高炉瓦斯泥浮选碳工艺试验研究

牛福生[1,2]，刘亚[1]，张晋霞[1,2]

（1. 华北理工大学矿业工程学院，河北　唐山　063009
2. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室，河北　唐山　063009）

摘要：河北某钢厂高炉瓦斯泥碳原矿品位为 25.56%，碳含量较高，是很好的选碳原料，具有很高的利用价值。对高炉瓦斯泥中的碳进行浮选回收不仅可以提高资源利用效率，减少资源浪费，又可以很好的保护环境。本文在分析高炉瓦斯泥原料性质的基础上，通过单一浮选条件试验，考察了不同的矿浆浓度，抑制剂用量，捕收剂用量，起泡剂用量对浮选最终效果的影响，找到了合适的高炉瓦斯泥碳浮选回收工艺。试验结果表明：在矿浆浓度为 5%，六偏磷酸钠用量为 80 g/t，苛性淀粉用量为 80 g/t，捕收剂柴油用量为 900 g/t，起泡剂 2# 油用量为 50g/t 的条件下经过一次粗选三次精选的开路浮选工艺流程，最终获得了产率为 25.79%，品位为 69.85%，回收率为 70.31% 的碳精矿，取得了较好的选别指标，为此类矿物的选别提供宝贵经验。

关键词：高炉瓦斯泥；浮选；碳；药剂制度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.03.025

中图分类号：TD989　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000-6532（2018）03-0121-04

高炉瓦斯泥是由钢铁冶炼过程中在高温区反应产生的微细粒和高炉煤气携带出的原料粉尘，经湿式除尘洗涤沉淀浓缩后而得到的产物。高炉瓦斯泥含有大量的铁、碳，是很好的选碳选铁原料[1-4]。如不对这些瓦斯泥进行合理的回收利用，不仅会造成环境污染，也是对资源的极大浪费[5]。瓦斯泥颗粒细微、含水率大、含锌量高，含杂质较高，不宜直接返回烧结，难以回收利用[6-7]，因此需要探究合理的工艺流程来回收其中的有用成分。

近些年来，许多学者对高炉瓦斯泥中碳的浮选回收利用进行了大量研究，张晋霞等[8]采用微泡浮选柱法回收高炉瓦斯泥中的碳，获得了产率为 24.75%、品位为 74.21%、回收率为 62.94% 的碳精矿，取得了较好的分选指标。汪文生等[9]采用两段浮碳、两段浮硅的工艺流程，对瓦斯泥原矿进行选别，经过多次试验，最终获得的碳精矿品位在 70% 左右，回收率达到 90% 以上。

本文在基于对高炉瓦斯泥原料性质分析的基础上，提出一次粗选 - 三次精选回收瓦斯泥中碳的浮选工艺技术，选别指标良好，为大规模工程转化提供了可靠的技术支撑。

1 原料性质

1.1 原料化学多元素分析

试验所用高炉瓦斯泥原料取自河北某钢厂，其化学多元素分析结果见表 1。

表 1　原料化学成分分析结果 /%

Table 1　Analysis results of chemical composition of the raw materials

TFe	C	ZnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	K_2O
34.21	25.56	5.61	7.41	13.03	9.33	2.14

由表 1 可以看出，原料中有用成分是铁和碳，全铁的含量为 34.21%，含量较高，碳的含量为 25.56%，可以通过合理的选矿方法回收利用。本文主要通过浮选试验研究，实现碳的富集。

1.2 矿物组成分析

收稿日期：2016-08-19；**改回日期：**2016-10-18
基金资助：河北省自然科学基金资助项目（E2015209117）；河北省科技厅项目（5213812）资助
作者简介：牛福生（1974-），男，教授，硕士生导师，主要从事复杂难选矿选矿方面的科研工作。
通讯作者：刘亚（1992-），男，硕士研究生，15127501672；272386623@qq.com

万方数据

对高炉瓦斯泥原料进行 XRD 分析，分析结果表明，该高炉瓦斯泥的矿物组成较复杂。原矿中主要有用矿物为赤铁矿、碳和黄铁矿，脉石矿物主要为石英。

1.3　粒度组成分析

取有代表性的高炉瓦斯泥矿样，用标准套筛进行筛分分级，粒度组成结果见表 2。

表 2　高炉瓦斯泥粒度筛析结果

Table 2　Sieving analysis results of blast furnace sludge

粒级 /mm	产率 /%	碳品位 /%	碳分布率 /%
+0.149	6.36	29.54	7.32
-0.149+0.074	8.31	27.72	8.98
-0.074+0.043	15.62	27.02	16.45
-0.043+0.038	18.77	26.56	19.44
-0.038+0.025	10.16	25.85	10.24
-0.025+0.018	14.52	23.79	13.47
-0.018	26.26	23.54	24.10
合计	100.00	25.65	100.00

由表 2 可以看出，试验所采用的瓦斯泥粒度极细，-0.074 mm 85.33%，各粒级粗细分布不均匀。在所分的各个粒级中，粗粒级品位较高，其中 +0.149 mm 品位达到 29.54%，细粒级品位较低，-0.018 mm 粒级品位为 23.54%。

2　高炉瓦斯泥浮选回收碳试验研究

通过分散试验，发现加入分散剂六偏磷酸钠能对瓦斯泥矿浆有很好的分散作用，加入抑制剂能有效抑制铁和其他脉石矿物，提高碳的选别效果。通过一系列浮选试验，探究了影响碳回收的因素，其主要影响因素有矿浆浓度、抑制剂用量、捕收剂用量、起泡剂用量以及精选次数等[10-11]，具体试验流程见图 1。

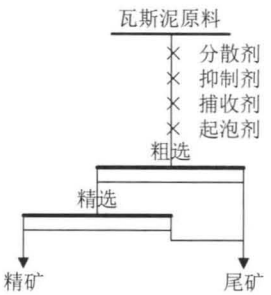

图 1　浮选条件试验流程

Fig .1　Flow chart of flotation condition test

2.1　粗选矿浆浓度试验

对原料进行一次粗选试验，在六偏磷酸钠用量为 80 g/t，捕收剂柴油用量为 900 g/t，起泡剂用量为 50 g/t 的条件下进行矿浆浓度试验，试验结果见图 2。

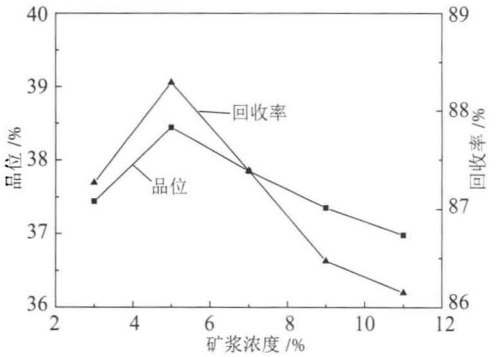

图 2　矿浆浓度与碳精矿品位和回收率的关系

Fig .2　Relation between pulp density and carbon concentrate grade and recovery

由图 2 可知，在矿浆浓度从 3% 增加到 11% 过程中，碳精矿的品位和回收率均呈现出先增加后减少的趋势，这是因为随着浓度的增加矿浆中碳颗粒增多，在搅拌过程中碰撞概率增大，增强了与药剂的作用。所以在矿浆浓度为 5% 时，碳精矿品位和回收率同时达到了最大值，浮选效果最佳。在达到最大值后，随着矿浆浓度的继续增大，矿物颗粒难以和药剂充分接触，导致碳精矿品位和回收率均有较大的降低。因此选定的矿浆浓度为 5%，此时的碳精矿品位为 38.44%，回收率为 88.29%。

2.2　粗选抑制剂用量试验

在矿浆浓度为 5%，六偏磷酸钠用量为 80 g/t，柴油用量为 900 g/t，起泡剂用量为 50 g/t 的条件下，进行抑制剂用量试验，试验结果见图 3。

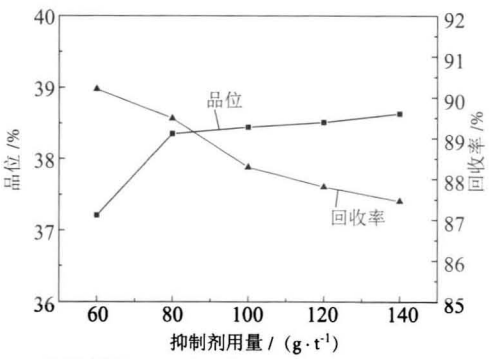

图 3　苛性淀粉用量与碳精矿品位和回收率的关系

Fig . 3　Relation between the dosage of caustic starch and carbon concentrate grade and recovery

万方数据

从图 3 中能够得出，苛性淀粉用量从 60 g/t 变化到 140 g/t 时，碳精矿的品位呈逐渐增大趋势，回收率则一直呈现下降的趋势。当苛性淀粉用量为 80 g/t 时，碳精矿品位达到 38.35%，此后碳精矿品位增加趋于平缓，而回收率在 80 g/t 到 100 g/t 过程中，降幅较大。综合考虑碳精矿的回收率和品位，苛性淀粉选用 80g/t 时浮选效果最好。此时碳精矿品位为 38.35%，回收率是 89.49%。

2.3 粗选捕收剂用量试验

在矿浆浓度为 5%，六偏磷酸钠用量为 80 g/t，起泡剂用量为 50 g/t 的条件下进行捕收剂用量试验，试验结果见图 4。

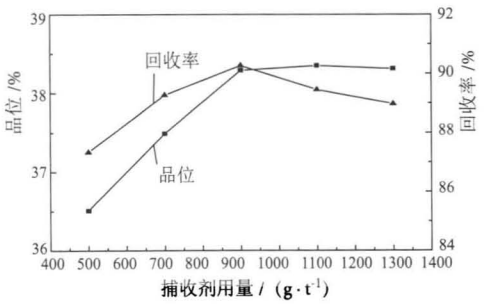

图 4　柴油用量与碳精矿品位和回收率的关系

Fig .4　Relation between the dosage of diesel and carbon concentrate grade and recovery

由图 4 试验结果可知，随着捕收剂柴油用量的增加，碳精矿品位逐渐上升并趋于平缓，与此同时，碳的回收率呈先增后减的趋势，并在捕收剂用量为 900 g/t 时达到最大值，综合考虑碳精矿品位和回收率，选择捕收剂用量为 900 g/t，碳精矿品位为 38.29%，回收率为 90.27%。

2.4 粗选起泡剂用量试验

在矿浆浓度为 5%，六偏磷酸钠用量为 80 g/t，捕收剂柴油用量为 900 g/t 的条件下进行起泡剂用量试验，试验结果见图 5。

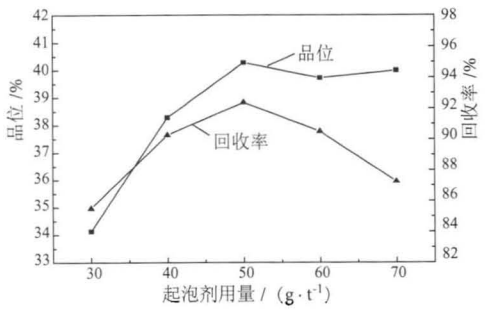

图 5　2 号油用量与碳精矿品位和回收率的关系

Fig .5　Relation between the dosage of 2# oil and carbon concentrate grade and recovery

由图 5 可以看出，碳精矿回收率先增加后减小，品位逐渐增加至平稳。当 2# 用量由 30 g/t 变化到 50 g/t 时，碳精矿的品位和回收率都在增大，当 2# 用量为 50 g/t 时，碳精矿的品位为 40.28%，回收率也达到了最大值为 92.38%。随着 2# 用量的继续增加，碳精矿回收率开始下降，品位几乎维持不变。因此选用 2# 用量为 50 g/t 时较适宜。

2.5 精选试验

粗选试验完成之后，为了有效提高碳的品位，需要进行精选试验。在精选工艺试验中，由于粗选精矿中有一定数量的铁矿物，为了提高碳精矿的品位，因此在精选中加入苛性淀粉作为抑制剂，经过一系列探索试验，最终选定一粗三精的浮选工艺流程。试验结果见表 3。

表 3　一粗三精浮选流程试验结果

Table 3　Flotation test results of one roughing and three cleaning

产品名称	产率 /%	品位 /%	回收率 /%
粗浮尾	41.24	4.73	7.62
1 精尾	15.81	15.48	9.55
2 精尾	11.65	17.87	8.13
3 精尾	5.51	20.43	4.30
3 精精	25.79	69.85	70.31
合计	100.00	25.68	100.00

2.6 精矿产品检测与分析

高炉瓦斯泥经过一次粗选三次精选后得到可得到产率为 25.79%，品位为 69.85%，回收率为 70.31% 的碳精矿，对最终碳精矿产品进行化学多元素分析，分析结果见表 4。

表 4　碳精矿化学成分分析结果 /%

Table 4　Analysis results of chemical composition of carbon concentrate

C	TFe	ZnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	K_2O
69.81	2.15	0.61	0.47	6.03	1.33	0.54

3　结　论

（1）通过瓦斯泥原矿化学成分及 XRD 分析可知，原矿中主要有用矿物为赤铁矿、碳和黄铁矿，脉石矿物主要是石英。

（2）综合考虑以上各个试验结果，最终选定的粗选条件是矿浆浓度为 5%，六偏磷酸钠用量

万方数据

为 80 g/t，苛性淀粉用量为 80 g/t，捕收剂柴油用量为 900 g/t，起泡剂 2# 用量为 50 g/t，经过一粗三精的开路试验，可得到产率为 25.79%，品位为 69.85%，回收率为 70.31% 的碳精矿，取得了较好的选别指标。

参考文献：

[1] 刘秉国，彭金辉，张利波，等．高炉瓦斯泥（灰）资源化循环利用研究现状 [J]. 矿业快报 ,2007 (5):14-19.

[2] 林高平，邹宽，林宗虎，等．高炉瓦斯泥回收利用新技术 [J]. 矿产综合利用 ,2002 (3):42-45.

[3] 成海芳，文书明，殷志勇．攀钢高炉瓦斯泥的综合利用 [J]. 矿产综合利用 ,2007 (1):46-48.

[4]A.López-Delgado,C.Pérez,F.A.López, The influence of carbon content of blast furnace sludges and coke on the adsorption of lead ions from aqueous solution,Carbon,Volume 34,Issue 3,1996, Pages 423-426.

[5] 石磊，陈荣欢，王如意．钢铁工业含铁尘泥的资源化利用现状与发展方向 [J]. 中国资源综合利用 ,2008 (2):12-15.

[6] 胡晓洪，张志芳，黎燕华．高炉瓦斯泥综合利用的研究 [J]. 矿业快报 ,2004 (8):14-16.

[7]Magnus Fröhling,Otto Rentz,A case study on raw material blending for the recycling of ferrous wastes in a blast furnace, Journal of Cleaner Production,Volume 18,Issue 2,January 2010, Pages 161-173.

[8] 张晋霞，牛福生，刘淑贤，等．利用浮选柱从高炉瓦斯泥中回收碳的试验研究 [J]. 中国矿业 ,2013 (12):102-105, 116.

[9] 汪文生，冯莲君，潘旭方等．用浮选法综合回收高炉瓦斯泥中碳、铁试验研究 [J]. 金属矿山 ,2004 (8):498-500.

[10] 聂铁苗，戴奇卉，牛福生．从高炉瓦斯泥中浮选碳精矿的影响因素研究 [J]. 中国矿业，2015 (1): 128-130.

[11] 张晋霞，牛福生，徐之帅．钢铁工业冶金含铁尘泥铁、碳、锌分选技术研究 [J]. 矿山机械 ,2014, 6 (42): 97-102.

Research on Carbon Flotation Recovery from Blast Furnace Sludge

Niu Fusheng[1,2],Liu Ya[1],Zhang Jinxia[1,2]

(1. College of Mining Engineering, Hebei United University, Tangshan, Hebei, China;

2. Hebei Province Mining Industry Development and Safe Technology Priority Laboratory, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: The blast furnace sludge carbon ore grade of a steel plant in Hebei was 25.56%, and the carbon content was high, which was a good choice of carbon raw materials with high utilization value. The flotation recovery of carbon in blast furnace gas slurry can not only improve the efficiency of resource utilization, but also can reduce the waste of resources and protect the environment. In this paper, based on the analysis of blast furnace gas sludge raw material properties, through the experimental study on the single flotation conditions, the effect of different pulp density, inhibitor dosage, dosage of collector, and the dosage of foaming agent on flotation was studied eventually. Tthe appropriate process was determined for carbon recovery from the blast furnace sludge. By using the process of one roughing three cleaning, it found that pulp concentration was 5%, the dosage of sodium hexametaphosphate was 80 g/t, the dosage of caustic starch 80 g/t, the diesel consumption is 900 g/t, and the foaming agent dosage of 2# oil was 50 g/t. At last, the carbon concentrate with the yield of 25.79% , the grade of 69.85% and the recovery of 0.31% was obtained, which can provide valuable flotation experience for such minerals.

Keywords: Blast furnace sludge; Flotation; Carbon ; Reagent regime

万方数据