

# 基于Web的船舶主机遥控操作 实训网络教学仿真系统研究

沈智鹏, 梁金山, 张 宁

(大连海事大学船舶电气工程学院, 辽宁 大连 116026)

**【摘要】** 针对传统船舶主机遥控仿真系统存在的不足, 提出一种基于Web的船舶主机遥控操作实训网络教学仿真系统。以ACC20型主机遥控系统为研究对象, 根据其结构和功能进行模块划分, 同时对船舶柴油主机进行数学建模, 配合主机遥控系统输出状态曲线。采用Web前端技术对系统进行仿真还原, 实现了通过网络登录系统, 打破了传统仿真系统所受到的时间、空间上的限制, 可用于网络教学和操作实训, 有助于提高学生对实船的操作能力。

**【关键词】** 主机遥控系统; 船舶主机; Web; 网络教学; 仿真系统

**【中图分类号】** G642 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2095-5065 (2019) 10-0049-05

## 0 引言

船舶主机遥控系统是船舶主机正常运行的安全保障, 对船舶航行安全性、可靠性和可操作性至关重要, 已成为现代船舶不可或缺的重要组成部分。能够熟练掌握主机遥控系统的操作流程是海事类院校学生所需掌握的技能。然而, 主机遥

控系统种类复杂多样、实物占地面积大、操作成本高昂, 这些都限制了院校利用实船对学生进行实践教学。使用仿真系统可以克服上述问题、有限降低培训成本, 提高培训质量和效率<sup>[1]</sup>。因此, 对于主机遥控系统的仿真成了研究的热点问题。

近年来, 国内的一些高校相继推出了一系列主机遥控系统的仿真模拟器, 包括轮机模拟器和基于DSP、AB PLC、SoftPLC和LabVIEW等技术研发的仿真系统<sup>[2-6]</sup>。然而, 上述仿真系统均属于半实物仿真, 需要与特定的硬件设备配合使用, 受到空间的制约, 存在着一定的局限性, 无法实现大量的实训操作。

随着互联网技术的飞速发展, Web技术得到了普及, 其特有的B/S模式具有“零客户端”的特点, 可令使用者通过网络随时随地访问, 从而突破了空间的限制。目前, 已有学者将Web技术应用到船舶领域相关的仿真研究当中, 如基于Web的船舶动力装置虚拟操作训练系统、基于Web的船舶管理系统开发研究, 取得了较好的成效<sup>[7,8]</sup>。

收稿日期: 2019-6-30

作者简介: 沈智鹏 (1977—), 男, 福建永定人, 博士, 教授, 研究方向为船舶控制仿真与评估、自适应控制;

梁金山 (1996—), 男, 吉林四平人, 硕士研究生在读, 研究方向为船舶控制与仿真系统;

张宁 (1979—), 女, 黑龙江牡丹江人, 博士, 高级实验师, 研究方向为船舶控制与交互仿真技术。

基金项目: 2018年辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目“面向‘新工科’具有航运特色的自动化专业网络实践教学模式改革与平台构建”(项目编号: 暂无); 2018年大连海事大学教学改革项目“船舶机舱控制系统虚拟仿真网络教学平台的建设”(项目编号: 2018Y22)。

因此,本文提出了一种基于Web的船舶主机遥控操作实训网络教学仿真系统,通过Web技术还原主机遥控系统,从而突破了空间和时间的限制,可应用于海事类院校进行网络在线教学,演示主机遥控系统的操作流程,学生也可通过该系统进行实训操作。

## 1 系统总体设计与开发方案

### 1.1 系统总体设计

以挪威康斯伯格公司的 AutoChief C20型主机遥控系统为研究对象,采用模块化思想,根据系统的主要构成和工作原理将其分成主界面、驾驶台、集控室、集控室车钟、机旁、控制面板和气动操纵单元7个部分,实现操作部位切换、逻辑程序控制、转速与负荷控制、安全保护与应急操作和模拟实验5个主要功能。同时对船舶柴油主机进行数学建模,并根据数学模型绘制输入燃油齿条刻度和主机转速的输出曲线,方便分析主机性能和检验主机遥控系统控制效果。系统组成结构如图1所示。

### 1.2 系统开发方案

由于Web技术可突破客户端的限制,并具有

开发性强、拓展性好、集成性强等优点,仿真系统以Web前端技术作为基础,采用HTML+CSS+JavaScript网页设计标准进行界面的编写和制作<sup>[9]</sup>。HTML是超文本标记语言,可通过使用标记符号进行标记来实现网页各部分的划分,搭建出网页的主体框架。CSS是层叠样式表,起到优化界面布局的作用。JavaScript是一种直译式脚本语言,可为界面增加事件响应,实现人机交互。

## 2 船舶主机的数学建模

船舶主机是船舶动力的主要来源,也是主机遥控系统控制的对象。在对主机遥控系统进行仿真研究的同时,对主机进行数学建模也至关重要。笔者以被普遍使用的MAN B&W MC型船用柴油机为对象,采用准稳态建模方法对其进行数学建模。

### 2.1 螺旋桨推力和转矩计算

螺旋桨特性计算主要是对推力系数和转矩系数计算。采用回归计算方法求取推力系数 $C_T^*$ 和转矩系数 $C_Q^*$ :

$$C_T^* = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^{30} \{A(k) \cos(k\beta) + B(k) \cos(k\beta)\} \quad (1)$$

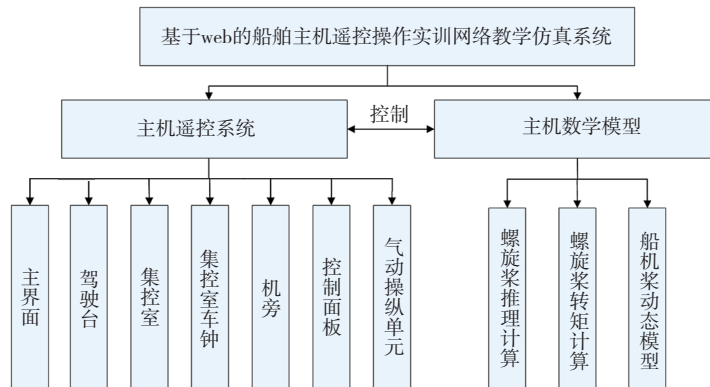


图1 系统组成结构

$$C_Q^* = -\frac{1}{1000} \sum_{k=1}^{30} \{A(k) \cos(k\beta) + B(k) \cos(k\beta)\} \quad (2)$$

定义 $\beta$ :

$$\beta = \arctan\left(\frac{V_p}{k_1 \pi n D}\right) \quad (3)$$

式中,  $V_p$ 为螺旋桨的进速,  $k_1$ 为系数,  $n$ 为柴油机的转速,  $D$ 为螺旋桨直径。

螺旋桨的有效推力 $T_{prop}$ 和负载转矩 $M_{prop}$ 为

$$T_{prop} = -\frac{\pi K_1}{8} (1-t) C_T^* \rho \{V a^2 + (k_1 \pi n D)^2\} D^2 \quad (4)$$

$$M_{prop} = -\frac{\pi K_2}{8} C_Q^* \rho \{V a^2 + (k_1 \pi n D)^2\} D^3 \quad (5)$$

式中,  $\rho$ 为海水密度,  $t$ 为推力减额系数,  $K_1$ ,  $K_2$ 和 $k_1$ 为系数<sup>[10]</sup>。

## 2.2 “船-机-桨”动态数学模型

船舶的实际运动方式是六自由度三维运动, 由于船舶运动控制并非本文研究重点, 可以适当对其进行简化, 假设船舶舵角为零, 且仅考虑船舶在x方向的运动。由此根据牛顿第二定律可知船舶运动的微分方程为

$$(m_{ship} + m_w) \frac{dV_s}{dt} = T_{prop} - R_{ship} \quad (6)$$

式中,  $m_{ship}$ 为船舶质量,  $m_w$ 为船舶附连水质量,  $R_{ship}$ 为船舶阻力。

在考虑机械摩擦对转矩影响的情况下, 柴油机转速的微分方程可根据达兰贝尔微分方程<sup>[11]</sup>得出:

$$\frac{\pi}{30} I \frac{dn}{dt} = M_{shaft} - M_{fric} - M_{prop} \quad (7)$$

式中,  $I$ 为动力装置的当量惯性矩(考虑到附带水的影响),  $M_{shaft}$ 为柴油机的输出转矩,  $M_{fric}$ 为柴油机与轴系因机械摩擦而损失的转矩<sup>[11]</sup>。

## 3 系统实现

系统的主界面如图2所示; 子系统界面如图3所示。

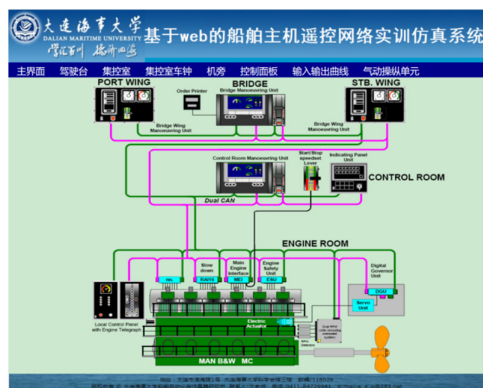
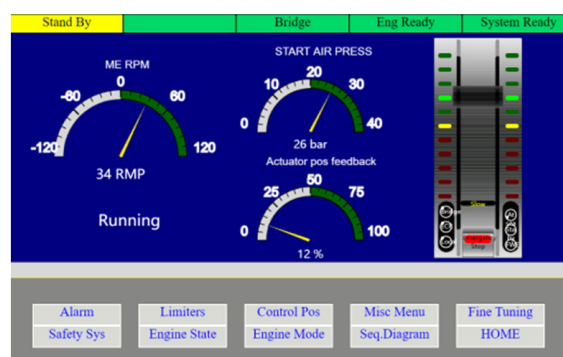
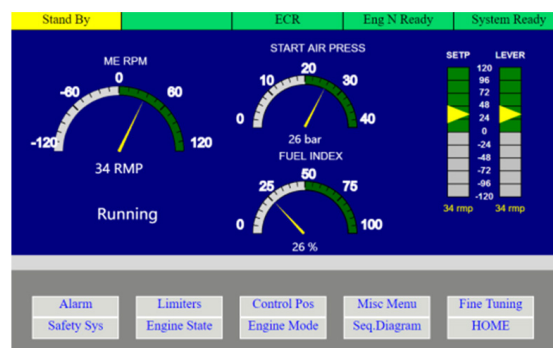


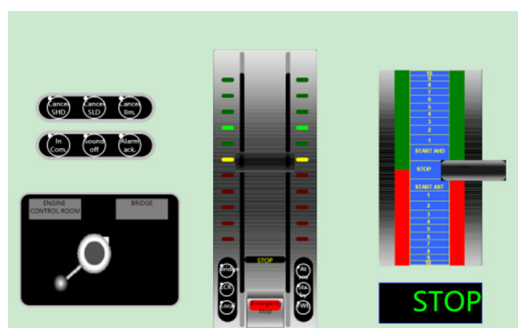
图2 系统主界面



(a) 驾控台界面

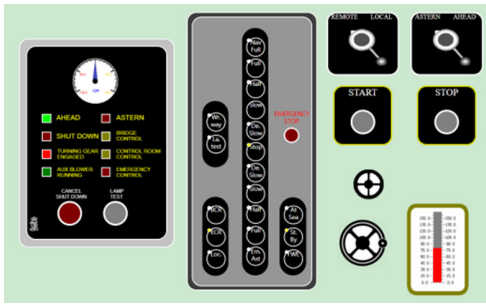


(b) 集控室界面

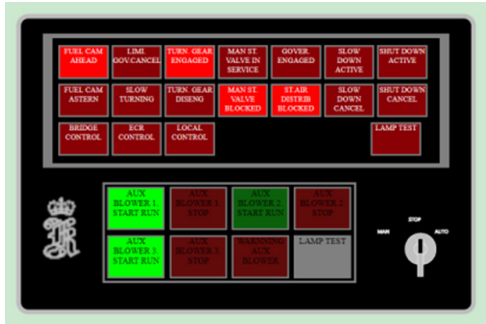


(c) 集控室车钟界面

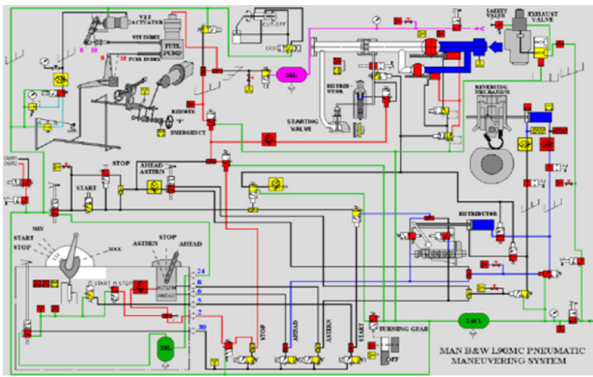
图3 子系统界面



(d) 机旁界面



(e) 控制面板界面



(f) 气动操纵单元界面

图3 子系统界面 (续)

图2中，上侧为系统名称和导航栏，用户可通过点击导航栏中的标识进入到对应的子界面中；中间为主机遥控系统的主要构成图，用户也可通过点击图中的标识进入到对应的子界面中。

驾驶台界面如图3(a)所示，界面上方为状态栏，显示主机遥控系统的当前状态；中间3个显示仪表依次为主机转速、起动空气压力和执行机构反馈；右侧为驾驶台的车钟和车令手柄，可实现驾驶台与集控室之间的车令传送和应答；车钟的下部为“紧急停车”按钮，在紧急情况下可按

下此按钮实现停车；左侧为操作部位提示，右侧为辅助车钟；界面下方是操作按钮，点击按钮可进入对应的功能界面中。

集控室界面如图3(b)所示，界面中间的3个显示仪表为主机转速、起动空气压力和燃油指数。右侧的两个刻度分别为当前的主机实际转速和车令设定转速。集控室车钟界面如图3(c)所示，中间为集控室的车钟，因为当前驾控室车令手柄位于Slow的位置，所以集控室车令记录装置对应Slow挡位的指示灯亮起；界面左侧为功能按键和操作部位切换装置，可在集控室和驾驶台之间进行切换；界面右侧为主机启动与调速手柄，分为前进、停止和后退3个状态，前进与后退状态各有10个挡位可进行速度调节。

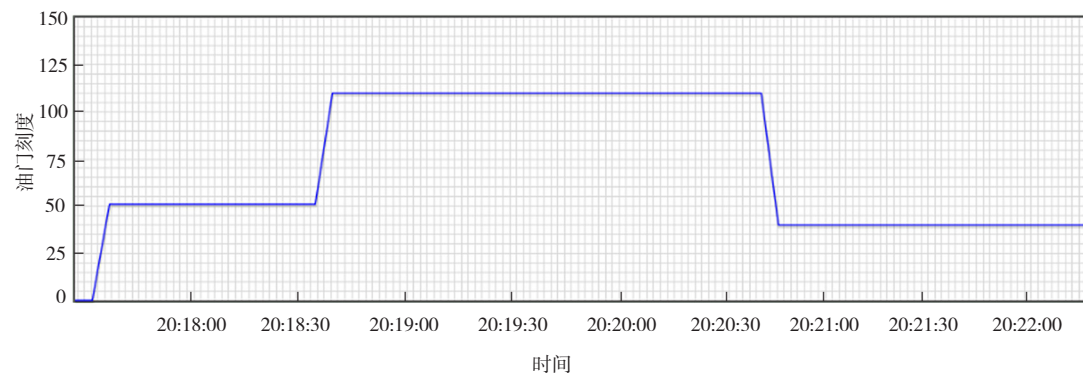
机旁界面如图3(d)所示，左侧为主机转速显示表盘以及操作按钮。中间为按键车钟，与驾驶台车钟、集控室车钟功能相同，此时车令记录装置对应“Slow”挡位的指示灯同样亮起。右侧上方为操作部位切换装置和前进后退方向切换装置。机旁的操作部位切换装置有“机旁(Local)”和“遥控(Remote)”两个挡位，当旋钮指向“机旁”时，则操作部位为机旁，当旋钮指向“遥控”时，则操作部位为驾控台或集控室。下方为电动执行器和燃油控制轮。

控制面板界面如图3(e)所示，为驾驶员与遥控系统提供了人机交互界面。界面上部为主机系统重要功能的指示灯和操作按钮，下部为辅助风机的控制按钮。右侧为主机遥控系统自动和手动的挡位切换装置。

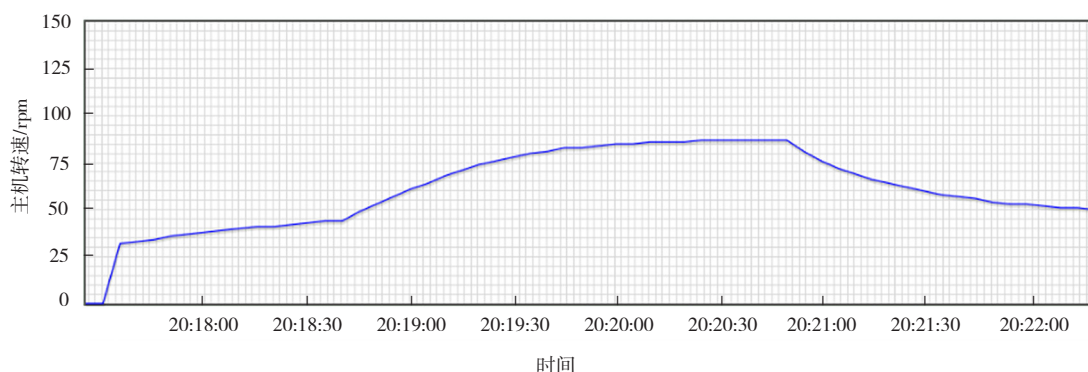
气动操纵单元界面为主机的气动操纵系统，实时反映主机系统的状态，界面效果如图3(f)所示。当使用者在其他界面进行操作时，气动逻辑图的对应部件也会产生相应的变化，便于使用者更加详尽地理解气动操纵系统乃至整个主机遥控系统。

油门刻度从0~50上升到110，过一段时间再下降到40，对应的主机转速如图4所示，实时反馈并记录一段时间内的油门刻度和主机转速的变化情况。





(a)



(b)

图4 输入输出曲线

## 4 结语

以ACC20主机遥控系统为研究对象,应用Web技术对其进行仿真,构造了基于Web的船舶主机遥控网络实训仿真系统。系统不受空间的约束和限制,用户可随时通过网络登录,系统可应用于海事类院校的日常授课和船员培训。教师可以利用现有的多媒体设备对主机遥控系统进行讲解,学生也可登录系统进行操作训练,熟悉操作流程,提高应对突发情况的快速反应能力和安全操作能力。

### 【参考文献】

- [1] 贾宝柱,曹辉,张均东,等.轮机模拟器及其关键技术[J].中国航海,2012,35(1):35-40.
- [2] 何治斌,张均东,林叶锦,等.国内外轮机模拟器的发展及对比研究[J].造船技术,2007(1):38-40.
- [3] 邓琳琳,黄学武,郑华耀.基于DSP的船舶主机遥控实时仿真系统[J].上海海事大学学报,2004(3):

33-37.

- [4] 张宏伟,邹文俊,龙克垒,等.基于AB\_PLC的船舶主机遥控仿真的实现[J].控制工程,2012,19(S1):90-93.
- [5] 黄尚荣,李显圣.SoftPLC技术在舰船主机遥控系统仿真模拟器开发的应用[J].舰船科学技术,2017,39(20):49-51.
- [6] 刘学.基于LabVIEW的舰船主机遥控系统的设计和开发[J].舰船科学技术,2017,39(10):19-21.
- [7] 涂婉丽,徐轶群.基于Web的船舶动力装置虚拟操作训练系统[J].集美大学学报(自然科学版),2015,20(2):128-133.
- [8] 闫虎,甄力维,籍宇.基于Web的船舶管理系统开发研究[J].舰船科学技术,2018,40(2):120-122.
- [9] 董祯臻,张宁,沈智鹏.基于Web的船舶辅锅炉自动评估系统[J].大连海事大学学报,2017,43(3):95-100.
- [10] 范爱龙,严新平,尹奇志,等.船舶主机能效模型[J].交通运输工程学报,2015,15(4):69-76.
- [11] 蒋小盼.柴油主机数学模型及转速控制系统仿真研究[J].舰船科学技术,2018,40(2):86-88.