

## 竖炉结构及工艺特点

刘雪峰<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]**竖炉为一种立式炉,按工艺用途分类可分为两种,熔炼竖炉的炉缸有三种经典结构:(1)高炉型结构(如下图竖炉外观图所示)(2)炼铅鼓风炉型(3)结构带有前室的结构(部分冲天炉),焙烧竖炉中物料始终保持固体状态;按身形分类高等内冷式和中等外冷式。竖炉的工艺分类为熔炼,焙烧。工艺特点即物料加工过程均在竖炉内进行。目前,由竖炉生产球团矿为一种常见的商业化生产的方式。在中国,经过多次改良竖炉,现在中国的竖炉变得高效,高产,还有低成本高质量等优点。

**[关键词]**竖炉;结构;工艺;球团;产量

DOI: 10.33142/ec.v3i12.2965

中图分类号: TG454

文献标识码: A

## Structure and Process Characteristics of Shaft Furnace

LIU Xuefeng<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>2\*</sup>

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

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

**Abstract:** Shaft furnace is a kind of vertical furnace, which can be divided into two types according to the classification of process use. The hearth of smelting shaft furnace has three classical structures: (1) blast furnace type structure (as shown in the appearance of shaft furnace in the figure below) (2) lead smelting blast furnace type (3) structure with front chamber (part of cupola), the materials in roasting shaft furnace always keep solid state; according to the body shape, it is classified as high internal cooling type and medium external cooling type cold type. The process of shaft furnace is classified as smelting and roasting. The process characteristic is that the material processing process is carried out in the shaft furnace. At present, shaft furnace pelletizing is a common way of commercial production. In China, the shaft furnace has been improved many times, and now it has the advantages of high efficiency, high yield, low cost and high quality.

**Keywords:** shaft furnace; structure; technology; pelletizing; output

### 引言

竖炉,即为一种电弧炉且炉身直立,利用电弧炉产生的高温废弃气体在竖炉内焙烧废钢,也是一种需要超高功率的电弧炉。与卧式炉不同,竖炉的炉气是由下向上运动,与炉料之间呈逆流换热的方式。大多数竖炉中的原料与燃料是直接接触进行反应。竖炉为立式炉,生球原料从竖炉上部炉口装入,在重力的作用下,逐渐通过两带,达到排料端。在炉身的两侧的燃烧室会产生具有高温的气体喷入炉内,对球团进行三个工序:干燥、预热和焙烧。在炉内初步冷却球团矿后的一部分热风上升,用来干燥生球团。

### 1 竖炉的结构

#### 1.1 竖炉的分类

##### 1.1.1 单炉体竖炉

单炉体竖炉是竖炉结构的前身。单炉体由字面意思可知即为炉上只有一个竖炉。据资料记载,最早应用于丹麦 DDS 厂的 110t 交流电炉和英国 Sheerness 的 CO-steel 钢厂的 90t 交流电炉。因为竖炉中的废钢底托至高温区十分困难,导致第一批的废钢就无法达到高温状态。废铁无法熔炼因此导致与其它炉料和燃料直接接触。

##### 1.1.2 双炉体竖炉

同样双炉体竖炉由字面理解可知为两个炉体的竖炉,双炉体竖炉就是在炉体上有两个竖炉。现在世界上应用的不多,单炉体高身型内冷式竖炉应用较为广泛。采用一套旋转式电极是双炉体竖炉的主要供电方式,以此来达到供电的效果,也有许多冶金设备采用旋转电极。

## 1.2 按身形分类

### (1) 高等身型内冷式竖炉

这种竖炉，由于身材高大，所以焙烧和冷却可以在同一炉体中完成。因为身材高大，焙烧完成后的冷却需要将冷却带加长（如图 1-2 竖炉内结构简图所示），以此达到冷却完全的效果。炉身高大也有利于球团矿的冷却。燃烧室布置在矩形焙烧室两侧，利用两侧喷火孔对吹容易将炉料中心吹透。这种高身型竖炉产量高，节省时间，因此许多地方都在应用这种竖炉。

### (2) 中等身型外冷式竖炉

这种中等炉身型外冷式竖炉不像高等身型内冷式竖炉那般高大有足够空间，所以焙烧时是在炉身内进行，而冷却是在炉身外进行，这种竖炉一般都具有冷却器，球团矿烧结后进入冷却器冷却，这样竖炉内的热量可以由球团矿更好的利用，提高热效率。这种竖炉与高身型相比，体积小，冷却器在外，焙烧和冷却分开使焙烧和冷却两个过程不冗杂，焙烧效果好，冷却较完全。

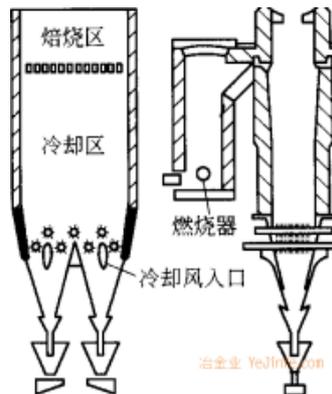


图 1 竖炉内结构简图



图 2 竖炉外观图

## 2 工艺特点

竖炉球团在焙烧过程中，物料不仅发生比如形状、大小、密度等物理性质的变化，而且存在化学性质的变化，例如，化学成分的变化，以及除去的杂质皆为化学变化。整个生产过程均在竖炉内完成是竖炉焙烧球团矿的特点之一<sup>[1]</sup>。

(1) 放生球于炉内后，首先进行干燥使球团中的水分汽化流出。

(2) 脱去水分的球矿在炉内的下降过程中，继续被加热。这时首先将磁铁矿晶粒表面氧化，生成  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  微晶。

(3) 炉料进入高温区，就要尽量保持高温区温度，达到一个高温的保温环境，为三氧化二铁晶体再结晶的晶核生成晶粒长大和再结晶的晶核生成创造良好的条件。这是加工的一个重要阶段，也是提高球团质量及强度的重要环节。

(4) 竖炉中下行的高温球团矿与上行的冷风接触，进行热交换，球团矿的温度下降，冷风将球团矿所带的热量带到竖炉上部<sup>[2]</sup>。此为冷却过程。也是竖炉球团重要的一个环节。

## 3 竖炉球团

球团矿具有强度高、便于长途运输和储存，且冶金性能好，节省能源消耗等特点。现在球团向现代高炉的理想炉

料不断进步。在一些欧洲国家，焙烧球团矿在高炉炉料中的比例极高，有的甚至会到 100%，但是我国只有 15% 左右。

随着科学的进步，各种人才辈出，全世界钢铁工业迅速发展，使得球团矿的产量骤增，图 3 所示为历年来世界及中国的球团矿产量及球团矿在中国高炉中的入炉比例。世界上最大的氧化球团生产制造国是中国，2011 年的球团产量超过了 2 亿吨，但 2012 年以后，产量降到 2011 年的一半左右。

图 4 为我国 2000 年以来三种球团生产工艺所占的比例<sup>[3-5]</sup>，在制备球团矿过程中，膨润土作为球团粘接剂，但是膨润土做粘接剂的原理很复杂，在“造球(湿球/生球)→干燥和预热(干球)→焙烧”3 个阶段的作用机理不同<sup>[6-7]</sup>。在造球阶段有许多的粘接剂膨润土就是其一，提高成球能力就是粘接剂的作用；可以提高爆裂温度使球团矿在干燥阶段干燥的更好；也可以在后续焙烧阶段起到助熔作用。

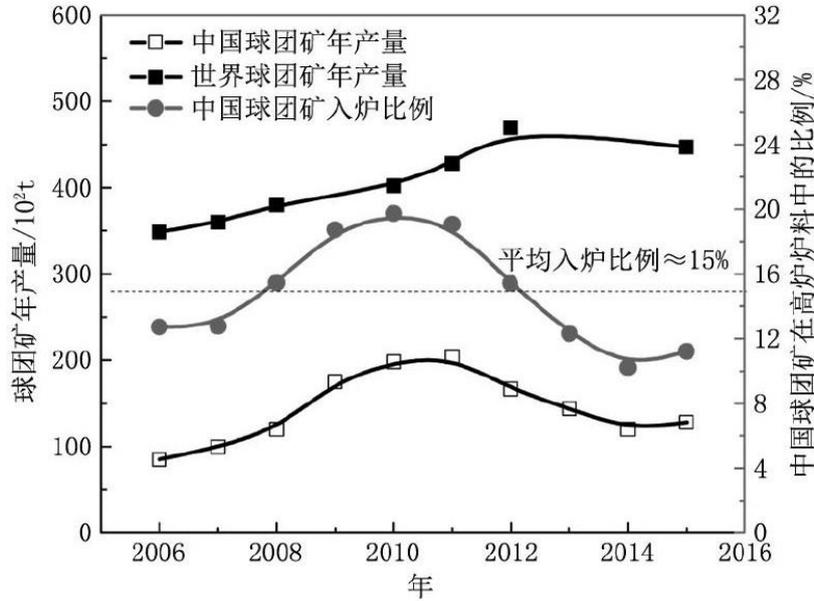


图 3 2006 年来世界与中国的球团矿年产量及中国高炉中球团矿的入炉比例

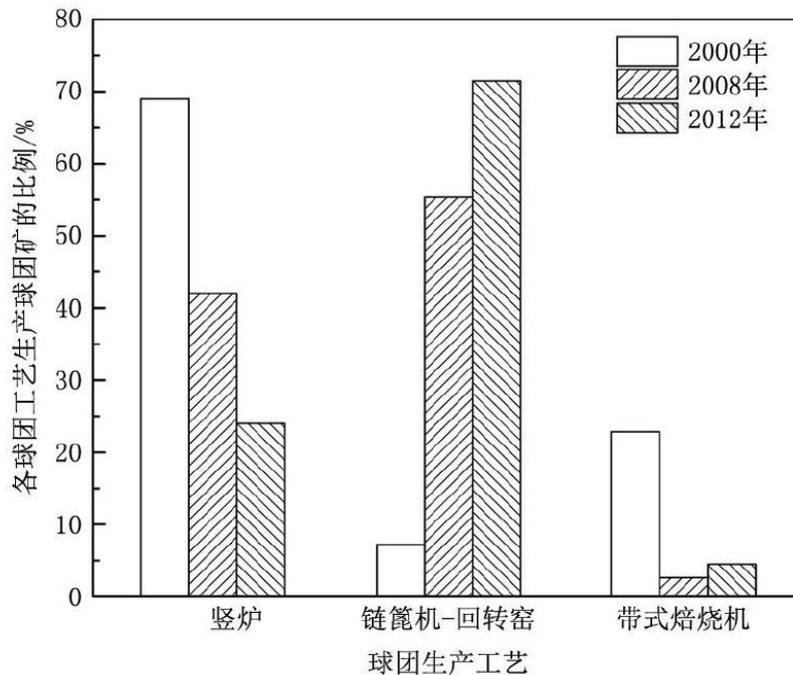


图 4 我国 2000 年以来三种球团生产工艺所占的比例

#### 4 结论

竖炉焙烧有成本低, 利用能源率高; 且设备简单和炉料要求简单不需要合金钢等优点, 同时通过对炉型结构的改进, 使球团矿的产量和质量大大提高不足之处就是废气量过大, 严重污染环境, 机械化程度低, 劳动强度大。中国作为最大的氧化球团生产大国之一, 对竖炉的要求会越来越严格, 所以我们还有很多事要去做, 接下来要向将竖炉变得环保, 节能, 省力的方向进行。竖炉作为中国加工球团必不可少的一部分需要变得越来越强, 越来越完美才能跟上国际的脚步。

#### [参考文献]

- [1] 严爱军, 丁进良, 柴天佑. 竖炉焙烧过程综合自动化系统[J]. 控制工程, 2006, 13(2): 23-25.
  - [2] 许满兴. 新世纪我国球团矿生产技术及发展趋势[J]. 球团技术, 2016(3): 1-5.
  - [3] 叶匡吾. 我国球团生产的现状和展望[J]. 烧结球团, 2003(1): 1-4.
  - [4] 刘文权. 部学我国烧结球团现状和发展[J]. 华西冶金, 2010(5): 55-56.
  - [5] 于丽娟. 宋先平带式球团的发展与燃料的选择[J]. 球团技术, 2015(3): 7-11.
  - [6] 冯惠敏, 王勇华. 膨润土在铁矿球团中作用机理[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009(6): 15-18.
  - [7] 张玉柱, 边妙莲. 膨润土理化性能对球团性能影响的研究[J]. 烧结球团, 2006(2): 21-24.
- 作者简介: 刘雪峰(2000-)男, 云南昆明, 本科学历, 现就职于昆明市五华区昆明理工大学。