

doi: 10.7690/bgzdh.2015.03.017

基于无线遥测装置的渡轮轴功率测量方法

明廷涛¹, 苏永生², 王益成¹, 刘 强²

(1. 海军上海地区装备修理监修室, 上海 200136; 2. 海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033)

摘要: 为判断渡轮主机是否处于“超负荷”运行的问题, 设计一种应用无线遥测装置对渡轮主机输出轴功率进行测量的方案。选用东华测试的 DH5905 无线扭矩测试系统, 对武汉轮渡公司的“江城 3 号”和“江城 5 号”2 条船的旋转轴的扭矩、转速和轴功率等物理量进行测量, 以获取实际螺旋桨的收到功率, 从而对渡轮“船-桨-机”的配合是否合理进行科学判断。测量结果证明: 该方案测量数据可信, 满足测试精度要求。

关键词: DH5905; 应变式; 无线遥测; 轴功率测量

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Ferry Shaft Power Measurement Method Based on Wireless Telemetry Devices

Ming Tingtao¹, Su Yongsheng², Wang Yicheng¹, Liu Qiang²

(1. Repairing & Supervising Room, PLA Naval Equipment in Shanghai Area, Shanghai 200136, China;

2. College of Marine Power Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: To determine “overload” operation problem of the ferry diesel engine, the solution project which was designed by wireless telemetry equipment was used in the ferry shaft power measurement. In order to get the received power of the propeller, the DONGHUA DH5905 wireless torque testing system was choose in this project and the torque, speed and shaft power of the rotation shaft were measured at “JIANGCHENG NO. 3” and “JIANGCHENG NO. 5” in WUHAN ferry company. It was carried out their reasonable scientific judgment “boat-propeller-machine” by the measurement. The results were show that the measurement data was to be believed and satisfied the requirement of test precision.

Keywords: DH5905; strain; wireless telemetry; shaft power measurement

0 引言

舰船的轴功率测量是研究动力装置推进性能、优化控制、工况监测和故障诊断等的手段之一^[1]。进行准确的扭矩和转速测量是保证轴功率参数可信的核心要点, 在实际工程中对缩短舰船动力系统研制周期, 提高动力装置的匹配性能, 降低使用与保障费用等都具有重要作用。在开展武汉市轮渡公司渡轮柴油主机冒黑烟故障原因查找研究过程中, 笔者通过研究主机的输出功率, 判断主机是否处于“超负荷”运行状态, 并进行了主机输出轴的轴功率测量。笔者已在某高速巡逻艇试航过程中成功测量过喷水推进泵的轴功率, 且测试结果在工程误差范围之内, 相关研究的思路、方法和结果见文献[2-3]。笔者采用 DH5905 无线遥测装置测量螺旋桨的输入轴功率, 经过换算得到主机输出功率并与厂商提供的柴油主机推进特性线和功率限制线进行比对分析, 从而判断渡轮“船-桨-机”的配合是否合理。

1 测量原理

根据轴功率的计算公式 $P = T\omega = \frac{T \cdot n}{9550}$, 即轴

功率是扭矩与转速的乘积, 于是轴功率测量主要是针对如何准确获取这 2 个参量来展开。

测试设备选用东华测试的 DH5905 无线扭矩测试系统。DH5905 是专门用于旋转轴的扭矩和轴功率等物理量的测量系统, 系统采用 Wifi 无线通信技术, 可实时完成对旋转轴扭矩、轴功率信号的适调、采集并将数据无线传送至计算机实时存储和显示。

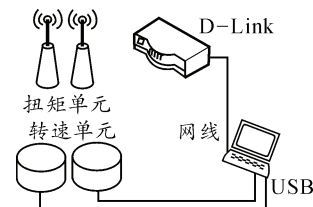


图 1 测试系统的硬件架构

通过测得的驱动转轴应变变量来计算得到扭矩,

收稿日期: 2014-09-23; 修回日期: 2014-11-11

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51306205)

作者简介: 明廷涛(1981—), 男, 湖北人, 博士, 工程师, 从事机电设备状态监测与故障诊断和舰船装备技术保障研究。

利用光电转速传感器实时测量转轴的转速，从而换算得到轴功率。测试系统基本的硬件架构如图1所示，其中应变片粘贴在旋转轴上，扭矩单元固紧在旋转轴上，如图2所示，通过无线发射的形式和计算机通信，转速单元按照要求进行相应的安装，通过USB接口和计算机通信。根据测量扭矩时应变片的布置和组桥方式，采用测量转轴应变的方法来计算转轴扭矩，测量软件能够自动完成实时扭矩计算并显示扭矩曲线；根据实时测得的转轴扭矩和转速，软件可计算出轴功率，并绘制轴功率曲线。

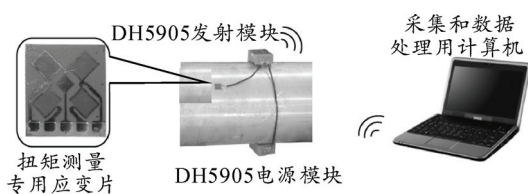


图2 DH5905无线发射模块工作方式

1.1 应变式扭矩测量

实现扭矩测量需要解决传感器、能量供给和信号传输3方面的问题^[4]。解决旋转轴扭矩测量的方案既有传统的应变式、电磁式，又有新颖的声表面波、逆磁致伸缩法^[5-7]等。设备的前端即传感器的准确度是最为关键之处。

通过测应变来获得扭矩是一种常见的扭矩测量的方法，此时应变片的选择就至关重要。扭矩会使传动轴产生应变，而且这种应变与扭矩的大小存在着一定的比例关系，因此可以通过电阻应变片的阻值变换来检测相应扭矩的大小。该方案首先通过粘贴专用应变片，组建合适的桥路，测量旋转轴表面的应力应变值，能量供给通过锂电池电源模块实现，而信号的传输则通过发射模块。测量得到的应变通过信号调理电路转换成电压，计算机接收信号源，利用软件中的计算公式实时处理，最终获得旋转轴上承受的扭矩大小。

根据现场勘查，测试轴功率的轴选用轴系中的中间轴段，根据渡轮设计单位提供的设计轴系强度计算说明书，此轴段为一实心轴，直径 $D=100\text{ mm}$ ，材料为优质锻钢，查表得到：弹性模量 $E=206\text{ GPa}$ ，泊松比 $\mu=0.25$ ，可用于轴的扭矩计算。

1.2 转速的测量

利用DH5640光电式转速传感器测量旋转轴的转速，注意转速传感器的正确安装和感应标签的可靠粘贴。通过调理电路将光电传感器接收到的信号

通过232串口输出，再通过USB-RS232驱动程序与计算机相连，在DH5905_Wifi无线数据采集软件中实现实时显示、在线保存和离线分析。

1.3 软件的使用

应用东华测试提供测量软件，如图3所示。按照以下的步骤实施：查找采集器；信息查询（采集模块IP，采集模块电池电量，转速通道）；设置显示和保存窗口（轴功率设置3个窗口，一是扭矩、二是功率、三是转速，对显示的图表进行属性更改）；参数设置（几何参数、材料参数、转速参数及通道的匹配）；系统平衡并清零；开始采集（选定名称和保存数据的目录）；停止采集；数据的显示、处理与分析。

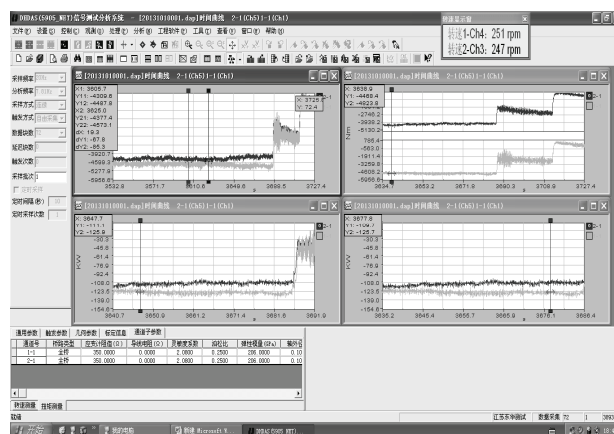


图3 DH5905软件界面

2 现场测试

2.1 测试准备和调试

为了保证测试的准确性，测试之前先由生产厂商进行设备标定，然后在实验室条件下对测试设备进行静态标定，标定方法和文献[2]中相同，相对误差均小于5%，精度能满足工程实际的需要。

现场勘查后，选用艉轴舱的中间轴段（此舱室基本没有其他机电设备，能够减少相互之间的电磁干扰），完成轴功率测量单元的安装，如图4所示。先后对武汉轮渡公司的“江城3号”和“江城5号”2条船进行了轴功率的测量。为了实现测量值的相对比较，2条船4根轴对应的贴片位置基本一致。应变片选用了中航电测型号为BF350-3HE-A(11)N2-P200的电阻应变片，其中电阻值为 $(350.0\pm 1)\Omega$ ，灵敏度系数为 $(2.08\pm 1)\%$ ，经过现场的试贴和软件的调试（信号发射和数据传输可靠稳定、数据显示正常），完全能满足轴扭矩及轴功率测量的要求，1条船2根轴所对应的基本测量参数设置如表1。

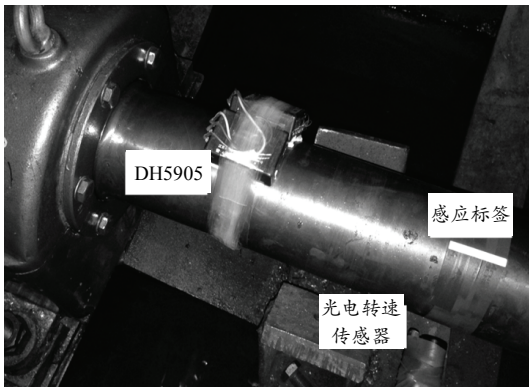


图 4 轴功率测量装置的安装图

表 1 基本的测量参数设置

桥路类型	应变计阻值/ Ω	导线电阻/ Ω	灵敏度系数/%	泊松比	弹性模量/GPa
全桥	350	0	2.08	0.25	206

2.2 数据处理和结果分析

由于实际测得的轴功率数据有波动，所以要对测量得到的数据进行预处理，即取测量转速下直航测试得到的稳定数据并进行平均。对测量稳定工况（700, 900, 1 100 r/min 以及最高转速下）得到的数据进行平均处理，其中“江城 3 号”测得的轴功率如表 2，由于测量时仅通过遥控联动系统将油门推至最大，转速未能达到设计值，表 2 中的 1 500 r/min 数据是通过 3 次方拟合推算得到。在“江城 5 号”测试时，为了表征设计点的“船-桨-机”匹配，在机旁通过手动的方式将油门拉到最大，得到的几个稳定工况对应的轴功率测量数据如表 3 所示。

表 2 江城 3 号轴功率的测量数据

转速/(r/min)		功率/kW	
左轴	右轴	左轴	右轴
700	700	16.9	17.5
900	900	38.5	39.2
1 100	1100	65.6	66.1
1 360	1 380	116.2	124.1
1 500(推算)	1 500(推算)	147.0	151.9

表 3 江城 5 号轴功率的测量数据

转速/(r/min)		功率/kW	
左轴	右轴	左轴	右轴
700	700	20.3	19.4
900	900	42.1	41.6
1 100	1 100	79.5	77.9
1 150	1 215	88.5	104.2
1 488	1 491	176.3	178.1

将 2 条船测试得到的数据与厂家提供的柴油主机功率限制线和推进特性线画在同一个图例中，江城 3 号如图 5 所示，江城 5 号如图 6 所示。

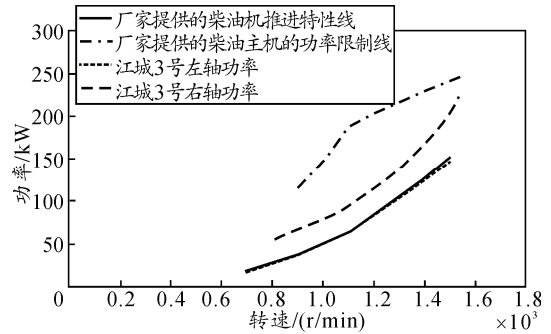


图 5 江城 3 号实测轴功率与厂家提供的推进特性与功率限制线的关系

如果考虑中间轴和艉轴的轴系损失，实际螺旋桨的收到功率比上述测得的值要小，而考虑柴油主机到测试轴以及齿轮箱的传递损失，按照 3% 计算，此时对应需要主机的功率“江城 3 号”最大为 156.6 kW，“江城 5 号”最大为 183.6 kW，与主机在最高转速 1 500 r/min 下能提供的 220 kW 相比，均有 29% 和 17% 的功率储备，也就是说根据螺旋桨敞水性性能核算和实船推进轴功率的测量，该型渡轮的“船-桨-机”匹配是合理的，螺旋桨“不重”，故不存在主机超负荷的设计因素。

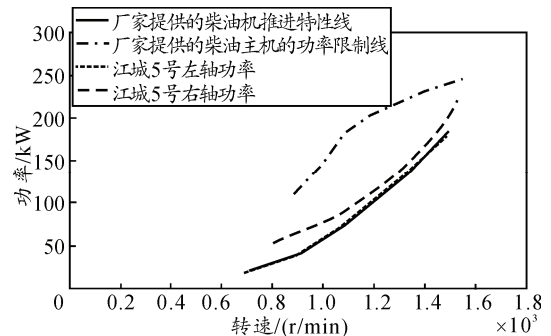


图 6 江城 5 号实测轴功率与厂家提供的推进特性与功率限制线的关系

另外，从测试的结果，笔者进行如下分析：

1) “江城 3 号”和“江城 5 号”2 条船在遥控系统状态下都无法将主机的转速提高到额定转速 1 500 r/min。这主要是因为柴油机在遥控操纵，油门齿杆位置加到最大时无法克服螺旋桨产生的阻力矩，即主机发出的功不足，导致主机转速下降至与螺旋桨负荷等同时的转速，维持的平衡状态就是对应的工况。那么为什么主机发出的功不足？主要是因为柴油主机喷入的油燃烧不完全，即在对应的转速下喷入的油量不足以发出有效功率，所以只能降转速、降负荷来达到新的平衡点。

2) “江城 3 号”和“江城 5 号”2 条船通过手动将油门拉到最大，此时船后冒黑烟现象常严重，

主机能基本达到额定转速 1 500 r/min, 说明此时主机发出的功率能够克服该状态下螺旋桨的阻扭矩, 根据测得的轴功率判断, 对应需要主机的功率“江城 3 号”最大为 156.6 kW, “江城 5 号”最大为 183.6 kW, 所以该型船在“船-桨-机”在设计点的匹配是正常的, 主机在这种情况下不会超负荷。

3) “江城 3 号”对应的转速下得到的轴功率要略小于“江城 5 号”(图 7 所示), 这是因为“江城 5 号”上方有一大广告牌, 相同航速时, 舰船的阻力稍大; 或者说在主机相同转速下时, 舰船的航速要略低, 对应于螺旋桨而言, 转速相同时, 由于来流的速度变小, 桨叶上对应的来流攻角变大, 主机需要克服的阻力矩变大, 即轴功率要稍大。

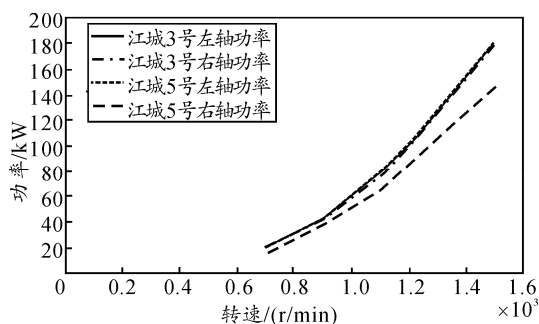


图 7 江城 3 号和江城 5 号实测轴功率的对比关系

3 结束语

通过上述研究和相关的数据分析可以得到以下基本结论:

1) DH5905 无线遥测装置能很好地应用于渡轮“船-桨-机”匹配分析中对螺旋桨输入轴功率的准确测量和性能评估;

2) “江城 3 号”和“江城 5 号”2 条船的轴功率测量数据可信, 满足工程测试精度要求;

3) 渡轮的“船-桨-机”匹配是合理的, 螺旋桨“不重”, 故不存在主机超负荷的设计因素;

4) 排除了主机超负荷的原因, 关于渡轮主机冒黑烟的真正根源可能还需要从其他方面进行排查。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 汝福兴, 苏永生. 喷水推进泵轴功率测量方法的研究[J]. 江苏船舶, 2012, 29(4): 24-26.
- [3] 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: 46-49.
- [4] Horvath P, Nagy A. Optical Torque Sensor Development[J]. Recent Advances in Mechatronics, 2009(9): 91-96.
- [5] 陈兵, 王东兴, 吴永根, 等. 旋转轴扭矩测量装置研究[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 2009, 22(1): 72-75.
- [6] Li Qin, Zhou Xincong, Yang Kun, et al. Research on the Effect of Residual Stress to the Measurement of Shaft Power[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4321-4325.
- [7] Teremy M. Hammond, Ryszard M. Lec. A Non-contact Piezoelectric Torque Sensor[M]. IEEE International Frequency Control Symposium, 1998: 715-723.