

板式换热器 工程设计手册

● 杨崇麟 主编

机械工业出版社

72031.5-62

13

379778

板式换热器 工程设计手册

杨崇麟 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

7038/03

本手册在全面论述板式换热器基本结构、特点及其流体流动及传热机理的基础上,重点介绍了板式换热器在工程实际中的应用,向读者提供具有指导性、实用性和权威性的设计计算、安装、使用和维修方面的知识。手册还收集了国内板式换热器的主要产品及典型应用实例。

本手册可供化工、炼油、石油化工、轻工、饮料、采暖、电站及使用板式换热器的专业技术人员阅读,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

板式换热器工程设计手册/杨崇麟主编.-北京:机械工业出版社,1995

ISBN 7-111-04320-1

I.板… I.杨… 板式换热器 设计-手册
N.TB657.5

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第05618号

出版人:马九荣(北京东直门内大街1号 邮政编码100037)

责任编辑:王正琼 版式设计:王颖 责任校对:姚培新

封面设计:郭景云 责任印制:王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印制·新华书店北京发行所发行

1994年11月第1版·1994年11月第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·11.5印张·297千字

0 001—3 000册

定价:15.00元

板式换热器工程设计手册

编写人员名单

主 编：杨崇麟

副主编：张明石

编 者：杨崇麟 张明石 王中铮 赵镇南
王淑铭 毛元章 王盛沧 梁经通
马文宇 彭善增 周文学 刘国富

前 言

板式换热器是一种高效、节能、紧凑的换热设备。国外五六十年代已广泛应用于化工、轻工、石油、电力、冶金、机械、食品等工业部门。我国自60年代初期开始研制，近20年来得到了较快的发展，预计今后会有更广泛的应用前景。为适应这种需要，推广应用板式换热器，迫切需要一本手册，较全面地、系统地指导板式换热器的工程设计和应用。为此，中国动力工程学会工厂动力专委会决定组织编写《板式换热器工程设计手册》。之后，约请机械工业部兰州石油机械研究所、机械工业部合肥通用机械研究所、天津大学、天津市热力公司、兵器工业部第五设计研究院、轻工业部规划设计院等单位组成编写组。中国动力工程学会常务理事寇公（机械工业部设计研究院）和中国动力工程学会工厂专委会主任杨士正（航空工业部规划设计研究院）负责组织，并由杨士正任编写组组长，兰州石油机械研究所张明石任副组长。

本书的主编单位为兰州石油机械研究所。主编杨崇麟，副主编张明石。

本书的编写人员为：第1章，杨崇麟；第2章，王中铮；第3章，赵镇南；第4章，彭善增、毛元章、周文学；第5章，王盛沧、马文字；第6章，梁经通；第7章，张明石、刘国富；第8章，马文字；附录A，毛元章；附录B，马文字；附录C，王淑铭。全书由杨崇麟、张明石审校。

本书为我国第一部有关板式换热器工程设计和应用的专著。书中系统地叙述了板式换热器在国内外的的发展以及设计、制造和应用情况；介绍了基本结构和特点，流体流动与传热机理和工程设计的计算方法；板式换热器在各行业的生产过程、余热利用以及集中供热、空调和生活热水供应系统中应用的实例。此外还介

绍了工程应用中的选型、安装、使用、维修方面的知识和设计数据。为便于设计选型，还收集了国内板式换热器制造厂家产品的有关资料。本书内容丰富、理论性和实用性较强，对板式换热器的工程设计、产品制造、安装、使用方面都有很好的指导作用。对科研和教学也有参考价值。

本书在编写、出版过程中得到了有关制造厂、设计、应用、出版部门的大力支持，谨致衷心的感谢！

本书内容如有不妥之处，恳请读者批评指正。

中国动力工程学会工厂动力专委会

1993年12月

物理量符号、名称及单位

A	面积, m^2	S	润湿周边长, m
b	流道宽度, m	T	热力学温度, K
c	比热容, $J/(kg \cdot K)$	τ	时间, s
d	直径, m	t	摄氏温度, $^{\circ}C$
d_e	当量直径, m	t_1	热流体温度, $^{\circ}C$
f	摩擦系数	t_2	冷流体温度, $^{\circ}C$
G	质量流率, kg/s	t'	进口温度, $^{\circ}C$
g	重力加速度, m/s^2	t''	出口温度, $^{\circ}C$
h	波纹高度, m	t_f	流体温度, $^{\circ}C$
h	污垢系数, $W/(m^2 \cdot K)$	t_s	蒸汽饱和温度, $^{\circ}C$
i	比焓, J/kg	t_w	壁面温度, $^{\circ}C$
j	传热因子,	\bar{t}	平均温度, $^{\circ}C$
K	总传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$	Δt_{lm}	对数平均温差, $^{\circ}C$
L	流体流动长度, m	Δt_m	平均温差, $^{\circ}C$
l	长度, m	V	体积, m^3
m	质量, kg	v	比容, m^3/kg
m	流程数	W	功, $kW \cdot h$
n	程内流道数	w	速度(流速), m/s
NTU	传热单元数	x	蒸汽干度,
P	功率, W	α	波纹与水平夹角,
p	压力, Pa	α	传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
Q	热流量, J/s	α_b	沸腾传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
q	热流密度, $J/(m^2 \cdot s)$	α_o	冷凝传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
q_m	质量流量, kg/s	β	波纹的倾斜角,
q_v	体积流量, m^3/s	δ	厚度, m
R	热阻, $m^2 \cdot K/W$	δ	板间距, m
r	半径, m	ϵ	温度效率,

XIV

θ	波纹板片人字角,	φ	空泡率
λ	导热系数, W/(m·K)	ψ	温差修正系数,
μ	动力粘度, Pa·s	Eu	欧拉数
ν	运动粘度, m ² /s	Nu	努塞尔塞数
ζ	局部阻力系数,	Pr	勃朗特数
ρ	密度, kg/m ³	Re	雷诺数
σ	表面张力, N/m	St	斯坦顿数

目 录

前言

物理量符号、名称及单位XIII

第1章 概论..... 1

第1节 综述..... 1

一、发展简史..... 1

二、我国的设计、制造、应用情况..... 2

三、国外著名厂家及其产品..... 4

第2节 板式换热器的基本构造 11

一、整体结构 11

二、流程组合 16

三、板片型式及其性能 17

四、密封垫片 27

五、焊接式板式换热器 29

六、再生式冷却系统 30

第3节 板式换热器的特点和应用 30

一、优缺点 30

二、工业应用 35

第4节 产品质量 41

一、制造材料 42

二、板片质量 42

三、垫片质量 42

四、换热性能 43

五、液压试验 43

参考文献 43

第2章 流动与传热机理 44

第1节 流动与传热过程 44

一、流动状况及流态 44

二、传热过程	49
第2节 传热计算	54
一、确定总传热系数的途径	54
二、总传热系数的计算	54
三、传热系数的计算	59
四、垢阻的确定	65
五、壁温计算	66
六、换热面积计算	67
第3节 板式换热器的流动阻力计算	79
一、流阻的构成	79
二、流阻计算	81
参考文献	87
第3章 设计计算方法	89
第1节 概述	89
一、计算的类型及方法	89
二、工程设计的一般原则	92
第2节 无相变时近似估算方法	95
一、经验参数近似估算方法	95
二、流速—总传热系数曲线估算方法	100
第3节 无相变时一般设计计算方法	105
一、平均温差法	105
二、 ϵ -NTU方法	115
三、平均温差法计算机算法与程序框图	121
四、若干设计情况的处理原则	125
第4节 热混合的设计计算	126
一、基本原理	126
二、设计计算方法	128
第5节 有相变时的设计计算	136
一、传热计算与压降计算的特点	137
二、板式冷凝器的设计计算	138
参考文献	150
第4章 板式换热器在生产过程中的应用	152
第1节 在化学、石油化学工业中的应用	152

一、在石化工业中的应用	152
二、在硫酸工业中的应用	154
三、在制碱工业中的应用	161
四、在炼油工业中的应用	163
五、在电站中的应用	164
第2节 在食品、饮料行业中的应用	169
一、乳制品工业	169
二、啤酒工业	172
三、黄酒和果酒工业	178
四、冷食品工业	179
五、果汁和豆奶饮料工业	179
参考文献	181
第5章 板式换热器在余热回收中的应用	182
第1节 用板式换热器回收余热的特点及计算方法	182
一、余热的类别及品位	182
二、板式换热器回收余热的特点	183
三、计算方法	183
第2节 应用实例	185
一、焦炉煤气喷洒氨水的余热利用	185
二、电厂冷凝水的余热利用	186
三、造纸厂蒸煮中的余热回收	187
四、印染行业的余热利用	190
五、排烟脱硫装置的余热回收	191
第6章 板式换热器在供热、空调和生活热水供应系统中的应用	192
第1节 水—水系统中的应用	192
一、水—水换热应用概况	192
二、优化设计及工程应用	193
三、换热站机组设计及应用	200
第2节 汽—水供热系统中的应用	202
一、汽—水换热特点及应用概况	202
二、换热设备及高温水制备	203
三、汽—水换热工程实例	205

四、板式换热器速算实例·····	210
五、汽—水换热机组技术参数·····	211
六、板式换热器汽—水换热技术特性·····	212
第3节 生活热水供应中的应用·····	213
一、生活热水供应的应用特点·····	213
二、工程应用实例·····	214
三、注意事项·····	214
第4节 除氧系统中的应用·····	215
一、概述·····	215
二、板式换热器在除氧系统中的应用·····	215
第5节 地热集中供热系统中的应用·····	217
一、地热供热概况·····	217
二、地热集中供热的优越性·····	217
三、地热集中供热换热器的选用·····	218
四、工程应用实例·····	218
第6节 空调制冷系统中的应用·····	225
一、空调制冷系统应用场合和特点·····	225
二、空调制冷系统中应用的工程实例·····	226
第7章 板式换热器的安装、使用与维修·····	229
第1节 板式换热器的安装·····	229
一、板式换热器的零件组装·····	229
二、使用单位的系统安装·····	230
三、换热器零件组装和设备安装时的注意事项·····	230
第2节 板式换热器的操作·····	231
一、开车操作及注意事项·····	231
二、正常运行及检查·····	232
三、停机操作及注意事项·····	232
四、常见运行故障的诊断及处理·····	232
第3节 板式换热器的维修·····	234
一、正常运行维修·····	234
二、板片的清洗和保护·····	234
三、垫片的特性及其更换·····	235
第8章 技术经济分析·····	237

X

第1节 技术经济分析的方法	237
一、技术经济分析的原则	237
二、技术经济分析的标准	238
三、拟定技术方案的准备工作	238
四、技术经济分析方法	238
第2节 计算实例	244
一、新建换热站	244
二、余热利用	246
附录A 常用法定计量单位及其换算	247
附录B 物性数据	251
一、物性数据表	251
表B-1 水的重要物理性质	251
表B-2 饱和水蒸汽的热物理性质	253
表B-3 常用油类的热物理性质	254
表B-4 丙烷热物理性质	257
表B-5 异丁烷热物理性质	257
表B-6 异戊烷热物理性质	258
表B-7 苯的热物理性质	259
表B-8 甲苯的热物理性质	259
表B-9 乙苯的热物理性质	260
表B-10 甲醇的热物理性质	261
表B-11 乙醇的热物理性质	262
表B-12 丙酮的热物理性质	262
表B-13 醋酸的热物理性质	263
表B-14 氨的热物理性质	264
表B-15 牛乳的热物理性质	264
表B-16 麦芽汁和啤酒的热物理性质	265
表B-17 麦芽汁和啤酒的粘度	265
二、物性数据图	265
图B-1 硫酸水溶液的密度	266
图B-2 硝酸水溶液的相对密度及密度	266
图B-3 稀磷酸水溶液的密度	267
图B-4 浓磷酸水溶液的密度	267

图B-5	浓氢氧化钠水溶液的密度	268
图B-6	硫酸水溶液的比热容	268
图B-7	硝酸水溶液的比热容	269
图B-8	磷酸水溶液的比热容	269
图B-9	硫酸水溶液的导热系数	270
图B-10	硝酸水溶液的导热系数	270
图B-11	硫酸水溶液的粘度	271
图B-12	硝酸水溶液的粘度	271
图B-13	纯碱水溶液的粘度	272
附录 C	板片、垫片常用材料的耐腐蚀性能	273
一、板片		273
表C-1	1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9(0Cr19Ni9)的耐腐蚀性能	273
表C-2	0Cr17Ni12Mo2, 00Cr17Ni14Mo2的耐腐蚀性能	276
表C-3	TA1及TA1合金的耐腐蚀性能	280
表C-4	镍铬铁钼合金(Hastelloy)的耐腐蚀性能	283
表C-5	镍76铬16铁7(Inconel)的耐腐蚀性能	285
表C-6	镍70铜30合金(Monel)的耐腐蚀性能	287
二、密封垫片		289
表C-7	丁腈橡胶的耐腐蚀性能	289
表C-8	氯丁橡胶的耐腐蚀性能	291
表C-9	三元乙丙橡胶的耐腐蚀性能	292
表C-10	氟橡胶的耐腐蚀性能	293
表C-11	硅橡胶的耐腐蚀性能	296
参考文献		297
附录 D	国内板式换热器和垫片产品及生产厂	293
一、上海轻工机械公司上海饮料机械厂		298
二、天津板式换热器厂		301
三、天津换热设备厂		305
四、四平、珠海九圆热交换设备制造公司		308
五、四平换热器总厂		313
六、北京市节能工程研究所		317
七、北京市华都换热设备厂		321

八、北京市海新板式换热器厂	325
九、兰州石油化工机器总厂板式换热器厂	329
十、兰州石油机械研究所板式换热器厂	333
十一、西安市红星节能设备厂	339
十二、甘肃省甘南换热器厂	343
十三、其他生产厂及其产品规格、性能	346

第 1 章 概 论

第 1 节 综 述

一、发展简史

目前板式换热器已成为高效、紧凑的换热设备，大量地应用于工业中。它的发展，已经历了100多年的历史。

1878年德国就发明了板式换热器，并获得专利。至1886年法国M·Malvazin首次设计出沟道板板式换热器，并应用于葡萄酒的灭菌。1923年APV公司的R·Seligman，成功地设计了可以成批生产的板式换热器，开始时是用很多铸造的青铜板片组合在一起，很像板框式压滤机。1930年以后，才有不锈钢或铜薄板压制的波纹板片板式换热器，板片的周边用垫圈密封，从此板式换热器的板片，从沟道板的形式跨入了现代用薄板压制的波纹板形式，为板式换热器的发展奠定了基础。^{〔1,2〕}

早期的板式换热器大多用在牛奶灭菌或啤酒的加工中。如APV公司1923年就开始生产用于牛奶的高温、短时灭菌器，第一台安装在伦敦Aylesbury Dairy Co.工厂中^{〔1〕}。英国、丹麦、瑞典等国家，在30年代前后，对板式换热器的发展都起了重要的作用。1928年Peach & Silkeborg公司制造了第一台板式换热器；1932年De Laval公司设在德国的子公司也制造了板式换热器^{〔1〕}。

通过应用实践，人们加深了对板式换热器优越性的认识，随着应用领域的扩大和制造技术的进步，使板式换热器的发展加快，目前已成为很重要的换热设备。

近几十年来，板式换热器的技术发展，可以归纳为以下几个方面。

①研究高效的波纹板片 初期的板片是铣制的沟道板，至三

四十年代,才用薄金属板压制成波纹板,相继出现水平平直波纹、阶梯形波纹、人字形波纹等形式繁多的波纹板片。同一种形式的波纹,又对其波纹的断面尺寸——波纹的高度、节距、圆角等进行大量的研究,同时也发展了一些特殊用途的板片。

②研究适用于腐蚀介质的板片、垫片材料及涂(镀)层 板式换热器应用于化学工业等部门,所遇到的最突出的问题是腐蚀。目前,板片材料从不锈钢扩大到钛、镍以及其它合金,或对板片表面作防腐蚀处理;垫片材料从天然橡胶扩大到各种合成橡胶、氟塑料、石棉制品等。

③研究提高使用压力和使用温度 板式换热器在乳品、酒类、果汁生产中应用,其使用压力、使用温度都不高,但在化工、石油等工业部门中应用,需要承受更高的工作压力和工作温度。设计、研究、制造工作者对此进行了大量的试验研究工作,并取得了显著的效果。

④发展大型板式换热器 随着工业装置的大型化,要求提供大型板式换热器。几十年来板式换热器的大型化进展是十分显著的。目前ALFA-LAVAL公司能提供单台换热面积为 2000m^2 的板式换热器^[3]。

⑤研究板式换热器的传热和流体阻力 由于板式换热器的构造和管壳式换热器不同,管壳式换热器的换热计算公式和流体阻力计算公式均不适用于板式换热器的计算。许多学者对板式换热器进行了试验研究,建立了有关的计算公式。这些公式主要是以实验为基础得出的,适用于特定的板片。我国的制造厂也都对其生产的每种板片进行试验,以求得计算传热系数和阻力降的准数方程式。

二、我国的设计、制造、应用情况

我国板式换热器的研究、设计、制造,开始于60年代。1965年,兰州石油化工机器厂根据一些资料设计、制造了单板换热面积为 0.52m^2 的水平平直波纹板片的板式换热器,这是我国首家生产的板式换热器,供造纸厂、维尼纶厂等使用。80年代初期,该厂又引