

# 蓄热燃烧技术及其在冶金工业炉中的应用

刘日新

([北京赛维美高科技有限公司](#), 北京)

**摘要** 本文对蓄热燃烧技术的原理、发展历史及其在冶金工业炉中的应用状况进行了介绍, 对换向阀及换向控制、NO<sub>x</sub> 的控制、炉压控制、高炉煤气的利用、重油蓄热燃烧等关键问题进行了分析。冶金工业炉需要实施这一项高效蓄热燃烧节能技术改造, 以提高其热能利用率, 减少环境污染, 从根本上实现冶金工业的高效、低耗和清洁生产。

**关键词** 蓄热燃烧 冶金炉 换向阀 低 NO<sub>x</sub> 燃烧

## Regenerative Combustion and Its Applications in Metallurgical Furnaces

Liu Rixin Li Ling Tang Xianhong

(Beijing Savemation Technology Co. Ltd., Beijing 10073)

**ABSTRACT** The principle and development history of regenerative combustion and its applications in metallurgical furnaces were introduced. The key problems such as reverse valve and its control, low NO<sub>x</sub> combustion, furnace pressure control, the utilization of BFG, the regenerative combustion of heavy oil were analyzed. The metallurgical furnace should use this latest combustion technology to reconstruct in order to improve energy efficiency and to eliminate environment pollution. It will get the results of high efficiency, low consumption and clear production in metallurgical industry.

**Keywords:** Regenerative combustion, metallurgical furnace, reverse valve, low NO<sub>x</sub> combustion.

### 1 绪论

目前资源和环境问题日益突出, 要求各冶金企业全面推行高效、清洁生产技术。蓄热燃烧技术是目前世界上先进的燃烧技术, 可以从根本上提高企业能源利用率, 对低热值煤气进行合理利用, 最大限度地减少污染物排放。

本文将介绍蓄热燃烧技术的发展历史、原理及其在冶金工业炉中的应用, 对蓄热燃烧技术在冶金工业炉中应用的关键技术进行分析。

### 2 蓄热燃烧技术的发展历史

蓄热式烧嘴是二十世纪 80 年代初英国的 HOT WORK 公司和英国煤气公司合作首次开发的, 称为 RCB 型烧嘴 (Regenerative Ceramic Burner)。

1984 年 Avesta Sheffield 公司用于不锈钢退火炉加热段的一侧炉墙上, 装了 9 对, 其效果是产量由 30t/h 增加到 45t/h, 单耗为 1.05GJ/t。虽然是单侧供热, 带钢温度差是 ±5℃。

1988 年 Rotherham Engineering Steels 公司在产量 175t/h 的大方坯步进梁式炉上装了 32 对 RCB 烧

嘴，取代了原来的全部烧嘴，600℃热装时单耗0.7GJ/t，炉内温度差±5℃。其缺点是NO<sub>x</sub>值高，有时高达500ppm。

鉴于这是一项节能技术，日本从1985年左右开始研制。当时欧美的厂家以陶瓷小球或碎砾作蓄热体，日本采用压力损失小、比表面积大4~5倍的陶瓷蜂窝体，以减少蓄热体的体积和重量。为了使蓄热燃烧技术能普遍应用，需要在空气预热到1000℃以上的高温条件下实现低NO<sub>x</sub>化，同时要制造机械性能可靠的、切换动作频繁的切换阀，因此，就推动了这类相关技术的开发。

日本一家公司1993年引进此项技术后作了改进，将蓄热器和烧嘴组成一体并采用两阶段燃烧以期降低NO<sub>x</sub>值。其燃料有城市煤气，液化石油气，重油和灯油。可用于步进梁式炉，锻造炉，罩式炉以及钢包烘烤器等。

日本东京煤气公司生产的蓄热式烧嘴称FDI型，利用烟气的自身再循环和浓淡燃烧法的原理来降低NO<sub>x</sub>值。

日本NKK公司于1996年在230t/h（福山厂）热轧加热炉上全面采用蓄热燃烧技术。该设备拥有和烧嘴一体的高效蜂窝状陶瓷蓄热体的紧凑式热回收装置，炉内氧浓度降低、NO<sub>x</sub>大幅度减少，由于高速吹入燃烧用空气、炉内温度均匀，效率提高。烧嘴每30s切换一次。目前在热轧加热炉、厚板加热炉、钢管加热炉上采用，平均节能30%以上，NO<sub>x</sub>降低60%以上。该技术在钢铁、有色冶金和汽车等相关部门已实际应用该技术和设备1864套。

1999年开发了用于棒材轧制前加热的

高炉煤气高效蓄热式加热炉，也是中国第一台高效蓄热式高炉煤气连续加热炉。到2001年5月，已有7台连续加热炉投产，在建的有8台。

### 3 蓄热燃烧技术的原理

一个RCB单元至少由两个烧嘴、两组蓄热体、气体切换阀和相关控制系统组成，如图1。根据现场实际可能安装空间，烧嘴和蓄热体成对出现。在一个烧嘴的助燃空气通过蓄热体燃烧供热时，另一个烧嘴充当排烟的角色，同时加热蓄热体，当这个蓄热体充分加热后，切换系统动作使系统反向运行。

被助燃空气冷却的蓄热体轮流地由离开炉子的高温气体加热，由于最后排出的气温度只有150-200℃，切换阀在低温下工作，同时排出燃烧废气的风机也在低温工作，标准设计的风机就可以满足要求。

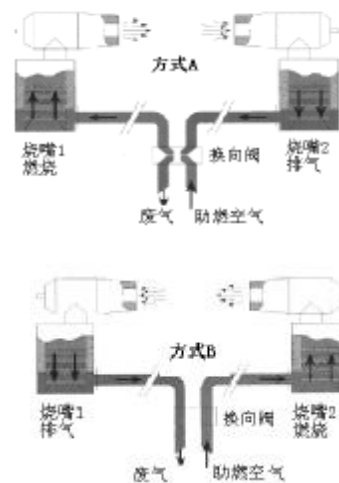


图1 蓄热烧嘴示意图

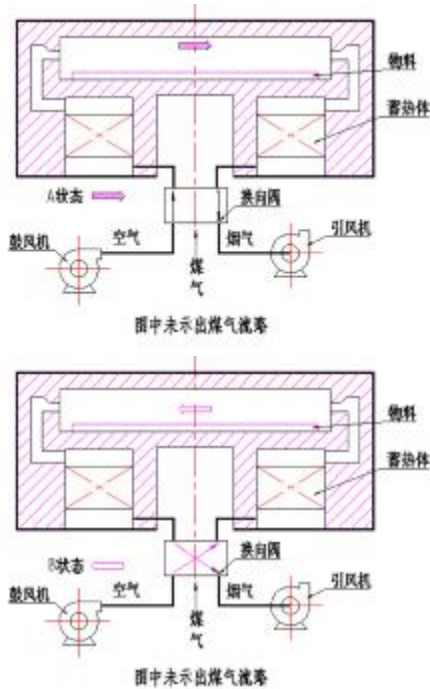


图 2 蓄热式工业炉示意图

RCB 的燃料节约率，与冷空气烧嘴比节能率达 65%。各种 RCB 烧嘴主要用于气体燃料或液体燃料。

高效蓄热工业炉，其原理图如图 2。它的突出特点是很方便地实现空气、煤气的双预热。

### 3.1 蓄热体

评价蓄热体性能时温度效率、压力损失、耐急冷急热性等都是重要的参数。根据温度、有无腐蚀性气体来选择蓄热体的材质，从黏土质到高铝质之间选择最佳的材质。

通常采用陶瓷小球体蓄热体，其理由是使在压力损失方面有些不利，但考虑到传热单位体积的蓄热量、蓄热体的耐用强度和堵塞时的清扫以及便于更换已破碎损坏的蓄热体等方面是有利的。

对于使用脏煤气的场合，蓄热体必须设计成不间断生产下易于清洗，陶瓷小球更适合于含尘量较

大的场合。

### 3.2 换向阀

烟气和空气的切换装置是必须的。如切换时间为 30s，每年的动作次数为 100 万次，因而机械方面的可靠性和耐久性就相当重要。如果用直通阀，系统中有一对烧嘴就要 4 套切换阀；如果用四通阀，在单预热空气时系统中一对烧嘴只要一套切换阀就可以了。高效蓄热工业炉只用 2~3 套换向阀装置，在最大程度上减少了故障点，提高了系统的可靠性。

### 3.3 换向时间

蓄热体的效率以空气预热得到的热量与通过蓄热体的烟气所具有的显热之比来表示。但通常热交换器的效率指标是温度效率  $\eta_t$ ，即： $(\text{出口空气温度}-\text{入口空气温度}) / (\text{入口烟气温度}-\text{出口烟气温度})$ ，烟气不通过旁同时温度效率可达 0.90~0.94。温度效率与切换时间  $\tau$  有很密切的关系，采用蜂窝体时，通常  $\tau$  设定在 20~30s，采用陶瓷小球时一般在 2~3min。

### 3.4 低 NOx 控制

由于助燃空气预热温度的提高，使火焰温度上升增加 NOx 排放量。通常工业炉内要抑制 NOx 的生成，采用控制炉温、二段燃烧、废气再循环、炉内还原等措施。单纯从结构上考虑，降低蓄热燃烧中 NOx 浓度的基本方法是采用两阶段燃烧法。一次燃烧区域是还原燃烧，二次燃烧区域是低氧燃烧，借此来降低 NOx 的浓度。低 NOx RCB 具有高的

热回收率、高速火焰特性，而不产生因为高空气预热温度相关的高 NO<sub>x</sub> 生成率。高炉煤气蓄热燃烧时，燃烧温度正好达到加热炉的工艺要求燃烧温度，NO<sub>x</sub> 的生成量很低。

## 4 蓄热燃烧技术在冶金工业炉中的应用实例

### 4.1 高效蓄热式均热炉

先后建成投产了六台高效蓄热式长坑均热炉，其中包钢分别于 1994 年和 1995 年先后建成四台，至今一直正常生产。以其为例介绍：

炉坑尺寸：8800（内长）×3200（内宽）×4950（内深）mm；装钢量：200 t；出钢温度：1250℃；最高炉温：1380℃（工艺要求）；燃料种类及热值：混合煤气， $Q_d=1800 \times 4.18 \text{ kJ/m}^3$ ；空气/煤气预热温度：（950~1100℃）/（950~1100℃）；排烟温度：≤150℃。多年来的生产统计表明：该炉与对照炉坑（炉坑尺寸同高效蓄热式炉，采用可调焰烧嘴，金属辐射预热器预热风温至 450℃，金属管状预热器预热煤气至 350℃）相比节能 41%，产量提高 30% 以上。

### 4.2 钢包烘烤器

75 吨铁水采用烧 A 重油的能力为 5GJ/h 的 RCB 烧嘴后，比原先的烧嘴节约了一半燃料消耗量，转向燃烧使温度差在 ±15℃ 以内。

### 4.3 加热炉

新建的步进梁式加热炉，加热能力为 100t/h，设置 16 对以城市煤气为燃料的蓄热烧嘴，炉温 1250℃，出钢温度 1100℃，燃料单耗在产量 78kg/h

时是 0.88GJ/t，与以往相比大幅度节能，NO<sub>x</sub> 值总体而言可以控制在 80PPM。另外，加热段炉宽方向的温度差在 10℃ 以内，炉温均匀。

步进梁式加热炉没有改造烟道、换热器这类大规模的工程，步进梁式加热炉下加热段烧混合煤气的烧嘴改成 8 对 RCB 烧嘴。由于空间不足，RCB 烧嘴不是一体化的。改造部位只有加热段，剩余的烟气从原来的烟道预热钢坯，再通过换热器回收余热。改造效果是燃料单耗减少 8%。

日本 NKK 公司于 1996 年在 230t/h（福山厂）热轧加热炉上全面采用蓄热燃烧技术。该设备拥有和烧嘴一体的高效蜂窝状陶瓷蓄热体的紧凑式热回收装置，炉内氧浓度降低、NO<sub>x</sub> 大幅度减少，由于高速吹入燃烧用空气、炉内温度均匀，效率提高。烧嘴每 30s 切换一次，交替燃烧。目前在热轧加热炉、厚板加热炉、钢管加热炉上采用，平均节能 30% 以上，NO<sub>x</sub> 降低 60% 以上。

1999 年 3 月萍乡钢铁厂建成一座年产 30 万吨的燃全高炉煤气的高效蓄热加热炉。这是全国仍至世界上第一台燃烧单一高炉煤气的大型加热炉。炉子产量：60t/h；燃料为全高炉煤气。炉子采用双预热，在炉子两侧墙下部各设 4 个空气蓄热室和 4 个煤气蓄热室，分加热段和均热段两段加热，炉子每侧墙上各有 48 个喷口，分别供入煤气和空气。采用两套控制系统。炉子投产后，各项技术指标均达到设计要求。加热质量和速度均可与燃高热值煤气的加热炉相媲美。由于燃烧高炉煤气吨钢成本下降了 52 元，在全国各钢厂销售疲软的情况下，萍钢钢材产销两旺。具统计按目前重油价格计算，仅高炉煤气代油一项年创效益 1500 万元。

#### 4.4 热处理炉

30t/批的台车式热处理炉，对向安装4对蓄热式烧嘴，燃料由重油改为城市煤气，在产量30t/批情况下单耗比改造前降低了46%。NO<sub>x</sub>值在炉温为930℃为6PPM。

#### 4.5 罩式退火炉

加热温度700℃左右的低温罩式炉，采用蓄热烧嘴是否合适是有争议的。采用了新开发的长口型RCB烧嘴后，对加热性能没有损失，燃烧室的外型尺寸减少，烧嘴由三段12只改成一对RCB烧嘴，达到了节约14%的节能效果。

抚钢先后建成投产了四座罩式退火炉，炉子采用空气单预热方式，蓄热室在炉两侧炉台下部成长条形布置，煤气分成多个小细流股喷入炉内与热风混合燃烧，燃烧产物呈火幕状加热物料。炉子投产后与车间原有台车式退火炉相比，产量提高了30%，节约燃料70%。炉内温差由原来的50℃减小为±5℃。

### 5 蓄热燃烧技术的几个关键问题

#### 5.1 换向阀及换向控制

因为换向阀需要在机械方面的可靠性和耐久性，阀本身宜采用旋转式，旋转角度越小越好，阀的换向必须采用高可靠性的驱动装置，尽可能采用气体驱动。换向时间可以在换向控制器中根据实际情况进行调整。换向阀技术在国内已技术成熟，换向阀可以长期稳定运行。

#### 5.2 NO<sub>x</sub> 的控制

较好的办法是采用两段燃烧法来降低燃烧的NO<sub>x</sub>排放量。同时要求燃料电磁阀和空燃比控制

器具有相当高的可靠性，且空燃比例调节要求能在短时间内完成，即必须采用快作用的比例调节器和调节阀。

#### 5.3 炉压控制

在蓄热燃烧器周期性地切换燃烧/排烟过程中，炉压也会出现周期性的变化，但炉压的变化会明显滞后于烧嘴的切换，因此炉压的控制可以按切换周期进行控制，并尽可能保证工业炉的气密性。

#### 5.4 高炉煤气的利用

利用高炉煤气的最好的方法是采用高效蓄热燃烧技术，由于空气预热温度的提高，可以使燃烧温度提高，同时使煤气的点火变得更加容易，因此，采用蓄热燃烧技术后，高炉煤气可以用于各种需要高温的工业炉，此时NO<sub>x</sub>的生成量不会显著增加。

高炉煤气在高温工业炉的应用，有利于钢铁联合企业的煤气平衡，尤其是给没有焦炉煤气的企业，找到了一条减少外购重油、节约能源的新途径。

#### 5.5 重油的蓄热燃烧

重油蓄热燃烧时还有重油交替燃烧时喷嘴容易堵塞和燃烧废气含灰尘量大容易堵塞蓄热体的问题。

#### 5.6 蓄热式工业炉的优化控制

优化控制来保证高的热效率，高的加热质量，实现加热炉与轧制节奏的协调，使加热炉在正常轧制和非正常轧制下都处于最佳工作状态。

### 6 结论

本文对蓄热燃烧技术的原理、发展历史及其在冶金工业炉中的应用进行了介绍，对换向阀及换向

控制、NO<sub>x</sub> 的控制、炉压控制、炉气含氧量、高炉煤气的利用和性能价格比等关键问题进行了分析，冶金工业炉需要实施这一项蓄热燃烧节能技术

改造，以提高其热能利用率，减少环境污染，从根本上实现冶金工业的高效、低耗和清洁生产。