

工业废气在循环流化床锅炉中的掺烧应用

罗凯¹, 林世华¹, 王凡², 刘宇², 朱金伟²

(1.北京东方石油化工有限公司东方化工厂, 北京 101149;
2.中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:介绍了东方化工厂两台循环流化床锅炉掺烧工业废气改造的背景及原则,叙述了火炬气回收及供气系统、燃气燃烧器、PLC控制三个主要系统的布置、选择、设计等情况,论述了锅炉掺烧火炬气后的安全、掺烧比例的确定、掺烧位置的选择等三个需要重点关注的问题,分析了项目实施后所取得的节能效益、环保效益,是同行业回收利用工业废气,实现节能降耗的一种有效方式,具有很好的参考价值 and 推广意义。

关键词:循环流化床; 锅炉改造; 工业废气

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2010)04-0036-04

APPLICATION OF INDUSTRIAL WASTE GAS MIXING BURNING IN CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILERS

LUO Kai¹, LIN Shi-hua¹, WANG Fan², LIU Yu², ZHU Jin-wei²

(1. Beijing Eastern Petrochemical CO., Ltd. Eastern Chemicals Works, Beijing 101149, China;
2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: This article introduced the reforming background and principle of industrial waste gas mixing burning on the two circulating fluidized bed boilers in our plant, described the arrangement, choice, design about the three main systems such as the recycling and gas-supply system, the gas burner, PLC control, elaborated the three key attention problems such as the safety of the boiler, determination of the gas scale, selection of the position, analyzed energy conservation benefits and the environmental protection benefits acquired after reforming. It's an effective way to save energy and reduce consumption by recycling industrial waste gas, has reference value and promotion significance very much.

Keywords: circulating fluidized bed; boiler reforming; industrial waste gas

北京东方石油化工有限公司东方化工厂乙烯装置规模为16万t/h,为上世纪90年代建成的小乙烯。目前,其生产过程中产生的工业废气(以下称火炬气)总量在4000Nm³/h左右,低位发热量在6000Kcal/Nm³,具有很高的回收利用价值。虽然,工厂近几年进行许多方面的优化和改造,但仍

有2500~3000Nm³/h的富裕火炬气只能通过火炬管网燃烧后排向大气,不仅对周边环境造成较大的影响,而且造成东方乙烯装置能耗较高。因此,工厂决定实施流化床锅炉掺烧火炬气改造项目,将剩余部分火炬气引到自备电厂的两台循环流化床锅炉,作为锅炉燃料进行回收利用,从而降低乙烯装置能耗和生产成本,提高企业经济效益。

1 装置概况

东方化工厂现有两台四川锅炉厂设计和生产

第一作者简介:罗凯(1973-),男,工程师,北京东方石油化工有限公司东方化工厂热力车间副主任,负责车间生产、安全及技术管理工作。

* 国家“863计划”项目-燃煤锅炉烟气的脱硫脱汞的新技术研究(2008AA06Z318); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项-工业锅炉NO_x综合控制技术研究(2009KYYW02)

的循环流化床锅炉, 锅炉型号为 CG-75/3.82-MX10, 其主要设计参数有: 额定蒸发量 75 t/h, 额定蒸汽压力 3.82 MPa, 额定蒸汽温度 450 °C, 给水温度 104 °C, 连续排污率 2 %, 冷风温度 20 °C, 一次风热风温度 100 °C~120 °C, 二次风热风温度 180 °C~210 °C, 排烟温度 150 °C, 设计热效率 89 %, 锅炉炉膛截面 3 410 mm×5 630 mm, 净空高约 21 500 mm, 采用高温水冷旋风分离器、床下热烟气点火技术, 设计燃煤种为优质烟煤, 单台锅炉燃煤量 10t/h, 其工业分析为: 水份 $M_{ad}=2.80\%$, 灰份 $A_d=12.35\%$, 挥发份 $V_d=33.00\%$, 固定碳 $C_d=58.72\%$, 全硫 $S_{ad}=0.50\%$, 低位发热量 $Q_{ad}=27.69\text{MJ/kg}$; 元素分析为: 碳 $C_{ad}=71.81\%$, 氢 $H_{ad}=3.92\%$, 氧 $O_{ad}=8.06\%$, 氮 $N_{ad}=0.76\%$ 。

火炬气是东方化工厂乙烯装置生产过程中产生的工业废气, 其主要成分为甲烷和氢气, 约占 70 % (体积含量)。工厂在 2003 年新建了一个 2 万 m^3 的浮顶气柜和一台 10 t/h 的低压燃气锅炉进行回收利用, 但是回收利用率也仅为 25 %, 回收利用量很小, 资源浪费严重。

2 锅炉掺气改造原则

工厂两台 75 t/h 循环流化床蒸汽锅炉主要为工厂乙烯装置、汽轮发电机和丙烯酸等化工装置提供动力蒸汽和加热蒸汽, 对蒸汽系统的连续、稳定及参数品质等方面要求较高。为了既有利于火炬气的回收利用, 又确保锅炉的安全、稳定和经济运行, 我们提出了以下改造原则:

流化床锅炉掺烧火炬气后, 锅炉出力、主要工艺参数、热效率等基本保持不变, 不能影响循环流化床锅炉循环流化燃烧的炉内动力场, 不能影响炉膛出口水冷旋风分离器及尾部设备的正常运行。

锅炉为特种设备, 改造过程中其总体结构 (包括受热面结构) 不变, 水冷壁等承压部件不能随意更改, 燃气燃烧器的出力应根据水冷壁上排二次风口现有最大开孔尺寸进行确定, 新建系统力求做到简单实用。

新建一套独立的燃料气供气系统和一套仪表控制系统, 彼此之间在运行调节方面相对独立, 但是在安全保护之间又相互联系。由于燃煤锅炉掺烧火炬气后, 其安全等级要有所提高, 严格按照燃油燃气锅炉相关规范进行设计。

锅炉掺烧火炬气后, 热负荷调节方式不变, 仍

然以燃煤调节为主, 掺烧火炬气系统采用“定烧”方式, 其燃气系统的调节主要靠停运或投运部分燃烧器的方式进行。

新设计掺烧火炬气的燃烧器火炬尽可能充满炉膛空间, 保持火炬位于炉膛的几何中心区, 保证火焰在炉膛横截面上均匀伸展, 不能使火焰直接冲刷炉管。

3 掺烧改造主要系统

3.1 火炬气回收及供气系统

火炬气回收和供气系统是工厂实现火炬气回收利用的基础。在通常情况下, 石油化工行业生产过程中产生的工业废气无论是在气体压力、连续稳定性方面, 还是在品质 (如含水量大、杂质较多) 方面都还不具备直接利用的条件, 因此必须首先建立一套完备的回收、加压和处理系统。该系统通常包括气柜 (气罐)、燃气压缩机、气水分离和过滤装置、调压稳压阀组等。

各生产装置产生的工业废气首先经管道汇集到一个 2 万 m^3 的浮顶式气柜中临时存储, 同时气柜还可以增加燃气系统的缓冲容量, 有利于整个火炬气回收系统的稳定, 经过燃气压缩机加压到 0.45 MPa, 经过气水分离装置对燃气中的水分进行分离, 对杂质进行过滤, 其中气水分离装置在燃气压缩机出口和用户端火炬气阀组前各设立一个, 然后经过减压稳压阀将火炬气减压至 120 kPa, 再通过调节阀将火炬气压力控制在 60~85 kPa (根据单台燃烧器的燃用量确定), 最后由燃烧器燃烧后进入锅炉参与热交换。

为了确保燃气压缩机的安全稳定运行, 在其入口还应设立精密过滤器, 滤网目数不低于 200, 针对化工厂火炬气产生情况不稳定的特点, 火炬气采用变频调节技术, 以实现节能运行。

3.2 燃气燃烧器

燃烧器是掺烧火炬气的核心和关键设备, 其好坏直接关系到改造的成败和锅炉运行的安全和稳定。流化床锅炉掺烧工业废气改造依托原有锅炉的燃烧系统, 采用单独的火炬气燃烧器, 以预混方式将火炬气与空气按燃烧工况等比例混合后, 经由专门的点火烧嘴火焰式引燃, 保证火炬气的完全燃烧, 防止产生爆燃。此外, 采用预混或半预混燃烧器的优点是火焰刚性强^[1], 可穿透循环流化床的火墙使其在内部实现掺烧。

燃烧器由风壳、风门、风门调节装置、切向叶片旋流器、支架及火炬气气枪等部分组成。如图1所示。空气由310 mm×120 mm的矩形风口进入风壳,经固定切向叶片旋流器产生旋转气流,在圆形通道中与火炬气混合,着火后,流经喉口(喉口可再次加强混合与防止回火作用)后由170 mm×190 mm的喷口进入炉膛。旋流器由16片倾角为45°的固定切向叶片组成,叶片遮盖为1.0。火炬气气枪采用中心管式结构,火炬气由周向三排相距40 mm(轴向距离)数只Φ5的喷孔喷出,与圆形通道中流经的旋转气流预混合,着火后经喉口由燃烧器喷口进入炉膛。

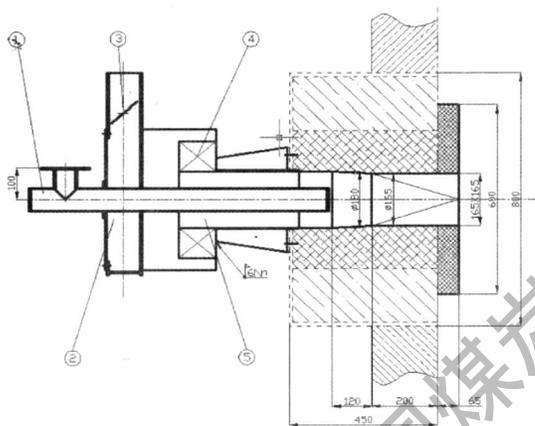


图1 燃烧器结构简图

1.气枪;2.风壳;3.风门;4.切向叶片旋流器;5.支架

燃烧器布置在上排二次风风口标高处,两侧墙各三只,横向节距与二次风口节距相同 $S_1=800$ mm,距前后墙距离 $S_2=905$ mm。为了防止燃烧器出口处水冷壁磨损,需要在燃烧器出口中心线标高上下300 mm及距边上两只燃烧器距中心300 mm范围内均敷设耐磨浇注料。

3.3 PLC控制系统

虽然两台流化床锅炉已采用先进的DCS控制系统,但是考虑到原有系统备用点位数量有限,改造原有的进口控制系统难度、费用都较大,因此两台锅炉各自新上一套PLC进行独立控制。为了确保掺气燃烧的安全、稳定和利于检维修,要求PLC控制器冗余、电源冗余、通讯卡件冗余。结合软硬件在工厂各装置的通用性、减少专业技术人员的培训工作和缩短建设周期,我们最终选用西门子公司的PLC控制系统,两台锅炉各自配备一套操作站,两套操作站互为备用。

锅炉掺烧火炬气改造部分的控制系统严格按照电力规范FSSS(锅炉炉膛安全监测系统)进行设计,内容包括:①火炬气燃烧器自动程序点火(可盘上遥控操作,亦可现场手控操作)。②火炬气火焰监测安全保护。为了确保锅炉掺烧火炬气后的安全稳定,增加运行人员操作调整的灵活性,新增的火炬气控制系统与锅炉原有的DCS系统之间在控制、调节方面彼此独立,但是在联锁保护方面却相互联系。这样,火炬气系统的投运、停止以及自身保护动作突然退出时不会影响到锅炉燃煤系统的正常运行,但是火炬气掺烧必须以锅炉燃煤系统正常运行为前提,一旦锅炉燃煤出现故障引起MFT动作时,火炬气系统立即自动切断。

4 需要重点关注的问题

4.1 掺烧后的安全

从火炬气的组成可知,其主要成分是氢气和甲烷,并且氢气的含量非常高。氢气的密度只有 $0.09\text{kg}/\text{Nm}^3$,比甲烷轻得多,燃烧速度快,爆炸极限较宽,泄漏后极易与空气混合而发生爆炸^[2]。因此,锅炉掺气燃烧的安全性必须给予高度重视。

为了确保锅炉掺烧火炬气后的运行安全,火炬气管路必须严格按照燃气规范进行设计,重点是各种仪表、快速切断阀、调节阀等必须采用防爆型,现场设置一定数量的可燃气体报警仪,各管线阀门必须进行可靠的防静电接地,燃气流速控制在合理范围内。程序控制必须建立完善的自动点火及炉膛熄火保护监视系统,并且无法人为干预。在点火前首先对燃气系统燃气压力高低、阀门开关状态、保护复位、仪表气压力等条件进行确认,判断是否满足点火条件。在运行中,如果出现燃气压力过高或过低、火焰熄灭、燃烧空气压力低、锅炉燃煤系统保护动作情况时,火炬气燃烧器将自动退出运行,同时关闭火炬气总阀和各燃烧器分支阀。此外,操作人员还可以根据需要进行手动GFT按钮,避开控制系统通过纯电气回路紧急关闭燃气总阀和各燃烧器分支阀,使各燃烧器退出运行。为了增加火焰监测的准确度和安全性,在点火枪及主烧嘴上分别装设离子型火焰探测器及紫外线火焰监测器。

4.2 掺烧比例的确定

对于工业废气比较充足的企业,锅炉掺气比例越高,回收利用产生的经济效益就会更高。但

是,如果掺气比例过高,就会对锅炉各部位的传热总量、比例等状况产生较大的影响,关系到锅炉装置的安全、稳定和经济运行。

锅炉燃用不同的燃料,燃烧产物中具有辐射能力的介质以及含量不同,火焰的黑度也各不相同:对于固体燃料,燃烧产物辐射介质主要是三原子气体、焦炭粒子和灰粒子;对于气体燃料主要是三原子气体和碳黑粒子^{[3][4]}。因此,同一炉膛内燃用燃料不同,必然会对炉内传热及炉膛出口烟气温度产生影响,通常燃烧气体燃料比燃烧煤时炉膛出口温度要高 50℃~80℃。但是,如果火炬气掺烧比例适当,同时选择合适的掺烧位置,那么对整个炉膛出口烟气温度的影响完全能够控制在 3℃~5℃范围内。

此外,锅炉掺烧比例的确定还受锅炉送引风机能力和用户对燃气部分故障后对锅炉运行稳定性要求的制约。燃煤和燃气在元素组份上有较大的差异,燃烧所需的空气量和燃烧后所产生的烟量也将发生较大的变化。如果掺烧比例过大,超出有送、引风机的出力水平,则需要对其进行适当改造,从而增加改造成本和改造周期。回收的工业废气,往往具有组份、品质不稳定的特点,燃气系统的故障率相对较高。如果掺烧比例过大,燃气系统因保护退出运行后,将造成锅炉熄火或联锁停炉,引起蒸汽系统的波动。

经过反复核算,我们最终将火炬气掺烧比例控制在 15%~20%左右,亦即单台炉火炬气的掺烧量按 1 500 Nm³/h 设计,最大可烧 1 800 Nm³/h。

4.3 掺烧位置的选择

为了实现火炬气燃烧烟气与原有燃煤烟气良好混合,避免由于火炬气掺烧而破坏炉内正常烟气流况和火炬气燃烧火焰对燃煤流化燃烧的影响,最后决定将火炬气燃烧器布置在炉膛中部上排二次风风口处(标高 8 830 mm),利用原有两侧上排二次风喷口将预混气体引入炉膛。这样,火炬气燃烧与锅炉炉膛布风板(标高 4 250 mm)相距 4 580 mm,离设计沸腾层最大高度标高 7 350 mm 处相距 1 480 mm,距炉膛出口有 12 670 mm 的距离。

此种布置具有三个突出特点:①使火炬气燃烧器烟气从燃煤烟气上方进入炉膛,并且距离炉膛出口尚有足够距离,使烟气在炉内有足够的停留时间,确保了火炬气自身能够得到充分的燃烧换热,对炉膛出口温度不会有太大的影响。②不必

担心对正常流化燃烧的影响,并利用火炬气烟气将下部燃煤燃烧的烟气进行适当的搅动,增加燃煤烟气的流场扰动,减少飞灰粒子中的含碳量,使燃煤的燃烧效率提高。③利用原有二次风口安装火炬气燃烧器,可以避免在炉膛膜式水冷壁上另外开口,对原有锅炉的受热面不作任何改动,保证了汽水系统的安全,而又大大减少改造工程量。

锅炉原上排二次风布置于两侧墙,每侧三只。火炬气燃烧器的大小尺寸及数量选择以现有上二次风口尺寸和数量为准,故掺气改造选用六只火炬气燃烧器,每个燃烧器按 300 Nm³/h 设计。

5 改造后的效益

5.1 经济效益

流化床锅炉掺烧火炬气后产生的直接经济效益包括因回收工业废气而带来的节约燃煤产生的效益和因少用煤而带来的节约脱硫剂(石灰石)产生的效益。按照每台锅炉最少掺烧 1 500 Nm³/h 计,热值上相当于每小时节约燃煤 1.5 t,两台炉每年共计节约燃煤 2.1 万 t,按照煤价 700 元/t,则每年两台锅炉节约燃煤创造的经济效益 1 470 万元;按照平均燃煤含硫量 0.35%,流化床锅炉脱硫钙硫比为 2:1,则每年可以节约石灰石 460 t,石灰石单价为 220 元/t 计算,则每年两台锅炉节约石灰石创造经济效益 10 万元。因此,流化床锅炉掺烧工业废气每年创造的经济效益共计在 1 480 万元左右。

5.2 社会和环保效益

火炬气回收利用后,减少了火炬气直接排放对环境的影响,如燃烧噪音、污染物排放、灰渣污染等,同时消除了火炬燃烧对社会产生的负面影响,改善了工厂在社会中的形象。

6 结束语

实践证明,工业废气在东方化工两台循环流化床锅炉中的掺烧应用改造是成功的,所带来的经济效益、社会效益和环保效益也是可观的。锅炉掺烧火炬气后,锅炉燃煤系统、燃气系统运行稳定,联锁保护及控制系统工作正常,实际掺烧能力为单台炉 2 100 Nm³/h 左右,并且在全部燃烧器突然退出运行后,及时进行调整,也不会对锅炉正常运行造成较大的影响。

(下转第 45 页)

的粉尘层脱落,孔隙率增大,影响除尘效果,而如果力过小,起不到清灰作用,除尘器同样不能达到最理想的效果。因此,寻找一个较好的剥离力成为众多学者研究的对象。郝文阁等^[6]通过高炉飞灰脉冲式除尘系统进行试验,得出了描述脉冲式清灰系统剥离效率和剥离力的经验公式,因高炉飞灰同样具有质轻粘性的特点,所以该经验公式可适用于木材加工中砂光打磨粉尘。

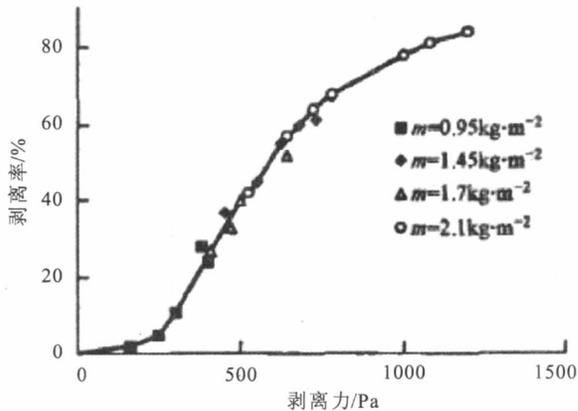


图 4 清灰过程玻璃力与剥离率的关系

公式形式如下:

$$\Phi = 1 - \exp[-A F^\lambda] \quad (2)$$

式中: A 、 λ 为常数, 对如粘性粉尘, $A=1.1 \times 10^{-4}$, $\lambda=1.39$; 剥离力 F 的单位为 Pa。

根据公式 2, 通过对不同粘性粉尘分析的结果见图 4 所示。通过图 4 可以看出, 质量的变化对剥离率和剥离力之间的关系影响不大。一般剥离率在 70%~80% 时, 布袋除尘器可以正常工作, 剥离力应选在 850 Pa 到 1 000 Pa 即可。

4 过滤速度的选择

过滤风速是决定除尘器性能的一个很重要参数, 它的大小取值与滤料的效果和寿命有直接



(上接第 39 页)

总之, 工业废气在企业内部动力(蒸汽)锅炉中进行掺烧利用是完全可行的, 只要掺烧比例、掺烧位置选择合理, 基本上不会影响锅炉原有的运行工况和工艺参数; 只要按照规范要求装设完备、有效的联锁保护系统, 并在运行调整、作业管理过程中严格执行操作规程和规章制度, 掺烧后的安全也有保障。

关系, 至今还没有一个公式来描述它与诸因素之间的关系, 但是它与粉尘粒度、粘度、气体温度、含水份量、含尘浓度及不同滤料等因素来确定。经验表明, 当粉尘粒度较细, 温、湿度较高, 浓度大, 粘性较大宜选低值, 如 $\leq 1 \text{ m/min}$; 反之可选高值, 一般不宜超过 1.5 m/min 。对于粉尘粒度很大, 常温、干燥、无粘性, 且浓度极低, 则可选 $1.5 \sim 2 \text{ m/min}$ 。木材加工砂光打磨中产生的粉尘质轻, 属于中等粘性, 设计过滤风速为 1.2 m/min 。

5 技术特点总结及运行效果

本文主要针对木材加工行业砂光打磨过程中产生的粉尘, 采用脉冲式布袋除尘器进行处理, 采用涤纶针刺毡作为滤料, 设计过滤速度为 1.2 m/min , $8\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$, 过滤阻力在 $400 \sim 650 \text{ Pa}$ 之间, 采用脉冲式反吹式清灰, 清灰剥离力在 $850 \text{ Pa} \sim 1\ 000 \text{ Pa}$ 之间。通过运行中监测, 废气进口浓度 892 mg/m^3 , 经治理后的排放浓度 8.03 mg/m^3 , 运行去除效率为 99.1%。

参考文献:

- [1] 张文斌. 脉冲袋式除尘器在木材加工通风除尘中的应用[J]. 林业机械与木工设备, 2007, 12(35).
- [2] 许可, 韩如冰, 蒋向红. 带式除尘器的发展和存在的问题[J]. 山西建筑, 2006, 13(32).
- [3] 梅瑛, 李瑞琴. 大型分室清灰脉冲袋式除尘器的设计与应用[J]. 机械管理开发, 2005, 6.
- [4] 房文斌, 耿耀宏, 杨弋涛. 基于铸造铝合金过滤流动过程及过滤效率的模拟[J]. 材料科学与工艺, 2002, 4(10).
- [5] 苏小红, 付海明. 浅析袋式除尘器孔隙率与过滤特性之间的关系[J]. 建筑热能通风空调, 2006, 2(25).
- [6] 郝文阁, 石伟, 丁妹, 等. 气箱式脉冲袋式除尘器清灰技术[J]. 环境科学学报, 2008, 3(28).

参考文献

- [1] 秦裕琨. 燃油燃气锅炉实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 153~170.
- [2] 赵钦新, 葛升群, 惠世恩, 刘鑫. 中小型燃油燃气锅炉运行操作与维护[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 23.
- [3] 赵钦新, 惠世恩. 燃油燃气锅炉[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000: 336~337.
- [4] 林宗虎, 张永照. 锅炉手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989: 253~254.