

## COREX 熔化气化炉布料模式对布料结果的影响

杨宏宇<sup>1</sup> 周晓雷<sup>2\*</sup>

1 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650000

2 昆明理工大学复杂铁资源洁净冶金重点实验室, 云南 昆明 650000

**[摘要]** 熔化气化炉的布料模式直接决定了炉料的料面形状和孔隙度, 而孔隙度的大小又对煤气流的分布和流速有巨大影响。通过对不同布料模式下的空隙度和煤气流进行分析, 寻找出利于工业生产的布料模式, 对冶金工业的生产和熔融还原技术的发展有重要意义。

**[关键词]** corex 熔化气化炉; 布料模式; 孔隙度; 煤气流分布

DOI: 10.33142/ec.v3i11.2777

中图分类号: TF557

文献标识码: A

### Influence of COREX Melting Gasifier Distribution Mode on Distribution Results

YANG Hongyu<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>2\*</sup>

1 School of Metallurgy and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China

2 The Key Laboratory of Clean Metallurgy for Complex Iron Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China

**Abstract:** The distribution mode of the melter gasifier directly determines the surface shape and porosity of the charge, and the size of the porosity has a huge impact on the gas flow distribution and velocity. By analyzing the porosity and gas flow in different distribution modes, finding a distribution mode that is conducive to industrial production is of great significance to the production of metallurgical industry and the development of smelting reduction technology.

**Keywords:** corex melting gasifier; distribution mode; porosity; gas flow distribution

### 引言

corex 工艺是最早实现运用于工业化实践生产的熔融还原技术。与高炉炼铁不同, corex 工艺燃料以煤为主。corex 技术的成功应用, 使得冶金工业摆脱了传统高炉炼铁中对焦炭的依赖[10], 将其他能源材料用作炼铁燃料成为可能, 但是 corex 技术应用于实践生产的时间还不长, 对 corex 的研究还有许多空白, 因此研究 corex 工艺, 对 corex 工艺实践生产中发现的问题进行讨论, 对于 corex 工艺, 乃至整个熔融还原技术的发展都有重大意义。

熔化气化炉是 corex 工艺的关键设备, 熔化气化炉的主要作用是生产还原竖炉需要的还原煤气并将还原竖炉产出的海绵铁熔化为液态铁。本文主要对熔化气化炉的布料模式进行分析, 探究不同的布料模式对炉料孔隙度和煤气流分布所造成的影响, 并提出改进方案。

### 1 布料模式

与高炉布料不同, 熔化气化炉有两套布料系统, 一个是位于炉顶的煤万向节布料器, 另一个是分布在炉顶周围的 8 个 DRI 挡板布料器。由于布料系统的巨大差异, 以及熔化气化炉较高的空区高度, 导致了 corex 工艺的布料结果与传统高炉相比存在较大差异。此外, 物料的矿煤比, 布料档位, 布料时间等也是影响布料结果的众多因素。

#### 1.1 布料档位对炉料分布的影响

熔化气化炉的布料模式中, 通过改变布料档位, 来控制溜槽倾角, 从而实现对料流宽度、料面形状和炉料径宽的调节。

王峰的研究中<sup>[1]</sup>, 通过逐渐增大档位, 从而控制档位角度也逐渐增大。可观察到料流宽度随档位的增加而增大。这是由于在大档位时, 档位角度也较大, 球团矿因此获得较大的动能, 与挡板碰撞后运动轨迹改变较大, 加之挡板形状不规则, 使球团矿的碰撞运动加剧, 料流宽度随之增大, 当档位从 2 档上升至 5 档时, 料流宽度从 400mm 增加到 470mm。宏观上, 相同数量的炉料下, 随着档位的增大, 料流宽度增大, 料面半径增大, 炉料厚度降低, 料尖高度降低(图 2.1)。游洋用按比例缩小布料装置制造模型的方法<sup>[3]</sup>, 得出了与王峰相似的结论, 炉料在中心喉管自由落体至溜槽, 在溜槽经

过碰撞后获得一定大小的水平加速度，在空区做抛体运动后进入炉内。随着档位的增大，炉料获得的水平加速度也增大，下落后的料面半径也随之增大。档位从 1.0 档增大到 4.5 档后，料流宽度从 230mm 增大到 365mm。

综合两者研究数据可看出，在小档位时，炉料料流宽度窄，料尖高度较高，料层厚度较厚，炉料分布较为集中，这对于通气性和孔隙度是不利的，因此，在实际生产中，要视具体情况对档位做出调整，使炉料分布分散开来，改善炉料的通气性和孔隙度。

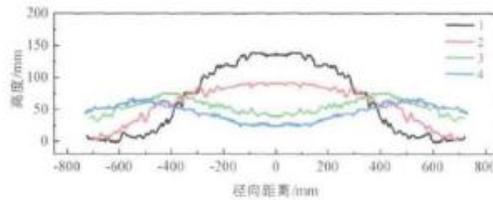


图 2.1 不同档位下的料面形状图

### 1.2 布料模式对径向孔隙度的影响

孔隙度的大小直接影响着煤气流的分布和流速，corex 熔气化炉的生产实践中，可以通过对布料模式做出调整，来改善炉料的空隙度，改善 corex 工艺的炼钢性能。

王峰<sup>[1]</sup>设置了两组成分不同的混合布料实验，两组实验均得到以下结果：料堆在料面半径小于 350mm 范围内孔隙度变化不大基本在 0.47% 附近，而料面半径超过 350mm 以后稍有增大。主要是超过 350mm 后边缘区域的炉料颗粒较大所导致。

游洋<sup>[3]</sup>的实验得出了不同的实验数据。在他的实验中，设置了 1~4 档递增的布料档位。图 2.2 所示，四组实验图像均呈现 U 字型规律。堆尖位置的孔隙度处于“U”字的底部，由中心向边缘孔隙度逐渐增加。这是由于炉料下落时，炉料之间的撞击作用，使堆尖部分的炉料比边缘其他部分更加紧实，炉料密度更大，同时，炉料间的碰撞作用使一些抗压强度较弱的球团破碎分裂成小块，填充在大球团中的孔隙之间，使炉料孔隙度下降。

从王峰的实验中可看出两组不同组分的炉料布料后的空隙度差距不大，因此炉料的组分不是影响空隙度的主要因素，而在游洋的实验中，四组实验组均在料尖的位置取到了孔隙度的最小值，随着档位的增加，孔隙度的波谷值也逐渐降低，因此可以用适当减小档位的办法来改善炉料的孔隙度。

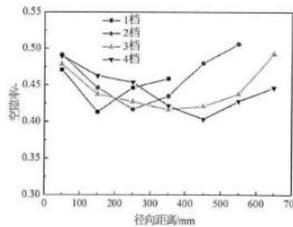


图 2.2 不同档位料堆径向孔隙度分布

### 1.3 布料模式对煤气流的影响

熔气化炉的作用主要有两个，一是将顶部还原竖炉内产生的海绵铁熔化成液态铁，二是为还原竖炉提供还原煤气。因此，煤气流直接影响着 corex 炼铁工艺的能效和产值，而布料模式和加焦方式决定着煤气流的分布和流速。

研究韩立浩的实验数据可看出<sup>[2]</sup>，气体从风口燃烧区鼓进炉中后，受到炉料对气流的阻碍作用，气流流速减缓，这是由于炉内各个位置炉料的孔隙度的不均匀所导致的。在炉料中心处和中间处加入焦炭后，炉料的孔隙度明显上升。从图 2.3 中可看出与未加焦时相比，加入焦炭后的两个位置，气流流动轨迹没有发生变化，而气体的流速显著增加，说明加入焦柱可以改善炉料的通气性。这是由于加入焦柱处，会形成一个阻力较小的煤气发展通路。焦柱燃烧后形成的料柱骨架也有利于改善炉料孔隙度。

韩立浩的另一次试验中<sup>[4]</sup>，采用了在单环布料模式下，用 fluent 软件建立数学模型，得到煤气速度分布云图。研究表明，堆尖部分由于孔隙度较低，使得经过堆尖的煤气流流速降低，煤气流具有较高的偏析程度，当布料档位 在 2.5mm-3.5mm 时，煤气流偏析程度较低，炉料通气条件可以得到改善。

李海峰<sup>[5]</sup>用离散型单元法模拟物料运动，并对炉料加焦前后的煤气流分布规律分析后，也得出了和前者相同的结论。

总结三者实验结论可以看出，加入焦炭前后，煤气流的流动轨迹并没有发生显著改变，煤气流不会受到加焦的影响。但是加入焦柱后，可以显著改善炉料的孔隙度，从而实现煤气流气体条件的改善，且焦柱在高温熔融条件下，加入焦柱的地方会形成一个阻力较小的煤气发展通路，对煤气流的流速和分布都是有利的。

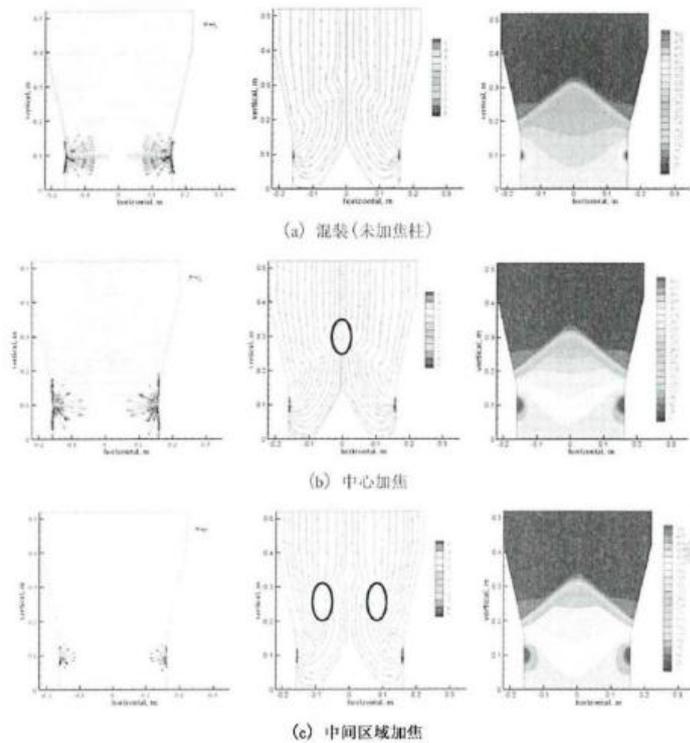


图 2.3 不同加焦方式下, 气体速度矢量、流线及压差分布图<sup>[2]</sup>

## 2 结论

通过改变档位, 来调整溜槽角度, 可以实现对布料结果的控制, 以及结合生产需求做调整。档位低时, 炉料分布较为集中, 对孔隙度和煤气流不利, 因此档位不宜太低。炉料的组成成分对炉料径向孔隙度没有显著影响, 料尖区域空隙度一般最小, 且随着档位增大, 炉料的孔隙度整体减小, 可以稍微减小档位来改善炉料径向孔隙度。加焦与否对煤气流的流动轨迹不会造成影响, 但是加焦可以改善炉料的孔隙度, 孔隙度较大时煤气流流速快, 对还原竖炉的反应有利, 且焦柱的加入会在加焦处形成阻力较小, 有利于煤气流发展的通路。

### [参考文献]

- [1]王峰. COREX 熔化气化炉布料规律物理实验研究[D]. 东北: 东北大学, 2017.
  - [2]韩立浩. COREX 熔化气化炉物料运动的模拟研究[D]. 东北: 东北大学, 2015.
  - [3]游洋. 八钢 COREX 熔化气化炉布料规律的实验和数值模拟研究[D]. 东北: 东北大学, 2015.
  - [4]韩立浩, 李跃华, 刘燕霞, 黄伟青, 齐素慈, 关昕, 袁建路. COREX 熔化气化炉布料模式和煤气流分布相关性[J]. 冶金管理, 2019(05): 53.
  - [5]李海峰, 韩立浩, 游洋, 罗志国, 蔡九菊, 邹宗树. 加焦方式对气化炉炉料结构和气流分布的影响[J]. 中国冶金, 2016, 26(01): 6-12.
  - [6]周晓雷, 韩立浩, 罗志国, 余艾冰. COREX 熔化气化炉风口回旋区塌料现象研究[J]. 材料与冶金学报, 2011, 10(01): 1-5.
  - [7]韩立浩, 罗志国, 邹宗树, 张玉柱. COREX 熔化气化炉物料运动行为[J]. 钢铁研究学报, 2015, 27(11): 26-32.
  - [8]韩立浩, 罗志国, 邹宗树, 张玉柱. COREX 熔化气化炉物料运动的物理模拟[J]. 重庆大学学报, 2015, 38(02): 11-16.
  - [9]薄鑫涛. COREX 熔融还原炼铁技术[J]. 热处理, 2017, 32(03): 44.
  - [10]邓蕊. COREX 非高炉炼铁工艺[J]. 中国科技信息, 2017(14): 63-64.
  - [11]李维国. COREX—3000 生产现状和存在问题的分析[J]. 宝钢技术, 2008(06): 11-18.
  - [12]赵中秋. 熔融还原炼铁技术分析与发展建议[J]. 冶金与材料, 2019, 39(02): 88-89.
- 作者简介: 杨宏宇(2000-), 男, 云南玉溪, 本科学历, 昆明理工大学冶金与能源工程学院。