

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 余逸荣

组队成员 陈莹，靳国栋

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2010 年 5 月

参赛题目	基于霍尔效应的液体流量计			
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
余逸荣	男	1990.5	计算机学院网络工程专业	2008
手机, email	Tel: 13581789845		Email: yyr2046@126.com	
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
靳国栋	男	1990.1	计算机科学与技术	2008
陈莹	女	1990.9	计算机科学与技术	2008

(以下内容可加页, 控制在 3-5 页)

## 设计原理与方法:

本装置为一个便携式液体流量计, 用于测定水的瞬时流量及累计流量。测量装置的核心部件包括环形多极磁环、叶轮及集成开关型霍尔传感器等, 利用集成开关型霍尔传感器检测水流带动叶轮转动而引起的磁极翻转, 通过处理信号和相应的标定方法, 得出水流流量和累计流量。信号处理部分采用飞思卡尔 9S12XS128 芯片为控制核心, 流量信息通过 LED 数码管显示, 并配以 LCD 屏显示实时流量变化曲线, 显示 2 分钟内的流量历史记录。为方便使用, 流量计有多路电源可供选择, 且各种接口设计遵循现行工业标准。流量计所测数据可通过 Zigbee 无线传输到外围存储设备, 利于信息的管理。本流量计具有设计成本低、原理清晰、安装使用方便、测量精度较高、响应时间较短、显示直观、有历史记录及信息传输功能等优点。

本装置以飞思卡尔 9S12XS128 单片机为控制处理核心, 主要由霍尔传感器模块, 参数设定模块, 复位功能键, LCD、LED 显示模块和 Zigbee 无线传输模块组成, 组成框架图如图 1 所示。

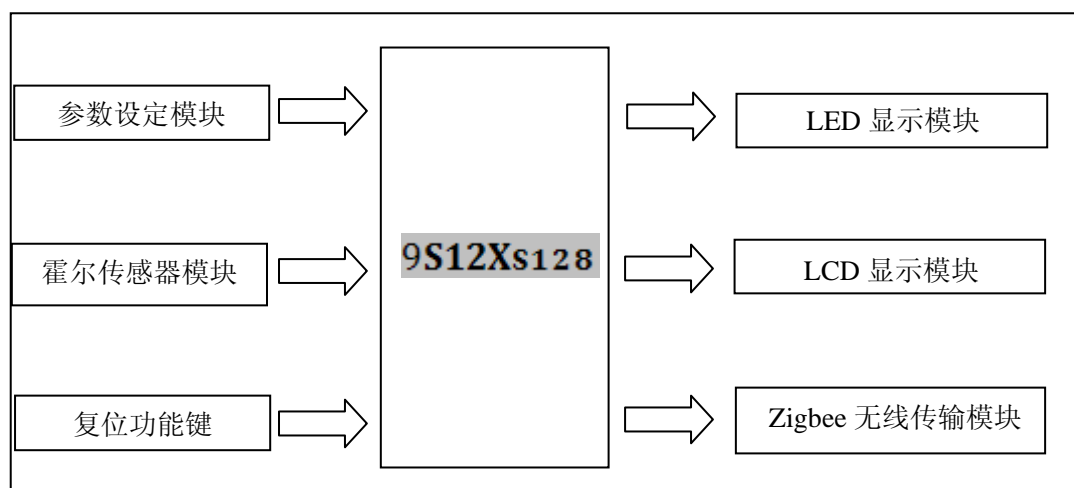


图 1 流量计组成框架图

### 核心部件霍尔传感器模块的介绍

图 2 是本流量计所采用的叶轮及多极磁环, 多极磁环固定于叶轮的轴上。将叶轮置于水管内部, 自来水流经叶轮时水流冲击叶片, 使叶轮旋转并带动多极磁环一起转动。叶轮的转速随流量变化而变化, 即流量越大, 转速越大。

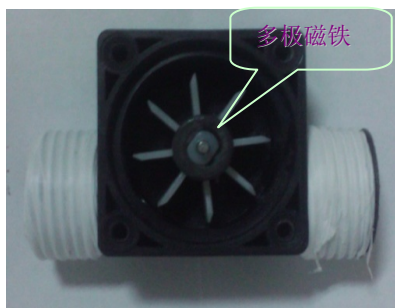


图 2 叶轮及多极磁铁示意图

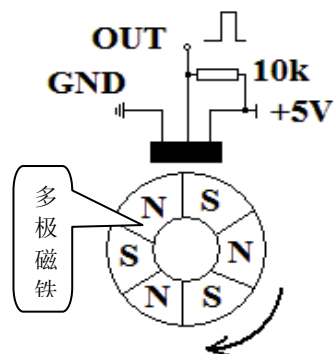


图 3 多极磁铁及开关型霍尔传感器示意图

我们将集成开关型霍尔传感器（以后简称“霍尔开关”）置于多极磁环侧面，如图 3 所示。霍尔开关电路方块图如图 4 所示。由于霍尔开关的输出特性曲线具有“磁滞”现象，如图 5 所示，当磁场强度为零时，霍尔开关输出高电位，这种状态称为“关”。当施加的磁场强度达到工作点（ $B_{op}$ ）时，传感器输出低电位，这种状态称为“开”。继续增加磁场，器件将保持“开”状态。当减小磁场到低于 $B_{op}$ 时，由于磁滞作用，器件将继续保持“开”的状态，直到施加的磁场减小到释放点（ $B_{rp}$ ）时，传感器才会翻转，输出高电位，器件回到“关”状态。由于在磁滞范围内，输出电压是不变的，因而霍尔开关的输出稳定、可靠。我们就利用霍尔开关这一优良特性，用以监测多极磁环的旋转。

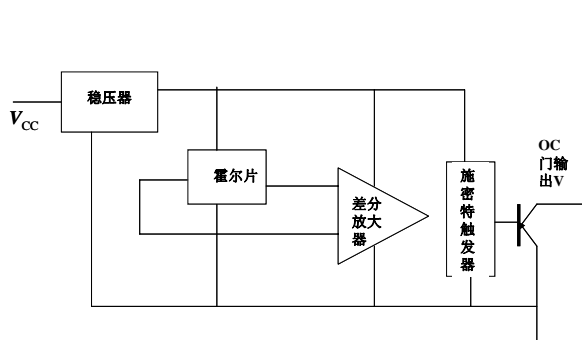


图 4 霍尔开关电路方块图

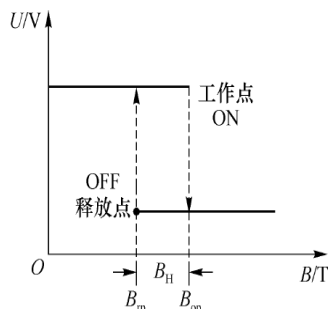


图 5 开关型霍尔传感器的工作特性曲线

### 霍尔开关输出电脉冲频率的计算

如图 3 所示，当磁环旋转时，S 极与 N 极交替作用于霍尔开关，使之输出高低电平信号，即脉冲信号。由于流量越大，多极磁环转速越大，则霍尔开关输出的脉冲频率越高。我们采用的多极磁环有三对磁极，即叶轮转一圈，霍尔开关输出 3 个电脉冲。通过检测霍尔开关输出的电脉冲，以相邻 2 个上升沿之间的时间计算脉冲频率。由于多极磁环各磁极相对于霍尔开关的位置分布可能不甚均匀以及水流流体内湍流对叶片转速的影响，在实际操作中，我们采用多次测量取平均的办法，尽量减小这部分原因带来的测量误差，即，利用相邻 2 个点脉冲的上升沿之间的时间计算频率，得到一系列的频率值后，我们对每秒钟计算出来的频率值取平均，用平均值作为这一秒钟的叶轮频率。这样做的好处不单是减小了以上 2 个原因带来的测量误差，同时对瞬时流量的计算影响不太大。

### 瞬时流量计算

假定流量在一定范围内，瞬时流量与脉冲频率满足如下关系：

$$Q = kf + b \quad (1)$$

其中， $Q$  是流经叶轮的流量，单位为升/分 (L/min)， $f$  是由霍尔开关输出的电脉冲频率， $k$  是叶轮系数，代表每个脉冲对应的流体体积， $b$  是纠正系数。 $k$  是叶轮的重要特性参数，不同的叶轮有不同的  $k$  值，由于实际加工出来的叶轮几何参数不完全一样，每个叶轮的叶轮系数  $k$  也不一样，且该值随叶轮长期使用的磨损情况会发生变化。本试验中， $k$  值的获得是我们利用多次实验得到的数据，通过反复标定拟合出来的经验值。 $b$  为实验数据拟合得到的纠正系数。在实验过程中，我们发现流量较小的情况下，用大流量数据拟合得到的  $k$ 、 $b$  值不再适用，因而在流量小于 2 升/分时，我们采用了分段拟合方式，得到小流量对应的  $k$ 、 $b$  经验值，用于计算小流量参数。

### 累积流量计算

累计流量  $P$  可以通过对瞬时流量  $Q$  做积分求得，这里的瞬时流量  $Q$  实际上是以一秒为单位的平均流量（原因见脉冲频率的计算）。从  $t_0$  时刻到  $t_1$  时刻的累积流量计算如下：

$$P = \int_{t_0}^{t_1} Q(t) dt \quad (2)$$

瞬时流量与脉冲频率之间的关系为式 (1)，其中  $k$  是每个脉冲对应的流体体积，所以累积流量的积分可以直接转化为通过测量一段时间内脉冲的数目  $N$ ，由下式计算得出。

$$P = kN \quad (3)$$

### 系统控制流程图

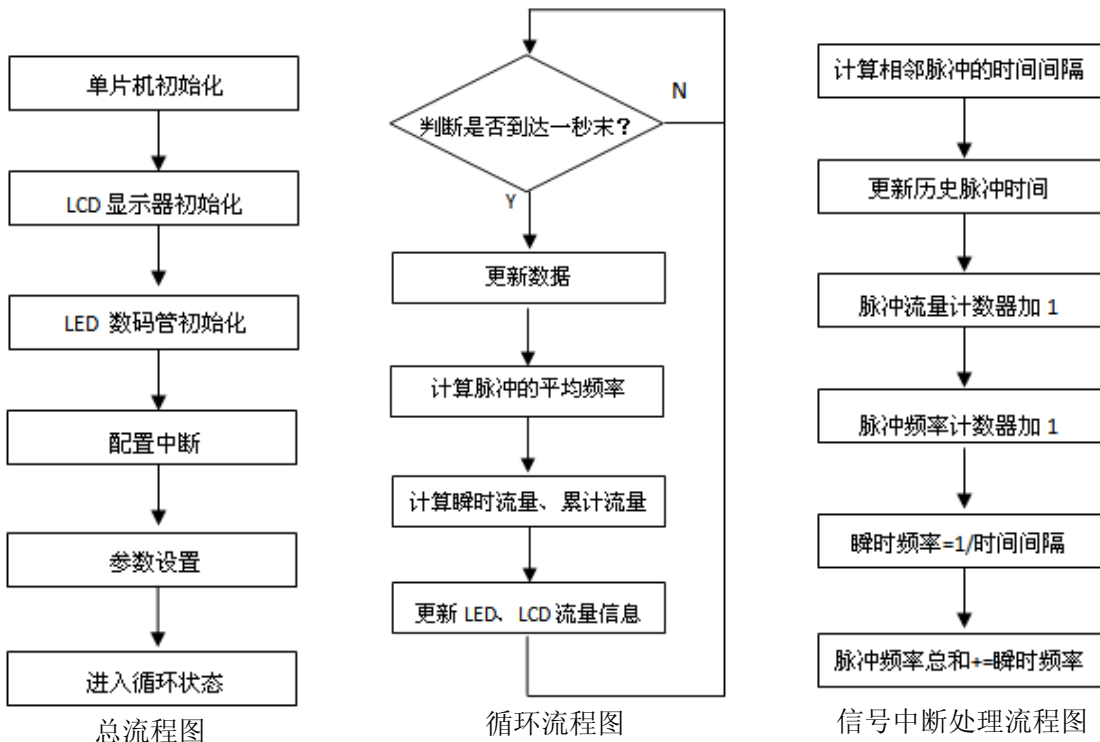


图 6 系统控制流程图

## 实验仪器与装置:

系统最终以便携式实验仪器的形式呈现，显示集中而且界面友好（如图 7 所示）。其中参数标定时，我们使用了由实验室提供的精度较高的日产超声波流量计（如图 8 所示）和低流量玻璃转子流量计（如图 9 所示），其型号、测量精度及测量范围如下。在霍尔开关电脉冲检测阶段使用了实验室提供的示波器。



图 7 流量计完成图



图 8 超声波流量计



图 9 玻璃转子流量计

型号	Buptcs-01	型号	GS-F3021-04	型号	LZB-10
测量精度	±2%	测量精度	±3%	测量精度	-
测量范围	0.5~10L/min	测量范围	0.3~150L/min	测量范围	0.16~1.6L/min

## 数据测量与分析:

### 瞬时流量与脉冲频率关系的确定

我们利用超声波流量计测得的流量作为纵坐标，利用单片机测得的霍尔开关的脉冲频率作为横坐标，作图如图 9 所示。利用最小二乘法进行线性拟合，得到瞬时流量与脉冲频率的关系如下：

$$Q = 0.1205f + 0.2771 \quad (4)$$

可以看出，在一定测量范围内流量与脉冲频率呈现很好的线性关系，这是因为当流量大于某一阈值时，叶轮的转动惯量、摩擦等因素对转动的影响可以忽略。在实际测量中，瞬时流量在 2 升/分~7 升/分范围内，其经验拟合能达到很好的拟合程度（相关系数  $|r| \rightarrow 1$ ），这时的测量误差基本控制在 0.2 升/分以下。

在流量较小的情况，瞬时流量与脉冲频率的线性关系系数同大流量有很大差别，且线形度下降。我们通过分段拟合，并采用多次拟合求平均等方法得到拟合方程如下：

$$\begin{aligned} Q &= 0.12f + 0.3045 \\ r &= 0.9990 \end{aligned} \quad (5)$$

进行修正后，使测量精度得到很大改善。

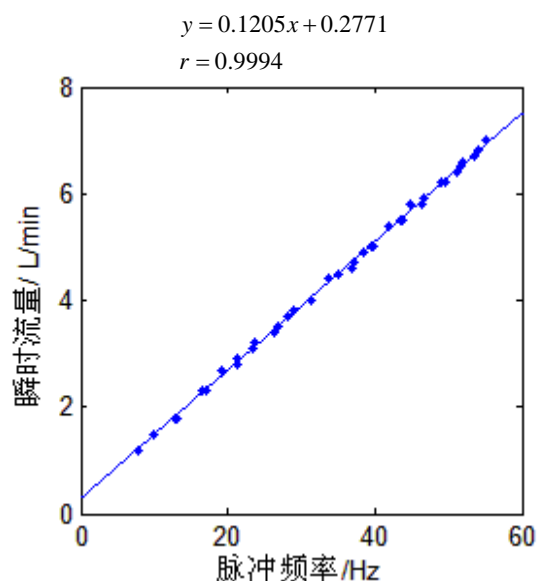


图 10 瞬时流量与脉冲频率关系

## 测量结果

表 1 瞬时流量（以实验室提供的超声波流量计所测数据作为参考数据）

	1	2	3	4	5	6	7
参考值(L/min)	1.80	2.8	3.8	4.7	5.7	6.8	8.2
测量值(L/min)	1.93	2.83	3.82	4.79	5.79	6.73	8.14
相对误差	7.2%	1.1%	0.53%	1.9%	1.6%	1.0%	0.73%

表 2 累计流量（测量时间约为 1~2 分钟，以水桶所接水通过称重得到参考值）

	1	2	3	4	5	6
参考值(L)	2.1	4.1	6.1	8.6	11.9	15.4
测量值(L)	2.03	3.97	6.01	8.59	12.04	15.63
相对误差	3.3%	3.2%	1.5%	0.12%	1.3%	1.5%

表 1 所示数据显示，当水的瞬时流量不是太小的情况下，本流量计测得数据相对误差不超过 2%，测量精度较高。在测量较小流量时，叶轮的转动惯量、摩擦等因素对测量结果有较大影响，测量误差有所增大。表 2 所示数据显示，本流量计对累计流量测量相对误差不超过 5%。

## 结论：

基于霍尔效应的液体流量计可以实现对瞬时流量、累积流量进行测量。所测数据在仪器上有直观显示，并可以通过无线传输对数据进行记录管理。在赛会要求测量范围内，本流量计测量精度较高，基本达到工业使用标准。

本流量计具有下列创新点：

1. 测量原理采用大学物理实验中所学霍尔效应，物理原理清晰；
2. 在算法上采用多次求平均、分段拟合等手段，合理的减小了由于器件、流体湍流等原因带来的测量误差；
3. 显示手段上采用 LED、LCD 等显示模块，能显示各实时测量数据及历史记录，界面友好直观；
4. 通过 Zigbee 无线传输模块可将实验数据进行传输、存储等，有利于后续的数据记录、分析与管理等工作；
5. 设计人性化，采用多路电源供给，以备不同条件下的测量需求，且设计成本低、使用方便。

## 制作成本（明细）（\*论文这里是参考文献）：

名称	数量	单价(元)	金额(元)
单片机 9S12XS128	1	60	60
7660S 芯片	1	2	2
开关电源 ZAC10-US5	1	20	20
LED 数码管	2	3	6
LCD 液晶显示屏	1	100	100
电容/导线/开关/电源插座	3/30/3/1	0.05/0.04/2/2	0.15/1.2/6/2
		合计	197.35

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 娄志东