



船用高速主机转速异常波动现象的分析

黄志远¹，陈天平²，曹士杰²

(92403 部队装备部，福建福州 300007，七一一研究所，201108)

摘 要：针对某船用高速主机转速异常波动的多类型现象带来的查找排除困难的问题，对该船机旁控制系统和主机遥控系统的调速控制原理进行了分析，并提出了转速波动现象排查的方法和步骤。实际检测表明，该机的故障系机旁控制系统位移传感器故障、主机遥控系统元件老化所引起。
关键词：高速船用主机；转速波动；机旁控制系统；主机遥控系统
中图分类号：TK428；TP27 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-4357(2011)04-0044-04

Analysis on Speed Abnormal Fluctuation of High-speed Marine Main Engine

Huang Zhiyuan¹, Chen Tianping², Cao Shijie²

(1. Equipment Department of 92403 Army, FujianFuzhou350007;
2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai201108)

Abstract: A high-speed marine main engine met with speed abnormal fluctuation and the causes have various possibilities and are difficulty to exclude the irrelevant ones. Analysis on the speed control principles of engine-beside control system and main engine remote-control system were carried out and the method and procedures to exclude the irrelevant causes were put forward. Actual detection results show that the failures are caused by the faults of engine-beside control system's displacement sensor and the aging of main engine remote-control system.
Keywords: high-speed marine main engine; speed fluctuation; engine-beside control system; main engine remote-control system

0 引 言

某型船在海上航行期间发生如下故障：

- (1) 航行期间，船用高速主机中的一台突然转速大范围波动；
- (2) 航行期间，操舵员突然发现航向偏左 x 度，操舵员在及时纠正航向时发现，该船高速主机中的一台的转速比设定转速大了 100 r/min 左右，正在驾驶室船员和机舱船员联系时，该主机转速又回到正常。之后的航行中没再发现该现象。但几天后的航行中，又在其他转速段出现相同现象。

该型船主机为 16 缸 4 冲程高速柴油机。该柴油机转速可在工作转速区间内快速响应控制系统要求稳定运行。转速的波动故障一般可分为柴油机机械故障和监控系统电器故障两大类。分析引起转速波动的故障原因必须先排除监控系统电器故障。本文主要分析主机遥控系统和机旁控制系统调速功能引起的转速波动故障。

1 主机转速控制原理

该船主机转速控制可由机旁控制系统和主机遥控系统控制实现，控制原理见图 1。

收稿日期：2010-08-25；修回日期：2011-02-16
作者简介：黄志远，(1966 -)，男，高级工程师，主要研究方向为舰船机电管理。

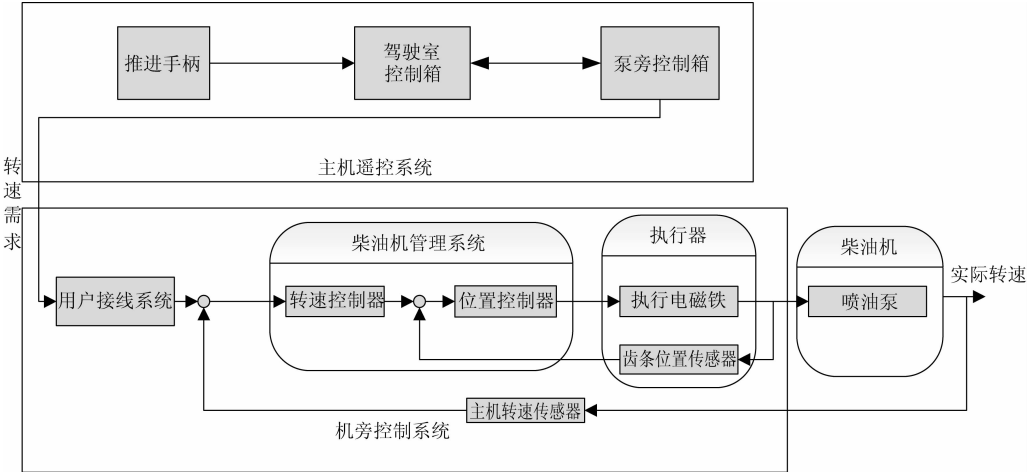


图 1 机旁控制系统

1. 1 机旁控制系统柴油机电子调速的工作原理

1. 1. 1 柴油机转速调节

柴油机管理系统包含一个调节电路，用于柴油机转速调节。柴油机转速调节的任务如下：

- (1) 当负载变化时，维持柴油机转速稳定；
- (2) 当设定值由操作者改变时，柴油机转速调节是通过改变喷油量来完成的。

柴油机管理系统对调速有影响的因素还有：

- (1) 设定柴油机起动时的供油限制位置；
- (2) 在安保停机情况下使柴油机自动停机；
- (3) 优化运行、排放值及燃油消耗；
- (4) 保护柴油机以防过载；
- (5) 在当前运行状况下，选择最佳限制供油率。

电子调速器由改变喷油量（供油量）控制柴油机的转速，这是通过精确控制调节完成的。柴油机调速器具有柴油机保护功能，如某些运行值和状态的功率限制（供油限制）。控制电路有两级：包括主转速/附供油齿条的两闭环控制、调节器。

柴油机电子调速原理如图 2 所示。

柴油机转速设置（标准值），如来自主机遥控系统。

传感器测量当前的柴油机转速，转速滤波器抑制外界干扰。滤后的柴油机转速值与设定的标准转速值进行比较。测量转速的两个冗余传感器，分别用于每台柴油机控制系统。调速器自控特性为：PID 特性（比例 + 积分 + 微分）。

调速器的特性值通过调整参数使其工作状态与动态匹配。串联的供油齿条调节器也是 PID 调节，经线性电磁铁调节/控制供油齿条的位置。标准燃油齿条位置为：根据供油限制和转速调节器输出变量的最小调整值；接收来自位移传感器供油齿条实

际位置的反馈信号。

用于测量燃油齿条位移传感器（为冗余系统）有两个测量系统。控制供油齿条的位置决定喷油泵的供油量，以便给柴油机供油。

1. 1. 2 柴油机转速设置

柴油机控制系统的转速设置有两种不同的方法：用机旁操作仪表板上的按钮或由控制信号来完成设置。转速设置信号不稳定也会引起转速波动。

(1) 由机旁操作仪表板手动设置：按钮“升速”/“降速”。需求转速可在空载转速和最大转速（最大额定转速）之间调节。

(2) 经信号线来设置：光耦输入“升速”/“降速”（开关量信号）。该方式的功能和结果与按相应按钮设置方法是相同的。

(3) 用于需求转速设置的模拟量输入（4 ~ 20 mA或 1 ~ 9 V）。需求转速可在空载转速和最大转速之间调节。柴油机控制系统按可配置速率调节其内部额定转速与转速设置值一致。

1. 1. 3 柴油机供油限制和转速变化

供油限制，即调整喷油限制，用于保护柴油机以防过载并将排烟减到最小。供油限制设定不合理或相关部件不能正常工作，也会造成转速波动。柴油机控制系统根据预设的限制参数和柴油机的特性曲线来决定最大时的喷油量（供油）。

用于计算供油限制的参数为：柴油机转速、增压器切入个数、增压空气压力、增压器低压的转速。

如果几个限制条件同时满足时，则最大要求的限制量被选中。

(1) 与转速相关的供油限制（DBR）

DBR 曲线依柴油机系列而定。TE 系列柴油机有 2 个 DBR 曲线。DBR 曲线的转换是根据增压器的切换状态而改变，如图 3 所示。

(2) 与增压器转速相关的供油限制的功能

如果增压器转速超过定义的最大转速(n_{max1}), 供油减少。一旦增压器超过第二转速极限(n_{max2}),

控制系统通过快速激励终端控制元件的线圈使供油迅速减少到“0”。当增压器转速返回到允许范围内时, 则再次按 DBR 曲线供油, 如图 4 所示。

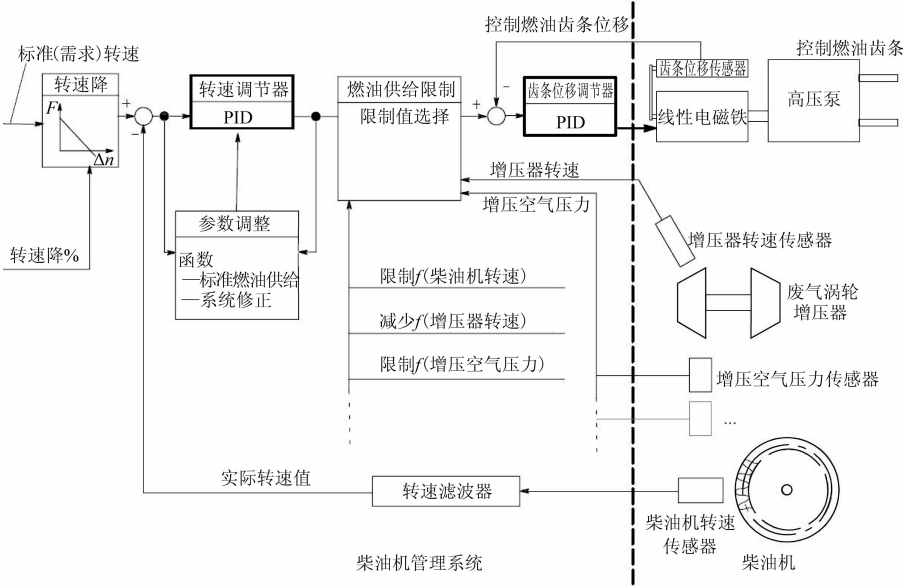


图 2 柴油机电子调速的工作原理

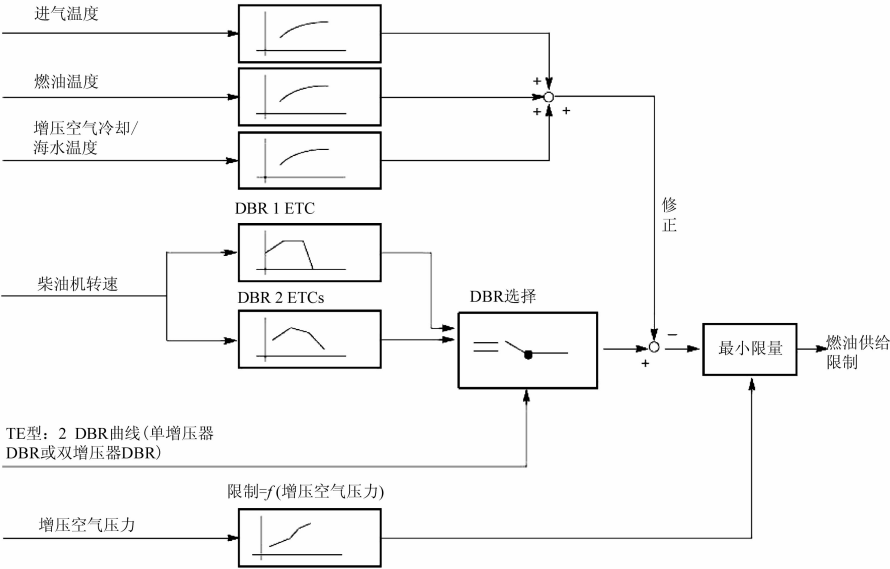


图 3 供油限制选择的工作原理

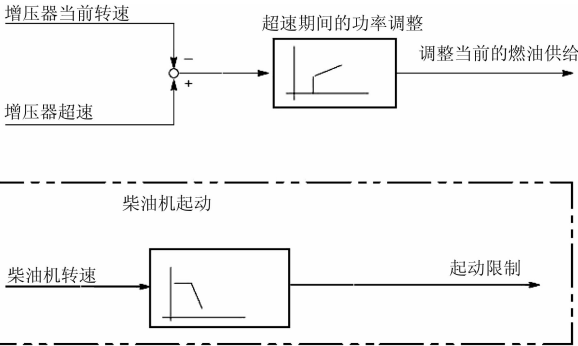


图 4 增压器转速供油限制选择、起动供油限制的工作原理

(3) 附加校正因素

每个进气测量点、增压空气冷却、生水和燃油温度, 均提供一校正曲线并将合成的组合减小值从当前极限值中减去。

1.1.4 传感器

该船主机转速由磁感式转速传感器来获取。传感器故障会形成错误反馈, 造成主机波动。该传感器安装在柴油机辅助 PTO 端的齿轮壳体上。一个转速传感器在轴线上装有两个独立的感应式线圈, 传感器线圈的连接端子分别连接在传感器插座上,

以便转速信号的冗余处理。输出信号为 AC 电压，其频率与柴油机转速成正比例。供油齿条位移信号由磁感应式位移传感器提供。该传感器获取电调执行机构上轴向的位移量。

(1) 测量原理

传感器是一个插动式变压器，有一个初、次级线圈和一个可移动的铁芯。移动的铁芯将改变次级线圈上的电压变化率；该电压变化在初级线圈上激励一个稳定的 AC 电压，并由电子电路将该感应 AC 电压转换成 DC 电压，其电压值与位移量成正比例。

(2) 测量值的处理

由印刷电路板进行中央数据的处理：采集和处理传感器的信号；产生并输出控制执行器的信号；与柴油机管理系统外部的其它电子部件进行数据交换。

1.2 主机遥控系统柴油机转速需求信号

主机遥控系统通过推进手柄的推进位置对主机转速进行控制，此时手柄给出的转速需求就是机旁柴油机调速系统的标准转速。手柄推进位置通过电位器和调理电路转换为标准的直流\电压信号提供给机旁控制箱。推动手柄从倒车到正车各挡的变化，可以测量分析转速需求信号是否正常。

2 检查步骤

综上所述，引起转速波动的故障原因很复杂，既有柴油机机械本身引起的转速波动故障，也有机旁调速系统或主机遥控系统引起的故障。机械引起的转速波动不在本文中分析。通过上面对该船主机遥控系统和机旁控制系统工作原理的分析，转速波动故障可以按图 5 进行检查排除。

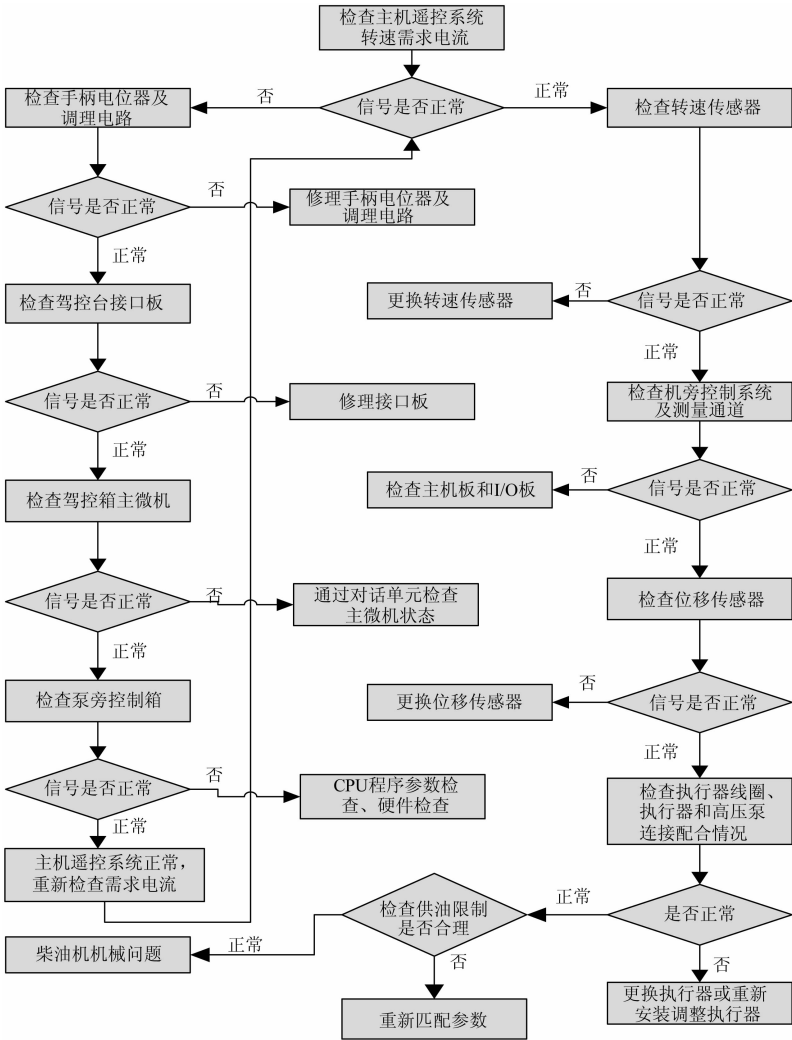


图 5 转速波动故障检查分析流程图

根据流程图，首先检查主机遥控系统给出的转速需求电流是否正常；其次，则是主机机旁控制系统(包括传感器和执行器)或机械部件引起的转速

波动故障；反之，则是主机遥控系统引起的转速波动故障。

(下转第 57 页)

大振动速度，满足 CCS 规范要求。

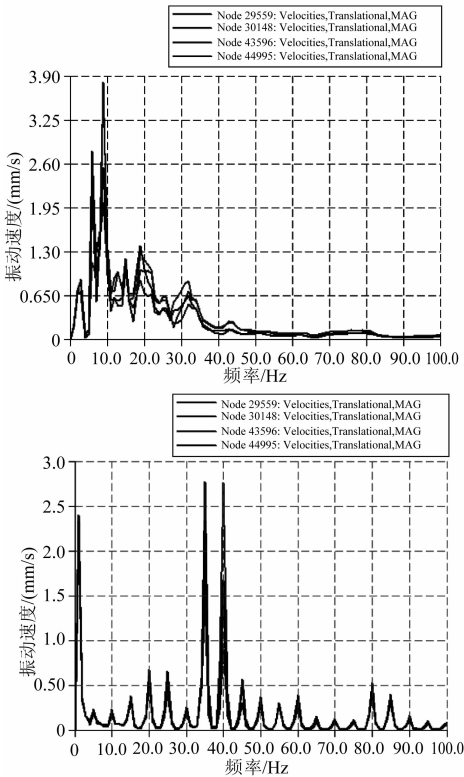


图 6 螺旋桨和主机激励下关键点的振动速度谱

4 结 论

全船的振动评估，对于整船设备的布置和船体的优化有着非常重要的意义，可以避免装船后的修改和拆装。有限元模型的建立和简化至关重要，将直接影响到计算结果的准确性；模态分析时尽量采用子空间法，节省时间，可以去除众多的局部振动，同时考虑附连水质量；振动响应计算是最终目标，工况和相应的载荷是计算的关键，合理的阻尼

系数对结果影响也较明显，在评估结果时，需要选取具有代表性的关键点。

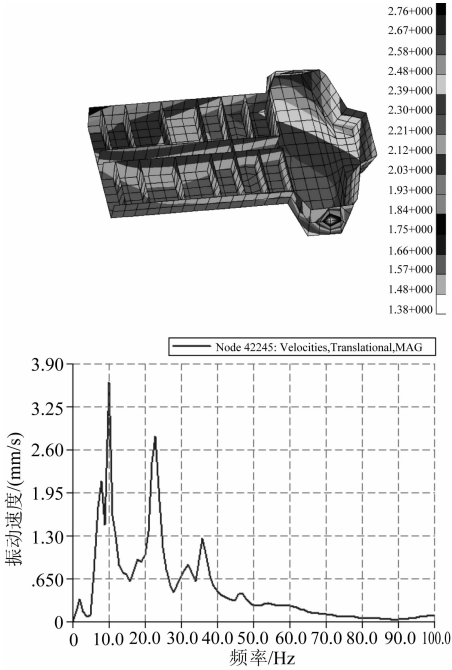


图 7 某层甲板的速度云图及振动速度谱

参考文献

[1] 吴嘉蒙. 集装箱船的振动与响应评估[J]. 上海造船, 2009(4):14-18.

[2] 周炎,李国刚,童宗鹏. 船舶低噪声设计技术研究[J]. 上海造船,2010(1).

[3] 中国船级社. 船上振动控制指南[M]. 北京:人民交通出版社,2000.

[4] 中国船舶工业总公司. 船舶设计实用手册[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

[5] 姚熊亮. 船体振动[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社 2008.

(上接第 47 页)

3 故障分析结果

文章开始提到的转速波动故障，经过电气维修人员的检查发现：第一个故障是机旁控制系统中位移传感器损坏引起的转速波动。

维修人员通过高频示波器分析手柄输出信号、CAN 通讯信号、转换单元信号等，发现第二个故障是主机遥控系统程序调用参数因元器件老化而偶发变化所引起的转速短时波动。因该故障属于孤立偶发故障，生产厂家通过更换新器件解决故障。

4 结 论

通过对整船动力系统的分析可以看出，控制转速平稳运行的因素很多并且复杂，关联系统较多，供油限制异常、增压器切换异常、燃油系统进气等都会引起转速波动。因此，在转速发生波动时，首先需分清楚是故障引起的波动还是柴油机工作特性引起的短时波动。如该船试航期间，由于船员对该型主机的缸排断油功能不熟悉，会把主机正常功能当成主机出现转速波动故障。因此，对排除转速波动故障需详细分析故障情况，从系统整体出发，逐步排查，直至发现问题并解决。