

基于 SAW 特征联合 DGPS 的船舶节能监测系统

设计者：
指导教师：
(学校，地址，邮编)

作品内容简介

针对目前船舶营运中船舶驾驶与推进装置性能不匹配导致船舶能耗增加，并损伤船舶动力设备的航运现状，本作品提出以 EEDI 能耗指数为核心，通过采用 SAW（声表面波）特征联合 DGPS（差分全球定位系统）采集船舶燃油耗油量、航行姿态、轴功率等参数，为船员驾驶以及自动驾驶船舶减少燃油消耗和提高运营经济性提供参考依据与建议。其基本思路是：使用 DGPS 对基准站接收的伪距修正值，得到船舶航速和运动轨迹，同时结合 SAW 的供能无源性和耐疲劳的特征，改变传统陆用传感器无法实现长期和精确地测量船舶主推进轴系功率的技术瓶颈，并结合船-机-桨匹配以及超声波燃油流量计参数计算主机功率，为计算和评价 EEDI 指数提供精确数据。本作品可为船上工作人员或在自动驾驶的情况下，给出相对节能的船舶航行建议，并利用海事卫星通信系统技术建立海陆联网机制，实现船舶、船舶管理公司和海事监管机构等相关方对船舶节能与排放数据实时共享，用于督促船员对船舶实施节能减排的操作，提高船舶企业的经济效益，减少船舶废气对大气的污染。

【关键词】DGPS SAW 轴功率监测 EEDI 指数 海陆传输机制

联系人：杨邦出、联系电话：17858802471、EMAIL：745196398@qq.com



图 1 船舶节能监测设备

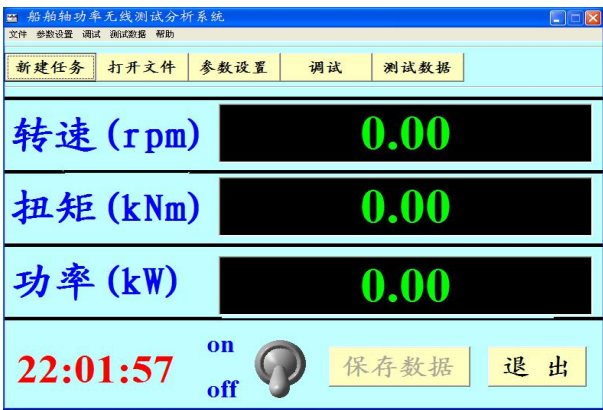


图 2 船舶节能监测设备计算机界面

1 研制背景及意义

由于国际燃油价格大幅上涨，燃油费已经成为航次变动成本中的最大支出项目，燃油成本变动趋势表明燃油成本占船舶运输成本的比例已上升了 2-3 倍，这就意味着同样节省 10% 的燃烧费用将节省 20%-30% 的成本。所以节约和控制燃油费用是航运企业降低航次成本的重要手段。全球海上船舶每年排放的颗粒污染物可达约 220 万磅（1 磅约合 0.4536 千克），全球每年排放的氮氧化物气体中 30% 来自海上船舶。报告称，目前每年全球海上船舶排放的颗粒污染物总量相当于全球汽车所排放颗粒污染物的一半，已经成为严重的空气污染源，用高硫油的船舶如同烧着劣质煤、没有尾气处理装置的“移动火电厂”。因此船舶燃油消耗大，不仅成本大，企业要承担大额费用，而且废气排放严重，对海洋环境的污染十分严重，后续清理困难，影响时间漫长。

EEDI 是衡量新船 CO₂ 效能的一个指标。新船能效设计指数的原理是根据 CO₂ 排放量和货运能力的比值，来表明船舶的能效；即根据船舶在设计最大载货状态下，以一定航速航行所需推进动力以及相关辅助功率所消耗的燃油计算出的 CO₂ 排放量（g CO₂/t·nm）。同时通过对现有各种船型和不同吨位的船舶进行统计分析设立排放基线，在基线的基础上对新造船能效进行控制。从 2013 年起，船东和造船企业可能将不得不遵守一项有关上述适用于 EEDI 规则的新造船碳减排标准的强制性协议。新船建造成本将因此被大大抬高，造船技术也必须应对更高要求。按照国际海事组织（IMO）推出的能源效率设计指数（EEDI），2015-2019 年间建成的船舶，碳效率须提高 10%，2020-2024 年间建成的船舶碳效率须提高 20%，2024 年后建成的船舶碳效率须提高 30%，规定适用于所有 400 总吨以上的船舶，将从 2013 年 1 月 1 日生效。本团队设计了船舶能耗与污染检测系统。通过实时监测燃油耗油量，航速，轴功率，达到节能减排的目的，同时提高了燃料油的利用率、降低了船舶运营成本、提高了运营的经济性。

2 设计方案

本作品是一种基于 SAW 特征联合 DGPS 的船舶节能监测系统，通过采用 SAW 特征联合 DGPS，同时借助于超声波流量计采集船舶燃油耗油量、航行姿态、轴功率等参数，并通过 EEDI 能效指数，计算得到船舶在燃烧单位燃油下所产生的能量，将其能效指数进行分级，为船员驾驶以及自动驾驶船舶减少燃油消耗和提高运营经济性提供参考依据与建议。本作品还

可以利用海事卫星通信系统技术建立海陆联网机制,实现船舶、船舶管理公司和海事监管机构等相关方对船舶节能与排放数据实时共享,用于督促船员对船舶实施节能减排的操作,提高船舶企业的经济效益,减少船舶废气对大气的污染。

2.1 DGPS 模块

本作品的 DGPS 模块的工作过程是在所安装船舶节能监测系统最邻近港口海域设置一个已知精度坐标的差分基准站,港口基准站的接收机连续接收导航信号,将测得的位置或距离数据与已知的航行位置、距离数据进行比较,确定误差,得出准确改正值,然后将这些改正数据通过数据链发给船舶节能监测系统的 DGPS 模块,用以改正船舶航行的定位结果。相比于传统的 GPS 定位与测速方法,本作品的 DGPS 模块通过多个观测量之间求差,消除公共误差与公共参数,大大提高了定位精度,更好地为船舶节能监测系统提供准确的数值支撑。

基于 SAW 特征联合 DGPS 的船舶节能监测系统选择由港口基准站发伪距修正数,能得到米级定位精度,经浙江省计量研究院检测,定位精度为 0.8m (相关检测证明见申报书附件)。在本作品的 DGPS 模块进行差分处理,保证了港口基准站的测量计算与船舶用户测量之间相对独立,满足同一时间内使用该节能监测系统大量用户同时工作的需求。并通过广域差分扩大了海上航行的监测范围。



图 3 船舶节能系统的 DGPS 模块



图 4 船舶节能系统航速监测界面

2.2 轴功率监测模块

本作品除了要监测船舶航行姿态为计算船舶能效指数提供依据外，还需要通过特定仪器长时间测定船舶轴系功率，为计算机系统提供船舶主机的运行状态。目前，测量船舶轴功率常见的是采用钢弦法与应变片法，但这两种方法不适用于船舶机舱狭小的空间，并且都需要电源为其供电，更换电源时需停止主机运行，不适用于在海上工作环境。针对上述问题，本作品基于 SAW 技术，自主研发了一套船舶轴功率长时间监测系统。

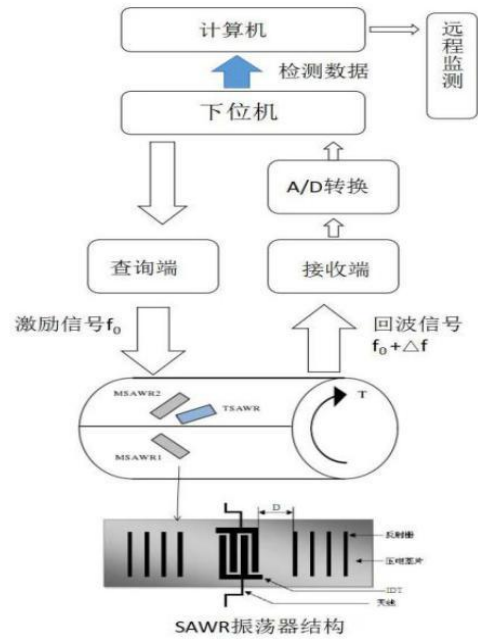


图 5 轴功率监测模块图

船舶轴功率监测模块采用 SAW 扭矩传感器，通过 SAW 谐振器感应弹性轴体表面的剪切应变，从而引起作用于 SAW 器件回波信号的频率偏移，确定其对应关系后，再通过数据采集处理技术进行处理，进而获得扭矩的被测值。并通过实验平台进行试验测量得出的频率和扭矩间关系，由计算机系统进行处理并显示报告。因此，相对于传统的轴功率检测设备本船舶轴功率监测系统可以达到无线、无源的状态下地长时间监测船舶轴功率目的。

2.3 主机燃油消耗检测模块

本作品利用超声波燃油流量计的高精确度和稳定性等特点，精准检测主机燃油消耗量，为计算和评价船舶能耗指数提供精确数据。超声波燃油流量计由超声波换能器、电子线路及流量显示和累积系统三部分组成。超声波发射换能器将电能转换为超声波能量，并将其发射到被测流体中，接收器接收到的超声波信号，经电子线路放大并转换为代表流量的电信号供给显示和积算仪表进行显示和计算。

2.4 海陆联网下的船舶节能监测与排放监测

该模块主要由海事卫星、岸站、船站、终端组成。海上船舶可根据需求由船站将通信信号发射给地球静止卫星轨道上的海事卫星，经卫星转发给岸站，岸站再通过与之连接的地面通信网络或国际卫星通信网络，实现与世界各地陆地上用户的相互通信，并且针对不同传输环境使用不同传输频段，其技术原理如下图 4 所示：

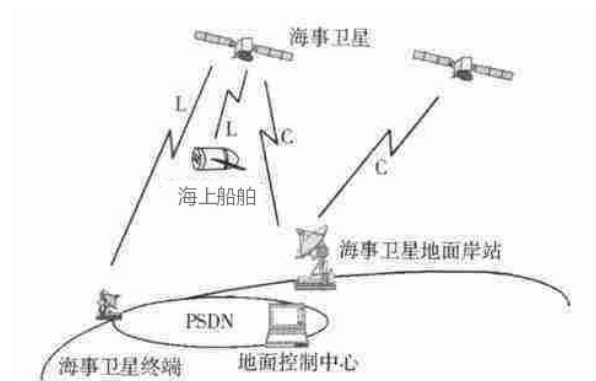


图 6 海事卫星系统技术原理示意图

船舶节能监测系统将船舶航程和航速、主机功率、燃油消耗与排放指数等相关参数，并通过计算机系统计算出 EEDI 能效指数，并将船舶能效与排放状态分级。通过海事卫星通信系统将能效与废气排放数据传输至海事监管部门及船舶管理企业。若船舶长时间处于高耗能、高排放、低功率，即 EEDI 能效指数较低的水平，船员应当根据计算机系统提示的操作建议，执行相应的车钟指令，以提升能效指数。若船员没有执行提升能效指数的指令，船舶管理企业可以此作为依据，适当减少该驾驶船员工资，用于监督船员提高船舶驾驶技能，尽量减少造成机桨不匹配的不当操作，也为海事监管部门对船舶废气的监管提供证据。

3 技术性分析说明

3.1 扭矩与回波信号关系式的建立对测量精度的影响

当轴发生剪切应变时，会导致 SAWR 振荡器上参数如 SAW 传播速度 v 、IDT 间距 l 以及 IDT 周期长度 l_p 等发生变化，其关系如下：

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l_p}$$

确定其扭矩大小和回波信号频率关系的方法在根本上决定了测量结果的精确性。因此，适当提高拟合精度可以提高测量结果的精确性。

3.2 DGPS 基准站与船舶的距离对测量精度的影响

基准站与船舶之间的距离的远近，会对于基准站测得的改正值是否适合于船舶当前位置的测量有一定的些影响。可以通过建立模型对基准站的分布进行合理规划，从而减小 DGPS 基准站与船舶之间距离对测量精度的影响。

4 创新点及应用

(1) 利用 DGP 模块, 避免了恶劣海况带来的测量误差, 提高了测量精度与稳定性, 自主研制的 SAW 传感器具有无线、无源的特征, 可以做到对轴功率变化情况的长时间实时监测。

(2) 引入 EEDI 能效指数将船舶能耗水平与废气排放量进行分级, 并在此基础上给出船上工作人员相应的操作建议。

(3) 建立海陆联网机制进行远距离数据传输, 并将船舶节能信息与船舶企业、海事监管部门进行实时共享, 打破了陆上企业与相关部门无法对船舶进行有效监管的困局。

本作品在船舶上引入 SAW 检测技术、DGPS 定位技术与超声波主机燃油消耗检测技术, 改变了传统的陆上企业与相关部门无法对船舶碳效率与废气排放进行有效监管的困局。在一定程度上, 能够减少船舶企业对燃油费用的负担, 同时也为海事部门对船舶废气排放的监管提供证据。目前的前期成果已经过浙江省舟山市卓林船舶设计有限公司在实船试航环节中进行测试, 取得船舶修造企业和船舶设计公司的良好评价。



图 7 设备及系统应用评价

参考文献

- [1]任姝. 声表面波扭矩传感器结构设计及信号提取方法研究[D]. 上海交通大学, 2013.
- [2]侯镇华. GPS 在实船测量中的应用[J]. 船舶, 2002, 03:34-35+51.
- [3]胡德福. 应变式扭矩传感器设计技术. 船舶工程. 2011, 33(4):96~99.

- [4] 吕忠益. 振弦原理在船舶轴功率测量中的应用研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2008.
- [5] 雷浩, 袁强, 金晓, 徐步藕, 刘桢. 船舶主推进装置轴功率测试方法研究与分析[J]. 造船技术, 2016, 04:19-23.
- [6] 驻京记者 张天赦. 珠三角、长三角、环渤海水域将试点设立船舶排放控制区[N]. 中国水运报, 2015-09-02001.
- [7] 王瑞金. 应变片在动态测试中疲劳规律的研究[J]. 机电工程, 2000, 04:66-68.
- [8] 徐继辉. 应用于船舶传动轴扭矩检测的声表面波传感器设计[D]. 上海交通大学, 2013.