智能化与控制

双机并车试验台高速采样系统关键技术研究

唐慧妍，刘　赟，黄　鹤

（七一一研究所，上海 201108）

摘　要：采用高速数据采集卡实现了对柴油机转速、燃油齿条位移及柴油机输出扭矩等重要参数的实时高速采集和存储；并设计了采集数据滤波、动态波形显示及分析程序；提出了转速采集及分析的新方法。实际配机使用表明：系统运行正常，参数采样信号稳定；可为研究柴油机并车过程中的参数监测及控制起到良好的辅助作用。

关键词：高速采样系统；数据采集；数据分析

中图分类号：TP271⁺.81　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001－4357(2012)02－0011－04

Study of Key Technology in High-speed Data Collection System for CODAD

Tang Huiyan, Liu Yun, Huang He

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: High-speed real-time acquisition and storage of engine speed, fuel rack and engine output torque was realized by using the high-speed data acquisition card. The data filter, dynamic waveform display and analysis system was designed and a new solution for displaying and analyzing speed was proposed. It was verified by test on engine that this system is normal in operation and stable in collecting parameters signals, thus is helpful in studying parameters monitoring and control during the compounding process of diesel engines.

Keywords: high-speed data acquisition system; data acquisition; data analysis

0　引　言

中速柴油机双机并车是船舶一种常用的动力系统配置形式，为了加强双机并车系统动态特性的研究，在某双机并车试验台的联调试验中，引入了双机并车系统重要参数高速采样系统。本数据采集系统实时采集、观测两台机组的各项重要参数，并对实时存储的数据进行分析，为并车控制策略提供有效帮助。传统的监测报警系统采集模拟量信号时，采样速度慢，监测的模拟量都是平均信号，无法体现柴油机重要工况的参数变化瞬态过程和变化细节。尤其是对转速的采集，普遍的采集方法是通过记录单位时间内脉冲上升沿个数换算为频率值，最终通过传感器齿数折算为转速。这种方法只能采集得到单位时间内的平均转速，适用于普通监测。本试验台架使用的中速机额定转速约为 2 100 ($r \cdot min^{-1}$)，其增压器转速高达 40 000 ($r \cdot min^{-1}$)，使用传统监测手段无法捕捉瞬时转速的变化。而本系统采用了高采样率的模拟量采集卡，且采用了周期采集法记录转速变化，因此可以清晰记录起动、并车、停车等过程中瞬时信号的变化。通过信号数据回放分析，有助于从信号瞬间变化的细节中分析并车时两台主机的工作状态，研究并车控制方法。

整个系统由计算机高速采集、测控系统(图 1)对柴油机组、液力耦合器和齿轮箱等重要运行参数进行采集、存储和回放分析，实现了对柴油机转速、燃油齿条位移及柴油机输出扭矩等重要参数的实时高速采集和存储。

收稿日期：2011-10-17；**修回日期**：2012-02-17

作者简介：唐慧妍(1978－)，女，工程师，主要研究方向为船舶动力系统监控，E-mail：tanghuiyau@163.com。

万方数据

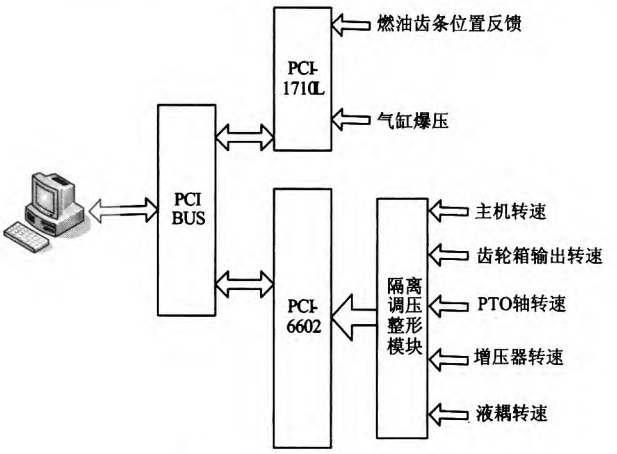

图 1 高速采集系统图

1 数据采集

1.1 模拟量信号采集

理论上，高采样速率会使模拟量采集信息更丰富，细节展示更清楚，但实际应用中，高采样速率会因数据读写流量过大导致内存资源被严重占用，同时过于频繁的采样会使柴油机振动对传感器信号产生的杂波影响变大，信号变得更不清晰。因此，应选取适合的采样速率，减轻计算机和采集卡读写压力，同时避免不必要的杂波干扰[1]。按采样定理，采样频率大于 2 倍信号变化频率即可，但为了获得最佳采样效果，尽量真实还原信号，通过下述方法计算得到模拟量采样频率。

采用的模拟量采集卡最大数据传输速率为 32 768 bps，由 Nyquist 采样定律

$$C_{max} = 2f\,(\text{bps})$$

可知，理想信道带宽 $B = f = 16\ 384$ Hz。

香农定理指出：在有随机热噪声的信道上传输数据信号时，数据传输速率 R_{max} 与信道带宽 B、信噪比 S/N 的关系为：

$$R_{max} = B\log2(1 + S/N)$$

式中，R_{max} 单位为 bps，带宽 B 单位为 16 384 Hz，此处采集的燃油齿条信号平均值 2.5 V，记为平均功率 $S = 2.5$，由示波器在机旁和采集端测得噪声平均值 2.5 mV，记为平均噪声功率 $N = 0.002\ 5$，可得，$S/N = 1\ 000$。最终得到最佳采样速率 $R_{max} \approx 24$ kbps，即模拟量采样频率约为 3 k/s。

1.2 转速信号采集

转速信号为脉冲信号，常见的转速测量方法有三种[4]：

① 定时计数法(测频法)：测量单位时间的脉冲个数。优点是：测量的频率覆盖范围较宽，且在高频端的测量精度较高。缺点是：测量的单位时间较长，计量的频率个数会出现多 1 少 1 现象，尤其在低频段的测量精度较低，因此不适合测量瞬时转速。

② 定脉冲采样(测周法)：测量单个脉冲的周期或指定个数脉冲的总周期。优点是：测量时间短，尤其在低频段的测量精度较高。缺点是：测量的频率覆盖范围较窄，在高频段的测量精度较低，而且采样频率不固定，若将采集的转速均匀分布在回放分析时间轴上，会产生转速采集与转速显示的时刻错位。

③ 等精度法：类似于测周法，等精度法测量时间不是被测信号的一个周期，而是人为设定的一短时间。测量时间闸门的开启和闭合由被测信号的上升沿来控制，测量精度与被测信号无关，因此可以保证这个测量频段内测量精度保持不变。如图 2 所示。

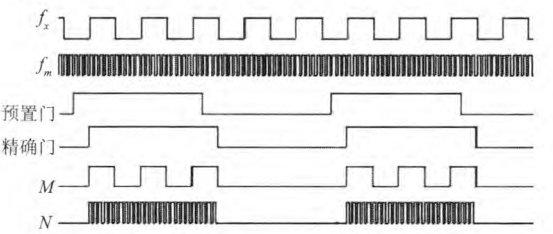

图 2 等精度法原理图

测量时，将标准频率 f_m 和待测信号 f_x 分别输入到两个计数器进行同步计算。首先打开预置门，此时不计数，等到精确门即被测信号的触发沿到来时，两个计数器计数；当预置门关闭时，计数器继续计数，等到同相位的精确门触发时停止计数。最终得到 M 个被测信号对应的 N 个标准频率。由 $f_x = M/N \times f_m$ 得到被测信号频率。

由于本项目采集频率的范围较大，实际操作中，为保证准确得到转速上升下降时的瞬时转速，设置不同分段频率，在不同频率段内使用不同方法测量转速。首先采用测周法，得到一个初始转速，与分段转速比较，若小于该值，测周法测量；大于该值则等精度法测量。分段频率的选取为采样卡基频除以预置门时间后的 1/2 次方，本例中，预置门时间取 0.2 s，采样卡基频为 20 M，因此分段频率选为 10 000 Hz。按此分段频率，根据传感器齿数折算，在额定工况下，仅增压器转速需采用等精度法测量。

2 数据读取及分析

2.1 数据读取

数据读取模块主要用于对当前采集的数据或历史数据进行回放，以便对其进行离线的处理和分析。

万方数据

信号的数据采集只能看到信号变化趋势，无法进行深层次的时域、频域分析，因此需将采集的数据记录下来，事后进行数据还原，在需要时重新观察和深入分析，重现柴油机运行中设备的各种状态及特征，便于深入分析不同时刻和工况下柴油机各部件工作状态，有利于找出适当的控制方法。本项目使用 LABVIEW 中的 TDMS 格式存储、回放数据[3]。

由于模拟量信号连续平滑变化，采集时是按采样频率在单位时间内均匀采集，因此在读取时，可以把每秒的采集频率通过运算得到显示时标；而转速信号采用了测周法和等精度法测量，因此不能按采样频率在单位时间内均匀采集。转速信号在使用测周法采集时，不仅记录了其周期，同时记录了每秒内采集的周期个数，用以计算显示时标。数据回放时，由于系统惯性较大，转速不会出现跳跃变化，认为 1s 内频率变化是近似均匀的，转速按每秒钟不同的周期个数显示在时间轴上，这样就解决了模拟量与转速等频率信号无法在同一时间轴显示的问题，同时，对转速的快速采集又有助于研究并车过程中信号的细节变化。

图 3、4 对比了传统定时计数法采集转速效果和本项目中采用的转速采集方法的采集和数据回放效果。对比并车过程中两台主机转速信号的变化可发现：传统采集方式下，仅能采集到双机并车瞬间主机转速和齿条变化的大概趋势，波动的细节无法捕捉到，测周法采集的双机并车瞬间主机转速变化细节明显。

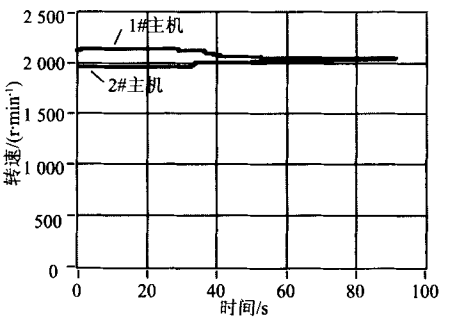

图 3　传统采集方式下并车瞬间主机转速变化

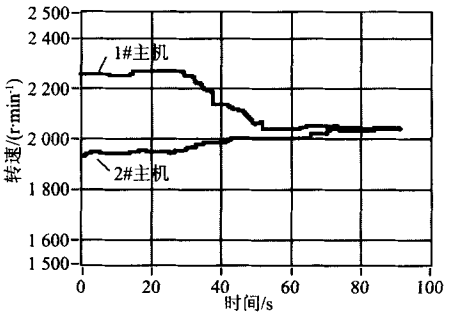

图 4　周期采集法并车瞬间主机转速变化

2.2　数据分析——前后信号对比

由于柴油机振动对传感器信号会产生杂波，同时信号经过长距离混合传输，也会产生衰减和受到干扰，因此在硬件滤波基础上，还需采取软件滤波手段。本项目使用了两种方法：去除极值法(去除脉冲尖峰)和数据平滑法(去除纹波)。

在转速信号数据采集和通讯时，受到周围电磁干扰，会产生较大的脉冲尖峰，去除极值法主要是用来去除数据中的脉冲尖峰。由于系统惯性较大，数据不会出现跳跃变化，在数据读取时，每 10 个数据计算均值$\underline{f_1} = (f_1 + \cdots + f_{10})/10$，$\underline{f_2} = (f_{11} + \cdots + f_{21})/10$，$f_1$、…、$f_{10}$分别与$\underline{f_1}$ 比较，若f_1、…、f_{10}中任意数值的数量级与$\underline{f_1}$ 相差超过 10，则认为此数据无效，回放时用均值代替该数据。这种方法处理数据显得略微粗糙，为把数据划分得更细致，可进行如下改进：每 10 个数据计算均值$f_1 = (f_1 + \cdots + f_{10})/10$，$f_2 = (f_2 + \cdots + f_{11})/10$，$f_1$、…、$f_{10}$分别与$\underline{f_1}$ 比较，若f_1、…、f_{10}中任意数值的数量级与$\underline{f_1}$ 相差超过 10，则认为此数据无效，回放时用均值代替该数据。图 5 为去除极值法处理前后 1 号机转速波形图。

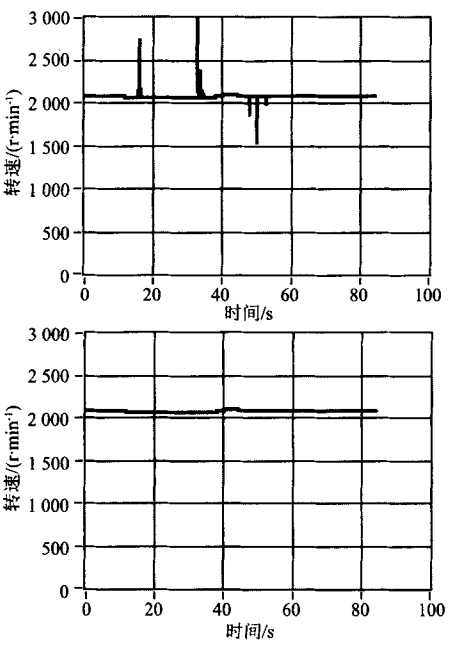

图 5　去除极值法处理前后 1 号机转速波形图

模拟量信号在采集过程中电压信号受地线及供电电源干扰容易产生纹波，可用数据平滑法来处理。采用加窗 FIR 滤波器消除扰动、平滑数据是最简单有效的方法，也是最常用的方法[2]。窗函数设计法是一种通过截短和计权的方法使无限长非因果序列成为有限长脉冲响应序列的设计方法。利用加窗函数进行截断和平滑，以实现一个物理可实现

万方数据

且具有线性相位的FIR滤波器的设计目的。首先通过傅里叶逆变换获得理想滤波器的单位脉冲响应 $h_d(n)$：$h_d(n)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\omega_c}^{\omega_c}e^{j\omega n}\,d\omega=\frac{\sin[\omega_c(n-a)]}{\pi(n-a)}$；其次由性能指标确定窗函数 $W(n)$ 和窗口长度 N；最后求得实际滤波器的单位脉冲响应 $\boldsymbol{h}(n)$。$\boldsymbol{h}(n)$ 即为所设计FIR滤波器系数向量，$\boldsymbol{h}(n)=h_d(n)\boldsymbol{W}(n)$。在LABVIEW中可直接选用工具箱中的函数实现滤波算法，仅需选择相应窗函数及给出截止频率。通过对几种窗函数滤波效果的比较，最终选取了海明窗。

图6为数据平滑前后1号机燃油齿条波形图。

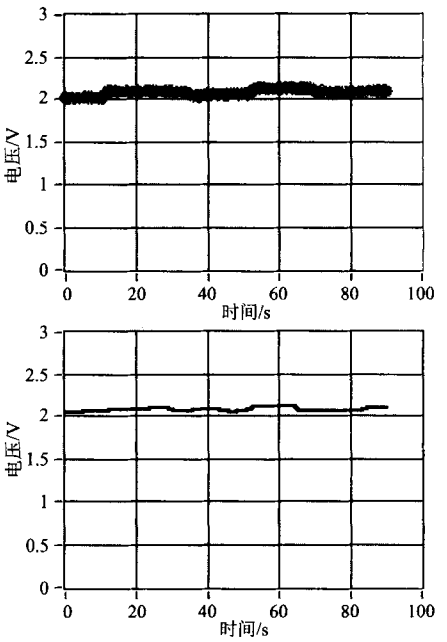

图6 数据平滑前后1号机燃油齿条波形图

3 结 论

起动、并车、停车等过程中瞬时信号的回放、分析对于双机并车的控制方法研究起着至关重要的作用。普通的监测系统监测的模拟量，尤其是转速信号，都是平均信号，无法表现柴油机重要工况的参数变化过程和变化细节。本系统采用了高采样率的模拟量采集卡，并且使用了周期采集法记录转速变化，因此可以清晰记录起动、并车、停车等过程中瞬时信号的变化。通过信号回放进行数据分析，有助于从信号转折的细节中找到并车时机、研究并车控制方法。

目前，本数据采集系统已成功应用于机组联调试验，数据采集完整、可靠，人机界面友好，具有良好的可移植性和可扩展性。根据所采集到的数据，可得到各种试验工况下柴油机的特性图，对机组性能的分析有很大帮助。

参考文献

[1] 周德照，张进明，江志农. 基于LabVIEW的旋转机械振动信号的采集与处理[J]. 仪器仪表与监测技术，2005，24(3)：63－64.

[2] 谢三毛. 基于LabVIEW的虚拟数字滤波器的设计[J]. 华东交通大学学报，2005，22(5)：83－85.

[3] 戴鹏飞，王胜开，王格芳，等. 测试工程与LabVIEW应用[M]. 北京：电子工业出版社，2006.

[4] 李广明，杨雷. 一种多周期测量频率的方法及应用[J]. 电子测量技术，2008(8).

信息动态

两家MAN授权厂商将生产ME-GI发动机

MAN Diesel & Turbo公司称，远东两家公司已经分别宣布打算生产MAN ME-GI二冲程样机。MAN公司称，这意味着ME-GI发动机已经接近商业生产。

HHI-EMD(现代重工发动机和机械分公司)和MES(三井工程造船)都称，他们将通过把现有发动机产品临时改装成ME-GI发动机装置以全尺寸地展示ME-GI的原理。相应地，现代重工打算于2012年11月改装一台8S70ME-GI发动机；三井工程造船将在2013年二季度改装一台6S70ME-GI发动机。

ME-GI发动机系喷气、双燃料、低速柴油机，将作为液化天然气船或其他任何一种商船的主推进器，可以根据船载能源、相对成本和用户的爱好，以任何比例燃烧气体或燃油。MES的设计概念“Double Eco MAX”液化天然船将采用两台ME-GI发动机作为原动机，MES称，该机可以节省燃油成本30%并可降低 CO_2 排放。

由于燃油价格上涨，排放限制日趋严格，MAN Diesel & Turbo相信以气体为燃料的船舶将有很大发展。该公司的研究发现，由于ME-GI发动机拥有额外的废气再循环和废热回收模块，因此将有助于减少 CO_2、NO_x 和 SO_x 排放，从而满足IMO Tier III法规要求。该公司预计，ME-GI二冲程燃气发动机的潜在市场为液化天然气船和液化石油气船，集装箱船和其他从事固定贸易的远洋船。

(李积轩编译)

万方数据