

文章编号: 1672-9897(2010)04-0013-04

天然气绕三角翼旋流的水洞实验研究

王俊奇¹, 马卫国², 徐永高³

(1. 西安石油大学石油工程学院, 西安 710065; 2. 中国石油集团科学技术研究院江汉机械研究所, 湖北 荆州 434000; 3. 中国石油长庆油田分公司油气工艺技术研究院, 西安 710021)

摘要: 天然气绕三角翼产生旋流, 使天然气中的游离水滴甩出, 附着在管道内壁上, 在气流的牵引下沿管道内壁向下游流动, 实现了气水分离的目的。通过水洞实验, 利用染色液流动显示技术, 探讨了流体绕三角翼后产生旋流的可行性。同时, 基于均匀设计思想对三角翼的前缘后掠角、后缘后掠角和迎角等几何参数分别做了5个水平的实验研究, 均证实了天然气绕三角翼后产生旋流的可靠性, 为该技术的应用奠定了基础。

关键词: 三角翼; 旋流; 水洞实验; 流场显示

中图分类号: TE357; V211.751 **文献标识码:** A

The water tunnel experimental study of natural gas swirling around the delta-wing

WANG Jun-qi¹, MA Wei-guo², XU Yong-gao³

(1. Petroleum Engineering School of Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 2. Jianghan Machinery Research Institute of CNPC, Jingzhou, Hubei 434000, China; 3. Oil and Gas Technology Research Institute of PetroChina Changqing Oil field Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: Natural gas around the delta-wing generates swirl flow, so that free water droplets in natural gas are thrown off, attached to the pipe inner wall, pulled by the air to go downstream along the pipeline inner wall, then achieved the separation of gas-water. Through water tunnel experiment, staining flow visualization techniques are used to explore the feasibility of fluid around the delta-wing to result in cyclone. At the same time, based on uniform design ideas, for leading edge sweep angle of delta wing, trailing edge sweep angle, attack angle and other geometric parameters, five levels of experimental research are done. It confirms the reliability of gas swirling around the delta-wing resulting in cyclone, and lays the foundation for the realization of the technology.

Key words: delta-wing; cyclone; water tunnel experiment; flow visualization

0 引言

在天然气工业中, 天然气与水相伴相生, 自储集层中采出的天然气中, 一般都含有水。由于水是天然气中有害无益的成分^[1], 它对气田的开发会产生不利影响。因此, 为了脱除天然气中的饱和水, 从井口采出的天然气被输送到集气站或净化厂进行天然气脱水, 即采用冷却法、吸收法或吸附法等技术, 使天然气的露点温度降低, 达到商品天然气对含水量的气质要求。

常规的天然气脱水方法, 设备庞大, 需要借助电力启动, 维护复杂。为此, 文献[2-4]提出了跨声速气

水分离的方法, 即首先天然气在喷管中实现加速, 从亚声速加速到跨声速状态, 此时, 温度降低到足以使天然气中气态的饱和水凝结为液滴被游离出来, 然后进入旋流段, 旋流段内放置一个三角翼, 其作用是使流体诱导产生旋流, 将游离水滴甩出, 附着在管内壁上, 在气体的牵引下向分离段流动, 实现气水旋流分离。由于该技术仅通过改变流道面积的变化来实现, 因而只利用天然气本身的压能进行启动, 不需要电等其它外接能源启动, 在跨声速下可实现更低的温度, 气液分离更加彻底, 有着强大的工业需求背景, 其潜在的经济与社会效益巨大。

通过水洞实验先从原理上探索该技术的可行性。

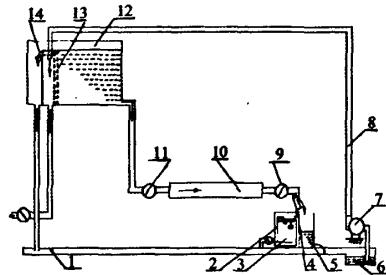
收稿日期: 2009-10-12; 修訂日期: 2009-12-20

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2009K10-10)和西安石油大学科技创新基金(Z07006)共同资助

尽管水的压缩性远远小于气体的压缩性,但是,跨声速气流与不可压的水流分别流过翼所发生的涡现象及其物理机理是相同的,即所导致涡的产生、发展、合并、破裂等基本现象与机理相同;而且跨声速气流在翼的背风面卷绕形成前缘涡的这部分气流一般是亚声速的,因此在定性上与水洞没有本质的区别。目前,水洞实验作为一个非常经济、方便、直观的流场显示手段,在进行流场显示和定性分析涡的生成、发展、演化等机理方面发挥着重要作用,在气体动力学研究中得到了广泛应用。因此,采用水洞实验结果对目前天然气绕三角翼的流动特性研究仍具有借鉴意义。另外,许多学者^[5-8]的研究方法与结果也证明了水洞测试在研究空气动力学时是可以接受的。

1 实验流程与方法

使用重力式水洞的结构示意图如图1所示。



1 水沟 2 磅秤 3 量水箱 4 切换机构 5 溢流箱 6 水池 7 水泵 8 回水管 9 出水阀 10 实验装置 11 进水阀 12 水箱 13 多孔阻尼板 14 溢流坝

图1 水洞实验流程图

Fig. 1 Flow chart of the water tunnel experiment

水泵将地下水池中的水泵入高位的水箱中,水箱内的溢流板使水箱中的水位保持恒定。水箱内还插有多孔阻尼板作为稳流装置,用来消除进水所引起的波动。水在管道内经过扩压段、整流网和收缩段后进入实验段,然后流入回流渠道,集中到水池中。

实验水洞的水箱水位高度为22m,水箱体积50m³,最大出水口直径300mm,管道直线长度可达20m,地下水池容积达200m³,用5台水泵供水。实验如图1所示。

观察段有两层,外层是平面有机玻璃观察窗,内层是圆柱形有机玻璃筒。实验采用数码照相机拍摄涡流的形成图片。

实验时将红绿染色液体调好,通过在翼前缘布置红色染色液体,由导管喷口释放出红色染色液体以显示涡核部分。在翼的边沿附近布置绿色染色液体,对涡流所涉及的范围进行显示,以观察涡流强度。将加工的不同尺寸的三角翼按一定的迎角调整好,固定数

码照相机,使镜头保持水平,对准观察窗。同步开动水洞和染色液体开关,在流动平稳时拍摄流线照片。然后更换不同的三角翼,按实验方案改变迎角,重新进行观察和拍照。

2 实验方案的均匀设计

根据文献[4]三角翼几何参数的设计原则:前缘后掠角的变化范围为70°~80°,后缘后掠角选择的范围在30°~55°之间,迎角取8°~12°。由于三角翼是产生涡流的关键部件,所以根据三角翼几何参数设计结果,在变化范围内适当改变参数,用水洞实验进行验证是有必要的。

为了用尽可能少的实验次数进行研究,借用均匀试验设计的思想,将前缘后掠角安排5个水平,将后缘后掠角安排5个水平。在管内流场中为防止涡的破裂,取小迎角,将迎角安排5个水平。(1)前缘后掠角72°、74°、76°、78°、80°;(2)后缘后掠角55°、50°、45°、40°、35°;(3)迎角12°、11°、10°、9°、8°。

在这3因素5水平下,翼根部的长度保持57.63mm。由“均匀分散”的均匀试验设计表^[10]构建实验方案,需做5次实验,如表1所示。

表1 均匀设计试验方案

Table1 The experiment plans of uniform design

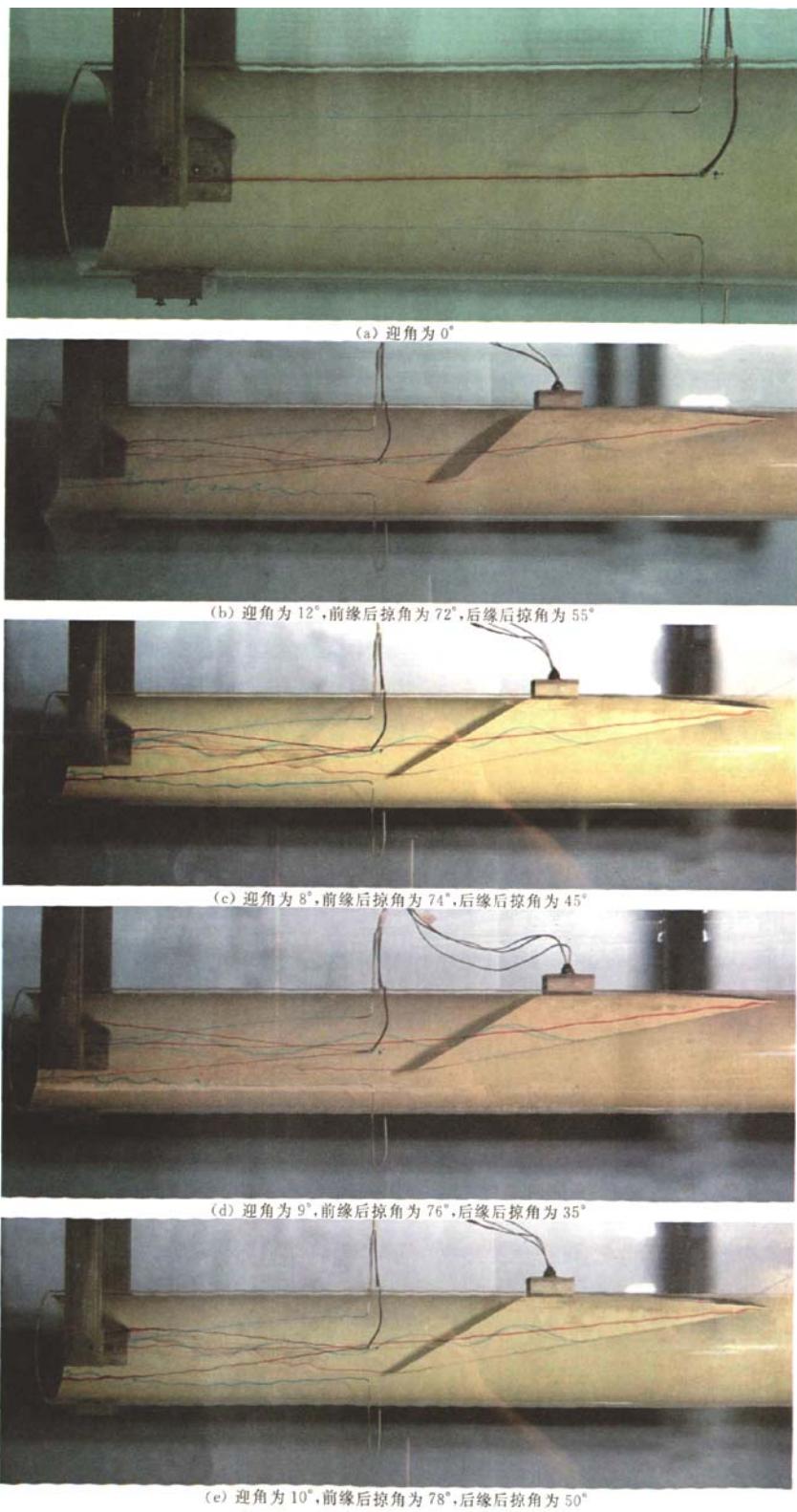
实验序号	前缘后掠角	后缘后掠角	迎角
1	72°	55°	12°
2	74°	45°	8°
3	76°	35°	9°
4	78°	50°	10°
5	80°	40°	11°

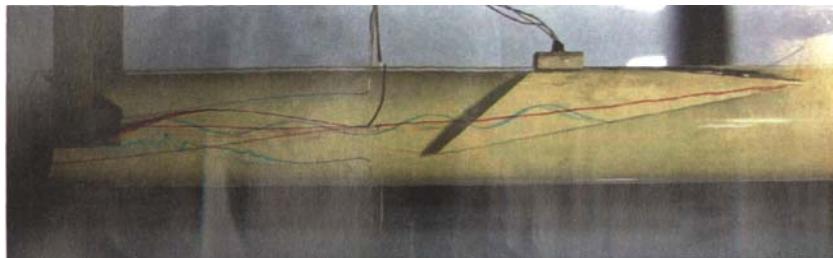
3 实验结果与分析

在迎角为0°时,由于使用的是薄翼,经试验与不安装翼的流动显示相近,如图2(a)所示,绕流显示出平面流状态,没有分离和涡流,保持良好的附着流状态。

由图2(b)、(c)、(d)、(e)、(f)可以看出,涡核基本上是一条直线,前缘涡核的后掠角几乎不随迎角而变化。迎角增大时旋涡的强度越来越强,在流场中占据的区域越大。因此,控制来流迎角的大小是控制分离旋涡强弱的关键参数。但迎角不能太大,否则会引起前缘涡的涡核破裂。

这些水洞实验拍摄的各种参数的流动显示图片,证实了利用三角翼产生涡流的合理性,并验证了三角翼设计的正确性。





(d) 迎角为 11°, 前缘后掠角为 80°, 后缘后掠角为 40°

图 2 水洞实验结果图
Fig. 2 Results of the water tunnel experiment

4 结论与建议

(1) 三角翼是一个旋涡发生器, 对周围的流场有诱导作用, 比较稳定, 易于控制, 所以该文中采用三角翼来产生管内旋流是切实可行的;

(2) 根据均匀设计将三角翼的几何参数在不同的范围内进行调整, 用水洞实验进行验证, 均证实了天然气绕三角翼能够产生旋流;

(3) 获得了天然气绕三角翼产生旋流的可行性, 但要获得详细的流动结构参数和流场细节, 还需要借助于数值模拟等手段进一步研究。

参考文献:

- [1] 王遇冬. 天然气处理与加工工艺 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [2] 王俊奇, 徐永高, 薛中天, 等. 气井井筒跨声速气水分离与旋流排液技术 [J]. 石油学报, 2006, 27(5): 119-123.
- [3] 王俊奇, 徐永高, 白博峰, 等. 超声速天然气绕三角翼旋流的数值仿真 [C]//第三届工程计算流体力学会议, 2006.

- [4] 王俊奇. 气井井筒跨声速气水分离与旋流排液技术研究 [D]. 西南石油大学博士论文, 2006.
- [5] 祝立国, 吕志咏. 绕三角翼流态中的某些定常与非定常特性研究 [J]. 流体力学实验与测量, 2004, 18(1): 43-47.
- [6] 吕志咏, 祝立国. 边条翼前缘涡非定常涡场特性研究中 PIV 技术的应用 [J]. 流体力学实验与测量, 2003, 17(2): 15-18.
- [7] 吕志咏, 杨晓峰. 仰俯三角翼的流态及结构 [J]. 空气动力学报, 1999, 17(2): 183-188.
- [8] 徐燕, 王晋军, 李亚臣. 尖顶襟翼对 70° 三角翼前缘涡破裂的影响 [J]. 流体力学实验与测量, 2002, 16(2): 52-56.
- [9] 王晋军, 秦永明. 偏转矢量喷流对双三角翼前缘涡破裂影响的实验研究 [J]. 实验力学, 2001, 16(1): 372-377.
- [10] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

作者简介:



王俊奇 (1966-), 男, 陕西岐山人, 副教授, 2006 年在西南石油大学获油气田开发博士学位, 主要从事油气田开发方面的教学与科研工作。通讯地址: 西安石油大学石油工程学院 (710065), 电话: 15339001168, E-mail: wjq_xasy@163.com