

玻璃炉窑助燃用PSA富氧装置的研究设计

李化治

(北京科技大学热能系,北京市学院路30号,100083)

摘要 本文说明了玻璃炉窑富氧技术的必要性;论述了助燃方式,主要技术参数的选取、对PSA富氧装置的试验以及计算机模拟研究结果,并简述了玻璃炉窑富氧技术的实际应用效果。技术参数为:富氧浓度28%~35%、富氧喷出速度>150 m/s、富氧压力0.25~0.30MPa。图4表2参6。

关键词: 变压吸附 富氧装置 助燃 研究 设计 应用

一、课题的引出

我国玻璃行业与国外相比,能耗高,热效率低。以平板玻璃生产为例,国外玻璃生产单耗为4600~7100 kJ/kg,其热效率为40%~50%,而我国的较好水平为10000~12500 kJ/kg,其热效率只有20%~30%。因此,采取有效的节能措施,在玻璃行业中已势在必行。

欲达到燃料的完全燃烧,加强火焰对玻璃液的热辐射,提高热效率,采用富氧助燃是最有效的措施。富氧助燃既节能又可以减少环境污染,因此,玻璃炉窑的富氧技术被列为国家“八五”重点推广项目之一。而这一项目的实施,关键在于现场能否提供经济的富氧源。

北京玻璃五厂新建的1号炉,是29.24 m²马蹄焰玻璃池窑,为我国自行设计建造的全国11个燃油示范样板炉之一,设计要求必须采用富氧助燃技术。

鉴于与低温法制氧相比,PSA法(Pressure Swing Adsorption)法又称变压吸附法,具有产氧简便快捷、完全自动化、且流程简单、结构紧凑、设备投资少、适合于在现场安装快速供气等特点。

与膜法相比,分子筛寿命比薄膜的长,PSA富氧装置可谓永久或半永久性装置。其供氧压力高,并可依据生产工况的需要,在比较大的范围内调节富氧的纯度和产量。

二、助燃方式及技术参数

炉窑富氧技术的关键问题,在于炉窑增氧助燃方式,以及富氧纯度、压力、流量等参数的确定。

1. 助燃方式

助燃方式即富氧吹入方法。富氧吹入玻璃炉窑的方法有三种:(1)作为燃油雾化剂;(2)富氧代替全部助燃空气吹入炉窑;(3)在火焰的适当位置提供少量富氧部分助燃。在玻璃炉窑中油燃烧状态分为三个区域:火焰上部为缺氧区,以防止炉拱过热;中部为普通燃烧区;而火焰的下方应尽量形成高温区以加强玻璃原料的熔化。欲形成这样理想的燃烧状态,应在燃油烧嘴的下方平行吹入富氧,富氧要有足够的压力,以确保富氧喷出速度>150 m/s,达到在玻璃液面上形成一薄层富氧覆盖层。若选择第三种增氧助燃方式,既能获得理想的燃烧状态,提高燃烧温度,节约燃油,又能减少富氧的需求量。此时所需富氧量,仅为助燃用空气量的1/6,使

富氧装置小型化, 设备费降低到企业可承担的范围內。

2. 富氧浓度的确定

从理论分析, 富氧的含氧量越高, 燃料的燃烧温度越高, 而且节能率也高。但节能率与富氧浓度的关系为非线性关系。如图 1。可见, 当含氧量 > 30% 以后, 曲线趋于平缓, 节能率的增幅变小。再观察图 2, 虽然燃烧温度随富氧浓度增大而提高, 但在浓度 < 30% 时, 急剧上升, 而后增值微小, 几乎不变, 这意味着富氧浓度再提高, 其燃烧温度几乎不变。从提高燃烧温度及节能两方面考虑, 在富氧燃烧技术中所应用的富氧含氧量不是越高越好, 以确定在 28% ~ 35% 之间为宜。况且富氧的含氧量提高, 会使生产富氧的成本上升, 单耗增加。

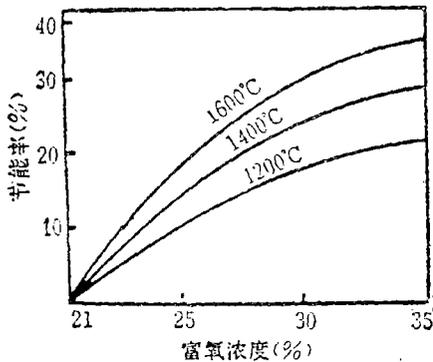


图 1 富氧浓度与节能率的关系

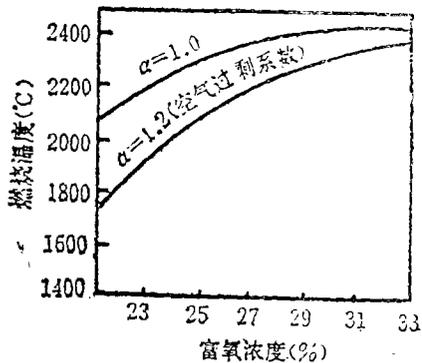


图 2 富氧浓度与燃烧温度的关系

3. 富氧压力

富氧压力是保证富氧喷出速度以形成玻璃液面上富氧覆盖层的决定性参数。实验测得富氧的喷出速度必须 > 150 m/s。经过计算, 在应用条件下, 富氧压力与富氧喷出速度的关系, 列于表 1 中。

表 1 富氧压力与流速

| | | | | | | | |
|----------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 压力 (MPa) | 0.30 | 0.25 | 0.24 | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.13 |
| 速度 (m/s) | 177 | 165 | 155 | 139.5 | 128 | 108 | 93 |

从表中可见, 当富氧压力 < 0.24 MPa 时, 富氧喷出速度低于 150 m/s, 这样富氧喷出后难以在玻璃液面上形成覆盖层, 以起到富氧助燃作用。再考虑富氧喷出后的阻力损失, 富氧压力选为 0.25 ~ 0.3 MPa 为宜。

三、PSA 富氧装置流程

由于提供的富氧含氧量较低, 助燃用 PSA 富氧装置采用两塔式流程。又因富氧压力需要 0.25 ~ 0.3 MPa, 所以最经济的流程为加压吸附, 常压解吸的常压 PSA 流程。其实验装置流程图如图 3 所示。

在实验的基础上, 应用于北京玻璃五厂 1# 炉的 PSA 富氧装置见图 4。

加工空气为该厂空压站的余气。其空压站全部是活塞式压缩机供气, 加工空气中含有油较多, 且压缩空气的温度较高, 因此, 流程中设置冷却器和高效除油器。加工空气量为 2 ~ 3 m³/min, 平均供气压力 0.35 MPa。所供富氧流量最高为 88 m³/h (标态, 下同), 最低 52 m³/h, 平均为 70 m³/h。富氧压力平均为 0.28 MPa, 富氧含氧量通常为 33% ~ 34%。

四、流程的计算机模拟

依据用户对富氧需求的情况不同, PSA 型富氧装置需要进行相应的设计, 常规的做法是先进进行小型实验再相似放大。这样, 需要一定的资金投入且工作量大, 加之吸附机

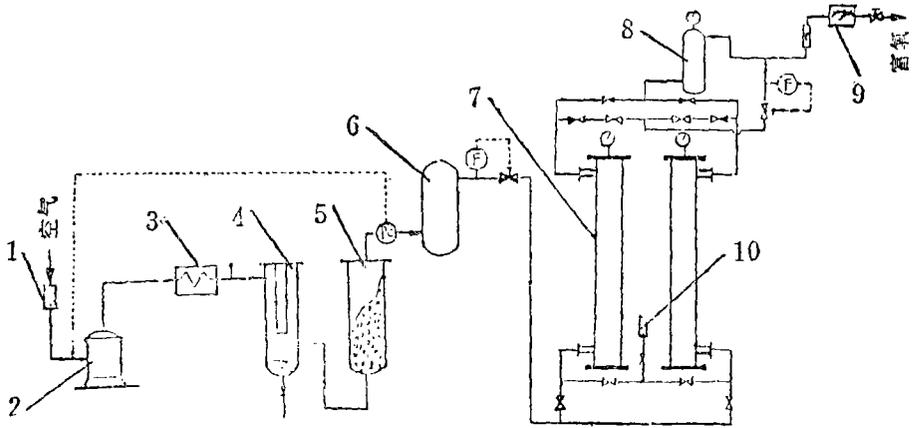


图3 实验装置流程图

1. 空气过滤器 2. 空压机 3. 冷却器 4. 油过滤器 I 5. 油过滤器 II
6. 空气缓冲罐 7. 吸附塔 8. 氧气贮罐 9. 氧分析仪 10. 消音器

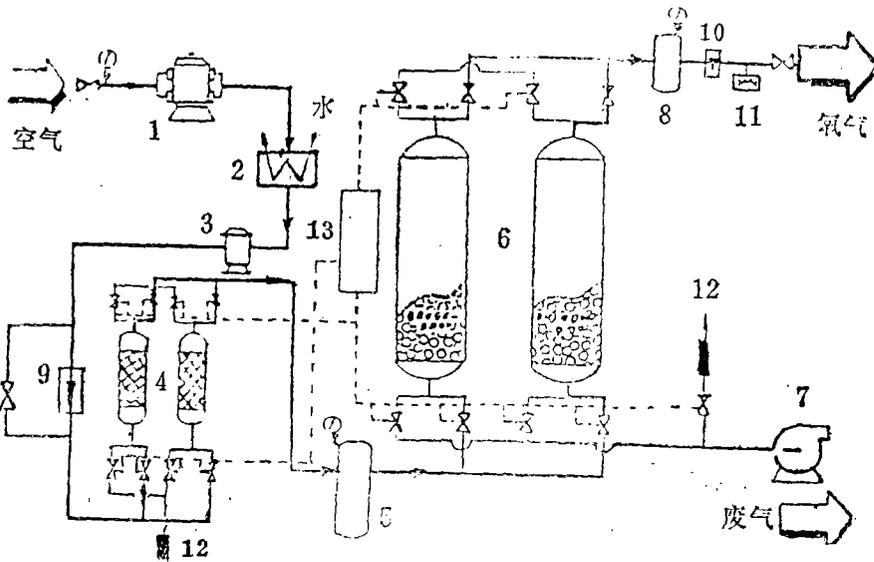


图4 PSA富氧装置流程图

1. 空压机 2. 冷却器 3. 高效除油器 4. 干燥器 5. 缓冲罐 6. 吸附塔 7. 真空泵
8. 氧气贮罐 9. 空气流量计 10. 氧气流量计 11. 氧化锆氧分析仪 12. 消音器 13. 控制系统

理的复杂性，放大时相似性差，从而造成装置放大存在问题，使得设计具有盲目性。因此，有必要进行拟定流程的计算机模拟，以揭示吸附机理，为优化设计提供依据。我们针对两塔式流程进行了计算机模拟。

两塔式PSA富氧过程可分为“充压、等

压吸附、降压脱附、低压吹扫”四个阶段。在等温、氧-氮二元系、忽略气流速度及组成的径向梯度等条件下，建立起数学模型。由质量平衡式、等温吸附平衡式及传质速率方程式，联立求解。

质量平衡式为：

$$\frac{\partial p}{\partial t} + P \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1-\epsilon}{\epsilon} RT \frac{\partial(q_{O_2^*} + q_{N_2^*})}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

等温吸附平衡式为:

$$\left. \begin{aligned} q^*_{O_2} &= K_1 y_{O_2} P \\ q^*_{N_2} &= K_2 y_{N_2} P \quad q_{N_2} = K y_{N_2} + 500 \end{aligned} \right\} (2)$$

传质速率方程为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial q_{O_2}}{\partial t} &= \frac{15D_{e,O_2}}{R_p} (q^*_{O_2} - q_{O_2}) \\ \frac{\partial q_{N_2}}{\partial t} &= \frac{15D_{e,N_2}}{R_p} (q^*_{N_2} - q_{N_2}) \end{aligned} \right\} (3)$$

- 式中 P—压力
 T—温度
 C—气相浓度
 t—时间
 z—轴向距离
 q—吸附量
 u—床层间隙气体流速
 q*—平衡吸附量
 y—摩尔浓度
 R_p—分子筛颗粒直径
 D_e—分子有效扩散系数

制富氧所用的沸石分子筛其吸附平衡线为(朗格缪尔)Langmuir型曲线,因其曲率很小,采用了折线求解。吸附速率方程应用隐式差分法求解。模拟结果得出:

(1) 吸附压力为 0.2~0.4MPa为宜,在吸附压力<0.2 MPa,提高吸附压力富氧浓度增加显著。吸附压力>0.4 MPa,虽然富氧浓度有所提高,但能耗增加较快。

(2) 富氧吹扫量增加,对于生产低浓度(30%~50%)富氧,富氧浓度提高的幅度很小,富氧吹扫量增加10%,富氧含氧量约提高1%,这使富氧的提取率下降了约20%。

(3) 加工空气量对富氧浓度影响较大,当加工空气量增加1倍时,富氧含氧量相对降低25%。

(4) 保证较高提取率及富氧含氧量的最适宜的吸附时间为60~90 s(秒)。

此外,还进行了PSA富氧装置启动过程的模拟,以确定启动后从不稳态直至稳态供富氧所需要的时间。

五、应用后的节能效果

北京玻璃五厂1#炉1993年6月鉴定验收时的热效率已达到43%,节油率37.5%,仅富氧部分,助燃一项节油率为5%~8%。在该炉正常运行后进行了15天的跟踪测试。其测试结果列于表2。

样2 富氧助燃与通常工艺参数对比

| 工 况 | 炉拱顶温度(℃) | | | 烟 道 温 度 (℃) | 重 油 耗 (t/d) |
|-------|----------|------|------|-------------|-------------|
| | 前 部 | 中 部 | 后 部 | | |
| 应用富氧 | 1569 | 1616 | 1450 | 570 | 8.775 |
| 未应用富氧 | 1570 | 1588 | 1450 | 574 | 9.279 |
| 差 值 | -1 | +28 | 0 | -4 | -0.495 |

炉内通入富氧后,火焰亮度明显增强,炉内燃烧情况变好,熔化工艺得到改善。表中可见,拱顶的中部温度提高了28℃,这说明燃烧温度提高了;而烟道温度降低了5℃,表明炉内燃烧更充分,烟道气带走的热量减少。每小时仅通入70 m³的富氧,每日就节油近0.5 t。

该炉已运行两年之久,富氧助燃年节油约为150~200 t(吨),节约燃油费用每年15~20万元,经济效益十分显著。

参 考 文 献

- 1 北川浩 铃木一郎著. 鹿政理译. 吸附的基础与设计. 化学工业出版社, 1983.
- 2 川井利长. クミカル・エニツニヤリ特集. 1988(7): 56~58
- 3 井藤博达. 酸素富化燃焼の省エネルギー效果与课题. 省エネルギー, 1982, 34(9)
- 4 梁德海. 玻璃工厂节能技术. 轻工业出版社, 1989.
- 5 黄佩铭. 深冷技术, 1983(2): 49~53
- 6 美国专利, №4765804

(1996年3月19日收稿)