

国外冶金炉的进展

冶金炉教研室编

东北工学院

一九七七年十一月

一、	燃料燃烧	
1、	钢铁企业中燃料分配及节约措施	3
2、	固定体燃料燃烧的简捷计标	6
3、	由炉生产工业燃气	7
4、	油水混烧	7
5、	燃料混烧	8
6、	关于燃烧产生的公害和抑制方法	9
7、	抑制 NO_x 的燃烧方法	11
8、	平焰烧咀	12
9、	高速烧咀	14
10、	火焰长度可调烧咀	15
11、	低 NO_x 烧咀	16
12、	火焰监视装置	17
13、	燃烧咀的不稳定燃烧和噪音	18
二、	连续加热炉	
1、	予測炉子性能的教学模型	21
2、	炉型和有效炉底强度	22
3、	推钢式加热炉	23
4、	步进式加热炉	25
5、	降低加热炉的单位能耗	28
6、	无氧化快速加热炉和钢的烧损	30
三、	均热炉	
1、	日本均热炉情况	34
2、	改善炉温分布	35
3、	富氧鼓风的应用	36
4、	波形炉衬及其他	36
四、	锻造加热炉	

1. 锻造加热炉制度	38
2. 锻坯的快速和微氧化加热	39
3. 提高锻造炉热效率	42
五. 热处理炉	
1. 连续式热处理炉	45
2. 间歇式热处理炉	47
3. 流态化层热处理炉	49
4. 陶瓷纤维的应用及其他	49

一、燃料燃烧

钢铁冶金企业是工业国家中消耗能源最多的工业部门，而冶金炉所消耗的燃料又是钢铁生产能源消耗中占有位。因此，用燃料供热的冶金炉合理和有效利用燃料的问题，不仅是关系到冶金生产的发展方向和速度发展的重大问题，而且是影响国家工业发展的重大问题。近几十年来，由于资本主义国家能源危机和大气污染的严重局面，促使各国在燃料燃烧方面开展更多的研究工作。主要的技术课题是：降低各工序的单位能耗，综合利用热能，研究新型高效能的燃烧方法和装置，防止燃料加工及其燃烧过程中产生的公害，开辟新型能源。相应地加强了燃料燃烧理论方面的研究工作。

冶金发达的国家中，除焦炭外，炉用燃料几乎不是气态燃料就是液体燃料，只有少数工厂采用粉状煤。燃烧装置（烧咀及其附属设备）发展很快，为炉子现代化创造了必要的条件。现代化烧咀的特点是燃烧效率高，能够改善炉内传热条件，使用方便，燃烧公害小。近来发展的烧咀有平焰烧咀，高速烧咀，火焰长度可调烧咀，低 NO_x 烧咀等。

1、钢铁企业燃料分配及节约措施

从历史上看，燃料经济一直得到广泛注意^[1]。高炉采用焦炭作燃料，是炼铁技术上的重大突破。高炉的另一重大突破是使用热风，使用了 $315^{\circ}C$ 的热风，使高炉的能耗率从1829年的8.05吨降到1833年的2.25吨。由于技术上不断革新，高炉每吨产品所消耗的焦炭量由1872年的2500公斤降到1972年的约900公斤。近20年，七种燃料（焦炭、非炼焦用煤、焦炭、燃料油、其他种类的油、气体、电力）的使用量有所变化，显著的是液态碳氢化合物。1950年

的7%上升到1970年的29%。同时期，每吨钢铁的热能消耗降低34%。由于原料品质的改善和采用先进的技术操作，高炉中焦炭消耗的吨铁量由1950年的1550公斤降低到1973年的925公斤。在炼钢方面，平炉在联合企业中逐渐为转炉所取代，在冷装工厂中为电炉所取代。目前，钢铁工业中净的热能消耗大致分配如下：炼焦炉及炼铁厂50%，炼钢厂15%，轧钢及维修等35%。

日本资源贫乏，能源自给率仅14%⁽²⁾，比较注重节约。这几年，一般生产每吨钢约需500—600万卡⁽³⁾。60年代分配比例大致为炼焦9%，烧结14%，高炉46%，炼钢14%，轧制15%。热能消耗比例大致为：冶金反应30%，钢材加热5%，副产品和中间产物的显热10%，排入尾气的显热20%，冷却水20%，其他15%。1975年日本钢铁业热能消耗分配为：炼铁73.8%，炼钢2.3%，轧钢9.9%，动力16.3%，其他1.7%。降低能耗的主要措施是高炉现代化（扩大容积）、喷吹重油、用转炉代替平炉、连续铸锭⁽⁴⁾。以1960年到1973年，炼铁环节的能耗消耗增大，而炼钢轧钢的热能消耗降低，炼铁由193增至275万卡，原因是铁矿品位和焦炭质量的降低，高炉用焦的灰分增加1%，则焦比增加10公斤；在炼钢中，每吨钢的热能消耗由99降至36万卡。生铁可作为热源，发热量3750^{千卡}。每吨转炉钢比平炉钢少消耗80—100万卡，而转炉钢在1960年只占14%，到1975年占82%。

日本钢铁工业降低能源消耗的重大技术措施有⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾：

(1) 炼焦炉采用干式熄焦，每吨焦炭可回收0.4吨蒸汽，可供钢铁厂用蒸汽量的一半。

(2) 高炉现代化，措施是扩大容积（大型化），推广连

合鼓风，加强原燃料的予处理。1976年，日本有高炉72座，其中容积大于2000米³有37座，技术指标较好，如下表⁽⁶⁾

1976年日本高炉主要技术指标

容量,米 ³	座数	有效利用系数,吨/米 ³ ·时	焦比	煤比
<2000	35	1.80	435	490
2000-4000	26	1.82	424	475
>4000	11	1.94	427	477

日本福山厂5号高炉的技术指标(76年6月平均值): 容积4617米³, 直径14.4米, 产旁9534吨, 利用系数2.06吨/米³·时, 焦比410 kg/t, 油比53 kg/t, 燃料比463 kg/t, 富氧率0.68%, 风温1273℃, 烧结率81.1%, 球团率3.1%。

(3)利用高炉与顶炉废气余压驱动涡轮机, 产生的动力相当于钢铁厂使用电力的7%。

(4)回收热风炉废气余热, 可回收燃料热能的5%。

(5)把高炉湿式送风改为脱湿干式送风。

(6)利用烧结机烧结块余热予热燃烧用空气。

(7)发展氧气转炉炼钢, 转炉钢比平炉钢少消耗热能80~100万kcal/吨。

(8)回收转炉废气, 其发热量1800—2200 kcal/米³, 新日铁公司达到回收率88.5%。

(9)发展连铸, 比过去用均热炉加热少消耗热能15万kcal/吨。

(10)提高均热炉热装温度, 采用快速加热。

(11)改善燃烧咀, 如采用平焰烧咀和快速烧咀等。

(12)采用加热炉滑道气化冷却, 对于产量为250吨的炉子, 可回收蒸汽10吨/时。

(13)延长连续加热炉长度, 减少予热段热负荷, 炉底强度由800降至600 kcal/米²·时左右, 使炉尾温度下降。

(14)利用加热炉尾气直接喷射钢材的方予热钢材。

(15) 发展连续热处理炉。

(16) 采用散装 (不定形) 耐火材料和陶瓷纤维, 强化炉子绝热, 减少散热和蓄热损失。

(17) 严密封炉体, 防止侵入冷空气, 采用限制过剩氧的燃烧法。

(18) 改进尾气余热利用装置。

(19) 改进仪表检测系统, 利用电子计算机进行生产过程的最优控制。

(20) 改进操作, 延长炉体寿命, 增加炉子作业率。

(21) 实行科学的热管理, 提高燃料的利用率。

1976 年日本轧钢生产的热耗 (标/吨) 为⁽⁶⁷⁾: 初轧 177, 厚板 426, 线材 318, 热轧带钢 389, 冷轧带钢 279。

2. 固体液体燃料燃烧的间接计标。

根据发热量和元素成份, 利用下列公式可以间接地确定固体和液体燃料的空气消耗量和产物量^[7]。理论干空气消耗量 V_0 (标³/吨) 和燃料的低发热量 $Q_{低}$ (标/吨) 的关系。

$$V_0^{干} = 1.0975 \times 10^{-3} Q_{低}^{干};$$

$$V_0^f = 1.0975 \times 10^{-3} Q_{低}^f;$$

$$V_0 = 1.0975 \times 10^{-3} (Q_{低} + 6W^f), \text{ 标}^3/\text{吨}。$$

式中 W 为燃料中水份含量, 角标“燃、干、供”分别表示燃料中的可燃成份、干燥成份和供用成份。 $Q_{低}$ 的值可用门德列耶夫公式计标, 即

$$Q_{低} = 81C^f + 24.5H^f - 3A^{35}(O^f - S^f) - 6W, \text{ 标}^3/\text{吨}。$$

计标值和测定值的偏差: 对于石油和重油 0.25%, 无烟煤和瘦煤 0.5%, 烟煤 0.75%, 褐煤 1.25%, 油页岩 2.5%, 泥煤 3.5%。设空气中水含量为 10 标/吨, 则理论燃烧产物量

$$\text{固体燃料 (油页岩除外)} \quad V_{0.f} = 1.027 \times 10^{-3} (Q_{低}^f + 8.34W^f) - \frac{A^f}{100};$$

$$\text{油页岩、原油、重油} \quad V_{0.f} = 1.18 \times 10^{-3} (Q_{低}^f + 18.4W^f), \text{ 标}^3/\text{吨}$$

而空气过剩时燃烧产物为

$$V_p = V_{p0} + 1.0161 V_0 (\alpha - 1), \text{ 标准升}。$$

以上诸式中， α 为空气过剩系数， A 为燃料中灰份的含量。

3、由炉生产工业燃气

天然气约占美国工业能源的 47%，每年用量最高达 2560 亿米³，1975 年降至 2270 亿米³，估计将短缺 322 亿米³，炉的气化是最好的补充气体燃料⁽⁸⁾。用富氧发生炉制造的一种燃气，组成为 CO 56%、 H_2 34%、 CO_2 9%、 N_2 1%，发热量 2380 千卡/米³，在空气中的理论燃烧温度 2030℃。用高压固定床气化器制造的燃气含 CH_4 约 14%，发热量达 3480 千卡/米³，可用于炼钢厂。但常压炉气化较有前途，因为投资少，炉的气化率较高（比高发热量燃气高 10-15%），例如：生产率 2372 吨/时的工厂，产出燃气热值 8.89 亿千卡/时，投资 1.2 亿美元，人员 172 人，用氧（98%）量 2460 吨/时，价格 12.5 美元/百万千卡。

4、油水混烧

油水混烧，又名油掺水燃烧，既能降低燃烧烟气中 NO_x 含量，有利于防止公害，又可能改善燃烧过程，节约能源，是一项引人注目的新技术。九年前，将油水用机械搅拌的方法充分乳化后，用改良的烧咀可以稳定地燃烧含水 50% 以上的废油，同时发现燃烧含水 10-15% 的油和燃烧普通油的效率几乎没有差异。为确认燃料节约和降低 NO_x 这两效果，在锅炉和加热炉上又进行了实验⁽⁹⁾。实验证实，含水率越高， NO_x 的排出量越少，在不增加燃料消耗量的混水率燃烧时， NO_x 量可以降低 30-50%；根据炉子的条件和混水率，有相当的节油效果，例如对于温炉 1200℃ 的退火炉，使用含水 13% 的重油时，可以节油 10%。适当的混水率应根据炉内温度，炉子构造而定，须进行

实测。像对于空气系数受到限制的炉子，如锅炉，或者炉内温度低的燃烧设备，节油效果不大。此外，对于金属加热炉、退火及锻造炉，油水混烧可减少氧化皮屑。

5. 燃料混烧

重油与燃气或其他燃料混烧，有利于防止大气污染、节约能源、燃料供应稳定等。

日本东京芝浦电气公司，把原来专烧重油的锅炉（10吨/时）改为燃气和重油混烧⁽¹⁰⁾。燃气量一定，而燃油量随锅炉负荷而变化；或者两者的热值保持1:1；也可以专烧油或燃气，油咀用蒸汽喷射式，燃气烧咀用高压型。改造前后的对比：

	NOx ppm	燃气量 kg/时	热效率 %	热负荷 kg/时	燃气油比
改造前	159	0.068	82.5	33×10^4	0:1
改造后	93	0.007	82.8	35×10^4	1:1

认为城市燃气主要用于中小工厂加热炉用途中综合效率（包括转换效率、输送效率、加热炉效率）最高，而且管理方便，环境改善⁽¹¹⁾。在中小型锅炉上专烧油的喷咀的侧内要装了燃气烧咀，燃气使用量占10%，结果火焰缩短了1/4，抑制了烟臭，热效率提高12—21%。主合金甘锅炉上用城市燃气代替重油表明，金属损失减少了，SO₂减少了，烧咀燃烧噪声也减少了，甘锅寿命延长一倍，炉子热效率也提高一倍。

甲醇用作发电和钢铁工业燃料时，可以单独燃烧，或与粗汽油、重油、原油等混烧⁽¹²⁾。甲醇不含油硫，含氮也很微。燃烧特性是火焰温度约1200℃（重油1300℃），火焰呈青紫色，辐射率0.1。雾化是今后应研究的问题。与油混合时，随着甲醇配比增加，粘度增大，特别是混合物含甲醇

65% 时，粘度为原油的 30 倍左右，油泵输送困难，造成管道堵塞或难以雾化，因此应在烧咀前进行混合。

6、关于燃烧产生的公害和抑制方法

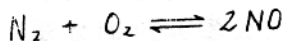
为防止大气污染，应控制燃烧气体中二氧化硫与氧化氮的含量。

减少二氧化硫的措施是采用含硫低的原油，或者将重油脱硫⁽¹⁴⁾。有两种脱硫法：(1) 直接脱硫，使常压蒸馏残油再进行减压蒸馏，分离出减压轻油，然后又进行氢化脱硫，使重油含硫量减到 0.1—0.2%。(2) 直接脱硫，使常压蒸馏残油直接进行氢化脱硫，可得含硫 1% 的重油。

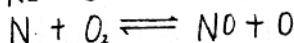
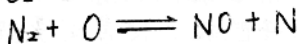
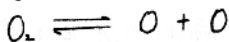
散入大气中的二氧化硫的数量和浓度，仅与燃料的成分和燃烧有关，而燃料脱硫和由烟气中去二氧化硫的方法还远未得到广泛应用，因此近年内不会去降低烟气中二氧化硫的浓度。这样一来，大气污染程度就主要取决于氧化氮的浓度⁽¹⁵⁾。

燃烧时产生的 NO_x 有两种来源，一种是高温 NO_x ，是由空气中的氮在高温下氧化而生成；一种是燃料 NO_x ，是由燃料中所含的氮化物燃烧时转化而形成⁽¹⁵⁾。控制高温 NO_x 的基本措施是降低燃烧温度，减少过剩空气，缩短高温持续时间。目前，对含氮量小于 200 ppm 的燃料，燃料 NO_x 只占各 NO_x 量的 7%，可以不考虑，但是含量若达 0.2% 时燃料 NO_x 就达 46%，就必须考虑排烟脱 NO_x 装置，否则就达不到防止污染的指标。一般，就排出 NO_x 的倾向来说，沥青 > 重油 > 轻油 > 燃气。如果同时变更燃烧方式（负压燃烧、炉气循环、水喷射）和燃烧条件（低空气系数，降低空气预热温度，降低燃烧口热负荷），和采用低 NO_x 烧咀等，则优质燃料的效果的更大。所以，燃气是较“干净”的燃料。

关于 NO_x 的发生机理和排出特性，是燃烧研究的重点课题之一 [27][16]。空气中



的反应速度很小，苏联 Zeldovich 提出热力生成论，认为燃料燃烧时，



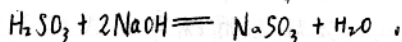
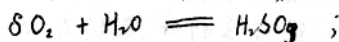
所以 NO 量与氧的浓度、温度、湍流时间等有关。CO 和 H_2 在空气中燃烧时，其火焰中 NO_x 很少；而燃烧碳氢系燃料时， C/H 的比值愈大，则 NO_x 量愈大，所以把油气化成 CO 和 H_2 再燃烧，即分段燃烧是有利的。调查了美国洛杉矶的 1000 台热力设备，提出 NO_x 排出量。

$$W = \left(\frac{C}{A \cdot 10^5} \right)^{1.18} \frac{\text{kg}}{\text{kg 燃料}}$$

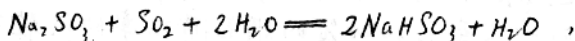
式中 C 为燃烧量， $\frac{\text{kg}}{\text{kg 燃料}}$ ； A 为系数，对于液化天然气为 3.25，石油为 2.2，煤为 1.9。该式说明，烧煤或油的大型热力设备尤应注意抑制 NO_x 。国际火焰研究基金 (IFRF) 于 1974 年研究了燃料燃烧 NO_x 排出问题，认为：(1) 空气予热温度在 300°C 以下时无显明的影响，超过 300°C ，随予热温度增高 NO_x 量增加；(2) 燃烧过程分阶段进行，使火焰温度下降 $100-200^\circ\text{C}$ ，可减少 NO_x 的生成量；(3) 炉子使用多个燃烧咀时，燃烧咀之间距离小于一定距离时， NO_x 显著增加；(4) 加水使油乳化后燃烧， NO_x 量无变化，但烟量减少 $7\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{4}$ ，水的添加量在 12% 内效果明显；(5) 火焰从燃烧咀喷口喷出后，创造条件使火焰附近炉气循环流动，可使火焰温度降低，减少 NO_x 量。

防止燃烧排烟公害的另一途径，是采用净化系统脱除排烟中的 SO_2 和 NO_x ，但是目前成本较高，应用有限。

日本國光制鋼公司兩個軋鋼廠所使用的重油連續加熱爐，采用了濕式脫硫系統，用苛性鈉作吸收液⁽¹⁷⁾。廢氣由原有煙囪上部引出，送到噴霧反應塔，在其中的反應是



然后用引風機將廢氣送入吸收液槽，反應是



最後，廢氣由吸收槽上邊的排氣煙囪排出。脫硫效果達 97%，含塵量 0.035—0.043 克/標米³。採用此系統的成本（包括設備拆旧費在內）為 26 元/噸油。

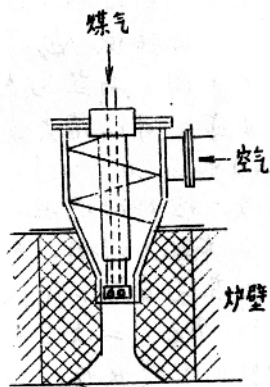
7. 抑制 NO_x 的燃燒方法

抑制燃料燃燒 NO_x 的途徑之一是採用抑制 NO_x 的燃燒方法。實用的抑制 NO_x 的燃燒方法有：過剩燃燒法，二段燃燒法，廢氣循環法⁽¹⁸⁾。過剩空氣法是在一個通常的燒咀位置上安裝兩個燒咀，一個是燃料過剩的燒咀，一個是空氣過剩的燒咀，這兩個燒咀同時燃燒，可以抑制火焰溫度，從而降低 NO_x 量。空氣係數為 1.25—1.54 的燒咀通常裝在上面，而空氣係數為 0.74—0.83 的燒咀裝在下面。如有必要，可以增大過剩比，但應注意由於燃燒不良而引起的煙炱和 CO。此外，也可以使用自動過剩燒咀，即使用多孔噴出燃料的燒咀，噴孔分大小兩種，交叉佈置，此時燃料分佈就不均衡。可降低 NO_x 20—40%。二段燃燒法是将助燃空氣分為二階段引入，一次空氣量限制為理論空氣量的 80—90%，二次空氣從幾個位置逐步引入，这样就抑制了激烈的燃燒反應，防止了局部高溫區的產生。廢氣再循環法，是将一部分煙氣混入空氣，用這種混合氣體作為助燃氣體。此法也能抑制火焰溫度，減慢燃燒反應，從而減少高溫 NO_x ，但是不能減少燃料 NO_x 。此外，在燒重油時，

因废气中含有10% H_2O 和14% CO_2 ，它能促进碳粒子的氧化反应，还能抑制烟焦的产生。由于实验条件不同，此法的结果各异。此法对火焰的黑度也有影响，甚至会影响到火焰着火的稳定性。据经验，循环率的上限约为30—50%。同时使用25%二次空气和25%烟气循环率的试验表明， NO_x 降低率可达50%；同时使用34%过剩率的自动过剩烧咀19—20%的一次空气和26%的烟气循环率的试验表明， NO_x 的降低率可达68%。

8. 平焰烧咀

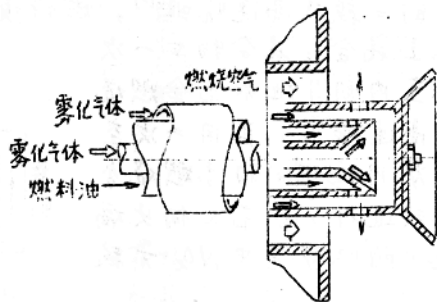
苏联基辅高尔基机床厂进行了钨送炉使用平焰烧咀的工业试验^[17]。炉子是双室式，配合750公斤钨锤，生产率400磅，物料加热温度1250℃，烧天然气。原先，炉子配置4个Г17—4型喷射式烧咀，安装在炉子两侧壁，每侧两个，燃气流量50磅/时。改造后，用二个平焰烧咀，每个炉室一个，装在炉顶。烧咀的结构特点如图。每个烧咀的能力16磅，烧咀前天然气压力800毫米水柱，空气压力220毫米水柱。燃气供入管的端头有6个中2.3毫米的侧喷孔。燃气喷出后和旋转流动的空气相遇，着火，燃烧气流在烧咀磁坑道内继续旋转，附着四周的炉壁散开，形成厚的200—250毫米的盘状扁平火焰。这种烧咀的火焰不直接接触物料，它均匀地加热附近的炉壁，再靠炉壁辐射加热物料。烧咀的可调比1:4，空气系数0.7—0.8至1.6—2.0。改造后，



平焰烧咀

加热后时间由3小时降至1—1.5小时，烧损由2—3%降至1.5—2%，炉气消耗减少30%。

图示日本NFK—TRW低 NO_x 油烧咀^[1]。在烧咀端部设折射板，其周边形成预混合区，燃烧用空气在出口处与放射状喷出的燃料混合，在混合区形盘状层，结果燃烧后生成扁平火焰。由于火焰因面积大而散热快，而且存在炉气向火焰回流，使火焰温度下降，所以 NO_x 量减少。



NFK-TRW 型低 NO_x 油烧咀

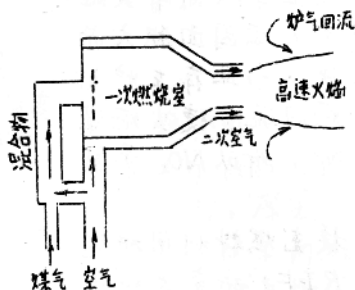
捷克燃料利用研究所(RIF)研究大张角烧咀砖的平焰烧咀^[20]。该烧咀空气呈切线方向

进入，造成旋转气流；炉气用直管通入。空气和炉气在进入烧咀之前，经烧咀中混合室混合，可使二者在烧咀中迅速燃烧。烧咀砖是扩张圆锥形，张角有 90° 和 120° 两种。气流的轴向速度很小，所以得到径向放射的平火焰，增大了火焰的辐射面积。该烧咀有7种规格，燃烧能力由 15×10^3 到 380×10^3 升/时，适用于各种炉气，空气压力 $150 \frac{公斤}{厘米^2}$ ，炉气压力更低一些。用途例如，在立式炉上用做炉顶烧咀，在隧道窑上用作侧烧咀。捷克炼铁研究所研制成HK5—211型烧咀，结构特点是空气垂直进入烧咀后经过一些切线小孔进入烧咀砖，造成气流旋转，炉气与空气在烧咀前部份混合，烧咀砖做成特殊的圆牙角的喇叭状喷口，使气流沿炉膛内表面径向散开，形成平焰。烧咀系列共有5种规格。

能力由 35×10^3 到 500×10^3 磅。该烧咀的火焰稳定性较好，空气压力可达 $250 \frac{\text{磅}}{\text{英寸}^2}$ ，炉气压力可以为 $100-200 \frac{\text{磅}}{\text{英寸}^2}$ 。空气可以予热，可以有过剩空气。

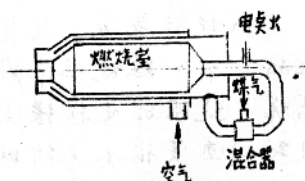
9. 高速烧咀

图示日本 NFK-TG-APOC 型烧咀的结构原理，它是典型的二段式高速烧咀^[1]。燃料预先和理论空气量的一半的空气混合，混合物在第一次燃烧室内均匀地不完全燃烧，以高速喷出，再用二次空气在炉内续燃。由于燃烧分两阶段进行，炉气又向火焰回流，所以炉气中 NO_x 量较少。



NFK-TG-APOC 型高速烧咀

图示苏联研究的一种高速烧咀，用于钢坯锻造前的快速加热^[2]。结构特点是燃烧室是用空气冷却的金属套筒，而所得的热空气和炉气混合，喷入燃烧室燃烧。烧天然气，炉气另予冷却，空气另予冷却，可调节比 1，烧咀前炉气压力 750 毫米水柱，空气压力 1300 毫米水柱，火焰喷出速度 $30-220 \frac{\text{秒}}{\text{分}}$ 。



金属套筒式高速烧咀

高速火焰直射钢坯，以对流的方式快速加热。

日本东洋炉气公司发展了一种高速烧咀，它由于有特殊形状的保焰板，燃烧稳定性大幅度提高^[2]。燃烧负荷 $100 \frac{\text{磅}}{\text{秒}}$ 时，空燃比可至 0.8-1.5 的范围内变动，火焰喷出速度 $200 \frac{\text{秒}}{\text{分}}$ 。由于喷速高，促使炉内气体循环，使炉温均

勻。

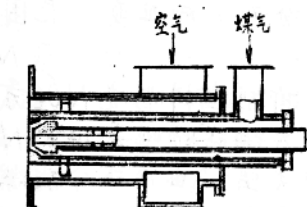
10、火焰长度可调烧咀。

火焰长度可调烧咀，它可以根据炉内被加热的形状和尺寸、辐射热量的分布，空气系数，燃烧的性质和燃烧另等要求调节火焰长短，有利于各种尺寸的炉子通用一种规格的烧咀。

图示一种结构简化了的这种烧咀，特点是燃气主通道中配置了一根调节芯杆，它可在左右移动，芯杆的端头是锥形，内有燃气副通道^[23]。这样，烧咀中燃气可能有两条出路，一条是芯杆锥形头与烧咀主燃气道之间的环缝喷出，另一条是从芯杆中副燃气道喷出。

改变芯杆的位置，就改变了环缝的面积，也就改变了两种喷出方式燃气喷出量的比例，从而改变燃气与空气的混合程度，改变了火焰长度。空气从外管切线方向流入，空气可以是冷空气，也可以是预热（400—500℃）空气。烧天然燃气，燃烧能力50%时，空气系数在0.8—1.5范围内变动都不致火焰中断。烧咀用钢板焊制，重量小。空气与燃气道的阻力都不大，鼓风压力300—500毫米水柱。

发展了一种火焰长度可调的二次雾化烧咀^[24]，结构特点是雾化剂分两路供入，燃料油由中间管路通入与一次雾化剂相混，通过一次喷出口喷出，所形成的油雾再与二次喷出的二次雾化剂相混进行再次雾化；一次雾化剂喷嘴直径1.9毫米，与中心线何对倾斜45°，共有8个孔，二次雾化剂喷嘴直径1毫米，共8孔，何内倾斜70°。变化燃料另 W_f ，一次空气另 W_{a1} 和二次空气另 W_{a2} ，就可以改善雾化



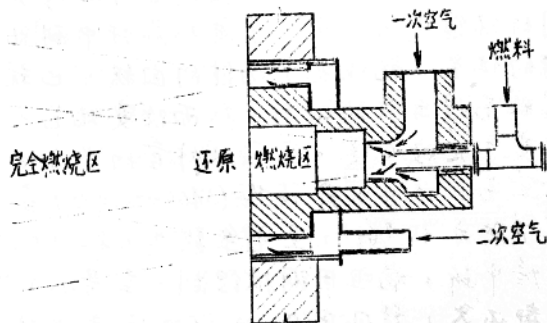
火焰长度可调烧咀

张角和火焰长度。当 W_{a2}/W_{a1} 大，则雾化张角 θ 就小，火焰长；当 $W_{a2}/W_{a1}=0$ 时， θ 最大，火焰最短。雾化剂的一部分作为二次喷射可以改变雾化张角和火焰长度，辐射热量的分布，而且变化范围较大。

11. 低 NO_x 烧咀

抑制燃料燃烧 NO_x 的最基本措施是改进喷嘴结构。分散火焰式喷嘴是抑制 NO_x 的新型烧咀^[25]。按结构原理有 6 种类型：油压式分散燃烧法，蒸汽喷雾分散燃烧法，蒸汽喷雾长焰燃烧法，循环涡流混合燃烧法，圆形平焰燃烧法，扇形扁焰燃烧法。

日本中外炉公司研制成 FH 型低 NO_x 烧咀，是分段燃烧式，可用于大型钢材加热炉^{[26][27]}。



FH 型低 NO_x 烧咀

例如在炉温 1350°C 、燃烧量 2000×10^4 标方、空气预热温度 400°C 的条件下， NO_x 的降低率在燃烧液化石油气时为 75—85%，重油时 40—45%，灯油时 50—55%。

日本大同钢公司和西经热公司共同研制了自燃再循环式喷嘴，特点是燃烧完全而且不产生灰基^[28]。