焙烧温度对熔剂性球团性能及微观结构的影响

高 冰，张文强，单庆林，贾 彬，李振铠，张建军
（唐山钢铁集团有限责任公司，河北 唐山 063000）

摘要： 为掌握焙烧温度对熔剂性球团性能的影响，本文依托 624 m^2 带式焙烧机分别对 1 225 ℃和 1 255 ℃两种焙烧温度下的球团性能进行研究。结果表明：当焙烧温度由 1 225 ℃提高至 1 255 ℃时，球团抗压强度由 2 504 N/P 提高至 3 653 N/P，1 h 还原度由 70.0% 下降至 60.2%，还原膨胀指数由 10.7% 降低至 9.1%，低温还原粉化性能 $RDI_{+6.3\ mm}$ 由 79.7% 降低至 60.5%，$RDI_{+3.15\ mm}$ 由 90.8% 降低至 84.9%，$RDI_{-0.5\ mm}$ 变化不大；球团真密度略有提高，视密度明显提高（由 3.69 g/cm^3 提高至 3.90 g/cm^3），总气孔率由 23.20% 下降至 18.86%。因此，生产过程中通过调整合适的焙烧温度，控制适宜的液相量，有利于赤铁矿的再结晶和液相的均匀分布，从而改善熔剂性球团性能。

关键词： 带式焙烧机；焙烧温度；熔剂性球团；性能；微观结构
中图分类号： TF046.6 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764(2022)05－0053－06
doi： 10.13403/j.sjqt.2022.05.071

Effect of firing temperature on properties and microstructure of fluxed pellets

GAO Bing, ZHANG Wenqiang, SHAN Qinglin, JIA Bin, LI Zhenkai, ZHANG Jianjun
(*Tangshan Iron and Steel Group Co., Ltd., Tangshan* 063000, *Hebei*)

Abstract: In order to know the effect of firing temperature on the properties of fluxed pellets, two firing temperatures of 1 225 ℃ and 1 255 ℃ were studied by 624 m^2 travelling grate machine. The results showed that with the increase of firing temperature from 1 225 ℃ to 1 255 ℃, the compressive strength of pellets increased from 2 504 N/P to 3 653 N/P, the 1h reduction degree decreased from 70% to 60.2%, the reduction swelling index decreased from 10.7% to 9.1%, the $RDI_{+6.3\ mm}$ decreased from 79.7% to 60.5%, $RDI_{+3.15\ mm}$ decreased from 90.8% to 84.9%, and $RDI_{-0.5\ mm}$ changed little, the true density of pellets increased slightly, the apparent density increased significantly from 3.69 g/cm^3 to 3.9 g/cm^3, and the total porosity decreased from 23.2% to 18.86%. By adjusting the appropriate firing temperature and controlling the appropriate amount of liquid phase, it is conducive to the recrystallization of hematite and the uniform distribution of liquid phase, so as to improve the properties of fluxed pellets.

Key words: travelling grate machine; firing temperature; fluxed pellets; properties; microstructure

为实现低碳绿色转型升级，河钢唐钢新区建有 2 条 624 m^2 大型球团带式焙烧机，生产原料供 3 座 3 000 m^3 级高炉使用，其高炉炉料结构中，球团矿入炉比例达 40% 以上[1-2]。当前，国内外均有高炉进行高比例球团冶炼的生产，实践证明，为满足高炉高效低耗冶炼，优质熔剂性球团的生产至关重要[3-5]。熔剂性球团的生产对铁精粉质量和生产工艺控制要求较高，带式焙烧机具有原料适应性强的优点，具备生产熔剂性球团的优势。但面对优质球团精粉资源不足，铁矿资源复杂的条件，寻求适宜的生产工艺制度显得尤为重要[6-8]。

夏雷阁等[9]对焙烧温度与球团矿强度和还原性的关系进行了研究，得出随着焙烧温度的提高，球团抗压强度提高，而还原度降低。刘丕亮等[10]对带式焙烧机焙烧温度进行分析研

收稿日期： 2021－11－14；**修回日期：** 2022－01－06
作者简介： 高 冰(1987—)，男，高级工程师，从事炼铁工艺及原料质量优化技术与管理方面的工作。

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

究，得出焙烧温度不合理将直接造成球团矿质量的下降，可通过保证焙烧温度的稳定性来提升球团矿质量。因此，控制合理的焙烧温度对熔剂性球团的质量至关重要。本文基于多种不同原料特性条件，对带式焙烧机生产熔剂性球团热工参数进行了摸索，重点研究了焙烧温度对熔剂性球团性能和微观结构的影响，以期为高炉更好地使用熔剂性球团提供理论依据。

1 试验原料与方法

1.1 试验原料

试验所用原料的主要化学成分见表1，膨润土理化性能见表2。由表1可知，试验共使用了两种高硅精粉和两种低硅精粉，均为磁铁矿，铁品位均在65%以上，FeO质量分数均在25%以上，烧损为-2.67%~-2.31%。其中：矿粉A的SiO_2质量分数较高，达到7%左右；矿粉B的MgO和TiO_2质量分数较高，分别为2.87%和2.56%；矿粉C的SiO_2和Al_2O_3质量分数较高，分别为4.94%和1.33%；矿粉D品位高，SiO_2与杂质质量分数低，FeO质量分数高达29.6%，属于优质球团精粉。本文通过4种铁精粉的搭配，可将熔剂性球团各化学组分均控制在合理范围之内。此外，由表2可知，膨润土蒙脱石质量分数为64.23%，胶质价为293.5 mL/g，膨胀容为14 mL/g，2 h吸水率为320%，膨润土性能较好。

表1 原料主要化学成分(质量分数)

Table 1 Main chemical composition of raw materials %

铁精粉	TFe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	TiO_2	S	P	FeO	LOI
矿粉A	66.01	6.97	0.37	0.36	0.26	0.036	0.065	0.011	25.33	-2.47
矿粉B	65.95	0.62	0.57	2.87	0.47	2.560	0.027	0.067	28.02	-2.34
矿粉C	65.36	4.94	0.69	0.54	1.33	0.170	0.046	0.015	25.49	-2.31
矿粉D	69.93	1.74	0.27	0.53	0.43	0.053	0.263	0.010	29.60	-2.67
熔剂	—	1.15	68.11	—	—	—	—	—	—	—
膨润土	—	56.94	3.42	2.18	12.68	—	—	—	—	12.65

表2 膨润土理化性能

Table 2 Physical and chemical properties of bentonite

蒙脱石质量分数/%	胶质价/(mL·g^{-1})	膨胀容/(mL·g^{-1})	吸蓝量/(g·100 g^{-1})	2 h吸水率/%
64.23	293.51	14	28.36	320

铁精粉粒度组成见表3。由表3可以看出，4种铁精粉粒度均较细。其中：矿粉B最粗，-0.074 mm粒级质量分数为76.1%；矿粉C最细，-0.074 mm粒级质量分数为95.3%；其他两种矿粉-0.074 mm粒级质量分数为80%左右。

表3 铁精粉粒度组成(质量分数)

Table 3 Particle size composition of iron concentrate powder %

铁精粉	+0.15 mm	0.074~0.15 mm	-0.074 mm
矿粉A	4.7	16.0	79.3
矿粉B	2.4	21.5	76.1
矿粉C	0.6	4.1	95.3
矿粉D	1.1	18.5	80.4

因此，粒度方面，4种矿粉的搭配可满足熔剂性球团造球的要求。

1.2 试验方案

试验所用熔剂性球团配矿结构为以上4种矿粉的混合搭配，并通过添加消石灰调节碱度，膨润土用量为0.65%。带式焙烧机生产熔剂性球团工艺参数见表4(除焙烧温度外，其他参数相差不大，影响较小)。本文主要研究了1 225 ℃与1 255 ℃两种典型焙烧温度对熔剂性球团性能和微观结构的影响，以期为实际生产提供参考。

两种焙烧温度下熔剂性球团化学成分见表5。从表5可以看出，两种球团成分基本接近：TFe和FeO质量分数分别为61.85%、63.00%与

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

表 4　熔剂性球团热工参数

Table 4　Thermal parameters of fluxed pellet

鼓干温度/℃	抽干温度/℃	预热温度/℃	焙烧温度/℃	均热温度/℃	二冷温度/℃	焙烧时间/min
270	310	1 000	1 225	1 050	150	13
270	330	1 020	1 255	1 080	150	13

表 5　两种焙烧温度下熔剂性球团主要化学成分(质量分数)

Table 5　Main chemical composition of fluxed pellets at different roasting temperatures　%

TFe	FeO	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	TiO_2	S	R
61.85	0.40	3.37	3.94	1.43	0.63	0.73	0.03	1.17
62.98	0.55	3.40	3.92	1.52	0.70	0.66	0.03	1.15

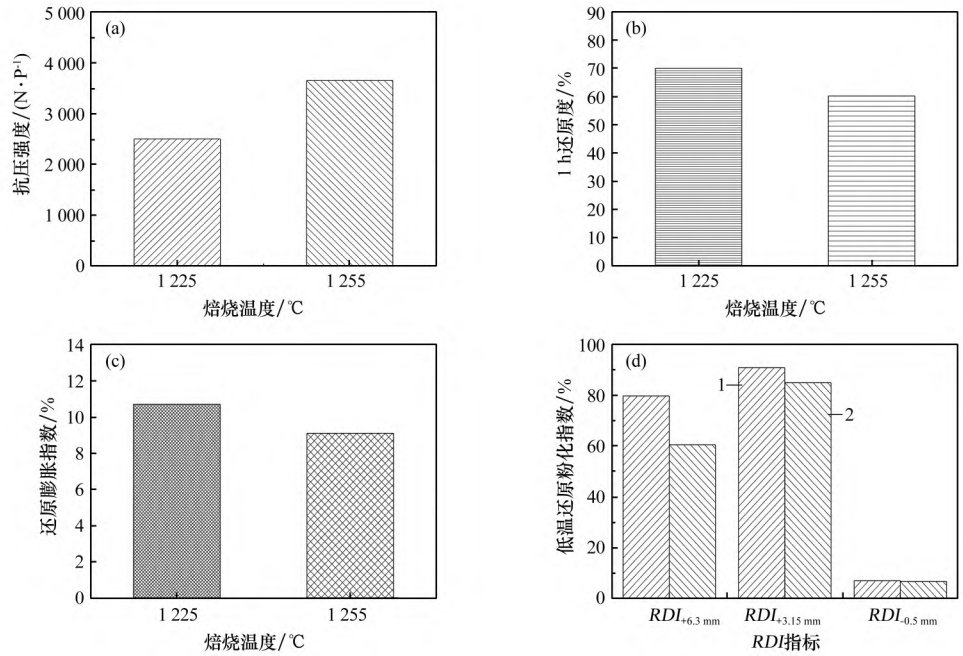
0.40%、0.55%，均处于正常范围；两者 SiO_2、TiO_2 质量分数分别约为 3.4%、0.7%，MgO、Al_2O_3 质量分数分别为 1.4%、1.5% 与 0.6%、0.7%，S 质量分数均为 0.03%，碱度(R)分别为 1.15、1.17。

2　结果与分析

2.1　焙烧温度对熔剂性球团性能的影响

两种焙烧温度下熔剂性球团性能对比见图 1。由图 1 可以看出，除还原膨胀性能接近外，两种球团其他冶金性能差异较大。当焙烧温度由 1 225 ℃提高至 1 255 ℃时，球团抗压强度显著提高，由 2 504 N/P 提高至 3 653 N/P；还原性降低，900 ℃下，1 h 的还原度由 70.0% 下降至 60.2%，还原膨胀指数略有降低，由 10.7% 降低至 9.1%，低温还原粉化性能变差，尤其是 $RDI_{+6.3\ mm}$ 降低明显，由 79.7% 降低至 60.5%，$RDI_{+3.15\ mm}$ 由 90.8% 降低至 84.9%，$RDI_{-0.5\ mm}$ 变化不大，为 7% 左右。

两种焙烧温度熔剂性球团密度和气孔率的分布如图 2 所示。由图 2 可以看出：当焙烧温度由1 225 ℃提高至1 255 ℃时，球团真密度略



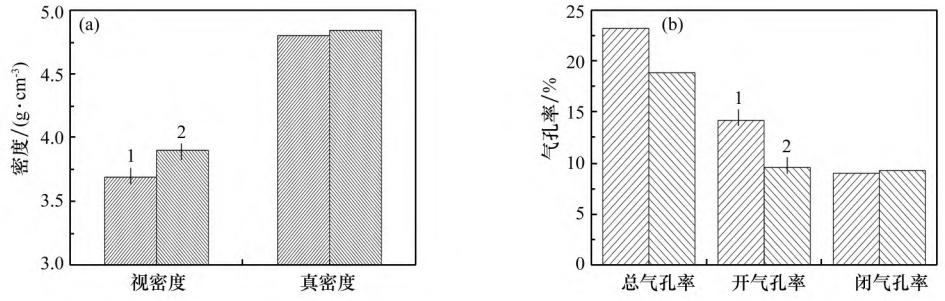
(a) 抗压强度；(b) 1 h 还原度；(c) 还原膨胀指数；(d) 低温还原粉化指数

1—1 225 ℃；2—1 255 ℃。

图 1　两种焙烧温度熔剂性球团性能

Fig. 1　Properties of fluxed pellets at different roasting temperatures

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



(a) 球团密度；(b) 气孔率

1—1 225 ℃；2—1 255 ℃。

图2 两种焙烧温度熔剂性球团密度和气孔率

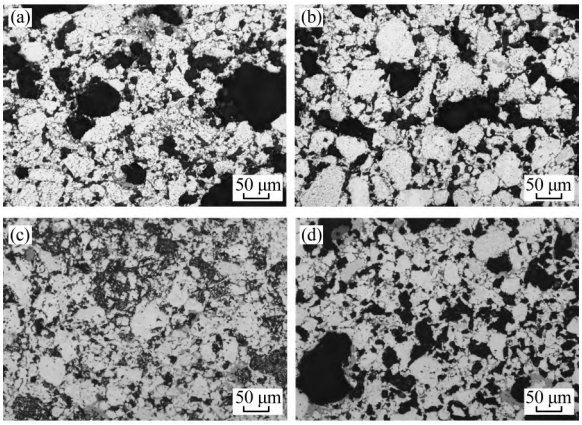
Fig. 2 Density and porosity of fluxed pellets at different roasting temperatures

有提高，但视密度明显提高(由3.69 g/cm³提高至3.90 g/cm³)；总气孔率由23.2%下降至18.86%，降幅达4.34%，其中闭气孔率变化不大，主要是开气孔率由14.19%降低至9.59%。这主要是因为提高焙烧温度进一步强化了赤铁矿的固相固结，但同时也促进了液相的生成，使抗压强度显著提高，降低了球团的气孔率，使得还原性降低，也导致了低温还原粉化性能的下降。

2.2 焙烧温度对熔剂性球团微观结构的影响

通过光学显微镜对两种焙烧温度熔剂性球团矿相结构进行观察，结果如图3所示。由图3可以看出，当焙烧温度为1 225 ℃时，熔剂性球团气孔尺寸较大，气孔率高，致密性偏低，随着焙烧温度升高后，熔剂性球团外部和内部连晶均明显改善，结构更加致密化，尤其是边缘气孔明显减少。这也是焙烧温度提高至1 255 ℃时，熔剂性球团抗压强度大幅提高，总气孔率和开气孔率减少的原因。同时也说明焙烧温度提高后，球团外部结晶强化程度更高，外部结构的致密化更早更快，受传质传热的影响，反而对内部结晶有阻碍作用，因此内部晶体结构和气孔率没有外部结构变化明显。

通常，球团的固结方式有两种，一种是固相固结，另一种是液相固结，但不管是酸性球团还是碱球球团，都应以固相固结为主，液相固结为辅。由于熔剂性球团液相量增大，尤其是中高硅熔剂性球团液相控制难度大，因此，对于液相的控制也成为决定球团性能的重要因素[11]。此外，两种焙烧温度下熔剂性球团的液

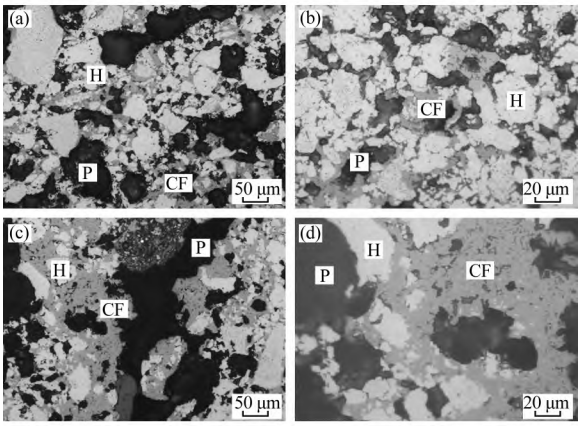


(a) 边缘(1 225 ℃)；(b) 中心(1 225 ℃)；

(c) 边缘(1 255 ℃)；(d) 中心(1 255 ℃)

图3 两种焙烧温度熔剂性球团矿相结构

Fig. 3 Mineral phase structure of fluxed pellets at different roasting temperatures



(a)、(b) 1 225 ℃；(c)、(d) 1 255 ℃

H—赤铁矿；CF—铁酸钙；P—气孔。

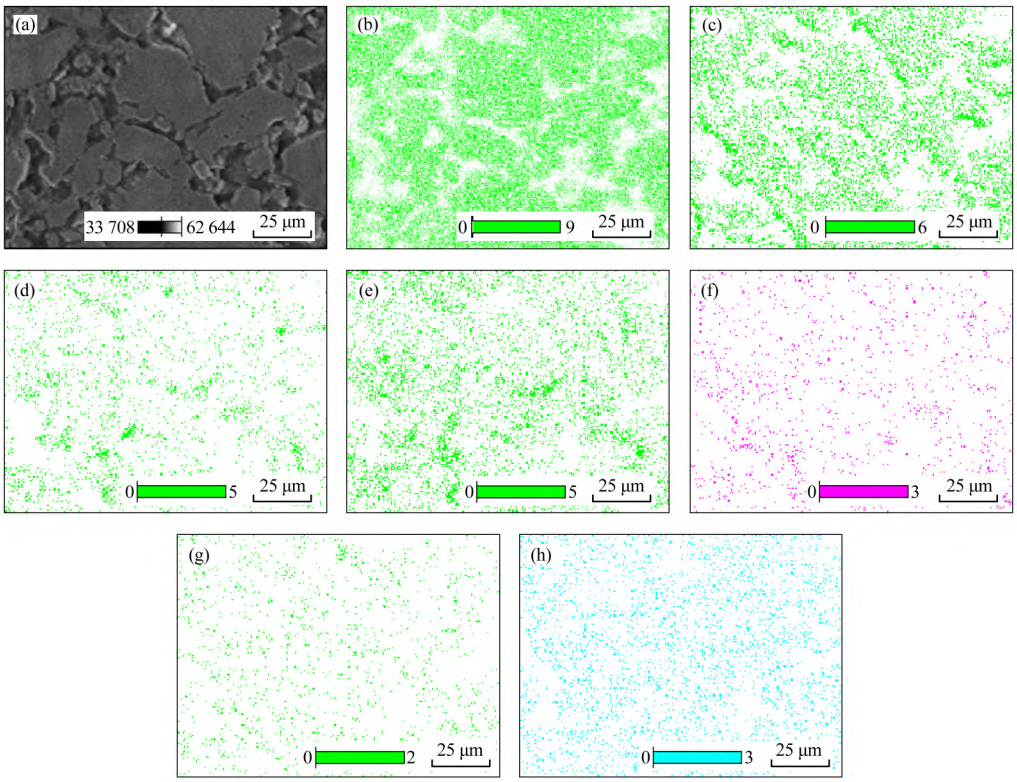
图4 两种焙烧温度熔剂性球团液相分布

Fig. 4 Liquid phase distribution of fluxed pellets at different roasting temperatures

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

相分布如图 4 所示。由图 4 可以看出，当焙烧温度为1 225 ℃时，虽然气孔率偏高，致密度下降，但球团液相量较少，赤铁矿结晶较好，可以形成有效的连晶。而当焙烧温度升高至 1 255 ℃时，虽然致密度增强，但液相量也明显增多，且液相分布不均匀，局部出现大量液相，大量液相的出现必然会严重阻碍赤铁矿的再结晶，也会使得球团矿物组成更加复杂。同时两种球团中均存在部分磁铁矿和铁酸镁。对于中高硅熔剂性球团的生产，控制合理的液相量和液相分布是关键，热力学计算也得出，当温度大于一定值后，熔剂性球团液相量会明显增加[12]。

鉴于 1 225 ℃下熔剂性球团综合冶金性能较好，尤其是低温还原粉化性能改善明显，为进一步深入分析其内部结构，通过扫描电子显微镜对 1 225 ℃下熔剂性球团结构进行观察，并进行能谱分析，结果如图 5 所示。



(a) 基础图；(b) Fe K；(c) O K；(d) Si K；(e) Ca K；(f) Mg K；(g) Al K；(h) Ti K

图 5　1 225 ℃焙烧温度下熔剂性球团微观结构

Fig. 5　Microstructure of fluxed pellet at 1 225 ℃ roasting temperature

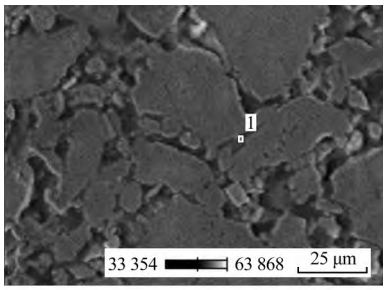
由图 5 可以看出，在较低的焙烧温度下，Fe_2O_3 晶体被部分气孔和液相分割开，Si 元素与 Ca 元素有较好的重叠性，且 Ca 元素分布更广泛，Mg 元素、Al 元素和 Ti 元素分布均匀。整体来看，液相较少且不聚集成片时，各元素分布较均匀，结构较好。

此外，两种熔剂性球团液相成分对比分别如图 6、7 所示。由图 6、7 可以看出，在 1 255 ℃下，熔剂性球团液相量较多的地方更多是 Fe 元素和 Ca 元素，Si 元素相对较少。液相量相对较少的地方和 1 225 ℃下熔剂性球团相似，即 Fe 元素、Si 元素和 Ca 元素分布较均衡。同时液相处均含有少量 Mg 元素和 Al 元素。这与图 5 中的面扫描结果一致，说明液相不单是铁酸钙还存在复合铁酸钙。为保证熔剂性球团具有良好的冶金性能，应控制合适的焙烧温度，使球团内部形成合理的液相分布。

3　结　论

本文依托624 m^2 带式焙烧机分别对1 225

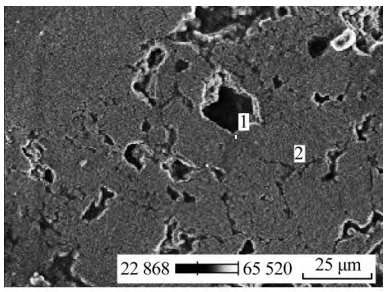
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



区域	质量分数/%					
	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
1	36.4	4.5	2.9	16.5	17.5	15.9

图6 1 225 ℃焙烧温度下熔剂性球团液相成分

Fig. 6 Liquid phase composition of fluxed pellet at 1 225 ℃ roasting temperature



区域	质量分数/%					
	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
1	18.7	3.3	5.1	7.5	15.1	50.1
2	26.2	3.42	4.6	20.1	28.1	17.6

图7 1 255 ℃焙烧温度下熔剂性球团液相成分

Fig. 7 Liquid phase composition of fluxed pellet at 1 255 ℃ roasting temperature

℃和1 255 ℃两种焙烧温度下熔剂性球团性能和微观结构进行研究，得出以下结论。

(1) 当焙烧温度由1 225 ℃提高至1 255 ℃时，球团 Fe_2O_3 再结晶明显增强，气孔率降低，结构更加致密；但还原性降低，低温还原粉化性能变差，$RDI_{+6.3\ mm}$ 由79.7%降低至60.5%，$RDI_{+3.15\ mm}$ 由90.8%降低至84.9%，$RDI_{-0.5\ mm}$ 变化不大。

(2) 当焙烧温度由1 225 ℃提高至1 255 ℃时，球团视密度明显提高，由3.69 g/cm^3 提高至3.9 g/cm^3，总气孔率由23.2%下降至18.86%，主要是开气孔率由14.19%降低至9.59%。

(3) 当焙烧温度由1 225 ℃提高至1 255 ℃后，球团液相量明显增多，且分布不均匀。为保证熔剂性球团具有良好的冶金性能，应控制合适的焙烧温度，使球团内部形成合理的液相分布。

参考文献:

[1] 王新东. 以高质量发展理念实施河钢产业升级产能转移项目[J]. 河北冶金,2019(1):1-9.
WANG Xindong. Implementing the industrial upgrading and capacity transfer project of HBIS with the concept of high quality development[J]. Hebei Metallurgy,2019(1):1-9.

[2] 李宝忠,董洪旺. 绿色高炉炼铁技术发展方向[J]. 河北冶金,2020(S01):1-4.
LI Baozhong,DONG Hongwang. Green development direction of blast furnace ironmaking technology[J]. Hebei Metallurgy,2020(S01):1-4.

[3] 滕召杰,王凯,陈建,等. 首钢京唐3号高炉高比例球团矿冶炼实践[J]. 炼铁,2021,40(4):29-32.
TENG Zhaojie,WANG Kai,CHEN Jian,et al. Practice of high proportion pellets in Jingtang NO. 3 BF of Shougang[J]. Ironmaking,2021,40(4):29-32.

[4] 毛庆武,章启夫,李欣,等. 特大型高炉使用高比例球团矿技术研究及应用[J]. 炼铁,2020,39(6):1-6.
MAO Qingwu,ZHANG Qifu,LI Xin,et al. Study and application of high pellet rate technology in super-large sized BF[J]. Ironmaking,2020,39(6):1-6.

[5] 张文强,肖洪,高冰,等. 唐钢1号高炉高比例球团矿冶炼工业试验[J]. 炼铁,2019,38(2):13-16.
ZHANG Wenqiang,XIAO Hong,GAO Bing,et al. Commercial test of high-rate pellet smelting in Tangshan Steel's NO. 1 BF[J]. Ironmaking,2019,38(2):13-16.

[6] PAL J,ARUNKUMAR C,RAJSHEKHAR Y,et al. Development on iron ore pelletization using calcined lime and MgO combined flux replacing limestone and bentonite[J]. ISIJ International,2014,54(10):2169-2178.

[7] 朱德庆,黄伟群,杨聪聪,等. 铁矿球团技术进展[J]. 烧结球团,2017,42(3):42-49.
ZHU Deqing,HUANG Weiqun,YANG Congcong,et al. Progress of iron ore pellet technology[J]. Sintering and Pelletizing,2017,42(3):42-49.

[8] 高冰,魏焕君,李晓云,等. 镁质熔剂性球团回转窑结圈探析[J]. 中国冶金,2018,28(4):17-21.
GAO Bing,WEI Huanjun,LI Xiaoyun,et al. Analysis of ring formation in magnesian fluxed pellets rotary kiln[J]. China Metallurgy,2018,28(4):17-21.

[9] 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.

(下转第94页)

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

4 结 论

烧结工序作为钢铁企业生产的重要工序，是钢铁企业成本控制、环保的重中之重，直接关系企业的生存发展。湛江钢铁1#、2#烧结机采用“活性炭+低温SCR”烟气脱硫脱硝协同处理工艺，在达到超低排放标准、各项能源介质消耗达到设计值的同时，充分证明该工艺高度环保、集成净化、资源回收、适应面广和运行稳定等特点，为烧结工序烟气超低排放改造提供了成功范例。

参考文献:

[1] 冀岗，董卫杰，李强，等. 太钢烧结烟气氮氧化物超低排放技术研究[J]. 烧结球团，2018，43(2)：67－71.
JI Gang，DONG Weijie，LI Qiang，et al. Study on ultra-low emission technology of NO_x in Taigang sintering flue gas[J]. Sintering and Pelletizing，2018，43(2) 67－71.

[2] 赵利明，陈海波. SCR烟气脱硝技术在宝钢股份4#烧结机的应用[J]. 烧结球团，2017，43(6)：24－28.
ZHAO Liming，CHEN Haibo. Application of SCR flue gas denitrification technology in No. 4 sinter machine of Baosteel Co.，Ltd.[J]. Sintering and Pelletizing，2017，43(6)：24－28.

[3] 王殿二，李国波，李超，等. 商业V_2O_5-WO_3/TiO_2催化剂重金属(Pb、Cu、Zn)中毒机理研究[J]. 分子催化，2019，33(6)：508－522.
WANG Dianer，LI Guobo，LI Chao，at el. Commercial V_2O_5-WO_3/TiO_2 catalysts for heavy metal(Pb，Cu，Zn) poisoning mechanism[J]. Journal of Molecular Catalysis(China)，2019，33(6)：508－522.

[4] 赵利明，向家发，杨鸣. 活性炭烟气净化技术在宝钢股份宝山基地3#烧结机的应用[J]. 烧结球团，2017，42(6)：5－9.
ZHAO Liming，XIANG Jiafa，YANG Ming. Application of activated carbon flue gas purification technology in 3# sintering machineof Baoshan base of Baosteel[J]. Sintering and Pelletizing，2017，42(6)：5－9.

[5] 金浩哲，偶国富，王宽心，等. 加氢处理系统NH_4Cl结晶沉积预测及优化防控[J]. 石油学报(石油加工)，2014，30(4)：662－667.
JIN Haozhe，OU Guofu，WANG Kuanxin，et al. Prediction of NH_4Cl crystalline deposition and optimized prevention method in hydrotreating unit system[J]. Acta PeroleiSinica(Petroleum processing Section)，2014，30(4)：662－667.

[6] American Petroleum Institute. Design，materials，fabrication，operation，and inspection guidelines for corrosion control in hydroprocessing reactor effluent air cooler(REAC) systems[M]. US: API Publication，2004: 11－27.

[7] 董锐锋，吴文龙，王锋涛，等. 燃煤电厂超低排放改造后烟道氯化铵结晶原因分析及对策[J]. 热力发电，2018，47(3)：128－134.
DONG Ruifeng，WU Wenlong，WANG Fengtao，et al. Reason analysis and countermeasures of ammonium chloride crystallization in the flue system of coal-fired power plants after ultra-low emission transformation[J]. Thermal Power Generation，2018，47(3)：128－134.

(上接第58页)

XIA Leige，SU Buxin，LI Xinyu，et al. Relationship of firing temperature to pellet strength and reducibility[J]. Sintering and Pelletizing，2014，39(1)：21－24.

[10] 刘丕亮，臧日浩，崔桂梅，等. 带式焙烧机焙烧温度分析研究[J]. 烧结球团，2018，43(2)：29－32.
LIU Piliang，ZANG Rihao，CUI Guimei，et al. Analysis and research on roasting temperature of travelling grate[J]. Sintering and pelletizing，2018，43(2)：29－32.

[11] 张一敏. 球团理论与工艺[M]. 北京：冶金工业出版社，2004：113.
ZHANG Yimin. Pellet theory and technology[M]. Beijing：Metallurgical Industry Press，2004：113.

[12] 王冬青，青格勒，潘文，等. w(CaO)对球团矿高温液相生成的热力学分析[J]. 烧结球团，2020，45(1)：29－34.
WANG Dongqing，QING Gele，PAN Wen，et al. Thermomechanical analysis of w(CaO) on the formation of high temperature liquid phase of pellets[J]. Sintering and Pelletizing，2020，45(1)：29－34.

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