



普通高等教育“十三五”规划教材

过程装备 计算机辅助设计

..... 刘超锋 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

过程装备计算机辅助设计

刘超锋 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书对过程装备计算机辅助设计常用软件(包括 HTRI、FRNC-5 PC、Aspen Plus、Aspen Adsorption、Aspen EDR、SW6、ANSYS)进行了介绍。以完整案例的形式,详述了基于 HTRI 的管壳式换热器、管式加热炉的设计;基于 FRNC-5 PC 的管式加热炉设计;基于 Aspen Plus 的反应设备的工艺计算;基于 Aspen Adsorption 的吸附过程的计算;基于 Aspen EDR 的管壳式换热器设计;基于 SW6 软件的搅拌容器、浮头式换热器、甲醇水冷器的结构设计;基于 ANSYS 软件的厚壁圆筒温度场的分析、厚壁圆筒应力场的分析、塔设备裙座支撑区的应力分析和热应力分析、O 形密封环的变形分析、压力容器开孔部位的三维应力分析。在介绍操作步骤的同时,对软件使用过程中的一些细节问题进行了说明,便于读者对软件正确使用和理解,以满足过程装备设计计算的需要。

本书适合从事过程装备设计的技术人员和高等院校过程装备与控制工程、化学工程与工艺、能源科学与工程、动力工程、热能工程、机械工程等专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备计算机辅助设计 / 刘超锋编著. —北京:
中国石化出版社, 2016. 7
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-4146-1

I. ①过… II. ①刘… III. ①化工过程-化工设备-
计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. ①TQ051-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 141375 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 20.75 印张 509 千字

2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

定价:46.00 元

前 言

随着世界经济的发展,过程装备技术也在不断创新,特别是过程装备大型化、高技术参数化的发展(例如超高压容器设计等),传统的手工设计计算方法和经验难以满足实际运行需求,需要在装备的设计计算方法上寻求突破。在过程装备领域,作为先进技术传播者的设计人员,为了使过程装备设计计算的平台由手工设计计算、使用计算器计算转移到计算机设计上,必须利用各类功能强大的软件。同时,为了满足过程装备开发的需要,有必要以案例操作的具体形式介绍相关软件在过程装备计算机辅助设计中的应用。

本书涉及到的主要软件包括 HTRI、FRNC-5 PC、Aspen、SW6、ANSYS,并基于上述软件详述了基于 HTRI 的管壳式换热器、管式加热炉的设计;基于 FRNC-5 PC 的管式加热炉设计;基于 Aspen Plus 的反应设备的工艺计算;基于 Aspen Adsorption 的吸附过程的计算;基于 Aspen EDR 的管壳式换热器设计;基于 SW6 软件的搅拌容器、浮头式换热器、甲醇水冷器的结构设计;基于 ANSYS 软件的厚壁圆筒温度场的分析、厚壁圆筒应力场的分析、塔设备裙座支撑区的应力分析和热应力分析、O 形密封环的变形分析、压力容器开孔部位的三维应力分析。

本书以实用案例编排内容,便于相关工程技术人员和高等院校过程装备与控制工程、化学工程与工艺、能源科学与工程、动力工程、热能工程、机械工程等专业的师生应用。

本书由郑州轻工业学院刘超锋编著,在编写过程中得到了郑州轻工业学院能源与动力工程学院龚毅院长、吴学红副院长、刘亚莉副院长以及戚俊清教授、许培援教授的热情鼓励和支持。鲍轩宇、邓贺、樊远皞、范怡、刘鹏辉、苏航、文鹏飞、熊云涛、周梦、靳佳霖、尹永怀、赵畅、陈莹、吴国强、孙盖南、李伟超、赵涌涛等也做了大量工作,在此一并致谢。

由于作者水平有限,难免有疏漏和不当之处,欢迎读者批评指正。

目 录

绪 论	(1)
0.1 HTRI 软件的简介	(1)
0.2 FRNC -5 PC 软件的简介	(7)
0.3 Aspen Plus 软件的简介	(7)
0.4 SW6 软件的简介	(13)
0.5 ANSYS 软件的简介	(14)
第 1 章 基于 HTRI 软件的管壳式换热器设计	(16)
1.1 HTRI 软件中的计算类型	(18)
1.2 HTRI 软件中工艺条件的定义	(20)
1.3 壳程结构参数的定义	(21)
1.4 折流板结构参数的定义	(23)
1.5 管程结构参数的定义	(25)
1.6 物性参数的输入	(28)
1.7 中间设计计算结果	(31)
1.8 参数的调整	(33)
1.9 软件的核算功能	(34)
第 2 章 基于 HTRI 软件的管式加热炉设计	(40)
2.1 新建项目	(41)
2.2 项目配置	(42)
2.3 气体空间结构形式	(44)
2.4 燃烧器的位置参数	(45)
2.5 燃烧器的参数	(46)
2.6 炉管的位置	(47)
2.7 炉管横截面的几何参数	(48)
2.8 炉管内加热介质的流动顺序	(48)
2.9 工艺方法的选择	(49)
2.10 计算热损失用到的参数	(50)
2.11 可选的其他参数	(51)
2.12 燃烧的参数	(52)
2.13 燃料油的参数	(54)
2.14 氧化剂的参数	(55)
2.15 稀释剂(蒸汽)的参数	(56)
2.16 第二种燃料的参数	(56)
2.17 氧化剂 - 空气的参数	(57)

2.18	工艺条件的选择	(58)
2.19	加热炉周围的空气气相参数设定	(59)
2.20	辐射进料特性的参数	(59)
2.21	设计结果及总结	(60)
第 3 章	基于 FRNC - 5 PC 软件的管式加热炉设计	(62)
3.1	燃烧室的数据输入	(63)
3.2	对流室的数据输入	(66)
3.3	烟囱段的数据输入	(68)
3.4	盘管段的数据输入	(69)
3.5	直管段的数据输入	(74)
3.6	工艺介质的数据输入	(77)
3.7	燃烧各项参数的数据输入	(79)
3.8	燃料数据输入	(81)
3.9	考虑热损失时的数据输入	(82)
3.10	注入水蒸气/水时的数据输入	(83)
3.11	热量回收系统的数据输入	(84)
3.12	气流数据输入	(84)
3.13	空气预热器数据的输入	(85)
3.14	物性数据的输入	(87)
3.15	计算结果及用途	(88)
第 4 章	基于 Aspen Plus 软件的反应设备工艺计算	(94)
4.1	界面的介绍	(94)
4.2	反应器模块的定义	(96)
4.3	流程图的定义	(96)
4.4	计算结果及分析	(104)
第 5 章	基于 Aspen Adsorption 软件的吸附过程的计算	(105)
5.1	软件界面	(105)
5.2	添加模拟过程所需物料	(107)
5.3	创建工艺流程图	(114)
5.4	数据的输入	(116)
5.5	创建实时曲线	(121)
5.6	计算结果	(122)
第 6 章	基于 Aspen EDR 软件的管壳式换热器设计	(124)
6.1	Aspen EDR 的界面	(124)
6.2	设计参数的定义	(127)
6.3	物性的定义	(129)
6.4	换热器几何数据的定义	(133)
6.5	换热器材料数据的定义	(140)
6.6	特定设计说明信息的选择	(141)
6.7	计算过程	(142)

6.8	设计结果	(144)
第7章	基于 SW6 软件的搅拌容器结构设计	(151)
7.1	软件校核计算	(151)
7.2	主体设计参数	(151)
7.3	筒体设计计算	(153)
7.4	封头设计计算	(154)
7.5	设备法兰设计计算	(156)
7.6	搅拌器设计计算	(159)
7.7	开孔补强设计计算	(162)
7.8	夹套设计计算	(167)
第8章	基于 SW6 软件的浮头式换热器结构设计	(170)
8.1	主体设计参数的定义	(170)
8.2	筒体结构的计算	(171)
8.3	管板结构的计算	(172)
8.4	前端管箱结构的计算	(175)
8.5	后端管箱结构的计算	(177)
8.6	前端管箱法兰结构的计算	(178)
8.7	后端管箱法兰与筒体法兰结构的计算	(180)
8.8	开孔补强的计算	(180)
8.9	浮头结构的计算	(184)
第9章	基于 SW6 软件的甲醇水冷器强度计算	(188)
9.1	主体的设计	(189)
9.2	管板的设计	(190)
9.3	管箱计算	(192)
9.4	法兰计算	(193)
9.5	开孔补强计算	(195)
9.6	计算结果总结	(197)
第10章	基于 ANSYS 软件的厚壁圆筒的温度场分析	(198)
10.1	工作文件名和工作标题的定义	(198)
10.2	单元类型以及材料属性的定义	(200)
10.3	几何模型的建立	(201)
10.4	生成有限元网格	(202)
10.5	施加约束、载荷并求解	(203)
10.6	计算结果	(204)
第11章	基于 ANSYS 软件的厚壁圆筒的应力场分析	(207)
11.1	分析模块的选择	(207)
11.2	建立模型	(207)
11.3	单元的选择	(210)
11.4	材料属性的设置	(211)
11.5	网格的划分	(212)

11.6	载荷及约束的施加	(215)
11.7	求解过程	(219)
11.8	结果分析	(219)
第 12 章	基于 ANSYS 软件的塔设备裙座支撑区的应力分析	(227)
12.1	环境设置	(227)
12.2	模型的创建	(230)
12.3	网格的划分	(235)
12.4	加载与求解	(236)
12.5	结果后处理	(237)
第 13 章	基于 ANSYS 软件的塔设备裙座支撑区的热应力分析	(241)
13.1	环境设置	(241)
13.2	模型的创建	(244)
13.3	网格的划分	(251)
13.4	加载与求解	(253)
13.5	后处理	(254)
13.6	重新进入前处理	(255)
13.7	重新进入求解器	(255)
13.8	最终的后处理	(256)
13.9	本章小结	(257)
第 14 章	基于 ANSYS 软件的 O 形密封环的变形分析	(258)
14.1	环境设置	(258)
14.2	单元及材料的定义	(259)
14.3	创建 O 形环模型	(262)
14.4	对 O 形环划分网格	(264)
14.5	创建上、下法兰模型	(265)
14.6	对上、下法兰划分网格	(266)
14.7	上法兰与 O 形环之间的接触的处理	(268)
14.8	下法兰与 O 形环之间的接触的处理	(271)
14.9	约束的施加	(274)
14.10	求解选项的设置	(276)
14.11	加载与求解	(278)
14.12	本章小结	(279)
第 15 章	基于 ANSYS 软件的压力容器开孔部位的三维应力分析	(280)
15.1	有限元模型的建立过程	(280)
15.2	分析结果的查看过程	(297)
15.3	有限元分析中应力线性化路径	(302)
15.4	有限元分析中路径应力线性化的结果	(306)
15.5	本章小结	(321)
参考文献		(322)

绪 论

所谓过程装备，一般是以受压容器为主体结构，再配以实现反应、传热、传质、分离等操作的设备及火焰加热炉。过程装备设计时，手工计算的计算量比较大，并且需要查阅图表，不仅计算复杂，其准确性也很不容易控制。随着过程装备大型化、高技术参数化的发展(例如超高压容器设计等)，传统的手工设计计算方法和经验难以满足实际运行需求，需要在设计计算方法上寻求突破。在世界范围内，每个工程技术领域都有适合的计算机软件可以使用，过程装备领域也是如此。目前，各设计院和工程公司均使用软件进行过程装备设计。在过程装备领域，作为先进技术传播者的设计人员，为了使过程装备设计计算的平台由计算器转移到计算机上，必须利用各类功能强大的软件。

0.1 HTRI 软件的简介

基于标准的 Windows 用户界面的 HTRI Xchanger Suite(简称 HTRI)软件采用了在全球处于领导地位的工艺热传递及换热器技术，包含了换热器及燃烧式加热炉的热传递计算及其他相关的计算软件，功能模块包括：Xist 模块(用于管壳式换热器)、Xphe 模块(用于板框式换热器)、Xace 模块(用于空冷器和省煤器)、Xjpe 模块(用于套管式换热器)、Xtlo 模块(用于管壳式换热器的管子排布)、Xvib 模块(用于单管的流致振动分析)及 Xfb 模块(用于燃烧式加热炉)。其计算方法是基于多年来 HTRI 广泛收集的工业级热传递设备的试验数据而研发的。此软件均可以严格地规定换热器的几何结构，可以充分利用 HTRI 所专有的热传递计算和压降计算的各种经验公式，从而十分精确地进行所有换热器的性能预测。HTRI 利用指数函数描述传热因子及摩擦因子与雷诺数的关联式。目前，过程工业换热设备的设计基本以 HTRI 设计方法和结果为准。在需要对换热器优化设计的领域，获得了相关企业很高的评价：使用 HTRI 软件后，管壳式换热器选型设计的工作效率得到提高，并且准确性更高。此外，对现场已经开车运行的换热器，HTRI 可以准确校核换热器的实际能力。

HTRI 软件内部含有 155 种纯组分的物性，还将含有 5600 多种纯物质物性的物性计算软件 VMGThermo 嵌入到 HTRI 中。流体的物性随着温度变化非常明显，不同温度下的气液组成以及流型都不同。HTRI 在物性计算过程中，将温度范围分成若干个温度区间，对于每一段温度区间进行积分计算，计算每个温度区间内所需的传热面积。根据计算的传热面

积,对多种方案进行优化,最终给出最优的设计方案。

需要指出:HTRI 软件是根据国外标准设计的,与我国标准有一定区别。因此,应在软件中找到换热器每一项结构尺寸的对话框,按照我国标准输入数值,这样可以设计出符合我国标准的换热器。

基于 HTRI 软件的 Xist 模型,其传热系数与压降模型基于大量实验数据,是符合 TE-MA 标准的计算结果最为可靠的工具之一,不仅可以进行热工水力计算,还可以进行管束流致振动计算。根据 HTRI 的计算报告,能得到:换热器所需的换热面积和设计裕量;所需的静压头;换热器运行的振动报告。HTRI Xist 能够计算所有的管壳式换热器,作为一个完全增量法程序,Xist 模块包含了 HTRI 的预测冷凝、沸腾、单相热传递和压降的最新的逐点算法。该方法基于广泛的壳程和管程冷凝、沸腾及单相传热试验数据。HTRI Xist 将换热器沿着管长方向划分为若干小的单元,根据每个单元对应的温度、压力及流动形态的改变,选用相应的物性数据以及传热校正系数,并以此为根据进行整个换热器传热及流动性能的核算。HTRI 软件可以根据计算结果输出温度分布图、流型分布图、传热系数分布图。这样的好处在于:可以根据温度区间最后判断出冷凝侧流体的流型,进而选择合适的传热关联式计算传热系数,实现在不同的壳程流型区域采用不同的传热关联式进行传热系数的计算。壳程流体从进口到出口之间经历不同的流型状态,不同的流型所对应的传热关联式也不同。流路分析法的本质在于假设壳程流体沿着某些独立的流道从一个折流板空间流向下一个折流板空间,这些流道为具有模拟摩擦因子的管道,利用经典的管网分析技术来解决每个流道的流量分率,壳程流体流路被分为 5 个平行的流路,每个流路的传热有效性差异很大。通过流路分析,增加有效传热流路,从而提高换热器的传热性能。找到符合实际情况的流型分布图,可以确保换热器工程计算的精度。这是手工设计难以达到的。

HTRI 计算软件在 Tubes 树型菜单下提供了一个 FJ Curves 的输入框(图 0-1,俗称“fj 面板”),在进行包括波纹管等在内的特型换热管管内管外传热系数与压力降的计算时,为用户提供了输入“摩擦因子 f 与传热因子 j ”、“常数 a 与常数 b ”两种方式,后者数据处理过程中需要进行线性回归来实现。一般地,在 HTRI 软件界面中,可改变不同的初始参数进行优化设计。在 Excel VBA 环境中,利用 HTRI 二次开发工具扩展软件计算功能,可以实现热工设备开停工况的过程模拟。与手动计算进行对比,结果一致,但速度更快,并且省去繁琐的参数调整过程。

对于塔设备,常用的再沸器主要有釜式、内置式、立式热虹吸式、卧式热虹吸式及强制循环式等形式。再沸器是利用热介质在壳侧提供热量将管侧工艺流体加热沸腾的管壳式换热器,它是自然循环的单元操作,动力来自与之相连的精馏塔塔釜液位产生的静压头和管内流体的密度差。热虹吸再沸器的壳侧热流体物性数据可从 HTRI 软件物性数据库中选取。管侧的工艺冷流体一般为混合物,可以在用户自定义模块中输入。需要注意的是再沸器换热管内各点的压力与饱和温度均不同,因此 HTRI 要求输入至少 3 组不同压力下的物性数据,且压力区间能够覆盖整个换热管长度。也可以直接在 HTRI 中输入:在“物性常

数栏”输入临界压力、临界温度及平均潜热；在“气相性质栏”输入操作压力下气相密度、黏度、比热容及传热系数；在“液相性质栏”输入操作温度下液相密度、黏度、比热容及传热系数；在“VLE 数据栏”输入流体的泡点压力 - 温度数据。对于再沸器，也可以先用流程模拟软件 Aspen Plus 进行热量衡算，模拟后，将数据通过 Aspen Plus 软件自带的 Dos 程序界面 Aspen Plus Simulation Engine，将数据用 HTXINT 命令导入专门用于换热器工艺计算的模拟计算软件 HTRI 进行结构设计。流程模拟软件 VMGSIM 的计算结果产生的数据文件可以无缝地被 HTRI 软件读入。PRO/II 软件计算得到的物性数据可通过如图 0-2 所示的方式导入 HTRI 软件。

The figure shows a software interface for HTRI with the following structure:

- Tube Geometry FJ Curves** (Main Title)
- Shellside Crossflow**

	Reynolds number	f-Factor	j-Factor
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$f_{i,j} = aRe^b$		a <input type="text"/>	<input type="text"/>
		b <input type="text"/>	<input type="text"/>
- Shellside Longitudinal Flow**

	Reynolds number	f-Factor	j-Factor
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$f_{i,j} = aRe^b$		a <input type="text"/>	<input type="text"/>
		b <input type="text"/>	<input type="text"/>
- Tubeside**

	Reynolds number	f-Factor	j-Factor
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$f_{i,j} = aRe^b$		a <input type="text"/>	<input type="text"/>
		b <input type="text"/>	<input type="text"/>

图 0-1 特殊换热管时 HTRI 软件的参数输入界面

The figure shows a software window with the following details:

- Tabs: Property Package | Composition | Conditions | Results
- Property package: PRO/II
- Fluid Data Source:
 - User defined fluid
 - Simulation case file
- File: E:\T1402\C2M2EDC-10ATS-CQ-20150323.prz
- Stream [Feed] \$S70973 -> E3003

图 0-2 PRO/II 软件计算得到的物性数据导入 HTRI 软件的界面

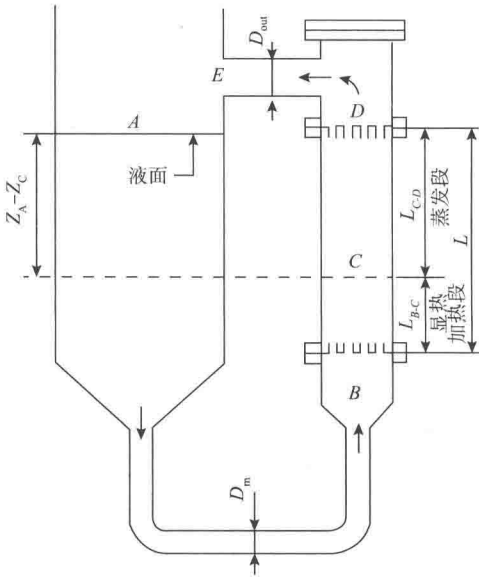


图0-3 热虹吸式再沸器工作原理

塔设备附属的热虹吸式再沸器(Thermosiphon reboiler)的工作原理见图0-3。塔釜的液相经入口管道进入再沸器,由于静压头的存在,换热管入口处的压力大于流体的饱和压力,液体须加热至对应压力下的饱和温度后才能汽化,因此再沸器底部换热管存在显热加热段(B-C部分);之后,在C-D部分,饱和液体被加热,部分沸腾蒸发,流体变为气液两相流,因此该段称为蒸发段;最后,气液两相流经出口管道返回塔釜,完成循环。热虹吸再沸器的推动力为液相和气相的密度差;阻力为入口管阻力降、再沸器管程阻力降和出口管阻力降三者之和。当推动力 \geq 总阻力时,再沸器可以循环;推动力=总阻力时,循环达到平衡状态;推动力 $>$ 总阻力时,应增加循环量以提高总阻力,使其与推动力相等,进而使循环达到平衡状态。

对于热虹吸式再沸器,利用HTRI软件可以计算:真实的循环量和汽化率;满足循环所需的静压头,进而决定塔器和再沸器之间的相对布置关系;按压力降分配法确定进出口管的尺寸。

静压头是塔釜正常液位到再沸器下管板的垂直距离。选定了静压头,就确定了再沸器和塔器的相对连接位置。再沸器水力学计算过程中,静压头取值直接影响再沸器内的汽化率以及换热器面积的设计富余量。因此,确定再沸器水力学参数时,必须首先画一张包含再沸器、精馏塔以及连接管道的简图,见图0-4。在单相对流显热段,由于静压头的存在,该区域的压力大于流体饱和状态的压力。因此,为使液体汽化沸腾,必须将液体加热到对应压力下的饱和温度以上。在过冷沸腾段,当流体经换热管向上流动,压力逐渐降低,直到接近换热管壁温所对应的饱和蒸气压时,在换热管壁上液体开始形成气泡,气泡不断长大、破裂。尽管没有气体产生,但由于气泡的作用,该段流体的膜传热系数迅速增加。在环状流段,当气体的剪切应力足够大时,气体带动液体沿换热管向上运动,此时流体在立式热虹吸再沸器内完成了主要的相变和传热过程。在环状流上部有一段区域为雾状流,在雾状流区域液相成分散状,以液滴形式存在于气体之间,管壁间的传热主要由气体控制,这就大大降低了总传热系数,因此,设计再沸器时要避免雾状流的出现。可通过设置合理的温差避免喷雾流的产生。加热介质和管内流体之间设计温差一般取 $20 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。在工艺介质给定的情况下,汽化率是热负荷、静压头、再沸器结构尺寸的函数。在热负荷给定的情况下,循环量和汽化率成反比。在HTRI中,输入再沸器的循环量和汽化率的初始值,在输入静压头和热负荷后,HTRI程序会计算出实际的循环量和汽化率。设计时,再沸器的进出口管道尺寸和长度是必须要输入的,其管道设置如图0-5所示。再沸器的静压

头设置界面如图0-6所示。对于加压精馏，再沸器管板可平行于或低于塔釜正常液位；而对于真空精馏，再沸器管板要高于塔釜正常液位，注意不要将塔釜压力和再沸器入口压力混淆。

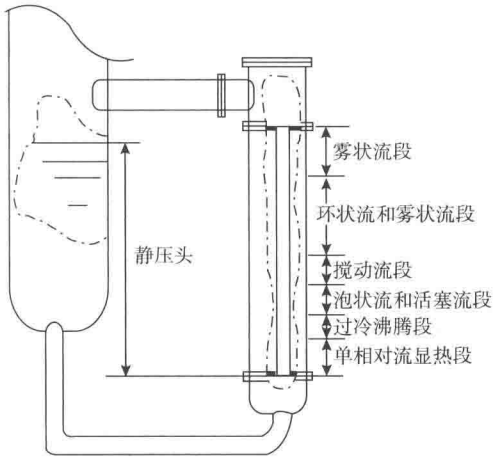


图0-4 再沸器水力学参数计算简图

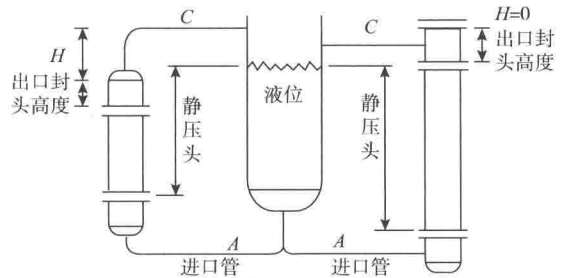


图0-5 再沸器管道设置

Reboiler Data	
Reboiler type	Thermosiphon reboiler
Bundle diameter	_____ mm
Kettle diameter	_____ mm
Liquid level height/bundle d	_____
Entrainment ratio	_____ kg liquid/kg vapor
Number of boiling compon	_____
Required liquid static	3.5 m
Inlet Pressure Location	
<input type="radio"/> At inlet noz.	
<input checked="" type="radio"/> At column botton	
<input type="radio"/> At top of bundl.	

图0-6 再沸器静压头设置

HTRI. Xtlo 是管壳式换热器管子严格排布软件。

HTRI. Xvib 是对换热器管束的单管中由于物流流动导致的振动进行分析的三维有限元结构分析软件。在 Xist/Drawings/Tube layout 中，右键点击管束区域，点击 Show Xvib Velocity States，将危险区域的管束分为三种颜色——黄色、红色和橙色，分别表示将管束进口流速、壳体进口流速和管束出口流速，导入 Xvib 进行该传热管的振动分析。右键点击 Tube layout 中需要进行分析的传热管，点击 Create Xvib Case for Select Tube，将 Xist 中该传热管相关的热工数据、结构数据和流速数据导入到 Xvib 计算文件中。在 HTRI5.0 及



之前的版本中,此处只可以导入热工数据和结构数据,而各个跨距的流速数据需要用户自行去 Xist 中提取输入,非常繁琐。HTRI6.0 的这项改进,使得应用 Xvib 进行管束振动分析更为便捷。用户也可以直接打开 Xvib 模块,自行输入所需参数进行分析。Xvib 计算报告给出各阶固有频率、间隙流速与临界间隙流速的比值、最大卡门漩涡振幅及不同模式下的振幅图等。HTRI 公司认为,间隙流速与临界间隙流速的比值小于 1,可认为无流体弹性不稳定性激振问题;最大卡门漩涡振幅小于 50% 的管间隙可认为无卡门漩涡激振问题,如超出以上判定准则,可根据报告所示位置进行设计方案的调整并重新计算。HTRI Xist 分析不通过的情况,可采用 HTRI Xvib 进行更为精确的计算,从而判断是否能通过;此外,HTRI Xvib 还可以进行增加支撑条等其他管束支撑方案的流致振动分析。

板式换热器(Plate and Frame Exchanger)的污垢热阻,比普通的列管式换热器的污垢热阻小,主要是由于传热板凹凸不平,流体在流道中易形成紊流,流体中的固体颗粒难以沉积。其核心部件是金属板片,分为平板式、螺旋板式、板翅式和热板式四种。优点是结构紧凑,组装灵活,具有较高的传热效率,有利于维修和清洗;缺点是处理量小,操作压力和温度受密封垫片材料性能限制而不宜过高,一般工作压力在 2.5MPa 以下,工作温度在 $-35 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。HTRI Xphe 能够设计、核算、模拟板框式换热器,是一个完全增量式计算软件,它使用局部的物性和工艺条件分别对每个板的通道进行计算。该软件使用 HTRI 特有的基于试验研究的端口不均匀分布程序来决定流入每板通道的流量。

HTRI Xace 软件能够设计、核算、模拟空冷器及省煤器管束的性能,它还可以模拟分机停运时的空冷器性能。该软件使用了 HTRI 的最新逐点完全增量计算技术,可用于传热设计、机械设计、成本估算和提供设备设计图。根据需要,输入数据包括:机械数据包括换热器的型号(依据 TEMA 标准),材质,换热管的直径、长度、管程数、放置方式、管间距、管数、管壁厚、管子类型和接管尺寸等。输出结果包括:输入概要,换热器性能,机械结构和计算详表。输入概要包括:冷热流体的输入、输出条件,压降以及污垢热阻等。换热器性能(Exchanger performance)包括:管内外传热系数、所需传热系数和实际传热系数、平均温差(EMTD)、热负荷(Duty)等;机械结构包括换热器尺寸、翅片尺寸、布管图、风机尺寸、喷嘴;计算详表包括风速、热阻分布等。当接近温度(即热流体出口温度与设计空气温度之差)小于 15°C 时,选用湿式空冷器经济性更好,而 HTRI 却没有相应的计算模块对湿式空冷器进行计算。此时,需要采用 HTRI FJ Curves 面板的修订系数实现 HTRI 湿式空冷器的选型计算。

套管式换热器的优点是结构简单,能耐高压;缺点是单位传热面积的金属消耗量大,管子接头多,检修和清洗不方便。HTRI Xjpe 可以用来计算套管式换热器。

加热炉是技术含量较高的非标设备,是炼油厂不可或缺的重要设备,同时也是耗能比较多的设备。千万吨炼油装置中加热炉能耗占装置总能耗的 70% 以上。加热炉性能优化是一项系统工程,不是采用了某一个设计参数优化就能全面解决的。必须实施一系列设计措施,才能使加热炉性能优化效果显著。当前,加热炉的设计有公开报道的均为手算,手算的效率较低,并且无法进行优化设计。传统管式炉燃烧计算工作量大,很多参数都是经验

取值,易造成计算失误且费时费力,不利于管式炉的工艺计算。HTRI Xib 能够模拟火力加热炉的工作情况。该软件能够计算圆筒炉及方箱炉的辐射室的性能以及对流段的性能,它还能用 API350 对工艺加热炉的炉管壁厚进行设计,还可快速准确地进行一种或两种燃料的燃烧计算。HTRI 软件的火焰加热炉模块可以对加热炉进行设计。在炼油设计专业,加热炉专业设计人员也使用 HTRI 软件中的火焰加热炉模块用来对加热炉进行设计、校核,以提高加热炉的设计效率和设计质量。

HTRI 软件是英文版的软件。该软件的中文参考书籍不多,最近几年国内有些大型设计院所的换热器设计人员把优化设计情况整理成论文发表,但是数量也不多。HTRI 软件中的火焰加热炉模块为基础公开报道的资料(图书、论文)很少见。因此,在利用 HTRI 进行设计前,要花费精力理解 HTRI 软件的内涵,需要积累经验。

0.2 FRNC -5 PC 软件的简介

FRNC -5 PC 软件是由 PFR 公司开发的加热炉优化设计软件,采用分段的传热与压降计算方法进行换热工艺流程模拟,广泛用于加热炉的设计。FRNC -5 属于校核型软件,需要用户先给出炉子布置方案,然后对此方案进行校核,判断该方案是否合适,不合适则需根据校核结果修改方案,再次计算直至合格为止。利用直接火焰加热炉模拟计算软件 FRNC -5 进行计算,可以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。如果对流段各管组的工艺物料的温度、压力和换热管组的热负荷没有满足要求,就需要根据 FRNC -5 模拟计算得出的结果重新调整换热管组的换热管的直径、长度、材质、换热管的排列形式和间距、翅片的结构尺寸,或者采用增加辅助燃烧器补热的方式,重新计算,直到对流段各管组的工艺物料的温度、压力和换热管组的热负荷都满足要求为止。此时所得到的烟气流过各换热管组后的阻力降、温度和流量、各换热管组的最高管壁温度、各换热管组的结构尺寸即是各换热管组的设计依据。

Fr5see 是查看 FRNC -5 PC 结果的工具,可以汉化结果,快速查找计算结果。加热炉专业设计使用的 FRNC -5 PC 软件是英文版软件,很少有针对该软件的中文技术交流,使用该软件而发表的中文论文、书籍等也不多。这也是利用 FRNC -5 PC 软件进行加热炉优化设计前面临的难题。

0.3 Aspen Plus 软件的简介

Aspen Plus 是 Aspen Tech 公司开发的生产装置设计、稳态模拟和优化的大型通用流程模拟系统,是标准大型流程模拟软件,应用案例数以百万计。Aspen Plus 数据库包括将近



6000 种纯组分的物性数据，包括约 900 种离子和分子溶质；水溶液中 61 种化合物的 Henry 常数参数；包括 Ridlich - Kwong Soave、Peng Robinson、Lee Kesler Plocker、BWR Lee Starling 以及 Hayden O' Connell 状态方程的二元交互作用参数约 40000 多个，涉及 5000 种二元混合物；1727 种纯化物；2450 种无机化合物；燃烧产物中常见的 59 种组分和自由基；3314 种固体组分，主要用于固体和电解质；电解质的 900 种离子。Aspen Plus 是唯一获准与 DECHEMA 数据库接口的软件。该数据库收集了世界上最完备的气液平衡和液液平衡数据，共计 25 万多套数据。Aspen Plus 是唯一能处理带有固体、电解质、生物质和常规物料等复杂体系的流程模拟系统。

Aspen Plus 是 Aspen 工程套件(AES)的一个组件。AES 是集成的工程产品套件，有几十种产品。

Aspen EDR 是 Aspen Exchanger Design & Rating 的缩写，是目前全世界范围内广泛使用的换热器设计和校核软件，它不仅提供丰富的热力学参数，严格的计算模型以及与其他软件的无缝接口，使得工程设计快捷、准确、可靠，更重要的是亦开发了振动分析的设计，通过查看分析报告，给设计者提供了振动设计可靠的依据。该软件中的 Shell & Tube Exchanger 模块是专门用于管壳式换热器传热计算的，其提供了设计(design)、校核(rating/checking)、模拟(simulation)及最大污垢(maximum fouling)四种计算模式，可进行单相流、沸腾或冷凝以及多相流的传热计算。

Aspen EDR 中的 HTFS. PLATE 组件可以对板式蒸发器进行优化设计，不同设计方案下的计算结果见图 0-7，计算结果见图 0-8，输出的结构图见图 0-9(对应的结构图含义见图 0-10)。图 0-7 中的四种设计方案，较佳的是方案 3。

举例：利用 Aspen Plus V8.4 的计算功能还可以方便的实现泵性能的计算机仿真实验。

离心泵将压力为 170kPa 的物流加压到 690kPa，进料的温度为 -10℃，摩尔流率及组成如表 0-1 所示，泵的效率为 80%，电动机的效率为 100%。物性方法采用 PENG-ROB，计算泵提供给流体的功率、泵所需要的轴功率以及电动机消耗的功率。

Optimization Path |

Current selected case: 3 Select

Item	Passes		Channels		Area ratio	Risk of maldistribution	Total area	Plate Details					Hot Side DP		Cold Side DP	
	Hot side	Cold side	Hot side	Cold side				Chevron angle	Plate area	Port diameter	Horiz. port distance	Vert. port distance	Plate	Port	Plate	Port
1	1	1	20	20	5.46	No	5.9	30	.152	50	205	571.97	.00824	.00158	.00482	.00085
2	1	1	9	9	2.36	No	2.6	45	.152	50	205	571.97	.00835	.00144	.00489	.00077
3	1	1	5	5	1.03	No	1.4	60	.152	50	205	571.97	.005	.00139	.00293	.00074
4	1	1	5	5	1.34	No	1.0	60	.197	50	205	743.56	.00649	.00139	.00301	.00074
3	1	1	5	5	1.03	No	1.4	60	.152	50	205	571.97	.005	.00139	.00293	.00074

图 0-7 HTFS. PLATE 组件的优化设计计算结果

Design		Hot Side		Cold Side					
Total mass flow rate	kg/h	141		107					
Vapor mass flow rate (In/Out)	kg/h	141	120	107	107				
Liquid mass flow rate	kg/h	0	21	0	0				
Vapor mass quality		1	.85	1	1				
Temperatures	°C	20		-110					
Pressure	bar	1.01325		1.00958					
Heat transfer coeff. (mean)	W/(m ² *K)	313.8		58.6					
Fouling resistance	m ² *K/W	.0002		.0002					
Velocity (Port/Plate)	m/s	14.21	/	4.5	/	3.77			
Wall shear stress (mean)	N/m ²			1.2					
Pressure drop (allow./calc.)	bar	.01 / .00538		.01 / .00367					
Residence volume	m ³	.0035		.0035					
Residence time	Seconds	.13		.19					
Total heat exchanged	kW	3.3		Exchangers	1	Plates	11		
Overall coef. [dirty/clean]	W/(m ² *K)	49.2	/	49.3	Passes - hot / cold	1	/	1	
Effective surface area	m ²	1.4		Channels - hot / cold	5	/	5		
Effective HTD	°C	51.19		Plate - length / width	631.97	/	265	mm	
Actual/Reqd. area [dirty/clean]		1.03	/	1.03	Plate - pitch / thk	5.28	/	.6	mm
Risk of maldistribution		No		Port diameter	50			mm	
				Chevron angle	60			Degree	

Heat Transfer Resistance	
Hot side / Fouling / Wall / Fouling / Cold side	
Hot side	Cold side

图 0-8 HTFS. PLATE 组件的计算结果

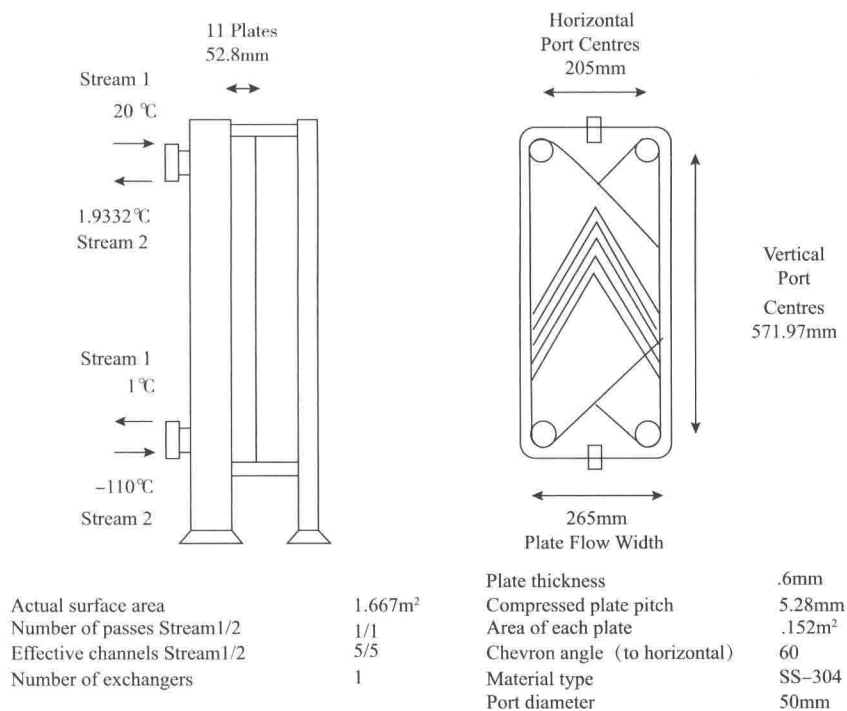


图 0-9 HTFS. PLATE 组件输出的结构图