

# 斑岩型铜尾矿制备连通孔陶瓷透水材料的试验研究

赵庆朝<sup>1</sup>, 李伟光<sup>1</sup>, 李勇<sup>1</sup>, 朱阳戈<sup>1</sup>, 刘海营<sup>1</sup>, 许太胜<sup>2</sup>

1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 大兴 102628;  
2. 铜陵有色金属集团铜冠建筑安装股份有限公司, 安徽 铜陵 244000

中图分类号: TD926.4<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)02-0152-05  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.02.024

**摘要** 以斑岩型铜尾矿、高岭土、玻璃粉为主要原料, 制备连通孔陶瓷透水材料。研究了骨料配比、结合料用量、成型压力和烧成制度对连通孔陶瓷透水材料抗折强度和透水系数的影响。当  $m(\text{铜尾矿}) : m(\text{高岭土}) : m(\text{玻璃粉})$  为 7 : 3 : 2、成型压力为 1 MPa、烧成温度为 1 150 °C、保温时间为 90 min 时, 工艺流程最佳。此时, 连通孔陶瓷透水材料抗折强度为 3.9 MPa, 透水系数为  $2.7 \times 10^{-2}$  cm/s, 劈裂抗拉强度为 3.7 MPa, 耐磨性磨坑长度为 25.2 mm, 抗冻性为 D50。

**关键词** 斑岩型铜尾矿; 连通孔透水陶瓷; 抗折强度; 透水系数

## 引言

中国是矿业大国, 92% 以上的一次性能源, 80% 以上的工业原材料均来自矿产资源<sup>[1-2]</sup>。在矿产资源开发过程中会产生的大量尾矿, 尾矿的排放和堆存不仅会造成严重的环境影响和安全威胁, 同时也会造成巨大的资源浪费, 矿产资源开发需求和环境有限承载能力的矛盾已成为制约我国矿业可持续发展的重要瓶颈<sup>[3]</sup>。以“减量化、资源化、无害化”为指导原则, 提高资源回收率, 减少尾矿排放量, 充分利用尾矿中的无机非金属矿物等制备新型建筑材料, 对尾矿中的有害组分进行无害化处理, 减少其对环境的危害等<sup>[4-5]</sup>, 已成为我国矿产资源开发的必然选择。

随着我国大力推广“海绵城市”建设, 透水材料的需求越来越广泛<sup>[6]</sup>。传统透水材料主要是由石子、碎陶瓷等骨料与水泥、粉煤灰等混合压制制备而成<sup>[7-8]</sup>, 该类型免烧透水材料对原料要求较高, 尤其在冬天易发生冻裂现象; 也有部分研究以尾矿为原料制备透水材料, 但尾矿在体系中主要作为填料, 掺量较低<sup>[9-10]</sup>。而本研究以铜尾矿为主要原料, 采用高温熔融黏结工艺制备的连通孔陶瓷透水材料, 不仅具备陶瓷耐磨、抗冻性好的优点<sup>[11-12]</sup>, 又兼具透水材料抗折强度高、透水性能优异的特性, 是一种新型环保建筑材料。

通过对斑岩型铜尾矿理化特性的研究, 发现铜

尾矿可以通过添加高塑性原料高岭土共同造粒形成骨料, 进而包裹低熔点结合料玻璃粉通过高温熔融黏结法可制备连通孔陶瓷透水材料。铜尾矿和高岭土中的硅铝质组分可为陶瓷透水材料提供骨架支撑结构, 同时钠、钾质组分又与玻璃粉共同作为熔剂组分降低陶瓷透水材料的烧成熔点, 促进结合料的熔融软化<sup>[13-14]</sup>。本文以斑岩型铜尾矿为主要原料, 添加玻璃粉、高岭土制备连通孔陶瓷透水材料, 通过骨料配比试验、结合料用量试验、成型压力和烧成制度正交试验制备出高性能连通孔陶瓷透水材料, 突破了铜尾矿这种粉状原料无法直接用于透水材料骨料的限制, 大幅度提高了铜尾矿在透水材料中的用量, 为斑岩型铜尾矿的高附加值利用提供一条新的路径。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

试验用斑岩型铜尾矿来自江西九江地区铜矿, 样品为灰色粉末状固体, 辅助原料选用铜矿周边的高岭土及购置的低温玻璃粉。主要原料的 X 射线荧光光谱分析结果见表 1, 铜尾矿的 X 射线衍射图谱见图 1。由表 1 和图 1 可知, 铜尾矿的主要化学成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  等, 主要矿物为石英 (40.2%)、钾长石 (23.6%)、黄铁矿 (4.6%)、高岭石 (2.3%); 高岭土的

化学成分主要是硅铝组分,可为陶瓷透水材料的骨料提供骨架支撑结构,增加骨料的强度;玻璃粉的钙、镁、钾、钠等熔剂组分含量较高,可在烧结时起到熔融黏结骨料的作用。

表 1 主要原料的 X 射线荧光光谱分析 /%

Table 1 X-ray fluorescence spectrum analysis of the copper tailings

化学成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Loss
铜尾矿	63.38	11.51	0.68	0.21	6.45	0.34	2.03	3.63	3.56
高岭土	45.71	40.32	0.77	0.66	2.53	0.18	7.27	0.16	2.14
玻璃粉	73.14	0.88	8.12	3.88	1.88	12.36	0.21	0.02	-

配比充分混匀;在造粒机中加水造粒,形成稳定粒径的球粒后加入结合料玻璃粉对球粒进行包裹;筛分合适粒径的球粒,在成型模具中分层布料,在一定的成型压力下压制成砖坯;压制成型的坯体在 90 ~ 130 °C 干燥 3 ~ 5 h,之后在马弗炉中烧成,即得到连通孔陶瓷透水材料。

连通孔陶瓷透水材料的性能测试按照国标 GB/T 25993—2010《透水路面板和透水路面板》进行,通过骨料配比试验、结合料外掺用量试验及成型压力和烧成制度正交试验获得抗折强度和透水系数最优的连通孔陶瓷透水材料制备配方和工艺,再对最优工艺制备的产品进行抗折强度、透水系数、劈裂抗拉强度、耐磨性和抗冻性测试。

## 2 试验结果及分析探讨

### 2.1 骨料配方的影响

传统透水材料的骨料大部分采用石子、碎陶瓷等骨料,而铜尾矿这种粉状原料无法直接作为骨料制备透水材料,因此首先采用铜尾矿和高岭土进行骨料的制备,骨料配比试验结果见表 2,拟定的其他试验条件为:结合料玻璃粉外掺量 20%,成型压力 1.0 MPa,烧成温度 1 150 °C,烧成时间 60 min。

由试验结果可知,铜尾矿塑性较差,并且硫含量较高,全部采用铜尾矿制备骨料时,透水材料的抗折强度较低,因此需引入高岭土组分提升骨料强度;在高岭土的用量为 30% 时,透水材料的透水系数最大,高岭土用量为 40% 时,透水材料的抗折强度最高。考虑到需尽量提升铜尾矿的用量,优选骨料配方为铜尾矿 70%、高岭土 30%。

表 2 骨料配比试验结果

Table 2 Test results of the aggregate ratio

试验编号	铜尾矿用量/%	高岭土用量/%	抗折强度 /MPa	透水系数 /( $10^{-2} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
1	100	0	3.01	2.23
2	80	20	3.46	2.25
3	70	30	3.93	2.71
4	60	40	4.38	2.44

### 2.2 结合料外掺量的影响

结合料不仅可以在陶瓷透水材料制备过程中有效增加干燥后的生坯强度,还可以在烧结过程中起到降低烧结温度和形成高温液相胶黏剂桥接骨料的作用<sup>[15]</sup>,是影响透水材料性能的重要因素。选用玻璃粉作为透水材料的结合料,不同结合料外掺量的试验结果见表 3,拟定的其他试验条件为:骨料配方为铜尾矿 70%、高岭土 30%,成型压力 1.0 MPa,烧成温度 1 150 °C,烧成时间 60 min。

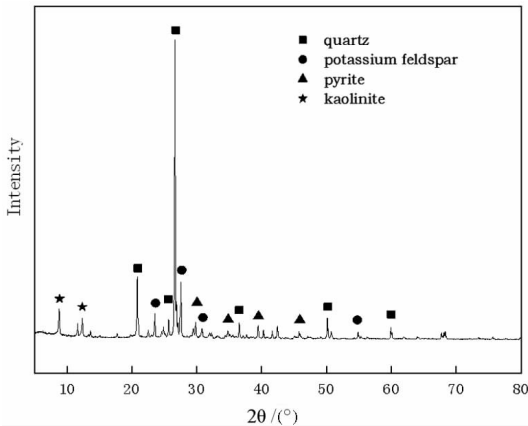


图 1 铜尾矿的 XRD 衍射分析图谱

Fig. 1 XRD diffraction pattern of the copper tailings

### 1.2 试验过程及试验方法

试验采用如图 2 所示的流程制备连通孔陶瓷透水材料。将铜尾矿、高岭土干燥并过 0.2 mm 标准筛,按

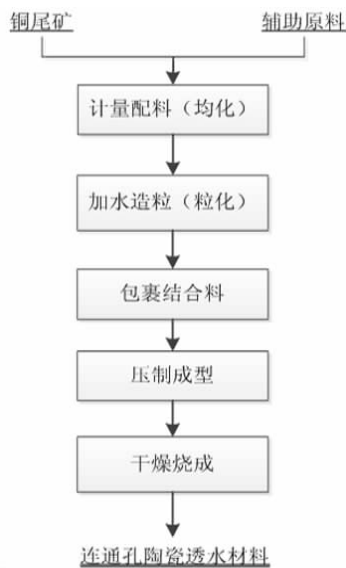


图 2 试验流程

Fig. 2 Preparation process of the connected porous and water-permeable ceramic materials

由表 3 试验结果可知,烧成后的透水材料抗折强度随着结合料外掺量增加而增加,在结合料外掺量为 25% 时,透水材料的抗折强度最高,但透水系数明显降低,过多的结合料熔融会导致连通孔的堵塞,因此优选结合料外掺量为 20%。

表 3 结合料外掺量试验结果

Table 3 Test results of the binder dosage

试验编号	结合料外掺量/%	抗折强度/MPa	透水系数/ $(\times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$
H1	10	3.45	1.84
H2	15	3.78	1.67
H3	20	3.93	2.71
H4	25	4.92	0.99

### 2.3 成型压力、烧成温度、保温时间的影响

为更好地探讨成型及烧结因素对透水材料性能的影响,设计了成型压力、烧成温度、保温时间三因素三水平正交试验。正交试验设计见表 4,试验结果见表 5。

表 4 正交试验因素水平表

Table 4 Orthogonal test factor level table

水平	因素		
	成型压力(A)/MPa	烧成温度(B)/ $^{\circ}\text{C}$	保温时间(C)/min
1	0.5	1100	30
2	1	1150	60
3	1.5	1200	90

表 5 正交试验结果

Table 5 Results of the orthogonal test

水平	因素			测试结果	
	A	B	C	抗折强度/MPa	透水系数/ $(10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$
1	A1	B1	C1	1.28	2.87
2	A1	B2	C2	2.34	2.36
3	A1	B3	C3	2.53	1.75
4	A2	B1	C2	2.42	1.53
5	A2	B2	C3	3.97	2.46
6	A2	B3	C1	3.12	1.44
7	A3	B1	C3	4.12	1.14
8	A3	B2	C1	3.96	0.96
9	A3	B3	C2	3.32	0.79
k11	2.05	2.61	2.79		
k12	3.17	3.42	2.69		
k13	3.80	2.99	3.54		
R1	1.75	0.82	0.85		
优方案	A3	B2	C3		
k21	2.33	1.85	1.76		
k22	1.81	1.93	1.56		
k23	0.96	1.33	1.78		
R2	1.36	0.60	0.22		
优方案	A1	B2	C3		

对正交试验结果进行直观分析可以看出,对透水材料的抗折强度来说,极差  $R1(A) > R1(C) > R1(B)$ ,影响透水材料抗折强度的因素排名为 A 成型压力  $> C$  保温时间  $> B$  烧成温度,取得最优抗折强度的试验条件为 A3B2C3;对材料的透水系数来说,极差  $R2(A) >$

$R2(B) > R2(C)$ ,影响透水材料抗折强度的因素排名为 A 成型压力  $> B$  烧成温度  $> C$  保温时间,取得最优透水系数的试验条件为 A1B2C3。成型压力是影响透水材料的抗折强度和透水系数的最主要因素,成型压力的大小直接影响到生坯的抗折强度和致密度,成型压力过大,会导致生坯压制过程中形成的孔隙结构被破坏,从而降低材料的透水性能;成型压力过小,会导致透水材料不致密,从而造成抗折强度下降,因此成型压力应该保持适中,使透水材料兼具足够的抗折强度和优异的透水性能,因此最终确定制备透水材料的最优试验条件为 A2B2C3。

### 2.4 最优条件验证试验

经过关键工艺参数条件试验得出制备连通孔陶瓷透水材料的最优骨料配比为:铜尾矿用量 70%、高岭土用量 30%、结合料外掺量为 20%,成型压力 1.0 MPa,烧成温度 1150  $^{\circ}\text{C}$ 、保温时间 90 min,在此条件下进行连通孔陶瓷透水材料的制备,并进行性能测试,结果(对比 GB/T 25993—2010《透水路面砖和透水路面板》)见表 6,陶瓷透水材料连通孔隙 SEM 图见图 3。由 SEM 图可以看出,透水材料的骨料颗粒之间通过结合料的作用黏结在一起,保证了材料的强度,同时骨料颗粒之间具有明显的连通孔隙,使材料兼具了优异的透水性能。

表 6 最优产品性能测试结果

Table 6 Results the optimal product performance test

项目	抗折强度 /MPa	透水系数 / $(10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$	劈裂抗拉强度/MPa	耐磨性 /mm	抗冻性
产品性能	3.9	2.7	3.7	25.2	D50
标准要求	$\geq 3.0$	2.0	$\geq 3.0$	$\leq 35$	$\geq \text{D30}$

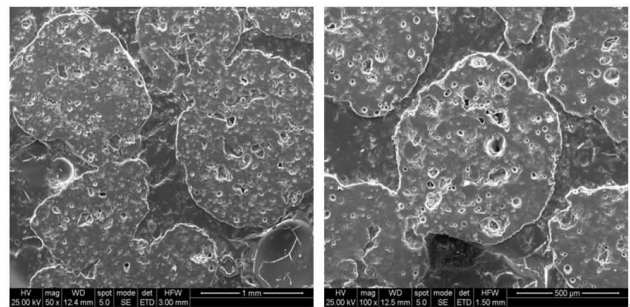


图 3 产品连通孔结构 SEM 图

Fig. 3 SEM diagram of the product communication hole structure

## 3 结论

以斑岩型铜尾矿、高岭土、玻璃粉为原料制备连通孔陶瓷透水材料的骨料最优配方为铜尾矿 70%、高岭土 30%、结合料玻璃粉的最佳外掺量为 20%,最佳

成型压力为 1 MPa,最佳烧成温度为 1 150 °C,最佳保温时间为 90 min,可制备出抗折强度 3.9 MPa、透水系数  $2.7 \times 10^{-2}$  cm/s、劈裂抗拉强度 3.7 MPa、耐磨性磨坑长度 25.2 mm、抗冻性达到 D50 的连通孔陶瓷透水材料,其各项指标均满足国标 GB/T 25993—2010《透水路面砖和透水路面板》的要求。

### 参考文献:

- [1] 蔚美娇,孔祥云,黄劲松,等.我国尾矿固废处置现状及建议[J].化工矿物与加工,2022,51(1):34-38.  
WEI M J, KONG X Y, HUANG J S, et al. Present situation and suggestions of tailings solid waste disposal in China [J]. Chemical Minerals and Processing, 2022, 51(1): 34-38.
- [2] 郑竞,程波,杨武,等.尾矿减量化、资源化和无害化实践状况与思考[J].矿山机械,2022,50(1):38-43.  
ZHENG J, CHENG B, YANG W, et al. Practice situation and thinking of tailings reduction, resource utilization and harmlessness [J]. Mining Machinery, 2022, 50(1): 38-43.
- [3] 敖顺福.有色金属矿山尾矿综合利用进展[J].矿产保护与利用,2021,41(3):94-103.  
AO S F. Progress of comprehensive utilization of nonferrous metal mine tailings [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(3): 94-103.
- [4] 杜艳强,段文峰,赵艳.金属尾矿处置及资源化利用技术研究[J].中国矿业,2021,30(8):57-61.  
DU Y Q, DUAN W F, ZHAO Y. Research on metal tailings disposal and resource utilization technology [J]. China Mining Industry, 2021, 30(8): 57-61.
- [5] 赵宇翔,张茜,刘碧雯,等.尾矿制备建筑材料的研究进展[J].中国资源综合利用,2021,39(9):120-124.  
ZHAO Y X, ZHANG Q, LIU B W, et al. Research progress of tailings preparation of building materials [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(9): 120-124.
- [6] 颜凡,金强,王文君,等.钢渣协同建筑再生骨料制备透水材料[J].中国建材科技,2020,29(5):46-48.  
YAN F, JIN Q, WANG W J, et al. Preparation of permeable materials with steel slag and recycled building aggregate [J]. China Building Materials Science and Technology, 2020, 29(5): 46-48.
- [7] 刘恒源,唐莉,李倩,等.微孔生态透水材料的制备及性能研究[J].新型建筑材料,2020,47(5):63-67.  
LIU H Y, TANG L, LI Q, et al. Preparation and properties of micro-
- porous ecological permeable materials [J]. New Building Materials, 2020, 47(5): 63-67.
- [8] 曾宪沂,彭红涛,卞立波,等.砂基多孔透水材料探析[J].施工技术,2018,47(S1):1278-1279.  
ZENG X Y, PENG H T, BIAN L B, et al. Analysis of porous sand-based materials [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 1278-1279.
- [9] 王恬君,刘立伟,李国峰,等.焙烧尾矿制备透水砖的孔隙特征研究[J].矿产综合利用,2021(6):85-90.  
WANG T J, LIU L W, LI G F, et al. Study on the pore characteristics of permeable brick prepared by roasting tailings [J]. Mineral Comprehensive Utilization, 2021(6): 85-90.
- [10] 李志新,马先伟,牛季收,等.铝矾土尾矿烧结透水砖的性能调控[J].河南城建学院学报,2021(1):60-65.  
LI Z X, MA X W, NIU J S, et al. Performance regulation of bauxite tailings sintered permeable brick [J]. Journal of Henan Urban Construction University, 2021(1): 60-65.
- [11] 祖彬,王天瑞,王超杰,等.风积沙基烧结透水材料的制备[J].新型建筑材料,2019,46(2):145-147.  
ZU B, WANG T R, WANG C J, et al. Preparation of sintered permeable materials based on aeolian sand [J]. New Building Materials, 2019, 46(2): 145-147.
- [12] 钟艳梅,张国涛,杨景琪,等.利用尾矿和陶瓷废料制备烧结型透水砖的技术现状[J].佛山陶瓷,2019,29(2):40-44.  
ZHONG Y M, ZHANG G T, YANG J Q, et al. Technical Status of Sintered Water Permeable Brick with Tailings and Ceramic Waste [J]. Foshan Ceramics, 2019, 29(2): 40-44.
- [13] 夏溢,程寒飞,刘克权,等.铁尾矿粉烧结透水砖的制备及其性能[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2021,38(3):237-241.  
XIA Y, CHENG H F, LIU K Q, et al. Preparation and properties of iron tailings sintered permeable brick [J]. Journal of Anhui University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 38(3): 237-241.
- [14] 周忠华.高强烧结污泥黏土透水砖的研制[J].砖瓦,2018(4):17-19.  
ZHOU Z H. Development of high-strength sintered clay permeable brick [J]. Brick and Tile, 2018(4): 17-19.
- [15] 武晓宇,魏东,王正,等.烧结透水砖用低温高强粘结剂的研制[J].新型建筑材料,2018,45(7):89-92.  
WU X Y, WEI D, WANG Z, et al. Development of low-temperature and high-strength binder for sintered permeable brick [J]. New Building Materials, 2018, 45(7): 89-92.

# Preparation of the Connected Porous and Water – permeable Ceramic Materials by Porphyry Copper Tailings

ZHAO Qingchao<sup>1</sup>, LI Weiguang<sup>1</sup>, LI Yong<sup>1</sup>, ZHU Yangge<sup>1</sup>, LIU Haiying<sup>1</sup>, XU Taisheng<sup>2</sup>

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

2. Tongling Nonferrous copper crown construction and installation Co. , Ltd. , Tongling 244000, Anhui, China

**Abstract:** The connected porous and water – permeable ceramic materials were prepared with porphyry copper tailings, kaolin and glass powder as main raw materials. The flexural strength and water permeability coefficient of the connected porous and water – permeable ceramic materials were studied at different aggregate ratio, binder dosage, molding pressure and firing system. The results showed that when the ratio of copper tailings, kaolin and glass powder was 7 : 3 : 2, molding pressure was 1 MPa, sintering temperature was 1 150 °C, and holding time was 90 min, the flexural strength, water permeability coefficient, splitting tensile strength, the wear – resistant pit length, and frost resistance of the prepared connected porous and water – permeable ceramic materials were 3.9 MPa,  $2.7 \times 10^{-2}$  cm/s, 3.7 MPa, 25.2 mm, and D50, respectively.

**Keywords:** porphyry copper tailings; connected porous and water – permeable ceramic materials; flexural strength; water permeability coefficient

引用格式:赵庆朝,李伟光,李勇,朱阳戈,刘海营,许太胜. 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 Qingchao, LI Weiguang, LI Yong, ZHU Yangge, LIU Haiying, XU Taisheng. Preparation of the connected porous and water – permeable ceramic materials by porphyry copper tailings[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(2): 152 – 156.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E – mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)