

换热器的平均温差

刘振斌 (黑龙江省农垦科学院工程所)

热交换炉换热器的平均温差是影响换热器性能的最主要因素。因此,在换热器的设计和使用过程中,力图努力提高换热器的平均温差,以求在相同的换热面积的条件下,取得最好的传热效果。

为了更好地了解换热器的平均温差,现将其基本概念和分类情况介绍如下。

一、概述

换热器传热量的计算公式 $Q = KF(t_{L1} - t_{L2})$,式中热流体和冷流体的温度差 $t_{L1} - t_{L2}$ 称为换热器的温差(或称温压)。但由于在传热过程中,热流体温度不断降低,冷流体温度不断升高,因而各处的热冷流体传热温差是不相同的。为了计算和应用方便,便引用了整个传热面上的平均传热温差 Δt_{p1} (简称平均温差)的概念。这样换热器传热量的计算公式便可写成 $Q = KF\Delta t_{p1}$ 。

影响平均温差 Δt_{p1} 的主要因素有:冷热流体的相对流动形式、流量比、性质及换热器两端冷热流体的相对温差。

在实际计算和应用中,当热(冷)流体相对于冷(热)流体流动的折流次数超过4次时,如果总的流动方向是顺流,就可以看作是纯顺流,如果总的流动方向是逆流,就可以看作是纯逆流。这样,我们就可以着重讨论冷热流体的相对流动形式为顺流和逆流时的平均温差了。

顺流时,热流体的最高温度与冷流体的最低温度在一端相逢,热流体的最低温度与冷流体的最高温度在另一端相逢。逆流时,则是热

流体的最低温度与冷流体最低温度相逢、热流体的最高温度与冷流体的最高温度相逢。我们用 t' 表示流体进口温度,用 t'' 表示流体出口温度,用 t_1 表示热流体温度,用 t_2 表示冷流体温度,则可绘制出冷热流体相对流动形式为顺流和逆流时的温度随传热面变化的示意图,见图1。

二、平均温差的分类

冷热流体传热的平均温差,按其计算方法可分为:算术平均温差、对数平均温差、积分平均温差和混合流平均温差4种。

1. 算术平均温差

算术平均温差是把冷流体和热流体在流动方向上的温度变化近似看作是线性变化,并采用换热器进口处冷流体和热流体的温度差 $\Delta t'$ 与出口处的温度差 $\Delta t''$ 的算术平均值为计算参数,即 $\Delta t_{p1} = (\Delta t' + \Delta t'')/2$ 。对于逆流式换热器一般规定温度差较大的一端为进口温差。

算术平均温差计算和应用简便,但没有反映出温度变化的实际情况,只有在换热器

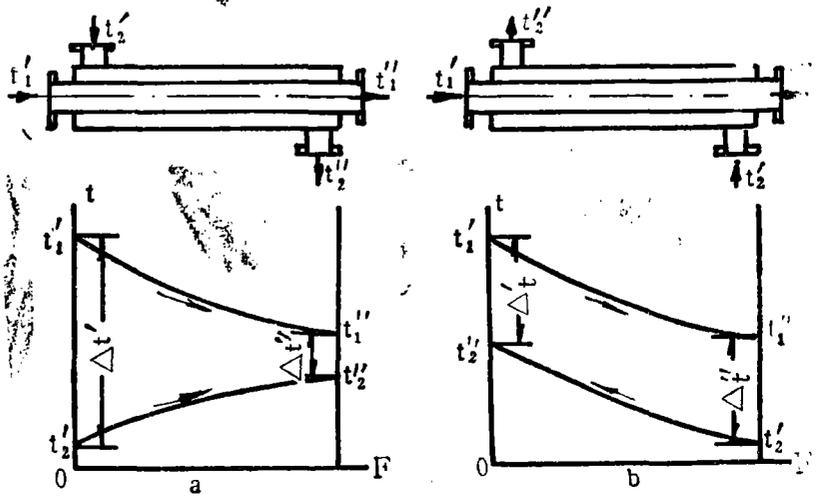


图1 流体温度随传热面变化示意图

a. 顺流 b. 逆流

冷热流体温差沿传热面的变化不大,即 $\Delta t' / \Delta t'' < 2$ 时,计算误差才比较小(一般小于4%),方可采用算术平均温差来计算。

2. 对数平均温差

在 $\Delta t' / \Delta t''$ 值较大的情况下,应采用对数平均温差计算。

$$\text{顺流时 } \Delta t_{p1} = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{2.3 \lg \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}}$$

$$\text{逆流时 } \Delta t_{p1} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{2.3 \lg \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}$$

我们将上述两式的分子相比较,发现第一个括号中的值都代表热流体进口处两种流体的温差 $\Delta t'$,第二个括号中的值表示的是热流体出口处的两种流体的温差 $\Delta t''$,于是上两公式可以统一表达为:

$$\Delta t_{p1} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2.3 \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$$

在逆流式换热器中,有时会出现 $\Delta t'' > \Delta t'$ 的情况,这样计算中会出现负值,为避免这一情况,可把两个温差中的较大者放在前面,这样上式可写成:

$$\Delta t_{p1} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2.3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$

对数平均温差的计算条件是冷热流体在传热过程中各自的流量不变,它们的比热和传热系数在换热过程中变化不大。对数平均温差的物理意义是在上述条件下,冷热流体间的温差按指数规律变化。

3. 积分平均温差

在某些换热器的传热过程中,流体的比热发生很大变化,这时应采用积分平均温差来计算。如压力为1.96兆帕时,空气在换热器中随温度的降低,其比热变化将超过1/2,压力为3.92兆帕时,其比热将变化数十倍。积分平均温差计算方法是将换热器分

为n段(段分的越多计算值越准确),其中每一段都传递相同的热量 ΔQ (即 $\Delta Q = Q/n$),对于每一段都可以用该段两端的温差取算术平均值作为计算此段的平均温差 Δt_i ,然后再用下式计算出平均温差 Δt_{p1} :

$$\Delta t_{p1} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta t_i}}$$

4. 混合流平均温差

上述3种平均温差,主要适合于换热器的流体的相对流动形式为顺流或逆流时的情况。而实际中,冷热流体的相对流动形式,既不是单纯的顺流,也不是单纯的逆流,而是一种比较复杂的混合流动形式,在这种情况下就要按混合流平均温差计算。

首先根据冷流体和热流体的进出口温度,计算出按逆流布置的平均温差:

$$\Delta t_{p1}^{NL} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2.3 \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$$

然后再将此值乘以修正系数 ψ ,便可求得各种混合流的平均温差:

$$\Delta t_{p1} = \psi \Delta t_{p1}^{NL}$$

修正系数 ψ 与下列参数有关:

- ① τ τ 表示同一流体在换热器中的温度变化值(取正值), τ_{max} 表示最大值, τ_{min} 表示最小值,
- ② P $P = \tau_{min} / (t_1' - t_2')$
- ③ R $R = \tau_{max} / \tau_{min}$
- ④ n n 为折流次数。 n 越大,即折流次数越多,就越接近于逆流。

求出 τ_{max} 、 τ_{min} 、 P 、 R 和 n 值后,即可由 ψ 值曲线(见图2)查出 ψ 值。

如RL-500型热交换炉的有关参数: $t_1' = 700^\circ\text{C}$ 、 $t_2' = 4^\circ\text{C}$ 、 $\tau_{max} = 520^\circ\text{C}$ 、 $\tau_{min} = 86^\circ\text{C}$ 、 $R = 6.05$ 、 $P = 0.124$ 、 $n = 3$ 。利用相似法查图2可知 $\psi = 0.985$ 。

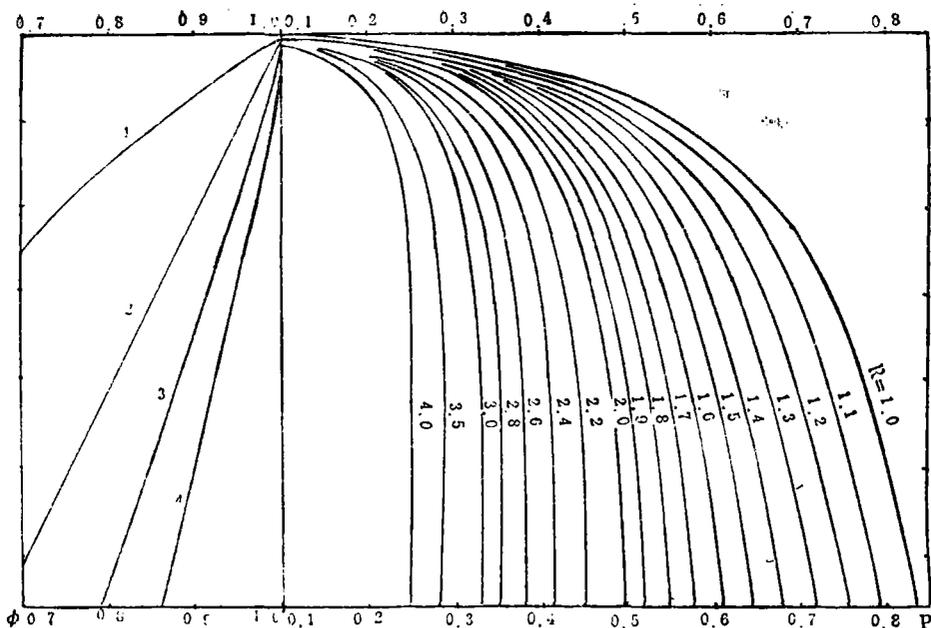


图2 多次交叉流(总流向为逆流)的ψ值

1.一次交叉 2.二次交叉 3.三次交叉 4.四次交叉

三、各种流动形式平均温差的比较

在冷热流体进出口温度一定的条件下,综合对比流体各种相对流动形式的平均温差,得知换热器流体的流动形式为逆流布置时总体效益最佳。因此在谷物干燥能源装置的换热器中,一般都采用逆流换热。

逆流布置的主要特点如下:

1.在相同条件下,平均温差逆流的最大,顺流的最小,混合流的介于两者之间,因而在完成同样换热量的条件下,逆流布置所需传热面积最小。

如RL-500型热交换炉, $t_1' = 700^\circ\text{C}$, $t_1'' = 180^\circ\text{C}$, $t_2' = 4^\circ\text{C}$, $t_2'' = 90^\circ\text{C}$, $\psi = 0.985$ 。

逆流布置时: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2'' = 610^\circ\text{C}$, $t_{min} = t_1'' - t_2' = 176^\circ\text{C}$, 则 $\Delta t_p = 350^\circ\text{C}$ (采用对数平均温差计算)。

顺流布置时: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2' = 696^\circ\text{C}$, $\Delta t_{min} = t_1'' - t_2'' = 90^\circ\text{C}$, 则 $\Delta t_p = 297^\circ\text{C}$ 。

混合流布置时: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2'' = 610^\circ\text{C}$, $\Delta t_{min} = t_1'' - t_2' = 176^\circ\text{C}$, 则

$$\Delta t_p = \psi \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2.31g \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = 344^\circ\text{C}$$

2.逆流布置比顺流布置能更有效地使冷流体加热或使热流体冷却,并且不受冷流体的出口温度必低于热流体出口温度的限制(顺流布置则受限制)。

例如RL-500型热交换炉,麦收季节烘干小麦时,要求把冷流体——空气温度从 20°C 提高到 120°C ,热流体——高温烟气温度则要从 700°C 降到 100°C 。若采用顺流布置,则换热器出口处的冷流体温度 (120°C) 已经高于热流体的温度 (100°C),热量不可能从热流体传给冷流体了。而采用逆流布置时,冷流体的出口处正是热流体的进口处,热量完全可以从热流体 (700°C) 传递给冷流体 (120°C)。

3.逆流布置的缺点是冷流体的最高温度都在换热器同一地方,这里管壁温度比顺流布置的高得多,因此必须采用耐热性能好的钢材,从而提高了换热器的造价。(007)