

73
〔联邦德国〕E. U. 施林德尔 主编

换热器设计手册

第四卷

换热器的机械设计

HEX

HEAT EXCHANGER
DESIGN
HANDBOOK

4

Mechanical
design of heat
exchangers

机械工业出版社

72.5.55

370

换热器设计手册

第四卷

换热器的机械设计

〔联邦德国〕 E. U. 施林德尔 主编

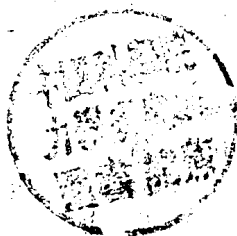
马庆芳 马重芳 主译

朱其荫 朱晓康 张成贵

孙月霞 林宏佐 熊第京

译

石秉三 丑一鸣 校



机械工业出版社

102571

[联邦德国] E. U. 施林德尔 主编

换热器设计手册

第四卷

换热器的机械设计

HEX
**HEAT EXCHANGER
DESIGN
HANDBOOK**

4

**Mechanical
design of heat
exchangers**

机械工业出版社



内 容 简 介

本书是《换热器设计手册》的第四卷。此手册共五卷，是在“国际传热传质中心”倡议和赞助下，由75位各国专家合作编写的，是一部内容详尽、新颖的权威著作。

第四卷介绍各类换热器机械设计的各种问题。第一章阐述换热器机械设计的基本力学原理；第二、三、四章分别介绍壳管式、空冷式、板式、板翅式等各类换热器的机械设计；第五章论述结构材料及其腐蚀和损坏问题；第六章介绍换热器的振动问题；第七章叙述换热器的测试、检验和贮存；第八章讨论各类换热器的成本估算。本书可为化工、动力、冶金、交通、航空、航天等部门换热器专业人员提供设计指导，也可供传热学研究人员和教学人员及研究生参考。

2760/1310

Heat Exchanger Design Handbook

Vol. 4, Mechanical Design of Heat Exchangers

Ernst U. Schlünder, Editor-in-Chief

Hemisphere Publishing Corporation 1983

换热器设计手册

第四卷 换热器的机械设计

〔联邦德国〕E. U. 施林德尔 主编

马庆芳 马重芳 主译

责任编辑：蒋有彩 封面设计：郭景云

责任印制：卢子祥

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)

河北涞水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16 · 印张 15 1/4 · 字数 338 千字

1989年7月北京第一版·1989年7月河北第一次印刷

印数 0, 001—3, 600 · 定价：12.60元

ISBN 7-111-00716-6/TK·33

学术
新
或

传
内
容
个
公
国
等
水

冶
金

各
种
个
严
读
者
所

加
器
计
的
问
题

材
设

等
稿
在
此

译者序

《换热器设计手册》是在“国际传热传质中心”(ICHMT)倡议和赞助下,由国际学术界、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,全书分为五卷:《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》和《物理性质》。内容包含了换热器的基本原理、设计方法、设计资料、制造、检验、贮存、成本估算等各个方面。五卷都能单独成篇,供某一专门领域的读者参考。全书有五千多个精选的计算公式和图表,反映了换热器的最新发展水平。参加编写工作的有美、苏、英、联邦德国等国的几十位学者,他们都是各自领域的著名专家。可以说本书是一部“世界级”的高水平的换热器和传热学专业手册。

众所周知,换热器是传热工程必不可少的设备,几乎一切工业领域都要使用。化工、冶金、动力、交通、航空与航天等部门应用尤为广泛。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到工业界的重视。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的内部资料,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,搜集大量换热器资料,并严格分析筛选,为解决上述问题作出了贡献。因此,我们把本书翻译出来介绍给我国读者,相信它将对换热器设计师和工程师、传热传质学的研究人员、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。

第四卷《换热器的机械设计》,系统地阐述了各类换热器(管壳式换热器、空气冷却器、板式换热器、板翅式换热器等)的各种机械设计问题,包括基本力学原理、机械设计、材料、腐蚀、振动、检验、测试、贮存及成本估算,这都是换热器设计最后阶段的问题。因此,也可以说手册其它四卷的内容,都是直接或间接为这一阶段服务的。作为预备知识,读者应掌握手册前三卷的主要内容。

本卷的特点是除了介绍换热器的基本力学原理和机械设计外,还较深入地讨论了有关材料、腐蚀、振动、标准、检验、测试、贮存和成本估算等问题。这些知识都是换热器设计师应当了解,而在一般有关换热器的著作中很少介绍的。

本卷的译者是:朱其荫(译4.1, 4.2)、孙月霞(译4.5~4.8)、朱晓康、张成贵(合译4.3)、林宏佐、熊第京(合译4.4)。华中工学院石秉三、丑一鸣认真校阅了本卷译稿,中国空间技术研究院张希舜对4.3章的一些术语翻译提出了宝贵意见,对此,译者在此一并致谢。限于我们的水平,译文中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评赐教。

译者

1987年8月

总 序

编写一本换热器设计手册的想法,起源于1972年由“国际传热与传质中心”(ICHMT)在南斯拉夫 Trogir 组织召开的“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系式进行比较方面,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系式对他们最为合适。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中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系式,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:指出在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:包括其他四卷内的设计计算所需用的物理性质的数据。

这五卷中,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,对本手册作出了贡献。每篇手稿都经历了审核的过程,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,一直是每六个月举行一次。

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,更进一步地促进研究工作。

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

第四卷 序

在设计阶段，成功地设计一个传热设备，需要设计师在热设计和机械设计方面都要有所了解。本手册第四卷的目的，是使读者对设计过程现况有一概括性的了解。

第四卷首先讨论机械设计所需要的基本原理，如应力应变关系，应力分析，热应力及应力消除。

本卷的大部分章节是关于壳管换热器的机械设计。因为无论是产值上还是数量上，90%以上的换热器（包括汽车散热器）都是这种类型的。它的结构部件在4.2章中讨论。

除个别外，壳管式换热器都是按各国的国家标准设计的。对于各国的标准，本卷自始至终都给予极大的关心。书中还提供了—些主要国际标准的索引。目的是突出在换热器部件方面的重要标准条款。

大多数其它形式的换热器，要引起专利权的问题，因此一般换热器设计师很少设计这一类换热器。由于这个原因，本卷重点论述壳管换热器，对其它形式的换热器，只是稍加论述。本卷4.4章论述了空气冷却器、板式换热器、板翅式换热器。4.5章从强度和抗腐蚀的观点讨论选材问题。

近几年来随着换热器尺寸的增加，并伴随着支撑跨度的增加，由振动而引起破坏的事件增多了。4.6章讨论了这个重要课题。当换热器设计图纸离开设计室时，换热器工程师的职责还没有完结。在计划付诸实施前，还要提供试验条件和检验条件的各种技术文件（见4.7章）。

最后，4.8章讨论了换热器成本估算这一重要课题。在此我对著者表示谢意，感谢他们的写作质量及探讨精神。

Duncan Chisolm

符 号 表

1. 基本量

量	符 号	单 位
热流率	Q	W
热量	$Q = \int Q dt$	J
热流密度 (热通量)	$q = Q/A$	W/m ²
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}/S	kg/(m ² ·s)
质量通量 (质量流密度)	\dot{M}_n/A	kg/(m ² ·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 ² ·s)
摩尔分子量	\bar{M}	g/mol
密度	ρ	kg/m ³
浓度	c	kg/m ³
摩尔密度	$\bar{\rho}$	mol/m ³
摩尔浓度	\bar{c}	mol/m ³
质量百分数	x_i, y_i	kg _i /kg
质量载荷 (mass loading)	X_i, Y_i	kg _i /kg _j
摩尔百分数	\tilde{x}_i, \tilde{y}_i	mol _i /mol
摩尔载荷	\tilde{X}_i, \tilde{Y}_i	mol _i /mol _j
体积	V	m ³
体积流率	\dot{V}	m ³ /s
速度	u, v, w	m/s
表面积	A	m ²
横截面积	S	m ²
长度或直径	L, D, l, d, s	m
坐标	ψ, ϕ, r, x, y, z	
空隙百分数	ϵ	
体积流率百分数	$\dot{\epsilon}$	
干度①	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①	α	$W/(m^2 \cdot K)$
传质系数	β	m/s
总传热系数	U	$W/(m^2 \cdot K)$
阻力系数	ζ	
摩擦因子	f	
发射率(辐射率、黑度)	ϵ	
角系数(形状系数)	φ_{12}	
导热系数	λ	$W/(m \cdot K)$
扩散系数	δ	m^2/s
运动粘度	ν	m^2/s
动力粘度	η	$kg/(m \cdot s)$
热扩散系数	$\kappa \equiv \lambda / \rho c_p$	m^2/s
表面张力	σ	N/m
切应力	τ	$Pa(N/m^2)$
压力	p	$Pa(N/m^2)$
压降	Δp	$Pa(N/m^2)$

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

3. 热力学量

量	符 号	单 位
比焓①	h	J/kg
比内能	u	J/kg
比Gibbs函数自由能	$g = h - Ts$	J/kg
比自由能	$f = u - Ts$	J/kg
比熵	s	$J/(kg \cdot K)$
化学势	μ	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	ΔT_{LM}	$K, ^\circ C$

① 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

4. 化学反应量

量	符 号	单 位
反应热，相应能，潜热	Δh	J/kg
活化能	ΔE	J/kg
平衡常数	K	各种单位
比率常数	k	各种单位
反应率	r	$mol/(m^3 \cdot s)$
活度系数	γ_i	
逸度系数	γ_g	
化学计量因子	ν_i	

5. 物理常数

量	符 号	单 位
气体常数	R	$8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
洛施米特数	\tilde{L}	6.0252×10^{23}
阿佛加德罗数	\tilde{L}	$1/\text{mol}$
斯蒂芬-波尔兹曼常数	C_s	$5.6697 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
重力加速度	g	m/s^2
标准重力加速度	$g_n = 9.80665$	m/s^2

6. 下标

量	符 号	量	符 号
壁面	w	液态	l
主体	b	气态	g
平均	m	进口	in
固态	s	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	$Bi = \alpha_x l / \lambda_i$ 或 $\alpha_i l / \lambda_i$
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	$Ga = \rho g l^2 / \eta^2$
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	$Ph = c_p \Delta T / \Delta h_{fg}$
普朗特数	$Pr = \nu / \kappa = \eta c_p / \lambda$
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①	$Sh = \beta l / \delta$
斯坦顿数	$St = \alpha / \rho u c_p = Nu / RePr$
斯特罗哈数	$St_r = fl / u$
韦伯数	$We = u^2 \rho l / \alpha$

① 无量纲传热系数用无量纲传热系数加(')表示,例如 $Bi' = \beta l / \delta$,又如 $Nu' = \beta l / \delta = Sh$, $Pr' = \nu / \delta = \eta / \rho \delta = Sc$.

前 言
 应力
 量 二
 章 中
 卷 自
 热
 设计
 是
 强度
 均 匀
 器 工
 技 之
 感谢

目 录

译者序

总序

第四卷 序

符号表

4.1 基本力学原理 1

 4.1.1 引言 1

 A. 载荷与应力 1

 B. 零部件结构 2

 C. 所考虑的几种破坏模式 3

 4.1.2 分析方法 6

 A. 弹性分析 6

 B. 塑性分析 7

 C. 非对称性载荷 7

 4.1.3 壳体 15

 A. 圆柱形壳体 15

 B. 球形（半球形）壳体 15

 C. 锥形壳体 16

 D. 环形管 17

 E. 热应力 17

 4.1.4 管板 17

 A. 等效板 18

 B. 未开孔板的应力和端部角位移（发夹式换热器） 18

 C. 管子衔接在一起的板（箱式换热器和浮头换热器） 20

 D. 孔板的应力 21

 E. 热应力 22

 4.1.5 管 23

 4.1.6 伸缩性接头 23

 4.1.7 法兰 24

 4.1.8 封头、开口和支管 25

 A. 封头 25

 B. 开口和支管 25

4.2 壳管换热器的结构要素 29

 4.2.1 引言 29

 4.2.2 设计与结构标准 29

 A. TEMA 29

 B. 类型名称 31

 C. 尺寸标记 31

4.2.3 壳管换热器的类型	31
A. 引言	31
B. 固定管板或固定头换热器 (L, M或N型)	33
C. U形管换热器或发夹式换热器 (U型)	34
D. 对开后环浮头换热器 (S型)	35
E. 穿通型浮头换热器 (T型)	36
F. 密封套环浮头换热器 (W型)	37
G. 外密封浮头换热器 (P型)	38
H. 卡特型再沸器	38
I. 冷却器	39
J. 双管束蒸发器	40
K. 插管式换热器	40
L. 双管板式换热器	42
4.2.4 封头的类型	43
A. 引言	43
B. 螺纹连接通道型封头 (A型或L型)	43
C. 焊接通道型封头 (C型或N型)	43
D. 帽罩式封头 (B型或M型)	43
E. 螺栓连接的锥型封头	43
F. 高压型封头	44
4.2.5 热设计的特点	45
A. 管	45
B. 管侧程	48
C. 折流板	49
D. 管束最大直径	56
E. 管数	56
F. 壳体接管布局	57
G. 流体的输送方式	65
4.2.6 关于机械设计和制造的特点	65
A. 圆柱筒	65
B. 封头	66
C. 接管	67
D. 法兰	68
E. 管板	70
F. 管端部的连接	71
G. 膨胀波纹管	76
H. 水压试验	77
4.3 壳管换热器的机械设计标准评述	80
4.3.1 机械设计标准	80
A. 引言	80
B. ASME 锅炉和压力容器标准的第八章第一节	81
C. TEMA; 管式换热器制造商协会标准	81
D. BS5500; 英国熔焊式压力容器标准规范	82

...	E. A. D. Merkblätter; 联邦德国压力容器规范.....	82
...	F. 国际标准.....	82
...33	4.3.2 美国、英国和联邦德国设计标准索引.....	82
...	A. 圆筒形壳体和管箱.....	83
...36	B. 换热管.....	85
...	C. 圆锥形壳体.....	85
...38	D. 碟形封头.....	86
...38	E. 平盖.....	88
...	F. 浮头.....	89
...40	G. 法兰.....	90
...40	H. 支座.....	92
...	I. 管板.....	93
...43	J. 接管.....	96
...	K. 壳体膨胀节.....	99
...	4.3.3 设计标准的分析基础.....	100
...43	A. 圆筒形壳体.....	100
...	B. 换热管.....	100
...	C. 圆锥形壳体.....	100
...44	D. 碟形封头.....	100
...	E. 平盖.....	100
...	F. 浮头.....	101
...48	G. 法兰.....	101
...	H. 支座.....	101
...	I. 管板.....	101
...56	J. 接管.....	101
...	K. 壳体膨胀节.....	102
...60	4.3.4 主要标准的比较.....	102
...65	A. 应力.....	102
...	B. 圆筒形壳体的外压.....	102
...66	C. 管板.....	102
...67	D. 法兰.....	104
...	E. 接管.....	104
...70	F. 平盖.....	105
...71	4.3.5 有关国家标准实用指南.....	105
...	A. 美国容器标准指南——ASME 第八章第一节.....	106
...77	B. 英国容器规范指南——BS5500.....	107
...	C. 联邦德国容器规范指南——A. D. Merkblätter.....	108
...	D. 荷兰容器规范指南——Stoomwezen.....	109
...80	E. 法国容器规范指南——SNCT.....	110
...	F. 意大利容器规范指南——ANCC.....	111
...82	G. 日本标准容器制造指南——JIS-B8243.....	112
...	H. 日本高压气体控制法规指南.....	113
...	4.3.6 设计实例; 浮头式换热器 TEMA 型号 AIS.....	115

A. 引言	115
B. 浮头盖	117
C. 圆筒形壳体	121
D. 换热管	122
E. 法兰	123
F. 壳体盖 (碟形封头)	130
G. 管箱盖	130
H. 管板	131
I. 接管和接管补强	133
J. 不受压构件	136
K. 工程图	139
4.3.6 节符号表	140
4.4 换热器机械设计的一般方法	144
4.4.1 空冷换热器的机械设计	144
A. 引言	144
B. 空冷换热器的类型	144
C. 各部件名称	145
D. 部件	148
E. 构架的设计因素	150
F. 寒冷气候和粘滞流体情况下的设计	151
4.4.2 板式换热器的机械设计	151
A. 引言	151
B. 板式结构的特点	152
C. 传热板的布置	153
D. 传热板的设计特点	153
E. 密封垫的设计及其性能	155
F. 传热板的材料及其冲压性能	156
G. 框架结构	156
H. 框架受力分析	158
I. 总结	159
4.4.3 板翅式换热器	160
A. 板翅-板翅结构	161
B. 流量分配器 (导流器)	165
C. 钎焊	165
D. 板翅-管结构	166
E. 材料	169
F. 机械强度设计	169
G. 使用限制	17 ⁰
H. 技术现状	170
4.4.4 其它类型换热器	170
A. 引言	170
B. 套管式	171
C. 浸没式	171

	D. 夹克式	174
·117	E. 组块式	174
·121	F. 螺旋板式	176
·1	G. 刮面式和螺杆式	177
·123	H. 直接接触式	178
·120	I. 缠绕管式	180
·1	J. 热管	181
·131	4.5 结构材料及其腐蚀	183
·13	4.5.1 引言	183
·13	4.5.2 结构材料	183
·139	A. 型材产品	184
14	B. 无腐蚀性设备用的材料	184
14	C. 腐蚀性设备用的材料	185
144	4.5.3 腐蚀和其它类型的损坏	190
14	A. 机械诱发损坏	190
144	B. 特定的失效模式	193
145	4.6 流动诱发振动	197
14	4.6.1 引言	197
150	4.6.2 管束的振动特性	198
157	A. 直管的固有频率	198
15	B. U形管的固有频率	201
151	C. 管子振动的振幅	201
152	D. 系统阻尼	202
153	4.6.3 壳管式换热器中的壳侧流速	202
155	A. 交叉流速度	202
156	B. 平行流速度	202
156	C. 泄漏和旁路流速度	202
156	D. 进出口速度	203
158	E. 旋转速度	203
159	4.6.4 流动诱发振动现象	203
160	A. 旋涡分离	203
161	B. 湍流撞振	204
165	C. 流体弹性绕振	204
165	D. 平行流涡流的形成	205
166	E. 声振	206
166	F. 复合现象	206
169	4.6.5 振动预示程序	207
169	A. 初步校验	207
170	B. 二次校验	207
170	C. 振动与破坏的关系	207
170	D. 预示值同实验数据比较	207
171	4.6.6 设计考虑	208
171	A. 纠正预估振动问题的设计更改	208

B. 发现振动问题的解决办法	208
4.7 测试与检验	210
4.7.1 检验、试验和审批的目的	210
4.7.2 原材料	211
4.7.3 焊接	211
4.7.4 检验步骤	211
4.7.5 安全法规	212
4.7.6 无损探伤检验	212
A. 引言	212
B. 板材	212
C. 焊接试验	213
D. 主缝	213
E. 分岔焊接	213
F. 管与管板焊接	213
G. 加压试验 (超压试验)	213
H. 验证试验	213
I. 泄漏试验	213
4.7.7 合格证	214
4.7.8 配件	214
4.7.9 清洁与贮存	214
4.7.10 备货和发货	215
4.8 换热器的成本概算	216
4.8.1 引言	216
4.8.2 壳管式换热器的成本概算	216
A. 引言	216
B. 壳体尺寸的估算	216
C. 基本成本	217
D. 设计温度和压强	217
E. 结构和挡板布局的影响	217
F. 结构材料	219
G. 管壳类型的影响	220
H. 实例	221
4.8.3 空冷器的成本计算	222
4.8.4 板式换热器的成本概算	225
A. 引言	225
B. 与壳管式换热器的价格比较	226

4.1 基本力学原理

C. Ruiz

4.1.1 引言

A. 载荷与应力

换热器机械结构设计，首先要考虑作用载荷，而且要确定载荷的大小。据载荷的起因及随时间的变化，载荷有两种分类方法。

按第一种分类方法，载荷有下列几种类型：

1. 分布机械载荷。例如内部压力或外部压力。
2. 集中在小面积上的机械载荷。例如作用在支架上或鞍座上的本体重量，再如作用在管子支撑端的载荷（要注意当限制管子热膨胀而引起这个载荷时，这个载荷也受到管子弯曲和支撑点的限制）。
3. 壳体和管束的膨胀不同所引起的热载荷。例如，在支撑上换热器的热膨胀、板和壳体厚度上的温度梯度、二个部件连接处，由于热膨胀系数不一致引起的热载荷。

按第二种分类，静载荷或准静载荷是不同于冲击载荷的。冲击载荷是由于偶然事件而发生的。例如冷的流体直接冲击热表面而产生的热冲击。这种载荷在整个换热器寿命期间都存在，变化只有几次或经受周期性变化。

工作时一旦正常地出现载荷，在可能偶然事件中能加以预先处理。下一步工作即是在弹性状态假定下，找出应力分布。就载荷来说，弹性应力按照它的起因和对结构强度的影响，可分为几大类。美国机械工程师学会（ASME）锅炉和压力容器手册，根据它详细说明的标准，把应力分成几类。一种简单的分类办法如下：

I类应力：它一般由内部压力或外部压力引起，在整个厚度方向上均匀分布，这种应力不受位移约束，并能够引起普遍的弯曲变形，最后导致结构塑性破坏。典型例子是圆柱形壳体中压力引起的应力。

II类应力：由机械载荷引起的弯曲应力。这种应力的一个例子是作简单支撑处理的管板处在管内、壳体内压力差作用下的应力。这个应力的大小，可以允许超过材料的屈服点而不会产生板的塑性破坏。重要的是这个应力是在假定弹性状态下计算的。因此，这一类应力宁可用品质因素，而不用纯应力处理的公式。设计时，无论是残余应力或是弹塑性变形，都要定量地考虑，采用后面的经验设计惯例和工程技术审查，可以减少它的影响。

III类应力：这个应力是由于连接处的约束或热载荷引起的。由于位移被限制住，这种应力本身不会引起最后塑性破坏。

IV类应力：前几种应力都是作用在大面积上的。第四种应力是集中在凹口，尖锐凹进去的裂痕及螺纹连接等附近小范围内的。因此，当采用材料是脆性材料时，或周期性