



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105737922 B

(45)授权公告日 2018.09.25

(21)申请号 201610051864.5

(22)申请日 2016.01.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105737922 A

(43)申请公布日 2016.07.06

(73)专利权人 中国船舶工业系统工程研究院  
地址 100096 北京市海淀区翠微路16号(本部)

(72)发明人 魏慕恒 何晓 邱伯华 蒋云鹏  
朱武 刘成明

(74)专利代理机构 北京天达知识产权代理事务所(普通合伙) 11386  
代理人 马东伟 路传亮

(51)Int.Cl.  
G01F 9/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 101013064 A,2007.08.08,  
CN 203024815 U,2013.06.26,  
CN 203116783 U,2013.08.07,  
CN 104266703 A,2015.01.07,  
CN 201593454 U,2010.09.29,  
US 2006/0089781 A1,2006.04.27,  
FR 2918171 B1,2009.01.02,

审查员 郑涛

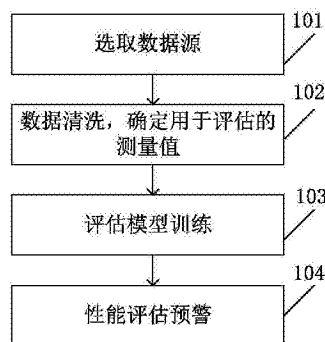
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置,其中方法包括:选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s$ ;根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\hat{g}_e(s)$ ;最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*,) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $S$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in S)$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。



1. 一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法,包括:获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗量测量值,以及与转速相关的低速柴油机每小时各时刻的输出功率测量值及转速测量值;从上述各时刻的测量值中选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,其特征在于,还包括:得到对应时刻内的转速测量值 $s$ ;

根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\hat{g}_e(s)$ ;进一步利用非线性函数拟合 $\hat{g}_e(s)$ 对应测量,最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;

根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $\bar{S}$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in \bar{S})$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,

利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗测量值,利用轴功率仪测量与转速相关的每小时各时刻的输出功率测量值以及转速测量值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据如下公式计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率

$$g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

其中, $g_e$ 为与转速 $s$ 相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声, $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ ; $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ ; $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率后,还包括:

利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $\bar{T}$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值的过程具体包括:

利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha=0.05$ ,计算在各采样时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量 $T$ :

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数, $S$ 为样本标准差, $n$ 为样本容量,由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha=0.05$ 的

假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值,即燃油消耗率奇异值)。

6. 一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警装置,其特征在于,包括:

数据处理模块,用于获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗量测量值,以及与转速相关的低速柴油机每小时各时刻的输出功率测量值及转速测量值;从上述各时刻的测量值中选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s$ ;

模型建立模块,用于根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\hat{g}_e(s)$ ;进一步利用非线性函数拟合 $\hat{g}_e(s)$ 对应测量,最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;

预警模块,用于根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $S$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in S)$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。

7. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,

利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗测量值并输入数据获取模块,利用轴功率仪测量与转速相关的每小时各时刻的输出功率测量值以及转速测量值并输入数据获取模块。

8. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述数据处理模块根据如下公式计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率

$$g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

其中, $g_e$ 为与转速 $s$ 相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声, $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ ; $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ ; $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

9. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述数据处理模块还用于,计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率后,利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $\bar{T}$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

10. 根据权利要求9所述的装置,其特征在于,所述数据处理模块具体用于,利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha = 0.05$ ,计算在 $k$ 时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量 $T$ :

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数, $S$ 为样本标准差, $n$ 为样本容量,由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha = 0.05$ 的假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值,即燃油消耗率奇异值。

## 船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及船舶技术领域,尤其涉及一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置。

### 背景技术

[0002] 船舶作为交通运输中运量较大的运输工具,其营运成本中的40-60%为燃油消耗,其中,最常见的船舶主机即为低速柴油机,作为船舶的动力“心脏”,其燃油消耗通常占全船燃油消耗的90%以上;以一艘远洋万吨轮为例,其每航行一天的低速柴油机燃油消耗达20-30余吨,极大影响着航运企业的船舶运营成本,尤其是在目前航运市场持续低迷的市场环境中,如何降本增效,成为各航运企业用户关心的重点;同时,燃油消耗与污染物的排放密切相关,过多的燃油消耗将必然导致氮氧化物排放的增加,影响运输海域的海洋大气环境。

[0003] 因此,如何有效控制低速柴油机燃油消耗成本、准确评价低速柴油机经济性能、控制低速柴油机燃油消耗排放等,成为航运用户目前极为关心并亟待解决的问题。对于船舶低速柴油机而言,燃油消耗率是评判柴油机性能优劣的重要指标之一,它直接关系到柴油机的经济性、排放指标及可靠性,能够在船舶实际运行过程中,做好对于低速柴油机的燃油消耗率评估极具现实意义。

[0004] 对于低速柴油机的燃油消耗率评估,最常见的方法为:

[0005] 1) 在出厂前,由主机制造厂商通过台架试验中施加一定扭矩方式进行离线测量、标定的离线标示形式,确定低速柴油机出厂燃油消耗率指标与设计曲线;这种方式的缺陷在于,台架试验测量值和主机设计曲线能够表明的只是柴油机出厂前的理想经济性能状态,无法客观、实时反映出船舶实际运行时的真实经济性能状态。

[0006] 2) 在船舶运行过程中,若没有配备能精确计量燃油油量消耗的装置,只能依靠手工进行离线测量、记录燃油消耗率统计量;这种方式的缺陷在于,只能粗略估计柴油机运行过程中的燃油消耗情况,评估的偏差较大。

[0007] 3) 在船舶运行过程中,若配备能精确计量燃油油量消耗的装置,通常方法是监测瞬时燃油消耗量,并估计一定时间内的平均燃油消耗率等;这种方式的缺陷在于,缺少实时数据分析工具,不能时刻通过定量的方式来判断柴油机是否处于正常运行状态,较难为船员对于柴油机实时的经济性能做出准确评价。

[0008] 可以说,目前的技术方案中,尚无根据船舶运行过程实时测量的低速柴油机燃油消耗数据进行定量的燃油消耗率预警方法。

### 发明内容

[0009] 鉴于上述的分析,本发明旨在提供一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置,用以解决现有技术中尚无根据船舶运行过程实时测量的低速柴油机燃油消耗数据进行定量的燃油消耗率评估的问题。

[0010] 本发明的目的主要是通过以下技术方案实现的:

[0011] 本发明提供了一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法,包括:

[0012] 获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗量测量值,以及与转速相关的低速柴油机每小时各时刻的输出功率测量值及转速测量值;

[0013] 从上述各时刻的测量值中选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s$ ;

[0014] 根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\hat{g}_e(s)$ ;进一步利用非线性函数拟合 $\hat{g}_e(s)$ 对应测量,最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;

[0015] 根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $\bar{S}$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in \bar{S})$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。

[0016] 进一步地,利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗测量值,利用轴功率仪测量与转速相关的每小时各时刻的输出功率测量值以及转速测量值。

[0017] 进一步地,根据如下公式计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率

$$[0018] \quad g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

[0019] 其中, $g_e$ 为与转速 $s$ 相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声, $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ ; $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ ; $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

[0020] 进一步地,计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率后,还包括:

[0021] 利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $\bar{T}$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

[0022] 进一步地,去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值的过程具体包括:

[0023] 利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha = 0.05$ ,计算在 $k$ 时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量 $T$

$$[0024] \quad T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

[0025] 其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数, $S$ 为样本标准差, $n$ 为样本容量,由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha =$

0.05的假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值,即燃油消耗率奇异值)。

[0026] 本发明还提供了一种数据驱动的船舶低速柴油机燃油消耗率预警装置,包括:

[0027] 数据处理模块,用于获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗量测量值,以及与转速相关的低速柴油机每小时各时刻的输出功率测量值及转速测量值;从上述各时刻的测量值中选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s$ ;

[0028] 模型建立模块,用于根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\bar{g}_e(s)$ ;进一步利用非线性函数拟合 $\bar{g}_e(s)$ 对应测量,最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;

[0029] 预警模块,用于根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $\bar{S}$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in \bar{S})$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。

[0030] 进一步地,利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗测量值并输入数据获取模块,利用轴功率仪测量与转速相关的每小时各时刻的输出功率测量值以及转速测量值并输入数据获取模块。

[0031] 进一步地,所述数据处理模块根据如下公式计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率

$$[0032] \quad g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

[0033] 其中, $g_e$ 为与转速 $s$ 相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声, $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ ; $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ ; $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

[0034] 进一步地,所述数据处理模块还用于,计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率后,利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $T$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in T)$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in T)$ 。

[0035] 进一步地,所述数据处理模块具体用于,利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha=0.05$ ,计算在各采样时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量 $T$ :

$$[0036] \quad T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

[0037] 其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数, $S$ 为样本标准差, $n$ 为样本容量,由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha=0.05$ 的假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值,即燃油消耗率奇异值。

[0038] 本发明有益效果如下:

[0039] 本发明是全新的、基于实时数据分析与建模获得的低速柴油机燃油消耗率评估模型,更加符合船舶运行实际过程,可用于准确评估低速柴油机在船舶实际航行中的性能并发出预警;同时可以通过基于实际数据获得的低速柴油机燃油消耗率评估模型,可以有效评价不同厂家生产的低速柴油机出厂开始运行后的实际性能,由此,提供低速柴油机出厂后的性能评价依据。

[0040] 本发明的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分的从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

## 附图说明

[0041] 附图仅用于示出具体实施例的目的,而并不认为是对本发明的限制,在整个附图中,相同的参考符号表示相同的部件。

[0042] 图1为本发明实施例所述方法的流程示意图;

[0043] 图2为本发明实施例所述方法中,“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ 示意图;

[0044] 图3为本发明实施例所述方法中,“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ 在各转速下的估计误差示意图;

[0045] 图4为本发明实施例所述装置的结构示意图。

## 具体实施方式

[0046] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理。

[0047] 通常,低速柴油机出厂台架试验会给定柴油机额定功率下的燃油消耗率单值,作为评价该机器性能的关键指标。然而,当低速柴油机装船后实际运行时,其燃油消耗率随实时转速的变化而变化,即,航行中的低速柴油机燃油消耗率 $g_e$ 是关于转速 $s$ 的非线性函数,且燃油消耗率与柴油机功率均与转速相关。因此,燃油消耗率与转速的关系模型描述如下:

$$[0048] \quad g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

[0049] 式中, $g_e$ 为与转速 $s$ (单位rpm,转每分)相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声; $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ , $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ , $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

[0050] 其中,转速 $s$ 为从主机监测报警系统中取得的主机转速测量值,带噪声 $\epsilon_{g_e,t}$ 的燃油消耗量 $G_e$ 实际测量值通过电子式质量流量计测量获得,带噪声 $\epsilon_{N_e,t}$ 的输出功率 $N_e$ 实际测量值通过轴功率仪测量获得。本公式旨在说明如何通过燃油消耗量函数与输出功率函数获得燃油消耗率模型函数。其中,燃油消耗量函数与转速相关,可以通过流量计测量获得,同时,通过流量计获得测量时必须考虑噪声;输出功率函数与转速相关,可以通过轴功率仪测量获得,同时,通过轴功率仪获得测量时必须考虑噪声。因此,根据本公式,可以通过流量计获得测量与轴功率仪获得测量计算出燃油消耗率。

[0051] 由此,低速柴油机燃油消耗率的评估问题描述为确定燃油消耗率与转速的关系模型 $g_e(s; \epsilon_{g_e,t})$ 。同时,为反映船舶低速柴油机在航过程中的真实性能状态,采用实船数据驱动方法在线训练燃油消耗率与转速的关系模型,从而获得在航中的实际最佳转速及对应消耗状态,并为船舶航行过程中的低速柴油机性能实时评估提供指导依据。

[0052] 如图1所示,图1为本发明实施例所述方法的流程示意图,具体可以包括如下步骤:

[0053] 步骤101:选取数据源

[0054] 选择合适的传感器,获得与转速相关的每小时燃油消耗量在各时刻的测量值 $G_e(s, t; \epsilon_{G_e,t})$ ,以及与转速相关的低速柴油机输出功率在各时刻的测量值 $N_e(s, t; \epsilon_{N_e,t})$ 。例如,利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时燃油消耗量在各时刻的测量值 $G_e(s, t; \epsilon_{G_e,t})$ ,利用轴功率仪测量与转速相关的低速柴油机输出功率在各时刻的测量值 $N_e(s, t; \epsilon_{N_e,t})$ 。

[0055] 步骤102:数据清洗,确定用于评估的测量值

[0056] 选定稳定在航时(转速 $s \neq 0$  (rpm))的每小时燃油消耗量测量值 $G_e(s, t; \epsilon_{G_e,t}, s \neq 0)$ 与低速柴油机输出功率测量值 $N_e(s, t; \epsilon_{N_e,t}, s \neq 0)$ ,按照下式计算对应时刻、与转速相关的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0)$

$$[0057] \quad g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0) = \frac{G_e(s, t; \epsilon_{G_e,t}, s \neq 0) \times 10^3}{N_e(s, t; \epsilon_{N_e,t}, s \neq 0)} (g/kW \cdot h)$$

[0058] 利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $\bar{T}$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

[0059] 其中,利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值的过程包括:假设燃油消耗率实测计算值当中的噪声满足正态规律,奇异值就是置信区间之外的点。如何去除:统计检验方法采用的是t-test方法。

[0060] 具体方式:利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha = 0.05$ ,计算在各采样时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量T:

$$[0061] \quad T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

[0062] 其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数,S为样本标准差,n为样本容量。由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha = 0.05$ 的假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值(即燃油消耗率奇异值),获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,其中, $\bar{T}$ 为船舶在航中的平稳运行过程采样时间范围,同时,也可选取出对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

[0063] 步骤103:评估模型训练

[0064] 训练数据驱动的“转速-燃油消耗率”评估模型;即:根据在航平稳运行过程中的转



速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 与燃油消耗率测量值 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e, t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ , 建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系; 并训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量值获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\tilde{g}_e(s)$ ; 同时, 进一步利用非线性函数拟合 $\tilde{g}_e(s)$ 对应测量, 进而最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ 。

[0065] 步骤104: 性能评估预警

[0066] 根据数据驱动的“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ , 找到在航中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$  以及对应的转速 $s^*$ ; 同时, 给出各典型转速工况 $\bar{S}$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in \bar{S})$ , 为船员在航时的低速柴油机性能评估预警做出参考; 例如以置信度为0.05 (评估模型输出值上下浮动5%) 为标准, 若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$  偏差超过5%, 则说明需要关注机器的性能, 从而为低速柴油机的维护提供决策支持。

[0067] 为了便于理解本发明实施例所述方法, 下面对一台投入船舶使用的低速柴油机 (品牌为MAN, 型号为5S60ME) 进行为期一个月 (2015年8月5日-2015年9月5日) 的实船测量, 获得按照Step1-4的结果如下:

[0068] 在Step1中, 利用电子式质量流量计获得燃油消耗量测量值 $G_e(s, t; \epsilon_{G_e, t})$ 、利用轴功率仪获得输出功率测量值 $N_e(s, t; \epsilon_{N_e, t})$ 和转速测量值 $s$ 。

[0069] 利用Step 2-Step 3获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$  示意图, 如图2所示

[0070] 并计算“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$  在各转速下的估计误差

[0071]  $\Delta g_e = g_e(s)$  输出值 -  $g_e(s, t; \epsilon_{g_e, t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$  测量值

[0072] 获得估计误差如图3所示, 图3为“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$  在各转速下的估计误差示意图, 显示了Step 3获得最终“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$  在各转速下的估计误差 $\Delta g_e$ , 且所有的 $\Delta g_e < 0.035$ , 即所有的误差百分比均小于3.5%; 同时, 经过计算获得 $\Delta g_e$ 的均值为0.008, 即误差百分比均值为0.8%。可表明“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$  的估计精度非常准确。

[0073] Step 4结果:

[0074] 根据图2可得, 目前此台低速柴油机运行的最经济点 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$  为: 转速 $s^* = 84.53\text{rpm}$ , 燃油效率 $g_e(s^*) = 189.5\text{g/Kwh}$ , 功率 $N_e(s^*) = 6588\text{Kw}$ 。

[0075] 同时, 我们给出该机器实际运行中典型运行转速下的燃油消耗率对照表供参考:

[0076]

典型转速	40	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	RPM
燃油效率	230.1	217.4	211.5	206.0	200.9	196.5	192.8	190.4	189.5	191.1	196.1	g/Kwh

[0077] 该表为船员在航时的低速柴油机性能评估预警做出参考; 同时, 以置信度为0.05 (评估模型输出值上下浮动5%) 为标准, 若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$  偏差超过5%, 则需要关注机器的性能, 从而为低速柴油机的维护提供预警支持。

[0078] 接下来对本发明实施例所述装置进行详细说明。

[0079] 如图4所示, 图4为本发明实施例所述装置的结构示意图, 具体可以包括:

[0080] 数据处理模块,用于获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗量测量值,以及与转速相关的低速柴油机每小时各时刻的输出功率测量值及转速测量值;从上述各时刻的测量值中选定用于评估的测量值,得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率 $g_e$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s$ ;其中,利用电子式质量流量计测量获得与转速相关的每小时各时刻的燃油消耗测量值并输入数据获取模块,利用轴功率仪测量与转速相关的每小时各时刻的输出功率测量值以及转速测量值并输入数据获取模块。

[0081] 数据处理模块根据如下公式计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率

$$[0082] \quad g_e(s; \epsilon_{g_e,t}) = \frac{G_e(s; \epsilon_{G_e,t}) \times 10^3}{N_e(s; \epsilon_{N_e,t})} (g/kW \cdot h)$$

[0083] 其中, $g_e$ 为与转速 $s$ 相关的低速柴油机燃油消耗率模型函数,数值单位 $g/kW \cdot h$ , $\epsilon_{g_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗率模型误差噪声, $G_e$ 为与转速相关的每小时燃油消耗量函数,数值单位 $kg/h$ ; $\epsilon_{G_e,t}$ 为不同时刻的燃油消耗量误差噪声; $N_e$ 为与转速相关的输出功率函数,数值单位 $kW$ ; $\epsilon_{N_e,t}$ 为不同时刻的输出功率误差噪声。

[0084] 其中,所述数据处理模块还用于,计算得到在航平稳运行过程中对应时刻的与转速相关的燃油消耗率后,利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,找到在航平稳运行过程范围 $\bar{T}$ ,获得平稳运行过程中的燃油消耗率 $g_e(s, t; \epsilon_{g_e,t}, s \neq 0, t \in \bar{T})$ ,以及对应时刻内的转速测量值 $s(t; s \neq 0, t \in \bar{T})$ 。

[0085] 本发明实施例中,利用统计检验方法去除在航期间与转速相关的燃油消耗率奇异值,就是利用t-test的假设检验方式为,设置检验水平 $\alpha=0.05$ ,计算在各采样时刻燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 的检验统计量T

$$[0086] \quad T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (4)$$

[0087] 其中, $\bar{X}$ 为样本平均数, $\mu_0$ 假设样本的总体平均数, $S$ 为样本标准差, $n$ 为样本容量,由此,确定每个燃油消耗率样本值 $g_e(s, t_k; \epsilon_{g_e,t_k}, s \neq 0)$ 是否能够通过t-test检验水平 $\alpha=0.05$ 的假设检验,从而去除掉不通过检验的样本值,即燃油消耗率奇异值。

[0088] 模型建立模块,用于根据在航平稳运行过程中的转速测量值 $s$ 与燃油消耗率测量值 $g_e$ ,建立 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系;并通过训练 $s$ 与 $g_e$ 的二维测量关联关系获得“转速-燃油消耗率”评估模型 $\hat{g}_e(s)$ ;进一步利用非线性函数拟合 $\hat{g}_e(s)$ 对应测量,最终得到“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ;

[0089] 预警模块,用于根据所述“转速-燃油消耗率”评估模型 $g_e(s)$ ,找到在航平稳运行过程中燃油消耗率最小值 $g_e(s^*) = \min g_e(s)$ 以及对应的转速 $s^*$ ;同时,给出各典型转速工况 $\bar{S}$ 下的燃油消耗率 $g_e(s; s \in \bar{S})$ ,若实际在航的低速柴油机燃油消耗率与对应转速的评估模型 $g_e(s)$ 偏差超过预定值,则发出预警。

[0090] 需要说明的时候,本发明实施例所述装置的具体实现过程,由于方法中已做详细说明,故此处不再赘述。

[0091] 综上所述,本发明实施例提供了一种船舶低速柴油机燃油消耗率预警方法及装置,通过电子式燃油流量计和轴功率仪是目前最能准确获取船舶实际在航当时实时的低速柴油机燃油消耗率测量值方式;通过统计检验方式,能够有效划分出低速柴油机稳定在航的运行过程,并有效去除影响低速柴油机燃油消耗率评估精度的奇异值、尽可能滤去过大测量噪声;通过数据驱动的低速柴油机燃油消耗率评估模型,能够准确建立起船舶实际运行过程中低速柴油机转速与燃油消耗率之间的关系,且模型的评估误差平均值为0.8%,可以极为精确地评估出低速柴油机的在航燃油消耗率;基于准确的低速柴油机燃油消耗率评估模型,可以给出低速柴油机在航运行的最经济点及各典型工况下的燃油消耗率,从而为船员在航时的低速柴油机经济性能评估做出准确参考,并从性能评估方面,通过运行偏差的比较,为低速柴油机的维护提供预警支持。

[0092] 本发明有别于传统低速柴油机台架试验的离线测量评估或按设计结构离线标定方式,本发明是全新的、基于实时数据分析与建模获得的低速柴油机燃油消耗率评估模型,更加符合船舶运行实际过程,可用于准确评估低速柴油机在船舶实际航行中的性能并发出预警;同时可以通过基于实际数据获得的低速柴油机燃油消耗率评估模型,可以有效评价不同厂家生产的低速柴油机出厂开始运行后的实际性能,由此,提供低速柴油机出厂后的性能评价依据。

[0093] 本领域技术人员可以理解,实现上述实施例方法的全部或部分流程,可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于计算机可读存储介质中。其中,所述计算机可读存储介质为磁盘、光盘、只读存储记忆体或随机存储记忆体等。

[0094] 虽然已经详细说明了本发明及其优点,但是应当理解在不超出由所附的权利要求所限定的本发明的精神和范围的情况下可以进行各种改变、替代和变换。而且,本申请的范围不仅限于说明书所描述的过程、设备、手段、方法和步骤的具体实施例。本领域内的普通技术人员从本发明的公开内容将容易理解,根据本发明可以使用执行与在此所述的相应实施例基本相同的功能或者获得与其基本相同的结果的、现有和将来要被开发的过程、设备、手段、方法或者步骤。因此,所附的权利要求旨在它们的范围内包括这样的过程、设备、手段、方法或者步骤。

[0095] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

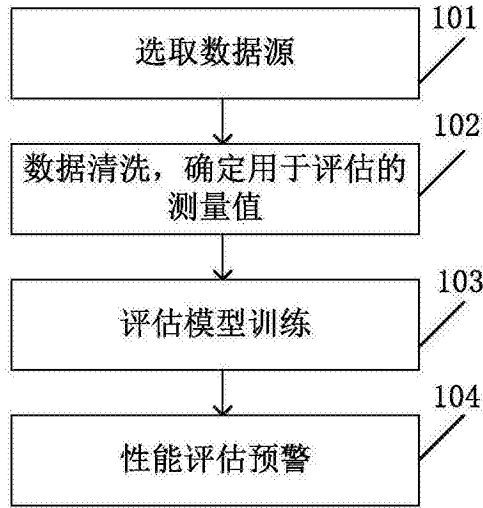


图1

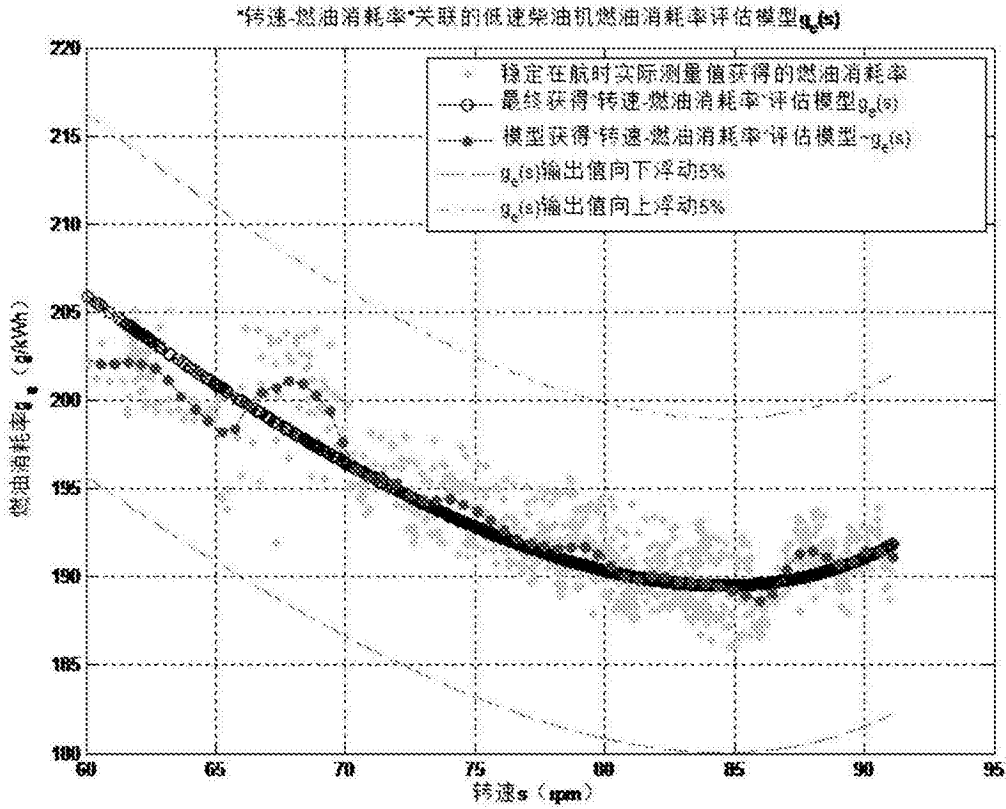


图2

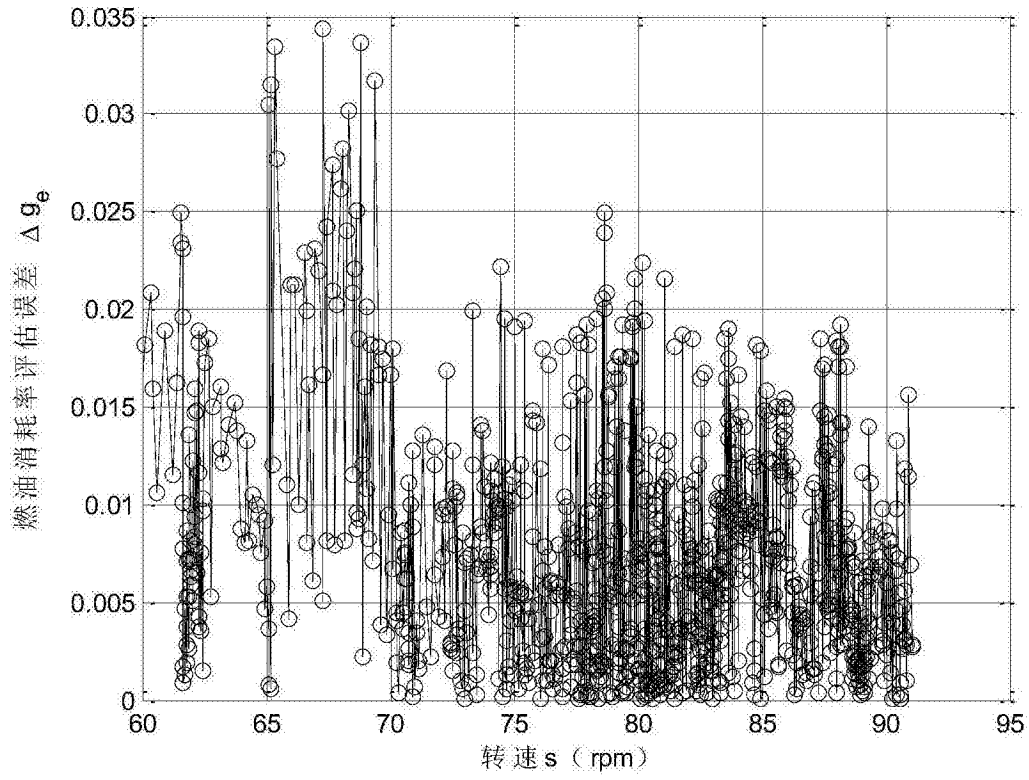


图3

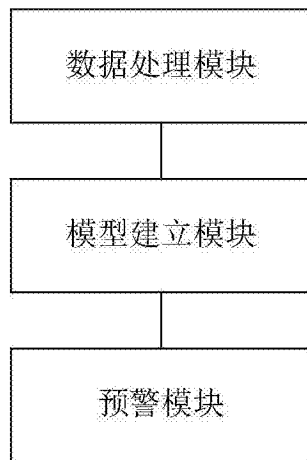


图4