

板式换热器相变流动的传热及压降特性

牟小峰 (国家能源集团榆林化工有限公司, 陕西 榆林 719000)

摘要: 板式换热器具有结构紧凑、清洗方便、换热效率高、价格低廉等优点, 广泛应用于各行工业, 是工业换热作业中使用的主要换热设备。基于此, 本文分析了板式换热器相变流动的传热及压降特性。

关键词: 板式换热器; 传热; 压降

与传统的管壳式换热器相比, 板式换热器具有对数平均温差大、换热效率高、结构紧凑等优点, 被用于空调、供热、可再生能源、分布式能源等换热领域。自 20 世纪 70 年代以来, 板式换热器的相变流动特性逐渐成为研究热点。

1 板式换热器工作原理

板式换热器由一系列互相平行、具有波纹表面的薄金属板相叠而成。冷、热流体在板片两侧各自的流道内流动, 通过传热板片进行换热。除了作为换热面的金属板片, 板式换热器还包括密封垫圈、压紧装置等附属构件。密封垫圈的作用是防止流体的外漏和两流体之间内漏, 它安装于密封槽中, 运行中承受压力和温度, 而且受工作流体的侵蚀, 因此其性能对于板式换热器的承压和使用寿命有决定性作用; 压紧装置包括固定与活动的压紧板及压紧螺栓, 其作用是将垫圈压紧, 产生足够密封力, 使得热交换器在工作时不发生泄漏。

板式换热器最主要的换热元件就是金属波纹板片。板片按波纹的几何形状区分, 有水平平直波纹、人字形波纹、斜波纹等波纹板片; 按流体在板间的流动形貌区分, 有管状流动、带状流动、网状流动的板片。时下工业中应用最广泛的波纹板片是人字形波纹板片和水平平直波纹板片。衡量波纹板片性能优劣, 其主要参数有传热效率、流体阻力和承压能力。一般来说人字形波纹板片的传热效率高、流动阻力大、承压能力好; 水平平直波纹板片, 相对于人字形板片, 则传热效率、流动阻力、承压能力都低一些。人字形波纹板片之所以换热效率高、流体阻力大, 其根本原因是板间流道截面变化十分复杂, 易引发湍流, 同时流体在这种多变的流道中流动, 会更多的消耗能量; 而平直波纹板片的流道变化则类似正弦曲线, 所以换热系数与流体阻力损失都较低。总体来看人字形波纹板片的性能是目前所有板片中最好的。

2 板式换热器的优点

与其他常用的换热器类型相比, 板式换热器具有较多优点, 包括: ①板式换热器传热板间隔较窄, 冷热流体在内流动不会有短路现象发生, 所有压力损失都会作用在有效流动上, 这样一来, 在同样压差下, 板式换热器的传热效率会比管壳式高出, 通过有关数据显示, 一般情况下板式换热器的传热效率是管壳式的 2~4 倍; ②

板式换热器能将逆流换热较好的实现, 因此其有效传热温差大; ③板式换热器由于其紧凑机构, 占地面积小, 通常无需额外专用的场地; ④板式换热器的传热板片可随增随减, 因此, 能对运行中的热负荷变化灵活适应; ⑤在同样热荷载与材质情况下, 板式换热器价格相对低廉; ⑥板式换热器能实现同一个换热器完成两种或以上流体间的换热, 而且非常方便; ⑦板式换热器的传热板片由金属薄板冷压制成, 制作方式简单, 无需焊接等工序, 这也拓宽了其材质选择。

3 板式换热器传热与流动

3.1 流体对流换热分析

以波纹板作为研究对象, 对流体与波纹板之间的对流换热进行分析。流体与波纹板之间存在粘性底层区域, 在此区域范围内热量主要是通过分子的导热来进行传递的, 在此之外通过宏观流体漩涡的运动可将热量传递到主流区域, 采用这两种热传方式实现流体与波纹板壁之间的热传递, 并且两种热传方式是互相有影响的。

3.1.1 强制对流换热

当需强制对流换热时, 此时板式换热器流道内的流体受到两种里的作用, 即为壁面切力和压力差。通常情况下, 越靠近壁面和通道中心处区域受到的温度脉动越强, 并且越靠近壁面区域受到速度脉动越大。在流道内采用这种强制对流传热的方式目前在各种板式换热器中应用较为广泛。通过改变板片上的文波形式能够加强流体换热。在进行强制对流换热时, 脉动温度场和脉动速度场在板式换热器中的分布比较相似, 通过改变波纹表面的几何参数能够提高波纹板的传热效率。

3.1.2 混合对流换热

通过此方式换热时流体在流道内收到了浮力、壁面剪切力及压力差三种力的作用, 在受到浮力作用下, 通道内的速度脉动强度降低, 通道内的平均速度得到了提高, 反之, 当提升速度脉动强度时, 通道内的平均速度也会受到影响, 呈下降趋势。浮力会增强壁面周围的温度脉动强度, 但也降低了中心区域的温度脉动, 这时中心区域的切应力和壁面周围的热通量都达到了最大值。

3.2 基于数值模拟对冷热双流道场的分析

3.2.1 温度场分析

先对板式换热器在 Gambit 中进行网格划分, 并以 esh

格式导出划分后模型,再将其导入到 fluent 软件中,通过对网格质量的检查后,通过数值模拟计算的方法对板式换热器的温度场分析,得到它的温度分布主要具有以下特点:①在热流道区域内,流体从入口到出口温度是逐渐的下降的,而在冷流道中正好呈现相反状态,从入口到出口,温度是逐渐升高的,从而达到换热作用;②由于冷热通道采用耦合换热的方式,热流道内流温度变化要比冷流道内温度变化快;③导热区域温度分布不均匀,越靠近进出口区域的导流区中的流体的流速越快,具有较大的热量流失,所以此区域温度的变换不明显;④流体从流道的入口进入板片区域,首先是穿过导流区,冷热流道的导流区温度分布差别较为明显。

3.2.2 压力场分析

对于压力场分析,先建立一个三维坐标系,将冷热双流道模型放置于坐标系中,分析平行于 XOY 平面上的压力场分布。在热流道中,流体的流动方向是 Y 轴负方向,而对于冷流道流体的流动方向正好相反。经 Fluent 软件处理后得到冷流道内冷水侧压力的损失和热流道中热水侧压力损失,其压力分布存在以下特点:①冷热流道内的压力分布几乎相同。当规定冷热流道中流体的速度相同的情况下,冷流道的压力变化要比热流道中的流体压力变化大;②在流体中压力变化通常都是从入口到出口逐渐降低的,到后面有可能出现负压的情况,出现这种情况的原因在于在出口处容易出现回流情况,从而导致流体的阻力增大,进一步降低了板式换热器的换热效率;③在波纹区域处时压力的分布相对较为均匀。

3.2.3 速度场分析

同压力场分析相同,在冷热双流道空间中建立三维坐标系,并在平行于 XOY 平面上对速度场分析。采用 fluent 软件处理后,得到冷热流道的平均速度,其速度分布特点为:①冷热流道的速度分布情况大致相同,从速度大小上对比可知,冷流道内的流体速度要稍稍比热流道速度慢;②流体在流入波纹区域时速度分布相对较为均匀,而在出口处存在回流较严重现象,所以速度就相对较低。

在实际应用中发现,流速较低的流体能够节约能量,减少工厂成本,但是不能让流体的流速过低,这样容易导致板式换热器的换热效率大大降低。所以,对于板式换热器的设计时应该存在一个最佳的流速,使得在节约能量和成本与适当的换热效率相平衡。

3.3 流体入口速度对流道传热与压降的影响

3.3.1 传热影响分析

根据上述对流体温度场、压力场及速度场的分析,再结合传热系数计算方式,利用 Fluent 软件处理后得到在某个速度下的总传热系数。通常,流道总传热系数越大,在相同运行环境下,板式换热器的换热性能更好,在波纹交集区域,由于存在回流现象严重,进而导

致速度降低,板式换热器的换热性能也有所下降。

对于流体中的不同速度分析可看出,冷热流道波纹板的传热能力都会随着流体速度的升高而提高,所以此时就会使板式换热器性能提高。随着板式换热器流道内的流速增加,也会使其传热系数增大,从而强化了传热性能。

3.3.2 压降影响分析

在不同流道内流体速度情况下分析压降影响可知,当流道内流体速度逐渐增加时,冷热流道内的压降也会随之变大,在此速度下,流道内的流体压力损失都处于合理的范围内。通过模拟由三个板片组成的冷热双流道,当板片的数量增加时,板式换热器的整个压降就会减少,只要控制在合理范围内都能够满足实际需求。

3.3.3 最佳流体速度选择

板式换热器流道内的流体实在板间流动,此时流道内的流体流速是无法均匀分布的,为了使流体处于湍流状态,对于板间平均流速选择应在 0.2~0.8m/s,当低于此范围时,由于无法达到湍流状态而产生了较大的死区,而流速过高又会导致阻力的骤增。通常,每种型号的板式换热器的压降都有自己范围,如安培威公司的某型号的板式换热器,它能够允许的压降为 0.1MPa,在阻力容许的情况下能够充分应用压降提高对流传热系数,从而减小传热面积,减少设备投资。当然,过高的压降又会造成用户运行费用的增加。总之,选取最佳的流速,在考虑允许压降的情况下适当提高流体速度。

4 板式换热器现存问题

板式换热器存在的问题包括:①承压能力仍限制其应用范围进一步扩大,耐温、耐压并可长期使用的密封垫片尚需进一步开发;②在各工作压力下,满足强度要求的板材强度还不能准确计算,尚要节省材料消耗的进一步研究。利用全镀覆耐蚀金属的碳钢板代替合金钢板以降低生产成本,是需解决的问题。目前已有这方面的研究成果,但尚未实现工业应用;③目前国内各厂生产的板式换热器规格尚不统一,要制定统一标准;④冷凝型板式换热器尚需开发;⑤开发适于恶劣环境的新型板式换热器。

综上所述,板式换热器具有高效节能、结构紧凑、易清洗拆装方便、使用寿命长、适应性强且不串液等优点,其作为一种高效紧凑式的换热器,在其加热、冷却、凝结、蒸发和热传导过程中,与管壳式换热器相比具有低廉价格和更高传热效率的优点,因而得到了各工业领域的广泛应用。板式换热器的应用不仅能起到节能减耗作用,而且能降低工业生产成本,增加其经济效益,对工业的生产经济具有促进作用。

参考文献:

- [1] 曲宁.板式换热器传热与流动分析[D].济南:山东大学,2016(05).