

# 铁尾矿基玻璃透水砖的制备及性能研究\*

王之宇, 郭家林, 李春

(商洛学院 陕西省尾矿资源综合利用重点实验室, 陕西 商洛 726000)

**摘要:**为提高透水砖的力学性能与透水性能,同时为铁尾矿综合利用寻求一条有途径,以铁尾矿为主要原料,研发出一种新型玻璃透水砖。用铁尾矿熔制基础玻璃,参照基础玻璃 DSC 分析结果制定烧结温度,将基础玻璃按照粒度大小分成 5 组进行烧结得到玻璃透水砖试样。对试样的抗压强度、透水系数、保水性做测试分析。结果表明,当基础玻璃粒度为 4~2.23 mm、烧结温度为 760~810 ℃时,试样各项性能指标较为理想。此时试样的抗压强度为 24 MPa,透水系数为 1.06~0.98 cm/s,保水性为 0.9~0.4 g/cm。玻璃透水砖可以同时具备较大的抗压强度和良好的透水性,有很好的推广应用前景。

**关键词:**玻璃透水砖;铁尾矿;综合利用

中图分类号:TD926.4<sup>+</sup>2 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2019)04-0066-05

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.04.011

## Research on Preparation and Properties of Iron Ore Tailings - based Glass Permeable Brick

WANG Zhiyu, GUO Jialin, LI Chun

(Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo University, Shangluo 726000, China)

**Abstract:** In order to improve the mechanical properties and water permeability of permeable brick, and find a way for the comprehensive utilization of iron tailings, a new type of glass permeable brick was developed with the main raw material of iron tailings. The basic glass was melted by iron tailings, and the sintering temperature was determined according to DSC analysis results of the basic glass. The basic glass was divided into 5 groups according to particle size and sintered to obtain glass permeable brick samples. The compressive strength, permeability coefficient and water retention of the samples were tested and analyzed. The results showed that the various performance indexes of the sample were ideal with the basic glass particle size of 4~2.23 mm and the sintering temperature of 760~810 ℃. The compressive strength of the samples was 24 MPa. The water permeability coefficient was 1.06~0.98 cm/s, and the water retention was 0.9~0.4 g/cm. Glass permeable owns the greater compressive strength as well as good permeability simultaneously, which has a good prospect of popularization and application.

**Key words:** glass permeable brick; iron ore tailings; comprehensive utilization

在矿产资源日益减少和环保呼声日渐高涨的今天,尾矿的综合利用已经引起了广泛重视<sup>[1]</sup>。据不完全统计,我国堆存的尾矿总量已达 146 亿 t<sup>[2]</sup>,其

中铁尾矿占总量的约 30%。大量堆存的铁尾矿带来了严重社会危害,突出表现在环境污染、资源浪费、安全隐患、土地占用等方面<sup>[3]</sup>。为解决铁尾矿

\* 收稿日期:2019-04-22

基金项目:陕西省教育厅重点实验室科研计划项目(18JS035);陕西省科技惠民计划项目(2018ZY-HM-01);商洛学院科研项目(15SKY004)

作者简介:王之宇(1987-),讲师,主要从事尾矿资源综合利用方面研究工作,E-mail:15229980389@163.com。

综合利用问题,国内外学者对此做了较多研究工作。王长龙等<sup>[4]</sup>利用铁尾矿和煤矸石制备出弯曲强度在 230 MPa 以上的微晶玻璃,认为铁尾矿微晶玻璃的力学性能取决于热处理工艺。刘璇<sup>[5]</sup>等以粉煤灰、铁尾矿为主要原料制备了地质聚合物。马崇振<sup>[6]</sup>对铁尾矿中提取钛进行试验研究,获得 TiO<sub>2</sub> 含量 47.33%、回收率 55.13% 的钛精矿。土耳其的 Cine - Milas 省采用磁场、浮选等多种方法去除杂质,从铁尾矿中选出钾长石,并将钾长石精矿用于陶瓷工业<sup>[7]</sup>。铁尾矿利用方面的研究虽然取得了一些成果,但总体来说利用方向较为单一,利用率还处于较低水平<sup>[8-11]</sup>。

为提高铁尾矿利用率,拓展铁尾矿利用方向,本文以铁尾矿为原料,制备了一种被称作玻璃透水砖的新型透水材料。通过对玻璃透水砖试样的抗压强度、透水系数、保水性进行测试分析,探讨烧结温度、基础玻璃粒度和性能间的关系。玻璃透水砖尾矿利用率高,外观和性能与现有透水砖有很大区别<sup>[12-14]</sup>,如果能推广使用将对促进铁尾矿利用有重要意义。由于玻璃透水砖是一种新材料,相关工作公开报道较少,因此对利用铁尾矿制备玻璃透水砖进行系统研究很有必要。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

试验原料包括铁尾矿(粒度小于 0.18 mm)、生石灰(CaO 质量分数大于 70%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(分析纯)、石英砂(0.18 - 0.074 mm,分析纯)、硼酸(分析纯)。其中铁尾矿取自陕西省商洛市大西沟铁尾矿,大西沟铁尾矿主要矿物组成是白云母和石英,另外还有少量黄铁矿、方解石、金红石、斜长石、绿泥石等。通过 XRF 分析获得该尾矿的主要化学成分如表 1 所示。

表 1 大西沟铁尾矿的化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of iron tailings in Daxigou

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
50.19	10.60	0.52	20.38	0.64	1.59	4.02	3.90

### 1.2 基础玻璃制备与表征

根据铁尾矿的化学成分和基础玻璃所需原料组成<sup>[15]</sup>计算得出利用铁尾矿熔制基础玻璃的质量配比为:铁尾矿 63.5%,生石灰 20.7%,石英砂 12.6%,硼酸 3.2%。原料混合均匀后平均分成 4 份装入坩埚中,用 SGM · VB30/16 型箱式电阻炉加

热,以 5 °C/min 的升温速率分别加热至 1 100、1 200、1 300、1 400 °C,并保温 2 h,保温结束后迅速将样品取出进行水淬。通过样品熔融及水淬后特征形态确定基础玻璃最佳熔制温度。

用德国耐驰 STA449 - F3 型同步热分析仪对基础玻璃进行差示扫描量热分析(DSC),用氮气做保护气体,温度设定为室温到 1 000 °C,升温速率为 10 °C/min。通过荷兰帕纳科 X'Pert Powder 型 X 射线衍射仪对基础玻璃进行 X 射线衍射(XRD)分析。DSC 与 XRD 分析结果为下一步制备玻璃透水砖提供依据。

### 1.3 玻璃透水砖的制备与表征

将基础玻璃在小型球磨机中研磨 10 s,用标准筛筛分后得到 4 组不同粒度分布的基础玻璃颗粒,分别为 4 ~ 2.36、2.36 ~ 0.8、0.8 ~ 0.3、0.3 ~ 0.075 mm。

将各组基础玻璃颗粒分别装入涂有脱模剂的方形坩埚(100 mm × 40 mm)内,玻璃颗粒铺设厚度 50 mm,摊铺平整并压实。每种粒度玻璃颗粒分装 5 个坩埚,热处理工艺为初始温度 20 °C,加热时间 2 h,加热速度为 5 °C/min,随炉冷却,依次在 610、660、710、760 °C 温度下进行烧结。

用 WDW - 50 型微机控制电子万能试验机测试玻璃透水砖抗压强度,加载速度为 0.5 mm/min。依照《JCT 945 - 2005 透水砖行业标准》<sup>[16]</sup>中的试验方法,测试玻璃透水砖的透水系数和保水性。用 SeepackTX5300 型显微镜进行形貌分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基础玻璃试验结果与分析

#### 2.1.1 基础玻璃熔制结果分析

图 1 为不同熔制温度下基础玻璃形态。由图可见,1 100 °C 时原料熔化的部分很少,可以清晰看到未熔化颗粒物;1 200 °C 时原料已完全熔化,呈黄褐色,中间有气泡产生,流动性很差;1300 °C 原料全

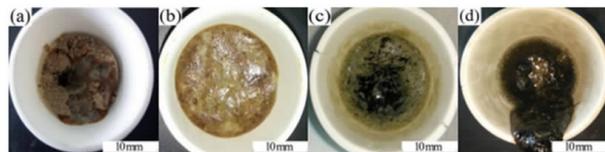


图 1 不同熔制温度下基础玻璃形态  
Fig. 1 Morphology of the basic glass at different production temperatures

部熔化,呈深棕色,表面有小气泡产生,流动性差;1 400 ℃时原料全部熔化,呈深棕色,流动性很好,且气泡少,透光性好。

### 2.1.2 DSC 分析

图2为熔制温度1 400 ℃时的基础玻璃DSC曲线。从图中可以看出,曲线在610 ℃时出现了吸热峰,在810 ℃时出现放热峰,610 ℃即为玻璃的转化温度,810 ℃为晶化温度。因此玻璃透水砖烧结试验以610 ℃为起点,以50 ℃为梯度递增,即分别取610、660、710、760、810 ℃为烧结试验温度。

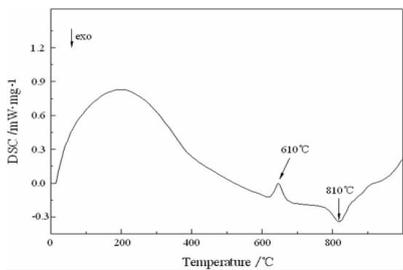


图2 基础玻璃 DSC 曲线  
Fig.2 DSC curve of basic glass

### 2.1.3 XRD 分析

图3为熔制温度1 400 ℃时的基础玻璃XRD图谱,扫描区间为20°~70°。从图中可以看出试样没有出现明显晶体的衍射峰,呈无定形态,也没有显示玻璃组成配料化合物衍射峰,说明该工艺下各物质已经转化为非晶态,参与组成玻璃网络结构<sup>[17]</sup>。

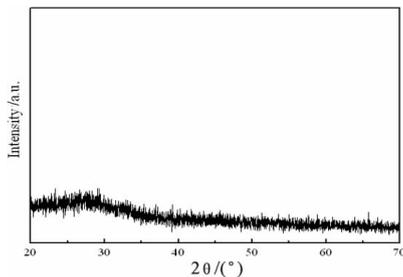


图3 基础玻璃 XRD 图谱  
Fig.3 XRD spectrum of basic glass

## 2.2 玻璃透水砖测试结果与分析

### 2.2.1 抗压强度测试结果分析

不同粒度分布下试样抗压强度随烧结温度变化曲线如图4所示。由图可以看出,随着烧结温度升高,各组试样的抗压强度均呈现上升趋势。对于同一烧结温度下的试样,基本呈现出基础玻璃粒度越小,

抗压强度越大的规律。当温度610 ℃、粒度4~2.36 mm时,样品抗压强度最小,为7 MPa;当温度810 ℃、粒度0.3~0.074 mm时,样品抗压强度最大,为27 MPa。图中还可以看出,基础玻璃粒度越大,试样抗压强度随烧结温度增长速率越快。粒度0.3~0.075 mm时,抗压强度增长了7 MPa,而粒度4~2.3 mm时,抗压强度增长了17 MPa。810 ℃时,各组试样的抗压强度相差不大。这是因为玻璃透水砖是利用玻璃的自胶结特性固结成型的<sup>[18]</sup>,当玻璃颗粒较小时,玻璃颗粒软化所需热量小,只要温度达到玻璃转化温度,细小的颗粒界面之间即发生熔化胶结。随着温度升高,较大玻璃颗粒界面上出现流动贯通,胶结面积快速增大,促使试样整体抗压强度迅速提高,最终各粒度下试样的抗压强度趋于相同。

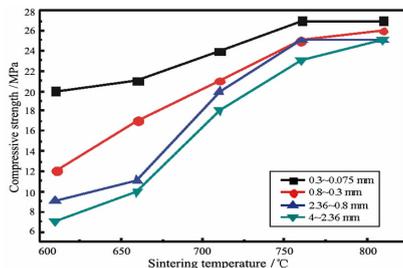


图4 玻璃透水砖抗压强度曲线图  
Fig.4 Compressive strength curve of glass permeable brick

### 2.2.2 透水系数测试结果分析

各组试样透水系数随烧结温度变化曲线如图5所示。由图可以看出,各组试样的透水系数均随着烧结温度的升高而降低,粒度大的试样在同一烧结

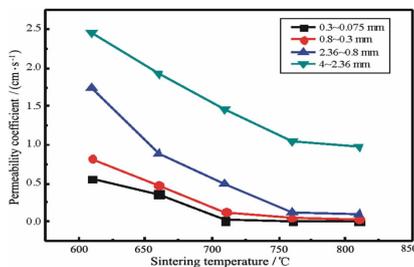


图5 玻璃透水砖透水系数曲线图  
Fig.5 Permeability coefficient curve of glass permeable brick

温度下其透水系数始终大于粒度较小的。烧结温度810 ℃时,2.36~0.8 mm、0.8~0.3 mm、0.3~0.075 mm三组试样的透水系数趋近于0,而4~2.36 mm试样仍然保持较高透水系数,达0.98 cm/s。这是因为,玻璃颗粒在铺装时内部存在大量

相互贯通的孔道,随着烧结的进行,颗粒间的孔道会逐渐缩小直至闭合。大颗粒由于自身的骨架作用,使得孔道在高温时仍然能够维持。

### 2.2.3 保水性测试结果分析

根据各试样吸水前后质量变化数据,按照公式(1)计算得出保水性:

$$B = \frac{m_2 - m_1}{A} \quad (1)$$

式中:

$B$ —保水性,  $\text{g}/\text{cm}^2$ ;

$m_2$ —干燥试样的质量,  $\text{g}$ ;

$m_1$ —试样吸水 24 h 的质量,  $\text{g}$ ;

$A$ —试样的上表面积,  $\text{cm}^2$ 。

各组试样保水性随烧结温度变化曲线如图 6 所示。由图可以看出,粒度为 2.36 ~ 0.8、0.8 ~ 0.3、0.3 ~ 0.075 mm 时,试样保水性随着烧结温度的升高呈下降趋势。粒度为 4 ~ 2.36 mm 时,保水性先增大后减小,在 650 °C 时达到最大值,为 4.9  $\text{g}/\text{cm}^2$ 。保水性随着烧结温度的升高而减小的原因是,玻璃透水砖的保水性与自身开孔率有关<sup>[19]</sup>,烧结温度越高,玻璃颗粒间流动性越强,开孔率越小,保水性也随之降低。粒度 4 ~ 2.36 mm 时保水性先上升后下降原因是,在 610 °C 时大颗粒间胶结面积相对较小,孔隙过大,水在其中难以保持,所以保水性的最大值没有出现在 610 °C。

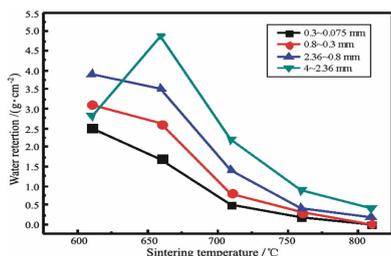


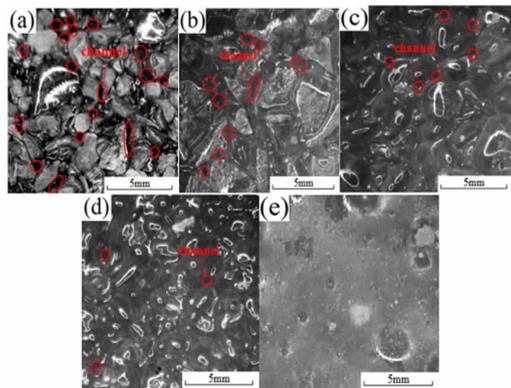
图 6 玻璃透水砖保水性曲线图

Fig. 6 Water retention curve of glass permeable brick

### 2.2.4 玻璃透水砖形貌分析

选取基础玻璃粒度 2.36 ~ 0.8 mm 时的样品进行形貌分析,如图 7 所示。由图 7(a)可以看出,当烧结温度 610 °C 时,试样表面可以观察到玻璃颗粒间胶结率低,胶结面积很小,大多呈点状胶结,玻璃颗粒软化程度低,基本保持颗粒原有形状,颗粒间天然孔道基本得以保留。从图 7(b) ~ (d)可以看出,烧结温度提高后,玻璃颗粒间的界面逐渐消失,孔道

逐渐变小直至闭合。从图 7(e)可以看出,当温度升到 810 °C 时,试样表面平整,已基本看不到颗粒界面,绝大多数孔道已经消失。



(a) 610 °C; (b) 660 °C; (c) 710 °C; (d) 760 °C; (e) 810 °C

图 7 粒度 2.36 ~ 0.8 mm 时样品形貌

Fig. 7 Morphology of sample at the particle size ranges of 2.36 ~ 0.8 mm

综合以上分析,玻璃透水砖的抗压强度、保水性和透水系数三项性能指标与基础玻璃粒度分布以及烧结温度有着密切关系。对于粒度 4 ~ 2.36 mm 的试样来说,烧结温度从 610 °C 提高到 810 °C,抗压强度从 7 MPa 增至 24 MPa,增长幅度达到 243%;透水系数从 2.45  $\text{cm}^3/\text{s}$  减至 0.98  $\text{cm}^3/\text{s}$ ,减小幅度只有 60%,远小于抗压强度增幅。由此可见,玻璃透水砖可以同时具备较大的抗压强度和理想的透水系数,这与传统透水砖无法兼顾抗压强度与透水系数的情况完全不同<sup>[20-22]</sup>,这一现象产生的原因在于玻璃透水砖的自胶结成型机理,这也是玻璃透水砖相对传统透水砖的优势之一。对于本试验来说,粒度 4 ~ 2.23 mm、烧结温度 760 ~ 810 °C 为最佳制备工艺,此时试样即有着较高的抗压强度,又有着较好的透水性。

## 3 结论

(1) 利用铁尾矿可以制备性能良好的玻璃透水砖。当基础玻璃粒度为 4 ~ 2.23 mm、烧结温度为 760 ~ 810 °C 时,试样抗压强度、透水系数等性能指标较为理想。此时试样的抗压强度为 24 MPa,透水系数为 1.06 ~ 0.98  $\text{cm}^3/\text{s}$ ,保水性为 0.9 ~ 0.4  $\text{g}/\text{cm}^2$ 。

(2) 玻璃透水砖的抗压强度随着烧结升高呈上升趋势;透水系数均随着烧结温度的升高有不同幅度下降,粒度大的试样在同一烧结温度下的透水系数始终大于粒度较小的;保水性随着烧结温度的升高一般呈下降趋势,但是当粒度 4 ~ 2.36 mm 时,保

水性先增大后减小,在650℃时达到最大值。

(3)基础玻璃粒度为4~2.36 mm时,随着烧结温度的升高,玻璃透水砖透水系数减小幅度远小于抗压强度增加幅度。玻璃透水砖因其自胶结成型机理,可以同时具备较大的抗压强度和理想的透水系数,克服了传统透水砖抗压强度提高透水系数就会大幅降低这一缺点,有很好的推广应用前景,是铁尾矿综合利用的一条有效途径。

### 参考文献:

- [1] 刘玉林,刘长森,刘红召,等.我国矿山尾矿利用技术及开发利用建议[J].矿产保护与利用,2018(6):140-144,150.
- [2] 张耀.尾矿:被放错位置的资源[N].中国矿业报,2018-12-01(003).
- [3] 刘志强,郝梓国,刘恋,等.我国尾矿综合利用研究现状及建议[J].地质论评,2016,62(5):1277-1282.
- [4] 王长龙,梁宝瑞,郑永超,等.热处理对煤矸石铁尾矿微晶玻璃微观结构和力学性能影响[J].材料热处理学报,2015,36(11):13-18.
- [5] 刘璇,崔孝炜.铁尾矿-粉煤灰地质聚合物的制备及性能研究[J].商洛学院学报,2016,30(2):43-46.
- [6] 马崇振.攀枝花某铁尾矿提钛降杂试验研究[J].矿产保护与利用,2016(5):74-78.
- [7] Kangal, O., Guney, A.. Pilot scale tests for evaluation of feldspar tailings for ceramic industry[J]. Key engineering materials, 2004, 264(2): 1415-1418.
- [8] 侯芮,陈四利,马啸,等.铁尾矿砂水泥复合土的力学性能研究[J].中外公路,2019(1):206-209.
- [9] 马雪英.硅质铁尾矿粉对混凝土强度性能影响研究[J].混凝土世界,2019(2):68-73.
- [10] 吴瑞东,张广田,汪坤.铁尾矿微粉混凝土强度和氯离子扩散系数试验研究[J].施工技术,2019,48(3):25-27,54.
- [11] 宋少民,张乐义,李紫翼.铁尾矿微粉对水泥混凝土后期性能的影响[J].混凝土,2019(1):128-131,145.
- [12] Li H, Harvey J, Ge Z. Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials[J]. Construction and building materials, 2014, 65: 367-375.
- [13] 成智文,闫开放.陶瓷透水砖的生产技术及发展前景[J].墙材革新与建筑节能,2016(1):33-35.
- [14] 李国昌,王萍.蒸压法制备镍铁矿渣透水砖[J].矿产保护与利用,2017(2):101-106.
- [15] 郭大龙,李宇,艾仙斌,等.利用铁尾矿制备低温烧结陶瓷材料[J].冶金能源,2014,33(3):53-57.
- [16] 中华人民共和国发展和改革委员会.透水砖行业标准[S].JC/T 945-2005,北京.2005.
- [17] 杨柯,汪永清,周健儿,等.赣南稀土尾砂制备建筑陶瓷玻化砖的研究[J].中国陶瓷,2014,50(10):75-80.
- [18] 商洛学院.一种玻璃透水砖:201720583411.7[P].2017-05-23.
- [19] 汪俊松,孟庆林,张玉,等.透水砖吸水及保水性能研究[J].建筑科学,2017,33(10):45-52.
- [20] 周超群,曾令可,程小苏,等.透水砖研究现状及应用前景[J].中国陶瓷,2017,53(9):6-10.
- [21] 王容华,乔朱思远.海绵城市常用透水铺装材料研究[J].建材与装饰,2017(38):30-31.
- [22] 路俊杰.透水砖路面应用存在的问题及对策[J].中国市政工程,2018(2):16-18,128.

引用格式:王之宇,郭家林,李春.铁尾矿基玻璃透水砖的制备及性能研究[J].矿产保护与利用,2019,39(4):66-70.

WANG Zhiyu, GUO Jialin, LI Chun. Research on preparation and properties of iron ore tailings - based glass permeable brick[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(4):66-70.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

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