带式焙烧机镁质球团制备及高炉应用情况

胡文祥，陈昭尧，许宝科，曾金林
（福建三钢闽光股份有限公司，福建 三明 365000）

摘要： 针对大幅度提高烧结矿中 w(MgO) 易导致烧结矿返矿率升高，入炉原料品位降低等问题，采用带式焙烧机配加 MgO 粉制备镁质球团矿的方法，研究在最佳热工制度和最佳球团矿粒级分布下不同 w(MgO) 对球团化学成分、冷态强度、冶金性能与高温固结特性的影响。结果表明：随着 w(MgO) 的增加，成品球团矿抗压强度明显下降，但成品球团矿的还原度有所提高，还原膨胀率明显降低，软化温度区间与软熔温度区间稍有提高。在预热时间为 6 min，预热温度为 950 ℃，焙烧时间为 9 min，焙烧温度为 1 170～1 190 ℃的热工制度以及进一步提高后的 10.0～12.5 mm 粒级球团矿占比下，可以得到冶金性能良好的成品球团矿。此时，高炉运行稳定、顺行，高炉经济技术指标明显提高，其中焦比降低 6.9 kg/t，喷煤比降低 2.2 kg/t，焦丁比降低 0.4 kg/t，总燃料比降低 9.5 kg/t。

关键词： 带式焙烧机；镁质球团；冶金性能；高炉冶炼
中图分类号： TF046.6 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764(2021)03－0053－06
doi： 10.13403/j.sjqt.2021.03.039

Preparation of magnesium pellets from belt roaster and its application in blast furnace

HU Wenxiang，CHEN Zhaoyao，XU Baoke，ZENG Jinlin
（*Sansteel Minguang Co.*，*Ltd.*，*Sanming* 365000，*Fujian*，*China*）

Abstract: Aiming at the problems of greatly increasing the w(MgO) in the sinter，which may lead to an increase in the return rate of the sinter，and a decrease in the grade of raw materials into the furnace，a method for preparing magnesium pellets by adding MgO powder with a belt roaster is used to research the effects of different w(MgO) on the chemical composition，cold strength，metallurgical properties and high temperature consolidation characteristics of the pellets under the best thermal system and the best pellet size distribution. The results show that，with the increase of the w(MgO)，the compressive strength of finished pellets obviously decreases，but its reduction degree increases，its reduction expansion rate decreases，the softening temperature range and the reflowing temperature range slightly increase. Under the thermal system of preheating time 6 min，preheating temperature 950 ℃，roasting time 9 min，roasting temperature 1 170～1 190 ℃，and further increase in the proportion of 10～12.5 mm granular pellets，the finished pellets with good metallurgical properties can be obtained. At the same time，the blast furnace runs stably and smoothly，and the economic and technical indicators of the blast furnace are significantly improved，in which，the coke ratio is decreased by 6.9 kg/t，the coal injection ratio is decreased by 2.2 kg/t，the coke nut ratio is decreased by 0.4 kg/t，and the total fuel ratio is decreased by 9.5 kg/t.

Key words: belt roaster；magnesium pellets；metallurgical properties；blast furnace process

相比于酸性球团矿，镁质球团具有较低的还原膨胀率和良好的软熔特性[1]。同时，随着高炉大比例球团冶炼技术的不断推广和应用，为保证高炉炉渣镁铝平衡，将烧结中添加的

收稿日期：2020－10－15；修回日期：2021－02－23
作者简介：胡文祥(1981—)，男，高级工程师，从事烧结球团生产及管理方面的工作。
通讯作者：许宝科(1992—)，男，助理工程师，从事烧结球团生产方面的工作。

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

MgO 部分转移到球团中添加既可以缓解烧结生产的压力，也可以避免因大幅度提高烧结矿中 w(MgO) 而导致烧结矿返矿率升高，入炉原料品位降低[2-3]。

目前，我国镁质球团矿生产主要以链算机－回转窑工艺为主，由于镁质球团预热球强度较低，在回转窑中容易破碎粉化，导致回转窑结圈，极大地影响了设备的使用寿命和镁质球团生产工艺的推广[4]。

基于以上考虑，福建三钢带式焙烧机于2019年12月投产运行，并于2020年2月开始进行镁质球团矿生产实践。经过半年多的探索和实践，镁质球团矿制备技术工艺稳定，球团矿冶金性能良好，符合高炉要求，不仅改善了高炉的运行情况，也为我国国产带式焙烧机生产镁质球团技术提供了生产实例，进一步推动了该技术的发展和应用。本文对该工艺进行了重点阐述，以期为同行提供借鉴与参考。

1 试验原料与方法

1.1 试验原料

生产所需铁精矿为福建本地磁铁精矿(MK)和进口澳洲磁铁精粉(AMC)，将两者以(MK∶AMC=7∶3)的比例混合，混合样比表面积为1 209 cm^2/g，水分为8.0%，两种磁铁精矿主要的化学成分如表1所示。

表1 铁精矿主要化学成分(质量分数)

Table 1 Main chemical composition of iron concentrate %

矿样	TFe	FeO	Fe_2O_3	CaO	Al_2O_3	SiO_2	MgO	P	Pb
MK	65.32	28.32	61.92	2.24	0.58	5.76	0.81	0.004	0.01
AMC	65.28	28.78	61.35	0.59	0.15	7.41	0.60	0.040	0.01
矿样	K_2O	Na_2O	TiO_2	As	Cu	Mn	Zn	S	LOI
MK	0.031	0.022	0.048	0.000 5	0.001 5	0.025	0.030	0.048	0.15
AMC	0.320	0.310	0.099	0.001 0	0.001 0	0.043	0.002	0.074	0.22

生产使用膨润土作为黏结剂，其化学成分和物理性能分别见表2、3。由表2、3可知：该膨润土中 w(SiO_2) 为55.71%，w(Al_2O_3) 为12.25%，蒙脱石占比为86.9%，－0.044 mm粒级占比达98.5%。可见，膨润土的各项物理性能均达到铁矿球团生产所用指标。

表2 膨润土化学成分(质量分数)

Table 2 Chemical composition of bentonite %

SiO_2	Al_2O_3	P_2O5	CaO	K_2O	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	LOI
55.71	12.25	0.05	5.27	1.10	4.86	2.98	2.53	15.25

表3 膨润土物理性能

Table 3 Physical properties of Bentonite

蒙脱石占比(质量分数)/%	胶质价/%	粒度(－0.044 mm)/%	膨胀容/(mL·g^{-1})	pH/(2 g/40 mL)	水份/%	吸水率(2 h)/%
86.90	77.50	98.50	35.0	10.13	<12	457.20

1.2 试验方法

带式焙烧机于2019年12月26日正式投产，以生产氧化球团矿为主，2020年2月7日开始镁质球团矿试验。因此，将2019年12月26日至2020年2月6日作为试验基准期，2月7日至6月30日作为试验期。

经过试验基准期氧化球团矿的生产实践得出，氧化球团矿适宜焙烧条件为：预热时间为6 min，预热温度为950 ℃，焙烧时间为9 min，焙烧温度为1 250 ℃。

根据试验基准期适宜的焙烧工艺进行不同 w(MgO) 配比的镁质球团矿生产试验，并对焙烧后的球团矿进行抗压强度、转鼓指数、筛分指数、化学成分、还原膨胀率、还原性和溶滴性

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

能分析，最后通过优化热工制度和调整球团矿粒级分布使得镁质球团矿冶金性能在符合高炉生产需求的同时，提高高炉生产的技术指标。

2　试验结果与分析

2.1　w(MgO)对球团矿质量的影响

在膨润土用量为 1.2% 的情况下，通过添加 MgO 粉来改变球团矿的 w(MgO)，其对球团矿质量的影响如表 4 所示。由表 4 可知：当不添加 MgO 粉时，球团矿自然 w(MgO)为 0.74%，生球落下强度为 8.21 次/(0.5 m)，焙烧球抗压强度为 2 867 N/P；随着 w(MgO)的提高，生球落下强度和焙烧球抗压强度均呈下降趋势，生球水分略有增加，转鼓强度、筛分指数变化不大。

表 4　不同 w(MgO)对球团矿质量的影响

Table 4　Effect of different w(MgO) on pellet quality

MgO 粉用量(质量分数)/%	w(MgO)/%	落下强度/(次·(0.5 m)$^{-1}$)	生球水分/%	焙烧球抗压强度/(N·P^{-1})	转鼓指数/%	筛分指数/%
0	0.74	8.21	8.12	2 867	98.33	0.62
0.5	1.14	7.82	8.58	2 690	98.26	0.75
0.8	1.34	6.53	9.01	2 582	97.33	0.69
1.0	1.54	5.98	9.31	2 520	98.01	0.88

不同 w(MgO)的球团矿冶金性能和化学成分分别见表 5、6。由表 5 可知：镁质球团较普通氧化球团的还原度有所提高，还原膨胀率明显减小；软化开始温度、软化结束温度、熔滴温度都得到了提高，软化区间略微变窄，软熔区间有所增大。可见，镁质球团矿的冶金性能得到了改善，炉渣的流动性和稳定性变好。

由表 6 可知：当球团 w(MgO)从 0.74% 提高到 1.54% 时，TFe 品位轻微下降，w(FeO)稍有增加，这主要是因为随着 w(MgO)的提高，Mg^{2+} 取代了部分 Fe^{2+} 在 Fe_3O_4 的位置，从而阻碍了 Fe_2O_3 的形成和再结晶，影响了球团矿的抗压强度[4-5]。

可见，在 MgO 粉配比为 1.0% 时，球团矿抗压强度符合 GB/T 14201 中一级品≥2 200 N/P 的标准要求，各项冶金性能表现良好。但是，球

表 5　w(MgO)对球团矿冶金性能的影响

Table 5　Effect of w(MgO) on metallurgical properties of pellet

项目	w(MgO)/%	低温粉化率($RDI_{+3.15\ mm}$)/%	还原度(RI)/%	还原膨胀率(RSI)/%	软化开始温度(t_a)/℃	软化结束温度(t_s)/℃	溶滴温度(t_d)/℃	软化区间(t_s~t_a)/℃	软溶区间(t_d~t_a)/℃
基准期	0.74	91.20	58.12	15.20	1 118	1 187	1 268	80	161
试验期	1.14	88.92	61.82	12.96	1 130	1 204	1 301	74	171
	1.34	90.56	63.10	12.13	1 136	1 212	1 302	76	166
	1.54	91.69	64.57	11.95	1 142	1 220	1 309	78	167

表 6　w(MgO)对球团矿主要化学成分的影响(质量分数)

Table 6　Effect of w(MgO) on main chemical composition of pellets　%

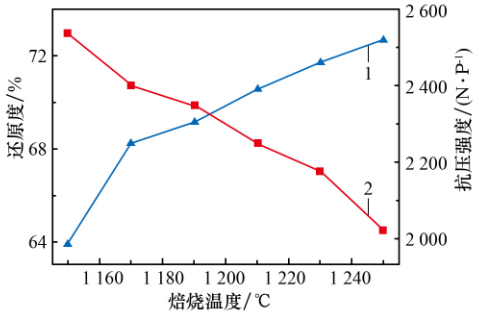
项目	MgO	TFe	FeO	SiO_2	CaO	Al_2O_3	S	P
基准期	0.74	62.26	0.25	7.28	1.97	0.80	0.022	0.012
试验期	1.14	62.08	0.27	6.33	2.02	0.81	0.026	0.008
	1.34	61.86	0.31	6.15	2.11	0.87	0.032	0.009
	1.54	61.79	0.37	6.55	2.14	0.86	0.026	0.005

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

团矿 *RI* 提高效果不显著，离高炉理想指标(*RI* > 70%) 还有一段距离。

2.2 热工制度优化

为了提高球团矿的还原度，在 w(MgO) 为 1.54%，膨润土配比为 1.2%，预热时间为 6 min，焙烧时间为 9 min，预热温度为 950 ℃ 的条件下，研究不同焙烧温度对焙烧球团抗压强度和还原度的影响，结果如图 1 所示。由图 1 可知：随着焙烧温度的逐渐降低，球团矿还原度得到了有效提高，当焙烧温度降至 1 150 ℃ 时，还原度高达 72.92%。这主要是因为焙烧温度较高时，球团内部的孔隙率小，不利于还原反应进行[6]。此外，焙烧温度对球团矿抗压强度影响较大，当焙烧温度从 1 250 ℃ 降至 1 150 ℃ 时，球团矿抗压强度从 2 520 N/P 降至 1 986 N/P，这与夏雷阁等[7]的研究结果相一致。这主要是因为当焙烧温度较低时，矿物未完全软熔，球团内部有较多细小晶粒存在，抗压强度低；进一步提高焙烧温度，晶粒不断长大并靠拢，晶粒间的空隙变小，抗压强度提高。



1—抗压强度；2—还原度。

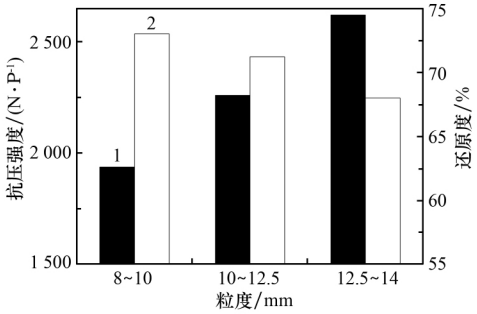
图 1 焙烧温度与球团矿抗压强度和还原度的关系

Fig. 1 Relationship between roasting temperature and compressive strength and reduction degree of pellets

经以上分析可知，适量降低焙烧温度有利于进一步提高焙烧球团矿的还原度，但是会明显降低焙烧球团矿的抗压强度。实际生产中应根据高炉需要，适当调节焙烧温度，在抗压强度和还原度之间取得最佳平衡点。三钢高炉规格普遍较小，大多在 1 800 m^3 以下，2 200 ~ 2 400 N/P 的抗压强度便能够满足高炉生产的需求[8]。因此，带式焙烧机镁质球团制备的适宜热工制度：预热时间为 6 min，预热温度为 950 ℃，焙烧时间为 9 min，焙烧温度为 1 170 ~ 1 190 ℃，此时还原度大于 70%。

2.3 球团矿粒级优化

为进一步优化球团矿的冶金性能，提高高炉的运行效率，在上文提及的适宜的热工制度下进行球团矿粒级占比优化试验。不同粒级的球团矿抗压强度与还原度的关系如图 2 所示。由图 2 可知：细粒级球团矿的抗压强度明显低于粗粒级球团矿，但其还原度更高，而 10.0 ~ 12.5 mm 粒级的球团矿可以很好地兼顾二者。这是因为粗粒级球团矿显微孔气率小于细粒级球团矿(表 7)，球团显微孔气率小则内部更加致密，抗压强度高，但由于还原气体接触面积变小，其还原度降低[9-10]。



1—抗压强度；2—还原度。

图 2 不同粒级球团矿抗压强度及还原度

Fig. 2 Compressive strength and reduction degree of pellets with different particle sizes

表 7 不同粒级球团矿显微气孔率变化

Table 7 Variation of micro porosity of pellets with different particle sizes

球团粒级/mm	显微气孔率/%
8.0 ~ 10.0	30.54
10.0 ~ 12.5	24.30
12.5 ~ 14.0	17.02

因此，生产上可以通过提高 10.0 ~ 12.5 mm 球团矿占比，来进一步改善球团矿的还原性能。其主要调节方式为调整造球盘辊筛的辊缝间隙，调整前后球团矿各粒级占比如表 8 所示。由表 8 可知：调整后，12.5 ~ 14.0 mm 粒级的球团矿占比从原来的 40% 下降到 20%，球团矿的整体抗压强度有所下降，但还原度将进一步提高。

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

表 8　辊缝间隙调整前后各粒级占比(质量分数)

Table 8　Change of proportion of each particle level before and after gap adjustment　%

项目	8.0 ~ 10.0 mm	10.0 ~ 12.5 mm	12.5 ~ 14.0 mm
调整前	15	45	40
调整后	20	60	20

3　高炉运行情况分析

在上述适宜条件下，带式焙烧机生产的镁质球团矿符合高炉生产需求，高炉生产经济指标明显提高。高炉铁水质量及炉渣主要化学成分如表 9 所示。由表 9 可知：高炉配加镁质球团矿生产期间，铁水合格率达到 100%，一级品率达到 97.23%，铁水质量得到提高；与氧化球团矿冶炼相比，炉渣中 $w(SiO_2)$ 降低至 34.20%，$w(MgO)$ 增至 8.54%，$w(Al_2O_3)$ 降低至 15.50%，$w(MgO)/w(Al_2O_3)$ 上升至 0.55。

表 9　铁水质量和炉渣化学成分(质量分数)

Table 9　Hot metal quality and slag chemical composition　%

项目	铁水质量		炉渣化学成分						
	合格率	一级品率	SiO_2	MgO	Al_2O_3	S	FeO	CaO	MgO/Al_2O_3
基准期	100	97.00	34.52	7.91	15.72	0.86	0.31	40.68	0.50
试验期	100	97.23	34.20	8.54	15.50	0.90	0.33	40.53	0.55
对比	0	0.23	−0.32	0.63	−0.22	0.04	0.02	−0.15	0.05

表 10 所示为高炉使用镁质球团矿前后炉料结构、生产技术指标的变化。由表 10 可知：试验期高炉烧结矿配比相对稳定，球团矿配比增加 4.30%，块矿配比降低 3.45%，高炉生产技术指标显著提高，其中焦比降低 6.9 kg/t，喷煤比降低 2.2 kg/t，焦丁比降低 0.4 kg/t，总燃料比降低 9.5 kg/t。

表 10　基准期和试验期高炉部分生产经济指标

Table 10　A part of economic indexes of blast furnace in base period and test period

项目	炉料配比(质量分数)/%			焦比 /(kg·t^{-1})	喷煤比 /(kg·t^{-1})	焦丁比 /(kg·t^{-1})	燃料比 /(kg·t^{-1})
	球团矿	块矿	烧结矿				
基准期	15.82	7.45	76.73	319.40	156.90	27.20	503.50
试验期	20.12	4.00	75.88	312.50	154.70	26.80	494.00
对比	4.30	−3.45	−0.85	−6.90	−2.20	−0.40	−9.50

4　结　论

(1) 添加 MgO 粉生产镁质球团矿，球团矿冶金性能显著改善。随着 $w(MgO)$ 的增加，焙烧球还原性能改善，还原膨胀率有所降低，软化开始和结束温度、熔滴温度均有所提高。

(2) 在 MgO 粉配比为 1%，膨润土配比为 1.2% 的条件下，带式焙烧机镁质球团制备适宜的热工制度：预热时间为 6 min，预热温度为 950 ℃，焙烧时间为 9 min，焙烧温度为 1 170 ~ 1 190 ℃。

(3) 细粒级球团矿的抗压强度低于粗粒级球团矿，但是还原度明显高于粗粒级；通过提高 10.0 ~ 12.5 mm 粒级球团矿占比可以进一步提高球团矿的还原性能。

(4) 试验期间，高炉运行稳定、顺行，铁水质量得到提高，高炉经济技术指标明显改善。其中，焦比降低 6.9 kg/t，喷煤比降低 2.2 kg/t，焦丁比降低 0.4 kg/t，总燃料比降低 9.5 kg/t，达到了试验预期的效果。

参考文献：

[1] 刘祥. 镁质球团矿的研究现状与应用进展[J]. 鞍钢技术,2018(3):8 − 12.
LIU Xiang. Research status and application progress of magnesium pellets[J]. Angang Technology,2018(3):8 − 12.

[2] 李崇贵,张云平,胡焕琼,等. 球团添加镁粉生产试验[J].

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

烧结球团,2012,37(5):40 – 44.
LI Conggui,ZHANG Yunping,HU Huanqiong,et al. Production test of pellet adding magnesium powder [J]. Sintering and Pelletizing,2012,37(5):40 – 44.

[3] 张永中,卢志武. 碱度、SiO_2 及 MgO 含量对烧结矿产质量的影响 [J]. 烧结球团,2001,26(5):47.
ZHANG Yongzhong,LU Zhiwu. Influence of basicity,SiO_2 and MgO content on sinter quality [J]. Sintering and Pelletizing,2001,26(5):47.

[4] 潘建,王硕,甘牧原,等. 带式焙烧机制备镁质球团的工艺及机理研究 [J]. 烧结球团,2019,44(3):27 – 33.
PAN Jian,WANG Shuo,GAN Muyuan,et al. Study on technology and mechanism of magnesia pellet prepared by belt roasting [J]. Sintering and Pelletizing,2019,44(3):27 – 33.

[5] 邬虎林,薛向欣,陈革,等. 含氟氧化镁球团矿的研究与实践 [J]. 钢铁,2005(7):9 – 12;16.
WU Hulin,XUE Xianxin,CHEN Ge,et al. Research and practice of fluorinated magnesia pellets [J]. Iron & Steel,2005(7):9 – 12;16.

[6] 王黎光,傅菊英. 不同 SiO_2 源对酸性球团结构和性能的影响 [J]. 钢铁研究,2001(3):1 – 5.
WANG Liguang,FU Juying. The influence of different SiO_2 sources on the structure and properties of acid pellets [J]. Journal of Iron and Steel Research,2001(3):1 – 5.

[7] 夏雷阁,苏步新,李新宇,等. 焙烧温度与球团矿强度和还原性的关系 [J]. 烧结球团,2014,39(1):21 – 24.
XIA Leige,SU Buxin,LI Xinyu,et al. Relationship between roasting temperature and strength and reducibility of pellets [J]. Sintering and Pelletizing,2014,39(1):21 – 24.

[8] 林国太. 三钢高炉长期低硅冶炼生产实践 [J]. 福建冶金,2018,176(3):14 – 16.
LIN Guotai. Production practice of long term low silicon smelting in blast furnace of Sansteel [J]. Fujian Metallurgy,2018,176(3):14 – 16.

[9] 刘文权. 对我国球团矿生产发展的认识和思考 [J]. 炼铁,2006(3):10 – 13.
LIU Wenquan. Understanding and thinking on the development of pellet production in China [J]. Iron Making,2006(3):10 – 13.

[10] PANIGRAPHY S C,JALLOULI M,RIGAUD M,等. 烧结矿球团矿的气孔率与某些性能之间的关系 [J]. 烧结球团,1985,10(6):81 – 87.
PANIGRAPHY S C,JALLOULI M,RIGAUD M,et al. Relationship between porosity and some properties of sinter pellets [J]. Sintering and Pelletizing,1985,10(6):81 – 87.

(上接第8页)

[34] 褚小立,陈瀑,李敬岩,等. 近红外光谱分析技术的最新进展与展望 [J]. 分析测试学报,2020,39(10):1181 – 1188.
CHU Xiaoli,CHEN Pu,LI Jingyan,et al. The latest progress and prospects of near-infrared spectroscopy analysis technology [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory,2020,39(10):1181 – 1188.

[35] 隋莉,郭团结,杨红伟,等. 饲料企业近红外规模化应用关键控制点 [J]. 中国畜牧杂志,2017,53(11):108 – 113.
SUI Li,GUO Tuanjie,YANG Hongwei,et al. The key control points of large-scale near-infrared application in feed enterprises [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry,2017,53(11):108 – 113.

[36] 聂长虹,方红承,谭军,等. 甲基乙烯基硅橡胶相对分子质量和乙烯基含量的快速测定 [J]. 化工生产与技术,2016,23(4):37 – 39;49.
NIE Changhong,FANG Hongcheng,TAN Jun,et al. Rapid determination of relative molecular mass and vinyl content of methyl vinyl silicone rubber [J]. Chemical Production and Technology,2016,23(4):37 – 39;49.

[37] 刘翔,李键,陈艳玲. NIRS 测定水性树脂预聚体中 NCO 的方法研究 [J]. 广州化工,2016,44(13):128 – 130;142.
LIU Xiang,LI Jian,CHEN Yanling. Study on the method of measuring NCO in waterborne resin prepolymer by NIRS [J]. Guangzhou Chemical Industry,2016,44(13):128 – 130;142.

[38] 李晶晶,周昭露,黄生权,等. 近红外光谱技术应用于中草药口服液在线质量控制的化学计量学建模 [J]. 化工进展,2018,37(5):1923 – 1932.
LI Jingjing,ZHOU Zhaolu,HUANG Shengquan,et al. Application of near-infrared spectroscopy to online quality control of Chinese herbal medicine oral liquid chemometric modeling [J]. Progress in Chemical Industry,2018,37(5):1923 – 1932.

[39] FANG Qian,HONG Hanlie,ZHAO Lulu,et al. Visible and near-infrared reflectance spectroscopy for investigating soil mineralogy: areview [J]. Journal of spectroscopy,2018(2),1 – 14.

[40] SINGER Robert B. Near-infrared spectral reflectance of mineral mixtures: systematic combinations of pyroxenes,olivine,and iron oxides [J]. Journal of Geophysical Rsearch,1981,86(B9):967 – 7982.

[41] TOWNSEND Timothy E. Discrimination of iron alteration minerals in visible and near-infrared reflectance data [J]. Journal of Geophysical Rsearch,1987,92(B2):1441 – 1454.

[42] GAFFEY Susan J. Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35 – 2.55 microns): calcite,aragonite,and dolomite. American Mineralogist,1986,71:151 – 162.

[43] Spectra Flow Analytics Ltd. Ironore/sinter application [EB/OL]. [2021 – 05 – 28]. https://www.spectraflow-analytics.com/iron-oresinter.html.

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