

船舶柴油机轴功率测量系统的设计与实现

甘少炜 范世东 周 刚

武汉理工大学能源与动力工程学院 武汉 430063

摘 要 简述轴功率测量原理,选定转速传感器和较先进的扭矩遥测仪,实现了数据采集和处理,设计出柴油机轴功率测量系统,通过实船测量,验证了该系统的准确性和可靠性。

关键词 扭矩 轴功率 应变片 数据采集

中图分类号 U664.121 **文献标识码** A

Design and implementation of shaft power measurement system for marine diesel engine

GAN Shao-wei FAN Shi-dong ZHOU Gang

School of Energy and Power Engineering Wuhan University of Technology Wuhan 430063

Abstract The paper introduced the measurement principle of shaft power. The rotational speed sensor and advanced torque dynamometer are used for data collecting and processing so as to develop a shaft power measurement system. An actual example is given to prove the accuracy and reliability of the system.

Key words torque shaft power strain gauge data collection

在实验室能够较方便地测量柴油机的轴功率,而船舶、汽车等在现场测量实时柴油机轴功率十分困难。但是,精确测量轴功率往往又是必不可少的工作,例如船舶柴油机修理之后,需测定其有效功率,此外,在监测机组工况及故障诊断时,也要进行轴功率测量。一般通过测量轴的扭矩和转速来确定轴功率。本文的轴功率测量系统中,扭矩测量采用遥测式应力应变电测技术,转速采用光电传感器技术。

1 测量原理

1.1 扭矩测量原理^[1]

轴在受到扭矩作用时,其截面上最大剪切应力发生在截面周边各点,且与轴所传递的扭矩有如下关系

$$\tau_{\max} = \frac{16M_e}{\pi d_o^3} \quad (1)$$

式中: τ_{\max} ——最大剪切应力,MPa;

M_e ——转轴所受到的扭矩,N·m;

d_o ——轴外径,cm。

对一几何尺寸固定的转轴来说,只要测得了剪切应变力,就可以求得扭矩 M_e 。应力应变电测技术利用传感器(应变片)将剪切应变转变为电信号,经放大后利用电子仪器测量。当轴在扭矩作用下发生变形时,两个主应力分别与轴成 45° 和 135° 夹角,此时,贴于轴上的电阻应变片亦产生变形,从而引起电阻值的变化,其变化大小与贴片处轴的平均应变成正比。由于贴于轴上的电阻应变片阻值的变化,可通过应变仪转变为电压或电流的变化,故可使用各种型式的电子应变仪将该电信号经放大后转变为应变信号,由仪器直接测取轴的应力与应变^[2]。

1.2 转速测量原理

本系统采用反射式红外光电传感器测量转速,其原理是:在转轴同一截面的圆周面上均匀贴上 M 块定向反光纸,将红外光电传感器对准这一截面,轴转动过程中,当红外光照射到定向反光纸,传感器又正好接收到反射光时,传感器就输出一个脉冲,计数器进行记数。这样,轴的转速 n (r/min)可由下式算出。

$$n = 60N_s/M \quad (2)$$

式中: N_s ——计数器每秒接收到的脉冲个数。

对低速大直径轴, M 一般取 60,对高速小直

收稿日期 2005-07-25

作者简介 甘少炜(1981-),男,硕士生

径轴, M 一般取 12。

1.3 功率的计算

对于以轴作为输出装置的柴油机来说, 其轴功率 N_e 与输出扭矩 M_e 和转速 n 具有以下关系

$$N_e = \frac{2\pi M_e n}{60 \times 10^3} \approx \frac{M_e n}{9\,550} \quad (3)$$

由此可见, 只要测出了扭矩和转速, 便很容易根据此式计算出轴功率。

2 测量系统的组成和功能

测量系统包括扭矩测量、转速测量、数据采集系统和计算机, 总体结构见图 1。

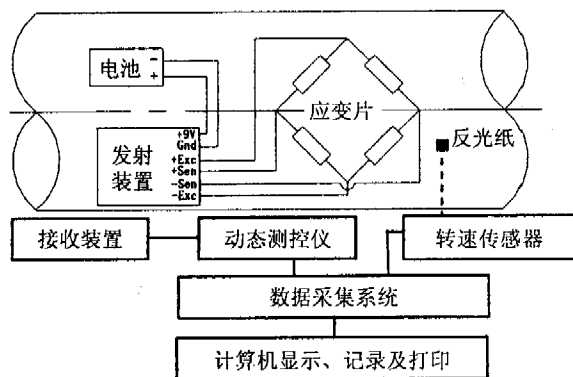


图1 测量系统的组成

2.1 扭矩和转速测量

扭矩测量装置选用 TorqueTrak 9000 Digital Telemetry System (Trak 9000型扭矩数字遥测系统), 由图 1 中的电池、发射装置、接收装置和动态测控仪四部分及一些电缆组成。

为了提高测量的灵敏度, 在中间轴上分别以 45° 和 135° 沿轴线顶角贴好两组应变片。然后把两组应变片的 8 根引线点焊到接线端子, 组成 Wheatstone 电桥。再将平衡桥路的 4 个结点正确接到发射装置上。

发射装置和 9 V 电池相连, 通过胶带固定在轴上, 随轴一起转动, 其功能有三。第一, 为 Wheatstone 电桥提供桥压; 第二, 将应变片阻值的变化转变为电信号变化并放大; 第三, 将电信号转换成载波信号, 经天线发射出去。为了扩大扭矩仪的测量范围, 该发射装置具有 250、500、1 000、2 000、4 000、8 000 等六档放大比例, 在正式测量前, 应预估被测扭矩的范围, 以选择合适的放大比例。

接收装置接收载波信号, 通过屏蔽电缆传送到动态测控仪, 它是 TorqueTrak 9000 Digital

Telemetry System 的核心。在这里, 信号被调解、还原并处理, 以电压的形式输出, 输出范围为 0 ~ 10 V。在所有电路正确接通, 应变片无应变的情况下, 输出电压为 0, 打上“满量程”挡, 则输出电压变为 10 V。输出电压 $V_{\text{输出}}$ 的大小与被测量的扭矩大小成线性关系。动态测控仪为智能仪器^[3], 在实测中的满量程扭矩 M_{FS} 为

$$M_{\text{FS}} = \frac{(V_{\text{FS}})(\pi)(E)(4)(d_o^4 - d_i^4)}{(V_{\text{EXC}})(G_F)(N)(16\,000)(1 + \mu)(G_{\text{XMT}})(d_o)} \quad (4)$$

式中: M_{FS} ——满量程扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

V_{FS} ——满量程电压, V;

E ——轴材料的弹性模量;

d_i ——轴内径, mm;

V_{EXC} ——电桥励磁电压, V;

G_F ——应变片灵敏系数;

N ——电桥桥臂数;

μ ——轴材料泊松比;

G_{XMT} ——发射装置的放大比例。

该式同时也为选择发射器的放大比例提供了依据。轴的扭矩值 M_e 为

$$M_e = \frac{V_{\text{输出}}}{10} M_{\text{FS}} \quad (5)$$

转速测量的关键是红外光的对正, 要使每片反光纸的反射光都能被传感器接收到。为了提高精度, 可以均匀地多贴几条反光纸片。

2.2 数据采集及处理

数据采集及处理系统由 3 个模块和便携式电脑组成, 结构见图 2。

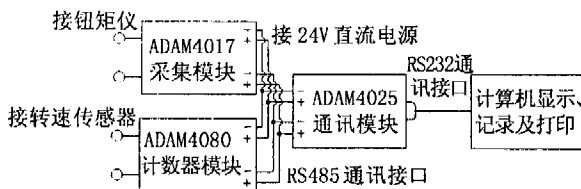


图2 数据采集系统

ADAM4017 模块有 8 个采集通道, 这里只需要一个通道, 用于采集扭矩仪输出电压, 实现 A/D 转换。ADAM4080 计数器模块有两个采集通道, 选择其中一个采集转速传感器的输出脉冲。模块之间的通讯协议均为 RS485 协议, 所以还需要 ADAM4025 模块将各模块通过设置站地址的方式整合起来, 并将 RS485 协议转换为 RS232 协议, 实现

与计算机串口的通讯。

计算机前台运行用VC编程的测试界面,实时显示扭矩仪电压值和计数器频率。程序中嵌套了公式(2)~(5),可计算出实时的轴转速、扭矩和功率,也显示在界面中。后台运行SQL Server数据库,保存各参数值。

测量结束后,从数据库中导出数据到Excel电子表格,对各个转速下的数据进行处理。在正态分布的等精度重复测量中,随机误差 δ 大于3倍标准差 σ 的置信概率仅为0.0027,属于小概率事件。设测量数据中,测量值 A_k 的随机误差为 δ_k ,当 $|\delta_k| \geq 3\sigma$ 时,则测量值是含有粗大误差的异常值,应予以剔除,这就是拉依达准则。值得注意的是,粗大误差的剔除是一个反复的过程,当剔除一个粗大误差后,应重新计算平均值和标准差,再进行检验。反复进行,直到粗大误差全部剔除为止。

根据拉依达准则剔除全部粗大误差后,再对数据取平均值,作为测量结果值。

3 测量实例

利用极小的箔式电阻应变片,应用TorqueTrak 9000 Digital Telemetry System对在某船厂大修之后的“玉池”号35 000 t油船柴油机的轴功率进行了测量。该柴油机出厂时额定功率6 200 kW,额定转速95 r/min,中间轴直径400 mm。按照试航大纲的要求,在45~95 r/min的范围内,每隔5转测量一次柴油机输出轴功率。选择中间轴上光滑的一段,按照上述方法贴好应变片,接好电桥,并接入固定在轴上的发射装置中,同时均匀贴上60片反光纸条,调整好测速传感器,接好所有电路,打开动态测控仪、采集系统和计算机,开始测量。

选择的应变片灵敏系数为2.08%,发射器放大比例为2 000,所以根据公式(4)可得扭矩仪满量程扭矩为961 067 N·m。每个转速下测量3 min,采集系统采样频率为每秒两次,采集完成后,去除头30 s和后30 s 120个数据,留下中间的稳定的240个数据作为测量记录,然后进行数据处理,剔除粗大误差,得到测量结果见表1。

该柴油机功率-转速特性曲线见图3,该曲线符合柴油机功率-转速特性曲线基本特征。从测试结果看,该柴油机在服役8年并经过大修后,还

表1 测量结果

转速/ $r \cdot \min^{-1}$	扭矩仪输出电压值 /V	扭矩值 /N·m	柴油机轴功率 /kW
45	1.44	138 394	652
50	1.62	155 693	815
55	1.87	179 719	1 035
60	2.11	202 785	1 274
65	2.45	235 461	1 603
70	2.84	272 943	2 001
75	3.28	315 230	2 476
80	3.80	365 205	3 067
85	4.24	407 492	3 627
90	4.68	449 779	4 239
95	5.04	484 838	4 823

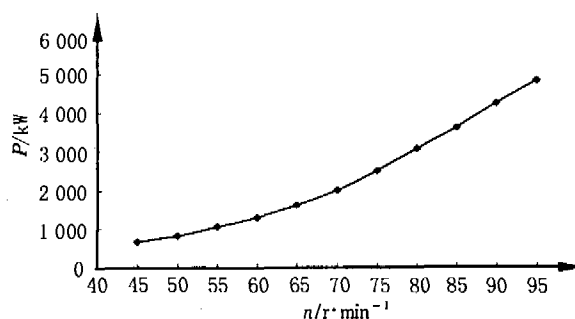


图3 “玉池”号主机轴功率-转速特性曲线

能发出约为额定功率78%的有效功率。

4 结束语

TorqueTrak 9000 Digital Telemetry System结构简单,使用方便,适合测量各种轴径的轴,克服了传统扭矩测量中旋转体上电信号不易传递,一种轴径就要一种集流环且集流环加工难度高等诸多缺点。结合应力应变电测技术,使用极小的电阻应变片,测量出了万吨油轮在海上航行中各种速度下中间轴的扭矩值。同时,反射式红外光电传感器能够精确地测出中间轴的转速。从而,方便地得到了柴油机轴功率。此外,采集系统的存储、打印和绘图等功能,使数据处理更为方便。因此,整套测量系统具有较高的准确性、实用性和经济性。

参考文献

- [1] 天津大学材料力学教研室. 材料力学. 北京: 高等教育出版社, 1986, 64~66
- [2] 朱英敏等. 应力应变电测技术在内燃机测量中的应用. 仪表技术与传感器, 1997. 05: 27~31
- [3] 刘君华. 现代检测技术与测试系统设计. 西安: 西安交通大学出版社, 2003, 61~84