

文章编号: 1001-3482(2007)05-0027-03

波纹板聚结油水分离技术研究进展

陈文征, 张贵才, 尹海峰

(中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061)

摘要: 综述了波纹板聚结油水分离技术的分离原理、发展过程和研究现状, 对研究过程中存在的难题进行了讨论, 并提出了波纹板聚结油水分离技术的研究发展方向。

关键词: 油水分离; 波纹板; 聚结; 进展

中图分类号: TE931.101 **文献标识码:** B

The Development of the Corrugated Plates Coalescing Oil-water Separation Technology

CHEN Wen-zheng, ZHANG Gui-cai, YIN Hai-feng

(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: In the paper, the separation principle, the history and the newly development of the corrugated plates coalescing oil-water separation technology are summarized, discussion on the difficulties and the problems met in the research progress was done, some proposals are also given for the further research as well in the paper.

Key words: oil-water separation; corrugated plates; coalescing; development

油水分离的主要方法有重力分离法、离心分离法、电脱分离法、聚结分离法和化学处理法等^[1]。离

心分离法和电脱分离法都需要外加动力设备、能耗高; 化学处理法易引起二次污染, 随着社会对环境保

3 结论

通过对锥阀进行三维流场分析, 可以认为锥阀的振动是由于阀内流场不稳定导致的。锥阀流场的不稳定包括漩涡有规律的脱落和下阀腔流体流动方向的摇摆, 而且漩涡的脱落频率和下阀腔流体的摇摆频率都与锥阀的开度有关, 在锥阀开度调节过程中就有可能由于流体的变化规律与锥阀的固有频率一致而导致共振。正是由于阀内流场的不稳定, 锥阀阀芯容易发生振动, 阀杆受到了交变载荷的作用, 因此锥阀在高压、高流速工况下容易发生阀杆断裂和阀芯脱落的失效事故。因此, 在高压井控节流阀的设计中应考虑流体诱发振动的因素。针对锥阀的问题, 可以考虑采用楔形阀芯代替锥形, 使下阀腔的流场结构不是对称分布, 从而破坏涡街形成条件, 减小流体

诱发的振动。改进效果需要另作研究。

参考文献:

- [1] 安文华, 杨忠锋. 迪那 2 井三次井控技术[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(1): 23-26.
- [2] 陈惠玲. 节流管汇存在的问题及改进措施[J]. 天然气工业, 1998, 18(4): 91.
- [3] 王德玉, 刘清友, 何 霞. 高压节流阀的失效与受力分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(6): 94-96.
- [4] 张玉润, 张宇明. 用概率分析研究克服流体诱发调节阀振动[J]. 仪器仪表学报, 2002, (4): 111-124.
- [5] 曹秉刚, 史维祥, 中野和夫. 内流式锥阀液动力及阀芯锥面压强分布的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 1995, 7(7): 7-12.
- [6] 周谈仁. 流体力学: 泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

收稿日期: 2006-10-18

作者简介: 陈文征(1982-), 男, 山东临沂人, 在读硕士研究生, 主要从事油田水处理和提高采收率方面的研究。

护的严格要求,应用也受到限制。目前,应用较为广泛的是重力分离法和聚结分离法。波纹板聚结油水分离技术是重力分离和聚结分离结合于一体的一项新型油水分离技术,由于其具有能耗低、分离效率高、设备简单、结构紧凑等优点,成为国内外众多学者研究的热点。笔者在查阅大量文献资料的基础上,对波纹板聚结油水分离技术的分离原理、发展历程及国内外研究现状作了论述,讨论了该技术发展过程中存在的困难和问题,并预测了其发展趋势。

1 分离原理

在一定的压力和温度下,油水混相在分离器内流动过程中,由于油、水二相的密度差异,油滴在设备内上浮,水相则由于重力作用在设备内下沉。油滴的浮升速度符合斯托克斯(Stokes)公式,即

$$v_{\alpha} = \frac{(\rho_o - \rho_w)gd_i^2}{18\mu} \quad (1)$$

式中, v_{α} 为油滴浮升速度,m/s; d_i 为油滴粒径,m; ρ_o 为油的密度, kg/m^3 ; ρ_w 为水的密度, kg/m^3 ; μ 为水的粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

对于一定粒径的油滴,由式(1)可导出其分离效率为

$$\eta_i = \frac{(\rho_o - \rho_w)gd_i^2 A_T}{18\mu Q} \quad (2)$$

式中: η_i 为粒径为 d_i 的油滴分离效率; A_T 为油滴的浮升面积; Q 为处理量。

可以看出,油滴的分离效率只与油水的物性、油滴粒径、处理量和油滴浮升面积有关,由此,在处理量一定的情况下,提高油滴分离效率的主要方法有:增大油水二相间的密度差;增大浮升油滴的直径;增大油滴的浮升面积;降低水相粘度。

波纹板聚结油水分离技术正是基于以上原理,采用多层波纹板组,通过缩短油滴浮升高度来提高油滴分离效率,同时,油水混相在板组内流动过程中,由于过流断面不断变化和波纹状流道,使流体流速时大时小,方向不断发生变化,从而使油滴碰撞聚结的几率增大,小油滴在运动过程中不断聚结变大,通过润湿、吸附、聚结等作用,在波纹板的下表面形成油膜,并沿板面移动,脱落,水相在重力作用下沉降,到达下层波纹板的上表面,最终更快地实现了油水分离。

2 波纹板聚结油水分离技术的发展历程

波纹板聚结油水分离装置的雏形是由美国石油

学会研制的API型油水分离池。1950年,美国壳牌(Shell)公司在此基础上开发研制了第1台平行板隔油池(Parallel Plate Interceptor),是“浅池原理”和聚结技术相结合的产物,加快了油水分离速度,可脱除直径大于 $60\mu\text{m}$ 的油滴。此后,该公司又设计出的波纹板隔油器(Coagulated Plate Interceptor),采用波纹板组增大单位容积的分离面积,与平行板隔油池相比,其分离效果更好,停留时间更短,但也存在布水不均匀,设备有效利用率不高等缺点。

20世纪70年代,英国Fram公司开发出了聚结板分离器(Coalescing Plate Separator),其中的聚结元件采用一叠由玻璃纤维制作的V型板,每块板上均设有散液孔,板组流道宽度不等,使得油滴碰撞聚结的几率增大,最后聚结的油滴从波峰处的散液孔溢出,实现油水分离,该设备出水含油量稳定在 $50\text{mg}/\text{L}$ 左右,但容易被沉积的泥砂阻塞。进入80年代,世界著名油田设备制造商GE NATCO公司相继开发了Performax板式聚结器,双相流油水分离器等一批高质量的油水分离设备,并在天然气去雾、原油脱水等领域得到广泛应用,从而有力地推动了油水分离技术的发展^[2]。

3 国内外最新研究进展

波纹板聚结油水分离技术经过半个多世纪的发展,以其他油水分离方法无可替代的优势应用越来越广泛,但也存在设计的分离器内部条件不理想,设备的有效利用率偏低等问题。近年来,国内外研究人员对直接影响设备流动特性和分离特性的内部结构做了大量研究。在入口、布液、聚结和集液等构件上不断有新结构出现。

Gregory G. Aymong对进液分布器的形式和倾角进行了研究,其实验结果表明,在各种角度中, 45° 倾角安装时液流最为平稳,而且此情况下液流宽度与容器宽度相当,较好的利用了封头处容器的空间,提高了容器的有效利用率和油水分离效率^[7]。在美国的一项油气水分离器专利中,其结构吸收了双流式分离器的优点,又引入了离心分离的机制,有机地利用和发挥了双向流、离心分离和填料聚结的特点^[3-8]。

在波纹板填料聚结构件方面,先后出现了平行波纹板填料、自支撑式波纹板填料和峰谷搭片式波纹填料等聚结填料^[9-12]。针对波纹板组易被水中沉积的固体颗粒阻塞的问题,美国学者Gregory G. Aymong开发研制了上面是平板,下面是波纹板的

板组, 倾斜放置, 浮升的油滴聚结在波纹板的波峰处, 沿板面移动脱落, 沉降的水砂到达上层平板滑下, 避免了传统波纹板组易被沉积的泥砂阻塞的缺陷^[13]。在研发新型聚结材料方面, 天津大学的张鹏飞、姚芳连等人研制的高效复合板油水分离器中, 将亲油性材料聚丙烯一面进行氧化处理, 赋予其亲水性, 一面保持材质不变, 实验结果表明, 复合聚结板式油水分离器比普通聚结板式分离器的分离效率提高了25%, 处理能力提高了40%, 且能有效阻止流体扰动而产生的油层夹水、水层夹油及油膜、水膜的断流^[14]。华中科技大学王敏等以镀锌板为基材, 在其表面涂覆一层亲油性涂料, 开发了一种新型聚结板材料^[15]。针对我国目前油田对聚结机理的研究较少, 对聚结材料除油性能了解不多的现状, 浙江大学陈雷、王鹤立等人对聚结除油性能及机理进行了深入研究, 他们分别对聚丙烯、陶粒、石英砂、无烟煤、不锈钢及聚氯乙烯等几种不同性质、不同形状的聚结材料进行对比实验, 最后得出结论: 采用聚结除油时, 润湿聚结机理和碰撞聚结机理同时存在时, 更有利于聚结效果的提高, 且填料的空间构形是影响聚结效率的重要因素^[16]。

4 存在的问题

波纹板聚结油水分离技术以低耗、高效、无二次污染等其他油水分离方法无可比拟的独特优势成为众多学者研究的热点。相关的研究做了不少工作, 但大部分是围绕分离设备的部件设计和加工工艺的改进, 存在的主要问题有:

a) 油水分离属二相流动问题, 在流动过程中, 流动形态和相含率不断变化, 这些变化反过来影响特性函数的变化, 复杂的变化性质使二相流基本方程到目前为止仍处于研究发展阶段, 尚缺乏完善的数学体系来描述。

b) 目前国内外沿用的设计方法存在很多问题, 不仅忽略了许多对分离效果有明显影响的因素, 关键是这种设计方法只能粗算最小可分离油滴直径, 无法计算分离后的排出水含油量和油中含水量, 而分离装置的重要技术指标就是分离后水中含油量和油中含水量, 它们之间的关系只能通过实验或借助经验予以确定。目前对多相流体的流动特性和对分离设备内各参数影响的定量关系研究不够, 相关的数值模拟也没有较为成熟的结果, 使得设计计算模型与实际流动过程出入较大, 方法偏于保守, 设计出的设备有效利用率偏低。

c) 在原油开采领域, 随着三次采油的规模化推广, 采出液中的表面活性剂使油水形成的乳状液更稳定, 加大了原油破乳脱水的难度; 而且长期以来, 各油田注重采油新工艺、新技术研究的同时, 忽视了这些新工艺、新技术给地面处理带来的负面问题, 造成一定的滞后效应。

5 研究方向

1) 加大理论、实验和相关数值模拟研究的力度, 建立一套科学、统一的油水分离设备性能评价体系。对入口、布液、集液部件进行优化设计, 优化波纹板的结构、材质, 进一步提高分离器的分离速度和分离效率。

2) 注重重力、离心、聚结、化学剂等多种分离原理的综合运用, 研发的设备向高效节能和多功能化方向发展。

3) 进一步扩大和推广波纹板聚结油水分离技术的应用领域。目前, 该技术主要应用于石油、化工、机械、餐饮等行业的污水除油过程, 而在原油开采中的原油脱水领域应用不多。在已进入高含水期的东部油田, 原油脱水器长期处于高负荷运转状态, 油水分离效果差, 今后应当把该技术推广应用于该领域, 提高高含水含聚采出液的油水分离速度。

参考文献:

- [1] 孙莉英. 含油废水处理技术进展[J]. 华中科技大学学报, 2002, 19(2): 87-90.
- [2] 郑陵. 波纹板聚结法油水分离技术[J]. 油气田地面工程, 1994, 13(2): 1-3.
- [3] 陆耀军, 王军, 张庆珍. 重力式油水分离设备入口构件的模拟实验选优[J]. 石油学报, 1995, 19(3): 111-115.
- [4] 郑远扬. 一种高效的油水分离器[J]. 油气田环境保护, 2000, 10(1): 29-30.
- [5] 杨芳圃. XSL-I型三相分离器[J]. 油气田地面工程, 1997, 16(1): 52-53.
- [6] 陆耀军. 重力式油水分离设备的分离特性研究[J]. 石油学报, 1997, 13(1): 88-94.
- [7] Gregory G. Aymong, Port Jefferson Station, N. Y. OIL-WATER SEPARATOR. US4722800[P]. 1988.
- [8] Wim. G. T. et. al. Comparison of Plate Separator, Centrifuge and Hydrocyclone[J]. SPE 48870: 391-398.
- [9] Thomas Merlin Maddock Alum K Lewis. Corrugated plate separator with non uniform plate GB2354461A[P]. 2001.

(下转第33页)

这里 N 为待评价方案名称, $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ 为减速涡轮钻具设计方案的 6 个评价指标; $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ 为 $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ 对应的取值域。

根据 1.2.2 节的分析, 得出决策问题的节域和经典域如下:

c_1 的节域为 $V_{P1} = \langle 0, +\infty \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 1} = \langle 70, +150 \rangle$;

c_2 的节域为 $V_{P2} = \langle 0, 1 \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 2} = \langle 0.250, 0.875 \rangle$;

c_3 的节域为 $V_{P3} = \langle 0, 1 \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 3} = \langle 0.250, 0.875 \rangle$;

c_4 的节域为 $V_{P4} = \langle 0, 1 \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 4} = \langle 0.250, 0.875 \rangle$;

c_5 的节域为 $V_{P5} = \langle 0, 1 \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 5} = \langle 0.250, 0.875 \rangle$;

c_6 的节域为 $V_{P6} = \langle 0, 1 \rangle$, 经典域为 $V_{\omega 6} = \langle 0.125, 0.625 \rangle$;

按 1.3 节提供的关联函数模型计算关联度 K_{ji} , 本实例评价指标中 c_1, c_5, c_6 是越大越优指标, 故选 用式(7)来计算, 其余选式(8)来计算, 取 $\lambda = 0.9$, 结果如表 3。

表 3 方案评价指标关联度 k_{ij} 值

		j			
		1	2	3	4
i	1	0.900	0.420	0.720	0.600
	2	0.900	0.360	0.300	0.257
	3	0.900	0.600	0.300	0.257
	4	0.600	0.257	0.900	0.900
	5	0.257	0.771	0.900	0.771
	6	0.360	0.180	0.900	0.900

假定修理周期、结构复杂程度、制造难度、受环境因素影响、抗过载能力、总效率的权重分别为 $\alpha = (0.20, 0.13, 0.15, 0.10, 0.12, 0.30)$, 则由式(10)计

算各方案的综合关联度 $K_i = \sum_{j=1}^6 \alpha K_{ji} = 0.20 \times 0.900 + 0.13 \times 0.900 + 0.15 \times 0.900 + 0.15 \times 0.900 + 0.10 \times 0.600 + 0.12 \times 0.257 + 0.30 \times 0.360 = 0.631$, 同理可计算 $K_2 = 0.393, K_3 = 0.969, K_4 = 0.644$ 。根据综合关联度值对 A_1, A_2, A_3, A_4 排序为 $A_3 > A_4 > A_1 > A_2$; 显然方案 A_3 为最佳。

3 结语

本文将物元理论及以此为基础的可拓综合评价方法推广应用于产品概念设计, 建立了适合减速涡轮钻具设计方案评价的可拓综合评价模型, 克服了既有定性指标又有定量指标和各评价指标量纲不一致带来的指标难以综合归一化问题, 使分析计算大为简化, 同时也便于应用。该方法对所有待评方案评价均采用同一评价体系, 所以结果比较公正。

参考文献:

[1] 韩晓建, 邓家提. 产品概念设计过程的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2000, 6(1): 14-17.
[2] 李鸿吉. 模糊数学基础及其实用算法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
[3] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
[4] 梅振国. 多目标决策的一种新方法[J]. 电子科技大学学报, 1997, 26(增刊): 560-565.
[5] 符达良. 新型涡轮钻具的组合设计[J]. 石油矿场机械, 1995, 24(4): 19-22.
[6] 刘志洲. 国内外井下动力钻具减速器的现状[J]. 石油机械, 1996, 24(6): 43-46.

(上接第 29 页)
[10] John W. Ferris. Elmore City, Okla. Oil, water and gas mixture separator field of the invention U S5132011[P]. 1992.
[11] Alan Virrill. Oil-water separator. GB2116060A[P]. 1983.
[12] Jacob Pielkenrood. Plate separator GB2116061A[P]. 1983.

[13] Gregory G. Aymong, Coalescer: apparatus in an oil/water separator US6605224[P]. 2003.
[14] 张鹏飞. 高效复合聚结板油水分离器的开发[J]. 化学工程, 2004, 32(2): 47-50.
[15] 王敏. 波纹板聚结油水分离器的研究[J]. 交通环保, 2004, 25(1): 26-28.
[16] 陈雷. 聚结除油性能及机理的探讨[J]. 中国环境科学, 2002, 22(1): 16-19.