

# 导流片诱导的油水旋流场的流场特征

陈小平, 李华\*, 许晶禹, 史仕荧, 吴应湘

中国科学院力学研究所, 100190, 北京, Email: [chenxiaoping2@imech.ac.cn](mailto:chenxiaoping2@imech.ac.cn)

\*通讯作者, Tel.: +86 18610891288, E-mail: [lihua@imech.ac.cn](mailto:lihua@imech.ac.cn)

**摘要:** 新型管道式导流片型油水旋流分离器在井下和海底油水分离中具有重要的应用价值。它利用导流片诱导产生旋流场以实现油水离心分离。运用电阻层析成像技术 (Electrical Resistance Tomography) 对导流片后旋流场的流场特征进行了实验研究。研究发现, 导流片能够诱导形成旋流场, 并观察到位于管道中心的清晰油核。ERT 能够在线获取管道截面内的油水两相分布信息。同时, 实验得到了截面相含率分布随入口流量、入口含率和距导流片轴向距离的变化规律。本研究对指导新型管道式导流片型油水旋流分离器的优化设计具有重要意义。

**关键词:** 导流片; 旋流场; ERT; 流场特征

## 1 引言

油水分离是石油生产过程中的重要环节, 利用离心力来进行油水分离的旋流分离器并不少见, 对于旋流器内部旋流场的研究也已经取得了很大进展<sup>[1]</sup>。但是, 不同的旋流器结构参数各不相同, 导致其流场分布差异很大。新型管道式导流片型油水旋流器利用导流片产生旋流场以实现油水的离心分离<sup>[2]</sup>。由于其导流片结构独特, 其旋流场的流场特征还不十分清楚。本研究拟采用电阻层析成像技术 (ERT) 对旋流场的流场特征进行实验研究<sup>[3]</sup>, 从而得到导流片后旋流场的截面相含率分布。本工作对指导新型管道式导流片型油水旋流分离器的优化设计具有重要意义。

## 2 实验方案

本实验在中国科学院力学研究所的多相流实验平台上进行, 图 1 为该实验管路的示意图。管道为内径为 50mm 的透明有机玻璃管, 有助于更好的观察流场的形态。实验所用油相为白油 (46 mPas, 860 kg/m<sup>3</sup>), 水相为普通生活用水 (1 mPas, 998 kg/m<sup>3</sup>)。入口含油率范围为 0%~15.3%, 混合速度范围为 0.45~2.00m/s。

如图 1 中所示, 油相和水相分别由涡轮流量计和电磁流量计计量, 在 T 型三通中混合

以后，经导流片诱导形成油水旋流场。采用新型电阻层析成像技术（ERT）对旋流场的稳定段进行测量。最后，油水流经实验管线后进入重力分离罐进行分离。

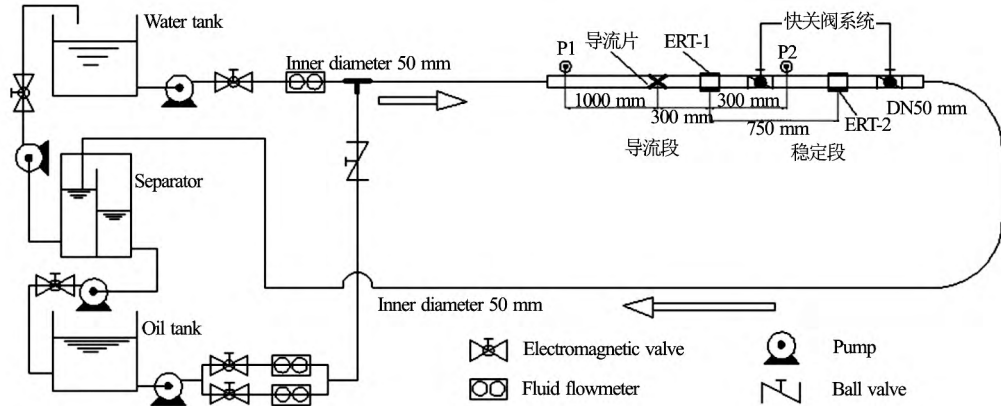


图1 油水两相水平旋流实验管路

电阻层析成像技术（ERT）是过程层析成像（Industrial Process Tomograph）的一种，具有非侵入的特性，能在不干扰流动过程的情况下获得流动的内部信息<sup>[4]</sup>。本实验采用的ERT是由英国利兹大学研制且由英国ITS公司生产的ITS Z8000系统。图2为Z8000系统的电极。ERT的两圈电极分别置于导流片后端300mm（截面I）和1050mm（截面II）处。

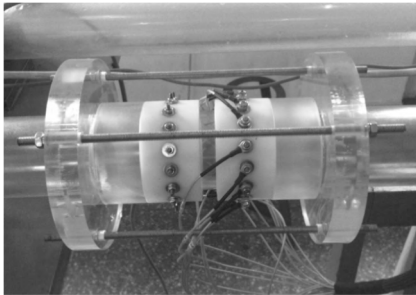


图2 ERT系统的电极

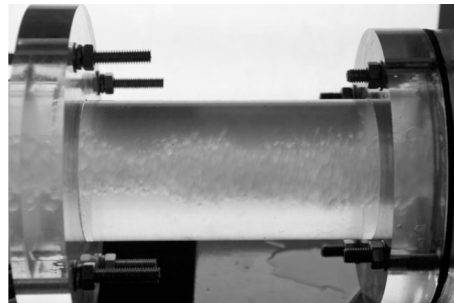


图3 实验拍摄到的油核形态

压力信号采用霍尼维尔压力传感器测量后，应用DAQP-12H数据采集系统进行数据采集，采样频率为2000Hz。压力传感器分别安装在导流片前端1000mm和后端600mm处，使用前采用U形管进行标定。导流片角度为45°，数目为2片。

实验通过保持入口水相流量不变而改变入口相含率来进行。所用水相流量分别为：3 m<sup>3</sup>/h、6 m<sup>3</sup>/h、9 m<sup>3</sup>/h和12 m<sup>3</sup>/h，所用入口相含率分别为：0、5.7%、10.7%和15.3%。

### 3 结果分析

实验发现导流片能够诱导形成旋流场，同时我们观察到位于管道中心的清晰油核，如图 3 所示。压强是油水两相流动中的重要参量。导流片前后两处的压降分为两个部分，一是导流片前水平段的摩擦压降，一是导流片引起的局部压降。与局部压降相比，摩擦压降可以忽略不计。图 4 和图 5 为导流片前后两处的压力变化曲线。从图中可以看出，在入口含油率一定时，随着水相流量的增大，两处的压力均逐渐增大。在水相流量一定时，入口含油率越高，压力也越大。同时，也可以看出导流片后端的压力比前端的压力低。

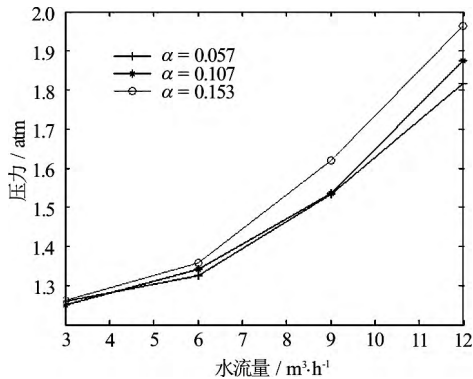


图 4 导流片前端压力变化

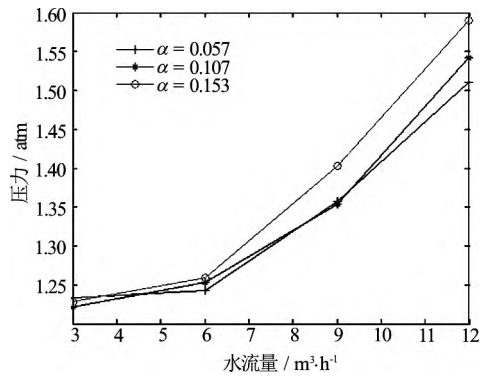


图 5 导流片后端压力变化

在此基础上，我们得到两处的压差变化曲线，如图 6 所示。可以看出，压差随着入口流量的变大逐渐变大。当水相流量为 6m³/h，入口含率为 5.7%时，截面 II 内的相含率分布如图 7 所示，可以看出相含率分布呈中心高四周低的特点。其他工况时，相含率分布也呈现该特点。

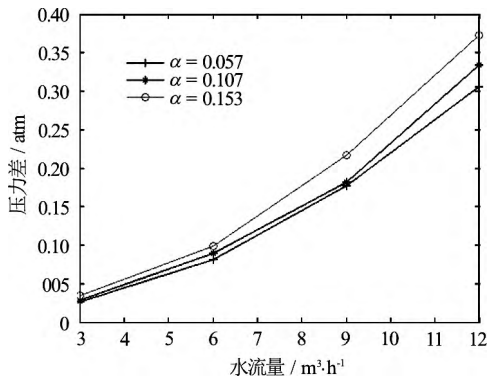


图 6 导流片前后两处的压差变化

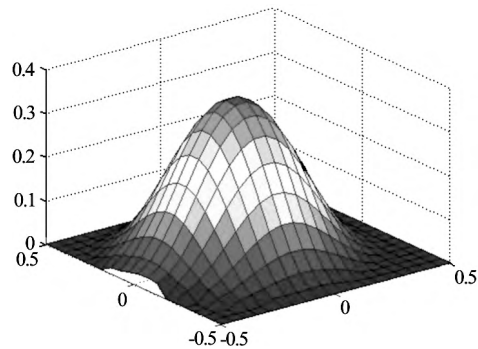


图 7 管道截面内的相含率分布

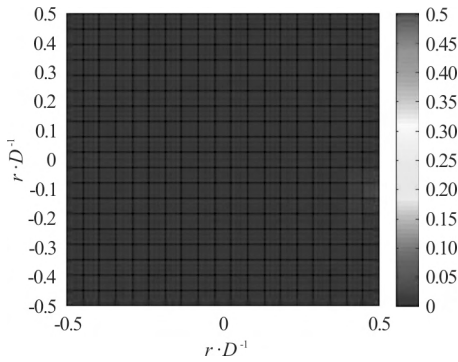


图8 截面内油水两相分布 ( $\alpha=0$ )

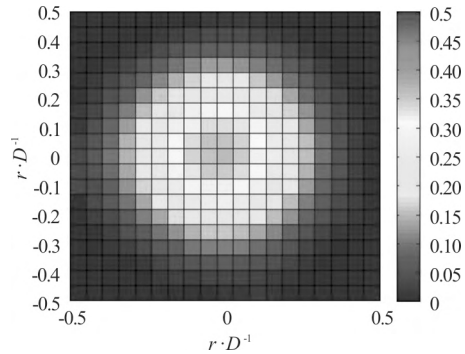


图9 截面内油水两相分布 ( $\alpha=0.057$ )

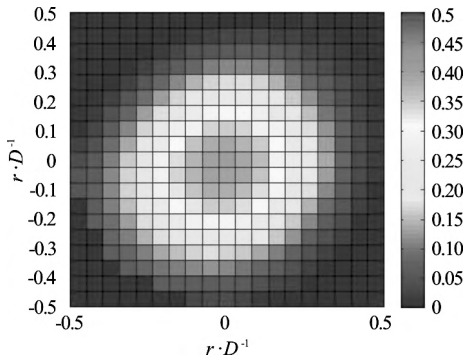


图10 截面内油水两相分布 ( $\alpha=0.107$ )

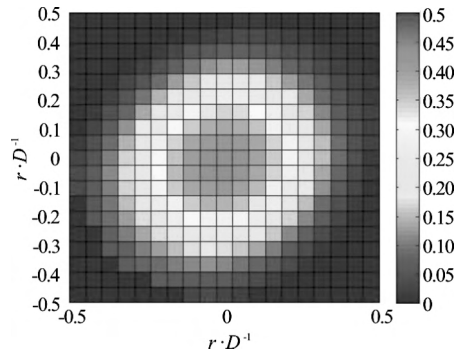


图11 截面内油水两相分布 ( $\alpha=0.153$ )

在对 ERT 测得的截面油水两相分布进行分析时发现,在实验管段能观察到明显的油核,且油核呈圆柱状。图 8 到图 11 为  $Q_w=3\text{m}^3/\text{h}$  时,截面 II 内油水两相的分布图。图中红色的中心区域为油相,蓝色的周边区域为水相,可以看出油核在截面内呈圆形。当入口相含率为 0 时,截面呈单一的水相,随着入口相含率的增加,红色的油核区域逐渐变大。

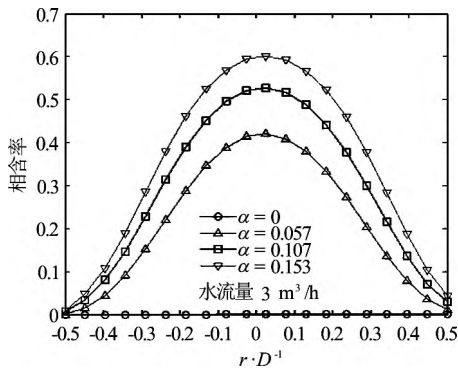


图12 相含率分布随入口含率的变化 (截面 I)

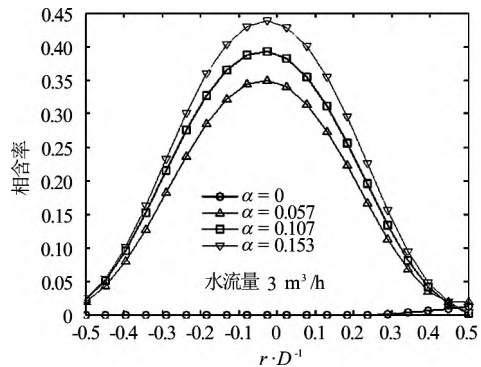


图13 相含率分布随入口含率的变化 (截面 II)

进一步调取截面内的相含率数据，得到了截面 I 和截面 II 内的相含率分布随入口含率的变化规律，如图 12 和图 13 所示。从图中可以看出，当入口水相流量一定时 ( $Q_w=3\text{m}^3/\text{h}$ )，随着入口含率的增加，相含率曲线呈整体上升。对比截面 I 和截面 II 内的相含率分布可以看出，相同工况下，截面 II 的相含率要比截面 I 的相含率稍低一些。这主要是因为随着距导流片轴向距离的增加，旋流强度逐渐减弱。

当入口含率一定时，截面相含率的分布随水相流量的变化曲线如图 1-14 和图 1-15 所示。从图中可以看出，入口相含率一定时 ( $\alpha=10.7\%$ )，随着水相流量的增加，截面 I 内相含率分布曲线变得越来越矮平，截面 II 内的相含率分布曲线则无明显变化。

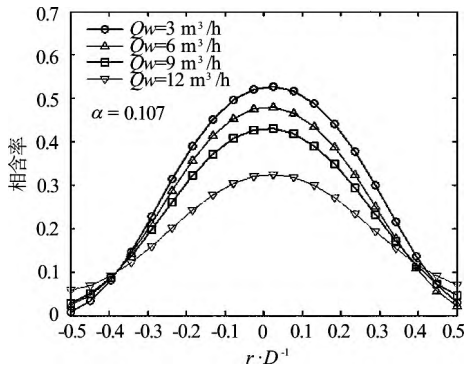


图 14 相含率分布随水流量的变化 (截面 I)

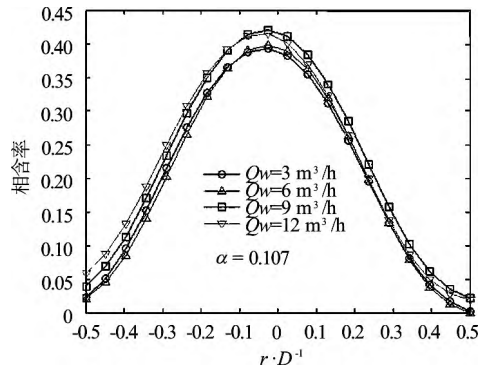


图 15 相含率分布随水流量的变化 (截面 II)

通过处理 ERT 测得的相含率数据，我们得到截面的相含率分布，对每个像素的相含率求积分可以得到截面的平均相含率。利用此方法得到的截面平均相含率随入口水流量的变化曲线如图 16 和图 17 所示。从图中可以看出，在截面 I 处，截面平均相含率随水流量的增加而逐渐减小。在截面 II 处，截面平均相含率随水流量的变化并不明显。

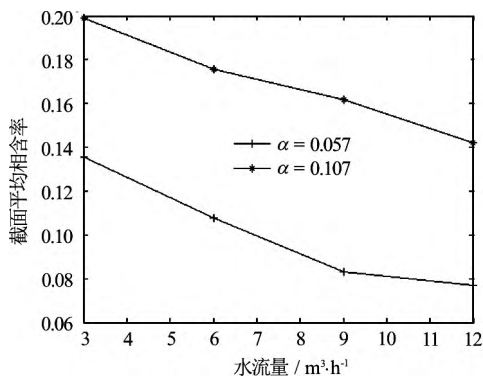


图 16 截面平均相含率随水流量的变化 (截面 I)

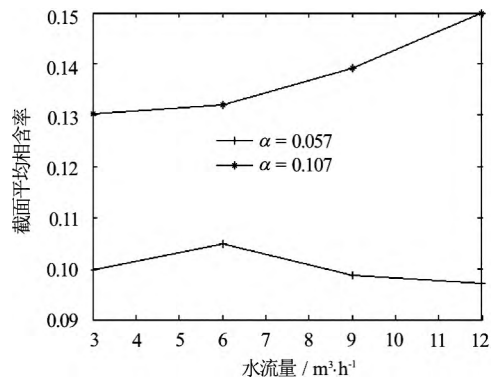


图 17 截面平均相含率随水流量的变化 (截面 II)

## 4 结论

本文采用 ERT 对导流片诱导的油水旋流场进行了研究, 得出以下结论:

(1) 利用导流片能够诱导产生油水旋流场。ERT 能够测量管道截面内的油水两相分布, 并能实现对油核的捕捉。根据所测截面图像发现, 当入口水相流量一定时, 随着相含率的增大, 油核逐渐变大。

(2) 比较旋流场中发展段截面 I 和稳定段截面 II 的相含率分布曲线发现: 当入口水相流量一定时, 入口含率越大, 两截面内相含率分布曲线都整体变高。当入口含率一定时, 入口水相流量越大, 截面 I 内相含率曲线越矮平, 截面 II 内相含率曲线没有较大变化。

## 参考文献

- 1 N. Zhou, Y. Gao, W. An, M. Yang, Investigation of velocity field and oil distribution in an oil-water hydrocyclone using a particle dynamics analyzer, Chemical Engineering Journal 157 (2010) 73-79.
- 2 Shi, S.Y., Xu, J.Y., Sun, H.Q., et al. Experimental study of a vane-type pipe separator for oilwater separation. Chem. Eng. Res. Des., 2012, 90, 1652-1659.
- 3 Hua L, Mi W, Ying-xiang W, et al. Measurements of oil volume fraction and velocity distributions in vertical oil-in-water flows using ERT and a local probe. J Zhejiang Univ Sci A 2005;6(12):141-5.
- 4 Wang, M., Jones T.F, Williams R.A.. Visualization of Asymmetric Solids Distribution in Horizontal Swirling Flows using Electrical Resistance Tomography, Trans. IChemE., 2003, 81, 854-861.

## The Flow Characteristics Study of the Swirling Flow Field Induced by the Guide Vanes

CHEN Xiao-ping, LI Hua\*, XU Jing-yu, SHI Shi-ying, WU Ying-xiang

Institute of mechanics, Chinese academy of sciences, 100190,

Email: chenxiaoping2@imech.ac.cn

\*Corresponding author, Tel.: +86 18610891288, E-mail: lihua@imech.ac.cn

**Abstract:** The new Vane-Type Pipe Separator has important application value in the downhole and underwater oil-water separation. It realizes oil and water centrifugal separation using the guide vanes to produce swirling flow. In this paper, We experimentally study the flow characteristics of spiral flow field induced by the guide vanes using Electrical Resistance Tomography. Studies show that the guide vanes can induce swirling flow field, and oil core is founded clearly in the center of the pipe. ERT can provide oil-water distribution information in the piping section. At the same time, the oil fraction distribution varying with inlet flow rate, entrance oil fraction and the axial distance is gained. This study is of great significance in guiding the optimization design of the Vane-Type Pipe Separator.

**Key words:** guide vanes; spiral flow field; ERT; flow characteristics