

改变能源结构 挖掘热处理节能潜力

中国热处理行业协会 (100083) 樊东黎

去年华东沿海出现严重的电力短缺,热处理加工厂每周仅供电3天,甚至出现夜半拉闸,厂长、经理们叫苦不迭。这种电力紧张状况有向内地扩展趋势。减轻电力紧张,一靠开源,二靠节流。电站建设投资大、时间长,远水一时不能解近渴,而如果各行各业都节约使用电能,就可以在相当程度上缓解电力紧张现状。

一、热处理能源结构改变的必要性

我国的热处理是耗能大户,有巨大的节能潜力。1990年热处理全年用电85亿度,而美国1995年用电只有51亿度,当时美国的热处理营业额是中国的20倍。“九五”初期我国热处理平均单位电耗约 $1000\text{kW}\cdot\text{h/t}$,而1970年代末,日本和欧洲的热处理单位电耗仅为 $300\sim 400\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 。

热处理的节能除了科学的能源管理、采用节能设备和推广节能工艺等途径外,能源的合理选用也是非常重要方面。过去经常说,我国机械制造业的热处理90%,甚至95%以上用电。当然用电具有干净、温度易控、辅助设施少、操用简便等优点,用电阻炉加热理论上的热效率可达70%~80%。但电是二次能源,考虑到火力发电的热效率(30%~40%),电阻炉加热的综合热效率就不会超过30%。油和天然气是一次能源,用其加热的燃烧炉在合理燃烧和废热充分利用前提下,热处理加热的综合热效率可轻易达到65%以上,故先进工业国家的热处理加热的燃烧炉占有较大比重。西欧国家燃烧加热炉约占20%,美国燃烧炉占25%以上,而日本1979年工业炉协会统计,重油、煤油、液化气和城市煤气燃烧炉占到61.4%,而电阻炉只占到38.6%。

二、热处理能源结构改变的可能性

多年来,由于石油、天然气的紧缺,国家不提倡用油和天然气作燃料,这也是造成热处理能源多用电的主要原因。近10年来,我国天然气资源的勘探有大的突破。据报道,在69个盆地和地区的天然气储量达40亿 m^3 ,在塔里木、陕甘宁、渤海湾的储量就有32亿 m^3 。现在西气东输管线已经完成架设,正准备筹建第二条输气管线。目前华北、华东大城市冬季供暖能源已基本改成油或气,不少大中型企业部分热处理炉已改用天然气加热和用天然气作为制备可控气氛的气源,有些民营企业的台车式炉已改为用柴油加热。浙江省有些民营企业购置了柴油机自行发电,这在一定程度上缓解了用电的紧张程度。当然,用柴油直接作为加热炉的能源比用柴油机发电更为合算。

鉴于此,中国热协在《热处理行业“十五”发展规划纲要》中预见到:我国天然气资源的发现和开发将对热处理能源结构产生重大影响,热处理设备及相关技术将发生本质性的变化。

我国热处理能源结构改革的内涵,一是增加使用天然气的比重;二是用天然气作为制备可控气氛的气源。

联合国1997年的《东京议定书》规定了缔约国在缓解地球温室效应、减少温室气体(二氧化碳、甲烷、氧化氮、全氟化碳)排放量等方面所承担的义务。我国是缔约国之一,也是温室气体排放的第二大国(仅次于美国)。燃烧是排放温室气体的主要根源。在多种燃料中,天然气(主要成分是甲烷)燃烧排出的 CO_2 最少(见表1)。从这方面考虑,天然气也是最理想的燃料。

表 1 各种燃料燃烧时排出的 CO₂ 量

燃料	产生 41900kJ(10000kcal) 热量的 CO ₂ 排放量/kg	以天然气为 100 时的指数
天然气	2.1	100
液化气	2.43	115
煤油	2.81	113
A 型重油	2.95	140
C 型重油	2.98	141
煤	3.98	189

三、燃烧炉加热时的节能途径

(1) 燃烧加热时，燃料的有效热和排出的废气温度有密切关系。排放的废气温度越高，燃烧的有效热越低(见图 1)。

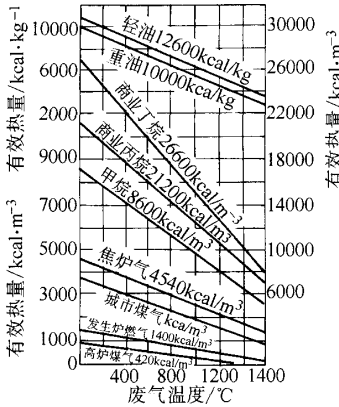


图 1 各种燃料的有效热量(1kcal=4.186kJ)

(2) 尽量降低排放废气温度，充分利用废热是节约燃料的主要途径。

(3) 利用废热的主要方法是预热燃烧用空气。空气预热温度越高，节约的燃料越多(见图 2)。

(4) 在完全燃烧(燃烧系数 $\alpha=1$) 基础上，过剩空气越多，热利用率越低。当 $\alpha=1.1\sim 1.2$ 时是最理想的燃烧(见图 3)。

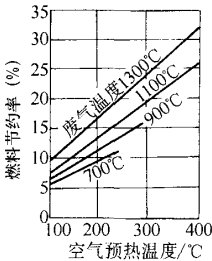


图 2 燃烧炉预热空气与节约燃料的关系(重油, $\alpha=1.2$)

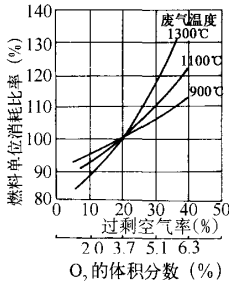


图 3 过剩空气率和单位燃料的关系

四、先进的燃烧加热技术

1. 废热的回收和再生

由前述可知, 燃烧的有效热取决于排出的废气温度, 用废气预热空气, 在降低废气温度的同时, 能大幅度节约燃料, 但早期的换热器的空气预热温度受到燃烧废气中 NO_x 量的限制。空气预热温度高, 排出废气中的 NO_x 多(见图 4), 增加对环境的污染。

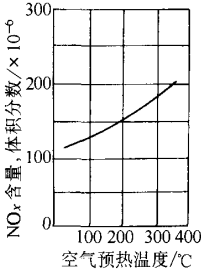


图 4 空气预热温度对 NO_x 含量的影响

预热空气的热交换系统的原理示于图 5。热交换器也称换热器, 换热器的效率取决于结构, 所用材料的传热性能, 气流速率和空气预热温度(见图 6)。选择换热器时, 通常按每 10⁶Btu/h(Btu 为英热单位, 此相当于 1.055×10⁶kJ/h) 换热量所需的换热器表面积大小来计算(见图 7)。典型的换热器结构按空气-烟道废气相对运动方向分为反向流、平行流和横流等三种(见图 8)。

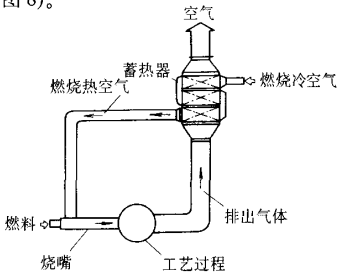


图 5 热回收过程示意图

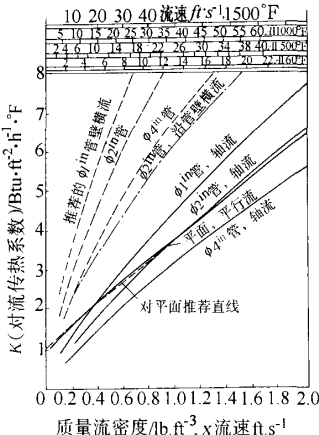


图 6 各种换热器尺寸和气流方式与对流传热效果的关系 (注: 1Btu=1.055kJ)

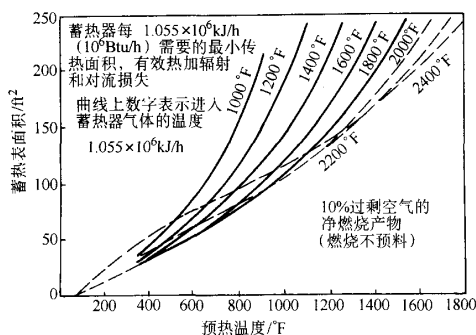


图7 天然气燃烧时需要的换热器面积

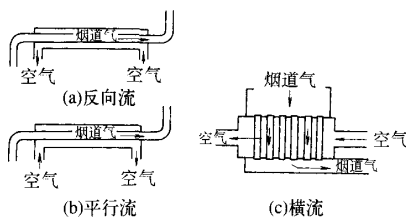


图8 换热器原理

2. 高效燃烧嘴

(1) 高速烧嘴 燃烧产物喷射速度在 50~200m/s 范围的燃烧嘴称高速烧嘴。气体的高速喷射有助于气体的混合和炉温的均匀。其优点是：①从燃烧室喷出的燃烧产物迅速进入炉内，和原有炉气混合，可明显提高热利用率。②高速烧嘴相对短的火焰能减少其冲刷工件表面的危险。③燃烧产物的湍流能促使炉温均匀，提高炉气和工件间的热传导。

(2) 空气预热式烧嘴 自身能预热空气的燃烧嘴已获得广泛应用。单纯预热空气烧嘴(见图9)用分流的压缩空气吸出燃烧废气来预热空气，可使燃烧空气预热到较高温度(800~900℃)，而无需担心产生过多的 NO_x。此类燃烧嘴分金属型和陶瓷型二类，金属型最高燃烧温度可达 1093℃，陶瓷型可达 1260℃。

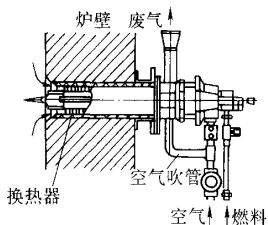


图9 单纯预热空气烧嘴

(3) 蓄热-再生式烧嘴 热回收系统的性能通常受到预热器表面积，预热空气上限温度以及可能引起换热器表面氧化的限制。这些和其他一些限制可以靠更有效的再生燃烧来克服。

在单一式烧嘴上可实现蓄热-再生方式的空气预热(见图10)。在单一烧嘴上装有蓄热式和再生两套换热系统。其中一套在使用再生热量预热空气时，另一套在吸取废气热量进行蓄热。该烧嘴在把空气预热到 900~1000℃ 时，可保证最少的 NO_x 发射。

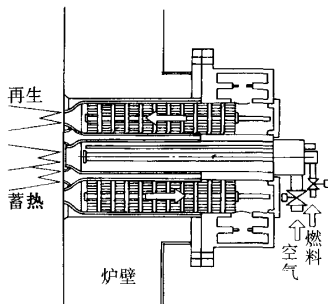


图10 蓄热再生式烧嘴

复式再生燃烧系统是克服以上限制的最优方案(见图11)。它通常由两个燃烧器、两个蓄热-再生器、一个换流阀和必要的控制系统组成。两套换热燃烧系统交替使用，一套在蓄热，另一套在再生燃烧。交替周期一般为 20min，用微处理机可以把交替周期控制到 20s。换热、蓄热器中的蓄热材料可以用陶瓷做成球状或蜂窝状，也可使用制成特殊形状的耐火砖块。

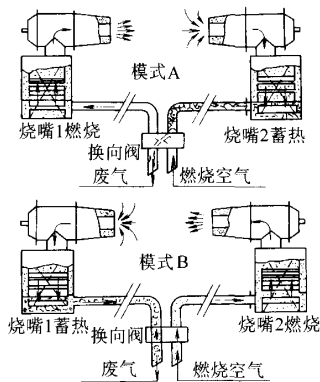


图11 再生燃烧器燃烧过程示意图

(4) 可预热空气的辐射管 在可控气氛热处理炉中，为避免燃烧气体和被加热工件的接触，以及对炉内气氛

发生影响,需用与燃烧产物隔离的辐射管来加热。近代多使用可预热空气的单管式、P形(见图12)和U形辐射管。空气预热与否对用辐射管加热炉的燃料消耗和热效率的影响示于图13和图14。图15所示为一种可预热空气的蓄热-再生式辐射管。在辐射管两端都装有可吸收废气热量和预热空气的再生式换热器。两端交替燃烧。一端在燃烧时,另一端在蓄热。燃烧周期可用计算机控制到20s。

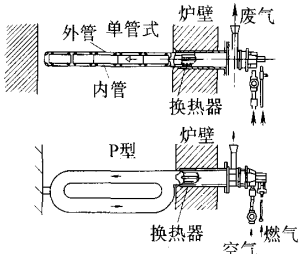


图12 新式可预热空气的单管和P型辐射管

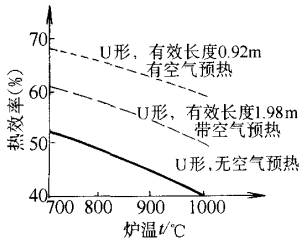


图13 各种温度下U形辐射管加热时的热效率

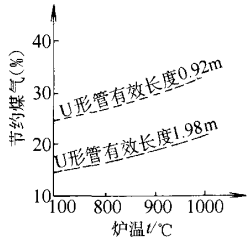


图14 各种温度下U形辐射管的节约燃料效果

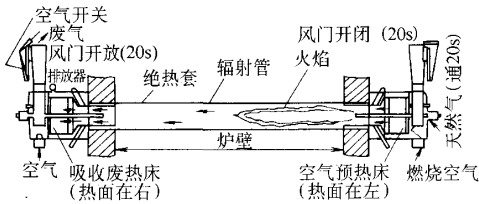


图15 再生式陶瓷辐射管示意图

五、用天然气制备吸热式气氛

国际上多用天然气和纯丙烷、丁烷制备吸热式可控气氛。20世纪60年代我国在开发应用吸热式气氛时也曾用丙烷作原料气。准确地说,是用以丙烷+丁烷为主的纯度不高的液化石油气。后来因丙烷价格猛涨,且来源有限,而改用甲醇裂解气。为降低生产成本,减少甲醇用量也有用氮+甲醇裂解合成气氛的。现在天然气有来源,给用天然气制备吸热式气氛创造了条件。

国际上因甲醇用量增加,价格猛涨的原因,也有重新提倡用天然气制备吸热式气氛代替氮-甲醇气氛的(见表2)。采用燃烧炉加热时,用燃烧产物(放热式气氛)添加少量天然气再通过镍催化作用的吸热式反应制备放热-吸热式气氛,用作金属制件加热时的保护介质,也不失为一种廉价的制备气氛方法。

表2 各种制备渗碳气氛方法的成本比较(年用量)

气体和用法	一般纯N ₂ +甲醇(美元)	薄膜制N ₂ +甲醇(美元)	吸热式发生炉气氛(美元)
压缩空气	—	—	12000
天然气	—	—	125000
N ₂	75000	75000	—
甲醇	112000	318000	112000
小计	187000	393500	124000
洗炉用N ₂	36000	36000	36000
贮罐租金	12000	12000	12000
累计	235000	441500	172000
1994年4月	1995年1月	1994年4月	1995年1月

六、开展能源结构变革也要有科学发展观

热处理加热95%以上用电不合理,在有天然气资源的前提下进行能源结构变革是必要的。但是这种变革必须因时、因地制宜。

笔者认为,在水力资源丰富、电力供应充足的地区不妨继续用电。用气方便的城市和地区按照市场需求,增加燃烧设备比重肯定是必要的。但要切记,在任何变革中,绝不能搞一刀切,更不能不分青红,一哄而起。热

(20050103)