

引用格式: 潘镜芙, 董晓明. 水面舰艇作战系统的回顾和展望[J]. 中国舰船研究, 2016, 11(1): 8-12.

PAN Jingfu, DONG Xiaoming. Review and prospect of the combat system for surface combatant ships[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2016, 11(1): 8-12.

# 水面舰艇作战系统的回顾和展望

潘镜芙<sup>1</sup>, 董晓明<sup>2</sup>

1 中国舰船研究设计中心, 上海 201108

2 中国舰船研究设计中心, 湖北 武汉 430064

**摘要:** 介绍国内外水面舰艇作战系统的概况, 回顾我国驱逐舰作战系统的研制过程。对水面舰艇作战系统的发展方向进行探讨: 应实现平台与负载性能综合兼优; 应优化作战系统的体系结构, 采用开放式体系结构(OA)的全舰计算环境(TSCE)及应用软件的集成模式; 改进信息交换接口设计和数据集成, 采用可扩展标记语言(XML)和数据集成总线技术(数据分发服务中间件、企业服务总线); 采用面向服务与云计算技术; 加强无线通信, 实现联合作战。

**关键词:** 水面舰艇; 作战系统; 软件集成; 综述

中图分类号: U674.7'03.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1673-3185.2016.01.002

## Review and prospect of the combat system for surface combatant ships

PAN Jingfu<sup>1</sup>, DONG Xiaoming<sup>2</sup>

1 Shanghai Division, China Ship Development and Design Center, Shanghai 201108, China

2 China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China

**Abstract:** This paper introduces the general situation of the combat system for surface combatant ships and reviews the development process of DDG combat system in China. It presents some directions of combat system in future, including 1) To achieve well-designed performance of platforms and payloads; 2) To optimize the architecture of combat systems by applying the Total Ship Computing Environment (TSCE) compliant in Open Architecture (OA), promoting the new software integration mode; 3) To advance the interface design and data integration with XML and data bus technology, including Data Distribution Service (DDS) middleware and Enterprise Service Bus (ESB); 4) To develop software according to Service-Oriented Architecture (SOA) and cloud computing; 5) To improve telecommunication for the implementation of cooperative engagement.

**Key words:** surface combatant ship; combat system; software integration; review

## 0 引言

作战系统是指军用平台上用于执行警戒、跟踪、目标识别、数据处理、威胁估计并控制武器完成对敌作战功能的各要素及人员的综合体<sup>[1]</sup>。

笔者曾主持我国两代驱逐舰及其作战系统设

计, 在考察英、法驱逐舰作战系统的基础上, 实现了我国舰载作战系统从无到有的全过程, 在其研制过程中有着不少体会。随着信息、计算机技术的快速发展, 作战系统的技术水平和作战能力日益提高。本文将在回顾作战系统研制过程的基础上, 结合军事需求, 对水面舰艇作战系统的发展提

收稿日期: 2015-06-11

网络出版时间: 2016-1-19 14:55

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 潘镜芙, 男, 1930年生, 中国工程院院士。

董晓明(通信作者), 男, 1975年生, 博士, 高级工程师。

供一些参考和建议。

## 1 国外水面舰艇作战系统的发展概况

国外水面舰艇于上世纪60年代初期开始配备作战指挥系统,并逐渐发展形成作战系统。作战指挥系统是作战系统的中枢。

随着计算机技术的发展,舰载作战系统体系结构的发展大体可分为独立式、集中式、分开式(或联邦式)和分布式4个阶段<sup>[1]</sup>。在早期的作战系统中,作战指挥系统和各种系统(如火控系统)是各自独立的,使用各自的计算机,基本上都采用单机单控的形式。集中式系统则由一台计算机统一接收或处理各种原始数据,集中实现作战指挥和武器控制功能。分开式系统由多台相互独立的计算机组成,作战指挥系统和武器控制系统由各自的计算机实现,且计算机之间尚有通信和部分功能延伸,构成松散的联邦形式,英国的CAISS-450指控系统和WSA-421火控系统即为分开式。20世纪70年代后期出现的分布式系统则开始采用计算机网络实现舰艇各战位的资源共享、分散处理,完成作战指挥和武器控制功能,即资源分布、功能分布和控制分布,美国的海军战术数据系统(NTDS)和意大利的IPN10作战指挥系统都是分布式指控系统。21世纪,美国海军DDG 1000驱逐舰采用全舰计算环境(TSCE),作战系统和平台管理系统使用商用计算机、分布式对象中间件和数据分发服务(DDS)等进行集成,并通过协同作战能力(CEC)与编队内舰、机进行联合作战<sup>[2-4]</sup>。

从国外资料来看,作战系统设计过程的发展大致可分成3个阶段。

第1阶段是自下而上的,即装备一单机系统—全舰作战系统的方法,也就是首先确定装备,然后确定单机系统,最后研究一个作战指挥系统把它们联结起来,成为一个全舰作战系统。这一阶段的特点是在作战指挥系统的设计中,主要致力于解决接口问题,把各单机系统联结起来,几乎未做全系统的分析计算工作。

第2阶段是根据海军提出的装备和传感器需求,从系统角度出发,进行作战系统的分析工作,验证系统是否能够满足舰艇的使命与任务要求,与军方商讨,调整一部分不恰当的设备 and 传感器,以使整个系统的性能合理、完善。

第3阶段,即采用自上而下的设计方法,从舰艇的作战使命任务出发,首先确定作战系统,然后

从作战系统的需要出发,对各个单机系统和设备提出要求,最后确定各个分系统及设备。作战系统与其他系统一样,已经有了明确的研究设计内容,并且已经逐步发展到量化设计的阶段。

作战系统高度复杂、经费昂贵(约占舰艇建造费用的40%),研制周期长、试验规模大、组织管理复杂,若等作战系统研制完成后再在海上环境进行真实试验,即使发现了问题,也来不及大规模修改。为了能在减少风险、降低成本、缩短周期和充分试验的基础上研制出满足作战要求的新的综合作战系统,舰艇应在建造完成之前进行作战系统的陆上试验。

美国曾建立过2个陆上试验场。一个称为指挥控制岸站(CCSS),主要用于舰用计算机应用程序的开发和试验。CCSS站的参试设备包括作战指挥系统及雷达、声呐、通信设备,以及一个Mk 116水下火控系统(控制“阿斯洛克”反潜火箭发射装置、Mk 32鱼雷发射管、反潜直升机,是当时的一个新研制系统)。另一个称为陆上试验场(LBTF),与船厂在同一地点,用于支援上舰的安装和试验工作,以达到交付完全集成并经过充分试验的作战系统的目标。值得指出的是,美国新驱逐舰和导弹护卫舰进行首舰陆上试验时,其参试设备中都有一个新研制的武器分系统。这样既可以完整地进行作战系统的陆上试验,又可对新研制的武器分系统本身进行陆上试验。

## 2 我国驱逐舰作战系统研制的回顾

我国第1代驱逐舰在国内首先实现了武器装备按系统进行设计,迈出了水面舰艇从单个武器装备发展为武器系统的重要一步。该舰将各警戒雷达、光学瞄具发现的目标,用同步目标指示和电子目标指示的方式,通过分配开关,将数据传送给火炮、导弹等武器系统。虽然考虑了通过情报中心显示敌我态势,并对个别武器系统进行目标指示,但是情报中心装舰较晚,功能也不全。

1983年,确定以改进型驱逐舰启动作战系统研制和探讨。第2代驱逐舰的作战系统是在改进型驱逐舰作战系统试验成功的基础上开始设计的。由于作战系统的分系统、设备数量大幅增加,战术技术要求更高,总体所从顶层抓起,采取自上而下的设计方法,集中总体、系统和设备单位的技术骨干进行平台和作战系统的方案论证,先确定作战系统的组成、结构、技术指标和各分系统的分工界面,然后向各分系统提出指标(主要是目标指示精度和反应时间)、功能、接口和布置等方面的

技术要求,分系统、设备根据技术要求制定各自的战术技术任务书。

进行作战系统方案论证时,确定采用“集中指挥、分散控制、三级管理”的指挥关系,确定导弹、火炮、反潜等武器系统既可在作战指挥室遥控发射(在各显控台上方安装遥控箱实施遥控发射),也可在各自的指挥室分散发射,以提高作战生命力。

之后,该舰引进了含搜索雷达和数据处理装置的舰空导弹系统,因而需要对作战系统结构做重大调整,以将该系统纳入作战系统,共享搜索雷达资源;舰空导弹系统、快速反应火炮系统、电子战系统通过作战指挥系统可实现软、硬武器综合使用,完成拦截掠海飞行导弹的任务。

进行作战系统方案论证时,讨论了使用数据总线还是点对点接口的问题,因当时数据总线技术基础还比较薄弱,而且有的武器系统、雷达已先行研制,要做修改有困难,因此确定系统设备间采用点对点的分开式结构;先在一个分系统,即作战指挥系统内采用1553B数据总线,将3台数据处理机和8台显控台计算机连接起来传送数据信息。为了贯彻通用化、系列化、模块化要求,各分系统统一量纲,采用加固计算机,以及数字通信标准接口RS-232C和RS-422A。接口设计很复杂,为此召开了2次接口协调会,确定了系统间的技术状态,达到了系统接口形式、接口器件、通信报文格式、接插件及连接电缆的标准化。

第1代驱逐舰有4个武器系统,还有不少装备样机上舰,武器系统联调试验在海试时进行,致使海试周期和武器系统齐装配套时间拖得很长。

第2代驱逐舰做出决策,新研制武器、电子设备必须经过陆上试验军检合格后才能装舰。陆上试验时,还安排了雷达、水声模拟器、仿真测试系统及检测系统的研制,以进行真实目标试验和仿真试验。陆上试验可起到发现和解决软硬件对接中存在的问题、先期考察系统性能、提高质量和可靠性、缩短研制周期等良好作用,为此后我国各型新研制舰艇所采用。

第3代驱逐舰作战系统安装相控阵雷达和远程舰空导弹系统,构建了以标准显控台为主要节点的分布式体系结构,采用以太网和视频总线实现了数据和视频信息的传输。

## 3 水面舰艇作战系统的发展展望

### 3.1 实现平台与负载性能综合兼优

使用部门根据作战体系的要求,提出一型舰

艇(平台)的使命任务,由设计部门进行顶层设计,将舰体平台及其负载(作战系统)作为一个全武器系统进行多方案探讨,选择优良方案,使平台与负载性能综合兼优,发挥出“1+1>2”的作用。在确定作战系统分系统、设备组成时,优化装备形态,例如采用射频集成和上层建筑综合集成、指挥控制一体化、武器共架共控等措施,既可提高舰艇的作战能力,又可改善平台的防御性能。采用探索性分析方法,基于武器系统效能的优化组合,提高舰艇的总体效能以及方案的灵活性、适应性和稳健性,同时支持新型武器装备与平台及其他现有装备的综合优化。全武器系统设计既要确保平台性能优越,又要能充分发挥各电子、武器等系统的良好性能。按照系統工程的观点,舰艇设计是舰总体和系统、设备间技术信息联系反馈、反复迭代的过程。

### 3.2 优化作战系统体系结构

采用基于开放式体系结构(OA)的全舰计算环境及应用软件的集成模式。各电子、武器系统及平台信息管理系统的处理、存储、显示、网络等硬件和基础软件形成基础设施;各类专业领域的应用软件尽量采用商用成熟技术(COTS)和标准规范。全舰计算环境提供一个通用的运行集成环境,以使系统具有更好的灵活性和扩展性,可支持后续保障和改装升级。根据现实情况,有时也可将作战系统和平台信息管理系统分别实现公共计算环境<sup>[4-5]</sup>。

### 3.3 发展和改进信息交换接口设计

接口信息的发展是由信号级到数据级,再到元数据级;接口设计的发展是由点对点的物理连接到网络物理连接,再到逻辑的数据集成总线连接。

元数据基于可扩展标记语言(XML),不仅可以表达数据内容,还可以表达数据结构。以XML消息作为协议报文载体,不仅便于协议报文的解析,还可在不同形态间交换异构数据,有助于结构化数据和非结构化数据的集成。把XML作为接口设计的基础,以XML来实现信息的处理、传输和存储,使很多工作得到简化,提高软件的可伸缩性和灵活性。借助XML模式定义(XSD)可得到精确的数据模型。模式定义文件可替代接口协议中针对数据格式和内容的各种文字描述,可自动完成对数据有效性、合法性的判断,从而节省大量数据有效性检查的软件代码。

数据分发服务(DDS)采用发布—订阅的消息

交互机制,标准化了分布式实时系统中数据发布、传递和接收的接口和行为。DDS确保正确有效地将信息传输给适当的接收者,并满足特定的服务质量(QoS)要求,是一条实时数据总线,而不是点对点的连接。但是,DDS的实现过于依赖各节点的软件中间件(不同版本的标准和不同版本的中间件都可能不兼容),造成在全舰部署困难。并且对于非实时应用来说,采用DDS会带来开发成本不必要的增加。

企业服务总线(ESB)是一种协议驱动型的数据总线,更适合复杂大系统的集成。分布式节点(软件模块或服务)可以使用不同协议连接ESB,完成消息路由、传输协议转换和消息格式转换等。企业服务总线支持XML,SOAP,HTTP和JMS等标准的消息格式和传输协议,也可以定制接口适配器以支持自定义协议的接入。

从逻辑上建立2条数据总线,根据实时应用与非实时应用分开的原则分别接入,DDS通过适配路由服务与ESB桥接,这样的接口设计更有利于满足异构系统的集成和互操作。XML特别适合用于新的数据集成总线,有关XML文档解析的开销可以通过硬件进行加速<sup>[6]</sup>。

### 3.4 采用面向服务与云计算技术

服务是一个抽象的术语,它包含不同技术与协议的不同实现。服务封装了一个软件组件,该组件提供一套相关的功能,能够被复用和集成到复杂的应用中去。服务以有效的方式对复杂的互操作系统实现一体化。服务提供者提供一个或多个服务给其他人使用,服务提供者可以在注册表中发布服务契约;服务消费者可以在注册表中定位服务元数据。云计算推动“一切都是服务”的理念,从基础设施到应用都可以依靠云计算来构建。面向服务架构(SOA)通过“服务”涵盖了从设计原则到结构、组成、部署软件系统。面向服务是塑造云计算系统的自然途径,它提供了一种灵活的方法来组合和集成到软件系统。云计算可根据需要伸缩或强化现有的软件应用。

Web Services是实现SOA系统和应用的主要技术,使用XML,简单对象访问协议(SOAP)和Web Services描述语言(WSDL)等标准,允许不同平台和编程语言的互操作性。服务描述文档通过WSDL或XML来表达,可以上传到全局注册表,服务消费者可以在全局目录中查询并发现服务,或直接通过访问Web Services获得服务元数据<sup>[7-8]</sup>。

作战系统采用面向服务和云计算后,系统软、

硬件将不再紧耦合,各业务领域功能应用可以灵活部署,资源可以充分共享,武器通道可以灵活组织,各类任务系统可以快速构建。

### 3.5 加强无线通信,实现协同/联合作战

在信息化作战中,舰艇将作为一个节点,参加编队作战和三军联合作战。舰艇无线通信向数据通信发展,语音、图像、数据均已实现数字化并向宽带和多媒体方向发展。

舰艇编队间、编队内部、舰艇与飞机间使用VHF/UHF超短波电台及数据链进行数据和语音通信,并可进行平台联合作战。数据链和信息分发系统使用VHF和L波段收发信机传送数据。宽带高速数据链使用C波段收发信机传送数据。

编队内舰艇和舰载机的战术数据链组成数据分发系统,使编队内各舰机的指控系统计算机组成一个战术数据网络。编队内各作战单元间共享传感器、决策和交战数据。各作战单元建立相同的复合航迹图像,可提供给指挥员用于作战指挥决策。传送的目标数据(如方位、距离)若能满足武器的火控解算要求,则编队内舰—舰、舰—机间就可实现协同打击或联合打击。美海军通过CEC实现了编队内的舰—机联合作战,还在考虑舰载网络和海军陆战队网络实现一体化。

舰艇和陆上指挥机构使用短波和卫星通信进行数据与语音通信。各国海军卫星通信工作频段一般为特高频UHF(225~400 MHz)和超高频SHF(7~8 GHz),甚至极高频(>30 GHz)。

### 3.6 提高智能化水平,实现人机融合

作战系统是舰艇平台作战功能的各要素及人员的综合体。因此,作战系统设计应充分考虑作战人员的认知、决策与行为,提高智能化水平,实现人机融合,促进人员作用的发挥。

随着穿戴式设备、感知计算等技术的发展日益白热化,人类和机器之间不断相互作用、发展演进,技术和机器对人类的价值日益凸显。比如,为所有舰员配备可穿戴技术设备,随时随地获得与工作相关的各类数据信息将大幅提升舰员的工作效率和服务能力。对于危险的工作、简单但执行成本高的任务或者重复度高的任务,可以让机器替代人类,主要的好处是可提高生产率,减少对人体的危害,有时工作质量更高或者响应更快。另外,随着技术的发展,人与机器将进一步协同工作。比如,IBM的新一代机器人“沃森”(Watson)就可以像助理那样为医生做背景研究,确保医生

及时获得最新的临床病例、科研成果和其他信息,帮助医生做出诊断或建议治疗方案<sup>[9]</sup>。

## 4 结 语

当前,日益复杂的海洋军事斗争形势对我海上作战力量提出了较高要求。因此,为满足新军事斗争的需要,我们应该从海上作战力量体系规划入手,以满足新形势下海军的作战使命任务为目标,按照体系作战的需求,全面规划水面舰艇作战系统的发展,构建面向服务的作战系统体系结构,推进全舰计算环境建设,增强总体顶层设计和集成能力,促进作战系统的跨代发展。

### 参考文献:

- [1] 邵开文, 马运义. 舰船技术与设计概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 294-299.
- [2] 李焯. 美海军舰艇作战系统发展趋势分析[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(8): 11-14.  
LI Ye. Analysis on the development tendency of American naval vessels' combat system[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(8): 11-14.
- [3] 李明. 国外航母作战系统发展研究[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(5): 6-9, 29.  
LI Ming. Development of foreign aircraft carrier combat system[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(5): 6-9, 29.
- [4] 董晓明, 石朝明, 黄坤, 等. 美海军DDG-1000全舰计算环境体系结构探析[J]. 中国舰船研究, 2012, 7(6): 7-15.  
DONG Xiaoming, SHI Chaoming, HUANG Kun, et al. Analysis on the architecture of USN DDG-1000 total ship computing environment [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2012, 7(6): 7-15.
- [5] GREEN J M. Applying open architecture concepts to mission and ship systems [C]//ASNE Day 2008 Proceedings, 2008.
- [6] 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, 30.  
DONG Xiaoming, FENG Hao, SHI Chaoming, et al. Architecture and system integration framework of total ship computing environment [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2014, 9(1): 8-13, 30.
- [7] GALDORISI G, HSZIEH S, JORDAN M, et al. Coalition networking in a service oriented architecture environment[C]// 15<sup>th</sup> ICCRTS the Evolution of C2, 2010.
- [8] LIU F S. Raising the degree of service-orientation of a SOA-based software system: a case study [D]. Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2009.
- [9] 陈骞. 人机融合: 新兴技术发展的新趋势对Gartner《2013年新兴技术成熟度曲线》报告的解读[J]. 华东科技, 2015(5): 68-70.