

导流片型管道式油水分离器的压降特性研究

史仕英，许晶禹，高梦忱，黄玉彤，陈小平，马乃庆

(中国科学院力学研究所, 北京, 100190, Email: shishiyi123@163.com)

摘要: 对新研制的井下油水分离器开展了室内实验。通过研究, 得到了入口流量、分流比、含油率、导流片的结构对导流片型管道式油水分离器压降影响的规律, 并获得了计算压降的经验关系式。研究结果为新型分离器的工业应用提供了指导。

关键词: 导流片；管道式；井下；油水分离器；压降

0 引言

20世纪90年代以来, 我国东部油田大都进入中、高含水开采期, 采出液含水率普遍高达88%以上, 产油量逐年减少, 生产成本逐渐增大。为了提高开采的经济效益, 采用井下油水分离技术是一种有效的途径^[1]。然而井下空间狭窄, 适合实际需求的分离器结构还在研发中^[2-3]。本文提出的管道式导流片型分离器的入口结构与其他离心式油水分离器相比, 径向结构紧凑, 是一种适用于井下狭窄空间的新型油水旋流分离器^[4-6]。

在前期研究了其油水分离性能的基础上^[7], 为了研究其压降特性, 在实验室开展了入口流量、分流比、导流片结构等参数对其压降影响的实验, 得到了各参数对压降影响的规律, 研究结果对新型导流片型管道式油水分离器的压降预测和工业应用具有重要意义。

1 实验模型及实验流程

1.1 实验模型及分离原理

图1所示的是实验模型——导流片型管道式油水分离器的结构示意图。油水混合液通过安装在入口的直板型导流片作用下形成旋流场, 在旋流场中, 油水因密度的差异实现径向上的分离, 富含油相的流体分布在管道中心区域, 富含水相的流体分布在管壁附近; 分布在管壁附近的富含水相流体从壁面上切向开设的孔流出并最终从除水口流出, 分布在管道中心区域的富含油相混合物在惯性作用下继续向前运动从出油口流出, 从而实现了油水两相的分离。

该导流片型管道式油水分离器的主要结构参数已在图中标出。导流片安装在管径为75 mm的管道中, 其中导流片的安装角度即其与管道横截面的夹角为30°, 导流片沿管道中心同向倾斜安装, 导流片之间的夹角相等, 均为120°。除水孔的孔径为3 mm, 均沿壁面切向开设, 每个截面上开设4个除水孔, 共5个截面。

在实验时, 在新型分离器的入口处、除水口处和出油口处安装压力传感器, 其中入口压力为 P_i , 除水口处的压力为 P_c , 出油口处的压力为 P_u , 所测的压力均为静压值。

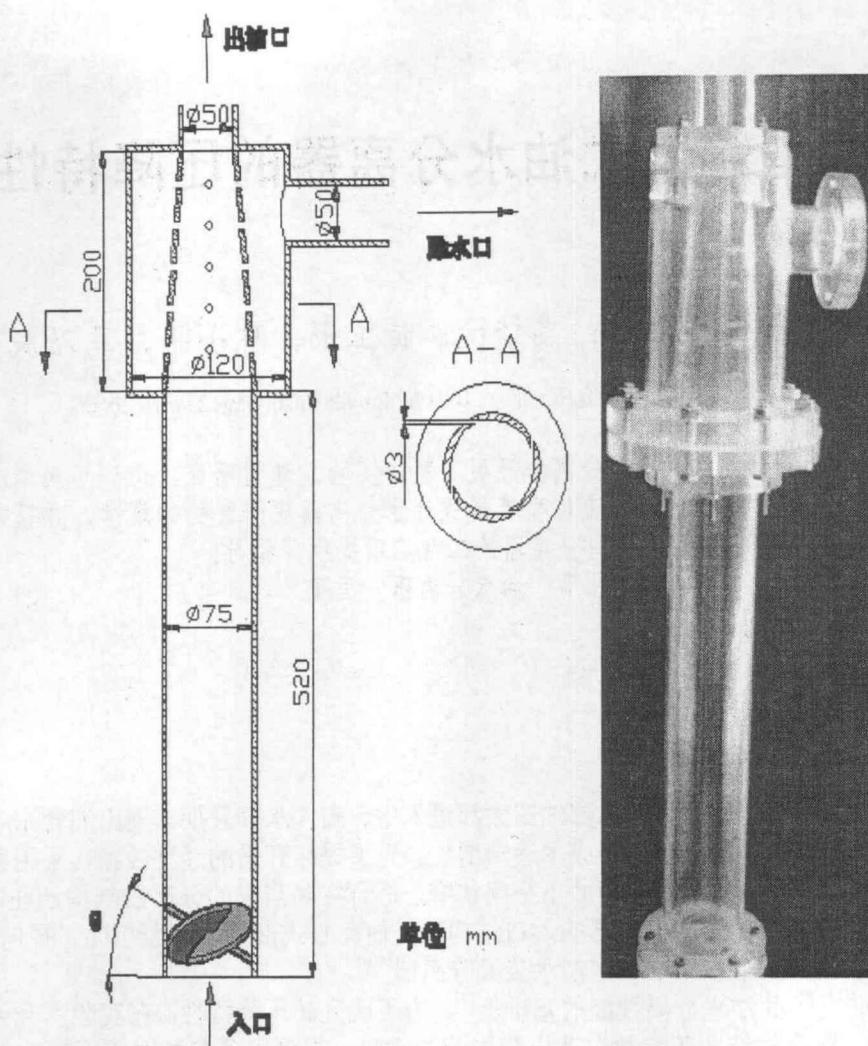


图 1 导流片型管道式油水分离器结构尺寸图和实物图

1.2 实验流程与实验介质

新型导流片型管道式分离器的实验流程如图 2 所示。系统流程主要由供液循环管路系统、泵与电机、管道式导流片型油水分离器模型及测量装置系统组成。在试验过程中，油和水通过油泵和水泵，分别从油箱和水箱中流出，经涡轮流量计测得油相流量和电磁流量计测得水相流量后，在 Y 形管处混合按照一定的比例混合，进入导流片型管道式油水分离器中。经过分离后，富含水的混合液经取样口流出进入取样桶，富含油的液体通过出油口流回到重力沉降罐中，与经泵从取样桶抽回的液体一起在重力沉降分离后，油被泵回油箱，水被泵回水箱，从而实现循环试验。

在试验时，试验介质为白油和水，其中，白油为分散相介质、自来水为连续相介质。两种介质在室温测试条件下的物性参数如下： $\rho_0 = 836.0 \text{ kg/m}^3$ ， $\mu_0 = 0.105 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ ， $\rho_w = 1000.0 \text{ kg/m}^3$ ， $\mu_w = 0.001 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ 。



图 2 实验系统流程

2 压力特性实验结果及分析

2.1 压力特性参数定义

2.1.1 压降

压降的定义如下：

$$\Delta p_{iu} = p_i - p_u \quad (1)$$

$$\Delta p_{ic} = p_i - p_c \quad (2)$$

式中， Δp_{iu} 为入口到出油口压降，MPa；

Δp_{ic} 为入口到出油口压降，MPa。

2.1.2 分流比

对于油水旋流分离，通常有两个出口，一个是富含油出口，一个是富含水出口，因此需要定义一个参数反应出口的流量占入口流量的比例。无量纲量分流比定义为除水口的流量与入口流量之比即：

$$F = \frac{Q_c}{Q_i} \quad (3)$$

式中， Q_c 为除水口流量， m^3/h ；

Q_i 为入口流量， m^3/h 。

除水口分流比的大小通过控制除水口处蝶阀的开度来控制流过除水口的流量，从而控制分流比的大小。

2.2 入口流量与压降的关系

当入口含油率为 0，分流比也均为 0 时，入口到除水口压降与入口流量的关系曲线如下图

3 所示。由图可以看出，随着入口流量的增大，入口到除水口与入口到出油口的压降均增大，压降增大与入口流量的变化近似呈指数关系。

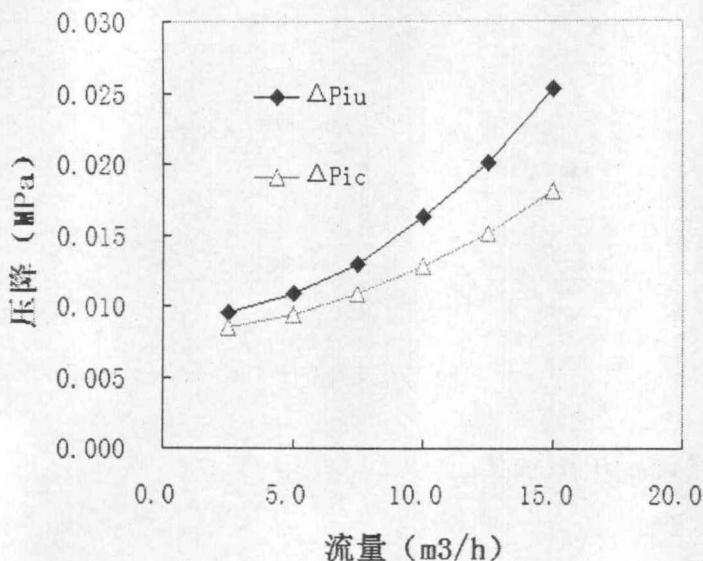


图 3 压降随入口流量变化规律

2.3 分流比与压降的关系

当入口含油率为 0 时，流量为 $9 m^3/h$ 时，变化分流比，得到入口到出油口和入口到除水口压降随分流比的变化规律如下图 4。由图 4 可以看出，随分流比增大，入口到出油口的压降随分流比变化近似呈线性关系，而入口到除水口压降与分流比的关系呈幂指数分布规律。两者所呈现的关系不同，主要是由于从除水口流出的流体是通过除水小孔流出的流体，通过除水孔的压降随流量增大，增加更加明显。

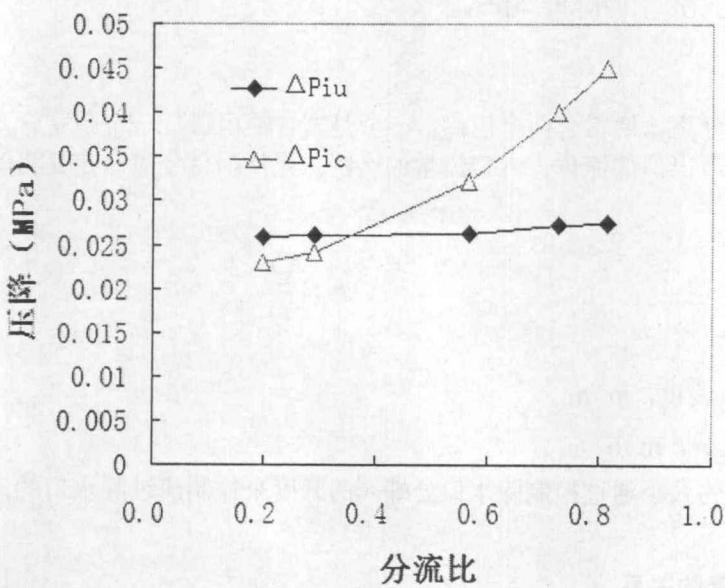


图 4 压降随分流比变化规律

2.4 入口含油率对压降的影响

当入口流量为 $99 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 含油率变化时, 得到入口到出油口的压降随分流比变化关系如下图, 得到所有数据随入口流量的变化规律见图 5。

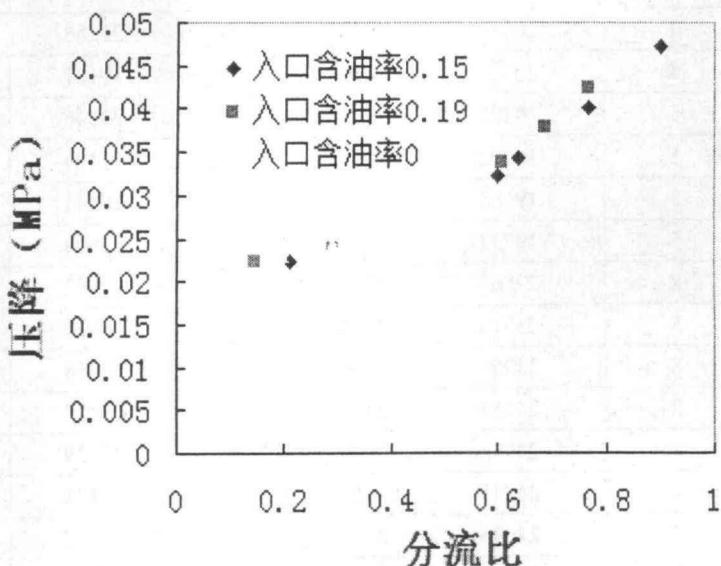


图 5 入口含油率对压降的影响

从图 5 中可以看出, 随着分流比的增大, 不同入口含油率随对应的压降随分流比变化满足相同的规律, 因此, 可以推论, 在入口含油率低于 20% 时, 压降随入口含油率变化不大。分析原因, 可以发现, 由于入口含油率不是很高, 因油相与连续相水相的摩擦压降较小, 基本可以忽略。

2.5 压降规律总结

由上述实验可以得到, 压降主要随分流比和入口流量变化, 随入口含油率变化较小。入口到出油口的压降主要随入口流量的增大而急剧增大, 随分流比变化的幅度较小; 入口到除水口的压降随分流比和入口流量均近似呈幂指数关系。经过研究, 得到压降分别服从下列规律:

$$\Delta p_{iu} = 0.015e^{0.0565Q_i} - 0.0027F + 0.0016 \quad (4)$$

$$\Delta p_{ic} = (0.276Q_i + 0.152)e^{(0.1416Q_i - 0.1632)F} \quad (5)$$

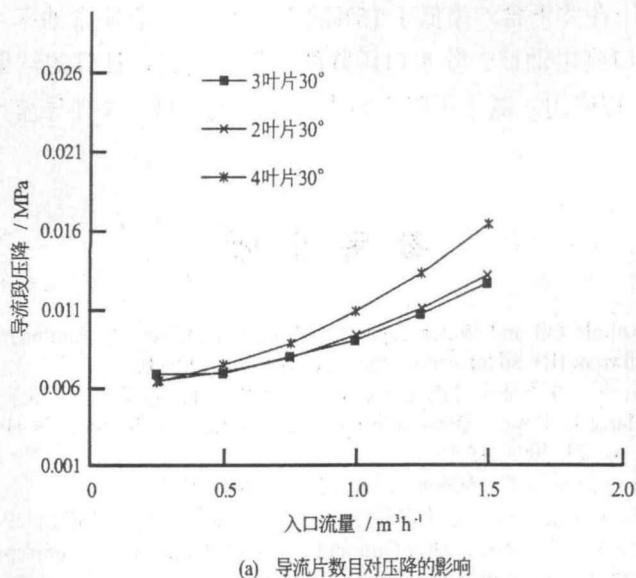
经过反算, 得到实验结果与拟合结果的误差见表 1。从表 1 可以看出, 拟合值与实验值的相对误差在 $\pm 10\%$ 以内, 满足工程需要, 研究结果为新型分离器的工业应用提供了指导。

表 1 实验值与拟合值对比

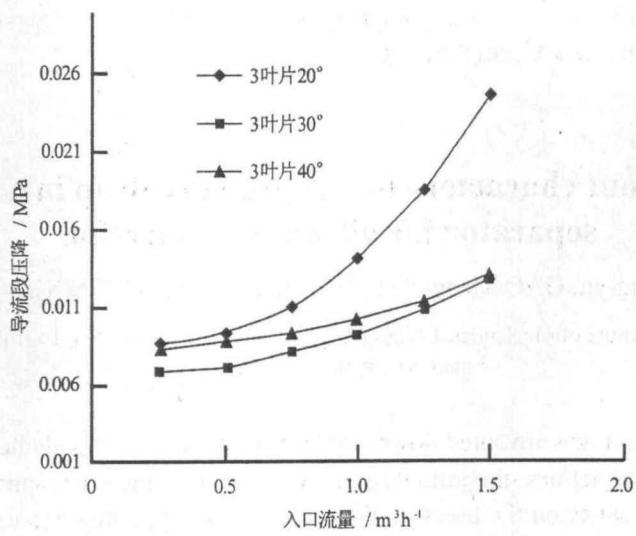
入口含油率	分流比	入口总流量/(m ³ /h)	Δp_{iu} 实验值/Pa	Δp_{iu} 拟合值	Δp_{iu} 拟合误差	Δp_{ic} 实验值/Pa	Δp_{ic} 拟合值	Δp_{ic} 拟合误差
0.10	0.93	4	20323	19080	0.06	27966	25385	0.09
0.10	0.78	4	20692	19502	0.06	24230	23650	0.02
0.10	0.56	4	20676	20098	0.03	21256	21400	-0.01
0.10	0.26	4	20907	20923	0.00	19121	18629	0.03
0.16	0.73	5	19402	20045	-0.03	23846	24105	-0.01
0.16	0.54	5	19502	20553	-0.05	21159	21931	-0.04
0.16	0.35	5	19668	21073	-0.07	19444	19906	-0.02
0.16	0.40	5	19732	20933	-0.06	19804	20434	-0.03
0.07	0.89	8	23861	23337	0.02	42962	40224	0.06
0.07	0.85	8	23919	23470	0.02	39874	38445	0.04
0.07	0.71	8	23955	23842	0.00	33418	33884	-0.01
0.07	0.48	8	24183	24475	-0.01	26127	27330	-0.05
0.07	0.29	8	24953	25009	0.00	22539	22799	-0.01
0.15	0.90	9	24345	24411	0.00	47193	45384	0.04
0.15	0.77	9	24646	24783	-0.01	40153	39413	0.02
0.15	0.64	9	24700	25137	-0.02	34240	34455	-0.01
0.15	0.60	9	24971	25251	-0.01	32118	32993	-0.03
0.15	0.21	9	25796	26322	-0.02	22335	21963	0.02
0.19	0.77	9	25006	25436	-0.02	42511	41632	0.02
0.19	0.69	9	25172	25656	-0.02	37806	38103	-0.01
0.19	0.61	9	25326	25875	-0.02	33770	34879	-0.03
0.19	0.29	9	26619	26748	0.00	23850	24541	-0.03
0.19	0.15	9	26465	27145	-0.03	22229	20912	0.06
0	0.82	9	25858	25307	0.02	44932	43992	0.02
0	0.73	9	25977	25553	0.02	39993	39828	0.00
0	0.57	9	26212	25994	0.01	32270	33343	-0.03
0	0.29	9	27314	26756	0.02	23072	22103	0.04
0	0.20	9	27257	27014	0.01	24094	24524	-0.02
0.06	0.77	11	29012	28467	0.02	54398	53282	0.02
0.06	0.65	11	29385	28806	0.02	45407	44934	0.01
0.06	0.58	11	29464	28978	0.02	40154	41184	-0.03
0.06	0.36	11	30182	29586	0.02	29744	30329	-0.02
0.02	0.71	14	34625	33657	0.03	68730	68296	0.01
0.02	0.64	14	34601	33842	0.02	60676	60571	0.00
0.02	0.50	14	34632	34238	0.01	46278	46847	-0.01

2.6 导流片结构对压降的影响

当入口含油率为0, 分流比为0时, 变化入口流量, 得到导流片结构对压降的影响规律。对于导流段的压降定义为安装导流片的直管段压降。其中压降规律与入口到出油口压降规律相似, 即压降主要与入口流量有关。从图中可以看出, 当导流片安装角度相同时, 随导流片数目的增大, 压降增大; 当导流片的数目相同时, 导流片安装角度为 30° 时, 压降最小, 其中 20° 的压降最大。故要降低压降, 应将导流片数目减小, 将导流片的安装角度尽量接近 30° 。



(a) 导流片数目对压降的影响



(b) 导流片角度对压降的影响

图 6 导流片结构对压降的影响

3 结论

对新型导流片型管道式分离器油水分离的压降特性进行了研究,研究发现:①入口到出油口的压降主要随入口流量的增大而增大,随分流比变化较小;入口到除水口压降随入口流量与分流比的变化均变化较大,呈幂指数关系。②随入口含油率的变化,压降变化不明显,故对于新兴分离器应用在井下含油率低于15%的工况下时,可忽略含油率对压降的影响。③通过研究,得到计算入口到出油口、除水口压降的计算表达式,计算的结果与实验对比,相对误差较小。④对于工程应用,减小压降应减小导流片的数目,并使导流片的安装角度尽量接近30°。

参 考 文 献

- 1 Larry J. Chruseh. Downhole Oil and Water Separation Potential of New Technology Proceedings, Indonesian Petroleum Association Twenty Silver Anniversary Convention, 1997-10.
- 2 王尊策,于玲玲,徐艳,等.井下油水分离旋流器大锥角参数优化,大庆石油学院学报,2009,33(2): 78-80.
- 3 Yasser K. Bangash, Marcello Reyna. Downhole Oil/Water Separation Systems in High-Volume/High-Horsepower Application.SPE 81123, 2004: 48-49.
- 4 John A. Veil. 井下油水分离新技术,国外油田工程,2001,17(8): 22-23.
- 5 蒋明虎,芦存财,张勇.井下油水分离系统串联结构设计,石油矿场机械,36(12): 59-62.
- 6 Shi-ying Shi, Ying-xiang Wu, Jun Zhang, Jun Guo and Shu-jing Wang. A study on separation performance of a vortex finder in a liquid-liquid cylindrical cyclone. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, Volume 22, Issue 5, Supplement 1, October 2010, Pages 391-397.
- 7 史仕英,吴应湘,马乃庆,等.一种管道式导流片型油水分离器研究.第二十三届全国水力学研讨会暨第十届全国水动力学学术会议文集,2011: 242-251.

Investigation about characteristics of pressure drop in a vane-type pipe separator for oil-water separation

SHI Shi-ying, XU Jing-yu, GAO Meng-chen, HUANG Yu-tong, CHEN Xiao-ping, MA Nai-qing

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190,
Email: shishiying123@163.com)

Abstract: In this paper, a new invented down-hole oil-water separator is studied through indoor experiments. Through these actions, the influence of the flow rate at the inlet, split ratio, oil cut and the structures of the guide vanes on the pressure drop in this vane-type pipe separator are got. Besides, the empirical correlations between these factors and the pressure drop are also founded. The results provide guidance for the new separator's industrial applications.

Key words: guide vane; pipe; down-hole; oil-water separator; pressure drop