

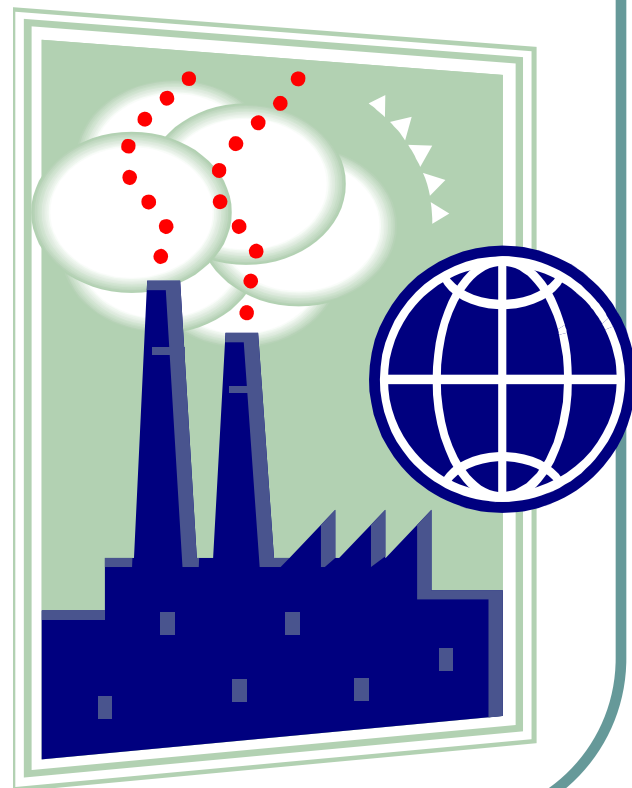
蓄热式燃烧技术简介

- 高温空气燃烧技术(习惯称为蓄热式燃烧技术)即:

HTAC技术(High Temperature Air Combustion);

在有些国家简称为:

HPAC技术(Highly Preheated Air Combustion)。

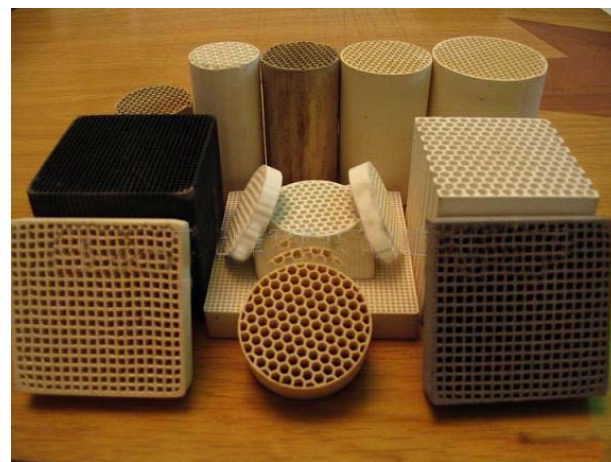
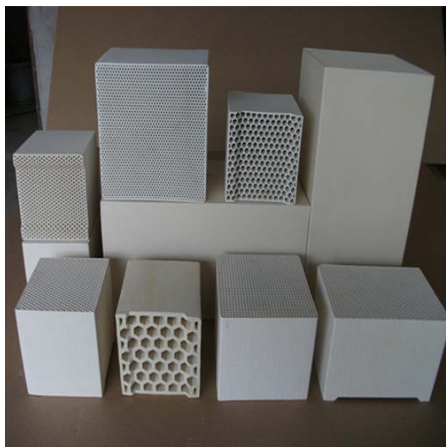


一、蓄热式燃烧技术的由来

- 1982年英国Hotwork公司和British Gas公司合作，首次研制出了紧凑型的陶瓷球蓄热系统RCB (Regenerative Ceramic Burner)。系统采用陶瓷球作为蓄热体，比表面积可达 $240\text{m}^2/\text{m}^3$ ，因此蓄热能力大大增强、蓄热体体积显著缩小、换向时间降至 $1\sim 3\text{min}$ ，温度效率明显提高(一般大于80%)，而预热温度波动一般小于 15°C 。

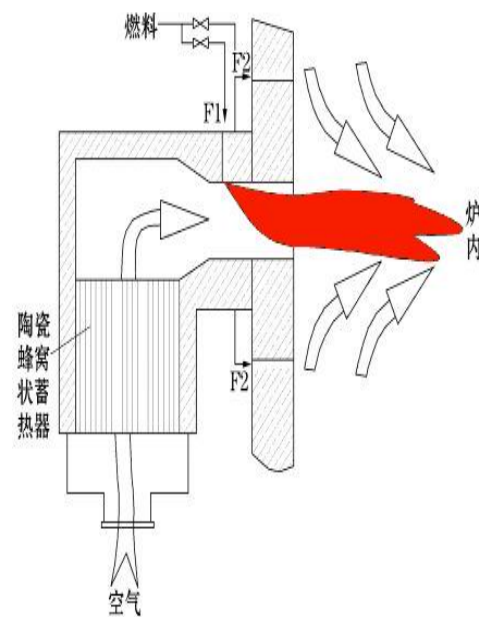
HTAC的沿革

▶ 20世纪90年代初，日本在RCB基础上开始进一步研制。日本钢管株式会社(NKK)和日本工业炉株式会社(NFK)联合开发了一种新型蓄热体，称为高效陶瓷蓄热系统：**HRS** (High-cycle Regenerative Combustion System)。



HTAC的诞生

- 实验结果显示：预加热后进入燃烧器的空气温度已接近废气排放温度。数据显示，空气预热温度达 1300°C 、炉内 O_2 含量为11%时 NO_x 排放量是 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 。HRS的开发不仅实现了烟气余热极限回收及 NO_x 排放量的大幅度降低，而且这种新型燃烧器还引发产生了一种新的燃烧技术——高温空气燃烧技术HTAC (High Temperature Air Combustion)。



HTAC和HRS

蓄热式燃烧技术

高温空气燃烧技术**HTAC**

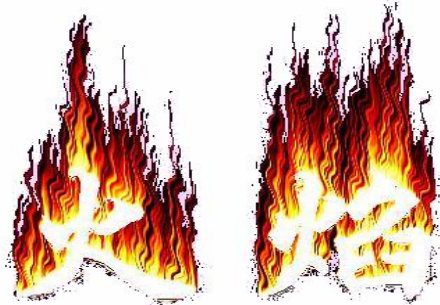
(二者核心都是**HRS**,在本文
以下叙述中认为二者等同。)



二、蓄热式燃烧的原理

HTAC技术在燃烧条件、反应机理、火焰特征等方面均与传统的燃烧技术不同。

- 它是预热空气温度达到 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 以上，燃料在含氧较低(可低至2%)的高温环境中燃烧。
- 因为是在高温条件下，可燃范围扩大，在含氧大于2%时，就可保证稳定燃烧。
- 燃烧过程类似于一种扩散控制式反应，不再存在局部高温区， NO_x 在这种环境下生成受到抑制。



特征

在低氧环境下，燃烧火焰具有与传统燃烧截然不同的特征：

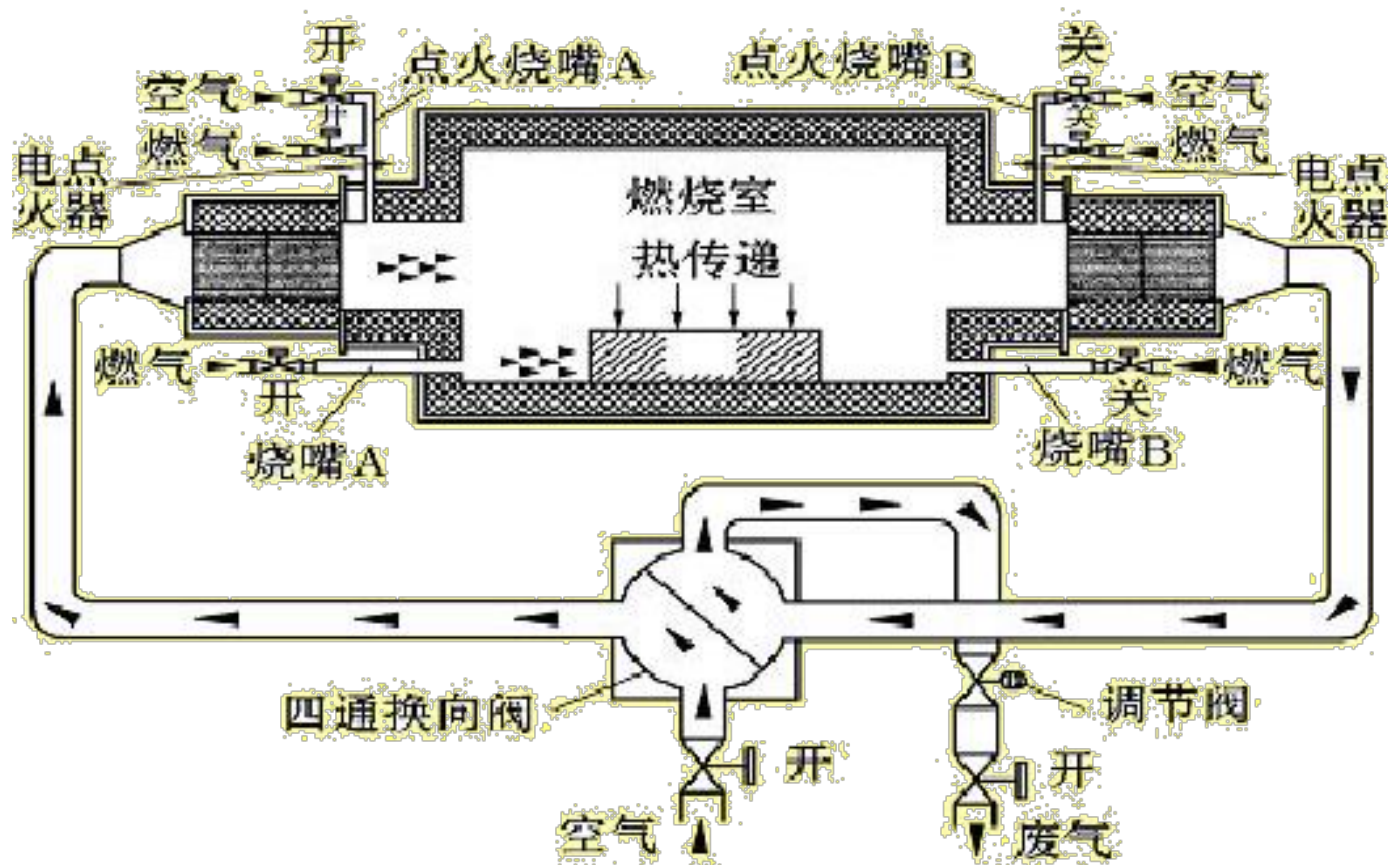
- ◆ 火焰体积明显增大，甚至可扩大到整个燃烧室空间
- ◆ 火焰形状不规则，无火焰界面；
- ◆ 常见的白炽火焰消失，火焰呈现薄雾状；
- ◆ 辐射强度增加，火焰的高度辐射减少。整个燃烧空间形如一个温度相对均匀的高温强辐射黑体，再加上反应速度快，炉膛传热效率显著提高。



▶▶ 工作机理

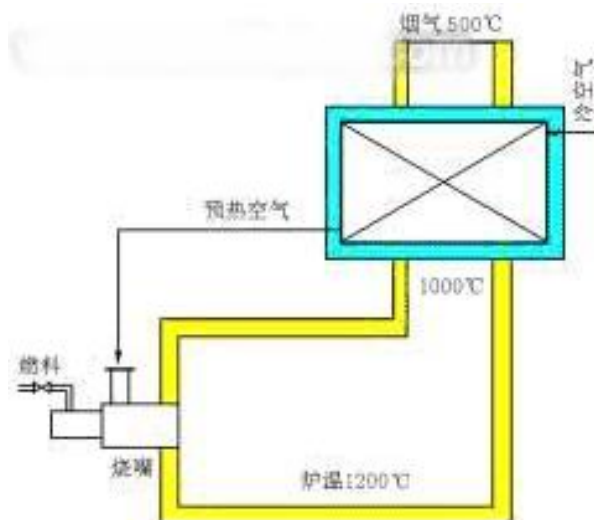
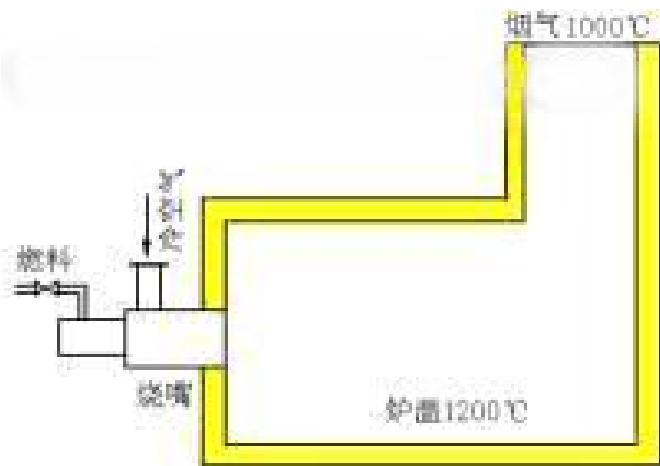
- 一个高温预热空气燃烧单元至少由 2 个烧嘴、2 套蓄热体、1 台气体切换阀和相关控制系统组成见图1。烧嘴和蓄热体成对出现，A 烧嘴工作时，B 烧嘴及蓄热体充当排烟通道。同时，B 侧蓄热体被烟气预热。一段时间后，控制切换系统，使 2 个烧嘴交替工作。A、B 烧嘴两侧的蓄热体轮流地被排出的高温烟气预热，冷助燃空气被预热到较高的温度（仅比高温烟气低 $100\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，）

图1. 蓄热式高温空气燃烧机理图



★蓄热式燃烧与传统燃烧的比较图

最终经过四通换向阀排出的废烟气的温度为 $150\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$,大大地提高了烟气显热的回收利用率,而且降低了有害燃烧物的排放量,减少了大气污染。



三、HTAC的特点

- HTAC技术主要是通过高效蜂窝式蓄热系统来实现，其特点如下：
 - (1) 蓄热体传热速度快，蓄热能力强，切换时间短，动态换热好，压力损失少。
 - (2) 进入炉内的空气和燃气气流速度快，炉内燃料裂解、自燃等燃烧过程加速进行，化学反应速率和燃烧效率提高。
 - (3) 火焰不是在燃烧器中而是在炉膛空间内才开始逐渐燃烧，燃烧噪音低。

HTAC的特点

- (4) 在高温条件下，只要燃料混合物进入可燃范围，就可保证炉内稳定燃烧。
- (5) 在高温低氧环境中燃烧产生大量裂解，从而引发强烈的热辐射效应，辐射力增强。
- (6) 炉膛温度分布均匀，燃烧时最高温度降低，平均温度大大提高，传热效率明显增大。
- (7) NO_x 和二恶英的生成受抑制，排放量大大减少。
- (8) 除蓄热式燃烧器和炉体外，其他设备都在低温端运行。

四、蓄热式燃烧的优点

● 1. 提高生产能力

采用蓄热式高温空气燃烧技术后,提高了加热区火焰的温度,加大了热量传输率,进而提高了工件的加热速度,生产能率可提高约20%。

优点

● 2、节能降耗

采用蓄热式高温空气燃烧技术可使排放烟气的温度下降到 200℃ 以下(传统燃烧技术排放烟气的温度在 600~1000℃ 范围内),余热被大部分回收。因此,可节约能源 30%~50%。

优点

● 3、均匀炉（包）内温度

蓄热式燃烧如上图中所示，两个蓄热式烧嘴进行交替燃烧，并且可调整火焰，使进入加热区的助燃空气（或煤气）的火焰与传统燃烧技术的火焰完全不同，呈弥散式燃烧，促使炉/包内温度场均匀分布，故而加热区温度更均匀，冷点减少；同时加热区内局部高温点也相应减少，增加了炉/包内料的寿命，耐火材料消耗量降低10%以上。

优点

● 4、降低有害气体排放量,改善环境

由于组织燃烧方式的完全改变,空气和燃气可以相互独立地喷入炉内,燃烧在贫氧状态下(空气氧含量由 21% 下降到 2%)进行,避免了 NO_x 的大量生成(可控制在 100×10^{-6} 以下)。另一方面,由于充分利用了废气余热,减少了燃料消耗量,也大大降低了 NO_x 和 CO 等有害气体的排放量,环境得到明显改善。

优点

● 5、提高低热值燃料利用率，降低生产成本

采用蓄热式燃烧技术可将助燃空气或煤气预热到 $900\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围。为高炉、转炉煤气等低热值燃料的利用开辟了新途径，减少了高热值燃料的用量，促使生产成本降低。

五、蓄热式燃烧应用的效果

- 1、结构紧凑，投资省

HTAC系统的蓄热体和炉体部分均因换热能力大大增强，使体积可大幅度缩小。

效果2

● 2、温差小，加热质量好

应用HTAC技术后，燃烧炉内温度分布均匀，温差达 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，加上炉内较低的含氧环境，对加热工件极为有利。既提高了加热速度和加热质量，又减少了工件氧化烧损率，大大提高了炉子产量。

● 3、布置灵活，操作方便

HRS系统结构紧凑，体积小，布置比较灵活。它可根据工艺要求和炉体形状确定烧嘴的位置和数量。烧嘴的位置可设在侧面、顶面和轴向（需要炉鼻段）。

效果

● 4、节能效果显著

采用蜂窝式陶瓷蓄热体实现了烟气余热的极限回收，烟气的余热回收率可达85%以上。同时，在较高空气预热温度及混合均匀的低氧环境下，燃料与 O_2 分子一经接触，便能迅速燃烧。因此，实现完全燃烧的过剩空气系数可接近1，大大减少炉子进出流量及排烟损失，进一步提高了燃料节约率。实际应用情况表明，燃料节约率可达55%以上。

效果

● 5、 污染物排放少

HTAC技术的应用，对环境保护的积极作用有：

- (1) HTAC燃烧器的高效节能以及燃烧过程的充分性大大减少了烟气中CO、CO₂和其他温室气体的排放；
- (2) 高温低氧的燃烧环境以及烟气回流的掺混作用，大大抑制了NO_x的生成，使NO_x排放量下降到100 mg/m³以下；
- (3) 高温环境抑制了二恶英的生成，排放废气迅速冷却，有效阻止了二恶英的再合成，故二恶英的排放大大减少；
- (4) 火焰在整个炉膛内逐渐扩散燃烧，燃烧噪音低。

效果

● 6、工业炉燃料范围扩大

HTAC技术的开发，大大扩展了工业炉燃料的适用范围。它可以很好地燃用低热值燃料而不存在点火困难和脱火问题，而且燃料品种也不局限于气体或液体。随着高温空气相关技术的发展，煤、工业垃圾等固体燃料也可以使用。

效果

● 7、适用性强，应用范围广

HTAC技术优良的特性使它的适用范围较宽，它能用于多种不同工艺要求的工业炉。目前可使用该技术的炉型有大中型推钢式及步进式轧钢加热炉、均热炉、罩式热处理炉、辐射管气体渗碳炉、钢包烘烤炉、玻璃熔化炉、熔铝炉、锻造炉等等。

六、HTAC技术在我国的应用前景

- 我国是世界能源消耗大国。HTAC技术在我国将有广阔的应用前景。
- 我国工业炉是能耗大户。窑炉能耗占全国总能耗的1/4，占工业能耗的40%。而工业炉平均热效率较低，只有20%左右。据统计，窑炉大部分能量归结为排烟损失，估计全国每年这部分能量相当于超过8000万t的标准煤。

► 环境保护的需求 ◀

- 大气有害物超标排状况在我国相当严重。世界10个大气环境污染最严重的城市，我国就占了7个。为降低大气污染物排放量，首先要降低能耗，其次是控制排放量。而这二点正好符合HTAC的技术特征，即高效、节能和低污染。因此，HTAC技术在我国的应用势在必行。

七、存在的问题

★虽然说蓄热式燃烧技术已经成熟，且优点多，效果好，但目前在国内应用还不是很普及，这主要是以下几方面因素的影响：

- 1 蓄热体 2 换向阀
- 3 烧嘴 4 辅助设备
- 5 政策、认识

1、蓄热体的性能缺陷

- 蓄热体是蓄热式燃烧的核心部件，但目前我国的蓄热体生产技术还不能完全达到要求，主要性能指标如下：

(1)蓄热能力：一般用比热容 C 来标定。

(2)换热效率：蓄热体的热交换系数 λ 。

(3)热震稳定性：蓄热的耐急冷急热性能。

(4)抗氧化和腐蚀性：。

(5)压力损失：。

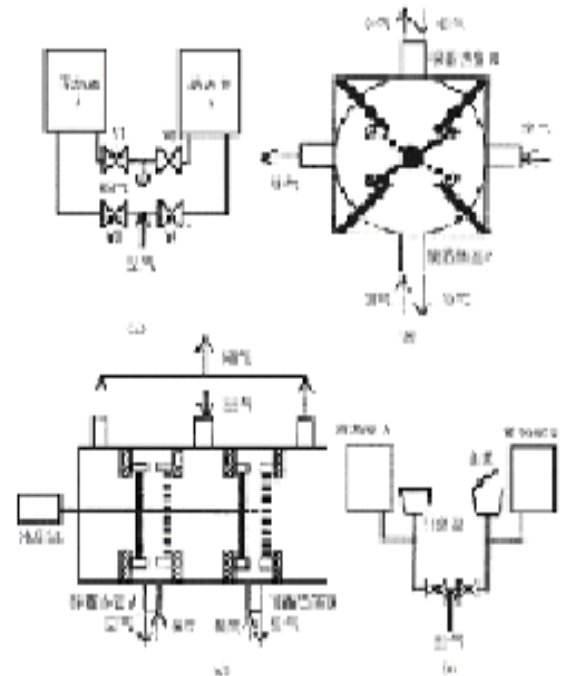
(6)经济性：成本，它是一个重要的指标。

以上各项指标（实际生产水平）与要求的达到的标准和国外的指标比较如下：

	国内平均值	标准值	国外水平
耐火度 $^{\circ}\text{C}$	1700		
轴向抗压强度MPa	15		
孔壁密度 g/cm^3	2.65		
导热系数 $\text{w}/(\text{m}\cdot\text{K})$	10.1		
热膨胀系数 $^{\circ}\text{C}^{-1}$	62.5×10^{-7}		
壁气热交换系数	?		
平均比热容 $\text{J}/\text{g}\cdot\text{K}$	0.884		
阻力损失mmHg	?		

2、 换向阀的精度和寿命

- 1、 换向阀材料的特殊性。
- 2、 换向阀的工作寿命和可靠性。
- 3、 换向阀的灵敏度，烟气中含有较多的粉尘以及频繁动作，势必对部件造成磨损。
- 4、 换向阀阀门密封性能、压力损失。



3. 烧嘴的缺陷



- 如上图所示：有关蓄热式烧嘴的研究还没有系统化，各自为阵。高效率的蓄热式烧嘴或者是专为HTAC开发的烧嘴还在研制中。目前所用均为在原有烧嘴上的改进。

4、辅助设备的缺陷

- ①自动控制系统
- ②供风系统
- ③引风系统
- ④检测系统
- ⑤服务

5、政策、认识

- 我国在近几年有关能源、环保、循环经济、可持续发展等方面的立法、政府举措、地方行政干预、国际合作、区域合作，高密度出台。重视程度日增。
- 高能耗企业的重视程度，关键在“认识”上！我国的节能降耗减排工作不缺乏政策支持、不缺乏技术支持、不缺乏资金支持、不缺乏……，只止步于官僚主义！

摘自《能源形势与节能减排政策》

<http://xh.chinaxh.com.cn/show.aspx?>

谢谢!

- 武汉众然品知科技有限公司
- 地址：武汉市青山区和平大道1244号47栋5018室
- 电话：027-86668893 传真：027-86848845
- 邮箱：1985873219@qq.com
- 网址：<http://www.whzrpz.com>