

# 珍珠岩尾矿复合聚渣剂的制备及应用

芦永军, 樊安定, 韩 飞, 芦亚楠, 沈红民

(河南豫中新材料有限公司, 河南漯河 462000)

**摘要:** 以珍珠岩尾矿为主要原料, 通过加入粘结剂, 混合均匀后烧结成块, 然后进行破碎和筛分, 制备出珍珠岩尾矿复合聚渣剂。通过设计研究不同配方的珍珠岩复合聚渣剂并进行试验优化。研究表明: 珍珠岩尾矿复合聚渣剂配方主要组成为8%活性SiO<sub>2</sub>、4%活性Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、4%水玻璃和珍珠岩尾矿, 其在铁液中的铺展效果、聚渣效果以及扒渣效果与单一珍珠岩聚渣剂相比更优异。珍珠岩尾矿复合聚渣剂的应用提高了珍珠岩尾矿的利用率, 实现了废弃资源的再利用。

**关键词:** 内珍珠岩尾矿; 聚渣剂; 粘结剂

珍珠岩是一种火山喷发的酸性熔岩, 经急剧冷却而成的玻璃质岩石, 广泛应用于建筑行业、助滤剂和填料、冶金和轻工业等行业领域<sup>[1-2]</sup>。珍珠岩在开采和生产过程中有30%~40%的小于60目的细料被作为废料丢弃, 即珍珠岩尾矿<sup>[3]</sup>。随着我国各行各业对珍珠岩及其制品的需求量不断增加, 珍珠岩矿的开采量逐年增大, 随之增加的珍珠岩尾矿不仅在一定程度上侵占了当地土地资源, 而且也易引起粉尘污染, 严重影响生态环境和危害人类健康。因此, 国内正在逐步开展对珍珠岩尾矿的回收再利用, 以便降低国内珍珠岩矿产资源的废弃率, 降低环境污染。

近年来, 珍珠岩尾矿在制备成抛光用磨料, 制备水泥、玻璃、陶瓷及轻质建筑用砖等, 以及制备玻璃马赛克及墙地砖等领域逐步扩大<sup>[4-6]</sup>。而在珍珠岩作为聚渣剂的钢铁领域, 珍珠岩尾矿的粒度过细, 直接作为铁液钢液的聚渣剂使用时, 会因热传递太快, 产生巨大的蒸汽压力, 引起珍珠岩尾矿中的水分快速蒸发, 增加珍珠岩尾矿的粉化率, 使用效果大幅降低, 而且容易造成高温金属液的飞溅。本文以珍珠岩尾矿为主要成分, 研究不同的珍珠岩尾矿复合聚渣剂在铁液或钢液中铺展性、集聚性、粘包性, 优化珍珠岩尾矿复合聚渣剂配方。

## 1 试样制备及方法

### 1.1 原材料选择及配方设计

本试验所采用的珍珠岩尾矿为河南信阳上天梯珍珠岩在开采和生产过程中所产生的, 其粒度均小于60目。为了使珍珠岩尾矿能够作为聚渣剂产品, 在钢铁熔炼时达到更好的聚渣效果, 考虑对珍珠岩尾矿烧结造粒, 然后再破碎筛分成适用于钢铁用聚渣剂的粒度。但直接烧结珍珠岩需要较高的温度, 能源消耗较高, 因此本试验设计采用加入适当的粘结剂后, 将珍珠岩尾矿烧结成块状, 再进行造粒, 既可降低烧结温度, 实现节能, 又能达到聚渣剂的使用要求。

目前, 耐火材料用粘结剂主要有铝酸钙水泥、酚醛树脂和水玻璃三种。综合考虑粘结剂的粘结性、热导率、经济性、绿色环保以及满足使用性能要求等因素<sup>[7]</sup>, 本试验选用钠水玻璃作为珍珠岩尾矿的粘结剂。同时为了提高复合聚渣剂的软化温度, 本试验分别采用普通玻璃、CaO以及活性SiO<sub>2</sub>+活性Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为添加剂, 设计了三种不同珍珠岩尾矿复合聚渣剂配方, 其主要成分如表1所示。

作者简介:

芦永军(1968-), 男, 高级工程师, 研究方向为铸造材料。电话: 0395-8662249, E-mail: yzthj123@163.com

中图分类号: TG221

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)

09-0963-05

收稿日期:

2020-05-09 收到初稿,

2020-06-27 收到修订稿。

### 1.2 珍珠岩尾矿复合聚渣剂样品的制备

将去除泥土后珍珠岩尾矿加入混砂机中,按照所设计配方加入其他成分,混合均匀,然后压制成块状。为避免珍珠岩矿表面吸附水及裂隙水在高温焙烧时汽化产生巨大蒸汽压力而导致珍珠岩粉化且易造成钢液铁液飞溅等问题,待其固化后,将块状珍珠岩尾矿复合聚渣剂放入干燥炉中,加热到450℃保温15 min以充分去除吸附水和裂隙水,然后破碎筛选粒度为0.3~0.8 mm的珍珠岩颗粒。为充分发挥珍珠岩尾矿的聚渣和扒渣效果,在箱式电阻炉中进行预膨化处理,其预膨化处理工艺为预膨化温度950℃,保温时间15 s。经过造粒、预膨化处理后的珍珠岩样品如图1所示。

### 1.3 性能检测

本试验设计对比不同配方珍珠岩尾矿复合聚渣剂的容重、膨胀倍数和失重率等性能指标,采用量筒测定颗粒试样的体积,采用电子分析天平(型号:BL-200F,精确至0.001 g)测定质量,最终测定值取三个试样的平均数。

(1) 预膨化处理后珍珠岩复合聚渣剂容重的测定依据公式(1)计算。

$$r = (m_1 - M) / v_1 \times 1000 \quad (1)$$

式中:  $r$ 为珍珠岩容重,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $m_1$ 为预膨化处理后的珍珠岩和瓷舟的质量;  $M$ 为干燥后瓷舟的质量;  $v_1$ 为预膨化处理后最终膨胀处理前珍珠岩的体积。

(2) 失重率的测定依据公式(2)计算。

$$\eta = [(m_1 - m_2) / (m_1 - M)] \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $\eta$ 为珍珠岩的失重率;  $m_2$ 为最终膨胀温度1200℃焙烧后珍珠岩和瓷舟的质量。

(3) 最终膨胀处理前后珍珠岩膨胀倍数的计算依据公式(3)进行计算。

$$K = v_2 / v_1 \quad (3)$$

式中:  $K$ 为珍珠岩的膨胀倍数;  $v_2$ 为最终膨胀温度1200℃焙烧120 s后珍珠岩的体积。

表1 不同珍珠岩尾矿复合聚渣剂样品的配方  
Table 1 Formulations of perlite tailings compound slag conglomeration agent samples

方案	主要成分
配方一	12%普通玻璃+4%水玻璃+珍珠岩尾矿(余量)
配方二	12%CaO+4%水玻璃+珍珠岩尾矿(余量)
配方三	8%活性SiO <sub>2</sub> +4%活性Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +4%水玻璃+珍珠岩尾矿(余量)

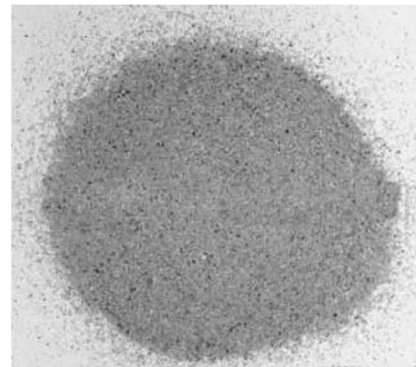


图1 预膨化处理后的珍珠岩尾矿复合聚渣剂样品  
Fig. 1 Perlite tailings compound slag conglomeration agent samples after pre-puffing processing

## 2 试验结果及分析

### 2.1 不同配方珍珠岩尾矿复合聚渣剂的容重、失重率和膨胀倍数

对三种不同配方的珍珠岩复合聚渣剂样品进行性能检测,结果如表2所示。

由表2可知,三种配方的平均容重均在1000  $\text{kg}/\text{m}^3$ 左右,平均失重率在2.4%左右,膨胀倍数在2.4~2.55之间,相差不大。这主要是因为三种配方样品的性能均主要取决于珍珠岩,尤其是膨胀性能。但是配方一的膨胀倍数与其他两种配方相差0.1左右,主要是由于普通玻璃的软化温度为600℃左右,在最终膨胀温度下,玻璃会逐渐软化,体积收缩,导致配方一的最终

表2 不同配方复合聚渣剂样品的性能检测结果  
Table 2 Properties testing results of compound slag conglomeration agent samples

工艺	试样	最终膨胀处理前		最终膨胀处理后		容重 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	平均容重 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	失重率 /%	平均失重率 /%	膨胀 倍数	平均膨 胀倍数
		$m_1$	$v_1$	$m_2$	$v_2$						
配方一	1	3.411	3.38	3.328	8.08	1 008		2.43		2.39	
	2	3.413	3.38	3.329	8.21	1 009	1 011	2.46	2.45	2.43	2.427
	3	3.416	3.36	3.332	8.27	1 016		2.47		2.46	
配方二	1	3.414	3.38	3.331	8.65	1 011		2.43		2.56	
	2	3.410	3.40	3.327	8.64	1 002	1 004	2.42	2.41	2.54	2.537
	3	3.409	3.41	3.328	8.56	999		2.39		2.51	
配方三	1	3.412	3.40	3.329	8.70	1 005		2.43		2.56	
	2	3.409	3.41	3.328	8.63	1 001	1 004	2.39	2.41	2.53	2.543
	3	3.411	3.39	3.329	8.61	1 005		2.40		2.54	

膨胀倍数较小。

## 2.2 不同配方珍珠岩尾矿复合聚渣剂的应用效果

将三种配方珍珠岩尾矿复合聚渣剂试样在生产车

间的浇包中加入等量样品试验，同时再与单一珍珠岩原矿聚渣剂的试验效果进行对比，并在同一时刻记录观察其在铁液中铺展性能、集聚性能和粘包性。试验时铁液温度为1 400 ℃左右。试验结果如图2所示。

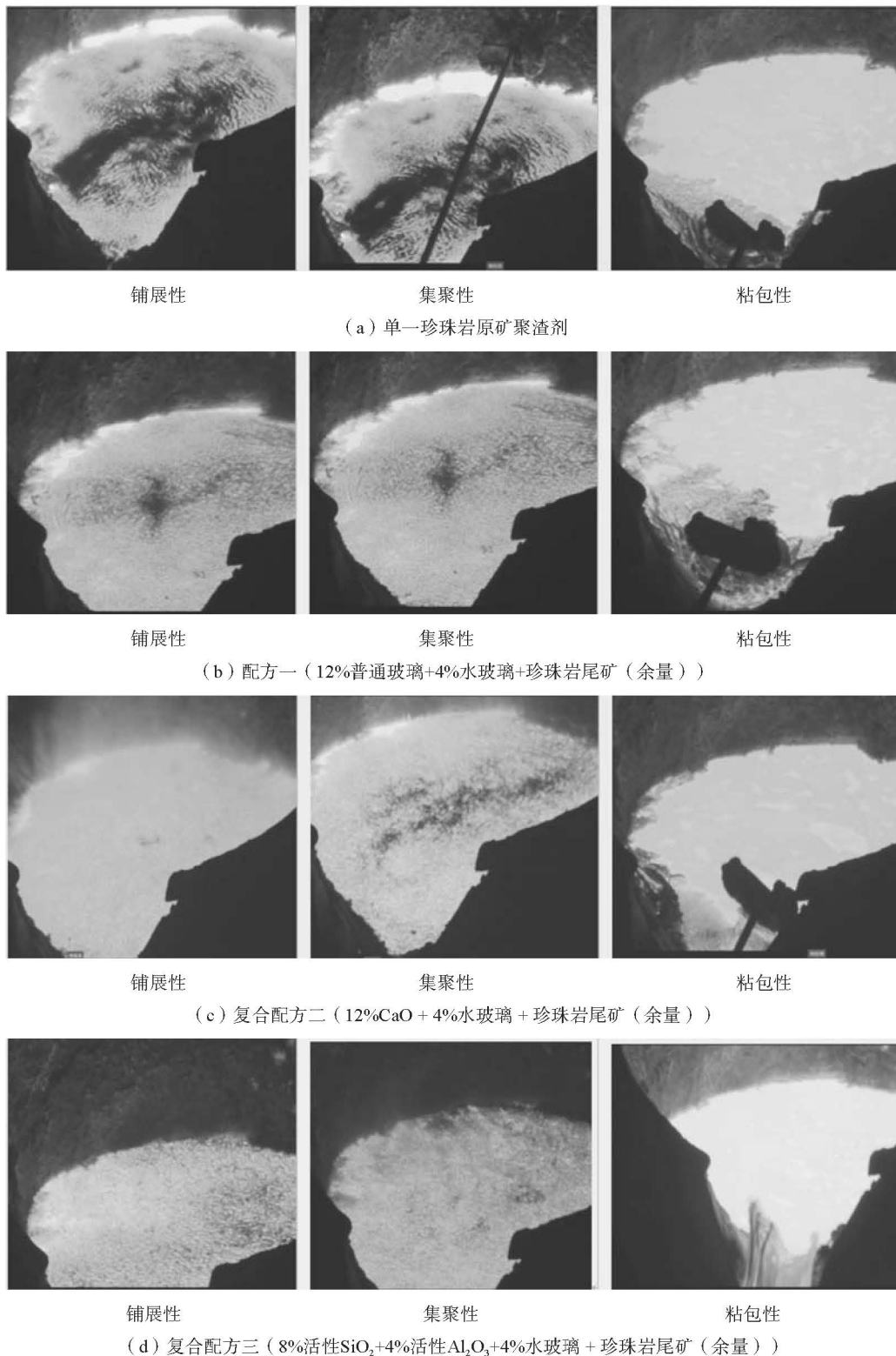


图2 三种不同配方珍珠岩尾矿复合聚渣剂产品的应用效果

Fig. 2 Application effects of three kinds of compound slag conglomeration agent samples

由图2可知,单一珍珠岩原矿作聚渣剂在铁液中使用,铺展的速度比较慢,未能覆盖整个液面,集聚性一般,粘结性差。在距离炉衬边缘有部分铁液未完全覆盖,与其他铺展到的部位颜色相比,铁液中心部分呈黑色团簇状,说明珍珠岩聚渣剂在抛洒至铁液表面时,这部分物料未及时铺展开,叠加至一起,导致珍珠岩聚渣剂未能充分有效利用;在扒渣的过程中,渣体不能整体挑出,部分渣体粘在浇包上,导致铁液不纯净。而三种复合聚渣剂配方的铺展性、集聚性均比单一珍珠岩聚渣剂的效果好。其主要原因是聚渣剂在接触高温的铁液表面时,产生较大蒸汽压力,随着玻璃质的软化,被其包裹的结构水蒸发,珍珠岩不断膨胀,但是相对于未进行预膨化处理的珍珠岩(珍珠岩原矿),预膨化后的珍珠岩结构水含量比较适中,短时间内能够充分保证珍珠岩达到最大的膨胀倍数,容重比较轻,因此能够迅速地铺展至铁液表面。膨胀倍数越大,容重越小,珍珠岩的表面积越大,吸附能力越强,因此其聚渣能力较强。

配方一中玻璃的软化温度更低,大约在600℃左右,从而更大程度降低了复合聚渣剂的软化温度,使渣体的粘结强度更低,容易粘附浇包,在扒渣时容易掉渣。

CaO的熔点在2 572℃,SiO<sub>2</sub>的熔点在1 670℃,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的熔点在2 050℃,配方二和配方三通过添加这些高熔点的辅料来提高复合聚渣剂的软化温度,从而提高渣体的粘结强度,便于渣体的整体分离。

根据聚渣剂的成分可知,渣体的主要组分有SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O等,而SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O在1 400℃时的表面张力因数分别为 $F_{(SiO_2)}=285$ 、 $F_{(Al_2O_3)}=640$ 、 $F_{(CaO)}=614$ 、 $F_{(MgO)}=512$ 、 $F_{(K_2O)}=153$ 、 $F_{(Na_2O)}=299$ <sup>[8]</sup>,多元系硅酸盐渣的表面张力计算公式为:

$$\sigma_{渣} = \sum N_i F_i [\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-1}] \quad (4)$$

式中: $N$ 为摩尔分数, $i$ 主要指SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO等;计算得出,配方二渣体的表面张力约为:

$$\sigma_{渣} = 0.839 \times 285 + 0.08 \times 640 + 0.016 \times 614 + 0.003 \times 512 + 0.023 \times 153 + 0.034 \times 299 = 315.36 [\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-1}];$$

配方三渣体的表面张力约为:

$$\sigma_{渣} = 0.827 \times 285 + 0.097 \times 640 + 0.02 \times 614 + 0.003 \times 512 + 0.025 \times 153 + 0.037 \times 299 = 326.99 [\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-1}];$$

由计算结果可知,配方三在铁液中形成渣体的表面张力较大,因此在扒渣时更利于与铁液分离。

综上所述,优化出的钢铁用珍珠岩尾矿复合聚渣剂的配方是:8%活性SiO<sub>2</sub>、4%活性Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、4%水玻璃、珍珠岩尾矿。经成分检测,其结果如表3所示。

### 3 聚渣剂在实际生产中的应用

基于优化的复合聚渣剂配方及生产工艺所制备的珍珠岩尾矿复合聚渣剂产品,经多家企业使用,均表示该聚渣剂产品不仅具有良好的聚渣、分离性能,渣体能够一次性拔除,减少了工人的劳动强度,而且还能降低作业环境的粉尘污染。

表3 优化的珍珠岩尾矿复合聚渣剂成分

Table 3 Optimized composition of perlite tailings compound slag conglomeration agent

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	w <sub>B</sub> /%
73.77	13.41	1.17	1.41	0.19	3.15	3.58	3.32	

## 4 结论

(1) 三种不同配方的珍珠岩尾矿复合聚渣剂试样的膨胀倍数、容重和失重率性能相近,膨胀性能主要取决于珍珠岩的含量和性能。

(2) 珍珠岩尾矿复合聚渣剂的制备工艺主要包括珍珠岩尾矿中加入粘结剂和辅助材料,混合均匀,烧结,将块状珍珠岩尾矿复合聚渣剂放入干燥炉中,加热到450℃保温15 min,然后破碎筛选粒度为0.3~0.8 mm的珍珠岩颗粒,在箱式电阻炉中进行预膨化处理,温度为950℃,保温时间15 s。

(3) 珍珠岩尾矿复合聚渣剂的配方为:8%活性SiO<sub>2</sub>、4%活性Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、4%水玻璃,其余为珍珠岩尾矿。珍珠岩尾矿复合聚渣剂产品在钢液和铁液使用过程中具有良好的铺展性、集聚性、不粘包性。

**参考文献:**

- [1] 廖超. 一种珍珠岩的预处理工艺优化及其应用研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [2] 吕维华, 夏德强, 伍家卫, 等. 珍珠岩-膨润土复合助滤剂制备高交联环氧漆 [J]. 化工技术与开发, 2018, 47 (7): 1-4.
- [3] 刘新海, 沈上越, 李一波. 珍珠岩尾矿表面改性与应用试验 [J]. 中国矿业, 2003 (11): 51-53.
- [4] 丁力, 李纓, 刘纯. 利用珍珠岩尾矿制备发泡陶瓷的研究 [J]. 墙材革新与建筑节能, 2015 (1): 47-50.
- [5] 于永生. 珍珠岩尾矿制备 $\alpha$ -萘青石微晶玻璃及其性能研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2019.
- [6] 刘新海, 沈上越, 李一波. 珍珠岩尾矿综合利用深加工及其产业化 [J]. 非金属矿, 2003 (6): 26-27.
- [7] 宋世林. 优化膨胀珍珠岩绝热制品性能探讨 [J]. 非金属矿, 2000 (5): 19-20.
- [8] 吴铖川, 成国光, 马琦琦.  $\text{CaF}_2$ - $\text{CaO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{SiO}_2$ 渣系表面张力计算模型 [J]. 上海金属, 2014, 36 (3): 33-36, 41.

---

## Preparation and Application of Perlite Tailings Compound Slag Conglomeration Agent

LU Yong-jun, FAN An-ding, HAN Fei, LU Ya-nan, SHEN Hong-min  
(Henan Yuzhong New Materials Co., Ltd., Luohe 462000, Henan, China)

**Abstract:**

The perlite tailings compound slag conglomeration agent were prepared, and the main processes were as follows: the perlite tailings were used as the main raw material, the binder was added in the perlite tailings and sintered into blocks after mixing evenly, and then the blocks were broken and separated. This study investigated the effect of slag conglomeration agent composition on the application effect. The results shows that the spreading ability in iron liquid, slag conglomeration and slagging-off effects of the perlite tailings compound slag agent are better than those of the single perlite slag agent when the composition of the compound slag agent was 8% activity  $\text{SiO}_2$ , 4% activity  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4% sodium silicate and the rest perlite tailings. The application of the perlite tailings compound slag conglomeration agent can improve the utilization rate of perlite tailings and realize the reuse of waste resources.

**Key words:**

perlite tailing; slag conglomeration agent; binder