

前 言

热交换的过程广泛地应用在石油、化工、食品、动力机械、交通工具、原子能以及其他有关工业部门中。不同的场合对进行换热的设备有不同的要求。随着石油、化学工业的迅速发展，换热设备不仅需要量很大，而且种类也要求更多。为了提高传热效率，减少大量的金属消耗与投资，各国都很重视这方面的研究工作。近一、二十年来，国外已先后出现了不少新型高效率的换热设备，如：板式换热器、空气冷却器、泡沫接触换热器、螺旋管换热器及翅片管换热器等。但是，由于它们的使用都具有一定的局限性，仍不能满足各方面的要求，象汽车、飞机这样一些机动运输工具，就要求有一种小而轻的换热器，因此就促使人们去研究其他的传热表面形式，板翅式表面就是其中较为重要的一种。目前，国外已把它引用到石油、化学工业的某些加工过程中，并证明是成功的和有效的。

特别在近十年来，这种新型的、紧凑而高效率的换热设备发展较快，并得到了比较广泛地应用。为有助于大家了解国外板翅式换热器研究、设计和制造等方面的情况，我们编译了这份资料，以供大家参考。但由于我们对板翅式换热器很不熟悉，掌握的资料也有限，所以本书介绍的只能是现有资料的一个概述。并且限于我们的水平，又是初次编写，缺乏经验，因此错误和不妥之处在所难免，诚恳希望同志们多予批评指正。

編 譯 者

1987.7. 于兰州

目 录

前言	2
概述	3
第一章 板翅式换热器的结构特点	7
一、基本结构	7
二、翅片的作用、型式和分类	8
三、整体结构	15
第二章 设计和计算	24
一、基本计算	24
二、设计	28
三、多流体换热器通道数及长度的选择	31
四、板翅式换热器的主要技术参数	41
五、各种翅片的性能比较及选用	46
第三章 材料与制造工艺	51
一、波状翅片的成形	52
二、预处理	52
三、元件的组装	52
四、预热	52
五、钎焊	53
六、焊后清洗	59
七、检查和试验	60
八、集流箱焊接	61
第四章 板翅式换热器的应用	62
一、在石油化学工业中的应用	62
二、在其他方面的应用	64
第五章 安装、维护和管理	65
一、安装和热绝缘	65
二、堵塞及其清除方法	65
三、损坏及维修	66
四、其他	67
参考文献	68

目 录

前言	2
概述	3
第一章 板翅式换热器的结构特点	7
一、基本结构	7
二、翅片的作用、型式和分类	8
三、整体结构	15
第二章 设计和计算	24
一、基本计算	24
二、设计	28
三、多流体换热器通道数及长度的选择	31
四、板翅式换热器的主要技术参数	41
五、各种翅片的性能比较及选用	46
第三章 材料与制造工艺	51
一、波状翅片的成形	52
二、预处理	52
三、元件的组装	52
四、预热	52
五、钎焊	53
六、焊后清洗	59
七、检查和试验	60
八、集流箱焊接	61
第四章 板翅式换热器的应用	62
一、在石油化学工业中的应用	62
二、在其他方面的应用	64
第五章 安装、维护和管理	65
一、安装和热绝缘	65
二、堵塞及其清除方法	65
三、损坏及维修	66
四、其他	67
参考文献	68

前 言

热交换的过程广泛地应用在石油、化工、食品、动力机械、交通工具、原子能以及其他有关工业部门中。不同的场合对进行换热的设备有不同的要求。随着石油、化学工业的迅速发展,换热设备不仅需要量很大,而且种类也要求更多。为了提高传热效率,减少大量的金属消耗与投资,各国都很重视这方面的研究工作。近一、二十年来,国外已先后出现了不少新型高效率的换热设备,如:板式换热器、空气冷却器、泡沫接触换热器、螺旋管换热器及翅片管换热器等。但是,由于它们的使用都具有一定的局限性,仍不能满足各方面的要求,象汽车、飞机这样一些机动运输工具,就要求有一种小而轻的换热器,因此就促使人们去研究其他的传热表面形式,板翅式表面就是其中较为重要的一种。目前,国外已把它引用到石油、化学工业的某些加工过程中,并证明是成功的和有效的。

特别在近十年来,这种新型的、紧凑而高效率的换热设备发展较快,并得到了比较广泛地应用。为有助于大家了解国外板翅式换热器研究、设计和制造等方面的情况,我们编译了这份资料,以供大家参考。但由于我们对板翅式换热器很不熟悉,掌握的资料也有限,所以本书介绍的只能是现有资料的一个概述。并且限于我们的水平,又是初次编写,缺乏经验,因此错误和不妥之处在所难免,诚恳希望同志们多予批评指正。

編譯者

1967.7. 于兰州

概 述

多年以来，换热器设计所采用的基本传热和流体阻力的数据，一般都是以流体通过圆管和横过管排的情况为条件的。随着科学技术的发展，如化工、原子能工业，特别是象汽车、飞机等机动运输工具的迅速发展，就要求有一种紧凑、轻巧而效率高的换热设备。这就促使人们去研究其他形式的传热表面^[2]。于是就出现了板式换热器、螺旋板式换热器、板壳式(即拉默式)换热器以及板翅式换热器等紧凑而高效率的换热设备。

英国马尔斯顿·艾克歇尔瑟(Marston Excelsior Ltd.)公司，早在30年代就用浸沾软焊的方法，生产了铜及其合金制造的板翅式换热器，用作航空发动机的散热器^[2,7,8]。1945年，该公司开始生产铝合金、钛及其他材料的板翅式换热器。由于它格外紧凑、轻便而且高效，所以很快就引起了各国有关人员的注意。如美国司徒尔特·维尔奈(Stuart Verner Co.)公司和特兰(Trane Co.)公司，也相继生产了用于低温分离装置的铝制板翅式换热器^[8]。但是，由于当时对这种换热设备的传热表面的传热原理和流体摩擦等有关设计数据仍很缺乏，同时基本结构也存在着一定问题，因而在相当长的时间内限制了它的进一步扩大应用，而处于一种小型的试验阶段。

后来到了1942年，美国诺尔利斯(R. H. Norris)首先提出了对板翅式换热器采用的平直翅片、波纹翅片、片条翅片、钉状翅片的研究，并找出了这几种主要翅片的摩擦因子、传热因子与雷诺数 Re 的关系，为以后其他人研究和设计其他表面形式的翅片奠定了基础，并在美国的燃气轮机装置、航空系统及低温装置等换热器中得到了应用。从这以后，各种型式的板翅式传热表面性能的进一步研究便开始了。例如美国海军船舶局(U. S. Navy Bureau of Ships)于1945年在安纳波利斯城的海军工程实验站开始的一个研究计划。1947年，美国海军研究署(The Office of Naval Research)和船舶与航空局(Bureaus of Ships and Aeronautics)合作，在斯坦福大学(Stanford)拟定了类似的计划，并扩大了其研究的范围。后来美国原子能委员会也参与了这项研究工作。在1948年到1954年间，美国海军研究署便公布了22篇关于紧凑换热表面的实验研究报告。1951年4月美国机械工程师协会出版了凯斯等人编的《燃气轮机装置换热器——基本传热和流体阻力的设计数据》一书。1955年凯斯(W. M. Kays)和伦敦(A. L. London)二人又编著了一本《紧凑式换热器》。在这些资料中，都较系统地总结了在此以前美国海军研究署的研究成果，对板翅式换热器的设计提供了较详细的资料。1964年凯斯和伦敦二人再次写出《紧凑式换热器》一书，其中又增添了近十年来所研究的成果^[1,2,10,25]。

另外，在1947年左右，美国加利福尼亚大学和埃姆兹航空实验室，对不带翅片的和带翅片的板翅式换热器作了飞行试验和地面试验，也为板翅式换热器的设计和应用提供了一些有用的实验数据^[21]。

美国石油协会炼制小组于 1963 年 5 月 13 日, 在费城所召开的 28 届年中会议的时候, 对板翅式换热器作了比较全面的讨论。他们认为这种换热设备在紧凑性、高效率、重量轻等方面都是十分理想的, 特别是在机动设备和低温加工方面的应用应给予足够的重视。同时指出板翅式换热器的设计、制造和试验可以按照美国机械工程师协会 (ASME) 锅炉和压力容器法规的要求来取用^[9]。

近年来, 美国由于在商业上成功地用油船运输液化甲烷; 美国政府制订了对氮的节约计划; 为解决不平衡供应天然气的贮存设备以及为在天然气矿上把天然气中的氮分离出去以增加管线的运输效能等原因, 天然气的低温处理大大增加了。为解决这个问题, 一些石油工作者采用了空气分离工业中所应用的一些设备, 铝制板翅式换热器就是其中之一, 而这种换热器又是在 40 年代由特兰公司的轻型航空换热器经改进设计后用在低温加工装置上的^[4]。

西德近年来对板翅式换热器发展也很重视, 并设计出了具有独特结构的油、水两用环形空气冷却器 (见图 1-41)。早在 30 年代德国就出现了铝的镀焊法 (见德国专利 DRP 744952), 但是直到最近几年来才在板翅式换热器的发展中得到了广泛应用^[23]。

日本大量生产板翅式换热器还是近几年来事情, 但发展较快, 其中较早引进这项技术的有神户制钢所。几年前该公司才生产一些小型产品, 此后不久就开始了生产大型产品的试验。现在生产的主要产品有用于空气分离装置上作冷却、液化、蒸发、冷凝等方面的板翅式换热器^[5,6]。日本住友精密工业株式会社, 在近年来也从英国帝国化学工业公司引进这项技术, 并已制造出铝制板翅式换热器满足低温工业的需要^[44]。

苏联莫斯科包伍曼高等技术学校, 在 1959 年以前就开始对板翅式换热器进行了研究^[48]。后来, 别特罗夫斯基 (Ю. В. Петровский)、法斯托夫斯基 (В. Г. Фастовский)、罗伊捷恩 (Л. П. Ройзен) 三人, 对铝制板翅式换热器在常温下也作了一些试验研究, 取得了一定成果^[42]。

在制造工艺方面, 目前已能制造出满足各方面需求的板翅式换热器。例如, 美国司徒华脱·华纳公司的南温特分厂 (South Wind Division of Stewart Warner Corp.) 就可以生产供氧气、空气分离、气体分馏和乙稀回收、氮的提取、液体加热与冷却等化学、石油化学工业用板翅式换热器以及飞机、导弹工业用板翅式换热器。近年来该厂还建造了钎焊大型铝制板翅式换热器的巨型盐浴炉, 可以制造 22000 呎² 换热面积的大型板束^[33]。在苏联, 全苏化工机械制造科学研究所与钎焊专业协会, 对板翅式换热器钎焊的焊料, 制造中所用的夹具等都作了很多研究工作。目前正在进一步研究制造操作温度为 1000℃ 的焊料^[82]。

为适应各种操作条件, 所用材料的种类也不断增加, 目前最常用的有铝、铝合金、钛、铜等近十种金属。另外, 在美国 3198248 号专利中还谈到了一种全陶瓷结构的 (包括粘结剂) 板翅式换热器, 用于回收化工加工过程中物料反应放出的热量 (预热低温物料), 它可以在很高的温度下操作^[41]。

由上述可看出, 板翅式换热器在国外已经广泛应用, 在设计、制造方面已日趋完备的程度。

板翅式换热器的主要优缺点:

优点:

1. **传热效率高** 据报导铝制板翅式换热器在强制对流空气的传热系数是30~300 仟卡/米²·小时·°C; 强制对流油的传热系数是100~1500 仟卡/米²·小时·°C; 沸腾水的传热系数是1500~30000 仟卡/米²·小时·°C^[5]。

2. **结构紧凑** 紧凑系数 β (单位体积设备所具有的换热面积)一般都能达到770 呎²/呎³, 而列管式换热器只有50 呎²/呎³^[7]。就目前所见, 最大可达1332.45 呎²/呎³^[2]。

3. **轻巧而牢固** 因结构紧凑, 体积小, 一般都用铝合金制造, 故重量轻。波形翅片既是主要的传热表面, 同时又是两板的支撑, 故强度很高。例如: 0.7毫米厚的平隔板和0.2毫米厚的翅片所制成的板翅式换热器能承受高达40公斤/厘米²表压的负荷。其重量约为多管束式换热器的1/10。这不但降低了运输安装的费用, 同时也使装置起动循环时间减到最少^[4,6]。

4. **适应性大** 可在任何换热情况下选用, 如用于气体-气体, 气体-液体和液体-液体, 亦可用作冷凝和蒸发^[6]。该换热器可用于逆流、顺流、横流或横逆流的情况。同时适用于多种不同的介质。在同一个设备内, 可允许2~6种流体之间的换热^[3,6,7,8]。并且由于板翅式换热器多为铝材制造, 故特别适用于低温或超低温场合^[3,6,7,9]。又由于平隔板的两边可以装填任意型式的翅片或其他填充元件, 而使两边传热面可以完全对称与相等, 因此它特别适宜于气-气的换热和高纯度介质的处理(如氧), 并宜于作逆流换热器^[2,7,10,11,12]。

5. **成本比较低廉** 这只是一个相对的概念, 各种文献报导出入较大。一般来说其制造工艺比较复杂, 成本较高, 但由于它具有高度的紧凑性和高效率, 同时也可作成单元体进行成批生产。因此, 就其单位换热面积成本来说, 则比其他任何型式的换热器都要低^[3]。在某些使用场合中, 板翅式换热器的成本不超过管式换热器的50%。它的成本变化范围较大, 随设备的大小、复杂程度、设计压力的高低以及材质和连接形式(串联或并联)的不同而有很大差异。据报导每平方呎换热面积约为0.5~1.5美元, 高压、多流体换热用的还要高些^[4]。美国特兰公司(Trane Co.)生产的300~500米²/米³的板翅式换热器成本不超过1750美元/米³。在深度冷冻技术中用板翅式换热器分离纯净产品比采用其他型式换热器都经济, 据丹顿(Denton W. H.)的数据, 包括集管和直接与其连接的管道在内, 其每立方米板束成本为2830英镑^[9]。

6. **安装简易, 操作方便**^[3,6]。

缺点:

1. **容易堵塞** 在很小的波状翅片的通道中, 很可能引起堵塞而增大压力降, 因而物料进口以前需进行过滤, 进口管线系统最好采用耐腐蚀的材料。

2. **清洗困难** 当换热器结垢以后, 清洗困难, 且费时间。

3. **检修困难** 内部通道发生内漏的时候, 很难准确找到漏的地方。如已找到内漏的位置则需要有精巧的焊接设备进行修补。

4. **对介质有限制** 对铝制换热器处理的介质是有限制的, 要以对铝不产生腐蚀为

原则。但可用钎焊炉的方法来生产不锈钢的或钛的板翅式换热器，以适应腐蚀性介质的需要。

5. 对操作环境的要求 对铝制换热器，必须防止低熔点的铝的燃烧。但是，只要不断净化环境空气，防止爆炸性气体混合物的积聚，就能减少燃烧和爆炸的危险^[3,9]。

综上所述，虽然板翅式换热器也有一些缺点，但其优点还是很突出的。因此，可以认为板翅式换热器是最有发展前途的换热设备之一^[32]。所以，世界各主要的工业国家，如英国、美国、日本、法国、西德、苏联、捷克斯洛伐克等都很注重这方面的研究和发展工作。最初（30年代）主要是应用在航空上，而现在已推广到航海、汽车、石油化学、化工、动力机械、电子、导弹、原子能等工业部门中了^[9,10,14,18,30]。

目前，国外这种换热器的名称也各有不同，除了最通常的叫法——“板翅式换热器”（Plate-fin heat exchanger）^[9,17,19]外，还有许多名称，如“紧凑换热器”（Compact heat exchanger）^[1,2,19]、“板式换热器”（Plate type heat exchanger）^[15,40]、“平板换热器”（Flat plate heat exchanger）^[21]、“二次表面换热器”（Secondary surface heat exchanger）^[7,18,29]、“二次表面板皱换热器”（Secondary surface plate-and-corrugation heat exchanger）^[24]、“阿莱克斯板式换热器”（“ALEX”アレックス熱交換器）^[13]、“不可折的板翅式换热器”（Неразборные пластинчато-ребристые теплообменники）^[8]、“钎焊铝制换热器”（Brazed aluminum heat exchanger）^[4]等。（国内还有“加肋板式换热器”^[11]、“棱片板式换热器”^[20]、“铝制板式换热器”^[22]之称。）

尽管名称很多，但其基本结构大同小异，同属一类换热设备。本文将对这类换热设备的发展简史、结构特点、设计计算、制造工艺、使用范围和维护管理等作一简要综述，供有关同志参考。本文对板翅式换热器的理论研究不作详细的叙述。如若需要，请参看文献[2,11,32]。

第一章 板翅式换热器的结构特点

一 基本结构

板翅式换热器的结构形式很多，但其结构单元体是基本相同的，如图 1-1 和图 1-2 所示。它是在平金属板上放一波纹状的金属导热翅片(即所谓二次表面)，然后再在其

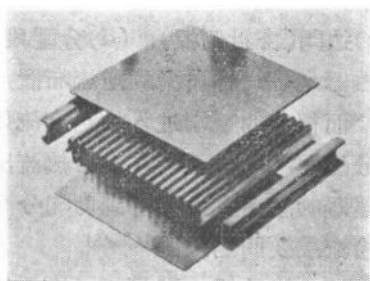


图 1-1 单元体分解图

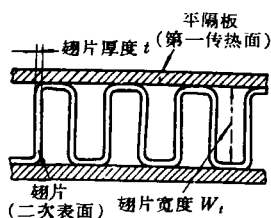


图 1-2 单层截面示意图

上放一平金属板，两边以边缘侧板密封而组成的单元体。上、下的两块平金属板称为平隔板。

对各个单元进行不同叠积和适当排列，并用钎焊给予焊牢，就可得到最常用的逆流、横流板翅式换热器的组件，称作芯部 (core) 或板束，如图 1-3 和图 1-4 所示。并且，在

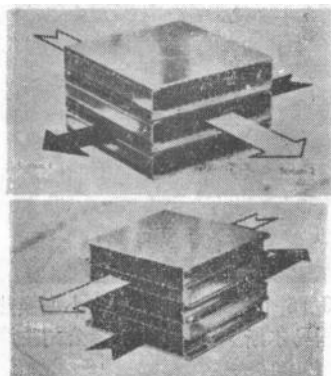


图 1-3 横流、逆流芯部的布置图

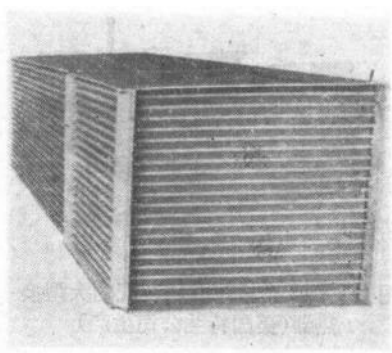


图 1-4 未焊集流箱的板束

一般情况下，板束顶部和底部还各留有一层主要起热绝缘作用的假翅片层 (见图 1-5)。在板束中，平隔板间波纹板形成一系列的流道，这些流道又把通过平隔板间的载热体分成一系列的平行流束^[5,20,24,48]。将带有流体入口和出口的集流箱，钎焊或氩弧焊接在板束上，就组成了完整的板翅式换热器。用这样的一个板束，根据不同的需要，即可组

成大小不同的换热器。图 1-5 所示的是一个小型的板束组成的换热器，而图 1-6 所示的是一个比较大型的板束组成的换热器，它有 16000 呎²的换热面积，当然还有更大的。

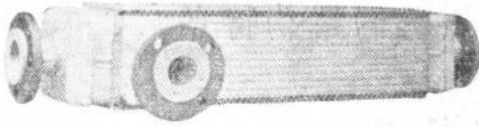


图 1-5 小型板束装配的换热器
(日本神户制钢所生产)

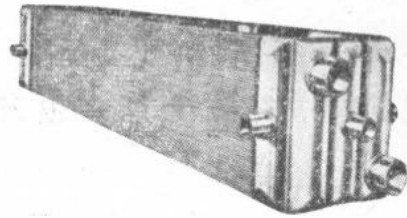


图 1-6 较大型板束装配的换热器
(美国特兰公司生产)

该类换热器较详细的示意结构可见图 1-7。该图是一个典型的两相流体换热的板翅式换热器结构的分解图。它由以下几部分组成：

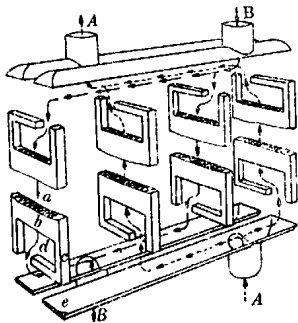


图 1-7 结构分解图

(a)波状翅片；(b)平隔板；(c)边门(密封侧板)；(d)分配段；(e)集流箱。这个简单的换热器，是一种典型的逆流布置，在换热器的一端进入热流体，而相对的一端进入的是冷流体。由波纹状的多孔板制成的分配器，一般就装在靠冷热流出入口的地方，使流体能在换热器的整个宽度上得到均匀分配。另外换热器内部热流层和冷流层要间隔放置^[4,5,48]。

如果一个小型板翅式换热器，满足不了换热的需要，即可将多个这样的板束串联或并联起来，而组成一个大型的板翅式换热器。图 1-8 即是由 12 个板束并联装配而成的大型板翅式换热器，它为每一种流体的进口和出口备有多支管接头，应用在天然气低温处理上^[4]。图 1-9 为 5 个板束串联而成的小型板翅式换热器，应用在氢气纯化上^[24]。

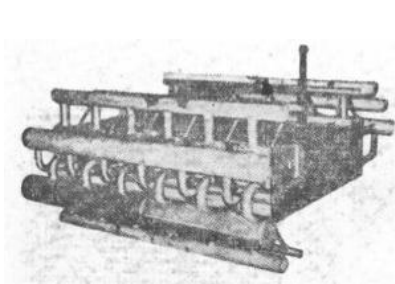


图 1-8 12 个板束并联装配的大型换热器(美国特兰公司生产)

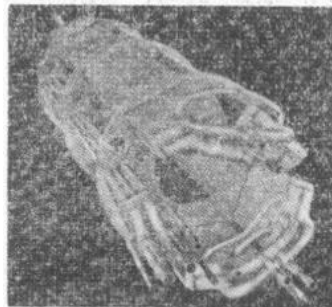


图 1-9 5 个板束串联装配的小型换热器
(英国马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司生产)

二 翅片的作用、型式和分类

翅片(又称二次表面或肋片)是板翅式换热器最基本的元件，传热过程主要是通过这些翅片来完成的，如图 1-10 所示。热、冷流体之间的热交换，一部分直接经由平隔板，但大部分是通过波形翅片来完成的。它与翅片管换热器的区别是，翅片管的翅片仅在管

的外表面；而板翅式换热器每层平隔板的两面均有翅片，使单位体积内具有更大的传热面积，从而使设备非常紧凑。常用的翅片由导热能力很大的耐蚀合金作成，且导热翅片和平隔板间的连接均为完善的焊接，传热无阻碍，所以可获得很高的传热效率。翅片除承担主要的传热任务外，还起两平隔板之间的支撑作用。所以，虽然翅片和平隔板材料都很薄，但它却有很高的强度而能耐很高的压力^[6]。

如果没有这些基本的翅片，那就成了纯粹是由平隔板组成的平板式换热器了。美国加利福尼亚大学和埃姆兹航空实验室分别对这种没有翅片和有翅片的换热器（见图 1-11）进

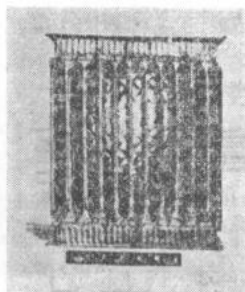


图 1-11

行了地面试验和飞行试验。结果证明有翅片的比没有翅片的换热器，体积减少了 18% 以上。而重量的减少取决于翅片的设计效率和流体通路间距的尺寸，假如设计的翅片效率最低为 70% 时，其重量也将减少 10%^[21]。

在以上试验中用了波纹截面的平直翅片，都获得了显著的经济效果，为了进一步增加流体的搅动，强化传热，国外在翅片结构方面，作了很多的试验研究工作。到目前为止，已出现以下几种形式的翅片：平直翅片、百叶窗翅片、片条翅片、波纹翅片、多孔翅片、锯齿形翅片、钉状翅片等型式，现分述如下：

1. 平直翅片

平直翅片 (Plain-fin^[2] 或 Straight-fin^[4,5]) 或称光滑翅片 (Гладкие ребра^[32])。这种翅片是由平金属薄片作成的一种最简单的翅片。其特点是有很长的带光滑壁的小截面通道，因此它的给热和流动摩擦特性与长圆形管道中的流动特性相似。这种翅片主要是起扩大传热面的作用，对促进湍流的作用是很小的。但是流道的长度有明显的影 响，可用长度和水力直径之比 $L'/4r_h$ 的形式来表示。各种翅片的水力直径见表 2-2。注意这里的 L' 不是指沿流向换热器的总长，而是平直翅片的长度。在总长上可以布置若干平直翅片，其端部一般不相互焊接。翅片多少的表示方法，是看与流向成垂直的截面方向上，单位长度上(每吋或每 100 毫米)有多少翅片，如美国的 «14.77» 型翅片，就表明每吋宽上有 14.77 片翅片；苏联的 «43.6» 型翅片，表示每 100 毫米宽上有 43.6 片翅片。

在平直翅片中，又分为：正方形流道、矩形流道、三角形流道(多加一字母 T 表示)、半圆形流道、再入角流道(Reentry corners)和梯形流道等形式。见图 1-12 和图 1-13 中的 a、b、c 和图 1-15 中的 a。在三角形流道中，有的是双层流道结构^[2,10,25]。

2. 百叶窗式翅片

百叶窗式翅片 (Louvered-fin)^[2]。此外还有称鳞片式翅片 (Чешуйчатые ребра)^[8] 或切断式翅片 (Разрезные ребра)^[25]。它的特点是，翅片间隔一定距离屡次被折断并使 之向流道弯出成百叶窗的样子，其目的是使百叶窗的格子破坏热阻边界层，从而强化

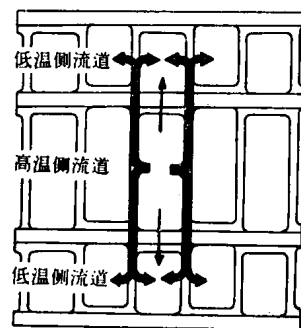


图 1-10 板翅式表面的传热原理示意图

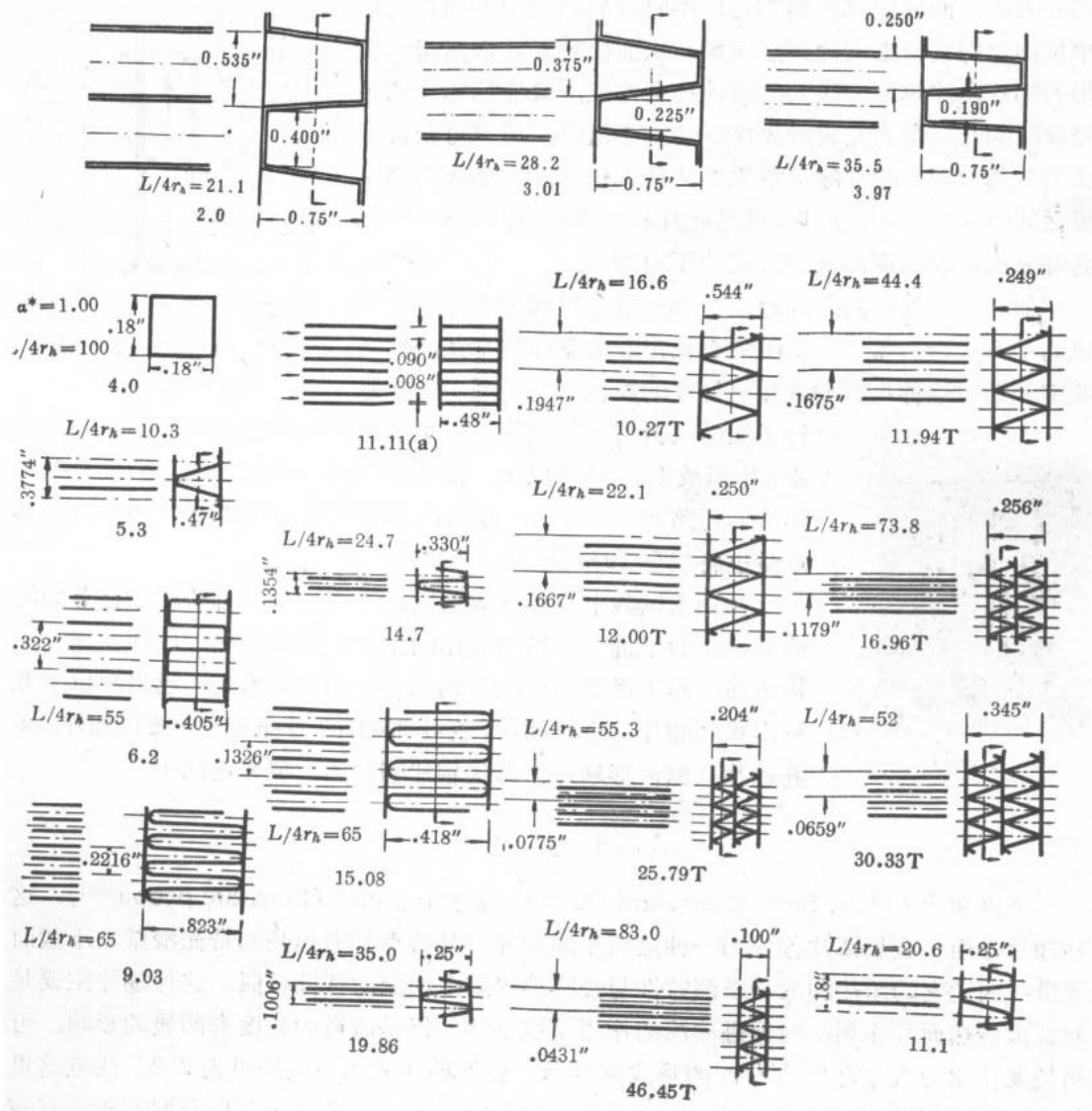


图 1-12 平直翅片 [2]

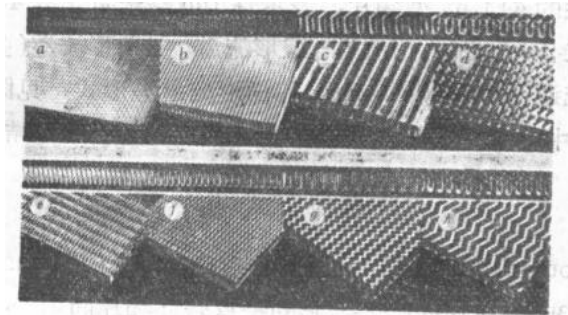


图 1-13 几种典型的翅片

给热过程。在同样的流动条件下比平直翅片有较高的传热系数。间距相等的折断处越多，越能强化给热过程，但压力降增加。不过在传递一定热量的条件下，它的压力降又相应地比平直翅片来得小。所以，这种翅片常被称为“高效能翅片”。这种翅片可用两个数字来表示：**第一**，在流向上，百叶窗格子的折断长度；**第二**，与流向成垂直方向的截面上，每吋（或每 100 毫米）上有多少翅片数。如美国的《 $\frac{3}{8}$ -11.1》型翅片，表示在每吋宽上有 11.1 片翅片，在流向上折断长度为 $\frac{3}{8}$ 吋；苏联的《9.5~43.6》型翅片，表示在 100 毫米宽上有 43.6 片翅片，在流向上折断长度为 9.5 毫米。这种翅片可见图 1-14 和图 1-15 中的 c [2,7,10,25,30]。

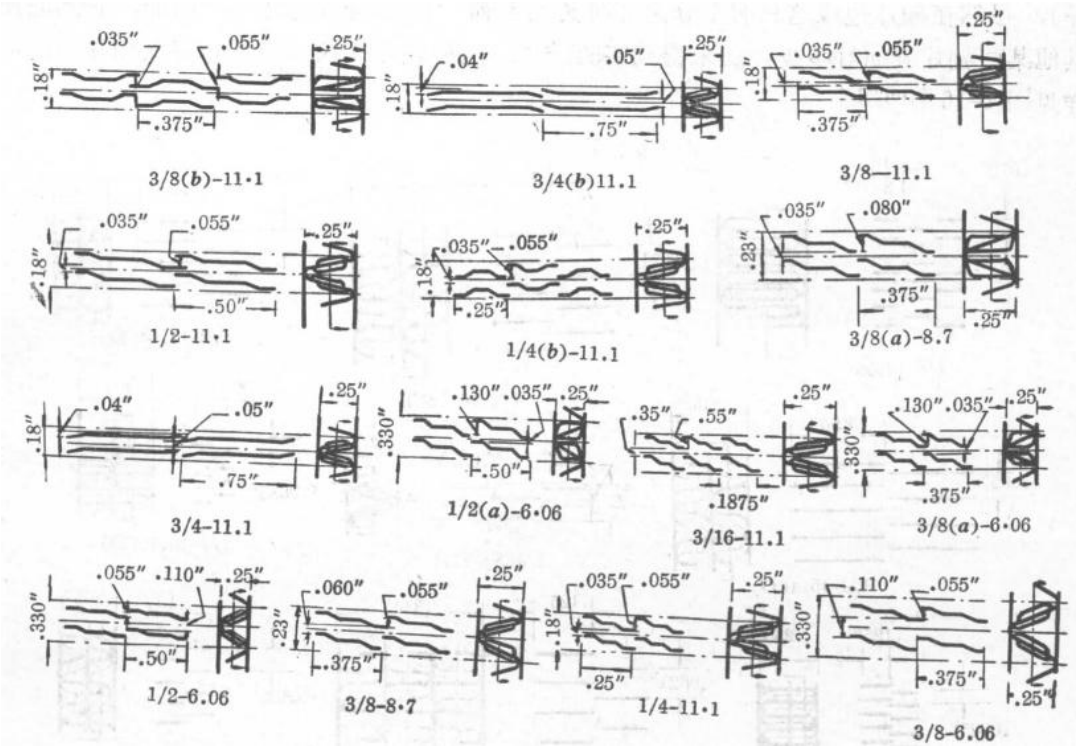


图 1-14 百叶窗式翅片 [2]

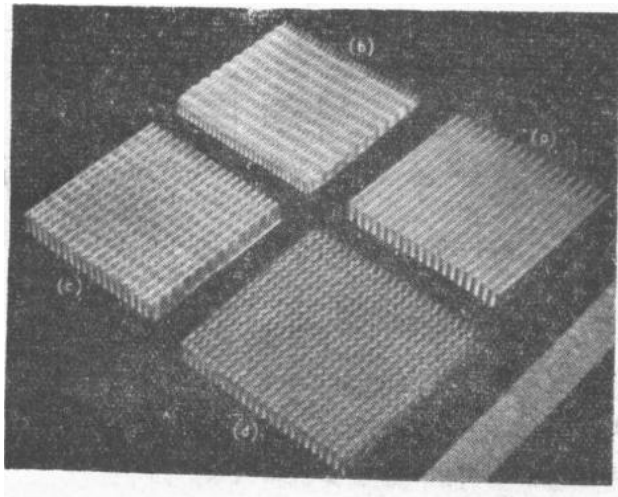
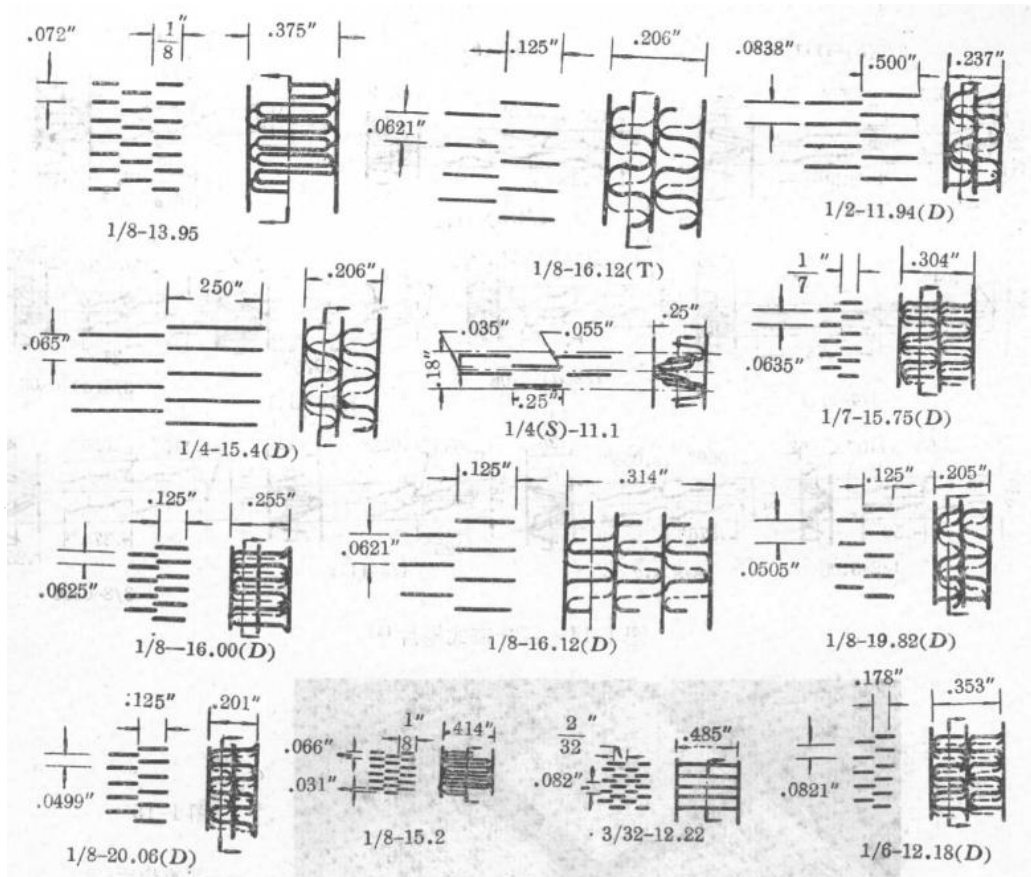


图 1-15

- a—平直翅片
- b—波纹翅片
- c—百叶窗式翅片
- d—锯齿形翅片

3. 片条翅片

片条翅片(Strip-fin)^[2], 也称短板翅片(Короткие пластинчатые)^[26]。它实际上是将平直翅片切成很短的不连续的片条段, 相错一定距离排列而成。在原理上与百叶窗式翅片相似, 其区别在于制造方法和相对位置。由于它在流动方向的长度较短, 而且不连续, 边界层在其上还来不及增长即告断裂, 因此传热性能很好。但是, 由于它的性能, 特别是摩擦性能显著地受到翅片厚度和边缘的影响(因为翅片一般都是机械切割制成, 这就不可避免的留下一点弯边和毛刺, 而其留下的多少, 又因材料和切割工具的不同而异), 虽然在翅片边缘这只有千分之几吋长的毛刺, 而影响却是很大, 因此, 它到底比其他某些翅片表面好多少, 还未得到实验结果。这种翅片的代号与百叶窗式翅片相同, 详见图 1-16^[2,10,26]。

图 1-16 片条翅片^[2]

4. 波纹翅片

波纹翅片(Wavy-fin)^[2], 又称人字形翅片(Herringbone-fin)^[4,19]或连续波纹人字形通道(Continuously waved herringbone Passages)^[30]。它是在平直翅片上压成一定的波形(如人字形), 目的是使流体在弯曲的流道中, 不断改变流动方向, 以促进流体的湍

流，分离与破坏边界层，其效果相当于翅片的折断，因此它的性能接近或相当于百叶窗式翅片和片条翅片。波纹愈密，波幅愈大，传热性能就愈好。这种翅片同样用两个数字来表示，并附加一字母，美国用 W，苏联用 B。如美国«11.5- $\frac{3}{8}$ W»型波纹翅片，表示在垂直于流向的截面上，每吋宽度上有 11.5 片翅片，一个波长为 $\frac{3}{8}$ 吋。如苏联«45-9.5B»型波纹翅片，表示在 100 毫米宽度上有 45 片翅片，相邻波峰或波谷之距离为 9.5 毫米。详见图 1-17、图 1-18 和图 1-13 中的 e^[2,4,19,26]。

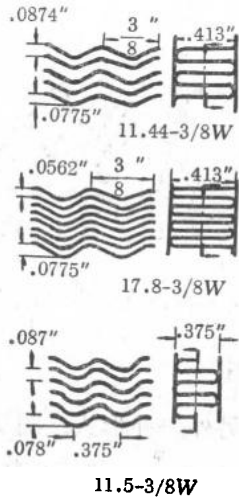


图 1-17 波纹翅片^[2]

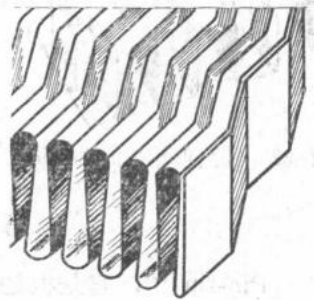


图 1-18 波纹翅片轴测图

5. 多孔翅片

多孔翅片 (Perforated-fin)，它是在平直翅片上冲出许多孔洞而成的。孔洞有圆形、方形等，结构很简单。翅片上这些孔洞，可使热阻边界层不断发生断裂，因而提高了传热性能。这种表面摩擦系数很小，但目前研究这种翅片的资料还不多，一般都是叙述性的资料。它的代号很简单，就是用与流向垂直方向的截面上有多少翅片来表示，在数字后再附加一字母 (P)。如«13.95 (P)»型翅片，即表示每吋宽度上有 13.95 片翅片。如图 1-19、图 1-20、图 1-21 及图 1-13 中的 d^[2,5,9]。

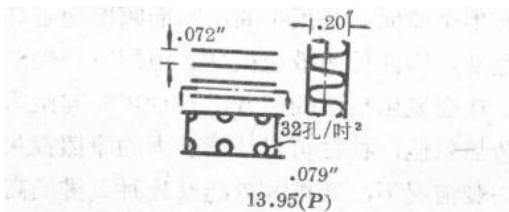


图 1-19 多孔翅片^[2]

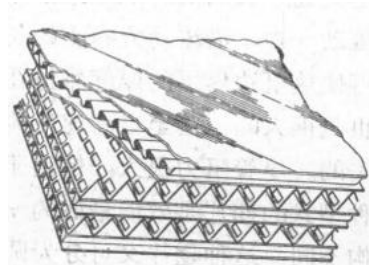


图 1-20 英国马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司生产的方孔形翅片

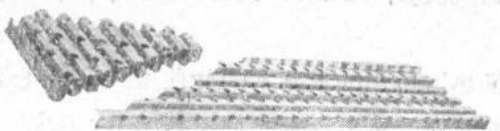


图 1-21 日本神户制钢所生产的多孔翅片

6. 锯齿形翅片

锯齿形翅片 (Serrated-fin)^[5,19], 又称多通道翅片 (Multi-entry)^[7]。这种翅片对促进流体湍流和对边界层的破坏更加有效, 属于高效能的翅片之一。经试验, 锯齿形翅片比平直翅片的传热系数高 30% 以上^[4]。这类翅片可见图 1-22、图 1-23、图 1-13 中的 f、g、h 及图 1-15 中的 d^[4,5,7,19]。

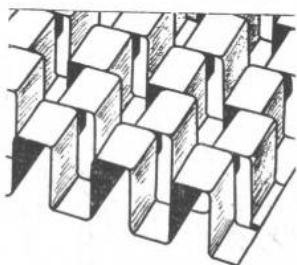


图 1-22 锯齿形翅片的轴测图

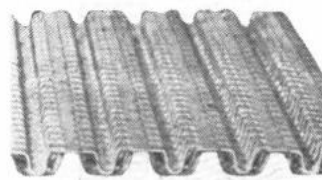


图 1-23 日本神户制钢所生产的锯齿形翅片

7. 钉状(或针形)翅片

钉状翅片 (Pin-fin)^[2], 它是板翅式翅片类型中的另外一种形式。图 1-24 为这类翅片表面的基本结构形式及其组合元件。导槽放在两平行隔板上, 然后再将一种蛇形金属丝置于导槽里, 施钎焊而成。导槽可用极薄的金属板压制。隔板间的钉状翅片, 可用专用的定位销来定位装配。其排列方式可为错列的或并列的。错列的传热效能比并列的好。

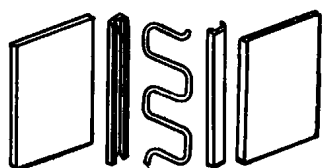


图 1-24 钉状翅片的基本结构

这类翅片表面的特点是给热系数很高。因为流体在其上的运动情况如同流体垂直于管束流动一样, 沿流动方向上的长度 (只有半个曲面) 是很小的, 因而频繁地破坏边界层, 可使热阻边界层的厚度维持在最薄的程度, 因此传热效能很高。但同时产生的摩擦损失也是很大的, 甚至当高速气流通过时, 还会发生鸣笛的声音, 这种现象与阻力系数是有关的。尽管阻力很大, 但由于极高的传热效能, 往往可以补偿较大的摩擦损失, 因此这种型式的翅片是效能最好的一种。在一般情况下, 错排的效能又比并列排的高。根据结构不同, 这种翅片又可分为圆柱形钉状翅片 (Цилиндрические шипы)、圆锥形钉状翅片 (Конические шипы)、流线型截面钉状翅片 (Шипы обтекаемой формы) 等数种。详见图 1-25 和图 1-26^[2,18,25,32]。

综上所述的七种翅片, 是目前板翅式换热器所用的最基本的几种型式, 另外还有许多变种。如果采取不同的排列方式和适当的变换, 就可以得到许多其他型式的翅片。例如图 1-13 中的 h 型就是锯齿形与波纹形的综合形式^[9]。

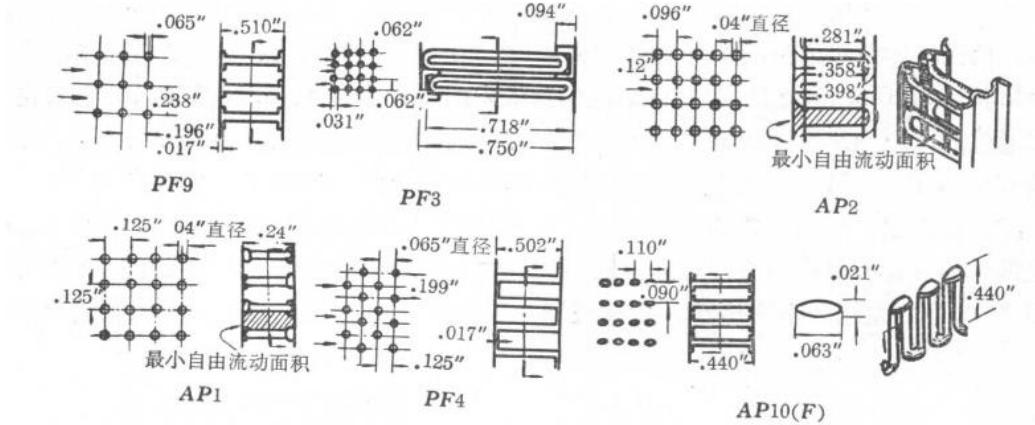


图 1-25 钉状翅片^[2]

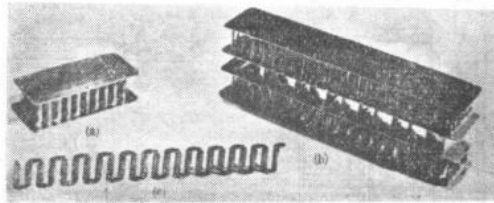


图 1-26 燃汽轮机用的钉状翅片

三 整体结构

1. 流动形式的布置

和管式换热器一样，板翅式换热器亦可根据操作条件的不同要求，将介质的流动方向布置成横流、逆流和横逆流等形式。据报导也有顺流形式，但为数很少。

(1) **横流式** 横流式的布置如图 1-27 和图 1-28 所示。图 1-29 是类似于这种布

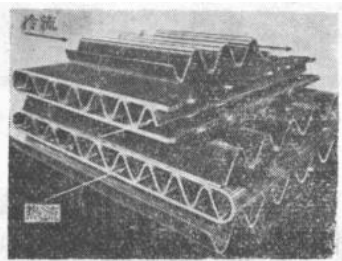


图 1-27 横流布置

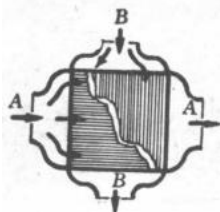


图 1-28 横流布置的示意图

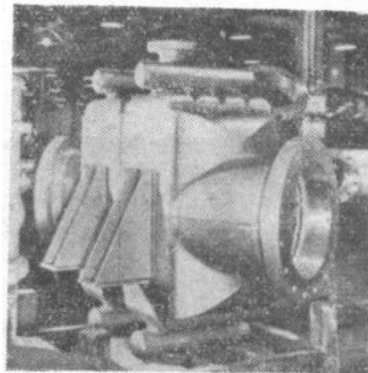


图 1-29 高压横流换热器。(英国马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司生产)