

加热炉换热工艺设计技术软件

陈孙艺¹, 陈斯红², 王 玉¹

(1. 茂名重力石化机械制造有限公司, 广东 茂名 525024;
2. 深圳大学电子科学与技术学院, 广东 深圳 518060)

摘要:为便于对目前国内外各类化工加热炉工艺设计软件技术进展的了解,通过3套加热炉工艺设计专用软件、4套可用于加热炉工艺设计的通用软件、2套可用于加热炉设计的流程模拟软件及另外10套化工流程模拟软件的简介,综述了这些软件的主要内容、组成模块的功能特点及其在加热炉工艺设计专业中的应用。提出了换热工艺与智能技术两者结合进一步发展中面临的4个工程新课题,分别是强化换热专用元件应用、换热工艺和结构强度设计一体化、空气预热器及其与加热炉工艺设计的一体化、实践经验与专家系统。

关键词:软件;程序;智能技术;工艺设计;换热器;加热炉;工业炉

中图分类号: TB24

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2014)01-0141-04

Technology software for heat exchange process design of furnace

CHEN Sun-yi¹, CHEN Si-hong², WANG Yu¹

(1. The Challenge Petrochemical Machinery Corporation of Maoming, Maoming 525024, China;
2. School of Electron Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: In order to know the technology development of all kinds of chemical process design software of furnace at present, three kinds of specialty software for chemical process design, four kinds of common softwares for chemical process design, two kinds of simulation softwares for process flow and other ten kinds of multifunctional softwares for chemical flow are introduced. The main contents of the software, function characteristic of constitute module and their applications on process design of furnace are summarized. The four engineering new tasks on furnace during the integration of heat exchanging process with intelligent software are pointed out, which include the applications of special components on heat exchanging intensification, integrative software for heat exchanging process with structure strength, integrative software for air pre-heater with process design of furnace, and practiced specialist system.

Key words: software; program; intelligent technology; process design; heat exchanging; furnace; industrial furnace

文献[1]简介了12个关于列管式换热器换热工艺设计的智能技术软件,但是管式加热炉换热工艺设计与此有明显区别。管式炉工艺设计分析对装置设备投资及运行成本都有很大影响,在没有化学反应的情况下,1台简化流程的加热炉操作模型自由度为4,其冷、热流体的出口压力和出口温度可由各自流程的流体流动阻力方程式、传热速率方程和热量衡算式求出。但是其热力学计算和水力学计算都是校核性计算,一般都需要调整规划设计,再对新方案计算,像乙烯裂解炉这种涉及多组原料预热和热量回收管排单元、介质停留时间短、流程数多的特殊加热炉的工艺设计,是一个伴有传热、传质、动量传递和复杂化学反应的综合过程,反复计算涉及的面广、工作量大^[2]。这里分化工工艺设计专用软件、通用软件及流程模拟等部分,简介其中一些智能技术的应用。

1 加热炉工艺设计专用软件

1.1 加热型管式炉工艺计算专用软件

文献[3]是管式加热炉各方面技术的专著,经修订后,2010年发行了第二版,在国内外诸多软件

中选择介绍了由国外某公司开发的专用软件,其适用范围包括炼油厂除制氢转化炉外的所有加热炉、石化厂的非反应类型加热炉和油田及输油管线的水套炉和热媒炉等。既可以用于新炉子的设计计算,快速进行多方案比较和选优,也可以模拟在役炉子的工况,对操作数据进行评价和改善,预测物料组成、注汽(水)量和位置以及燃料类型等的改变对加热炉的影响。

该软件的计算内容包括:以网格形式自动生成与温度和压力有关的物理参数;燃料燃烧计算;局部及全炉的热平衡和热效率计算;炉管内复杂物流的传热及流体流动计算;炉管外多个辐射室、多个对流室、烟囱和烟道内烟气的辐射传热、对流传热及流体流动计算等。辐射室可以逐根计算,对流室可以逐排计算。计算结果除常规的热负荷、出入口温度和压力、辐射室和对流室出口的烟气温度和抽力等参数外,还包括辐射室和对流室平均热强度和峰值,油膜温度的平均值和峰值,辐射管、遮蔽管和对流管的平均管壁温度和最高管壁温度,烟气的露点温度,两相流的传热、流型、沸腾形式(过冷沸腾、核状沸腾

和膜状沸腾)和压降等等,压降考虑了水平管、垂直管及各种管件的摩擦、动能和势能。

1.2 加热炉通用计算软件 FRNC-5PC

FRNC-5PC 是目前业内关于管式炉工艺计算广泛应用的软件,V7.4 是其最新版,工艺计算方法主要有罗伯特-伊万斯法和别洛康法,前者使用较多。软件操作界面是英文,Fr5see 是查看 FRNC-5PC 结果的工具,可以汉化结果,快速查找计算结果。国内有中文版的教程,但关于该软件的报道不多。文献[4]针对 20 万 t/a 甲醇装置一段蒸汽转化炉对流段的设计要求,应用该软件计算了各换热管组的钢结构尺寸和管组强度,介绍了炉内结构、炉内衬相关设计参数和耐火材料的选择方法,得到烟气流过各换热管组后的温度和阻力降,各换热管组的热负荷和最高管壁温度,各对流管组的工艺物料的温度、压力和物性等参数。

1.3 加热炉计算软件 STOVE

该软件应用不广泛,这里不做介绍。

2 可用于加热炉设计的大型工艺计算通用软件

通用软件是指加热炉工艺计算仅是其多项工艺计算之一的软件。

2.1 HTRI 换热计算通用软件

HTRI 是美国热传递研究公司开发的换热器计算程序,其计算方法是基于 40 多年来 HTRI 广泛收集的工业级热传递设备的试验数据而研发的。可以进行管壳式换热器、板式换热器、套管式换热器、燃烧式加热炉、空冷器、螺旋板式换热器等不同形式换热的计算模块,其中 2 个功能模块与加热炉密切相关。

该软件中的 FIHR 2.00 直接火加热换热器的模拟设计模块能够对圆筒炉和方箱炉进行模拟计算,使用区域法计算加热炉各部位的热辐射和工艺性能,与内含的燃烧室和对流室模型组合一起能够对燃烧式加热炉进行全面的性能评价。软件中的 APLE 2.10 板式换热器设计及校核软件模块能够对加热炉的板框式空气预热器进行设计、核算和模拟计算,可以使用自定义板型。其准则式工艺计算的前提是板式换热器进行了热工测试并获得了努赛尔准则式和欧拉准则式。如果换热器没有进行热工测试,则采用定性尺寸法,即根据传热板片的定性尺寸进行换热器的工艺计算。

2.2 HTFS 软件

HTFS 是英国传热及流体流动学会开发的换热器计算程序,其中包括与加热炉有关的模块,如 FI-

HR 2.0 直接火加热换热器的模拟设计、MUSE 3.2 板翅式换热器设计与模拟软件、可用于空气预热器的 ACE 空冷器的校核计算程序和 ACOL 空冷器的性能模拟程序。

2.3 伯勒(Bole)工业锅炉设计计算软件 B-BDCs

杭州伯勒(Bole)计算机技术有限公司是国内致力于计算机辅助工程领域的专业公司,侧重锅炉行业工程软件。1999 年开发工业锅炉设计计算软件 B-BDCs 包括锅炉设计常规项,根据相应现行计算标准和计算数据组织编写,所有计算公式和曲线图表均出自相关的计算标准;2004 年开发锅炉性能设计计算软件 B-BPDs;2006 年开发锅炉设计专家软件 B-BDEs;2008 年开发热风炉设计计算软件 B-HBDs。

2.4 计算流体力学 FULENT 软件

FLUENT 软件是一款商业通用 CFD 有限元软件,由美国 Creare 公司开发,用于计算流体流动和传热问题。其中的专用程序对相对复杂的几何结构网格生成非常有效,包括二维的三角形和四边形网格,三维的四面体和六面体及混合网格。

炉窑内部结构的复杂性致使对其流场和温度场的测量十分困难,实验研究尚不足以全面揭示其流动和传热规律。有学者利用该软件三维数值模拟了炉窑低温段流场与换热特性^[5]。根据炉内需要的升温曲线、材料的物性参数、热平衡计算和烧嘴的三维数值冷态模拟确定各个边界条件。在数值方法上,选用该软件提供的分离求解器,在初始计算中先计算流场,达到收敛以后引入能量方程和动量方程,并且能量方程和动量方程选用一阶迎风格式,达到收敛以后选用二阶迎风格式,再迭代至最终收敛。文献[6]应用 Fluent 建立气化过程热态模型,对某化肥厂 Texaco 水煤浆气化炉进行了三维数值模拟。计算中采用简化 PDF 模型描述炉内的化学反应,将水煤浆看作燃料流,氧气看作氧化剂流。

3 可用于加热炉设计的工艺流程通用软件

化工流程模拟软件在 20 世纪 50 年代末期就随着计算机在化工中的应用而逐步发展^[7]。目前国内外已开发出一系列加热型管式炉工艺计算软件。国外的加热炉软件开发时间早,并经过不断地版本升级,在功能、性能和灵活性等方面都处于领先水平。应用化工流程模拟软件可以节省过去由小试与中试探索最佳工艺条件所消耗的大量资金、时间和人力,使设计人员从整个系统的角度来认识、分析和预测生产中深层次的问题,通过流程剖析和过程综合进行装置调优,达到节约资源、环境友好的目的^[8]。

3.1 HYSYS 石油化工艺流程模拟软件

HYSYS 软件是创建于 1976 年的世界著名油气加工模拟软件工程公司 Hyprotech 开发的大型专家系统软件,该公司是世界上最早开拓石油、化工工业模拟、仿真技术的跨国公司,2002 年 7 月成为 Aspen Tech 公司的一部分。软件应用于化工流程环境仿真模拟设计,包括稳态与动态 2 种过程与设备模拟、分析、设计、优化及开停车指导、动态仿真培训和设计先进控制系统等,包括油田地面工程建设设计、石油石化炼油工程设计计算分析,也用于储运、天然气加工、精细化工、电解质、制药和气体处理等相关领域。

该软件功能强大的物性计算包的基础数据来源于世界著名的物性数据系统并经过严格校验,包括 16 000 个交互作用参数和 1 800 多个纯物质数据。软件具有流程模拟收敛条件下的换热网络系统分析功能(即夹点分析功能),具有自动遗留问题分析功能。热损失可在网络模拟调整到较为合理时,逐台位计算并输入。压力降经计算后回输到模拟中可获得进一步逼近。其他功能包括内置人工智能、数据回归包、物性预测系统、DCS 接口、工艺参数优化器、夹点分析工具,还有多种热力学方法及附加模块功能等。

3.2 Aspen Plus 流程模拟软件

Aspen Plus^[9-10] 是 Aspen Tech 公司最早开发的大型化工稳态模拟软件,最初由美国麻省理工学院于 20 世纪 70 年代后期研发,在 80 年代初已经商品化,到目前经过 30 多年的不断增补完善,已成为世界级标准流程模拟软件和功能最强的商品化流程模拟软件。软件包括 50 多种单元设备精密模型组成的模型库及 5 000 种化合物的物性数据库,可进行单元和全过程的计算,评价已有装置的优化操作或新建、改建装置的优化设计,在科研开发、工程设计、生产管理各个阶段均有广泛的应用。由于其功能强大、模拟准确、使用方便而广泛用于化工、炼油、石油化工、煤炭、动力、气体加工、医药、冶金、环境保护、节能和食品等领域。Aspen Plus 根据模型复杂程

度,支持规模 workflow。可以从简单的、单一的装置流程到巨大的、多个工程师开发和维护的整厂流程。并将序贯(SM)模块和联立方程(EO)2 种算法同时包含在 1 个模拟工具中。序贯算法提供了流程收敛计算的初值,联立方程算法大大提高了大型流程计算的收敛速度。

Aspen Custom Modeler 则是另一套建立在联立微分方程或代数方程组求积分解基础上的动态模拟系统。它有一套单元操作的动态模型库,使用和 Aspen Plus 一样的物性数据库,可使稳态及动态模拟计算结果保持一致性。用途:提高可操作性,包括开车方案、正常操作规程;改进安全性,包括释放系统、事故分析;改进过程控制方案,测试可能的控制方案,研究先进控制方案;开发用户模型及优化过程操作。

4 工艺设计的其他软件

4.1 工艺计算和设备图一体化设计软件

《翅片管式换热器设计计算以及 AutoCAD 二次开发软件》是大连理工大学能源与动力学院自行开发的一款专门针对翅片管换热器设计计算及自动绘图软件。软件可以完成翅片管式换热器在加热或冷却不同工况下的设计计算及绘图。具体工况:换热管类型包括圆管、椭圆管;翅片类型包括平翅、波纹翅、开缝翅片等;管排类型包括顺排、差排、矩形差排、正三角形叉排等。

4.2 工艺设计的其他软件

加热炉管外燃料燃烧、烟气湍流流动及高温辐射过程的控制方程之间是相互耦合且高度非线性的,在得到沿炉管分布的热强度之前,必须对辐射室内速度场、浓度场和温度场联合求得收敛解,包括确定基础理论、迭代猜算、网格划分及结构、操作、物性基础条件输入等,求解相当复杂。除上述 10 个软件外,表 1 列出了工艺流程设计的其他 9 个软件,文献[5]介绍了表 1 中焦化炉计算程序及软件的编制,文献[11]介绍了表 1 中工艺设计的其他软件。

表 1 化工流程模拟其他软件

开发(或版权)商	软件名称及特点或应用范围
英国帝国理工学院 PSE 公司 (Process System Enterprise Ltd.)研究中心	化工模拟软件 gPROMS。2006 年推出,可用于任何反应过程、分离过程和多个过程的组合,特别适于新工艺过程的研究开发及动态过程的建模。广泛用于化学工业、石油化工、石油和天然气加工、造纸、精细化工、食品工业和制药及生物制品技术等加工行业。
美国模拟科学公司 (SimSci-Esscor)	SIMSCI PRO/II V8.0 化工工艺流程模拟软件。是大型工艺流程模拟通用软件,主要用于新建装置设计、老装置的调优操作和技术改造等。数据库较齐全、适用能力强、界面友好,可用于流程的稳态模拟、物性计算、设备设计、费用估算/经济评价和环保评测以及其他计算。可模拟整个生产厂从包括管道、阀门到复杂的反应与分离过程在内的几乎所有装置和流程,广泛用于油气加工、炼油、化学、化工、聚合物和精细化工/制药等行业。

续表

开发(或版权)商	软件名称及特点或应用范围
美国 Chemstations 公司	Chem CAD 软件。是用于化学、石油工业、炼油和油气加工等领域中的工艺过程进行计算机模拟的应用软件,可对连续操作单元进行物料平衡和能量平衡核算,可模拟研究工厂合理化方案以消除“瓶颈”问题,或采用先进技术改善工厂状况的可行性,并通过运算模拟装置的稳态或动态运行。
美国 WinSim Inc. 公司	Design II 软件。至 2010 年尚没有被广泛应用。
加拿大 VMG 公司	VMG(Virtual Materials Group)Sim 软件。至 2010 年尚没有被广泛应用。
兰州石化设计院,大连理工大学	合成氨模拟程序。至 2010 年尚没有被广泛应用。
青岛化工学院	ECSS 系统。国内唯一一套完整的通用流程模拟软件,至 2010 年尚没有被广泛应用。
石油大学,中国石化 北京设计院	焦化炉计算软件 ^[5] 。针对单面底烧焦化炉和双面辐射在线清焦焦化炉的炉管内外过程模拟软件。其企业版尽量利用现场信息,较易得到收敛结果,适合于校核;专业版完全由模型对过程进行推断,较难得到收敛结果,用于专业人员的设计。
中国石化北京设计院	CCSO 系统。催化裂化反应-再生模拟软件 CCSO,至 2010 年尚没有被广泛应用。

4.3 工艺计算和结构强度设计一体化软件

加热炉的强度设计是为了圆满实现工艺设计,两者密切相关,包括 2 方面:一是承载被加热流体的承压系统强度,其设计路径是根据工艺模拟计算得出的温度和压力进一步设计各换热管组的结构尺寸,属于承压管道或锅炉的范畴;二是支撑该承压系统和隔热保温系统的钢结构强度,其设计路径是根据各换热管组的结构尺寸,初选对流段各个柱、梁、加强筋的截面尺寸,初定柱与梁的连接形式,并将各个截面上的支撑载荷、操作载荷、内衬载荷等简化成集中载荷、均布载荷和弯矩,分别作用到各个框架上的承载柱和梁上,并将此载荷作为计算条件转给结构专业。结构专业利用结构分析、设计和绘图软件 STAAD/CHINA 对整个对流段的钢结构建模,并对各构件进行应力和变形计算。如果每个元件的应力和变形都满足要求,说明该对流段的钢结构满足要求。各立柱底板上的垂直载荷和弯矩则是进行加热炉土建基础设计的依据。

5 结语

由于石油化工工程规模化及节能、降本增效的需要,加热炉专业技术还在不断细化和完善中,有很多值得研究的新课题。

(1)随着加热炉的发展,规模化产能迫使炉管内外均有一些强化换热结构新技术在实践中得到业内认可,原有软件的各方面技术是否适用及如何修正规模化生产的研究,在既强化智能技术在加热炉设计中应用的同时,也应强化加热炉专业最新技术成果如何及时融合到已普遍应用的智能软件中。

(2)由于加热炉钢结构炉体高大,有土建专业分析设计,这部分工作已独立智能化。但炉管除受

内压外还直接受火,炉管系统及其支撑系统受热膨胀涉及到结构尺寸变化及材料力学性能变化,强度设计复杂化。虽然加热炉工艺与强度设计的一体化课题已有探索,但至今未能工程化应用。

(3)预热器作为与加热炉紧密关联的周边设备,如果纳入加热炉的工艺设计计算中进行整体平衡,可取得更好的综合效益。新型空气预热器也在开发中,特别是近几年国内成功开发应用的耐露点腐蚀铸铁双向翅片板式空气预热器,其新结构和工艺设计的智能化更是一个新课题。

(4)目前的加热炉优化设计智能技术只是计算机的复杂运算技能,工程人员长期设计实践的宝贵经验未能通过编程形成专家系统,如何把这些类似思维判断的能力整合到软件中,也是值得研究的新课题。

参考文献

- [1] 陈孙艺,陈斯红,陈宇灏. 换热器换热工艺设计智能技术软件[J]. 化学工程,2013,41(5):69-73.
- [2] 黄祖祺,杨光炯,于遵宏,等. 石油化工管式炉的模拟与计算机计算[M]. 北京:化学工业出版社,1993.
- [3] 钱家麟. 管式加热炉[M]. 北京:中国石化出版社,2007.
- [4] 时慧颖. 一段蒸汽转化炉对流段的设计、施工与开车[J]. 化肥设计,2010,48(6):19-21.
- [5] 宫小龙,汤文菊,冯青. 液化气梭式窑高温段流场与换热的数值模拟研究[J]. 中国陶瓷,2008,44(4):34-37.
- [6] 吴玉新,张建胜,王明敏,等. 简化 PDF 模型对 Texaco 气化炉的三维数值模拟[J]. 化工学报,2007,58(9):2369-2374.
- [7] 胥家瑞. 化工模拟系统[J]. 天津化工,2002,17(4):42-43.
- [8] 杨光辉. 化工流程模拟技术及应用[J]. 山东化工,2008,37(8):35-38.
- [9] 胥河松. 管壳式换热器工艺设计[J]. 化工设计,2007,17(5):22-26,33.
- [10] 李利军,劳国瑞. Aspen 工程软件在化工过程工艺开发中的应用[J]. 化学工业与工程技术,2010,31(2):54-57.
- [11] 陈虹,李敏,王涛. 化工流程模拟软件的应用进展[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(5):580-585. ■