

谈热对流和对流换热的基本原理

魏春艳

(中国华电集团哈尔滨发电有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘 要 流体与流体之间发生相对位移时的热量传递现象称为热对流。自然界中的风就是典型的热对流现象,即热、冷空气间的对流。火电厂中所采用的换热设备中,流体与壁面直接接触,且存在温差,这种由于温差而使流体与壁面间发生的热量传递现象称为对流换热,也称放热。例如锅炉受热面管内流体与管内壁或管外烟气与管外壁间都存在着对流换热。

关键词 热对流 对流换热 基本原理

流体与流体之间发生相对位移时的热量传递现象称为热对流。自然界中的风就是典型的热对流现象,即热、冷空气间的对流。火电厂中所采用的换热设备中,流体与壁面直接接触,且存在温差,这种由于温差而使流体与壁面间发生的热量传递现象称为对流换热,也称放热。例如锅炉受热面管内流体与管内壁或管外烟气与管外壁间都存在着对流换热。

对流换热实质上是流体与壁面、流体与流体的导热和流体与流体间的热对流的共同作用下的换热方式。因此,对流换热除了受导热规律支配外,还要受流体流动规律的影响,很显然对流换热要比导热复杂得多。下面对影响对流换热的一些主要因素进行讨论。在讨论某一影响因素时,都认为其他条件完全相同。

1 影响对流换热的因素

1.1 引起流体流动的原因

按流动发生的原因,流体的流动有自然运动和强制运动,相应的换热过程称为自然对流和强制对流换热。自然对流是由于流体冷热不均,造成了密度差,温度高的流体密度小,向上浮升,温度低的流体密度大,向下沉降,从而使流体流动,但这种情况下,流体流速很小,对流换热很弱。强制对流是由外部机械力(泵、风机)使流体流动,流速比较大,对流换热较强。因此,对于同种流体,强制对流换热强于自然对流换热。火电厂中,各种热力设备中流体的流动都是强制运动,属于强制对流换热。

1.2 流体有无相变

在对流换热中,流体有无相变对对流换热影响很大。当流体发生相变(沸腾或凝结)时,流体的温度基本保持不变,等于相应压力下的饱和温度,主要通过吸收或放出汽化潜热完成热量传递;流体的运动情况也与无相变的流体的流动情况不同,例如液体受热沸腾时会产生气泡,气泡的运动将增加液体内部的扰动作用,增强了流体对流作用,使换热增强。因此,对同种流体,有相变时的对流换热强于无相变时换热。

1.3 流体的流动状态

流体的流动状态有层流和紊流两种。如果流体分层平行地流动,这种流动状态叫做“层流”。这种情况下,流体的对流换热主要靠流体导热,但由于液体或气体导热系数较小,导热热阻比较大,因此层流时对流换热较弱。如果流体运动除主流方向外,流体内部各层间还发生不断的扰动和掺混作用,这种流动状态叫做“紊流”,但紧贴壁面由于流体存在黏性仍有一薄层流体维持“层流”,该薄层称为“层流底层”,在这种情况下,换热主要靠流体的掺混作用,主要热阻是在层流底层的导热热阻上,但层流底层的导热热阻比层流时的导热热阻小得多,因此,对于同种流体,紊流时的对流换热强于层流时的对流换热。流体流速越大越容易趋向于紊流。

1.4 流体的物理性质

流体的物理性质主要指流体的密度、比热容、导热系数、黏性等。不同的流体(蒸汽、烟气、油、水等)物理性质也不同,因此对对流换热的影响也不同。通常,流体的密度越大,比热容越大,导热系数越大,黏性越小,则越有利于热量传递,对流换热越强。反之亦然。例如,水和油相比,水的密度是油的 1.1 倍左右,比热容是油的 2 倍,导热系数是油的 5 倍,而黏性比油小近 10 倍,所以,水是

一种比油更理想的冷却介质,大型发电机采用双水内冷能更有效提高发电机功率,就是这个原因。又如车床、钻床、刨床等机床工作时,常采用肥皂水冷却刀具,其实质是进一步改善了水的物理性质,使水的密度增大,比热容增大,导热系数增大,黏性减小,从而更有利于将热量从切削刀具上带走。

1.5 几何因素

所谓几何因素是指流体所接触的壁面的形状、尺寸以及流体与壁面的相对位置关系。理论和实践都表明,这些因素都会影响流体的流动情况,因此也影响对流换热。例如,流体在管内流动和流体横掠圆管时的流动。流体在管内流动时,不发生漩涡现象,而当流体横掠圆管时,在圆管背面形成漩涡,漩涡对壁面有强烈的扰动作用,使对流换热增强。又如,在平板表面加热空气时,热面朝上和热面朝下的换热也不一样。热面朝上加热空气时,空气流过壁面受热后很容易浮升,随后较冷空气能很顺利补充其位,不断将壁面热量带走,而热面朝下时,靠近壁面的空气受热后要浮升,但受到壁面阻碍,只能绕过壁面后才能浮升,使较冷空气补充其位速率大大减小,不利于进一步将壁面热量带走,因此热面朝上换热强于热面朝下。此外,流道截面尺寸和形状等也会影响流体流动,从而影响对流换热。

2 对流换热的计算公式——牛顿冷却公式

通过上面讨论,对流换热受到各种因素的影响,要想得到一个能全面考虑各种影响因素的对流换热计算公式是十分困难的。为了表述上的方便,通常将影响对流换热的诸多因素,考虑到一个系数中去,并将其定义为对流换热系数或放热系数,用符号 h 表示,它表示对流换热的强弱,在数值上等于当流体与壁面温差为 1°C , 1m^2 壁面面积上单位时间的换热量,单位为 $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

对流换热量与温差成正比,与对流换热热阻成反比。为了加深理解,现举例说明:在高温季节室内防暑措施常可采用空调或电扇,如果采用空调,可使室内空气温度下降,这时人体与空气间温差增大,使换热量增大,人就感到凉快,如果采用电扇,它不能降低空气温度,即人体与空气间温差不变,但电扇将空气与人体间的自然对流变为强制对流,使换热系数增大,即换热热阻减小,于是换热量也增大,同样使人感到凉快。

强制对流换热一般有两种情况:一种是流体在管内流动时换热,如在水在省煤器管中流动,蒸汽在过热器管内流动时的对流换热,还有一种是流体在管外横掠流过管道的换热,如烟气流过省煤器、过热器外管壁时的对流换热。它们的换热规律不尽相同。理论和实验都证明,流体在管内强制对流时的换热系数主要与流体的流速、管予内径及流体的黏性、导热系数、密度、比热容等有关。当管径一定时,流体的流速越大,对流换热系数就越大。工程上常采用小直径管子,这样在一定的质量流量下流速增大,从而增强了对流体的扰动作用,使换热增强。近年来,人工扰动的研究和应用逐渐成熟,它是利用某种元件作用在管内流动的流体上,使流体扰动作用增强,从而增强了换热。

参考文献

- [1] 雷玉贵.热工动力学[M].北京:水利水电出版社,2006.
- [2] 山东电力集团公司.热工流体流动的基本认识[M].北京:中国电力出版社,2005.