

# 双丝氢气泡法显示旋转圆柱绕流流谱\*

鄂学全 高宇欣

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

**摘要:** 本文对交叉布置的两根丝产生氢气泡的方法显示流谱作了探索, 并对旋转圆柱绕流的变化过程进行了流谱显示。显示结果表明: 该显示方法可以给出较漂亮的流谱图, 流场变化主要与参数  $\alpha$  ( $\alpha = \Omega a / U_\infty$ ,  $\Omega$ -圆柱旋转角速度,  $a$ -圆柱半径) 有关, 并对此作了简要讨论。

**关键词:** 双丝氢气泡法、旋转圆柱、绕流。

## 一、引言

旋转圆柱在定常流作用下, 产生非对称性的流场结构。对于这种流场结构 Coutanceau[1、2]在他们专用设备中用示踪粒子方法做了很好的显示实验研究。(模型同时旋转并向上移动)。但是对这样的旋转圆柱来说, 测压、测力都是困难的。大多用数值模拟方法研究流场结构、压力和力系数与参数  $\alpha$  的变化规律。

粒子示踪在水槽中使用比较方便, 但在水洞中使用有一定难度。氢气泡法是一个广泛使用的经典的显示方法, 但是单丝发泡可显示静止圆柱绕流的流场结构, 而显示旋转圆柱的绕流就不那么清晰了。我们对旋转圆柱在定常流中的绕流流场采用双丝发泡的方法作了考察。

## 二、实验装置

本实验是在力学所流体力学实验室开循环水洞中进行的, 实验装置包括水洞和实验模型的旋转运动机构。

**水洞:** 水洞为开循环水洞, 实验段为宽×高=100mm×200mm 矩形截面, 长1000mm 的透明有机玻璃制成, 流速通过电动阀门(电手两用)控制可获得所需要的流速, 最大流可达1m/s, 流速测量采用(86型直读式多功能测速仪)。设备请参见文[3]。

**模型及旋转机构:** 模型为铝制的直径为10mm的圆柱体, 一端与水洞实验段一侧壁固定可自由转动。伸到实验段外的端头部分用软管与直流电机轴连接(见图1)。这种连接方式免去了齿轮系统或橡皮带转动连接, 因此消除了齿轮噪音或皮带轮带来的侧向压力, 解决了圆柱旋转摆动或滑移问题。用直流力矩电机产生模型旋转运动, 直流电机是由专用配套控制电源供电并进行控制的。模型旋转的时间历程从起动到停止实验, 用数字显示的电秒表记时, 实验时数字电秒表与电机的转动是同步启动的。

\* 国家自然科学基金资助项目(19972068), 曾得到上海交通大学海洋工程国家重点实验室资助

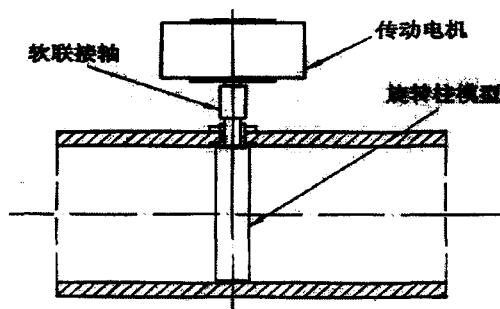


图 1. 圆柱旋转机构图

Fig. 1 Mechanism of cylinder rotation

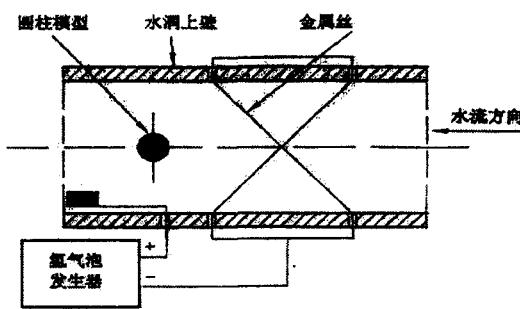


图 2. 氢气泡丝布置图

Fig. 2 arrangement for the hydrogen bubble wires

### 三、实验方法

流动显示是用双丝氢气泡法，通常我们都采用单丝作为氢气发泡丝，在单丝上以一定间距涂上绝缘漆，未涂漆的地方产生氢氧泡，随流体一起向下运动形成流向泡迹线以显示流线。这种方法操作起来也不容易。我们采用两根交叉的发泡丝，也可有相似的效果。

**气泡发生丝的布置：**发泡金属隙的布置如图 2 所示。发生氢气泡的金属丝是直径为 20mm 的铂丝。产生气泡的大小和数量或泡密度，与供电电压和电流有关。根据显示情况，电压可以调节，其范围在 20—100V 之间。两根金属丝的布置要特别注意，要拉直而不断，两根丝的长短一致，否则只有一根丝发泡，而另一丝无泡，这是因为较长的丝电阻较大，电流较小，产生不了泡。氢气泡发生器把交流电变直流后，可以脉冲供电，在丝上发出一排排气泡，顺流而下，也可切换电极，也就是说金属丝可为正负极性，金属丝如果是正极性则发生氧气泡，泡粒较大，如果是负极性则产生氢气泡，泡粒较小。经常切换电极，可以除掉丝上的沉淀物，使丝上气泡均匀。

**实验步骤：**首先启动水洞调定流速（5—30cm/s 范围内）；第二，圆柱静止时，开动氢气泡发生器，观察发泡及其运动情况；第三，将照相机对准流场设定光圈和暴光时间；第四，同时启动直流力矩电机和数字电秒表，模型旋转和表上的时间数字闪亮同步开始，照相机模型旋转之前就开始拍照，一直照到实验停止。这样底片上的数字显示的时间就是圆柱旋转的时间，每个时刻对应每张照片，即对应于当时时刻的流场流谱图。

### 四、实验结果

用此方法显示的流谱图案如图 3、图 4 和图 5 所示。图 3 给出了来流速度为 5.1cm/s，圆柱旋转速度为 191 转/分的流动图谱。转换成无量纲参数， $Re = 5.1 \times 10^2$ ,  $\alpha (= \Omega a/U_\infty)$ ,  $a$ —圆柱半径； $\Omega$ —旋转角速度，弧度/秒 = 1.96。由此图可以看出，圆柱开始旋转（右旋）即顺时针旋转）到达设定的旋转速度 191 转/分时，绕流流动变化的过程。从大量的实验和转速测定的显示值观察，电机旋转从静止开始启动到达稳定的转速约需 5 秒钟左右。流谱图显示出：

与圆柱旋转方向顺流的一侧涡的脱落被抑制，尾流向右偏移（顺旋转方向）。圆柱壁面产生了分离，形成绕柱体的环状流；而且转速越大环流区也越大（见图4， $\alpha=2.45$ ），这时旋转速度起主要控制流动的作用。（图5）给出了流速为15.0cm/s。圆柱转速72转/分，的流谱图，对应的无量纲参数是， $Re = 15 \times 10^2$ ,  $\alpha=0.25$  由此不难看出，当  $\alpha$  很小时，来流速度起主要作用。顺流（下面）一侧对涡脱落的抑制也有一定作用，但不够大。这表明，当  $\alpha$  大时顺流侧面的涡抑制作用就大，尾迹横向偏移也大，同时也显示出，圆柱体壁面的环流区比图4的小，这也说明  $\alpha$  数小，环流区也小，反之就大。这种流动显示，只能作为流场的定性观察，难以与数值模拟结果比较，这是因为实验和数值计算的参数不一致；同时，在圆柱后面（下游）没有气泡，显示不出涡结构。本次实验我们主要是考察一下双丝氢气泡法能否较清晰地显示出流场的轮廓。

## 五、结论

本文对旋转圆柱绕流流场用双丝氢气泡法进行了显示实验。采用两根发泡金属丝的关键问题，是丝的布置，两根丝的长短一致，布置的角度合理，可以成功地以鱼网形式显示流动。流动变化时，引起网眼的拉伸变形。如果结合氢气泡发生的脉宽（时间长度）距离还可以计算出某局部流场速度分布。双丝氢气泡法，比单丝泡法更好地显示流动变化较大区域，同时显示的图象比较美观。

## 参考文献

- [1] coutanceau M. and Menard C, Visualization of the eddy formation behind a rotating and translating circular cylinder, In Proc. Int .Symp. on Physical & Numerical Flow Visualization ASME-FED,1985.b 22:9—19
- [2] Coutanceau M.and Menard C, Influence of rotation on the near-wake development behind an impulsively started circular cylinder, J. F. Mech.1985, 158;399-446.
- [3] E Xuequan, J. Li and L. Guocan, Hydrodynamic Force on Free Spanning Pipeline Near A Wavy Boundary In steady Flow, Proc. of First Pacific/ Asia offshore Mechanics Symposium. Seoul, Korea 24-28 June, 1990, PP.103-109.
- [4] Caimao Luo and Xuequan E, Communication in Nonlinear Science & Numerical Simulation. Vol 3. No 4(Dee.1998), 221-232.

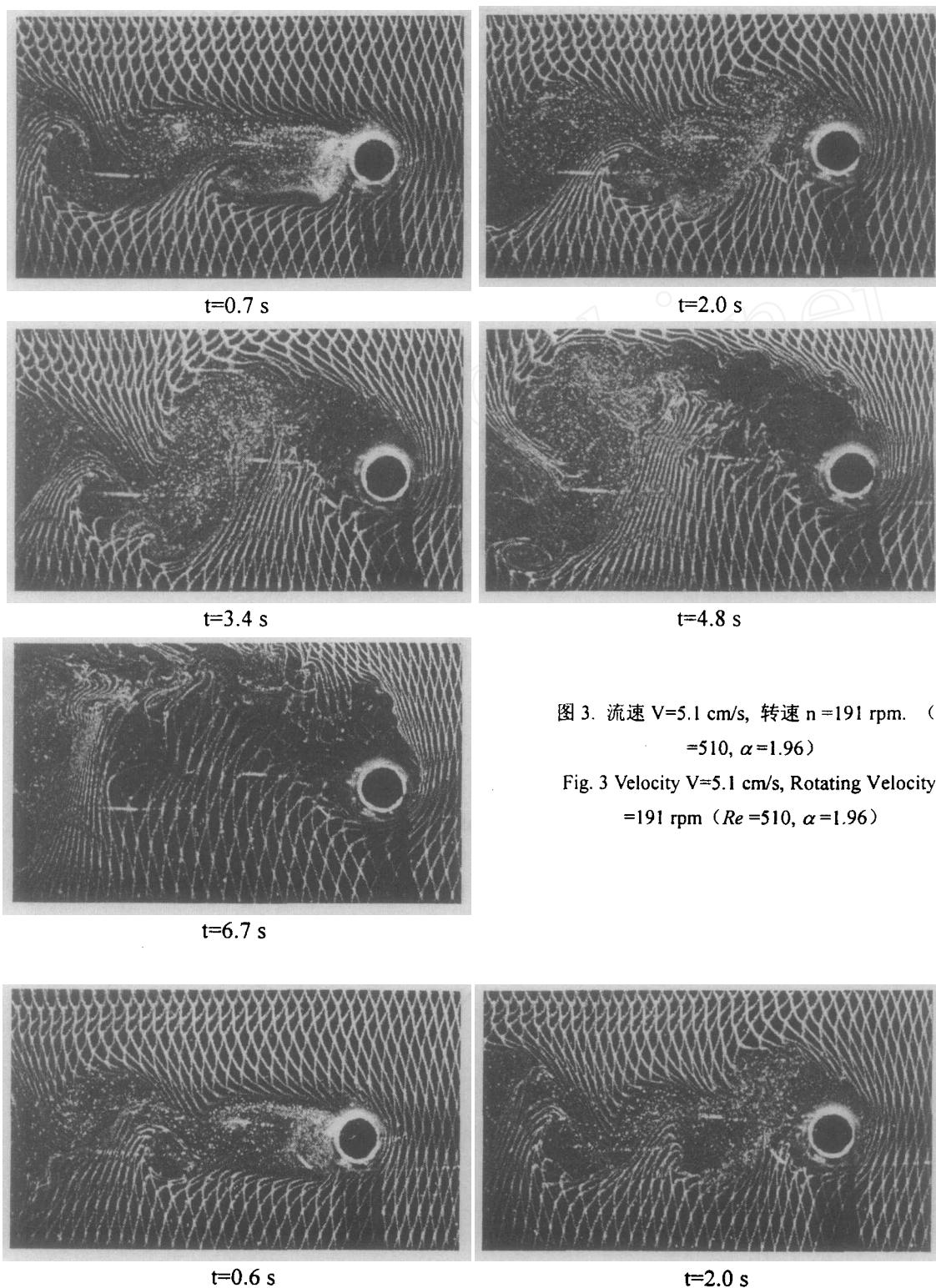


图 3. 流速  $V=5.1 \text{ cm/s}$ , 转速  $n=191 \text{ rpm}$ . ( $Re = 510, \alpha = 1.96$ )

Fig. 3 Velocity  $V=5.1 \text{ cm/s}$ , Rotating Velocity  $n = 191 \text{ rpm}$  ( $Re = 510, \alpha = 1.96$ )

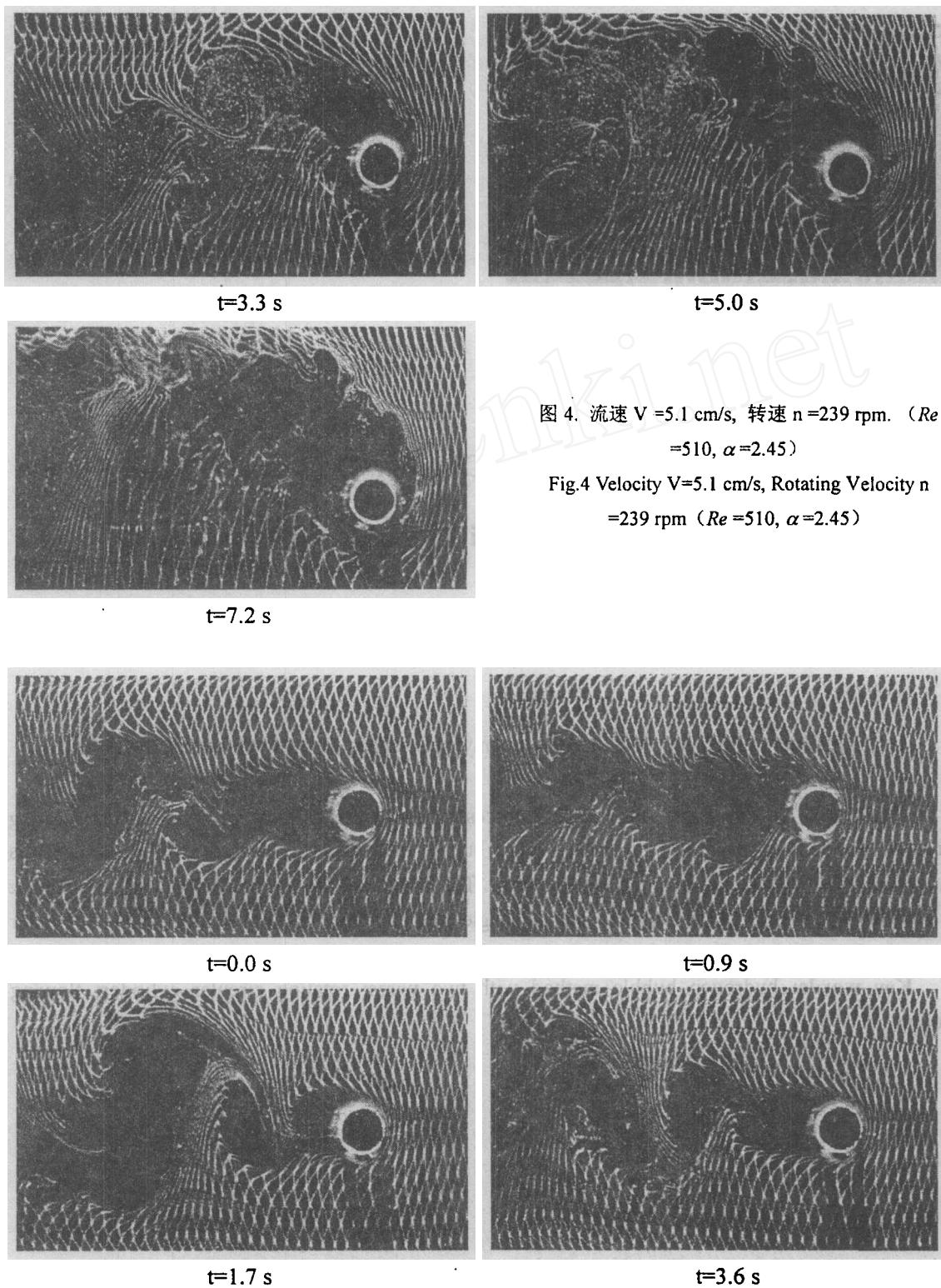


图 4. 流速  $V = 5.1 \text{ cm/s}$ , 转速  $n = 239 \text{ rpm}$ . ( $Re = 510, \alpha = 2.45$ )

Fig.4 Velocity  $V=5.1 \text{ cm/s}$ , Rotating Velocity  $n = 239 \text{ rpm}$  ( $Re = 510, \alpha = 2.45$ )

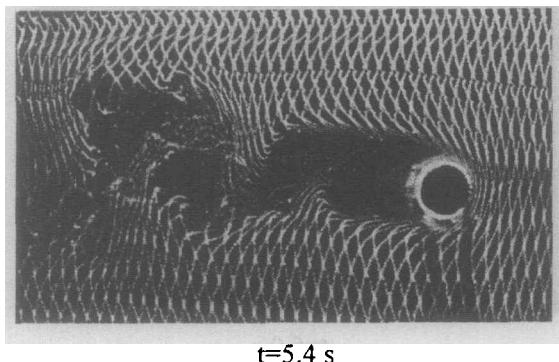


图 5. 流速 V=15.0 cm/s, 转速 n =72 rpm. ( $Re =1500, \alpha = 0.25$ )

Fig.5 Velocity V=15.0 cm/s, Rotating Velocity n =72 rpm ( $Re =1500, \alpha = 0.25$ )

## Flowing Visualization of Rotating Circular Cylinder Using Hydrogen

### Bubble Method with Double Wires

E Xuequan and Gao Yuxin

(Institute of mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080, China)

**Abstract:** In this paper, the variable processes of the steady flow moving around rotating circular cylinder are visualized by the hydrogen bubble method with two cross wires. The results show that this method can give beautiful patterns. The change of flow is related to the parameter  $\alpha$  ( $\alpha = \Omega a / U_\infty$ , where  $\Omega$  and  $a$  are rotating angle velocity and radius of the circular cylinder respectively), and its influence is briefly discussed.

**Key words:** hydrogen bubble method with two wires; rotating circular cylinder; flowing around