

用 FLOWMASTER2 对 PSA 制氢均压过程仿真及设备优化

魏丽婷¹, 赖喜德¹, 杨炯波², 杨炯良²

(1. 西华大学能源与环境学院, 四川 成都 610039;

2. 成都华西化工科技股份有限公司, 四川 成都 611830)

摘要: 运用 FLOWMASTER2 软件对 $63000\text{m}^3/\text{h}$ VPSA 氢提纯装置的工艺均压过程进行数值模拟, 探索均压过程仿真方法, 简要介绍对该系统的仿真过程。通过均压工艺过程仿真, 获得了管网中各元件的内部流动参数, 及达到均压所需要的时间。并根据仿真结果定量分析管网中各元件的内部流动参数及过渡过程, 优化工艺参数辅助分析解决工艺过程中的问题。采用适当的修改方案, 达到工艺参数的最优选择和控制, 完成设备优化设计。

关键词: FLOWMASTER2; PSA; 变压吸附; 制氢; 设备优化

中图分类号: TQ051.21

文献标识码: B

文章编号: 1001-9219(2007)01-58-03

变压吸附(PSA)技术是一种高效节能的气体分离技术, 已广泛应用于化工、冶金、医药、环保等领域。近年来, PSA 氢气提纯技术更为广泛的应用, 存在着商业开发领先于理论研究的问题^[1,2]。从 PSA 工艺流程可看出, 其管网规模超大, 结构复杂, 工艺过程复杂多变, 操作参数往往相互耦合, 难以直观地得出变量对分离过程的影响, 通过试验来解决工艺参数优化和工艺设备的最优设计问题的技术难度大, 成本太高^[3]。因此, 通过计算机仿真技术对 PSA 管网内流体的流动数值模拟, 仿真 PSA 工艺过程对操作参数的最优选择和控制及工艺设备的最优设计都有着重要意义。本文对成都华西化工科技股份有限公司制造的 $63000\text{m}^3/\text{h}$ VPSA 氢提纯装置的工艺均压过程数值模拟, 探索均压过程仿真方法, 简要介绍对该系统的仿真过程。通过均压工艺过程数值仿真, 取代了试验的方法, 获得了管网中各元件的内部流动参数, 及达到均压所需要的时间。并根据仿真结果定量分析管网中各元件的内部流动参数及过渡过程, 优化工艺参数辅助分析解决工艺过程中的问题。采用适当的修改方案, 达到工艺参数的最优选择和控制, 完成设备优化设计及元件的最优选择。但因管网结构及流动条件的复杂性, 增加了模拟技术和计算方法的难度, 研究其可行的仿真方法

和采用可靠的系统仿真工具是非常必要的。

1 PSA 氢提纯工艺过程简介

$63000\text{m}^3/\text{h}$ VPSA 氢提纯单元装置采用 12-2-8 工艺流程, 即: 装置的 12 个吸附塔中有 2 个吸附塔始终处于同时进料吸附的状态。其吸附和再生工艺过程由吸附、连续 8 次均压降压、逆放、抽真空、连续八次均压升压和产品气最终升压等步骤组成^[4]。其中均压部分包括: (1) 均压降压过程: 吸附结束后顺着吸附方向将塔内较高压力的氢气放入其它已完成再生的较低压力吸附塔, 本流程包括 8 次连续的均压降压过程; (2) 均压升压过程: 真空再生完成后, 用来自其它吸附塔的较高压力氢气依次对该吸附塔进行升压, 共包括 8 次均压升压过程。

2 工艺均压过程的仿真方法

2.1 仿真工具

对 VPSA 氢提纯装置科研管网及其工艺分析后, 其管网中的流动的数学物理模型可以确定, 为了提供数值仿真的可靠性, 采用 FLOWMASTER2 软件作为系统仿真工具。

FLOWMASTER2 是全球领先的一维流体管网系统解算工具, 是面向工程的完备的流体系统仿真软件包, 对于各种复杂的流体管网系统, 工程师可以利用 FLOWMASTER2 快速有效地建立精确的系统模型, 并进行完备的分析。FLOWMASTER2 具备的分析模块可以对流体系统(含液压系统)进行稳态和瞬态分析, 可以对不可压缩流体和可压缩流体系

收稿日期: 2006-08-21; 基金项目: 国家自然科学基金项目(20376049)、四川省教育厅自然科学重点项目(2004A113)及四川省重点学科建设项目(SZD 0412)资助; 作者简介: 魏丽婷(1981-), 女, 硕士生, 电话 013094420450, 电邮 weiliting1230@163.com。

统进行分析,可以对系统进行热传导分析^[5]。

利用 FLOWMASTER2, 工程师能够摆脱大量复杂繁琐的计算工作, 将更多的精力集中在工程设计上。无论是设计产品的冷却系统、润滑系统、液压系统、油(水)输送系统、热管理系统, 或检查浪涌现象对管道系统的影响, FLOWMASTER2 都可以对系统中的各个环节进行精确的压力、流量、温度、流速分析, 快速地帮助工程师完成和优化系统的设计。它可以帮助企业减少生产成本, 提高产品性能, 缩减产品开发时间和试验次数。

2.2 工艺管网简化及建模

PSA 氢提纯装置的主要设备有吸附塔、管道、阀门等, 其中吸附塔是一个比较复杂的元件。本文以管网内一组吸附塔间均压过程的仿真为例, 来介绍对该系统的仿真方法。根据 63000m³/h 工艺流程, 均压时其它管道的阀门均已关闭, 可看成两塔之间的封闭系统, 故只选其中一对处于均压的吸附塔作为分析对象来简化工艺模型, 用 FLOWMASTER2 软件建立模型如图 1。

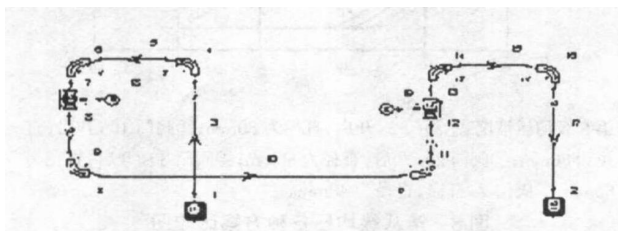


图 1 均压管网模型图

Fig 1 The model of the pressure equalizing networks

3 原系统的仿真计算结果

针对均压系统, 对第 1 级均压和第 8 级均压过程进行仿真计算。根据华西公司提供的原系统氢提纯单元操作条件(见表 1), 给模型中各个元件设置恰当的边界条件。运用 FLOWMASTER2 软件进行初步分析, 得到了均压过程管网内塔、管道、弯头、阀门的流动情况。用户最关心的是得到了达到均压所需要的时间, 结果见图 3、图 4, 可以看出第 1 级均压在 7s 左右就达到均压, 第 8 级均压在 18s 左右完成。图 5 是第 1 级均压升的结果图, 以此为例说明结果的正确性和相应性, 以下均用均压降为代表说明问题。(阀门开启时间指阀门由全关到全开的时间; 均压时间指两塔达到均压所需要的时间)。

表 1 原系统单元操作条件

Table 2 Operation parameters of the original system

	塔间压力 MPa	阀门直径 mm	阀门开启 规律	阀门切换 时间 s
第 1 级均压	4.0~ 3.1	80	如图 2	40
第 8 级均压	-0.08~ 0.85	80	如图 2	40

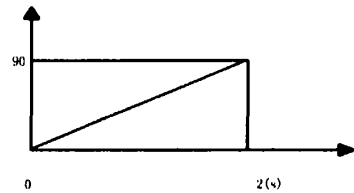


图 2 阀门 2s 开度变化曲线

Fig 2 The change curves of 2s valve opening

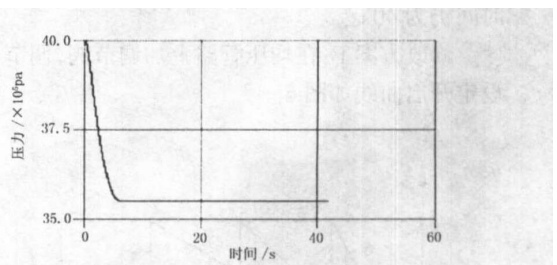


图 3 第 1 级均压降压力随时间变化图

Fig 3 Pressure drop with time of the 1st pressure equalizing

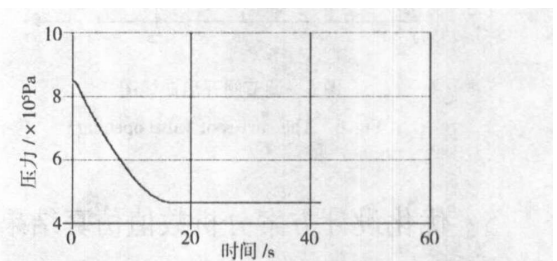


图 4 第 8 级均压降压力随时间变化图

Fig 4 Pressure drop with time of the 8th pressure equalizing

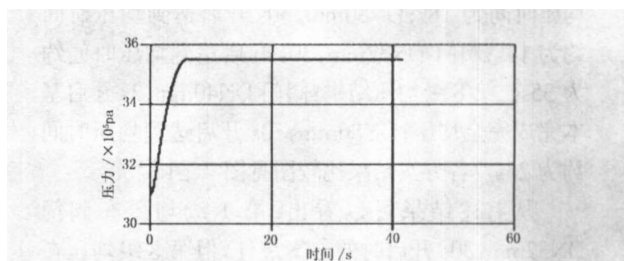


图 5 第 1 级均压升压力随时间变化图

Fig 5 Pressure rise with time of the 1st pressure equalizing

经与华西公司技术人员的交流得知,在现场测试结果基本上第1级均压时间为7s左右,说明该数值仿真计算结果基本符合工程实际情况,证明此种仿真方法原理正确、方法可行。结合工程实际情况,第1级均压7s完成,完成速度太快,对阀门有很大冲击,设备损坏和产生的噪音也会非常大,于工程不利,故需要采用适当修改方案来改进设备,达到工程最优化。

4 基于原设计方案的数值仿真结果分析的优化设计方案

修改方案A:对管道中的阀门进行缩径处理,将DN80分别改为DN40、DN32作均压流动分析,均压时间仍为40s。

修改方案B:在均压管路上加调节阀,调节阀的设定开启曲线如图6。

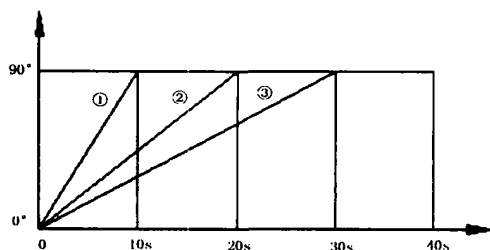


图6 调节阀开启曲线图

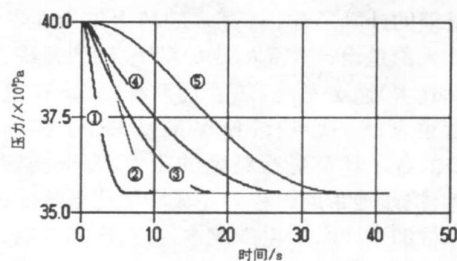
Fig 6 The curves of valve opening

5 优化设计方案分析数值仿真结果及设备优化最佳方案

第1级均压结果:阀门DN40mm,2s开启达到均压时间为18s;DN80mm,30s开启达到均压时间约为14s;阀门DN32mm,30s开启达到均压时间约为35s。第8级均压结果:阀门DN40mm,2s开启基本完成完全均压;DN80mm,30s开启达到均压时间约为24s。各方案结果比较图见图7、图8。

从上述结果可以看出,第1级均压在阀门DN32mm,30s开启时的方案最佳,但第8级均压在此情况下无法完成均压,应选择两者都合适的方案。综合两者考虑,认为阀门DN40mm,2s开启或者阀门DN80mm,30s开启为最佳方案。应考虑对阀门

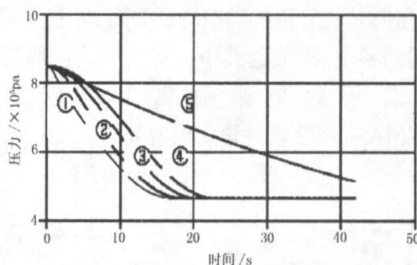
的冲击及设备改造成本等因素选择合适方案。



第1级均压情况:①阀门2s开启,直径为80mm;②阀门20s开启,直径为80mm;③阀门2s开启,直径为40mm;④阀门2s开启,直径为32mm;⑤阀门30s开启,直径为80mm。

图7 第一级均压各种方案比较图

Fig 7 The comparison diagram of the 1st pressure equalizing



第8级均压情况:①阀门2s开启,直径为80mm;②阀门10s开启,直径为80mm;③阀门20s开启,直径为80mm;④阀门30s开启,直径为80mm;⑤阀门2s开启,直径为40mm。

图8 第八级均压各种方案比较图

Fig 8 The comparison diagram of the 8th pressure equalizing

6 结语

通过优化结果表明,运用FLOWMASTER2软件对63000m³/h VPSA氢提纯单元装置进行仿真,仿真结果与实际测量较为一致。通过计算机仿真得到了管网内流体流动的具体参数和达到均压所需时间,优化控制装置,得到设备优化最佳方案。探索对通过工艺管网内流体的流动进行数值分析,为工艺参数的最优选择和控制及工艺设备优化设计奠定了技术基础,具有较好的经济和技术效果。

参考文献

- [1] 杨春育,马宁宁.变压吸附空气分离过程的动态模拟[J].石油炼制与化工,1998,29(5):12

(下转第63页)

CO 吸附剂及其变压吸附技术, 可以在常温下, 根据用户的气源和要求, 以较低的能耗生产 $\varphi(\text{CO})$ 为 95%~ 99.99%, $\varphi(\text{CH}_4)$ 小于 30×10^{-6} , $\text{O}_2 < 5 \times 10^{-6}$, $\text{CO}_2 < 0.001\%$, 露点低于 -70°C 的 CO 产品, 收率在 50%~ 90%, 装置规模灵活多变。

参考文献

- [1] 陈健, 古共伟. 变压吸附分离一氧化碳技术的应用 [J]. 低温与特气, 1996, (2): 70-74.
 [2] 安一哲, 王宗说. Cu(I)-活性炭吸附剂的制备及其 CO 吸附性能研究 [J]. 天然气化学, 1991, 2(1): 37-48.

- [3] 谢有畅, 张佳平, 童显忠, 等. 一氧化碳高效吸附剂 CuCl/分子筛 [J]. 高等学校化学学报, 1997, (7): 1159-1165.
 [4] 居沈贵, 刘晓勤, 马正飞, 时钧. CO 在稀土复合吸附剂上吸附特性的研究 [J]. 天然气化工, 1998, 23(1): 2934.
 [5] 居沈贵, 刘晓勤, 马正飞, 等. 含 CO 体系在载铜吸附剂上吸附动态性能(1): 实验研究 [J]. 南京化工大学学报, 1999, (6): 92-97.
 [6] Peng X D, Golden T C, Pearlstein R M, *et al.* CO Adsorbents Based on the Formation of a Supported Cu (CO)Cl Complex [J]. Langmuir, 1995, (11): 534-537.

A New High Efficient PSA-CO Process Operated in Ambient Temperature

GUAN Ying-fu, WU Li-xin

(PSA Business Group, Sichuan Tianyi Science and Technology Co. Ltd, Chengdu 610225, China)

Abstract: PSA-CO is an attractive technology in gas separation. A new high efficient PSA-CO process at ambient temperature was developed. According to variable gas resources of carbon monoxide and customer's requirement, the CO product with the volume contents of CO 95%~ 99.99%, $\text{CH}_4 < 3 \times 10^{-5}$, $\text{O}_2 < 5 \times 10^{-6}$, $\text{CO}_2 < 1 \times 10^{-5}$ and dew point $< -60^\circ\text{C}$ can be produced by the new process in low energy consumption, and the recovery of carbon monoxide is 50%~ 90%.

Key words: pressure swing adsorption; ambient temperature; high efficiency; adsorbent; carbon monoxide purification

(上接第 60 页)

- [2] 童东绅, 周春晖, 葛忠华, 等. 气体分离用变压吸附剂的研究进展 [J]. 化工生产与技术, 2004, 11(2): 16-17.
 [3] Serbezov A. Effect of the process parameters on the length of the mass transfer zone during product withdrawal in pressure swing adsorption cycles [J].

Chem Eng Sci, 2001, 56: 46-73.

- [4] 成都华西化工科技股份有限公司 63000m³/h VPSA 氢提纯单元工艺说明书 [Z].
 [5] 傅秋阳. 压缩空气发动机系统的数值模拟与优化分析 [D]. 安徽: 合肥工业大学, 2005.

Simulation for Pressure Equalizing Process of PSA Hydrogen Purification by FLOWMASTER2 and Equipments Optimization

WEI Li-ting¹, LAI Xi-de¹, YANG Jiong-bo², YANG Jiong-liang²

(1. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. Chengdu Huaxi Chemical Industry Sci. & Tech. Co. Ltd, Chengdu 611830, China)

Abstract: Through the numerical simulation of the pressure equalizing process, which is inside of the 63000m³/h VPSA hydrogen purification networks, by FLOWMASTER2, the flow parameters of every component and the times of pressure equalizing were obtained. Based on the results, the parameters of components and transition process were analyzed, and then the parameters were optimized. The proper amending scheme was adopted, and the optimization for operating parameters and equipments were obtained.

Key words: FLOWMASTER2; PSA; pressure swing adsorption; hydrogen purification; simulation; equipments optimization