高钛型酸性烧结矿试验研究

王禹键[1,2]，饶家庭[1,2]，林文康[3]
（1. 攀钢集团研究院有限公司，四川 攀枝花 617000；
2. 钒钛资源综合利用国家重点实验室，四川 攀枝花 617000；
3. 攀钢集团西昌钢钒有限公司，四川 西昌市 615000）

摘 要：针对西昌钢钒受生矿资源条件限制，烧结和高炉物料结构调整频繁，对生产不利的问题，本文着重对利用钒钛精矿生产酸性钒钛烧结矿替代生矿的开发过程进行了简述。研究结果显示，控制燃料配比 5%，生产碱度为 0.6，TiO_2 含量 5.5% 的酸性钒钛烧结矿产质量最优。酸性钒钛烧结矿替代生矿入炉后，可以减少原料有害元素的带入量，抑制低价钛还原，工业试验通过提高球团矿配比、发展中心煤气流，提高富氧、顶压和炉温稳定性等措施，试验期高炉炉况稳定顺行，利用系数提高 0.082 t/m^3 · d，铁损降低 0.51%，燃料比降低 5.47 kg/t。

关键词：钒钛矿；酸性钒钛烧结矿；TiO_2 含量；高炉
中图分类号：TF046.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－8764(2018)01－0025－06
doi：10.13403/j.sjqt.2018.01.006

Experimental study of high titanomagnetite sinter

Wang Yujian[1,2], Rao Jiating[1,2], Lin Wenkang[3]
(1. *Pangang Group Research Institute Co., Ltd. Panzhihua* 617000, *Sichuan*; 2. *State Key Laboratory for Comprehensive Utilization of Vanadium and Titanium Resources, Panzhihua* 617000, *Sichuan*;
3. *Pangang Group Xichang Iron & Steel Co., Ltd. Xichang* 615000, *Sichuan*)

Abstract According to the limitation of the raw material resources of Xichang steel and vanadium, the material structure of sintering and blast furnace is frequently adjusted, which is unfavorable to the production. In this paper, the development process of producing acid vanadium titanium sinter with vanadium-bearing titanomagnetite concentrate instead of raw ore is introduced. The results showed that optimal quality and yield of acidic sinter could be obtained when the ratio of fuel was 5%, the basicity of sinter was 0.6 and the content of TiO_2 was 5.5%. After acidic vanadium-bearing titanomagnetite sinter was used to replace raw ore, the amount of harmful element brought in by material were reduced and the reduction of TiO_2 was prohibited. During the industrial test, improving the ratio of pellet, developing central gas flow, improving the rate of oxygen enrichment, top pressure and the stability of furnace temperature, the operation of blast furnace was successful, the utilization coefficient of blast furnace increased by 0.082 t/(m^3 · d), iron loss decreased by 0.51% and fuel rate decreased by 5.47 kg/t.

Key words vanadium titanium ore; acid vanadium titantium sinter; TiO_2 content; blast furnace

1 前 言

西昌钢钒位于西昌市南部经久工业区内，是以冶炼钒钛磁铁矿为主的钢铁企业，拥有 1 750 m^3 高炉三座，设计年产生铁约 430 万 t，年需求生矿约 50 万 t。西昌周边满足冶炼要求的生矿资源匮乏，生矿呈现产地多，供应量小的特点，烧结和高炉物料结构调整频繁，影响了高炉的稳定顺行。攀西地区钒钛铁矿资源丰富，以钒钛铁精矿为主原料生产酸性钒钛烧结矿替代生矿入炉，不但能够解决生矿资源紧张对生产的限制，提高高炉技经指标，降低生铁成本，还能加强对钒钛

收稿日期：2017－07－11
作者简介：王禹键(1987－)，男，工程师，主要从事烧结及高炉炼铁工艺研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

资源的开发力度，对稳定高炉生产和促进钒钛矿冶炼技术进步具有重要意义。

2 实验室工作

国内外研究表明，酸性烧结矿生产过程中存在利用系数低，固体燃耗高，产品还原性差，粉化率高等问题[1]。

2.1 实验原料及条件

烧结实验在∅300 mm×800 mm烧结杯中进行，其主要工艺参数见表1，原料分析见表2。

表1 烧结杯实验工艺参数

铺底料		制粒时间	点火温度	点火时间	点火负压	烧结负压	料层高度	混合料水
粒度/mm	高度/mm	/min	/℃	/min	/Pa	/Pa	/mm	份/%
10~16	25~30	10	1 000±50	2.5	6 000	15 000	550	7.8

表2 原料化学分析(%)

矿种	TFe	CaO	SiO_2	TiO_2	V_2O_5	S
钒钛精矿	55.12	0.77	4.11	10.6	0.629	0.216
普通精矿	61.62	4.52	1.59			1.0
泸沽高粉	58.38	1.31	6.03			0.03
冕山高粉	58.89	2.11	8.96			0.6
中南中粉	38.15	5.06	24.4	0.491		0.95
活性灰		86.67	1.06			

2.2 关键成分控制

钒钛烧结矿的TiO_2含量对其产质量有明显的影响[2]，这是区别于普通烧结矿的重要指标；烧结矿的碱度(如无特别说明，均指二元碱度R_2)决定了对酸性料的替代量，这体现了替代生矿的比例；酸性钒钛烧结矿固结方式的差异，燃料配比高，烧结矿亚铁含量对烧结时间、烧结矿质量及烧结矿成本有重要影响。因此，对酸性钒钛烧结矿碱度、TiO_2含量及燃料配比的控制是本文研究的重要内容。

2.2.1 适宜碱度的控制

实验室进行了不同碱度的酸性烧结矿烧结杯实验，图1为不同碱度烧结实验TFe、TiO_2随R_2升高的关系，实验中烧结矿转鼓指数和利用系数见图2。

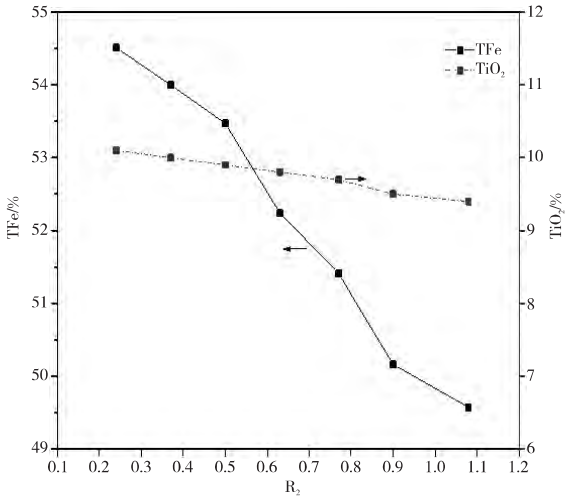


图1 不同碱度实验TFe、TiO_2与R_2的关系

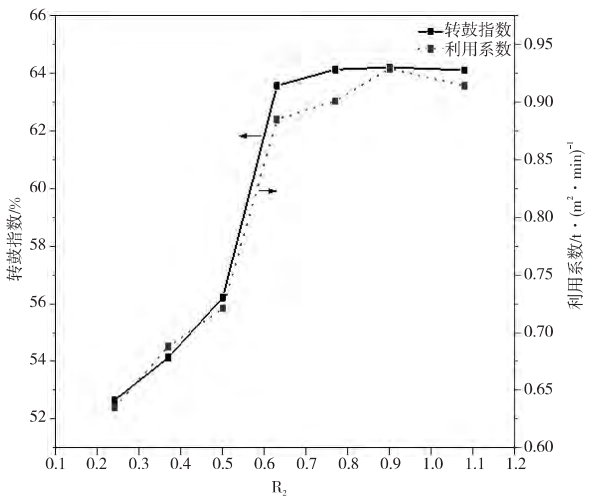


图2 不同碱度实验转鼓指数、利用系数与R_2的关系

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

据图 1 所示，在不同碱度实验中，保持烧结矿 TiO_2 稳定条件下，随烧结矿碱度升高，TFe 品位呈下降趋势。据图 2 所示，随着碱度的升高，酸性钒钛烧结的转鼓指数和利用系数均呈上升趋势，从实验结果看，酸性钒钛烧结矿适宜的碱度范围为 0.6～0.8，其具有较好的机械强度和产量。

2.2.2　适宜 TiO_2 含量的控制

实验室进行了不同 TiO_2 含量烧结实验，Ti－1～Ti－5 是烧结矿碱度为 0.6，但 TiO_2 含量不同的 5 种烧结矿。不同 TiO_2 含量烧结杯实验的相关指标检测结果分别如图 3、图 4 所示。

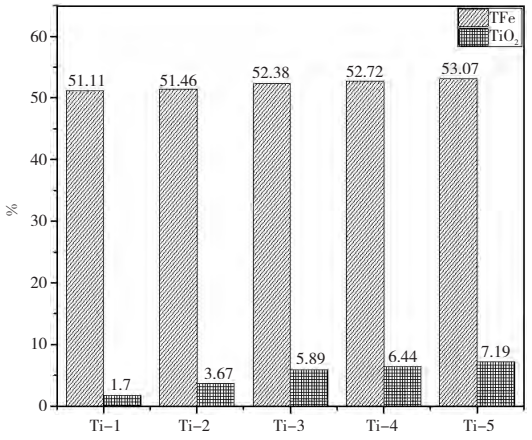


图 3　不同 TiO_2 含量烧结杯实验 TFe 及 TiO_2 检测

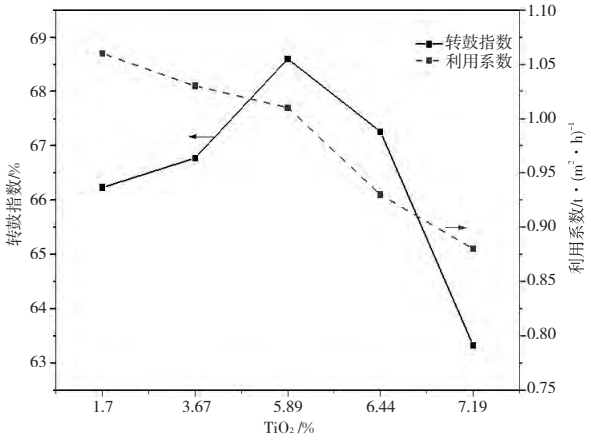


图 4　不同 TiO_2 含量烧结杯实验指标情况

据图 3、4 所示，烧结物料中钒钛矿配比增加，熔剂配比降低，烧结矿 TFe 品位和 TiO_2 含量升高，Ti－3 利用系数和转鼓指数较为均衡，控制 TiO_2 含量在 6% 左右的酸性钒钛烧结矿产质量最好。

2.2.3　合理燃料成分的控制

根据碱度和 TiO_2 含量的控制范围，设计了燃料配比、TiO_2 含量及碱度的正交实验，如表 3 所示。

表 3　三因素三水平正交实验表

组别	配 C 量/%	TiO_2/%	R_2
ZY－1	4.2	4.5	0.4
ZY－2	4.6	5.5	0.4
ZY－3	5	6.5	0.4
ZY－4	4.6	4.5	0.6
ZY－5	5	5.5	0.6
ZY－6	4.2	6.5	0.6
ZY－7	5	4.5	0.8
ZY－8	4.2	5.5	0.8
ZY－9	4.6	6.5	0.8

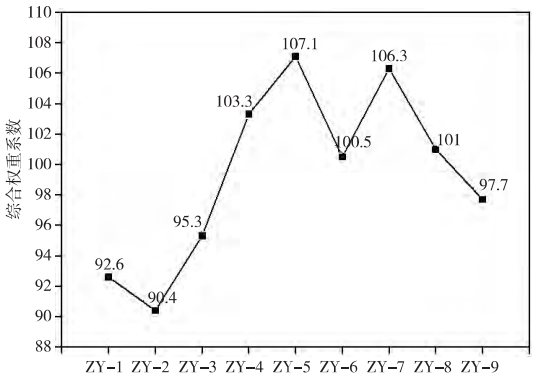


图 5　正交实验综合权重结果

对成品率、转鼓指数、利用系数进行 30 分、20 分、50 分的权重赋值[1]，测算综合权重系数，最高者为最优，如图 5 所示。极差结果显示 ZY－5 组综合权系数最高（以下称最优组），随后的验证实验结果与正交实验结果相当，最优组具有较高的可靠性。三因素对烧结矿成品率、转鼓指数及利用系数影响的主次关系是：燃料配比 > TiO_2 含量 > 碱度。

2.3　酸性钒钛烧结矿指标差的原因

为了找到酸性钒钛烧结矿指标差的主要原因，对比了酸、碱烧结矿混合料粒度及烧结矿微观结构。

2.3.1　混合料粒度对比

酸性烧结矿参照最优组物料结构，碱性烧结矿参照西昌钢钒现场烧结矿物料结构。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 酸、碱性钒钛烧结杯物料结构(%)

	钒钛精矿	泸沽高粉	中南中粉	活性灰	石灰石	焦粉
酸烧	43	19	30	3		5
碱烧	56	16	8	5	10	5

表5 酸、碱性钒钛烧结杯实验结果对比

	水分/%	混合料+3mm比例/%	烧结时间/min	最高废气温度/℃
酸烧	7.8	67.52	44.25	426
碱烧	7.6	82.68	35.64	608

据表5所示,酸性混合料中溶剂配比较低,影响了混合料制粒效果,混合料粒度中+3 mm比例较碱性烧结矿低约15%,在烧结过程中料层透气性较差,这是酸性钒钛烧结速度慢的主要原因。

2.3.2 微观结构对比

碱性钒钛烧结矿与酸性钒钛烧结矿物相检测结果见表6。

表6 物相检测结果(%)

名称	磁铁矿	赤铁矿	铁酸盐	钛榴石	钙钛矿	玻璃质	硅酸二钙	其它
碱烧	30~32	26~28	11~13	9~11	7~9	11~13	未见	0~1
酸烧	54~56	14~16	3~5	3~5	1~3	15~17	未见	0~1

据表6所示,酸性钒钛烧结矿矿物组成成分与碱性钒钛烧结矿差异不大,但各自间含量差异明显。在显微镜下观察碱性钒钛烧结矿,发现了大量的铁酸钙和硅酸盐粘结相,对烧结矿中赤铁矿的连晶起到了很好的粘结作用,这是影响烧结矿强度的重要物相[6~8]。酸性烧结矿中分布的硅酸盐与其他矿物紧密胶结,保证了烧结矿具有一定的强度,但硅酸盐粘结相强度较铁酸钙低,这导致了酸性钒钛烧结矿在宏观上的强度低于碱性钒钛烧结矿,这从微观结构方面解释了酸性钒钛烧结矿机械强度较低的原因。

2.4 冶金性能研究

实验室进行了酸性钒钛烧结矿综合炉料冶金性能检测。引入了矿石透气性综合指数的概念,它能更好地反映矿石的熔滴性能,S值越低说明在炉内透气性越好。

透气性综合指数 $S=\int_{Ts}^{Tm}(\Delta P\max-\Delta PS)\,dT$

式中 Ts 为压差突然升高温度,℃; Tm 最大压差温度,℃; $\Delta P\max$ 为最高压差,kPa; ΔP 为熔滴炉压差陡升时的压差,大小为1 kPa。

综合样冶金性能检测结果如表7所示。随酸性钒钛烧结矿替代生矿比例提高,综合炉料透气性趋于改善,替代比例达到3%后,S值较2%的替代比例略有升高;炉料在炉内的软熔位置下移,综合炉料还原性略有降低,入炉可能会增加燃料消耗[1,10]。

表7 综合样冶金性能检测结果

组合	软化性能			熔滴性能			还原性能		S /kPa·℃
	T_a /℃	T_s /℃	$\triangle T_{Sa}$ /℃	$T_{\triangle P}$ /℃	T_m /℃	T_c /℃	$RDI_{-3.15}$ /%	RI /%	
76%S+21%Q+3%K	1 021	1 113	92	1 176	1 438	262	13.67	74.78	3 347.5
76%S+21%Q+2%K+1%X	1 028	1 117	89	1 181	1 441	260	13.49	72.15	3 272.4
76%S+21%Q+1%K+2%X	1 040	1 111	91	1 179	1 443	264	12.99	70.63	3 187.2
76%S+21%Q+3%X	1 042	1 095	83	1 191	1 446	255	12.64	69.05	3 194.1

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

注: 其中 S 为西昌自产碱性烧结矿,Q 为白马球团矿,K 为西昌现场取回生矿,X 为最优组(ZY－5)酸性钒钛烧结矿。

3　高炉应用情况简析

高炉冶炼制度对冶炼钒钛矿至关重要[2]。工业试验对酸性钒钛烧结矿入炉后高炉指标、冶炼制度的调整和对高炉冶炼的影响进行了简要分析。

3.1　高炉指标情况

西昌钢钒在 1# 高炉进行了酸性钒钛烧结矿入炉工业试验,炉料结构及高炉主要技术经济指标见表 8、表 9。

表 8　炉料结构(%)

炉料结构	碱性烧结	酸性烧结	球团矿	生矿
基准期	83.31	0	12.57	4.12
试验期	81.55	2.31	14.87	1.27

表 9　高炉主要技经指标

项目	利用系数/ $t\cdot(m^3\cdot d)^{-1}$	入炉品位/%	焦比/ $kg\cdot t^{-1}$	煤比/ $kg\cdot t^{-1}$	铁损/%	煤气利用率/%
基准期	2.264	49.16	457.34	101	4.26	44.31
试验期	2.346	49.38	456.87	96	3.75	43.90

试验期 2.31% 的酸性钒钛烧结矿入炉后,综合入炉品位升高 0.22%,高炉利用系数提高 0.082 $t/(m^3\cdot d)$,铁损降低 0.51%,燃料比降低 5.47 kg/t,高炉炉况顺行。

3.2　采取的优化措施

针对酸性钒钛烧结矿入炉后可能引起燃料比升高的问题,高炉可采取以下措施。

(1) 优化炉料结构,提高球团矿配比。对比而言,酸性钒钛烧结矿对炉渣的调节能力弱于需替代的生矿,钒钛烧结矿碱度低于 1.8,烧结矿的产量及机械强度可能大幅降低[2]。西昌钢钒目前碱性烧结矿碱度为 1.8 左右,不具备继续降低的条件,在不改变冶炼渣系的前提下,酸性钒钛烧结矿替代生矿入炉后,提高球团矿配比是目前最有效的手段之一;

(2) 优化布料制度,稳定气流分布。装料制度上将矿石平台由 3 环进为 4 环,矿角宽度由 6° 提高至 8°,焦角由 4°减小到 2°,边缘气流得以抑制,中心气流得以发展,这对提高煤气利用率,降低燃料消耗有利;

(3) 优化送风制度,提高炉顶压力。在保证全风操作的基础上,试验期炉顶压力由基准期的 165 kPa 提高至 170 kPa,单位富氧量增加约 150 m^3/h,减缓了煤气上升速率,增加了与炉料的接触时间,使炉缸内氧势增加,十字中心温度提高约 50 ℃,中心气流增强;

(4) 稳定造渣制度和热制度。保持当前高炉冶炼渣系不改变,冶炼过程中控制充足而稳定的炉温。根据西昌钢钒合格炉温的定义,试验期共计出铁 123 炉,其中 98 炉炉温合格,炉温合格率达到 79.67%,高出基准期 67.47% 的炉温合格率约 12.2%。

3.3　酸性钒钛烧结矿的优势

对工业试验结果进行分析,可以更为全面的了解酸性钒钛烧结矿替代生矿这项技术的应用前景。

(1) 稳定高炉生产,降低生产成本。酸性钒钛烧结矿入炉后,高炉炉料结构变化频率明显降低,变料次数由基准期 2～3 次/d 降低至 0.5～1 次/d,高炉稳定性提高,试验期高炉利用系数、产量、铁损、燃料比等指标改善,生产成本降低;

(2) 减少有害元素带入量,提高产品质量。表 10 中原料碱负荷和硫负荷的统计显示,试验期原料碱负荷降低 2.17 kg/t,硫负荷降低 0.3 kg/t。酸性钒钛烧结矿害元素含量低,减少了原料中有害元素带入量,有利于产品质量提高;

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表10 原料中碱负荷及硫负荷情况

阶段	碱负荷/kg·t^{-1}	S负荷/kg·t^{-1}
基准期	6.04	4.18
试验期	3.87	3.88

(3)抑制低价钛还原,改善炉渣流动性。如表11所示,西昌钢钒的炉渣属于高钛炉渣,随着(TiO_2)的还原,TiC和TiN等高熔点物质的生成,炉渣的流动性变差,渣铁分离效果恶化,严重时会影响高炉顺行[1,2]。

表11 炉渣中Ti(C,N)检测量(%)

	TiC	TiN
基准期	0.351	0.274
试验期	0.237	0.210

酸性钒钛烧结矿含有较高的FeO(一般>10%),它对增加炉缸氧势,抑制低价钛还原有利[7]。试验期Ti(C,N)总量降低了0.178%,在一定程度上改善了高钛渣的粘度,对降低铁损有利。从图6结果看,试验期炉渣粘度略有降低,说明酸性钒钛烧结矿对降低炉渣粘度有利。

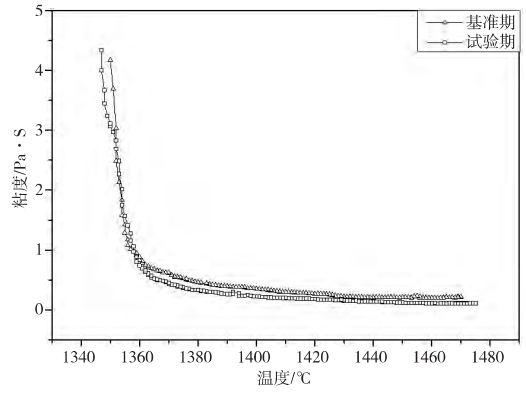


图6 炉渣粘温曲线

4 结 论

在当前西昌钢钒原料条件下,酸性钒钛烧结矿作为一种新型物料替代生矿的试验研究表明:

(1)碱度、配碳量及TiO_2含量三因素中对酸性钒钛烧结矿产质量影响主次关系依次为燃料配比、TiO_2含量、碱度,控制燃料配比在5%,生产碱度为0.6,TiO_2含量5.5%的酸性钒钛烧结矿,得到烧结矿产质量最优;

(2)酸性钒钛烧结矿产质量差的主要原因是熔剂配比低,制粒效果差,烧结过程透气性不好,烧结速度慢,而以硅酸盐相为主的粘结相强度也低于铁酸盐相,这是强度较低的主要原因;

(3)冶金性能检测表明,酸性钒钛烧结矿入炉替代1%~3%块矿后,炉料的透气性变化不明显,但炉料还原性变差,随替代比例的提高,影响程度加深;

(4)通过提高球团矿,发展中心煤气流,提高炉顶压力和炉温稳定性等措施,酸性钒钛烧结替代部分生矿入炉在技术上可行,抵消了酸性钒钛烧结矿带来的不利影响,高炉稳定性提高,入炉有害元素量减少,高钛型炉渣性能改善,高炉主要技术经济指标均也有改善。

参考文献

[1] 周传典. 高炉炼铁技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
[2] 王筱留. 钢铁冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
[3] 杨传举. 济钢酸性钒钛烧结矿的生产及高炉冶炼效果[J]. 中国冶金,2012,3(22):33-36.
[4] 尹桂先. 酸性钒钛烧结矿试验研究[J]. 武钢技术,2002,1(40):25-29.
[5] 范建军. 酸性和高碱度烧结矿合理搭配的高炉炉料结构研究[C]//2013年炼铁级原料降本增效使用新技术新设备研讨会会议论文. 2013:108-113.
[6] 于恒,张展雷,安少锋. 日钢低碱度烧结矿生产实践[J]. 山东冶金,2013,6(12):41-44.
[7] 邓朝枢、王敏杰. 钒钛磁铁精矿烧结矿固结机理[J]. 烧结球团,1985(1):28-33.
[8] 刘拥军. 安钢酸性钒钛烧结矿的生产实践[J]. 钢铁,2003,38(9):1-4.
[9] 李凤臣,孙艳芹,孙丽芬. 承德钒钛磁铁矿低碱度烧结试验研究[J]. 钢铁研究,2012,40(5):1-8.
[10] 周文胜. 酸性钒钛烧结矿的开发及应用实践[J]. 黑龙江冶金,2015,35(2):47-49.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net