

# 基于 GPRS 的内河船舶油耗监测装置研制

张海丽, 陈卫民

(中国计量学院 机电工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 为实现内河船舶的节能减排, 提高能耗统计监测水平, 改进数据采集和生产模式, 研制了一种基于电容测量和 GPRS 相结合的油耗测量装置; 对用于船舶的电容器传感器进行了结构设计, 并搭建了传感器、GPRS 通信模块以及微处理器 LM3S1968 为核心的检测处理系统, 利用软件抗干扰和温度补偿技术对油量信号进行处理, 实现对内河船舶耗油量的远程实时监测; 实船测试结果表明, 装置测量油耗量能较好地反映实际用量, 实现了监测模式的智能化, 为内河船舶能耗统计工作带来便捷性、可靠性。

**关键词:** 内河船舶; 油耗测量; GPRS; 温度补偿

## Development of Fuel Consumption Measuring Device of Inland Ships Based on GPRS

Zhang Haili, Chen Weimin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to realize energy conservation and emissions reduction for inland ships, improve the statistics and monitoring level of energy consumption, refine the data acquisition and production mode, a fuel-consumption measuring device based on capacitance measurement combined with GPRS was developed. The structure of the capacitive sensor was designed to be used in the ship, the monitoring processing system was constructed by the sensor, GPRS module and microprocessor LM3S1968 as its core, the software anti-interference and temperature compensation technology were used in data processing, to realize remote real-time monitoring for fuel consumption of inland ships. On-board test results show that the measuring results of the device are close to the actual data. The project implements the intellectualization of monitoring mode. It makes energy consumption statistic convenient and reliable.

**Keywords:** inland river ships; fuel consumption measuring; GPRS; temperature compensation

### 0 引言

交通运输是国务院确定的节能减排 3 个重点领域之一, 1/3 以上的汽柴油等石油制品消耗在交通运输领域<sup>[1]</sup>, 其能耗状况直接影响和决定着整个社会的节能效果。建立能耗统计监测体系是促进行业节能管理的工作基础。其中, 水路运输尤其是内河船舶油耗统计监测工作基础仍十分薄弱, 油耗数据采集难度较大, 数据质量无法保证<sup>[2]</sup>。

目前, 国内航运企业、研究机构等多采用燃油流量计测量发动机输出油量的方式确定油耗<sup>[3-4]</sup>, 但是, 对于内河船舶, 使用燃油流量计法将给发动机供油管路带来较大压损, 油路有杂质易导致供油动力不足, 这在船舶行驶中是非常危险的一种情况, 因此不宜采用。基于油箱油量测量法的变介质式同轴电容传感器, 是根据传感器管道内燃油和空气占比与电容的关系来确定油耗, 其安装方法如图 1 所示, 不改变发动机结构且安装简便、易清洁。

本文选用变介质式同轴电容传感器并提出适合内河船舶的油耗测量方案, 摒弃传统油耗统计模式偏人为性、非实时性<sup>[5-6]</sup>的缺点, 利用 GPRS 技术实时传输油耗数据<sup>[7]</sup>, 省去人

工统计油耗量的工作, 为船舶经济环保航行提供技术资料。

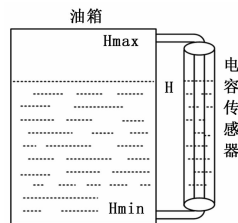


图 1 变介质式同轴电容传感器安装示意图

### 1 油耗测量原理及传感器设计

#### 1.1 变介质式同轴电容传感器测量原理

处于电场中的两个同轴圆筒形金属导体, 长度为  $L$ , 直径分别为  $D$  和  $d$ 。当两圆筒间充以空气介质时, 两圆筒间的电容量为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln \frac{D}{d}} \quad (1)$$

式中,  $\epsilon_0$  为真空介电常数, 空气的介电常数  $\epsilon_1 = 1$ 。

当在两极间流入液体时, 如图 2 所示, 高度为  $h$ , 此时电容量为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 [L + (\epsilon_r - 1)h]}{\ln \frac{D}{d}} \quad (2)$$

从上式可知, 当液体的介电常数  $\epsilon_r$  一定时, 电容量  $C$  与液体浸没电容器的高度  $h$  成正比。因此, 测出电容量的数值即可

收稿日期: 2015-06-29; 修回日期: 2015-08-25。

基金项目: 浙江省“仪器科学与技术”重中之重学科开放基金资助。

作者简介: 张海丽(1990-), 女, 浙江台州人, 硕士研究生, 主要从事自动化参数检测方向的研究。

陈卫民(1972-), 男, 浙江杭州人, 副教授, 主要从事新能源发电、参数检测方向的研究。

计算液体的高度。

该方法的油耗体积计算公式为

$$V = S \cdot (H_{\max} - H) \quad (3)$$

式中,  $S$  为油箱横截面积,  $H_{\max}$  为满油时的液位高度,  $H$  为耗油后油量液位高度。

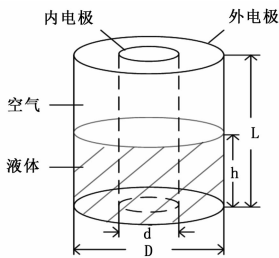


图 2 电容传感器测量原理图

### 1.2 传感器机械机构设计

根据上述测量原理, 结合船舶油箱结构, 设计了电容传感器, 它由内电极、外电极、主体壳(含盖)、内固板、内置板和绝缘套 6 个部分组成。内、外电极为传感器的主体部分, 主体壳、内固板、内置板和绝缘套为传感器的零部件, 作用于内、外电极上, 图 3 所示为各零部件的三维模型。

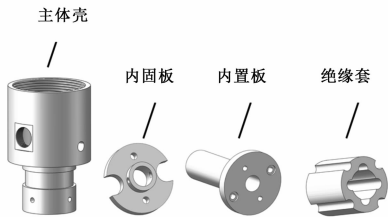


图 3 各零部件的三维模型设计图

主体壳用于固定内、外电极于船舶油箱外侧, 也作内嵌 C/V 转换电路的保护壳。内固板内嵌于主体壳中, 并套于内电极顶部, 充当内电极。主体壳与内固板均采用铝合金材质, 其材质轻、塑性好、强度高, 便于机械组装。内置板紧贴内固板下方, 套于内电极上, 用于隔绝内、外电极顶部。绝缘套用于固定并隔绝内、外电极底部。两者均采用具有耐高温、抗腐蚀性、易清洁特点的聚四氟乙烯材质。

## 2 系统硬件设计

油耗监测装置的硬件部分主要由电容传感器、C/V 转换电路、ARM Cortex-M3 为内核的处理器 LM3S1968 (内置 AD 采样模块)、GPRS 通信电路以及外围电路等组成, 如图 4 所示。系统首先由传感器采集船舶油箱实时油耗量, 将油耗的液位变化转换成电容值输出, 后经 C/V 转换电路将电容信号转换成电压输出, 再经微处理器 AD 采样、数据处理, 最后控制 GPRS 通信系统将数据传输到岸基系统。

### 2.1 C/V 转换电路

电容传感器和 C/V 转换电路构成系统的采样输入电路。如图 5 所示为 C/V 转换电路设计图, 利用集成电路 CAV444<sup>[8]</sup> 采集外部传感器的电容值  $C_x$ , 将其转换成可供 MCU 处理的电压信号。 $C_{x1}$  是 CAV444 内部 f/U 转换电路的电容, 为了使输出电压在 0~4 V (传感器的最大液位变化范围,

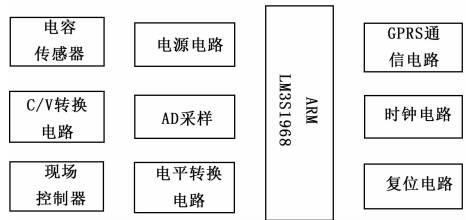


图 4 系统结构图

对应的电压范围) 之间,  $C_{x1}$  取 100 pF。电阻  $R_3 R_4$  用于调准 CAV444 内部运放输出级的放大倍数, 运放的输出电压  $V_{OUT}$  与内部参考电压  $V_{REF}$  之间形成差分电压输出, 经放大器 AD620 放大后提供给 MCU 采样。

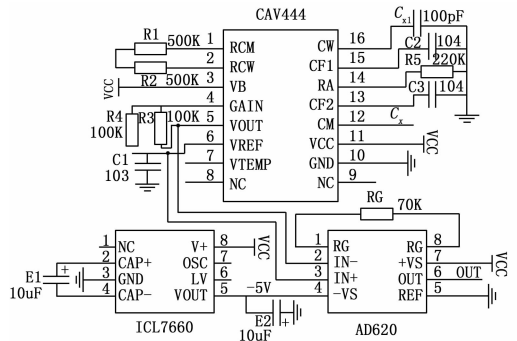


图 5 C/V 转换电路

### 2.2 GPRS 通信电路

为实现远程实时监测, 采用 GPRS 方式发送数据, 本装置选用自带 TCP/IP 协议栈的 MC52iR3 通信模块, 采用该模块可以在软件设计时无需在 ARM 中嵌入 TCP/IP 协议。如图 6 所示为 GPRS 通信电路设计, MC52iR3 与 LM3S1968 的串口均支持 RS-232 通信标准, 两者通过 UART2 相连, 进行 AT 指令和数据的传输。采用 LM3S1968 的 GPIO 口分别控制模块的启动与关断, 用两个 9013 型三极管 Q1Q2 实现两端的电平隔离。MC52iR3 的基带处理器上提供一个综合 SIM 接口, 共 6 个引脚, 设计时将这引脚连接到 SIM 卡座的对应引脚即可。

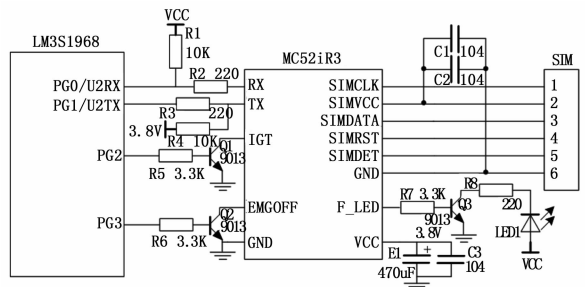


图 6 GPRS 通信电路

## 3 数据处理及软件设计

### 3.1 滤波采样

对于内河船舶, 油箱受波浪影响较小, 造成的液位波动可通过软件滤波进行消除。本装置采用数字滤波技术中的算术平均值法<sup>[9]</sup>, 按公式 (4) ~ (6) 方式对电压值进行滤波采样。

$$\bar{U}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=(j-1)n+1}^j U_i \quad (4)$$

式中,  $j \in [1, 5], n$  一般取 5~10。公式 (4) 是未耗油时的采样方式, 每组连续采样  $n$  次共采样 5 组, 并对每组采样数据分别求平均,  $j_{\max}=5$  可满足滤波所需的采样点。

$$\bar{U}_j = \begin{cases} \bar{U}_{j+1}, & j \in [1, 4] \\ \bar{U}_{j+k} = \frac{1}{n} \sum_{i=(j+k-1)n+1}^{(j+k)n} U_i, & j = 5, k = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (5)$$

公式 (5) 是耗油后的采样处理方式, 油品消耗缓慢, 油耗数据变化主要由液位波动引起, 采用式 (5) 的处理方式为了保证采样的连续性以达到较好的滤波效果。

$$\bar{U} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \bar{U}_j \quad (6)$$

式 (6) 是对式 (4) 或式 (5) 中的 5 组平均值再求平均, 以消除波动干扰, 完成滤波处理。

### 3.2 基于温度补偿的电压/高度的线性转换

由于油箱所处环境温度随气候、昼夜交替等发生变化, 会引起液位高度的变化。因此, 在研制装置前, 完成油品的温度、液位高度与电压的变化关系实验。多次测量在不同温度下的高度、电压值, 并列出了三者的关系表。表 1 为通过标定实验建立的  $T, H, U$  的三维标定采样表。

表 1 三维标定采样表

高度/(cm)	温度/(°C)			
	$T_1$	$T_2$	...	$T_m$
$H_1$	$U_{11}$	$U_{12}$	...	$U_{1m}$
$H_2$	$U_{21}$	$U_{22}$	...	$U_{2m}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$H_n$	$U_{n1}$	$U_{n2}$	...	$U_{nm}$

设定若干个标准试样, 温度为  $T_1, T_2, \dots, T_m$  液位为  $H_1, H_2, \dots, H_n$ , 测量  $T$  与  $H$  下的  $U$  值并建立  $T_1 \sim T_m$  下  $H$  与  $U$  的线性函数关系。为了使标定实验操作尽量简单,  $m$  一般为 4~6,  $n$  一般为 6~8, 可利用采样表中的数据通过样条函数插值法来建立补偿校正标定表。

测量时, 如温度为  $T_x$ , 先在表 2 中找到与  $T_x$  相近的  $T_i$  与  $T_{i+1}$ , 即  $T_i < T_x < T_{i+1}$ , 然后利用线性插值法求出  $T_x$  时各  $H_j (j \in [1, n])$  对应的  $U_{jx}$ 。

$$U_{jx} = \frac{U_{j(i+1)} - U_{ji}}{T_{i+1} - T_i} (T_x - T_i) + U_{ji} \quad (7)$$

再建立此时  $H$  与  $U$  的函数关系。

表 2 补偿校正标定表

高度/(cm)	温度/(°C)				
	...	$T_i$	$T_x$	$T_{i+1}$	...
$H_1$	...	$U_{1i}$	$U_{1x}$	$U_{1(i+1)}$	...
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$H_j$	...	$U_{ji}$	$U_{jx}$	$U_{j(i+1)}$	...
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$H_n$	...	$U_{ni}$	$U_{nx}$	$U_{n(i+1)}$	...

最后根据实际测量时油箱的温度和电压代入对应的函数关

系求得液位高度值。

### 3.3 系统软件设计

本装置的软件系统主要实现 AD 转换、数据采集、处理以及无线发送功能。系统的软件流程图如图 7 所示。系统开机初始化后, 由 LM3S1968 发出 AD 采样控制信号, 采样结果经数字滤波后得到准确的采样数据, 并在处理器中完成油耗值的换算, 再利用 GPRS 模块发送数据到监控终端。使用 GPRS 发送数据前, 对模块进行配置, 通过向模块写入相应的 AT 指令, 初始化 GPRS 模块, 使之成功附着在 GPRS 网络上, 获取网络运营商动态分配的 IP 地址, 建立与目的终端的连接。

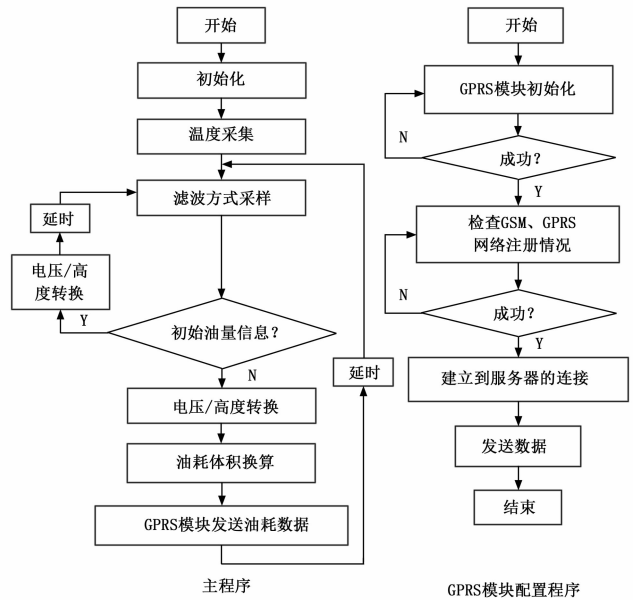


图 7 程序流程图

## 4 实验结果及分析

将传感器安装于某内河港口的 14 艘船舶上, 根据船户实际加油情况, 与本项目设计的油耗装置测量结果进行比对, 表 3 列出了两者的油耗对比情况。

表 3 内河船舶油耗监测装置的误差情况

船舶序号	调查期油耗量/L	本装置计算油耗量/L	本装置计算误差/(%)
1	3 540	3 156	-10.8
2	3 064	3 270	6.7
3	2 474	2 571	3.9
4	2 404	2 354	-2.1
5	1 942	1 728	-11.0
6	1 516	1 594	5.1
7	1 398	1 443	3.2
8	3 404	3 377	-0.8
9	3 312	2 959	-10.7
10	2 080	2 009	-3.4
11	3 116	3 074	-1.3
12	1 860	1 958	5.3
13	3 486	3 497	0.3
14	4 208	4 475	6.3

由表中数据可知，船舶相对测量误差在 12% 以内，不同船舶产生的误差相差较大，其原因部分船舶油箱嵌在船体中，其截面难以准确测量，导致误差较大，而对于规则的油箱则油耗测量结果比较准确。

### 5 结束语

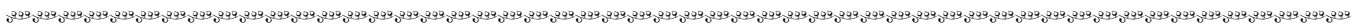
本文设计基于电容传感器和 GPRS 通信的船舶油耗测量装置，分析了各模块的结构和功能，给出了装置的部分硬件电路设计和数据处理方法，实现了数据的有效处理和传输。对于内河河道，波浪较小，船速缓慢，油箱摇晃程度较小，本装置能够较好地完成内河船舶油耗数据的采集。

#### 参考文献：

[1] 高宏峰. 交通运输节能减排工作实现良好开局 [J]. 交通标准化, 2012 (13): 8-11.  
 [2] 王石涛. 内河船舶油耗动态管理 [J]. 中国水运, 2014 (7): 26

- 27.

[3] 陈 锴, 王炳辉, 苗永超, 等. 基于容积法的船舶柴油油耗仪表研究 [J]. 车辆与动力技术, 2013, (4): 44-47.  
 [4] 张少亮, 邓志波, 闫华卓. 一种油耗测量装置的制作及实船应用研究 [J]. 造船技术, 2013, (3): 31-33.  
 [5] 陈劲松, 徐学群. 船舶油耗远程实时监控管理系统设计 [J]. 电子质量, 2011, (6): 32-34.  
 [6] 郭建国, 陈 亮. 中海货运宁安轮系列船舶油耗远程监控系统设计 [J]. 科技风, 2013, (13): 48.  
 [7] Walke B. The roots of GPRS: The first system for mobile packet-based global internet access [J]. IEEE wireless communication, 2013, 20 (5): 12-23.  
 [8] 施林生, N. Rauch. 电容式信号线性转换电压输出的应用电路 CAV444 [J]. 仪表技术与传感器, 2010, 16 (7): 33-36.  
 [9] 郝树虹, 盛春玲, 李秋菊, 等. 单片机嵌入式系统的抗干扰技术 [J]. 中国新技术新产品, 2010, (5): 22.



(上接第 30 页)

表 4 重复性实验数据

序号	$\Delta x / \text{mm}$	误差/mm
1	358.39	0.87
2	357.07	-0.45
3	358.38	0.86
4	357.39	-0.13
5	357.07	-0.45
6	357.85	0.33
7	357.79	0.27
8	356.56	-0.96
9	356.57	-0.95
10	358.49	0.97

表 5 为课题组已有的基于二维视觉测量技术<sup>[4]</sup>，对货车侧面防护装置尺寸进行测量的结果统计。10 次测量中，最大偏差为 9.85 mm，最小偏差为 1.08 mm，10 次测量的平均测量偏差为 5.76 mm，标准差为 6.44 mm。

表 5 二维视觉方法测量数据

序号	$\Delta x / \text{mm}$	误差/mm
1	347.85	-9.67
2	348.62	-8.90
3	365.12	7.60
4	367.37	9.85
5	363.81	6.29
6	363.78	6.26
7	362.02	4.50
8	358.60	1.08
9	355.80	-1.72
10	355.81	-1.71

技术，实验精度小于 1 mm，而先前使用二维视觉测量方法由于空间深度尺寸信息丢失而引起的误差可达 10 mm。相比之下，前者大大提高了测量精度，测量误差小于原方法的 10%。

### 4 结束语

本文提出的基于片光技术的货车侧面防护装置安装尺寸检测方法，从原理上避免了由于货车防护栏与车轮不共面而造成的误差，通过搭建实验平台，并对模拟实验进行处理和结果分析，表明该方法的测量结果精确可控制在 1 mm 以内。后期拟通过减小线性移动装置步距、或采用高精度标定板进行片光系统的标定，来进一步减小测量误差。

#### 参考文献：

[1] 程 勇, 朱西产. 大型载货汽车被动安全性的特点及改进措施 [J]. 汽车技术, 2002 (2): 1-4.  
 [2] 国家质量监督检验检疫总局. GB11567. 1-2001. 汽车和挂车侧面防护要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.  
 [3] 刘翰东, 仲伟坤. 我国载货汽车后下部防护标准存在的问题及建议 [J]. 汽车技术与研究, 2010, 6: 43-45.  
 [4] 孔 明, 何洋洋, 郭天太. 图像处理的货车侧面防护装置安装位置的研究 [J]. 中国计量学院学报, 2014, 12 (4): 56-62.  
 [5] 李冬冬, 王永强, 许增朴, 等. 激光三角法在物面倾斜时的测量误差研究 [J]. 传感器与微系统, 2015, 02: 28-29.  
 [6] 王 颖, 张 圆. 一种基于平面靶标的圆结构光标定方法 [J]. 红外与激光工程, 2013 (S1): 174-178.  
 [7] 张维光, 赵宏, 张琦, 周期. 线结构光三维轮廓测量系统的标定方法 [J]. 中国激光, 2009, 1: 182-188.  
 [8] 徐志节, 杨杰, 王 猛. 一种新的彩色图像降维方法 [J]. 上海交通大学学报, 2004, 12: 2063-2067.  
 [9] 祁亚芳, 杨 明. 一种改进的随机 Hough 变换检测圆的方法 [J]. 数学的实践与认识, 2014, 17: 189-195.  
 [10] 王富治, 杨 平, 黄大贵. 基于相机定标与亚像素算法的二维图像测量系统 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 12: 1325-1328.  
 [11] 贾卫平, 王邦国. 基于 Hessian 矩阵的多结构光条纹中心快速提取方法 [J]. 大连大学学报, 2014, 6: 34-37.

通过以上表格可以看出本文采用的基于激光三角法的片光