

磁化焙烧产品冷却氧化过程中的相变行为研究--菱铁矿

作者：有故事的人 来源：范文网 www.wtabcd.cn/fanwen/

本文原地址：<https://www.wtabcd.cn/zhishi/a/170195094039345.html>

范文网，为你加油喝彩！

2023年12月7日发(作者：孤注一掷什么意思)

-



韩
愈

**书山有路勤为径
学海无涯苦作舟**

**读书患不多
思义患不明
足己患不学
既学患不行**

Series No. 522 金属矿 山总第522期2019 年第 12 期December

2019 METAL MINE

磁化焙烧产品令却氧化it殒中的

相变行务所究一爰攸矿秦彩霞1摘要孙永升2陈毅琳1唐晓玲1朱霞丽1秦丽娜1(1.酒泉钢铁集团有限责任公司，甘肃嘉峪关735100;2.东北大学资源与土木工程学院，辽宁沈阳110819)磁化焙烧工艺作为处理难选铁矿资源的有效工艺，近年来在菱铁矿资源开发中的应用研究取得了巨

大进展。在菱铁矿磁化焙烧的工业化生产中，焙烧产品的冷却是影响焙烧产品品质的重要环节。以西北某矿区菱铁矿为研究对象，通过拣选—强磁选—重选流程得到纯度为80.6%的菱铁矿作为试验物料进行磁化焙烧，考察了惰性气氛冷却、水淬冷却、空气气氛冷却对焙烧产品的影响，深入研究了空气气氛冷却方式下，焙烧产品在不同氧

化温度、氧化时间条件下的氧化行为和相变情况。结果表明：焙烧产品在惰性气氛冷却和水淬方式冷却过程中基本不发生氧化反应；在空气冷却方式下，氧化温度和氧化时间对菱铁矿磁化焙烧产品的影响显著；在氧化温度为100 ℃，焙烧产品基本不发生氧化；在氧化温度高于300 ℃，焙烧产品开始发生明显氧化；氧化温度为500 ℃、氧化

时间2.5 min时，焙烧产品中的磁铁矿全部被氧化。磁化焙烧产品氧化后生成 α -Fe₂O₃和 γ -Fe₂O₃两种铁物相，在氧化反应过程中先生成 γ -Fe₂O₃，后生成 α -Fe₂O₃。试验结果可以为菱铁矿磁化焙烧工艺的优化提供参考。关键词菱铁矿磁化焙烧冷却氧化反应

7-Fe₂O₃

α -Fe₂O₃中图分类号TD925.7 文献标志码A 文章编号100M250(2019)-12-079-05DOI

10.19614/j.201912014Study on Phase Transition Behavior of Siderite Magnetized Roasting Products during Cooling and Oxidation Qin

Caixia1

Sun

Yongsheng2

Chen

YiLin1

Tang

XiaoLing1

Zhu

Xiali1

Qin

Lina1

(1. Jiuquan Iron and Steel Group Co., Ltd., Jiayuguan 135YQQ, China; 2.

School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China) Abstract Magnetized roasting

process is an effective process for the treatment of refractory iron ore resources. In recent

years, the application research in the development of siderite resources has also made great progress. In the industrial production of magnetite roasting of siderite, the cooling mode is an important part affecting the quality of the roasting products. Taking the siderite in a mining area in the northwest as the research object, a siderite with a purity of 80.6% is obtained through

the sorting-high intensity magnetic-gravity separation process. The effects of inert atmosphere cooling, water quenching and air

atmosphere cooling on the roasting products were investigated and the oxidation behavior and phase transition of the roasted

products under different oxidation temperature and oxidation time were deeply investigated. The results showed that the cooling products were rarely oxidized in the inert atmosphere or in water cooling. In air atmosphere cooling process, the results

were greatly influenced by the oxidation temperature and oxidation time. At the oxidation temperature of 100

°C, the roasted

products did not substantially oxidize. At oxidation temperatures above 300

°C, the roasted products began to undergo significant oxidation. When the oxidation temperature is 500

°C, the oxidation time is 2.5 min, the magnetite in the roasted products

were completely oxidized. The magnetized roasting products were oxidized to α -Fe₂O₃ and γ -Fe₂O₃. In the oxidation reaction

process, γ -Fe₂O₃ appeared firstly and then α -Fe₂O₃ generated. The experiment results can provide theoretical basis for the process optimum of refractory iron ore magnetic roasting. Siderite, Magnetic roasting, Cooling, Oxidation, γ -Fe₂O₃, α -Fe₂O₃ 收稿日期

2019-10-10 作者简介 秦彩霞 (1965—), 女, 工程师: • 79

• 总第522期 金属矿山 2019年第12期 近年来, 国内铁矿石进口需求日益增长, 铁矿石

的供需矛盾突出。而我国的菱铁矿资源储量居世界

前列, 但受到传统分选技术和成本限制, 菱铁矿资源

整体利用率低。因此, 实现以菱铁矿、鲕状赤铁矿、

褐铁矿为代表的复杂难选铁矿石的高效开发利用对

我国钢铁行业的健康发展具有重要意义。磁化焙烧技术是处理低品位、弱磁性、难选铁矿

石的有效工艺[2]。菱铁矿经过磁化焙烧, 矿石中的弱

磁性菱铁矿可以转化成磁性更强的磁铁矿。目前,

国内以东北大学、中科院过程工程研究所、长沙矿冶

研究院为代表的多家科研单位和大专院校科研机构

围绕复杂难选铁矿石流态化磁化焙烧工艺与装备展

开了大量研究[1]。东北大学韩跃新课题组提出了

“预热—蓄热还原—再氧化”悬浮磁化焙烧新工艺,

并建成了 500

kg/h复杂难选铁矿石悬浮磁化焙烧—

高效分选半工业试验平台，为菱铁矿资源的开发利

用提供了示范。在工业应用方面，酒泉钢铁（集团）

有限责任公司已建成165万t/a的粉矿悬浮磁化焙烧

工业化生产线[6]。在菱铁矿的磁化焙烧工艺生产中，铁物相的精

准调控是决定最终产品品质的重要因素，其中焙烧

产品冷却是重要环节之一。目前，国内已应用的铁

矿石磁化焙烧工艺多采用水封水冷的冷却方式，但

该技术在干旱缺水地区的应用具有一定的局限性。

菱铁矿焙烧产品在不同冷却方式下最终产品的晶体

结构、磁化性质有很大的差异。已有学者对菱铁矿

焙烧产品在空气气氛下的干法冷却进行了一定探

索，空气气氛下冷却在技术上具有可行性，然而关于

菱铁矿焙烧产品在不同冷却方式下的基础研究还不

完善[M]。因此，本文采用悬浮磁化焙烧工艺对我国

西北某矿区菱铁矿开展试验，探究焙烧产品在冷却

过程中的被氧化情况及其相变行为，分析 γ -Fe₂O₃，和

成分含量成分含量表1菱铁矿矿样的化学成分分析

Table 1 Chemical composition analysis of the siderite sample

TFe38.87P0.01FeO48.62K200.05425 000

20 000

趺 15 000

%MgO5.41lg37.66SiO₂22.40Na₂O0.017A12030.66MnO2.08CaO0.56BaO0.61S0.139_10 00010 20 30 40 50 60 70 8026!

i °)图1试验矿样的XRD分析图谱

Fig. 1 XRD analysis spectrum of the siderite

sample 一菱铁矿； 一石英类质同象形式存在。矿样铁化学物相分析结果见表2。表2铁化学物相分析结果

Table 2 Iron chemical pha analysis results

铁物相磁性铁中铁碳酸铁中铁赤（褐、镜）铁矿中铁硫化铁中铁硅酸铁中铁总铁含量分布率%0.2137.320.100.110.1037.840.5598.640.260.290.26100.00由表2可知，矿样中的铁主要赋存在碳酸铁中，

其铁含量为37.32%，铁分布率为98.64%；其他形式的

铁物相含量较低，其中磁性铁、赤（褐、镜）铁矿、硫化

铁和硅酸铁的含量分别为0.21%、0.10%、0.11%和0.10%○为探明菱铁矿矿样在还原加热过程中分解的温

度条件，采用同步热分析仪（Ar气氛）对矿样进行差

热分析，升温速率为20

t/min，测试结果如图2所示。

由试验结果可知，在500~700℃之间明显有吸热峰产

生，可以确定菱铁矿分解反应主要发生在此温度区

间。1.2试验方法a-Fe₂O₃的生成规律，以期为高效合理利用菱铁矿资

源提供理论依据与技术支持。11.1试验原料及方法

试验原料试验原料取自我国西北某矿区菱铁矿矿带，矿

样经破碎（-5

mm）_磨矿（-0.074

mm占85%）_强磁

选—重选（摇床和重液）流程，最终获得高品位菱铁

矿产品作为试验用样。试验菱铁矿的化学成分分析

结果如表1所示，XRD分析结果如图1所示。由表1和图1可知：试验矿样全铁品位为

38.87%，FeO含量为48.62%，铁主要以菱铁矿的形式

存在，菱铁矿纯度为80.6%；矿样SiO₂含量2.40%，主

要脉石矿物为石英，矿石中Mg、Mn元素以菱铁矿的

•

采用小型开启式立式管式炉对矿样进行恒温磁

化焙烧，先用N₂排空石英管中的空气，当炉腔温度升

到设定值时，快速加入10.0

g矿样进行磁化焙烧试

验，磁化焙烧条件为总气量400

mL/min还原气体CO

、浓度20%、保护气体N₂浓度80%、焙烧温度550

t、焙

烧时间5

min，菱铁矿经磁化焙烧后转化为磁铁矿。80 • 秦彩霞等：磁化焙烧产品冷却氧化过程中的相变行为研究—菱铁矿2019年第12期生氧化反应，但容易产生粉尘，产物FeO含量为

(s)18.29%；在空气气氛冷却条件下，产物FeO含量为

6.33%。对不同冷却产物的比磁化系数进行测定，其

中惰性气氛冷却和水淬冷却下的产物其比磁化系数

}/_ ^ < 0 100 200 300 400 500 600 700 800温度/(t) Vkg,空气气氛冷却的产物其比磁化系数为4.43x 10⁻⁴ mV/kg。对比

不同冷却方式所得产物中FeO含量和冷却产物的最

大比磁化系数可知，惰性气氛冷却方式和水淬冷却

方式可以有效保护磁化焙烧所得磁铁矿，防止磁铁

矿在冷却过程中发生氧化。2.2氧化温度对冷却产物的影响分别为5.14x

HTnVkg和5.05x

图2菱铁矿在Ar气氛中热分析曲线

Fig. 2 Thermal analysis curve of the siderite sample

in Ar atmosphere将磁化焙烧结束后得到的高温磁铁矿进行不同条件

的冷却试验，冷却过程中磁铁矿与空气接触主要发

生如下反应：4Fe₃O₄(

s)+O₂(g)=6Fe₂O₃(s)

203 (s)

4Fe₃O₄(s)+O₂(g)=6Fe₂O₃(s)

203 (s)冷却试验主要包括惰性气氛冷却、空气气氛冷

却和水淬冷却。惰性气氛冷却方式是指在菱铁矿磁

化焙烧反应后，通入惰性气体(N₂),使所得高温磁铁

矿在惰性气氛下冷却到室温；空气气氛冷却方式是

在菱铁矿磁化焙烧反应后，所得高温磁铁矿先在惰

性气氛下冷却到一定温度，再将磁铁矿置于空气中

自然冷却；水淬冷却方式是指在磁化焙烧反应后，直

接将高温磁铁矿迅速倒入水中进行冷却。冷却试验

针对空气气氛冷却过程中氧化温度、氧化时间对磁

铁矿氧化过程中矿物相变行为的影响开展了详细的

研究，同时利用振动磁强计、穆斯堡尔谱等检测手段

分析磁铁矿向 γ -Fe₂O₃及 α -Fe₂O₃转化过程的相变情

况。2试验结果与分析试验采用惰性气氛冷却、空气气氛冷却和水淬

冷却3种方式考察菱铁矿磁化焙烧后的冷却氧化行

为。试验结果如表3所示。表3冷却方式对冷却产物的影响结果Table 3 Effect of cooling method on cooling products

%冷却方式空气冷却水淬冷却惰性气氛冷却TFe含量56.0456.6756.80FeO含量6.3318.2918.40当菱铁矿磁化焙烧结束后,焙烧产物在惰性气体

保护下分别冷却至100

t、200

T：、300

T、400尤和

500

T，在设定温度下通入空气对焙烧产物进行恒温

氧化，氧化时间为2.5

min,空气流量为400

mL/min,氧

化结束后在惰性气体条件下冷却至室温。不同氧化

温度对冷却产物的影响结果见表4,不同氧化条件下

冷却产物的比磁化系数变化和铁物相变化如图3、图

4所示。表4氧化温度对冷却产物影响结果

Table 4 Effect of oxidation temperature on

cooling products氧化温度/t100TFe含量/%56.8256.7756.5856.2556.15FeO含量/%18.0215.1611.300.31