

熔渣调质制备矿渣棉及棉板综述

李招君, 邢宏伟

(华北理工大学, 现代冶金技术教育工作室, 河北 唐山 063009)

摘要: 矿渣棉是一种集保温、隔热、吸音降噪等多种优点于一身的材料, 在众多领域里都扮演着重要角色。本文概述了矿渣棉的成分、特点、国内外研究现状。介绍了华北理工大学在矿渣棉制备过程中首次采用电弧炉熔化调质设备对原料进行熔融调质, 用离心法进行成纤, 获得了纤维直径小于 $7\ \mu\text{m}$, 渣球含量小于 10% 的矿渣纤维。并且建设了高炉熔渣离心成纤的半工业化试验平台, 实现了熔渣在线直接成纤制备渣棉板。本文还叙述了渣棉板的制备工艺流程及对保温板的性能优化, 并概述了矿渣棉生产中存在的不足和应用前景。

关键词: 高炉渣; 离心; 矿渣棉; 矿渣棉板

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.02.005

中图分类号: TD989;X757

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2019) 02-0026-04

高炉渣是炼铁过程中的副产品, 每炼一吨生铁就有 300 ~ 350 kg 的高炉渣, 是冶金废渣中最多的一种^[1-2]。在国家实行“零排放”的要求下, 一些钢铁企业和科研人员对高炉渣的回收利用进行了大量研究, 在建筑建材方面获得了重大的成就, 如制备水泥、混凝土掺合料、空心砖、铺路材料、微晶玻璃及新型的墙体材料等^[3-7], 并且在高钛高炉渣的利用上也取得了一些成就。虽然高炉渣的利用率得到了很大的提高, 但还有许多问题亟待解决。如大部分高炉渣采用水淬处理, 造成熔渣显热不能有效地被利用和造成水资源浪费。另外, 高炉渣生产矿渣棉的过程中也存在不足, 一些国内渣棉厂家一般将高炉干渣和调质剂混合后, 加入冲天炉内进行熔融调质, 再经过喷吹或离心进而得到矿渣棉, 使用冲天炉不仅污染环境而且热熔渣的巨大潜热也被浪费^[8]。因此, 张玉柱^[9]通过研发电弧炉熔渣调质平台制取矿渣棉并对渣棉板进行优化, 在解决熔渣显热问题时又生产了高附加值产品。

1 矿渣棉的成分及特点

1.1 矿渣棉的成分

高炉渣矿棉是由炼铁废料高炉渣制成, 不同渣棉的化学成分见表 1。

表 1 矿渣棉的主要化学成分 / %
Table 1 Chemical compositions of the slag wool

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
40~50	10~20	0~3	30~40	3~8	0~1

矿渣棉中的 SiO₂ 不仅能够影响矿渣棉的化学稳定性, 而且 SiO₂ 含量高有利于制取长纤维。低含量的 Al₂O₃ 虽然不利于纤维的化学稳定性, 但对原料的熔化温度和熔体形成纤维的温度有很好的影响, 可以降低两者的温度, 并能够制取粗纤维。CaO 和 MgO 的作用基本一样, 属于弱碱性氧化物, 在形成坚固的纤维骨架方面有不利的影 响, 从而降低纤维的化学稳定性。如果降低 CaO 和 MgO 的含量, 那么有利于增强纤维骨架的坚固性, 并且提高化学稳定性, 原料更容易熔化和获取细纤维。

1.2 矿渣棉的特点

矿渣棉的表面为圆柱状, 是一种截面通常呈圆形的白色絮状物。高炉渣矿棉的内部因为有一定含量的开口和闭口微孔, 被应用在建筑建材等行业时能够消除回音、降低声波反射和楼板传递的噪音; 而且内部的多孔结构对降低热传递有一

收稿日期: 2017-11-21; 改回日期: 2017-12-24

作者简介: 李招君 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向为冶金固体废弃物综合利用。

定的作用，具有良好的隔热性，所以被制成的保温板在建筑行业中能够起到冬暖夏凉的作用。其次，高炉渣矿棉主要以无机质硅酸盐矿棉为主，此种材料不易燃烧，所以发生火灾时矿渣棉能够阻挡火势的蔓延，降低对生命财产的威胁性。另外，还有质轻、防虫蛀、耐化学腐蚀、价格低廉等优点，因此被制成各种产品应用在各个领域，是一种良好的保温、节能材料。

2 矿渣棉的制备

2.1 国内外研究现状

大约从上世纪30年代初国外大规模的出现研究矿渣棉生产工艺的厂家，而日本直接利用高炉熔渣生产矿渣棉的工艺一直处于世界领先地位。近几年，日本又有三家企业掌握了利用电炉法生产矿渣棉的技术。其中技术最为先进的则是日本钢铁工程控股公司(JFE)，能够在使用电炉法的基础上生产矿渣棉毡制品，并且矿渣棉的质量也很好^[10]。我国生产矿渣棉起步较晚，且情况不容乐观。传统的矿渣棉制备采用的是冲天炉法，

将冷态的高炉渣、焦炭和调质剂投入到炉内进行重熔、调质，再经过高压空气或蒸汽喷吹进而得到矿渣棉。此种方法不仅浪费了高炉熔渣的显热，加速环境污染，纤维质量较差而且生产成本也大大提高。因此，冲天炉法并没有受到人们欢迎，逐渐被淘汰。王东等^[11]提出了“铁煤联产工艺”，将热态的高炉渣移到调质炉，按照配比进行调质，利用氧煤混喷技术进行二次加热提高温度，从而得到矿渣棉。虽然该工艺能够很好的利用高炉熔渣的显热，但是需要消耗大量的煤，不利于节约能源。目前，许多科研人员对电炉法制备矿渣棉的技术进行了大量研究，由于受到技术和场地的限制，一直没有得到满意的结果。针对这种缺陷，华北理工大学首次采用交流电弧炉熔化调质设备，液态熔渣通过在线直接电炉调质处理后，再经过离心成纤制棉生产线进行生产。此技术在提高了除尘率、渣棉质量的同时还降低了能源消耗。

2.2 熔渣调质成纤

试验以唐山某钢厂的高炉渣为原料，某地区的铁尾矿为调质剂，其化学成分见表2。

表2 高炉渣及铁尾矿的化学组成/%
Table 2 Chemical composition of blast furnace slag and iron mining tailings

	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TFe
高炉渣	33.94	35.01	7.82	14.64	1.02	1.73	0.42	0.30	2.02
铁尾矿	71.93	3.06	4.14	4.93	0.15	4.75	1.40	0.92	6.07

将表中高炉渣的化学成分与高炉渣 SiO₂-Al₂O₃-CaO 三元系统中冶金矿渣和火成岩的状态图中能够形成矿渣棉纤维的化学成分范围(SiO₂: 36%~68%, CaO: 23%~48%, Al₂O₃: 5%~28%) 进行比较见图1，可知原高炉渣的成份不在矿渣棉纤维范围内。

经过大量试验证明选用高含量 SiO₂ 的铁尾矿进行调质，使得调质后的在 1.2~1.4 之间满足成纤要求，酸度系数 Mk 由式(1)可计算得到：

$$M_k = \frac{m(SiO_2) + m(Al_2O_3)}{m(CaO) + m(MgO)} \quad (1)$$

调质后的高炉渣的化学成份见表3。

表3 调质高炉渣的化学成分及配比
Table 3 Chemical compositions and proportioning of the quenched blast furnace slag

酸度系数	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TFe
1.2	35.46	33.73	7.67	14.25	0.99	1.85	0.46	0.32	2.18
1.3	37.74	31.81	7.45	13.67	0.93	2.03	0.52	0.36	2.42
1.4	39.64	30.22	7.27	13.18	0.89	1.18	0.57	0.39	2.63

将冷态高炉渣与铁尾矿破碎，倒入熔炼能力为 1.5 t 的交流电弧熔化调质炉，当温度升高到一定要求后开始倾倒，熔渣流经导流槽后滴落到离

心机上进行成纤。流嘴的外部采用铸铁板，内部镶嵌耐火砖，从而保证熔渣流动过程中温降最小。采用的成纤设备为四辊离心机，其直径分别

为 (1×213)mm、(2×295) mm、(3×295) mm、(4×295) mm，所对应的转速分别为 2070 r/min、3093 r/min、4350 r/min、5800 r/min。此种成纤方法相对于喷吹法获得的纤维量大，质量好，节约能源。而且在此平台上制备的纤维具有光滑呈圆柱状的表面，直径围绕 4.6 μm 左右浮动且渣球的平均含量在 4.4% 均符合国标要求 (≤ 10%)。试验表明：随着 Mk 的变大，纤维直径会加粗。这主要是因为：在相同温度下，体系中酸性氧化物含量及硅酸二钙等高熔点的矿相析出量会随着 Mk 的增加而增多。Mk 增大时，渣中的 SiO₂ 吸收 O²⁻ 生成 (SiO₄)⁴⁻ 等复合阴离子团，使体系黏度变大，进而熔渣的流动性变差，在相同作用力的条件下，熔渣不易被甩出，造成纤维直径较粗。

2.3 成纤原理

高炉熔渣成纤过程是由连续的液态熔渣形成熔体细丝后迅速冷却固化的过程。当高炉熔渣滴落到离心辊表面时，在熔渣粘性力的作用下部分熔渣形成液体薄膜，与此同时由于离心力的作用大量的熔渣迅速滴落到下一辊面，而离心辊的表面并不完全光滑，所以液膜依靠摩擦力随离心辊一起做旋转运动；随着液膜速度的持续增加，导致气液两相的相对运动加剧，由于 Kelvin-Helmholtz 不稳定性，液膜表面将发生扰动，形成不稳定的脉冲波；与此同时，由于 Rayleigh-Taylor 不稳定性，在波峰波谷位置会出现能量的堆积和减弱。这时，随着液膜速度变大，波长也随之增加，当波长达到一定值后，在波峰位置形成不稳定的凸起；在离心力的作用下，凸起开始拉伸生长，形成一条柱状液丝。基于边界层理论对高炉熔渣离心成纤建立了数学模型，通过对数学模型分析可知：离心辊的转速和半径对熔渣纤维的形成有一定的影响。增大转速和离心辊半径有利于高炉渣纤维的形成，但是过高反而降低纤维质量。并且适当增加高炉渣运动粘度系数和密度能够有效提高高炉熔渣的成纤率。

3 矿渣棉板的制备

离心出来的纤维经过风选沉降在集棉室进行铺棉，铺棉的方式有平铺型和摆锤型。摆锤法是建立在平铺法上，对收棉方式进行了改善，摆锤

法将收集后的薄渣棉一层层叠加到所需的层数与厚度。这种方法使棉层和所含粘结剂的匀称性得到提高，而且棉层以一定的角度进行叠铺，致使部分纤维呈竖向分布，进而抗压强度及层间的结合强度得到改善。现为止已经有高速三角网带或鼓式集棉机，其集棉方式是将原不匀称的纤维进行多维排列。铺棉的同时采用半干法喷胶方式对纤维施加粘结剂，直至将矿渣纤维完全铺到纤维板上，之后放入鼓风干燥箱内恒温 140℃ 条件下，干燥 5 h，再经过剪切、密封等工序制得渣棉板。矿渣棉板制备流程见图 1。

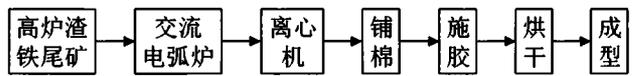


图 1 矿渣棉板制备流程

Fig. 1 Flow chart of slag wool board preparation

由于在试验室条件下无法进行高炉熔渣直接成纤、粘结、成板工艺，所以华北理工大学建设了高炉熔渣离心成纤的半工业化试验平台，可以将高炉渣调质、成纤和喷胶工艺进行衔接，能为高炉熔渣成纤提供理论依据。半工业化试验室平台主要包括制棉系统、铺棉系统、喷胶系统、制板系统、冷却输送设备、切割系统、除尘系统固化炉热风系统、废边回收系统、包装设备等，有集制棉、集棉、铺棉、制板于一体的优点，而且传统过程中大多数会选用酚醛树脂做粘结剂，这类粘结剂制成的板材虽然强度高，耐高温性好，但在生产及使用过程中会释放出甲醛，不仅污染环境还会对人的身体健康产生危害。本课题组人员采用新型的粘结剂聚乙烯醇缩戊二醇制得的高炉渣纤维板与酚醛树脂保温制品相差无 [12]。这种新型的粘结剂几乎没有污染气体排放，有很大的应用价值，还可以很大程度提高纤维板的密度和吸湿性能。由于现场没有高炉煤气管道，在后期烘干过程中采用的生物质为燃料，所以整个过程无污染，环保节能。

另外，制得的矿渣棉板有吸湿的缺点，要是长时间在空气中暴露，则容重增加，吸声保温等优势都会明显降低。为了制备性能较好的高炉渣纤维板不仅要求采用粘结强度高且环保的粘结剂，

在提高纤维粘结力的同时更要降低纤维板的吸湿率。因此添加性能好的憎水剂来解决粘结剂本身吸湿造成的吸湿问题也成为了重要研究方面。

4 结 语

华北理工大学首次采用电弧炉熔化调质设备,并建设了高炉熔渣离心成纤半工业化试验平台,解决了高炉熔渣直接成纤在线生产的技术难题。此外,我国生产矿渣棉的都是一些小型企业,生产技术不达标,无法打入中高端市场,故而得到的矿渣棉大都用于工业设备和管道保温,在人们需求较大的建筑领域方面应用极少。如果矿渣棉在建筑领域方面的性能达到较高要求,那么仅建筑行业上的需求量就将达到上百万吨。可见,矿渣棉在此行业具有很好的市场前景。还可以以高炉渣为基础原料,通过工艺参数优化与熔渣成分微调,在离心吹制的工艺下,使其达到农用岩棉基质的要求,选出适于无土栽培的高炉渣矿棉来替代高成本的农用岩棉,在拓宽高炉渣矿棉应用领域的同时还促进了无土栽培的发展。因此,发展矿渣棉不仅具有巨大的商业利益,而且也是高炉渣综合利用的较佳途径。

参考文献:

- [1] 杨光义,孙庆亮,李志锋.高炉渣处理技术进展[J].莱钢科技,2009(1):5-8.
- [2] 马忠民,翟国营,刘三军.安钢钢铁渣循环利用方案探讨[J].河南冶金,2010,18(5):26-29.
- [3] 刘邦军,池鹏飞,赵慧玲.高炉水渣的性能特征及应用途径[J].河南冶金,2005,13(6):29-31.
- [4] 王延顺,张雷,杨丽华.粒化高炉渣在混凝土中的应用[J].鞍钢技术,2003(5):41-44.
- [5] 王怀斌.利用攀钢高钛型高炉渣配制高性能混凝土的研究[J].攀枝花科技信息,2006(4):13-18.
- [6] 王国新,曹万智,王洪镇.高炉渣在新型墙体材料中的应用研究[J].中国资源综合利用,2009,27(04):8-11.
- [7] 杨淑敏,张伟,戴晔.利用新疆高炉渣制备微晶玻璃的研究[J].硅酸盐通报,2014,33(1):48-53.
- [8] 肖永力,李永谦,刘茵,等.高炉渣矿棉的研究现状及发展趋势[J].硅酸盐通报,2014,33(7):1689-1694.
- [9] 李智慧,张玉柱,龙跃,等.调质熔渣制备矿渣棉及棉板的中试研究[J].材料与冶金学报,2017,16(1):63-67.
- [10] 蒋伟中,胡小媛.他山之石,可以攻玉——中国绝热隔音材料协会应邀赴日本考察纪实[J].建材世界,2007,28(1):5-6.
- [11] 王东,周扬民,罗思义,等.铁棉联产的优质矿渣棉生产工艺[J].材料与冶金学报,2015,14(2):83-86.
- [12] 康月,李跃华,张玉柱,等.粘结剂种类和用量对高炉渣棉纤维板性能的影响[J].新型建筑材料,2016,43(1):63-67.

Review of Slag Wool and Cotton Board Prepared by Quenched Slag

Li Zhaojun, Xing Hongwei

(Modern Metallurgical Technology Education Studio, North China University of science and technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: As a kind of heat preservation, heat insulation and sound-absorbing material, blast furnace slag has been widely used in many industries. This article mainly reviewed the component, properties and the research status at home and abroad. An experiment platform of electric arc for molten slag quenching furnace was developed, centrifugal fibrillation was used and the realization of semi-industrial experiment platform for blast furnace slag centrifugal fiber can be directly prepare cotton board. slag wool production including injection, centrifugal, centrifugal blowing. This paper also describes the process of slag wool board. Finally, the shortcoming and application prospect are elaborated.

Keywords: Blast furnace slag; Centrifugal; Slag cotton; Slag wool board