

# 高炉上部布料矩阵优化对煤气分布与间接还原过程的影响研究

周庆

四川省达州钢铁集团有限责任公司 四川达州 635000

DOI:10.32629/ems.v8i5.20192

**[摘要]** 高炉上部布料矩阵是高炉装料制度的重要一环,直接影响到炉料在炉喉处的分布情况,从而决定了炉内煤气流分布是否合理以及间接还原反应进行的程度,进而影响着高炉运行稳定性、能耗高低及产品质量等。目前大多数高炉在生产实践中都存在布料矩阵设计不合理或者调整不及时的问题,造成煤气流分布不均、间接还原效率低下,出现炉况波动大、能耗高、炉体损坏严重等情况,无法满足当今高炉高效、低耗、稳定生产的需要。本文从高炉上部布料矩阵主要构成及其存在问题入手,探讨布料矩阵优化对于改善煤气流分布状况、提高间接还原反应效果的作用机理,在此基础上进一步介绍如何对布料矩阵进行改进的方法步骤以及应用时应注意的相关事项,并针对其中遇到的一些问题给出相应的解决方案,以期能够给相关技术人员在高炉现场开展布料矩阵优化工作带来一定借鉴意义,助力高炉冶炼朝着更加精细、优质的方向迈进。

**[关键词]** 高炉; 布料矩阵优化; 煤气分布; 间接还原; 现场应用

## 引言:

高炉炼铁是钢铁企业主要生产工艺,它主要是借助煤气热能及化学潜能完成对铁矿石还原、熔化的过程,在此过程中煤气分布以及间接还原反应起着重要作用。上部布料矩阵是控制炉料分布的主要方式之一,通过对布料顺序、环位、角度、批重进行改变可以使得炉料在炉喉内均匀铺开,从而促使煤气按照正确路线流动,有利于间接还原反应顺利开展。目前,在节能减排、降低成本、提高效率的要求下,传统的布料矩阵已经不能满足高炉炼铁的新要求,经常发生煤气偏流、间接还原不足的现象,影响到高炉产量发挥。本文基于高炉实际生产情况探讨布料矩阵优化对于煤气分布以及间接还原反应的影响,避免过于抽象、笼统的说法,注重实用性,为高炉布料矩阵优化和提升产量提供参考。

## 一、高炉上部布料矩阵的核心构成及现场现存问题

高炉上部布料矩阵是一组集成化的布料参数群,它的设定和调节都是针对高炉实际生产情况而定的,在实践中总结出它主要组成部分以及存在的不足之处就是进行改进的前提条件,在整个过程中不使用模糊语言,而是立足于现场的具体问题。

### (一) 布料矩阵的核心构成

高炉上部布料矩阵主要由合理的布料参数组成,在实际操作中主要有四个方面,彼此之间相互影响、互相制约,决定了炉料分布情况。第一是布料顺序,分为正装和倒装两种基本形式,正装是先矿后焦有利于发展边缘气流,而倒装则是先焦后矿有利于加强中心气流,在生产过程中要根据具体

情况适时调整。第二是布料环位及角度,通过改变溜槽倾角以及环数来控制炉料在炉喉处径向分布宽度,环位分布也决定了煤气流通路径截面积大小。第三是布料批重,包含矿石批重和焦炭批重,批重量对面结构起着重要作用,增大批重有助于促进中心气流发展。第四是布料方式,有单环布料、多环布料以及中心加焦等方式,目前大多数高炉使用的是多环布料,利用不同环位矿焦比调节达到良好径向气流分配效果。以上各项参数组合构成完整的布料矩阵,对炉料与煤气接触效率有着重要影响。

### (二) 现场现存核心问题

针对高炉实际操作情况,目前布料矩阵的应用问题主要是由于参数匹配不合理以及调整不及时造成煤气分布异常及间接还原不良等问题。一方面布料参数配合不佳,一些高炉布料顺序、环位、批重等参数之间无序,致使炉料分布不均,有的边缘炉料过厚而中心炉料不足,造成煤气偏流;有的中心炉料过多形成堵塞煤气通道现象,影响煤气流通。另一方面布料矩阵调节滞后,在原料性质发生变化或者炉况变动时未能及时修正布料矩阵,仍然使用原来的布料矩阵就会使煤气分布更加恶化,不利于间接还原反应顺利开展。第三方面布料方法选择错误,忽视了高炉炉型以及炉役时期所对应的布料方式,比如有些高炉盲目地采取中心加焦的方式,使得中心气流过大而边缘气流较小,炉体冷却壁温度变化较大甚至出现炉墙结厚的现象。第四方面是现场操作不够规范,操作工对于布料矩阵参数的变化规律了解较少,在调节过程中缺少条理性,大多依靠经验和感觉进行调节,导

致炉况波动大。

## 二、高炉上部布料矩阵优化对煤气分布的影响

煤气分布是高炉炼铁的“生命线”，良好的煤气分布有利于充分利用煤气热能、化学能，而布料矩阵调整是对煤气分布进行调节的主要方式，在生产实践中对其作用机理以及表现形式进行了探讨，避免空谈理论。

### (一) 优化布料顺序，平衡边缘与中心气流

布料顺序优化是进行煤气调节的基础，在此基础上根据实际情况选择正装或倒装方式来平衡边缘与中心气流，贴近实际生产情况。在实际操作过程中如果出现边缘气流过强而中心气流较弱的情况，则可以采取倒装的方式，先加入焦炭再加入矿石，利用焦炭良好的透气性能加强中心煤气通道，疏导中心气流，降低边缘煤气流量，防止煤气偏流造成炉墙过热；相反地，当中心气流过强、边缘气流不足时，则可以选择正装方式，先加矿石后加焦炭，增加边缘炉料负荷，抑制中心气流，增大边缘煤气流量，使煤气径向分布均匀。此外还可以根据炉况变化采用正倒装交替的方法灵活控制气流分布，保证煤气能顺畅穿过料层，提高煤气利用率。

### (二) 优化布料环位与角度，规范煤气流通过程

布料环位、角度的调整直接影响炉料在炉喉径向分布厚度，从而影响煤气流动路线，防止煤气短路、偏流等现象发生，在实际操作过程中，适当向外倾斜矿石布料角度以及增加最外层矿石圈层数可以降低中心焦炭负荷，抑制边缘气流，避免因边缘煤气过旺造成炉墙结渣；而适当向内倾斜焦炭布料角度并增加中心焦炭圈层数则有利于增强中心气流强度，提高炉缸中心透气性，消除中心死料柱过大问题。此外，合理设定多环布料各环之间间距可使料面形成“平台-漏斗型”，给煤气提供良好通道使其均匀贯穿整个料层，保证煤气与炉料良好接触，防止局部煤气流速过快或者过慢，充分利用煤气热能及化学潜能。

### (三) 优化布料批重，稳定煤气分布状态

布料批重优化主要是通过调整矿石、焦炭批重量进行适当调节，使炉内料面结构稳定从而保证煤气均匀分布。在实际操作过程中，增大矿石批重可以提高料柱高度降低混合料层之间的相互影响有利于中心气流的发展同时也增加了焦窗厚度有利于改善料柱透气性保持炉内压力差平稳防止煤气分布波动；而减小矿石批重则会增强边缘区域炉料负荷减轻中心气流强度使整个炉内煤气合理分配。根据具体情况灵活掌握矿焦批重比例不但能够保障料面平台稳固还能够防止由于批重大造成料面塌陷或者批重小引起煤气短路现象发生进而实现长期稳定的煤气均匀分布。

## 三、高炉上部布料矩阵优化对间接还原过程的影响

间接还原是高炉铁矿石还原的主要过程，在此过程中反应强度对高炉冶炼能耗及生铁品质有较大影响，而布料矩阵通过对煤气流进行调节从而改变间接还原反应条件以及反应强度，从实际生产角度出发探讨具体的影响因素。

### (一) 改善煤气与炉料接触条件，提升间接还原效率

间接还原反应能否充分进行取决于煤气是否能够与铁矿石良好接触，而布料矩阵优化可以改善煤气分布情况从而给间接还原提供良好接触机会。通过调整布料参数可以使煤气在整个炉料层内均匀分布，防止煤气偏流造成部分炉料不能被充分还原，保证每一炉料都能够与煤气良好接触，提高铁矿石的间接还原率。同时合理的布料矩阵还可以延长煤气在炉内的停留时间，使煤气中的CO、H<sub>2</sub>等还原性气体有足够的时间与铁矿石发生反应，减少还原性气体的消耗量，提高间接还原效率，降低直接还原比例，从而降低冶炼能耗。

### (二) 稳定炉内温度场，保障间接还原反应稳定

间接还原是放热反应，对于炉内温度场的稳定性有较高要求，在布料矩阵优化过程中可以调节煤气分布来稳定炉内温度场，从而保证间接还原反应在合适的温度下进行。实际生产中可以通过调整布料顺序以及环位来防止煤气偏流造成的局部高温或者低温现象发生，使得整个炉内的温度场均匀一致，有利于间接还原反应顺利开展。比如增加中心气流强度可以使炉缸中心温度升高，有利于间接还原反应向炉缸方向发展，减少炉身中下部直接还原反应的比例；同时也可以降低边缘气流强度以避免炉墙温度过高而造成炉料提前软化熔融，有利于间接还原反应的良好开展。

### (三) 优化料柱透气性，促进间接还原反应持续进行

料柱透气性是保证间接还原反应顺利进行的基本条件，在布料矩阵优化过程中，通过对炉料的合理分布来提高料柱透气性，使煤气顺畅流通，为间接还原反应提供充足的还原气源。在实际生产中，通过优化布料批重及布料方式可以防止炉料过紧或者过松而造成透气性差的问题，降低煤气流动阻力；良好的布料矩阵还可以减少炉料偏析现象的发生，避免矿石和焦炭混合不均造成的局部透气性变坏，保证煤气均匀顺畅地穿过料柱，给间接还原反应带来足够的还原气源，从而保证了间接还原反应平稳有序地开展下去。

## 四、高炉上部布料矩阵的优化思路及现场操作方法

基于高炉实际生产情况出发，从改善煤气分布以及提高间接还原效率的角度出发，提出切实可行、易实施的布料矩阵优化方案及操作措施，避免空泛理论，保证能应用于实际生产中。

### (一) 优化思路

布料矩阵优化的基本理念是“贴合炉况、协同调节、灵活适应”，以“确保中心气流、稳定边缘气流”为基本原则，做到煤气合理分布以及最大限度发挥间接还原作用。一是依据高炉炉型、炉役时期、原料燃料性质确定布料矩阵优化目的，防止随意更改；二是联合调整布料顺序、环位、角度、批重等各项指标，使各参数之间良好配合，达到良好炉料布局；三是随着炉况的变化适时改变布料矩阵，使炉料布局、煤气分布和间接还原过程良好匹配，保障高炉连续平稳运行。

### (二) 现场实操方法

一是前期排查及方案拟定，进行现场排查，全面了解高炉状态、原料燃料性质、当前布料矩阵参数以及存在的问题，确定优化目标，制定切实可行的优化措施，在此基础上确定布料顺序、环位、批重等参数的变化区间，防止出现方案脱离实际的现象；二是分步优化调整，“先破后立”，首先用缩小矿焦角的方法来疏松边缘气流，然后逐渐增加矿焦角以增强中心气流强度，逐步调节布料参数，避免一次性的大幅改动造成炉况波动过大；三是适时灵活调整，指派专人对炉内压力差、温度、煤气成分等进行监控，根据炉况的变化情况即时微调布料矩阵参数，如原材料质量发生变化，则相应地改变批重和布料环位，保证煤气分布均匀性和间接还原顺利进行。四是规范操作程序，编写详尽的布料规程，阐述各个参数变化规律、操作过程以及相关要求，加强对一线工人培训力度，提高其技术水平，杜绝随意更改的做法。

## 五、布料矩阵优化过程中常见问题及解决措施

根据高炉生产实际操作经验，在进行布料矩阵优化时也会出现一些较为现实的问题，对此提出相应对策来保证优化的效果，促进煤气分布以及间接还原不断改进。

### (一) 常见问题及原因分析

现场优化时出现的问题一般有以下几点：第一是优化之后煤气仍然分布不均，主要原因是布料参数组合不合理，未能根据炉况进行适当调节或者调节幅度不够大造成边缘和中心气流不能均衡；第二是间接还原改善不大，主要是由于布料矩阵优化忽略了对炉内温度场以及料柱透气性的考虑，使煤气与炉料接触面积较小；第三是在优化期间频繁出现炉况波动现象，大多是由于一次调整幅度过大或者是工人操作失误造成的炉料及煤气分布突变等。以上都是由于现场操作不当、参数匹配度低所引起。

### (二) 针对性解决措施

对于以上问题，在实际操作中总结出切实可行的办法。

第一，解决煤气分布不均的问题：重新整理炉况，合理安排布料比例，着重调节布料环位以及角度，使用多环布料法，缩小环距，使边缘和中心气流均衡；同时配合送风制度进行相应调整，引导气流向中心发展，使中心气流通畅。第二，解决间接还原率低的问题：优化布料批重及顺序，提高料柱透气性，增加煤气在炉内停留时间；同时保持好炉内温度场，防止出现局部过热或者过冷现象，给间接还原反应提供良好环境。第三，解决炉况不稳定的问题：采取逐步、少量的方法进行调节，在每次调节之后观察炉况情况，待炉况平稳后再继续下一步调节；对工人进行培训，用实例说明布料参数变化规律，制定标准作业程序，禁止随意更改。

## 结论

高炉上部布料矩阵优化是调节煤气分布、提高间接还原率的重要方式，也是保证高炉冶炼顺行、降低能耗以及提高产品质量的有效途径。但是目前高炉布料矩阵的应用过程中存在着参数组合不合理、调整不及时、操作不当等情况，造成煤气分布不均、间接还原率低的现象，阻碍着高炉生产能力的发挥。通过对布料顺序、环位、角度、批重等进行优化可以合理分配边缘和中心气流，使煤气流动顺畅，有利于煤气与炉料充分接触，保持炉内温度均匀一致，提高间接还原率，节约能源消耗，保障高炉持续稳定运行。本文结合高炉实际生产情况探讨了布料矩阵优化对煤气分布及间接还原作用机理，并提出符合生产的优化思路、具体实施办法以及常见故障处理方法。实践证明，科学合理的优化高炉上部布料矩阵可以使煤气分布与间接还原良好匹配，促进高炉炼铁向精细化、集约化、清洁化方向转变，助力钢铁企业节能减排、提质增效。

## [参考文献]

- [1]王振阳, 戴建华, 江德文, 张建良, 杨天钧. 结合数据追溯与数值模拟的高炉布料制度优化[J]. 中国冶金, 2020, 30 (11): 11-15+22.
- [2]张勇, 张斌, 陈瑞阳. 基于遗传算法的高炉布料矩阵的优化计算[J]. 钢铁研究学报, 2019, 31 (09): 795-804.
- [3]王运国. 本钢7号高炉布料矩阵对煤气利用率影响实践[J]. 金属世界, 2017, (06): 62-65.

作者简介: 周庆, 出生于1968年2月, 男, 汉族, 四川省邻水县人, 本科学历, 生产指挥中心主任, 工程师, 主要研究炼铁高炉实际操作。