

目 录

一、实验目的.....	2
二、实验装置.....	2
三、实验原理.....	3
四、实验方法和步骤.....	4
五、实验现象与原理.....	5
六、思考题.....	7

天煌科技 天煌教仪

漩涡演示实验

流体在流经障碍物、截面突然扩大或缩小、弯头等局部阻力骤变处时，流体的流动状况会由层流转化为湍流。流体在作湍流流动时，其质点作不规则的杂乱动作，并互相碰撞产生漩涡等现象。而流体在流过曲面，如球体、圆柱体或其他几何形状物体的表面时，无论是层流还是湍流，在一定条件下都会产生边界层与固体表面脱离的现象，并且在脱离处产生漩涡。所谓流体流线，是描绘某一时刻各点速度方向的空间曲线，曲线上任一点的切线方向即为该点的速度方向。

一、实验目的：

1. 通过演示，认识流体流经不同绕体、边界的流动形态。
2. 观察并了解漩涡发生的区域和形态。
3. 结合工程实例，了解流体力学基本原理在工程实际中的应用。

二、实验装置：

实验装置如图 1 所示，由低位水箱、水泵、水槽、演示板、电路控制箱、LED 灯带及一些连接管道等组成。实验时，水由水泵由低位水箱抽至各个演示板，由水槽再回入低位水箱，示踪气体由水箱与水泵之间的阀 9 混入管道水流中，为保证实验现象明显，各演示板的进水阀逐个开启。

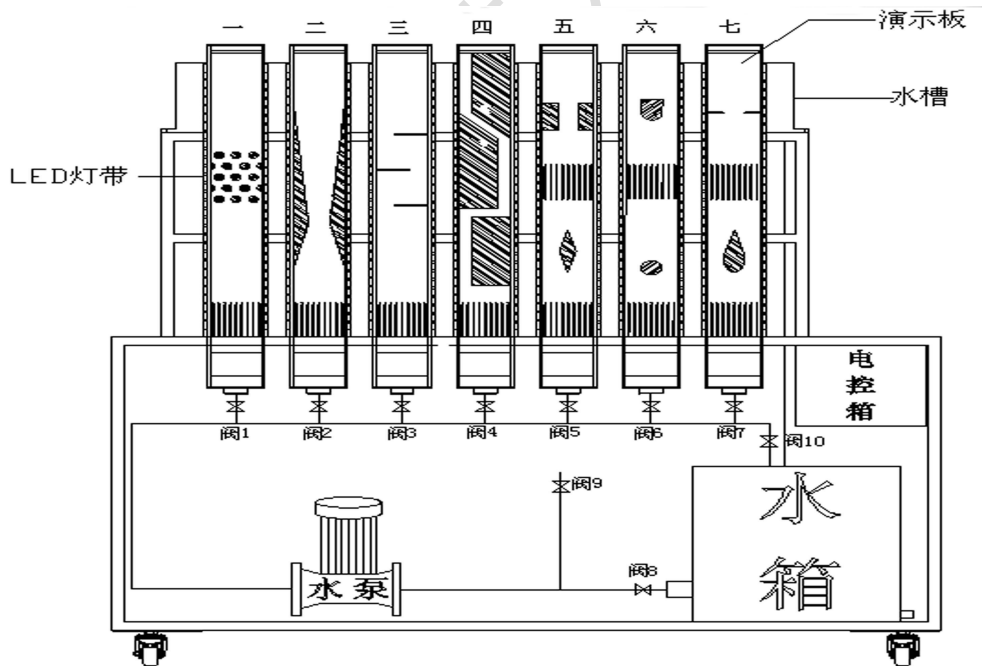
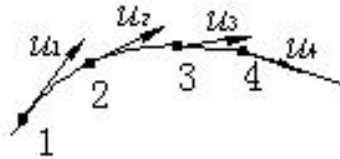


图 1

三、实验原理：

流线的定义

流线是流场中某一瞬时的光滑曲线，该曲线上的流体质点的运动方向均和该曲线相切，如图所示，是众多相邻近的流体质点运动方向的组合。在某一瞬时，流场中的每一点上都有一个流体质点，所以在每一点上均可画出一个速度矢量，即在某一瞬时流场中的每一点上均有一条流线经过，但不同的时刻，有不同的流线。



流线的性质

1. 同一时刻的不同流线，不能相交。

因为根据流线定义，在交点的液体质点的流速向量应同时与这两条流线相切，即一个质点不可能同时有两个速度向量。

2. 流线不能是折线，而是一条光滑的曲线。

因为流体是连续介质，各运动要素是空间的连续函数。

3. 流线簇的疏密反映了速度的大小（流线密集的地方流速大，稀疏的地方流速小）。

因为对不可压缩流体，元流的流速与其过水断面面积成反比。

4、流线的方程

在流线上某点取微元长度 dl （不代表位移）， dl 在各坐标轴上的投影分别为 dx 、 dy 、 dz ，

则：
$$\frac{dl}{u} = \frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} = \frac{dz}{u_z}$$

或
$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} = \frac{dz}{u_z} \quad \text{流线的微分方程}$$

漩涡的产生

以流体流过圆柱体为例来定性说明边界层分离现象和漩涡产生的原因。如图 2 所示，流体以均匀来流速度绕过圆柱体，在圆柱体表面形成一层边界层，随着流体从上游流向下流，边界层越来越厚。根据边界层理论，边界层以外的流动可视为理想流体的流动。由理想流体流线上的伯努利方程可知，流速大的地方，压力就小。由此可推知，在圆柱体前半周，由于流动通道越来越小，外流的理想流体质点速度逐渐增大，因而压力将逐渐减小，此区域为顺压区。在后半周，理

想流体质点速度越来越小，而压力越来越大，此区域为逆压区。由于边界层厚度很薄，边界层内压力与外流区的理想流体一样，前半周为顺压区，后半周为逆压区。在顺压区的边界层内，除压力梯度外，流体质点还受到壁面及流体的黏性滞止作用，二者作用相反，但前者大于后者，因此流体质点还是前进的；但在逆压区压力梯度和壁面及流体的黏性滞止作用相同，都有使流体质点停滞的作用，因此流体质点在圆柱后半周很快地减速，当流到 S 点时速度减为零。一旦流体在边界层内停止下来，下流的流体在逆压作用下将倒流回来，它们在来流的冲击下，又将顺流回来，这样就在 S 点附近形成明显的漩涡，这漩涡将边界层与物面分离开来。S 点称为分离点，在漩涡区内部，流体质点进行着强烈的湍流互混，消耗能量。

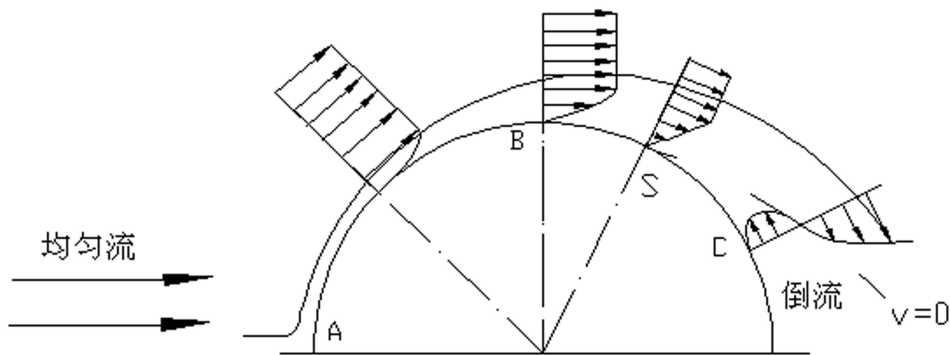


图 2

在有机玻璃流夹道中设有各种绕体和边界流场，用以显示各种流动图谱。本演示实验装置以气泡为示踪介质，无数的小气泡随水流一起流动，在 LED 灯光的映衬下小气泡发出明亮的折射光，清楚地显示出小气泡跟随水流流动的图像。由于气泡的粒径大小、掺气量的多少可由掺气量调节阀 9 任意调节，故能使小气泡相对水流流动具有足够的跟随性，让学生清楚观察到湍流漩涡、边界层分离等现象。

四、实验方法与步骤：

1. 实验前检查电路是否正常，合上漏电保护器开关，观察电源指示灯、电压表是否显示正常，LED 灯是否亮，检查无误后才能实验。

2. 流线演示实验：

打开阀 8、阀 10，关闭阀 1 至阀 7、阀 9，启动水泵，检查水泵旋转方向是否和泵体上的箭头方向一致，若相反则任意调换两相的位置。待水泵正常运行稳定后缓慢开启阀 1 直至全开，再

缓慢开启阀 9，观察演示板 1 的气泡掺入量，直至气泡平稳，大小均匀，连线明显。待第一块演示板演示结束，关闭阀 1，开启阀 2，演示第二块板，并依此方法进行后面板的演示。

本实验装置除了演示不同绕体后的流动形态，还可以通过改变流量观察不同流量下同一绕体后的流动形态，在打开或关闭阀门的过程要慢，切忌突开、突关。

注意：开启阀 9 的动作要缓慢，阀 9 的开度不易过大，否则掺气量过多，水泵容易出现气缚现象，阻断水流，或泵体出现异响，如出现此类现象应停止水泵，关闭阀 9，再开启水泵，并对掺气量重新调节。每次启动水泵前要确认阀 10 为全开，阀 1 至阀 7 为关闭，严禁在演示过程中关闭阀 10。为保证实验现象的明显性和实验装置的可靠性，在实验过程中应逐个板进行单独演示。

五、实验现象与原理

1 演示板一：列管换热模拟

演示的是多圆柱绕流，与列管换热器中列管的排列方式类同，可以看见，在每个圆柱后面都有漩涡产生，在换热器中，流体流经圆柱时，边界层内的流体和柱体发生热交换，柱体后的漩涡则起混掺作用，然后流经下一柱体，再交换再混掺，使得换热效果较佳。

2. 演示板二：文丘里模拟

由演示可发现文丘里流量计的过流顺畅，流线顺直，无边界层分离和漩涡产生。

3. 演示板三：换热器挡板模拟

由演示可发现在挡板与管壁连接处附近会产生漩涡，流线细密急促，在换热中产生的漩涡保证流体均匀混掺。

4. 演示板四：90 转角、45 转角模拟

由演示可发现在每一转弯的后面，都因主流与管壁分离而产生漩涡，转弯角度不同，漩涡大小、形状各异。90 转角弯道漩涡区大，回流更加明显。

5. 演示板五：机翼（菱形体）、突然收缩、突然扩大模拟

机翼（菱形体）：流动顺畅，无边界层分离，无漩涡区出现。

在突然扩大段出现较大的漩涡区，而突然收缩段只在死角处和收缩断面后的进口附近出现较小的漩涡区，表明突扩段比突缩段有较大的局部水头损失，而且突缩段的水头损失主要发生在突缩断面后部。

6. 演示板六：圆柱体、桥墩形柱体模拟

圆柱体：流体流经圆柱体后，产生边界层分离，在两侧产生旋转方向相反的漩涡，并流向下游，形成卡门涡街。

桥墩形柱体绕流：该绕流体为圆头方尾的钝形体，水流脱离该柱体后，形成一个漩涡区尾流，

在尾流区两侧产生卡门涡街。

圆柱体绕流涡街的频率在流速一定的情况下基本稳定，而与圆柱绕流不同的是，桥墩形柱体绕流涡街的频率具有较明显的随机性，故能有效防止大桥发生共振。

7. 演示板七：流线体、孔板模拟

流线体绕流：这是绕流体的最好形式，流动顺畅，形体阻力最小，无漩涡区出现。

在孔板前，流线逐渐收缩，汇集于孔板的孔口处，只在拐角处有小漩涡出现，孔板后的水流逐渐扩散，并在主流区的周围形成较大的漩涡区。由此可知，孔板流量计的过流阻力远比文丘里流量计大。

天煌科技 天煌教仪

六、思考题

- 1、为什么进水量愈大，漩涡愈强烈？
- 2、绕流阻力是怎样产生的？研究绕流阻力的意义何在？

天煌科技 天煌教仪