

变压吸附气体分离系统智能仿真初探

卜令兵¹⁾ 刘应书¹⁾ 刘文海¹⁾ 赵华¹⁾ 戴瑞峰²⁾

1) 北京科技大学机械工程学院气体分离工程研究所, 北京, 100083

2) 中国有色工程设计研究总院市政与环境分院, 北京, 100038

摘要: 智能化仿真是变压吸附分离系统设计与仿真的有效手段和发展方向, 旨在达到智能化设计、智能化仿真、系统评价和系统可视化的目标。需要对变压吸附系统的智能化仿真模型、智能化仿真算法、智能化仿真界面及样本实验进行深入研究。

关键词: 变压吸附 气体分离 系统仿真 智能仿真

ABSTRACT: Intelligent simulation is an effective method and development direction of the designing and simulation to PSA gas separation system. Its aim is intelligent designing, intelligent simulating, estimation and visual illustration of the system. To achieve this, it is necessary to further research the simulating model, simulating algorithm, program interface, and experiment of PSA gas separation system.

KEYWORDS: PSA gas separation system simulation intelligent simulation.

1 引言

系统仿真是用一个能代表所研究对象的模型去完成的某种实验^[1]。通过系统仿真可以了解系统中参数对系统特性的影响, 了解系统中各部分之间的相互影响, 从而为改善系统性能、优化系统设计提供依据。

按照模型的性质不同, 以往的仿真方法分为物理仿真和数学仿真。物理仿真是用一个与实际系统物理本质相同的模型去完成实验; 数学仿真即计算机仿真, 使用数学形式表达实际系统的物理规律, 其数学形式通常是一组微分方程或差分方程, 然后用计算机来解这些方程。^[2]物理仿真在实际应用中受到较大限制, 而数学仿真技术发展较快。但是, 传统的数学仿真存在模型局限、建模困难、方法局限、界面单调及结果费解等不足, 人工智能与数学仿真相结合的智能仿真技术应运而生。

变压吸附气体分离系统的设计在很大程度上依靠经验数值, 描述系统的数学模型还很不完善, 因此很难用数学仿真技术对其进行准确仿真。有必要进行 PSA 过程智能化仿真研究。

2 智能仿真的原理与功能

2.1 智能仿真原理

将人工智能引入变压吸附系统的仿真过程, 利

用人工智能特有的学习、推理及问题求解的能力来克服传统数学仿真的不足; 利用经典的数学模型克服人工智能本身的缺陷, 形成具有自学习和自适应的变压吸附智能仿真系统。

变压吸附智能仿真系统可以采用嵌入式^[3], 如图 1 所示。系统由变压吸附仿真系统和智能系统相互嵌入构成, 两个模块相互调用管理。

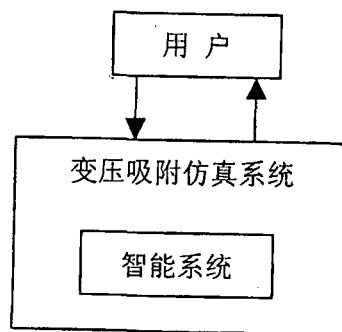


图 1 变压吸附智能化仿真系统结构

2.2 智能化设计

变压吸附系统的设计较复杂, 需要确定产品气流量、吸附压力、吸附塔的高径比、吸附塔数目、分子筛型号及用量、系统的运行参数等。而且, 变压吸附装置必须根据用户的需求进行相应的设计, 从而制造出适用于不同用户的工艺流程装置。如果每次

设计都要手工计算的话,将会花费大量的时间,设计周期较长,并且重复性劳动比较多,因此,开发出适用于变压吸附系统的计算机设计程序是变压吸附系统设计开发的发展方向。

变压吸附系统的设计中,许多数值的确定都是经验值,没有一定的计算公式可以利用,而传统的设计程序都是根据设计公式进行的数值计算,因此设计程序必须引入人工智能技术,使设计过程智能化,将专家的设计经验应用于每次的设计过程。

智能化设计的基本思想是将专家的设计经验、设计思想做成专家系统,充分利用人工智能的知识学习、推理的能力。此系统经过学习训练,即可具备变压吸附专家级的设计经验,用户利用此系统可以设计出经过智能系统优化的变压吸附装置。具体应用过程如图 2 所示。用户只需输入设计要求,系统即可输出设计结果。其输出形式是三维立体图和二维工程图,这些图纸可以直接应用于设备生产和工程安装,其具体实现过程在《变压吸附气体分离工

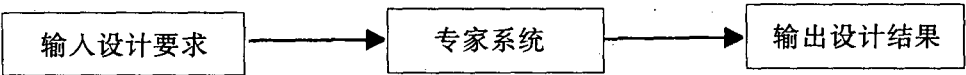


图 2 智能化设计过程

程设计软件开发》一文中详细论述,在此就不再赘述。

2.3 智能化仿真

影响变压吸附系统性能的因素较多,有吸附塔的高径比、吸附床长度、吸附时间、吸附压力、反吹时间、进气量等,其中任何一个参数的改变都会影响系统的分离性能,故此,即使装置设计完成,其运行参数的改变也会有不同的运行结果。所以,如何提高系统的性能的任务就落在了系统仿真的身上。

利用系统仿真,在装置设计完成之后,不需要做实验就可以知道装置的运行情况,并且通过调节仿真系统的运行参数,观察装置在不同参数下的运行结果,可以得到该装置的最佳运行效果。

前面已经提到,数学仿真有许多不足之处,对于变压吸附系统采用数学仿真与人工智能相结合的智能化仿真系统。该系统运用人工神经网络和模糊推理技术,具有自学习、自组织的能力,从而克服

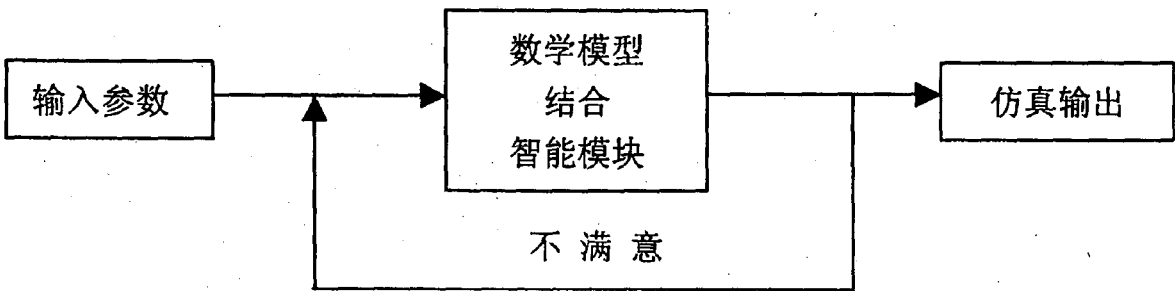


图 3 智能化仿真过程

传统数学模型的不足,使系统仿真更接近实际装置的运行效果。具体运行情况如图3所示。

2.4 系统评价

智能化仿真得到系统的运行结果可以通过专家系统进行评价。评价该系统是否存在问题,若有问题,提供解决问题的途径。用户不需要拥有背景知识就可以得到专家级的评价结果,从而为变压吸附气体分离技术的应用提供“专家保证”。

2.5 过程可视化

传统的变压吸附数学仿真的输出都是以数字、图表、曲线的形式,输出不够直观,界面不够友好。智能化的仿真系统利用动画技术、多媒体技术和虚拟现实技术,把仿真的结果以三维动画的形式表现出来,把吸附塔内流场的分布、气体的浓度变化等运行情况都动态的展示给用户。

3 智能化仿真方法

将传统数值仿真方法和模糊/神经网络相结合,形成基于数学模型的变压吸附装置智能化仿真方法。一方面,利用模糊/神经网络方法建立与变压吸附数学模型相互耦合的模糊/神经网络修正模型,通过自学习和自调整,使得仿真预测结果和实际实验数据更接近一致;另一方面,变压吸附数学模型优良的定性仿真性能,提供模糊/神经网络模型的部分输入值,可以有效地减少模糊/神经网络模型的学习量,提高其学习速度。

变压吸附数学模型(TTM)与模糊/神经网络模型(FNNM)的结合有如图4(见下页)所示的两种组合方式。在对系统中具体的部件或环节进行仿真时,可选择适当的组合方式以提高总体效率。例如图5(见下页)

其中, u 为修正因子向量, u_1 为经神经网络调整后的修正因子向量; y 、 y_n 分别为实际变压吸附系统的实验样本和对应的仿真值;ANN为神经网络。神经网络的学习方式如图5(a)所示:任意取一修正因子,计算出该修正因子所决定的参数,并将其作为仿真模型的已知参数,仿真计算出相对应的一组参数值 Y_n ,作为神经网络的一组学习样本;再随机改变修正因子,同样可得出另一组参数,经仿真模型计算出新的学习样本;...,如此循环反复,可以得到若干组随机给出的参数修正因子及其相对应的

参数结果,这些参数修正因子和仿真结果构成了一个反映变压吸附系统特性的数据库。以该数据库内的结果作为神经网络的输入,以相应的结果参数作为神经网络的期望输出,指导神经网络的学习,学习后的神经网络即可用于实际变压吸附系统仿真模型的构建。根据已有的实际系统特征参数样本 y ,由神经网络辨识出相应的修正因子。辨识出的定量参数即可作为该实际系统的固有特性,直接用于对该系统的仿真计算,而不再需要神经网络的学习过程,仿真计算速度仍取决于系统数学模型的复杂程度。

从上图也可以看到,变压吸附装置智能仿真方法的提出,将仿真相应的实验研究提到了一个更高的层次。实验工作的主要目的是通过对变压吸附装置运行过程中主要特征参数的采样,经过规范化的数据处理和分析后,转换成部件和系统模型所需的学习样本和检验样本。

4 变压吸附智能仿真系统开发

4.1 建立智能仿真模型

采用广义模型的概念、方法和技术,开发出适用于变压吸附系统的智能化仿真模型,该模型是数学模型和神经网络模型相结合的集成化仿真模型,以提高模型的描述能力,并克服以往单一数学模型的不足。

描述变压吸附过程的完整的数学模型包括吸附床流体相质量守恒方程、吸附剂颗粒内部质量守恒方程和吸附平衡等温方程及边界条件,人工神经网络模型主要采用反向传播网络(Back-Propagation Network,简称BP网络)模型。其中人工神经网络模型的建立主要是确定网络的层数和每层中神经元的个数。

4.2 开发智能仿真算法

人工神经网络与常用的仿真算法相结合,开发出适用于智能仿真模型的、集成化的智能仿真算法,具有知识推理、逻辑判断、学习训练等性能。

数学模型的主要作用是将计算结果作为人工神经网络模块的输入,从而减少人工智能模块的学习量,提高学习速度。所以,数学模型的计算不用智能化,用传统的数值计算方法即可。而对于BP网络模型,采用BP学习算法。使用MATLAB的人工神

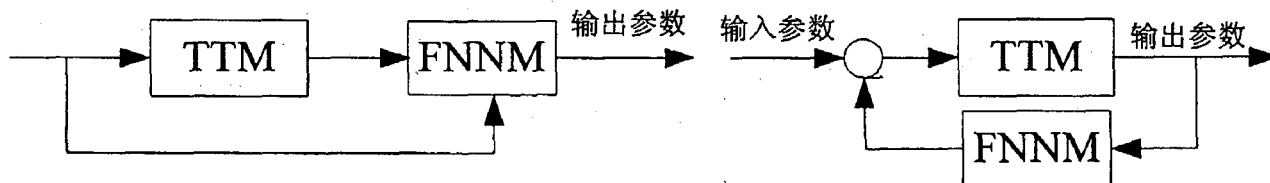
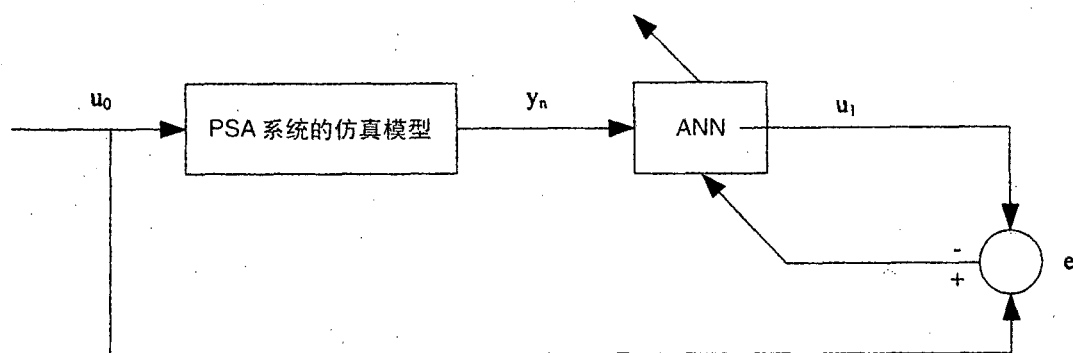
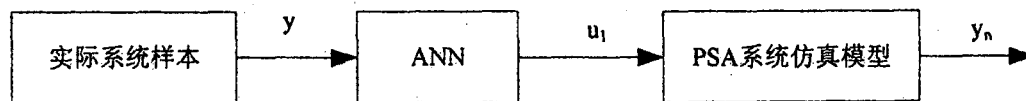


图4 变压吸附数学模型与模糊/神经网络模型的结合方式



(a) 神经网络的学习方式



(b) 定量参数的调整计算

图5 智能系统原理

神经网络工具箱进行算法编程,可以简化智能仿真算法的开发。

4.3 开发智能仿真界面

传统数字仿真系统的人-机界面单调,主要是数字、图表、曲线等,缺乏友好性和生动性。

变压吸附智能仿真系统将多媒体智能接口技术与仿真技术相结合,开发人一机友好交互的,文、图、声并茂的智能仿真界面,并提供动画显示、虚拟现实的仿真结果。智能仿真的结果是吸附装置内气体浓度的周期性变化和气体浓度波的周期性移动,及阀门的周期性开启,放气与均压的周期性进行等,多媒体仿真界面都可以将这些动态变化过程以动画的形式展示出来,以达到生动直观的效果。

4.4 样本试验研究

样本实验是为仿真建模提供学习样本和检验

样本而做的实验,样本实验研究的重点有质量和数量两个方面。实验质量的研究,涉及到有针对性的实验原理的设计、实验方案的制定、实验结果的分析 and 实验数据的处理等。实验数量的研究,是希望得到这样一类结论:对于一类特定的建模过程,多少数量的实验样本可以满足建模要求。样本实验的研究,可望在维持或提高实验质量的同时,有效地降低实验数量,提高后续研究的效率。

影响变压吸附系统性能的参数主要有吸附塔的高径比、吸附压力、均压时间、反吹气量及进气量等工艺参数,故此,样本实验主要是通过改变这些参数来的到不同的运行结果,这些结果作为工智能模块的学习样本。

5 结论

(1) 传统的变压吸附数字仿真技术存在许多不

足,有必要研究智能化仿真系统。

(2) 变压吸附系统智能化仿真系统要达到智能化设计、智能化仿真、系统评价和系统可视化的目标。

(3) 变压吸附系统智能化仿真系统的开发要解决的问题有智能化仿真模型、智能化仿真算法、智能化仿真界面及样本实验。

参考文献

[1] 丁国良、张春露. 制冷空调装置仿真与优化[M]. 北京: 科学出版

社, 2001

[2] 涂序彦 霍玉梅. 面向知识经济的智能仿真技术[J]. 计算机仿真, 1999, 16(3)

[3] 杨杰. 系统仿真的新技术探讨-(3): 人工智能[J]. 计算机仿真, 1996, 13(3)

[4] 王永庆. 人工智能原理与方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998

[5] 丁国良、张春露. 制冷空调装置智能仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2002

[6] 崔红社、刘应书等. SARS 患者专用 PSA 制氧机变压吸附过程的数值模拟: 结果及分析[J]. 北京科技大学学报, 2004, 26(2)