

2009 年北京市  
大学生物理实验竞赛  
项目说明

参赛学校	<u>北京邮电大学</u>
参赛题目	<u>模拟输液瓶的液位测量及输液报警</u>
组队负责人	<u>吴昌龙</u>
组队成员	<u>刘虎球、侯雄辉</u>

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2009 年 5 月

参赛题目	模拟输液瓶的液位测量及输液报警 ——基于超声波和红外线探测的液位测量及输液预警			
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
吴昌龙	男	1989.08	计算机科学与技术	大三
手机, Email	15811352467 398577858@qq.com			
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
刘虎球	男	1989.02	计算机科学与技术	大三
侯雄辉	男	1989.10	计算机科学与技术	大三

## 设计原理与方法

本装置采用超声波测距的原理实现了模拟输液瓶液位的非接触测量，利用红外对管监测输液的速度，由单片机对采集的信号进行相应的处理后可实现液位高度、输液瓶晃动、输液快慢及剩余时间等的语音提示和数码管显示，输液完毕时的声、光、语音同时报警，精度达用键盘以及输液速度过快和过慢的示警。系统工作稳定，测量到 2mm 以下。同时，根据不同的输液瓶和实际情况可使输入各项参数，实用性较好。

### 1. 液位测量原理

液位测量是本实验的关键。由于输液系统中液体不染，因此必须选择非接触的测量手段。超声测量是常用测试手段。由于超声波可在气体、液体、固体等介质中传播，且可传播足够远的距离，同时超声波的传播不易受此超声波经常用于非接触测量的测量。采用超声波进行测量，精度可以达到本实验的要求，而且成本较低。

超声波的发射和接收由一对压电式超声波传感器来实现。它主要是利用压电晶体的压电和逆压电效应来进行电能和机械能之间的相互转换。本实验选用的探头型号及主要性能参数如表 1 所示。

给发射探头施加 40KHz 的脉冲信号时，就会发射出超声波。同时，当接收探头收到超声波信号时，就会利用逆压电效应将其转换成电信号，实现超声波的接收。

表 1 T/R40-16 特性参数图

型号	T/R40-16
中心频率	40KHZ
发射电压	大于 115dB
接收灵敏度	大于 -64dB/V/ubar
-6dB 指向	50deg
电容	2400+25%
允许输入电压	20V

时报警，  
精度达  
用键盘

能被污  
的物理  
有效传  
干扰，因  
非接触

超声波的测量原理如图 1 所示。超声发射探头向某一方超声波，超声在空气中传播，途中碰到液位就立即反射回来，波接收探头接收反射波信号。测量发射信号和接收信号的时间是超声波在空气中传输  $2s$  距离需要的时间  $\Delta t$ 。已知超声波在的传播速度为  $v$  m/s，即可计算出发射点与液位的距离  $s$ ，即：

$$s = v \times \Delta t / 2 \quad (1)$$

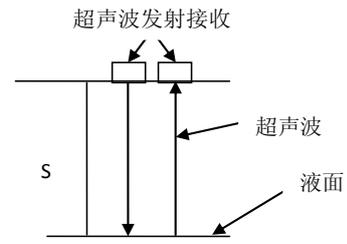


图 1 超声波测量原理

向发射  
由超声  
间差，就  
空气中

## 2. 红外对管测量输液速度的原理

在本设计中输液速度的测量使用的是液滴计数法。它主要是利用红外对管来检测液滴的流过，如图 2 所示。

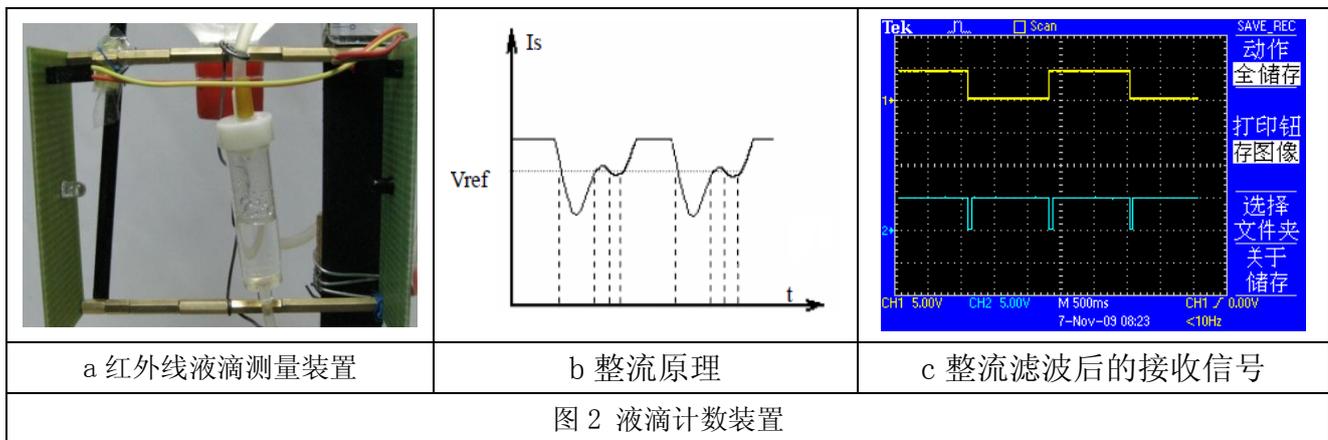


图 2 液滴计数装置

我们在输液管的莫非管的两侧分别放置一个红外发光二极管和红外光敏二极管，构成一个红外线光电传感器，如图 2 (a) 所示。红外线发光二极管发出的红外光束，穿过莫非式滴管到达红外光敏二极管。当有液滴滴下，也就是说有液滴通过红外对管间隙的瞬间，液滴对红外光线有吸收和散射的作用，使光敏二极管接收到的光强发生突变，通过设定一个参考电平  $V_{ref}$ ，如图 2 (b) 即可得到较为规整的脉冲波形。图 2 (c) 中蓝色的为整流滤波后的输出信号，每一个下降的脉冲对应一个下落的液滴。因为从莫非管滴下的每一滴液滴的体积基本稳定，也就是说在一定时间内莫非管滴下的液滴体积和液滴的数目成正比，据此可估算出剩余的输液时间。

## 3. 系统设置流程图

如图 3 所示测试系统主要由超声波测距模块、红外线预警模块、LED 显示、语音输出模块以及键盘控制等模块组成。控制模块由 freescale 公司的 S12 单片机作为控制中心，用于完成对输液瓶的液位测量及输液报警。

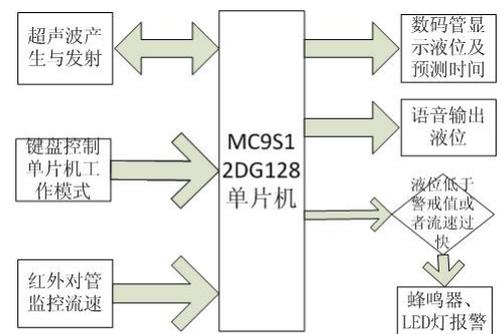


图 3 系统框图

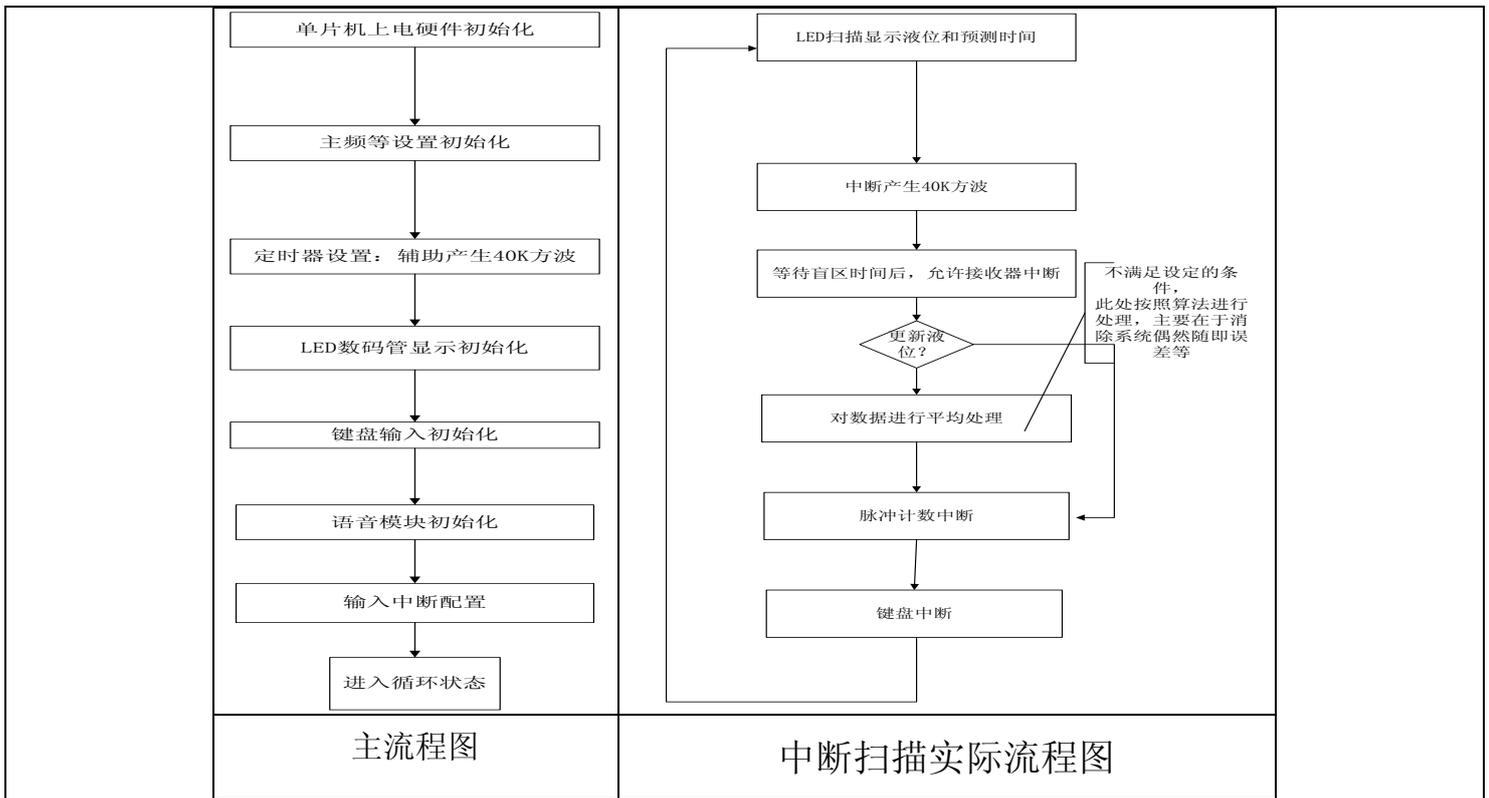


图 4 系统控制流程图

如图 4 给出的控制流程所示，利用控制中心接到传感器采集的信号后，将发射和接收信号之间的时间差，通过换算从而获得超声波发射端到反射点（液面）的距离。

在液滴计数测速中，通过 s12 计算单位时间内通过莫非式滴管的液滴数目，通过比较，给出安全与否的输液提示，同时结合液位给出预测时间。系统还引入采用多次采样实时测量等方案，减少系统随机误差的影响。

系统最终以实验仪器的形式呈现，显示集中而且界面友好。通过键盘可以设定系统参数以及设定系统的运行模式，从而满足在不同条件下的实际需求。

### 实验仪器与装置

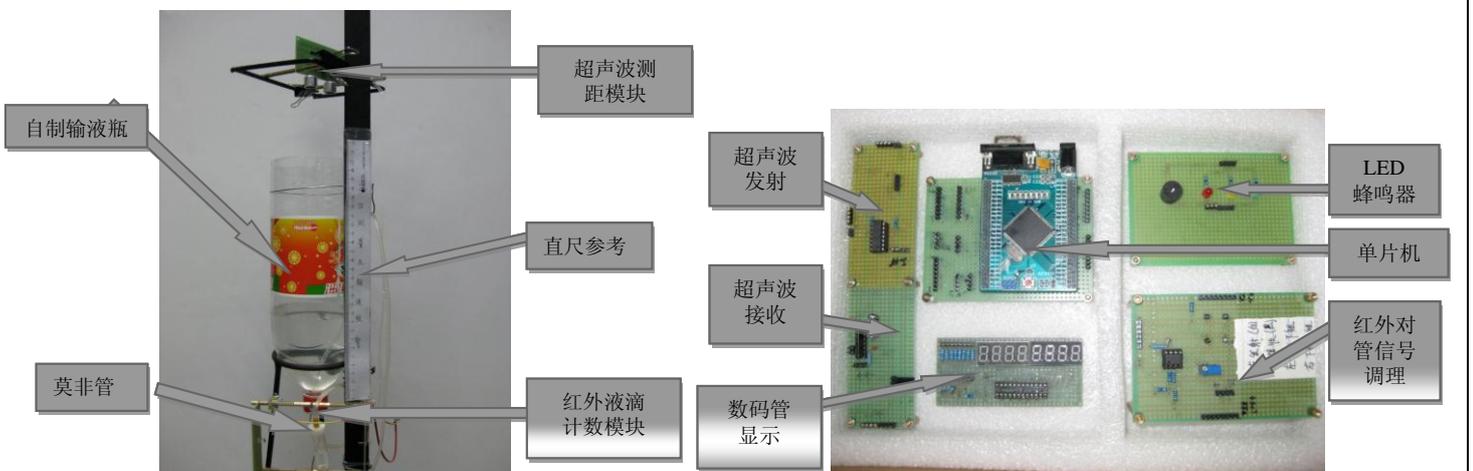


图 5 实验装置

## 数据测量与分析

### 1. 液面位置与声波返回时间关系的确定

为给单片机设置最适合的参数，我们利用实际液位(y)和单片机测得的声波返回计时单位(t)构建函数  $y=f(t)$ ，利用最小二乘法进行线性拟合，如图 6 所示（横轴为回波时间，单位为 1000 倍单片机时钟，纵轴为标尺读数 cm）。

通过曲线我们得到液位和声波返回时间的关系：

$$f(t) = 38.6627 - 1.0486 * t \quad (2)$$

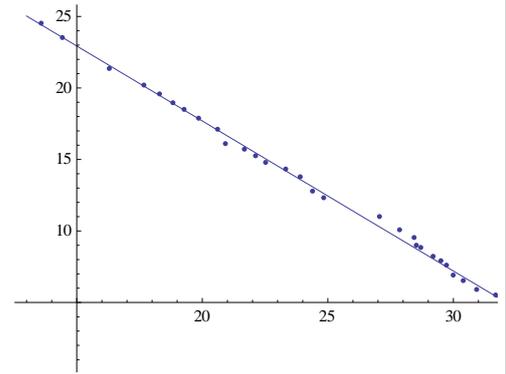


图 6 实验数据的拟合图像

从图上可以看出，液位与单片机计时单位呈现线性关系，这是因为本系统中，探头放置在上方，而我们的参考 0 点在探头下方，因此时间越长，对应液位越低，这与实际是一致的。实际测量中，在 9.00cm-20.00cm 上能达到很好的精度和稳定性，基本控制在 2mm 以下。在单片机里以常态参数的形式写入程序中，根据实时获得的时刻差  $t$ ，从而计算得到实际的液位高度。

### 2. 实验结果

我们将警戒水位设定在 8cm，实验结果如下：

	1	2	3	4	5	6	7
实际值(cm)	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50
测量值(cm)	6.54	7.58	8.53	9.44	10.50	11.54	12.52
绝对误差(cm)	0.04	0.08	0.03	0.06	0.00	0.04	0.02
警戒情况	蜂鸣、语音、红灯	蜂鸣、红灯	黄灯	正常	正常	正常	正常

液滴测速：

在输液过程中，输液速度过快和太慢都是不符合要求的，我们在实际测量发现，在流速快、慢情况下，装置中一个单位体积的液体对应液滴的数目大致为 1400 滴，其体积基本不变，从而我们根据液位可以预测出时间，因此我们在装置中还设计了对不符合输液要求的情况进行报警。下表给出了液滴速度和报警的测试数据：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8
滴数(滴/分)	20	30	50	70	80	90	100	120
输液提示	黄灯	黄灯	绿灯	绿灯	绿灯	绿灯	红灯 蜂鸣器	红灯 蜂鸣器

从表中可以看出输液速度过慢时，即速度小于 30 滴/分时，会有黄灯预警；而速度过快即 100 滴/分时将会产生红灯和蜂鸣示警。报警的情况可以自由设置。

## 结论

通过上述实验，我们记录数据并加以分析改进测量系统，提高粗糙测量系统的精确度，最后在动态测量的情况下，能够在 2mm 误差内测得输液瓶的液位并准确报警。

我们发现实际系统的正确性与下述条件有较大的关系：

1. 水位的晃动使测量数据的输出不稳定，这是由于我们实际实验中采用超声波探测距离，当水位波

动较大时，这时发射出的超声波可能无法及时获取回波，甚至丢失回波，为避免这种失误，我们采用多次发射超声波，剔除奇异点的数据后再按一定规则处理后作为最终的测量数据。

2. 周围光线的变化对系统的红外接收将产生一定的干扰，实际实验中我们发现人影挡住红外接收器时，可能产生误报警，我们改进接收装置，使其尽量避免外界影响，同时我们结合上述超声波的探测水位高度综合处理，来判断是否给出警戒提示信息。

总的来说，我们系统具有下列创新点：

- 运用超声波测距原理实现非接触式测量液体液位，不污染液体且液位精确度达到 2mm 以下；测量稳定，有一定的抗干扰能力；
- 使用红外对管测量液滴滴速实现输液时间预测，同样不污染液体；
- 系统稳定，抗干扰能力强；
- 界面友好，显示集中。用数码显示液位值，语音播报液位值，使用键盘作为系统的控制设备；
- 价格便宜，几乎所有电路都是自制；
- 各个模块相对独立，修改方便；
- 可移植性好，不仅可以测输液瓶的液位，还可以测量例如水库、油面等液面液位；

#### 制作成本

仪器名称	成本（元）	仪器名称	成本（元）
单片机	98	仪器盒	50
超声波模块	13.5	自制电源	20
发声模块	20	红外模块	15
数码管	3	蜂鸣器	1
LED 灯	1	导线	1
<b>合计</b>	<b>222.5</b>		