烧结返矿分流工艺生产实践

裴元东，张俊杰，刘 桐，张巧玉，盛 华，张天啸
（中天钢铁集团有限公司，江苏 常州 213011）

摘要： 烧结返矿分流工艺改变了传统上返矿均在烧结配料室添加的工艺流程，提升了烧结机的生产效率。本文围绕国内首套烧结返矿分流装置，以中天烧结配料为基础，开展了不同比例返矿分流对烧结影响的工业试验。在内返矿比例为 16% 的条件下，通过返矿分流 0%、3%、6% 和 8% 进行对比，发现各种分流情况下烧结指标均较基准的更好，而在返矿分流为 6% 时，分流对应的烧结指标最佳：与基准相比，混合料 +3 mm 粒级占比提高 5.1%，混合料水分降低 0.2%，烧结负压降低 0.4 kPa，烧结提产 3.1%，转鼓指数和 *RDI* 指标均有所改善。

关键词： 烧结；返矿；分流；透气性；生产实践
中图分类号： TF046.4 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764(2022)05－0028－05
doi： 10.13403/j.sjqt.2022.05.067

Production practice of sintering return ore diversion process

PEI Yuandong，ZHANG Junjie，LIU Tong，ZHANG Qiaoyu，SHENG Hua，ZHANG Tianxiao
(*Zenith Steel Group Corporation*，*Changzhou* 213011，*Jiangsu*，*China*)

Abstract: The sintering return ore diversion process has changed the traditional process of adding all the return ores in the sintering batching room and improved the production efficiency of the sintering machine. The first set of sintering return ore diversion device in China is focused on，based on the Zenith sintering ingredients，and industrial tests on the impact of different proportions of return ore diversion on sintering are carried out. Under the condition of 16% internal return ore，the sintering index is better than that of the benchmark under the conditions of 0%，3%，6% and 8% of return ore diversion. At the 6% return ore diversion，the sintering index corresponding to the diversion is the best: compared with the benchmark，the ratio of mixed material +3 mm is increased by 5.1%，the moisture of the mixture is reduced by 0.2%，the negative pressure of sintering is reduced by 0.4 kPa，the sintering production is increased by 3.1%，and the drum index and RDI index are improved.

Key words: sintering; return ore; diversion; air permeability; production practice

近几年国内烧结技术取得了显著进步，烧结新工艺新技术得到广泛应用[1]。就返矿而言，传统上烧结自返矿均在烧结配料室配加，自返矿的粒度和量直接影响烧结技术指标。康旭等[2]研究表明，1～5 mm 粒级返矿易作为核粒子，被黏附颗粒包裹，无法起到液相中心的作用，只有 +5 mm 粒级的返矿不易被黏附粒子包裹，易形成液相中心；认为 +5 mm 粒级返矿的均匀分布有利于烧结过程液相区的均匀合理化发展，对烧结矿粒度的均匀化起着重要作用。

王永红等[3]研究表明，返矿粒级越大，其同化温度、熔化温度越高，认为返矿粒级越小越有利于液相生成；当返矿 +5 mm 的占比超过 25% 时，混合料制粒效果变差，同时其烧结成品率、转鼓强度均下降，故在烧结生产配料过程中需控制返矿中 +5 mm 的粒级占比低于 25%。

收稿日期： 2021－07－10；**修回日期：** 2021－10－10
作者简介： 裴元东(1985—)，男，正高级工程师，从事烧结技术方面的研究和管理工作。
通信作者： 刘 桐(1990—)，男，工程师，从事烧结技术方面的研究工作。

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

王喆等[4]认为为获得良好的烧结指标，烧结混合料中大于 6 mm 返矿比例应控制低于 20%。可见，关于粗粒度返矿在烧结中的作用，不同的研究根据自身的研究背景和试验条件，得出的结论存在差异。

近几年，烧结工作者还围绕烧结返矿分流工艺进行了相关研究。该工艺改变了传统上返矿均在烧结配料室添加的工艺流程，通过流程优化提升了烧结机的效率。日本基于烧结结构重设开发了返矿镶嵌工艺[5-6]，认为部分粗粒度的干返矿不走传统的配料—混合流程，从二混后添加更有利于提高烧结效率；国内学者从提高黏附粉比例、提高料层透气性等角度提出了返矿分流的思路[7-9]。中天钢铁于 2019 年 10 月在北区 180 m^2 烧结机上实施了国内首套烧结返矿分流工艺和装备，取得了提产约 2% 的良好效果[10]。由于各厂家烧结返矿的比例和粒度组成均存在差异，为了进一步探明不同粒度和不同返矿分流对烧结的影响，本文继续开展了相关工业试验研究。

1　原料性能及研究方法

1.1　原料性能

试验含铁原料的主要成分及配比如表 1 所示。由表 1 可知：混合料 TFe 品位为 59.37%，烧损为 5.81%，水分为 6.54%。

表 1　含铁原料的主要成分及配比(质量分数)

Table 1　Main components and ratio of iron-containing raw material　　%

原料种类	配比	TFe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	烧损	水分
高返	20	55.54	5.60	9.10	2.35	2.31	0.57	1.45
MAC 粉	19	61.20	4.52	0.05	0.08	2.25	6.76	8.12
超特粉	15	57.67	6.18	0.07	0.08	3.00	9.35	8.20
巴西混合粉	17	63.35	4.44	0.12	0.06	1.54	4.04	7.70
杨迪粉	13	57.77	6.45	0.06	0.12	1.58	10.81	10.47
块屑	16	60.66	4.41	1.12	0.51	2.12	5.70	5.07
C 型料场混匀矿	100	59.37	5.20	2.05	0.60	2.15	5.81	6.54

同时，烧结配料结构上根据烧结矿碱度、亚铁、MgO 成分对白云石、生石灰、石灰石等熔剂进行微调，保持碱度 R 为 2.2 ± 0.08，亚铁质量分数为 7.5%~9.5%，烧结矿的 MgO 质量分数按 3.0% 控制，180 m^2 烧结配料结构见表 2。

表 2　180 m^2 烧结配料结构(质量分数)

Table 2　Material ratio of 180 m^2 sinter　　%

混合料 A	混合料 B	生石灰	白云石	石灰石	瓦斯灰	返焦	高硫煤	内返矿
78.69	2.85	5.92	7.21	0.75	0.58	2.25	2.08	16.1

由表 2 可知：烧结物料配比中碱性熔剂主要以生石灰和白云石为主，同时配用瓦斯灰替代部分固体燃料。返焦 + 高硫煤配比为 4.34%。

1.2　研究方法

中天钢铁高炉炉料中烧结矿比例为 60%~65%，块矿和球团矿比例为 35%~40%。中天高炉返矿的平均粒度为 3.7 mm，而中天烧结自返矿的平均粒度为 3.3 mm；一般高炉返矿 + 3 mm 占比更高，理论上高炉返矿的分流效果应更佳；但考虑烧结自返矿的筛分位置与混合机位置距离较近，现场实施改造更容易，同时自返矿的成分相对高炉返矿更均匀(块矿、球团与烧结成分存在差异)，因此中天采用了分流自返矿的方式。

中天自返矿的分流方案：增设 3 mm 的筛分装置，将在烧结成品筛分车间经过筛分的烧结自返矿进一步进行筛分，+3 mm 筛上物通过皮带在二混后配加，不参与混合制粒过程；−3 mm 筛下物返矿则仍返回烧结配料室进行配加(图 1)。

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

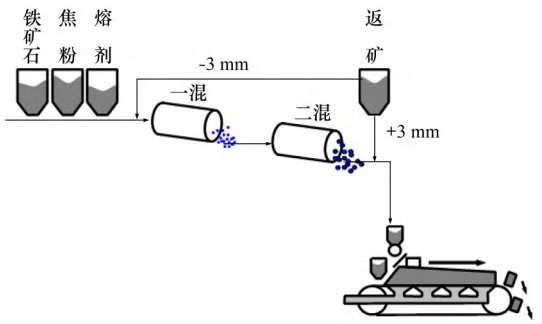


图1 中天钢铁烧结返矿分流工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sintering return ore diversion process of Zenith

在保持碱度、亚铁、MgO、料层厚度(800 mm)等条件不变下，研究不同返矿分流配比对烧结参数的影响。

根据目前180 m^2烧结机实际生产情况，内返矿的总比例为16%，其中返矿分流量为3%，配料室配加的返矿量为13%。为了探索不同返矿分流量对烧结的影响，通过调整配料室和分流仓的返矿下料量，制定了如表3所示的分流配比实施方案。

由表3所知，试验方案保持总返矿配比16%不变，返矿分流配比则逐步从3%提高至8%，分流配比从0提高到50%。

表3 不同配比返矿分流工业试验方案(质量分数)

Table 3 Industrial test scheme of different proportion return ore diversion %

试验编号	分流配比	内返矿总配比	总返矿配比	返矿分流配比
1	0	16	16	0
2	3	13	16	18.8
3	6	10	16	37.6
4	8	8	16	50.0

2 结果及分析

2.1 返矿分流对烧结混合料的影响

作为混合料制粒造球的核心，返矿对烧结混合料粒级分布影响至关重要。烧结配混过程中各物料参与混合制粒，物料的粒度和粒度组成成为影响造球的核心因素。因为粒度差别大，易产生偏析，不利于混匀，也不利于制粒。为了分析返矿粒级变化对造球的影响，对原始的烧结自返矿、经过分流筛筛分的筛下物(简称“筛下内返矿”)和经过分流筛筛分的筛上物(简称“筛上内返矿”)3种返矿的粒级分布进行分析，结果见表4。

表4 分流前后返矿粒级组成情况

Table 4 Particle size composition of return ore before and after return ore diversion %

项目	粒级组成(质量分数)/%					平均粒径/mm
	+5mm	5~3 mm	3~1 mm	-1 mm	+3 mm	
烧结自返矿	7.42	51.11	30.81	10.66	58.53	3.27
筛下内返矿	0.63	34.22	45.32	19.83	34.85	2.42
筛上内返矿	13.88	67.17	17.00	1.94	81.05	4.08
变化	6.46	16.06	-13.81	-8.72	22.52	0.81

由表4可知，返矿分流前，+5 mm占比达到58.53%，返矿分流后，筛上内返矿中+3 mm粒级占比提高到81.05%，提高了22.52%。其中，5~3 mm占比提升幅度尤其明显，提高了16.06%，-1 mm占比减少了8.72%。

结合表1，烧结含铁原料使用的均为进口富矿粉。与传统磁精粉相比，富矿粉的平均粒度相对较大，在3 mm水平。因此，返矿作为粗粒度充当造球核心的作用有所弱化。另一方面，返矿粒度适当降低后，更有利于缩小其与矿粉之间的粒度差，有利于烧结物料的混匀和制粒。

通过对试验1~4号下不同返矿分流状态的混合料进行取样检测，对混合料粒级分布(+3 mm占比)、混合料水分(机头圆辊布料处取样)、混合料料温等参数进行对比分析，进一步验证不同返矿分流下，内返仓返矿作为造球核心对混合制粒过程的影响，具体情况如表5所示。

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

表 5　不同返矿分流情况下混合料参数变化

Table 5　Variation of mixture parameters under different return diversion conditions

试验编号	分流配比/%	一混加水量/(t·h^{-1})	混合料水分/%	混合料温/℃	+3 mm 占比/%
1	0	13.6	6.82	69	53.60
2	3	13.1	6.69	69	56.80
3	6	12.8	6.65	70	58.75
4	8	11.5	6.61	70	55.43

由表 5 可知，无返矿分流时，一混加水量为 13.6 t/h，混合料水分为 6.82%。逐步提高返矿分流配比后，一混加水量逐步降低至 11.5 t/h，混合料水分为 6.61%。整体看，中天烧结料在返矿分流后，混合料水分降低了约 0.2%。

混合料粒级中，各分流方案 +3 mm 占比均高于基准，说明返矿分流对改善烧结制粒效果有利；其中方案 3 中的 +3 mm 的占比最高，较基准高 5.15%。分析原因认为，随着分流配比的增加，剩余物料由于水分的适当增加和填充率适当降低，造球效果有所改善。但当返矿分流配比达到 50% 时，作为造球核心的返矿量不够，从而导致物料混合制粒效果上粒级呈现下降趋势。因此，返矿分流占比宜控制在 6%。

2.2　返矿分流对烧结工艺参数的影响

返矿分流对烧结工艺参数的影响见表 6。

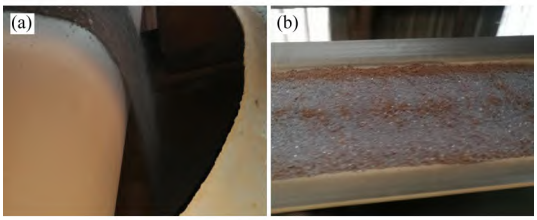
表 6　不同返矿分流情况下烧结参数变化

Table 6　Variation of sintering parameters under different return diversion

试验编号	终点温度/℃	总管废气温度/℃	总管负压/kPa	1#风箱负压/kPa	2#风箱负压/kPa	3#风箱负压/kPa	上料量/(t·h^{-1})
1	410	125.14	14.10	9.28	12.97	14.02	320
2	417	126.50	13.71	9.20	12.57	13.45	325
3	437	128.75	13.73	9.14	12.54	13.66	330
4	436	127.20	13.50	9.18	12.10	13.43	330

由表 6 分析可知，较无返矿分流相比，试验 2～4 烧结总管负压均有不同程度降低，降低幅度为 0.4～0.6 kPa，且总管废气温度提高约 2～4 ℃。其中，方案 3 的温度提高幅度最大。烧结上料量从 320 t/h 提到至最高 330 t/h，相当于烧结提产 3.1%。分析认为，返矿分流下返矿对烧结料层有一定支撑作用，使得料层孔隙增大，有利于改善烧结料层整体透气性，表现出烧结总管负压降低、总管废气温度升高的特点。

返矿分流后烧结现场如图 2 所示。由图 2 可见，在返矿分流后，返矿落在二次混合机后皮带上其余混合料的表层，随着其余物料一起进入烧结机。值得注意的是，中天钢铁二次混合机后的皮带到烧结机小矿槽前经历三次皮带转运。随着皮带的转运，在进烧结机前返矿与其余物料基本处于混合均匀的状态。



(a) 返矿分流落料点；(b) 返矿分流后均匀分布于混合料

图 2　返矿分流后烧结现场

Fig. 2　Diagram of sintering site after return ore diversion

从返矿分流工艺实施效果看，该工艺具有提高烧结机利用系数、降低烧结负压和提高烧结废气温度的优势。

2.3　返矿分流对烧结矿质量的影响

返矿分流对烧结过程起到了提高混合料粒级、改善烧结料层透气性等显著效果，过程的改善为烧结矿质量的提升创造了条件。不同返矿分流情况下的烧结矿质量指标见表 7。

由表7可知，与无返矿分流相比，返矿分

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

表7 不同返矿分流情况下的烧结矿质量指标
(质量分数)

Table 7 Sinter quality indexes under different return diversion conditions %

试验编号	转鼓强度	5~10 mm粒级占比	$RDI_{+3.15\ mm}$	w(FeO)
1	77.00	23.58	70.26	8.88
2	78.14	20.09	76.37	8.87
3	80.80	19.36	75.56	8.87
4	77.20	20.31	74.32	8.71

流下烧结矿强度均有不同程度的提升，特别是在返矿分流配比为6%时，烧结矿强度达到最高值80.8%，$RDI_{+3.5\ mm}$指标也较基准有所改善。分析认为，返矿分流不仅改善了烧结料层透气性，有助于烧结机提产，也整体提高了烧结矿的质量。这可能是由于返矿分流后混合料的粒度组成更均匀和合理，从而不仅有助于烧结提产，也有利于烧结成矿。

3 结 论

(1) 中天钢铁采用100%主流富矿粉进行烧结，烧结返矿充当造球核心的作用弱化；同时返矿分流后，造球的返矿粒径与矿粉粒径接近，有利于改善制粒效果。

(2) 采用返矿分流可使混合料水分整体降低0.2%，且从制粒效果看，返矿分流配比为6%时(中返矿配比为16%)最佳。同时，此配比下烧结效果最佳：烧结总管负压降低0.4 kPa，总管废气温度提高4 ℃，烧结机提产3.1%。

(3) 返矿分流不仅改善了烧结料层透气性，也对提高烧结矿强度和*RDI*指标有利。

参考文献:

[1] 廖继勇,何国强. 近5年烧结技术的进步与发展[J]. 烧结球团,2018,43(5):46-50.
LIAO Jiyong,HE Guoqiang. Progress and development of sintering technology in recent five years[J]. Sintering and Pelletizing,2018,43(5):46-50.

[2] 康旭,史先菊,李军. 返矿的物化特性及其对烧结过程的影响研究[J]. 烧结球团,2014,39(2):5-8.
KANG Xu, SHI Xianju, LI Jun. Study on physicochemical characteristics of returned ore and its effect on sintering process[J]. Sintering and Pelletizing,2014,39(2):5-8.

[3] 王永红,杜屏,邸航,等. 返矿影响烧结过程的机理研究[J]. 烧结球团,2021,46(3):28-32.
WANG Yonghong,DU Ping,DI Hang,et al. Study on mechanism of effect of return ore on sintering process[J]. Sintering and Pelletizing,2021,46(3):28-32.

[4] 王喆,安钢,刘伯洋,等. 烧结返矿粒度分布对烧结矿质量影响研究[J]. 烧结球团,2017,42(4):6-9;34.
WANG Zhe,AN Gang,LIU Boyang,et al. Study on the influence of sinter return particle size distribution on sinter quality[J]. Sintering and Pelletizing,2017,42(4):6-9;34.

[5] KASAI Eiki,KOMAROV Sergey,NUSHIRO Koichi,et al. Design of bed strcture aiming the control of void structure formed in the sintercake[J]. ISIJ International,2005,45(4):538-542.

[6] YAMAGUCHI Yasuhide, KAMUO Chikashi, MATSUMURA Masaru,et al. Improvement of permeability of sintering bed by adding dry particles to granulated raw materrials[J]. ISIJ International,2013,53(9):1538-1544.

[7] 裴元东,吴胜利,熊军,等. 大粒度矿/返矿分流烧结技术研究及其在首钢应用的分析[J]. 烧结球团. 2014,39(2):1-3.
PEI Yuandong,WU Shengli,XIONG Jun,et al. Study on inlaid sintering technology of large particle size ore/return ore and its application in Shougang[J]. Sintering and Pelletizing,2014,39(2):1-3.

[8] 裴元东,安钢,赵志星,等. 首钢烧结返矿镶嵌技术研究[N]. 世界金属导报,2016-06-14(B02).
PEI Yuandong,AN Gang,ZHAO Zhixing,et al. Study on inlay technology of sinter return ore in Shougang[N]. World Metal Report,2016-06-14(B02).

[9] 王兆才,周志安,何国强,等. 基于返矿分流的烧结强化制粒技术研究[J]. 烧结球团. 2018,43(4):12-16.
WANG Zhaocai,ZHOU Zhian,HE GuoQiang,et al. Study on sintering strengthening granulation technology based on return ore diversion[J]. Sintering and Pelletizing,2018,43(4):12-16.

[10] 刘建波,裴元东,张俊杰,等. 中天不同粒度返矿分流烧结技术的研究及工业应用[J]. 烧结球团,2020,45(4):22-25.
LIU Jianbo, PEI Yuandong, ZHANG Junjie, et al. Research and industrial application of Zhongtian different particle size return shunt sintering technology[J]. Sintering and Pelletizing,2020,45(4):22-25.

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