

2010 年北京市  
大学生物理实验竞赛

项目说明

参赛学校 北京邮电大学

参赛题目 题目二：流量计

组队负责人 刘卓霖

组队成员 杨一帆 陈苏

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2010 年 5 月

参赛题目		孔板流量计测水流量		
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
刘卓霖	男	1990. 7. 19	通信工程	2008
手机, email	Tel: 13581794160 Email: liuzhuolin@163.com			
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
杨一帆	男	1989. 11. 21	通信工程	2008
陈苏	女	1990. 9. 26	通信工程	2008

(以下内容可加页, 控制在 3-5 页)

### 设计原理与方法:

本实验利用孔板流量计测瞬时流量  $Q$  (以后简称流量) 的原理, 当流体流经管道内部节流件时, 由于孔板结构的设置使得节流件前后产生静压力差  $\Delta p$ , 通过该静压力差与流过的流体流量之间的函数关系:

$$Q = C\sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

计算流量,  $C$  为标定系数。实验中, 我们在节流件前后相应位置打孔, 两孔间接注有水银的 U 型管, 通过测量 U 型管中水银的高度差  $\Delta h$ , 计算两打孔位置的静压力差。利用实验室提供的高精度的流量计测量相应时间的流量  $Q$ , 对系数  $C$  进行标定。

测量 U 型管中水银的高度差  $\Delta h$  时, 我们利用集成线性霍尔传感器 (以后简称霍尔元件) 测量磁场的原理, 将小磁钢置于水银液面上方, 将按照一定距离排列的霍尔元件列阵置于磁钢一侧, 用霍尔元件的输出电压表征磁钢的位置, 即水银的液面高度。我们采用采集卡对霍尔元件的电压输出进行采集, 利于 LabVIEW 软件编程, 时时显示流量。

### 孔板流量计测水流量的原理

标准孔板流量计如图 1 所示。流体通过孔板的锐孔时, 由于孔板的滞流作用, 造成流体内机械能的相互转换, 即静压能转化为动能。在孔板前, 管道内完全充满流体, 且具有稳定的边界层, 当流体流过孔板的锐孔后, 边界层发生分离, 主体流体四周被漩涡环绕, 流体直径缩小, 形成一缩脉 (流动截面最小处), 然后又逐渐变大, 孔板前后流体内发生了机械能转换, 如图 2 所示。

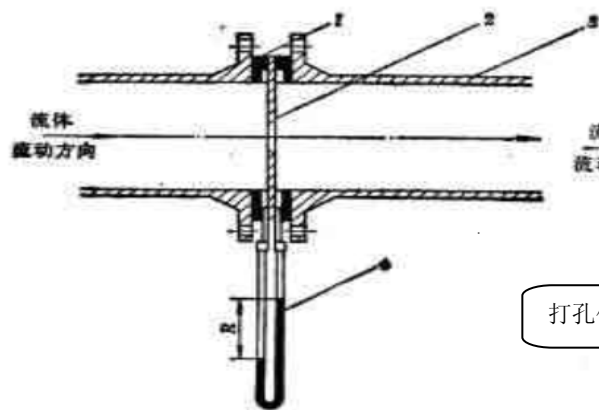


图 1. 标准孔板流量计

1. 测压环 2. 孔板 3. 导管 4. 压差计

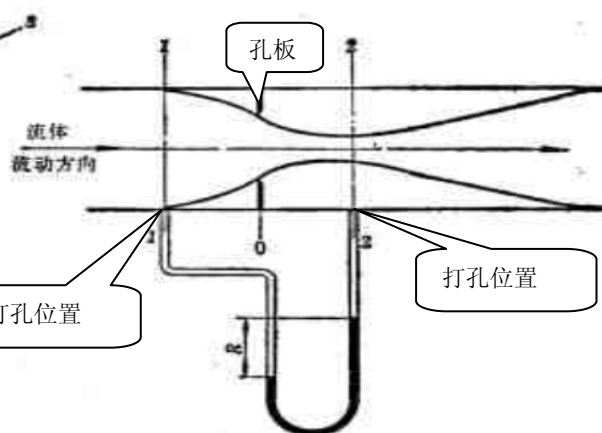


图 2. 孔板流量计原理示意图

根据机械能守恒，可导出孔板流量计的测量公式。如图 2 所示，在孔板前导管上取一截面 1-1，在孔板后的脉缩处取一截面 2-2。在截面 1-1，2-2 之间进行能量计算：

$$-W_s = \int_{p_1}^{p_2} v dp + g \Delta z + \frac{1}{2} \Delta u^2 + F \quad (2)$$

其中， $-W_s$  为流体系统相对于中心轴转动所作的轴功，由于系统内没有转动，所有  $-W_s = 0$ ； $\Delta z$  为两打孔位置水平高度差，当管子水平时， $\Delta z = 0$ ； $p_1$ 、 $p_2$  孔板前后打孔位置对应的水压； $F$  为流体的内能，系统内没有转轴做功，且管子水平并假定水为不可压缩的理想流体， $F = 0$ 。

$$\int_{p_1}^{p_2} v dp = (p_2 - p_1) / \rho \quad (3)$$

由 (2) (3) 得到：

$$\frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) = (p_2 - p_1) / \rho \quad (4)$$

由于脉缩位置因流速而改变，其截面面积  $S_2$  难以测得，但孔板的锐孔直径  $d_0$  和截面积  $S_0$  是设计确定的；设备制成后，测压管的位置固定，因此用孔板锐孔的流速  $u_0$  代替  $u_2$  切实可行。但要加以校正由于实际流体流经控板所造成的能量损失：(3) 式可写为：

$$u_0^2 - u_1^2 = 2 * C (p_1 - p_2) / \rho \quad (5)$$

根据不可压缩流体连续性方程：

$$u_1 = \frac{u_0 S_0}{S_1} \quad (6)$$

带入 (4) 式，得到：

$$u_0^2 = \frac{C}{1 - \left(\frac{S_0}{S_1}\right)^2} * \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} \quad (7)$$

令：

$$C_0^2 = \frac{C}{1 - \left(\frac{S_0}{S_1}\right)^2} \quad (8)$$

两边开方，可得：

$$u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (9)$$

则水的流量：

$$Q = u_0 S_0 = C_0 S_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (10)$$

式中  $(p_2 - p_1)$  为孔板前后压差，可由 U 形管直接测得：

$$(p_2 - p_1) = \rho g (h_1 - h_2) \quad (11)$$

$C_0$  为孔板流量计系数，由实验测得。

通过以上带入可最终求得水流量表达式：

$$Q = C \sqrt{\Delta p} = C' \sqrt{h_1 - h_2} = C \sqrt{\Delta h} \quad (12)$$

由以上分析，通过测量 U 型管中水银液面高度差  $\Delta h$  及由高精度流量计测得的流量  $Q$ ，即可求得常数  $C$ 。

### 利用霍尔元件测量水银液面高度差

在实验中，我们采用了集成线性霍尔传感器，其结构如图 3 所示，其输出电压信号随磁感应强度的变化成正比关系。利用它这一特性，我们将磁钢置于 U 型管中水银液面上，将多个霍尔元件按照一定的间距排列固定好，放置在有磁钢的 U 型管一侧。磁钢随两侧水银压力差变化上下移动，导致每个霍尔元件的输出电压发生变化。通过采集卡，将所有霍尔元件的输出电压采集到电脑中，通过 LabVIEW 软件编程，分析比较各个霍尔电压，从而判断磁钢所在位置，计算出两侧水银高度差  $\Delta h$ ，通过代入提前标定的常数  $C$ ，求出此刻的流量。

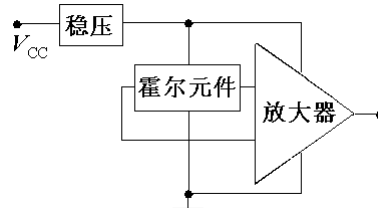
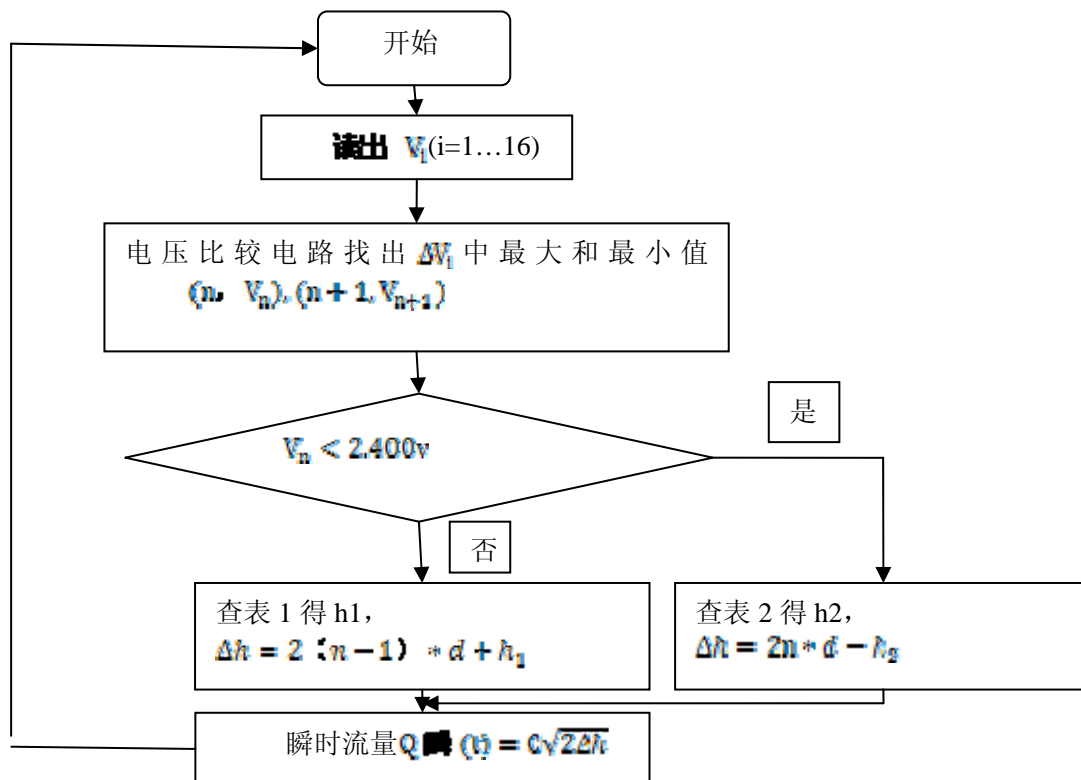


图 3 线性霍尔传感器内部结构示意图

### LabVIEW 编程框架



### 实验仪器与装置：

自行设计加工的有机玻璃孔板及 U 形管差压计；水银；集成线性霍尔传感器 16 个；电路板；小磁钢；导线等；万用表等。

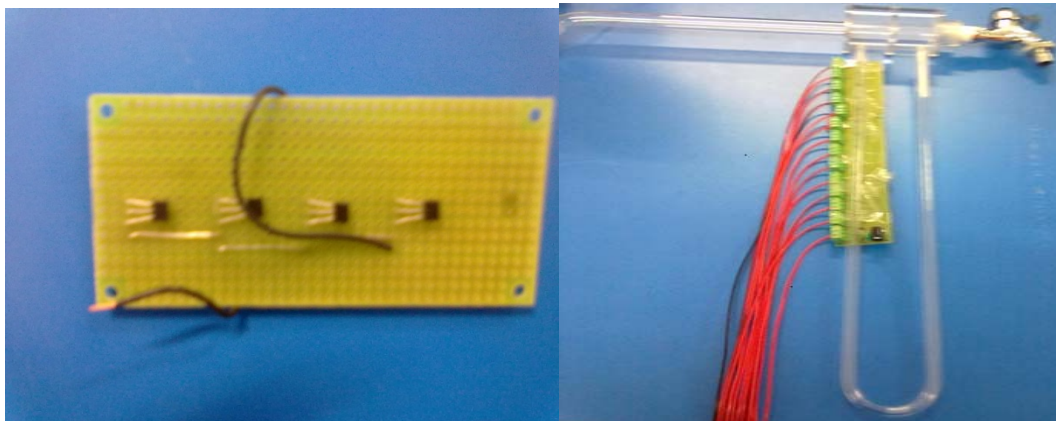


图 4 焊在电路板上的霍尔元件（左）及自加工的板孔流量计以及连好采集卡的置于 U 型管旁的霍尔元件阵列（右）

### 数据测量与分析：

#### (1) 常数 $C$ 的计算

根据多次实际测量数据，以下表数据为例，标定常数  $C$ 。

试验次数	两侧水银高度差 $\Delta h$ (m)	$\sqrt{\Delta h}$ ( $m^{1/2}$ )	水总体积 $V$ (L)	所用时间 $\Delta t$ (s)	流量 (L/min)
1	0.0015	0.03873	0.400	8.86	2.71
2	0.0023	0.04796	0.400	7.55	3.18
3	0.0032	0.05657	0.400	6.07	3.95
4	0.0046	0.06782	0.400	5.38	4.46

以  $\sqrt{\Delta h}$  为横坐标，流量为纵坐标，根据拟合参数，即可得到常数  $C$  以及补偿系数

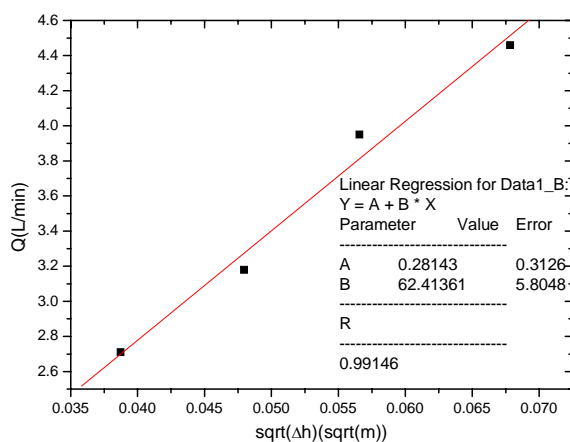


图 5 流量与  $\sqrt{\Delta h}$  的关系图

## 结论:

本装置根据流体力学原理,采用管道内设置孔板的方式对水的流量进行了测量,数据读取部分通过霍尔元件的引入,采用采集卡与软件编程的方式给予呈现。本装置设计的创新点为以下几点:

- (1) 测量原理采用传统的流体力学原理,物理学图像清晰;
- (2) 读数部分采用霍尔元件作为传感器,利用采集卡及软件显示,读数直观准确;
- (3) 对于平稳的水流速的测量精度高,可靠性好;
- (4) 流量计结构牢固,性能稳定可靠,使用寿命长,便于长期对水流量的检测。

## 制作成本(明细)

仪器	数量	成本(元)
有机玻璃管	1套	150
霍尔元件	16个	80
磁钢	2个	6
		共计: 236

2010年10月30日前通过电子邮件或邮寄报送竞赛组委会办公室

邮箱: [zhdlou@bjtu.edu.cn](mailto:zhdlou@bjtu.edu.cn) 联系电话: 51683840, 51683629 或 13521500790

通信地址: 北京交通大学理学院物理实验中心 邮编: 100044 姜志东