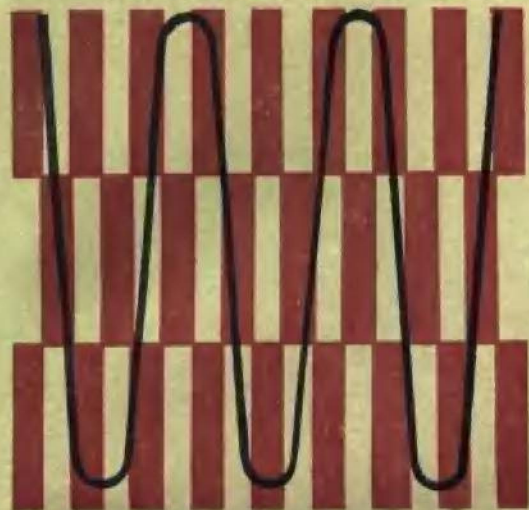


板翅式换热器



王松汉等 编著

7
AN CHI SHI HUAN RE QI

化学工业出版社

板翅式换热器

王松汉等 编著

责任编辑：谢丰毅

封面设计：任 辉

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{7/8}$ 字数 180 千字 印数 1—6,400

1984年4月北京第1版 1984年4月北京第1次印刷

统一书号 15063·3575 定价 0.82 元

内 容 简 介

本书系统地阐述了板翅式换热器的设计，并介绍了用电子计算机的计算方法；最后对板翅式换热器所用的材料及制造方法也作了简要介绍。

本书由王松汉同志主编，参加编写工作的有嵇训达和胡礼林同志。由张建秋、甘怀新同志审核。陈长青等同志提出了宝贵意见。在编写过程并得到了孙竟成、李全熙、李永康等同志的指导。

本书可供从事换热器的生产、科研、设计的工程技术人员和工人阅读，也可供有关大专院校的师生参考。

目 录

第一章 板翅式换热器的概况	1
第一节 板翅式换热器的发展概况	1
第二节 板翅式换热器的特点	5
第三节 板翅式换热器在工业上的应用	7
第四节 翅片的基本参数和翅片的代号	12
第五节 板翅式换热器的结构	14
参考文献	40
第二章 板翅式换热器的设计计算	41
第一节 翅片的传热过程的分析	41
第二节 翅片效率和表面效率	43
第三节 翅片的传热方程式	53
第四节 多股流换热器的处理	55
第五节 传热单元数法	60
第六节 传热平均温差 Δt_m 的计算	66
第七节 板翅中流体的给热系数	74
第八节 板翅式换热器的通道排列	101
第九节 板翅式换热器单元尺寸的决定和设计步骤	107
例题	108
参考文献	136
第三章 板翅式换热器的电子计算机传热计算	138
第一节 多股流板翅式换热器的数学模型	138
第二节 多股流电子计算机计算的实例与主框图	151
第三节 考虑冷损的多股流计算	153
第四节 冷热流体通道间隔排列	155

参考文献	160
第四章 板翅式换热器的流体流动阻力	161
参考文献	176
第五章 材料与制造工艺及其它	177
第一节 材料	177
第二节 板翅式换热器的制造工艺概述	181
第三节 翅片成形和焊前清洗	184
第四节 元件组装	185
第五节 预热和钎焊	189
第六节 焊后清洗及钝化	196
第七节 总装、封头焊接、检查、试验、修补与防护	197
第八节 强度计算	200
第九节 板翅式换热器的存放、搬运、管道和接管的现场切割 与焊接及操作说明	203
第十节 板翅式换热器的保冷	207
参考文献	213
附录一 表	214
附录二 图	223
参考文献	246

第一章 板翅式换热器的概况

第一节 板翅式换热器的发展概况

多年来，各工业部门广泛地应用列管式换热器，随着科学技术的发展，如化工、航空、车辆、原子能和宇宙航行的迅速发展，要求换热设备紧凑、轻巧、高效并小型化，而一般的列管式换热器则不能满足上述要求，这就促使人们去研究高效换热器，板翅式换热器就是其中较为重要的一种，它又称为二次表面换热器。

板翅式换热器的问世，首先是为了满足飞机中间冷却器的需要。早在一九三〇年英国马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司 (Marston Excelsior Ltd) 就用浸渍钎焊方法，用铜及其合金制成板翅式换热器用作航空发动机的散热器。一九四二年美国人诺尔利斯 (R. H. Norris) 首先进行了平直翅片、波纹翅片、锯齿翅片、多孔翅片、片条翅片、钉状翅片的研究，找出了这些翅片的传热因子 j ，摩擦因子 f 与雷诺数 Re 的关系，为以后进一步研究打下了基础。一九四五年美国斯坦福大学以凯斯 (W. M. Kays) 和伦敦 (A. L. London) 二人为主，组成了斯坦福研究小组，进行了紧凑式传热表面的研究，他们的研究成果汇集成著名的“紧凑式换热器” (Compact Exchangers) 一书。此书于一九六四年再版时，增添了近十年来的研究成果和120种紧凑式传热表面的数据，其中包括56种板翅式传热面的实验数据，但由于翅型结构尺寸的差距，国内设计很难用

上。随后，美国海军研究署(The Office of Naval Research)和美国原子能委员会也参加了这项研究工作，并得到“空气研究公司”(Airesearch)，“通用发动机公司哈里逊散热器分厂”(Harrison Radiator Division, General Motors Corp.)，“特兰公司”(Trane Co.)，“莫德林公司”(Modline Co.)等在试验上的协作，使铝制板翅式换热器获得了大力发展。

美国早在四十年代末期开始生产了板翅式换热器并用于空气分离设备中。目前特兰公司和司徒华脱·华纳公司南温特分厂(South Wind Division of Stewart Warnen Corp.)已成为美国石油化工、空气分离、工程机械等工业部门所需的铝、铜、镍、不锈钢等各种材质大型板翅式换热器主要供应者。并且，特兰公司在法国厄比纳尔(EPINAL)建立分厂；而司徒华脱·华纳公司也在比利时蒙斯(MONS)和加拿大建立分厂，进行大规模生产，产品供应全世界。该公司生产氮洗装置用的板翅式换热器，操作压力可达80〔公斤/厘米²〕。

英国的马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司是最早制造板翅式换热器的工厂。该公司在五十年代初期首先将板翅式换热器应用于空气分离设备低温换热器上，一九五七年又研制成了可逆式换热器，一九五九年提供第一套乙烯装置中承压40〔公斤/厘米²〕的换热器。目前该公司生产的板翅式换热器广泛地应用于空气分离，空气分离氮洗、乙烯、天然气液化、氮液化等装置上。

该公司生产低温换热器、年产量约780吨，年产值1500万美元，其中产品30~40%供出口，行销美、法、西德、意大利和加拿大等许多国家。从一九六〇年至一九七九年一月生产了3943个单元可逆式换热器，设计压力达10.5〔公斤/厘米²〕，单元最大尺寸1200×1247×6250〔毫米〕。承压35~63〔公斤/厘米²〕的板翅式换热器至一九七八年七月生产了256个单元。最

高承压64.3〔公斤/厘米²〕板翅式换热器生产了2个，单元尺寸分别为500×772×2950〔毫米〕和500×840×4250〔毫米〕。

多年来，马尔斯顿·艾克歇尔瑟公司正在研究试制承压75~80〔公斤/厘米²〕的高压板翅式换热器。表 1-1 为该公司至一九七一年底可提供的低温换热器规格。

表 1-1 英国“马尔斯顿”公司生产的低温换热器规格

最大设计压力			宽	高	长
巴	〔磅/英寸 ² 〕	〔公斤/厘米 ² 〕	〔毫米〕	〔毫米〕	〔毫米〕
54.5	790	55.5	225	500	长3660〔毫米〕是标准长度，根据需要长度可达6000〔毫米〕
54.5	790	55.5	350	600	
54.5	790	55.5	500	850	
50.0	725	51.0	650	950	
46.5	675	47.4	775	950	
43.0	624	43.8	900	1000	
10.5*	152	10.7	1050	1230	
10.5*	152	10.7	1200	1230	
10.5*	152	10.7	900	1000	

有*号者为可逆式换热器。

日本在四十年代即对板翅式换热器进行研究，但未达到实用阶段，直至六十年代，日本神户制钢所和住友精密工业株式会社才从国外引进这项技术。这两家公司生产这种换热器的时间虽短，但发展较快，已能提供多品种各种规格的板翅式换热器。

“住友”现在能设计制造的最大单元尺寸为7000×1200×1200〔毫米〕，有60种不同类型的翅片供各种需要，并能组织9种流体在同一单元中进行换热，恒压下操作的换热器设计压力可达50〔公斤/厘米²〕，压力周期性改变的（可逆式）切换式换热器的最高压力为20〔公斤/厘米²〕。在化工装置中，最近几年

使用了高强度铝作为翅片材料，使其稳压下设计压力可达80〔公斤/厘米²〕表压。

日本神户制钢所在一九六〇年开始在日坂小厂试制，二年未成，转到大久保工场，又派人到美国司徒华脱·华纳公司去学习，一九六六年又派人去英国学习，并由英国进口了盐浴钎焊炉，在夹具、预热温度均匀，炉温控制，钎剂配方和防腐蚀等方面进行试验研究，在研制和操作方面获得了实际经验之后，板翅式换热器才开始了大量生产。自1963~1978年，共生产了石油化工、动力机械、空分设备的各种大中型板翅式换热器单元3300多个（不包括72年前生产小型板翅式换热器3000个），最高工作压力可达63〔公斤/厘米²〕，并已试制成功承压80〔公斤/厘米²〕高压板翅式换热器，单元最大尺寸可达1200×1200×6950〔毫米〕。

日本神户制钢所已生产承压7〔公斤/厘米²〕，单元尺寸1000×1200×6500〔毫米〕可逆式换热器50个，承压50〔公斤/厘米²〕，单元尺寸900×1100×6700〔毫米〕换热器90个。承压63〔公斤/厘米²〕，单元尺寸760×700×6000〔毫米〕换热器一个，使用情况均良好。神户制钢所板翅式换热器1968年由通产省批准，并经西德技术检验协会TÜV检验合格，在世界上取得了合法地位，并命名为“ALEX”。

苏联一九五九年在莫斯科鲍曼高等工业技术学校和全苏制氧机研究院开始研究。大约在1972~1975年间试制采用板翅式换热器的空分设备，在1976~1980年间成批生产采用板翅式换热器的大型全低压空气分离设备。

除美、英、日外，西德、法国、比利时、捷克等主要工业国家，对板翅式换热器也进行研究和制造。目前国外从事板翅式换热器生产的共同特点是为使其与石油化工设备产品配套而

努力，并试制高工作压力和大尺寸规格的换热器。未来的发展趋势是板翅式换热器大量用于化工生产，其使用范围也必将日益扩大和发展。

我国早在六十年代就开始生产用于航空油冷却的板翅式换热器，由于采用空气炉钎焊的生产工艺，所以只能生产小型产品。一九六三年我国已开始用盐浴浸沾钎焊试制铝制板翅式换热器的研究，经过多年努力，于一九七〇年获得成功，并在大型全低压空气分离设备和石油化工中应用（见图1-1）。

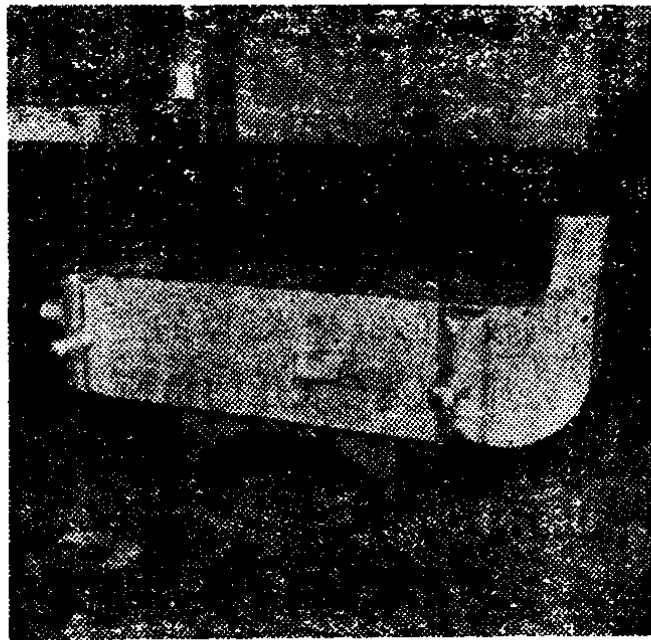


图 1-1 液氧热虹吸再沸器

第二节 板翅式换热器的特点

一、传热效率高。由于翅片的特殊结构，使流体在通道中形成强烈的湍动，使传热边界层不断被破坏，从而有效地降低了热阻，提高了传热效率。据资料介绍空气在强制对流下的给热系数是 $30\sim 300$ [千卡/米²·小时·℃]，油在强制对流下的给

热系数是 $100\sim 1500$ [千卡/米²·小时·°C]，水的沸腾给热系数是 $1500\sim 30000$ [千卡/米²·小时·°C]，在制取乙烯的装置中，气相甲烷根据压力不同给热系数一般是 $160\sim 450$ [千卡/米²·小时·°C]，氢气一般是 $1000\sim 1500$ [千卡/米²·小时·°C]，带有部分冷凝的裂解气是 $300\sim 900$ [千卡/米²·小时·°C]，乙烯和丙烯冷剂的沸腾给热系数一般是 1000 [千卡/米²·小时·°C]。

二、结构紧凑。单位体积的传热面积，通常比列管式换热器大五倍以上，最大可达几十倍。如列管式换热器一般为 160 [米²/米³] 左右，而板翅式换热器一般都能达到 1500 [米²/米³]，目前最高可达 4370 [米²/米³]。

三、轻巧而牢固。由于翅片很薄，通常为 $0.2\sim 0.3$ [毫米]，而结构很紧凑、体积小、又可用铝合金制造，因而重量很轻。同时翅片是主要的传热表面，又是两隔板的支撑，故强度高。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 40 [公斤/厘米²] 表压的负荷，而重量仅为列管式换热器的 $1/10$ 。目前国外这种换热器已经可以承受 100 [公斤/厘米²] 以上的操作压力。

四、适应性大。在同一设备内，可允许有 $2\sim 9$ 种介质同时换热，且可用于气体-气体，气体-液体和液体-液体之间的热交换，也可用于冷凝和蒸发。这种热换器可在逆流，并流、错流和错逆流等情况下使用，可在 -273 [°C] 到 $+500$ [°C] 的温度范围内使用。由于大多数选用在低温下仍有良好机械性能的铝合金制造，故特别适用于空气分离和天然气分离，其使用压力范围也很大。铝制板翅式换热器能承受的压力可达 $40\sim 100$ [公斤/厘米²]；在低温工程中，一般的工作条件下，工作压力可达 $15\sim 50$ [公斤/厘米²]，在交变载荷条件下可达 $8\sim 20$ [公斤/厘米²]，在温室下能承受 100 万次以上 $0\sim 10$ [公斤/厘米²] 的交

变负荷。

五、经济性好。由于结构紧凑、体积小、又因采用全铝结构，所以重量轻，故成本大为降低。据报导板翅式换热器成本不超过 17500 [美元/米³]。在深度冷冻技术中用板翅式换热器分离纯产品，不仅可以节约大量贵重的铜材，而且比用其它型式换热器都经济。表 1-2 a 为某厂 6000 [米³/时] 空气分离设备所采用的板翅式和列管式换热器的对比，可见板翅式换热器的优越性。

表 1-2a 某厂 6000 米³/时空分设备对比 (单位%)

换热器型式	列管式			板翅式		
	换热面积	体积	重量	换热面积	体积	重量
冷凝蒸发器	100	100	100	118.0	110.0	48.5
蓄冷器	100	100	100	138.0	53.0	19.3
液氮过冷器	100	100	100	80.0	35.8	39.0
液化器	100	100	100	134.4	42.0	14.6
液空过冷器	100	100	100	98.0	31.2	35.0
保冷箱					72.0	41.2

六、板翅式换热器因流道狭小，容易引起堵塞而增大压力降。当换热器结垢以后，清洗十分困难。而且由于换热器隔板和翅片都是由很薄的铝板制成，故要求介质对铝不腐蚀，若腐蚀而造成内部串漏，则很难修补。板翅式换热器虽然存在一些缺点，但其突出的优点使它在世界各国仍然得到越来越广泛的应用，并且成为一种很有发展前途的新型换热器。

第三节 板翅式换热器在工业上的应用

板翅式换热器由于具有体积小、重量轻、效率高等突出优点，自从开始用作飞机散热器以来，就曾引起人们的注意。但

铝制板翅式换热器的应用范围是否可以扩大?人们曾一度认为铝的抗拉强度及许用应力均低,且易腐蚀,而不适用于制作成套设备的换热器。但是,自从四十年代开始,铝的熔焊和钎焊技术获得成功并迅速发展以来,铝制换热器便得到了划时代的发展和推广应用。例如,使用1.6〔毫米〕平隔板钎焊的大型铝制板翅式换热器,其破坏压力达250〔公斤/厘米²〕以上。这种换热器适应的温度范围很广,可从200〔℃〕至接近绝对零度(-273〔℃〕),但一般适用范围规定在150〔℃〕至接近绝对零度之间。又由于现代防蚀处理技术的进展,使铝合金的应用情况也有很大改善,除铝制以外,目前这种换热器还有用铜、钛、不锈钢等材料制作,以满足现代尖端科学技术的需要。

近年来,钢铁工业和石油化工的发展,为扩大板翅式换热器的应用范围创造了良好的条件。它使装置的投资费用低,动力消耗少,分离效率高、操作简单、维护方便。因此,人们认为板翅式换热器的应用是热交换设备本身的一次较大地技术改革。其在工业上主要用途如下:

一、空气分离装置中的可逆式换热器,冷凝蒸发器,液化器,液氮和液态空气过冷器,采用了铝制板翅式换热器以后,节省了大量的铜及其它低温材料。例如6000〔米³/时〕空气分离设备由列管式改成全板式后,不仅节省了87吨铜和41吨不锈钢,而且使安装空间和重量减少了1/3,使设备的投资和安装费亦大为降低。由于可逆式换热器热端温差的减小,切换时间的延长和切换损失的减少,从而显著地降低了空气分离设备的单位电耗。其它经济效果见表1-2b。

二、在石油化工上,随着生产工艺的不断改进,它在天然气的液化、分离装置,及合成氨工业中逐步地获得应用。尤其是带液膨胀在天然气液化装置中的出现,使板翅式换热器在天

表 1-2b 1000〔米³/时〕空分设备中可逆式板翅换热器
与蓄冷器（管式）的比较

项 目	可逆式换热器	蓄 冷 器
起动时设备冷却冷量比	40%	100%
占保冷箱面积比	70%	100%
占装置总重量比	44%	100%
切换时空气损失	47%	100%
电 耗	0.69〔千瓦·时/米 ³ 氧〕	0.71〔千瓦·时/米 ³ 氧〕
运转周期	一年以上	一年

然气液化，分离装置中的应用开始有所新的发展。在石油化工装置中，使用板翅式换热器的优点是由于温差小，不仅可以充分利用冷量，减少因存在温差造成的不可逆损失，而且改变了制冷的级别，从而使制冷所需的功率降低。

板翅式换热器用于天然气、油田气的液化，在国外仅是近十几年的事，但目前仍不如列管式换热器普遍，其原因如下：

（1）天然气液化装置系统压力较高，一般都在40〔公斤/厘米²〕以上，故限制了板翅式换热器的使用。

（2）板翅式换热器通道被天然气在低温区产生的水合物所堵塞。有时还常被脱水装置的干燥剂粉末所堵塞。

（3）由于部分冷剂（混合冷剂）进口为汽——液混合物，故需将它们均匀分配到每个通道才能保持较高的效率，这也部分地限制了板翅式换热器在液化过程中的使用。

30万〔吨/年〕的乙烯装置中，最大的一个裂解气冷却器的单元尺寸约为4000×900×1130〔毫米〕，承压40〔公斤/厘米²〕，重5.7〔吨〕，有9种介质进行复杂的热交换，如图1-2所示。

三、动力机械上板翅式换热器有内燃机车散热器，汽车散热器、挖掘机循环油冷却器和压缩机空冷器、油冷器等。

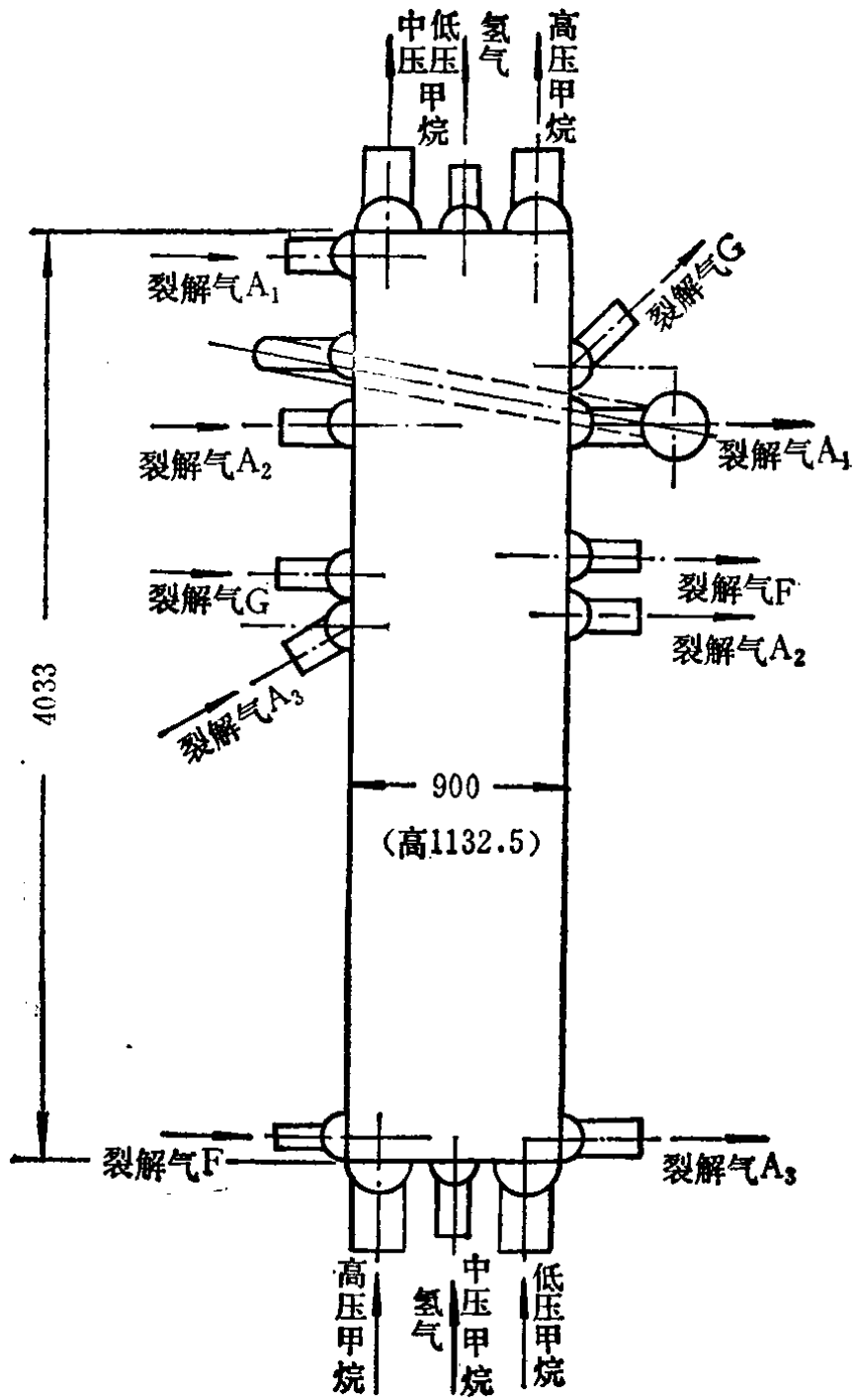


图 1-2 裂解气冷却器

铝制板翅式换热器在汽车和内燃机车上应用，尽管其工况比较恶劣、要求比较苛刻，但国外经过二十多年的研究和实践，钎焊、防腐、寿命、修理等问题都已基本得到解决，故世界各国已开始成批生产和使用铝散热器。

美国早在一九五六年就生产第一批汽车用铝散热器，一九七三年用真空钎焊法生产了130万个。日本、西德、苏联、法国和意大利也成功地将铝散热器在各种车型上使用。

我国生产的内燃机车铝散热器，经试验台性能试验和大坡道、高负荷、炎热条件下牵引运行试验，单位功率、单位体积、单位重量的散热量指标，均比未改进结构的铜散热器有所提高。其中单位功率散热量提高10%，单位体积散热量提高26%，单位重量散热量提高112%。在实际运行对比试验中，在相同条件下，铝散热器与铜散热器相比，能使水温下降5〔℃〕左右，对热力状态较差的机车，水温也可下降3~4〔℃〕，而且采用铝散热器不仅可节省大量战略物资铜、锡，使成本降低了1/3，重量减轻了1/2。并在使用实践中，已基本上解决了使用寿命和防腐问题，现正在逐步推广应用。由于结构和制造工艺的改进，铝板翅式汽车散热器比铜汽车散热器散热量提高了50~60%，传热系数提高30~50%，重量是原来的1/2~2/3，并可节省大量铜和锡。

全液压挖掘机油冷却器，经台架试验表明，冷却器散热效率提高了4.7倍，散热能力提高2.2倍，由于其优越的散热性能，故已在挖掘机上广泛应用。在空气分离设备配套用的透平空气压缩机上，也成功的使用了板翅式空气冷却器和油冷却器。

四、原子能和国防工业。原子能工业中采用了板翅式氢液化器和氦液化器，这是板翅式换热器在超低温条件下应用的例子。而燃气轮机回热器所采用的板翅式换热器，则是在较高温

度下使用板翅式换热器的实例。

第四节 翅片的基本参数和翅片的代号

一、翅片的基本参数：翅片的几何参数常用以下符号表示，如图1-3所示。

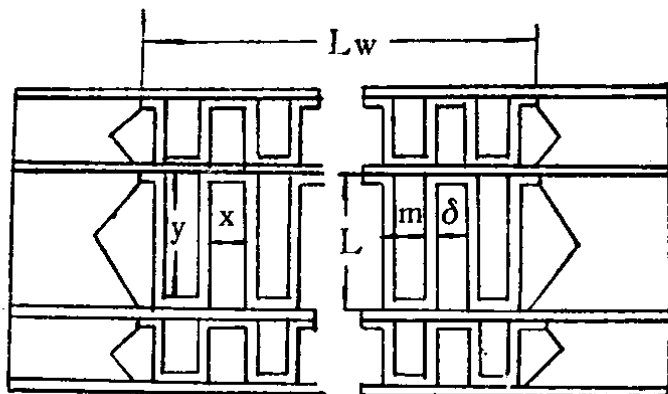


图 1-3 翅片几何参数

L ——翅片高度[米]； δ ——翅片厚度[米]； m ——翅片间距[米]； L_w ——翅片有效宽度[米]； l ——翅片有效长度[米]； n ——通道层数； X ——翅片内距 $X=m-\delta$ [米]； y ——翅片内高 $y=L-\delta$ [米]

根据几何参数，可以得到下列翅片特性参数：翅片的当量直径：

$$D_e = \frac{4f}{U} = \frac{4Xy}{2(X+y)} = \frac{2Xy}{X+y} \text{ [米]}$$

式中 f —— 浸润面积[米²]；

U —— 浸润周边长[米]。

每层通道截面积：

$$f_i = \frac{XyL_w}{m} \text{ [米}^2\text{]}$$

每层通道传热面积：