

富氧膜技术及其装置试验研究

(哈尔滨七〇三研究所) 林向东 陈新海 黄飞
(常州新区发展集团公司) 王海萍

[摘要] 在富氧膜装置性能测试试验的基础上,分析比较在不同的运行状态下富氧浓度和富氧空气产量,对富氧膜装置性能及运行条件(压比、空气供给量和操作温度)作综合论述,并阐明其实际应用存在的问题。另外,还从燃烧技术上分析研究了富氧空气助燃的优点。

关键词 膜法富氧 装置 性能试验 燃烧技术

中图分类号 O647

1 概述

利用膜法富集空气中氧的技术,是当今重要的膜分离技术之一。至今,欧美、日本等国家对此新技术的开发研究已投入很大的力量,美、日等国已有用于强化燃烧和医疗方面的产品出售。如美国GE公司采用P-11型有机膜和日本松下电气产业采用硅氧烷改性膜的工业富氧燃烧系统,美国富氧公司(OE)和日本太田隆的医用富氧器。美国现在已经将富氧燃烧技术应用于航空发动机上,日本已经在多数船舶的燃烧系统加装富氧装置。

我国在富氧膜及其应用装置的研制开发方面,也投入了很大的人力物力,并取得了初步的成果,在小型工业炉窑(如玻璃高温熔化炉)已有应用例子。但是无论在富氧膜产品性能还是在富氧膜装置的工业应用方面都与国外先进水平存在很大的差距,有许多工作需要我们去。

2 富氧膜原理及特点

当含氧21%的空气在压力作用下,透过具有选择性的高分子富氧膜时,由于富氧膜对氧和氮的选择性不同,氧的透过速率大于氮的透过速率,这样在膜的另一侧得到比空气中氧浓度高的透过气体即富氧空气。因富氧膜性能的差异,一般可将氧含量提高到28%~45%。它与传统的深冷分离和变压吸附法相比,在获得中等氧含量空气方面,具有设备简单、操作方便、投资少、费用低等特点。这些特点使得工业用富氧空气(其氧浓度多在35%以下)变得切实可行,而且经济效益显著。

3 富氧膜装置性能试验

3.1 试验装置

富氧发生器试验装置采用一根 $\Phi 100 \times 1000$ mm LTV-PS卷式富氧膜组件,富氧膜组件的材料为聚砜-硅烷橡胶复合中空纤维。富氧膜装置是以减压方式运作的,由风机和真空泵维持富氧膜两侧的压差。试验装置如图1所示,风机把空气输送到富氧膜组件的膜高压侧表面,在富氧膜组件的低压侧用真空泵减压至一定压力,真空泵排出的透过气体即为富氧空气。从富氧膜组件中排出的非渗透气体(即富氮空气)直接释放到大气中去。

3.2 数据分析

3.2.1 压比与富氧浓度和富氧空气量的关系

由图2可见,在减压运行方式下,通过调节真空泵来改变富氧膜两侧的压比情况。当压比增大时,透过的富氧空气的流量和氧浓度都随之增大。为了提高富氧空气量或浓度,可提高分离膜两侧的压差,但设备功率要增大,动力消耗量也将随之增大。

3.2.2 供风与富氧空气的关系

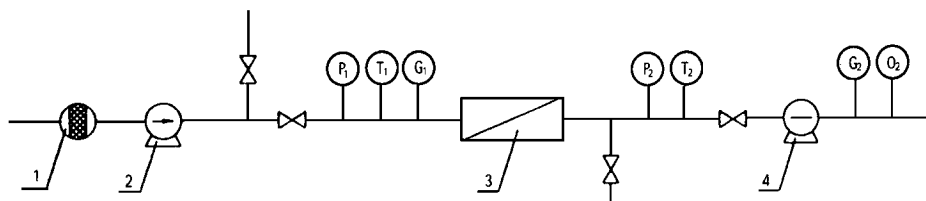
对于减压运行方式,由于受到真空泵特性的限制,由风机提供的供风压力或流量的变化对于富氧空气量的影响不大(在一定的供风量范围内)。但是对富氧空气的含氧量还是有影响的,如图3所示。

从理论上来说,为了防止富氧分离膜表面的浓度极化,一般要求在供侧大量地送入新鲜的空气。提高供风量虽能获得氧浓度较高的透过气,但是势必造成回收率低,运行动力费用高。

在实际的应用工程中,为了增加气体的透过量,通常不是采用增加膜两侧的压差,而是增加膜面积(组件数)和增加膜的选择透过性。

3.2.3 渗透系数和分离系数

气体渗透系数和分离系数是富氧膜的主要性能指标,分别表示膜的分离特性和渗透特性,两者都与膜材料有关。



1. 空气过滤器 2. 风机 3. 卷式富氧膜组件 4. 真空泵

图 1 富氧膜装置性能试验装置示意图

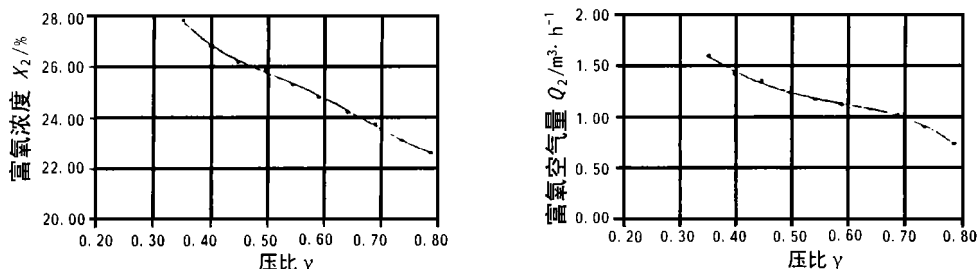


图 2 压比与富氧参数的关系

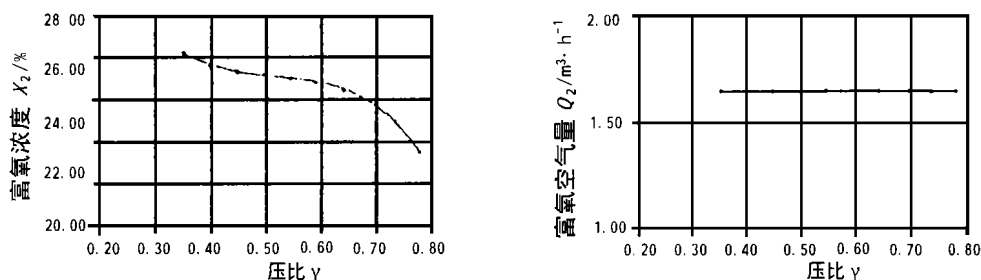


图 3 供风压力与富氧参数的关系

富氧膜的渗透系数可以根据富氧膜组件的有效面积, 以及渗透气体流量和膜两侧压差进行计算得到。其公式为

$$P = Q_2 / (\Delta P \cdot A) \quad (1)$$

式中, P 为富氧膜的渗透系数, $\text{cm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{MPa})$; A 为膜的有效面积, $\Phi 100 \times 1000 \text{ mm LTV-PS}$ 卷式富氧膜的有效面积 5.2 m^2 ; Q_2 为气体透过量即富氧空气量, m^3 / s ; ΔP 为膜两侧气体的分压差, MPa 。

分离系数可利用供给气体和渗透气体的氧浓度, 以及富氧膜两侧压比由下式计算得到:

$$\alpha = \frac{X_2 [1 - X_1 - \gamma(1 - X_2)]}{(1 - X_2)(X_1 - \gamma X_2)} \quad (2)$$

式中, α 为富氧膜的分离系数, γ 为富氧膜两侧压比, X_1 为供给气体的氧浓度, X_2 为渗透气体的氧浓度。

这个数值通常要比膜的理论分离系数低, 这是因为富氧膜组件中存在着偏流、浓度极化和压损等问题。

根据试验数据, 由上述两式计算出本富氧膜试

验装置的平均渗透系数为 $1.30 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{MPa})$, 平均分离系数为 1.70。

3.3 富氧膜装置性能

由试验测试得到的富氧膜装置性能参数见表 1。

表 1 富氧膜装置性能试验数据

名 称	数 值			
真空度 MPa	0.04	0.05	0.06	0.068
氧浓度 %	24.8	25.9	26.7	28.2
富氧气量 m^3 / h	1.12	1.25	1.40	1.65
渗透系数 $10^5 \text{ cm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{MPa})$	1.33	1.26	1.29	1.30
分离系数	1.84	1.69	1.62	1.68

4 试验分析

4.1 富氧膜性能的影响

提高富氧膜的性能是非常重要的。如果膜的渗透系数和分离系数提高了, 即使膜两侧压差小也能获得充分的高浓度富氧空气, 减小了装置的运行动力, 降低了富氧空气成本, 同时可以使装置小型化。

富氧膜组件制取的富氧气体的氧浓度是有限制的, 但对于含氧量要求不是很高的地方(如燃烧应用

等), 它是非常经济实用的。

另外, 提高富氧膜抗衰退性, 可减缓其性能的退化衰弱, 从而延长富氧膜组件的使用寿命。

4.2 运行条件

富氧膜装置的运行状态与其运行条件是密切相关的, 富氧膜装置的运行条件主要包括压比(压差)、回收率(空气供给量)和操作温度。一般只有回收率低, 亦即在供给侧大量送入新鲜的空气, 才能全面体现出富氧膜的性能, 相应获得较高氧浓度的富氧透过气。回收率的选取必须适当, 根据用途通常取为 10%~30%。总之, 在实际应用中要注意保证最适当的运行条件, 使得富氧膜装置运行动力费用最低, 经济效益最佳。

操作温度是一个影响富氧膜选择性的的重要因素。一般地, 操作温度提高, 会提高膜的渗透性, 但降低了其选择性。也就是说, 如果操作温度提高, 会由于透口气量的增加而降低了富氧浓度。

4.3 装置运行方式

富氧膜装置根据其运行方式的不同, 可分为加压式、减压式、加/减压式, 如图 4 所示。本富氧膜装置是以减压方式运行的。在这三种运行方式中, 加压式能耗是最高的, 是减压式的数倍。而减压式所需要的膜面积(即膜组件数量)要远远超过加压式, 但它在能耗方面有一定的成本优势。加/减压式是在以上两者之间。因此, 采用何种运行方式的富氧膜装置, 应该根据实际具体情况而定。以加压式运行的富氧膜装置从单位膜面积获得的富氧空气量是减压式的数倍以上, 具有模块小型化的优点。但是, 在加压式运行中, 利用空气压缩机将空气加压至数倍大气压, 只有少量压缩空气透过膜成为富氧空气, 而剩下的大部分压缩空气被释放到大气中, 所以加压式能源损失非常大, 存在着运行动力费高的问题, 比较适用于拥有已存的剩余压缩空气源的情况。

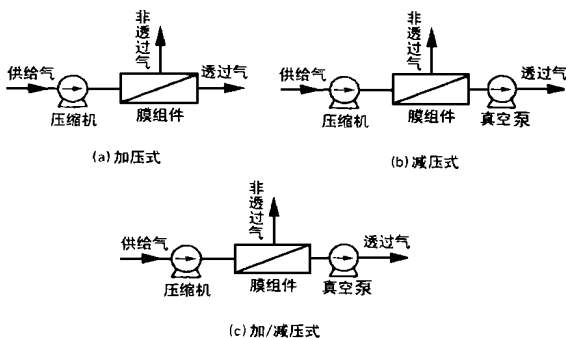


图 4 富氧膜装置的运行方式

5 富氧燃烧特点

根据燃烧理论, 燃料在富氧助燃空气中燃烧具有下列特点:

(1) 燃烧速度提高, 促进燃料燃烧完全。

(2) 空气过剩系数降低。通常选择空气过剩系数 $\alpha = 1.05 \sim 1.10$, 以获得较高的火焰温度, 又能完全燃烧。

(3) 由于所需的助燃空气量减少, 烟气排放量降低, 从而也减少了热损失。

(4) 火焰温度提高, 火焰强度增大, 增强传热效果。火焰温度随着氧浓度的增加而增加, 但随着氧浓度逐渐提高, 火焰温度增加的幅度逐渐下降。为了有效地利用富氧空气, 其浓度不宜选得太高, 一般取富氧浓度 23%~29% 为宜, 而且含氧量从 21% 增加到 25% 时, 效果最明显。

6 结束语

从燃烧分析来看, 在氧浓度 22%~30% 范围内节约燃料的效果明显, 这正是富氧膜的适用领域。当然, 富氧膜装置的应用并非都是经济合算的, 其经济指标通常以氧成本与燃料成本之比来表示。只有氧成本与燃料成本之比小于 1 时, 才会有经济效益。否则, 就没有使用意义。构成氧成本的因素主要为制造富氧空气的耗电量。如果能够研制开发高性能的富氧膜装置, 以及改进富化装置(特别是真空泵或风机), 就可以降低装置的耗电量, 提高富氧膜装置应用的经济性。

富氧膜装置由于只是用压力作为膜分离的推动力, 而且是在常温下进行的, 因此分离装置简单, 操作容易, 易自控和维护。

富氧燃烧的节能效果是相当好的, 可以为国家节约大量的能源, 并对环境保护有益, 具有巨大的经济效益和社会效益。其应用前景是极诱人的。

参考文献

- 高以恒, 叶凌碧. 膜分离技术基础. 科学出版社, 1989.
- 沈光林等. 膜法富氧用于助燃的理论研究. 膜科学与技术, 1994, 14(3)
- Kimura S G, et al Membrane oxygen enrichment. J Membrane Sci., 1986, 29(1)
- 常弘哲, 张永康等. 燃料与燃烧. 上海交通大学出版社, 1993

Storage System [刊, 中] /Fang Guiyin (China National University of Science & Technology) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —1999, 14 (2). —92~94

The dynamic characteristics of an ice direct storage system is analyzed with a relevant physical model being set up. With the help of this model obtained is the variation of the ice storage radius and cold storage rate with time. The model forecast values agree relatively well with the measured ones. This model can be used for providing a theoretical basis for the design and optimization of ice direct storage systems. **Key words:** air conditioning cold storage, ice direct storage system, dynamic characteristics

异抗坏血酸稳定亚硫酸盐的制备及其贮存稳定性研究=Preparation of Isoascorbic Acid Stabilized Sulfite and a Study of Its Storage Stability [刊, 中] /Xiong Rongchun, Wei Gang, Zhang Xiaodong (Beijing Chemical Engineering University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —1999, 14 (2). —95~98

The inhibition of isoascorbic acid on sulfite automatic oxidation was studied by way of oxygen removal and air oxidation tests. The investigation results show that Cu^{2+} as a radical chain reaction initiator can accelerate the reaction of sulfite with oxygen. The isoascorbic acid as a radical absorbent can inhibit the reaction by removing the free radical produced in the sulfite oxidation process. Water pH value, hardness and alkalinity do not exercise any influence on the reaction. The test results provide an important evidence for the free radical chain mechanism of sulfite oxidation and also an effective method for preventing sulfite failure during its storage. **Key words:** sulfite, isoascorbic acid, free radical chain reaction, initiator, absorbent

富氧膜技术及其装置试验研究=An Experimental Study of Oxygen-rich Membrane Technology and Related Equipment [刊, 中] /Lin Xiangdong, Chen Xinghai, Huang Fei (Harbin 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —1999, 14 (1). —99~101

Based on the performance testing of an oxygen-rich membrane device the authors give a comprehensive review concerning the effect of oxygen-rich concentration and oxygen-rich air production rate under various operating regimes on the oxygen-rich membrane device performance and operating conditions (pressure ratio, air supply rate and operating temperature). Discussed are some problems during the practical application of such devices. In addition, an analytical study is conducted of the merit of combustion supporting effect of oxygen-rich air from the combustion technology viewpoint. **Key words:** membrane method of oxygen enrichment, device, performance test, combustion technology

多压凝汽器在 200MW 汽轮机组中的应用=The Use of a Multi-pressure Condenser in a 200 MW Steam Turbine Unit [刊, 中] /Ding Xuejun, Feng Huiwen (Central China University of Science & Technology), Hu Pingfang (Wuhan Municipal Construction Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —1999, 14 (2). —102~105

Described in this paper are the specific features of a multi-pressure condenser and its energy-saving fundamentals. An analysis is given of the application prospects of such condensers in 200 MW units. A triple-pressure condenser has been designed with its energy-saving effectiveness calculated. In addition, the authors also discussed the possibility of modification of a condenser to triple-pressure for a 200 MW unit currently in operation. It is shown that the use of triple-pressure condensers in a region with a high water temperature or in the case of a cooling tower being employed can lead to an enhanced economical operation of the power plants. **Key words:** multiple-pressure condenser, steam turbine, economy

管内强化对流换热的热力经济性分析=Thermodynamic Performance Analysis of In-tube Intensified Convective Heat Transfer [刊, 中] /Wu Huiying (Shanghai Jiaotong University), Shu Fang (Nanjing Architectural Engineering Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —1999, 14 (2). —106~107

In the light of the simultaneous increase of in-tube heat transfer and resistance the authors on the basis of Webb's s index performed an evaluation of the complex thermodynamic performance of heat transfer and flow re-