

汽水分离器的研究现状与展望

工业上常见的汽水分离器种类和原理总结——汽水分离器在工业应用中非常普遍，比如食品、饮料、制药和化工等。低干度的蒸汽不但会造成设备损伤，增加系统安全风险，而且造成工艺生产效率的下降。因此，随着各个行业生产效率的提升，对于汽水分离器的性能要求也越来越高。本文旨在概要地总结工业上常见的汽水分离器种类，其运行特性以及所采用的汽水分离的原理，为分离器的设计以及分离技术的研究提供指导性的意见。

文 / 杜云川

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A220422

蒸汽作为热载体在工业生产中有着非常广泛的应用，蒸汽干度是蒸汽品质的核心评定因素，在一些行业应用规范中有具体的数值要求。在蒸汽输送系统中，蒸汽带水过多将会引发强烈的水锤，造成管道爆炸。在使用端，制药行业灭菌应用中，蒸汽干度过低将会导致灭菌失败，从而引起药品质量不合格；在食品饮料行业的一些应用中，蒸汽会直接跟物料混合，如果带水严重，将会导致食品的口感和品质下降。因此，要实现对湿蒸汽除湿和提升蒸汽的干度，加装汽水分离器是典型且普遍的应用技术。

本文旨在概括总结工业企业中常用的汽水分离器，剖析现状，明确其在中应用遇到的问题

本文作者供职于斯派莎克工程中国有限公司。

展中存在的瓶颈，为以后的研究指明方向。着广泛的应用，其分离效果主要受丝网材质、来流速度、液滴颗粒大

丝网式汽水分离器

原理及结构

丝网分离器的结构如图1和图2所示，其原理主要是利用丝状材料组成的网格材料阻挡或吸收汽水混合物中的水分。当液滴的直径大于相邻丝网之间的间隙时，便不能通过丝网而被拦截下来；对于小直径的液滴，而由于水具有一定的黏度和液滴在高速下的不规则形状，其在经过丝网组成的间隙时会发生“桥接”的现象，从而被拦截下来。

应用及研究现状

丝网式汽水分离器在石化行业的塔气分离中有

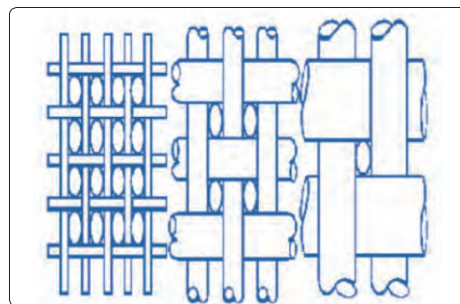


图1 丝网分离器微观结构图

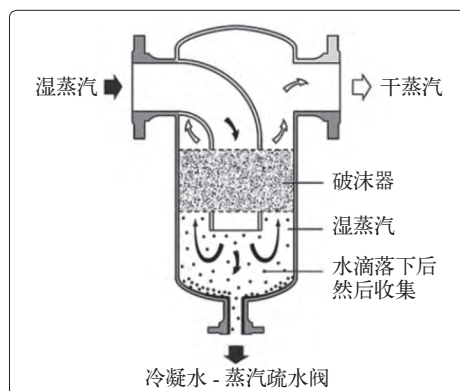


图2 丝网式汽水分离器结构图

小等因素的影响。对于材质的选择上,一些研究比较了气液过滤分离时玻璃纤维、聚酯纤维和芳纶纤维3种过滤材料对过滤分离器压降的影响,发现玻璃纤维滤材的持液量较大,但是压降也相对较大,并提出了对纤维的选材建议,即选用可以分散液滴和可以更高效地将收集到的水排走的材料更适合作为过滤材料。

对丝网分离器的分离效率有显著影响的是二相流的来流速度,图3显示了在不同来流速度情况下丝网分离器的主要作用原理:在气流速度比较小时,扩散机理起到主要的分离作用,随着气流速度的提升,拦截滞留开始起作用,随着气流速度的进一步提升,惯性冲击机理开始起到主要的分离作用。需要注意的是,在其他条件一致时,丝网式分离器的分离效率在低流速和高流速时的分离效率高于中等流速时的分离效率,在来流速度较大的情况下,可能会发生液滴的二次夹带。

难点和展望

研究表明,汽液相密度、液滴粒径、除沫器比表面积及汽体流速是影响丝网式汽水分离器分离效率的主要因素,已经有比较多的研究且形成了相对成熟的方法理论。但是,对于分离器容易造成的二次夹带后分离效率的变化规律以及模型预测缺乏研究。另外,分离器塔体及内部件的布置方式对于分离效率影响的研究,也是需要研究的重要方向之一,是对实际应用中具备重大指导意义的问题。

旋风式汽水分离器

分离原理

旋风分离器式利用液滴在旋转运动过程中,由于惯性力和离

心力的作用,将液滴从主气流中分离出设备,其详细工作原理如图4所示。旋风分离器是把汽水混合物从进气管切向引入分离器,由于引入的汽流动能较大,形成在切向上具有很大速度的旋转运动,使液滴具有较大惯性力和离心力。液滴在惯性力和离心力的作用下,碰撞到旋风分离器壳体内部表面上与气流分离。被分离出的液滴在重力作用下,沿壳体内部表面从排液口流出分离器。

应用及研究现状

旋风式汽水分离器具有结构简单、制造容易、无可运动零部件以及结实耐用等优势,因此在石化、热电、钢铁和轮胎等多个行业有非常多的应用。旋风式汽水分离器的结构简单,但是内部气体的流动比较复杂,液滴在旋转运动时不仅受到离心力,还有液滴与液滴之间的碰撞、凝聚与壁面撞击的破碎等其他因素的影响。模拟研究显示,不同大小的液滴在分离器内部的运动轨迹有所不同,小液滴受气流脉动和大液滴携带的作用较为显著,对分离性能影响较大,因此,液滴粒径越大,分离效率也越高。

切向的气流入口是常用的一种结构,其造价低,易加工且具有较好的分离效果。但是这种构造使得分离器内部存在压力分布不均衡的情况,压力损失较大,

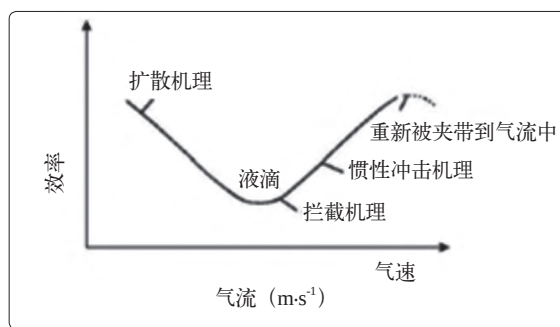


图3 丝网式汽水分离效率与气流速度关系

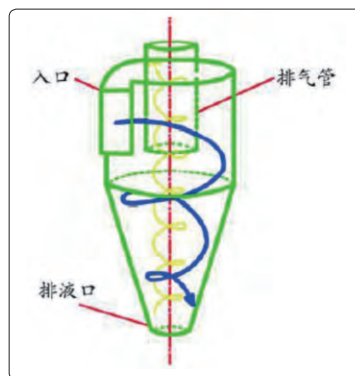


图4 旋风分离器结构示意图

到目前为止,有不同的学者提出了不同的气流入口结构设计,分别是切向、蜗壳式、螺旋面、轴向叶片、径向入口和螺旋线入口,它们的结构如图5所示,优缺点总结见表1。

随着CFD技术的发展,国内外诸多研究者采用该方法研究旋风分离器的内部流动特性,为提高其效率提供理论支持。如S.Bernardo等模拟并研究了分离器内部结构对涡流的影响,并假设了几种优化的结构设计;柯柄

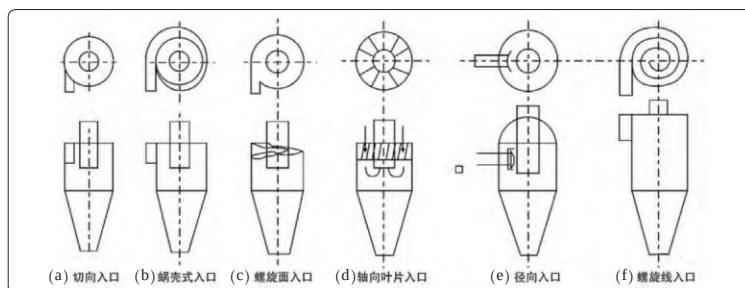


图5 入口结构图

表 1 入口结构优缺点对比

入口结构	优点	缺点
切向式	造价低,易加工,分离性能较好	内部流场呈现不对称性,压降较大
蜗壳式	可避免内部流场的湍流扰动及壁面冲刷,有利于降低液滴的反弹与反混	内部流场仍然是不对称的,容易产生二次流和局部涡,降低分离效率
螺旋面	改善分离器内外旋流相互干扰问题,与切向式和蜗壳式相比,该结构的旋风分离器阻力系数最小	相比上面两种结构,其分离系数较低
轴向叶片入口	压力损失小,流量大,体积较小	分离效率相对较低
径向入口	切向速度分布较对称,分离效率更高	加工困难
螺旋线入口	压力损失小,分离效率高	加工困难

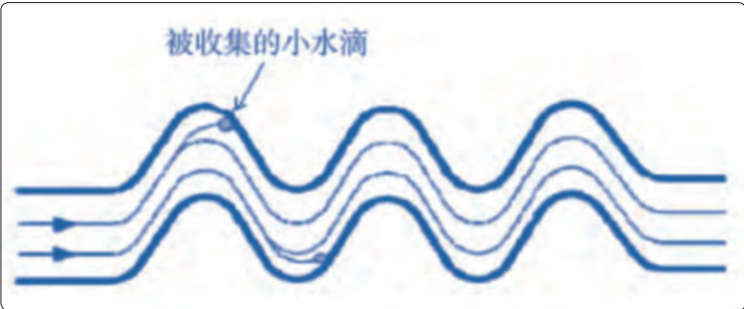


图 6 波形板分离器原理图

正、刘妍等建立了两级汽水分离器内流体流动的数值模型,通过数值模拟和试验数据的比对,对导叶个数、悬臂宽度和高度以及出口直径等分离性能影响因素进行了分析,并提出了设计优化建议。

难点和展望

旋风分离器虽然结构简单,但是流动特性复杂,细微的设计结构变化对分离效果就可能产生较大的影响。在分离的过程中,液滴会在分离器内部形成液膜,液膜在切向力的作用下很容易产生破裂,从而形成二次液滴。目前,对于分离器内液膜的运动特性、破裂机理的研究较少,有望成为今后重点的发展方向。

波形板式汽水分离器

分离原理

波纹板式汽水分离器的主要作用原理是来流气体通过曲折的

流道空间来回进行 Z 字形运动,在经过弯道时气体的流动方向发生改变,液滴因为运动惯性会直接撞击在波形板上,在波形板的表面形成一层水膜,并在重力的作用下被收集起来。常用作汽水分离器的末级分离,如图 6 所示展示了波形板汽水分离器内部的构造以及分离原理。

应用及研究现状

波形板汽水分离器在石化、钢铁、食品饮料等行业有着较多的应用,最近 10 多年来,由于其结构简单、性能稳定等优势,其小口径的应用得到了快速的发展。波形板汽水分离器的发展经历了无勾、单勾、双勾和吸附等阶段。随着数值模拟和高速摄像技术的发展,波形板式汽水分离器的研究得到了快速的发展。

影响波形板汽水分离器分离效率的因素主要有液滴尺寸、气流特性、波纹板结构等。数值研

究方面,通过建立这些因素在波纹板内运行特性的数值模拟,模拟其运动特性。依据板内流动的动量方程和能量方程,建立了液膜平衡的数学模型,计算和分析了液膜厚度、流速等流动参数;拉格朗日离散例子模拟法也是数值模拟研究在分析大涡模拟、湍流脉动对分离效果的影响方面取得了较好的验证结果;Fluent 软件模拟表明,当入口速度不同时,波形板的汽流都会有一个临界破膜速度,它随着入口速度的增大而逐渐减少。在试验研究方面,主要通过高速摄影的观察手段,分析液滴和汽流的行为特性。研究表明,当波形板装有疏水沟时,其分离效率要比无沟时要大很多;流的湍动度对液滴的破碎和聚合有很大影响,并且波形板的分离效率与液滴直径有关。

难点和展望

波形板汽水分离器在液滴分离后,液膜的破裂会产生二次携带,对二次携带产生机理的数学模型以及影响因素的深入研究,有望成为以后的重要研究方向。

结论和展望

本文通过对市场上运行的主要类型的汽水分离器的研究和现状分析,对于主要的研究成果进行了总结和展望:数值模拟技术的发展对于汽水分离器的发展有着巨大的贡献,无论哪种分离形式,二次携带都是共同存在的难点,至今没有非常好的方法来解决,在今后的研究中,这将是一个重点的研究方向。同时,通过多种分离方式的组合来解决现有问题实现高效汽水分离是另外一个值得探索和研究的方