

沥青生产装置加热炉富氧燃烧技术应用

朱友明（佛山高富中石油燃料沥青有限责任公司，广东 佛山 528531）

摘要：现阶段，伴随着富氧燃烧技术的发展和推广，其在我国的石油化工领域、工业领域的生产加工过程中被广泛的使用。石油道路沥青我国高速公路、城市道路建设中的一种重要材料，目前，我国石油道路沥青采用常减压蒸馏工艺生产，主要利用常减压加热炉实现沥青的加热升温，而将富氧燃烧技术应用于沥青装置加热炉中能够提升燃烧效果与燃烧速度，并降低燃烧能源的消耗，降低污染物的排放，帮助企业节省能源消费成本，提高经济效益。基于此，本文主要研究沥青装置加热炉富氧燃烧技术的应用，希望对相关人员有所启示。

关键词：沥青装置；加热炉；富氧燃烧技术；加热效果；加热速度

Abstract: At this stage, with the development and promotion of oxygen-enriched combustion technology, it is widely used in China's petrochemical industry, industrial production and processing. Petroleum road asphalt is an important material in the construction of expressways and urban roads in China. At present, China's petroleum road asphalt is produced by atmospheric and vacuum distillation process, which mainly uses atmospheric and vacuum heating furnace to realize the heating and heating of asphalt. The application of oxygen-enriched combustion technology in the heating furnace of asphalt plant can improve the combustion effect and combustion speed, reduce the consumption of combustion energy, reduce the emission of pollutants, help enterprises save energy consumption costs and improve economic benefits. Based on this, this paper mainly studies the application of oxygen-enriched combustion technology in heating furnace of asphalt plant, hoping to enlighten relevant personnel.

Key words: asphalt plant; heating furnace; oxy-fuel combustion technology; heating effect; heating speed

0 引言

就目前情况而言，为了进一步提升沥青装置加热炉的综合效益，部分石油化工企业选择在沥青装置加热炉加热时采用富氧燃烧技术，从而达到提升温度、降低能源损耗、提升加热效率的目的，同时也能够减少污染气体的排放，降低能源的损耗，实现资源的合理利用。因此，本文开展了对沥青装置加热炉富氧燃烧技术应用研究，以期进一步提升富氧燃烧技术在沥青装置加热炉中的应用效果。

1 富氧燃烧技术概述

1.1 富氧燃烧技术

富氧燃烧技术是一种提高能源利用率、减少燃烧有害物质的燃烧技术。富氧即是指含氧量加大的环境，即将燃烧环境从空气环境转变为氧气浓度超过 21% 或纯氧的富氧空气环境，让燃烧原料在此种环境下燃烧，从而促使富氧空气代替普通空气作为助燃剂。众所周知，燃烧是一种重要的能源获取手段，大部分能源物质均是通过燃烧获得的，而在燃烧的过程中，将会消耗大量的天然气、煤炭、燃料油等能源，同时还会产生二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳等有害气体，而在燃料燃烧的过程中，离不开氧气的助燃，且氧气含量越高，燃烧的越充分，富氧燃烧技术的应用不仅能够提升燃烧效率、促进完全燃烧，还能够提高燃烧质量，提升燃烧的温度、提升燃烧速度，同时能够有效的减少有害气体的排放，能够满足现代节能环保型社会的发展需求。

1.2 沥青装置加热炉富氧燃烧技术

道路石油沥青的生产常用常减压蒸馏工艺，其加热

关键设备为常压炉和减压炉，加热炉约占沥青生产装置的综合能耗的 70-80%，同时也是二氧化碳、氮氧化物和二氧化硫等排放的主要设备。

近年来，随着国家对于工业企业环保排放要求的日益严格，炼化企业不仅节能压力大，减排更是作为量化指标纳入考核之中。而富氧燃烧技术作为现代燃烧的节能技术，将其应用于沥青装置加热炉中不仅能够提升沥青的生产加工速度与质量，还能使得燃料在炉膛内燃烧更完全，够帮助企业实现资源的充分、合理利用，减少资源浪费的问题，而且还能减少二氧化硫、氮氧化物等废气的排放，这对于帮助企业提高经济效益和环保效益是十分重要的。

现阶段，常减压蒸馏工艺生产沥青的装置加热装置主要为金属管式加热炉，采用高效管式或板式换热器对进炉空气进行预热，即利用排除的烟气与冷空气进行热交换，采用燃料，如天然气、燃料油等在炉膛内燃烧加热金属管内流动的介质，但在其使用的过程中发现，加热炉排烟氧含量偏高、燃烧效率不高、火焰较长、排烟温度高等不足，燃烧过程产生大量的有害气体，在环保控制指标日趋严格的条件下，排放气体很容易超标。

目前，各类燃烧器发展已日臻成熟，从燃烧方式上提高加热炉燃料利用率已很难再有所作为，而从燃烧的反应速率及燃烧程度上仍有很大节能潜力。一般的燃烧器均以空气为助燃剂，其中占近 80% 的 N_2 和不燃烧的惰性气体，对燃烧起钝化和稀释作用，还在燃烧过程中带走大量热量。但通过富氧燃烧技术的应用，能够有效降低有害气体的排放量，并进一步提升加热效果，降低

能源消耗量从而降低生产成本。

2 沥青装置加热炉富氧加热技术研究

2.1 富氧空气量与火焰温度场的关系研究

火焰温度场是指火焰温度的变化情况。根据吉林大学热能工程系采用了实验的方法对富氧空气量与火焰温度场的关系研究,研究发现,当富氧环境中氧气含量为21%时,火焰锥角为70°,当含氧量为30%,锥角为40°,且含氧量为30%火焰的充满度要优于氧气含量为21%时,且火焰燃烧速度更快,这也就说明在燃烧完全相同的物质时,含氧量30%的富氧环境下燃烧区缩小速度更快,火焰温度增加快、减小也快。通过对比以煤炭为燃料的燃烧过程炉渣可燃物含碳量发现,当含氧量为21%时,炉渣可燃物含碳量为12.89%,含氧量为30%时,炉渣可燃物含碳量为10.29%。由此可见,富氧环境的含氧量越高,燃烧效果越好。

2.2 富氧空气量与燃烧效果的关系研究

首先,从对燃烧火焰温度影响的角度来分析。提高富氧环境中的氧气含量能够减少氮气的含量,从而达到助燃的效果,且当氧气含量增加时,燃烧后烟气的含量便会减少,但氧气浓度不易过高,据笔者调查研究显示,氧气浓度含量在26%~30%之间时综合效益最佳,虽然氧气浓度高能够提升火焰的温度,氧气含量在26~30%之间时,含量每增加1%,火焰温度便会增加35℃左右,当含氧量超过30%后,火焰温度也会增加,但增加的幅度明显降低,且氧气含量越高,制氧成本就越高,因此,从经济效益角度考虑,富氧环境的含氧量不易超过30%。图1为富氧环境氧气浓度与综合效益的关系图。

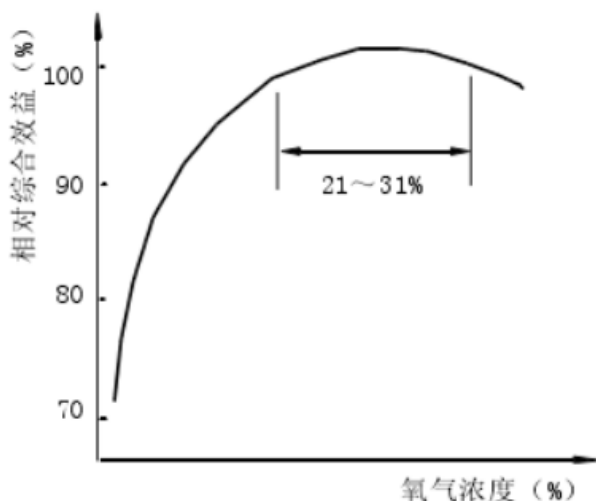


图1 富氧环境氧气浓度与综合效益的关系图
燃料燃烧公式如下所示:

$$T_{ill} = \frac{Q_{dy} + C_r T_r + C_k T_k L_a}{C_y V_y}$$

其中:

Q_{dy} 为燃烧低位发热量;

C_y 为燃烧产物热容量;

C_k 为燃烧空气热容量;

C_k 为燃烧燃料热容量;

T_r 为燃料温度;

T_k 为空气温度;

V_y 为燃烧生成的烟气含量;

L_a 为燃料单位空气耗量。

图2为富氧环境氧气浓度与火焰温度的关系图。

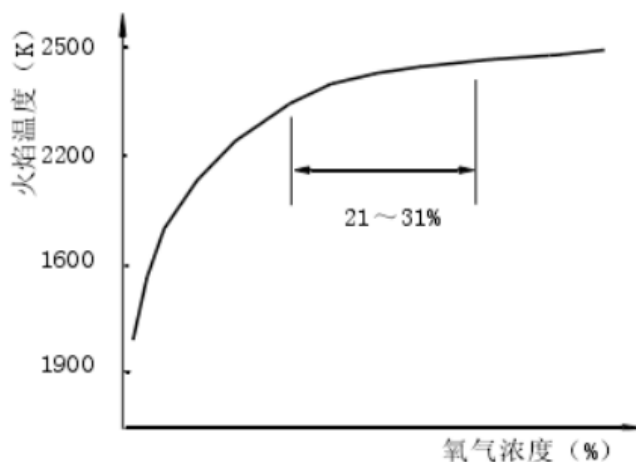


图2 富氧环境氧气浓度与火焰温度的关系图

其次,从燃烧速度的角度来分析。总体而言,燃烧是一种物理过程和化学过程的综合过程,在燃烧过程中,化学过程速度对燃烧速度的影响较大,化学过程速度即是指化学反应速度,燃烧过程化学反应速度计算公式如下所示:

$$W = K C_A^a C_B^b$$

其中:

C_A^a 是指反应物A的浓度;

C_B^b 是指反应物B的浓度;

K 是指燃烧温度。

当燃烧物温度一定时,反应物浓度越高,燃烧过程化学反应速度也就越高。当富氧环境中氧气含量增加,燃烧反应物浓度也势必会增加,化学反应速度也就有所提升。

最后,从对燃烧烟气排量影响的角度来分析。众所周知,空气中氮气的含量站79%左右,但在实际燃烧的过程中,氮气并不会起到助燃的效果,反而能够随着燃烧的过程带走一部分热量,相关领域将此部分热量称为烟气。因此,在分析燃烧过程中烟气排量时,可通过计算热量损失来推测。燃烧过程中产生的热量损失计算公式如下:

其中:

$$q_2 = \frac{(I_{py} - a_{py} I_{lk})(100 - Q_4)}{Q_{dw}}$$

I_{py} 为排烟热焓;

a_{py} 为排烟处过剩空气系数;

I_{lk} 为冷空气焓;

Q_4 为机械不完全燃烧损失;

Q_{dw} 为燃料地位发热值。

通过对上式的分析可知,排烟热焓越高,热量损失就越大,而富氧技术能够通过增加氧气含量降低但其含量,这也就说明排烟热焓有所降低,热量损失也就越小,故而烟气排量也就越低。

2.3 富氧燃烧对污染排放的影响

首先,从对烟尘排放影响的角度来分析。理论上来说,完全相同的燃烧物质在燃烧过程中产生的总尘量一定,而当燃烧环境中氧气浓度增加时,用于助燃的空气量体积占比较大,故而为参与燃烧而产生的烟气生成量减少,但总尘量不变,这也就说明烟气中烟尘浓度增加,有利于集中除尘。

其次,从二氧化硫、二氧化碳排放的角度来分析。在实际燃烧过程中,若烟气环境中二氧化硫、二氧化碳含量过低,则会增加二氧化硫、二氧化碳处理的难度,而当增加空气中氧气含量浓度时,烟气中二氧化硫、二氧化碳浓度便会增加,以便于烟气中硫、碳的脱除或收回。

最后,从氮氧化物排放的角度来分析。氮氧化物的排放与燃烧材料使用量有直接的关系,当燃烧材料量增加时,氮氧化物的排放也就会增加,但富氧技术有助于提升燃烧材料的利用率,也就是说,需求热量相同时,采用富氧燃烧技术能够降低燃烧材料的使用量,故而产生的氮氧化物也就会减少,从而降低氮氧化物的排放量。

3 富氧燃烧技术在沥青装置加热炉中的应用实施

3.1 沥青装置加热炉主要技术指标

为了更好的分析富氧燃烧技术在沥青装置加热炉中的应用,选择以某专业沥青生产企业为例,该企业沥青生产装置为联合加工装置,共有4台圆筒式金属管式加热炉,其中2台主要参数为:直径6.80m,设计热负荷12.72MW,热效率90%,炉底12个燃烧器均布;另外两台的主要参数为:直径5.75m,设计热负荷7.10MW,热效率90%,炉底8个燃烧器均布。燃烧器更换为低氮高效燃烧器,采用清洁能源——天然气替代燃料油作为燃料,为进一步挖掘节能潜力,经过多种方案比选后,在不改变加热炉和燃烧器结构的情况下,确定采用富氧局部助燃对现有加热炉进行节能技改。换热器对空气进行预热,空气预热温度设计为180℃,炉膛温度在760~860℃之间。

3.2 加热炉的燃烧工况

该沥青联合生产装置加热炉在使用过程中发现,随着加热炉使用时间的增加,加热能力明显降低,燃烧火焰长且暗,火焰温度偏低,烟气中CO含量偏高,氧指数偏高4.2~6.8%,存在燃烧不充分、燃料浪费情况,故需要对该加热炉进行优化升级处理。

3.3 富氧燃烧工艺流程及说明

富氧发生器为生成富氧空气的设备,该企业为了能够实现富氧环境,采用膜法制氧装置,按照“一拖四”方式配置富氧发生器,400±10% Nm³/h,膜组件能够先渗透氧气,当通风机将空气送入至富氧发生器中,便能

够得到氧气浓度29±2%的富氧空气。随后利用增压风机增加富氧空气压力,并将其送入至富氧预热器当中,随后经过专用富氧喷嘴导风器将富氧空气送入炉膛内最需氧的地方,且不改变原有加热炉的火焰特性,实施的同时对加热炉的性能进行系统优化(氧含量、排烟温度等优化)来获得理想的节能目的。

3.4 应用效果

完成节能技改后,发现燃烧火焰变短且成淡蓝色,燃烧区域火焰温度升高,燃烧状况明显好转,烟气中CO含量明显降低,氧指数降低至1.5~2.6%,燃烧效率明显提高。经过实测,空气预热温度为165℃、排烟温度为130℃的条件下,富氧助燃技术可使管式加热炉热平均效率提高2.08%~3.65%。当富氧空气中氧浓度为29%、燃气理论燃烧温度下NO生成速率为1.26mg·(m³/s)~(-1),排烟热损失减少1583.70kJ/(1Nm³燃气),沥青装置加热炉平均热效率提高2.43%。四台加热炉反平衡热效率均达到92.5%以上。

3.5 使用情况

该沥青联合生产装置自2019年6月改造投用以来,至今已经连续运行两年半时间,富氧浓度和富氧流量稳定,整套机组运行安全可靠,未出现设备问题,维护简单;由于不用改变加热炉原有结构和工作条件,富氧喷嘴采用特殊耐高温不锈钢材料,最高可在1500℃长期使用。整套装置仅富氧喷嘴与加热炉接触,对其性能和安全无任何影响;加热炉火焰亮度明显增强,火焰长度缩短,炉膛燃烧区域温度上升20~38度,燃气燃烧更为充分,在加工负荷同比一致的情况下,天然气消耗降低;烟气氧指数、CO、NO_x均明显降低。节能减排降本增效效果明显。

4 结论

综上所述,富氧燃烧技术应用于沥青装置加热炉中能够提升火焰温度,降低排烟量,提升燃烧效果与燃烧效率,提升燃烧资源的利用率,从而进一步降低沥青生产的成本。在实际沥青装置加热炉中设计富氧燃烧技术应用方案时,需要结合企业的生产需求,按照富氧燃烧工艺流程合理的设置相关指标,将氧气浓度控制为26%~30%之间,从而在帮助企业实现综合效益的进一步提升,促使富氧燃烧技术能够在沥青装置加热炉中得到更好的应用。

参考文献:

- [1] 司济沧,舒子云,米建春.稀释剂和氧浓度对甲烷非预混MILD富氧燃烧影响的模拟研究[J].中国电机工程学报,2021,41(11):3692-3702.
- [2] 崔杨,曾鹏,仲悟之.考虑富氧燃烧技术的电-气-热综合能源系统低碳经济调度[J].中国电机工程学报,2021,41(02):592-608.
- [3] 丁毅,田俊,范满仓,等.无焰富氧燃烧技术在马钢板坯加热炉上的应用[J].冶金能源,2020(22).