

论 证 与 研 究

无料钟布料操作的几个问题

陈登科

宁波钢铁有限公司 浙江宁波 315807

【摘 要】现代高炉普遍采用无钟炉顶设计,使用无料钟装料,研究表明高炉配料分布对高炉生产有显著影响,合理操作高炉布料有助于改善炉内气体分布,进而稳定高炉状态,提高气体利用率,降低燃料比。在无钟布料工艺中,溶液不能稳定在矿石中的焦炭水平上,不能保持材料表面的合理形状,不能在高炉条件波动时及时调整布料的工作。因此,分析了无钟布料工艺,建立高炉生产管理优化模型,准确了解高炉内气体分布,预测高炉炉况的发展趋势,研究了无钟布料运行管理优化策略,将高炉生产调整到最佳状态具有重要的实际意义。

【关键词】无料钟;布料;高炉

Several problems with the operation of the material clock

Chen Dengke

Ningbo Iron and Steel Co., LTD. Zhejiang Ningbo 315807

【Abstract】Modern blast furnaces generally adopt the bell-less top design, using no charge hoppers for charging. Studies have shown that the distribution of materials in the blast furnace has a significant impact on production. Proper operation of the charge distribution can help improve gas distribution within the furnace, thereby stabilizing the furnace condition, enhancing gas utilization, and reducing fuel consumption. In the bell-less charge distribution process, the solution cannot remain stable at the level of coke in the ore, nor can it maintain a reasonable shape on the material surface, or adjust the charge distribution promptly when conditions in the blast furnace fluctuate. Therefore, this paper analyzes the bell-less charge distribution process, establishes an optimization model for blast furnace production management, accurately understands the gas distribution inside the blast furnace, predicts the development trends of the blast furnace condition, and studies the optimization strategies for operating the bell-less charge distribution system. Adjusting blast furnace production to its optimal state is of great practical significance.

【Key words】no bell; cloth; blast furnace

随着高炉体积和炉顶压力的不断增加,钟形板不再能够满足柔性布料和密封的需要。而无料钟炉顶溜槽布料灵活,可实现环形布料、扇形布料、螺旋布料和定点布料;该设备密封良好,逐渐取代钟式布料。布料制度决定着炉料在炉内的初始分布,炉料的初始分布对炉料下降、煤气流分布、煤气利用、高炉顺行和长寿有重要作用。现代大型高炉追求效率、低消耗和长寿的目标。在高炉中,原燃料与气体的方向相反,高炉追求的目标与炉内原燃料的分布和气流分布密切相关。因此,高炉应在具体布料装置条件下,使用合理的布料技术实现炉况稳定顺行、煤气流合理分布、煤气利用率提高、高效低耗的效果。采用合理的布料方式,实现高炉的平稳状态,合理分配气流,提高煤气利用率,降低燃料比效果。

一、课题研究意义

为了保证高炉的稳定顺行,中国拥有先进的高炉操作技术和技术人员,通过炉内物料的分布控制炉内气体的流动,节约了能源消耗,减少了排放,这显然是不够的。为了适应现代化进程的快速发展,高炉采用效率比、熔炼强度等一系列技术指标来管理生产过程,对加快生产过程、提高生产效率产生了积极的影响,这忽略了燃料消耗和污染物排放等因素,忽视能源节约,盲目追求高冶炼强度和高生产率,导致

高炉内部燃料水平上升,阻碍了炼铁生产技术的发展。现代高炉冶炼的目标是高效、高质量、低能耗环保,因此需要实时优化布料功能,以高炉为基础,努力提高高炉的稳定性和煤气利用率,减少燃料消耗和二氧化碳排放。

(1) 完善无钟布料理论。无料钟理论包括移动过程、向下轨迹和对自制分布的预测。由于高炉内部体积小,与高炉装载相关的实时监测数据有限,因此不可能准确地确定高炉内部炉料的分布,也不可能依靠高炉组织理论进行准确的预测。完善高炉布料理论是进行高炉布料精准化、自动化和智能化的基础,有利于高炉生产者提高无钟高炉操作水平。

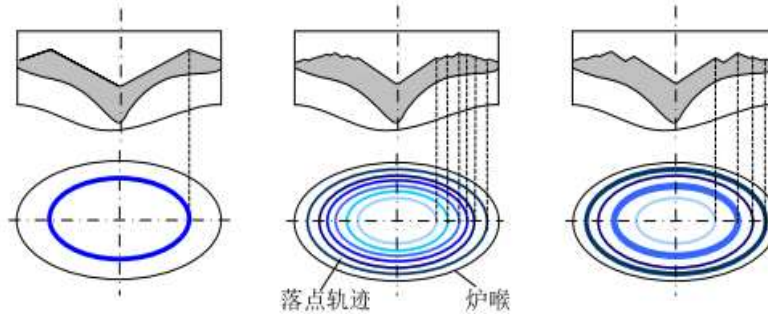
(2) 高炉炼铁生产节能减排。高炉布料对煤气流分布具有重要的影响,合理的气流可以提高煤气利用率,减少燃料使用,不仅降低了冶炼成本,而且有助于高炉在降低能源成本方面的技术进步。

(3) 促进无钟布料智能化。我国无钟高炉炼铁设备采用无钟炉顶装料系统,与之相应的无钟高炉管理和控制水平略显不足,特别是高炉的智能水平较低,主要依赖人工解决方案。不可能根据高炉的测量来预测高炉的状态和发展,也不可能根据高炉的状态自动调节高炉的运行,也不可能根据高炉的状态优化高炉的运行。研究高炉布料优化控制策略可以促进我国高炉布料智能化水平,利用高水平无料钟布料控制稳定高炉生产炉况和提高煤气利用程度。研究高炉布料优化控制策略可以促进我国高炉布料智能化水平,利用高水平

的无钟布料控制稳定高炉生产炉况和提高煤气利用程度。

二、无钟布料工艺

无钟形布料形式较为灵活多样,但最基本的形式有四种,分别为螺旋布料、环形布料、扇形布料和定点布料。扇形布料和定点布料都是在炉喉的局部区域进行布料,对料面坍塌、管道行程等事故具有较好的调整能力,是重要的



无钟炉顶应用于炼铁高炉初期,无钟炉顶布料技术尚不完善,工厂经常采用单环布料这种方式,以固定坡度铺设模拟钟形布局过程,并直接应用钟形定律,以避免组织过程的复杂性。从本质上讲,这种组合方法在形状和顺序上与钟盖相似,但不如钟盖有效,主要原因是单环布料加剧了炉料在高炉炉喉分布过程中的粒度偏析,而较小颗粒的原燃料更容易分布在高炉的中心,导致高炉中心处空隙率降低,煤气流动不畅。由于单环布料不能发挥无钟炉顶的设备优势,到目前为止,单环布料已经极少使用。步进式同心圆布料和固定档位的多环布料均属于多环布料,在布料过程中,溜槽绕高炉轴线匀速旋转,同时在完成整周旋转后由外及内发生倾角跳变,炉料呈环形分布至高炉炉喉,且形成的环状炉料带半径依次减小,直至完成布料操作。(1)固定档位的多环布料需在布料操作之前预先设定固定数量和固定溜槽倾角的布料档位,溜槽能且只能在已经设定的溜槽倾角档位下进行布料,溜槽可以在某一溜槽倾角档位下旋转一圈,也可以旋转多圈,或者不在某一档位进行布料,调整固定档位的多环布料实质是在将布料总圈数分配到各个布料档位上。(2)步进式同心圆布料没有固定的溜槽倾角档位,溜槽每旋转一圈,溜槽倾角由外及内跳变,跳变量根据实际布料需求进行调整,因此步进式同心圆布料是一种更加灵活的布料方式,现有研究表明步进式同心圆布料的料面形状控制精度要高于设定固定档位数量的多环布料。

三、无钟布料优化控制

1、无钟布料优化控制目标的设定。焦炭和矿石分布对高炉生产的影响,焦炭和矿石的比分布是高炉渗透率和煤气使用影响的重要指标,也是高炉结构管理的主要参数。由于焦炭是一个多孔结构,它多孔良好,在高温熔化过程中不会软化,支撑炉料的骨架作用,在高温下烧结团块逐渐熔化,导致高炉内部的渗透性降低。根据高炉软化熔融带的研究,当气体通过软熔层时,矿石和高炉焦化层的氧含量为0.19:0.077:1。因此,分布式焦炭高炉具有良好的渗透性,有助于形成强大的气体流。分布指示器,用下式进行表示。

调剂手段,却不常用于日常布料操作;螺旋布料和环形布料都采用批料溜槽多圈旋转的方式,但是由于螺旋布料需要复杂的设备连锁,且螺旋布料的布料工艺研究尚不完善,控制难度较大,因此在钢铁企业,环形布料仍然是主要的布料形式,环形布料工艺按照布料控制方法分为布料形式:单环布料、固定档位多环布料和步进式同心圆布料,具体形式如图所示。

$$f_{oc}(r) = \frac{\rho_o \sum_{i=1}^n h_o^i(r)}{\rho_c \sum_{i=1}^n h_c^i(r)}$$

式中 $f_{oc}(r)$ ——矿焦比;

ρ_c ——焦炭堆密度(kg/m³);

ρ_o ——矿石堆密度(kg/m³);

$h_c^i(r)$ ——第*i*层焦炭厚度(m);

$h_o^i(r)$ ——第*i*层矿石厚度(m)。

在长期的生产实践中,在开发中心分配气体是高炉中最常见的一种没有时间限制的分配方式。采用中心发展型煤气分布,高炉中心开放,煤气流充分发展,边缘煤气适当提高发展,高炉炉况稳定性高,高炉边缘温度较低,炉壳及其周围冷却设备不易发生热蚀,维护量小,更重要的通过炉墙的散热量降低,高炉内部煤气的利用率比边缘发展型和双峰型煤气分布有显著提高,符合现代高炉节能减排的发展趋势。

2、高炉布料操作调整策略。高炉布料的目的是达到所需的原料分布,但高炉炼铁技术复杂,高炉条件不同,对应的最优高炉布料操作自然也不同,其目的是通过调整布料操作使得高炉炉况向最优化方向发展。因此,有必要制定一项策略,根据高炉炼铁的生产特性,实时调整焦炭矿石的分配。气体分布类型通常有平型、双峰型、中心型和外围型。气体分布的类型与气体利用率的增加相对应,这反过来又增加了上升气体的阻力。目前,原料质量良好、自动化程度较高的无钟高炉一般采用中心发展型的煤气分布,并试图将煤气类型向平坦型发展。平坦型煤气分布类型是理想的煤气分布类型,其特点是软熔带呈倒V形,但较中心发展型的倒V形软熔带扁平、高度低,焦炭窗口数量少、面积小,虽然煤气利用率最高,但对原料质量和高炉操作水平的要求极高,且难以维持长久的炉况稳定,因此平坦型煤气分布类型仅作为高炉生产的理想煤气分布类型,试图将中心发展型煤气分布类型向平坦型发展是当前装料技术研究的重要内容。我国高炉炼铁煤气分布类型经历了由边缘发展型向双峰型、中心发展型依次过渡的历史阶段,经验丰富的高炉操作者会根据原料质量、技术人员操作经验和设备自动化控制水平等因素选择合适的煤气流分布类型,并在炉况不佳时首先保障高炉顺

行,在条件允许时,试图将高炉煤气分布类型由边缘发展型向双峰型、中心发展型依次过渡,以提高煤气利用率,以获得更大的经济效益。实际上,在同一种煤气分布类型的条件下,调整矿焦比分布同样会对高炉透气性和煤气利用率产生影响。因此,根据炉况预测的结果对高炉布料操作制定如下的调整策略:(1)高炉生产过程具有明显的滞后性,当前布料操作需要一定的时间才能逐渐发挥对煤气流分布的调整作用。因此不宜大幅调整布料操作,避免炉况剧烈波动,反而影响高炉生产。(2)保障高炉炉况顺行是基础,提高煤气利用率是目标。炉况顺行是高炉炼铁生产的基础,炉况一旦失常将导致铁水质量下降、炉体和相关设备损坏等,造成严重的经济损失,后果严重,因此只有在高炉炉况良好的情况下才能进一步实现节能减排,延长高炉使用寿命和提高高炉生产的经济效益。(3)在炉况稳定的前提下,通过调整高炉中心和边缘的开放程度,逐步提高和稳定高炉煤气利用率。

3、矿焦比分布设定方法。采用中心漏斗边缘平台的料面形状有益于减少高炉中心处的炉料,并为中心的开放创造条件。同时,高炉边缘在保持高煤气利用率和抑制高炉边缘发展方面发挥着重要作用。高炉研究表明,单侧高炉边缘平台的宽度占炉喉半径的三分之一较为适宜,导致渗透性下降,以及过于狭窄,导致过度发展边缘高炉,因此采用料面作为批料布料后的目标料面形状,通过布焦和布矿形成的料层厚度控制矿焦比进行炉况的调整。高炉布料操作的目的是实现期望的炉料分布,首先需要对表征炉料分布状态的径向矿焦比进行参数化。矿石焦炭系数是一个随熔炉喉部半径变化的函数,通过提取不同区域的特征点来简化矿石浓度系数。在高炉的中心部分,为保持高炉中心煤气流通畅,高炉中心区域均为焦炭,一旦烧结矿在高炉中心处聚集,极有可能在高炉炉身区域形成封闭区间,严重阻碍煤气在料柱内的上升,炉料的预热和间接还原受到阻碍,炉缸负担加重,因此设定高炉中心处的矿焦比为 0,且不进行调整。矿焦比分布的初值设定依赖高炉布料经验,随后的矿焦比分布调整根据炉况发展趋势在当前值的基础上不断进行修正。首先需要对高炉炉况进行评价,采用煤气利用率和透气性指数两个技术指标的预测结果进行线性加权求和,称该指标为炉况评价指标。

$$E(t) = \sum_{i=1}^4 \lambda_{1i} g_1[\eta_{co}(t+i)] + \sum_{i=1}^4 \lambda_{2i} g_2[T_p(t+i)]$$

式中 $\eta_{co}(t+i)$ ——煤气利用率的第 i 步预测结果(%);

$T_p(t+i)$ ——透气性指数的第 i 步预测结果($m^3/(min \cdot kPa)$);

g_1 ——煤气利用率数据归一化函数;

g_2 ——透气性指数数据归一化函数;

λ_{1i} ——煤气利用率权值;

λ_{2i} ——透气性指数权值;

λ_1 和 λ_2 为煤气利用率和透气性指数技术指标的权

值,由于技术指标的预测步数越多,其精度越低,因此式中的技术指标数值的可靠性存在差异,根据预测精度设定 λ_1 和 λ_2 的权值,炉况预测的时间步长为 5min,有效容积为 2500m³ 的无钟高炉平均每小时布料 12 罐左右,一罐料装入炉内大约需要 5min,基本与炉况预测时间步长一致,因此计算高炉炉况评价指标的时间间隔选择固定时长 5min,这样可以实现炉况评价与炉况预测步长的相互匹配。

四、无料钟布料发展方向

高炉生产的目标是稳定、高效、低消耗和长寿,实现上述目标的基础是合理的下部煤气流分布,主要通过高炉炉顶布料进行调节,辅助通过控制中部煤气流分布进行调节,包括调整高炉冷却制度、维护合理的操作炉型。其中炉顶布料制度是高炉操作中最常用也是最重要的操作技术,随着无料钟布料装置的普及,无料钟布料技术发展方向是不仅能促进下部形成合理的中部煤气流分布和软融带形状,保障炉缸工作状态稳定与活跃,也能保障高炉中部渣皮厚度及稳定性,防止渣皮结厚和频繁脱落,最重要的是能够直接影响高炉上部煤气流分布,保障炉况稳定顺行。

1、无料钟布料数学模型。由于无料钟布料装置具有非常大的灵活性,可以组合成上万种布料矩阵,根本无法通过开炉实际测量和物理模型模拟实验加以一一验证。因此,需要开发与应用无料钟布料数学模型,通过模拟计算,推荐几种典型布料制度或者用于验证预先设计的布料制度。有许多方法可以建立一个无负载时钟的数学模型,但所有这些方法都是基于流体轨迹的计算方法,并已通过物理模型测试和实际炉表面测量的结果进行了修订。输入参数的数学模型主要包括旋转倾斜度、布料数量、输送线、结块比等。

2、煤气流分布验证与监控。自然气流的实际分布仍被用来评估分配系统的合理性。现代技术使用炉顶上的热成像来监测炉子内的气流分布。热成像仪可以使用多边形算法、统计技术、特征识别技术和图像识别技术,清楚地显示表面温度分布,以处理炉顶红外图像并提取特征。实现气流分布状态的动态跟踪。结合十字测温数据,对气流分布进行分类,确定气流中心的变化,确定高炉的发展水平和流边界,形成几种典型的流分布形式,优化高炉的技术经济指标并进行相关分析。

以矿石径向焦炭比为高炉组织调整的主要目的,分析了气流分布对高炉生产的影响,提出了基于透气性和气体利用率指标的高炉状态评价指标,制定了矿石焦炭比分布的确定过程。通过无钟布料达到矿石焦炭比的预期分布,最终用无钟布料优化了控制,进而调整高炉生产。

参考文献

- [1]付丽华,王维兴,孙俊英,赵福才.高炉布料器的更新与技术进步[J].内蒙古科技与经济,2023(14).
- [2]张长江.新型高炉无料钟炉顶装料装置的研制与分析[D].辽宁科技大学,2023.
- [3]周传典,马财生.无钟高炉布料过程的控制策略研究与发展[M].北京:工业出版社,2022:1-4.
- [4]盖晓明,张建民,王晓丽.大型无料钟炉顶设备的出口及发展应用[J].冶金设备,2023(5):66-69.
- [5]王俊,徐辉,朱锦明.无钟高炉布料并罐布料偏析的操作应对[J].炼铁,2023,34(4):4-7.