差压吸附式密封技术及其在烧结机的应用

何 聂[1,2]，龚曙光[1]，卢兴福[2]，刘克俭[2]，叶恒棣[2]
(1. 湘潭大学 机械工程学院，湖南 湘潭 411105；2. 中冶长天国际工程有限责任公司，湖南 长沙 410205)

摘 要：针对烧结机漏风率高的问题，提出了差压吸附式密封技术，推导了差压吸附式密封装置漏风量的计算公式，并通过建立其仿真分析模型，研究了压差、弹性密封板厚度及其材料的弹性模量对差压吸附式密封技术漏风的影响。研究结果表明：弹性密封板的厚度对密封性能的影响最大，差压的影响次之，而材料弹性模量的影响最小；同时负压吸附式装置的密封性能最佳；最后将负压吸附式密封技术应用于工程实际，通过现场实际测试，其漏风率比传统密封技术下降近 50%。

关键词：密封；密封板；密封装置；漏风率；差压吸附；数值模拟；烧结机
中图分类号：TF046.4 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8764(2020)01－0001－06
doi：10.13403/j.sjqt.2020.01.001

Differential pressure adsorption seal and its application in sintering machine

He Nie[1,2], Gong Shuguang[1], Lu Xingfu[2], Liu Kejian[2], Ye Hengdi[2]
(1. *School of Mechanical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan* 411105, *Hunan*; 2. *Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha* 410205, *Hunan*)

Abstract In view of the problem of high air leakage rate of sintering machine, the differential pressure adsorption sealing technology is proposed. The calculation formula of air leakage rate is derived, and the simulation analysis model is built for differential pressure adsorption sealing device. The influence of the differential pressure, the thickness of the elastic sealing plate and its elastic modulus on the air leakage of the differential pressure adsorption sealing technology are studied. The research results show that the thickness of the elastic sealing plate has the greatest influence on the sealing performance, the differential pressure has less influence, and the elastic modulus of the material has the least influence. Simultaneously, the negative pressure adsorption device has the best sealing performance. Finally, the negative pressure adsorption sealing technology is applied to the engineering practice, and through the field test, the leakage air rate is nearly 50% lower than the traditional sealing technology.

Key words sealing; sealing plate; sealing device; air leakage rate; differential pressure adsorption; numerical simulation; sintering machine

烧结机作为高炉原料供用设备之一，主要适用于大、中型规模的烧结厂对铁矿粉的烧结处理，它主要由风箱、台车、端部密封(头部、尾部密封)、滑道、风箱支管、大烟道、双层卸灰阀等构件组成。但烧结系统普遍存在高能耗、低效率、产品质量不高等问题，而引起这些问题存在的主要因素就是烧结机的漏风[1]，如目前国内烧结机的漏风率一般处于 45%～50%[2]，而国外烧结机的漏风率则低于 30%[3]。

烧结机的漏风部位主要有风机和风箱间、头尾密封和台车底面间、台车本体、台车和风箱滑道间等，如图 1 所示。针对烧结机的漏风问题，许多企业和学者已开展了诸多的研究和探讨：如郭云奇等[4]开发了一种新型柔性差压侧密封装置，以实现烧结机台车与风箱之间的侧密封，柔性密封板为纳米稀土合成的高分子

收稿日期：2019－02－25
基金项目：国家重点研发计划专项资助项目(2017YFB0304300，2017YFB0304301)
作者简介：何 聂(1994—)，男，硕士研究生，从事 CAE 技术的理论与应用研究。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

材料；董书岐等[5]针对机头、机尾的密封，提出了一种全金属柔性密封装置，即在活动密封板全面积上布有高温磁性物质，它通过吸附周围的铁粉来形成密封层，从而达到密封的效果；何云华等[6]提出了高负接触头尾密封技术，能实现台车底面的密封，避免台车梁之间的串风；杨庆桂等[7]采用上盖板角度调节式烧结机首尾密封新技术，使烧结机总漏风量下降了 8% 等。

在分析烧结机漏风部位的基础上，提出采用差压吸附式密封来降低烧结机漏风率，通过推导漏风量的计算公式，探讨影响漏风量的主要因素，并在建立差压吸附式密封装置仿真分析模型的基础上，分析主要因素对密封性能的影响，最后将分析所得结论应用于工程实际。

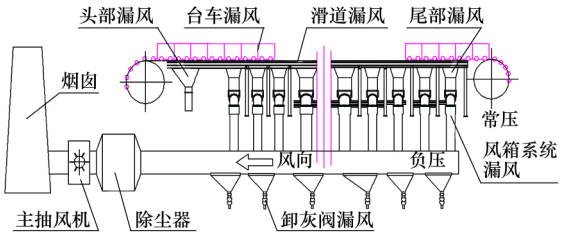


图 1 烧结机主要漏风部位

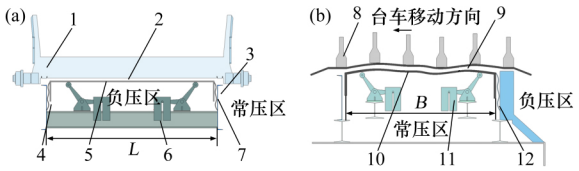
1 差压吸附式密封技术

1.1 烧结机差压吸附式密封

烧结机属于冶金行业中的大型设备，其长度近 100 m、宽度最大时超过 6 m。由于烧结台车在宽度方向的跨距较大，工作时台车的上端需承受数吨的烧结混合料与抽风压力，且台车长期在高温环境下工作，致使在烧结机两端即烧结机头、尾部的台车底部与密封板之间很难实现良好贴合，其最大缝隙有时达到 30 mm 以上，从而造成大面积漏风，其也是烧结机的主要漏风部位。

烧结机差压吸附式密封技术是利用烧结机工作过程中的内、外压差作为动力，致使其风箱密封板与台车底板相互贴合，从而达到密封的效果，图 2 所示为烧结机端部差压吸附式密封的原理图。

从图 2 可以看出，密封体顶部的密封板为一块开口向下的弹性整板，板的下面由上浮装



(a) 密封装置横向断面；(b) 密封装置纵向断面

1—烧结机台车；2,9—顶部间隙；3—风箱侧梁；4—密封板侧部；5,10—密封板顶部；6,11—浮动装置；7,12—侧部间隙；8—烧结机台车横梁。

图 2 差压吸附式端部密封原理图

置支撑，当烧结机台车通过时，密封板可随台车的底梁一起变形，使得台车底梁的下端面与密封板的上端面能相互贴合，构成一个平板式密封装置，以防止风量的泄漏。

由于密封板需要上下浮动，使得密封板的两端和两侧均需留有一定的间隙，加之制造工艺误差和长期工作的磨损，使得其间隙会越来越大，其局部间隙有时最大达到 30 mm。因此，为了最大限度地防止漏风，增强密封效果，在密封板侧部和端部间隙中各设置有一个柔性密封件(柔性密封件的一端固定，另一端自由)，使其在压差作用下，两侧与侧梁衬板贴合、两端与横梁框架贴合，从而构成一个差压吸附式密封装置，以最大限度地防止风量泄漏。

1.2 漏风量的计算

1.2.1 平板式密封

台车下端面与密封板上端面之间的密封间隙可简化为如图 3 所示的计算模型。由图 3 可知：尽管密封板在浮动装置的支撑下能随台车一起上下运动，两者构成了 1 个平板式的密封装置，其中台车下端面可视为密封体Ⅰ、密封板上端面可视为密封体Ⅱ；但由于加工装配精度，以及两密封体之间的磨损、热胀冷缩、受力变形等原因，使得两密封体之间会存在几个毫米甚至更大的间隙，且随工作时间的延长，

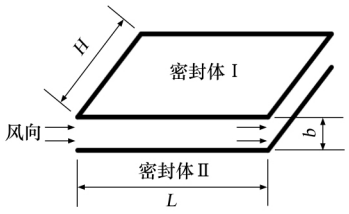


图 3 平板式的密封装置

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

两密封体之间的间隙会进一步加大，相应地其密封效果也会变得更差。

根据缝隙流计算公式可得到平板式密封装置漏风量的计算公式:

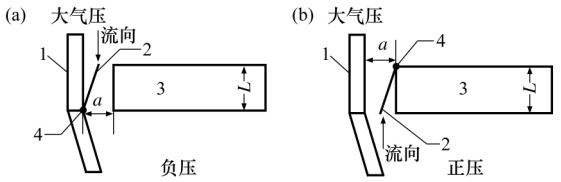
$$Q_1 = 0.083 \frac{H}{L}\frac{b^3 \Delta p}{\mu} \tag{1}$$

式中: Δp 为平板式密封装置中的压差，Pa; b 为间隙量，mm; H 为间隙宽度，mm; L 为间隙长度，mm; μ 为流体的粘度，Pa·s。

由公式(1)可知，传统密封装置漏风量与压差 Δp、间隙大小 b 成正比，随着压差 Δp 增大，密封装置的漏风量也增大，同时随着间隙 b 的增加，则漏风量以 3 次方形式急剧增加。

1.2.2　差压吸附式密封

烧结机密封板两侧与两端的差压吸附式密封可简化为如图 4 所示的原理图，其主要结构为具有一定柔性的弹性密封板，且其一端固定(固定端)，另一端自由(自由端)。弹性密封板在压差的作用下，使弹性密封板与密封体结合面两者之间通过吸附尽可能地贴合在一起，从而达到减小两者之间间隙的目的，其压差越大，则贴合就可能越紧密，间隙也就越小，其密封效果就越佳。



(a) 负压吸附式; (b) 正压吸附式

1—密封体Ⅰ; 2—弹性密封板; 3—密封体Ⅱ; 4—固定端。

图 4　差压吸附式密封装置

由图 4 可知: 当区域内为负压时，可将弹性密封板固定在密封体Ⅰ上，此时称为负压吸附式密封装置; 若区域内为正压，则将弹性密封板固定在密封体Ⅱ上，此时称该装置为正压吸附式密封装置。然而无论弹性密封板固定在哪个密封体上，其在压差作用下，均可简化为 1 个类似的悬臂梁。因此基于悬臂梁受力变形原理，在压差作用下，可得弹性密封板自由端的最大变形量为 u(mm)，即有:

$$u = i \cdot \frac{\Delta p H B^4}{8EI} \tag{2}$$

式中: i 为修正系数; E 为弹性密封板弹性模量，MPa; I 为惯性矩，mm^4; B 为弹性密封板的高度，mm。

弹性密封板的最大变形量即为对间隙的填充量，因此在压差作用下，间隙缩减为 $a' = a - u$。将 a' 取代公式(1)中的 b，即可得到差压吸附式密封装置漏风量的计算公式如下。

$$Q_2 = 0.083 \frac{H}{L}\frac{\left(a - i \cdot \frac{\Delta p H B^4}{8EI}\right)^3 \Delta p}{\mu} \tag{3}$$

从式(3)可知: 间隙 a 导致的漏风与压差 Δp 成负指数关系，且当 $\Delta p H B^4 \geqslant 8aEI$ 时，则不存在漏风。因此，对于内外压差较大密封体之间的密封，若采用差压吸附式密封，则其密封效果可达到最佳。

综合式(1)和式(3)，即可得到烧结机采用差压吸附式密封后的漏风量计算公式为

$$Q = 0.083 \frac{H}{L}\frac{b^3 \Delta p}{\mu} + 0.083 \frac{H}{L}\frac{\left(a - i \cdot \frac{\Delta p H B^4}{8EI}\right)^3 \Delta p}{\mu} \tag{4}$$

由于实际生产过程中，顶部间隙 b 和侧面间隙 a 均不可能为零，因此从式(4)可知，采用差压吸附式密封后，影响其漏风量的因素主要有: 压差 Δp、材料的弹性模量 E 和弹性密封板的厚度，其它参数则由烧结机在结构设计时确定。

2　差压吸附式密封仿真分析

为明确压差 Δp、材料的弹性模量 E 和弹性密封板的厚度 3 个因素对所采用差压吸附式密封效果的影响，采用流固耦合分析法对烧结机结构进行仿真分析。

2.1　数学模型建立

2.1.1　计算方法

(1) 流场计算: 在流体流经密封装置的过程中，空气运动可采用连续方程和纳维－斯托克斯方程(N-S 方程)联立表述。由于在流固耦合中，流固耦合边界会发生变形，此时可采用

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

任意拉格朗日法跟踪流固耦合边界的运动状态，因此得到在 ALE 坐标下连续方程及动量方程为

$$\nabla \cdot v = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = F - \frac{1}{\rho}\nabla p + (v - \omega)\nabla^2 v \tag{6}$$

式中：t 表示时间，s；v 表示流体速度，m/s；p 表示压力，Pa；F 表示外加载荷，N；ρ 表示流体密度，kg/m^3；ω 表示运动坐标系速度，m/s。

在仿真计算过程中，湍流模型选用可实现化(Realizable)模型，压力与速度的耦合则采用了 SIMPLEC 算法，且压力插值采用了 STANDARD 格式。

(2) 结构计算：在结构计算中采用有限元控制方程，其具体的控制方程为

$$[M_s]\{\ddot{u}(t)\} + [C_s(t)]\{\dot{u}(t)\} + [K_s(t)]\{u(t)\} = F_{ext}(t) \tag{7}$$

式中：K_s 表示刚度矩阵；M_s 表示质量矩阵；C_s 表示阻尼矩阵；u 表示节点位移；F_{ext} 表示结构载荷。

(3) 耦合系统方程：在流固耦合中将 X_f 和 X_s 定义为流体与结构节点的解向量，因此 $d_s = d_s(X_s)$，$\tau_f = \tau_f(X_f)$，则流固耦合有限元方程可表示为

$$F_f[X_f^k, d_s(X_s)] = 0 \tag{8}$$

$$F_s[X_s^k, \tau_f(X_f)] = 0 \tag{9}$$

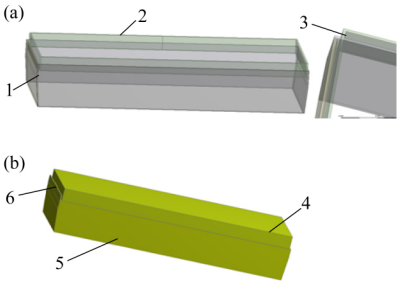
式中：F_f 表示流场方程相应的有限元方程；F_s 示结构方程相应的有限元方程。

通过 ANSYS workbench 数据交换平台提供的 system coupling 模块实现流场跟结构场的耦合，采用顺序求解方式依次求解流体计算域与固体计算域，以此模拟两种差压吸附式密封装置的柔性密封片在一定参数下流固耦合特性。

2.1.2 计算模型

实际测量烧结机端部漏风间隙平均约为 12 mm，计算模型的结构尺寸参数取值如下所示：密封间隙 a = 12 mm、弹性密封板高 B = 145 mm、弹性密封板宽 H = 1 380 mm、弹性密封板厚度 t = 2 mm；其中流体计算域由一整体空气域组成，固体结构计算域则由密封体Ⅰ、密封体Ⅱ、弹性密封板等组成，且弹性密封板其一端固定(固定端)，另一端自由(自由端)。

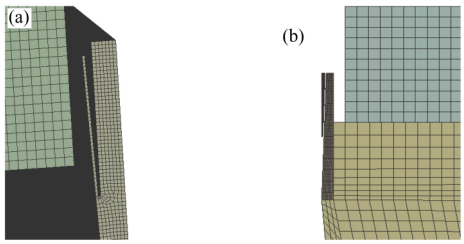
采用 Proe 软件建立烧结机端部局部三维计算模型，分别得到相应流场和结构计算域(图5)。考虑到组成密封体结构各部分之间的尺寸相差较大，将固体计算域划分为若干个区域来划分网格，并对弹性密封板以及密封间隙区域进行网格加密，整体网格通过网格的无关性检测，在综合考虑计算时间及网格质量的前提下，将流场域划分为 214.1 万个网格，固体域划分为 117.2 万个网格，流场域、固体域的网格放大图如图6所示。



(a) 结构计算域；(b) 流体计算域

1—密封体Ⅰ；2—密封体Ⅱ；3—弹性密封体；4—流场入口；5—流场出口；6—间隙流场入口。

图5 计算域



(a) 固体域网格；(b) 流体域网格

图6 网格局部放大图

2.1.3 边界条件及计算工况

将流场进口、间隙流场入口设置为压力入口，流场出口设置为压力出口。对结构场的密封体Ⅰ、密封体Ⅱ的底部施加全约束，结构场跟流场的接触面定义为流固耦合边界。

2.1.4 仿真分析

对于图5、6所示的结构和网格模型，设置其压差为 12 kPa、材料弹性模量为 200 GPa，通过仿真计算得到弹性密封板的压力分布如图7所示，图8为弹性密封板的位移分布。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

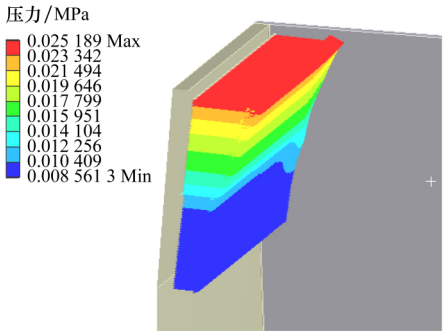


图 7　压力分布云图

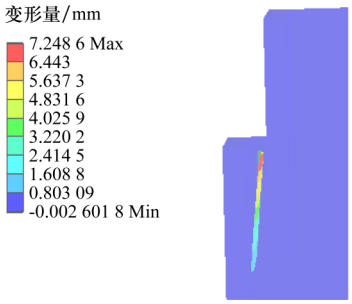


图 8　弹性密封板结构的变形量

从图 7 可以看出，空气流场施加给弹性密封板的最大压力作用自由端，其最大值达到 25.2 kPa，且从弹性密封板的自由端到其固定端，流场施加的压力也逐渐减少到 8.6 kPa。

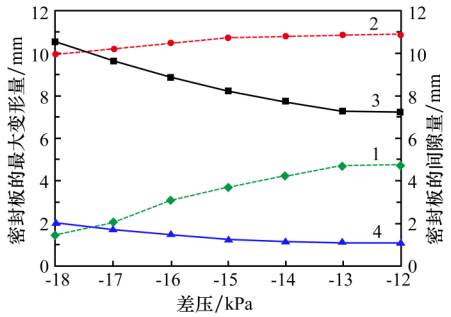
从图 8 可看出，弹性密封板的最大变形量为 7.248 6 mm，由于密封体Ⅰ和密封体Ⅱ的刚度较大，在压力作用下的变形较小可忽略，因此可认为弹性密封板的最大变形量即为对密封间隙的填充量，当密封间隙为 12 mm 时，得到差压吸附式密封装置在压力作用下的实际间隙为 4.751 mm。

同时将仿真时设定的参数即 $\Delta p = 12$ kPa、$B = 145$ mm、$H = 1\,380$ mm、$E = 200$ GPa、$t = 2$ mm 等代入式(3)，并取 $i = 1$，通过计算可得到负压吸附式密封装置的密封间隙为 $u = 4.986$ mm，将其与仿真得到的间隙结果进行对比，两者之间的误差为 4.7%，这说明两者之间具有很好的一致性。

2.2　计算结果分析

2.2.1　抽风负压大小的影响

根据烧结工艺抽风负压的应用情况，设定抽风负压在 −18 ~ −12 kPa 之间变化，且在保持其它参数不变的条件下，分别对正压吸附式密封装置和负压吸附式密封装置进行仿真计算，得到其弹性密封板的最大变形量与密封间隙随抽风负压变化的分布规律，如图 9 所示。



1—负压下的间隙量；2—正压下的间隙量；3—负压下的变形量；4—正压下的变形量。

图 9　压差变化对弹性密封板端部变形量以及密封间隙的影响

从图 9 可知：随着抽风负压值的减小，两者弹性密封板的最大变形量也相应减小，其密封间隙则相应地增大，且当其负压值减小到 13 kPa时，其变形量的减小效果不明显，因此增大抽风负压值，有利于提高密封效果；同时采用负压吸附式密封装置，其弹性密封板的最大变形量为正压吸附式密封装置变形量的 6.6 倍左右，这说明采用负压吸附式密封装置能显著提高其密封效果。

2.2.2　弹性密封板厚度的影响

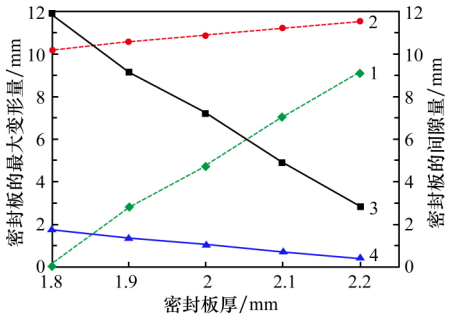
弹性密封板的厚度越大，则它在同等受力条件的变形就会越小。为了确定一个最佳弹性密封板的厚度，在设置抽风负压为 −12 kPa，且保持其它参数不变的条件下，分别对 1.8 ~ 2.2 mm 的弹性密封板进行仿真计算，图 10 为弹性密封板最大变形量及其密封间隙随其厚度的变化规律。

从图 10 可看出：随着弹性密封板厚度的增大，密封板的最大变形量减少，而其间隙量会增大；同时采用负压吸附式装置的最大变形量为正压吸附式密封装置的 6.6 倍左右，这进一步说明采用负压式密封装置能提高其密封效果。

2.2.3　弹性密封板材料弹性模量的影响

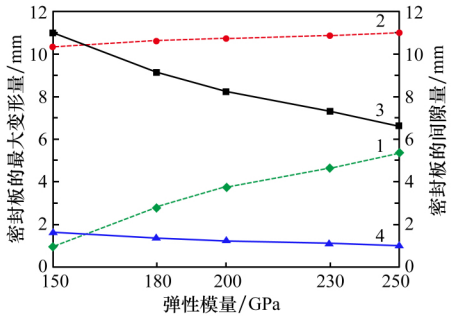
材料的弹性模量是衡量变形体抗弹性变形能力大小的性能参数。在设置抽风负压为15 kPa、

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



1—负压下的间隙量；2—正压下的间隙量；3—负压下的变形量；4—正压下的变形量。

图 10 厚度变化对弹性密封板端部变形量以及密封间隙的影响



1—负压下的间隙量；2—正压下的间隙量；3—负压下的变形量；4—正压下的变形量。

图 11 弹性模量变化对弹性密封体端部变形量以及密封间隙的影响

弹性密封板厚度为 2 mm，而其它参数保持不变的条件下，分别对材料弹性模量为 150 ~ 250 GPa 的密封装置进行仿真计算，所得密封板最大变形量随弹性模量变化的关系曲线以及间隙随弹性模量的变化规律如图 11 所示。

通过对 3 个影响因素的仿真分析可知：弹性密封板厚度对密封效果的影响最大，抽风负压对其密封效果的影响次之，而钢材料的弹性模量对其密封效果的影响最小；对于正压吸附式密封装置和负压吸附式密封装置而言，负压吸附式装置的密封效果较好，且在负压吸附式密封装置中，其密封板的最大变形量为正压式吸附装置的 6. 6 倍左右，上述结论能为烧结机密封装置的结构设计提供指导。

3 负压吸附式密封及其应用

通过前述的仿真分析可知，负压吸附式密封装置的密封性能要优于正压吸附式密封。因此，将负压吸附式密封应用于宝钢湛江 550 m^2 烧结机上，在投产运行后，基于静密封测流量法对烧结机的漏风进行了检测，其检测数据如表 1 所示。

表 1 负载/空载运行主烟道测点数据及标况流量

项目	主抽 1#	主抽 2#	主烟道				
	静压/kPa	静压/kPa	静压/kPa	大气压/Pa	温度/℃	流速/($m \cdot s^{-1}$)	标况流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)
空载测试(全密封)	- 18. 195	- 18. 134	- 18. 18	98. 23	28	8. 74	236 367
负载测试	- 17. 775	- 17. 949	- 17. 76	98. 00	157	13. 75	1 343 704

由表 1 可知，空载运行时漏风标况流量为 Q_{KB} = 236 367 m^3/h，负载运行时总烟气标况流量为 Q_{FB} = 1 343 704 m^3/h，因而烧结机的漏风率为

$$\delta = \frac{Q_{KB}}{Q_{FB}} = \frac{236\ 367}{1\ 343\ 704} \times 100\% = 17.95\% \quad (10)$$

同时，将负压吸附式密封装置也应用到日本和歌山的 180 ㎡烧结机上，经日方测试得到其漏风率仅为 16. 75% 。

鉴于国内采用传统密封技术烧结机的漏风量一般为 45% ~ 50% [2]，因此采用负压吸附式密封技术烧结机的漏风率远低于国内采用传统密封技术烧结机的漏风率，节能减排效果显著。

4 结 论

根据烧结机的结构与工况特点，在基于差压吸附式密封技术的基础上，对烧结机的漏风量进行了理论与仿真分析，得到如下结论：

(1) 根据烧结机的结构和工况特性，建立了烧结机漏风量的计算公式，得到了影响密封效果的主要因素，可为烧结机的结构设计和密封提供指导。

(2) 在差压吸附式密封技术的基础上，提出了采用弹性密封板来填充间隙的负压吸附式

(下转第 24 页)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制粒中应适当调整配水量和加水方式使熔剂均匀分布，同时保证铁矿粉之间形成毛细水的水含量，从而提高制粒小球的冷态强度和热态稳定性。

3 结 论

(1) 不同生石灰的吸水特性差异较大，生石灰的吸水特性指数与其游离 w(CaO) 呈正相关；游离 w(CaO) 高的生石灰其活性强，其与水消化反应剧烈放热使混合料的水分进一步蒸发；增加强吸水能力的生石灰使用占比，粘附细粉能够快速粘附到核矿石表面，有利于制粒效率和准颗粒小球冷态强度、热态稳定性的提高。

(2) 随着生石灰吸水特性指数的增大，钒钛磁铁精粉的颗粒长大指数、均匀性指数和抗热粉化指数均先升高后降低，破损指数先降低后升高；相比于中钛型和高钛型钒钛磁铁精粉，生石灰的吸水特性指数对低钛型钒钛磁铁矿破损指数和抗热粉化指数的影响较小。

(3) 烧结混合料水分一定，当生石灰吸水能力过高时，其消化反应剧烈，消化后的黏性大，容易出现“自团聚”现象，造成其在混合料发生偏析；且水分在矿粉颗粒间的分布占比下降，矿粉颗粒间形成毛细力的水分不足。此时，制粒中应适当调整配水量和加水方式使熔剂均匀分布，同时保证铁矿粉之间形成毛细水的含水量。

参考文献

[1] Liu Donghui, Zhang Jianliang, Liu Zhengjian, et al. Effects of iron sand ratios on the basic characteristics of vanadium titanium mixed ores [J]. JOM, 2016, 68(9): 2 418 – 2 424.

[2] 范晓慧，甘敏，李文琦，等. 烧结混合料适宜制粒水分的预测 [J]. 北京科技大学学报，2012，34(4)：373 – 377.

[3] 何木光，蒋大军，陈许玲. 提高钒钛磁铁精矿配比对烧结的影响 [J]. 钢铁钒钛，2014，42(2)：1 – 4.

[4] 刘淑清. 近年全球钒制品生产现状及发展趋势 [J]. 钢铁钒钛，2014，35(3)：55 – 62.

[5] 张勇，周密，储满生，等. 进口高铬型钒钛磁铁矿的烧结基础特性 [J]. 钢铁，2012，47(12)：18 – 23.

[6] 吴胜利，攀佳欣，朱娟，等. 基于生石灰吸水性的适宜烧结制粒水分 [J]. 钢铁研究学报，2015，27(1)：27 – 34.

[7] 佐膝武夫，言素. 改进生石灰添加方法改善混合料制粒特性 [J]. 烧结球团，1987，10(1)：68 – 75.

[8] 张建良，刘东辉，刘征建，等. 比表面积对钒钛磁铁烧结矿烧结制粒的影响 [J]. 钢铁钒钛，2017，38(6)：7 – 12

(上接第6页)

密封装置和正压吸附式密封装置，对影响其密封效果的压差、密封板弹性模量和厚度3个因素进行了仿真分析。结果表明：弹性密封板的厚度对密封性能的影响最大，差压的影响次之，而材料弹性模量的影响最小，即填充间隙密封板的厚度越薄、压差越大、弹性模量越小，则其密封性能越好。

(3) 与正压吸附式密封装置相比，负压吸附式密封装置的密封效果更佳，它的密封性能是正压吸附式密封装置的6.6倍左右。

基于上述结论，作者现已将负压吸附式密封装置应用于工程实际中，并通过现场实际测试，其漏风量比传统密封技术下降了近50%。因此，本文所提出的密封技术可为具有类似结构的设备设计和开发提供指导。

参考文献

[1] 金永龙，徐南平，邬士英，等. 烧结机分区段漏风测试技术研究及应用 [J]. 钢铁，2003，38(3)：1 – 3.

[2] 张良. 炼铁烧结机新型首尾密封装置的研究 [D]. 唐山：华北理工大学，2016.

[3] 蒋大年. 烧结机漏风治理技术分析 [J]. 中国设备工程，2017(8)：77 – 78.

[4] 郭云奇，关珍旺，陈宝顺. 烧结机柔性差压侧密封技术研究 [J]. 烧结球团，2014，39(2)：9 – 11.

[5] 董书岐，贾友剑，吕明秀，等. 降低烧结机漏风率的技术改造 [J]. 设备管理与维修，2016(6)：63 – 65.

[6] 何云华，白明华，梁宏志. 降低烧结机漏风率技术与应用研究 [J]. 物理测试，2008，26(1)：6 – 10.

[7] 杨庆桂，强发文. 烧结机密封技术改造与实践 [J]. 工程技术研究，2013(2)：28 – 30.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net