

TQ051.5

8714

换热器

15

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

石油化工设备设计参考资料

换 热 器

• 74-40-IV-1 •

出 版：上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组
(上海南京西路 1856 号)

印 刷：上 海 商 务 印 刷 厂

日 期：1974 年 8 月

工本费：1.50 元

内部资料 注意保存



毛主席语录

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

前 言

管壳式换热器是石油、化工部门广泛应用的化工单元设备。管壳式换热器的结构、计算、制造一直为化工设备设计、制造与使用部门所重视。为此,我们以日本化学工程协会所编的工艺过程机器构造设计丛书“热交换器”一书为主,并收集了近年来有关国外文献、资料,翻译、整编了这本石油化工设备设计参考资料——“换热器”,供参考使用。

本册以上述“热交换器”一书为正文,其余几篇译文及编译文章作附录列在正文之后。“热交换器”一书及“高压管壳式换热器管箱的结构”一文由甘建衡同志承译,“国外管壳式换热器制造工艺”由北京金属结构厂编译,“管子和管板的焊接”由北京石油化工总厂机修厂承译,“膨胀节计算”由上海化工设计院承译,本组作了技术校对。

由于我们水平所限,错误之处望请批评指正。

本书的出版过程承上海高桥化工厂大力协助,一并于此致谢。

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

1974.8.

目 录

1. 换热器的种类和材料	1
1.1 换热器的种类	1
1.2 换热器的材料	4
2. 换热器的结构设计(I)	8
2.1 多管圆筒形换热器的各种结构	8
2.2 各部分结构设计	9
2.3 特殊结构的设计	24
2.4 各部分强度设计	24
3. 换热器的结构设计(II)	47
3.1 接管	47
3.2 支座	50
3.3 膨胀节	56
4. 换热器的制造	60
4.1 圆筒形本体的制造	60
4.2 管束的制造	72
4.3 本体壳子和管束的组装	87
4.4 液压及气压试验	87
4.5 大型化的问题	90
5. 换热器的检查	91
5.1 焊接检查	91
5.2 焊缝的检查和非破坏检查	92
5.3 应力消除检查	93
5.4 尺寸检查	93
5.5 液压试验与气压试验	94
6. 换热器类的维护与修理	97
6.1 换热器的腐蚀、故障及其防止方法	97
6.2 换热器的修理和检查	98
6.3 组装、试验、起动、停车方法	99
6.4 运行中的检查	101
附录 1. 膨胀节计算	102
附录 2. 高压管壳式换热器管箱的结构	116
附录 3. 管子和管板的焊接	128
附录 4. 国外管壳式换热器制造工艺	134

1. 换热器的种类和材料

1.1 换热器的种类

换热器在炼油、石油化学工业及其他一般化学工业中都广泛地使用着，其用途是很多的，例如冷却、冷凝、加热、蒸发和废热回收等。还由于使用条件（包括容量、压力、温度等）涉及的范围广泛，按照要求有多种多样的形式、结构。现就具有代表性的几种换热器述其特征。

1.1.1 多管圆筒形换热器

多管圆筒形换热器在化学装置上最广泛使用着。无论低压到高压，不管低温、高温，在材料容许使用范围内用于加热、冷却和蒸发、冷凝的一切适宜的用途上，可靠程度高，效率也良好。一般将传热管水平横置使用。受到安装面积的限制时，进行蒸发操作时，其他将传热管直立对性能上有利时，以竖置使用。如图 1.1 所示，将许多传热管在管板上用胀管或焊接方法固定了的管束，插入圆筒容器内。按管板和壳体及其配合部分的形式可分为固定管板式、浮头式、U 形管式。

a. 固定管板式 两端管板用焊接或其他方法固定于壳体，传热管用胀管、焊接等方法装于固定管板上组合成固定管板换热器。由于壳侧不能清洗，如将肮脏的介质或有腐蚀性的介质流过壳侧是不适宜的。固定管板式在多管圆筒形换热器中是最简单的形式。由于造价低，壳侧流过清洁介质时是有利的。壳侧与管侧两介质的温差 100°C 以上时；或者温差不大，而壳体和传热管的材料不同，但由于壳体与管子的热膨胀之差大的情况下，在壳体上需设膨胀节。

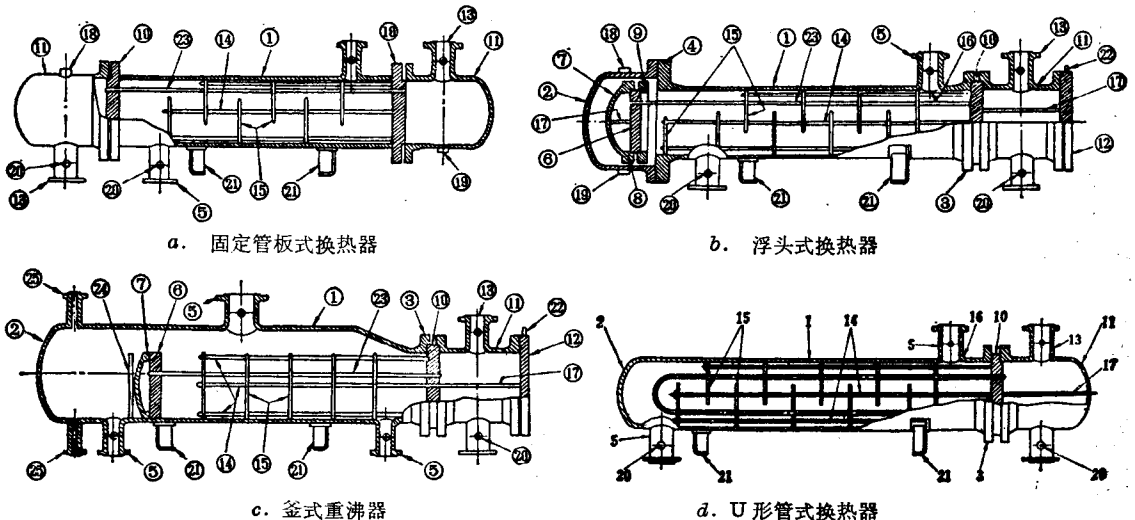


图 1.1 多管圆筒形换热器的结构

1—壳体 2—壳盖 3—管箱侧壳体法兰 4—壳盖侧壳体法兰 5—壳体侧接管 6—浮头管板 7—浮头盖
8—浮头法兰 9—浮头勾圈法兰 10—固定管板 11—管箱 12—管箱盖 13—管箱侧接管 14—拉杆与定距管
15—折流板与支持板 16—缓冲板 17—隔板 18—放气接口 19—排放口 20—仪表接口 21—鞍式支座
22—吊耳 23—传热管 24—堰板 25—液面计接口

b. 浮头式 传热管用胀管或焊接固定于固定管板与浮头管板上。壳体和管束对热膨胀是自由的,管束可容易地插入或拔出。肮脏的介质于管侧流过,若两介质都是同样易脏的介质,则压力高者于管侧流过。这样管侧容易清洗;管侧流过高压介质造价可降低;此外腐蚀性介质也在管侧流动。这种形式换热器对设计条件及运行条件通融性大,但有结构复杂、成本高的缺点。

c. U形管式 这是将传热管弯成U形,管端装于管板上的换热器。由于壳体与管子分开,对热膨胀可不考虑。仅有一个管板,且无浮头,结构简单,故造价可便宜。虽然壳体清洗时管束容易拔出,但管内是U形管清洗困难。所以管侧介质必须是清洁的介质。因传热管的结构,管子的更换除外侧外,内部一部分不可能更换。通常U形管的最小弯曲半径为传热管外径的2倍。由于一般弯管后管壁不可避免会减薄,所以有直管段必须使用厚的传热管的缺点。

1.1.2 套管式换热器

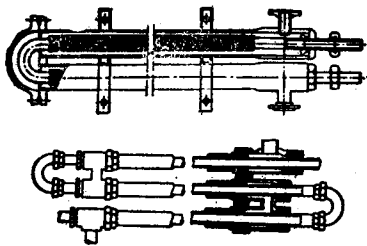


图 1.2 套管式换热器

这是把传热管以同心圆状插入外管中,在传热管内及传热管与外管的环形空腔内分别流入介质进行热交换的换热器。其结构比较简单,造价也比较低,若增加传热面积,能够直列或并列同一尺寸的双套管,组合容易。但传热面积增加较大时,比同样传热面积的多管式换热器所需空间容积大,造价因而增加。小于20米²传热面积的换热器广泛使用。为了使内管与外管容易清洗,多用填料接头以便于拆卸的结构。但这样的接头因热膨胀、振动等原因,壳侧介质容易从接头泄漏,所以壳侧流过冷却水一类无危害的介质或低压介质

较好。此外还有由U形传热管和管状壳体及壳盖构成,传热管由于温度原因能够自由伸缩,内管能够拔出的双套管发针形换热器。为了增大传热效果,在传热管外加翅片。

1.1.3 单管式换热器

传热管用直管和弯头组合成蛇管状,装配成喇叭形冷却器;或者横放于水槽底板上成槽式换热器;把传热管盘成螺旋状插入容器内,形成盘管换热器等。

这些结构传热管内多数流过高温、高压或腐蚀性的介质。对有泄漏之虞的情况,应注意传热管的连接方法。管材可选用钢管、铸铁管、铜管等金属管;或者选用玻璃管、陶瓷管、不透性石墨管、合成树脂管等非金属管。

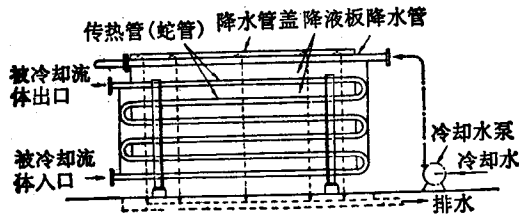


图 1.3 喇叭形冷却器

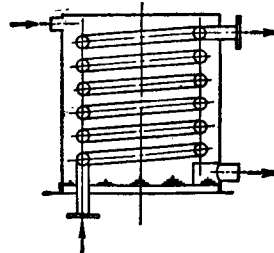


图 1.4 盘管换热器

a. 喇叭形冷却器是将冷却介质在水平传热管上滴下来冷却管内介质的冷却器。用直管和弯头组成的简单结构,重迭几段可增加传热面积。管内介质泄漏的可能性少,如果泄漏

也容易知道,所以适宜于高压、腐蚀性介质(例如浓硫酸)的冷却用。自古以来各种工业广泛使用着。

b. 槽式加热器 是将传热管水平置于重油等粘度高的液体贮槽底板上,加热介质流于管内构成加热贮槽内介质的换热器。加热介质一般用蒸汽。

c. 盘管换热器 是将传热管盘成螺旋状放于圆筒容器内,构成传热管内的介质和容器内的介质进行热交换的换热器。一般传热管内流过高温高压介质,但由于传热管内清洗困难,希望流过清洁的介质。这种形式的换热器主要有特别目的,不做为热交换手段时一般不叫换热器。

1.1.4 空冷式换热器

这是用空气代替冷却水作为冷却介质,强迫空气通过传热管外面的翅片以冷却管内介质构成的换热器。但空气传热系数非常小,一般在传热管外面使用圆筒形翅状付管。空冷式换热器有两种,一种是强制通风式,一种是抽风式。空冷式换热器因不需要冷却水(不必担心确保水源),最近应用激增。但是必须设置面积大,使造价增高,而且管束泄漏的发现和传热管更换困难。这都是空冷式存在的缺点。

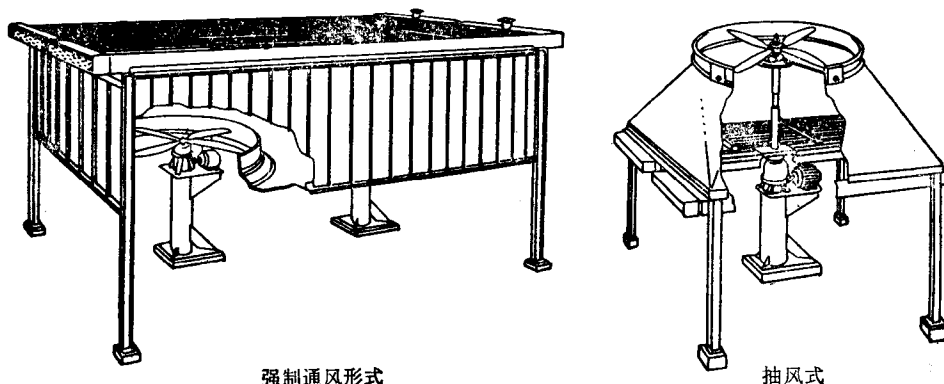


图 1.5 空冷式换热器

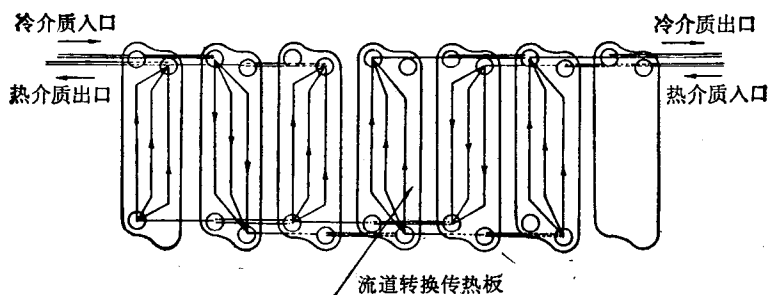


图 1.6 板式换热器

1.1.5 特殊换热器

a. 板式换热器 这是将考虑流通及强度而压制凹凸形的传热板重迭,介质交错流过构成的换热器。传热板完全能够拆卸清洗,维修容易,通过增减传热板能够调节容量。传热板之间相接触处用橡皮或合成树脂作垫片,故不适用于高温或高压环境。多数用于液体同液体的热交换。最高使用压力约 5 公斤/厘米²,最高使用温度约 150°C。

如果不用垫片,采用焊接或粘成一个整体的结构,温度极限可以增高,但传热面不能够清洗,不能用于腐蚀性或肮脏的介质。

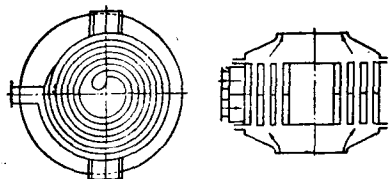


图 1.7 螺旋板式换热器

b. 螺旋板式换热器 这是把带状的 2 块板加工成螺旋状形成两种介质通过的换热器。这种换热器结构上对热膨胀不必考虑,介质流动均一,压降小,传热系数大,传热面积小。但通常是焊接结构,清洗或修补困难。通常使用到压力 20 公斤/厘米²。

c. 夹套式换热器 这是将圆筒形容器插入大一圈的圆筒容器内,在其环状部分流过加热或冷却的介质,内筒的筒壁作为传热面构成的换热器。环形空腔称为夹套。传热面积受到圆筒容器的尺寸限制,传热系数比较低。仅以热交换为目的用途不适宜,但因为结构简单、制造容易、造价低,以对内部介质保温用较合适。若内部安装搅拌机强制对流可改善热交换效率。可是夹套内清洗困难,仅宜使用清洁的介质。

d. 非金属换热器 对腐蚀性特别强的介质加热、冷却用耐蚀性强的物质,如不透性石墨块和管箱构成的换热器,或不透性石墨制成多管圆筒形换热器。其他如聚四氟乙烯制成的多管式换热器也已见发表。

1.2 换热器的材料

1.2.1 换热器用材料

换热器用材料必须按照使用介质的压力、温度和物理、化学性能选择合适的材料。大致可分为金属材料和非金属材料,而金属材料则又可分为黑色金属和有色金属。

(1) 黑色金属

a. 碳钢价格低,强度较高, 350°C 以下的高温强度大致同常温一样,对碱性介质的化学腐蚀比较稳定,对酸很容易被腐蚀,在无耐蚀性要求的环境中应用是合理的。含 C > 0.35% 焊接性能不好,换热器用的大部分碳钢含 C < 0.30%。按除氧的程度又可分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢。

i) 以 SS41 为代表的一般结构用轧制钢材(JISG3101:SS),因为是沸腾钢所以容易产生偏析,有焊接裂纹产生的可能性。SS41 级以下的,除非板厚小于 40~50 毫米,否则就有上述问题。低于室温时因低温脆性而脆化,350°C 以上比镇静钢蠕变强度低,广泛用于 350°C 以下的低压换热器。

ii) 以 SM 41 A、B、C 代表的焊接结构用轧制钢材(JISG 3106:SM),原来的半镇静钢有偏析和低温脆性,经改良后焊接性能特别好。B、C 两种不进行缺口韧性冲击试验亦能保证低温韧性,B 种大概在 0°C, C 种直到 -10°C ~ -20°C 一般均能使用。

iii) 以 SB42 代表的锅炉用轧制钢材(JISG3103:SB)是镇静钢,完全无偏析,可焊性、高温强度最好,可靠性大。所以用于 450°C 以下的高压换热器。但是 SB 钢材是从高温强度着眼的,用硅除氧调整为中等程度的晶粒,对低温脆性比 SM 钢材差,在室温以下使用时,指定用铝镇静细晶粒钢是必须十分注意的。

iv) 以 STB35 代表的锅炉换热器用炭钢钢管(JISG3461:STB)广泛用于传热管。压力管道用炭钢钢管(JISG3454:STPG),管道用炭钢钢管(JISG3 452:SGP)用作壳体材料

和接管材料。

b. 低合金钢 碳钢中加少量 Cr、Mo 等增加高温强度，并作为耐蚀钢于高温高压的氢介质环境中使用。

i) C-0.5Mo 钢高温长期使用容易石墨化，在较高温度时用 Cr-Mo 钢较好。要求抗蠕变在温度 400~480℃ 使用的钢材用 C-0.5Mo 合金钢，由于合金元素比较少，焊接性良好，预热温度 100~200℃。

ii) Cr-Mo 钢 添加 Cr 提高蠕变强度是有效的，同时提高抗氧化性能。在 450~600℃ 使用的钢材要求抗蠕变、耐热、耐腐蚀，可用 1Cr~0.5Mo 钢、1.25Cr-0.5Mo 钢、2.25Cr-1Mo 钢、5Cr-0.5Mo 钢等。由于焊接热影响区焊接金属有淬硬性，因而有产生裂纹的危险，所以必须 150~350℃ 预热。

(2) 不锈钢

a. 马氏体系不锈钢 以 13% Cr 钢为代表，对铁离子、亚硫酸气体、硫化氢、环烷酸均耐蚀。马氏体组织由于热处理有淬硬性，焊接时由于热影响产生变形应力容易开裂，一般必须在 200~400℃ 预热，焊后 700~800℃ 热处理。

b. 铁素体系不锈钢 含 Cr 15% 以上对氧化性酸耐蚀性优越，一般是铁素体组织，焊接、淬火等无淬硬性，在低温下韧性小，厚板焊接容易脆裂，必须在 70~100℃ 预热，并有 475℃ 脆性，要特别注意。在 13Cr 中添加 0.1~0.3% Al 成铁素体组织，无焊接淬硬性。含 Cr 量越少 475℃ 脆性越少，可使用于 550℃ 焊接结构。

c. 奥氏体系不锈钢 以 18Cr-8Ni 为代表，有稳定的奥氏体组织，一般耐蚀性极好，最广泛地使用着。JIS 标准对不锈钢板、钢棒、钢带、锅炉换热器用合金钢钢管都有规定。

i) 高温强度 奥氏体不锈钢与铁素体不锈钢相比，于 650℃ 以上抗蠕变强度更好。添加了 Mo、Nb、Ti 等元素的 SUS32、SUS43、SUS29 蠕变强度更高，650℃ 左右蠕变强度以 SUS32、SUS43 最强，SUS29 稍差，对 800℃ 以上温度 SUS42 最强，SUS41 稍差。

ii) 耐蚀性 对奥氏体不锈钢的腐蚀有均匀腐蚀、晶间腐蚀、点腐蚀。均匀腐蚀是同液体和气体接触时受到的全面腐蚀，对稀硫酸、醋酸之类的还原酸耐蚀性很差。晶间腐蚀是加工及使用中，在 500~850℃，特别在 650~700℃ 时晶间有 Cr 的碳化物析出，从晶间腐蚀脆化。受到热加工或焊接等的热影响时容易产生。为了消除晶间腐蚀，由 1050℃ 高温急冷把碳化物在奥氏体中固溶化；或者使用含炭量低的 SUS28、SUS33；或使用添加 Nb、Ti 的 SUS43、SUS29。应力腐蚀裂纹多数是在含氯化物和碱性等溶液中产生的，特别是对含氯离子的溶液，抗应力腐蚀差。奥氏体不锈钢几乎没有均匀腐蚀，晶间腐蚀是生成相互无关的贯穿结晶的小裂纹，大多发生微细裂纹，裂纹分枝大多能看出。如防止晶间腐蚀困难，则使用高 Ni 材料。

iii) σ 相析出 铁素体及奥氏体不锈钢在高温下长时间加热有 σ 相析出，其塑性和韧性都降低。 σ 相容易析出的温度由钢种而异。在 540~850℃ 长期加热引起脆化。 σ 相于铁素体中可在 930~980℃ 加热急冷，奥氏体中可在 1050~1100℃ 固溶化处理而重新固溶于结晶中。

iv) 应力消除退火 焊后应力消除退火采用固溶化处理是理想的，但构件在高温中防止变形困难，一般在 800~900℃ 进行热处理。这时是 σ 相析出温度，有 σ 相脆化的危险，所以实际上应力消除是非常困难的，对残余应力必须十分注意。

d. 低温用钢

i) 低 Ni 钢 2.5%Ni、3.5%Ni、9%Ni 钢等在 $-50\sim-196^{\circ}\text{C}$ 低温使用。这些低 Ni 钢 ASTM 中作为低温用钢材有详细规定, JIS 标准未作规定。

ii) 奥氏体系不锈钢 SUS27, SUS28 在 -273°C 使用。奥氏体系不锈钢是面心立方晶格, 不产生低温脆性。但奥氏体组织不稳定, 组织中含有铁素体时, 铁素体容易析出。铁素体变态数量多的亚稳定奥氏体组织容易产生低温脆性。而且在不稳定组织中容易析出不希望的晶间炭化物和 σ 相等。

(3) 有色金属

a. 铜及铜合金 铜在熔融金属、金属铵盐及氯离子水溶液中, 在大气、淡水、海水等或非氧化性酸的许多溶液中具有耐蚀性。卷板、挤压加工等容易, 传热非常好, 广泛用作换热器传热管等。

黄铜是含 5~40%Zn 的铜合金, 含 39%Zn、1%Sn 的海军黄铜抗海水腐蚀良好。含 29%Zn、1%Sn 的海军黄铜合金抗海水腐蚀更好。含 78%Cu、20%Zn、2%Al 的铜合金对海水、盐水耐蚀性、机械性能都良好见 p21 译注①。

铜镍合金广泛用作传热管。

青铜是含 5~25%Sn 的铜合金, 磷青铜是添加了磷的青铜, 耐酸性、弹性及耐磨损性能良好。

b. 铝及铝合金 铝在大气中容易生成透明的、致密的氧化覆盖膜, 在卤素族酸和碱性介质中耐蚀性好, 有杂质及添加金属时耐蚀性显著变化。强度低, 富有压延性, 加工也容易。结晶结构为面心立方晶格, 不必担心低温脆性, 作为低温材料优良。

c. 镍及镍合金 镍完全耐碱特别是苛性钠腐蚀, 而且耐氯气或盐酸腐蚀也良好。但是耐氧化性酸、氧化性酸式盐较差, 耐高温下的种种作用, 不耐含离子的气体腐蚀。耐腐蚀用的镍合金有蒙乃尔、海氏合金, 因康镍尔 (inconel) 等。

d. 复合钢 在低碳钢板、低合金钢板、高强度钢板等母材上复合耐蚀性的薄板而成复合板, 具有强度和耐蚀性两方面的性能, 而且高价的耐蚀材料消耗少, 因而经济。复层板材的厚度通常是 2~3 毫米, 占总厚度的 10% 或 20%。一般复合钢板以低碳钢作母材, 复合 13Cr (或 18-8) 不锈钢, 此外有蒙乃尔、海军黄铜 (复合铝板)、钛等。不锈钢复合钢板和碳钢一样能够冷加工与热加工, 可是对加热温度和焊接方法要特别注意, 同时厚的复合钢板焊接后必须应力消除退火, 这种情况下选择复合钢材要注意。

(4) 非金属

非金属材料在换热器中除了作垫片以外几乎不使用, 但是金属材料不能够使用的介质用不透性石墨制换热器。不透性石墨有优良的耐蚀性和大的导热系数, 由于膨胀小, 耐热冲击, 适于制造盐酸或硫酸等设备使用。要求有强度的及高温高压的结构不能使用。

1.2.2 材料的使用限制

按 JISB8243 非直接火压力容器规定

(1) 碳钢的使用限制

除 JISG3103 锅炉用轧制钢材的钢板, JISG3106 焊接结构用轧制钢材的钢板以及与这些有同等以上的机械性能的其他碳钢外, 超过下面压力时, 不能用于容器的壳体、封头及其他受压构件。

- (i) 最高使用压力超过 16 公斤/厘米² 的压力容器。
- (ii) 最高使用温度超过 350°C 的压力容器。
- (iii) 最高使用压力超过 10 公斤/厘米² 的壳体带纵焊缝的压力容器。
- (iv) 装入致命物质的容器。

而且碳钢含炭量 0.35% 以上者不能用作焊接结构, JISG3452 管道用碳钢钢管最高使用压力不超过 10 公斤/厘米²。

(2) 铸铁的使用限制

铸铁在下列情况不能使用。

- (i) 产生引火性及有毒性蒸汽的物质。
- (ii) 灰铸铁制品; 内部气体或液体温度超过 250°C。
- (iii) 黑色可锻铸铁及添加其他元素的高强铸铁制品; 内部气体或液体的温度超过 350°C 以及受压超过 18 公斤/厘米² (对附件 24 公斤/厘米²) 者。

(3) 铜及铜合金的使用限制。

(i) 铜; 内部气体或液体温度超过 205°C (压力表或液面计连接管、衬里或垫片除外) 不能使用。

(ii) JISH5111 “青铜铸件”的青铜铸件 3 种以内的铜合金; 内部气体或液体的温度超过 235°C 者不能使用。

(iii) JISH5111 青铜铸件的青铜铸件 3 种以外的铜合金; 内部气体或液体的温度超过 205°C 者不能使用。

(4) 铝及铝合金的使用限制

铝及铝合金; 内部气体或液体温度超过 205°C 者 (压力表或液面计连接管、衬里或垫片除外) 不能使用。

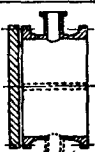
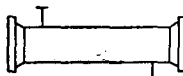
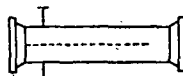
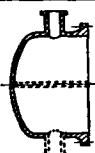
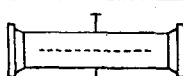
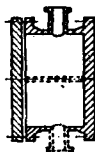
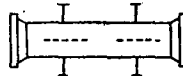
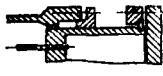
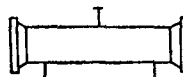
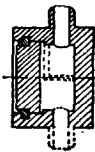
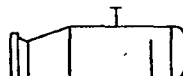
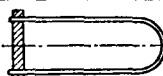
2. 换热器的结构设计(I)

换热器在石油化学装置、高分子化学装置、一般化学装置、肥料化学装置、纸浆装置等各种化学工业中广泛使用着。这些换热器正如第一章所述,按其使用目的是多种多样的,其详细结构设计难于一一叙述,现就大量使用的普遍形式多管圆筒形换热器叙述如下。

2.1 多管圆筒形换热器的各种结构

在圆筒壳体(简称壳体)内布置许多传热管,于传热管的内外面同时引入介质,这是通过传热管壁进行热交换的换热器。

表 2.1 多管圆筒形换热器的各部分结构一览表

前端固定头盖型式	壳体型式	后端头盖型式
A  管箱和可拆盖板	E  单程壳体	L  与固定头盖 A 相似
	F  具有纵向隔板的双程壳体	M  与固定头盖 B 相似
B  封头(整体端盖)	G  分流形	N  与固定头盖 C 相似
C  管与板制成一体的管箱	H  壳侧双分流形	P  外填料函式浮头
	J  无隔板分流形	S  具有沟圈法兰的浮头
D  特殊高压管箱	K  釜式重沸器	T  可抽式浮头
		U  U 形管束

按照管板和壳体的装配状态,传热管的形状和传热条件,有如图 1.1 所示的浮头形、固定管板形、U 形管形及釜式等各种结构的换热器。根据处理介质的种类、压力、温度、污垢及

其他诸条件而选定。这种形式换热器使用范围广。至今在高温高压装置中充分地经受使用。图 1.1 的各种结构是最标准的换热器,此外如表 2.1 所示有各种结构。根据造价便宜,维修检查容易等情况而选定设计、制造最合理地组合的适宜换热器。

2.1.1 浮头式换热器

如图 1.1(b) 所示,把传热管和折流板装入两侧管板的组合件叫做管束,管束的固定管板同壳体法兰固定,另一管板由于同壳体成毫无限制的结构,所以介质温度引起壳体和传热管热膨胀时能够应付,此外管束可从壳体中拔出清洗和检查。这种形式的特征如下:

- (1) 因为传热管内外都能清洗,适宜于脏的介质,所以应用范围广。
- (2) 传热管、壳体均能自由膨胀,温差大的情况下能够使用。
- (3) 从上述二项可知,这种形式适应的设计条件及运行条件通融性大,但是另一方面存在着结构复杂、造价高的缺点。

2.1.2 U 形管式换热器

如图 1.1(d) 所示,传热管和壳体没有关系,由于介质的温度变化能够自由伸缩。此外同浮头式一样,管束可以拔出清洗和检查。但是浮头式是直管,管内也容易清洗,而 U 形管管内清洗困难。这种形式的特征如下:

- (1) 对热膨胀自由。
- (2) 管束可以拔出,管子外面也能自由进行清洗。
- (3) 适宜于高压介质,高压介质流过管内,受压面积小,重量可以减轻。
- (4) 结构简单,管和壳体法兰少,制造比较简单。

2.1.3 固定管板换热器

如图 1.1(a) 所示,将管板于壳体两端用焊接和其他方法固定。由于壳侧介质和管侧介质的温度不同,传热管和壳体产生热膨胀应力,如热应力大时,必须在壳体上安装膨胀节吸收热膨胀应力。这种形式,壳侧的清洗、检查及补修困难,必须流过腐蚀性小,不易脏的介质。这种形式的特征如下:

- (1) 适用于对壳体清洁的介质,因介质温度使壳体和传热管之间的温差小,热膨胀小的结构。
- (2) 广泛用作立式管式反应器。

2.3.4 釜形换热器

如图 2.1(c) 所示,在壳体的上部设置适当的蒸发空间,同时兼有蒸汽室的作用,蒸汽室的尺寸由蒸汽的性质选择速度决定,概算时一般取大端直径为小端的 1.5~2 倍,液面高度通常比最上部管至少高 50 毫米。特征如下:

- (1) 作为废热锅炉是最简单的结构。
- (2) 为了快些取得便宜的蒸汽而广泛使用。
- (3) 管束能够作成浮头形, U 形管形,对脏的介质,压力高的介质均能适用。

2.2 各部分的结构设计

2.2.1 壳体

壳体是换热器各部分结构设计的基础。壳体内径决定相关的封头、法兰、管板尺寸,螺

栓尺寸及换热器外形尺寸,即能决定全长、全高、全宽的轮廓外形尺寸。

(1) 壳体内径

换热器壳体通常以内径表示。以传热管外径,传热管排列方法,管侧流程数等作为基准,按照传热面积,管子长度,换热器的形式(浮头形,固定管板形,U形管形)可求出壳体内径,但是所有求出的内径不是一样的,一般按表 2.2 近似取标准内径,根据此标准内径,按照管外径或传热管排列方法即可知道布置多少根管子。选择可布置所需传热管数的标准内径,此标准内径即作为壳体内径。按照壳体或管箱等即可很容易得到标准内径的封头。同时壳体内径标准化,使法兰等的标准化成为可能,设计、制造也就可能合理化。表 2.3 为传热管布置和根数的一个例子,这是从日本石油学会标准 JPI-7B-30-64“多管式换热器管子排列根数”中摘录,该标准最大壳体内径为 1100 毫米。根据表 2.2 按内径对壳体采取不同制造方法是最合理的。标准内径小于 400 毫米者可用轧制钢管制造壳体,这样可由库存品得到,限制时间的情况下短期内可得,如重新向钢管制造厂订货制造时则要相当的时间,结果使换热器制造周期拉长,以致赶不上交货日期。卷板的大直径钢管是把钢板滚卷加工而成,因是焊接圆筒壳体,本质上与焊接钢管相同,这由专门工厂制造,作为购入商品,在比较短的时间内可到手。为降低椭圆度,减小公差,焊后用适当的模具拉制成形。假如用这种卷成的大钢管作为壳体,一般比拉制钢管作壳体能更快到手。此外,卷板的壳体各换热器制造厂通常是自己制造。

表 2.2 标准壳体内径(单位:毫米)

卷 板 壳 体				使 用 钢 管 的 壳 体	
标准壳体内径	制造方法区别	标准壳体内径	制造方法区别	钢管壳体公称直径	制 造 方 法 区 别
200	卷板的大直径钢管 (外购件)	850	卷板壳体 (滚加工)	8 B(外径 216.3 毫米)	重新购入钢管或库存钢管
250		900		10 B(外径 267.4 毫米)	
300		950		12 B(外径 318.5 毫米)	
350		1000		14 B(外径 355.6 毫米)	
400		1050		16 B(外径 406.4 毫米)	
450		1100			
500		1150			
550		1200			
600		1250			
650		1300			
700	大直径钢管 或卷板壳体	1350			
750		1400			
800		1450			
		1500			

表 2.3 传热管的排列和根数

壳体内经		700		最大容许 O. T. L.		固定管板形		689.5
管子形式		外径		程数		浮头形		655
固定管板形	△	1	2	4		6		
		19.0	25.4	560 (588)	554 (554)	546 (546)	+ 536 ※(570)	
浮头形	△	638 (668)	588 (618)	140 (147)	141 (136) 136 (141)	143 (130) 130 (143)	74 (97) 97 (91)	
	△	390 (404)	350 (372)	83 (87)	78 (94) 94 (89)	81 (82) 82 (81)	44 (56) 56 (59)	
	△	566 (582)	544 (562)	131 (135)	127 (130) 130 (127)	129 (126) 126 (129)	86 (86) 86 (86)	
	□	484 (500)	474 (488)	116 (120)	112 (108) 108 (112)	104 (124) 124 (110)	76 (71) 71 (76)	
浮头形	△	336 (346)	334 (346)	77 (79)	72 (81) 81 (79)	76 (76) 76 (76)	48 (53) 53 (48)	
	△	290 (302)	290 (296)	71 (73)	68 (65) 65 (68)	73 (57) 57 (73)	42 (46) 45 (48)	
	△	336 (346)	334 (346)	77 (79)	72 (81) 81 (79)	76 (76) 76 (76)	48 (53) 53 (48)	
	□	290 (302)	290 (296)	71 (73)	68 (65) 65 (68)	73 (57) 57 (73)	42 (46) 45 (48)	

- 备注: (1) () 数字表示不考虑折流板时的根数。
 (2) * 表示各程根数相对于平均根数不均匀性在 5~10% 范围内。
 (3) + 表示各程根数相对于平均根数不均匀性大于 10%
 (4) O.T.L. 为管束的最大直径。

(2) 壳体最小壁厚

壳体应该是既考虑有关介质的腐蚀, 又能充分承受使用压力的厚度。对于承受压力的强度计算后述。压力以外的换热器的自重(运行时的介质重量也包括在内), 由于安装或管道等引起的热应力, 外部载荷等也必须预先考虑而定。表 2.4 是 TEMA 标准中规定的壳体最小必要的厚度, 一般广泛引用。此外, 换热器受到规范(例如锅炉及压力容器结构标准)限制时, 每个规范都有最小壁厚的规定, 如按腐蚀裕量和压力强度计算得出的厚度小于规定厚度时, 必须取大于规定的厚度值作为壳体的壁厚。

表 2.4 壳体的最小厚度(单位: 毫米)

壳 体 内 径		壳 体 最 小 厚 度		
		炭 钢 与 低 合 金 钢		高 合 金 钢
钢 管 壳 体	卷 板 壳 体	钢 管 壳 体	卷 板 壳 体	
8B~12B	200~300	SCH40	—	3
14B~16B	350~400	SCH30	9 (8)	4
—	450~750	—	9 (8)	5
—	800~1000	—	12 (9)	6
—	1050~1500	—	12(11)	8(6)

注 1) 这个最小厚度用于石油与石油化学工业。但是, () 内一般用于化学工业

2) 壳体的最小厚度包括 3 毫米的腐蚀裕量, 但是, 高合金钢未包括在内。

2.2.2 封头

封头用 2:1 椭圆体、球形及 10% 碟形。最好是使用 2:1 椭圆封头, 其次就是使用 10% 碟形封头。无论那种封头都有专门的工厂制造, 可在各个地方合理地订购。专门工厂中有上述壳体标准内径(但大于 400 毫米)的相同尺寸模具(冲压模形), 从价格、交货进度、质量等方面来说能够有利得到。封头的材料、直径、板厚等原因使制造困难的情况下, 设计时必须预先充分地探讨。

2.2.3 管箱

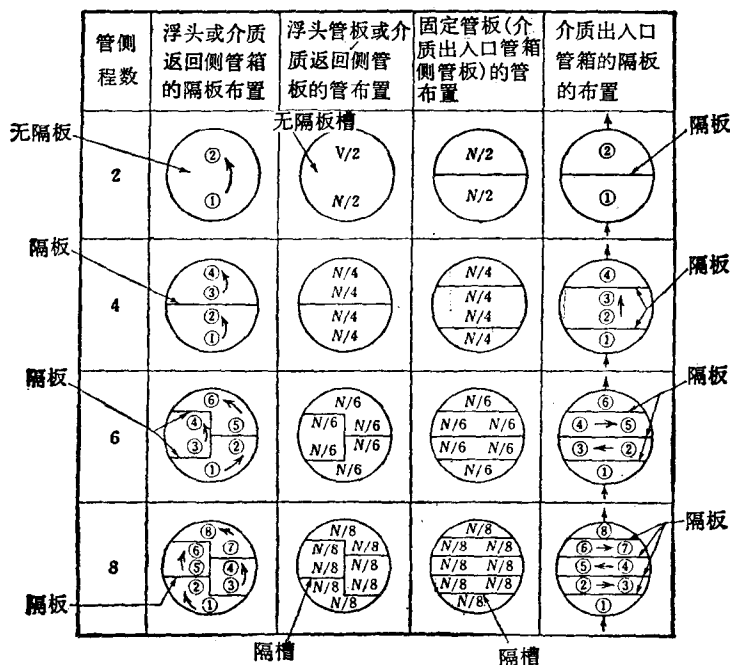


图 2.1 管侧流程数和管箱, 管板隔板和隔槽

管箱有管侧介质出入口接管, 管箱内部安装有导流隔板。隔板按照图 2.1 所示流程数决定, 板厚通常是 9~12 毫米。管箱有图 2.2 所示各种结构。结构(a)装有管箱盖板, 拆开盖板不仅可检查管内, 而且也容易进行清洗, 一般最经常使用。(b)种结构适宜于高压介质、