

微型变压吸附制氧研究

卜令兵 刘应书

(北京科技大学机械工程学院气体分离工程研究所 北京市 100083)

摘要 对微型变压吸附制氧的工艺流程、能耗、噪声以及控制系统进行了深入研究。目前微型变压吸附制氧有无均压、进气均压、出气均压3种工艺流程,其中有均压流程能耗较低、制氧效果较好。由于技术水平等原因,国内各厂家生产的微型变压吸附制氧机在能耗噪声等方面与国外产品相比存在一定差距,需要进一步提高技术水平。控制系统决定着整机的性能,因此,研究性能稳定的控制系统,对微型变压吸附制氧尤其重要。

关键词 变压吸附;制氧;工艺;能耗;噪声

中图分类号:TH789 文献标识码:A 文章编号:1003-8868(2006)01-0014-03

Study on miniature pressure swing adsorption oxygen generation

BU Ling-bing, LIU Ying-shu

(Institute of Gas Separation Engineering, School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract In this paper, such aspects of miniature pressure swing adsorption (PSA) oxygen generation are studied as its technical processes, power consumption, noise and control system. Of the three technical processes of the one without pressure equation, the one with pressure equation at the inlet and the one with pressure equation at the outlet, the last one has a low power consumption and thus is effective. The power consumption and noise of domestic miniature PSA oxygen generator are higher than those of foreign ones. Being very important for miniature PSA oxygen generation, the control system has to be laid emphasis on.

Keywords PSA; oxygen generation; technical process; power consumption; noise

1 引言

微型变压吸附制氧最早由美国开发研制成功,并迅速在世界范围内得到广泛应用。我国在上世纪70年代末开始研究微型变压吸附制氧技术,经过10几年的努力,到上世纪90年代有了自主开发研制的能力,并迅速出现了多家微型变压吸附制氧机生产企业。微型变压吸附制氧以空气为原料,以电为能源,开机后几分钟即可产出浓度大于90%的氧气,与其他制氧方法相比具有操作简单、使用方便、经济实惠以及可长期连续供氧等特点。因此,微型变压吸附制氧机广泛应用于氧疗保健、科研氧源、臭氧氧源、以及养殖业用氧等多个领域。其中,家庭氧疗与氧保健是应用最广、市场前景最好的领域。随着人们生存环境的恶化和对氧疗保健认识的深化,氧疗保健将进入普通家庭,微型变压吸附制氧机也将由最初的医疗器械产品转向家电产品^[1]。本文介绍了微型变压吸附制氧原理,并对制氧机的工艺流程、能耗、噪声、控制等方面进行了深入探讨。

2 微型变压吸附制氧原理

变压吸附制氧是利用空气中的氧气和氮气在吸附剂上的吸附容量、吸附力等方面的差异及吸附剂对氧、氮随压力不同具有不同的吸附容量的特性,实现氧气分离制取的^[2]。微型变压吸附制氧工艺流程如图1所示。空气经过滤器净化后进入压缩机,经压缩机升压后进入冷却器冷却,经冷却的压缩空气由控制阀进入吸附塔(塔内装有沸石分子筛)进行吸附分离。分离后的产品气一部分进入储气罐,经流量计流出,一部分对另

一吸附塔进行反吹清洗,而氮气及其他组分在解吸时经消声器排入大气。为了使氧气更适宜呼吸,一般在制氧机中都装有润湿瓶,有的制氧机还可以根据用户的需要安装雾化、遥控、定时以及IC卡计费装置,使用更加方便。

3 微型变压吸附制氧研究

3.1 工艺流程

根据变压吸附流程中吸附和解吸压力的不同,常用的变压吸附流程可以分为高压吸附、常压解吸的PSA流程,加压吸附、真空解吸的VPSA流程,常压吸附真空解吸的VSA流程等几种典型流程。其中PSA

流程适合小流量的装置,因此,微型变压吸附制氧一般均采用此流程。PSA流程有无均压流程和有均压流程2种,由于均压有很好的节能效果,并可以有效地提高产品气的浓度和回收率。因此,大型变压吸附装置普遍采用有均压工艺。但是,由于阀门技术等原因,均压技术在微型变压吸附制氧领域应用的时间还比较短,有些企业还没有掌握该技术。目前市场上销售的产品中有均压与无均压工艺并存。

典型的2床Skarstrom变压吸附循环包括升压阶段、高压吸

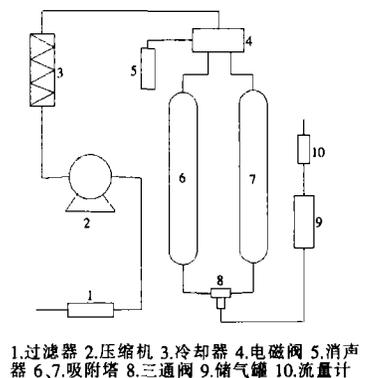


图1 微型变压吸附制氧流程

作者简介:卜令兵,硕士研究生,主要从事变压吸附气体分离技术;刘应书,教授,博士生导师,主要从事气体分离与净化,人工环境教学和科研工作。

附阶段、逆流卸压阶段和反吹清洗阶段。而对于微型变压吸附制氧装置,一个变压吸附循环仅包括升压吸附和反吹解吸2个明显的步骤,如图2所示。有均压的工艺流程中增加均压升压和均压降压2个步骤^[1]。均压工艺根据均压的方式不同又可以分为出气均压和进气均压2种,由于出气均压需要阀门较多,工艺也较复杂,因此,出气均压使用的较少。图3和图4是进气均压和出气均压循环工艺。

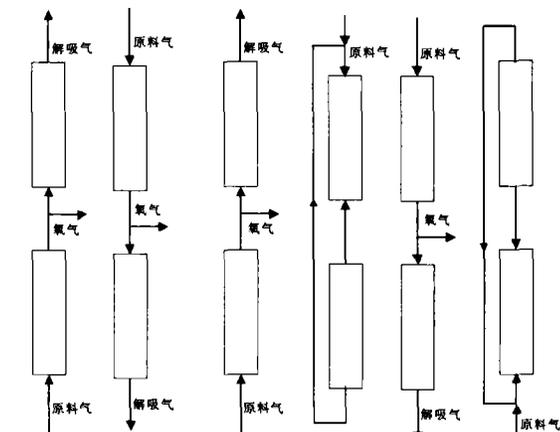


图2 二步无均压工艺

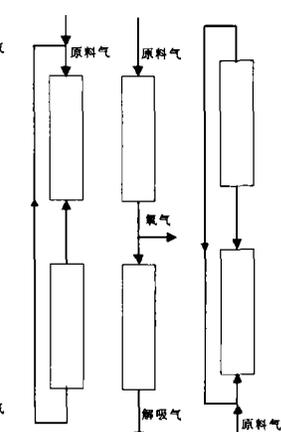


图3 四步进气均压工艺

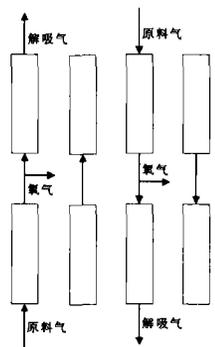


图4 四步出气均压工艺

随着微型变压吸附制氧技术研究的不断深入,VPSA工艺已经引入微型变压吸附制氧研究领域,相信不久的将来该工艺的产品将会进入市场。

3.2 能耗

在微型变压吸附制氧工艺中,有能量消耗的设备主要有压缩机、冷却用的风扇以及电磁阀,其中电磁阀的能耗很小,可以忽略不计。而冷却风扇的功率与压缩机的功率相比也很小,因此,一般所说的微型变压吸附制氧的能耗是指压缩机的能耗。

目前,市场上微型变压吸附制氧机的主要规格是3L/min

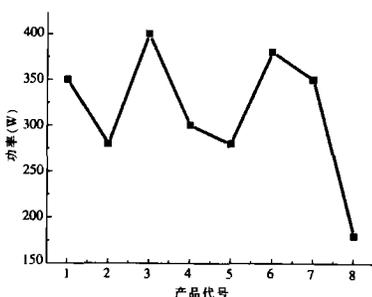


图5 3L机能耗状况

和5L/min,也有1.5L/min、2L/min和4L/min的产品。本文用代号1~8表示8个不同厂家生产的制氧机,其中8代表一种国外产品。图5表示8种不同厂家的3L机能耗,其中产品8对应的是Airsep的产品。由图5可以看出,国内的3L机能耗一般在280~400W,不同厂家的产品能耗差别较大。同时,与国外的产品相比,国内产品的能耗普遍偏高。图6表示单位氧气的能耗随制氧机产气量的变化曲线,图6中4条曲线代表4种产品,其中曲线4是Airsep的产品。由图6可知,随着产氧量的增加,单位氧气的能耗逐渐下降,并且

不同厂家存在较大的差异,国内的制氧机单位氧气的能耗要比国外产品高出许多。

影响微型变压吸附制氧能耗的因素有分子筛性能、工艺流程、运行工艺参数等。在所有能耗的因素当中,分子筛的性能影响最为显著。笔者比较了2种医用变压吸附制氧分子筛,其中用相同质量的分子筛,每个吸附循环FZS2的产氧量是FZS1的1.58倍,使用FZS2可以减少分子筛用量,降低空氧比,从而降低能耗。工艺流程对能耗的影响仅次于分子筛。对于微型变压吸附制氧来说,主要是有均压工艺与无均压工艺,其中有均压工艺的能耗要低于无均压工艺。R Banerjee等人^[2,4]利用有效能分析的方法研究了无均压步骤和有均压步骤的PSA过程。研究发现,有均压步骤流程的最佳切换压力、压缩机功损、床层功损明显降低,有效能效率、产品回收率则明显提高。笔者用实验的方法对进气均压的微型变压吸附制氧工艺进行了实验研究^[2,4],结果表明,对于微型变压吸附制氧,均压步骤可以有效提高氧气回收率和纯度,提高吸附塔的升压速度,缩短吸附周期。因此,合理利用均压步骤是降低能耗的有效手段。系统的运行工艺参数主要有吸附压力、均压时间、反吹量等。吸附压力直接影响系统的能耗,能耗随吸附压力的增加而增加。然而,吸附压力过低时,分子筛吸附不充分,氧气的浓度达不到要求。因此,要设计适当的吸附压力,既要满足氧气浓度与氧气产量的要求,又要使系统能耗不要太高。均压时间的设计也很重要,增加均压时间可以回收较多的能量和氧气,从而降低系统的能耗,提高氧气的回收率,然而,均压时间过长时氧气浓度会下降。因此,工艺参数设计的恰当与否关系到系统的制氧效果与能耗状况,在系统设计中是相当重要的。

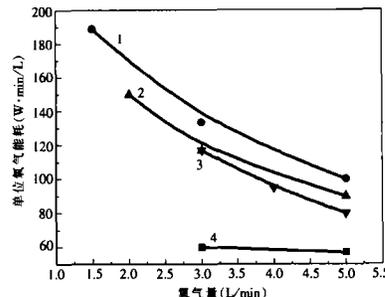


图6 单位氧气的能耗曲线

各厂家生产的制氧机能耗之所以差别较大,除分子筛影响以外,主要是因为其技术水平相差较大,并且国内的技术要落后于国外。

3.3 噪声

噪声不仅会影响人的身体,而且还会影响人的心理,使人产生烦躁、失眠等不良症状。而微型变压吸附制氧机主要用于氧疗保健,用户主要是病人和亚健康人群以及其他需要补氧者,这些人大都需要安静的环境。因此,噪声是制氧机的重要性能指标之一。

图7表示的是所选8种3L机的噪声曲线,图8显示,国内3L机的噪声一般在45~52dB,而Airsep的3L机噪声只有38dB。图8是制氧机噪声随制氧机产量的变化曲线,图8中4条曲线代表4种不同的产品,曲线4是Airsep的产品。图8显示制氧机的噪声随制氧机型号的增加而增加,国产5L机的噪声水平都在50dB以上,且各产品的噪声相差较大,与国外产品相比,国产制氧机的噪声级普遍偏高。我国《城市区域环境噪声标准》(GB3096-93)规定,居民家庭昼间噪声不得超过55dB(A),夜间不得超过45dB(A);疗养区、高级住宅区等场所昼间噪声不

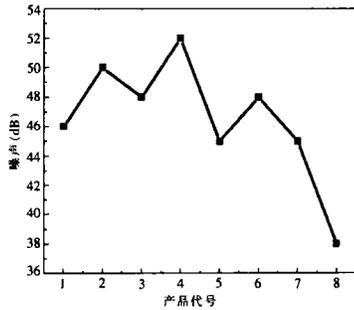


图7 3L机噪声曲线

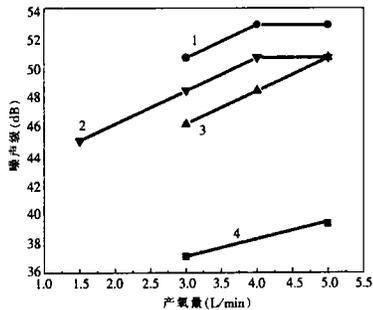


图8 噪声随产氧量的变化曲线

得超过50dB(A),夜间不得超过40dB(A)。目前国内的制氧机都不能满足夜间不超过40dB的标准,因此,降低和控制制氧机的噪声,成为当前研究人员迫切需要解决的问题。

微型变压吸附制氧机的噪声主要为低频噪声,其声源主要包括以下几个方面:进气噪声、排气噪声和压缩机噪声,其中以排气噪声最为明显。根据噪声控制理论的掩蔽效应,当2噪声的声压级差等于9dB(A)时,其中较低声级噪声对噪声的贡献为0.52dB(A),仅相当于精密声级计的测量误差,可以被忽略。因此,控制微型变压吸附制氧机的噪声需从大处着手,降低3处主要噪声源的噪声,就能从根本上降低制氧机的噪声级。

微型变压吸附制氧机3个主要噪声源中,压缩机以低频震

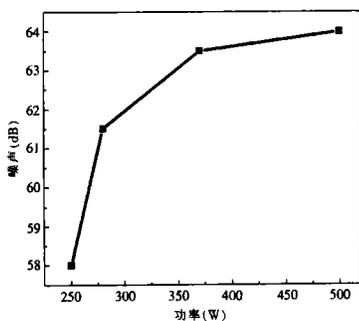


图9 压缩机噪声随功率的变化

动和辐射低频噪声为主,因此,最难消除,一般从减震和降噪2方面入手,可以取得比较好的降噪效果。压缩机的噪声随功率的变化如图9所示。图9显示,随着功率的增加,压缩机的噪声逐渐增加。而且,开始阶段增加较快,功率大于400W以后,噪声增加变缓。另外,随着工作压力的增加,压缩机的噪声也变大。因此,随着制氧机产量的增加,总能耗增加,制氧机的噪声也较大,并且一般4L机与5L机的噪声差别不大。在压缩机进气管口处,随着压缩机气缸的进气阀门的间断开启,气流也间断地被吸入气缸,在进气口附近产生压力波动,以声波的形式从进气口辐射出来,这样便产生了进气口噪声。因此,在管口处增加扩张型消声器可以消除低频噪声。在排气管口处,高速气流从管中喷出,冲击和剪切周围静止的空气,引起管口附近剧烈的气流扰动,从而产生声级很高的空气动力学噪声,形成排气喷流噪声,是声级最大的噪声源。通过增加排气喷流型消声器,可以起到很好的降噪效果,文献^[9]对这种消声器进行了系统的实验研究。

各厂家由于技术原因,能耗与吸附压力相差较大,降噪的技术也各不相同,因此,各厂家生产的制氧机噪声级存在较大差距。

3.4 控制系统

微型变压吸附制氧机的控制系统包括控制阀和控制板,控制板运行控制程序控制阀门的动作,实现2个吸附塔的切换,从而实现吸附与解吸的循环,进而分离制取氧气。

目前国内微型变压吸附制氧机的控制阀主要有6种不同的类型:二位五通单控滑柱式电磁阀、二位五通双控滑柱式电磁阀、电磁先导阀式气动阀、二位四通膜式电磁阀、旋转阀(上海宝马投资有限公司专利产品)和压力控制气动阀。文献^[9]对这6种控制阀的结构进行了分析,结果表明,第5种阀门结构既简单又可靠,在实际使用中故障率很低;第3、4种阀门的结构也较为可靠;而第1、2、6种控制阀的可靠性相对较差。

微型变压吸附制氧机的控制方式有时间控制和压力控制2种。时间控制是指控制程序根据吸附时间的长短控制阀门动作,实现吸附塔切换;压力控制是指控制程序根据吸附塔进口处的压力大小控制阀门动作。由于环境温度的变化、大气压力的变化、电压的波动、压缩机长期运行磨损等非人为的原因,会使压缩机的排气量发生变化。在这种情况下,时间控制的系统由于吸附周期保持不变,因此,其吸附压力必然变化。而对于压力控制的系统,其切换压力保持恒定,因此,吸附周期必然发生变化。2种控制方式的优劣还有待进一步的研究。

为了保证制氧机长期无故障的运行,控制系统中一般加低压报警、高压报警、断电报警、切换超时报警等报警程序。当制氧机不能正常运转时发出报警信号,以便及时维修,避免长时间非正常运行造成分子筛和其它设备元件的损坏。

控制系统的可靠性是制氧机的关键,因此,研究适用于微型变压吸附制氧、稳定性高、故障率低的控制系统,是微型变压吸附制氧的重要任务。

4 结论

(1)目前微型变压吸附制氧主要使用无均压流程、进气均压流程、出气均压流程3种工艺,其中,均压流程有很好的节能效果。

(2)由于分子筛、工艺流程以及技术水平的差别,国内微型变压吸附制氧的能耗相差很大,并且高于国外的产品。

(3)由于降噪技术等方面的差别,国内微型变压吸附制氧机的噪声水平相差较大,并且国内机的噪声要高于进口机。

(4)控制系统是微型变压吸附制氧机正常运行的关键,因此,研究稳定、可靠的控制系统是微型变压吸附制氧的重要任务。

参考文献

- 1 卜令兵,刘应书,刘文海,等.微型变压吸附制氧与氧疗保健[J].低温与特气,2005,23(1):5-9
- 2 刘应书,卜令兵,刘文海,等.微型PSA制氧均压流程工艺参数试验研究[C].成都:空分设备技术交流会议论文集.2005.14-19
- 3 R Banerjee. 变压吸附空气分离过程的Yong分析[J].低温与特气,1994(3):7-14
- 4 RT杨.吸附法气体分离[M].北京:化学工业出版社,1991,270-275
- 5 王勇.微型变压吸附制氧机的噪声控制实验研究[D].北京:北京科技大学,2005.33-35
- 6 杨建中,赵佳禾.国产小型医用氧气机变压吸附控制系统的可靠性研究[J].医疗装备,2005(4):15-17

(2005-09-12 收稿 2006-01-06 修回)