# 大型烧结机的设计特点及生产实践

景 涛[1,2]，赵利明[3]，甘 敏[2]，刘 震[1]，匡朝辉[3]
（1. 中冶长天国际工程有限责任公司，湖南 长沙 410205；2. 中南大学 资源加工与生物工程学院，湖南 长沙 410083；
3. 宝钢湛江钢铁有限公司，广东 湛江 524072）

**摘要：** 烧结机大型化已成为了当代烧结技术发展的主流，且逐步向着智能化、环保化发展。为了探讨当代大型烧结机的设计特点及生产优势，本文基于宝钢湛江3#高炉系统550 m² 烧结项目的实施，重点介绍了多种设计应用的先进工艺技术、环保智能技术以及与大型烧结机配套的先进设备，以期为后续大型铁前烧结项目实施提供借鉴和参考。

**关键词：** 大型烧结机；设计特点；生产实践；节能；环保
**中图分类号：** TF046.4 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764(2022)05－0020－08
**doi：** 10.13403/j.sjqt.2022.05.066

## Design features and production practices of representative large-scale sintering machine

JING Tao[1,2], ZHAO Liming[3], GAN Min[2], LIU Zhen[1], KUANG Chaohui[3]
(1. *Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha* 410205, *Hunan, China*; 2. *School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha* 410083, *Hunan, China*; 3. *Baosteel Zhanjiang Iron and Steel Co., Ltd., Zhanjiang* 524072, *Guangdong, China*)

**Abstract:** At present, the large-scale sintering machine has become the mainstream of the development of contemporary sintering technology, and is gradually developing towards intellectualization and environmental protection. In order to discuss the design features and production advantages of contemporary large-scale sintering machine, based on the implementation of the 550 m² sintering project of Baosteel Zhanjiang 3# blast furnace system, the advanced process technology of various design applications, environmental protection intelligent technology and advanced equipment matched with large-scale sintering machine are introduced, in order to provide references for the implementation of subsequent large-scale sintering projects.

**Key words:** large-scale sintering machine; design feature; production practice; energy conservation; environmental protection

目前，烧结工艺在我国钢铁生产上占有重要的地位，每年烧结矿入高炉的比例占到70%以上。与之相对应，烧结技术也在不断发展，在生产设备方面，我国烧结设备正在趋向大型化，宝钢660 m² 烧结机是目前世界上最大的烧结机。在烧结机扩大的同时，响应国家政策要求，发展绿色钢铁，烧结机也向着智能化、环保化发展[1-3]。在节能减排方面，随着烧结工艺的发展，各大钢铁企业按照不同温度段的烟气，对烧结余热进行“梯级利用”，烧结工序能耗逐年下降。

宝钢湛江钢铁3#高炉系统550 m² 烧结项目（简称“湛江3#烧结”）是宝钢湛江钢铁打造全球最具有竞争力的精品碳钢基地的重要组成部分。本文将以湛江3#烧结为例，从工艺技术、环保智能技术和设备改进三个核心角度阐述当代大

收稿日期：2022－05－21；修回日期：2022－07－03
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51974371)；湖南省科技成果转化及产业化计划(2020GK4055)
作者简介：景 涛(1985—)，男，高级工程师，从事烧结、球团、料场及钢铁冶金节能环保的工程设计、研究和管理工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

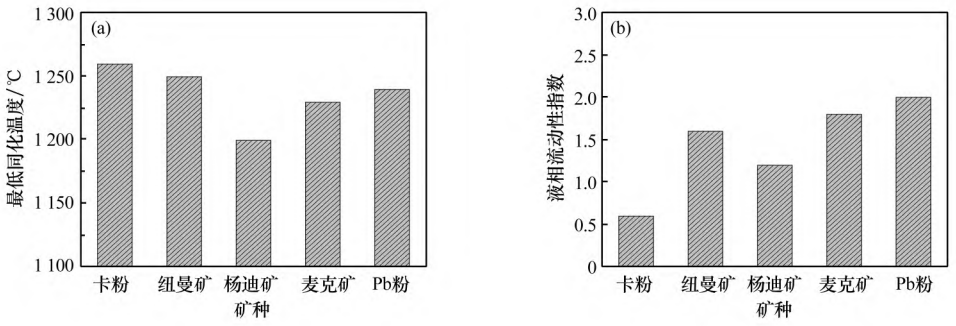
型烧结机的设计特点及生产实践，以探明烧结工艺在实现节能、环保的同时，高效稳产、提产的关键，为后续大型铁前烧结项目实施提供借鉴和参考。

## 1　工艺技术的进步

### 1.1　烧结优化配矿

当前，我国铁矿粉对外进口依存度达到 80% 以上，而国际铁矿石价格大幅度波动将导致烧结所用铁矿粉复杂多变。对于各大烧结厂而言，如果配矿方案不能够及时随着供矿情况调整优化，将对烧结生产和烧结矿质量产生不利影响。传统的优化配矿方式是通过铁矿粉的化学性能和生产经验设计配矿方案，再通过烧结杯试验进行验证，得到试验指标较好的配矿方案来指导生产。传统烧结杯方法切合实际生产，试验数据可靠性高，但是此方法需要进行大量试验，不能快速获得配矿方案，效率较低。

铁矿粉的高温基础特性反映了其在烧结过程中与熔剂反应生成液相的能力，而烧结过程中液相的产生及其性质是影响烧结矿强度指标和冶金性能的关键。基于此，众多学者针对不同铁矿粉的最低同化温度、液相流动性指数及黏结相强度等高温基础特性展开了大量研究，并结合烧结杯实验，逐步建立起了铁矿粉性质与实际烧结性能之间的桥梁。结果表明，最低同化温度可反应出铁矿粉与 CaO 熔剂形成液相的难易程度；液相流动性指数越高则液相对铁矿石的渗透越深，两者之间的黏结越紧密，对烧结矿固结越有利。常见铁矿粉的最低同化温度、液相流动性指数如图 1 所示。由图 1 可以发现，卡粉的最低同化温度较高，液相生成较困难且液相流动性差，会对烧结矿质量产生不利影响，而杨迪矿同化温度较低，PB 粉生成液相的流动性较好。以此作为配矿依据，利用各铁矿粉高温性能的差异互补性为配矿原则，结合自身原料供应条件，即可快速进行综合性优化配矿，改善低劣矿的液相生成及流动性能，提高烧结矿质量，指导实践生产[4-5]。




(a) 同化性；(b) 液相流动性

**图 1　常见铁矿粉高温特性评价指标**

**Fig. 1　Evaluation index of high temperature characteristics of common iron ore powder**

### 1.2　厚料层烧结

随着我国烧结工艺的发展，国内烧结机料层已普遍达到了 600 ~ 700 mm。如今，烧结料层达到 800 mm 称之为厚料层烧结，达到 1 000 mm 称之为超厚料层烧结[6-7]。烧结料层厚度增加，使得烧结矿燃烧更加充分，受表面效应导致烧结不充分的烧结矿占比少，烧结成品率随之提高，烧结生产的利用系数和烧结矿的转鼓强度随之增加，而且由于烧结过程的自动蓄热作用，烧结温度提高，液相量增加，烧结能耗减小。但料层厚度的增加也会导致烧结料层出现温度不均匀、阻力增大、垂直烧结速度变缓与产量下降等(表 1)。

在湛江 3# 烧结设计中，混合料布料装置由 2 000 mm 梭式布料机、圆辊给料机和十一辊布料器组成，此组合布料装置能调节料层的粒度分布，从上到下粒度逐渐增大，这样提高了烧结料层的透气性，减轻了厚料层烧结的烧结阻

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 料层厚度对烧结能耗和产、质量指标的影响

Table 1 Influence of layer thickness on sintering energy consumption and yield and quality indicators

| 料层厚度/mm | 燃料配比/% | 烧结负压/kPa | 烧结速度/(mm·min$^{-1}$) | 成品率/% | 转鼓强度/% | 利用系数/(t·m$^{-2}$·h$^{-1}$) | 固体燃料消耗/(kg·t$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 700 | 5.6 | 10 | 21.66 | 76.22 | 63.67 | 1.46 | 62.19 |
| 780 | 5.6 | 10 | 21.54 | 77.35 | 64.60 | 1.47 | 61.23 |
| 1 000 | 5.3 | 12 | 20.76 | 78.88 | 64.07 | 1.48 | 56.45 |

力，对比于之前的湛江1#、2#烧结最初设计，台车上料层总厚度最高从800 mm达到了950 mm(包括20~50 mm铺底料)。

1.3 热风烧结技术

通过提高料层气流温度的烧结方法称之为热风烧结法。由于烧结过程中料层自动蓄热作用，导致料层下方热量过多，温度偏高，料层上方温度低下方温度高。料层上方的温度低，液相量生成不足，冷却快结晶差，容易生成玻璃质。为了避免此现象，通过增加料层热风温度代替部分燃料所产生的热量，使得烧结料层温度场更均匀。热风烧结工艺能提高烧结矿强度、改善烧结矿还原性并降低烧结能耗[8]。

湛江3#烧结在1#、2#烧结的设计基础上，将环冷机约300 ℃高温烟气用于点火助燃及热风保温，此部分烟气量约为$1.284\times10^5$ Nm$^3$/h。此设计不仅有利于提高烧结矿的质量，还将烧结产生的余热得到利用，让烧结工序更加效益化、节能化。

## 2 烧结绿色化及智能化发展

随着社会的进步，智能和低碳成为当下工业发展主题，越来越多的工厂成为“绿色工厂”。而烧结生产需要大量资源，能耗巨大，污染物排放量也比较大，如今大型烧结机的设计都采用了大量绿色低碳新技术[9-11]；如烧结烟气循环技术、富氢燃气喷吹技术等。其中烧结烟气循环技术是将部分烟气引入烧结过程，利用烟气中的CO与NO在烧结料层中的催化还原、CO的二次燃烧、燃烧过程污染物抑制生成等反应，实现烧结烟气减量和污染物减排。富氢燃气喷吹技术是向烧结料面喷加富氢气体介质，利用可燃性气体在料层上部燃烧供热，优化上部料层的温度场，改善烧结料层的热量分布状态，降低固体燃料消耗。然而，如何实现烧结过程参数(如风量等)的监测及精细化控制是保证节能减排效果的关键因素。同时，由于设备大型化及工艺技术复杂化带来生产及操作难度的增加，使得人工操作的随机性和滞后性造成的烧结矿质量不稳定问题日益凸显。因此，为了提升布料等操作的稳定性，促进烧结矿质量的稳定性，改善岗位劳动强度，消除安全隐患，大型烧结机一般采用烧结智能控制系统对生产过程集中监视、控制。

2.1 余热回收系统

在传统钢铁生产长流程中，烧结工序能耗占总能耗的10%~20%，而烧结工序产生的热量约有50%没能得到应用，被环冷烟气和烧结烟气带走。目前，各大钢铁企业对于余热利用主要分为余热发电和热风烧结两大部分，而且按照不同温度段的烟气，对烧结余热进行“梯级利用”。

在湛江3#烧结环冷机余热发电系统设计中，将环冷机热废气的利用分为余热发电、点火助燃、热风烧结和热风干式除尘4部分，能源回收年能耗折算标煤合计$6.649\times10^4$ t，技术路线如图2所示。

结合图2，湛江3#烧结环冷余热发电系统设计特点主要有:

(1) 余热发电通过利用余热锅炉产生蒸汽用于驱动汽轮机组发电。湛江3#烧结采用直联炉罩式余热锅炉技术，收集烧结环冷机高温区烟气的热量，此部分烟气平均温度约为350 ℃，单位烧结矿余热回收产出蒸汽为102.61 kg，年发电量为$7.77\times10^7$ kW·h，烟气热量回收后返回环冷机烟道重新利用。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

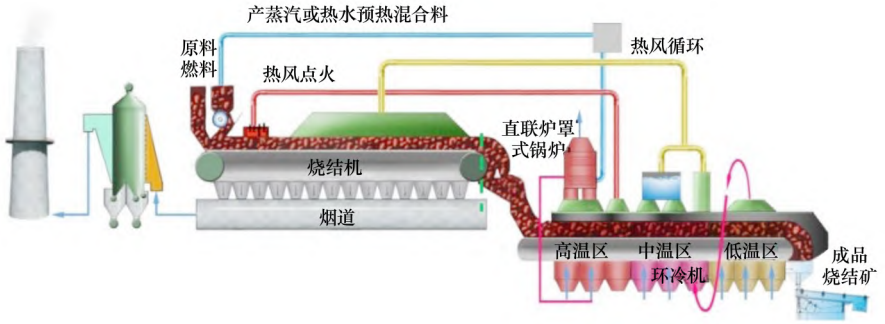



**图 2　烧结余热余能利用技术路线**

**Fig. 2　Technology of utilizing sintering waste heat and energy**

(2) 将烧结环冷机高温区后段约 300 ℃的废气循环至烧结机点火保温炉中，利用点火助燃技术对助燃空气和高炉煤气进行预热，可提高低热值高炉煤气的燃烧温度，保证点火强度，降低燃气消耗，据现场效果分析可以降低燃气单耗 9%~11%。

(3) 热风烧结不仅能增加烧结生产利用系数，还能提高烧结矿质量，降低机尾的除尘压力。湛江 3#烧结在点火完成后继续使用 300 ℃的热风进行保温 5~6 min，之后再使用环冷机中温段约 75 ℃的热风来进行热风烧结。

## 2.2　脱硫脱硝系统

在高炉—转炉长流程工艺中，烧结工序产生的 $SO_2$ 和 $NO_x$ 排放量分别占整个生产流程排放总量的 60% 和 50% 以上。由于烧结是个温度场不断变化的过程，其过湿带的存在和燃烧带的移动，使烧结烟气温度在 65~280 ℃之间跳动，且由于烧结原料的变化，烧结烟气的水分、$SO_2$ 和 $NO_x$ 成分波动大，许多传统的脱硫脱硝工艺不能直接运用于烧结烟气。

目前，对于烧结烟气的脱硫脱硝处理一般分单独脱硫技术、单独脱硝技术和脱硫脱硝一体化技术 3 类。单独脱硫技术[12]主要包括：湿法脱硫技术、干法脱硫技术和半干法脱硫技术。湿法脱硫技术主要是石灰石-石膏法和氨法[13]，其中石灰石-石膏法是将石灰石或石灰与水制成浆液来吸收 $SO_2$，目前应用范围最广、效果可靠，但设备占地面积较高，投资大；氨法脱硫主要是利用氨水或液氨与 $SO_2$ 反应，但过程中的氨逃逸问题会造成二次污染。干法脱硫技术[14]主要是将氧化镁等固体脱硫剂投入至反应塔内，达到脱硫的效果，但该方法脱硫效率较低，适用范围较为局限。半干法脱硫技术[15]主要是循环流化床法，是将干熟石灰作为吸收剂，并向烟气中喷加雾化水，并通过消石灰在流化床中的循环使其与 $SO_2$ 充分反应，达到高效脱硫的目的，能在较低的钙硫比情况下接近或达到湿法工艺的脱硫效率。单独脱硝技术[16]现在主流一般为选择性催化还原(SCR)和选择性非催化还原(SNCR)技术，这两种技术都需要将烧结烟气加热，不同之处在于 SNCR 运行成本低，而 SCR 脱硝率高；脱硫脱硝一体化技术包括氧化法脱硫脱硝和活性炭吸附法，氧化法脱硫脱硝[17]是指将 NO 氧化为高价易溶的 $NO_x$ 之后，$SO_2$ 和 $NO_x$ 被吸收液吸收，以氨水作为吸收液为例，$SO_2$ 被氨水吸收反应生成 $(NH_4)_2SO_3$ 和 $NH_4HSO_3$，$NO_x$ 与 $(NH_4)_2SO_3$ 和 $NH_4HSO_3$ 还原反应生成 $N_2$，此工艺脱硫率高，但脱硝率低；活性炭吸附法[18]是利用活性炭的微孔结构和含有大量含氧官能团的特点，对 $SO_2$ 和 $NO_x$ 进行物理和化学吸附，此工艺脱硫脱硝效果较好，但是活性炭消耗高。

湛江 3#烧结采用 SCR 脱硝+活性炭脱硫脱硝工艺处理烧结烟气，工艺流程如图 3 所示。图 3 中，烧结烟气从烟道中引出后由增压风机送入吸附塔，吸附塔入口前设置 SCR 补热炉并喷入氨气，含污染物烟气在吸附塔中依次经过前室、中室和后室三个活性炭通道，烟气中的污染物被活性炭层吸附或催化反应生成无害物质，净化后的烟气进入烧结主烟囱排放。活性

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

炭由吸附塔上部入口进入吸附塔，并在重力和塔底出料装置作用下向下移动。吸附了 $SO_2$、$NO_x$、重金属等污染物的活性炭经传送装置送往解析塔，解析塔的作用是恢复活性炭的活性，同时释放或分解有害物质。经治理后，烧结烟气排放可满足《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662—2012)的指标要求。

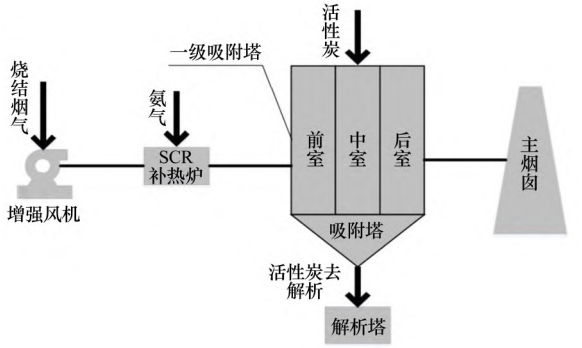



图3 脱硫脱硝流程

Fig. 3 Flow chart of desulfurization and denitration

### 2.3 智能化烧结控制系统

智能化控制系统的建立一般分为三步：生产参数跟踪获取→智能模型输出优化参数→调节机器参数。湛江3#烧结采用三电一体的计算机控制系统，检测并收集烧结过程中配料、混合、点火、烧结和冷却等工艺环节的生产参数，并将所有参数均纳入到计算机控制系统，监视、控制生产过程。

(1) 配料优化控制。控制系统首先获取烧结矿成品的化验成分含量和其采用的烧结原料配比；如果烧结矿成品的化验成分含量与预设成分含量不符，按照优化配比计算单元得到优化配比；获取当前混合皮带上汇总的烧结原料的配比，如果与之前的配比相同，则按照优化配比调整烧结原料的配比，否则，按照优化配比和当前配比的平均值调整烧结原料的配比；修改料仓卸料速度和皮带机机速，改变原料配比。

(2) 混合料水分控制。混合料水分控制分为两段控制：第一段控制是根据原料水分和设计水分，计算得出理论加水量；第二次控制是在线对混合料的取制样、微波快速烘干和物料称重，获得混合料实时水分，对加水量进行反馈修正。

(3) 台车料层厚度控制。湛江3#烧结采用实时检测法，根据层厚仪测得的平均层厚值与设定层厚值比较，经过PI控制演算，输出控制信号调节圆辊给料机转速来控制下料量达到层厚自动控制的目的。

(4) 点火控制。点火炉燃烧控制分为点火炉温度控制及点火强度控制两种方式，分别是通过以点火炉温度和点火强度作为输入参数，再通过计算单元进行计算，最后再控制点火炉煤气流量，其中，空气流量随煤气流量按比例自动调节。

## 3 烧结设备的改进

### 3.1 大型烧结机

湛江3#烧结是在总结过去设计的一系列烧结机取得的成功经验的基础上，进一步消化吸收了一些先进技术，并根据我国烧结生产的实践而设计的[1]，相比于湛江1#、2#烧结，主要的技术改进有：① 烧结机台车宽5.0 m，栏板高度从800 mm提高到950 mm(现湛江1#、2#烧结台车栏板也增加到950 mm)，满足厚料层烧结调节，并采用台车算条和车轮状态检测与智能诊断技术对台车的健康状况进行实时诊断；② 台车车轮采用改进整体车轮轮式，采用高温油脂封入，延长了台车车轮使用寿命，台车弹性滑道采用改进型结构，减少了漏风率，延长了弹性滑道的使用寿命；③ 头、尾星轮齿板的齿形曲线设计不一样，可改善或消除台车在机尾回车道上的起拱现象；④ 采用电动干油集中润滑系统，确保各润滑点的正常供脂润滑。

### 3.2 液密封环冷机

液密封鼓风环冷机的密封结构是由静密封系统(多个单元静密封组成)和一个动密封系统组成，与传统鼓风式环冷机相比，由于采用液体介质(主要为水)来进行密封，在水槽内外压差平衡的情况下理论上可实现全密封的效果[1]。湛江3#烧结设计采用LSCC-600液密封鼓风环式冷却机，其料层厚度约为1 500 mm，栏板高1 600 mm，正常冷却时间大于60 min，冷却机配置5台冷却风机，冷却后的烧结矿平均温度

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

小于 150 ℃。

### 3.3　大型化混合机

随着烧结机大型化，所需要的烧结原料增多，混合机规格随之配套扩大。传统烧结生产采用圆筒混合机，调节烧结料水分，将其混合制粒。湛江 3# 烧结制粒混合方式采用两段式：一段混合的目的主要为混匀并加水；二段混合主要是制粒并调整混合料水分。由于混合制粒效果一般与填充率和混合时间有着密切的关系，湛江 3# 烧结根据混合机的处理量和物料堆比重增加了混合机的填充率，根据混合机尺寸优化了混合制粒时间，且混合机内的给水管并未固定住，可以拆卸出来，方便维修，圆筒混合机规格：一次混合规格为∅5 000 mm × 21 000 mm，混合时间为 3.88 min，混合料量为 1 255 t/h；二次混合机规格为∅5 000 mm × 24 000 mm，混合时间为 4.09 min，混合料量为 1 270 t/h。

湛江 3# 烧结在制粒混合同时采用绝对法在线水分检测仪检测混合料水分与粒度分布(图 4)。图 4 中，取样机器人在现场实时自动取一定量的物料，放入仪器测试容器内，实测取样质量，经过工位转换装置，送入微波干燥装置内快速烘干后，实测干料质量，其水分测量精度优于 ±0.1%，实现了混合料加水的智能化控制。



图 4　混合料水分与粒度分布智能检测装置

Fig. 4　Intelligent detection device of size and moisture distribution of mixed material

### 3.4　变频调控主抽风机

由于烧结烟气量增大和结构材料限制，目前大型烧结机多采用双大烟道，两台主抽风机并联布置，但在实际生产中，由于两个烟道内负荷不能随时保证平衡，会导致串风情况的发生，左右两侧风量不一，导致烧结矿质量下降，风机使用效率降低。当双烟道内出现负荷不平衡时，一般是由风机房岗位操作人员及时发现并及时调节，此方式存在滞后性和随机性，但采用主抽智能变频技术自动调节风机功率(图 5)，可以很好地维持烟道的负荷平衡。

主抽智能变频技术[19]是根据负压、烧结终点、透气性、产量等参数得到生产所需目标风量，再通过控制两台风机变频器输出频率交替

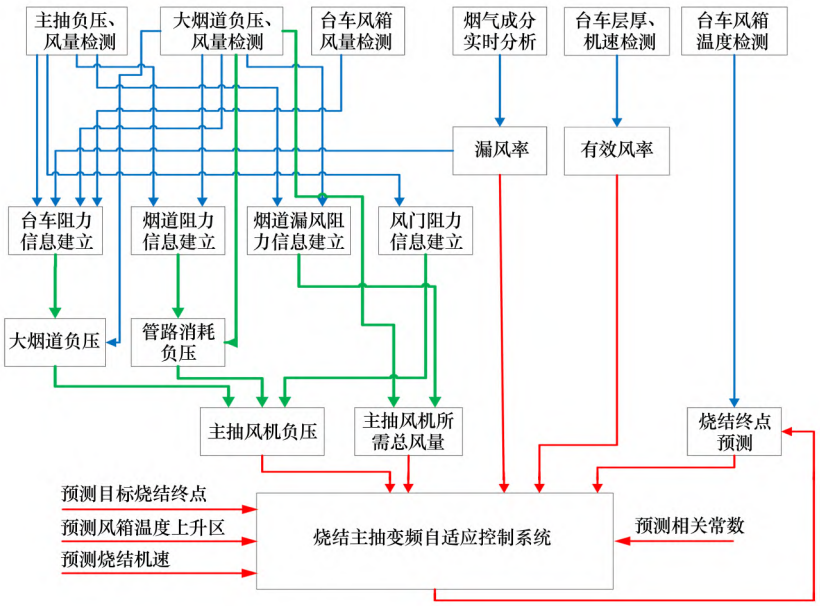



图 5　主抽变频系统

Fig. 5　Frequency conversion control system

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

步进上升，从而使得两台风机的风量相互交替上升，直至达到目标风量。同时，检测两台风机的电流平衡状态，并根据所述电流平衡状态随时调整风机变频器输出频率，从而实现对主抽风机风量的精确控制，充分发挥变频器节能的全部能力，达到更好的节能效果。

湛江1#、2#、3#烧结机都采用了主抽智能变频技术，但1#、2#烧结机是变频启动，工频运行，3#烧结机是变频启动，变频运行。现场使用情况反馈：变频运行比工频运行更加节能，节电率达20%左右。

### 3.5 主电除尘粉尘运输装置和疏堵装置

机头电除尘器各电场收集的粉尘由气动插板阀、粉尘旋转阀、水平刮板机、气动双层卸灰阀、集合刮板机、斗式提升机汇集于粉尘槽。其中一、二电场除尘灰与三、四电场粉尘汇集于不同的粉尘槽中。湛江1#、2#烧结机采用直接气力输送方式将粉尘送往配料室内的粉尘糟进行配料，而湛江3#烧结机除了采用气力输送方式输送粉尘外，也可通过罐车抽灰方式外运到配料室，且三、四电场的粉尘由于含钾、钠高，通过汽车加湿外运或罐车抽灰至转底炉。考虑到主电除尘器的粉尘流动性差，为了确保粉尘不在矿槽内板结、堵塞，湛江3#烧结机粉尘槽疏堵装置增加了气喷器。

## 4 生产实践

湛江3#烧结550 $m^2$ 烧结机自2021年5月点火投产后，生产运行平稳、指标优异。与1#、2#550 $m^2$ 烧结机主要生产指标对比见表2。从表2可以看出，3#烧结机各项生产指标均已到达国内先进水平，这不仅充分体现出了大型烧结机产品质量好、合格率高、能耗低等优点；也可以看出在成品产、质量差别不大的情况下，3#烧结的作业率更高、工序能耗更低，这也体现了湛江3#烧结设计更加智能化、绿色化。

表2 湛江1#、2#、3#烧结机(550 $m^2$)主要生产指标对比

Table 2 Main production index comparison of Zhanjiang NO. 1, NO. 2 and NO. 3 sintering machine(550 $m^2$)

| 指标 | 项目 | | |
|---|---|---|---|
| | 1# 烧结机 | 2# 烧结机 | 3# 烧结机 |
| 利用系数/t·($m^{-2}$·$h^{-1}$) | 1.28 | 1.22 | 1.30 |
| 日历作业率/% | 82.13 | 91.40 | 94.50 |
| 全铁/% | 57.74 | 57.73 | 57.86 |
| 成品率/% | 79.98 | 79.31 | 80.12 |
| 转鼓强度/% | 81.35 | 80.90 | 81.50 |
| 吨烧结矿固体燃料消耗(标煤)/kg | 44.0 | 46.5 | 43.6 |
| 吨烧结矿工序能耗(标煤)/kg | 41.99 | 45.22 | 40.80 |

## 5 结 语

湛江3#烧结550 $m^2$ 烧结机工程设计采用了一系列先进烧结工艺及节能环保技术，如优化配矿技术、超高料层烧结技术、环冷机余热梯级回收利用及热风循环烧结技术、SCR脱硝+活性炭脱硫脱硝技术等，同时运用智能化烧结控制及在线监测系统，并针对大型烧结机特点进行设备选型及关键结构优化，在实现节能、环保目标的同时，保证了生产过程的高效、稳产。投产后烧结机作业率和工序能耗等指标均达到国际领先水平，是宝钢湛江钢铁打造全球最具有竞争力的精品碳钢基地的重要组成部分，可为后续大型铁前烧结工序项目实施提供借鉴和参考。

## 参考文献:

[1] 李洁，周志安，周茂军. 宝钢三烧结大修改造600 $m^2$ 烧结机的设计特点及生产实践[J]. 烧结球团，2017，42(3)：21－25.
LI Jie，ZHOU Zhian，ZHOU Maojun. Design charecteristics and production practice of Bao Steel No. 3 sinter machin renewal. Sintering and Pelletizing，2017，42(3)：21－25.

[2] 吴胜利，王代军，李林. 当代大型烧结技术的进步[J]. 钢铁，2012，47(9)：1－8.
WU Shengli，WANG Daijun，LI Lin. Technological innovation of the contemporary large-scale sintering[J]. Iron and Steel，2012，47(9)：1－8.

[3] 孙高鹏. 钢铁企业烧结工艺节能环保技术分析[J]. 冶金管理，2020(11)：207－210.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

SUN Gaopeng. Research on energy saving and environmental protection technology of sintering process in iron and steel enterprises [J]. Metallurgical Industry Management,2020(11):207 - 210.

[4] 曹立刚. 包钢用铁矿粉的烧结基础特性研究 [J]. 烧结球团,2005,30(5):8 - 10.
CAO Ligang. The study on basci sintering specialty of fine ores used in BaoGang. Sintering and Pelletizing,2005,30(5):8 - 10.

[5] 朱德庆，薛钰霄，潘建，等. 铁矿粉高温反应性能综合指数评价烧结性能 [J]. 钢铁,2017,52(8):19 - 28;64.
ZHE Deqing,XUE Yuxiao,PAN Jiang,et al. Evaluation of sintering behaviors with comprehensive index of high temperature reaction properties of iron ore fines [J]. Iron & Steel,2017,52(8):19 - 28;64.

[6] 翟江南. 厚料层烧结优化技术综述及其实践 [J]. 烧结球团,2017,42(2):1 - 9.
ZHAI Jiangnan. A summary and practice of thick-bad sintering optimization technology [J]. Sintering and Pelletizing,2017,42(2):1 - 9.

[7] 陈庆军. 鞍矿东烧厂厚料层烧结生产实践 [J]. 鞍钢技术,2000(2):6 - 9.
CHEN Qingjun. Thick bed sintering practice at east Anshan sintering plant of AISC mining plant [J]. Anshan iron and steel technology,2000(2):6 - 9.

[8] 郑琨. 烧结烟气分段式综合处理新工艺的设计 [J]. 钢铁研究,2016,44(2):41 - 44.
ZHENG Kun. Design of a new technology on comprehensive processing of segaented sintering flue gas [J]. Research on Iron and Steel,2016,44(2):41 - 44.

[9] 杨全武. 梅钢三烧结节能环保生产实践 [J]. 中国冶金,2020,30(5):76 - 82.
YANG Quanwu. Production practice of energy saving and environmental protection in Meishan Steel No. 3 sintering plant [J]. China Metallurgy,2020,30(5):76 - 82.

[10] 陆春玲. 烧结机节能环保新技术应用 [J]. 冶金动力,2015(5):74 - 77.
LU Chunling. Application of new technology of energy saving and environment protection for sintering machine [J]. Metallurgical Power,2015(5):74 - 77.

[11] 范晓慧，甘敏，季志云，等. 复合气体介质烧结的节能减排技术开发与应用 [J]. 钢铁,2020,55(8):62 - 69;74.
FAN Xiaohui,GAN Min,JI Zhiyun,et al. Development and application of techniques for energy conservation and emission reduction during sintering process based on multiple-component gases medium [J]. Iron and Steel,2020,55(8):62 - 69;74.

[12] 党玉华，齐渊洪，王海风. 烧结烟气脱硫技术 [J]. 钢铁研究学报,2010,22(5):1 - 6.
DANG Yuhua,QI Yuanhong,WANG Haifeng,et al. Technology of flue gas desulfurization [J]. Journal of Iron and Steel Research,2010,22(5):1 - 6.

[13] 张奇. 烧结烟气脱硫技术分析 [J]. 矿业工程,2014,12(1):47 - 49.
ZHANG Qi. Analysis of sintering flue gas desulfurization technology [J]. Mining Engineering,2014,12(1):47 - 49.

[14] 曹琬，张卫军，郭子杨. 氧化镁干法脱硫技术对烧结烟气的实践 [J]. 冶金能源,2022,41(3):57 - 61.
CAO Wan,ZHANG Weijun,GUO Ziyang. Application of magnesium-based dry flue gas desulfurization in sintering flue gas [J]. Energy for Metallurgical Industry,2022,41(3):57 - 61.

[15] 邱正秋，黎建明，王建山，等. 攀钢烧结烟气脱硫技术应用现状与发展 [J]. 钢铁,2014,49(2):74 - 78;87.
QIU Zhengqiu,LI Jianming,WANG Jianshan,et al. Application and development of pangang flue gas desulphurization technology [J]. Iron and Steel,2014,49(2):74 - 78;87.

[16] 竹涛，伊能静，王礼锋，等. 烧结烟气脱硫脱硝技术进展 [J]. 河北冶金,2019(S1):7 - 10.
ZHU Tao,YI Nengjing,WANG Lifeng,et al. Process in sintering flue gas desulfurization and denitrification technology [J]. Hebei Metallurgy,2019(S1):7 - 10.

[17] 范晓慧，姚佳文，甘敏，等. 活性炭净化烧结烟气过程的性能演变规律 [J]. 矿冶工程,2019,39(6):70 - 74.
FAN Xiaohui,YAO Jiawen,GAN Min,et al. Performance evolution of activated carbon in the process of purification of sintering flue gas [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2019,39(6):70 - 74.

[18] 潘建，郭正启，朱德庆，等. 氨 - 硫铵与活性炭联合法强化烧结烟气脱硝工艺及机理研究 [C]//中国金属学会. 第九届中国金属学会青年学术年会论文集,2018:420 - 424.
PAN Jiang,GUO Zhengqi,ZHE Deqing,et al. Study on denitrification process and mechanism of sintering flue gas enhanced by ammonia-ammonium sulphate combined with activated carbon method [C]//The Chinese Society for Metals. Proceedings of the 9th Annual Conference of Chinese Metal Society,2018:420 - 424.

[19] 贾鸿屹. 钢铁厂烧结机主抽风机变频改造实践 [J]. 中国冶金,2017,27(2):57 - 61.
JIA Hongyi. Main ventilation frequency transformation practice of sintering machine in steel plant [J]. China Metallurgy,2017,27(2):57 - 61.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net