

系统与附件

船舶轴功率遥测系统的设计与精度分析

肖 森, 于学兵

(大连理工大学内燃机研究所, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 对所设计的船舶轴功率测量法—遥测式应变测量法, 从其设计原理及测量方法进行了详细的介绍, 并对影响测试精度的因素进行了分析。实船应用表明: 所设计的测量系统具有较高的可靠性且精度较高, 可用于实船轴功率测量。

关键词: 船舶; 轴功率; 遥测; 精度

中图分类号: U664. 21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)03-0038-04

Design and Accuracy Analysis for the Telemetry System of the Ship Shaft Power

Xiao Sen, Yu Xuebing

(Institute of Internal Combustion Engine, Dalian University of Technology, Liaoning Dalian 116023)

Abstract: The new designed ship shaft power measuring method, called telemetry strain-gage method, as well as its design principle and measuring means are introduced in detailed. Moreover, the factors which can influence the measuring accuracy are analyzed. Onboard application shows that this measuring system features high reliability and accuracy, and is applicable in the measurement of actual ship shaft power.

Keywords: ship; shaft power; telemetry; accuracy

0 引 言

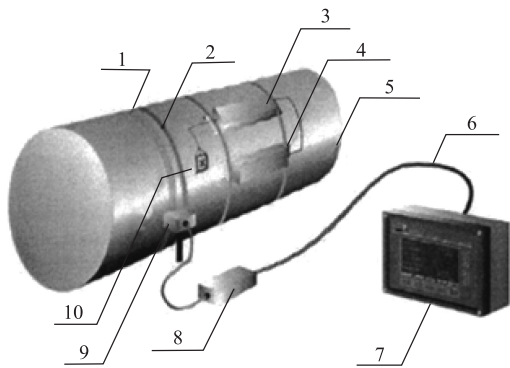
舰船的轴功率是表征主机、桨和船体性能状态的重要参数之一。通过对轴功率等参数的测量, 并根据检测信息及时采取相应的维护措施, 能够有效地提高舰船的动力性、经济性和安全性。船舶轴功率的测试是在极其恶劣的环境中进行的, 风、浪、轴系的振动都会对测试结果造成影响, 因此测量系统须具有较高的稳定性和可靠性^[1]。目前主要使用钢弦式功率测量仪进行轴功率测量, 而这种测量仪的体积较大, 安装繁琐, 测量易受到环境因素的影响。因此研制体积小、安装方便、抗干扰能力强、测试精度高的便携式船舶轴系轴功率测试仪已成为重要的研究课题。

1 遥测式应变测量法基本原理

遥测式应变测量法的测试系统由信号发射装置和接收装置两部分组成。采用非接触方法, 以天线耦合, 用无线发射的方式实现应变信号的发送和接收, 来实现对轴系应变信号的采集、分析、处理, 进而计算出轴功率^[2]。图 1 为遥测式应变测量法的实物连接图。遥测应变技术, 非常适用于旋转物体、移动物体以及不可接近的静止物体的测量。在安装过程中, 通常将信号发射装置固定在轴上, 应变片的信号输出端和发射装置的输入端通过导线连接在一起, 测量时发射装置经天线将信号发送到接收装置, 并由接收装置对其进行简单处理, 之后传送到中央处理单元进行数据的进一步分析处理, 得出轴功率。图 2 为遥测式应变测量法的系统结构图。

收稿日期: 2013-09-08; 修回日期: 2014-03-12

作者简介: 肖森(1988-), 男, 研究生, 主要研究方向为柴油机结构设计与性能优化, E-mail: 1241321062@qq.com。



1-天线, 2-磁铁, 3-扭矩测量仪, 4-电池盒, 5-被测轴, 6-信号线, 7-显示单元, 8-中央处理器, 9-信号接收器, 10-应变片

图 1 KYMA 轴功率测试系统

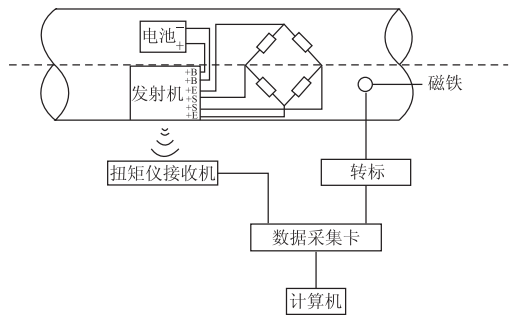


图 2 遥测式应变测量法的系统结构图

1.1 遥测应变法的扭矩测量

传递轴的轴功率无法直接测量，但可以通过测量传递轴的扭矩和转速，并利用功率、扭矩和转速的关系计算出传递轴的功率^[3-5]。计算公式如下：

$$P = T\omega = T \frac{2n\pi}{60} = T \frac{\pi n}{30} \tag{1}$$

式中： P 为轴功率，kW； n 为转速，(r·min⁻¹)； T 为输出转矩，(N·m)。

所以扭矩的测量显得尤为关键。

1.1.1 扭矩测量

在轴的表面取一微元体 A，如图 3。

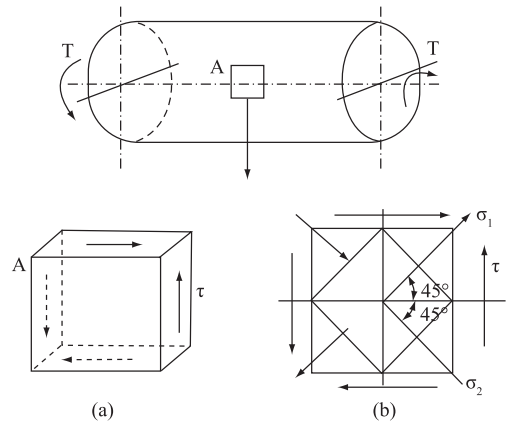


图 3 应力状态分析

由材料力学可知，在扭矩作用下，圆轴横截面上切应力的的大小和到中心轴的距离成正比。所以，微元体 A 中切应力的的大小^[6-7]：

$$\tau = \frac{T}{W_p} \tag{2}$$

式中： W_p 为抗扭截面系数，只与截面尺寸有关， $w_p = \frac{\pi D^3}{16}$ (实心圆)。

微元体 A 的平面应力状态，如图 3 中 (b) 所示。 σ_1 为最大拉应力， σ_2 为最大压应力，分别与中心线成 $\pm 45^\circ$ ，且主应变为：

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \frac{\sigma_2}{E} = \frac{(1+\mu)T}{EW_p} \tag{3}$$

式中： E 为弹性模量； μ 为泊松比。

$$\text{由 } G = \frac{E}{2(1+\mu)} \tag{4}$$

$$\text{可得 } T = \frac{\pi d^3 G \varepsilon}{8} \tag{5}$$

式中： G 为剪切弹性模量。

所以，只要求出主应变 ε_1 ，就能求出扭矩 T 。

1.1.2 主应变测量

材料的电阻 R 与材料本身的特性及其几何尺寸有关，其关系式为：

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{6}$$

式中： R 为材料的电阻； ρ 为材料的电阻率； L 为材料的长度； A 为材料的横截面积。

根据材料力学可知：

$$\frac{dR}{R} = K \frac{dL}{L} = KE \tag{7}$$

式中： E 为材料的线应变； K 为材料的灵敏系数，其大小与材料本身特性及加工热处理过程有关。在材料发生变形时，灵敏系数与材料的变形成近似的线性关系。

由以上分析可知，在与轴线成 45° 方向上粘贴应变片，当轴在外力的作用下发生变形时，应变片的电阻随之发生变化。扭矩测量仪根据电阻的变化就可以计算出主应变和扭矩^[8]。实际应用中，所用应变片由 4 个电阻按照惠斯顿电桥连接法集成所得^[9]。这样做不仅可以对测量电路进行简化，还可以消除外部因素，如轴向力、弯矩以及温度等的干扰。加拿大 Binsfeld 公司和挪威 KYMA 公司开发的测试系统应用的就是此测试原理。

1.2 遥测应变法的转速测量

转速的测量方法有很多，考虑到船体艏部空间狭小，安装操作不便^[10]，该系统采用转标来测量

转速。其原理是在轴的表面绕圆周等距离粘贴 4 块直径约 1 cm 的磁铁，将转标固定在固定的支架上，磁铁表面距转标的距离为 5 ~ 7 mm。磁铁每经过转标一次，计作一次脉冲，输出的脉冲在计数器里进行计数，最后得到转速^[11]。

$$n=\frac{60N}{Mt}$$

(8)

式中： n 为被测轴转速，($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)； M 为磁铁数， $M=4$ ； N 为 t 时间内计数器所测的脉冲数； t 为计数时间， s 。

由此可以得到船舶传递轴的轴功率。

2 实船测量

用遥测应变测量法对某厂生产的 30 万吨散货船进行测试。测试海域位于黄海中部，海况 2 级。散货船的相关参数如表 1，测试结果如表 2。

表 1 散货船的相关参数

主机型号	TS80ME-C8. 2-TII	额定转速 /($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	78
额定功率/ kW	29 260	中吃水/ m	20. 51
艏吃水/ m	20. 39	艉吃水/ m	20. 50

表 2 测量结果

工况	转速 /($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	功率理论值 / kW	功率实测值 / kW
50%	61. 9	14 630	14 160
75%	70. 9	21 945	21 095
85%	73. 9	24 871	23 831
90%	75. 3	26 334	24 958

由实测结果可以看出，该套测试系统的可靠性非常高，测试精度达 95% 左右。

3 测试过程的影响因素

3. 1 外部环境对测量精度的影响

用遥测法对船舶轴功率进行测量时，发射装置和接收装置以天线耦合，而非直接接触，容易受到电、磁等一些因素的干扰。机舱内有各种电子仪器设备，环境比较恶劣，电与磁的干扰一般是主要干扰^[12]。

(1) 电磁干扰

应变片采集的扭矩电压信号非常小，通常只有毫伏级，有时甚至是微伏级，其主要通过导线传输。当外界的电磁场发生变化时，导线中就产生感应电流，对应变信号产生干扰。在船的艉轴附近通常有两个电机组，在进行测试时应进行隔离或尽量远离。

(2) 静电干扰

当天线和干扰源之间存在电容时，天线内就可能产生静电干扰。如在天线外面布置屏蔽线，则可以防止静电干扰。

(3) 船舶状态、流、浪、风的影响

轴功率测量对海流、浪高以及海上的风力等也十分敏感，不同的海况条件，有着不同的测量结果。由于船舶具有庞大的上层建筑，受风面积较大，轴功率会随风力的变化而产生波动，波浪峰谷、频繁操舵，也会对轴功率的测量产生影响。万吨级的船舶在蒲氏风级 3 ~ 4 级风力低速航行时，逆风、顺风的测量结果一般会相差 3% ~ 5%。

3. 2 安装操作过程的影响

在安装设备的过程中有很多因素会影响到测量结果的精度，如粘贴应变片的地方打磨的是否光滑，胶水涂抹是否均匀，粘贴是否牢固，应变片与轴线是否成 45° 夹角，都会对测量结果产生影响。安装设备时，在条件允许下应尽量远离电机组，对粘贴应变片的地方要充分打磨，打磨区域可以大一些。粘贴应变片时，胶水要涂匀，应变片和打磨的区域都应涂抹胶水。用滚压的方式粘贴应变片，可以避免气泡的产生。

(1) 信号接收器与天线的距离

信号接收器和天线的距离并不是越小越好，二者之间有一个适当的关系^[13]，如图 4。距离太小会导致信号接收器接收不到信号，太大会引起信号传递的失真。要根据接收器的接收面积计算出距离 h 的取值范围，保证信号的无失真传递， h 须控制在 $[h_{\min}, h_{\max}]$ 之间。

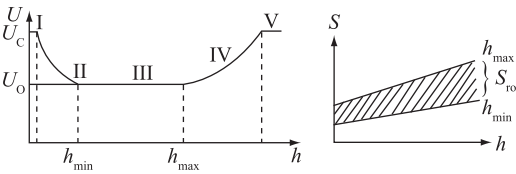


图 4 耦合程度随距离变化的情况

(2) 新型坐标纸的应用

系统自带的坐标纸，仅用来定位应变片的位置，无法对天线和磁铁的位置做精确的定位。经过多艘船只的实测，在原有基础上采用了新的坐标纸来定位应变片、磁铁、天线。首先将应变片按 45° 夹角粘贴在坐标纸上，将圆周 4 等分，固定磁铁的位置。将轴表面的油污清除干净后，将坐标纸绕轴一周，坐标纸两侧边缘对齐，即可精确确定应变片

与轴线的夹角。根据信号接收器上速度信号接收器和扭矩信号接收器之间的距离,利用坐标纸上的坐标,可以定位天线和磁铁的距离。坐标纸不仅能够定位天线和磁铁的轴向距离,还能够确保磁铁和天线在圆周上。应变片、磁铁和天线的精确定位能够确保信号采集、传播的精度,进而提高测试系统的测量精度。

4 结 论

本文所讨论的测量系统已在多艘油轮、集装箱船、散货船试航时进行了实际应用。测试结果表明,该测试系统具有较高的可靠性和准确性,使用时具有如下优点:

(1) 仪器具有结构简单、重量轻、尺寸小、灵活经济、安装方便等特点,测量不受轴径大小的限制。

(2) 系统采用的应变片能够感知微小的变形,测量精度较高,接收装置和发射装置以天线耦合,简化了测试系统。该系统可以实时采集、传递轴的转速和扭矩,不仅可以在显示器上实时的显示转速、扭矩和轴功率,对轴进行全程监控,还可以显示一段时间内的平均功率,具有很好的数据分析功能。

(3) 在实船测量过程中会受到各种因素的影响,在实际操作和测量过程中应尽量避免,以期获得更加精确测量结果。

参考文献

- [1] 薛冬新,宋希庚. 柴油机轴功率激光测试技术的研究[J]. 内燃机工程,2000(3):19-22.
- [2] 汪曲波. 船舶推进轴系振动与功率测量分析研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.
- [3] 薛晓光. 大型船舶轴系轴功率测试[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [4] 郝鸿雁. 船舶主机轴功率应变式遥测系统的设计与应用[J]. 船海工程,2013(2):80-82.
- [5] 吴振宇,苏永生,明廷涛. 基于电阻应变式和无线遥测的喷水推进泵轴功率测量方法[J]. 机械与电子,2012(12).
- [6] 天津大学材料力学教研室. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,1986:64-66.
- [7] 李舜杰,刘东风. 舰船轴功率的测试与应用研究[J]. 中国修船,2010(5):14-16.
- [8] 甘少炜,范世东,周刚. 船舶柴油机轴功率测量系统的设计与实现[J]. 船海工程,2006(1):25-27.
- [9] 余永华,朱继军,杨建国. 船舶轴系轴功率测试仪的研制[J]. 中国修船,2006(12).
- [10] 常汉宝,刘镇,梁卫华. 无线数传技术在轴功率测试系统中的应用[J]. 中国修船,2005(增刊).
- [11] 恽秋琴,胡琼,陈文炜. Sk-01 型船用柴油机轴功率遥测系统[J]. 中国造船,2010(2):126-231.
- [12] 陈凯. 船舶轴功率测量方法比较及误差分析[D]. 武汉:武汉理工大学,2010.
- [13] 刘瑞复,刘一谦,黄志建. 遥测仪耦合天线的选择方法[J]. 电子技术应用,1984(12):57-58.

(上接第 37 页)

(2) 远洋船舶超低硫燃油冷却系统运行的稳定性
为了确保低低硫燃油冷却系统运行的稳定性,系统采用了较多的传感器、控制器和电动执行机构,这三者扮演的角色分别是测量并传输信号;接收、比较及反馈信号;接受反馈信号。通过三者的连动有效操作,可以实现对冷媒水量、燃油温度的自动控制和调节。压缩机采用多级能量控制。

(3) 系统平衡

在系统设计过程,因存在多个不同的供油单元,板式换热器所需冷媒水量必须在达到额定的流量下,才能稳定。因此,在冷媒水管路上设置水平平衡阀,便于调节管路水量平衡。

4 结 论

远洋船舶的低低硫燃油冷却系统能够精确的控

制出口燃油温度,燃油温度波动在 1℃ 以内,同时能够满足不同出油温度要求。开发了基于梯级冷却的低低硫燃油冷却系统,弥补了以往海水直接冷却控制精度不高,且在部分海域无法正常工作的缺陷。产品满足船用低低硫燃油供油系统的各项要求。

参考文献

- [1] Johnson Control. York MDO Cooling System[R]. 2009, 9.
- [2] Q/32 1283JkA 30-2012,江苏兆胜空调有限公司企业标准[S].
- [3] DNV. Systems and arrangement for meeting regulations in emission control areas(ECA)[R]. Rules for ships, January 2010, part6 chapter 25.
- [4] 高岑,郑毅. 船用精馏燃油冷却系统的应用[J]. 柴油机,2010, 32(3):32-36.