

船舶氮氧气体制备工艺

孙长江¹, 李冠伦², 朱春来², 孟 伟²

(1. 中国人民解放军驻426厂军事代表室 辽宁 大连 116005;

2. 中国船舶重工集团公司 第七一八研究所 河北 邯郸 056027)

摘 要: 介绍了现阶段采用空气分离方法制备氮气和氧气的工艺。在船舶上安装空分装置,以舱室空气为原料,现场制备是解决船舶用氮气和氧气的有效方法。空分法主要有4种工艺:燃烧法、变压吸附法、膜分离法与深冷法。分析比较了4种工艺的原理、实施流程、特点及船舶适应性,提出了当前须解决的技术难点。在船舶设计过程中,根据不同类型、不同吨位的船舶对气体的需求及船舶的具体任务,而选择相应的气体制备工艺和装置。

关键词: 氮氧生产; 燃烧法; 变压吸附法; 膜分离法; 深冷法

中图分类号: TQ116.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-7649(2012)02-0129-04 doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2012.02.028

Discussing the process of producing nitrogen and oxygen on ships

SUN Chang-jiang¹, LI Guan-lun², ZHU Chun-lai², MENG Wei²

(1. The PLA Military Representative Office Planted 426 Factory, Dalian 116005, China;

2. The 718 Institute Research of CSIC, Handan 056027, China)

Abstract: The present method of producing nitrogen and oxygen through air separation process was introduced in this paper. It was an effective solution to meet the needs of nitrogen and oxygen on a ship by installing air separation unit, using the cabin air as raw materials and site preparation. At present, combustion, pressure swing adsorption, membrane separation and cryogenic were four main methods of air separation technology. The four process principles, the implementation process, the feature and the adaptability of the ship were analyzed and compared. The current technical difficulties to be resolved were proposed. In the ship design process, the appropriate gas preparation technology and the equipments were selected according to the needs and the specific task of the ship.

Key words: N₂-O₂ production; combustion; pressure swing adsorption; membrane separation; cryogenic

0 引言

随着船舶技术的不断发展,船用设备也不断更新换代。航空燃油系统、航空系统和后勤保障系统中的新兴技术装备在使用过程中需要高纯氮、高纯氧、普通氮气及普通氧气。主要用于以下几个方面:

1) 航空煤油在储存、运输、分配过程中的惰化保护;

2) 设备在储存和运输过程中填充保护;

3) 食品保鲜、船上仪器仪表气源;

4) 轮胎氮气充填保护;

5) 船员、医疗室病人和潜水员呼吸用氧。

长期以来,船舶上需要携带大量气体钢瓶,受场地限制,气体存储量小,制约了船舶的远洋航行时间。使用过程中也存在搬运、灌装等劳动强度大等相关问题。因此在船舶上安装空分装置,以舱室空气为原料,现场制备是一个有效的解决方法。本文对氮和氧2种气体的空分制备工艺的实用性及船舶适应性进

收稿日期: 2011-03-03; 修回日期: 2011-09-08

作者简介: 孙长江(1976-),男,工程师,主要研究方向为轮机技术。

行综合性讨论。

1 制备工艺

现阶段氮氧制备工艺都采用空气分离的方法获得,主要工艺有燃烧法、变压吸附法、膜分离法与深冷法等 4 种。

1.1 燃烧法

燃烧法的原理是利用船上发动机燃烧尾气或者专用燃烧装置,将空气中的氧气消耗殆尽而得到惰性气体(主要成分为 CO_2 和 N_2)^[1]。

以锅炉烟气为原料的燃烧法流程框图如图 1 所示。锅炉烟气经风机抽取进入洗涤塔内冷却、脱硫和除尘,出洗涤塔后的气体进入除湿器除水,最后获得合格的情性气体。



图 1 燃烧法流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of combustion process

1.2 变压吸附法

变压吸附法的原理是:在一定压力下,空气中氧分子和氮分子在分子筛表面的吸附速率不同,大部分氮分子(氧分子)吸附在分子筛上,氧分子(氮分子)在气相中富集,从而实现氧、氮的分离;将压力降到常压后,分子筛上的氮分子脱附,使分子筛解吸再生,循环利用。变压吸附工艺大多采用双吸附塔,2 塔交替循环吸附、解吸,从而连续得到氧气/氮气^[2]。

变压吸附的流程见图 2。空气经空压机压缩,通过净化系统清除有害杂质后,交替进入吸附塔;在吸附塔内,分子筛吸附氧(氮)分子,从而使氮(氧)气富集,分离出的氧(氮)产品进入储罐。当其中 1 个吸附塔进行吸附工作时,另 1 个吸附塔进行降压解吸,双塔交替工作,可实现连续供气。

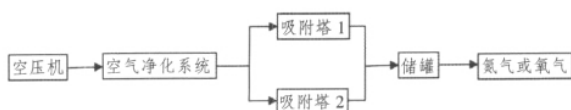


图 2 变压吸附流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of pressure swing adsorption

1.3 膜分离法

膜分离法空气分离是利用溶解-扩散原理。依靠不同气体在膜中溶解和扩散速度的差异来实现气体的分离。当空气通过膜时,在一定动力势的作用

下,渗透速率相对快的气体透过膜后,在膜的渗透侧富集,而渗透速率相对慢的气体在膜的滞留侧富集,从而达到空气分离的目的。

膜分离法空气分离的流程见图 3。首先将空气增压,经过冷干机将空气降温冷却除湿,再经过滤器将压缩空气中的杂质和剩余水分等去除,然后进入膜分离系统。在膜分离器中,压缩空气在膜两侧压差的作用下,氧气具有较快的渗透速率,渗透到膜的另外一侧;而渗透速率相对较慢的氮气被浓缩富集,达到一定纯度以后,离开膜组件,从而达到空气分离的目的^[3]。

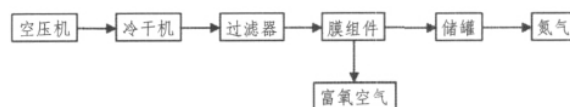


图 3 膜分离流程示意图

Fig. 3 Schematic diagram of membrane separation

1.4 深冷法

深冷法是一种常见的相变空气分离方法,是将空气净化、纯化后,在深度冷却的条件下使空气液化,再利用氮(氮气沸点是 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$)和氧(氧气沸点是 $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$)的沸点差,在精馏塔内连续进行多次蒸发和冷凝,从而获得高纯度的氮气和氧气。

深冷法流程见图 4。空气经空压机压缩后在空气预处理设备中除去水分、二氧化碳、乙炔、碳氢化合物等杂质,净化后的空气进入换热器,被膨胀机制冷产生的冷流体冷却到 $-175\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,部分液化后进入精馏塔。在精馏塔通过精馏得到相应的氮(氧)产品^[4]。

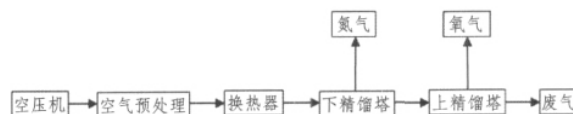


图 4 深冷法流程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of cryogenic process

2 制备工艺的特点及船舶适用性比较

燃烧法属于无相变的气体制备工艺,最后产生的产品实际上是以氮气与二氧化碳为主的混合气。由于运行成本低,目前主要用于货油船压载舱和污油舱等的情性保护,起到隔绝氧气以防止油品挥发造成危险以及某些化学品船的情性保护作用^[5]。但燃烧法工艺系统结构庞大,占地面积大,中间环节多,可靠性

差,操作复杂,对环境污染严重,同时产品因含有二氧化硫具有一定的腐蚀性,设备与管道易损,维修量大,且工艺中包含的洗涤塔和水封装置等设备在船体摇摆和倾斜时对产品品质有影响。

变压吸附法和膜分离法也属于无相变的气体制备工艺,常温运行,流程简单,占地面积小,适于船上狭小舱室安装操作;操作简单,启动速度快,一般开车后30 min就可以达到最佳工况,产出合格产品;能耗相对较低。这2种工艺除压缩机外没有其他运动部件,因而不受船体运动与摆动影响。但这2种都是单目标的制备工艺,只能生产1种气体(氮气或氧气,膜分离技术只能生产氮气),不能生产液体产品,氮气纯度不超过99.9%,氧气纯度不超过95%。要想制备高纯的氮气和氧气,还必须在变压吸附或膜分离装置之后再安装纯化装置。

变压吸附工艺决定了阀门切换非常频繁(大概1~2 min所有阀门需要切换一遍),易造成损坏(损坏1个就影响整套装置运行、造成维修量大)。产量调节困难,另外分子筛的质量和填充技术也影响产品气质量。产品氮、氧气体回收率低,生产单位气体需要原料气量大,空压机排气量及用电量上升引起运行成本增加^[6]。

膜分离法制氮气回收率高,节能效果显著,整体结构紧凑,易于实现自动化,除压缩机外没有运动部件因而故障率低,因此维修量很小。通过增减膜组件,可以得到不同产量的氮气,而氮气的纯度由氧量控制仪等仪表联合控制,氮气的纯度可在一定的范围内任意设定。还可配合氮气纯化装置制备高纯氮气。所以膜分离法在压力变化大、产量和纯度要求范围大的要求下有优势。

目前,这2种方法均应用于民船和军船的燃料惰性防护等。变压吸附法也用于制备船上人员呼吸用氧。

深冷法空气分离属于有相变(气、液两相转换)的气体制备工艺,深冷设备在工作时,需将空气由常温逐渐冷却到-170℃以下,相对于变压吸附和膜分离,启动时间较长、工艺流程相对复杂。不过与变压吸附和膜分离技术相比,深冷技术具有以下优点:

1) 产品氮气纯度可达99.9997%,氧气纯度可达99.9%。

2) 可以生产液氮和液氧,满足某些场合对液氮和液氧的需求。另外,氮氧以液体形式储存比气体钢瓶储存在优势,储存设备重量减少80%、容积减少

50%。

3) 生产弹性大,可根据现场情况调节氮氧产量,其调节范围为60%~120%。

4) 能耗较低,大型深冷空分装置能耗一般为0.3~0.4 kWh/m³。小型深冷空分装置能耗相对较高,在采用了全低压流程和气体轴承膨胀机等技术后,能耗已降低到0.6~0.8 kWh/m³。变压吸附和膜分离装置制备普通氮气和普通氧气的能耗较低,但要制备高纯氮和高纯氧,必须增加纯化设备,因此能耗超过0.9 kWh/m³,略高于深冷空分装置。具体数值见表1。

表1 小型深冷空分装置、变压吸附装置和膜分离装置的能耗
Tab.1 The energy consumption of small cryogenic air separation unit, PSA unit and membrane separation unit

产量/ Nm ³ ·h ⁻¹	装置类型	产品及 纯度/%	单位体积 能耗/ kWh·m ⁻³
50~300	深冷法	氮气99.999	0.6~0.8
50~300	深冷法	氧气99.6	0.6~0.8
50~300	变压吸附	氮气99.9	0.4~0.5
50~300	变压吸附	氧气95	0.4~0.5
50~300	变压吸附	氮气99.999	>0.9
50~300	膜分离	氮气99.9	0.5~0.6
50~300	膜分离	氮气99.999	>1.0

5) 可靠性高,深冷空分装置可连续运行半年以上。

6) 装置由空压机、纯化器与冷箱等组成,设备简单,占地面积少。

由此可看出,深冷法空分装置具有产品纯度高、种类多、产量可调等技术优势,既符合普通船只燃料、油料惰性保护的需求,也能满足舰船用武器设备在储存和运输过程中对高纯氮的需要。但在船上应用深冷法制备高纯氮、氧还存在2个关键技术难点:一是高度问题,从深冷的原理来看产品纯度与深冷空分装置中的精馏塔高度有关,在相同条件下产品纯度需求越高精馏塔越高。目前工业用深冷空分装置中的冷箱实际高度远远超过10 m,而船舶舱室高度一般为2.4 m。高度限制影响精馏塔高度必然导致产品纯度下降,从而限制深冷空分装置在舰船上的应用;二是船舶摇摆适应性的问题,船体在行进中不可避免的产生摇摆与倾斜,而目前工业用深冷空分装置的冷箱对箱体的垂直度要求很高,倾斜1°就会对产品纯度产生很大影响。这也制约其在船舶上的应用。美国、英国和前苏联已经解决了这些关键技术,在船舶上能生产99.5%的氮气和氧气。

3 结 语

燃烧法、变压吸附、膜分离和深冷空分装置都在船舶上得到不同程度的应用,能满足船舶对气体的需求。不同类型、不同吨位的船舶对气体的需求不一样,在船舶设计过程中,应该根据船舶具体任务而选择相应的气体装置。深冷空分装置则具有结构简单、能耗低、同时生产高纯氮/高纯氧等优点,成为船舶氮氧气体装置的发展方向,美国、前苏联和英国等国家的舰船大都安装了深冷空分装置。国内在该领域的研究较少,仅中国船舶重工集团公司第七一八研究所等少数单位正在开展相关研究。如果国内能解决限制深冷空分装置在船舶上应用的关键技术难题,将对我国船舶气体装置工业产生极大的推进作用。

参考文献:

- [1] 余晓琴,等. 油轮烟气惰性气体系统的主要流程设计[J]. 湖北工学院学报 2000,15(2):59-61.
YU Xiao-qing et al. The working flow design of a fume-inert gases system [J]. Journal of Hubei Polytechnic University 2000,15(2):59-61.
- [2] 郑修平. 浅析空分装置工艺流程的选择[J]. 甘肃科技, 2004,20(11):91-96.
ZHENG Xiu-ping. Analysis of selection for air separation process [J]. Gansu Science and Technology, 2004,20(11):91-96.
- [3] 黄美荣,等. 大规模膜法空气分离技术应用进展[J]. 现代化工 2002,22(9):10-15.
HUANG Mei-rong, et al. Application of large-scale air separation by membranes [J]. Modern Chemical Industry, 2002,22(9):10-15.
- [4] 温云,等. 变压吸附制氮机组运行总结[J]. 中国氯碱, 2004,4(4):28-30.
WEN Yu, et al. Operational summary of pressure swing adsorption nitrogen units [J]. China Chlor-Alkali, 2004, (4):28-30.
- [5] 陈俊. 37 300 t 化学品船惰性气体发生装置简介[J]. 船舶设计通讯 2006,4(2):60-62.
CHEN Jun. Brief introduction of inert gas generator for 37300 DWT chemical tanker [J]. Journal of Ship Design, 2006,4(2):60-62.
- [6] 朱银在. 变压吸附制氮设备的运行及其综合评价[J]. 低温与特气 2002,4(5):25-30.
ZHU Yin-zai. The running of PSA unit for producing N₂ and its comprehensive valuation [J]. Low Temperature and Specialty Gases 2002,4(5):25-30.

(上接第 124 页)

参考文献:

- [1] 李世臣,徐善林. 轮机自动化[M]. 大连:大连海事大学出版社 2008.
LI Shi-chen, XU Shan-lin. Ship engine automate [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2008.
- [2] 费千. 船舶辅机[M]. 大连:大连海事大学出版社 2005.
FEI Qian. Ship auxiliary machine [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2005.
- [3] 于洪亮. 船舶动力装置[M]. 大连:大连海事大学出版社 2006.
YU Hong-liang. Ship power equipment [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2006.
- [4] 孙明. 轮机管理[M]. 大连:大连海事大学出版社 2005.
SUN Ming. Ship engine manage [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2005.
- [5] 初忠. 轮机自动化[M]. 大连:大连海事大学出版社, 2006.
CHU Zhong. Ship engine automate [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2006.
- [6] 李杰仁. 轮机自动化基础[M]. 大连:大连海事大学出版社 2005.
LI Jie-ren. Ship engine automate foundation [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2005.