

换热器

国外化工与炼油设备发展概况之一



第一机械工业部石油机械研究所

前 言

经过无产阶级文化大革命战斗洗礼的我国亿万革命人民，高举党的“九大”团结、胜利的旗帜，壮志凌云，豪情满怀，以雄健的步伐跨入了伟大的七十年代。发展国民经济的第四个五年计划的宏图已展现在我们面前，远景壮观，鼓舞人心。**“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”**。现在，一个广泛的技术革新和技术革命的群众运动正在全国范围内蓬勃兴起。国民经济全面大跃进的新高潮已经到来。

目前，我国化工与炼油设备战线上，如同全国其他行业一样，形势一派大好。近几年来，尤其是无产阶级文化大革命以来，发展很快，取得了很大的成绩。自行设计和制造了许多具有世界先进水平的产品，其中有些项目是我国的独创，把“洋人”的东西远远抛到了后面。这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是**“自力更生，奋发图强”**的革命精神的伟大胜利。

随着我国炼油、化工及石油化学工业的飞速发展，对工艺设备提出了许多新的要求。然而，目前的设备在若干方面还适应不了工艺的发展。这种矛盾的解决要求炼化设备在研究、设计和制造等诸方面都必须来一个新的跃进，这是形势发展的需要，是社会主义革命和社会主义建设的需要，是巩固无产阶级专政和支援世界革命的需要。

为了适应国民经济大跃进和赶超世界先进水平的需要，在和帝、修、反抢速度、争时间的战斗中，做到**“知己知彼，百战不殆”**，在**“自力更生，走自己工业发展道路”**的同时，遵照伟大领袖毛主席**“洋为中用”**和**“批判地吸收外国文化”**的教导，我们根据1970年7月在兰州举行的《全国化工与炼油机械行业技术情报网成员会议》的决议，组织了情报网内有关成员单位于1970年10—12月进行了对国外的主要化工及炼油设备六十年代发展概况编写工作。参加这次编写工作的有哈尔滨锅炉厂、东方锅炉厂、华东石油学院、大连工学院、甘肃工业大学、天津大学、一机部通用机械研究所和一机部石油机械研究所。由于人力限制和时间短促，我们仅选择了换热器、高压容器、塔器和化工容器主要制造工艺等四方面作为对象，而其中每一方面又根据我国的实际需要作了重点

编写。高压容器部分的初稿完成后，由一机部通用机械研究所进行加工整理；其余部分的初稿，均由一机部石油机械研究所进行加工整理，并对换热器部分作了补充。

编稿过程中，得到中国科技情报所重庆分所的大力支持与指导，并从多方面为我们提供了方便条件，在此谨致感谢。

由于我们活学活用毛主席著作不够，业务水平有限，时间亦较仓促，编写中一定有不少缺点错误，希读者批评指正。

编者

一九七一年五月

目 录

一、概述.....	(1)
二、管壳式换热器.....	(9)
(一) 传热结构的改进.....	(10)
(二) 翅片管换热器.....	(16)
(三) 高温高压换热器.....	(27)
(四) 大型换热器.....	(56)
(五) 主要制造工艺.....	(58)
三、板壳式换热器.....	(97)
(一) 结构特点.....	(99)
(二) 板束的制造.....	(102)
(三) 设计计算.....	(103)
(四) 应用.....	(105)
四、螺旋板式换热器.....	(106)
(一) 流动型式.....	(108)
(二) 结构与尺寸.....	(110)
(三) 应用.....	(113)
(四) 设计计算.....	(115)
五、板翅式换热器.....	(123)
(一) 结构特点.....	(126)
(二) 设计计算.....	(136)
(三) 制造工艺.....	(145)
(四) 应用范围.....	(168)
六、板式换热器.....	(171)
(一) 发展现状及趋势.....	(173)
(二) 新型结构及制造.....	(176)
(三) 密封结构及垫片.....	(180)
(四) 工业应用.....	(187)

七、空气冷却器	(188)
(一)翅片管	(189)
(二)空气冷却器的结构	(206)
(三)新型空气冷却器	(211)
八、新型材料换热器	(216)
(一)石墨换热器	(216)
(二)聚四氟乙烯换热器	(245)
(三)玻璃换热器	(256)
(四)钛、钽、锆制换热器	(274)
九、其他型式换热器	(286)
(一)多孔换热器	(286)
(二)离心式换热器	(293)
(三)同心圆筒式换热器	(296)
(四)压焊板换热器	(300)
(五)内压鼓胀换热器	(305)
(六)热管	(308)
参考文献	(317)

一、概 述

1、基本情况

换热器为化工、石油、石油化学、食品、动力、原子能及其他许多工业部门所广泛应用的通用工艺设备。对于迅速发展的化工、石油和石油化学工业说来，换热器尤为重要。例如，常压、减压蒸馏装置中，换热器约占建设总投资的20%，催化重整及加氢脱硫装置中约占15%。通常，在化工厂的建设中，换热器约占总投资的11% [15、52]。换热器在成套化工与炼油装置中的设备投资比例见表1—1 [13、43]。从数量上看，在一套处理量1600米³/日的铂重整装置中，需要管长6米、壳体直径900毫米的换热器12台；处理量9540米³/日的原油蒸馏装置中，需要各种规格（大部分是直径1000毫米以下、管长6米、重13—14吨）的换热器约70台；而在8万吨/年乙烯和2万吨/年丁二烯的石油化学工厂中，需要换热器达137台。一般地说，换热器约占石油、化工装置工艺设备重量的40%左右 [13、50、93、109]。

表1—1 换热器在成套化工、炼油装置中的设备投资比例（%）

设 备 名 称	成 套 蒸 馏 装 置	成 套 原 油 常 压 蒸 馏 装 置	成 套 真 空 蒸 馏 装 置	成 套 焦 油 蒸 馏 装 置	成 套 苯 蒸 馏 装 置
换 热 器	39.0	38.9	22.3	18.7	14.7
塔 器	18.7	18.2	28.6	28.1	75.7
贮 槽	3.5	6.4	0.6	4.2	4.6
加 热 炉	32.0	26.9	36.5	34.0	0.0
机 泵	6.2	9.6	12.0	15.0	5.0
合 计	100	100	100	100	100

随着化学和石油工业以及新兴的石油化学工业的迅速发展，对换热器的需要量也日益增加。许多国家都组织有若干专业公司或工厂进行大规模生产。美国仅1969年花在换热器上的费用即达到8300万英镑 [52]。

日本在换热设备制造方面，近十余年来尤其在近五年内有了较大的发展，换热器的总产量每年达数万吨。表1—2列出了日本近年来换热器的产量 [10、21、44、46、

94、95]。

表 1—2 日本换热器总产量

项 目 \ 年	1957	1965	1966	1967	1968	1969
数量 (台)	2852	9571	10615	18225	19994	20695
重量 (吨)	7585	29417	27971	62707	72057	74042
产值(百万日元)	2858	11041	10962	21148	29230	33907

2、设计研究

由于换热器的技术性能直接影响到整个工艺装置的综合技术经济指标，因此，国外在组织大规模工业生产的同时，对于其研究设计工作给予了很大注意。

传热机理和传热设备二者之间是不可分割的。传热机理，其中包括冷凝、蒸发、对流、辐射和传导，到现在还没有被完全了解，因此传热仍然是一门实验科学。其理论方面有一种国际性的刊物不断进行报导，最近有若干次国际技术会议也是为传热研究而专门举行的。由于从化学工业到宇宙开发都需要热交换，并且愈来愈对换热器提出各种特殊而往往是极为苛刻的要求，因此，各国对传热学及其传热设备的竞相研究目前仍处方兴阶段。从传热机理的探讨到设备结构的创新，从设计计算到制造工艺，都有专门的机构从事研究。目前，仅每年发表的传热技术文献即达数千余篇。例如，根据国外统计，1967年就有6000篇，1969年达8000余篇。

实验室的研究虽然有价值，但用小型设备进行的模拟实验，常常不容易很快地用在工业装置上。因此，有些国家如美国比较重视现场试验。但现场试验费用很大，常常超过很多公司的支付能力。为此，美国在1962年成立了“换热器研究公司”(HTRI)，其费用由五十多个公司分担。到目前为止，根据该公司的报导，很多换热器设计得过于保守，如果采用“HTRI”的数据，可以节省换热器费用。

在进行换热器最佳设计时，需要进行许多复杂的计算，包括综合技术经济指标的对比与分析，工艺计算和机械强度计算等。采用人工计算，一般都是经过若干次反复试算，这不仅很难找出最佳值，而且既费时间又容易出错。因此，采用电子计算机进行换热器设计，在国外引起了普遍重视，近年来，尤其在美国有了新的发展。美国一家公司称，它所发展的广泛的计算机设计程序，可以用来计算按照美国和英国规范所设计的管壳式换热器的所有部件。管壳式换热器的机械设计很少创新，各部份都按照相应的压力容器法规如ASME、BS 1515、BS 1500等进行，必要时可参照换热器设计规范如TEMA和BS 3274等。虽然计算办法都已掌握，但有些另部件的计算非常烦杂，例如主法兰、浮头及钩圈、平盖板、不带膨胀节的固定管板以及开孔补强等。若使用计算

机, 则不仅可以缩短计算时间、减少人为的差错, 而且能进行最佳设计, 求出重量最轻、成本最低的部件。例如设计ASME标准带颈法兰时, 颈部的断面形状和垫片的位置可由设计者在一定范围内自由支配, 因此可以得到各种不同的法兰, 所有这些法兰也都能满足设计要求。但其中必有一个是最轻因而也是最经济的, 用手工计算很难找出这个最佳结果。采用电子计算机则可以求出这个最佳值。根据计算机的程序计算, 发现美国TEMA—"R"—1952带颈法兰按其尺寸和压力级不同可以减轻重量约30% [1、11、13、40、42、125]。

现代的石油和化工过程经常要求在极其广阔的范围内进行热交换, 压力、温度和腐蚀性都变得难以对付。压力可高达2500大气压, 温度从-252℃到+1500℃, 某些介质腐蚀性特别严重, 经常要求采用稀缺贵重的特殊材料。在现代热力工程中, 有时要求高速传热, 一秒钟内从室温升至600℃以上。还有些场合, 特别要求轻巧紧凑而又高效 [7、13、45]。

要求换热的条件既是千变万化, 换热器也必然是各种各样的。没有也不可能找到一种“万能”的换热器, 每种结构型式都有它自己的特长和短处。国外在设计换热器时, 对于形式的选择是很重视的, 他们常常通过烦杂的计算来进行技术经济对比。换热器选择时, 考虑的因素很多, 如材料、压力、温度、温差和压降、结垢、流体状态、应用形式、检修和清理等。有些结构型式, 在一种情况下使用是好的, 然而在另外的情况下, 却可能完全不能令人满意。例如螺纹管换热器在炼厂中能极满意的运行, 但国外也有人由于错误的将螺纹管用于结焦的条件而最后导致断裂事故。因而国外对于换热器的最佳设计、经济运行、降低成本、合理选用等方面给以很大重视, 有许多文献在不断地报导这些情况 [6、113、125]。

3、发展现状

目前各种换热器发展很快, 新结构不断出现, 以满足各工业部门的需要。国外换热器目前发展的基本状况是: 管式换热器的设计没有重大进展, 但无论就其数量或使用场合来看仍居主要地位, 最老的管式换热器如蛇管式、盘管式等在某些场合下仍有应用; 各种“板式”换热表面和其他新型结构换热器发展很快, 在若干场合下与管式结构竞争, 而在有些场合下正在逐渐代替管式换热器; 制造工艺获得了改进, 新的材料被大量使用; 从空间技术发展起来的“热管”引起了极大重视, 最终有可能对某些方面的换热器带来根本的革新。

目前, 国外各种换热器所达到的主要技术经济指标见表1—3。

管式换热器虽然在换热效率、紧凑性和金属消耗量等方面不及其他新型换热器, 但它具有结构坚固、弹性大、材料范围广等独特优点, 使它在各种换热器的竞相发展中得以继续存在下去, 并且目前仍然是化工、石油和石油化学工业中换热器的“主力军”。在高温高压和大型换热器中, 它占据着绝对优势。但是近年来, 它的结构性能没有多大改进, 其设计都按照有关标准规定严格进行。很多国家采用了美国TEMA标准或根据TEMA

表 1—3 国外换热器主要技术经济指标

参 数 型 式	最大传 热面积 (米 ²)	最 大 形 式 尺 寸 (毫米)	最 大 外 寸 压 力 (公斤/厘米 ²)	最 高 操 作 温 度 (°C)	最 大 处 理 量 (米 ³ /小时)	最 佳 传 热 系 数 (仟卡/米 ² ·小时·°C)	紧 凑 性 (米 ² /米 ³)	单位换 热面的 金属消 耗量 (公斤/米 ²)
管壳式	6700	直径4650,长33000	840*	1000~1500		水—水 1200~2440 蒸汽—水 1000~3400	40~150	30
套管式			1000	800		液—液 300~1200	20	150
蛇管式 (沉浸式)			1000			水—水 510~880 (铜) 水—水,加搅拌 440~1750 (铅)	15	100
绕管壳式	8000		200	-252~+50			70	
喷淋式			100			液体冷却 250~800 蒸汽冷凝 300~1000	16	60
板式	743	板片 2128×912 角孔直径 φ200	28	250 (石棉纤维) 360 (石棉橡胶)	** 570	水—水 6000	250~1600	16
螺旋板式	500	直径 1500 高 1500	40	1000		液—液 500~2000 蒸汽—水 3300	100	50
板壳式	800		64	800		蒸汽冷凝 3000		
板翅式		1200×1200×6000	57	-269~+500	15300	空气强制对流 30~300	250~4370	

* 据文献(13)报导,最高压力为1500公斤/厘米²,但未见实例——编者注

** 据文献(110)报导,在同一框架内,四段并联操作时,处理量已达1200米³/小时。

标准来修订自己的标准。国外近期的目标已转向于改进其制造工艺、采用新的材料和提高劳动生产率。在压力较低、温度不高、流量不很大以及处理强腐蚀介质而须用贵重金属材料的若干场合，各种新型、高效、紧凑换热器正在逐步取代管式换热器。

“板式”换热表面的传热性能比“管式”优越，但它的抗压性比后者差。“板式”元件是多种新型换热器的基本构件，这里包括通常称的板式、板壳（拉默）式、螺旋板式和板翅式等。

板式换热器发展较早，最初在食品工业中应用，对于液—液换热它具有很高的效率，其K值已达 $6000 \text{ 仟卡} / \text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$ [167]。五十年代起，它被逐渐应用于石油化学、原子能、造船、医药等工业部门，近十余年来发展较快。由于在提高压力与温度范围方面，取得了一些进展，因而在石油化学工业中的应用已显著增加，现已成为一种有发展前途的化工单元设备。目前，板式换热器的最大操作压力已达 $28 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ [52]，最高操作温度提高到 360°C [56]。温度的提高主要是采用石棉橡胶或压缩石棉纤维垫片的成功，这对板式换热器的发展，是个重大的贡献。

板式换热器如提高压力，势必进一步加大厚度，这样不但制造发生困难，而且会使热阻增大而降低传热效率，从而失去板式换热器的可贵优点。

板壳（拉默）式换热器是板式与管壳式换热器的中间产物。它是所有“板式”新型换热器中承压能力最高的一种，目前设计压力已达 $64 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ 。而且进一步提高压力并不感到很大困难。最高温度达 800°C ，处理量范围也较大。但它制造比较复杂。这种换热器用于化学工业始于40年代，而到60年代初，在欧洲已获得广泛采用。现已在化工、石油化工、制药、造纸，食品等工业部门得到广泛使用。

螺旋板换热器发展得比较早。国外已有系列产品，广泛用于化工、石油化学、纤维、造纸、肥料、制药等工业部门中。它的最大优点在于有“自洁”作用，不易污塞，适于处理含固体颗粒或纤维的悬浮液体以及其他高粘性介质。其主要缺点是损坏后难以修复。在结构形式上，目前发展了一种“塔上型”，用于塔顶蒸汽的冷凝。螺旋板换热器的操作范围，近年来有某些扩大，最高温度已达 450°C ，可拆式的最高压力为 $20 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ ，全焊式达 $40 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ 。和板式换热器一样，进一步提高压力受到一定限制。由于此种换热器发展历史较长，其结构已较完善，近期改进尚少。

板翅式换热器是最轻巧而紧凑的换热器，其紧凑性可达 $4370 \text{ 米}^2 / \text{米}^3$ ，承压能力现已达到 $67 \text{ 公斤} / \text{厘米}^2$ 。此种换热器从30年代用于航空工业上开始，其后逐渐引入低温工业。现已在化学和石油化学工业中得到广泛应用，特别是在空气分离、天然气液化、碳氢混合物分离制氢、乙烯生产等新兴工业中，具有更大的发展前途。它是一种很好的气（汽）—气（汽）换热设备。这种换热器的最大缺点是完全不可拆卸，对介质污染性选择大，清洗困难，制造工艺比较复杂。现在许多工业发达国家都制造这种设备，对其钎焊技术都已掌握。增大板束的尺寸是工业大型化的要求，但这给钎焊带来困难。目前国外制作的最大的板束尺寸达 $1200 \times 1200 \times 6000$ 毫米。

翅片管空冷器在国外的使用和制造已较成熟，应用也很广泛。国外普遍认为在化

工、炼油和石油化学等工业中，使用空冷比水冷更经济，因此，目前仍在继续扩大使用范围，而不仅仅限于缺水地区。虽然近年来，在总体结构和温度自动调节等方面没有多大变化，对翅片管的型式、制造工艺和新型材料方面有了若干进展。

新型材料的出现和使用，不仅给制造工艺而且对设备本身也带来了新的变化。钛和钽尽管很贵，但它们有极高的化学稳定性，所以在换热器中已被采用。这些材料一般以双层板、双层管、薄板、薄管等形式提供使用，在这里，爆炸连接、特种焊接和特种衬里技术具有很大意义。**非金属材料换热器目前有进一步的发展。**石墨换热器在化工中的应用已有多年，经过近年来对石墨浸渍技术的改进和从特殊结构上解决了石墨的低抗拉强度问题，目前石墨换热器的应用范围已比过去有了增加。由于硼硅玻璃具有光滑的表面和很高的热膨胀系数（允许温差可达 150°C ），所以用这种材料作换热器已日渐增多。另一种非金属材料聚四氟乙烯自1965年美国“杜邦”公司用作换热器以来，已引起国外的广泛重视。聚四氟乙烯具有非常优良的耐蚀性能，特别适合于在硫酸厂操作。用这种材料作的管子壁面光滑而不结垢，其低导热性的弱点可以缩小管径来进行补偿。这种换热器自出现以后，发展很快，到1970年，美、英、法、意、日、西德、加拿大和西班牙等十五个国家已有2000多个厂使用了数千台聚四氟乙烯换热器。

除以上几种基本结构型式外，国外还出现了许多其他类型的换热器。这些换热器有的使用局限性较大，有的尚处于试验阶段，有的刚进入工业应用正处于发展之中。这里面有诸如离心式换热器、迴转式蓄热器、同心圆换热器、多孔物质换热器和用浸渍树脂的纸（用在低温工业）或金属细丝制造的紧凑性极高（可达 $34747\text{米}^2/\text{米}^3$ ）的筛网式蓄热器等。

用空气作为冷却介质的主要缺点是空气对管壁的给热系数太低。曾经发现，当空气与水混合搅动而发生泡沫时，能够显著的强化传热。在这种条件下，总传热系数等于甚至大于液体与液体间的总传热系数。国外从1962年开始报导的由美国 Smith 和 Poll 两人合作的泡沫接触换热器的试验，虽然风机的动力消耗稍大，但总的操作费用仍比空冷器低。但长期以来未见在工业上的实际应用，仍处于试验阶段。根据1968年英国的一篇报导，美国化学工程学会第61次会议上有一篇关于“Sub-X”换热器的技术报告，谈到了一种类似的结构。据称这种换热器结合了“水汽”与“空气”换热器的特点，即高传热效率和低用水量。它用空气使围绕在传热盘管周围的水产生扰动，其局部的外给热系数达 $5850\sim 7800\text{仟卡}/\text{米}^2\cdot\text{小时}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，比单纯水流给热（对于盘管）高4~6倍（详见文献[111]）。

近年来，在传热学和传热设备中最大的发展算是“热管”（Heat pipe）的出现。它原是美国为开发宇宙而研制的，70年在西德举行的“化工机械展览会”上第一次展出。国外对这种新型换热设备抱有极大兴趣，把它评价为“近几年来一个真正的新发展”，并且断言它“肯定将用于化学工业”。“热管”的原理很简单，在一个密闭的管状构件中，其内充满挥发性液体，通过一层多孔材料或筛网的毛细作用重新返回热端。它的特点是：结构简单，能够等温冷却一个很高的热流密度；在低温差下也能有效传热，例如

当冷、热两端温差仅至数度时，其导热率仍比普通金属大1000~10000倍；通过适当的材料选择，可用于很大的温度范围，直到2000℃以上。“热管”的这些可贵性能引起了传热界的广泛重视。在化学工业中，它将有用于强放热反应、催化反应、高温热裂解和等离子化学中进行等温导热或等温冷却〔1、2、3、4、5、6、7、12、13、14、72、81、96〕。

设备的发展和制造水平是密切相关的。很多情况下，不仅要求有高效紧凑的性能，而且要求提供必要的数量和保证运行的可靠。因此，在发展换热器本身的同时，对换热器的制造给予了很大注意。一般的目标是扩大产量，保证质量，提高劳动生产率，降低制造成本。采取的措施是：

(a) 扩大标准系列，进一步组织专业化生产 产品系列化，另部件标准化和生产专业化是密切相关而又互相促进的。国外一般都通过专业化生产来提高劳动生产率，提高产量和质量，降低成本。一些国家、公司和厂家都在不断地扩大自己的产品系列，修改和完善另部件标准，以便适应生产专业化的需要。许多国家的制造厂或者合并成制造成套设备的大型托辣斯，或者将中小厂改成专业厂，专为成套设备提供标准的另部件。例如美国早在1954年，就有59家工厂从事专业的换热器制造，职工总数为一万五千余人。其中有38个工厂专业化程度达90%以上，7个厂达75~80%，9个厂为50~70%，只有5个厂的专业化程度在50%以下。苏联也同样在加速组织专业化生产，将原有繁杂的产品经标准系列化后，进行专业定点，而且逐步将部分产品愈来愈集中到某些制造厂，以便进一步提高专业化程度。苏联在1959年，将所有管壳式换热器集中到全国12个厂生产。1960年，制造换热器的工厂有54个，1962年变为50个，到1965年减到43个，而1966年只剩25个，计划到1970年，将只有14个换热器专业工厂。日本对于换热器和其他化工设备所需的标准另部件如法兰、封头、密封填料等都是实行专业化生产的。例如日本铁工所、八幡封头公司和北海铁工所都是专业的封头制造厂。北海铁工所生产的封头供应日本全国需要量的60%〔4、8、17、105〕。

(b) 提高机械化，加速自动化 在一切可能使用机械的地方尽量不用手工，凡能采用新技术如电子计算机的尽量实现自动控制。加工中实行“多轴化”，如管壳式换热器管板孔采用多轴钻孔，有的实行了程序控制。管子与管板的连接已有42根主轴的多头自动胀管机，每小时可胀1200根管子〔10、29、40、51、54〕。

(c) 采用新技术、新工艺、新材料 由于化学腐蚀和经济性的考虑，国外比较注意采用新的结构材料，如钛、钽、锆和其他合金以及诸如聚四氟乙烯、聚乙烯、玻璃、石墨等非金属材料。这些材料的制作加工常常需要特殊的工艺技术。有些新的加工技术和特殊的新工艺常能提高劳动生产率、提高产品质量。在换热器制造中，管子与管板的连接发展了若干新的方法，如爆炸连接、液电胀接和脉冲胀接等。各种复合材料被广泛使用，复合材料的加工技术一般均已掌握。管板、壳体和管箱的大面积堆焊衬里或爆炸衬里，双金属管和双金属翅片管的轧制等工艺均已得到采用。此外，还发展了各种管子的表面处理技术和各种新型翅片管的制造工艺〔1、10、35、40〕。

4、发展趋势

基本的发展趋势是，提高紧凑性、降低材料消耗、提高传热效率、保证互换性和扩大容量的灵活性（采用积木式结构），通过减少污塞和便于除垢来减少操作事故。在广泛的范围内将向大型化发展。

各种新型高效的紧凑式换热器的应用范围将进一步扩大。在压力、温度、流量允许范围内，特别是有化学腐蚀而须用贵重材料制作的场合下，紧凑式换热器将进一步取代管式换热器。

在广阔的领域内，特别是在高温、高压和大型化的场合下，管式（尤其是管壳式）换热器将继续获得发展。在炼油与化工厂中，管壳式换热器仍将是基本的换热设备之一。在高压条件下如合成氨中的高压气体冷却，原用的套管式结构将日益缩小其应用，而代之以管壳式结构。制造工艺的改进将继续置于重要地位。

板式换热器进一步发展的重点，是改进垫片材料和密封结构，改进板片的刚度设计，以便提高操作温度和使用压力，扩大使用范围。

板壳式换热器将继续扩大使用范围，发展新的制造工艺（主要是成型及焊接工艺），改进结构设计。

螺旋板换热器的压力限制仍然是个问题，但在允许压力范围之内，其应用将进一步扩大，制造特别是焊接工艺将进一步改进。

板翅式换热器今后的发展目标，主要是采用新的制造特别是钎焊工艺，扩大使用范围，采用新的材料，板束尺寸和总组合体将向大型化发展。预计在石油化学工业中将进一步得到推广。

翅片管空冷器的使用将更加广泛，用空冷代替水冷的趋势仍将继续。虽然在设计上还预料不到有多大改进，但翅片管将采用更多更新的材料，发展更多的结构形式，制造工艺将继续获得改进。

由于工业用热的日益增长和出于经济性的考虑，热量回收将更加引起重视。一些“板式”表面的换热器，将在热回收领域内继续扩大使用范围。新型结构的各种交流换热器（蓄热器）将获得发展，特别是旋转式蓄热器，但密封问题有待进一步解决。

各种新型材料换热器将进一步得到发展，并将继续扩大新的材料范围。为了节约贵重材料，各种新工艺、新技术如复合、衬里及表面处理等技术将作为重要课题加以研究和发展。

在提高传热效率、缩小空间和节约材料等方面，还将继续探讨新的途径，各种新型换热器将继续获得发展。新近出现的“热管”，将获得广泛研究，以便探索在化工与石油工业中具体应用的可能性及其使用场合。

在换热器制造中，专业化生产的趋势仍将继续。加工中向“多轴化”及“数字控制化”（NC化）发展。采用新技术、新工艺、新材料，提高机械化、自动化水平，提高劳动生产率，降低制造成本仍将是基本的发展目标〔1、2、4、5、7、13、14、72、84〕。

二、管壳式换热器

管壳式换热器是典型的换热设备，它在工业上的应用有悠久的历史。目前，这种设备被当作一种传统的标准设备，仍在很多工业部门中被大量使用。尤其在化工、石油和石油化学工业中，管壳式换热器在所有换热设备中仍占据着主导地位。从一些国家生产的总的换热设备中管式换热器所占的比重也可看到这种情况。表 2—1 列出了日本近五年来管式换热器的总产量及其在整个换热设备中的比例。不难看出，管式换热器所占的平均比重，按台数算为 32.9%，按重量算为 52.7%，按产值算则为 53.9% [21、44、6、49、94、95]。

一般说来，管壳式换热器易于制造，生产成本较低，选用的材料范围广，换热表面的清洗比较方便，适应性强，处理能力大，高温、高压场合下亦能应用。正由于它具有这些特性，尤其是能承受高温、高压，所以它能在近代出现的各种新型、高效和紧凑换热器的竞相发展中，得以继续存在。无疑，就传热效率、结构的紧凑性以及单位换热面积的金属消耗量等方面而论，它确实无法同各种类型的“板式”换热器相比。但近代的一些化学工艺过程却要求在高温、高压下进行。显然，在这种条件下，从受力的观点看，“管式”构件比“板式”构件有利得多。因此，国外目前在加迅研究和发 展各种新型换热器的同时，仍在大量生产和使用管式换热器。换热设备朝“板式”结构发展的趋势，并不意味着在可见的将来能够完全以“板式”结构取代“管式”结构。预料在今后若干年内，管壳式换热器仍将是化工、炼油和石油化学工厂中重要的换热设备之一。并且是高温、高压和大型换热器的主要形式。

管壳式换热器在长期的使用中，不断得到改进，其结构目前已近于比较完善的地步。

表 2—1 日本管式换热器的产量及产值

	数 量		产 量		产 值	
	台 数	占全部换热器的比例，%	吨	占全部换热器的比例，%	百 万	占全部换热器的比例，%
1965年	2,851	29	12,389	42.2	4,819	43.6
1966年	3,131	29.5	15,364	55	6,130	56
1967年	7,556	41.6	38,149	60.9	13,025	61.6
1968年	6,313	31.6	39,170	54.4	16,717	57.1
1969年	6,796	32.8	37,614	50.8	17,247	51.1

(一) 傳热結構的改进

管壳式换热器在结构设计上近几年来虽然没有多大变化,但对“管式表面”的传热机理及强化传热的各种途径进行了许多探讨。这些研究工作虽然有些尚处于试验阶段,但有的已开始在某些工业领域获得采用。有些新型结构,是为某些特定条件而研制的,因此不具有广泛意义;也有些新型结构,从传热效率上看很高,但难于制造,缺乏更大的实际价值。

换热器的其它机械设计和总体布置上近来有某些改进,比较成功的改进,大部分反映在美国TEMA标准1968年第五版里。但还有一些改进设计,限于满足某些特定场合或由于制造上的考虑,未获得大量推广。

由于设备大型化的需要,不仅换热器壳体直径在加大,而且管子长度也在随之增加。但与此同时,却有人提出短管子换热器,他们认为采用短管,能够产生持续不断的湍流,使换热面上的流体界面层变薄,甚至可以阻止界面层的形成,从而提高传热效率。按照这种理论而设计的EHE型(EHE公司)换热器(见图2-1),据报导达到了很高的传热效率。在同样操作条件下比普通管壳式换热器的传热系数高5—6倍。使用清洁介质时,总传热系数达7320—9760千卡/米²·小时·℃。这种换热器结构很紧凑,可以安装在管线上而不需另加支撑。这种换热器据称是用特殊工艺制造的,其内部结构尚不清楚[2、42]。



图2-1 短管子换热器

为了减少流体在管间的短路,国外有人设计了所谓“无间隙”换热器,即折流板与壳体之间和折流板孔与管子之间“无间隙”。这种改进由于避免了液体短路,从而提高了传热效率。但它制造困难,例如对壳体尺寸和几何形状公差要求高,折流板钻孔必须仔细,穿管困难,而且对于浮头式或U形管式结构来说,当其运行后进行清洗时,由于锈蚀或堵塞,管束难以拉出。尽管避免折流板孔与管子间存在间隙,从机械结构上讲,由于消除了管子的振动,因而避免了管子的磨损和弯曲;但从传热学的观点看,国外也有人认为这对提高传热效率并无好处。因为该处存在的微小间隙,能使局部传热产生强化[1、7]。这种“无间隙”换热器,国外未见大量推广。

在提高管壳式换热器的紧凑性方面,采用了小管径和实行密集布管。例如有的管径小到10毫米,在深冷装置中甚小到 $\Phi 5-7.5$ 毫米[7]。据报导,美国“杜邦”化学公司和“Union Carbide”公司采用了小管径小节距的紧凑结构[72]。这种结构在深冷和空分装置上获得了使用。采用小节距布管的典型例子,是如图2-2所示的瑞典“Alfa-Laval/Rosenblad”公司的CHE密集管换热器。其技术性能为:

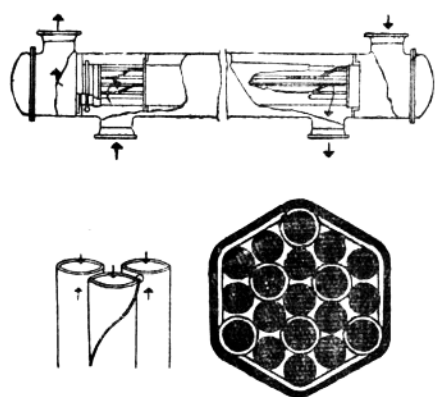


图2-2 密集管换热器

最高工作温度：800℃；
最高工作压力：100公斤/厘米²；
最大换热面积：1000米²/台；
最大处理量：5000米³/小时；
传热系数：1500~3000仟卡/米²·小时·℃。

这种换热器是全焊结构的，其主要特点是管子小，排列密，没有折流板。在每三根管子中有一根管子的外面缠有螺旋形金属丝，其直径正好等于管子外壁间的间距。螺旋金属丝既起支承管子的作用，又起流体的导流作用。管子与管板孔之间放有一个短套。它的壁厚与管壁厚一致，三者焊接在一起。据介绍这种结构有助于降低焊接应力。当由于管子

损坏而需更换时，用钻头将管头与短套一起钻掉。管板一端直接焊在壳体上，另一端带有膨胀节。由于管间纵向流动限制很严格，所以不会有“死区”，也不易结垢。它比较适用于高温高压下操作，可供高压水加热、冷凝、蒸发、腐蚀性和放射性介质的换热〔6、13、69、83〕。这种换热器是该公司所制换热器中的所谓四大“名牌”产品之一，但它远不如其余的三个产品即板式、螺旋板式和板壳（拉默）式换热器那样在国外畅销。

在改进管子传热面的结构方面，通常的途径是努力增大传热面和设置各种湍流机构从而促使流体的强烈湍动。在这方面的研制工作取得了不少成效。有些已经得到比较广泛的采用，例如各种翅片管换热器。归结起来，大致有以下几种类型。

1、翅片管

用翅片来扩大管子表面积和促进介质的湍流，从而提高传热效率，这是人们在改进管式传热面进程中最早也最成功的发现之一。到目前，这一方法仍是所有各种管子传热强化方法中运用最广泛的一种。翅片管的种类和形式十分繁多，使用的材料相当广泛，制造工艺也各种各样。翅片用在那些管内外介质的给热系数相差很大的条件下特别有利，在气体换热中用它来弥补气体给热系数小的弱点也很有效。翅片管换热器在化工、炼油及石油化工中应用非常广泛，特别是由于使用气体介质的趋向在日益增加，所以翅片管更加引起了人们的注意。

2、多孔物质。

利用细小的金属颗粒涂敷于管子表面或者填充于管间，借以扩大传热面积。这种方法同样也被用在某些“板状”换热面的换热器中。尽管这种多孔物质换热器使用实例报导尚少，但近年来发展较快，一个美国公司经过实践证明这种结构的传热是很有效的。并且有若干公司正式生产这种产品。这种换热器非常紧凑，在同样传热系数情况下比普通管壳式结构体积小4~5倍。目前，许多外国公司都竞相提出制造这种换热器的专利。

有一种结构是在管子外面烧结很薄的一层多孔金属物质。其厚度为0.1—1.0毫米, 孔径直径1—150微米。美国“Universal Oil Products”公司生产的一种名叫“Koro-tex”的传热管即为这种结构的实例。根据实验, 一个大气压的水在5.5℃过热温度下沸腾, 其给热系数高达48820千卡/米²·小时·℃。而在同样试验条件下, 光管的给热系数仅为2930千卡/米²·小时·℃, 这说明具有这种结构的多孔物质传热管的给热系数大约为普通光管的16—17倍。如果不发生污染, 这种管子将可大大缩小换热器的体积。

另一种结构是在整个管间都填充以细小的金属颗粒, 并且利用冶金连接法(常用的是钎焊)使这些颗粒间以及颗粒与管壁间结合在一起。图2—3表示它的传热状态。颗粒间的细小间隙作为管外的流道, 传热效率很高, 但流体阻力也相应地有某些增加。“Oil Mathieson”化学公司用“Por-obond”材料制成填充颗粒物, 现已正式投入生产。据介绍它比通常的管壳式换热器传热系数高4—5倍[1、2、11]。

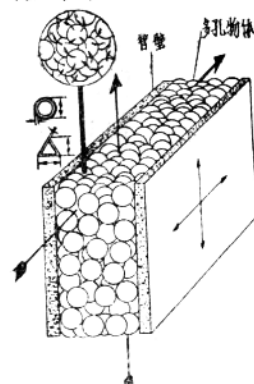


图2-3 多孔物质的传热状况

3、内插物

早在50年代初美国便有人提出在管内采用**插入物**以强化管内传热的方法[7]。现在, 根据这种原理而设计的管壳式换热器已在某些场合下获得工业应用。例如在某些油的冷却中, 工艺设计要求油流经管内, 采用这种内插物自然是比较合适的[1]。在竖直安装的管式冷凝器中, 由于螺旋形插入物的存在限制着冷凝液膜的增厚, 因而强化了冷凝给热[12]。在气—气换热或其它低给热系数场合下, 管内插入物与管外翅片联合使用是合理的, 图2—4即为这种实例[7、85]。

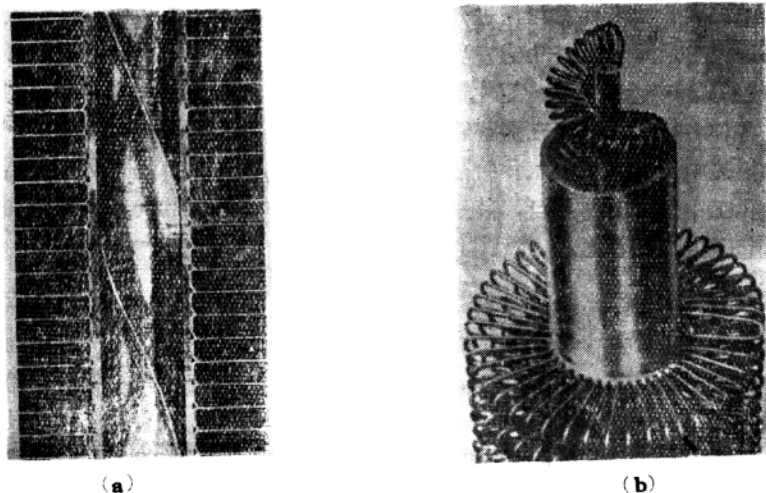


图2-4 内插物与外翅片联合使用