

膜法富氧局部助燃技术在焚烧余热炉上的应用

孟宪会 任林刚

(中国石化齐鲁分公司腈纶厂, 山东淄博, 255040)

摘要 简要阐述了膜法富氧局部助燃技术及其节能机理, 详细介绍了该技术首次运用于丙烯腈装置废水焚烧余热炉的工艺流程及主要设备、安装及调试运行情况, 应用结果表明节能效果显著。

关键词 膜法富氧 局部助燃 节能 应用

中图分类号: TQ054 文献标识码: B 文章编号: 1009-9859(2011)01-0006-05

膜法富氧技术是利用高分子复合膜对不同物质有选择性渗透的原理, 采用对氧具有高渗透性能的复合膜, 利用空气中各组分透过膜时的渗透速率不同, 在压力差的驱动下, 渗透速率相对较慢的气体, 如 N_2 、 CO 等气体被滞留在膜的滞留侧, 而渗透速率相对快的氧气透过膜, 在膜的渗透侧被富集, 从而制得含氧量大于 21% 的富氧气体^[1-2]。富氧助燃一般分为整体富氧和局部富氧两种。前者全用富氧空气来燃烧, 所需投资非常大; 后者也叫“局部增氧”助燃技术, 即用约占普通空气量 1%~3% 的富氧空气来助燃, 风量可降低 1/4 左右, 故投资少。膜法富氧局部增氧助燃技术是膜法富氧技术、局部增氧助燃技术、富氧喷嘴的设计、安装和火焰调试技术的集合。

针对中国石化齐鲁分公司丙烯腈装置废水焚烧余热炉系统存在的问题, 采用了膜法富氧局部助燃技术, 系统投用后显著提高了锅炉热效率和燃烧效率, 有利于防范水冷壁高温腐蚀和严重结渣现象的发生。

1 膜法富氧局部助燃技术的节能机理^[1-2]

在燃烧过程中火焰温度随着燃烧空气中氧气比例的增加而显著提高, 但是当含氧量达 40% 后, 燃烧温度的增加幅度变小, 这是因为含氧程度过大, 燃烧产物的离解度增加, 从而使燃烧温度的提高受限, 因此含氧量取 28%~30% 为宜。燃料在空气中和在纯氧中的燃烧速度相差甚大, 如氢气在纯氧中的燃烧速度是空气中的 4.2 倍, 天然气则达 10.7 倍左右。燃料的燃点温度在不同的

燃烧条件下是不同的, 它的高低和燃烧条件、受热速度、空气用量、周围温度等因素密切相关, 如 CO 在空气中为 609 °C, 在纯氧中仅 388 °C。燃烧所需氧气量决定燃烧所需的空气量, 富氧空气含氧量增加, 氮气减少, 故燃烧后的烟气量减少, 从而能提高燃烧效率, 降低排烟黑度。一般氧浓度每增加 1%, 烟气量约下降 2%~4.5%^[1-2]。将富氧空气快速直接送入燃烧中心缺氧区域, 有利于降低燃料的燃点温度, 提高火焰中心热负荷强度, 大大缩短燃尽时间, 减少火焰中心长度和截面积; 并且防止火焰中心偏移, 有利于燃烧反应完全, 减少排烟黑度; 从而明显减少锅炉有关部位聚结焦渣, 从根本上消除污染, 提高锅炉的运转周期。

2 废水焚烧余热锅炉系统简介及存在的问题

中国石化齐鲁分公司腈纶厂丙烯腈装置的废水焚烧余热炉系统由焚烧炉、余热锅炉、锅炉水预热器、汽包和烟窗组成。焚烧炉为圆桶形卧式炉, 炉头在轴心及沿轴向同心均布 5 个油气联合喷嘴和 2 个液相氢氰酸喷嘴(2007 年改造割除 2 个油气联合喷嘴), 炉侧壁沿同心排布 10 个废水喷嘴。焚烧炉产生的高温烟气(900~1 000 °C)在引风机作用下依次进入余热锅炉、锅炉水预热器

收稿日期: 2010-08-25; 修回日期: 2010-11-01。

作者简介: 孟宪会(1977-), 男, 工程师。2002 年毕业于辽宁石油化工大学, 现在中国石化齐鲁分公司腈纶厂科技开发中心从事产品开发工作。电话: 0533-3576903, E-mail: mlx2h3@126.com。

与脱盐水换热,温度降至 210 ℃,经引风机送入烟囱,排入大气。脱盐水自除氧器经给水泵一部分进入锅炉水预热器,经换热后由 80 ℃ 加热至 183 ℃,然后进入汽包,汽包里的水经 4 根下水管自流进余热锅炉,与高温烟气换热后,经 10 根上水管进入汽包,产生 1.0 MPa 饱和蒸汽引入中压蒸汽管网中。锅炉水预热器、废热锅炉分别设脉冲吹灰器,用以吹除管程的积灰。

由于丙烯腈废水成分的特殊性以及燃料油等原因,余热锅炉在运行中经常出现未燃物逸出炉外,烟窗经常出现冒黑烟的现象,炉内积灰严重,炉效率较低、影响焚烧余热炉的连续正常运行。主要的因素是炉内燃烧区供氧不足,空气过剩系数 m 值偏小造成燃烧不完全,导致炉渣和飞灰中的可燃物较多,易聚结焦渣,烟气排放量较大,污染物排放超标,这也是其他企业燃油锅炉普遍存在的现象。

3 膜法富氧局部助燃系统的工艺流程及主要设备

3.1 工艺流程及控制

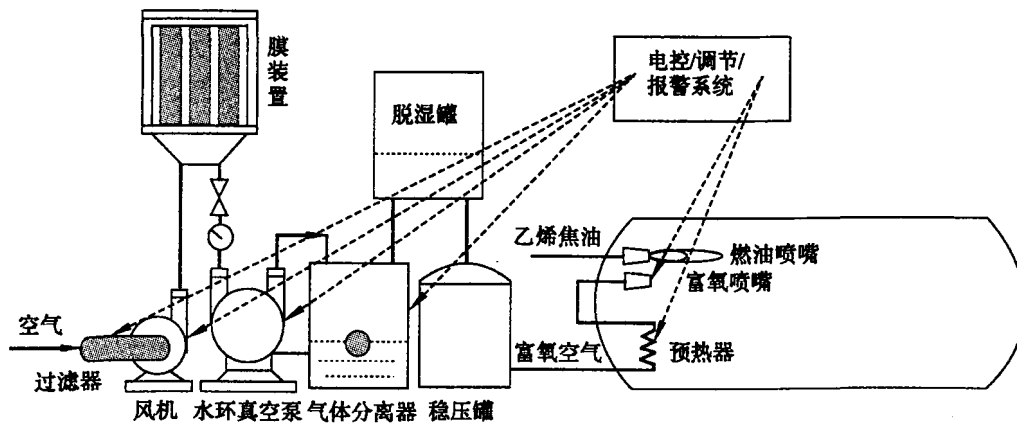


图1 膜法富氧助燃技术典型工艺流程示意

富氧装置的系统操作分为手动和自动两种工作方式。系统启动要求在自动工作方式。只要按动控制柜上的自动启动按键,系统即可自动启动风机、真空泵、电动蝶阀阀门、上水阀。启动顺序是先启动风机和真空泵低速启动,上水阀打开。延时 5 s 后电动蝶阀阀门打开,延时 10 s 真空泵进入正常工作。自动停止顺序是先关闭风机,上水阀,电动蝶阀,延时 15 s 关闭真空泵。整个工作由 PLC 程序控制,正常时不建议用手动方式启动富氧装置。

根据中国石化齐鲁分公司腈纶厂丙烯腈装置燃油焚烧余热炉的现有条件,中国科学院大连化学物理研究所膜技术国家工程研究中心设计了一套用于废水焚烧余热炉的膜法富氧助燃系统的负压操作流程(如图 1),主要包括空气过滤器、风机、膜法富氧装置、真空泵(负压操作),空气脱湿、稳压、预热和喷嘴等部分。原料空气经空气过滤器过滤后进入风机,然后送入膜单元进行分离,其中富氮由膜装置的排出口排出,富氧由真空泵抽出经气液分离器脱出夹带的水分后,进入脱湿罐和稳压罐,利用焚烧炉的废热将富氧加热到 200 ℃,然后通过具有扩散角的喷嘴,喷入炉膛的火焰中心,强化燃烧,提高火焰温度,使燃烧物燃烧完全。由阀门控制富氧空气加入量。水环真空泵的冷却水有两路,一路由循环水总管引出,经气液分离罐分离后自流入地坑储槽内自然冷却,然后经循环冷却水输送泵送回循环水总管循环利用;另一路是从一次水管网引出,接到冷却水转子流量计前,在循环水管线出现故障或其系统内较脏需要冲洗置换时投用。

3.2 技术指标和参数

富氧发生系统的主要工艺技术参数如表 1。

3.3 主要设备

过滤系统:选取高效空气过滤器 2 套,可除去大于 0.5 μm 的灰尘,阻力小于 0.3 kPa,一开一备。

通风系统:风机全压为 1 ~ 5 kPa,风量约为富氧空气量的 7 ~ 10 倍。

膜系统由空气均配箱、卷式膜组件 25 组、真空均分器和外壳等组成。LTV - PS 型富氧膜是

以聚砜为膜材料、硅橡胶为涂层的中空纤维富氧复合膜。富氧体积分数可达30%，富氧透气量为 $1.0 \times 10^{-12} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ，氧氮分离系数6.7，

结构为直径200 mm、长1 000 mm的多层卷式组件^[3-4]。膜系统寿命可以达10 a以上，而且免维护。

表1 工艺技术参数

项目	工艺指标及参数	备注
过滤器除尘率(>0.5 μm的灰尘), %	>99.9	阻力小于0.3 kPa
富氧浓度, %	27~31	
富氧流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	360±40	
循环水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	<2.5	仅水环真空泵循环用,基本不消耗
风机出口压力/kPa	1.5~2.0	
真空泵入口压力/MPa	-0.065~-0.078	
真空泵出口压力/kPa	3~5	
系统阻力/kPa	<0.8	
电耗(富氧空气)/(($\text{kW} \cdot \text{h}$)· m^{-3})	0.10~0.13	
噪音/dB	<80	
占地面积/ m^2	~5	不含循环水池面积

真空系统包括水环真空泵和气水分离器、调节阀、DN150蝶阀、真空表、减震器等。

脱湿系统由L型多孔气体混合器、水位调节显示器、除雾罩、进水脱湿箱和水位自动控制报警器等组成。

稳压系统由稳压罐、百叶挡板和放水阀等组成。

预热系统选用φ159 mm×4.5 mm的耐热钢管制造,要求阻力小于0.5 kPa,富氧空气预热温度200℃。

喷嘴系统2套,与油枪匹配,包括富氧喷嘴、不锈钢软管和气体均分器等。

控制系统由电控、调节、报警等部分组成以西门子的可编程控制器为控制核心,具有自动启动富氧装置,气水分离/脱湿/稳压系统的水位自动控制,水位上下超限声光报警等功能。数字指示电源电压和真空泵工作电流,并配有手动控制电路,便于设备的维修调试用。

设备型号与技术指标见表2。

表2 设备型号与技术指标

设备名称	数量	设备型号	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	风压/Pa	转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	功率/kW	电机型号
通风机	1	4-68-4	4 000	2 069	2 890	4	Y112M-2
水环真空泵	1	2BE1 252	1 500	3 300	660	37	Y2-225S-M
循环冷却水输送泵	1	3196MT1×2-10	10.8	0.6×10^6	2 915	7.5	YB132S1-2

4 膜法富氧局部助燃系统的安装

4.1 富氧发生集成设备的安装

富氧发生系统由通风机、富氧发生器、真空泵、汽水分离器组成。该设备系统为撬装设计,所有设备都已安装在撬装架上;撬装架固定在水泥基础上即可。系统的空气过滤器和带电部分,包括电机、电动阀和电磁阀等设备上方搭设防雨棚。控制柜改装在焚烧加热炉的控制室,从现场接线,连接系统控制信号。

4.2 富氧喷嘴的设计安装

富氧喷嘴的设计在富氧助燃中是特别重要的,它关系到能否把富氧加在最需要氧的地方。针对丙烯腈废水焚烧余热炉的特性,采用“局部

增氧”、“对称燃烧”和“梯度燃烧”等高新专利技术^[5],并结合现有喷嘴的位置进行综合改造。改造后各喷嘴位置如图2所示,其中P1、P2为富氧喷嘴,A1、A2、A3为油气联合喷嘴,A4、A5分别为富氧预热器进出口,A6、A7为液相氢氰酸喷嘴。充分利用原有炉孔,富氧气体从A4口进入炉内预热器,预热好的富氧气从出口A5出来,在预热器出口加装气体均分器,使预热器出来的热富氧气体均匀地分配到P1、P2两个富氧喷嘴入口。通过富氧喷嘴进入燃烧中心助燃,使富氧与燃料在传热最需要的部位混合燃烧,也就是在燃烧空间的贫氧区即火焰的下部燃烧,从而最大限度的发挥富氧的效能,安装方式见图3。

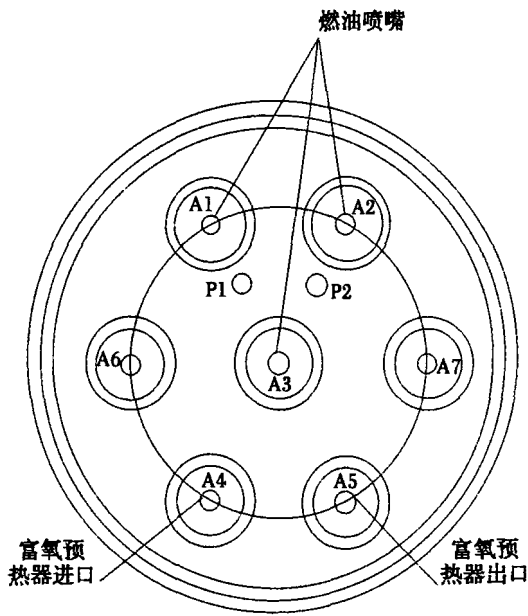


图 2 焚烧余热炉富氧喷嘴及预热器出入口的相对位置示意

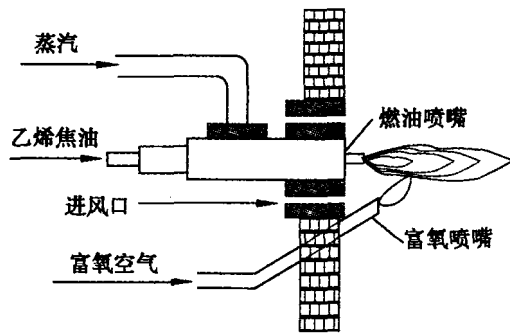


图 3 焚烧余热炉富氧喷嘴安装示意

4.3 过滤系统的安装

选用了标准的高效空气过滤器,可滤去 0.5 μm 以上的微粒高达 99.995%,在风机进口加了电接点式微压表,如果风压降低到设定值,即高效空气过滤器前部包的 2 层过滤棉会渐渐变黑,此时系统将报警,提醒更换过滤棉。

4.4 管线铺设

直径为 DN150 的富氧管线从系统设备出来到进预热器之前的管段需有向上的坡度,同时设置低点放液阀,防止液体水进入富氧空气预热器。富氧管线以管路最短和弯头最少方式铺设。

4.5 富氧预热器

充分利用焚烧炉的废热,将富氧用耐高温管材引入焚烧炉底部利用炉膛高温间接加热。炉膛内预热器管线规格为 $\phi 159 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$,材质为 4Cr25Ni35Mo。

5 膜法富氧局部助燃系统的运行及效果

5.1 试运行及标定情况

富氧助燃装置于 2008 年 9 月初施工完毕,27 日联动试车成功。10 月 31 日至 11 月 3 日对余热炉进行了 72 h 标定,2009 年 1 月 8 日正式运行。标定期间共处理废水 315.2 t,余热炉产汽量 396.6 t,实际消耗乙烯焦油 22.84 t。标定期间乙烯焦油消耗量 317.2 kg/h,产汽量 5.51 t/h。富氧装置产气量 310 m^3/h ,含氧浓度为 30.1%。项目投用前后焚烧余热炉标定结果对比见表 3,排放的烟气分析结果见表 4。

表 3 富氧助燃装置投用前后焚烧余热炉标定结果对比

测试项目	富氧助燃装置投用后	富氧助燃装置投用前	差值
余热炉炉膛平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	989	980	+9
排烟平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	167	168	-1
乙烯焦油油耗/ $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	317.2	404.5	-87.3
产蒸汽/ $(\text{t} \cdot \text{h}^{-1})$	5.51	5.45	+0.06
烟气排放标准	低于国家排放标准	经常冒黑烟	—

表 4 富氧助燃装置投用后焚烧余热炉排放的烟气分析结果

监测项目	排放浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$		排放速率/ $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	
	实际值	指标	实际值	指标
丙烯腈	5.0	<26	0.115	<19
乙腈	2.0	—	0.046	—
氢氰酸	1.1	<2.3	0.0253	<2.7

5.2 运行分析

(1)富氧空气加入后,燃烧区火焰亮度增强,温度显著上升,余热炉平均温度升高 9 $^{\circ}\text{C}$ 左右,促进完全燃烧。排烟平均温度有所降低,蒸汽产量有所增加,焚烧炉油耗明显降低。

(2)现场实施改造和运行比较简单,仅需在焚烧炉附近增设一套膜法富氧助燃系统即可;喷

嘴的安装无需对炉子本身结构进行改动,仅预热系统和富氧喷嘴与炉窑接触,既不影响以后的设备检修,也不影响焚烧炉操作维护等。

(3) 丙烯腈装置废水焚烧余热炉的风门原来是7个燃烧器自然进风,现在只有3个燃烧器投用,但进风口还是7个。由于富氧空气进入炉内将导致火焰中心温度提高,为了维持焚烧炉的正常操作,必须对焚烧炉的进风量、引风量和乙烯焦油量、炉压等工艺参数进行优化调整。可以适当降低乙烯焦油量及其供给压力,由原来的1.5 MPa调至1.2 MPa左右;在降低燃油压力的同时,还要适当减少二次风的进风量,经过反复调节达到最佳工况后,与改造前相比进风量可以减少7%~15%。

(4) 炉膛内预热器管线应采用耐高温的4Cr25Ni35Mo材质,试运行期间因管材材质不达标、质量不合格而发生烧漏现象。因此,预热器管线的采购要严把质量关。

(5) 装置操作简单,仅通风机、真空泵和管道泵需日常维护,其它均免维护,而且整个系统均处于监控之中,出现问题会立刻报警。严格按使用说明操作,整个系统会连续正常运行。

5.3 节能效果和经济效益

丙烯腈装置焚烧炉未利用膜法富氧助燃技术前消耗乙烯焦油404.5 kg/h,折合标油404.5 kg/h。项目实施后,富氧空气中氧含量达到30.1%、乙烯焦油消耗减少量为87.3 kg/h,折合标油为87.3 kg/h;多产蒸汽量为0.06 t/h,折合标油为4.56 kg/h;增加电耗量为48.53 kW·h/h,折合标油为12.62 kg/h;增加循环水消耗量为4.99 t/h,

折合标油为0.50 kg/h。与项目实施前比较,合计节约标油78.74 kg/h,节能率为19.47%。

乙烯焦油价格按2100元/t,蒸汽价格按190元/t,循环水按0.25元/t,电按0.55元/kW·h计算,1h节约成本: $0.0873 \times 2100 + 0.06 \times 190 - 48.53 \times 0.55 - 4.99 \times 0.25 = 166.79$ 元;焚烧炉1a运行的时间以8600h计算,则每年节约成本143.44万元。

6 结论

膜法富氧局部助燃技术在丙烯腈焚烧余热炉装置应用后,油耗明显降低,平均节能达到18.3%,每年可节约成本140万元以上,综合效益显著,为锅炉的节能提供了一条新途径,既能扩大劣质燃料的应用范围,又能充分发挥优质燃料性能,该技术具有广阔的发展前景和较好的推广应用价值。

参考文献

- [1] 王学松. 膜分离技术及其应用. 北京: 科学出版社, 1994: 68-98.
- [2] 陈勇, 王从厚, 吴鸣, 等. 气体膜分离技术与应用. 北京: 化学工业出版社, 2004: 136-144.
- [3] 沈光林, 苏德胜, 储明来, 等. 国内膜法富氧技术应用研究新进展. 膜科学与技术, 1999, 19(1): 12-14.
- [4] 潘小江. 浅谈膜法富氧的技术及其应用. 江西化工, 2005, (3): 43-45.
- [5] 沈光林, 张钢, 刘少烈, 等. 一种工业加热炉膜法富氧局部增氧助燃方法. 中国, 97104465.1, 2002-05-15.

APPLICATION OF TECHNOLOGY FOR LOCAL OXYGEN - INCREASING COMBUSTION - SUPPORTING BY MEMBRANE OXYGEN - ENRICHED IN WASTEWATER INCINERATOR

Meng Xianhui Ren Lin-gang

(Acrylonitrile Plant of Qilu Branch Co., SINOPEC, Zibo, Shandong, 255040)

Abstract This paper introduced the technology and energy-saving mechanism of membrane oxygen-enriched air and local oxygen-increasing combustion-supporting used in the wastewater incinerator of Acrylonitrile Plant for the first time. The technological process, major equipment, installation and commission were described, and the significant energy-saving result as well.

Key words membrane oxygen-enriched air, local oxygen-increasing combustion-supporting, energy-saving, application