

① 空气预热对燃烧器能力的影响研究

120-124 Study of Effects of Air Preheating on Burner Capability

梁小平 伍成波[✓] 易锐锋
Liang Xiaoping Wu Chenbo Yi Ruifong
(重庆大学冶金及材料工程系, 重庆, 630044)

TF062

A

摘要 通过实验分析了预热空气使燃烧器能力下降的机理;找出了几种典型燃烧器的实际燃烧能力下降系数之值,该值与一般设计手册上提供的数据相差甚大,并分析了设计手册上的数据不适用的原因。

关键词 燃烧器 / 预热空气

燃烧能力, 冶金炉

中国图书资料分类法分类号 TF062

ABSTRACT In this paper, the mechanism of preheated air to decrease the capability of burner was studied by the experiments, and the decreasing coefficients of actual burning ability of several typical burners were found out. The values of coefficient obtained are quite different from that provided by designing handbooks, the reason why the values provided by handbook are unpractical was analysed. This paper provides a theoretical basis for reasonably selecting hot air burner.

KEYWORDS burner / preheated air

0 前言

在工业炉设计及热工生产实践中,正确地选定烧嘴能力对保证热工工艺要求,提供合理的热温制度,对发挥烧嘴的燃烧效率,提供优良的火焰特征和换热条件均具有重要意义。

为改善燃烧过程和提高炉子热利用效率,当今工业炉普遍利用烟气余热预热助燃空气(或煤气)。对烧嘴而言,当空气(或煤气)预热时,气体的流动阻力有所增加,因此要想保持烧嘴的原有燃烧能力(指空气、煤气不预热时),必须提高烧嘴前空气(或煤气)的压力;反之,若维持烧嘴前空气,煤气压力不变,则烧嘴的燃烧能力将随着空气、煤气预热温度的提高而下降。文献[1]、[2]给出了空气预热后烧嘴的燃烧能力计算式如下:

$$V_{s,t} = V_s / \sqrt{1 + t/273} \quad (1)$$

V_s 、 $V_{s,t}$ 分别为空气不预热及预热到 t ℃时的燃烧能力(m^3/h), t 为空气预热温度(℃)。根据该计算式,当空气预热到350℃左右时,烧嘴的燃烧能力将下降约1/3,但在实践中发现,某些烧嘴的热风燃烧能力的下降没有那么大,特别是燃烧完全度(指烧嘴内部)较高的烧嘴,如高速烧嘴,实测值与计算值相差更远^[3]。因此,文献[1]、[2]所推荐的以空气预热温度计算

热风烧嘴的燃烧能力有较大的误差,为此,本文在文献[3]的基础上,对几种典型的烧嘴的热风燃烧能力问题进行了进一步的实验性探讨,以期找出影响热风烧嘴的燃烧能力的主要因素,并在实验的基础上,定性及定量地讨论烧嘴结构、空气预热温度等对热风烧嘴能力的影响。

1 研究内容及实验方案

烧嘴的燃烧能力是在烧嘴前空(煤)气压力为某一给定值时确定的,而烧嘴前空(煤)气压力的大小应取决于气流烧嘴内部流动的阻损、多股气流的混合引起的能耗及燃烧反压、高温气流的出口动能等,这些因素主要与空气温度及烧嘴结构有关。为了比较烧嘴结构对热风烧嘴能力下降的影响,我们

选择了四种不同结构类型的烧嘴进行了试验,各类烧嘴的结构如图 1 所示。实验装置如图 2 所示,系统由四部分组成,即煤气供给系统、冷风和热风供给系统、煤气模拟系统及测试系统。实验方案为:

1) 只通空气、不通煤气时,冷风及热风状态下各个烧嘴的 $p-V$ 特性试验研究,籍以了解由于空气预热温度变化所引起的阻力变化;

2) 在冷态下(即不燃烧时的冷风及热风状态下)各烧嘴的 $p-V$ 特性试验研究籍以了解由气流混合及风温变化引起的阻力变化,实验时以空气代煤气进行模拟,按动量比相等的原则确定模拟煤气用空气量;

3) 在热态下(即实际燃烧时的冷风及热风状态下)各烧嘴的 $p-V$ 特性试验研究,籍以确定由气流混合、燃烧及风温变化引起的阻力变化(即燃烧能力变化),得到预热风温与烧嘴燃烧能力之间的定量关系;

4) 通过比较前述三种工况下所得实验结果,分析热风烧嘴能力下降的原因,比较各类烧嘴在不同风温下的燃烧能力与文献[1]、[2]所推荐的公式(1)所计算的能力,讨论公式(1)的适用范围。

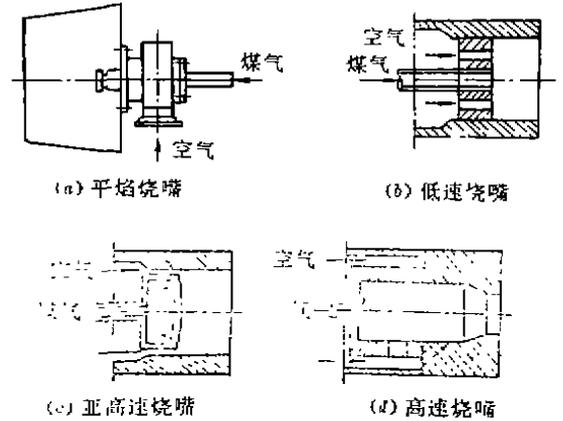


图 1 烧嘴结构示意图

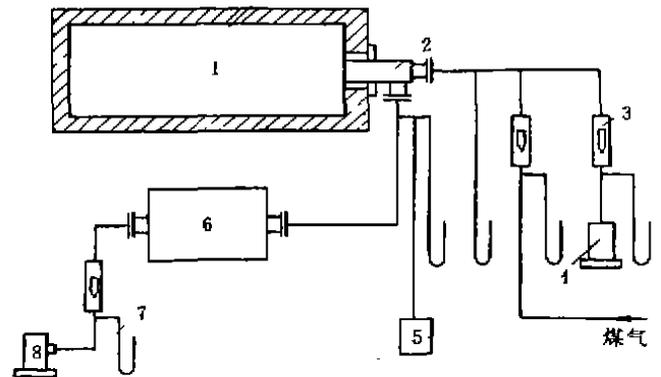


图 2 实验装置示意图

1—试验炉; 2—烧嘴; 3—流量计; 4—模拟煤气用风机;
5—温度记录仪; 6—换热器; 7—压力计; 8—助燃风机

2 实验结果及分析

2.1 平焰烧嘴

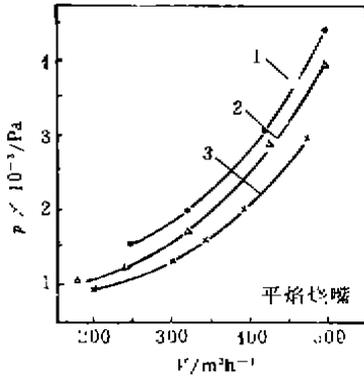


图 3 只通空气时的 $p-V$ 图

- 1—热风 313℃;
- 2—热风 223℃;
- 3—热风 98℃

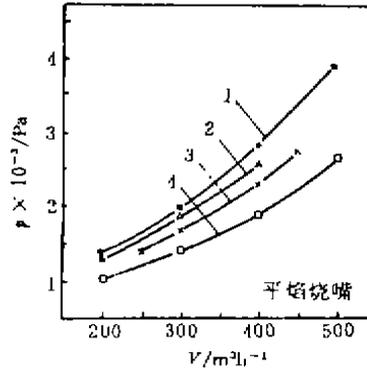


图 4 空气模拟煤气时的 $p-V$ 图

- 1—热风 313℃;
- 2—热风 222℃
- 3—热风 98℃; 4—冷风 12℃

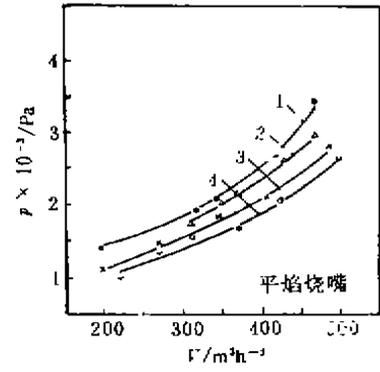


图 5 天然气燃烧时的 $p-V$ 图

- 1—热风 313℃;
- 2—热风 222℃;
- 3—热风 95℃; 4—冷风 22℃

试验是按只通空气、空气模拟天然气及天然气燃烧这三种工况下的不同预热风温进行测试的。为了便于比较,图 3~5 给出了不同工况下、不同风温的 $p-V$ 曲线,图 6 给出了同一风温、不同工况下的 $p-V$ 曲线。

由图 3~5 可以看出,在相同流量下,随着预热风温的增加,三种工况下烧嘴前空气压力都增大,即烧嘴的阻力增大,因此相同压力下随着风温的提高,烧嘴的燃烧能力将下降。若定义 $\beta = V_{0.1}/V$ 为燃烧能力下降系数,则由图 5 可知, $\beta = f(t, V)$, 即燃烧能力下降系数 β 除与预热风温 t 有关外,还与烧嘴的负荷 V 有关。根据实验可得出平焰烧嘴燃烧能力下降系数的计算式为:

$$\beta = 0.523t^{-0.095}V^{0.187} \quad (2)$$

表 1 能力下降系数 β 的实验值与计算值

来 源	冷 风	热 风 温 度 $^{\circ}\text{C}$		
		100	200	300
实验值 $\beta = 0.523t^{-0.095}V^{0.187}$	1.0	0.898	0.841	0.809
计算值 ^[1] $\beta = 1/\sqrt{1+t/273}$	1.0	0.856	0.760	0.690

分别由(1)、(2)两式所得的 β 值随风温的变化列于表 1(在烧嘴额定负荷 $V = 350 \text{ m}^3/\text{h}$ 的条件下)。

从表 1 可以看出,实验值和按推荐公式(1)的计算值存在着较大的差别,特别是随着预热风温的提高其差别就更大。这可从图 6 得到解释,图 6 表明在同一预热风温和同一负荷下,天然气燃烧时的烧嘴前空气压力比空气模拟天然气时烧嘴前空气压力要小,并且也小于只通空气时的烧嘴前空气压力,这说明对于平焰烧嘴而言,天然气的燃烧可以抵消一部分由于风温的升高而引起的燃烧能力的下降,也就是说,平焰烧嘴燃烧时不但不产生反压,相反还产生了一定的抽力;空气模拟天然气时的烧嘴阻力大于只通空气时的阻力,这说明流股的混合引起了能量损失,这部分损失与预热风温的关系不大,正是由于

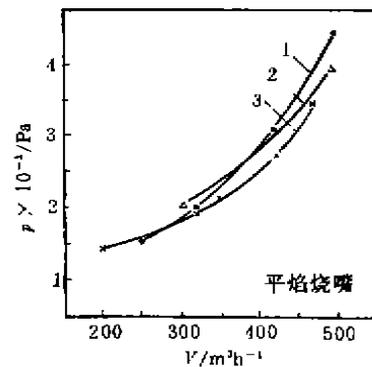


图 6 三种工况下同一风温 (313℃) 时的 $p-V$ 图

- 1—只通空气; 2—空气模拟煤气;
- 3—天然气燃烧

上述两个原因,才造成了 β 的实测值与推荐公式(1)的理论计算值的不同。

2.2 高速烧嘴、亚高速烧嘴及低速烧嘴

对高速烧嘴、亚高速烧嘴及低速烧嘴进行了只通空气时不同风温下的 $p-V$ 特性试验、空气模拟天然气时不同风温下的 $p-V$ 特性试验,对于天然气燃烧时不同风温下的 $p-V$ 特性文献[3]作了较详细的研究,这里直接引用其结果。图7绘出了各烧嘴在不同工况下同一风温时的 $p-V$ 曲线。

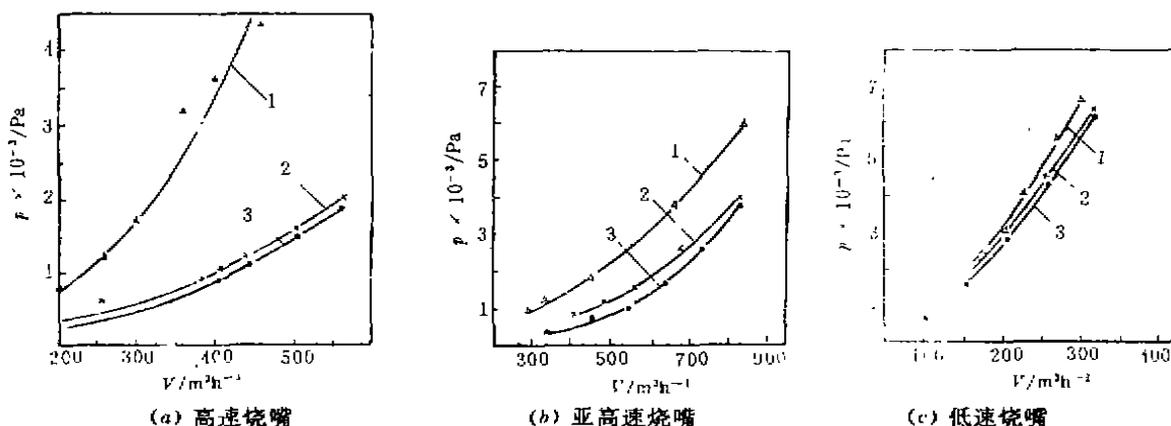


图7 同一风温下不同烧嘴的 $p-V$ 图

1—天然气燃烧 2—空气模拟天然气 3—只通空气

由图7可知,不同烧嘴在同一负荷下,天然气燃烧时烧嘴前空气压力最大,只通空气时烧嘴前空气压力最小,而空气模拟天然气时烧嘴前空气压力居中。这就进一步证明了烧嘴前压力由三部分组成,即流动阻力损失+流股混合能耗+燃烧反压。只通空气时,后两项不存在,因此烧嘴阻力最小;用空气模拟天然气时,因不存在燃烧反压,因此烧嘴阻力比燃烧时要小。另外从图中还可看出,对于不同结构的烧嘴,这三部分在阻力损失中所占的比例各不相同,特别是燃烧反压这一项与烧嘴结构有着密切的关系,从图7a可看出,高速烧嘴的燃烧反压在烧嘴阻力中占有极其重要的地位,而低速烧嘴的燃烧反压对烧嘴阻力的影响就要小一些(如图7c所示)。

3 烧嘴燃烧能力下降系数的讨论

按照前面定义的烧嘴燃烧能力下降系数 β 的定义式 $\beta = V_{0.1} / V_0$,将实验的四种烧嘴在不同的热风温度下 β 的实验值列于表2。需要说明的是表2中的数值是在各烧嘴的额定负荷下得到的,烧嘴的负荷不同, β 值略有不同,但总体规律不会发生变化。

从表2可以看出,四种烧嘴的热风燃烧能力下降系数 β 与文献[1]、[2]所推荐的公式(1)的计算值有差别,其中以高速烧嘴的差别为最大,低速烧嘴的差别最小。如前所述,烧嘴前空气压力主要取决于烧嘴内气流流动阻损、流股混合能耗及燃烧压,这三个因素中受温度影响最大的是气流流动阻损,其计算式为

$$h_{*} = k \frac{v_n^2}{2g} \rho_0 (1 + t/273)$$

表 2 各烧嘴热风燃烧能力下降系数 β 值

烧嘴类型	冷风	热风温度 $^{\circ}\text{C}$			额定负荷 m^3/h
		100	200	300	
平焰烧嘴	1.0	0.898	0.841	0.809	35
高速烧嘴	1.0	0.959	0.929	0.911	45
亚高速烧嘴	1.0	0.931	0.856	0.815	70
低速烧嘴	1.0	0.873	0.782	0.721	30
按(1)式的计算值	1.0	0.856	0.760	0.690	

显然,温度升高将使 $h_{\text{热}}$ 增大,而温度股混合能耗的影响较小,这部分能耗主要取决于烧嘴结构,燃烧反压的大小主要取决于燃料在烧嘴内部的燃烧状况,与风温的关系不明显。通过上面的分析可以认为,预热空气使烧嘴燃烧能力下降的原因主要是增大了气流流动阻损,这部分阻损在烧嘴的阻力中所占的比例越大,则热风温度对烧嘴能力的影响也越大。从前述实验结果可以看出,对于高速烧嘴及亚高速烧嘴而言,由于燃烧反压较大,使流动阻损所占比例降低了,因此也就降低了热风温度对烧嘴阻损的作用;而文献[1~2]中所推荐的公式 $V_{\text{热}} = V_{\text{冷}}/t / \sqrt{1+t/273}$ 只反映了热风温度对流动阻损的作用,若将其用于实际烧嘴燃烧能力的计算,无疑就扩大了热风温度的作用,流动阻损所占的比例越小,这种扩大的效果就越显著,例如对高速烧嘴这种扩大的效果就很明显,由此导致 β 的计算值与实测值有较大的出入;对低速烧嘴,流动阻损占有较大的比例(图 7c 中 1、3 线较近),因此 β 的计算值与实测值相近;而对平焰烧嘴,尽管图 6 中 1、3 线也较靠近,但实测 β 值与计算 β 值相差甚远,这主要是由于平焰烧嘴的燃烧反压为负所引起的,这在前面已作过分析。

因此,我们可以认为文献[1]、[2]所推荐的计算公式(1)对于绝大多数燃烧器的是不适用的,它只能适用于燃烧反压及流股混合能耗很小的燃烧器,或者说只适用于混合很差的全扩散型燃烧器,如套筒式燃烧器,其余燃烧器的热风能力下降系数都不如计算值那么大,因此,在设计和选择热风燃烧器的燃烧能力时,应根据燃烧器的类型,参照表 2 之值,选择一个合理的能力下降系数 β 值。

4 结 论

1) 通过实验研究,分析了预热空气使烧嘴燃烧能力下降的机理,找出了几种典型烧嘴的实际燃烧能力下降系数 β 与文献[1]、[2]所推荐的计算值相差较大的原因。

2) 实验结果给出了几种典型烧嘴的热风燃烧能力下降系数 β 之值(见表 2),为在设计和选用热风烧嘴时合理选择烧嘴燃烧能力提供了依据。

3) 实验结果表明,文献[1~2]所推荐的计算式(1)对大多数烧嘴而言是不适用的,因此在使用该公式时应慎重。

参 考 文 献

- 1 钢铁厂工业炉设计参考资料(上册).北京:冶金工业出版社,1979:452
- 2 工业炉设计手册.北京:机械工业出版社,1981:95
- 3 高家祺.热风有焰烧嘴燃烧能力的试验研究.工业炉,1992,14(3):9~13