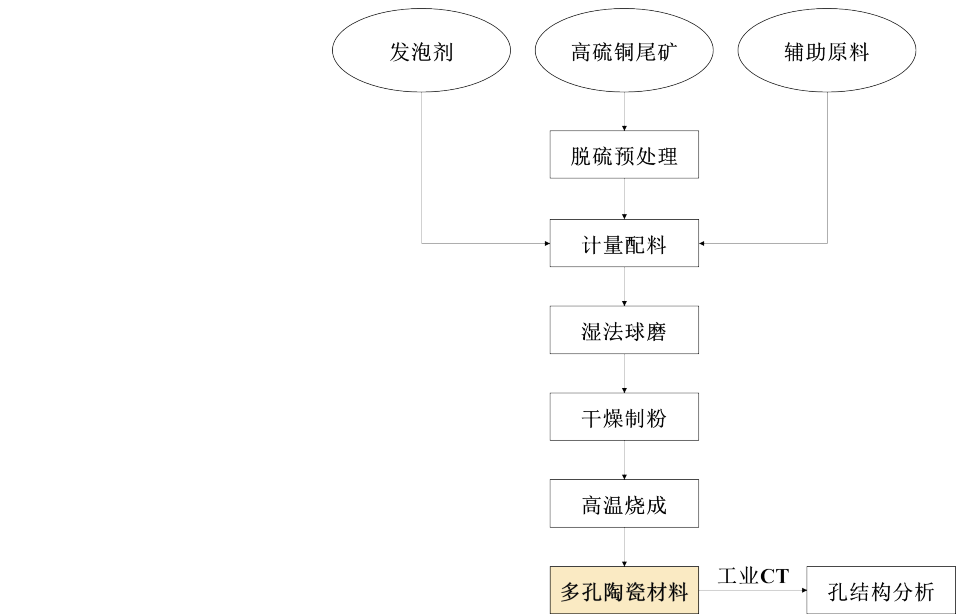


图 2 实验流程
Fig. 2 Test flow chart

2 实验结果及分析探讨

2.1 预处理脱硫实验

2.1.1 浮选脱硫实验

采用浮选手段, 对高硫铜尾矿中的硫进行脱除。设计活化剂草酸+调整剂硫酸铜、活化剂硫化钠+调整剂硫酸铜、活化剂硫酸+调整剂硫代硫酸钠和水玻璃三种尾矿浮选脱硫方案, 捕收剂均采用戊基黄药, 实验流程及药剂制度见图 3, 实验结果见表 2。对比三种实验方案结果, 发现采用活化剂草酸+调整剂硫酸铜的流程脱硫效果最优, 经过两次粗选两次扫选, 尾矿硫含量可降低至 1.15%, 尾矿产率为 71.52%, 粗精矿硫品位为 22.59%, 硫回收率为 81.22%, 经进一步检测, 粗精矿硫铁含量总计大于 60%, 可作为硫铁精矿直接出售。

2.1.2 磁选脱硫实验

采用磁选手段, 进一步对草酸+硫酸铜体系下浮选尾矿中的硫进行脱除。采用 SLon 高梯度磁选机, 给矿质量浓度为 20%, 实验结果见图 4。实验结果表明, 通过磁选可进一步降低尾矿的硫含量, 当磁感应强度为 0.4 T 时, 磁选后尾矿中的硫含量可降低至

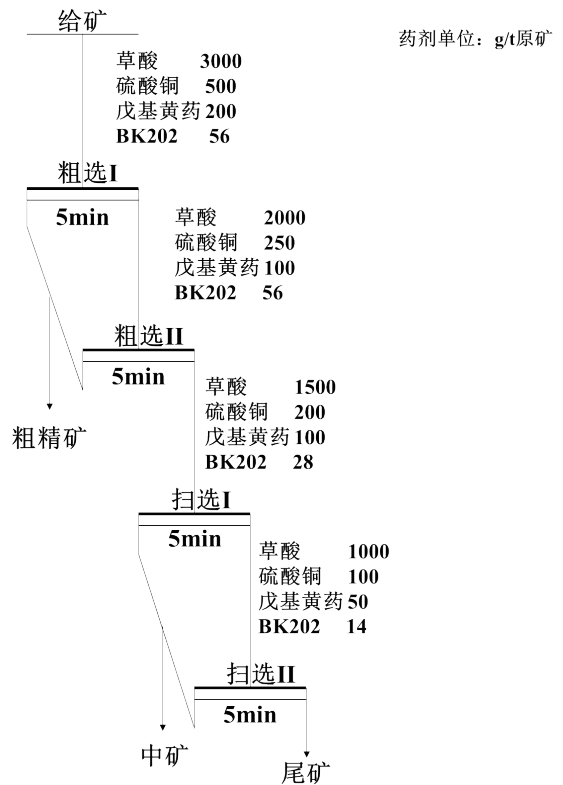


图 3 浮选脱硫实验流程
Fig. 3 Test flow of flotation desulfurization

表 2 浮选脱硫实验结果
Table 2 Test results of flotation desulfurization

实验方案	产品名称	产率	硫品位	硫回收率
方案1 草酸+硫酸铜	粗精矿	23.01	22.59	81.22
	中矿	5.47	6.92	5.91
	尾矿	71.52	1.15	12.85
	给矿	100.00	6.40	100.00
方案2 硫化钠+硫酸铜	粗精矿	22.14	22.39	77.46
	中矿	6.63	6.82	7.07
	尾矿	71.23	1.39	15.47
	给矿	100.00	6.40	100.00
方案3 硫酸+硫代硫酸钠+ 水玻璃	粗精矿	19.82	24.37	75.47
	中矿	2.44	10.56	4.03
	尾矿	77.74	1.69	20.53
	给矿	100.00	6.40	100.00

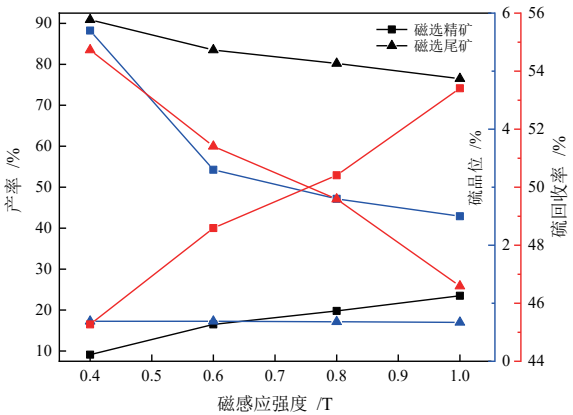


图 4 磁选脱硫实验结果
Fig. 4 Test results of magnetic separation desulfurization

0.69%, 硫回收率为 54.73%, 改变磁选场强时, 尾矿中硫含量差别不大。

2.2 多孔陶瓷制备实验

2.2.1 原料配比实验

发泡陶瓷坯料的主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 , 高温助熔成分(主要为 Na_2O 和 K_2O), 低温助熔成分(主要为 MgO 和 CaO)以及发泡剂^[13]。脱硫后尾矿的主要化学成分与发泡陶瓷的化学成分组成相似, 通过添加钾长石、硅微粉以及发泡剂等辅料, 通过对工艺条件的控制, 发泡陶瓷的烧制在理论上可行。烧制发泡陶瓷时, 需要根据坯料的化学成分组成找出可以满足发泡剂产气速率与坯料液相黏度和表面张力相契合的最佳烧成制度, 因此配方的设计需要遵循一定的化学成分组成规则。相关文献表明^[14], 发泡陶瓷适宜的化学成分组成见表 3, 烧成温度为 1 180 ℃, 保温时间 90 min, 升温速率为 10 ℃/min。

按照发泡陶瓷的配方设计及烧成制度的范围, 进

表 3 发泡陶瓷的适宜化学成分组成
Table 3 Suitable chemical composition of foamed ceramics

SiO_2	Al_2O_3	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO} + \text{MgO}$
50~70	>10	3~8	大于 1.5

行脱硫尾矿发泡陶瓷烧成原料配比实验, 实验配比及实验结果见表 4, SiC 用量为外掺 0.1%, 原料粉磨时间为 20 min。

表 4 原料配比实验结果
Table 4 Test Results of Raw Material Proportion

组号	脱硫尾矿 / %	钾长石 / %	钠长石 / %	硅微粉 / %	表观密度 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	抗压强度 / MPa
1	80	5	10	5	684	3.14
2	70	10	10	5	636	3.22
3	70	15	15	5	614	2.95
4	60	20	15	5	542	3.93
5	50	20	20	10	545	3.91

由实验结果可知, 降低尾矿用量、增加长石用量有利于降低多孔陶瓷的表观密度和抗压强度; 硅微粉的变化对多孔陶瓷的抗压强度和表观密度的影响较小。当脱硫尾矿用量为 60%、钾长石用量为 20%、钠长石用量为 15%、硅微粉用量为 5% 时, 多孔陶瓷的性能最优, 表观密度为 542 kg/m^3 , 抗压强度为 3.93 MPa。

2.2.2 粉磨时间实验

原料的粉磨细度与多孔陶瓷的性能密切相关, 按上述最优配方对原料分别粉磨 20 min、40 min、60 min、80 min 及 100 min, 采用马尔文粒度分析仪对不同粉磨时间的原料进行粒度分析, 其 D_{90} 分别为 61.84 μm 、50.44 μm 、38.12 μm 、36.18 μm 、32.11 μm , 实验结果见图 5。由实验结果可知, 随着粉磨时间由 20 min 增加到 80 min, 多孔陶瓷的表观密度和抗压强度均逐渐降低, 当粉磨时间为 40 min 时, 多孔陶瓷的表观密度为 501 kg/m^3 , 抗压强度为 3.56 MPa, 继续增加粉磨时间, 多孔陶瓷的表观密度和抗压强度下降幅度变小, 抗压强度降低至 3.3 MPa 以下; 当粉磨时间为 100 min 时, 多孔陶瓷的表观密度和抗压强度均略有升高, 说明当粉磨时间达到 80 min 以后, 粉磨时间对多孔陶瓷的性能影响较小, 因此从兼顾多孔陶瓷表观密度和抗压强度的角度来看最优粉磨时间为 40 min。

2.2.3 发泡剂用量实验

按上述最优配方在粉磨时间为 40 min 时, 考察发泡剂用量对多孔陶瓷性能的影响, 实验结果见图 6。由实验结果可知, 随着发泡剂掺入量的增加多孔陶瓷的表观密度和抗压强度均降低。当发泡剂用量在 0.3% 时, 多孔陶瓷的表观密度为 412 kg/m^3 , 抗压强度

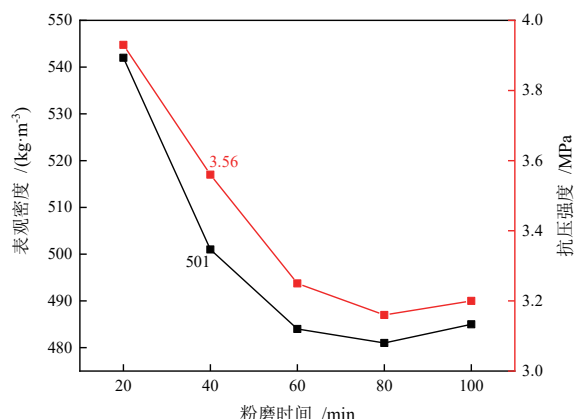


图5 粉磨时间实验结果

Fig. 5 Test results of grinding time

为2.94 MPa,随着发泡剂产量的增加,多孔陶瓷的表观密度快速降低,抗压强度也降低至2 MPa以下。因此从兼顾多孔陶瓷表观密度和抗压强度的角度来看,掺入0.3%的SiC发泡剂较为合适。

通过条件实验,最终确定多孔陶瓷的最优配方为脱硫尾矿60%、钾长石20%、钠长石15%、硅微粉5%、发泡剂用量为0.3%,粉磨时间为40 min,在1180℃烧成,保温时间90 min,制备的多孔陶瓷材料表观密度为412 kg/m³,抗压强度为2.94 MPa。

2.3 多孔陶瓷样品孔结构分析

从最优配方及工艺参数下制备的多孔陶瓷材料上截取10 mm×10 mm×10 mm的正方体形样品,将样

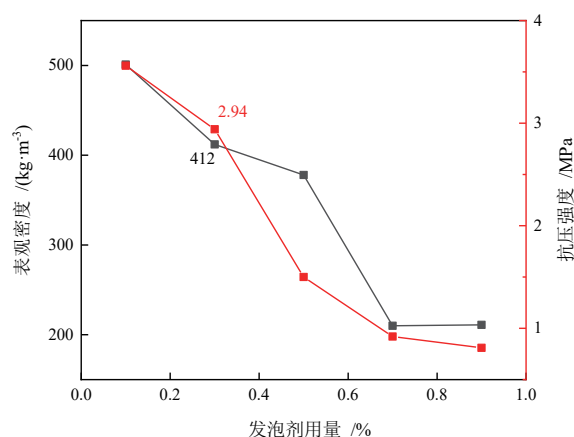


图6 发泡剂用量实验结果

Fig. 6 Test results of foaming agent dosage

品使用nanoVoxel-4000系列的平板探测器模式进行数据采集,基于CT数据结果,定量分析样品内部孔隙的连通和闭合情况,并统计各部分占比。同时,对局部数据进行数字岩心分析,得到孔喉网络模型,并进行孔、喉结构特征的分析。

2.3.1 多孔陶瓷材料样品的二维、三维图像结果

从图7中可以看出,多孔陶瓷材料从X、Y、Z方向二维的面扫结果可以看出,样品的状态完好,每个方向的黑色孔隙分布较广,展现出了良好的孔隙结构。如图8所示,样品的三维效果图状态完好,清晰地展现出样品各个面上的孔隙分布。

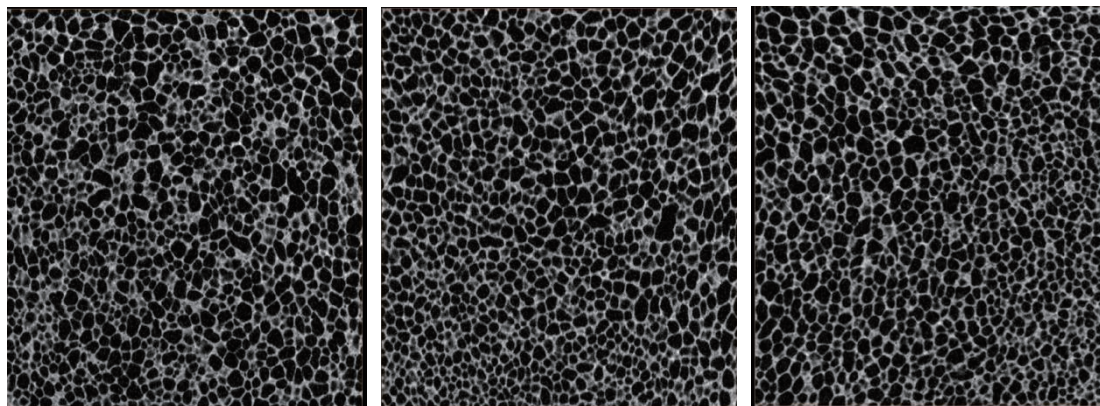


图7 多孔陶瓷材料X、Y、Z方向的切片

Fig. 7 Slices of porous ceramic materials in X, Y and Z directions

2.3.2 多孔陶瓷材料的孔隙连通孔与闭合孔分析

如图9所示,蓝色代表多孔陶瓷材料的所有孔隙分布情况,通过阈值分割对多孔材料的孔隙进行孔隙率统计,其占总样品体积的百分比为56.93%,这说明该多孔陶瓷材料具有优良的空隙结构。

对所提取出的孔隙结构进行连通性能判断,可分出连通孔隙(红色)和闭合孔隙(黄色),占总样品的体积百分比分别为56.51%和0.42%,由此可以得到该样

品的空隙大部分为封闭孔隙,可使该材料具有优良的保温性能,其孔隙三维分布图如图10所示。

2.3.3 孔隙网络模型模拟

利用球棒模型建立了孔喉网络模型,分别统计了孔隙半径、体积、形状因子、连通性(配位数)及每个与其连通的吼道特征(吼道长度、形状因子)等表征参数,球棍模型如图11所示,多孔陶瓷材料的孔隙结构数据统计如表5所示。

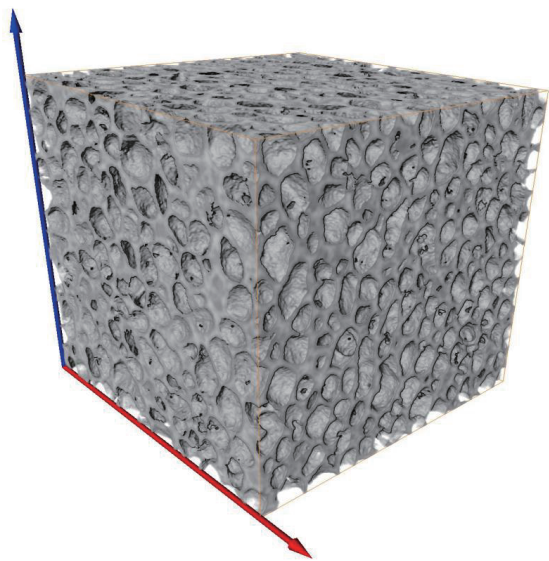


图 8 多孔陶瓷材料三维效果
Fig. 8 Three-dimensional renderings of porous ceramic materials

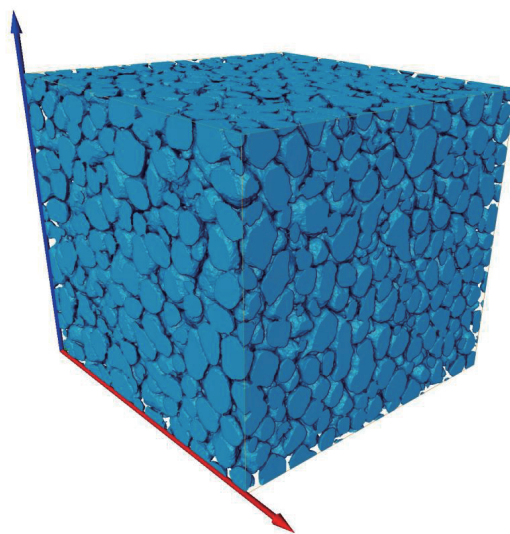


图 9 多孔陶瓷三维孔隙分布
Fig. 9 Three-dimensional pore distribution of porous ceramics

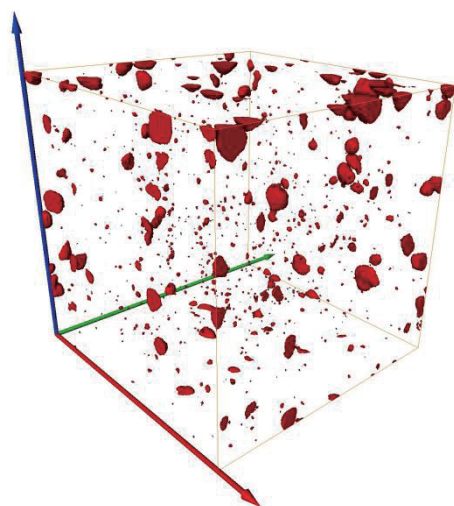


图 10 多孔陶瓷连通/闭合孔隙分布
Fig. 10 connected/closed pore distribution of porous ceramics

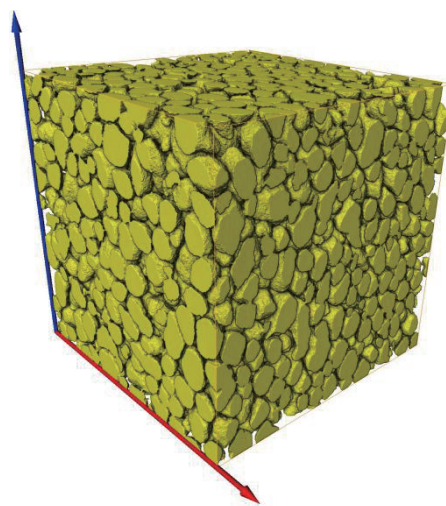


图 11 多孔陶瓷孔隙结构的球棍模型
Fig. 11 Ball-stick model diagram of porous ceramic pore structure

表 5 多孔陶瓷孔隙分布数据表

Table 5 Pore Distribution Data Sheet of Porous Ceramics

项目	总孔隙率/%	连通孔隙率/%	闭合孔隙率/%	最大孔隙半径/ μm	平均孔隙半径/ μm	最大喉道半径/ μm
数值	56.93	0.42	56.51	2 074.4	490.8	438.3
项目	平均喉道半径/ μm	最大喉道长度/ μm	平均喉道长度/ μm	平均喉道体积/ μm^3	最大配位数	平均配位数
数值	98.8	3 380.8	1 357.1	5.51×10^7	15	2.98

从图 11 和表 5 中可以看出, 多孔陶瓷具有良好孔隙结构, 总孔隙率为 56.93%, 其中闭合孔隙率高达 56.51%, 平均喉道长度为 1 357.1 μm , 有较高的封闭性; 最大配位数为 15, 平均配位数为 2.98, 喉道和孔隙配位情况较好, 说明该多孔陶瓷材料具有良好的封闭孔隙结构, 具有优良保温隔热性能。

3 结论

(1)采用浮选和磁选结合的手段,可以有效较低高硫铜尾矿中的硫含量。以草酸为活化剂、硫酸铜为调整剂、戊基黄药为捕收剂,通过两次粗选、两次扫选可将高硫尾矿中的硫含量由6.4%降低至1.15%;将浮选尾矿在0.4 T的磁感应强度下进行磁选,可进一步将尾矿中的硫含量由1.15%降低至0.69%。

(2)以脱硫后的尾矿为主要原料可制备出表观密度为412 kg/m³、抗压强度为2.94 MPa的多孔陶瓷材料;最优配方为脱硫尾矿50%,钾长石20%,钠长石15%,硅微粉5%,发泡剂用量为0.3%;最佳制备工艺为粉磨时间40 min,烧成温度1 160 ℃,保温时间90 min;多孔陶瓷的总孔隙率为56.93%,其中闭合孔隙率高达56.51%,平均喉道长度为1 357.1 μm,有较高的封闭性,可为多孔陶瓷提供优良的保温隔热性能。

参考文献:

- [1] 郭万进,吴明海,王阳,等.我国铜矿尾矿资源化利用技术现状及进展[J].矿产综合利用,2023(5):127-134.
GUO W J, WU M H, WANG Y, et al. Present situation and progress of copper mine tailings resource utilization technology in China[J]. Comprehensive utilization of minerals, 2023(5): 127-134.
- [2] 袁鹏.安徽某地铜尾矿资源的综合利用研究[J].矿业工程,2023,21(2):61-65.
YUAN P. Study on Comprehensive Utilization of Copper Tailings in Anhui Province[J]. Mining Engineering, 2023, 21(2): 61-65.
- [3] 施麟芸,匡敬忠,刘松柏,等.铜尾矿建材化应用研究现状及矿物组成影响作用规律[J].硅酸盐通报,2022,41(10):3511-3524.
SHI L Y, KUANG J Z, LIU S B, et al. Research status of copper tailings as building materials and the influence of mineral composition[J]. Silicate Bulletin, 2022, 41(10): 3511-3524.
- [4] 赵庆朝,李伟光,李勇,等.斑岩型铜尾矿制备连通孔陶瓷透水材料的试验研究[J].矿产保护与利用,2022,42(2):152-156.
ZHAO Q C, LI W G, LI Y, et al. Experimental study on preparation of porous ceramic materials from porphyry copper tailings[J]. Conservation and Utilization of Mineral resources, 2022, 42(2): 152-156.
- [5] ZHANG S Q, WANG H Y, LI K Q, et al. Effect of Gold Tailing Addition on the Mechanical Properties and Microstructure of Foam Ceramics[J]. Processes, 2023, 11(3): 844-844.
- [6] LIU T, TANG Y, HAN L, et al. Recycling of harmful waste lead-zinc mine tailings and fly ash for preparation of inorganic porous ceramics[J]. Ceramics International, 2016, 43(6): 4910-4918.
- [7] 赵威,韩硕,陈明堃.铜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, HAN 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.
- [8] 关昀鹤,郑丽君,罗旭东,等.铁尾矿制备碳化硅多孔陶瓷材料及其性能研究[J/OL].耐火材料:1-7[2024-03-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1136.TF.20240103.1719.002.html>.
GUAN Y H, ZHENG L J, LUO X D, et al. Preparation of porous silicon carbide ceramics from iron tailings and its properties [J/OL]. Refractory materials: 1-7[2024-03-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1136.TF.20240103.1719.002.html>.
- [9] 杨洁.川西锂辉石浮选尾矿制备陶瓷材料及其性能研究[D].绵阳:西南科技大学,2022.
YANG J. Preparation and properties of ceramic materials from spodumene flotation tailings in western Sichuan [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2022.
- [10] 李伟光,宋厚彬,刘海营,等.蒙古国某斑岩型铜尾矿制备轻质多孔陶瓷正交实验研究[J].矿产保护与利用,2023,43(4):101-106.
LI W G, SONG H B, LIU H Y, et al. Orthogonal experimental study on preparation of light porous ceramics from a porphyry copper tailings in Mongolia[J]. Conservation and Utilization of Mineral resources, 2023, 43(4): 101-106.
- [11] 孙海侠,李元星,李琼,等.多孔陶瓷在环境治理中的应用研究[J].陶瓷,2021(6):27-30.
SUN H X, LI Y X, LI Q, et al. Application of porous ceramics in environmental treatment[J]. Ceramics, 2021(6): 27-30.
- [12] 刘媛媛,肖慧,李寿德.铁尾矿烧结多孔保温材料气孔形成的机理研究[J].新型建筑材料,2010,37(04):47-49+58.
LIU Y Y, XIAO H, LI S D. Study on bubble formation mechanism for thermal insulation porous materials of iron tailings[J]. New Building Materials, 2010, 37(04): 47-49+58.
- [13] 刘晓倩,周洋,刘旭峰等.碳热还原法制备铁尾矿多孔陶瓷的结构与性能[J].矿产保护与利用,2020,40(3):56-63.
LIU X Q, ZHOU Y, LIU X F, et al. Structure and properties of iron tailings porous ceramics prepared by carbothermal reduction method[J]. Conservation and Utilization of Mineral resources, 2020, 40(3): 56-63.
- [14] 吴浩.节能利废高温发泡陶瓷的制备与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2020.
WU H. Preparation and properties of energy-saving and waste-recycling high-temperature foamed ceramics [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2020.

Preparation of Porous Ceramic Materials from High-Sulfur Copper Tailings and Its Pore Structure Properties

LI Weiguang¹, LIN Rongqi², SONG Houbin², LI Yong¹, YANG Hao², ZHANG Yanping², XU Haibo²

1. Mining and Metallurgy Technology Group Co., Ltd., Daxing 102628, Beijing, China;

2. Heilongjiang Zijin copper industry co., ltd., Qiqihaer 161041, Heilongjiang, China

Abstract: The porous ceramics was prepared using high-sulfur copper-tailings as the main raw material. Firstly, flotation and magnetic separation desulfurization were carried out on the tailings to reduce the total sulfur content from 6.40% to 0.69%. The effects of raw material ratio, grinding time, and foaming agent dosage on the apparent density and compressive strength of porous ceramic materials were studied through conditional experiments. When the amount of desulfurization copper tailings was 60%, the amount of potassium feldspar was 20%, the amount of sodium feldspar was 15%, the amount of silicon micro powder was 5%, the amount of foaming agent SiC was 0.3%, and the grinding time was 40 minutes, the performance of porous ceramics was the best. The apparent density was 412 kg/m³, and the compressive strength was 2.94 MPa. The pore structure of porous ceramics was analyzed using industrial CT, and the total porosity of porous ceramics was 56.93%, with a closed porosity of up to 56.51%, The average throat length was 1 357.1 μm. It has high sealing performance, providing excellent insulation and thermal insulation performance for porous ceramics.

Keywords: high-sulfur copper tailings; porous ceramics; insulation ceramics; pore structure

引用格式: 李伟光, 林荣琪, 宋厚彬, 李勇, 杨浩, 张艳平, 徐海波. 高硫铜尾矿制备多孔陶瓷材料及其孔结构性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(2): 91–98.

LI Weiguang, LIN Rongqi, SONG Houbin, LI Yong, YANG Hao, ZHANG Yanping, XU Haibo. Preparation of porous ceramic materials from high-sulfur copper tailings and its pore structure properties[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(2): 91–98.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn