

出国技术考察报告

冶金热能赴美技术考察

冶考81—52

(内部资料·注意保存)

冶金工业部情报研究总所
四川省冶金情报标准研究所

目 录

前 言	(1)
一 工业炉热工技术	(2)
(一) 烧咀	(2)
(二) 燃料及燃烧控制	(6)
(三) 热回收技术	(7)
(四) 均热炉	(9)
(五) 轧钢加热炉	(10)
(六) 无氧化加热	(13)
二 煤预热炼焦技术和煤岩研究	(15)
(一) 煤预热炼焦技术	(15)
(二) 煤岩研究	(29)
三 煤炭液化	(35)
(一) S R C 煤液化工艺发展概况	(35)
(二) S R C 煤液化工艺的两流程	(35)
(三) 哈默维尔研究中心的 1 吨/日装置	(38)
(四) 示范厂计划	(39)
(五) 其他	(40)
(六) 几点看法	(34)

前 言

由冶金部鞍山热能研究所和东北工学院五名同志组成的冶金热能考察组，于1980年5月21日至6月13日在美国进行了技术考察。考察了有关的科学研究单位、专业性公司和钢铁厂等十四个单位。这次技术考察是以冶金能源转换技术、工业炉热工及钢铁生产节能技术为主，包括工业炉热工技术、炼焦煤的预热及煤液化技术等部分。第一部分属于技术动态性的考察，后两部分属于专题性的技术考察。

考察期间得到了美中贸易全国委员会的大力协助，致使考察工作进展顺利，并取得了预期的效果。

现在根据实际参观和座谈的内容，以及美方有关单位所做的介绍和提供的资料，把这次考察情况分三部分总结汇报如下。

由于考察时间短促，考察人员技术水平和业务能力有限，在总结报告中难免有不足和错误之处，诚望批评指正。

考察组成员：

慕玉生	冶金部鞍山热能
陆钟武	东北工学院
钱湛芬	冶金部鞍山热能研究所
王剑锋	冶金部鞍山热能研究所
陈启新	冶金部鞍山热能研究所

考察单位

1. FMC Cogas开发公司
2. 伯利恒钢铁公司研究中心
3. 海湾石油公司
4. 美国能源部匹兹堡能源技术中心
5. 美国钢铁公司蒙罗维尔研究中心
6. 匹兹堡大学冶金系和材料工程系
7. 劳孚特斯炉子公司
8. 德拉孚公司
9. 考柏斯公司
10. 米德兰——罗斯公司瑟菲斯分部
11. 内陆钢铁公司
12. 美国钢铁公司格里厂
13. 美国钢铁公司费尔菲尔德厂
14. 美国环境技术公司

一. 工业炉热工技术

(一) 烧咀

1. 低 NO_x 烧咀

氮氧化物 NO_x 是燃烧产物中的一种有害成分。近些年来,人们逐步认识到 NO_x 对于人体及动植物的危害,而开展了大量的研究工作,以便探明减少 NO_x 生成量的途径。

研究表明:烟气中 NO_x 的生成量与火焰温度密切相关。温度愈高 NO_x 的生成量愈大,所以,为了减少 NO_x 的生成量,应该降低火焰高温区的温度。此外,降低空气系数也能减少其 NO_x 的生成量。

大多数低 NO_x 的烧咀是按照上述的研究结果进行设计的。这些烧咀在燃烧方法上采用两段燃烧法,即在火焰根部只供给理论空气量的90~95%,其余的空气则在较远处供入。这样就可使火焰的最高温度降低一些,并且可以防止局部区段有过多的空气与燃料接触。据米德兰——罗斯公司瑟菲斯分部(Midland—Ross Surface Division)提供的资料,这种方法氮氧化物能减少50%。

瑟菲斯分部所设计的低 NO_x 烧咀就属于这种型式,称为FH型烧咀。该分部从1974年10月起,正式在钢厂加热炉和均热炉上试验。试验经费来源于“日本钢厂防止 NO_x 技术发展基金会”。现在,这种类型的烧咀已投产使用550多台。这种烧咀的火焰较长,火焰根部温度比一般烧咀要低,沿炉子长度方向的温度曲线比较平滑。这种烧咀在空气系数较低的情况下,既能减少 NO_x 生成量又能节约燃料。据介绍油烧咀和煤气烧咀均可采用这种方法,不管空气预热温度或高或低,均能收到以上两方面的效果(瑟菲斯分部研制的低 NO_x 烧咀构造原理如图2—1所示)。影响 NO_x 的主要因素有三点:

- (1) 二次空气喷咀的位置;
- (2) 一次空气和二次空气的速度;
- (3) 一次空气与二次空气的比值。

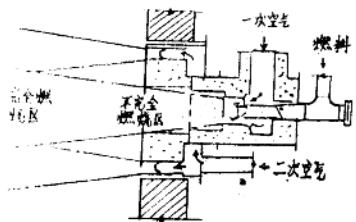


图1 FH型低 NO_x 烧咀原理图

2. 可调火焰烧咀

通过改变火焰长度是调整炉内（长度方向上和宽度方向上）温度分布的一个重要手段。这一点在普通烧咀上一般不易做到。

可调火焰烧咀的特点，就是可以在燃料量和空气量均保持一定的条件下，改变火焰长度。这种烧咀可以有多种不同的结构形式（瑟菲斯分部的可调火焰烧咀原理结构如图2—2所示。）

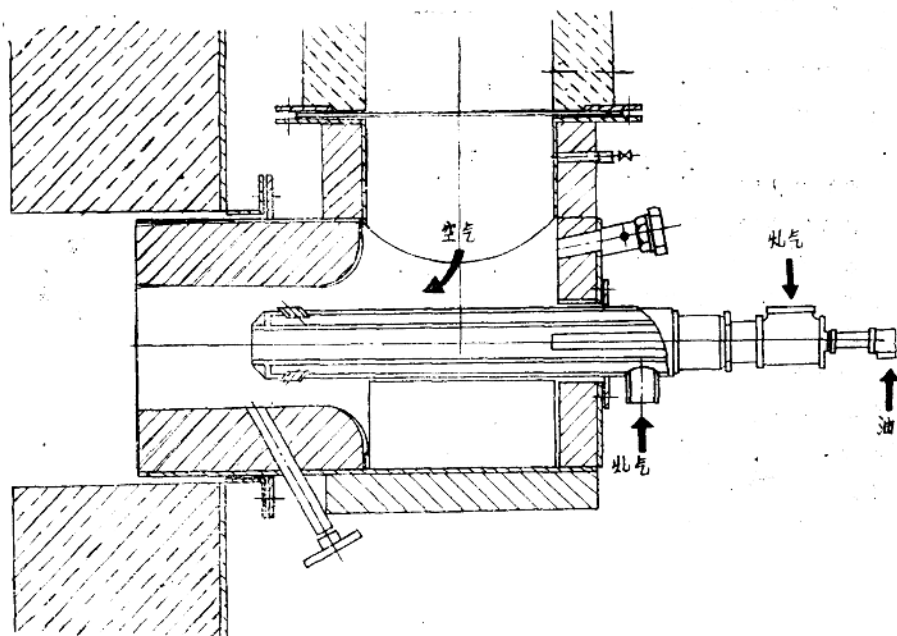


图2 可调火焰烧咀

这种烧咀上有两个煤气入口，其中一个与轴向出口相通，另一个则与径向出口相通，这两股煤气流以不同的角度与空气流汇合，它们的流量可以分别加以调节。

在煤气量一定的情况下，轴向供入的比例愈大，炉内的火焰愈长。反之径向供入的比例愈大，火焰愈短。

调节这两股煤气量比例的依据是炉内不同部位的温度。例如在上燃式均热炉上使用这种烧咀时，在均热炉前后墙上都装设热电偶，依据这两处温度，调节两股煤气流的比例。如前墙（烧咀对面）温度过高，则开大轴向通道的阀门，使火焰伸长。这样就可满足加热操作的特殊要求，保证炉料均匀加热。

3. 富氧烧咀

向助燃空气掺入氧气，使空气氧含量提高到35%，甚至45%，能收到比较显著的效果，例如，在炉子废气温度为1370℃的条件下，使用空气作为助燃剂，炉子热效率为32%，如将空气中氧含量提高到40%，就能使炉子热效率提高到55%以上。

节约燃料的效果与富氧程度密切相关。在氧含量较低的范围内，提高氧含量有明显

的效果。但氧含量高于40%时，如继续提高富氧程度，则节能效果不能成比例地增长。所以，有必要研究纯氧烧咀。为了提高炉子热效率，只要研究富氧烧咀就足够了。

富氧烧咀的节能效果与炉子废气温度直接相关。废气温度愈高的炉子，富氧燃烧的效果就愈大。至于富氧燃烧的经济效果，则取决于燃料和氧气的价格。如有廉价的氧气供应，则富氧燃烧在经济上肯定是有利的。但必须指出，这里并不需要昂贵的高纯氧，与此相反，最好能有低纯氧（例如含氧50~70%）的来源。这种氧气的价格应该是最便宜的。

在研究富氧烧咀时，瑟菲斯分部特别注意了以下几个问题：

（1）烧咀砖的保护问题（富氧燃烧火焰温度较高，如设计不当烧咀砖很容易烧坏）；

（2）防止回火；

（3）防止过大的噪音产生；

（4）力争较大的调节比；

（5）选用合适的点火器和火焰监测装置。

瑟菲斯分部富氧烧咀简图如图3所示。

在这个烧咀中，采用了冷空气（富氧）包围煤气流股的方案。这样可以使烧咀砖不与高温火焰接触，以防止烧坏。火焰的稳定燃烧主要靠回流的连续点火作用来保证。不采用预混合形式，而是采用喷头外混合式，以防止回火的危险。该烧咀的调节比为10:1。

据介绍在试验过程中噪音曾经很大，后来逐步解决了这个问题。

这种烧咀已形成系列设计，共有四种规格，即0.5、1.0、2.0、4.0百万英热单位/小时，其主要参数如表1。

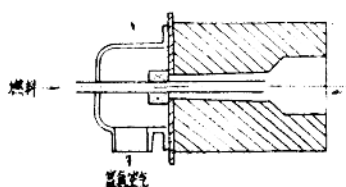


图3 富氧烧咀简图

4. 脉冲式烧咀 (Frequency Modulating Burner)

瑟菲斯分部现在正在研究一种脉冲式烧咀，这种烧咀主要用于台车式炉上，同时也适用于供热负荷不断变化的加热设备上。当炉子的热负荷需要改变时，就靠调节烧咀出口的火焰间断的频率来实现。这种烧咀被列为瑟菲斯分部八十年代热工技术研究项目之一，尚无产品，所以有关它的结构均不十分清楚。

除此而外，还有高动量烧咀也在研制中，并正在批卷罩式退火炉进行生产试验，以确定其装设的位置、角度及数量等。预计80年即将有商品出售。它最大的好处就是借助燃烧产物推动炉内气体流动，使炉内温度均匀。这种烧咀属于预混式烧咀，所以出口动量很大，有利于强化对流传热。

表 1

烧 规	咀 格	空气管 内 径	煤气管 内 径	操 作 参 数						
				富氧空气 压 力	天然气 压 力	天然气 流 量	空 气 流 量	氧流量	氧含量	最 大 能 力
10^6 英热单位/时		英寸	英寸	磅/英寸 ²	磅/英寸 ²	标呎 ³ /时	标呎 ³ /时	标呎 ³ /时	%	10^6 英热单位/时
0.5		3	$\frac{3}{8}$		6.5	300	2800	—	21	0.3
				1.0	17	500	2300	500	35	0.5
					27	640	1960	840	45	0.64
1.0		3	$\frac{3}{4}$		6.5	606	5600	—	21	0.6
				1.0	17	1000	4600	1000	35	1.0
					27	1280	3910	1690	45	1.28
2.0		3	1		6.5	1190	11200	—	21	1.19
				1.0	17	2000	9200	2000	35	2.0
					27	2560	7820	3380	45	2.56
4.0		4	1½		6.5	2390	22400	—	21	2.39
				1.0	17	4000	18400	4000	35	4.0
					27	5120	15640	6760	45	5.12

(二)燃料及燃烧控制

1. COM燃料

从1978年开始,美国能源部匹兹堡能源技术中心(PETC)着手研究煤、油混合燃料,即通常所说的COM燃料。据介绍COM燃料试验已基本取得成功,并为工业上扩大使用打下了良好的基础。

燃烧试验是在一台700马力双鼓“D”型水管锅炉上进行的,锅炉每小时产生饱和蒸汽10吨,表压力为12.5公斤/厘米²,蒸汽用于试验过程加热。锅炉燃料为№6燃料油和COM燃料。COM燃料是在一个装有搅拌器的混料槽内制备的,并用蒸汽间接加热。制备时先将煤粉碎到90%—200目,然后以每小时900公斤的速度加到№6燃料油中。边加热边搅拌,混合好的COM燃料用调速泵送往锅炉烧咀,进行燃烧试验。烧咀原设计是烧№6燃料油的内混式蒸汽雾化烧咀,在做COM燃料燃烧试验时,将烧咀部分结构件材质做了改变。同时为了防止堵塞撤掉了一些阀门和差压调节器。

锅炉排出的烟气须先经过空气热交换器,以调节进入布袋式除尘器的烟气温度。烟气中的SO₂用喷固体碳酸氢钠吸附的方法脱除。试验装置附设有齐全的量仪表和一台处理试验数据用的计算机。

试验过程中,COM燃料中煤的配比为30%、40%或50%,每次试验的持续时间为6小时。此外,还进行了40%煤浓度的500小时运行试验,使用的煤有洗精煤和原煤两种,前者灰分为9.2%,后者为11~14.8%。

试验结果表明:原烧油锅炉使用COM燃料,煤配比量高达50%,对锅炉性能也没有多大影响,不会使产汽量减少,而且锅炉效率与烧油时相同。只是煤量在50%时,用洗精煤和原煤,锅炉效率略有不同,主要原因在于碳的转化率有一定差异。另外COM燃料的过剩空气系数比烧油稍有增加。NO_x的排放量随燃料中煤的含氮量和过剩空气量而增加。SO₂排放量则取决于燃料中硫的含量。灰尘的排放量和炉灰的沉积量取决于燃料的灰分含量。但锅炉水冷壁的积灰与燃料含灰量毫无关系。

此外,长时间运转试验表明,由于积灰不断增加可能会中断锅炉的运转。不过早期的灰可以用吹灰器吹掉,所以试验期间未发生过锅炉减产的情况。

COM燃料试验主要问题是喷咀磨损严重。据介绍用不锈钢和工具钢都不行,后来改用碳化钨镶嵌材料。再有泵的个别零件也要选用合适的材料,如改用钼转子,会有所改善。有关喷咀及泵的材质问题,现仍在研究当中,预计不久可以解决。

总之COM燃料在工业上使用,技术上是可行的,而且可以代替很大一部分油量,无论是在取暖方面还是在发电方面都有重要意义。仅在这两方面使用COM燃料美国每天就可代油350000桶到500000桶。

2. 过剩空气量的监测

监测燃烧过程中的过剩空气量,被认为是节约燃料的一项重要措施。就其重要性而言,甚至可与预热空气和富氧燃烧措施相仿。

监测过剩空气，一般推荐的方法是用氧探头 (Oxygen Sensor) 连续测定烟气中的氧含量。

考宁玻璃公司 (Corning Glass Works) 是美国有名的一家玻璃公司，它生产氧探头及配套的二次仪表。探头的外型与热电偶相似，主要材质是： ZrO_2 和铂。据介绍，在温度为 $650\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 的一般炉气条件下其使用寿命超过六个月。

测试部位如果是正压，则可用较短的 S-5014 型探头，可以避免测定部位吸入的空气对读数的影响，

把探头的读数与气体分析器的分析结果进行比较时，应注意：前者是“湿”成分，而后者是“干”成分，因为在用气体分析器时，气体样品中的水分均已冷凝，而氧探头所测得的是炉内实际气体成分。

(三) 热回收技术

1. 热轮 (Heat Wheels)

“热轮”又称回转式换热器，是一种蓄热式的空气予热装置。最早用于发电厂 (40 年代前后)，后来用于小型燃气透平，现在已开始将这个概念应用于工业中的余热回收。近年来，瑟非斯分部以及考宁公司，正从事这项研究工作，计划八十年代逐步应用于工业各领域。这里所指的热轮是高温余热回收装置，其材质与过去已应用的有所不同。

热轮本身是一个多孔的圆盘状蓄热体 (金属的或陶瓷的)，热的废气通过热轮的一半面积，(见图 4) 冷空气通过热轮的另一半面积。热轮围绕其中轴缓慢地旋转，所以最终结果是废气将热量传给热轮，热轮再将热量传给空气。

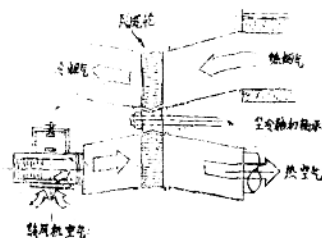


图 4 热轮工作原理

料相比，陶瓷材料的好处是：热膨胀小，能保持几何形状和尺寸的稳定，经受周期性的冷热变化；耐高温；比金属材料的抗腐蚀性好；气密性问题容易解决。

这家公司提供的典型热轮数据如下：

典型数据 (两侧入口温度 20°C 和 815°C)

予热温度 $530\sim 580^{\circ}\text{C}$

热轮换热器具有如下优点：

- (1) 热回收效率高，可以达到 85%；
- (2) 体积小，占地面积小；
- (3) 用适当的材料，则可以承受较高的温度；
- (4) 重量轻，故支撑件较节省，成本低。但是在设计和制造时，要特别注意防止热轮的变形，提高热轮装置的气密性等问题。

考宁公司主要关心的是陶瓷热轮。因为与金属材料

表 2

直 径 (吋)	28	40	51	60	70
标米 ³ /分 (两侧)	42.5	85	141.6	212.4	283.2
厚 度 (吋)	2.8	2.8	4.0	4.0	4.0
效 率 (%)	70	70	70	70	70
总压降 (毫米水柱)	216	216	325	325	457

如果改变空气流量及两种气体入口的温度, 则有可能使效率提高到85%, 予热温度提高到700℃。

考宁公司提供的蜂窝状热轮材料的商标是Cercor, 工业用热轮材料的蜂窝孔数, 为每平方吋上有360个孔, 孔型和孔数均可根据要求作相应改变。

考宁公司热轮材料的性能如表 3:

表 3

	T40~75	T20~55	S59~59
型 号	9455	9455	9475
材 质 重 量 (公斤/米 ³)	2210	2210	1602
堆 比 重 (公斤/米 ³)	496.6	672.8	496.6
透 气 性	透气	透气	透气
蜂 窝 型 气 孔 率 (%)	12	12	35
互 通 面 积 (%)	70	67	69
比 热 (25℃)	0.21	0.21	0.2
平 均 比 热 (25~427℃)	0.24	0.24	—
线 膨 胀 系 数 (25~538℃)	-1×10^{-7}	-1×10^{-7}	$+4 \times 10^{-7}$
抗 急 冷 急 热 性	优	优	良
材质导热系数 (25℃千卡/米 ² 时℃)	0.62	0.62	0.744

2. 热泵

美国生产过程所排出的废热有20%是属于温度低于94℃的热水。这些热水往往无法直接加以利用 (取暖、暖窖等), 因为热水源与使用地点往往相距甚远。

热泵被认为是利用这种余热资源的很有前途的一种方法。它的作用是在一定补偿条件下,把热能由低温位提到高温位,它可以利用温度不到100℃的热水,产生压力和温度较高的蒸汽。

回收低温余热的热泵,一般工作原理是:利用热水使氟利昂(或其它低沸点工质)在蒸发器中蒸发,然后将其压缩。在压缩过程中,气体得到能量,所以它的压力和温度均升高。压缩后的高温高压气体被用于加热工艺热水。此时氟利昂由汽态变成液态,放出汽化潜热。工艺用水在加热终了时,或成为水蒸汽,或成为热水。这就要取决于氟利昂在该条件下的液化温度和工艺用水的流量等因素。最后,使高压下的氟利昂通过一个减压阀降压,这时它将部分地变为气态。气、液态氟利昂的混合物重新回到蒸发器中参加循环。

上述热泵属于闭环式热泵,因为氟利昂这个中间工质是在闭路中循环的。除闭路循环外,还有开路式热泵,它的特点是可以取消中间工质,提高热量利用率。

热泵的经济性通常用变热系数 φ 来衡量。

即:

$$\varphi = \frac{\text{热泵系统所供出的热量}}{\text{热泵系统所消耗的机械功}}$$

显然,热泵供出的热量大于它所消耗的机械功,所以 φ 值大于1。目前,人们正在研究用热泵回收热水中余热制造蒸汽的经济性问题。据估计在燃料价格不断上涨的情况下,从80年代开始,用热泵生产蒸汽将比烧煤锅炉更为经济。

(四) 均热炉

单向上部燃烧式均热炉(即U型焰)是目前世界上公认比较好的一种均热炉。这种供热形式可以使炉内温度分布均匀,火焰既不直接冲刷钢锭表面,也不冲刷炉顶。所以新建的均热炉多数属于这种类型,人们注意研究改进的也是这种炉型。近些年来,均热炉上的改进主要在两个方面。

1. 换热器方面

均热炉的废气温度较高,必须使用陶瓷换热器。但是陶瓷换热器的气密性不好,使用到后期漏气量更大,对炉子操作有严重影响。

对此,米德兰——罗斯公司瑟菲斯分部推荐陶瓷换热器与金属换热器串联使用的方案。在这种结构形式中,废气是经过陶瓷换热器,将大部分的燃烧空气预热到1000℃。在这个换热器的顶部装一个喷射器,靠喷射器造成的抽力,使空气流经换热器。在此换热器中,废气温度由1320℃降到870℃,然后废气再进入金属换热器,并将另一部分燃烧空气预热到420℃。此换热器中空气压力很高,预热后的空气可作为上述喷射器的喷射介质。

在喷射器中两部分热空气混合,温度为700℃,然后进入均热炉烧咀。

这种陶瓷——金属换热器的优点是:

(1) 因为大部分空气是在陶瓷换热器中预热的, 所以预热温度较高。

(2) 陶瓷换热器中, 空气通道与废气通道之间的压差很小(空气通道中的压力为0~25毫米水柱, 废气通道中为-12~-27毫米水柱, 所以空气的漏损很少。

(3) 燃烧空气的压力较高, 有利于进行燃烧控制。

(4) 换热器寿命长, 异型砖的使用寿命为20年, 金属换热器为5~10年。

2. 烧咀

在单向上部燃烧式均热炉上, 对烧咀的主要要求应该是: 在热负荷变化的情况下, 火焰始终保持适当的长度, 从而使炉膛内始终保持均匀的温度分布。为了达到这个目的, 不同的公司采用不同的方案。瑟菲斯分部主张采用可调火焰烧咀。

据介绍, 用这种烧咀, 可使均热炉的温差约从 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 降为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。各个钢锭的升温情况比较一致, 所以炉子产量可以增加10%, 炉子热效率也可提高10%。

另一家炉子公司, 劳孚特斯公司(Loftus furnace Co)。在均热炉上使用高速烧咀, 即在炉坑的一端安装三个烧咀, 但在操作过程中按热负荷的大小, 确定是否三个烧咀全部开。一般在最大热负荷时, 三个烧咀全开; 热负荷降为67%时, 关掉一个烧咀; 降为33%时, 则只需开一个烧咀。这样可以使火焰始终保持适当的长度, 而且使炽热气体始终保持适当的流速。

除此而外, 美国钢铁公司蒙罗维尔研究中心正在与钢厂共同研究钢锭传搁时间与在炉坑停留时间的关系, 以便寻求最佳值, 其目的就是降低均热工序的能耗。

(五) 轧钢加热炉

目前美国各钢铁厂所使用的轧钢加热炉主要有两种, 即推钢式连续加热炉和步进梁式加热炉。加热用燃料为油, 天然气或焦炉煤气。近些年来, 加热炉方面的研究工作以提高炉子热效率, 改善产品加热质量和燃烧控制为重点, 而提高热效率及改善燃烧控制目的都是为了降低能耗, 提高燃料有效利用率。

美国钢铁公司所属各厂有加热炉60多座, 过去燃料消耗都较高, 一般在 $0.5\sim 3.3\times 10^6$ 大卡/吨范围内波动。该公司蒙罗维尔研究中心, 为了降低加热炉能耗, 曾对各厂的加热炉进行了普遍的调查研究, 并对个别炉子进行了热平衡测定和操作观察, 然后针对测定结果进行分析, 认为每座炉子均有节约10~20%燃料的潜力, 有的甚至更大。

为落实加热炉节能措施, 研究中心与工厂合作, 制定炉子操作制度, 并举办加热工训练班, 使操作者能够掌握, 并按制度进行操作。

据分析认为影响炉子能耗的主要因素有:

- (1) 炉底水冷管滑道的绝热的程度;
- (2) 经炉门、炉墙和烟道系统漏气热损失;
- (3) 燃烧控制的程度;
- (4) 低产时炉温的调节;
- (5) 炉子装料图表;

(6) 行轧时炉子操作制度;

(7) 炉子产量受轧制要求制约的程度。

结合上述情况,为降低加热炉能耗,重点抓了以下两个方面:

1. 操作上的改进

炉子控制和操作是节能的重要环节。据介绍,炉子在低于设计产量的情况下操作时,最经济的方法是降低预热段的温度。所谓降低预热段温度就是减少该段的供热量。由于烟气量减少,烟气温度降低,预热段水冷滑道带走的热量也相应的减少,这样就能达到最大的节能效果。这一操作方法分别为格里厂(Garg Works)及南方钢厂(South Works)所证实。

改进操作的另一方面是把待轧时炉子保温操作列入轧制图表中。如若短时行轧,炉子采用保温操作;如果是长时间行轧,就应该把炉子供热系统关掉。实践证明这些操作方法对降低能耗颇为有利,效果明显。因此操作因素对加热炉节能非常重要,只要管理得当就能实现,不需要任何投资。

2. 水冷滑道绝热包扎

据加热炉热平衡测定,水冷管带走的热损失约占热支出项的35%。减少这部分热损失是降低炉子能耗的重要途径。行之有效的办法是采用水冷管绝热包扎。据介绍美钢格里厂热带车间的加热炉,采用水冷管绝热包扎的措施,使水冷热损失降到了9%,取得了节能30%的良好效果。在美国把提高水冷管绝热包扎使用寿命,认为是加热炉最有效的节能方法,因此除了注意选择绝热包扎材料和结构形式外,尤其重视维护以期延长使用寿命。

绝热包扎形式很多,有用耐火可塑料捣打的,有用预制块的,有单层的,也有内衬陶瓷纤维双层的;还有单纯使用陶瓷纤维预制环的。总之,大体与国内采用的形式类同,所以不再详细介绍。

3. 无加热预热段

无加热预热段是从节能的观点提出的一项技术措施,即在炉子装料端的预热段不设置烧咀,而靠来自前一段高温炉气预热刚刚入炉的坯料,从而达到有效的利用热能的目的。

这样不仅可以降低烟气出炉温度,而且更重要的是可以提高炉子热效率。又由于钢坯在此段得到充分地预热,所以可以相应地降低加热段的操作温度。同时也因此而延长了耐火材料及水冷滑道绝热层的寿命,改善了钢坯的加热质量,钢坯不易过热,氧化铁皮生成量减少。此外还因钢坯内外温差小,缩短了均热时间,而导致燃料消耗的降低。

据瑟菲斯分部介绍,无加热预热段的长度以总炉长的30~35%为最佳,此时炉底强度相当于600公斤/米²左右。

也可以借助于向钢坯表面喷射冷空气流的办法强化预热段传热。即通常所说的“喷

流预热”。喷射的空气相当于助燃空气的10%，凭借它带动高温炉气在钢坯表面产生回流或冲击，强化炉气与钢坯表面的对流传热。

喷射的冷空气由布置在钢坯表面上方的喷嘴供给，空气压力为0.67公斤/厘米²，风咀出口距钢坯表面的距离为101d（其中d为风咀出口直径）。此值可由经验公式计算：

$$\xi = 3 \left(\frac{X}{d} - 1 \right)$$

式中：

ξ ：被抽引烟气的倍数，一般为30左右。

X ：风咀与钢坯表面的距离。

d ：风咀出口直径。

据介绍采用喷流预热的办法，可降低加热炉能耗5%左右。但该项措施尚未在生产上实施，仅在实验室作过实验。

4. 钢坯表面温度控制

1) . 光学高温计测量

以装在加热炉第一加热段炉顶上的光学高温计直接测量坯料表面温度来控制热负荷，其优点有：

- (1) 改善了炉子热效率，因为可以用较低炉温达到坯料所要求的加热温度。
- (2) 由于避免了坯料过热，所以改善了产品质量。
- (3) 氧化铁皮少。
- (4) 坯料加热得更加均匀。

光学高温计测量控制系统如图5。

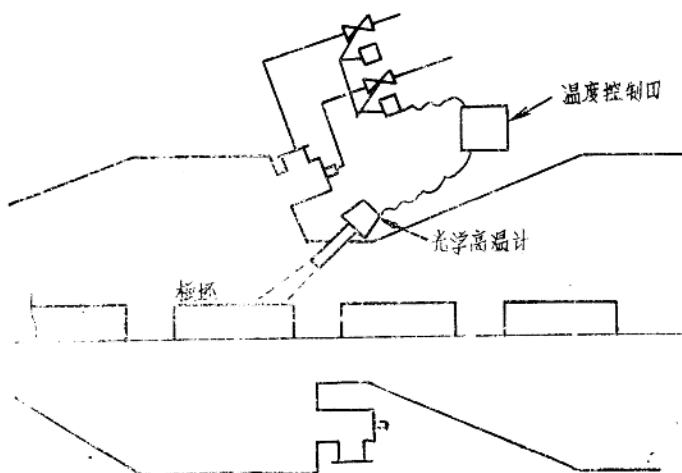


图5 钢坯表面温度控制

光学高温计将测定的温度信号先传送到自动记录控制器，以调节燃料及空气流量，保持炉温不超过所要求的温度，从而维持钢坯表面温度不变。如果炉子产量降低，钢坯表面的温度就升高，这时钢坯表面的温度信号就立即传送到自动记录控制器，调节燃料和空气流量，使炉温降低，维持钢坯表面温度在给定值。反之，则增加燃料和空气的供给量。由于采用这种控制方法，不仅降低了能耗，改善了炉子热效率，而且提高了质量，延长了炉子寿命。

2) “能眼”控制

据劳孚特斯公司介绍：加热炉上可使用“能眼”控制钢坯温度。“能眼”是布鲁姆工程公司生产的一种非接触式的温度测量装置，并被用于控制加热炉热负荷，可以节省燃料消耗10%或更多一些。“能眼”在使用过程中不受火焰和炉气辐射的影响。

“能眼”安装的位置及在热带车间五点供热的炉子上的控制效果如图6和图7所示。特别是产量降低时，控制效果尤其显著。

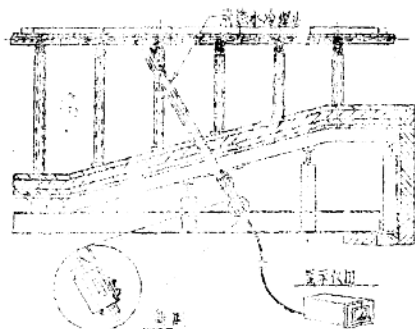


图6 能眼安装图

(六) 无氧化加热

无氧化加热，既能提高产品质量，又能减少金属烧损，降低加工费用，效果十分明显。近些年来，在锻造和热处理等工序中已逐步使用。

瑟非斯分部经过不断地试验研究，于1977年4月设计并建成了一座环型无氧化加热炉，用于锻造前钢料的加热。后来又陆续设计了若干座。

钢的氧化和脱碳速度，取决于温度、时间和气氛。如使用天然气为燃料（完全燃烧时空燃比为9.8:1），并设加热温度为1100℃，则为防止低碳钢氧化，空气与天然气体积之比（即空燃比）为5:1左右，但为防止低碳钢脱碳，空燃比应低于2.3:1。

可是在空燃比较低的情况下，必须将空气预热，才能使炉内达到必要的温度。空燃比愈低，空气预热温度愈应高，空燃比为5:1时，空气预热温度大体上应为540℃，这在实际上是可行的。但是空燃比低于2.3:1，预热温度就得很高，以致于不能实现。所以瑟非斯分部设计的无氧化加热炉，采用的空燃比是在4.5:1到5.2:1之间。

沿长度方向，炉子被划分两个区间，即高温区和低温区。在高温区钢料温度较高，易氧化，故采用不完全燃烧操作。按上述空燃比向炉内供入空气和燃料，高温区内充满

还原性气体，这气氛将部分热量传给钢料后即流入低温区。在此区间向炉内喷入空气，

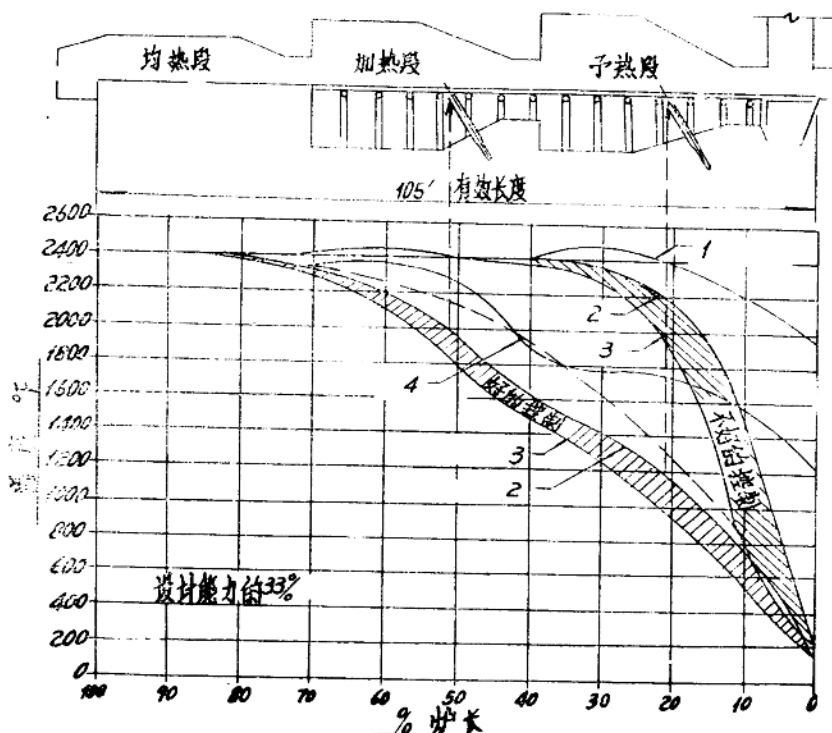


图7 能眼控制效果

1、控制不好时的炉温曲线 2、钢坯表面温度 3、钢坯中心温度 4、控制好时的炉温曲线

使气氛中的可燃成分继续燃烧，直至燃尽。低温区内的钢料温度较低，所以在氧化性气氛中的氧化速度亦极低。

据介绍，现在只采用天然气和焦炉煤气两种燃料。而且绝不轻易转向液体燃料，因为很难解决碳黑的形成和喷咀前结焦的问题。

此外，在无氧化炉上，还必须注意以下两个有关问题：

(1) 锻压操作不可能是连续的，生产过程难免有中断，所以一定要考虑钢料在炉内停留时间较长的情况下，如何防止氧化的问题。

(2) 炉子排放的废气必需符合环保条例的要求。

第一个问题解决的方法是：在锻压操作中中断时就大幅度减少低温区的空气喷入量，使这一区间的气氛也是还原性。与此同时，这一区间的温度也随之下降。

第二个问题的解决，主要靠烟道中的空气喷头，向烟气中喷入足量的空气，用电子计算机按原料量计算。此外，为了保护换热器，还应该给换热器的废气定出最高允许温度，超过此温度时，则用冷风冲淡废气。

最近瑟菲斯分部研究课题之一，是用富氧空气代替一般空气，目的是降低炉子成

本，提高热效率。如将助燃空气中的含氧量增至35%，则空气可不再预热。这样就可以取消换热器及热风管道以降低设备投资。

假设富氧空气（含氧35%）与天然气体积之比为3：1，则可在钢料温度1370℃的情况下防止氧化，试验结果表明，在上述条件下加热6"×6"钢坯，氧化铁皮生成量小于0.1%，脱碳层深度与一般加热方法相仿，或更少。

如将富氧程度提到更高水平，可更多的节约燃料，据估计如空气中含氧量增至45%，则炉子热效率可达60%。

二. 煤预热线炼焦技术和煤岩研究

（一）煤预热线炼焦技术

美国是世界上最早从事煤预热线炼焦研究的国家，也是最早实现煤预热线炼焦工业生产的国家。早在1920年巴尔（Parr）首先进行了伊利诺斯（Illinos）煤预热线炼焦研究。1970年10月，美国阿莱德化学公司（Allied Chemical Corp）所属的艾恩顿（Ironton）厂，成为世界上第一个煤预热线管道装炉炼焦示范厂。近十年来，美国煤预热线炼焦技术发展很快。美国的煤预热线炼焦生产装置的能力和技术水平，在世界上都处于领先地位。

1. 美国目前煤预热线装置概况

由表4可见，目前世界上流行的气流式单直立管及气流式双直立管煤预热器以及三种装炉方式（即装煤车装炉、埋刮板运输装炉及管道化装炉）均已在美国投入工业生产。而其中考泰克（Coaltek）流程（单直立管煤预热器及管道化装炉）工业化最早，积累的经验也最丰富。

美国重视研究和发展煤预热线炼焦技术，主要原因有：

1）. 美国炼焦煤的资源很多，但据资料介绍，低挥发份煤占10%，中挥发份煤占8%，而高挥发份煤（在美国 $V^s=31\%$ 以上称为高挥发份煤）占82%。高挥发份煤分为A、B、C三组，A组为好的炼焦煤，C组为非炼焦用煤，B组为边缘煤。所以多用高挥发份煤特别是B组煤为他们的一个课题。例如内陆钢铁公司，本身就拥有伊利诺斯煤矿，这种煤价格低廉，但属于高挥发份弱粘结煤，常规炼焦若大量配用，就得不到好的焦炭。他们采用煤预热后，可使这种煤配到60~70%，同时得到好的焦炭。

2）. 随着高炉大型化，对焦炭质量要求愈来愈高。如格里厂大高炉要求焦炭的稳定因素（Stability factor, ASTM）为58~60%，但因常规配煤方法只能达到50~55%，所以他们采用煤预热，使焦炭稳定因素提高到60%左右。

3）. 美国的环境法对新建焦炉在限制环境污染方面有严格规定，违者就要被罚款。一般认为焦化厂70%烟尘的污染来自装煤。管道化装炉在密封系统内进行，可以使装煤造成的污染得到解决。