

轴流式井下旋流油水分离器压降比性能研究

徐晓峰^{1,2}, 史仕荧³

(1. 北京工业职业技术学院建筑与测绘工程学院, 北京 100042; 2. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083; 3. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘 要: 在室内试验装置上对轴流式井下旋流油水分离器的压降比性能开展了相关试验研究。试验结果表明,压降比仅与分流比相关,与入口流量、入口含油率($<20\%$)、导流片结构无关;压降比与分流比的关系呈指数关系而非线性的。研究结果对新型油水分离器的工程设计和实际井下应用的自动控制具有重要意义。

关键词: 井下油水分离; 轴流式旋流分离器; 压降比

中图分类号: TD985 文献标识码: A 文章编号: 1004-4051(2015)08-0144-04

Study on the performance of pressure drop ratio about a new type of down-hole axial oil-water separation cyclone

XU Xiao-feng^{1,2}, SHI Shi-ying³

(1. School of Architectural and Survey Mapping Engineering, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China;
2. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;
3. Institute of Mechanics, Beijing 100190, China)

Abstract: An experimental investigation about the pressure drop ratio of down-hole axial oil-water separation cyclone was made. The result shows that the pressure drop ratio relied only on the split ratio instead of the inlet flow, oil content or the guide vane' structure. Besides, the relation between the pressure drop ratio and split ratio is exponential relationship rather than linear. The research results have an important significance to the design and automatic control when using in down-hole.

Key words: down-hole oil-water separator; axial cyclone separator; pressure drop ratio

随着我国大部分油田进入高含水开采期,采出油含水率急剧升高,增加了水处理的成本,使得油田濒临经济开采极限。如果采用井下油水分离器在井底将水分离并就地回注,则能大大节约生产成本,目前这一技术受到了油田的广泛关注^[1]。这一技术虽能高效降低成本,但还处于研发阶段,目前面临的主要难题一方面是井下空间有限,通常可有效利用的空间不足 200mm,实施困难且费用较高,另一方面是分离器在井底实际运行时难以实时监测,这样就要求井下油水分离器必须结构紧凑、处

理量大、分离性能稳定且能实现自动控制^[2]。中科院力学所新研发的一种轴流式旋流油水分离器,采用轴向起旋进行油水分离,相对于切向式入口起旋而言能够有效的利用有限的径向空间,结构紧凑处理量大;同时这种新概念的油水分离方法性能稳定,有良好的应用前景^[3]。在这样的背景下,本文对轴流式旋流油水分离器的压降比性能进行了研究,为其在井下应用时的自动控制提供指导。

旋流分离器通常有一个入口和两个出口,压降比是指入口到一个出口的压降与入口到另一个出口的压降之比,是间接与压力降和压力相关联的一个重要参数^[4]。在旋流分离器的工业应用中,通常需要保证入口到两个口的压降各自在一个范围内,以便流体顺利的从两个出口流出进入后续配套装置,因此研究压降比性能对于旋流器的应用也尤为重要^[5]。在对传统锥形旋流器压降比性能的相关

收稿日期: 2015-05-05

作者简介: 徐晓峰(1979-),女,汉,安徽宿州人,博士生,北京工业职业技术学院教师,目前攻读中国矿业大学(北京)岩土工程专业,主要从事岩土工程等方面的教学与研究工作。E-mail: xuxiaofeng99@163.com。

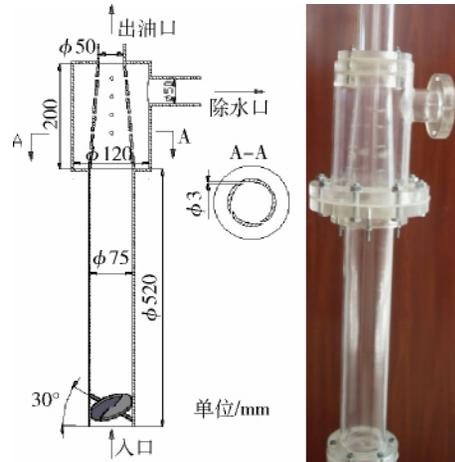
研究中, Meldrum 等^[6], 舒朝晖等^[7], 王丽等^[8]认为压降比只与分流比有关, 且呈线性相关; Li G S 等^[9]研究发现压降比与分流比和入口流量均呈线性关系, 两者的线性相关并相加即为压降比的计算方法; 王振波等^[10]认为压降比是分流比、入口流量的函数(非线性)。由此可见, 对于传统的锥形旋流分离器而言, 压降比性能并无定论。新型轴流式井下油水旋流分离器与传统锥形旋流分离器相比, 没有内外反向旋流流动, 其压降比特性更无从参考。为此, 本文开展了相关的研究。

1 试验装置及试验情况

1.1 试验装置及系统

为了得到轴流式井下油水旋流分离器的压降比性能, 加工好的分离器及结构图见图 1。

在实验室内建立的试验系统见图 2 所示, 并在分离器的入口、出油口、除水口等处安装压力传感



(a) 结构图 (b) 实物图
图 1 轴流式井下旋流油水分离器

器, 在试验时测量各点压力, 在除水口处安装 DCT1188 超声波流量计实时计量除水口的流量。

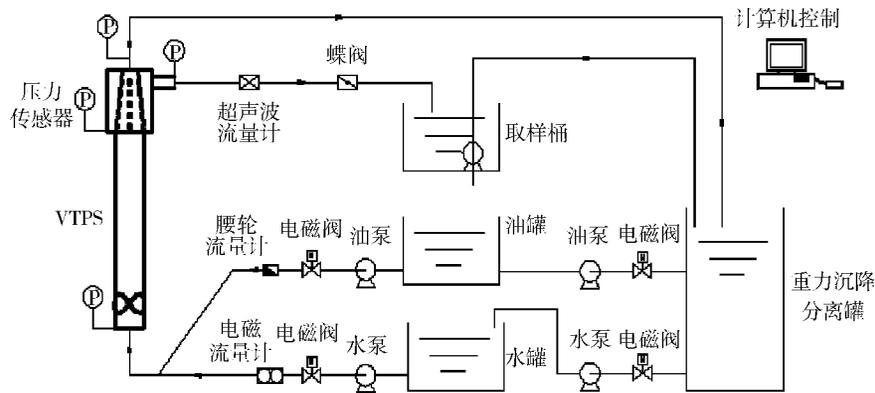


图 2 试验系统流程图

1.2 试验介质

试验在 20℃ 下进行, 试验介质为水、白油, 分散相为白油。在 20℃ 时, 白油的密度为 $\rho_o = 836 \text{ kg/m}^3$, 动力粘度为 $\mu_o = 0.00215 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 水的密度为 $\rho_w = 998.2 \text{ kg/m}^3$, 粘度为 $\mu_w = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

1.3 参数定义

1.3.1 压降比

压降比 P_r 是指轴流式井下旋流油水分离器的入口到上部出油口的压降 Δp_{IW} 和入口到取水口的压降 Δp_{IC} 之比, 见式(1)。

$$P_r = \frac{\Delta p_{IW}}{\Delta p_{IC}} \quad (1)$$

式中: $\Delta p_{IW} = p_I - p_C$; $\Delta p_{IC} = p_I - p_C$ 。

1.3.2 分流比

分流比 F 是指取水口的流量与入口流量之比, 见式(2)。

$$F = \frac{Q_C}{Q_I} \quad (2)$$

式中: Q_C 为除水口流量; Q_I 为入口流量。

1.3.3 入口含油率

入口含油率是 α 指入口油的流量与总流量之比, 见式(3)。

$$\alpha_i = \frac{Q_O}{Q_I} \quad (3)$$

1.4 试验内容

因旋流油水分离性能和操作参数(入口流量、分流比、含油率)、物性参数(相密度、粘度等)和结构参数(分离器结构)有关, 对于结构一定的旋流分离器在井下应用时, 油水相物性参数一般一定, 故在本文中的压降比研究主要集中于操作参数之间的关系。

1) 给定入口流量、入口含油率, 调节分流比, 考察压降比与分流比的关系。

2) 给定入口含油率, 变化入口流量, 得到入口流量与压降比的关系。

3) 给定入口流量, 变化入口含油率, 研究入口含油率与压降比的关系。

4) 变化导流片结构, 得到一定入口流量、含油率、分流比下的压降比与导流片结构之间的关系。

2 试验结果分析

2.1 分流比对压降比的影响

当导流片的角度为 30° , 导流片的数目为 3 时, 入口流量为 $4.1\text{m}^3/\text{h}$, 入口含油率为 2% 时, 变化分流比, 得到压降比随分流比的变化规律。如图 3 可知, 压降比随分流比的增大逐渐减小, 但变化规律并非呈线性关系。

2.2 入口流量对压降比的影响

导流片结构与“2.1”所述一致, 保持入口含油率为 2% 的同时, 增大入口流量, 图 4 表示出压降比随入口流量的变化规律。如图 4 所示, 当增大入口流量时, 分流比大致相等时, 压降比随入口流量的增加变化较小。这一规律间接说明了分离器从入口到出口的压降与通过该出口流量呈相同的规律。因此, 当通过两个出口的分流比一定时, 计算压降比时, 流量这个因素不再显现。

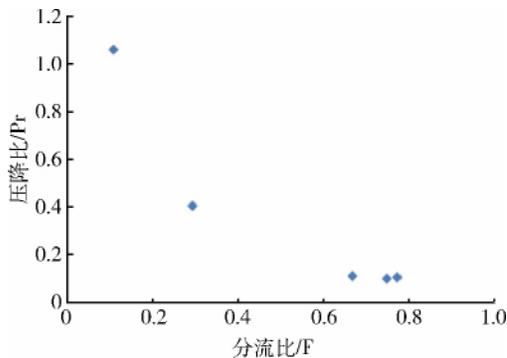


图 3 压降比随分流比的变化规律

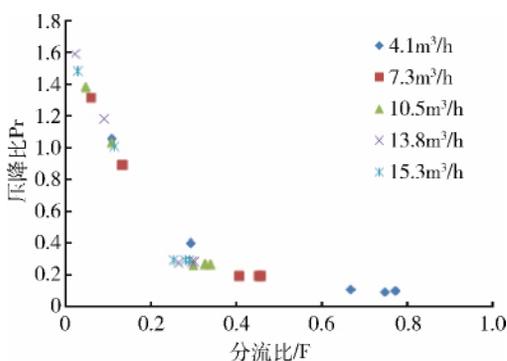


图 4 压降比随入口流量的变化规律

2.3 入口含油率对压降比的影响

导流片结构与上文所述一致, 在保持入口流量为 $4.1\text{m}^3/\text{h}$, 增大入口含油率时, 压降比随入口含油

率的变化规律如图 5 所示。当增大入口含油率时 (在 20% 以内), 分流比大致相等的时, 压降比随入口含油率的增大变化不明显。说明当含油率在 20% 以内时, 压降比随入口含油率的增大变化较小。由于井下使用分离器进行井下油水分离工作时, 通常应用在产液含水率在 85% 以上的情况下^[11], 因此研究轴流式井下旋流油水分离器的压降比规律研究时, 可以忽略含油率这一因素。

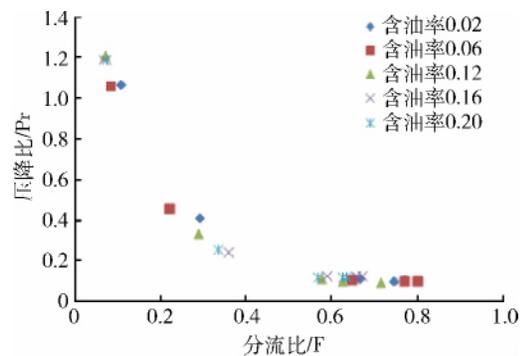


图 5 压降比随入口含油率的变化规律

2.4 结构一定的轴流式井下旋流油水分离器压降比

如前文所述, 计算结构一定的轴流式井下旋流油水分离器的压降比所涉及到的操作参数, 与入口流量、入口含油率关系不大, 主要与分流比有关。物性参数如油相密度、粘度等在含油率低于 20% 时, 其所引起的压降变化较小, 对压降比的影响更是可以忽略。压降比与入口流量、入口含油率等的关系如图 6 所示, 可以看出, 所有的数据点都分布成某一规律。拟合后发现压降比与分流比满足式 (4)。

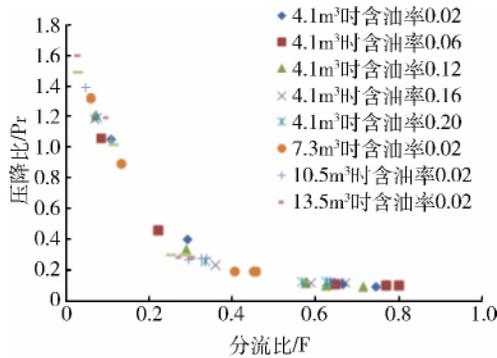
$$Pr = a \exp(-F/b) + c \quad (4)$$

在导流片安装角度为 30° , 数目为 3 时, 上述公式中, $a \approx 1.78$, $b \approx 0.15$, $c \approx 0.09$, 拟合的相关度为 0.99。

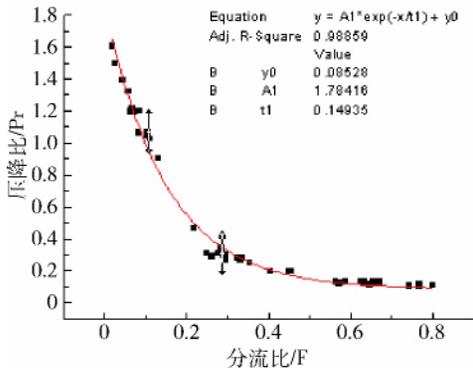
2.5 导流片结构对轴流式井下旋流油水分离器压降比的影响

不同导流片结构对压降比与分流比之间关系的影响如图 7 所示, 压降比与分流比之间的关系对于所有导流片结构参数而言, 在试验范围内影响并不大。这一关系的发现对这种轴流式井下旋流油水分离器而言意义重大。经相关研究发现, 分离性能与分流比直接相关, 而在井下, 难以完成对两相流各出口流量的直接测量, 但是对压力的测量方法则较为成熟。因此, 可以通过压降比与分流比的这种关系, 控制压降比来间接控制分流比, 进而调节分离器的分离性能, 最终为井下油水旋流分离器的

自动控制提供参考^[12]。



(a) 所有数据点分布



(b) 拟合结果

图 6 压降比随入口含油率、流量的分布规律

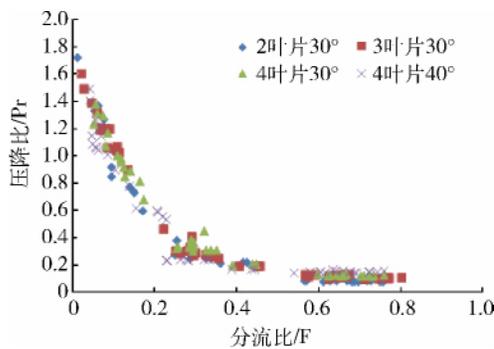


图 7 压降比随导流片结构参数变化规律

3 结 论

1) 轴流式井下旋流油水分离器的压降比与入口流量、含油率关系不大, 随分流比的变化而变化。

2) 压降比与分流比的关系不呈线性关系, 而是呈现指数关系。

3) 当导流片结构变化时, 压降比与分流比的分布规律相同。

上述研究结论表明, 轴流式井下油水旋流分离器的分离性能调节可以通过调节压降比来间接控制分流比, 从而控制分离器的分离性能, 从而为分离器在井下应用自动监控提供了指导。

参考文献

[1] John A. Veil, Stan Belieu. DOWS reduce produced water disposal costs[M]. TECHNOLOGY, 1999, 75-83.

[2] O. O. Ogunsina, M. L. Wiggins. A review of downhole separation technology [C]. SPE 94276, presentation at the 2005 SPE Production and Operations Symposium held in Oklahoma City, OK, U. S. A. , 2005; 17-19.

[3] Shi-ying Shi, Jing-yu Xu, Huan-qiang Sun, et al. Experimental study of a vane-type pipe separator for oil-water separation [J]. Chemical Engineering Research and Design, 2012, 90: 1652-1659.

[4] 张炯. 水力旋流器中液体切线速度分布的研究[J]. 有色金属, 1995, 16(12): 32-38.

[5] 刘彩玉, 蒋明虎, 李枫. 液-液水力旋流器压降比特性[J]. 大庆石油学院学报, 2005, 9(1): 104-106.

[6] Meldrum, N. Hydrocyclones: A solution to produced water treatment [C]. Paper OTC 5594.

[7] 舒朝晖, 陈文梅, 肖新才, 等. 除油旋流器分流比与基本性能的关系探讨[J]. 流体机械, 2001, 29(5): 12-15.

[8] 王丽. 基于 CFD 的油水分离水力旋流器非尺寸因素的影响研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2013.

[9] Li G S, J W C, Xu C Y, et al. The Effect of the Pressure Drop Ratio on the Performance of a Novel Dynamic Hydrocyclone [J]. Frontiers of Manufacturing & Design Science, 2014.

[10] 冯进, 陈刚, 陈海, 等. 结构参数对双锥旋流器压降比和分流比的影响[J]. 石油机械, 1997, 2(1): 15-17.

[11] 王振波, 贾少磊, 金有海. 除油型旋流器压降比特性试验研究[J]. 化工机械, 2004, 31(1): 1-4.

[12] Li D., Zhou X. J., Zhou H. A.. Experimental study on inlet structure of the rod pump with down-hole oil-water hydrocyclone [J]. Procedia Engineering, 2011, 18: 369-374.

[13] 曲占庆, 张琪, 李恒, 等. 井下油水分离系统设计及地面检测模型研究[J]. 西安石油大学学报, 2006, 2(3): 34-37.