链—回—环球团生产系统提质增效改进措施

石楚刚，陈光华，朱梦飞，周罕龙，唐建波，韦振宁
（柳州钢铁股份有限公司，广西 柳州 505001）

摘要：为降低球团生产过程中湿返料的循环量，提高生球合格率，本文从改善生球质量、稳定生球粒度组成两方面入手，结合造球盘刮刀改型、返料碾磨和辊筛变频技术等改进措施，对链—回—环球团生产系统的提质增效展开研究。结果表明：造球盘固定刮刀改型能降低造球过程中湿返料循环量，生球合格率提高4.78%；低压辊磨改造可改善返料的成球性，促进生球合格率提高1.92%，膨润土单耗降低1.11 kg/t；辊筛变频技术的利用能提高生球的筛分效率，促进返球率降低6.27%，改善成品球抗压强度。

关键词：生球质量；固定刮刀；低压辊磨；变频
中图分类号：TF046.6　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－8764(2022)04－0058－06
doi：10.13403/j.sjqt.2022.04.054

Measures to improve quality and efficiency of grate-kiln-cooler pellet production system

SHI Chugang，CHEN Guanghua，ZHU Mengfei，ZHOU Hanlong，TANG Jianbo，WEI Zhenning
(*Liuzhou Iron and Steel Co.,Ltd.,Liuzhou* 505001,*Guangxi*,*China*)

Abstract: In order to reduce the circulation of wet returns in the production process of pellet and improve the qualified rate of green pellets,two ways including improving the quality of green balls and stabilizing the composition of green balls particle size are started with,combined with such improvement measures as ball-making disc scraper modification,returning grinding and roller screen frequency conversion technology to study on improving quality and efficiency in grate-kiln-cooler pelletizing production systems. The results show that the modification of the fixed scraper of the pelletizing disc can reduce the circulation of wet returns in the production process,and the qualified rate of green balls can be increased by 4.78%; the low pressure grinding modification can improve the balling of the returns, promote the pass rate of green balls by 1.92%,and reduce the unit consumption of bentonite by 1.11 kg/t. The use of roller screen frequency conversion technology can improve the screening efficiency of green balls, promote the reduction of the return rate by 6.27%,and improve the compressive strength of the finished ball.

Key words: green balls quality; fixed scraper; low pressure grinding; frequency conversion

现代高炉生产对炉料的要求几近苛刻，随着以高碱度烧结矿搭配酸性球团矿为主要形式的高炉炉料结构被业内各大企业采用，球团矿在高炉炉料组成中的重要地位不断凸显。当前国内主流球团生产工艺为链算机—回转窑—环冷机（简称“链—回—环”）系统和带式焙烧系统。根据原料性质、燃料特性、产品需求的不同，这两种工艺在国内均得到不同程度的发展[1－3]。造球工序作为球团生产的核心工序，其产出生球的质量和粒度组成的稳定对后续链—回—环工艺有积极影响，有助于风流系统的顺行和热工制度的连续稳定，对成品球质量有举足轻重的作用[4－5]。生产经验表明，稳定生球质量的限制性环节较多，受原料性质、操作

收稿日期：2021－11－01；**修回日期**：2021－12－23
作者简介：石楚刚(1987—)，男，工程师，从事烧结球团生产管理和工艺装备优化方面的工作。

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

水平、设备工况等影响，实际生产中生球的强度和粒度组成指标存在波动现象。

为稳定生球质量，钢铁企业、科研院校积极开展专项技术攻关和项目合作，着力于从源头稳定球团生产。许宝科等[6]从高压辊磨设备边料循环工艺入手，探寻不同的边料循环比对生球、成品球质量的影响程度，确定适宜的循环比，从而优化焙烧效果，降低膨润土消耗；刘建华[7]从链—回—环系统的干返料配加形式展开研究，将干返料转运至配料仓，重新经历配料、润磨工艺再返回造球使用，改善了球团生产的返料再利用效果；胡志清等[8]针对造球原料性质展开研究，分别从粒度组成、比表面积和微观形貌等方面对原料进行质量评价，并提出适宜的配矿思路，对进口高品位铁精粉的使用具有重要的指导作用。

柳钢现有年产 120、240 万吨的链—回—环球团生产线。本文以柳钢球团实际生产为基础，从稳定生球质量入手，分析现行工艺和设备存在的不足，从改善原料性质、优化盘内工况、提升生球筛分效果等方面提出改进措施，以期为行业稳定生球质量提供技术参考与借鉴。

1　现状分析

(1) 造球盘刮刀使用现状。刮刀是维持圆盘造球机稳定工作的关键设备，其作用是清理黏结在盘底和盘边的积料，提高造球盘的生产率，改善生球质量。球团生产线原采用旋转式活动刮刀，通过与造球盘保持适当转速比，使得刮刀运行轨迹覆盖整个盘面，从而起到清料作用。但在生产过程中发现，旋转刮刀的转速与造球盘转速难以做到完美匹配，当前仅凭人工调控加大了转速匹配的难度，导致盘面出现清理“盲区”，会在盘面形成较厚的黏结料块，影响料流的运行状态，且大体积料块随盘滚动会破坏生球结构，对造球过程产生不利影响。此外，旋转刮刀设备结构相对复杂，使用故障率高，更换难度大且耗时较长。

(2) 球团返料现状。返料是球团生产过程中产生的粒度不均、成分复杂的物料，由干返料和湿返料组成。返料会随着料流在生产过程中反复循环并参与生产，由于循环返料中夹杂有干球和不合格生球，造成返料粒度波动，不利于造球工艺的稳定。长久以来，返料问题都是球团生产技术攻关的重要课题。业内技术人员曾先后尝试从优化返料配加方式、改变返料用途等方面开展研究[9]，但都收效甚微。

(3) 生球辊筛使用现状。在球团生产工艺中，辊筛作为筛取合格生球的筛分工具，设置于生球皮带和链算机布料端之间，按照筛除对象分为大球辊筛和小球辊筛。球团两条生产线分别采用“生球皮带—梭式布料器—大球辊筛—宽皮带—小球辊筛—链算机”、“大球辊筛—生球皮带—摆头皮带—小球辊筛—链算机”两种工艺模式，均能较好完成合格粒级生球的筛分工作。

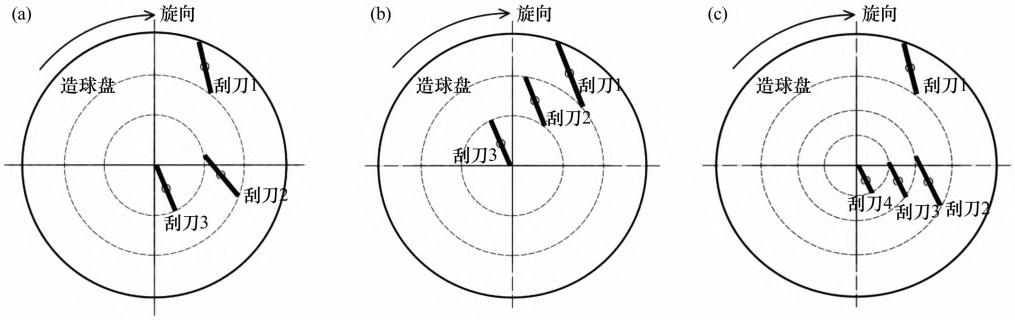
在长期生产过程中发现，随着矿种结构调整、造球原料水分及成球性的变化、大小球辊筛磨损程度的不同，会对筛分效率产生不同程度的影响。粒级差异大、湿度不同的生球料流在辊面会出现流速不均的现象，筛面经常出现“空区”，无法均匀过筛的生球会在辊面团聚，破坏生球结构。过筛效果不佳会导致链算机布料不平，截面方向高低差异大，空料部分的箅板易烧损，影响耐热设备的使用寿命，也对生球在链算机内的热工过程有不利影响。

2　球团系统提质增效改进措施

2.1　圆盘造球机固定刮刀改造

通过收集相关资料并开展前期可研分析，结合原料性质和设备工况，从改善盘面清理效果、优化生球质量的角度出发，决定利用构造简单、安装方便的固定刮刀替代旋转刮刀。对盘面料流进行跟踪观察和刮刀角度、位置进行计算选型，最终决定采用 3 种改型方案用于工业试验，刮刀改型方案如图 1 所示。2021 年 8—9 月分别在 120 万吨球团 2#(方案 A)、3#(方案 B)、4#(方案 C) 进行造球盘固定刮刀改造试验，结果如表 1 所示。

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



(a) 方案A; (b) 方案B; (c) 方案C

图1 固定刮刀改造方案

Fig. 1 Fixed scraper modification plan

表1 改造后各球盘生球数据对比

Table 1 Comparison of the green ball data of each ball plate after the transformation

盘号	平均落下强度/[次·(0.5 m)$^{-1}$]	落下强度标准差	10~16 mm粒级占比(质量分数)/%	12~16 mm粒级占比(质量分数)/%
2#	6.68	1.23	91.04	59.09
3#	6.65	1.48	88.97	50.38
4#	7.36	1.47	90.34	57.01
5#(旋转刮刀)	7.20	1.50	85.59	54.01

注:落下强度标准差表征落下强度指标的离散程度,反映该指标的波动幅度。

由表1可知,进行固定刮刀改造后,相比于5#盘使用旋转刮刀,2#~4#造球盘生球质量指标有明显变化。从生球落下强度指标来看,4#、5#盘生球落下强度高于7.0次/(0.5 m),2#、3#盘生球落下强度相对偏低,分别为6.68、6.65次/(0.5 m);从落下强度标准差来看,3#、4#、5#盘指标较为接近,2#盘标准差有明显降低,这表明2#盘生球质量相对均匀,强度波动较小,5#盘生球落下强度指标波动幅度最大;此外,改造后的2#、3#、4#盘生球的粒度组成均有改善,10~16、12~16 mm粒级占比均有不同程度的上升,成球效果更好,生球合格率得到优化,其中2#、4#盘生球10~16、12~16 mm粒级占比相对较高,更利于生球粒径的控制。整体来看,改造后的2#盘生球的落下强度虽相对较低,但差距不大,且落下强度波动幅度最小,生球质量更均匀;此外,2#盘生球具有最优的成球效果和粒度组成,改造成效最为显著,因此造球盘固定刮刀改型决定统一采用2#盘的改造方案。

2.2 优化内循环返料的低压辊磨改造

从改善循环返料的物理性质入手,参考提升造球物料比表面积的高压辊磨设备的运行机理,充分结合现场工况条件,设计一种可直接安装于返料皮带的低压辊磨装置,并于生产线检修期间架设完成并投用。

低压辊磨装置架设于返料皮带中部一段较长的平缓地带,分别安装上、下两个改向辊筒,定辊固定于上层皮带的下端,动辊采用铰链结构固定于皮带上部支架,并在动辊上部安装刮料器用于清除辊面黏结物料。同时,动辊配套安装提升装置,无需使用低压辊磨装置时可将动辊提升至离开料面;使用低压辊磨装置时,将动辊放下与料面接触,利用接触摩擦力带动定辊和动辊转动,动辊在自身重力作用下与下部定辊配合实现对返料的碾磨。此外,动辊上部设置有配重槽,当碾磨效果不佳时可以增加额外配重,改善碾磨效果。低压辊磨装置如图2所示。

2.3 提高筛分效率的辊筛变频改造

从调整料流运动状态入手,分别对大、小

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

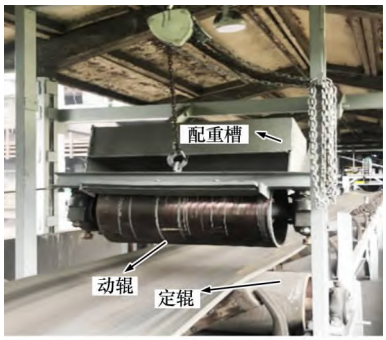


图 2　低压辊磨装置

Fig. 2　Schematic diagram of low pressure roller mill

球辊筛中部分动辊进行变频改造，延长生球料流在筛面停留时间，消除筛面“空区”，有助于提高筛分效率，稳定链箅机布料工艺。

以 120 万吨球团小球辊筛为例，其由 45 根筛辊组成，在上、中、下和出料端 4 个区域分别选择 1 根筛辊作变频改造，根据实际筛分情况适当降低筛辊转速，变频筛辊位置如图 3 所示。慢速辊可以作为生球料流沿辊筛倾角滑落的“缓冲带”，降低料流运动速度，延长其在筛面停留时间，筛面无空区，小球透筛率提高，有效降低了进入链箅机生球中不合格小球占比，有助于提高料层透气性和截面料层的均匀性，对后续干燥、预热和焙烧工艺有积极影响，成品球产、质量有不同程度提高，且成品球质量波动降低，产品质量更均匀。

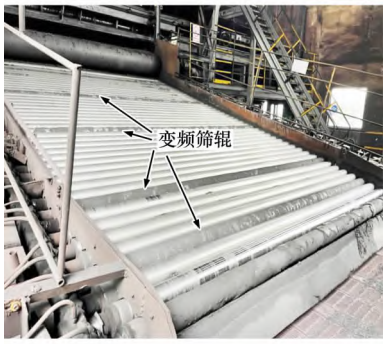


图 3　变频筛辊现场图

Fig. 3　Site diagram of frequency conversion screen roller

2.4　造球原料多级补水改造

由于钢厂所处地域属热带季风气候和亚热带季风气候交汇，旱季、雨季分明，外部环境温度较高。当出现连续降雨时，港口来料水分较大，需要将造球原料通过干燥机作脱水处理，才能为正常的造球使用。而当出现连续旱季时，料场堆放精粉的含水量较低，造球时盘中补水较多，容易出现局部水分过大，造成物料异常黏结团聚的现象，盘内大球数量增加，会破坏未长大生球和母球的结构，对造球工艺有不利影响。

针对上述现象，本文采取在造球原料进卧式强混机前，对其进行补水的方法。为避免集中加水造成物料在皮带上黏结成块，采取分级补水的方式，选择多条皮带分散加水，且水流必须分散，不能形成水柱，防止出现因局部加水过大，导致皮带表面过湿而打滑、跑偏的问题。分级补水与干燥机的配合使用，可以有效稳定造球混合料水分，有助于保障造球工序的连续稳定，提高生球质量。

3　应用效果

3.1　固定刮刀改造

固定刮刀采用普通 A3 钢，刀头为耐磨陶瓷，其改型完成后，对实际生产使用情况进行跟踪、记录，刮刀运行工况良好，单片刮刀使用寿命约为 2 ~ 3 月，更换简单且耗时较少，能较好契合紧张的生产节奏。此外，对改造前后的生球质量和能耗指标对比，结果如表 2 所示。由表 2 可知：改造后，生球落下强度波动幅度降低，生球合格率提升 4.78%，返料循环量明显减少，工序能耗(标煤)降低 0.017 kg/t。综上所述，圆盘造球机固定刮刀适应性改造一方面对造球工艺的稳定顺行起到有力保障；另一方面，均匀、稳定的生球供应对后续的干燥、预热、焙烧工艺均有积极影响，可推动球团工艺提质降耗发展。

3.2　低压辊磨改造

低压辊磨装置投用以来，干、湿返料的结块现象有较大改善，该装置有效地将干、湿返料中球状物料破坏，降低返料的平均粒度，提高返料比表面积和表面活性，改善返料的混合效果和成球性能，对球团生产工艺有积极影响。由于压辊利用自身重力将干返料破碎，长期使

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

表2 固定刮刀改造前后工艺指标对比

Table 2 Comparison of process indicators before and after the transformation of the fixed scraper

项目	生球平均落下强度/[次·(0.5 m)$^{-1}$]	落下强度标准差	生球合格率/%	工序能耗(标煤)/(kg·t^{-1})
改造前	5.8	1.52	86.31	21.483
改造后	5.9	1.21	91.09	21.466

用易造成皮带表面刮伤、覆膜脱落，返料皮带寿命不超过1个检修周期(3个月)。因干返料多为链箅机跌落的干燥球，抗压强度低于800 N/P，据此对压辊配重进行合理调节，返料皮带寿命延长至2个检修周期以上。

改造前后部分指标对比如表3所示。由表3可看出，物料成球性的改善一方面有助于降低生产工艺波动，降低内循环返料负荷，使生球合格率由86.37%提高至88.29%；另一方面，物料成球性的改善优化了生球成球效果，膨润土消耗由15.44 kg/t降低至14.33 kg/t。此外，工艺条件的优化稳定了生球供应，有利于改善链箅机布料平整度，对后续的干燥、预热、焙烧工艺均有积极影响，球团矿煤气单耗由39.17 m^3/t降低至38.53 m^3/t，产量提高约30~40 t/d。

表3 低压辊磨改造前、后工艺指标对比

Table 3 Comparison of process indicators before and after the transformation of low pressure roller mill

项目	干基膨润土单耗/(kg·t^{-1})	生球合格率/%	产量/(t·d^{-1})	煤气单耗/(m^3·t^{-1})
改造前	15.44	86.37	3570	39.17
改造后	14.33	88.29	3610	38.53

3.3 辊筛变频改造成效

大球辊筛实施变频改造后，有效降低湿返料中合格生球的占比，降低返球率，提高筛分效率和布料稳定性，对成品球产、质量的提升也有积极影响。120万吨球团实施变频改造后工艺指标如表4所示。

表4 辊筛变频改造前后工艺指标对比

Table 4 Comparison of process indicators before and after frequency conversion of roller screen

项目	返球率/%	成品球抗压强度/(N·P^{-1})	抗压强度标准差	产量/(t·d^{-1})
改造前	19.68	2 013	453.26	3 516
改造后	13.41	2 129	341.15	3 585

4 结 语

(1) 造球盘固定刮刀改造可显著降低返料循环量，优化热工工艺条件，生球合格率提高4.78%，工序能耗(标煤)降低0.017 kg/t；此外，固定刮刀结构简单、更换方便，能较好适应快节奏生产。

(2) 低压辊磨改造有效改善了湿返料结块现象，优化返料的混合效果和成球性能，生球合格率提高1.92%，膨润土单耗降低1.11kg/t，煤气单耗降低0.64 m^3/t。

(3) 辊筛变频改造有助于提高大、小球辊筛的筛分效率，减少返料中合格生球比，提高小球的透筛率，改造后返球率降低6.27%；链箅机料层透气性得到改善，对提高成品球产、质量有积极影响。

参考文献:

[1] 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. Technical progress in iron ore pelletization[J]. Sintering and Pelletizing,2017,42(3):42-49.

[2] 唐先觉,朱雪琴. 浅谈我国烧结球团业50年来的技术进步[J]. 烧结球团,2004,29(6):1-3.
TANG Xianjue,ZHU Xueqing. Discussion on the technological progress of my country's sintering pellet industry in the past 50 years[J]. Sintering and Pelletizing,2004,29(6):1-3.

[3] 叶匡吾. 三种球团焙烧工艺的评述[J]. 烧结球团,2002,

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

27(1):4－7.
YE Kuangwu. Review of three kinds of pelletizing process [J]. Sintering and Pelletizing,2002,27(1):4－7.

[4] 严照照,卢建光,吕庆,等. 碱度对生球质量和球团矿抗压强度的影响[J]. 钢铁钒钛,2018,39(6):110－115.
YAN Zhaozhao, LU Jianguang, LÜ Qing, et al. The impact of basicity on the green ball quality and cruslring strength of pellets[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2018, 39(6): 110－115.

[5] 刘曙,路漫漫,付金涛,等. －0.025 mm 粒级含量对磁铁精矿成球性的影响[J]. 烧结球团,2014,39(5):31－34.
LIU Shu, LU Manman, FU Jintao, et al. Influences of content of iron materials with particle size of －0.025 mm on ballability of magnetite concentrates[J]. Sintering and Pelletizing, 2014,39(5):31－34.

[6] 许宝科,胡文祥,易安南,等. 高压辊磨机边料循环工艺在球团生产中的应用[J]. 中国冶金,2021,31(8):49－53;59.
XU Baoke, HU Wenxiang, YI Annan, et al. Application of high pressure grinding roller edge recycle process in pellet production[J]. China Metallurgy,2021,31(8):49－53;59.

[7] 刘建华. 链算机—回转窑干返料配加工艺优化[J]. 冶金管理,2020(23):7－8.
LIU Jianhua. Optimization of dry return material mixing process for chain grate-rotary kiln[J]. Metallurgical Management,2020(23):7－8.

[8] 胡志清,潘建,朱德庆,等. 铁精矿原料特性及其对成球性能的影响[J]. 烧结球团,2013,38(4):42－45;49.
HU Zhiqing, PAN Jan, ZHU Deqing, et al. Raw material characteristics of iron ore concentrate and its influence on balling performance [J]. Sintering and Pelletizing, 2013, 38(4):42－45;49.

[9] 张乐元,杨洪峰,孙志强,等. 链算机—回转窑氧化球团系统技术进步[J]. 烧结球团,2010,35(4):40－43.
ZHANG Leyuan, YANG Hongfeng, SUN Zhiqiang, et al. Technological progress of grate-kiln oxide pellet production system of tieying company[J]. Sintering and Pelletizing, 2010, 35(4):40－43.

(上接第 48 页)

[6] 李元发. 烧结机回程道上台车起拱问题的探讨[J]. 南方金属,2007(156):51－52.
LI Yuanfa. A discussion on the arching of the returning trolley at sintering machine[J]. Southern metals,2007(156):51－52.

[7] 戴敏,谭青,贺谦思. 涟钢 280 m^2 烧结机跑偏的治理[J]. 科技传播,2016(17):161－163.
DAI Min, TAN Qing, HE Qiansi. Treatment of 280 m^2 sintering machine running deviation of Lianyuan iron and steel[J]. Public Communication of Science & Technology,2016(17):161－163.

[8] 张进坤,赵俊勇,刘军,等. 烧结厂 265 m^2 烧结机跑偏分析与调整[J]. 莱钢科技,2008(6):51－52;55.
ZHANG Jinkun, ZHAO Junyong, LIU Jun. Analysis of 265 m^2 sintering machine snaking in the sintering plant and its redressal[J]. Laigang Science & Technology,2008(6):51－52;55.

[9] 朱志强,张童,王献东,等. 360 m^2 烧结机跑偏原因分析[J]. 河北冶金,2019(4):44－47.
ZHU Zhiqiang, ZHANG Tong, WANG Xiandong, et al. Analysis of the reason of 360 m^2 sintering machine deviation[J]. Hebei Metalurgy,2019(4):44－47.

[10] 常涛. 台车运行轨迹偏移的原因简析[J]. 山东工业技术,2015(17):290.
CHANG Tao. Analysis of the reason of track deviation on trolley[J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2015(17):290.

[11] 谢斌,孙立行. 带式烧结机台车运行跑偏原因分析及处理方法[J]. 金属材料与冶金工程,2010,38(2):34－36.
XIE Bin, SUN Lixing. Reason analysis and handle means of trolley running departure for draper-type agglomeration engine [J]. Metal Materials and Metallurgy Engineering, 38(2):34－36.

[12] 杨绍令,朱继华. 济钢 105 m^2 带冷机台车跑偏的分析及调整[J]. 烧结球团,2006,31(6):54－56.
YANG Shaoling, ZHU Jihua. Analysis and adjusting of grate cooler slip of Jigang 105 m^2 sinering plant[J]. Sintering and Pelletizing,2006,31(6):54－56.

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