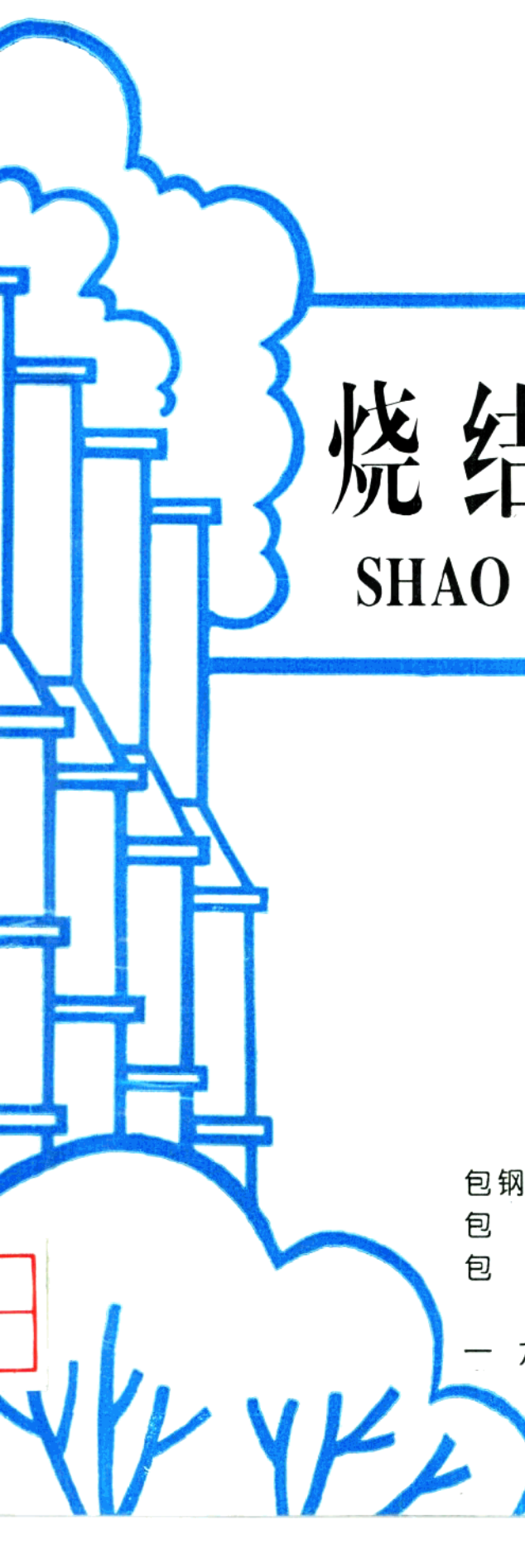




烧结译文集

SHAO JIE YI WEN JI

包钢经济技术情报研究所

包 钢 烧 结 厂
包 钢 科 技 处

一 九 九 六 年 七 月

前 言

随着高炉强化冶炼和喷煤粉量的提高,炼铁对原料质量特别是对烧结矿强度及粒度组成的要求越来越高。因此,努力改善高炉原料的质量,特别是努力提高烧结矿强度,改善烧结矿粒度组成,已成为国内外烧结专业技术人员普遍关注并着力研究解决的课题。由于包头白云鄂博铁矿是一个含铁、稀土、铌等多种矿物共生的矿床,矿物组成复杂,且含有较高的氟、钾、钠、硫、磷等有害元素,所以包头铁精矿的烧结是国内外独一无二的特殊精矿烧结。30年来,包钢烧结科技人员为之进行了大量的科研试验和技术攻关。通过不懈的顽强拼搏,先后于七十年代中期和八十年代初期,研究成功了高碱度烧结矿和高碱度高氧化镁烧结矿,使烧结矿质量获得了两次大突破,有力地促进了包钢生产的发展。近几年来,随着选矿技术进步和烧结生产技术的发展,包头铁精矿含氟量大幅度下降,烧结矿铁品位明显提高。按理烧结矿质量应该有所改善,但实际上恰恰相反,烧结矿质量不但没有相应提高,而是相应下降,突出表现是粒度组成变差,高炉返矿率升高,即强度有所下降。从而,使包钢烧结面临着一个新问题:低氟精矿烧结的强度、粒度问题,对此,包钢将“提高烧结矿强度、改善烧结矿粒度组成”列为1995年公司七大重点科技攻关项目之一,并组织了烧结厂、冶研所等有关单位的科技人员进行攻关。通过一年多的攻关取得了初步成果,但无突破,公司决定攻关工作继续进行,并邀请北京钢研总院、北京科技大学、中南工大和东北大学等国内权威单位参与,加大了攻关力度。

1996年是包钢烧结厂投产30周年,为了配合上述攻关和祝贺烧结厂投产30周年,我们特编辑了这本提高烧结矿质量译文集。该译文集反映了日、美、英、德、前苏联等国家近几年来有关改进、提高烧结矿质量方面的最新研究和生产资料,具有较高的参考价值,“他山之石,可以攻玉”。我们真诚地希望该译文集能为烧结专业科技人员提供借鉴,促进攻关顺利成功,从而为实现包钢烧结矿质量的第三次突破贡献微薄力量。

由于我们水平有限,加上时间比较紧迫,错误不当之处在所难免,诚恳地欢迎读者提出批评和指正。

编 者

一九九六年五月

目 录

烧结机布料的改进及其对烧结生产的作用

..... H · Beer 等

孙立原译 刘兰英校(1)

烧结矿生产工艺及成品评价

..... 葛西荣辉等

段维民译 赵民校(9)

高氧化铝铁矿石和工艺条件对烧结矿矿物学的影响

..... T · M · Srinivasan

刘兰英译 孙及校(17)

最佳透气性烧结混合料的配制

..... M · T · Paju 等

于志军译 马燕生校(20)

模拟高炉富氧大喷煤试验时炉料的熔滴特性

..... Thomas Falk

林立恒译 金玉喜校(23)

制粒液的特性对造球物理性能的影响

..... Kazumi Danjo

贾永译 李富荣校(28)

提高烧结矿生产效率的措施

..... 小智军夫等

李海燕译 段维民校(31)

改善烧结矿成品率的增产技术

..... 桑野惠二等

刘均会译 马燕生校(33)

影响小球烧结强度的因素

..... Shengli Wu

赵继明译 王建云等校(39)

烧结过程粘结层中渣相形成及其与铁矿晶核之间的反应

..... E · DA Costa
陈春元译 刘宏兴校(46)

运用高速搅拌机来改善原料的粒度

..... Yasuhiko 等
贾永译 李富荣校(57)

带式烧结机布料操作的优化

..... A · Dubs 等
刘兰英译 孙立原校(63)

高温反应对铁矿石烧结过程的影响

..... Lü Zhen Yeng
李万达译 马燕生校(67)

烧结矿配料中铁矿物成分的优化

..... C · K · Сзельев 等
兰金亮译 冯志坚校(74)

烧结矿质量及烧结工艺的改进

..... M · A · G · Bentes
刘兰英译 周启贤校(77)

烧结燃料粒度的合理选择

..... A · Г · Покотиллов 等
兰金亮译 冯志坚校(79)

世界铁矿石烧结法发展现状——制粒与布料

..... P · R 道森
炎凉译 李玉林校(82)

烧结厂的现代化对产品质量、生产率及环境的改善

..... H · Stiasny 等
陈革译 马燕生校(89)

铁矿石烧结矿用 $\text{CO}-\text{CO}_2-\text{N}_2$ 混合气体还原铁酸钙初始阶段的还原性

..... Tateo Usui 等
高霞译 马燕生校(98)

铁矿球团生产中固体燃料的应用

..... A · Rodriguez 等
刘继权译 陈春元校(106)

小仓3号烧结机烧结稳定性控制系统的开发

..... 浜田胜成等
段维民译 王小功校(110)

钢管福山5号烧结机的低 SiO_2 操作

.....	佐藤秀明等
新日铁公司户畑厂3号烧结机技术改造经验	刘均会译 马燕生校(114)
.....	杉木
超高生产率的烧结原料准备	张立新译 吴军校(118)
.....	H · A · Kortmann 等
在铁矿石的烧结过程中烧结矿机械强度的提高	刘宏兴译 陈春元校(122)
.....	B. B. Кравцов
索拉克公司烧结机生产能力的增加	兰金亮译 冯志坚校(130)
.....	C · Huguet 等
烧结料粒度组成对烧结燃料消耗的影响	韩淑霞译 马燕生校(133)
.....	В · П · Лозовой 等
烧结技术的发展对降低炼铁成本的作用	兰金亮译 冯志坚校(138)
.....	W · I · Chung 等
	陈革译 马燕生校(142)

烧结机布料的改进及其对 烧结生产的作用

H. Beer 等

引言

烧结机的生产率直接与混合料的透气性有关。因此,很大程度上依赖于混合料粒度的分布。

对烧结混合料成份的成粒行为的研究表明,焦粉和返矿作为粒核,具有较高的成粒性。成粒的粒度分布是由各种粒度大小的分布范围决定的。

除了关于混合料成粒性质外,对于烧结过程,烧结机的布料技术也很重要。混合料必须以料层均匀而不压实的形式布在烧结机炉篦上。所以,粒度的横向偏析是不希望的,而一些原燃料在料层高度上的偏析是有利的。因而,要特别注意混合料在移动烧结机上的布料方法。下面讨论一下在 Schwelgern 烧结厂最近所进行的一些调查研究。

1. 机 理

可以认为烧结是一个非常简单的对流气—固反应过程,如图1所示。粒状固体床在烧结机台车上水平移动,并于台车炉篦下抽风。在混合料刚布到烧结机上之后,其表层掺入的固体燃料被点燃,同时热气吸入料层。这时表层温度升高足以燃烧其下面料层中的燃料粒子。空气通过上部已烧结了的料层,首先被预热,然后使燃烧反应持续进行。高温并含大量氧气的燃烧气体离开烧结区,将其热量传给下面的料层。当固体料被预热时,碳酸盐、

化合水和料中水份馏出,迅速冷却气体。这样,焰锋通过移动的料床传播,产生的峰值高温足以将颗粒料层烧结成块。调节烧结机的运行速度,使得燃烧带在抽风区末端通过整个料层高度。使得这个烧结反应保持在稳定状态以确保生产稳定。

热波的传播速率取决于吸入料层的空气传质速率以及气体和固体的固有热容:

$$V_s = \frac{W_g P_g C_g}{(1-\epsilon) P_s C_s} \quad (1)$$

因此,烧结料层的良好透气性是提高烧结速率的关键。

影响料层透气性的因素可由 Erguns 等式来描述。气体流速是由料层的压力梯度和料床混合物物理特性来决定的:

$$\frac{\Delta P}{H_{MG}} = \frac{150\eta W_g(1-\epsilon)^2}{\Phi^2 d_p^3 \epsilon^3} + \frac{H_{MG} 75 \rho_g W_g^2 (1-\epsilon)}{\Phi d_p \epsilon^3} \quad (2)$$

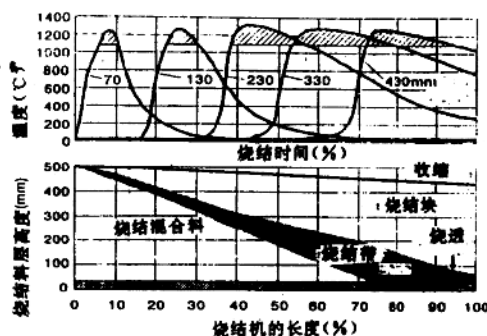


图1 铁矿石烧结过程原理图

决定料层透气性的主要物料性质:

d_p ——粒子直径

Φ ——形状因素

ϵ ——孔隙度

对于整个料层进行均匀地烧结反应,确保空气的均匀分布是重要的。这就依次以料层的物料性质均匀分布为前提。

2 混合料的准备

首先,必须提供均匀一致的混合料。原燃料和返矿必须充分混合成粒。

当装入混合料仓时,要防止粒度偏析。在向烧结机上布料时,混合料在台车上分布均匀而不压实。虽然粒度在台车上横向偏析对烧结过程是有害的,但是可控的料层高度方向的粒度偏析却有利,特别是料层上部的燃料含量增加时可补充那里的热量不足。这种粒度偏析还有一个较好的作用,就是将粗粒带到料层的底部,而料层底部细粒多将消耗更多的热量。

3 烧结机的布料设备

根据目前的装备水平,烧结机的布料系统通常由一个混料仓,一个圆辊布料器,一个溜槽和一个刮料板组成,有时还安装松料器。

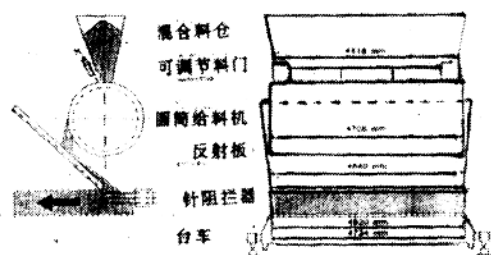


图2 3^号烧结机的布料设备——装有小料门、可倾斜溜槽和针阻拦器(松料器)

近十年内,对混合料在烧结机上布料的控制过程进行了深入细致的研究,尤其在日本。研究的结果导致了不同的布料设备的开发,如强筛给料机和缝棒给料机。

在Schwelgern 烧结厂使用的布料设备是常规型的。其改进为增加了可倾斜的反射板和阻拦针(松料器),如图2所示。

3.1 混合料槽

混合料槽安装在烧结机上边,为应付混合料量的短时波动,其容积很小以避免物料粒子被压实。由横跨在料槽宽度上的往复运动的梭子布料器给料槽装料。这样,在混合料装入料槽时,就能减少物料沿料坡滚动而引起的边缘偏析。否则,在料槽边缘积累起来的粗粒物料,就会装在靠近台车拦板处,增加了这个区域料层吸入的空气量。

3.2 料槽门

在混合料槽下部的料门可分成五个部分,这样就可台车整个横截面上控制布料。在两边的小料门较小,这样就可通过调节这两个边门,更好充填靠近台车拦板的边缘区域。

3.3 圆辊布料器

用圆辊式滚筒给料机进行卸料,可通过调节各料门开度和相对于烧结机移动速度的圆筒转速来控制混合料流量。混合料流量可用下式来表示:

$$V_{MO} = B_{SB} H_{MG} V_{SB} = B_A \bar{H}_S (D_w + \bar{H}_S) m_w \psi \quad (3)$$

因素 ψ 考虑了混合料流速和圆筒转速之间的滑动,以及混合料体积密度的变化。在给料机停转时,混合料不能从料槽中流出,因此,料门开度不能太大,这就影响卸料时混合料中料块的破碎,从而造成了溜槽上间断的脉动料流。这种现象就是Fujimoto、Inazumi和他的同事所描述的,崩落释放效应。

3.4 反射板

为了补足在料层上部的热量不足,在混

合料布上台车上时,有意识的要求一定程度的粒度偏析。Schwelgern 取消了普通的、很陡的溜槽;安装了可倾斜的反射板差不多二十年了。这个反射板也可用做平料板。由电动清料刮板保持反射板的陶瓷内衬不粘料。反射板的倾斜角度变动范围为 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。通常使用的倾斜度较小的 40° 的主要作用是减小下降料流的速率,如表 1。

反射板上混合料的流速 表 1

反射板的倾斜度	°	40	54
混合料流速	m/s	1.28	2.40
混合料流厚度	mm	32	8

反射板倾斜度变小时,混合料的粒子趋于偏析,需要较多热量的粗粒和重粒在料层较低的部位富积,固体燃料粒子也将发生轻微的偏析。然而,由于反射板长度的限制和低速料流造成粘结厚度的增加,上述作用很小。使混合料流到反射板上的速度降低,将降低装到台车上混合料的体积密度,这就改善了烧结料层的透气性,如图 3 所示。

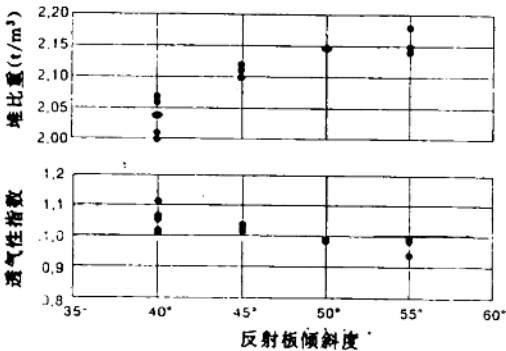


图 3 反射板对堆比重和混合料透气性的作用

试验室进行的试验证明了这种布料的优点。除了良好的透气性外,还获得较高的烧结

率和较低的热量消耗。在实际生产中获得的好处稍微差一点。其主要优点是对烧结料层透气性的改善,这有助于厚料层的烧结。

3.5 松料器

疏松烧结料层密度的装置多年以前就在 Thyssen 烧结厂进行试验。松料器——或者刮平料层表面,或者插入下降的料堆中。无论在哪种情况下,烧结率的提高是以增加热耗,减少产量和降低强度为代价的。

最后在八十年代末,开发了针平料松料器,由于它的效果颇佳,立刻安装于所有的 Schwelgern 烧结厂,并也安装到了 TISCO 的 Tata 工厂的 2^号 烧结机上。此设备的作用后面将进一步详细讨论。

4 边缘效应

4.1 充填台车的边缘区域

正如已提到的那样,充分地填充台车挡板的边缘区域是困难的。为了确保料流无横向偏析,边壁引导来自混料槽的料流经过圆筒给料机、反射板,布到台车上。这些边壁相重叠,避免物料外溢。因而,料流边缘散开,磨损很轻。

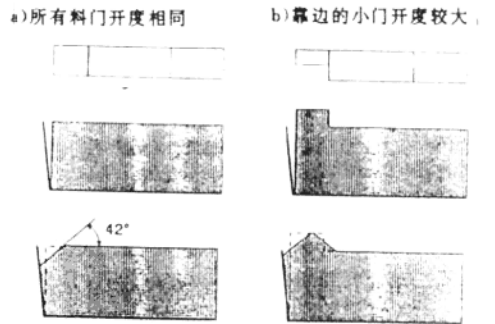


图 4 小料门的不同开度充填台车的边缘
假设混合料槽下各小料门保持同一开度,装到台车上的混合料严格控制为垂直料

流,则沿着台车挡板将存在楔形空间如图4a。由重力作用,混合料将流向挡板,填充空间直到静止角形成。料层这个边缘部分的堆比重降低,并在料层边缘顶部形成敞开的三角空间。

最外边的小门比内侧的开度大一些,使得台车边缘多装一些料,边缘填料得以改善,但在要求的料层高度上面剩一些料,如图4b。随后,这一小堆被刮板(即反射板)荡平,料层上部的料压实一点。但是沿着台车挡板的边缘区域,装入的料仍然疏松一些。

4.2 料层表面和温度分布

对较小的外边料门的不同开度的作用,通过测量烧结料层横向的表面形状和倒数第二风箱横向温度分布,进行了调查研究。由于给料设备和点火器之间空间有限,料层表面形状的测量是在点火器之后,并在台车卸料端之前来进一步确认。在此料位还考虑了料层的收缩。对测量观察的台车运行不同地点还常常进行横向测量。从而,已燃烧的料层表面形状与布入台车混合料面的形状是相似的。

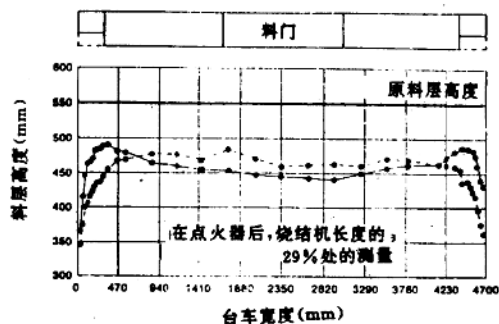


图5 小料门的开度对于台车横向料层表面形状的影响

所有的小料门开度一样,台车的边缘区装料不满。料层的两边在0.5m宽的区域带,其表面倾斜向台车挡板,如图5。横向温度分

布为M型,在边缘温度下降很快。中间的小凹槽,是由风箱座架的中心梁引起的,如图6。

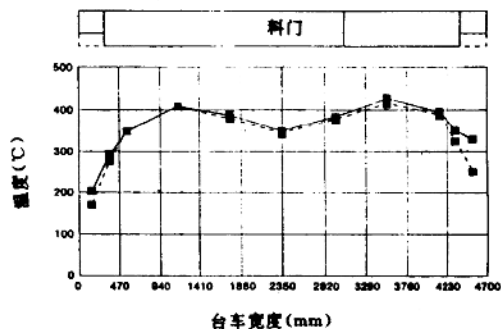


图6 小料门的开度对第22风箱的废气横向温度分布的影响

将外边的小料门开度大一些,就能很好地填充台车的边缘区域,如图5所示。料层两边的三角带是由于混合料烧结收缩引起的。两边的温度也比前者略有升高。在烧结机两边安装了压辊来压实物料,但效果很小。

这些测量结果表明,料层边缘的烧结速率快于中间部分。与台车挡板连接处,混合料的收缩必然形成一小沟,此处抽入的空气并不参加烧结过程。与料层其余部分相比较,混合料较松散的料层边缘区增加了气体流量的通过。由于烧结块与台车挡板间隙的漏气,加上台车密封处漏气,除了烧结机两边混合料烧结反应不充分以外,其废气温度也大大下降。

在4.7m宽的烧结机边缘,较高的烧结速率使烧结矿质量下降,并在烧结块边缘存在一些没烧好的混合料。其烧结矿的强度最差。随着距台车挡板的距离增加而强度提高,在宽度等于料层高度1/4处,达到了平均水平,如图7,这只是在烧结块垂直面中进行探测。没有提及大家都熟悉的烧结矿强度对料层厚度的依赖关系。

台车边沟中没充分烧结的混合料和烧结块边缘易碎的烧结矿总量约 5.5kg/t 烧结矿。除此之外,正如烧结块边缘强度低所表明的,在这个区域造成大量的返矿。对边缘区烧结条件的任何改善均意味着产量的增加。

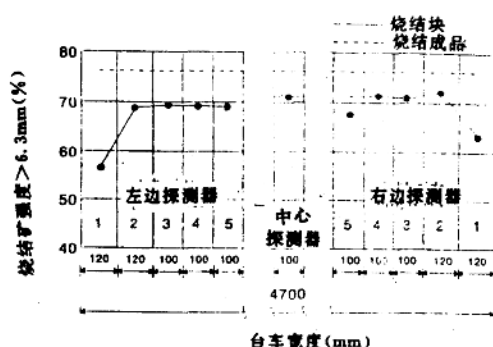


图7 在烧结块边缘区烧结矿强度的降低

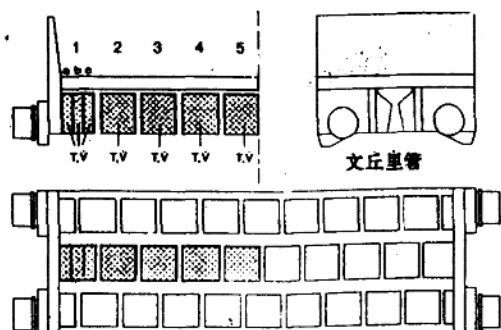


图8 设置废气温度和流量测量点的试验台车

4.3 百叶窗式篦条

靠近台车挡板的混合料较疏松,并由料床的收缩而形成缝隙,产生了不均匀的气流。焙烧速度高于平均水平。为了减弱边缘气流,沿挡板在 0.3m 的宽带使用了百叶窗篦条。使用此篦条既不影响烧结机上的装料,也不影响混合料表面形状。

为了评价烧结过程的均匀性,必须测量烧结台车横向的废气和流量。为此,使用一个试验台车,这是与德国钢铁研究院一道共同开发的(图8)。

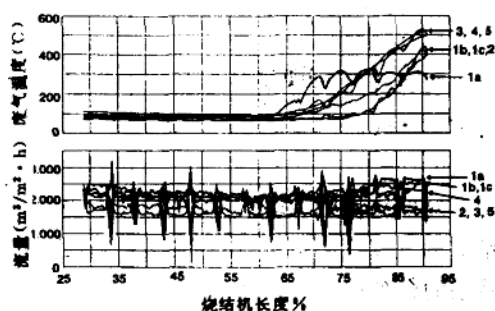


图9 烧结机纵向废气温度和流量的特性曲线

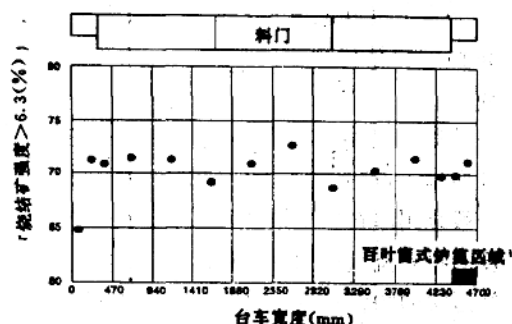


图10 百叶窗式篦条对烧结矿强度的影响

温度和流量的测量设置在台车架中间一排篦条下面。测量室 2~5 个,每一个宽度为 47cm。边缘测量室 1 分成三部,以获得更加详细的数据。测量线路在台车侧面拉出。这些导线可连接或脱开仪表而不用停车。

流量的测量反应灵敏,各风箱联接处的

流量的短暂变化清晰可见(图9)。在边缘区,显示出在倒数第三个台车废气流量上升很快,这是由于烧结块逐渐收缩,在边缘抽入更多的空气。这也可在温度特性曲线上反映出来。边缘区域由于漏气废气温度较低。这妨碍了烧结过程的发展,导致了边缘烧结强度的下降。

在边缘安装百叶窗式篦条,可防止漏气的产生,从而避免烧结矿强度的下降(图10)。

对烧结块的检验表明,在台车的左边烧结矿的强度下降很多,而在安装了百叶窗式篦条的台车右面,烧结矿强度却没下降。

进一步的调查研究,即进行料层中烧结温度的测量,对于减少不利的边缘效应很有必要。

5 往移动的台车上装入混合料

5.1 纵向混合料料流

除了很好地填充台车的边缘区域以外,在移动烧结机上进行纵向均匀布料也很重要。

单位宽度混合料流速随着抽风面积的增加而增加,这是由于大型烧结机宽度比较大,一般采用厚料层烧结。因而,反射板上单位宽度的物料流量增加,使料流增厚。这样很粘的被压实的物料料流不易散开。

根据 Inazumi 和他的同事的调查研究,从溜槽向烧结机布料时,这将引起混合料在料层斜面周期性的堆起和滑落。重复发生的崩落形式造成多层结构的烧结料床,粗粒层和细粒层交替变动。这种特殊的料层结构是不均匀烧结反应的重要原因。

在 Schwelgern 工厂,向烧结机上布料的反射板倾斜度为 40° ,此角比混合料的静止角(测量为 42°)稍小一点。混合料在布料点顺着料层斜坡方向运动,从而减少装入烧结

机上物料的堆起和滑落。为了避免混合料流的波动,同时也减少料层斜坡的滑落,开发了针阻拦器(平料松料装置)。

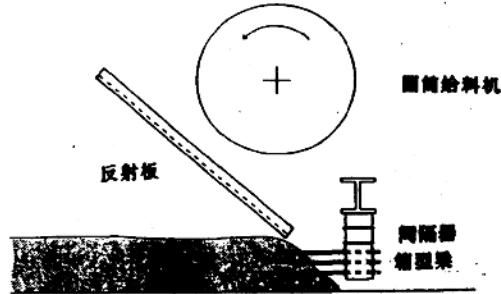


图 11 针阻拦装置简图

5.2 针阻拦器

此装置很简单,如图11。它是由带有三排不同点阵接头的箱型梁构成,接头用来装针(细铁棍)。台车距炉篦上的高度可用垫片来调节。将它安装在反射板卸料末端,将针插入物料的斜坡中。这些针打碎料块和散开料流;并增加了料层的孔隙度,因为当混合料随台车离开布料机处,针就腾出所占据的空间。

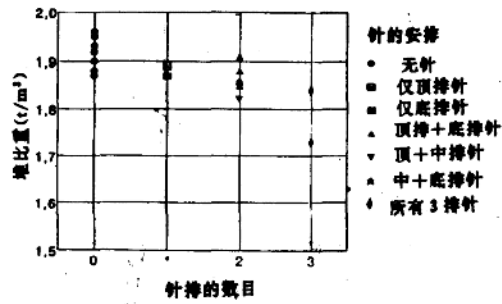


图 12 针阻拦器(平料松料器)的不同安装对混合料体积密度的影响

针阻拦器(平料松料)装置的效用进行详细的调查研究。在不变的布料条件,延缓混合

料流速导致烧结料层体积密度的降低。随装针排数的增加,料层体积密度下度,如图 12。无论将针装在上排、中排或底排,仅采用一排或二排针时,其作用很小。

因为体积密度表示了料层的空隙度和透气性,低体积密度的料层允许较多气体流过。这有助于烧结速率的提高,如图 13。

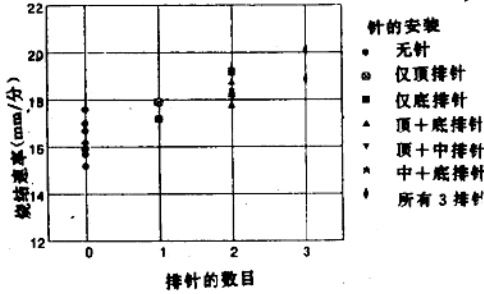


图 13 通过使用针阻拦器(平料松料器)使烧结速率的提高

作为烧结速率的函数,烧结矿利用系数随之增加。如图 14 所示,烧结矿利用系数与烧结速率近似线性关系,但松料器对提高产量作用不是很大。这可通过将返矿循环负荷定为常数的全过程试验来证实。

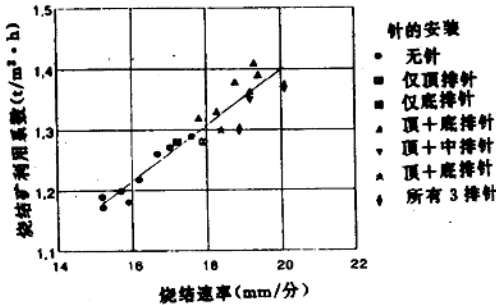


图 14 作为烧结速率的线性函数烧结矿利用率的增加

在没有加入生石灰时,烧结矿利用系数从 $1.2 \text{ t/m}^2 \cdot \text{h}$ 提高到 $1.4 \text{ t/m}^2 \cdot \text{h}$,否则增加同

样的产量加入生石灰是必要的。从前面的调查结果可得出,依赖于混合料中精矿的百分含量,每吨烧结矿可节省生石灰 $5 \sim 10 \text{ kg}$,图 15。在混合料中精矿的含量为 $10 \sim 20\%$ 的情况下,进行的平料松料器试验。

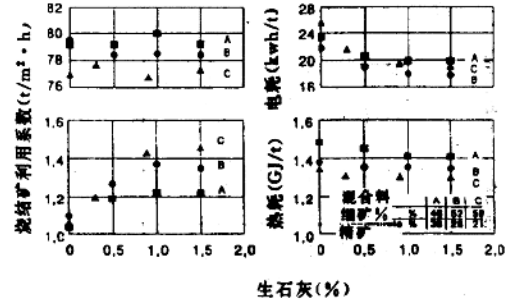


图 15 生石灰对烧结矿利用率、转鼓强度及热、电能耗的影响

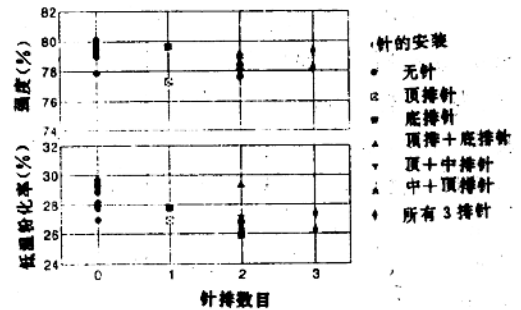


图 16 针阻拦器(平料松料器)的使用引起烧结矿质量的变化

当采用针阻拦器(平料松料器)时,燃料比即没上升,也没降低。由于料层良好的透气性,电耗降低约 1 kWh/t 烧结矿。

关于成品质量,正如所预料的,烧结速率的提高引起强度轻微下降,ISO 强度从 79%

下降到 78%；低温性能稍有改善，低温还原粉化指数从 29%降低到 27%，如图 16。

6 最近生产结果

6.1 针阻拦器(平料松料器)和生石灰结合使用的效果

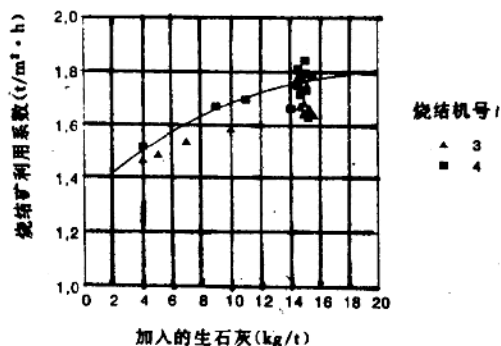


图 17 针阻拦器(平料松料器)与生石灰结合使用使烧结矿利用系数提高

在最近重新修订的计划中, Thyssen Stahl 决定将来仅将两台大型烧结机投入生产。为此,这两台烧结机的利用系数就得大大提高;因而,加入适当比例的生石灰来平衡对烧结矿产量的要求。每吨烧结矿使用 15kg/t 的生石灰,再加上平料松料器的作用,烧结矿的利用系数提高到 1.6~1.8t/m²h,如图 7。图中的数值为月平均生产数据。

根据 Schwelgers 2^号 高炉开炉需要,要保持较高的烧结矿质量。这可以重新将烧结矿中 SiO₂ 的百分含量从 4.5%提高到 5%来获得。

6.2 过程控制

由于透气性对烧结速率强烈的影响,对台车上混合料的堆比重进行连续的计算作为主要的自动控制系统,而没使用专门的透气性仪表。另一个导出量是圆筒给料机的线速度与台车移动速度之比。这个辅助参数反映了给料槽的开度,也就反映出从圆筒给料机到反射板料流的厚度。也用它监测烧结机布料的质量。

此外,还监测燃气和废气的渗透率以及一些温度数值,以控制烧结过程的稳定进行。

7 结 论

台车边缘区的边缘效应,使空隙度不均匀地分布和料床横向收缩,阻碍这个区域烧结过程的正常进行。通过调节混合料槽小料门的开度,使得边缘区得到较好的填充,在一定程度上改善了烧结条件。然而在与台车挡板连接处,混合料只有部分烧结,并且烧结块的两边强度很差。初步试验表明,将紧靠台车挡板的炉篦改成百叶窗式,可改善台车边缘烧结矿的强度,这需要进一步考察研究。

针阻拦装置(平料松料装置)被证明是改善烧结料层透气性既有效又简单的工具。由于针始终处于运动的物料中,没有发现它的粘料。因此,要考虑它们的磨损。针是用普通钢制成,计划 3~4 月检修一次或重换一批。

料层透气性的改善提高了烧结矿的利用系数。结果,生石灰的节约费用大大超过平料松料器的消耗费用。

孙立原 译自《Ironmaking Conference Proceedings》1995 年。

刘兰英 校

烧结矿生产工艺及成品评价

葛西荣辉 等

前 言

高炉由于其规模巨大,热利用率高,具有能够进行集约化大生产等显著优点,但是受原料条件制约的影响因素也较多。在高炉解剖调查中,通过各种检测手段的测定、观察、以及进行模型实验,在定量化理解高炉内部反应、内部现象方面,大大向前迈进了一步。但是,高炉内部机理不明或称之为“黑匣子”的内容仍然存在。

最近以来,对于在高炉生产中出现的提高喷煤量的趋势和短时期内多出铁的操作要求,人们仍基于用传统的经验积累和过去的解析结果来对待,这样实在是欠妥的,其中一些做法不能不说是错误的尝试。

对于高炉操作来说,稳定炉况是首要的目标,此外,为了满足出铁比和其对对应热效率的要求,根据炉况,不断努力追求降低生铁成本。在生产实践中,提高烧结矿的质量和成分的稳定性是中心工作。烧结矿的“质量”,对于高炉操作影响很大,这是炼铁工作者的一致看法。但是,如果进一步探究这个“质量”的确切含量,要想明确回答却是极其复杂、非常困难的。生产高质量的块矿,在很大的程度上取决于烧结技术的进步,而结果是以高炉使用的实际效果来做为评价的基点。因此,要想象普通工业产品那样,以质量检查来区分评定合格与否或者提出相应的区分指标,这对于烧结工艺来说,可以说是行不通的。目前唯一

可行的方法是以粒度来区分返矿。总之,大量的、低成本的生产和原料(矿石、辅料)以及成品的不均匀性,始终是研究的课题。

关于烧结矿的质量和烧结矿的制造技术的详尽论述已在《钢铁》杂志刊载,作者对八十年代块矿技术的进步做了概述。更详细的介绍,分别由吉永在西山纪念技术讲座会上做了概括。最近,稻角也对包括未来技术发展方向问题,做了概括介绍。本文的题目是烧结工艺和成品评价,可以说与讨论烧结技术及产品问题具有相同的意思。因此,有必要探讨从原料矿石的性质到成品在高炉内的还原过程这个大范围内的复杂现象。进一步地说,这是一个最终直接涉及包括炼铁工艺在内的原料、单位能耗、成本等内容的问题。对于缺乏实际操作经验,在大学里从事炼铁基础研究的人来说,这个课题要从整个方面做出解释,是不太容易的。因此,关于生产第一线烧结技术的发展动向,产品评价的进步等详细内容,请参考以上概述等资料。本文主要对炼铁工艺过程中烧结技术的位置以及对烧结矿评价方法进行整理,同时从基础研究的观点出发,对涉及到的相关问题,进行重点的讨论。

1 烧结工艺的特征与最近的技术课题

烧结工艺简言之就是改善高炉入炉矿石的状态(特别是要保证块状带的透气性),按

照适当的质量要求,稳定地向高炉供应成品烧结矿。但是另一方面,对于各种各样的矿石,由于其粉化性、软融性很不均一,所以这是一个非常不平衡的工艺过程。因此,烧结料层内及成品在某种程度的不均匀性烧结,是一个不可避免的问题。但是,确保颗粒较大的焦炭充分燃烧,使烧结料层具有良好的透气性,这对于烧结矿的质量来说,是不容忽视的。例如,随着烧结温度的升高,由于促进了矿石、熔剂的相互作用以及熔融,因而有利于化学成分分布的均一;但是,过度的液相生成,会使通过料层的气流产生偏流,增加未烧成部分,结果使不均匀性加剧。在这个意义上说来,如何控制和利用不均匀性,就成了重要的技术课题。

最近 10 年烧结技术进步的概况如图 1 所示。

社会趋势	节能	保护环境(减少 3K)
烧结特点	低温烧结 (低 SiO_2 低 FeO)	高还原性 (增加使用褐矿石) 高生产率
原料的混合与制粒	使用细粒辅料 使用粗粒石灰石 微粒化 预先制粒	制粒设计 HPS 分别制粒
混合料布料	双层布料 (分别控制)	细棒 ISF (密度控制)
烧结	恒温温度	提高台车高度 提高产量
节能和环保	从冷却器和主排气管道中进行余热回收 从排气中去除 NO_x 抑制 NO_x 排放 减少向空气泄漏	
测定和控制	台车温度 气流速度 3-D 结构分析(X 射线)	操作指导(自动控制)人工智能系统
模拟和模型	操作预报 状态和性质	统计预报 布料和成块结构预报

年 82 84 86 88 90

图 1 过去 10 年中烧结工艺技术进步概况

图 1 总体来说,反映了钢铁需求和能源方面的变迁,由于各种单位消耗的降低以及采取余热回收等节能措施,较高的生产效率和较高的成品率同步提高。特别是最近以来,所谓的减少 3K 作业(3K 作业指脏、危险、艰苦的工作)和降低粉尘、 NO_x 排放量等与环境保护有关的技术开发也引起了人们的高度关心。

在原料的混合、造粒技术方面,以前投入的研究开发都是以低 SiO_2 、低 FeO 为中心的,其均匀性的目标大致已得到实现。对原料偏析已进行了有效控制,提出了利用模拟颗粒形成技术进行研究。在解决原料偏析问题方面,一直都在采用焦粉分步加入方法,而考虑到石灰石、矿石中的脉石等化学成分偏析的控制,从而改进成品烧结矿质量的各种技术方案也已经有了实用化措施。这些方案中,有的是以控制混合料中化学成份偏析为目标,对原料进行反复多次地混匀,以达到化学成份均匀。但是无论是哪种方法,只靠简单的混匀方法是不可能生产出高质烧结矿的。另外,还开发了大量配加细粉原料的 HPS 法,与上述技术相对照,可以说这是一项把高品位的细粉原料均匀混合,采用微小球团造粒,在烧结过程中适当抑制液相的产生,促进造块,使细粉的特性得以巧妙利用的技术。

关于烧结层内的温度分布情况,一直是以高度、宽度方向尽量能够烧结均匀一致为控制目标。烧结温度分布均匀,使得未成块的数量降低,成品率提高,从而也降低了焦炭单位消耗量。做为固定层型燃烧工艺的特征,气体由上向下抽的方向上有蓄热作用,为了避免下部过热,一般采取在上层混合料中焦粉相对偏多一些的措施。在二步布料操作中,主要是控制混合料粒度和布料密度。

关于节能,在冷却和主排气管道安置余热回收设备,已取得很大进展。对烧结机漏

风,烧结台车侧壁气流的偏流,排风机耗电量等也都进行了有效的控制。

由于钢铁市场需求的旺盛增长,各炼铁厂的生铁产量与高炉和烧结机的开动总数及其生产能力息息相关,迫切要求烧结矿的生产效率和成品率不断提高。在1990年秋季讨论会上,学部54委员会的破坏力学研讨WG(1988年7月~1991年11月),提出了这方面的题目。长期以来,一直认为提高烧结速度,会由于高温层保持时间相应缩短,其结果将导致成品率下降。对于这种关系的定量研究,是解决这个问题的第一步。为此,具有复杂三维结构的烧结块料的孔隙构造的定量解析方法的探讨,孔隙结构的特征,原料、烧结条件以及成品率和成品烧结矿的质量之间的关系,正在被人们逐步加以认识。

表1所列是最近3年间在各类演讲大会上发表的有关烧结工艺的报件数。是大致按照题目类别分类的。

近3年来在ISIJ会议上所发表的
有关烧结工艺论文数量的变化表

表1

主要题目	1990 年秋	1991 年秋	1992 年秋
	1991 年春	1992 年春	1993 年春
块矿的强度、产量和结构	15	4	5
还原性和还原机理	3	3	3
褐铁矿石的利用	2	7	10
新技术和新设备	3	8	2
操作控制和储料场	8	7	5
制粒和顺粒情况	2	2	6
环境、燃烧和燃料	4	5	9
其它(氧化铝的影响)	2(0)	3(3)	7(3)
总 计	39	39	47

可见,由于近来生产不太景气,高炉产量有所下降,有关成品率方面的报告数量大幅

度减少。取而代之的是对今后的技术发展动向等重大课题的探讨。譬如纤闪石矿的利用、炭素材料的燃烧性、环境保护等等。此外,也有的人指出,与欧洲的高炉相比,目前的操作渣量偏大。还有,原料中 Al_2O_3 的含量对高炉操作影响的报告也受到人们的关注。

2 关于成品率及强度的技术要点

在进行某项评价的时候,确定一个定量化的评价基准是很有必要的(比如度量、标准等),通常是与这个基准相比较得出结论。对于烧结矿的生产过程,要全面考虑炼铁、炼钢或者起码是炼铁工序的成本,将来还要考虑影响全球环境的排污量的问题(比如增收与生产成本直接相关的地球环境税),这是在从事技术开发工作时,起码要考虑的因素。如前所述,在这样广大的范围内进行一项评价,不仅影响因素多,而且问题过多复杂,这是完全不现实的。实际上,我们都是把各个单一要素之间的关系,利用经验或者理论的方法加以量化,以求得出结果。但是,烧结矿在高炉内的机理或在入炉前,比如原料、烧成条件→烧结块矿的构造→成品率、成品强度之间的关系等等,至今都不能说已经明确地了解了。不仅如此,对于象“难烧结性原料”这样的评价,似乎已有了确切的含义,其实并非如此。

成品率以及强度的概念常被人们使用,但还存在很多含糊不清的地方,下面从技术要素着手,对存在的问题进行探讨。

2.1 均匀烧结

这里所说的均匀并非是指矿物组成的微观结构,而是指未成块的部分要尽量少这种意义上的均匀。在烧结料层中温度不足的地方,液相相对减少,散料就不能很好烧结成块;反之,温度上升过高的地方,由于产生过

剩的液相,形成较大的空隙,伴随产生透气性异常发展,对下部的烧结带来严重不良影响。熔剂成分在机长方向上的过度偏析,也会带来同样的效果。没有完全烧结成块的部分,在烧结过程中事实上也经过了一定程度的加热,也有一些分解、不完全烧结等反应发生,但是,由于没有显著的液相发生,只不过以混合料或者是貌似烧结颗粒的形状分布在烧成的颗粒中,这样必然会产生大量粉末。由此可见,减少未成块部分的比例是提高成品率的首要课题,所谓均匀烧结,就是以此为目的的综合性烧结技术。

如前所述,烧结料层是一个基本固定的层状体,上层燃烧产生的热量,通过气流传热给下层料蓄热,因此,上层热量不足而下层热量过剩的情况很容易产生。为此,目前采取的对策是利用偏析装料技术,即在上层布较多的焦粉,而将难熔的粗粒精矿布往下层。这种偏析布料技术是基于粒度和密度不同这一特点的,同样对其他原料颗粒(矿石和熔剂)也具有偏析效果,这一点应予以注意。又由于上层料的加热程度对下层料的加热有显著影响及焦炭助燃空气的分布比例也有很大的关系,上层的块化程度对下层的烧结产生直接影响,这一点也必须予以注意。此外,烧结机长度和宽度方向的均匀布料(或者合适的偏析)、均匀点火也是重要因素。

长期以来,所谓实现均匀烧结就好像是指对上下层料的均匀加热,而随着偏析布料以及制粒控制技术的进步,以偏析布料及相对应的加热控制为基础,首先应当对作为主要热量来源的焦炭的燃烧以及传热速度进行重新认识。

2.2 烧结矿的强度

烧结技术人员通常所说的烧结矿强度是指经过破碎试验后大于某一基准粒度以上的重量部分所占试样总重量的比例(在实际生

产中等同于成品率指标),也就是说,提高烧结矿强度,从严格的物理意义上来讲,并不仅是指烧结块矿的强度要高,而且是指经过特定的破碎方法之后粉矿要尽量少的。正因为如此,难以同压碎强度、破碎韧性等单纯物理指标相比较。

由于烧结料层内液相的生成,该部分烧结强度提高。这是由于烧结液相的产生,使这些区域内散料颗粒的粘结条件改善,同时孔隙度减小,因而烧结致密。但是,从烧结料层整体上来看,在烧结前后其孔隙度并没有象液相发达区域那样产生极端性的变化,所以,在某些区域烧结致密的同时,也同时意味着会出现其周围的孔隙度增加。也就是说,众多细小的孔隙,将汇集成为较大的空隙。除了未烧成块矿的部分,那么这种大的空隙,就是烧结矿中最大的缺陷。因此,由于这种缺陷的存在,当对烧结矿施以外力的时候,不需多大的破碎力,就会造成其大量破碎。从某种意义上来说,空隙并不见得就是非常不好,我们更应当考虑如何利用控制破碎方法,并控制大空隙部分的分布,从而实现生产低粉末烧结矿的可能性。与此相关(特别是对于1~2mm的颗粒),焦粉颗粒周围小块组织的形成,使富有流动性的高CaO液相向低CaO区域渗透,促进孔隙的生成,并使烧结矿中孔隙度有规律性地变化,这些都是值得注意的控制大空隙分布的有效方法。这样,与矿粉经过处理使其成为最小粒径的球团的HPS法的概念同样,也就有可能对孔隙的分布和形状进行控制了。此外,烧结矿基本尺寸对于按一定粒度要求进行破碎所产生的粉末的影响,也必须引起重视。

2.3 烧结块矿的破碎

与上面所述的内容相关,我们来探讨一下如何在已烧成的烧结矿中既已存在的缺陷(大孔隙)的情况下,使破碎过程更为理想。在