

锯齿边窄条阀的改进

周三平, 樊玉光

(西安石油大学机械工程学院, 陕西 西安 710065)

摘要:详细分析了 3D 条阀的设计思想。应用典型的水-空气冷模实验系统对 3D 条阀、STV 条阀和 F1 型浮阀 3 种条阀进行了对比实验研究,测定了多种气液负荷下 3 种浮阀塔板的板压降、雾沫夹带和漏液量等流体力学性能,利用氧解吸法测定了 3 种浮阀塔板的传质效率。实验结果表明,在相同条件下,3D 条阀各方面的性能均比上一代产品 STV 条阀以及 F1 型浮阀优良,板效率提高,在工业应用范围内,板压降最小,雾沫夹带与泄漏量比 STV 条阀小而与 F1 基本相当,是一种综合性能优良的高效条阀。

关键词:浮阀;板效率;板压降;雾沫夹带;泄漏

中图分类号:TQ053.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2006)12-0053-04

Amelioration of tooth-like narrow strip valve

ZHOU San-ping, FAN Yu-guang

(Mechanical Engineering Institute, Xi'an Shiyu University, Xi'an 710065, China)

Abstract: The designing philosophy of 3D strip valve is analyzed in detail. In an experimental rectangular column of 1 000 mm × 350 mm, comparison experiments of 3D strip valve with STV strip valve and F1 valve were performed by employing a typical model experimental system of water-air. The hydraulic properties, such as tray pressure drop, entrainment rate, and weeping rate were measured, and the mass transfer efficiency was determined through the method of oxygen-absorptions. The results demonstrated that under the same conditions, the comprehensive performance of 3D strip valve was better than that of STV strip valve and F1 type of valve. The tray efficiency of 3D strip valves was the highest, while the tray pressure drop was the lowest in the scope of industrial use, and the entrainment rate and weeping rate were lower than that of STV strip valve and almost the same with F1 type. It's proven that 3D strip valve was a better valve in terms of comprehensive technology.

Key words: float valve; tray efficiency; tray pressure drop; entrainment rate; weeping rate

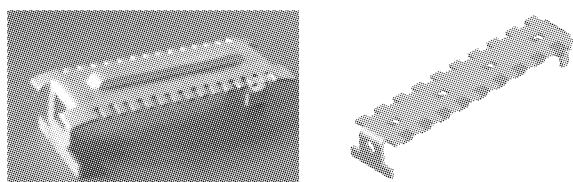
塔设备是气液传质设备中最重要的设备之一,而浮阀塔自 1950 年工业应用以来,因其优越的性能在塔设备中占有举足轻重的地位,尤其是 F1 型浮阀更占有重要地位,它对化工、石油化工和炼油等工业的发展起到了积极的促进作用。但是它的缺点也显而易见,如液面梯度和液体返混程度较大,塔板两侧的弓形区域存在涡流现象和滞留死区等。近年来,随着技术的发展,国内外相继开发出了许多其他类型的高效浮阀^[1-10],其中尤以条型浮阀(以下简称条阀)最为典型。这些都显示出浮阀塔在工业应用和未来发展中的强劲势头。在条阀的基础上,经过不断的实验和工程优化,西安石油大学也相继研制和开发出了 3 代高效条阀:浮阀鼓泡器、锯齿边窄条阀(STV 条阀)和 3D 条阀。经过实验,第 3 代产品 3D 条阀在结构改进后,其综合性能要比上一代产品 STV 条阀优越。

1 3D 条阀的设计思想

笔者设计的条阀的传质理念是基于板上气液两相构造而成的一个分层次、多方位、立体的鼓泡传质模型,极大地提高了气液接触面积,从而显著提高塔板效率。围绕着这样一个目标,西安石油大学相继开发出了 3 代产品。第 1 代产品——浮阀鼓泡器,由于该阀顶面和侧面均开满了鼓泡口,类似于一个立体状的鼓泡器,使鼓泡口向空中延伸,这样不但大大增大了塔盘单位面积的开孔率,也体现了分层次、多方位、立体的传质理念。实验和实践充分证实了该阀优良的性能^[11]。但是该阀结构复杂,制造成本较高。此外,由于该阀侧面有 4 个鼓泡孔,在低气相负荷区,漏液量相对较大,适合在大处理量条件下使用。为此开发出了第 2 代产品:锯齿边窄条阀(STV 条阀系列)。该阀具有极大的长宽比,加上锯齿状的周边,使得气液接触周长比同样开孔面积的 F1 浮阀

周长增加 50% 以上。此外周边的锯齿像梳子一样梳理着从阀孔鼓出的气流,使得鼓泡更加均匀、细化,气液接触更加充分。自从 1998 年开发出该阀以来,笔者做了大量的基础研究和结构尺寸优化工作,从应用情况来看,效果令人满意^[12],STV 条阀结构如图 1(a)所示。

经过研究发现,STV 条阀仍有改进的空间,改进后的浮阀也就是第 3 代产品——3D 条阀系列,其结构如图 1(b)所示。



(a)STV 条阀结构示意图

(b)3D 条阀结构示意图

图 1 STV 条阀与 3D 条阀结构对比

3D 条阀是在 STV 条阀的基础上做了 2 点重大改进:①为了消除浮阀顶端的传质死区,原 STV 条阀在其顶端向上开有条形鼓泡口。其不足之处是由于阀顶鼓泡口向上开,离液面距离较近;改进后,阀顶鼓泡口开成 4 个向下的导向片。其目的是使阀顶鼓泡口离液面距离加大,从而增长了气液接触时间,减少雾沫夹带量;导向片结构使得气流斜向鼓出,使得上述的优点进一步加强,并带有导向功能。另外,阀顶鼓泡口数量由原来的一个条形结构变成 4 个方孔结构,使得气流强制性分割成 4 股鼓出,使鼓出的气流更加细化。②由 STV 条阀的两侧锯齿边改成两侧下凹的导流片。阀两侧边下凹的导流片和条阀中央开设的导向片使上升的气体以 3 个方位进入液体,更充分体现了分层次、多方位、鼓泡的立体传质模型,3D 条阀鼓泡状态示意图如图 2 所示。

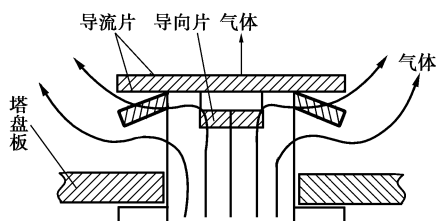
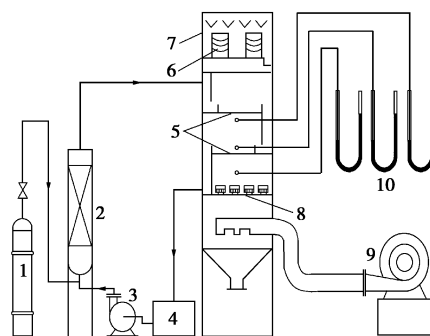


图 2 3D 条阀鼓泡状态示意图

2 实验装置及原理

为了检验改进后的 3D 条阀的流体力学性能和传质效率,在典型的水-空气冷模实验装置上对这 2 种条阀塔板进行了对比实验研究,并在相同条件下

与 F1 型浮阀塔板也进行了对比实验,实验装置流程如图 3 所示。实验塔为 1 000 mm × 350 mm 规格的矩形塔,全塔分 4 层,下层为一泡罩板气体分布板,中间为 2 块实验板,上层为捕沫板,塔顶装有 2 块旋流板以配合捕沫板收集气体夹带的雾沫。泄漏的液体由装在塔底的液体排出口收集。矩形塔由有机玻璃制造,便于观察板上的气液接触状况。



1—氧气瓶;2—吸收塔;3—水泵;4—水箱;5—实验塔盘;
6—旋流板;7—有机玻璃方塔;8—气体分布板;9—风机;
10—U 形测压管

图 3 实验装置流程图

实验塔板开孔率为 13.47%,板间距为 450 mm,液体出口堰高 50 mm。实验在水-空气-氧气系统中进行。吸收塔为填料塔,其直径为 200 mm,内装散堆的 $\Phi 15$ mm 鲍尔环填料。

雾沫夹带量根据塔顶捕沫板收集后测得。液体泄漏量由塔底的液体排出口收集后测得。塔板效率的测量采用氧解吸法。经过吸收塔吸收氧气后的富氧水进入有机玻璃方塔进行解吸,然后利用碘量法可测得进入被测塔板前后的水中的溶解氧含量^[13],经过计算即可得到被测塔板的板效率。

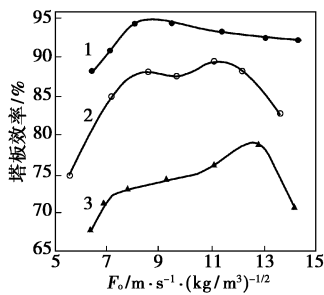
3 实验结果与分析

为了有可比性,所使用的 3D 条阀、STV 条阀与 F1 型浮阀开孔面积相当。实验测得了溢流强度 L_w 分别为 0、6、9、18 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 时,3D 条阀、STV 条阀与 F1 型浮阀塔板的板效率、雾沫夹带量、压降和漏液量等随阀孔动能因子 F_0 的变化关系。限于篇幅,在此只示出了 $L_w = 9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 的实验结果,其他的实验结果与此基本相似。

3.1 塔盘板效率

测得 3D 条阀、STV 条阀与 F1 型浮阀的塔板效率随阀孔功能因子 F_0 的变化曲线如图 4 所示。

由图 4 可知:①3 种阀板效率曲线均表现为中间效率高,两端效率低。在气相负荷较小时,浮阀



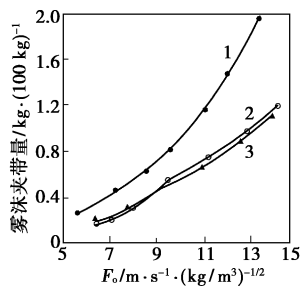
1—3D条阀;2—STV条阀;3—F1型浮阀

图4 3种浮阀效率对比

尚未全开启,板上有清液层。同时阀孔气流较小,漏液比较严重,此时分离效率较低,尤其在液相负荷大,而同时气相负荷较小时尤为明显。随着气相负荷的增加,鼓泡区扩大,塔板效率增大。但随着气相负荷的进一步增大,阀孔气流增大,雾沫夹带量增多,气液接触时间缩短,板效率又开始下降。②3D条阀要比STV条阀的板效率高约10%,而比F1型浮阀的板效率高约20%。

3.2 塔板雾沫夹带

雾沫夹带是下一层塔板上的液体被气体以液滴的形式吹入到上层塔板的过程。测得的3D条阀、STV条阀与F1型浮阀塔板的雾沫夹带量情况如图5所示,图中纵坐标表示每100 kg液体中被气体所夹带上去的液体质量。



1—STV条阀;2—3D条阀;3—F1型浮阀

图5 3种条阀板雾沫夹带对比

由图5可知:①随气相负荷的增大,阀孔动能因子增大,3种浮阀的雾沫夹带量也随之增加;②3D条阀塔板的雾沫夹带量比STV条阀小,与F1型浮阀塔板的雾沫夹带量基本相当,在较大负荷时其略大一些。主要是由于3D条阀的阀顶鼓泡口设计成低位导向片,离液面距离加大,加上气相鼓出时为倾斜方向,另外条阀两侧边下凹的导流片结构使得条阀两侧边气相鼓出时为2个交错的倾斜方向,其结果使得气相在液层中的行程变大,气液接触时间增长,因而其雾沫夹带量较小。

3.3 塔板压降

不同负荷下的塔板压降如图6所示,图中溢流强度 L_w 等于零时所示的曲线为其干板压降。

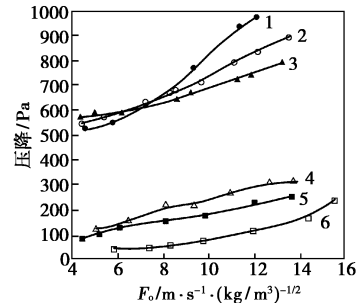
 $L_w = 9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$:1—F1型浮阀;2—3D条阀;3—STV条阀 $L_w = 0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$:4—F1型浮阀;5—3D条阀;6—STV条阀

图6 3种条阀板压降对比

由图6可知:

(1)干板压降主要取决于气流通过阀的孔隙的大小。由于STV条阀较大的阀顶鼓泡口和阀两侧齿间缝隙,3D条阀的阀顶鼓泡口和阀两侧边锯齿状的下凹导流片的间隙较小,而F1型浮阀则没有鼓泡口和周边间隙,因此STV条阀的干板压降最小,3D条阀次之,F1型浮阀最大。

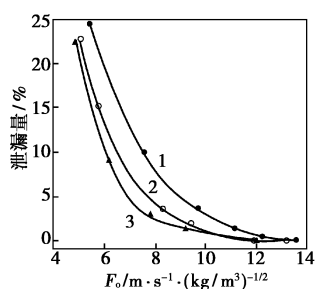
(2)3条曲线在气相负荷较小时,总板压降曲线比较平缓,随着负荷的增加,曲线开始变陡,由平缓变陡的转折处即为塔板上浮阀的全部开启处。当然由于塔板上各处的液层厚度不一样以及操作时的不稳定性,使得在一定风速下塔盘板上各阀的全开有先后,因此曲线转折处不是明显的以一个点的形式出现,而是有一个过程。而3D条阀与STV条阀由于阀顶的鼓泡口以及周边齿间缝隙,在其全开前,气流已经从阀顶鼓泡口和齿间缝隙中冲出,致使曲线转折没有F1型浮阀明显。

(3)负荷小时,阀没有全开,3D条阀由于较小的阀顶鼓泡口和两侧边较小的导流片间隙,加上阀顶鼓泡口导向片导向作用不明显,使其压降稍微大一些。阀全开后,3D条阀的阀顶鼓泡口导向片的导向作用加大,致使其压降最小,F1型浮阀没有导向作用,其压降最大。工业应用的浮阀塔推荐阀孔动能因子 F_o 为5~15,新设计塔推荐采用8~12。在工业应用范围内,3D条阀板压降最小,STV条阀次之,F1型浮阀最大。

3.4 塔板漏液量

漏液主要发生在气相负荷较小时,板上浮阀没有全部升起前,在浮阀起落过程中,由于浮阀关闭的

滞后,此时漏液量较大。实验结果也证实了这一点,3种条阀漏液量对比如图7所示。



1—STV条阀;2—3D条阀;3—F1型浮阀

图7 3种条阀漏液量对比

3种阀的泄漏量有差异。STV条阀由于较大的阀顶鼓泡口和阀两侧齿间缝隙,泄漏量最大;3D条阀由于较小的阀顶鼓泡口和较小阀两侧边导流片的间隙,泄漏量次之;而F1型浮阀没有鼓泡口和周边间隙,其泄漏量最小。随着气相负荷的增大,3种浮阀全部开起,此时,3种阀均几乎没有泄漏。

4 现场应用

从2003年开发该阀以来,笔者做了大量的基础研究和结构尺寸优化工作,2005年该阀已开始大量应用于工程中。2005年新疆石油管理局20万t/a甲醇精馏装置中设有精甲醇常压精馏塔和甲醇气提塔,该装置的最关键部分是精甲醇常压精馏塔,要精馏出剩余的40%的甲醇,其中的少量乙醇很难分离,分离难度比加压塔更大,要求塔顶得到美国AA级精甲醇,塔底水达到排放标准,所需理论级数较高。而国内甲醇多达国标,达到美国AA级要求的精甲醇产品不多。笔者采用3D条阀和等几率填料(笔者的另一项专利技术)相结合的工艺,提高了分离效率,侧线采出富集的甲醇,并使塔顶和塔底产品同时达到合格要求。目前该装置已开始运行,产品质量合格。

除此之外,同年该阀还成功地应用于宁夏煤业集团25万t/a甲醇项目CO₂吸收塔、CO₂闪蒸塔、H₂S吸收塔、H₂S浓缩塔等4塔;河南开洋化工有限公司20万t/a甲醇工程中甲醇洗涤塔、CO₂解吸塔和H₂S浓缩塔等3塔也采用该阀;陕西黑猫焦化公司10万t/a甲醇发电工程常压塔、预精馏塔和加压塔等3塔的塔内件也准备采用该条阀,已经对该工程进行了设计和制造工作,目前正处在安装和调试阶段。

5 结论

(1)第3代产品(3D条阀)的板效率比第2代产品(STV条阀)的板效率高约10%;而比F1型浮阀的板效率要高约20%。

(2)由于3D条阀的阀顶鼓泡口设计成低位的导向片结构,以及气流经过阀孔时需斜向鼓出,3D条阀的雾沫夹带量比上一代产品STV条阀的雾沫夹带量要小很多,而与F1型浮阀塔板的雾沫夹带量总体上基本相当。

(3)在工业应用范围内,3D条阀的板压降最小,STV条阀次之,F1型浮阀的最大。

(4)在气相负荷较小时,3D条阀由于较小的阀顶鼓泡口和阀两侧边导流片的间隙,其泄漏量比没有鼓泡口和周边间隙的F1型浮阀稍微大一些,而比STV条阀要小。随着气相负荷的增大,3种浮阀全部开起,此时,3种阀均几乎没有泄漏。

综上所述,第3代产品3D条阀的改进设计是成功的,各方面的性能优于上一代产品STV条阀和F1型浮阀,是一种综合性能优良的高效条阀。

参考文献

- [1] Billet R. Distillation and absorption IchemE[C]. Symp Series, No 128, London: The Chameleon Press, 1992: A361.
- [2] 黄洁,曾爱武,吴剑华,等.高弹性浮阀塔板的性能[J].石油化工,1995,24(3):183-187.
- [3] 宫川三郎.高性能蒸馏塔トレイ“ナイトレイ”と“スーパーフワツタイレイ”[J].Petrotec,1993,16(2):136-140.
- [4] Williams J A. Optimize distillation system revamps[J]. Chemical Engineering Progress, 1998, 94(3): 23-33.
- [5] Slole A W. Should you switch to high capacity trays[J]. Chemical Engineering Progress, 1999, 95(1): 23-35.
- [6] 刘吉,吕家卓,谢润兴,等.微分浮阀塔板的研究和应用[J].化学工程,2000,28(5):10-14.
- [7] 张容庆,漆萍,高有飞,等.L1条形浮阀塔板的性能与工业应用[J].现代化工,1996,16(10):46-49.
- [8] 成枫,胡忠良,王忠诚,等.JF复合浮阀塔板的开发和应用[J].石油化工,1995,24(2):118-123.
- [9] 王忠诚,曾爱武,吴剑华,等.新型塔板:导向梯形浮阀塔板的流体力学性能[J].石油炼制与化工,1995,26(11):36-39.
- [10] 刘艳升,段道顺,赵景芳,等.HTV船型浮阀塔板两相流动操作状态及其相互转变规律[J].化学工程,1994,22(1):14-18.
- [11] 周三平,樊玉光,陈兵,等.浮阀鼓泡器塔板的流体力学性能实验[J].化工进展,2006,25(1):85-88.
- [12] 周三平,樊玉光,陈兵,等.锯齿边窄条阀塔板流体力学和传质性能实验研究[J].化学工程,2006,34(2):4-7.
- [13] 中科院卫生所.中国水质分析大全[M].北京:人民卫生出版社,1980.■