

## 3.2 柏努利方程演示实验

# 一、实验目的(*Objectives*)

- (1) 掌握流体流动中各种能量或压头的定义及其相互转化关系，加深对柏努利方程的理解。
- (2) 观察静压头、位压头、动压头相互转换的规律。

## 二、基本原理(*Principles*)

- (1) 不可压缩流体在管内作稳定流动时，由于管路条件的变化，会引起流动过程中三种机械能（位能、动能、静压能）的相应改变及相互转换。对理想流体在系统内任一截面处，虽然三种能量不一定相等，但能量之和是守恒的。
- (2) 对于实际流体，由于存在内摩擦，流体在流动时总有一部分机械能损耗。
- (3) 以上机械能均可用测压管中的液柱高度表示。当测压孔正对流体流动方向时测压管中的液柱高度为动压头和静压头之和，测压孔处流体的位压头由测压孔的几何高度确定。

### 三. 实验流程(Apparatus)

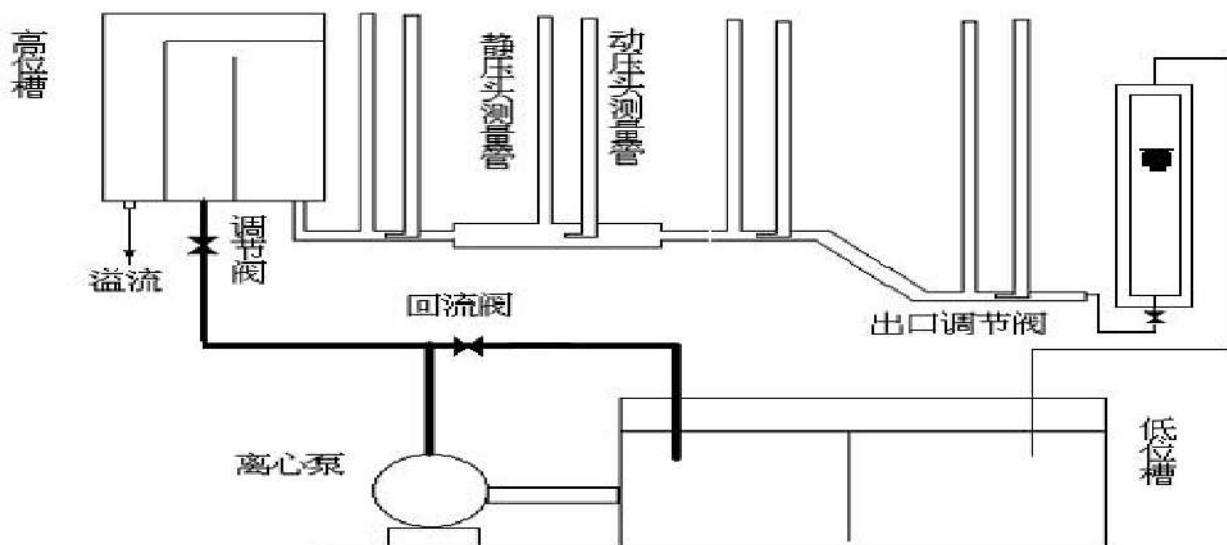


图1 能量转换流程示意图

实验测试导管的结构尺寸见图2中标绘：

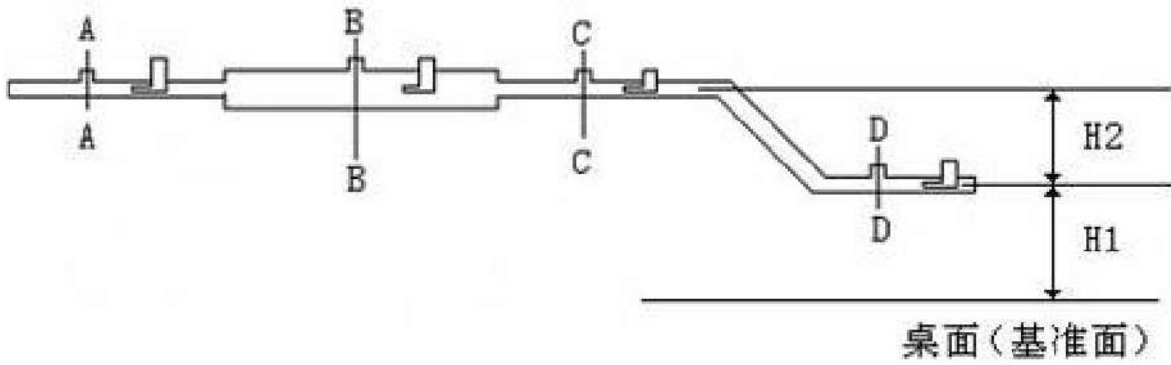


图2 实验导管结构图

## 四. 实验步骤(Procedure)

- 将低位槽灌有一定数量的蒸馏水，关闭离心泵出口调节阀及实验测试导管出口调节阀而后启动离心泵。
- 逐步开大离心泵出口调节阀当高位槽溢流管有液体溢流后，调节导管出口调节阀为全开位置。
- 流体稳定后读取A、B、C、D截面静压头和冲压头并记录数据。
- 关小导管出口调节阀重复上述步骤。
- 分析讨论流体流过不同位置处的能量转换关系并得出结果。
- 关闭离心泵，实验结束。



## 六. 数据处理(Data processing)

(1) 冲压头的分析：

从实验观测到在A、B截面上的冲压头依次下降，这符合下式所示的从截面1流至截面2的柏努利方程：

$$\left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}\right) = \left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g}\right) - H_{f,1-2}$$

(2) A、B截面间静压头的分析：

两截面处的静压头之差是由动压头减小和两截面间的压头损失来决定。



### (3) C、D截面间静压头的分析

从C到D的降低值，决定于 $(Z_C - Z_D)$ 和 $H_{f, C-D}$ 。 $(Z_C - Z_D)$ 小于 $H_{f, C-D}$ 时，静压头的增值为负，反之，静压头的增值为正。

### (4) 压头损失的计算

压头损失的算法之一是用冲压头来计算：

$$\begin{aligned} H_{f, C-D} &= \left[ \left( \frac{p_C}{\rho g} + \frac{u_C^2}{2g} \right) - \left( \frac{p_D}{\rho g} + \frac{u_D^2}{2g} \right) \right] + (Z_C - Z_D) \\ &= (823 - 737) + (113 - 0) = 199 \text{ (mmH}_2\text{O 柱)} \end{aligned}$$

压头损失的算法之二是用静压头来计算：

$$\begin{aligned} H_{f, C-D} &= \left( \frac{p_C}{\rho g} - \frac{p_D}{\rho g} \right) + (Z_C - Z_D) \\ &= (755 - 677) + (113 - 0) = 191 \text{ (mmH}_2\text{O 柱)} \end{aligned}$$

两种计算方法所得结果基本一致，说明所得实验数据正确。

## 七、思考题 (*Questions*)

- (1) 关闭阀5时，旋转各测压管的手柄，液位高度有无变化？这一现象说明什么？这一高度的物理意义又是什么？
- (2) 关闭阀5时，各测压管内液位高度是否相同，为什么？
- (3) 本实验如何观察静压头，点D的静压头为什么比点C的大？
- (4) 阀5开度一定时，转动测压手柄，各测压管内液位高度有何变化？变化的液位表示什么？

(5) 同上题条件，A、C两点及B、C两点有液位变化是否相同，为什么？

(6) 同上题条件，为什么可能出现B点液位高于A点液位？

(7) 阀5开度不变，且各测压孔方向相同，A点液位高度 $h$ ，与C点液位高度 $h'$ 之差表示什么？