

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.01.021

# 船舶电力综合控制系统研究与开发

谢 坤<sup>1,2</sup>, 夏 伟<sup>1</sup>, 胡刚义<sup>1</sup>, 易 宏<sup>2</sup>

(1. 中国舰船研究设计中心, 湖北 武汉 430064;

2. 上海交通大学海洋工程国家重点实验室, 上海 200240)

**摘要:** 针对船舶电力系统监测能力弱、可靠性差、自动化程度低等问题, 将传感器、可编程逻辑控制器、并车与保护单元、电力综合显控台应用到船舶电力综合控制系统中。对该系统的需求进行分析, 建立自上而下管理层、控制层和数据层 3 个层次之间的关系, 提出了船舶电力综合控制方法。在联调试验和船舶上对该综合控制系统进行了实际应用。研究表明, 该综合控制系统可显著提高船舶电力系统的监测能力、可靠性、自动化水平, 保证了船舶电力系统的安全性、可靠性、优质性和经济性。

**关键词:** 船舶电力综合控制系统; 传感器; 可编程逻辑控制器; 并车与保护单元; 电力综合显控台

中图分类号: TP273; TM76

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)01-0112-06

## Development of integrated ship power control system

XIE Kun<sup>1,2</sup>, XIA Wei<sup>1</sup>, HU Gang-yi<sup>1</sup>, YI Hong<sup>2</sup>

(1. China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China;

2. State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of weak monitoring ability, poor reliability and low automation level, sensor, programmable logic controller, paralleling and protection unit, power console were applied into integrated ship power control system. After the analysis of demands, the relationship among management layer, control layer and data layer was established. A comprehensive ship power control method was put forward. The system was applied in kinds of experiments and ships, the results indicate that the system can improve monitoring ability, reliability and automation level. It can also ensure the safety, reliability, quality and economy of the ship power system.

**Key words:** integrated ship power control system; sensor; PLC; paralleling and protection unit (PPU); power console

## 0 引 言

船舶电力系统为全船用电设备提供电能, 提供全船正常照明和应急照明用电, 为重要用电设备提供不间断电源。电力系统不仅仅要求实现供电的功能属性, 还应该实现供电的安全和可靠, 而且在故障情况下能保护设备是电力系统的责任。

随着船舶大型化和自动化程度的提高, 越来越多的船用设备需要电能来驱动和控制, 使船舶电力系统

日趋复杂庞大, 从发电、储能、输电、变电、配电、用电等各个环节来看, 电力系统运行与控制的复杂程度也越来越高, 各种故障因素都可能导致电力系统的安全问题。因此, 船舶对电力系统供电的可靠性以及用电负荷实时管理也提出了更高的要求, 迫切需要研制对用电设备的正常及事故情况进行监测、保护、控制、电力计量的电力综合控制系统。电力系统联合工况的协调控制、供电网络各节点的实时可靠性监控、储能系统与发电机组及用电设备的运行匹配性控制、推进电机及

收稿日期: 2014-09-26

作者简介: 谢 坤 (1986-), 男, 湖北红安人, 工程师, 主要从事光机电液一体化、船舶平台信息化方面的研究. E-mail: nukeix@qq.com

通信联系人: 夏 伟, 男, 湖北武汉人, 高级工程师. E-mail: xiekunzju@qq.com

大功率辅机的功率控制与管理等都是船舶电力综合控制系统面临的重要问题,因而对电力综合控制系统提出了更高的要求。

近几年来随着现代电力电子技术、传感器技术、通讯技术、计算机及网络技术和自动控制技术的飞速发展,船舶的自动化程度越来越高,电力综合控制系统在经过发展后也愈发成熟。它采用先进的测量仪器采集电流、电压、功率、功率因素、频率、电网绝缘等电力系统实时参数,并通过可编程逻辑控制器、并车与保护单元等功能模块对船舶电力系统进行信息采集、状态监测、回馈控制。

船舶电力综合控制系统实现对电力的自动化监视与控制,实施智能化电力综合控制系统,可以有效保障供电可靠性和供电品质,为船舶自动化提供保障;有利于能量综合管理与控制,优化负荷分配,节约电力;提高船员的工作效率,减小了劳动强度,节约人力资源。综上所述,船舶电力综合控制系统对保证船舶电力系统的安全性、可靠性、优质性和经济性具有深远意义<sup>[1-5]</sup>。

本研究针对船舶电子综合控制系统,作进一步的研究与开发。

## 1 系统架构

电力综合控制系统基本系统架构图如图 1 所示。电力综合控制系统在逻辑上划分为 3 个层次,即管理层(电力综合显控台)、控制层(现场控制设备及数据处理设备)和数据层(各类传感器及执行机构),并进行有效分离,下一层设备向上一层设备提供服务,同时从上一层设备接收指令并负责指令的执行,根据需要将执行结果反馈到上一层设备,以实现“管控分离”。

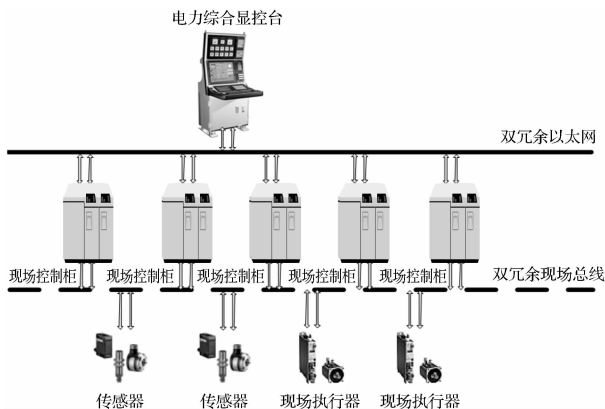


图 1 电力综合控制系统基本系统架构图

管理层是人机交互的界面,对电力综合控制系统

进行管理并执行任务,显控台是其承载实体。控制层主要由各类控制设备、信号处理设备等组成,在现场进行数据处理及控制,传感器采集数据通过控制层进行综合处理后上传至全船信息传输网,供管理层及其他控制层设备使用,控制层接受管理层指令,经内部逻辑处理后,对现场执行器进行控制。数据层由位于底层的传感器和执行器等组成<sup>[6-7]</sup>。

## 2 系统组成

船舶电力综合控制系统主要由控制保护分系统和运行管理分系统组成。控制保护系统由发电、电源、配电、推进、辅机、照明等监控子系统组成,其承载实体是各子系统的现场控制柜、各用电设备电控箱、传感器及执行元件;运行管理分系统由综合监控、运行支持等子系统组成,承载实体是电力综合显控台。电力综合显控台通过以太网与各监控子系统的现场控制柜进行通讯,各监控子系统的现场控制柜与各用电设备电控箱、传感器及执行元器件之间以现场总线的形式进行通讯。船舶电力综合控制系统组成如图 2 所示。

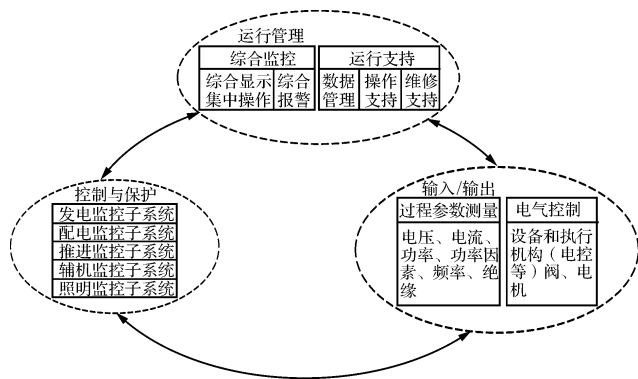


图 2 船舶电力监控系统组成示意图

船舶电力综合控制系统的主要设备包括电力综合显控台、发电控制板、主配电板、应急配电板、电网监控装置、推进电机控制板、辅机电控箱、照明配电板等;此外,还包括采集电流、电压、功率、功率因素、频率、电网绝缘等电力系统实时参数的先进传感器或测量仪器。

为提高安全性,电力综合控制系统配置不间断电源,为电力综合显控台、现场控制柜和重要设备提供不间断电源。

电力综合控制系统各设备之间主要信息的传输通过以太网进行,与安全运行密切相关的信息通过现场总线或硬接线的方式来完成。

### 3 硬件设计

#### 3.1 电力综合显控台

电力综合显控台是电力综合控制系统的监控管理中心,将电力系统中众多现场监控设备进行信息集成,并通过电力综合显控台完成电力综合控制系统各监控子系统和电力系统主要设备的运行参数监测、协调控制与管理、系统参数报警及安全保护管理等功能。

电力综合显控台台体采用模块化设计,由台体结构、显示单元(标准显示单元、专用显示单元)、电子机箱单元(人机接口计算机、任务处理计算机)以及操控单元(标准操控单元、专用操控单元)组成。此外,电力综合显控台还设置有电源自动切换模块。

电力综合显控台基本配置如下:

(1)标准显示单元。即显示器,采用 20.1 英寸显示器。

(2)专用显示单元。用于完成某些专用功能的显示单元,可采用模拟显示部件(指示灯、数码管等)或小型显示终端。

(3)人机接口计算机。采用标准计算机系统,运行 Windows 系统的人机界面软件,配置需求相对较高。该计算机的 CPU 为双核,独立显卡,箱体背部风扇散热。

(4)任务处理计算机。选配件,运行 Vxworks 系统或其他嵌入式系统的任务处理程序,用于完成对实时性要求很高或运算量大的任务,无图形化软件界面,配置需求相对较低,但对可靠性要求高,确保不能死机。借鉴嵌入式系统的设计思路,任务处理计算机应该低功耗、散热良好,无独立显卡,箱体全封闭,无风扇,有看门狗电路。

(5)标准操控单元。如鼠标、键盘。

(6)专用操控单元。设定用于完成某些专用功能的显控单元,可采用模拟操控部件(开关、按钮等)或小型显控终端。

(7)电源切换装置。用于保证电力综合显控台可靠供电。电力综合显控台由两路相互独立的 AC 220 V 可靠电源供电,当任意一路电源失电时,通过电源切换装置可切换至另一路电源供电。

电力综合显控台采用冗余的设计理念,对显示、控制、报警功能均进行了冗余备份,并且对于关键的参数显示和控制,同时采用硬接线的方式连接,确保可靠性。电力综合显控台的架构图如图 3 所示。

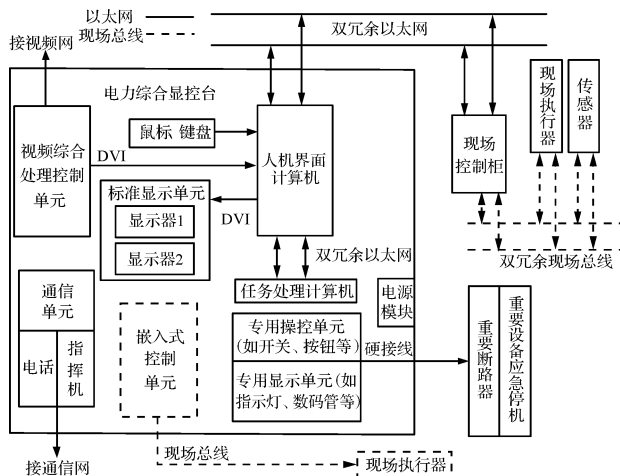


图 3 电力综合显控台架构图

显示功能包括屏幕显示和硬显示。通过双冗余以太网与人机界面计算机进行通信,电力系统运行参数、状态信息可通过显示器进行显示。对于电力系统的重要运行参数和状态信息,除了显示器显示外,还通过现场总线或串口与任务处理计算机进行通信,以数码管和指示灯等专用显示单元进行显示,如电源装置、推进电机、辅机的状态信息等;对于电力系统的关键运行参数和状态信息,同时通过硬接线的方式进行通信,以数码管和指示灯等专用显示单元进行显示,如断路器状态等。

控制功能包括屏幕软操和硬操。通过双冗余以太网与人机界面计算机进行通信,电力系统相关操作可通过轨迹球和显示器屏幕完成。对于部分重要的操作项目,如推进电机、辅机启停控制等相关操作,除了屏幕软操外,还通过现场总线与任务处理计算机进行通信,通过设置的硬操按钮、开关等实现推进电机、辅机启停控制等相关控制;对于电力系统关键的操作项目,只通过硬接线方式连接实现硬操,如断路器的相关操作。

报警功能包括屏幕报警和硬报警。通过双冗余以太网与人机界面计算机进行通信,电力系统相关报警信息可通过显示器屏幕实现,并通过蜂鸣器、指示灯进行声、光报警。

屏幕软操、屏幕报警和屏幕显示功能通过以太网与人机界面计算机通信实现,硬操(硬接线除外)、模拟显示部件、状态指示灯、数码管显示部件等通过现场总线或串口与任务处理计算机通信实现。人机界面计算机与任务处理计算机之间通过中间件进行通信,完成 Windows 系统与 Vxworks 系统之间的通信。

### 3.2 现场控制柜

现场控制柜通过传感器实时采集电力系统主要设备的运行参数和状态信息数据,综合处理后上传至全船信息传输网,供管理层及其他控制层设备使用;并接受管理层指令,经内部逻辑处理后,对电力系统主要设备进行集中控制和参数设定。

现场控制柜由柜体结构、可编程逻辑控制器(简称 PLC,含电源、处理器、I/O、通信等模块)、并车与保护单元(简称 PPU,含电源和开关量输入/输出模块、通信模块、负荷分配控制模块、模拟量调速器/调压器控制输出模块、交流测量模块等若干模块)、触摸屏等组成。现场控制柜的架构图如图 4 所示<sup>[8]</sup>。

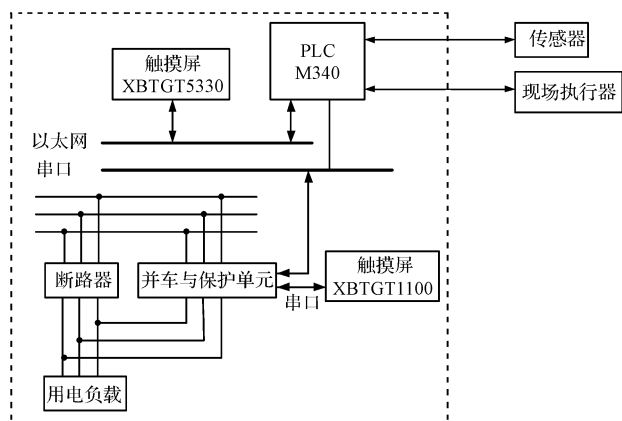


图 4 现场控制柜架构图

现场控制柜基本配置如下:

(1)PLC。用于参数运算与程序控制,采用施耐德公司的 Modicon M340 系列 PLC,选用电源模块 BMX-CPS3500,CPU 模块 BMXP342030、机架模块 BMXX-BP1200、离散量混合输入/输出模块 BMXDDM3202K,离散量继电器输出模块 BMXDRA1605,模拟量输入模块 BMXART0414,模拟量输出模块 BMXAMO0210,以太网模块 BMXNOE0100,其中 CPU 模块具有以太网端口和 CANOpen 总线端口。PLC 的硬件组态如图 5 所示。

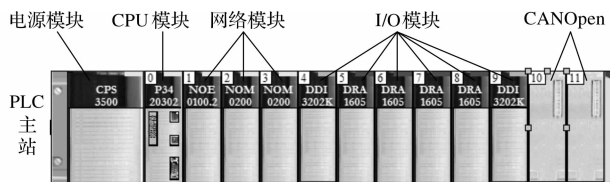


图 5 现场控制柜 PLC 的硬件组态图

(2)PPU。DEIF 公司的 Multi-Line2 产品 PPU 如图 6 所示。用于数据采集与任务执行,采用丹麦 DEIF 公司的 Multi-Line2 产品 PPU,具有电站管理(动态同

步、负荷分配)、汇流排保护报警、显示与控制、电能计量、通信等功能。PPU 可通过 Modbus、CANOpen、Profibus 或串口协议与 PLC、触摸屏进行通信。

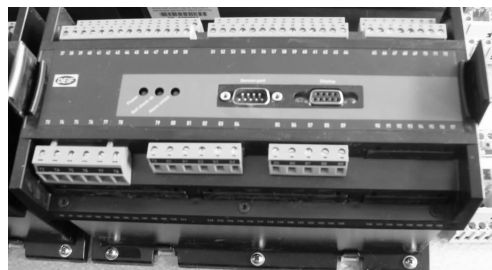


图 6 DEIF 公司的 Multi-Line2 产品 PPU

(3)触摸屏。用于信息显示与操作控制,采用施耐德公司的 XBTGT5330、XBTGT1100 触摸屏。XBTGT5330 触摸屏具有 RS-232/485、RS-485、以太网接口,通过以太网接口与 M340 系列 PLC 进行通信,作为其上位机;XBTGT1100 触摸屏具有 RS-232/485、以太网接口,通过 RS-232 接口与 PPU 进行通信,作为其上位机。

### 3.3 各类传感器及执行机构

传感器完成电力系统主要设备运行数据和状态、报警信息的实时采集,并以离散量和模拟量信号的形式上传至 PLC<sup>[9]</sup>。

发电监控子系统传感器主要采集柴油机转速及发电机转速、电压、电流等参数信息和进气阀状态、排气阀状态、报警等状态信息。

配电监控子系统传感器主要采集直流电网电压、电流、功率和交流电网  $u$  相电流、 $v$  相电流、 $w$  相电流、 $uv$  线电压、 $uw$  线电压、 $vw$  线电压、功率、频率、功率因素等参数信息和断路器状态、报警等状态信息。

推进监控子系统传感器主要采集推进电机的转速、功率、效率、功率因素、温度等参数信息和断路器状态、报警等状态信息。

辅机监控子系统传感器主要采集直流辅机的转速、功率和交流辅机的转速、功率、效率、功率因素等参数信息和辅机运行状态、报警等状态信息。

照明监控子系统传感器主要采集照明电网的电压、电流和舱室照度等参数信息和舱室灯具运行状态、报警等状态信息。

## 4 系统软件

电力综合控制系统的软件由现场控制柜软件和电力综合显控台软件两部分。其中,现场控制柜软件包括 PLC 软件和触摸屏人机交互界面软件,电力

综合显控台软件包括人机交互界面软件和任务处理软件。现场控制柜 PLC 与触摸屏、电力综合显控台之间通过 OPC 协议以服务器/客服端的模式进行通讯<sup>[10]</sup>。

### 4.1 现场控制柜软件

PLC 的软件组态在施耐德 UnityPro V5.0 组态软件上实现,触摸屏软件采用基于 Windows 平台的 Visual Studio 集成开发平台环境开发。

现场控制柜 PLC 接收传感器实时采集的电力系统主要设备运行数据、状态及报警信息,经 PLC 组态软件进行数据处理后,在触摸屏、电力综合显控台上进行显示。同时,现场控制柜 PLC 接受触摸屏、电力综合显控台指令,经内部逻辑处理后,对现场电控阀、电机等执行器进行直接控制。现场控制柜软件流程图如图 7 所示。

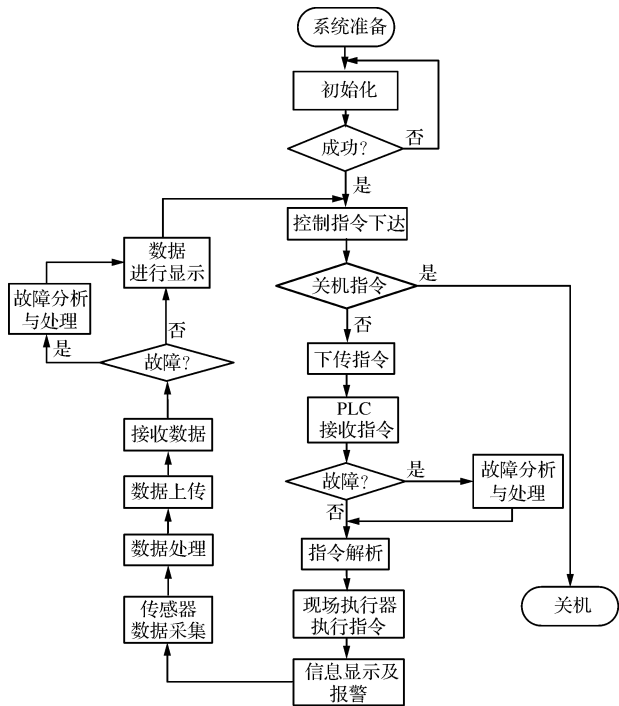


图 7 现场控制柜软件流程图

现场控制柜软件的实现流程分为 4 个部分:

(1)系统初始化。现场控制柜通电,PLC 软件、触摸屏软件自动运行,并进行通讯设置和参数配置。

(2)控制指令下达。操作人员通过触摸屏、电力综合显控台人机交互界面软件下达控制指令,PLC 软件接收指令并进行内部逻辑处理,通过 PLC 的离散量混合输入/输出模块、离散量继电器输出模块、模拟量输出模块对现场电控阀、电机等执行器进行直接控制。

(3)信息显示及报警。传感器实时采集的电力系

统主要设备运行数据、状态及报警信息,上传至 PLC 的离散量混合输入/输出模块、模拟量输入模块,经 PLC 组态软件进行数据处理后,在触摸屏、电力综合显控台上进行显示及报警。

(4)故障分析与处理。在触摸屏、电力综合显控台上通过声光报警、文字形式正确反应电气元件发生的故障或者不正常运行状态,并迅速而有选择性地下达指令切除故障。

### 4.2 电力综合显控台软件

人机交互界面软件采用基于 Windows 平台的 Wonderware 集成开发平台环境开发,任务处理软件采用给予 Vxworks 操作系统的 Tornado 开发平台开发。

人机交互界面软件提供船舶电力系统主要设备的集中监控和运行管理,通过双冗余以太网接收电力系统相关运行参数、状态及报警等信息,在显示器屏幕上显示,并且通过屏幕软操下达相关控制指令。

任务处理软件通过现场总线或串口接收实时性、可靠性要求较高的重要运行参数、状态及报警信息,通过数码管和指示灯等专用显示单元进行显示,并且通过硬操按钮、开关等下达相关控制指令。

任务处理软件与人机界面软件之间的通信可通过基于 CORBA 技术规范的中间件实现<sup>[11]</sup>。电力综合显控台的软件体系结构如图 8 所示。

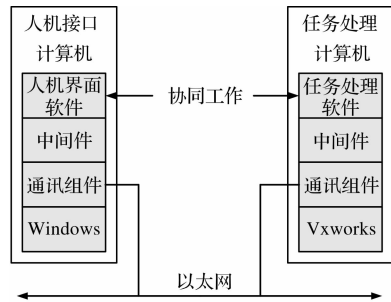


图 8 电力综合显控台的软件体系结构图

## 5 试验与应用

在电力综合显控台、发电控制板、主配电板、应急配电板、电网监控装置、推进电机控制板、辅机电控箱、照明配电板等电力系统主要设备组成的电力系统联调试验和某船舶电力系统实际设计应用中,电力综合控制系统的体系架构、硬件组成、软件应用等得到了具体验证。其中,电力综合显控台人机交互界面软件采用双屏对船舶电力系统主要设备的集中监控和运行管理。电力综合显控台上屏主界面如图 9 所示。

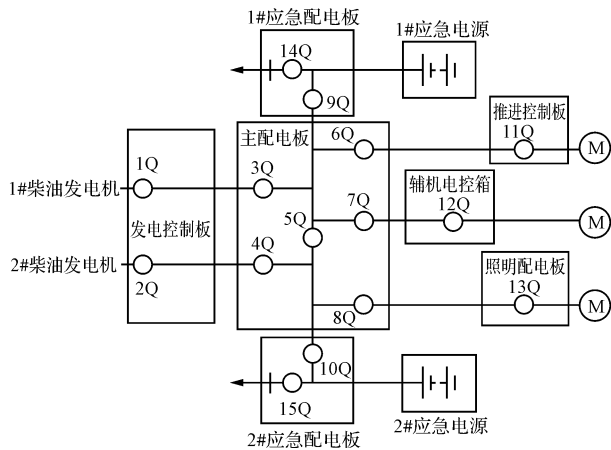


图9 电力综合显控台上屏主界面

电力综合显控台上显示器屏幕显示电力系统的系统图,1Q~15Q等开关显示电力系统主要设备的通断状态,电网线条颜色的变化反映各主电路的通断情况。下显示器屏幕显示电力系统主要设备和各监控子系统的实时运行参数、状态及报警信息,主要包括发电、电源、配电、推进、辅机、照明等6个界面。

电力综合控制系统在电力系统联调试验和某船舶电力系统实际设计应用中,运行稳定,能够安全、可靠地对电力系统主要设备进行集中监控和运行管理,方便操作人员。

## 6 结束语

本研究得出的船舶电力综合控制系统自上而下分为管理层、控制层和设备层3个层次,实现了对电力系统主要设备的自动化监视与控制,有效保障了供电可靠性和供电品质;有利于能量综合管理与控制,优化负荷分配,节约电力;提高了船员的工作效率,减小了劳动强度,节约人力资源。

联调试验和实际设计应用表明,该船舶电力综合控制系统对保证船舶电力系统的安全性、可靠性、优质

性和经济性具有深远意义。

## 参考文献(References):

- [1] ZIVI E. Design of robust shipboard power automation systems[J]. *Annual Reviews in Control*, 2005(29): 261-272.
- [2] 董晓明,冯浩,石朝明,等.全舰计算环境体系结构和系统集成框架[J]. *中国舰船研究*, 2014,9(1): 8-13.
- [3] 夏伟,谢坤,阳世荣.船舶分布式智能电力监控系统研究与开发[J]. *机电工程*, 2013,30(8): 1020-1024.
- [4] 张萌,郑建华,王基.船舶艉轴部分分式机械密封结构分析[J]. *流体机械*, 2013,41(9): 16-19.
- [5] 祝贺.船舶电力综合控制系统设计[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2009.
- [6] QIAN Mei, WU Zheng-guo, HAN Jiang-gui. Real-time simulation and analyses of ship energy management system network[J]. *Energy Procedia*, 2012(16): 1972-1978.
- [7] LU Heng-rong. Design on IPNCS of electrical propulsion ship based on real-time ethernet[J]. *Energy Procedia*, 2012(16): 1707-1713.
- [8] 易倩颖,叶云岳,郑灼.基于PLC的新型垂直提升式立体车库控制系统设计[J]. *机电工程*, 2012,29(4): 409-412.
- [9] 范则阳,程骏,谢坤.一种本安型有水信号传感器设计[J]. *传感器与微系统*, 2013,32(2): 74-76.
- [10] 刘军德,盛礼俊,毛亚郎,等.基于嵌入式B/S模式的机电产品远程监控系统[J]. *机电工程*, 2012,29(6): 674-676.
- [11] TORAL S L, BARRERO F, CORTÉS F, et al. Analysis of embedded CORBA middleware performance on urban distributed transportation equipments[J]. *Computer Standards & Interfaces*, 2013(35): 150-157.

[编辑:张豪]

## 本文引用格式:

谢坤,夏伟,胡刚义,等.船舶电力综合控制系统研究与开发[J]. *机电工程*, 2015,32(1): 112-117.

XIE Kun, XIA Wei, HU Gang-yi, et al. Development of integrated ship power control system[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(1): 112-117.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>