



换热器工艺设计

THERMAL DESIGN OF HEAT EXCHANGERS

孙兰义 马占华 王志刚 张骏驰 主编

中国石化出版社

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

换热器工艺设计

孙兰义 马占华 王志刚 张骏驰 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以 Aspen EDR 为计算工具,以换热器设计示例为线索,介绍了换热器工艺设计的基础知识和软件应用的方法与技巧。全书共分为 7 章,第 1 章介绍软件的基本特点和主要功能;第 2 章介绍使用软件进行换热器设计时的物性输入与物性方法选择;第 3 章~第 6 章分别介绍管壳式换热器、冷凝器、再沸器和空气冷却器的基本知识以及使用软件进行设计的步骤和技巧;第 7 章介绍软件与 Aspen Plus、Aspen HYSYS 进行数据交互的方法。每个章节中的示例均有详细的说明与详尽的操作步骤,读者按照书中的提示与步骤操作即可逐步掌握使用 Aspen EDR 设计各种换热器的方法和技巧。

本书内容全面、新颖、实用,可作为高等院校化工及相关专业本科生和研究生的学习参考书,也可供石油和化工等领域从事换热器设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

换热器工艺设计 / 孙兰义等主编. —北京:中国石化出版社,2015.3
ISBN 978-7-5114-3225-4

I. ①换… II. ①孙… III. ①换热器-工艺设计
IV. ①TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 039654 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

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 24.75 印张 589 千字

2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定价:78.00 元

编 委 会

主 编 孙兰义 马占华 王志刚 张骏驰

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王万里 王兰娟 司群猛 全本军

刘 丹 刘育良 朱 毅 李学刚

苏 珍 连传敏 尚建龙 罗 晶

钟 旺 郭晓艳 谢 旭 翟 建

前 言

换热器是工业生产中用来实现物料之间热量传递的设备，是化工、炼油、动力、原子能和其他许多工业部门应用广泛的一种通用工艺设备。由于其应用的广泛性和功能的重要性，选择合适的换热器，对提高工程运作效率、降低成本具有举足轻重的作用。换热器结构复杂，流体流动状态难以预测，手算必然耗费大量的人力物力，因此需要在工程设计过程中，应用功能强大的换热器设计软件，以达到经济高效的设计目的。

Aspen Exchanger Design & Rating (Aspen EDR) 是传热系统领域应用最为广泛的换热器设计软件。Aspen EDR 包括七个软件工具，综合了热建模、热力设计和机械设备构造设计，并引入了 Aspen Tech 系列流程模拟软件中功能强大的流体物性计算系统。

编者在换热器模拟计算的应用和研究中了解到，随着换热器设计软件的应用越来越广泛，越来越多的相关行业人士有了学习此类软件的需求，但行业内难以找到系统全面的软件学习资料。为解决这一问题，编者总结相关文献与自身的经验，编写了本书。

本书详细介绍了 Aspen EDR 软件的使用方法和技巧，通过对本书的学习，可以提升读者对软件的认识，并能用其进行各种换热器的设计与计算。同时，在使用软件进行换热器的设计和计算时，应充分考虑实际情况，具体问题具体分析，以期获得最佳的换热器设计方案。

本书第 1 章介绍了软件的基本特点和功能界面；第 2 章介绍了换热器计算过程中物性输入与物性方法的选择；在后续章节中分别通过典型的示例讲解了软件设计管壳式换热器、冷凝器、再沸器和空气冷却器的方法和技巧以及与其他软件的数据交互方法。各章中的示例文件均可从相关化工论坛网站中找到。

本书所有例题均基于 Aspen EDR V8.0，不同版本的软件在界面和功能上可能有所差异，请读者注意。

邱若磐、刘统华、刘小波等同行专家对本书的有关内容提出了许多宝贵意见，谨此深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 Aspen EDR 换热器设计软件介绍与入门	(1)
1.1 Aspen EDR 简介	(1)
1.2 Aspen EDR 图形界面	(3)
1.3 Aspen EDR 功能特点	(6)
1.4 Aspen EDR 主要输入页面	(13)
1.5 Aspen EDR 简单示例应用	(41)
1.5.1 设计模式	(41)
1.5.2 校核模式	(48)
参考文献	(52)
第 2 章 流体物性	(53)
2.1 换热器工艺设计所需的流体物性	(53)
2.2 Aspen EDR 流体物性输入	(53)
2.2.1 Aspen EDR 流体组成页面	(54)
2.2.2 Aspen EDR 流体物性页面	(61)
2.2.3 Aspen Properties 中的主要物性方法	(62)
2.2.4 Aspen EDR 流体物性输入示例	(66)
参考文献	(76)
第 3 章 管壳式换热器	(77)
3.1 概述	(77)
3.2 管壳式换热器的特点	(77)
3.2.1 管壳式换热器的结构特点	(77)
3.2.2 管壳式换热器的类型及适用范围	(77)
3.2.3 管壳式换热器的主要组合部件	(78)
3.2.4 管壳式换热器型号表示方法	(85)
3.3 管壳式换热器系列	(86)
3.3.1 固定管板式换热器	(86)
3.3.2 浮头式换热器和冷凝器	(94)
3.3.3 U 形管式换热器	(102)
3.3.4 立式热虹吸式再沸器	(106)
3.4 管壳式换热器结构参数的选择	(109)
3.4.1 换热管	(109)
3.4.2 管程数	(112)
3.4.3 壳程型式	(113)
3.4.4 壳径	(113)

3.4.5	壳程折流板	(113)
3.4.6	支持板	(117)
3.4.7	防旁路流设施	(117)
3.4.8	防冲板及导流筒	(118)
3.4.9	接管	(119)
3.4.10	壳程允许压力降	(120)
3.5	管壳式换热器工艺条件的选择	(121)
3.5.1	流体空间	(121)
3.5.2	流速	(122)
3.5.3	压力降	(124)
3.5.4	温度	(126)
3.5.5	流动方式	(126)
3.6	管壳式换热器计算方法及经验数据	(126)
3.6.1	总传热速率方程	(126)
3.6.2	热负荷	(127)
3.6.3	总传热系数	(127)
3.6.4	平均温差和温差修正系数	(132)
3.6.5	污垢热阻	(133)
3.6.6	面积余量	(139)
3.7	贝尔-台华法简介	(140)
3.8	流路分析法简介	(144)
3.9	管壳式换热器计算结果的分析与设计方案的调整	(145)
3.9.1	总体设计尺寸	(146)
3.9.2	面积余量	(146)
3.9.3	压力降	(146)
3.9.4	流速	(147)
3.9.5	传热系数	(147)
3.9.6	热阻	(147)
3.9.7	管子振动	(148)
3.10	管壳式换热器设计示例(一)	(148)
3.11	管壳式换热器设计示例(二)	(160)
	参考文献	(171)
第4章 冷凝器		(172)
4.1	概述	(172)
4.2	冷凝机理	(172)
4.2.1	冷凝过程的分类	(172)
4.2.2	膜状冷凝的特点	(173)
4.2.3	流态预测	(173)
4.2.4	过热与过冷现象	(174)

4.3	冷凝器设计要点及影响因素	(175)
4.3.1	冷凝物与冷却介质	(175)
4.3.2	冷凝器总传热系数与经验值	(175)
4.3.3	压力降	(176)
4.3.4	面积余量	(177)
4.3.5	冷凝传热的影响因素	(177)
4.4	冷凝器选型	(179)
4.4.1	按冷凝物选型	(179)
4.4.2	按冷凝器结构选型	(180)
4.5	冷凝器的结构特点与安装注意事项	(184)
4.5.1	冷凝器的结构特点	(184)
4.5.2	冷凝器安装注意事项	(185)
4.6	蒸馏塔顶冷凝器与反应器的冷凝器	(186)
4.7	卧式壳程冷凝示例	(187)
4.8	立式管程冷凝示例	(198)
4.9	立式壳程冷凝示例	(208)
4.10	回流冷凝示例	(218)
	参考文献	(231)
第5章	再沸器	(232)
5.1	概述	(232)
5.2	再沸器的类型	(232)
5.2.1	釜式再沸器	(232)
5.2.2	热虹吸式再沸器	(233)
5.2.3	强制循环式再沸器	(235)
5.2.4	内置式再沸器	(235)
5.2.5	降膜蒸发器	(235)
5.3	再沸器的选型	(237)
5.4	再沸器的设计要点	(239)
5.4.1	釜式再沸器	(239)
5.4.2	立式热虹吸再沸器	(242)
5.4.3	卧式热虹吸再沸器	(246)
5.4.4	降膜蒸发器	(247)
5.4.5	其他设计考虑因素	(248)
5.5	釜式再沸器设计示例	(250)
5.6	立式热虹吸再沸器设计示例	(261)
5.7	卧式热虹吸再沸器设计示例	(273)
5.8	降膜蒸发器设计示例	(284)
	参考文献	(292)

第6章 空气冷却器	(293)
6.1 空气冷却器的型式及特点	(293)
6.1.1 结构型式及分类	(293)
6.1.2 管束、管箱与接管	(295)
6.1.3 翅片管型式及特点	(298)
6.1.4 管束型式与代号	(300)
6.1.5 构架型式与代号	(300)
6.1.6 风机型式与代号	(303)
6.1.7 百叶窗	(305)
6.1.8 空气冷却器型号表示方法	(306)
6.1.9 跨、组、排	(306)
6.2 空气冷却器的总体设计	(307)
6.2.1 总体设计内容	(307)
6.2.2 空冷与水冷的选择	(307)
6.2.3 总体型式选择	(309)
6.2.4 工艺设计条件	(309)
6.2.5 空冷器的结构设计	(310)
6.3 主要数学模型及关联式	(318)
6.3.1 空气侧强制通风的传热系数和压力降	(318)
6.3.2 空气侧自然通风的传热系数和压力降	(320)
6.3.3 总传热系数	(320)
6.3.4 风机功率	(320)
6.4 空气冷却器设计标准	(323)
6.5 AirCooled 程序简介	(324)
6.6 液相冷却空冷器设计示例	(324)
6.7 气相冷却空冷器设计示例	(336)
6.8 油品冷却空冷器设计示例	(343)
附表	(349)
参考文献	(358)
第7章 Aspen EDR 与 Aspen Plus、Aspen HYSYS 的数据交互	(359)
7.1 Aspen EDR 与 Aspen Plus 的数据交互	(359)
7.2 Aspen EDR 与 Aspen HYSYS 的数据交互	(367)
参考文献	(373)
附录	(374)
附录1 Aspen EDR 自带管壳式换热器例题总结	(374)
附录2 换热器中各种长度的定义	(375)
附录3 热源和冷源	(378)
附录4 油品性质计算公式一览表	(380)
附录5 常用词汇中英文对照	(381)

第 1 章 Aspen EDR 换热器设计软件介绍与入门

1.1 Aspen EDR 简介

(1) Aspen EDR 的产生和发展^[1-4]

在化工生产活动中，换热设备所需的费用占装置成本费用的近 30% 和运行费用的近 90%。而设计和校核换热器又是一个复杂的难题，在设计过程的每个方面都会存在不同需求下的多种工况，这就需要一个完整的解决方案提供一个仿真优化设计来解决不同需求下的多种工况，从而降低成本，提高运行效率。

Aspen Exchanger Design and Rating (Aspen EDR) 是美国 AspenTech 公司推出的一款传热计算工程软件套件，包含在 AspenONE 产品之中。Aspen EDR 包括原 HTFS 的 TASC 和 ACOL 两款软件，还包括原 Aspen 的 B-JAC 软件，软件采用 B-JAC 的窗口模式，页面同 Aspen Plus 一样友好，而计算内核主要移植 HTFS 的引擎并结合了 B-JAC 计算的优点。HTFS 系列软件原是英国 AEA 工程咨询公司的产品，创始于 1967 年，具有 30 多年的发展史，在世界同行业中始终处于领先地位。1997 年 AEA 公司和加拿大 Hyprotech 公司合并，Hyprotech 成为 AEA 的一个子公司，HTFS 由 Hyprotech 接管。2002 年 7 月，Hyprotech 公司与 AspenTech 公司合并，HTFS 成为 AspenTech 公司的产品，AspenTech 公司将流程模拟软件 Aspen Plus 与 HTFS 系列软件进行了集成，与 Aspen Plus 集成的 HTFS 称作 HTFS⁺，Aspen7.0 以后版本名称改为 Aspen EDR。

Aspen EDR 能够为普通用户和专家级用户提供较优的换热器设计方案，AspenTech 通过技术手段将工艺流程模拟软件和综合工具进行整合，大大降低了人工输入导致的数据在软件间的传输错误，最大限度地保证了数据的一致性，提高了计算结果的可信度，有效地减少了错误操作。对于 Aspen EDR 的冷热流体的物性计算，原 B-JAC 和 Aspen HYSYS 的流体物性计算系统作为 Aspen EDR 内置的物性计算系统，可直接使用。Aspen7.0 以后的版本已经实现了 AspenPlus、Aspen HYSYS 和 Aspen EDR 的对接，即 Aspen Plus 可以在流程模拟工艺计算之后直接无缝集成转入换热器的设计计算，使 Aspen Plus、Aspen HYSYS 流程计算与换热器详细设计一体化，不必单独地将 Aspen Plus 计算的数据导出再导入给换热器计算软件，用户可以很方便地进行数据传递并对换热器详细尺寸在流程中带来的影响进行分析。

(2) Aspen EDR 的组成部分^[5]

Aspen EDR 的主要设计程序有：

- ① Aspen Shell & Tube Exchanger (原 Aspen Tasc⁺)：能够设计、校核和模拟管壳式换热器的传热过程；
- ② Aspen Shell & Tube Mechanical (原 Aspen Team)：能够为管壳式换热器和基础压力容器提供完整的机械设计和校核；
- ③ HTFS Research Network：用于在线访问 HTFS 的设计报告、研究报告、用户手册和数据库；

- ④ Aspen Air Cooled Exchanger(原 Aspen Acol⁺): 能够设计、校核和模拟空气冷却器;
- ⑤ Aspen Fired Heater(原 Aspen FiredHeater): 能够模拟和校核包括辐射和对流的完整加热系统, 排除操作故障, 最大限度的提高效率或者找出潜在的炉管烧毁或过度焦化;
- ⑥ Aspen Plate Exchanger(原 Aspen Plate⁺): 能够设计、校核和模拟板式换热器;
- ⑦ Aspen Plate Fin Exchanger: 能够设计、校核和模拟多股流板翅式换热器。

除了以上主要设计程序, 下面的辅助程序为换热器设计提供支持:

- ① Metals: 金属材料性质数据库;
- ② Ensea: 管板布置程序;
- ③ Qchex: 价格预算程序;
- ④ Props: 化学物理性质数据库;
- ⑤ Component Mechanical Design: 零部件设计程序。

在以上程序的支持下, Aspen EDR 可应用于热力设计(适用于热能计算、相关几何参数计算以及布管)和机械设计(适用于各种压力条件下详细的机械设计, 参照国际标准代码和标准)两种模式。

(3) Aspen EDR 的文件格式^[5]

虽然 Aspen EDR 软件有较为复杂的发展经历, 但是其使用的文件名和文件类型一直较为统一。文件命名可使用字母 a~z、A~Z 和数字 0~9, 另外, 一些特殊字符如 _ & \$ 也可以使用, 但是最多不超过 255 字节。通过文件名后自动附加的扩展名可以判断该文件的类型, 文件扩展名介绍如表 1-1 所示。

表 1-1 文件扩展名介绍

扩展名	具体描述
EDR	Aspen HTFS ⁺ 输入/输出文件(2006 版本或者 2006 之后版本)
BJT	Aspen HTFS ⁺ 输入/输出文件(10.0~2006 版本之间)
BFD	Aspen HTFS ⁺ 绘图文件
BDT	Aspen HTFS ⁺ 模板文件(用户可以将一个存在的 *.BJT 输入文件保存为 *.BDT 模板文件, 然后利用该模板, 使用 Save As 功能, 创建其他的输入文件)
BJI	Aspen HTFS ⁺ 输入文件(早期的版本)
BJO	Aspen HTFS ⁺ 输出文件(早期的版本)
BJA	Aspen HTFS ⁺ 档案文件(早期版本的输入/输出数据)
TAF	Aspen Hyprotech Tasc ⁺ 输出文件(用于向 Aspen Teams 程序中导入)
DBO	HTRI 输出文件(用于向 Shell & TubeMech 程序中导入)
OUT	HTRI 输出文件(用于向 Shell & TubeMech 程序中导入)

(4) Aspen Shell & Tube Exchanger (Shell & Tube)简介^[1,4]

考虑到管壳式换热器是应用最广泛的换热器型式, 所以本书将着重对 Aspen Shell & Tube Exchanger 管壳式换热器的热力设计进行介绍, 下文中的 Aspen EDR 如无特别说明, 均指 Aspen Shell & Tube Exchanger 软件。

Aspen Shell & Tube Exchanger 用于管壳式换热器的详细模拟和优化设计, 是新一代传热动力学模拟、设计软件。其前身是 HTFS 系列软件中的 TASC 软件, TASC 是世界上非常优秀的管壳式换热器软件, 早在 20 世纪 80 年代初就已进入中国, 以计算准确性和工程实用性而闻名。归入 Aspen EDR 体系的 TASC 软件功能更强, 将所有管壳式换热器集为一体, 融合了传热计算和机械强度计算, 可用于多组分、多相流冷凝器, 釜式再沸器, 降膜蒸发器, 多

台换热器组等多种型式管壳式换热器的设计，并提供管束排列图。

Aspen Shell & Tube Exchanger 的主要特征：

- 可设置多壳程且对壳体串、并联无实际限制；
- 拥有所有的 TEMA 标准壳体和封头类型；
- 支持套管式换热器(套管或夹套式)和多管马蹄型套管式换热器(发夹型，U形)；
- 支持与 Koch Heat Transfer 螺旋式换热器模拟接口；
- 交互式自定义管束布置图；
- 可模拟光滑管、低翅片管和纵向翅片管；
- 具有普通管侧和壳侧强化方法；
- 可计算单弓形折流板换热器、双弓形折流板换热器、三弓形折流板换热器、窗口区不排管换热器、折流杆换热器和无折流板的换热器；
- 可较好的处理液液两相流体；
- 基于 ASME 机械标准，使得尺寸、成本费用和重量更精确；
- 单位制：SI、Metric、US 等和用户自定义的单位制；
- 预算成本费用，可自定义添加人工成本和材料费用；
- 包括 EN、JIS、ASME 和 AFNOR 材料数据库。

1.2 Aspen EDR 图形界面

(1) Aspen EDR 的用户界面

为方便用户输入数据，Aspen EDR 具有友好的用户界面，如图 1-1 所示。

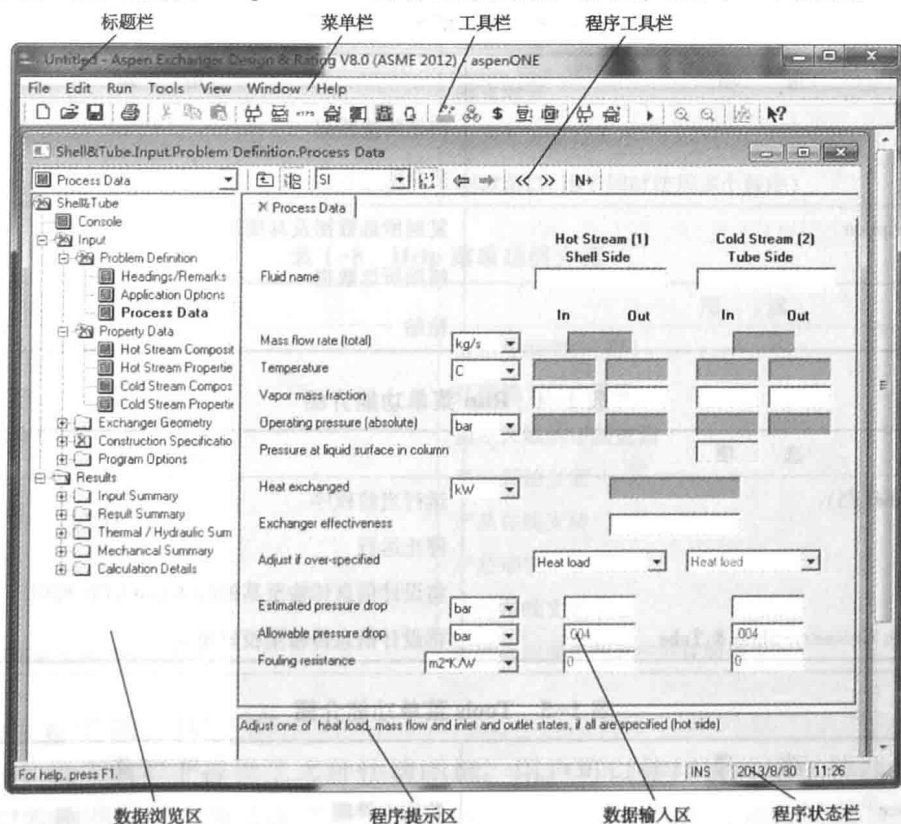


图 1-1 Aspen EDR 的用户界面

(2) Aspen EDR 的菜单栏^[5,6]

Aspen EDR 菜单栏中包括 File、Edit、Run、Tools、View、Window 和 Help 共七个菜单选项，程序的许多功能可通过菜单栏中的项目进行设定，下面分别进行简要介绍，见表 1-2~表 1-8。

表 1-2 File 菜单功能介绍

选 项	用 途
New(Ctrl+N)	新建一个所需的 Aspen EDR 程序
Open(Ctrl+O)	打开一个已有的 Aspen EDR 程序
Close	关闭当前显示的应用程序
Add Application	增加一个 Aspen EDR 应用程序
Remove Application	移出一个 Aspen EDR 应用程序
Save(Ctrl+S)	保存当前程序设置及结果
Save As	当前程序文件另存为
Import From	从现有的 PSF、Aspen HYSYS 或 Aspen Plus 文件导入数据
Export To	将结果导入到 Excel 中，或者生成 DXF、RTF 或 DOC 文件
Print Setup	打印设置
Print(Ctrl+P)	打印
Description	用户自定义该程序的描述
Exit	退出 Aspen EDR 程序页面

表 1-3 Edit 菜单功能介绍

选 项	用 途
Cut(Ctrl+X)	剪切所选数据
Copy(Ctrl+C)	复制所选数据
Copy with Description	复制所选数据及其描述属性
Erase	清除所选数据
Paste(Ctrl+V)	粘贴

表 1-4 Run 菜单功能介绍

选 项	用 途
Run Shell & Tube(F5)	运行当前程序
Stop	停止运行
Transfer	将设计信息传输至其他的 Aspen EDR 程序
Update File With Geometry-Shell & Tube	将设计信息传输至校核模式

表 1-5 Tools 菜单功能介绍

选 项	用 途
Data Maintenance ^①	数据库管理

续表

选 项	用 途
Program Settings ^②	对程序进行全方位全局设置
Language ^③	切换语言

注：① 对于一些高级用户，可以运用 Data Maintenance 选项添加/管理物性、材质、价格数据库数据，从而使计算结果更加符合实际情况（有时需要根据当地市场调节价格以进行正确的价格估算）；

② 如果不进行 Program Settings 的设置，不会对计算及使用软件带来影响，但是了解并使用这些功能设置可以更好的驾驭软件，使其更加符合自身的习惯，在此不对其做具体介绍；

③ 软件支持 6 种语言，分别是英语、德语、西班牙语、法语、意大利语和俄语（目前版本尚未完全实现）。

表 1-6 View 菜单功能介绍

选 项	用 途
Tool Bar	显示或隐藏工具栏
Status Bar	显示或隐藏状态栏
Zoom In	缩小查看视图
Zoom Out	放大查看视图
Refresh	刷新屏幕
Variable List	当前页面的变量表
Log File	Aspen EDR 和 Aspen Property 的日志文件

表 1-7 Window 菜单功能介绍

选 项	用 途
Cascade	窗口平铺
Tile Horizontal	水平对齐
Tile Vertical	垂直对齐
Arrange Icons	重新布置窗口大小
Create	创建窗口（用于同时使用多个程序）

表 1-8 Help 菜单功能介绍

选 项	用 途
Contents	显示帮助文件(F1)
Search for Help On	在帮助文件中搜索
What's This? (Shift+F1)	指定区域的帮助查询
Show Start Page	显示开始页面
Product Support On The Web	产品在线支持
Product Training	产品培训
Documentation	软件在线文献中心
About Aspen Exchanger Design & Rating	提供当前发布的软件的注册信息

(3) Aspen EDR 的工具栏^[5,6]

Aspen EDR 在工具栏上提供了多种快捷图标，用户可以使用这些图标快速实现某种功能，表 1-9 对常用图标的主要功能进行了介绍。

表 1-9 工具栏图标介绍

图 标	功 能	图 标	功 能
	新建 Aspen EDR 程序		打开已有的 Aspen EDR 程序
	保存当前应用程序		打印当前页
	剪切		复制
	粘贴		新建 Shell & Tube 程序
	新建 Hetran 程序		新建 Shell & TubeMech 程序
	新建 Aircooled 程序		新建 Aerotran 程序
	新建 Plate 程序		新建 FiredHeater 程序
	新建 PlateFin 程序		新建 Ensea 程序
	新建 Props 程序		新建 Shell & TubeMech components 程序
	新建 Qchex 程序		新建 ResearchNetwork 程序
	新建 Metals 程序		放大查看当前视图
	运行程序		创建新视图 (New Plot)
	缩小查看当前视图		向上一层 (返回上级目录)
	What's This?		向前/后一步
	隐藏/显示树形目录列表		下一步
	前/后页面切换		切换单位制时是否自动换算不同单位下数值
	单位制切换		

注：① 可以自动帮助用户进行下一步的动作，比如当用户输入不完整时，点击此按钮会自动调转到用户必须提供完整输入的页面；当所有输入都完整后，点击此按钮可运行程序；

② 和 的主要区别是前者不会进行数据完整性检查，会直接跳转到上一层或者下一层页面，而后者必须提供完整输入数据时才可自由跳转，和 类似。

1.3 Aspen EDR 功能特点

(1) Aspen EDR 的计算模式^[5,6]

Aspen EDR 的计算模式包括 Design(设计)、Rating/Checking(校核)、Simulation(模拟)、Find Fouling 即 Maximum Fouling(最大污垢热阻)四种模式，具体如下：

① Design(设计)

用于换热器的设计，它回答了“怎样的换热器能够满足给定的工况需要？”这样的问题。在设计模式下，用户需提供换热器整体配置的基本信息，如换热器型式、折流板类型及管子排布方式等信息，用户也可以设定壳径范围和管长范围等信息使得设计出的换热器更符合要求。对于设计模式的计算，最关键的结果是换热器的几何信息。

② Rating/Checking(校核)

用于校核已知的换热器，它回答了“这台换热器能否达到这样的热负荷？”这样的问题。需要设定热负荷，同时给出流体入口条件和压降估计值，软件会确定某台特定的换热器是否有足够的换热面积以满足用户要求(一般以实际传热面积与理论需要传热面积的比值作为判

定标准),同时计算流体的实际压降。

在此计算模式下,需要提供换热器尺寸和用于定义热负荷的过程流体信息(每股流体的流量和进出流体的条件状况),即由流体条件状况所表征的热负荷是固定的,进料压力也是固定的,但是出料压力是基于换热器的压降预测来计算的。

③ Simulation(模拟)

用于模拟已知的换热器,它回答了“这台换热器能够达到多大的热负荷?”这样的问题。需要提供换热器尺寸和大致估算的热负荷,通常将换热器尺寸和进料热/冷流体条件以及流量固定,软件会计算出另一股流体的条件以及相应的热负荷,结果往往以实际热负荷与所需热负荷的比值来表示。

一般标准的模拟过程都是已知入口流体的条件状况确定出口流体的条件状况(流体的条件状况是指特定焓值,通常的表现形式就是温度和气相质量分率,或者用户估算的压力变化),当然有时也可以反过来,已知出口条件状况根据热平衡反推进口状况,Aspen EDR 也提供了这样的功能。对于模拟模式的计算,最为关键的结果是流体的换热过程数据,特别是计算出的出口条件状况。

注:在校核模式中,每个流体的进料条件状况、出料条件状况和流量都作为已知量来计算面积余量;在模拟模式下,进料压力作为已知量而出口压力由计算得出。

④ Find Fouling(最大污垢热阻)

用于计算换热器的污垢热阻,它回答了“对于已知的换热器,多大的污垢热阻值能够使其达到需要的热负荷?”这样的问题。用户指定热负荷,同时也提供流体入口条件和压降估计值,确定某台特定换热器要达到指定热负荷所需的污垢热阻值,同时计算流体的实际压降。在计算中用户可以指定管壳程一侧的污垢热阻进行计算,亦可以设定管壳程两侧污垢热阻的初值。对于最大污垢热阻模式的计算,关键结果是管壳程的污垢热阻数值。之所以命名为最大污垢热阻是指该污垢热阻值是该换热器在现有换热能力下污垢热阻的最大数值,是一种保守的计算方式。

Find Fouling 和 Checking 计算模式有些类似,区别是前者靠调整污垢热阻来使现有的换热器达到特定的热负荷,而后者仅仅具有校核现有换热器热负荷与指定热负荷之间差值的能力。

值得一提的是,同 TASC 相比,在 Aspen EDR 中,Thermosiphon(热虹吸模式)不再作为一种独立的计算模式出现,取而代之的是用户可以在冷流体一侧的 Vaporization 类型规定中将其规定为 Thermosiphon,然后再按照上述四种计算模式独立求解。这种将计算模式和换热器类型分开处理的方法,更加有利于程序的标准化。

注:理解上述四种计算模式是正确使用 Aspen EDR 的前提,实际上,它们的理论基础都是 $Q=UA\Delta t$ (Q 为热负荷, U 为传热系数, A 为换热面积, Δt 为传热温差),换热器的计算实际就是基于以上公式由已知量求未知量的过程。比如,传热面积变化是由什么引起的呢?最常见的是管径、管数和管长。而总传热系数与哪些因素相关呢?壳程对流传热系数,管程对流传热系数,管程壳程在不同情况下的污垢热阻。而壳程对流传热系数和管程对流传热系数又与管径、流速及几个物性参数相关,而流速又与换热器折流板、管壳型式密切相关,间接同换热面积存在关系式,因此所有的这些关系式互相联系,在计算过程中就可以产生类似收敛迭代的求解过程,这就是软件计算的基本原理。简而言之,Design 就是已知 Q 和 Δt 求 U 和 A 的过程,而 Simulation 则反之。

(2) Aspen EDR 可计算的换热器类型^[3,4]

Aspen EDR 的功能强大,可方便的对各种各样的换热器进行全方位的计算。可应用于管壳式换热器、套管式换热器(套管或夹套式)和多管马蹄型套管式换热器(发夹型,U形)、空气冷却器、省煤器、板框式换热器、板翅式换热器和燃烧式加热炉。

Aspen Shell & Tube Exchanger 从概念设计到解决操作疑难均可运用,可较好的应用于多组分冷凝、废热锅炉热回收和空气去湿器、反冲回流冷凝器、釜式再沸器、热虹吸式再沸器、降膜蒸发器和多台换热器组;可处理的工业流体可以是单相、沸腾或冷凝气相以及在任何条件下的单组份或有/无不可压缩气体的任意混合组分(包括过热蒸汽、饱和蒸汽或过冷液体)。

具体来说可计算的换热器类型包括:

- 所有 TEMA 式的换热器,即前端(A、B、C、D),后端(L、M、N、P、S、T、U、W),壳体(E、F、G、H、J、K、I、X);
- 单台换热器或换热器组(串联最多为 12 台,并联无限制),换热器可以是卧式或立式;
 - 管型可以是光滑管、低翅片管、纵向翅片管等;
 - 可以计算非 TEMA 式的换热器,如套管式换热器(套管或夹套式)和多管马蹄型套管式换热器(发夹型,U形)等;
 - 立式和卧式热虹吸换热器。

(3) Aspen EDR 的计算方法^[5,6]

Aspen EDR 提供两种计算方法:标准算法和高级算法。其中,标准算法是首先规定一系列壳侧的焓/压力点,然后结合相对应的管侧的点来确定这些焓/压力点的位置。高级算法是首先定义换热器内的一系列位置,然后计算壳侧及管侧流体流经这些点的状态(焓和压力)。

高级算法适用于全部的计算模式(设计、模拟、校核和最大污垢热阻模式),并且适用于除了 Kettles(釜式)和 Flooded evaporators(满液式蒸发器)之外的所有壳体类型,另外诸如 variable baffle pitch(可变折流板间距)、convergence algorithm(收敛算法)、tolerances(误差精度)和 Number of iterations(迭代次数)这样的功能选项也只能适用于高级算法。一般来说,标准算法和高级算法计算出来的结果是相似的,但在计算末端空间较大的换热器时,推荐采用高级算法。

(4) Aspen EDR 的物性数据来源^[5,6]

物性数据是决定换热器计算结果正确性的关键。物性计算的一般步骤:选择物性数据库-定义组分-指定组分分率-选择物性计算方法-指定温度、压力范围-规定间隔点个数(将温度区间分成多少个点)-获得物性数据。

Aspen EDR 自身带有庞大的纯组合物性数据库,为用户提供四种物性数据库:软件默认的 B-JAC Databank、油气加工领域中处于领先地位的物性数据库 COMThermo、Aspen Properties 以及需要用户自行输入物性数据的 User specified properties 选项。数据库选择页面如图 1-2 所示,用户可通过 Physical property package 选项的下拉列表选择所需的物性数据库。以上四种物性数据库为程序需要的物性数据计算提供了大量信息,下面分别进行简要介绍,详细介绍请参阅本书第 2 章。