

法效率很高,但难免在交替时出现两股流体混合,因此使用不多。

第三节 间壁式换热器的原理及操作

化工生产中使用的换热器绝大多数是间壁式换热器。本章重点介绍间壁式换热器的基本原理和操作方法,它对其他类型的换热器也基本适用。

一、间壁式换热器传热原理

1. 间壁式换热器的种类

用间壁式方法换热的设备称为间壁式换热器,最常用的间壁式换热器有以下四种。

(1) 列管式换热器 列管式换热器是最典型的间壁式换热器。它主要由管束与壳体构成,如图 4-15 所示,故也称管壳式换热器。它具有坚固、处理能力大、适应性强等优点,是化工生产中使用最广的换热设备。管子的表面积之和即为它的传热面积。

(2) 套管式换热器 如图 4-16 所示,由两种直径大小不同的直管焊成的同心圆套管组成,内管的表面积可视为传热面积。

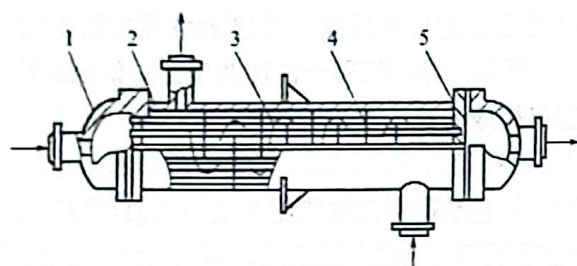


图 4-15 列管式换热器

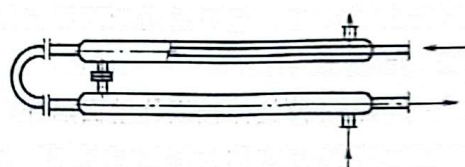


图 4-16 套管式换热器

1—封头; 2—壳体; 3—换热管; 4—折流挡板; 5—管板

(3) 蛇管式换热器 主要部件是盘成螺旋形或其他形状的直管。它又分为两种,一种是沉浸式,如图 4-17 所示;另一种是喷淋式,如图 4-18 所示。

(4) 夹套式换热器 如图 4-19 所示,容器的外部装有夹套,加热剂或冷却剂在器壁与夹套之间流动,容器内壁就是换热器的传热面积。

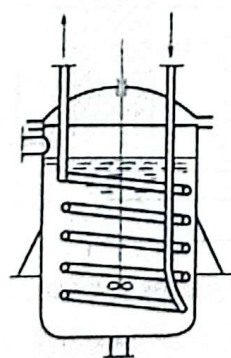


图 4-17 沉浸式蛇管换热器

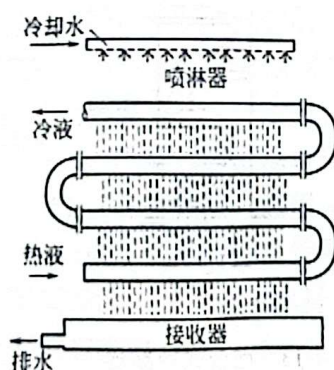


图 4-18 喷淋式蛇管换热器

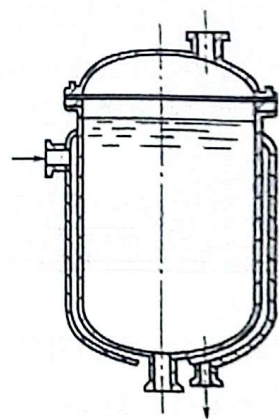


图 4-19 夹套式换热器

2. 间壁式换热器的传热过程

间壁式换热器是依据对流传热原理和热传导原理实现热交换的,是上述两种方式相结合的传热过程。用图 4-20 所示实例可对这种传热过程作进一步分析。图 4-20(a) 是套管换热



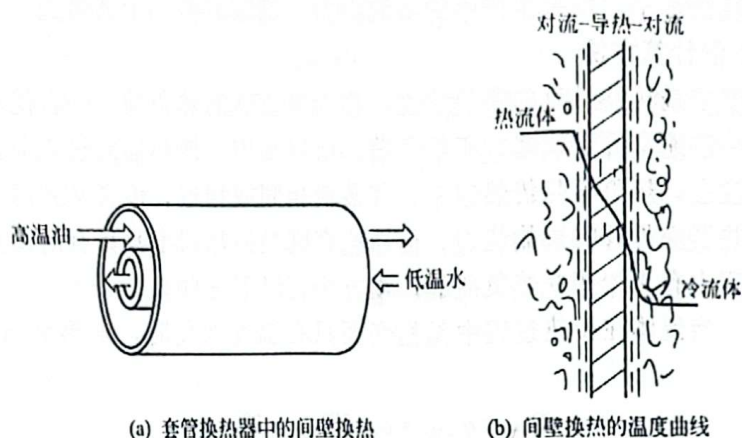
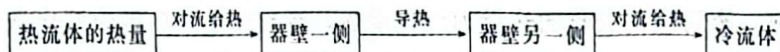


图 4-20 间壁式换热原理示意

器的一部分，低温流体走管内，高温流体走管隙，二者逆向流动。其换热过程如图 4-20(b) 所示，高温油先以对流传热方式将热量从管隙传至内管外壁，再以传导方式传给内管内壁，最后又以对流方式从内管内壁传给内管里的低温水。因此，间壁式换热器的传热过程实际上经历了“对流-传导-对流”三个阶段，这个过程可用框式图概括说明。



3. 传热过程的基本计算

传热过程的基本计算主要有以下两种。

(1) 传热过程的热量衡算 热量衡算是能量衡算的一个方面，要依据能量衡算通式

$$\text{输入的能量} = \text{输出的能量} + \text{能量损失}$$

这个通式用于传热过程可表述为，热流体向系统输入的热量等于冷流体从系统带走的热量加热量损失：

$$Q_{\text{进}} = Q_{\text{出}} + Q_{\text{损}} \quad (4-5)$$

$$\text{或} \quad Q_{\text{热}} = Q_{\text{冷}} + Q_{\text{损}} \quad (4-6)$$

如果换热器保温良好，忽略热损失，则可写成：

$$Q_{\text{热}} = Q_{\text{冷}} \quad (4-7)$$

式(4-6)和式(4-7)就是传热过程的热量衡算式。

(2) 传热速率的计算 传热速率是指换热器在单位时间内所交换的热量，以 Q 表示，单位为 J/s 或 W。传热速率方程式为

$$Q = KA\Delta T \quad (4-8)$$

式中 K ——传热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ ；

A ——间壁的传热面积， m^2 ；

ΔT ——冷热流体主体的平均温度差， K 。

传热速率方程式与热量衡算式被称为传热过程的两个基本方程，它们不仅是工程计算的基础公式，也是生产中进行经济核算的基础公式。

二、传热过程的热量衡算

热量衡算是重要的化工基本计算，不仅化工设计必须进行热量衡算，而且日常生产操作也经常要计算各个工序、设备的热量消耗和载热体的用量，目的是准确掌握能耗现状，考核



各车间、班组的耗能水平,挖掘生产中的节能潜力,制定有效的节能措施。

1. 热负荷 Q 的计算方法

生产工艺上要求换热器具有的换热能力,称为换热器的热负荷。一台能满足工艺要求的换热器,应使其传热速率等于或略大于热负荷。所以知道了换热器的热负荷,便可确定其他的传热速率。要注意,热负荷与传热速率,其数值相同或相近,但含义并不一样。热负荷是指生产上要求换热器应具有的换热能力,传热速率则是换热器本身具有的换热能力。

针对传热过程中有无相变,热负荷的计算方法有以下三种。

(1) 温差法 当流体在换热过程中无相变而只有温度变化时,则热负荷计算用温差法,公式是

$$Q_{\text{热}} = q_{m\text{热}} \cdot c_{\text{热}} (T_{\text{热}1} - T_{\text{热}2}) \quad (4-9)$$

$$Q_{\text{冷}} = q_{m\text{冷}} \cdot c_{\text{冷}} (T_{\text{冷}2} - T_{\text{冷}1}) \quad (4-10)$$

式中 $q_{m\text{热}}, q_{m\text{冷}}$ ——热流体和冷流体的质量流量, kg/s;

$c_{\text{热}}, c_{\text{冷}}$ ——热流体和冷流体的比热容, kJ/(kg·K);

$T_{\text{热}1}, T_{\text{热}2}$ ——热流体最初和最终温度, K;

$T_{\text{冷}1}, T_{\text{冷}2}$ ——冷流体最初和最终温度, K。

(2) 潜热法 当流体在换热过程中仅有相变化时,热负荷计算用潜热法。这种情况所传递的热量是潜热,沸腾汽化吸收的热量为汽化潜热,冷凝放出的热量为液化潜热(即冷凝潜热)。汽化潜热的符号为 r ,其物理意义是质量 1kg 的某物质,在一定压力下,由液体完全转变为同温度的蒸气所吸收的热量,单位为 kJ/kg;反之,则为该物质的冷凝潜热。同一种物质的冷凝潜热和汽化潜热数值相等。潜热法计算公式是

$$Q_{\text{热}} = q_{m\text{热}} \cdot r_{\text{热}} \quad (4-11)$$

$$Q_{\text{冷}} = q_{m\text{冷}} \cdot r_{\text{冷}} \quad (4-12)$$

式中 $q_{m\text{热}}, q_{m\text{冷}}$ ——热流体和冷流体的质量流量, kg/s;

$r_{\text{热}}, r_{\text{冷}}$ ——热流体和冷流体的汽化潜热, kJ/kg。

(3) 焓差法 焓,也称热焓,物质在某一状态(温度,压力等)下的焓值,就是使该物质由基准状态变为现状态时所需的热量。在热量计算中,物质在某温度下热焓的数值,一般指 1kg 流体由 273K 加热至某一指定温度(包括相变)时所需的热量。热焓的符号为 H (h),单位 kJ/kg。

在热负荷的计算过程中,不论有没有相变,都可用焓差法。特别是在既有相变又有温度变化时,用焓差法计算很方便。公式是

$$Q_{\text{热}} = q_{m\text{热}} (H_1 - H_2) \quad (4-13)$$

$$Q_{\text{冷}} = q_{m\text{冷}} (h_2 - h_1) \quad (4-14)$$

式中 H_1, H_2 ——热流体最初、最终的热焓, kJ/kg;

h_1, h_2 ——冷流体最初、最终的热焓, kJ/kg。

饱和水蒸气的焓值可从附录七、八中查到。

【例题 4-4】 在某换热器中,用 373K 饱和水蒸气做热源来加热一种冷流体,已知蒸汽用量 $q_{m\text{热}}$ 为 200kg/h,求换热器应具有的传热速率 $Q_{\text{热}}$ 。

解 从已知条件看,饱和水蒸气冷凝有相变,无温度变化,可用潜热法。

$$q_{m\text{热}} = 200\text{kg/h} = 0.0556\text{ kg/s}$$

从附录八饱和水蒸气表中查得,373K 饱和水蒸气的汽化潜热 $r_{\text{热}} = 2256.8\text{ kJ/kg}$

$$Q_{\text{热}} = q_{m\text{热}} \cdot r_{\text{热}}$$



$$=125 \text{ (kJ/s)}$$

【例题 4-5】某化工厂用一台换热器冷却一种高温气体，冷却水进口温度为 303K，出口温度为 313K，冷却水用量 $q_{m\text{冷}}$ 为 1100kg/h；气体进口温度为 363K，出口温度为 323K，求换热器的热负荷 Q 。

解 此题无相变，但有温度变化，可用温差法。换热器的热负荷可以从热流体单位时间内放出的热量，或冷流体单位时间内吸收的热量来确定，但因题中热流体流量未知，故以冷流体为基准计算。

冷却水的比热容为 $c_{\text{冷}} = 4.18 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{冷}} &= q_{m\text{冷}} \cdot c_{\text{冷}} (T_{\text{冷}2} - T_{\text{冷}1}) \\ &= 0.306 \times 4.18 \times (313 - 303) \\ &= 12.79 \text{ (kJ/s)} \end{aligned}$$

【例题 4-6】在列管换热器中，用 373K 水蒸气加热某冷流体。已知蒸气流量 $q_{m\text{热}}$ 为 950kg/h，蒸汽放热冷凝并冷却至出口处的 353K。求蒸气冷凝并冷却后所放出的热量 Q (或求该换热器单位时间内所传递的热量)。

解 从已知条件看，用水蒸气加热，既有相变又有温度变化，用焓差法。从附录八中查得

373K 水蒸气的热焓 $H_1 = 2675.5 \text{ kJ/kg}$

353K 水的焓 $H_2 = 335 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} Q &= q_{m\text{热}} (H_1 - H_2) \\ &= 0.264 \times (2675.5 - 335) \\ &= 618 \text{ (kJ/s)} \end{aligned}$$

此题也可用温差法和潜热法分别计算，然后叠加。

2. 传热过程的热量计算(衡算)的步骤

(1) 弄清题意 明确衡算的目的要求，有哪些已知条件，根据冷、热流体有无相变，确定采用哪种方法计算 Q 值。

(2) 画示意图 把所有数据都标在图上，用箭头表示流体进、出方向，哪些数据属于进方或出方，见图 4-21。

(3) 确定基准 先确定进方(热流体一方)或出方(冷流体一方)，再将要加热到的某一温度作为基准，计算达到此温度所需的热量。

(4) 做计算准备 为热量衡算做好一切准备，将衡算式中所必需的每个数据逐个计算出来(有的要查表，有的要推算)，使衡算式中有足够的已知数。

(5) 列出热量衡算式并计算、求解 注意单位统一。

(6) 填写热量平衡表 用平衡表验算。

3. 热量计算应注意的几个问题

① 热量计算的系统，可以是整个产品，也可以是一个工序、一个设备。本章介绍的传热过程热量计算主要是对一个设备的计算。

② 以上步骤，是热量计算的完整、规范的步骤。为了计算方便，可以简化。本书中凡明确指出要求热量计算的习题，应按完整步骤进行。

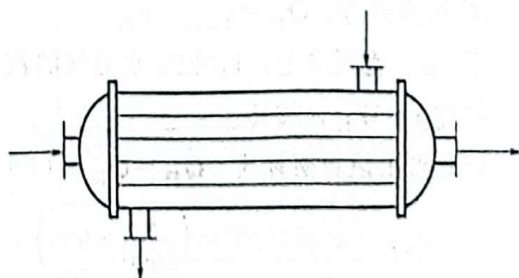


图 4-21 热量计算示意图的画法

