

# 自身回流式燃烧器的结构参数优化

Optimization of Structure Parameters  
for Self-Recirculation Burner

TF066.13

刘成全<sup>①</sup>  
Liu Chengquan

温良英<sup>①</sup>  
Wen Liangying

陈敏<sup>②</sup>  
Chen Min

(① 重庆大学冶金及材料工程系, 重庆, 630044; ② 成都 840 信箱; 第一作者 59 岁, 男, 副教授)

**A 摘要** 针对一种自身回流式燃烧器进行了冷态模拟试验, 探明了该燃烧器的结构参数与 P-V 特性, 回流量与回流率之间的关系。分析和试验了在保证最佳抑制 NO<sub>x</sub> 生成的回流量时, 所消耗的能量又最小的情况下燃烧器最佳结构参数。

**关键词** 燃烧器; 结构参数; 动力学特性  
**中国图书资料分类法分类号** TF066.13

冶金炉  
气体燃料, 最佳化

**ABSTRACT** In the paper, the relationship between the structure parameters and P-V characteristics and recirculation ratio of the burner are studied by the simulated experiment of a self-recirculation burner. The optimum structure parameters of the burner are analysed and tested in the cases that the produced recirculation amount of optimal controlled NO<sub>x</sub> consuming the lowest energy can be ensured.

**KEYWORDS** burners; structure parameters; dynamic characteristics

## 0 引 言

随着国民经济的高速发展和人民生活水平的提高, 能源消耗急剧增加。石化燃料的大量使用, 排放出的废气中所含的有害成分(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 等)也增多, 造成严重的大气污染。因此在增加生产、节约能源的同时, 注意环境保护, 是国民经济健康发展的保障。

众所周知, 氮氧化物是一种严重污染大气的有害气体, 开发低氮氧化物燃烧技术, 是保护自然环境的重要举措。根据研究, 目前抑制氮氧化物的生成技术主要是改变运行条件和改善燃烧方法, 自身回流式是众多低氮氧化物燃烧器类型的一种, 它具有结构简单, 操作简便, 燃烧性能好等特点, 达到了既节能又能有效的抑制氮氧化物的生成。为此笔者在实验室对该类型燃烧器的结构参数及气动力学特性进行了冷态模拟试验。

## 1 实验装置及实验内容

### 1.1 燃烧器模型结构

模型结构如图 1 所示。由内外两个套筒构成一间隙,此间隙就成为回流气体通道。由一锥体构成助燃空气通道的环缝,当助燃空气从环缝处喷出,在套筒内就形成负压,引射燃烧后的烟气从内外套筒之间的缝隙回流,掺混入助燃空气中后再从内套喷出,与煤气混合燃烧。锥体可沿轴向前后移动,从而改变助燃空气流通道的环缝面积,随之改变了套筒内形成的负压值,也就改变回流量。控制回流量就能调节燃烧温度和氧浓度,从而抑制 NO<sub>x</sub> 的生成。

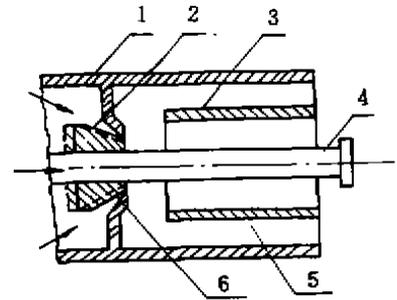


图 1 模型结构示意图

- 1 外套    2 活动锥体    3 内套
- 4 中心管    5 回流通道    6 空气环缝

### 1.2 实验装置

实验装置如图 2 所示。实验用的风源由一 5\* 叶氏风机提供。空气流量,空气量和回流量的总和(混合气流量)分别用 Φ3.0 mm 和 Φ1.8 mm 的毕托管并配 YYT-200 型斜管压力计测量。管道静压和燃烧器前的静压用 U 型压力计显示。环缝处因喷射产生的负压由 YYT-200 型斜管压力计显示。测量混合气流量用毕托管固定在一个三维坐标架上,以保证测量点与设定值准确无误。

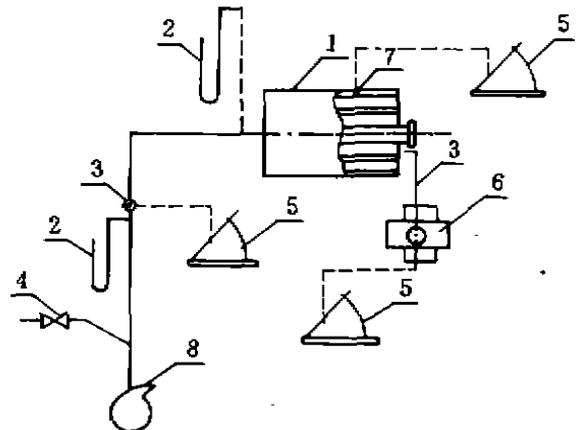


图 2 实验系统及测试装置示意图

- 1 模型    2 U 型管压力计    3 皮托管
- 4 放散阀    5 斜管微压计
- 6 三维坐标架    7 负压测压孔    8 鼓风机

### 1.3 实验内容

为了考察燃烧器的结构参数对其气动力学特性的影响,实验拟进行如下内容。

- 1) 测定燃烧器在不同环缝尺寸时的 P-V 特性。以了解燃烧器的阻力及其由于环缝尺寸变化而引起的燃烧器阻力变化。
- 2) 测定燃烧器在不同环缝尺寸情况下,空气量与喷射产生负压的依变关系。
- 3) 测定燃烧器在不同环缝尺寸情况下,空气量与回流量的依变关系。由此可推算出燃烧温度下降值和燃烧产物中氧浓度的变化。
- 4) 回流率(η)的计算;回流率(η)定义为

$$\eta = Q_{回} / Q_{混} \times 100\%$$

式中  $Q_{回}$  —— 回流气体流量 = 混合气体量( $Q_{混}$ ) - 空气量( $Q_{空}$ );

$Q_{混}$  —— 混合气体量 =  $Q_{回} + Q_{空}$ 。

从回流率的定义式看出,求得回流率只要测出混合气体流量即可。作者采用 Φ1.8 mm 的微型毕托管,测出烧咀环形截面上的速度分布,求出平均速度计算其流量。其具体作法是:在混合气体出口的环形截面上取 A、B、C、D 四个位置(图 3),每个位置沿径向按 5.0 mm 间

距测量各点速度值,测得的速度分布如图 4 所示。从速度分布曲线看出:在环形截面上沿径向的速度分布与贴壁射流的速度分布相似,因此将其速度分布视为两部分组成。

1) 靠近中心管部分为紊流附面层,速度按 1/7 指数规律分布<sup>[1]</sup>,平均速度  $\bar{u}$  为最大速度 ( $u_{max}$ ) 的 0.82 倍。从速度分布图看出,此部分占 30% 左右。如取微元面积  $dA = 2\pi r dr$  ( $R_0 \leq r \leq R_1$ ), 则此部分的混合气体  $Q_{混}^1$  为

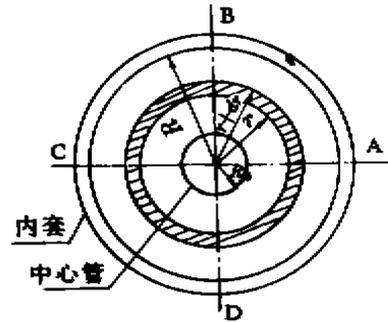


图 3 混合气体流量测点图

$$Q_{混}^1 = \int_{R_0}^{R_1} \bar{u} 2\pi r dr = 2\pi \bar{u} [1/2(R_1^2 - R_0^2)]$$

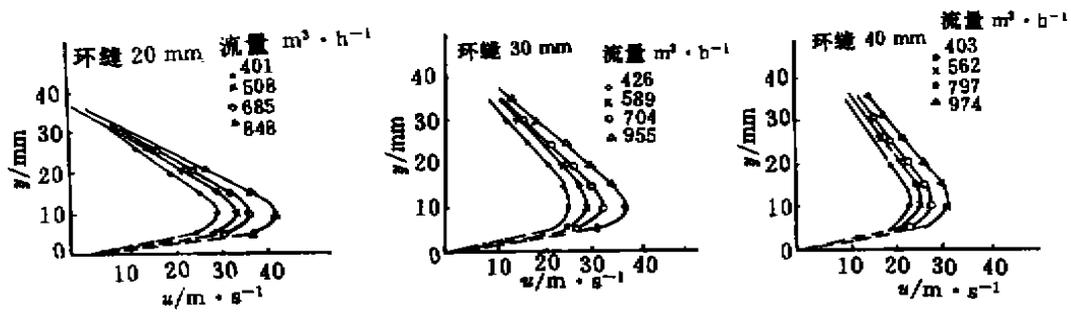


图 4 不同环缝尺寸外套出口截面沿径向速度分布图

2) 环缝其余部分的速度分布视为线性分布。根据实验值用回归方法得到沿径向的速度分布式

$$u_r = a + br \quad (R_1 \leq r \leq R_2)$$

式中  $a, b$  是回归系数。表 1 列出了位置 A 在实验不同流量下的回归系数值和相关系数。由相关系数看出,速度分布线性化十分显著。则此部分的混合气体流量  $Q_{混}^2$  为

$$\begin{aligned} Q_{混}^2 &= \int_{R_1}^{R_2} u_r dA = \int_{R_1}^{R_2} (a + br) \cdot 2\pi r dr \\ &= 2\pi \left[ \frac{1}{2} a (R_2^2 - R_1^2) + \frac{1}{2} b (R_2^3 - R_1^3) \right] \end{aligned}$$

于是环形截面上混合气体流量  $Q_{混}$  为

$$Q_{混} = \frac{(0.3Q_{混}^1 + 0.7Q_{混}^2)}{4} + \frac{(0.3Q_{混}^1 + 0.7Q_{混}^2)}{4}$$

表 1 位置 A 处不同流量时的回归系数值

流量 $m^3/h$	a	b	相关系数 r
280	11.025	-0.154 1	-0.977
426	16.734	-0.228 0	-0.984
589	22.600	-0.228 6	-0.997
704	27.520	-0.346 2	-0.998
955	37.220	-0.507 0	-0.988

## 2 实验结果及分析

### 2.1 燃烧器的 P-V 特性

图 5 绘出在不同环缝尺寸时,烧咀的 P-V 特性。由特性曲线看出,随环缝尺寸减小,在相同空气流量下,烧咀前空气压力急剧增加。如环缝尺寸为 10 mm 时,流量还不到 500  $m^3/h$  (烧咀额定能力的一半),烧咀前空气压力已达 6000 Pa,显然此环缝尺寸无实用意义。从生产实际出发,环缝尺寸应大于 20 mm。

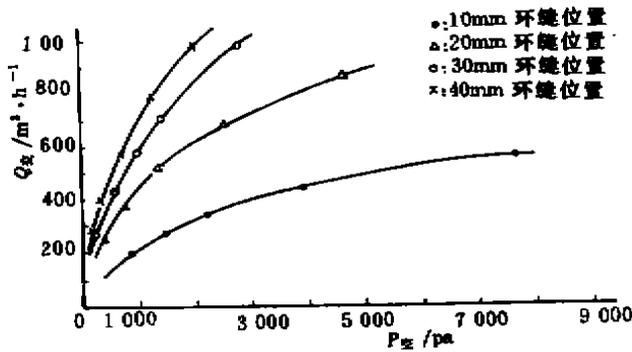


图 5 P-V 特性曲线

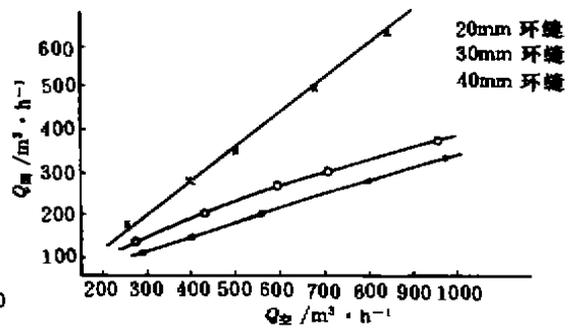


图 6 空气流量 - 回流量关系( $Q_{02} - Q_m$ )图

表 2 不同空气流量下的回流率

		环缝尺寸 20 mm					
空气流量 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )		258	401	508	685	848	平均
回流率 (%)		40.6	41.3	40.9	42.5	42.5	41.6
		环缝尺寸 30 mm					
空气流量 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )		280	426	589	704	955	平均
回流率 (%)		32.9	32.4	31.3	30.0	28.0	31.4
		环缝尺寸 40 mm					
空气流量 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )		289	403	562	797	974	平均
回流率 (%)		27.2	26.5	26.7	26.3	27.7	26.9

## 2.2 烧咀的空气流量与回流量关系

图6绘出了在不同环缝位置,回流量与空气流量的依变关系。从图中曲线看出,当环缝尺寸一定时,随着空气流量的增加,回流量也随之增加。当空气流量保持一定,随着环缝尺寸的减少,回流量增加。由表2列出了在不同环缝尺寸下,计算出的回流率与空气流量对应值。

从表2看出:

1) 由于助燃空气的喷射作用,烧咀产生了明显的回流效果。表中列出的每个环缝尺寸,其回流率都在25%以上。不过,从文献[2]知,虽然燃烧产物中的氮氧化物( $\text{NO}_x$ )量,随烟气回流率增加而降低,但当回流率大于20%后,再增加回流率, $\text{NO}_x$ 的降低效果就不明显了。因此从抑制 $\text{NO}_x$ 生成量这个角度出发,环缝尺寸不必太小,在30mm左右为佳。

2) 当环缝尺寸一定时,其回流率也基本上不变,说明该烧咀的结构保证了它具有自动调节的功能。当环缝尺寸减小,其回流率也增加。回流率的大小只与一定环缝尺寸下的烧咀结构有关。

## 2.3 烧咀喷射的助燃空气量与产生的负压之间关系

图7绘出了烧咀在一定环缝尺寸下,喷射的助燃空气量与产生的负压之间的依变关系曲线。从图看出,在一定环缝尺寸下,随喷射的助燃空气量增加而产生的负压也增加。当喷射的助燃空气量一定时,随环缝尺寸减小而产生的负压增加。如将图6和图7综合绘制成图8,则看出在任一环缝尺寸下,回流量均不是随负压增加而持续增加,而是到一定负压值后,回流量将逐趋稳定。

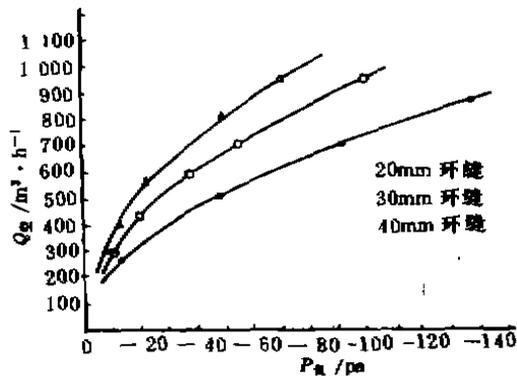


图7 空气流量—负压关系( $Q_g - P_g$ )图

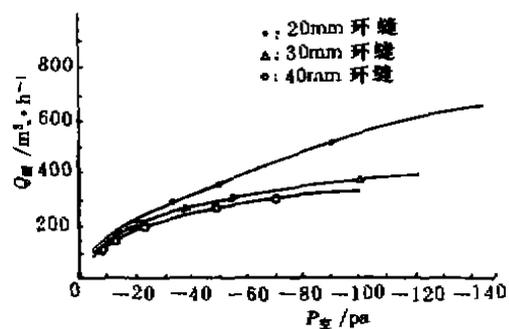


图8 回流量—负压关系( $Q_m - P_g$ )图

## 3 烧咀结构的优化试验

从上述实验的结果看出模型的结构基本上达到了预期的目的。只是活动锥体的设置,似乎实用性较小,因为一方面锥体活动在30mm以下时,烧咀的动力消耗大。另一方面在高温状况下,锥体欲灵活移动也很困难。因此,笔者新设计了一个额定能力为每小时烧天然气 $40\text{ m}^3$ 的烧咀,新烧咀的其它结构不变,只是将活动锥体改成固定的,即将活动锥体在原模型的零位置处的环缝,改为30mm的环缝(见图1虚线所示)。为了比较,仍做了20mm,30mm和40mm位置的环缝情况,见表3和图9,图10。

表 3 改进后的烧咀不同情况下的回流率

		20 mm 环缝位置					
空气流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )		198	246.6	275.6	299.2	331.9	平均值
回流率 (%)		37.7	41.0	42.6	43.2	42.6	41.5
		30 mm 环缝位置					
空气流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )		233.7	266.4	313.9	341.8	385.8	平均值
回流率 (%)		36.8	39.3	40.2	40.5	41.0	39.6
		40 mm 环缝位置					
空气流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )		247.2	274	304	326.2	362.3	平均值
回流率 (%)		36.2	37.4	37.0	37.9	39.4	37.4

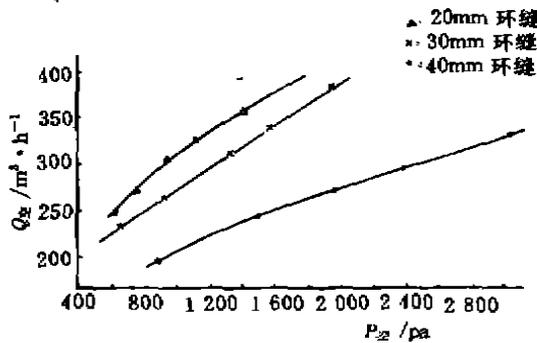


图 9 P-V 特性

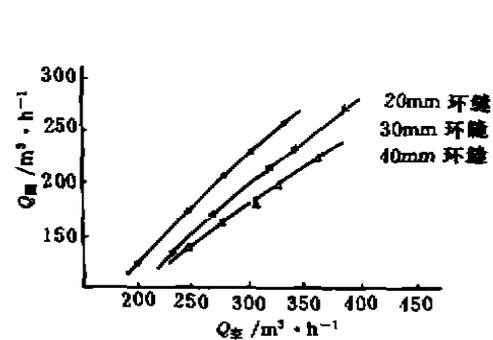


图 10 回流量—空气流量关系图

可见,改进后的烧咀比模型烧咀达到额定负荷所需的动力大幅度降低,回流率增加。说明其结构参数的改变,不仅保留了原模型烧咀的优点,还克服了其缺点,使之更趋完善。

## 4 结 论

- 1) 该种类型烧咀结构简单,系统阻力小,且具有有效抑制  $\text{NO}_x$  生成的烟气回流量的能力;
- 2) 烧咀的烟气回流率仅与环缝尺寸有关。在环缝尺寸一定时,烟气回流率基本上保持不变;
- 3) 将活动锥体改为固定式,提高了回流率,简化了烧咀结构。

## 参 考 文 献

- 1 宁晃,高歌. 燃烧空气动力学,第 2 版. 北京:科学出版社,1987. 235~237
- 2 井岗修. 废气量为  $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$  的烧重油锅炉. 热管理与公害. 1977, 29(9), 6~8