

偏心 T 型套管内油水相分离研究

杨乐乐, 张栋, 徐文凯, 崔尧禹, 许晶禹

(中国科学院力学研究所流固耦合实验室, 北京, 100190)

摘要: 油水两相流经 T 型管时经常会不可避免地出现相分配不均现象, 可以利用这个流动特性来实现两相预分离。结合浅池原理, 本研究提出了一种偏心 T 型套管的新型设计, 进一步提高油水分离效果。该分离系统包括上、下两层偏心套管, 并通过两个立管相连通, 且上外管顶端固接沿轴向延伸的浮油管。流体通过内管底部的狭长开缝在内外管之间流动, 浮油通过上外管顶部开孔进入浮油管。这种设计能够降低雷诺数从而易于形成油水分层流动, 而且狭长开缝能够极大地降低湍流强度, 避免油水分离后重新掺混。文中研究了入口流型、油相速度、水相速度、混合速度以及含油率等因素对分离效率的影响, 同时实验结果表明通过控制分流比使分离系统保持稳定良好的工作状态, 且浮油管能够进一步提高该系统的分离效率。

关键词: 油水分离; 偏心套管; T 型管; 分流比

1 前言

T 型分岔广泛存在于石油化工行业, 当密度不同的两相流经 T 型分岔时, 几乎会不可避免地发生相分配不均的现象, 这会严重影响下游设备的正常运转。但是如果能够加强这种相分配不均, T 型分岔管路便可以作为两相预分离器使用。目前研究大多集中于 T 型分岔管路在气液分离方面的应用, 相关研究发现分支管路的倾斜角度^[1-2]、入口处的流型^[3-4]、系统压力^[5-6]、分支管路与主管路的管径比^[7]都会对 T 型分岔管路的气液分离效果产生影响。为了实现更好的气液分离效果, Wren 等^[8]串联了两个朝向相反的 T 型分岔管路, 通过连接不同的分岔出口能够满足不同的分离指标要求。杨利民等人^[9]提出可利用 T 型分岔管路进行油水分离, 王立洋等^[10]与魏从达等^[11]通过数值模拟与实验研究了 T 形管内油水两相流动规律, 研究发现增加垂直分岔次数可以显著提高 T 型管路油水分离效率, 并可在更宽的流量配比范围内保持较好的分离效果。

与气液两相相比, 油水两相的密度差异很小, 常规的 T 型多分岔管路难以实现良好的分离, 因此崔斌等人^[12]设计了一种偏心 T 型套管, 将 T 型管动态分离原理与浅池原理相结合, 减少了沉降时间, 同时利用偏心环空的横截面积逐渐变小, 雷诺数也随之变小的特点, 在

窄小的缝隙处形成层流，有利于油水分层流动，但是目前仍未对其做系统的研究。本研究对这种偏心T型套管的内部流动特性进行了实验研究，探究了入口流型、油速、水速、混合流速以及含油率对其分离效率的影响。

2 实验

图1为实验流程图，本研究选取水和LP-14白油为实验流体，在实验条件下的物理性质分别为 $\rho_w=998.0\text{ kg/m}^3$, $\mu_w=1.0\text{ MPa}\cdot\text{s}$, $\rho_o=836\text{ kg/m}^3$, $\mu_o=67.2\text{ MPa}\cdot\text{s}$ 。掺了高锰酸钾的水与LP-14白油经过涡轮流量计计量后混合进入实验管路，经过分离后，水出口的流量通过涡轮流量计计量并通过取样测试其含油率，油出口的流量与含油率通过科氏质量流量计测量，浮油管的流量通过齿轮流量计计量并通过取样测试其含油率。实验所使用的偏心T型套管包括上、下两层偏心套管，并通过两个立管相连通，且上外管顶端固接沿轴向延伸的浮油管。上内管中轴线位于上外管中轴线垂直上方，下内管中轴线位于下外管中轴线垂直下方。油水两相从上内管进入分离系统，水相携带少量油相从上内管底部狭长开缝进入上外管，并通过立管流入下外管，水相沉降至上外管底部并通过下内管底部狭长开缝进入下内管，最终通过下内管流出分离系统，而油相继续沿上内管流出分离系统，少量浮油则通过上外管顶部开孔进入浮油管，最终实现两相分离。这种“管中套管”的设计能够形成“浅池效应”，内外管偏心放置使得油水两相流动的横截面积逐渐变小，雷诺数也随之变小，能够降低湍流强度，易于形成分层流动。上下外管管径均为80mm，上下内管管径均为50mm，浮油管管径为80mm，均采用有机玻璃制成以方便观察油水两相流动规律。

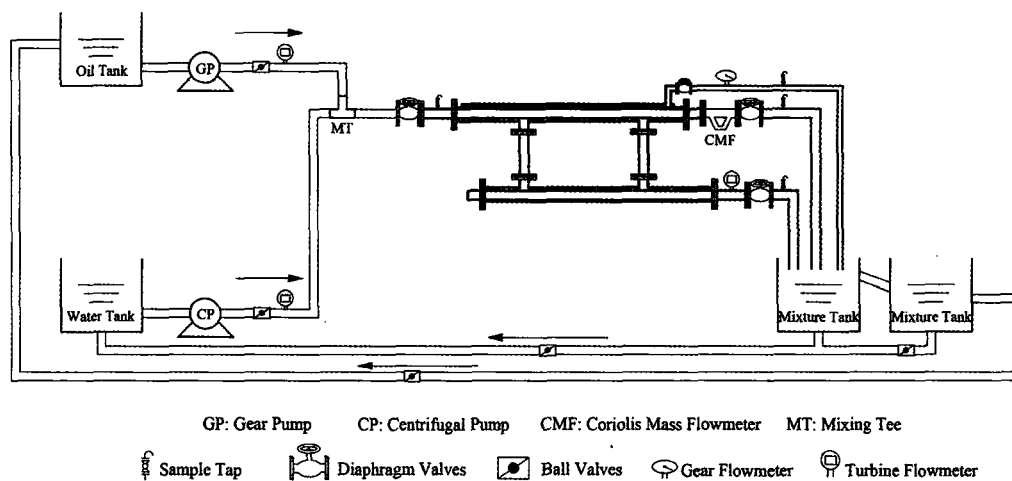


图1 实验流程图

3 结果和讨论

3.1 相分布结果

为了评价偏心T型套管的分离效果,本研究采用杨利民等人^[9]提出的分离效率:

$$\eta = \left| \frac{Q_{ob} - Q_{wb}}{Q_{oi} - Q_{wi}} \right| \quad (1)$$

其中, Q_{oi} 为入口的油相流量, Q_{wi} 为入口的水相流量, Q_{ob} 为油出口的油相流量, Q_{wb} 为油出口的水相流量。

分流比定义为油出口的混合流量与入口的混合流量的比值,即

$$F_b = \frac{Q_{ob} + Q_{wb}}{Q_{oi} + Q_{wi}} \quad (2)$$

图2为偏心T型套管的典型相分布结果,从图2中可以看出随着分流比的增加,分离效率呈现先增加后减小的趋势,存在一个临界分流比使得偏心T型套管的分离效果最佳。同时在该实验工况下,偏心T型套管基本能够实现油水完全分离。图3显示了偏心T型套管油水流动情况,从图中可以看出从上内管出水缝携带流出的油相一部分上浮至上外管顶部,一部分进入下管路并上浮至下外管顶部,聚集到一定程度会通过立管重新上浮至上管路,很大程度地避免了进入下管路的油相直接从水出口流出。同时由于偏心放置,上外管出油口处以及下内管进水口处环空面积较小,可防止水相进入浮油管以及油相进入下内管,避免了油水两相分离后重新掺混。

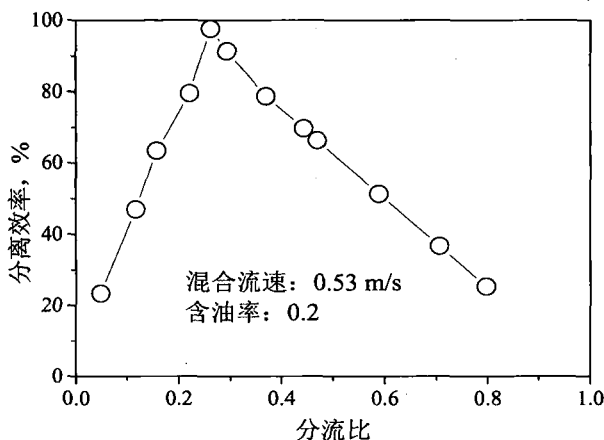


图2 偏心T型套管典型相分布结果

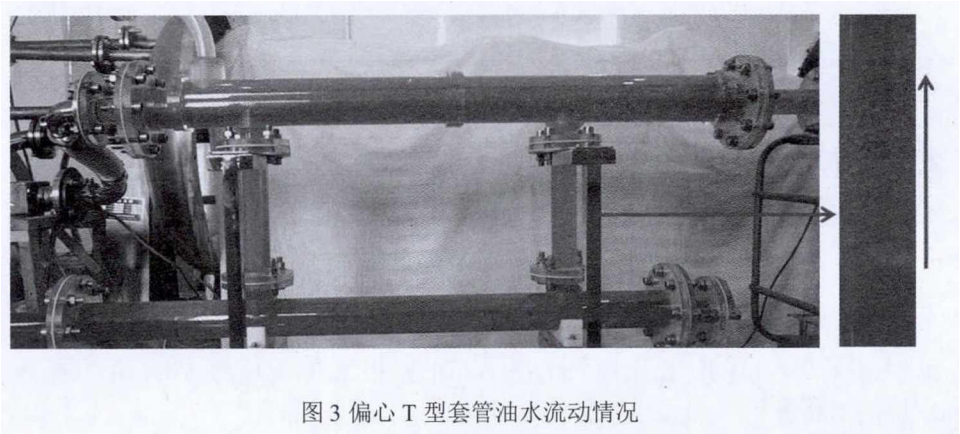


图3 偏心 T 型套管油水流动情况

3.2 油流速的影响

图 4 给出了油流速对分离效率的影响，从图中可以看出水流速一定的情况下，油流速越低所能达到的最佳分离效率越高。同时油流速增加到一定程度，分离效率会急剧下降，这主要是因为入口油水两相流型逐渐由 ST(分层流型)或 ST&MI(相界面有混合层的分层流型)分离流型转变为 DW/O(油包水)分散流型，如图 5 所示。这表明偏心 T 型套管的分离效果对入口流型很敏感。

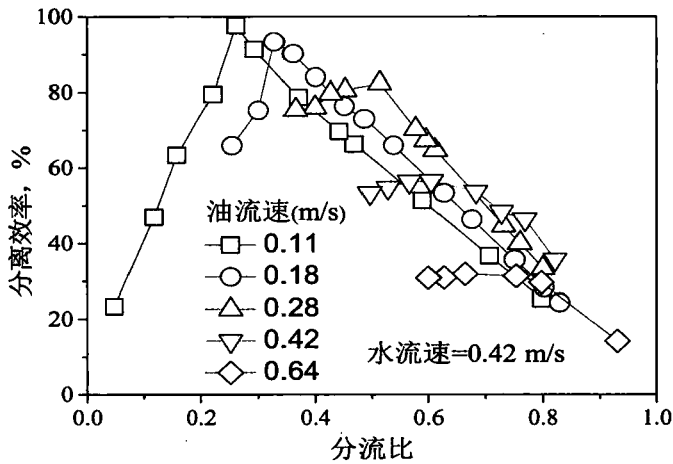


图4 油流速对分离效率的影响

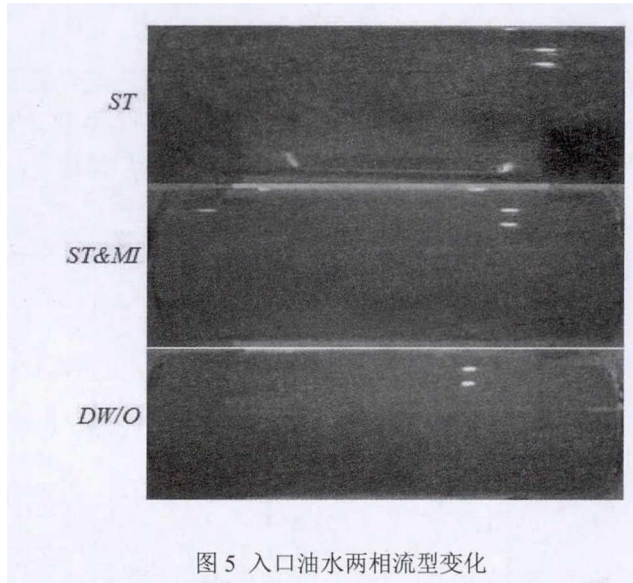


图 5 入口油水两相流型变化

3.3 水流速的影响

图 6 给出了水流速对分离效率的影响，从图中可以看出油流速较低时，水流速对分离效率的影响并不大，但是油流速较高时，水流速越大，所能达到的最佳分离效率越低。这是因为油流速较低时，进入下水平管路的油相比较少，易在下外管顶部聚集并通过立管回到上水平管路，水流速对其影响不大。油流速较高时，会有大量的油相进入下水平管路，但是下内管与下外管之间环空体积有限，只能聚集部分油滴，因此水流速越大，进入下水平管路的油相越难以完全聚集重新上浮至上水平管路，而会随着水相从出水口流出，使得分离效率明显降低。

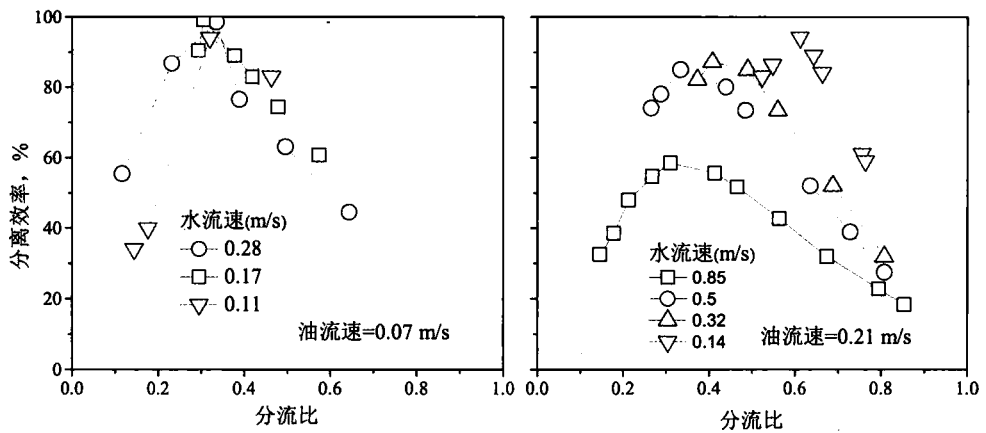


图 6 水流速对分离效率的影响

3.4 混合流速的影响

图7给出了混合流速对分离效率的影响,从图中可以看出混合流速越大,所能达到的最佳分离效率越低。因为混合流速增大会使油水两相在偏心T型套管中的停留时间变短,水相难以完全沉降至下水平管路,且会携带大量油相从出水口流出。

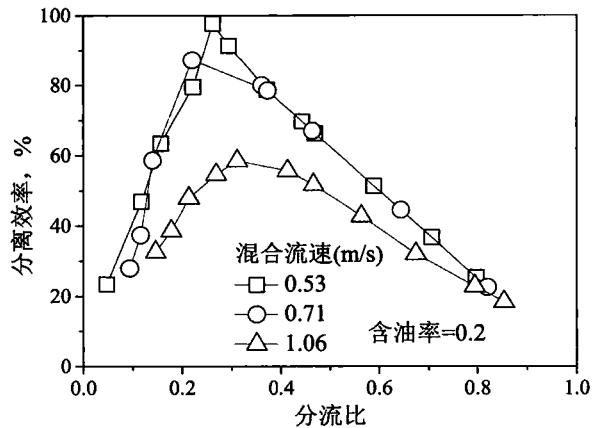


图7 混合流速对分离效率的影响

3.5 含油率的影响

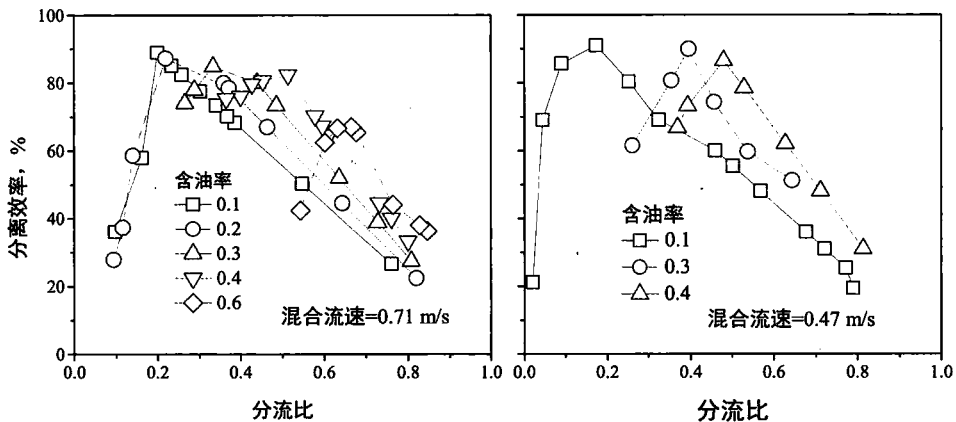


图8 油流速对分离效率的影响

图8给出了油流速对分离效率的影响,从图中可以看出,在高混合流速下,含油率越高,所能达到的最佳分离效率越低,但在低混合流速下,含油率对最佳分离效率影响并不大,不同工况下都能取得很好的分离效果。这说明较含油率而言,混合流速对偏心T型套管的分离效果影响更大。

3.6 浮油管的影响

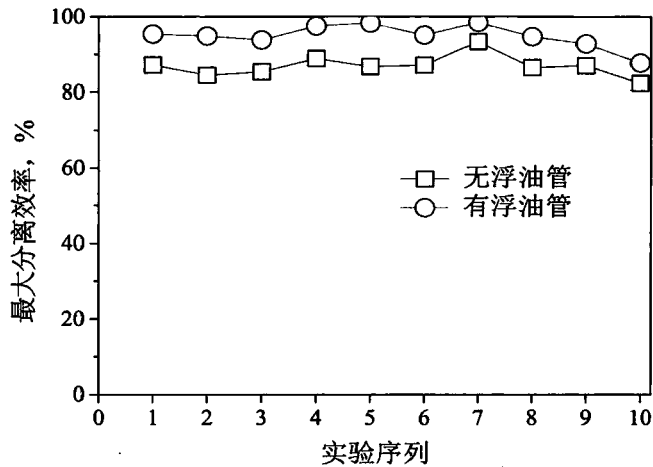


图9 浮油管对最大分离效率的影响

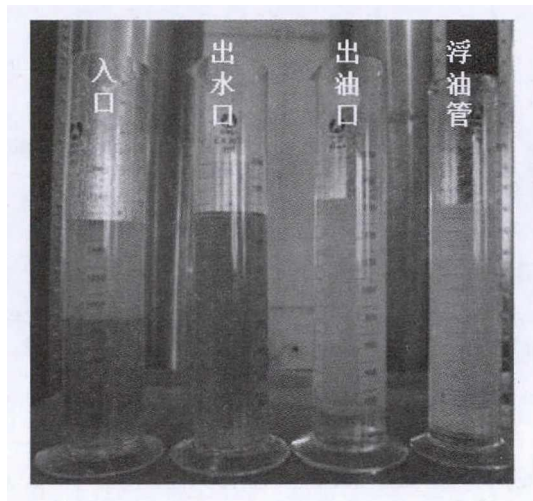


图10 偏心T型套管取样结果

以上实验数据都是在未使用浮油管的情况下取得的，为了研究浮油管的使用是否有利于偏心T型套管的油水分离，本研究对比分析了同样入口工况下使用浮油管与不使用浮油管时所能达到的最大分离效率，如图9所示。可以看出使用浮油管能够进一步提高分离系统的分离效率。实验观察发现从上内管出水口带出的部分油相会上浮至上外管顶部，通过上外管顶部的出油孔进入浮油管，这样能够极大地减少进入下管路的油相，从而很大程度地避免了油相从下管路出水口流出。图10为入口混合流速0.47m/s，含油40%时偏心T型

套管入口、出水口、出油口以及浮油管的取样结果, 分离后出水口水中含油 2%, 出油口油中含水 8%, 浮油管油中含水 1%, 能够满足工业上油水预分离指标。

4 结论

偏心 T 型套管“管中套管”, 偏心放置的设计有利于油水分层流动, 减少了无效沉降时间, 并能最大限度地避免油水分离后重新掺混。实验结果表明可通过调节分流比使偏心 T 型套管保持稳定良好的工作状态, 且其分离效率与油流速、水流速、混合流速以及含油率等因素相关。偏心 T 型套管对入口处的油水两相流型很敏感, 对于 ST 以及 ST&MI, 油水能够得到良好的分离, 但是对于 DW/O, 油水分离效果不是很明显。使用浮油管能够进一步提高分离系统的分离效率, 使其满足工业上油水预分离指标。

参 考 文 献

- 1 Hwang S T, Soliman H M, Lahey R T. Phase separation in dividing two-phase flows. *Int. J. Multiphase Flow*, 1988, 14(4): 439-458
- 2 Penmatcha V R, Ashton P J, Shoham O. Two-phase stratified flow splitting at a T-jun. *Int. J. Multiphase Flow*, 1996, 22(6): 1105-1122
- 3 Azzopardi B J, Whalley P B. (1982) The effect of flow patterns on two-phase flow in a T junction. *Int. J. Multiphase Flow*, 1982, 8(5):491-507
- 4 Tuo H, Hrnjak P. Vapor-liquid separation in a vertical impact T-junction for vapor compression systems with flash gas bypass. *Int. J. Refrig*, 2014, 40: 189-200
- 5 Van Gorp C A, Soliman H M, Sims G E. The effect of pressure on two-phase flow dividing at a reduced tee junction. *Int. J. Multiphase Flow*, 2001, 27(3): 571-576
- 6 Das G, Das P K; Azzopardi B J. (2005) The split of stratified gas-liquid flow at a small diameter T-junction. *Int. J. Multiphase Flow*. 31(4): 514-528
- 7 Azzopardi B J. The effect of the side arm diameter on the two-phase flow split at a “T” junction. *Int. J. Multiphase Flow*, 1984, 10(4): 509-512
- 8 Wren E, Azzopardi B J. The phase separation capabilities of two T-junctions placed in series. *Chem. Eng. Res.*, 2004, 82(3): 364-371
- 9 Yang L, Azzopardi B J, Belghazi A, et al. Phase separation of liquid - liquid two - phase flow at a T - junction. *J. AIChE J.*, 2006, 52(1): 141-149
- 10 Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu et al. Oil-water two-phase flow inside T-junction. *Journal of Hydrodynamics Ser. B*, 2008, (02): 147-153

- 11 魏丛达, 许晶禹, 王立洋, 等. T形管内油水两相流动规律及其应用. 油气储运, 2012, 31(12): 923-926
- 12 李开兴, 崔斌, 吴应湘, 等. 一种油水分离器. 中国专利: 204159074U, 2015-02-158

Oil and water separation at eccentric annular T-junctions tubes

YANG Le-le, ZHANG Dong, XU Wen-Kai, XU Jing-yu

(LMFS, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190.)

Abstract: The phase mal-distribution occurs almost inevitably at a T-junction, and it can be utilized to realize partial phase separation. Combined with shallow pond theory, this paper presents a novel design of eccentric annular T-junctions tubes to effect high degree of oil and water separation. The separation system consisted of upper and lower eccentric annular tubes which are connected by two vertical tubes. There exists an axially extending oil slick tube along the top of the upper outer tube. The center of the upper inner tube is located above that of the upper outer tube while the center of the lower inner tube is located below that of the lower outer tube. Fluid flows between inner tube and outer tube through the slender seam at the bottom of inner tube. This design is beneficial to the formation of oil-water stratified flow due to the decreasing of Reynolds number. The slender seam significantly reduces turbulence intensity, thus avoiding remixing oil with water. This paper studies the effect of inlet flow pattern, oil velocity, water velocity, mixture velocity and oil cut on the system separation efficiency. Experimental results show that it can ensure the separation system in optimum by regulating the split ratio, and the oil slick tube can further increase the system separation efficiency

Key words: oil-water separation; eccentric annular tubes; T-junctions; split ratio