

[联邦德国] E. U. 施林德尔 主编

# 换热器设计手册

## 第三卷

换热器的热设计与  
流动设计

**HEX**  
**HEAT EXCHANGER  
DESIGN  
HANDBOOK**

**3**

---

Thermal  
and hydraulic  
design of heat  
exchangers

机械工业出版社

# 换热器设计手册

## 第三卷

### 换热器的热设计与流动设计

〔联邦德国〕 E. U. 施林德尔 主编

马庆芳 马重芳 主译

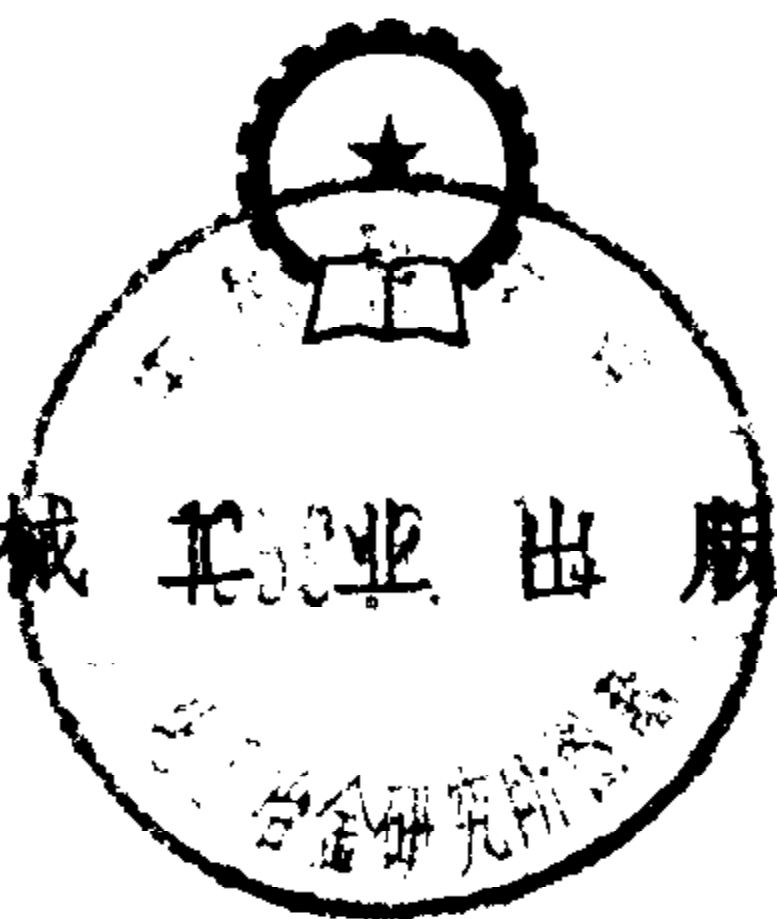
徐 烈 李亭寒 王素春 甘永平

王仲莲 朱晓康 施明衡

译

2004/19

机械工业出版社



本书是《换热器设计手册》的第三卷。该手册是在“国际传热传质中心”倡议和赞助下，由75位各国专家合作写成的，是一部内容详尽、新颖的权威著作，共分五卷出版。

本卷介绍换热器的热设计和流动设计。首先叙述有关的基本概念和基本方程，然后详细介绍了套管式换热器、壳管式换热器、冷凝器、蒸发器、壳管再沸器、板式换热器、空气冷却换热器、紧凑式换热器、加热炉、冷却塔、干燥器、搅拌式换热器等各类换热器的计算方法和设计程序。本书内容丰富、概念清楚，可供化工、动力、冶金、交通、航空、航天等部门的换热器专业人员及工程热物理学研究人员和教学人员参考。

### Heat Exchanger Design Handbook

Vol.3, Thermal and Hydraulic Design of Heat Exchangers

Ernst U. Schlünder Editor-in-Chief

Hemisphere Publishing Corporation 1983

\* \* \*

### 换热器设计手册

第三卷

换热器的热设计与流动设计

〔联邦德国〕 E. U. 施林德尔 主编

马庆芳 马重芳 主译

徐烈 李亭寒等译

\*

责任编辑：将有彩

封面设计：郭景云

版式设计：张伟行

责任校对：李广孚

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张23<sup>1</sup>/<sub>2</sub>·字数 552千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 0,001—3,650·定价：8.40元

\*

ISBN 7-111-00416-7/TK·17

## 译者序

《换热器设计手册》是在国际传热传质中心 (ICHMT) 赞助下, 由有关国际学术界、工业界和出版界合作, 费时十年编写而成的大型工具书。其内容的完整、详尽和新颖、作者的权威性和资料的实用性都超过以往任何一本换热器和传热传质学的专著或手册。因此本书受到世界各国学者和工程技术人员的重视和好评。

本书内容系统而完整, 理论与实际并重。全书共分五卷: 《换热器原理》、《流体力学与传热学》、《换热器的热设计与流动设计》、《换热器的机械设计》、《物理性质》。五卷有机地组合成书, 包含了换热器的原理、设计方法、设计资料、制造、检验、贮存、成本估算等各个方面。同时五卷都能单独成篇, 供对某一专门领域感兴趣的读者参考。原书包括五千多个精选的计算公式和图表。各章节是由本领域知名的 75 位专家分别撰写的, 反映了换热器的最新发展水平。参加工作的有美、苏、英、联邦德国等国学者, 可以说本书是一部“世界级”的高水平换热器和传热学“百科全书”。

众所周知, 换热器是工业传热过程必不可少的设备, 几乎一切工业领域都要使用。化工、冶金、动力、交通、航空、航天等部门应用尤其广泛。近年来由于新技术发展和能源开发, 改进换热器性能越来越受工业界重视。换热器设计资料和传热计算公式散见于各种公开文献和各企业内部资料, 设计师往往很难找到所需要的合适资料, 有时面对几个不同公式无所适从。本书经过国际第一流专家的多年努力, 搜集大量换热器设计资料, 并严格分析筛选, 为解决上述问题做出贡献。有鉴于此, 我们愿意把本书介绍给我国读者, 相信它对换热器设计师和工程师以及工程热物理学科的研究人员、教学人员和研究生有所裨益, 有助于我国在这一领域尽快赶上世界先进水平。

手册的第三卷论述换热器的热设计与流动设计, 作为一部换热器设计手册, 本卷的内容无疑是全书的重点, 对于换热器设计师具有重大参考价值。第三卷是前两卷所述原理的具体工程应用。作为预备知识, 本卷读者应当掌握前两卷的主要内容。

在进行热设计和流动设计时, 设计师要针对该类换热器的结构特点, 计算每种流体的单侧传热系数, 在此基础上, 考虑壁面和污垢热阻, 求出总传热系数; 还要计算出各种流体通过换热器的压力损失, 有时还必须考虑燃烧或(和)传质过程。设计师应定量分析每一过程, 以及它们之间的相互影响, 然后做出具有最佳综合性能、操作方便、设备投资和运行费用最低的设计。

本卷对使用最广泛的壳管式和套管式换热器, 给出了详细的设计程序; 介绍了蒸发器、冷凝器、板式换热器、空气冷却器、紧凑式换热器、冷却塔和带有机辅助设备换热器的设计资料; 简要地论述了热管的原理及应用。作者从广义的角度来理解换热器这一概念, 基于这种观点, 本卷专门介绍了工业炉和干燥器这两类涉及化学反应或传质过程的换热设备, 使内容更加丰富。

本书的译名尽可能采用国家标准。有时这种译法与我国过去习惯名称有所不同。例如按国家标准 GB3102.4—82《热学的量和单位》, 我们把 *coefficient of heat transfer* 译为“传热系数”, 而不沿用我国过去常用的“换热系数”, 相信随着国家标准的推广使用, 读者

#### IV

会逐渐习惯这些名称。原书的图表按节自成体系，显得有些散。在翻译整理过程中，图和表都按章编顺序号。

本手册由马庆芳、马重芳主译，第三卷的译者是：徐烈（译 3.11, 3.13, 3.14）、李亭寒（译 3.1、3.2、3.3）、王仲莲（译 3.5、3.6）、王素春（译 3.4、3.7、3.10）、甘永平与朱晓康（译 3.8、3.9）和施明衡（译 3.12）。华中工学院石秉三教授认真审校了本卷译稿，提出不少宝贵意见，译者在此表示真诚的感谢。限于我们的水平，译文中难免有错误和不妥之处，欢迎读者批评赐教。

译者

1987年6月

# 总 序

编写一本换热器设计手册的想法，起源于1972年由“国际传热传质中心”(ICHMT)在南斯拉夫 Trogir 召开的“换热器的最新发展”的学术讨论会上。

尽管现在已有许多传热数据及有关的关系式，但它们都分散在各种公开发行的文献中，或深藏在专有组织机构的档案里。对于传热设备的生产厂家、销售商与用户，不仅在获取日益增多的传热资料方面，而且在对不同来源的数据与关联式进行比较方面，都越来越感到困难。加之，这些来源不同的资料往往不相一致，因而用户就很难确定哪些数据和关联式对他们最为合适。再者，多年来许多传热方面的出版物越来越具有分析性和学术性，这就影响了从事实际工作的传热工程师们对它们的直接应用。

鉴于这种情况，一些传热专家决定根据现有的公开文献，同时也尽可能搜集专有资料，以形成传热资料的基础。在经过选择的实验资料基础上推荐的关联式，可作为各种换热器的设计资料。

尽管对这种想法的热情很高，但直到1974年在东京召开的第五届国际传热学术讨论会时，所取得的进展并不大。会后才把此想法具体化，决定在国际传热与传质中心的赞助下，由半球出版公司(该中心的出版机构)出版，由大学、工业界与专有机构的八位代表组成编委会，并立即着手制定本手册的范围与体制。作为共同努力的结果，计划出版下列五卷：

第一卷：叙述换热器原理、定义并解释在换热器热设计、流动设计以及评估时所必须的全部参数及概念。

第二卷：根据可用资料，推荐计算设计参数与评估参数的关系式。尽可能把试验数据与推荐公式一并提出，以便既揭示数据的一致性，也揭示公式的可靠性。

第三卷：指出解决实际换热器设计及评估问题时，如何应用第一、二卷提供的材料。由于材料数量太大，不可能在该卷中包括所有已知种类的换热器，仅对大多数常用设备及其有关的装置进行详细的讨论，如冷却塔与燃烧室等。

第四卷：本卷致力于换热器的机械设计。实际上它与热力及水力设计是不可能分开的。本卷还包括一些主要国家标准在实用上的比较。

第五卷：包括其它四卷内的设计和计算所需用的物理性质数据。

五卷当中，每卷都有一名编委作为责任编辑。尽管每位责任编辑都接受了专门一卷的额外行政责任，但整个手册仍是出于共同的努力，每位编辑都分担了对整个材料的审查与编辑工作。

许多作者都是本学科有名望的专家，对本手册做出了贡献。每篇手稿都经历了审核过程，而且许多手稿都在定期的编委会议上讨论过。这种会议自从1975年以来，一直每六个月举行一次。

尽管如此，本手册还应被看成是初步的，而且许多地方需要改进。

深切希望本手册的使用者与我们联系，以增补遗漏之处，并对改进本手册的内容及其适用性提出建议。这种读者与编者之间的相互交流与合作，不仅可以改善本手册的质量，而且会根据换热器设计的要求，更进一步促进研究工作。

编委会在此对出版社及各位有贡献的作者所给予的十分有价值的合作表示感谢。

Ernst U. Schlünder

## 第3卷 序

在能源、各种工业过程、环境控制和运输等工业部门中，需要大量的传热设备。为了满足使用要求，换热器的结构发生了很大的变化。这些不同的结构，是工程师们为了适应每种情况的特殊需要，即期望给出最佳的综合性能、容易操作并使设备投资和运行费用最低而设计的。本手册第二卷所讨论的所有流体流动和传热过程，会在本卷所述的这种或那种换热器和设备中遇到。但是，现在的重点必须讨论不同的结构形式对热-流体力学性质和对穿过界面的两种流体热配合的影响。

依照作者的选择，每一部分有自身的结构特点，以便能最好地传播实际的设计信息，大多数章节包括如下的一些特点：

1. 设备的机械特征的描述，直接反映出热-流体力学性能（几种主要型式换热器的更完整描述，重点在于机械设计要求，将在本手册的第四卷讲述）。

2. 这些特点对在第二卷介绍的基本关系式有影响，通常是得出修正关系式。

3. 将这些关系式总合成对每个流体的传热系数和压降的设计程序，这些传热系数和壁面及污垢热阻项综合在一起，可以得出总传热系数以及换热器的传热面积或体积。

4. 在换热器应用、设计与运行参数方面的选择的特别考虑。

- 3.1介绍一些最基本的设计方程，包括平均温差公式，以及换热器选择和设计所遵循的准则。描述了换热器设计过程用手算和计算机计算方法的逻辑结构，并且给出了壳管式换热器设计的近似计算程序。

- 3.2讨论套管式换热器。单相传热（壳侧）的壳管式换热器的综合描述和设计程序在3.3介绍。

- 3.4包括壳管结构形式的冷凝器的应用和设计。所讨论的一些设计程序，对于其它结构形式的冷凝器也适用。

产生蒸气的设备（基本上是壳管型）是3.5和3.6讨论的课题。首先强调的是蒸发器和产品浓缩器，其次是涉及加工工业的蒸气产生。

- 3.7对板式换热器进行了评述。由于这种换热器紧凑、重量轻，人们对它的兴趣日益增长。3.8涉及冷却和凝结用的空气冷却器，因为合适的冷却水源日益缺乏，所以把空气作为基本的散热介质的重要性不断增长。

- 3.9叙述紧凑式、翅片式和板翅式换热器，它们主要用于气-气和低温换热过程。3.10介绍了最近发展起来的热管，它的全部应用范围还没有确定。这一章的显著特点是给出了内容丰富的参考书目。

- 3.11一般地介绍工业炉和燃烧过程。3.12介绍冷却塔（当有一些水源，但又不太多时解决散热的一种办法）的内容。

- 3.13涉及各种类型干燥器的实际选择和性能分析的计算基础。3.14介绍机械辅助的传热设备，它们常常是某一传热问题的唯一解决办法。同时还介绍了通用的设计关系式。

上面所列的范围尽管内容广泛，但无论如何也不能完全反映出传热设备的实际现状。要努力地在在本手册再版时，将这些遗漏及新的内容包括进去。

在结束序言时，需要说明一下：手册中介绍的设计程序，依照作者的看法，认为在现有的公开文献中，对手算的条件来说是最好的。对于很多或许是大数的情况，是有更好的（比较精确的）设计方法，但通常这些方法是专有的，或是以计算机进行计算的。假如计算结果的绝对精度对用户是极其重要的，不管花费多大代价，也应当寻求这些方法（用户也应当有失望的准备，因为常常甚至是最好的方法，其结果也有很大的不确定性）。但是这里介绍的方法，对大多数实际情况来说是适用的。归根到底，用户应当基本上了解并且注意哪些因素影响结果的真实性。

Kenneth J. Bell



# 符 号 表

## 1. 基本量

量	符 号	单 位
热流率	$\dot{Q}$	W
热 量	$Q = \int \dot{Q} dt$	J
热流密度(热通量)	$\dot{q} = \dot{Q}/A$	W/m <sup>2</sup>
时 间	$t$	s
频 率	$f$	1/s
质 量	$M$	kg
质量流率	$\dot{M}$	kg/s
质量流速(单位面积的质量流率)	$\dot{m} = \dot{M}/S$	kg/(m <sup>2</sup> ·s)
质量通量(质量流密度)	$\dot{m}_n = \dot{M}_n/A$	kg/(m <sup>2</sup> ·s)
摩尔数	$N$	mol
摩尔流率	$\dot{N}$	mol/s
摩尔流速	$\dot{n} = \dot{N}/S$	mol/(m <sup>2</sup> ·s)
摩尔分子量	$\bar{M}$	g/mol
密 度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
浓 度	$c$	kg/m <sup>3</sup>
摩尔密度	$\bar{\rho}$	mol/m <sup>3</sup>
摩尔浓度	$\bar{c}$	mol/m <sup>3</sup>
质量百分数	$x_i, y_i$	kg <sub>i</sub> /kg
质量载荷 (mass Loading)	$X_i, Y_i$	kg <sub>i</sub> /kg <sub>f</sub>
摩尔百分数	$\bar{x}_i, \bar{y}_i$	mol <sub>i</sub> /mol
摩尔载荷	$\bar{X}_i, \bar{Y}_i$	mol <sub>i</sub> /mol <sub>f</sub>
体 积	$V$	m <sup>3</sup>
体积流率	$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /s
速 度	$u, v, w$	m/s
表面积	$A$	m <sup>2</sup>
横截面积	$S$	m <sup>2</sup>
长度或直径	$L, D, l, d, s$	m
坐 标	$\psi, \varphi, \gamma, x, y, z$	
空隙百分数	$\epsilon$	
体积流率百分数	$\dot{\epsilon}$	
干 度 <sup>①</sup>	$x$	
流量干度	$\dot{x}$	
功	$W$	J

① 干度 (Quality) 也称含气量、蒸气含量或蒸气品质，为无量纲量。——译者注

2. 传输系数		
量	符 号	单 位
传热系数 <sup>①</sup>	$\alpha$	$W/(m^2 \cdot K)$
传质系数	$\beta$	$m/s$
总传热系数	$U$	$W/(m^2 \cdot K)$
阻力系数	$\xi$	
摩擦因子	$f$	
发射率 (辐射率, 黑度)	$\epsilon$	
角系数 (形状系数)	$\varphi_{12}$	
导热系数	$\lambda$	$W/(m \cdot K)$
扩散系数	$\delta$	$m^2/s$
运动粘度	$\nu$	$m^2/s$
动力粘度	$\eta$	$kg/(m \cdot s)$
热扩散系数	$\kappa \equiv \lambda / \rho c_p$	$m^2/s$
表面张力	$\sigma$	$N/m$
切应力	$\tau$	$Pa(N/m^2)$
压 力	$p$	$Pa(N/m^2)$
压 降	$\Delta p$	$Pa(N/m^2)$

3. 热力学量		
量	符 号	单 位
比 焓 <sup>②</sup>	$h$	$J/kg$
比内能	$u$	$J/kg$
比 Gibbs 函数自由焓	$g = h - Ts$	$J/kg$
比自由能	$f = u - Ts$	$J/kg$
比 熵	$s$	$J/(kg \cdot K)$
化学势	$\mu$	$J/kg$
比热容	$c_p, c_v$	$J/(kg \cdot K)$
温 度	$T$	$K, ^\circ C$
对数平均温差	$\Delta T_{LM}$	$K, ^\circ C$

4. 化学反应量		
量	符 号	单 位
反应焓, 相应焓, 潜热	$\Delta h$	$J/kg$
活化能	$\Delta E$	$J/kg$
平衡常数	$K$	各种单位
比率常数	$k$	各种单位
反应率	$\dot{r}$	$mol/(m^2 \cdot s)$
活度系数	$\gamma_i$	
逸度系数	$\gamma_g$	
化学计量因子	$\nu_i$	

① 传热系数也称换热系数、给热系数, 依据国家标准应称为传热系数。——译者注

② 对于全量则用大写字母表示, 例如焓以  $H$  表示。其它物理量也按此规则。——译者注

(续)

5. 物理常数		
量	符 号	单 位
气体常数	$\bar{R}$	8.314J/(mol·K)
洛施米特数	$\bar{L}$	$6.0252 \times 10^{23}$
阿佛加德罗数	$\bar{L}$	1/mol
斯蒂芬-波尔兹量常数	$C_s$	$5.6697 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
重力加速度	$g$	$\text{m}/\text{s}^2$
标准重力加速度	$g_n = 9.8\dots$	$\text{m}/\text{s}^2$

6. 下标		
量	符 号	
壁 面	$w$	
主 体	$b$	
平 均	$m$	
固 态	$s$	
液 态	$l$	
气 态	$g$	
进 口	in	
出 口	out	

7. 常用无量纲数		
名 称	符 号 及 定 义	
阿基米德数	$Ar = g l^3 \Delta \rho / \nu^2 \rho = g l^3 \rho \Delta \rho / \eta^2$	
比奥数	$Bi = \alpha_g l / \lambda_s$ 或 $\alpha_l l / \lambda_s$	
效 率	$E$	
欧拉数	$Eu = \Delta p / (\rho u^2 / 2)$	
傅里叶数	$Fo = \kappa t / l^2 = \lambda t / \rho c_p l^2$	
弗劳德数	$Fr = u^2 / gl$	
伽利略数	$Ga = l^3 g / \nu^2 = l^3 g \rho^2 / \eta^2$	
格拉晓夫数	$Gr = g l^3 \Delta \rho / \nu^2 \rho = g l^3 \rho \Delta \rho / \eta^2$	
格雷茨数	$Gz = u d^2 / \kappa l = u d^2 \rho c_p / \lambda l = RePr \frac{d}{l}$	
克努森数	$Kn = l_0 / l$ , 式中 $l_0$ 为分子平均自由程	
路易斯数	$Le = \kappa / \delta = \lambda / \rho c_p \delta$	
马赫数	$Ma = u / u_{\text{sound}}$	
传热单元数	NTU	
努塞尔数	$Nu = \alpha l / \lambda$	
贝克来数	$Pe = ul / \kappa = ul \rho c_p / \lambda = RePr$	
相变数	$Ph = c_p \Delta T / \Delta h_{g,l}$	
普朗特数	$Pr = \nu / \kappa = \eta c_p / \lambda$	

名 称	符 号 及 定 义
瑞利数	$Ra = GrPr$
雷诺数	$Re = ul/\nu = ul\rho/\eta = ml/\eta$
施密特数	$Sc = \nu/\delta = \eta/\rho\delta$
舍伍德数 <sup>①</sup>	$Sh = \beta l/\delta$
斯坦顿数	$St = a/\rho u c_p = Nu/RePr$
斯特罗哈数	$Sr = fl/u$
韦伯数	$We = u^2\rho l/\sigma$

① 无量纲传质数用无量纲传热数加 (') 表示, 例如  $B'_i = \beta l/\delta$ , 又如  $Nu' = \beta l/\delta = Sh$ ,  $Pr' = \nu/\delta = \eta/\rho\delta = Sc$ 。

# 目 录

译者序

总序

第三卷序

符号表

3.1 换热器设计引论	1
3.1.1 基本概念	1
A. 传热系数	1
B. 基本设计方程	1
C. 平均温差的概念	2
3.1.2 换热器的类型及其应用	3
A. 换热器基本型式的选择	3
B. 套管式换热器	3
C. 壳管式换热器	4
D. 板式换热器	5
E. 高翅片换热器或空气冷却器	7
F. 板翅式或翅片式换热器	7
G. 机械辅助式换热器	8
H. 其它形式的工业过程换热器	9
3.1.3 设计的逻辑过程	9
A. 成功的换热器的设计准则	9
B. 选择、校核和设计之间的关系	10
C. 用计算机的设计修改算法的简化实例	12
3.1.4 壳管式换热器的估算	13
A. 基本设计方程	13
B. 热负荷的确定	13
C. 平均温差的估算	14
D. $U_0$ 的估算	15
E. $A_0$ 的计算	18
F. 给定壳径和长度的传热面积	18
G. 图 1-15 扩展到其它型式壳、管束、管形的应用	19
H. 例题	19
3.2 套管式换热器	22
3.2.1 引言	22
3.2.2 套管式换热器的应用	22
3.2.3 设计参数	23
A. 热设计	23
B. 翅片几何形状	28
C. 压降	28

3.2.4	现有的类型	29
A.	套管式	29
B.	多管单元	30
C.	翅片管长度	30
3.2.5	结构-机械设计	30
A.	翅化	30
B.	设计准则	31
3.2.6	运行优点	31
A.	污垢	31
B.	灵活性	31
C.	低成本备件	32
D.	低成本安装	32
E.	维修	32
F.	管壁厚度	32
G.	标准化	32
3.3	壳管式换热器 (无相变)	33
3.3.1	目的和背景	33
3.3.2	壳侧流动关系式的评审	35
A.	早期的发展	35
B.	在整体处理基础上的壳侧计算方法	36
C.	基于分析方法的壳侧计算	37
3.3.3	推荐的方法: 原理和限制	42
A.	方法的构成	42
B.	壳侧传热方程	43
C.	壳侧压降	44
D.	推荐的方法与 Delaware 方法的比较和可能的精度	45
3.3.4	壳管式换热器的设计实践	46
A.	换热器设计任务单	46
B.	校核、设计和最佳化	48
C.	计算方法按复杂程度的划分	49
D.	结构要素的作用和选择	50
E.	一些其它设计考虑	51
3.3.5	输入数据和推荐的作法	53
A.	基本输入数据	54
B.	对输入数据 (表 3-1) 的解释	55
C.	基本相关参数的计算	72
3.3.6	辅助计算	74
A.	圆缺形折流板窗口计算	74
B.	折流板窗口的流动面积	74
C.	圆缺形折流板窗口的当量直径 $D_w$	76
D.	横流中的有效管排数 $N_{lcc}$ 和 $N_{lcs}$	76
E.	折流板数 $N_s$	77

F. 管束与壳体间旁路面积参数 $S_b$ 和 $F_{sb}$	77
G. 壳体与折流板间的泄漏面积 $S_{sb}$	78
H. 一块折流板上的管子与折流板管孔间的泄漏面积 $S_{tb}$	79
I. 圆缺形折流板窗口修正因子 $J_c$	79
J. 折流板泄漏对传热影响的修正因子 $J_l$ 和对压降影响的修正因子 $R_l$	80
K. 管束旁路流对传热和压降影响的修正因子 $J_b$ 和 $R_b$	81
L. 层流状态下反向温度梯度的传热修正因子 $J_r$	83
M. 入口和(或)出口处不等的折流板间距的传热修正因子 $J_s$	83
N. 入口和(或)出口处不等折流板间距的压降修正因子 $R_s$	85
<b>3.3.7 理想管束的传热和压降关系式</b>	<b>85</b>
A. 理想管束的 $j_i$ 和 $\alpha_i$	86
B. 以理想管束为基准的 $f_i$ 和 $\Delta p_i$	89
<b>3.3.8 壳侧传热系数和压降的计算</b>	<b>89</b>
A. 壳侧传热系数 $\alpha_s$	89
B. 壳侧压降 $\Delta p_s$	90
<b>3.3.9 给定换热器几何尺寸后的性能计算</b>	<b>92</b>
A. 基本计算准则	92
B. 性能计算步骤	93
C. 换热器总性能的计算	99
<b>3.3.10 圆缺形折流板式换热器的设计步骤</b>	<b>100</b>
A. 计算机与手算的对比	100
B. 初始的设计考虑	101
C. 初次尺寸估算	103
D. 性能的初步计算	106
E. 结果分析	103
<b>3.3.11 计算方法向其它几何形状的壳体折流板和管束的扩展</b>	<b>109</b>
A. 分流、TEMA J型壳体	109
B. 窗口无管子的管束	109
C. 双壳程——TEMA F型壳体	110
D. 双圆缺形或盘-环状折流板	110
E. 外部低翅片管的应用	110
<b>3.4 冷凝器</b>	<b>113</b>
3.4.1 引言	113
3.4.2 冷凝器的选型	113
3.4.3 冷凝器类型的描述	116
A. 管内立式下流冷凝器	116
B. 管内立式上流冷凝器	117
C. 管内卧式冷凝器	119
D. 壳侧卧式冷凝器	120
E. 壳侧立式冷凝器	122
3.4.4 混合物	123
3.4.5 运行问题	124

A. 概述 .....	124
B. 排气 .....	125
C. 起雾 .....	125
3.4.6 传热 .....	126
A. 概述 .....	126
B. 管内侧 .....	126
C. 水平管外侧 .....	128
D. 肋管 .....	129
E. 竖管外侧 .....	129
F. 混合物的传热 .....	129
G. 过冷 .....	130
3.4.7 压降 .....	131
3.4.8 平均温差 .....	133
3.4.9 设计程序 .....	135
A. 设计的总程序 .....	135
B. 竖管内侧向下流动 .....	136
C. 竖管内侧向上流动 .....	138
D. 水平管内侧 .....	138
E. 水平管外侧 .....	138
F. 竖管外侧 .....	139
3.5 蒸发器 .....	141
3.5.1 引言 .....	141
3.5.2 蒸发器的类型 .....	141
A. 卧式壳侧蒸发器 .....	142
B. 短管立式蒸发器 .....	142
C. 篮式蒸发器 .....	142
D. 长管立式蒸发器 .....	143
E. 升膜蒸发器 .....	144
F. 降膜蒸发器 .....	146
G. 卧式管侧蒸发器 .....	147
H. 板式蒸发器 .....	147
3.5.3 结构布局 .....	148
A. 多效蒸发器 .....	148
B. 蒸气再压缩 .....	149
C. 闪蒸 .....	149
3.5.4 设计细则 .....	149
A. 热流体的配置 .....	149
B. 分离器 .....	149
C. 冷凝器 .....	150
D. 过热蒸气降温器 .....	150
3.5.5 类型的选择 .....	151
A. 蒸发作用 .....	151



B. 浓缩作用 .....	151
C. 晶化作用 .....	151
D. 管道直径的选择 .....	152
3.5.6 压降和循环速率估算 .....	152
3.5.7 传热系数的计算 .....	153
A. 加热流体 .....	153
B. 管壁 .....	153
C. 污垢 .....	153
D. 沸腾液体 .....	153
3.5.8 表面积计算 .....	155
<b>3.6 壳管再沸器</b> .....	<b>158</b>
3.6.1 引言 .....	158
A. 总论 .....	158
B. 类型和选择准则 .....	158
3.6.2 热设计 .....	163
A. 釜式再沸器、内装式再沸器及卧式热虹吸管再沸器 .....	163
B. 轴向流动再沸器 .....	169
C. 加热介质 .....	173
3.6.3 压降 .....	173
A. 总论 .....	173
B. 摩擦损失 .....	174
C. 静压头损失 .....	174
D. 动量变化的损失 .....	174
3.6.4 特殊设计因素 .....	174
A. 结垢 .....	174
B. 启动与控制 .....	175
C. 广泛沸腾范围的混合物 .....	176
D. 接近临界压力情况下运转 .....	176
E. 高真空状态下运转 .....	176
F. 喷射法 .....	177
G. 温差 $\Delta T$ 很低 .....	177
H. 温差 $\Delta T$ 很高 .....	177
3.6.5 计算程序 .....	178
A. 例题 .....	178
B. 釜式再沸器 .....	178
C. 卧式热虹吸管再沸器 .....	179
D. 立式管侧热虹吸管再沸器 .....	180
<b>3.7 板式换热器</b> .....	<b>184</b>
3.7.1 构造和运行 .....	184
3.7.2 控制传热板特性的因素 .....	186
3.7.3 波纹型的设计 .....	186
3.7.4 摩擦因子关联式 .....	187