

清洗步骤对变压吸附制氧性能的影响及其规律研究

张 辉, 刘应书, 翟 晖, 曹永正, 曹红程

(北京科技大学机械工程学院气体分离工程研究所, 北京 100083)

摘要:通过对变压吸附中瞬时逆流清洗和连续逆流清洗循环步骤的实验研究,总结了 2 种清洗方式对产氧浓度和吸附压力的影响规律。随连续清洗时间的延长,产氧浓度增加,此步骤对降低吸附压力效果显著;瞬时逆流清洗对产氧浓度的影响限制在较小时间范围内,存在最佳清洗时间,对吸附压力几乎不产生影响。2 种清洗方式优化组合对产氧浓度的影响优于单一清洗方式。

关键词:瞬时逆流清洗;连续逆流清洗;变压吸附;制氧

中图分类号:TQ116.14

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2009)02-0067-03

Effects of purge step on oxygen generation from air by pressure swing adsorption

ZHANG Hui, LIU Ying-shu, ZHAI Hui, CAO Yong-zheng, CAO Hong-cheng

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

Abstract: The experimental study and theoretical analysis about instantaneous reverse purge and continuous reserve purge in oxygen generation from air by pressure swing adsorption are carried out, the effects of these two kinds of purge step on oxygen concentration in product are summarized. The continuous purge step is helpful to reduce adsorptive pressure and oxygen concentration will increase with longer purge time. While instantaneous reverse purge step can improve oxygen concentration in an accurate time limit, and has a little effect on adsorptive pressure. The combination of these two kinds of purge step is better than any one of them.

Key words: instantaneous reverse purge; continuous reverse purge; pressure swing adsorption; oxygen generation

自 20 世纪 70 年代以来,分子筛吸附性能的提高促进了变压吸附制氧的迅猛发展,使其在医疗保健^[1]、隧道施工^[2]、煤化工^[3]、高炉冶炼^[4]、航空机载制氧^[5]等领域发挥了重要的作用,制氧规模也趋于多样化,从微型便携制氧机到大型工业制氧机^[6]。制氧机性能的发挥除与吸附器结构^[7]有关外,还受到吸附循环过程的严重约束,如循环时间^[8]、均压^[9]、解吸^[10]、重叠步骤^[11]等,其中清洗步骤是用产品气体对已经吸附饱和的吸附剂进行清洗,是吸附剂再生的重要步骤,吸附剂再生效果的好坏,会直接影响分子筛再次进行吸附制氧的能力,因此如何设计变压吸附制氧工艺中的清洗步骤,对于提高制氧性能具有重要的意义。本文针对制氧工艺过程中瞬时逆流清洗和连续逆流步骤进行实验研究。

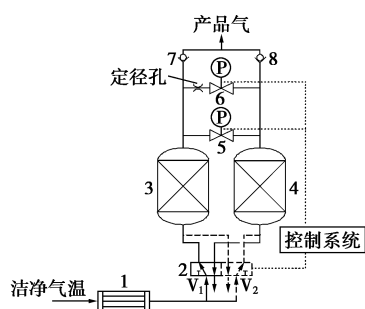
在变压吸附制氧循环中,当吸附床降压接近大气压时,吸附剂中仍有一部分杂质残留量,为使这部分杂质尽可能解吸,可利用高纯度的产品气通入吸

附剂床层,对其进行逆向清洗,降低杂质气体分压,从而使杂质解吸并被清洗气带出吸附床,这就是变压吸附循环中的清洗步骤。经一定程度冲洗后,吸附床内杂质残留量降至吸附过程的最低量,为下步再次吸附做准备。

该研究涉及的 2 种清洗工艺主要区别在于:连续逆流清洗是通过装有定径清洗孔与程控气动阀的管路实现,该步骤持续时间较长、流量小,甚至可持续整个吸附周期;瞬间清洗通过装有程控气动阀的短粗管路实现,持续时间较短、流量大。

1 实验装置

实验采用两塔变压吸附装置,如图 1 所示,装置由冷干机、吸附塔(吸附塔 A 与吸附塔 B)、进排气路(两位五通阀,功能等同于 2 个联动单体阀,即 V_1 阀开, V_2 阀必须关; V_1 阀关, V_2 阀必须开,不会出现 2 个阀同时开或同时关的状态)、均压和瞬间清洗



1—冷干机;2—两位五通阀;3、4—吸附塔;5、6—开关阀;
7、8—单向阀

图 1 变压吸附制氧装置

(以下简称瞬洗)气路(开关阀 V_3)、连续清洗气路(开关阀 V_4 与 $\Phi 2.0$ mm 定径孔)、产氧气路(单向阀 A 与单向阀 B)以及相应的控制系统构成。

实验中洁净气与产品气流量由 LZB-15 转子流量计测量,氧浓度采用氧化锆微氧量分析仪 ZO-101T 测量,吸附塔上、下端压力采用 MPX5700 压力传感器测量,并传至上位机记录。

2 工艺流程

压缩空气经粉尘过滤、油水分离后成为洁净气源,经冷干机除水后交替进入吸附塔 A 和 B,每个吸附循环周期分 8 步,各循环步骤如表 1 所示。

表 1 吸附周期内各吸附循环步骤分解图

步骤	I				II				III				IV				V				VI				VII				VIII							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
阀	关	开	开	开	开	关	开	开	开	关	关	关	开	关	关	开	开	关	开	开	开	关	开	开	开	关	关	关	开	关	关	关	开	关	开	开
A 塔	上均压升压 被 B 塔清洗				升压				升压吸附				清洗 B 塔				上均压降 压清洗 B 塔				降压				降压解吸				被 B 塔清洗							
流程示意图																																				
B 塔	清洗 A 塔上 均压降压				降压				降压解吸				被 A 塔清洗				被 A 塔清洗 上均压升压				升压				升压吸附				清洗 A 塔							

注:表中流程示意图吸附塔上方包括两气路分支,一支为连续逆流清洗气路,用虚线表示;另一支为瞬时逆流清洗和均压气路,用实线表示。

(1) 步骤 III (同 VII)

气源由 V_1 进入 A 塔,由于分子筛对空气中 N_2 和 O_2 的静态吸附量不同, N_2 优先吸附于分子筛上,不易被吸附的氧气在 A 塔上部聚集,形成氧的高浓度区,在压力作用下推动单向阀 A 输出形成产品气,而 B 塔内的高压气体经阀 V_2 排至塔外,随 B 塔压力降低,吸附在分子筛上 N_2 脱附随气流排至塔外,使分子筛在低压下得以再生。

(2) 步骤 IV (同 VIII)

此步骤不同于步骤 III 的最大区别是 A 塔上部产生的 O_2 一部分作为产品气输出,另一部分通过定径孔对 B 塔进行连续逆流清洗,促使 B 塔内分子筛再生完全,同时损失一部分 O_2 。

(3) 步骤 V (同 I)

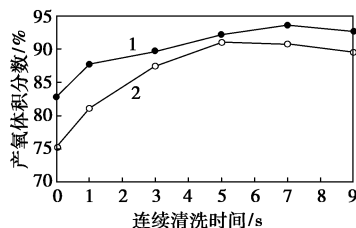
此步骤在保持步骤 IV 不变的基础上增加了瞬洗过程,即气体同时由 A 塔经内径 8 mm 的管路和 V_3 对 B 塔进行瞬时逆流清洗。

(4) 步骤 VI (同 II)

此步骤保持 V 上部大流量均压和小流量清洗过程,下部气源由 V_2 阀进入 B 塔,形成对 B 塔的上下同时均压,而 A 塔开始解吸,即 A、B 塔的进气方向与步骤 V 正好反向。

3 实验结果与分析

3.1 清洗时间对产氧浓度的影响

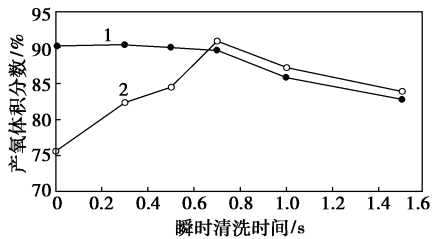


1—瞬时清洗 0.5 s;2—无瞬时清洗

图 2 连续逆流清洗时间与产氧浓度关系图

图 2 为连续逆流清洗时间与产氧浓度关系图,

“曲线2”表示无瞬时逆流清洗,只有连续逆流清洗条件下,通过改变连续清洗时间得到的产氧曲线,可以看出,当没有清洗步骤时,产氧浓度只有75%(体积分数,下同),随着连续清洗时间的延长,氧浓度迅速升高,连续清洗5.0s时浓度达到90%以上,时间进一步延长,浓度稍有降低。“曲线1”是在“曲线2”条件下加入瞬时逆流清洗步骤,时间为0.5s,产氧浓度明显高于连续清洗曲线,瞬洗0.5s氧浓度就可达82%以上,连续清洗时间延长至5.0s后,氧浓度超过93%。



1—连续清洗9s;2—无连续清洗

图3 瞬时逆流清洗时间与产氧浓度关系图

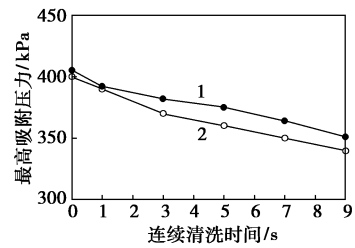
图3为瞬时逆流清洗时间与产氧浓度关系图,“曲线2”只考察了瞬时清洗时间,由图3可以看出,瞬时清洗时间每变化0.1s,产氧浓度变化就非常显著,当瞬时清洗0.7s时,产氧浓度最高,瞬洗时间进一步延长,产氧浓度明显下降,说明瞬洗对产氧浓度的影响在微小区间内。“曲线1”是在连续清洗9s条件下调整瞬洗时间,在0.7s前,氧浓度一直稳定在90%,0.7s后,氧浓度如同“曲线2”一样迅速下降,这进一步说明,瞬时清洗对产氧过程的影响非常显著,只有在连续清洗较好情况下,适当加入瞬时清洗才能有较好的产氧效果。

综合上2种实验结果,可以发现,在瞬时清洗时间不变的条件下改变连续清洗时间,可以在小范围内精确地调整清洗气量,避免了由于调整瞬时清洗时间改变造成的氧气浓度波动较大的问题。因此同时采用瞬时清洗步骤与连续清洗步骤要比单独采用任何一种清洗步骤更有利于产出高浓度氧气。

3.2 清洗时间对吸附压力的影响

图4是改变连续逆流清洗时间时吸附塔顶部压力变化曲线。

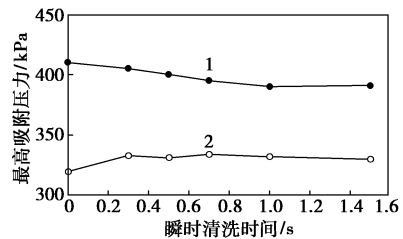
由图4可知,随着连续清洗时间的延长,吸附压力降低,当加入瞬时清洗0.5s时,吸附压力变化规律与无瞬时清洗曲线相同,说明连续逆流清洗会导致吸附压力的降低,时间越长,吸附压力越低。加入



1—瞬时清洗0.5s;2—无瞬时清洗

图4 吸附压力随连续清洗时间变化曲线图

瞬时清洗后,吸附压力比无瞬时清洗时压力高,这一现象从图5中可以清楚看出,此时,吸附压力曲线几乎成一水平线,说明瞬洗时间长短对吸附压力的影响不大。这是由于瞬时清洗步骤接近降压解吸阶段,与吸附过程的升压阶段无关,即不会影响吸附剂的升压吸附过程,该步骤对氧浓度的影响主要表现为清洗气量,而不是吸附压力,瞬时清洗是通过降压过程改变清洗量,即在吸附过程末期,通过类似均压方式,将吸附塔上方空间内高压气体输送到另一塔,对另一塔起到均压和清洗的作用。清洗气量的大小取决于降压过程压差,瞬洗时间越长,压差越大,清洗气量越大,会导致流出产品气的清洗床吸附前沿短时间内穿透,对氧浓度波动影响很快,这也是瞬时清洗时间变化0.1s即产生显著效果的原因。



1—无连续清洗;2—连续清洗9s

图5 吸附压力随瞬时清洗时间变化曲线图

4 结论

通过实验研究了2种清洗工艺对变压吸附制氧性能的影响,得到以下结论:

(1)采用小流量连续清洗工艺时,随着清洗时间的增加,氧气浓度呈上升趋势;瞬时清洗时间在小范围内波动会使产氧浓度达到最大值。

(2)同时采用2种清洗方式,可得到比单独采用其中任一种更好的制氧效果。

(3)吸附压力随连续逆流清洗时间增加而降低,但瞬时清洗时间延长对吸附压力影响不大。

(下转第71页)

效果^[5-6],为了充分利用亚临界水萃取技术和超声强化技术的优点,将超声能量引入亚临界水萃取过程中,是功率超声的一个新兴应用领域,利用超声波在液体介质中传播时所特有的空化效应,破坏药材细胞壁,使有效物质容易从药材中提取出来;加上超声波传播产生的机械振动、微射流、微声流等多极效应,能够充分提取药材中的有效成分。

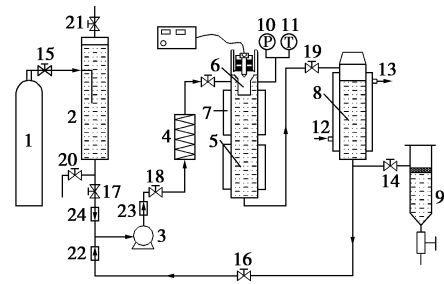
但是到目前为止,市场上还没有商业化的亚临界水萃取设备出售,所有相关文献报道的实验结果都是用自制的设备^[7-8],或是在超临界流体萃取和加速溶剂萃取设备的基础上改装的设备^[9-10]。于是,笔者根据其各自的技术原理,设计了1套结构简单、使用方便、自动化程度高、带超声强化的亚临界水萃取装置。

超声空化是功率超声应用的物理基础,它是过程强化的主动力,如果亚临界水中能产生超声空化将对超声强化亚临界水萃取起到重要的作用^[8-10]。本文探索亚临界水中能否产生空化现象,为超声强化亚临界水萃取天然产物中有效成分工艺条件提供理论指导。

1 超声强化亚临界水萃取装置设计

该装置如图1所示,主要由以下三大部分组成:

(1)亚临界水萃取部分。该部分主要由氮气罐、蓄水池、压力泵、预加热器、恒温装置、萃取釜、调节阀、冷却器及收集器等组成。氮气罐贮藏氮气,通过管道和蓄水池相连接,氮气用于除去蓄水池中萃取溶剂水中的氧气;预加热器用来将水加热至所需要的温度,压力泵将经过预热的水以一定的流速泵入萃取釜中,恒温装置用来保证萃取系统处于恒温状态,冷却器用来迅速冷却流出的萃取液以保证其处于液体状态。操作时物料先经过除杂、干燥和粉碎。



1—氮气罐;2—蓄水池;3—压力泵;4—预加热器;5—萃取釜;
6—超声强化装置;7—恒温装置;8—冷却器;9—收集器;
10—压力测定器;11—温度测定器;12—冷却水进口;
13—冷却水出口;14~21—调节阀;22~24—单向阀

图1 2 L超声强化亚临界水萃取装置

经计量后的萃取物料装入物料筐置于萃取釜中,在预先设定好的萃取参数下用超声强化亚临界水装置对原料进行有效成分的萃取,该装置可以进行静态和动态萃取,静态萃取时关闭调节阀19和调节阀16,静态萃取结束后打开调节阀19和调节阀14,将萃取液通过冷却器进行冷却,并收集。动态萃取时关闭调节阀14和调节阀17,打开调节阀16和调节阀19,让亚临界水通过调节阀19到冷却器,冷却后的水历经调节阀16,由压力泵强制水在系统中循环,循环水不断流经萃取釜中物料,动态萃取结束后关闭调节阀16和打开调节阀14,将萃取液通过冷却器进行冷却,并收集。

(2)超声强化部分。超声强化装置如图2所示,该部分主要由超声发生器和换能器组成。4片压电陶瓷片分成两组组成夹心式超声换能器,换能器与萃取釜盖加工成一整体,考虑了亚临界水所处的高温状态,让压电陶瓷晶片露于萃取釜盖的外面,可以外加风扇等散热装置;为了充分发挥超声的强化效果,变幅杆采用内置式,置于萃取釜盖的下面,直接

(上接第69页)

参考文献

- [1] 刘文.医用保健制氧机[J].家用电器,2001(5):43-44.
- [2] 顾福民.青藏铁路与氧气—青藏高原变压吸附与膜分离制氧报载与文献综述[J].气体分离,2006(4):19-22.
- [3] 张佳平,唐伟,耿云峰,等.变压吸附空分制氧和CO分离在煤化工中的应用[J].现代化工,2007,27(s2):121-126.
- [4] 刘应书,杨天钧,苍大强,等.高炉富氧喷煤技术研究开发的进展[J].炼铁,1996(4):43-45.
- [5] 肖华军,臧斌.21世纪高空超高空供氧防护装备的发展[J].解放军医学杂志,2004,29(10):917-919.
- [6] Grahl M, Leitgeb P. 变压吸附生产氧气[J].深冷技术,2001(5):17-21.
- [7] 张辉,刘应书,刘文海,等.变压吸附制氧机吸附器结构研究进展[J].化工进展,2007,26(11):1602-1609.
- [8] 崔红社,刘应书,刘文海,等.碳分子筛分离氧氮过程的实验研究[J].北京科技大学学报,2005,27(4):493-496.
- [9] 卜令兵,刘应书,刘文海,等.微型变压吸附分离空气制氧均压过程[J].北京科技大学学报,2006,28(10):989-992.
- [10] 翟晖,刘应书,张辉,等.小型变压吸附制氧的真空解吸实验[J].化工进展,2008,27(7):1061-1064.
- [11] 杜雄伟,刘应书,侯庆文,等.重叠步骤对真空变压吸附制氧性能的影响[J].现代化工,2008,28(2):62-65. ■