

81.749
LHS
2

石油化工设备设计参考资料

炼油化工设备设计基础知识(初稿)
(下 册)

炼油化工设备设计基础知识编写组

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
炼油化工设备设计基础知识(下册)

76-48-Ⅱ-14

(内部资料 注意保存)

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)

一九七六年十二月

定价:

一、概述

什么叫换热器？换热器就是进行热量交换的器具，或者说是实现热量传递的设备。比如，当我们把盛有热水的饭盒浮浸在冷水之中，不一会，热水就会凉下来。这是由于热量由热水通过饭盒的薄壁传到冷水中去的缘故。在这里，因为饭盒是实现热量传递的器具，所以，我们就可以把这时的饭盒看做是一个“换热器”。只不过这个“换热器”没有工业上应用的换热器那样复杂、参与换热的两个流体不是处于流动状态罢了。但就“实现热量传递”这个根本之点来说是完全一样的。

我们知道，在石油、化学工业生产中，常常需要把低温流体加热或者把高温流体冷却，把液体汽化成蒸气或者把蒸气冷凝成液体，这些过程均和热量的传递有着密切的关系，因而全都可以通过换热器来完成。当把换热器用于上述不同过程时，通常把它们分别叫做加热器、冷却器、汽化器和冷凝器。这里应当注意的是，随着其具体应用条件的不同，换热器的型式和结构也各不相同。因此，换热器的种类是极为繁多的，就目前常见的也不下一、二十种，并且各种新型的换热器还在不断地出现。

虽然换热器的种类很多，其型式和结构各不相同。但是，结合它们的“实现热量传递”这个共性，我们可以说，判断一台换热器好坏的标准却是相同的。这个标准是：

- (1) 换热效果高；
- (2) 流体阻力小；
- (3) 各部件足够结实，结构可靠；
- (4) 节省材料，便于制造，成本低；
- (5) 安装、维修方便；

换热器在炼油、化学工业生产中的应用是很广泛的，只要我们能够合理地设计和选用，就可以使化学反应和物理过程顺利地进行，综

合利用热量，降低产品成本，便于物料或产品的贮存和输送。为祖国的社会主义建设做出积极的贡献。

二、换热器的分类及一般适用场合

换热器的种类很多，通常可以按照制作材料的不同，分成金属换热器和非金属换热器；也可以按照传热方式的不同分成直接式、蓄热式和间壁式三大类。下面就按后一种分类方法将各类的大体结构和一般适用场合逐一加以叙述。

(一) 直接式换热器

在直接式换热器中，参与换热的气体和液体是以直接接触的方式进行换热。这类换热器只适用于参与换热的两个流体之间不相混溶，或者允许二者之间互相掺和的场合。实际上这种换热器好多就是进行物质传递的塔设备（见第五章）及一些混合冷凝器。图4-1是直接式换热器的一个例子。

(二) 蓄热式换热器

蓄热式换热器大多是用耐火砖垒砌而成。其内部用耐火砖砌成的“火格子”或者用成型填料填充。（图4-2）

在这种蓄热式换热器中，两种流体的换热是分两个阶段进行的。第一阶段，热流体通过“火格子”或成型填充物，将热量积蓄在其中。第二阶段，通入低温流体，低温流体便接受“火格子”或填充物中所积蓄的热量而被加热。从而实现冷、热两个流体之间的热量传递。

这种换热器主要是用于从高温炉气中回收热量，来予热空气或把气体加热。比如，采用大型固定层煤气炉的合成氨生产中，就常选用这种蓄热式换热器

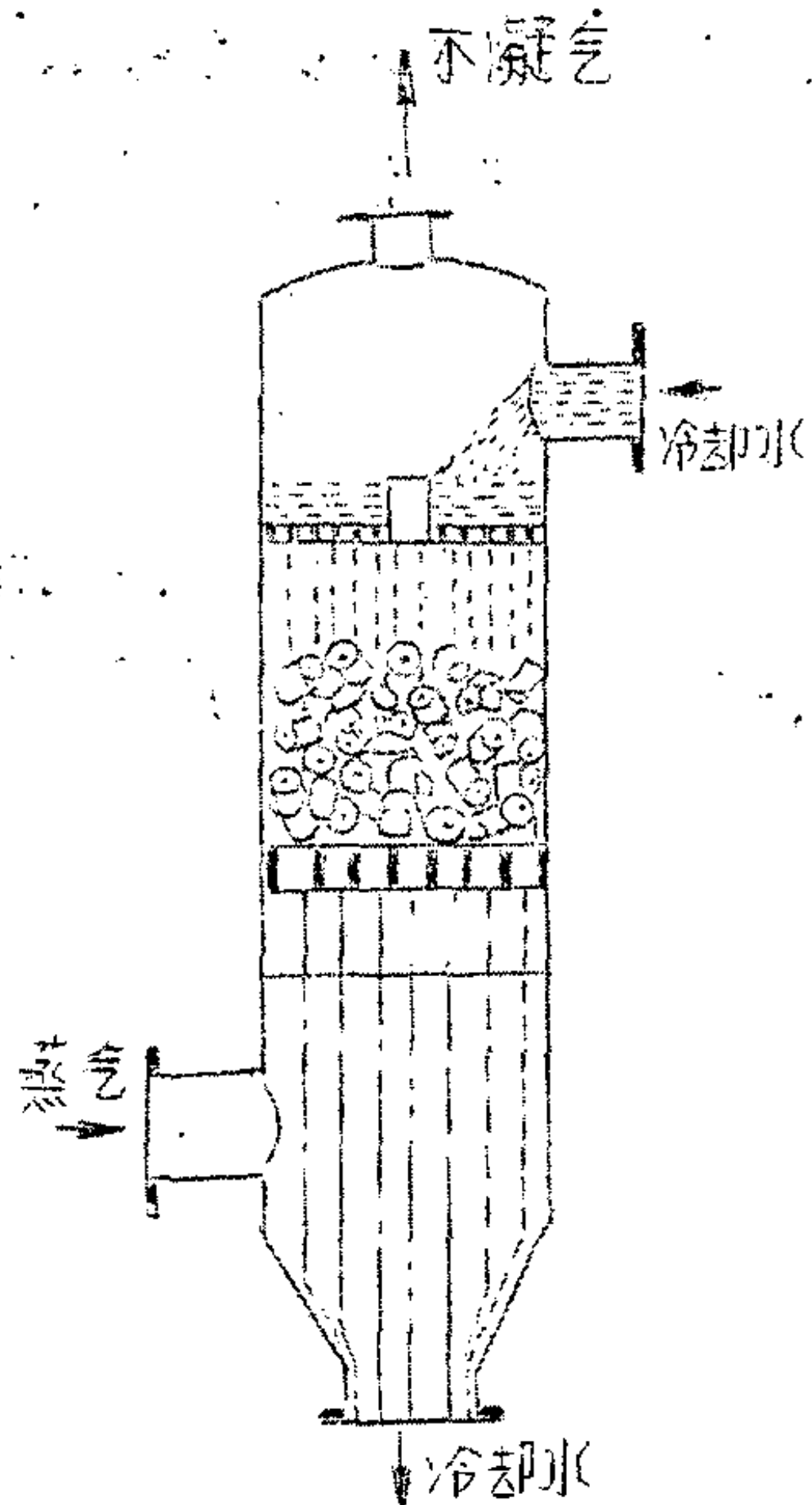


图4-1 直接式换热器
器举例—混合冷凝器

(称为燃烧室)来回收高温煤气中的热量去予热水蒸汽的。

(三) 间壁式换热器

在间壁式换热器中进行换热的两个流体彼此之间是被固体壁隔开的，二流体之间热量的传递是通过固体壁面(称为传热面)进行的。在这种换热器中进行换热的两个流体不会相混，传热过程是连续而稳定地进行。因此，它在炼油、化学工业中被广泛应用。

间壁式换热器的传热面大多采用导热性能良好的金属来制造，在某些场合由于防腐的需要，也有用作非金属(如石墨、聚四氟乙烯等)制造的。

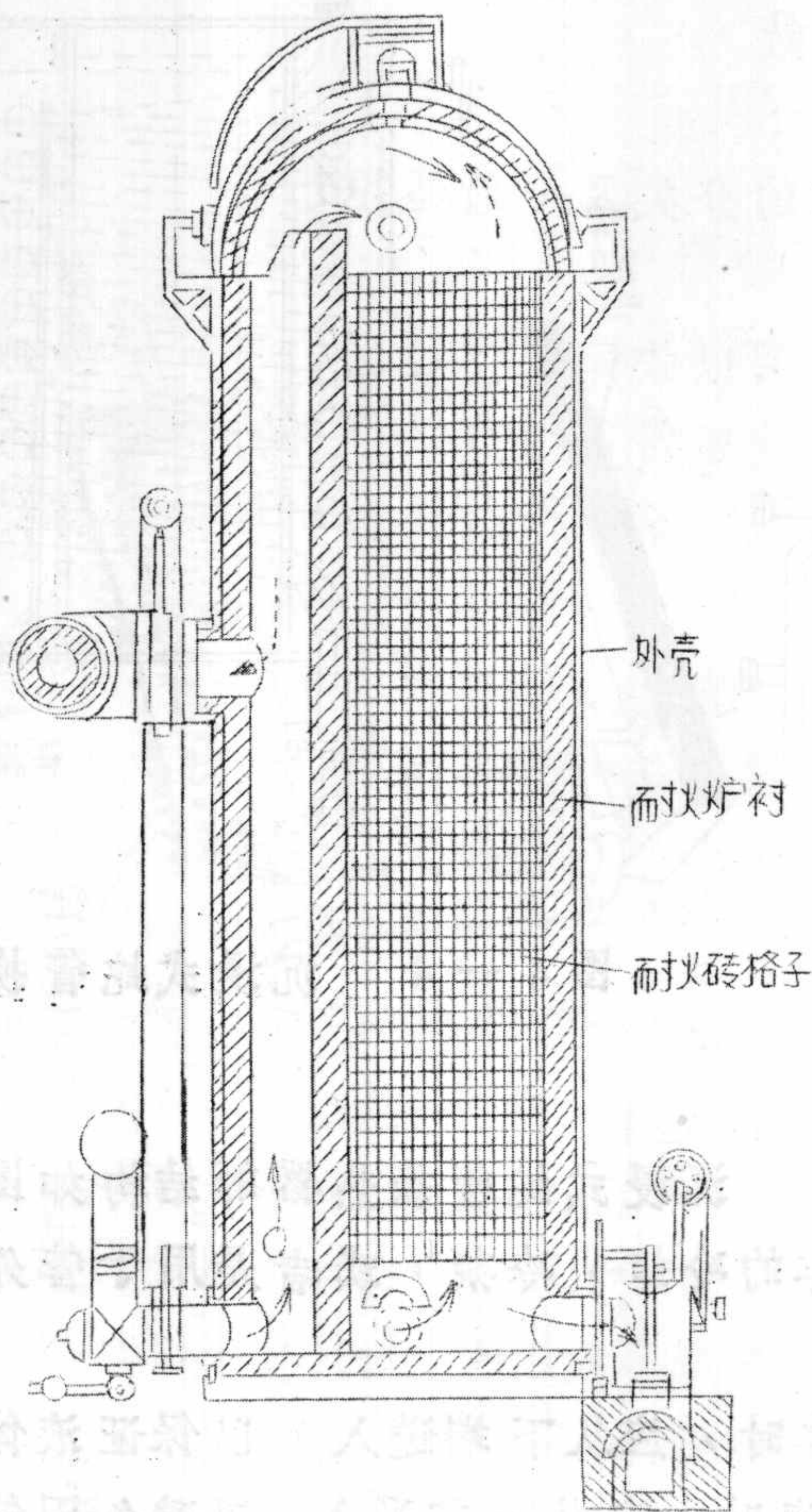


图 4—2 蓄热式换热器

间壁式换热器，根据换热面的不同，又可分为管式换热器和板式换热器。用管子作换热面的称为“管式换热器”，用板材作换热面的称为“板式换热器”。

1. 管式换热器 因为管式换热器的传热面是由管子制作而成，而管子能够承受较高的内压，所以“可用于高压流体的换热”是管式换热器的共同特点。

管式换热器包括蛇管式、套管式和列管式三种。其中，以蛇管式换热器出现最早。

(1) 蛇管式换热器 蛇管式换热器的传热面是由弯曲成蛇形的管子(称为蛇管，见图 4—3)来充当的，这种换热器又可分为沉

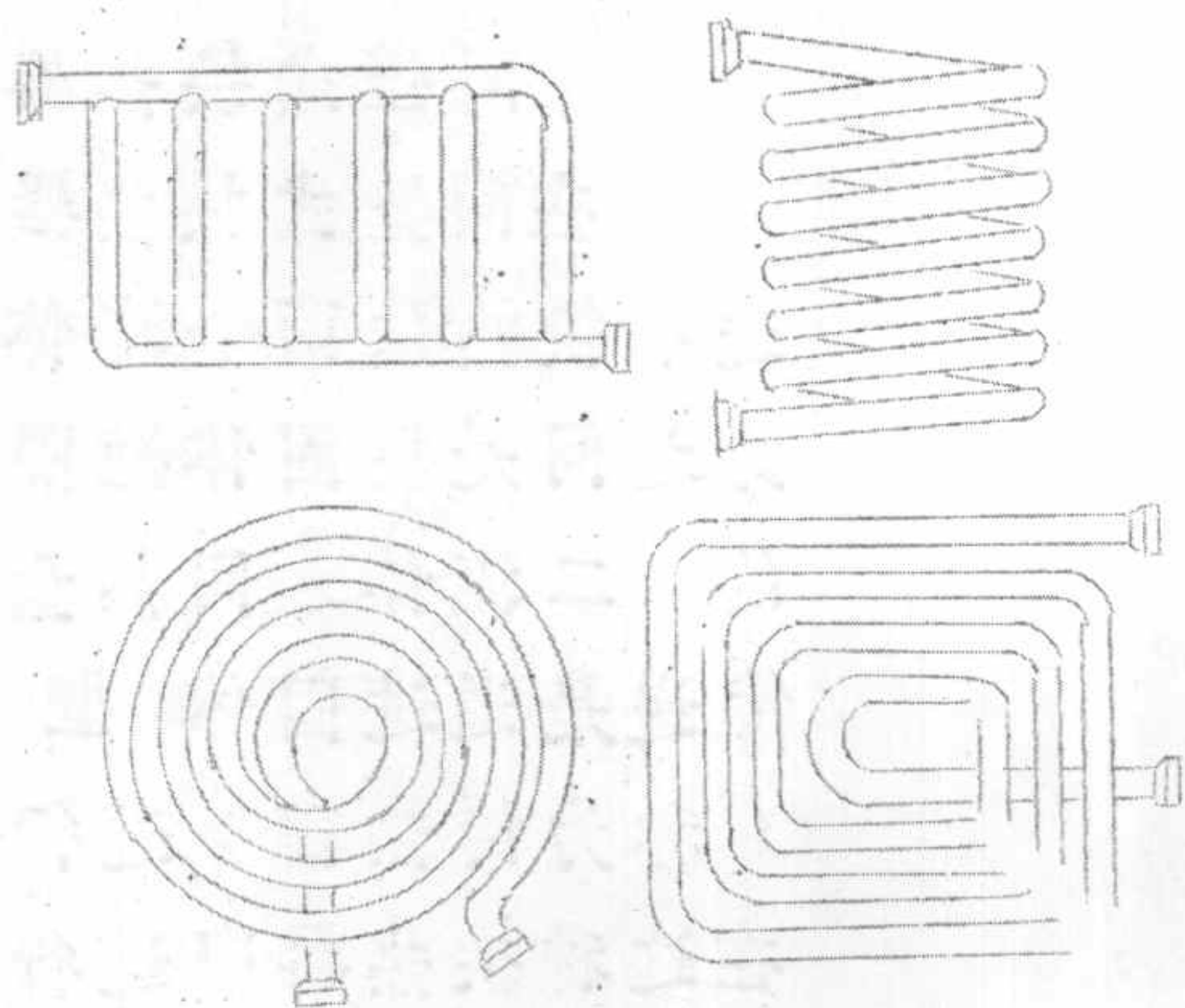


图 4 — 3 蛇 管

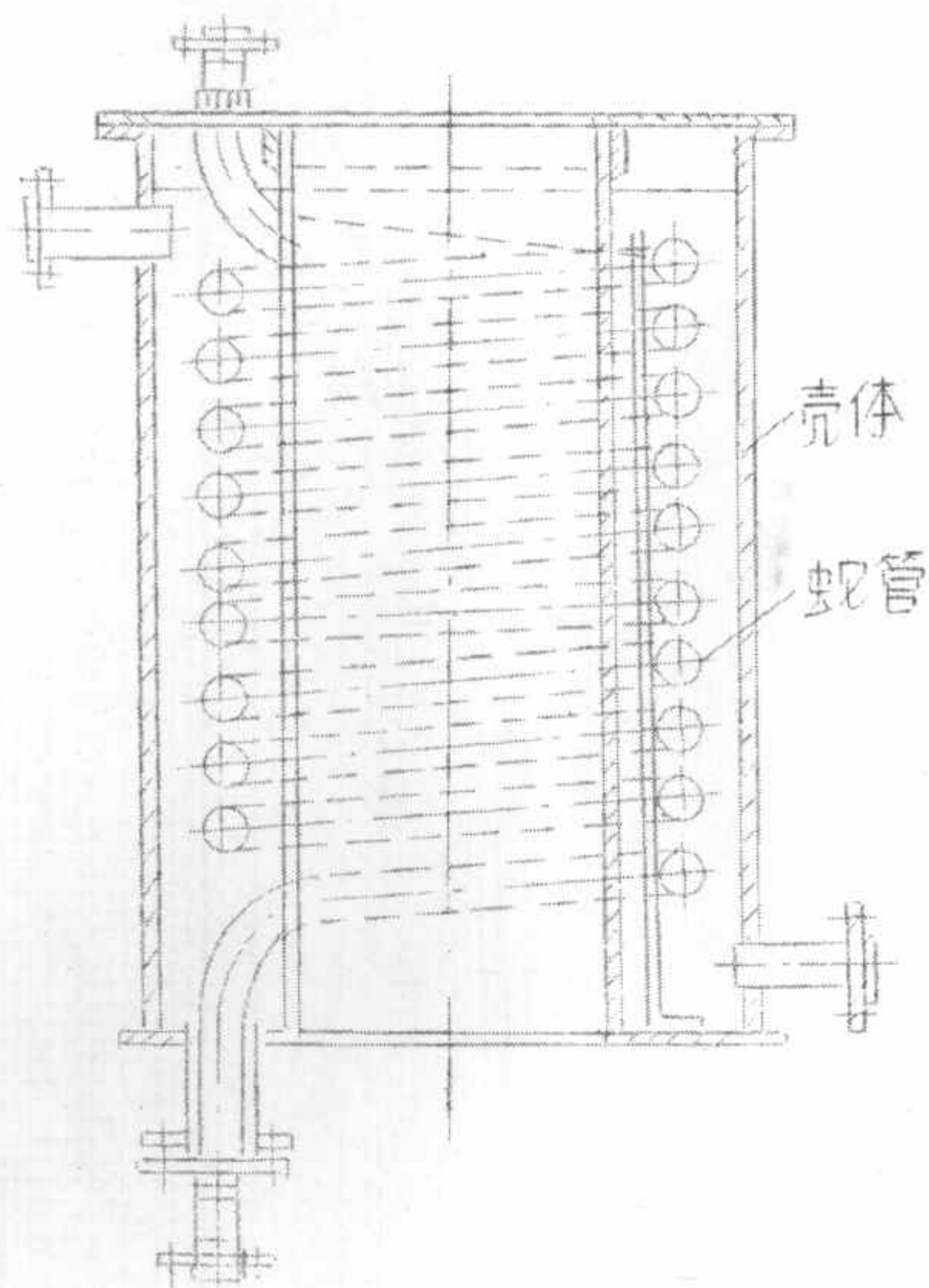


图 4 — 4 沉浸式蛇管换热器

浸式和喷淋式两种。

1) 沉浸式蛇管换热器 沉浸式蛇管换热器的结构如图 4 — 4 所示。它通常是用于管内流体的冷却、冷凝，或者是用于管外流体的加热、冷却等。

当在蛇管内流动的是液体时，应从下端送入，以保证液体充满整个蛇管空间。当蛇管内通蒸汽时，应从上部通入，以避免因管内积存冷凝液而产生水击和阻塞现象。

沉浸式蛇管换热器的优点是：结构简单，价格低廉，蛇管可承受较高的内压，故常用来做高压流体的冷却。另外，这种换热器还多用做反应釜的传热构件。

它的缺点是传热效果差，设备笨重，不适于制造大型的换热器。

2) 喷淋式蛇管换热器 喷淋式蛇管换热器的结构如图 4 — 5 所示。

它主要是由水平放置、上下排列在同一垂直面上的直管（换热管）及连结这些直管的“U”型弯头组成。

这种换热器适用于热流体的冷却和冷凝。操作时热流体在管内流

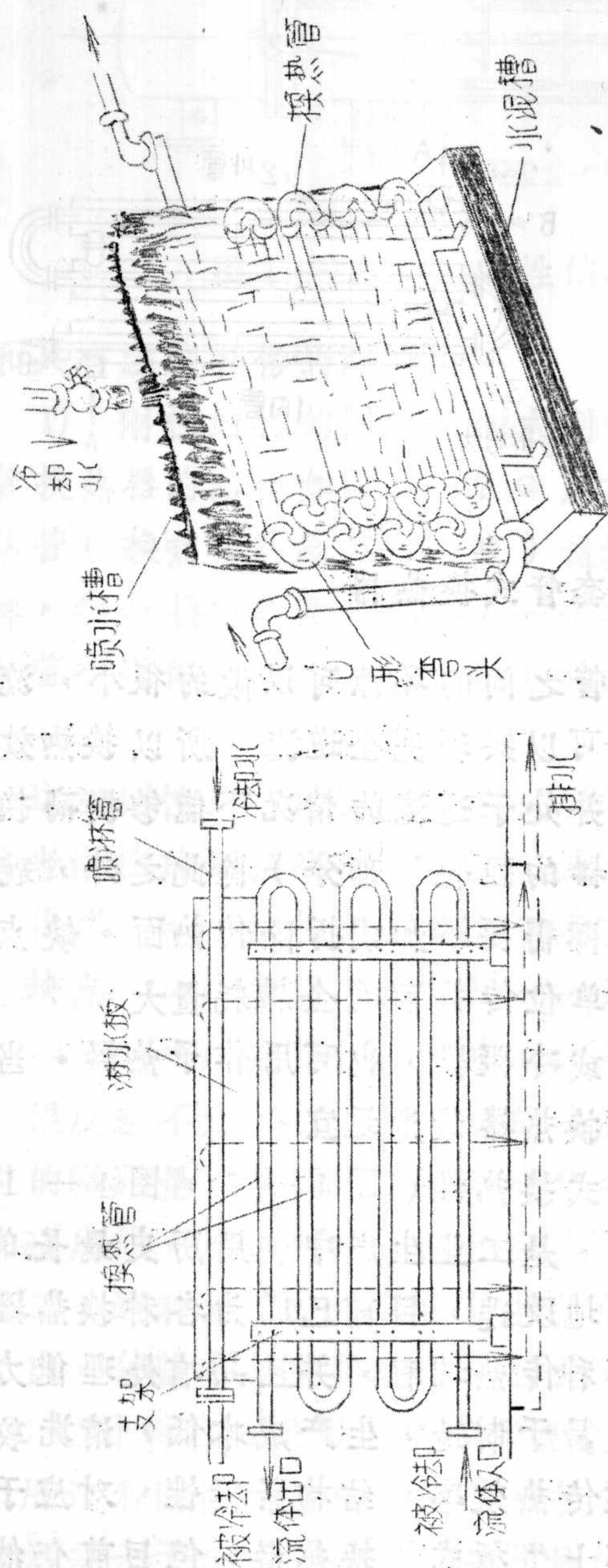


图 4—5 喷淋式换热器

动，自最下管进入，由最上管流出。冷流体从最上端的喷淋装置均匀地淋洒在最上一层管子上，并以水膜状态沿管壁自上而下地流过所有的换热管，最后汇集到下面的水泥槽中排放。

喷淋式换热器与沉浸式相比较，其主要的优点是传热较好，结构简单，材料消耗和成本少，检修和清洗方便。

(2) 套管式换热器 套管式换热器也是管式换热器的一种。它是由两根直径不同的管子套在一起制成。当换热过程需要较大的传热面积时，可以将几段套管串连，其结构

如图 4—6 所示。当参与换热的两个流体流量较大时，也可把几段套管并连使用。

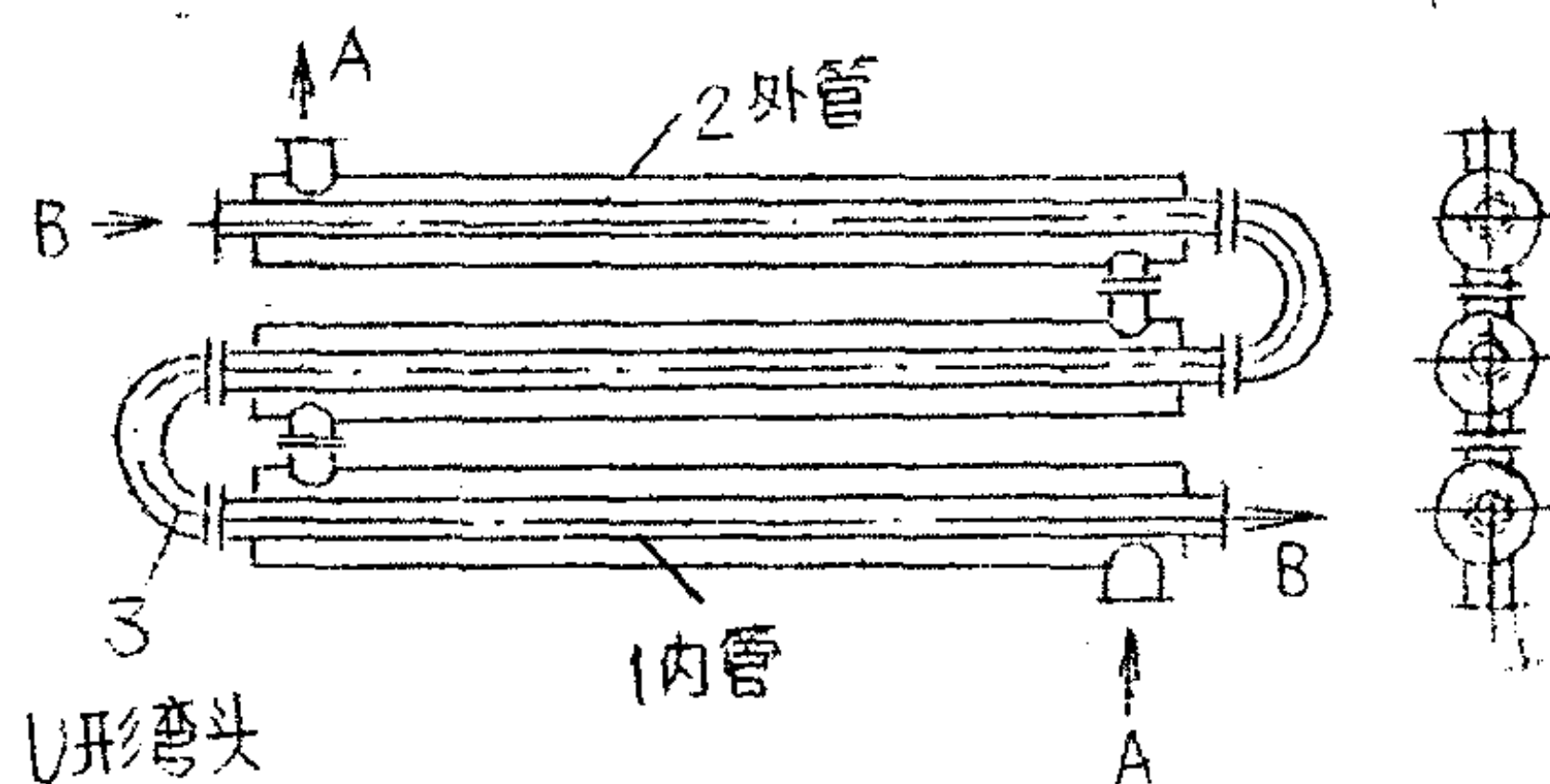


图 4—6 套管式换热器

这类换热器的优点是内、外管之间的环隙可以做的很小，流体流速可以很高，并且管内外二流体可以实现完全逆流，所以换热效果好。（关于参与换热二流体流速高，并处于逆流的情况下能够提高换热效果这个问题可参见本章三“换热器的强化”部分）除此之外，就是结构简单，伸缩性大，可以根据实际需要添加或拆除传热面。缺点是接头很多，容易发生漏泄，对应于单位传热面的金属耗量大。

套管式换热器可用作冷却器或冷凝器，也可用作予热器。当所处理的流体流量不大时，选用这种换热器最为适宜。

(3) 列管式换热器 列管式换热器（图 4—7，图 4—10，图 4—12 等）属于管式换热器，是工业生产中使用历史最长的一种。由于劳动人民在长期实践中不断地改进，目前已成为各种换热器中最成熟的一种。由于它可应用于各种传热过程，并且具有处理能力大，适应性强，能承受高温、高压，易于制造，生产成本低，清洗较方便等较多的优点。因此，虽然它在传热效率、结构紧凑性、对应于单位换热面积的金属耗量等方面比不上“板式”换热器，但目前仍然是工业上应用最为广泛的一种换热器。

管式换热器种类很多，根据结构特点的不同可以分为刚性结构

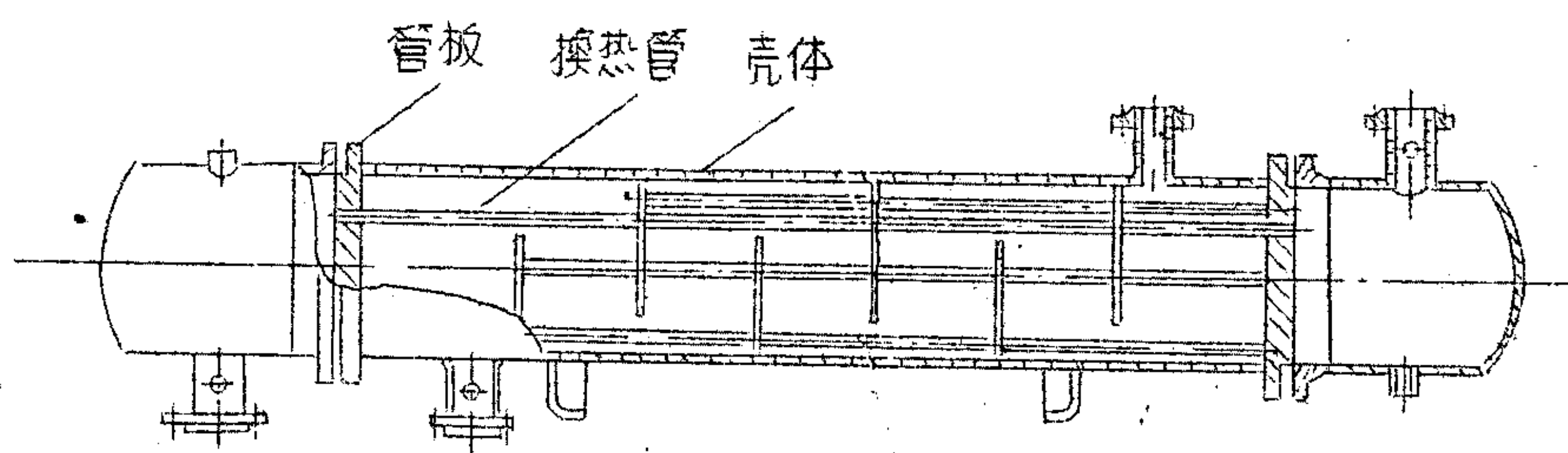


图 4—7 a 刚性结构固定管板式列管换热器

的和具有温差补偿的两大类。

1) 刚性结构的固定管板式列管换热器 刚性结构的固定管板式列管换热器的结构如图 4—7 a 所示。其外面的圆筒型壳体和内部的换热管（换热管的总体叫管束）通过两端的管板刚性的连接在一起。这样，参与换热的两个流体，一个在管内流动（称为管程），一个在换热管和壳体之间的空间流动（称为壳程），热量便可通过管壁进行传递。

这种刚性结构的固定管板式列管换热器，由于换热管、管板和壳体三者刚性的连接在一起，所以具有下述优缺点：

优点：a) 结构简单；b) 紧凑；c) 造价低。

缺点：a) 管间不能清洗，故只能通以清洁流体。

b) 在操作过程中，如果换热管和壳体的温度相差较大时，或者温度差不大，但二者材料的线膨胀系数相差较大时，二者要产生不同的膨胀量，从而在管子和壳体中必然造成应力。由于此应力是因温差造成的，所以叫做“温差应力”。（关于温差应力的计算，见本章五(二)）这种温差力有可能使换热管弯曲、拉断或者使换热管从管板中脱出，使整个换热器破坏。因此，一般认为，当管壁和壳壁温差大于 50°C 时就应该采用具有各种温差补偿的列管式换热器，而不宜继续采用这种刚性结构的固定管板换热器。（参阅本章五，这种以管、壳壁温差大于 50°C 作为不采用刚性结构列管式换热器的基准只是一种近似的估计。确切地说，应该通过具体计算，求出壳体应力、换热管应力以及换热管和管板之间的拉脱力，当这三项中有一项大于许用

值时就不应采用刚性结构的而应采用具有温差补偿的列管式换热器。)

刚性结构的固定管板换热器，于1973年已由第一机械工业部和燃料化学工业部颁布了标准系列(JB 1145-73)。标准中规定了固定管板式列管换热器的型式、基本参数、换热管的排列形式、折流板的型式和拉杆及定距管的规格及数量等。其中基本参数是：

① 公称直径 D_g ：分为159、273、400、500、600、800、1000(毫米)七种。

② 公称压力 P_g ：分为6、10、16、25(公斤/厘米²)四个等级。

③ 换热管长：采用1500、2000、3000、6000(毫米)四种。

④ 换热管规格：采用碳素钢管时，规格为 $\phi 25 \times 2.5$ (毫米)；采用不锈钢耐酸钢管时，规格为 $\phi 25 \times 2$ (毫米)。

⑤ 折流板间距：公称直径 $D_g \leq 400$ (毫米)时，取用150、600(毫米)两种；公称直径 $D_g \geq 500 \sim 1000$ (毫米)时，取用300和600(毫米)两种。

⑥ 公称换热面积：1~370(米²)。

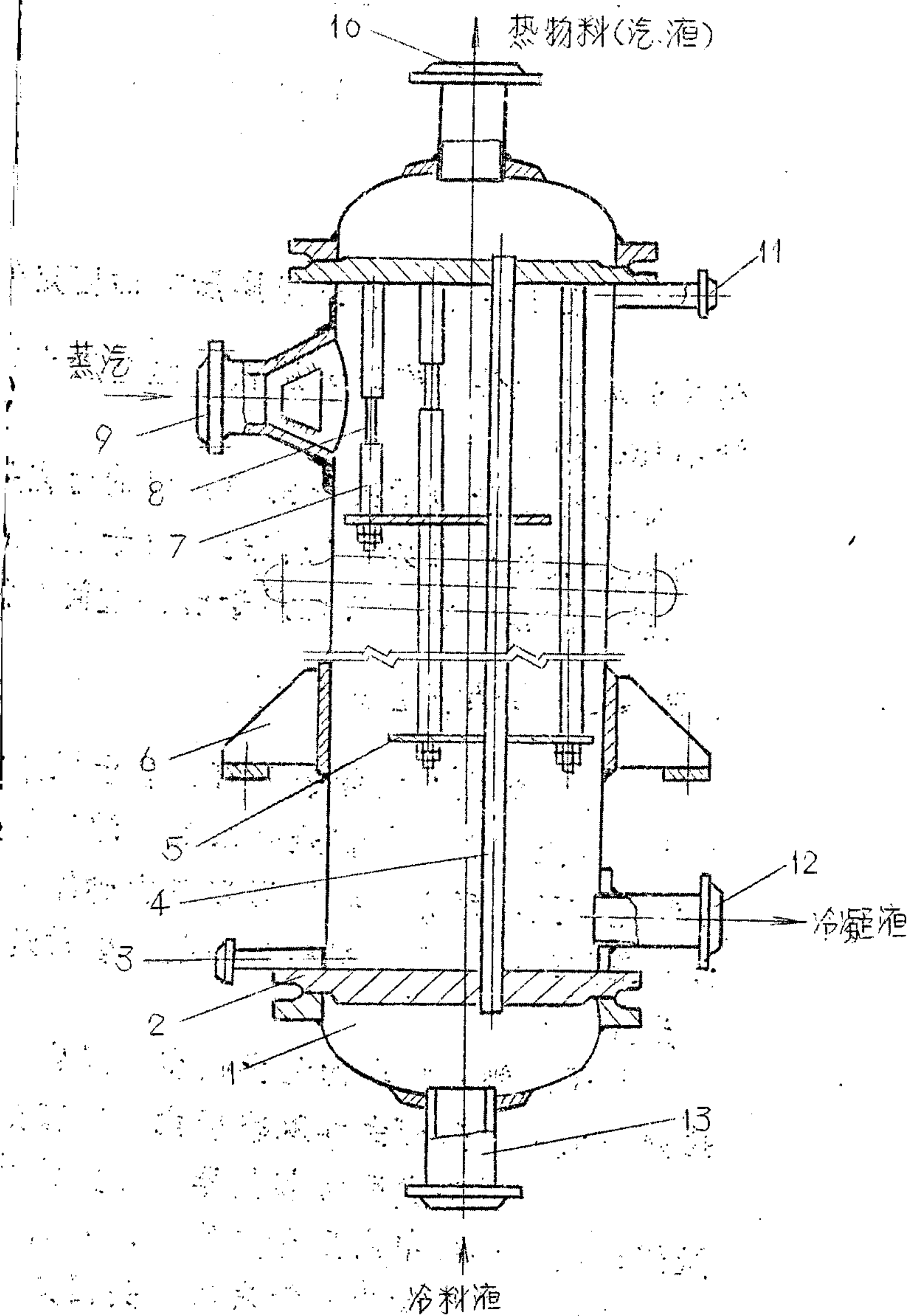
立式热虹吸式重沸器也属固定管板式列管换热器的一种。多用来作为精馏塔底部的加热釜。(其结构如图4-7b)所示。与固定管板式列管换热器基本相同。

1973年，我国第一机械工业部和燃料化学工业部也已颁发了关于这种重沸器的标准系列，“立式热虹吸式重沸器型式与基本参数”(JB 1146-73)。

(2) 具有温差补偿的列管式换热器：劳动人民在长期使用刚性结构的固定管板式列管换热器的过程中，发现当壳体和换热管壁温度差，一般大于50℃时，容易造成换热器的破坏。在这一感性认识的基础上，经过分析和研究，认识到这是由于壳体和换热管壁温度差较大时，二者产生不同的膨胀量，而使之产生过大温差应力的缘故。于是，劳动人民便创造出具有温差补偿的列管式换热器。

具有温差补偿的列管式换热器，一般可按温差补偿的方法不同分为带挠性构件的和管束(管子)能够自由胀缩的两种。

① 带挠性构件的列管式换热器：所谓挠性构件就是指膨胀节。



1. 封头；
2. 管板；
3. 排污口；
4. 换热管；
5. 折流板；
6. 支座；
7. 定距管；
8. 拉杆；
9. 蒸汽入口；
10. 气相物料出口；
11. 排气口；
12. 冷凝液出口；
13. 液相物料入口。

图 4—7 b 立式热虹吸式重沸器

等而言。图 4—8 是在壳体上带波形膨胀节的固定管板式列管换热器。因为挠性构件受力容易变形，所以，当壳体和换热管具有较大温差、二者产生不同膨胀量时，挠性构件就发生相应的变形，从而使换热管和壳体中的温差应力降低。

对于带挠性构件的列管式换热器，由于壳体和换热管之间的胀缩

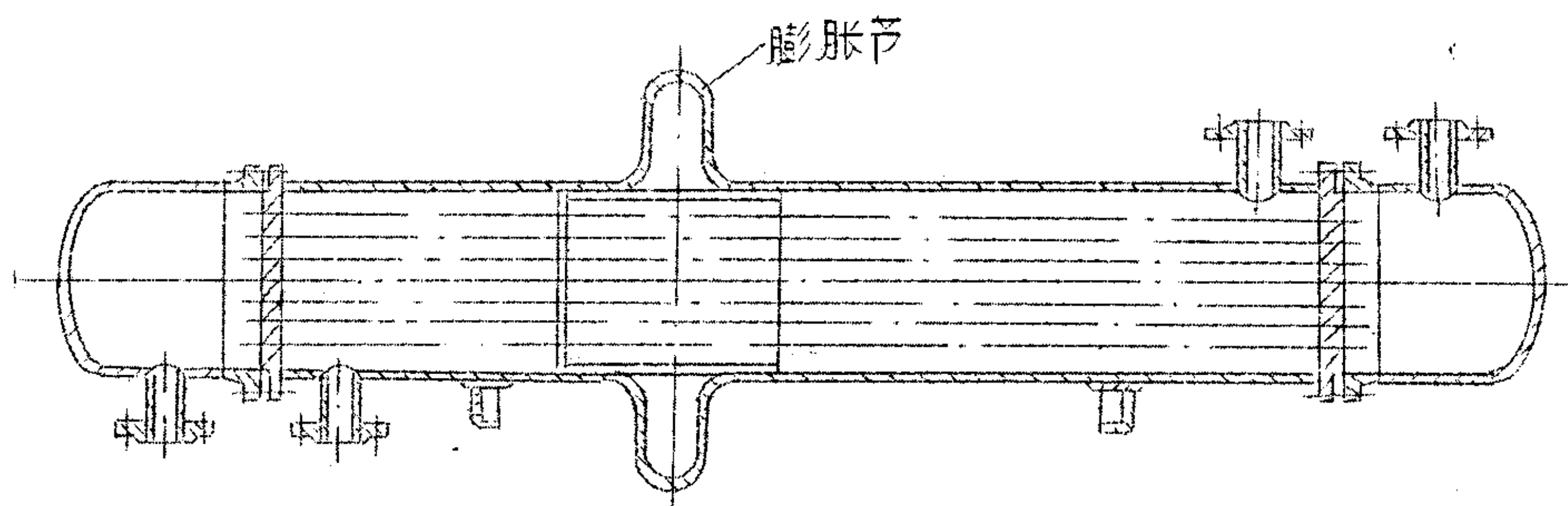


图 4—8 带波形膨胀节的固定管板式列管换热器

仍然受着挠性件的牵制，所以，温差应力还是或多或少的存在着，并没有完全消除。

带波形膨胀节的列管式换热器的优点是：结构简单，造价低，同时可以降低温差应力。缺点是：由于波形膨胀节的承压能力一般说来比较差，所以，目前只适用于管外空间（简称管间）压力不大的场合（ $P \leq 16$ （公斤/厘米²））。

② 管束（或管子）可以自由胀缩的列管式换热器 这种换热器在结构上的最大特点是管束的一端不与壳体刚性地连接在一起，管束和壳体互不牵制，各自可以自由伸缩。可以从根本上消除了温差应力。正是这个原因，当壳体和换热管的温差较大时，以选用这种换热器为宜。

属于这种换热器的型式很多，经常使用的有浮头式、滑动管板式、填料函式、U形管式和双套管式。下面分别予以介绍。

(1) 浮头式列管换热器 浮头式列管换热器是在管束可以自由胀缩这类换热器中应用最广的一种。它的结构示于图 4—9 中。

从图上可以看出，管束的一头固定，而另一头可以自由“浮动”。我们把可以自由“浮动”的一头叫做管束的“浮动头”，简称“浮头”。这就是“浮头式换热器”这个名字的来由。

浮头的结构如图 4—10 所示。它是由活动管板、浮头盖、两个夹钳形半环、压紧螺钉、密封垫片等构成。当旋紧压紧螺钉时，借助

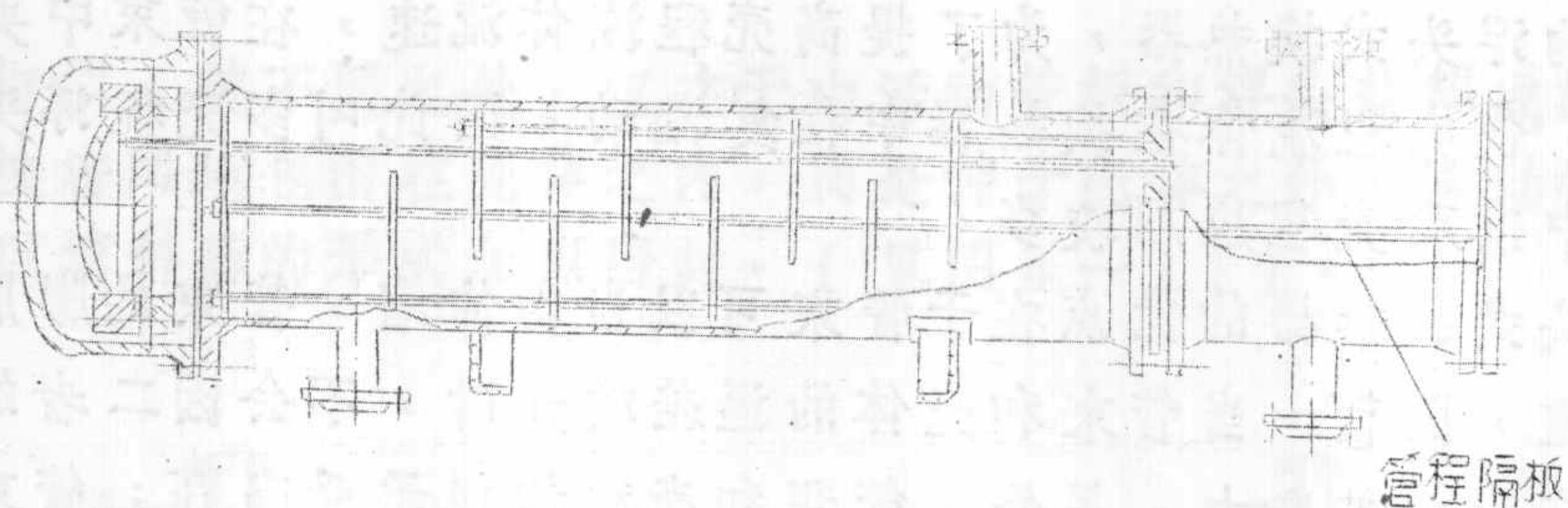


图 4—9 浮头式列管换热器

两个夹钳形半环和密封垫片，把活动管板与浮头盖紧密地联结成一个整体。当旋松压紧螺钉时，便可把“浮头”拆开。

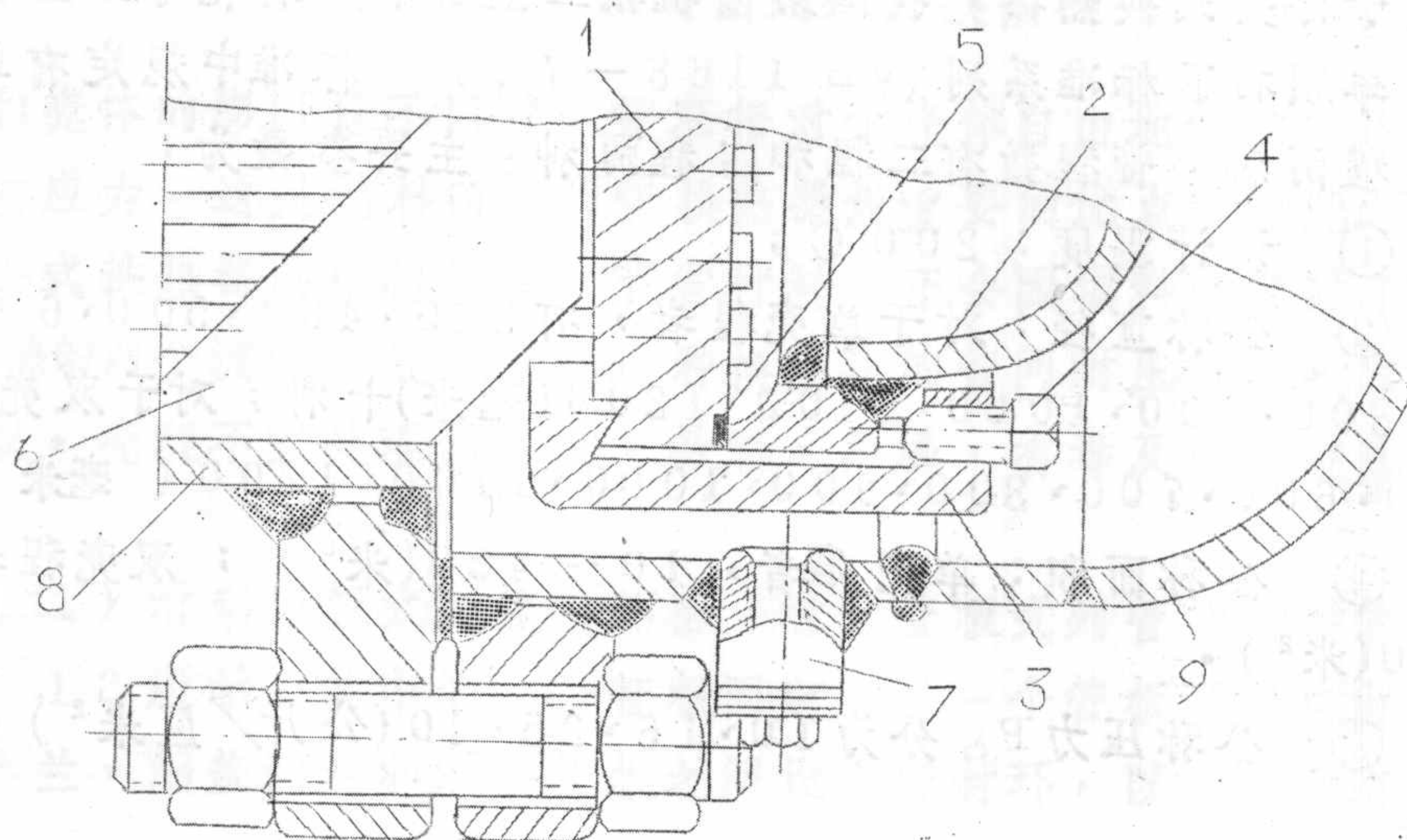


图 4—10 浮头的结构

- | | | |
|----------|----------|-----------|
| 1. 活动管板； | 2. 浮头盖； | 3. 夹钳形半环； |
| 4. 压紧螺钉； | 5. 密封垫片； | 6. 支承板； |
| 7. 排液孔； | 7. 壳体； | 9. 壳体端盖 |

为了减小管束和壳体之间的环形间隙，提高换热器的紧凑性，提高传热效果。原则上应尽量减少活动管板的外径，并尽量减少活动管板外径和壳体内径的尺寸差。同时，为了有安放两个夹钳形半环和压紧螺钉的空间，应使浮头一端的壳体端盖直径加大。

有的浮头式换热器，为了提高壳程流体流速，在管束中央设置纵向档板，使壳程流体在换热器中往复流动。因此叫多壳程浮头式换热器。其中以双壳程应用较多。

浮头式换热器的优点在于管束可以自由伸缩，管束的膨胀不受壳体的约束。因而，当管束和壳体的温差较大时，不会因二者的膨胀量不同而产生温差应力。另外，管程和壳程均能承受高压；管束可以抽出进行管间的机械清洗。所以，应用广泛。尤其是在管、壳壁温差较大以及压力较高的情况下采用这种换热器更为适宜。它的缺点是结构比较复杂，金属消耗量大，造价较高。一旦浮头垫片密封不严，就容易造成管内、外两流体相混合。

对于浮头式换热器，我国第一机械工业部和燃料化学工业部，于1973年颁布了标准系列(JB 1168—73)。标准中规定有单壳程和双壳程两种，管程数有二程和四程两种。主要参数为：

① 设计温度：200℃；

② 公称直径：对于单壳程者，有325、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200(毫米)十种；对于双壳程者，有500、600、700、800、900、1000、1100、1200(毫米)八种。

③ 公称面积：单壳程者，10~430(米²)；双壳程者，40~600(米²)。

④ 公称压力 P_g 分为10、16、25、40(公斤/厘米²)四个等级。

⑤ 换热管规格：单壳程者有19×2、25×2.5(毫米)两种；双壳程者仅19×2(毫米)一种。

⑥ 换热管长：3000、6000(毫米)两种。

⑦ 折流板间距：(毫米)

D_g	折 流 板 间 距				
≤ 900	150	200	300	450	480
1000~1200	—	200	300	450	480

(11) 填料函式列管换热器 填料函式列管换热器与浮头式列管

换热器很相似。其不同之处，仅在于由活动管板和浮头盖组成的“浮头”没有被密闭地包围在壳体之内，而是伸于壳体之外，活动管板和壳体之间以填料函的形式加以密封。（见图4—11）。

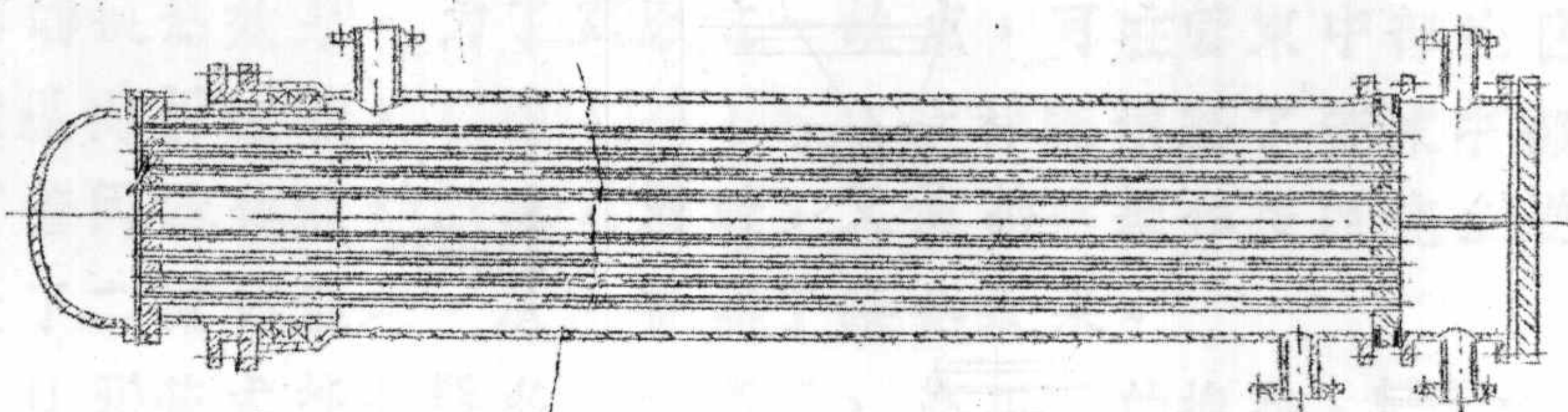


图4—11 填料函式列管换热器

当管束和壳体的膨胀量不同时，管束相对于壳体自由地伸缩，几乎不产生温差应力。这是填料函式列管换热器最重要的优点。除此之外，它较浮头式换热器的结构简单，节省材料；不会因填料函密封不严而使参与换热的两个流体相混。但是这种换热器的管间耐压不高，容易泄漏。所以，壳程不宜处理易挥发、易燃、易爆、有毒及压力较高的介质。

(iii) 滑动管板式列管换热器 滑动管板式列管换热器的结构如图4—12所示。其中的一个管板固定，另一个管板可以自由滑动。在壳体法兰、端盖法兰和滑动管板之间设有密封环，以密封三者之间的缝隙。

从图4—12中可以看出：这种换热器与填料函式换热器差不多，基本上消除了温差应力。它的结构也比较简单、紧凑。其缺点是密封性较差，不能承受管内、外的较大压差，只适用于应力较小的场合。对于直径小于600（毫米）的这种换热器，设计压力一般不应超过20（公斤/厘米²）。对于直径为600~1000（毫米）者，设计压力一般不超过10（公斤/厘米²）。设计温度不得超过190℃。此外，管束与壳体的相对伸缩量受着滑动管板套筒长度的限制。

这种换热器多用于水、水蒸汽、空气、润滑油等介质的换热。

(iv) U型管式换热器 U型管式换热器的换热管呈“U”字形，

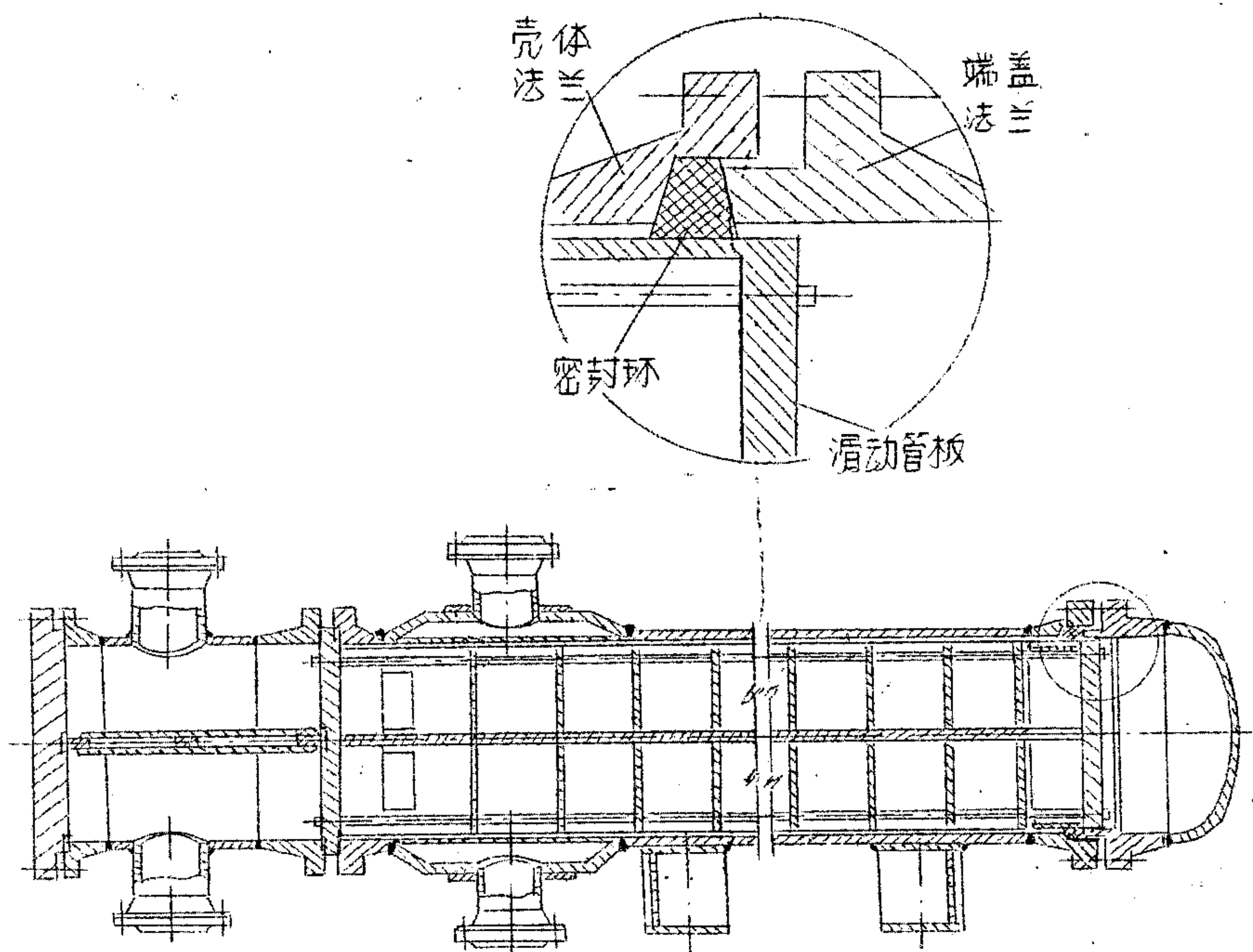


图 4 — 12 滑动管板式列管换热器

U 形管的两端固定在同一块管板上，而且这种换热器仅有这么一块管板。其结构如图 4 — 13 所示。

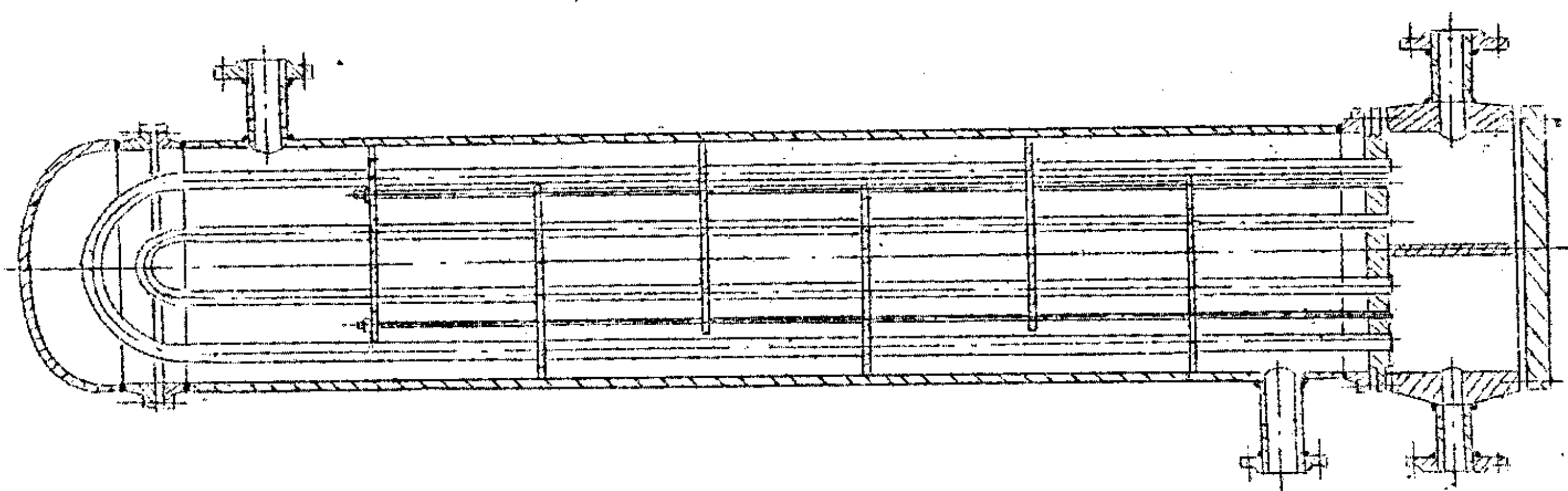


图 4 — 13 U 型管式换热器

U 型管式换热器，结构简单，换热管伸缩自由，完全消除了温差应力，而且承受压力高。但是，U 形换热管内难于进行机械清洗，管

内只能通清洁流体。并且这种换热管的换修也较麻烦。在制造时，为了使U形换热管的弯曲部分不至于太扁，必须保证相当的弯曲半径，这样就使管板的中部便形成一条相当大的空区不能安装换热管，不但减少了传热面积，而且严重的影响到壳程流体的流动状况，降低了换热器的换热效果。为了克服这一缺点，可在管束中部空区设置长方形箱状纵向折流板。（图4—14）这样既填塞了管束中部的空区，改善了管间流体流动状况，同时，又使换热操作按照完全逆流方式进行，加大了二流体温差，从而提高了换热效果。

U形管式换热器多用于高温、高压下的换热。

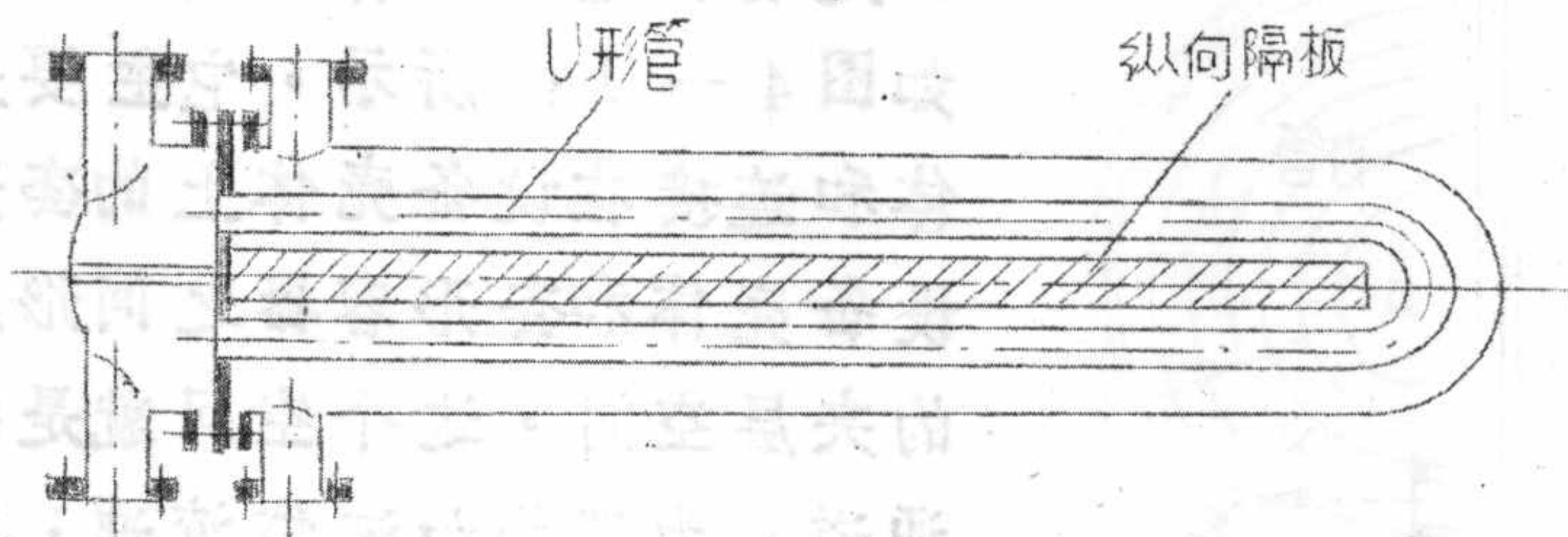


图4—14 带纵向隔板的U形管换热器

(v) 双套管式列管换热器 双套管式列管换热器如图4—15所示。它主要是由两根同心安装的不同直径的管子构成。外管下端封闭，内管两端畅通。内管与外管分别固定在上、下两块管板上。

操作时，参与换热的管内流体，首先进入内管，至底部返向经二管之间的环形间隙向上，最后从上下两块管板之间的出口导出。

双套管式换热器完全消除了壳、管内的温差应力，拆卸和清洗都很方便。就是其结构显得较复杂。

这种换热器适用于高温、高压的场合，多用于固定床反应器中。如，不少的氨合成塔触媒筐中就是采用双套管式换热器来调节触媒筐中的温度。

2. 板式换热器 板式换热器的传热面是由冷压成形或经焊接连接的金属板材构成的。它是近几年来在我国发展很快的一类新型换热器。由于这类换热器的流道可以设计得很窄，并可以做成各种特殊