doi:10.3969/j.issn.1673-3185.2013.04.001
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/42.1755.TJ.20130624.1648.001.html

国外舰船生命力评估与损管技术发展现状综述

浦金云, 侯岳, 陈晓洪
海军工程大学 动力工程学院,湖北 武汉 430033

摘　要: 舰船生命力及损害管制是舰船战斗力发挥的重要保障,生命力评估与损管决策技术已成为国际上研究的热点问题。特别是近年来,国外海军取得了一系列研究成果。然而,生命力评估与损管决策技术是一门交叉学科,仍然具有广阔的发展空间。针对该领域的研究现状,重点分析了国外生命力评估系统的开发现状、智能损管辅助决策与损管监控技术的发展趋势以及管网智能重构技术的研究成果。

关键词: 生命力评估; 损管决策; 损管监控; 舰艇
中图分类号:U676　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-3185(2013)04-01-05

A Review of the Recent Researches on Overseas Ships' Survivability Assessment and Damage Control Technologies

PU Jinyun, *HOU Yue*, *CHEN Xiaohong*
College of Power Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

Abstract: The survivability and damage control techniques are the major guarantees of ships' combat capability. As a result, the assessment technology of ships' survivability and damage control has always been a global focus for marine researchers. Although a series of breakthroughs has been achieved during recent years by overseas navies, the research on survivability assessment and damage control techniques, being interdisciplinary in nature, still has broad space for development. In this paper, the overseas development status of survivability assessment systems, the development tendency of intelligent monitoring and decision-making technologies for damage control, and the intelligent pipe network reconfiguration technologies are discussed in detail.

Key words: survivability assessment; damage control decision-making; damage control monitoring; warship

0　引　言

舰艇战斗力由攻击能力和防御能力组成,攻击能力和防御能力是矛盾对立统一体,攻击能力虽说是矛盾的主要方面,但防御能力也是矛盾不可缺少的一方面,“有攻无防”的舰艇,其攻击能力不可能得到充分发挥。所以,舰艇不仅要有强大的攻击能力,而且还要有良好的防御能力,即必须具有强大的生命力[1]。

舰艇生命力是指舰艇抵抗各种破损灾害,最大限度地保持和恢复航行与作战的能力。舰艇生命力不仅是舰艇的一个设计性能,也与舰员的损管活动密切相关。舰员的损管活动主要包括破损时的抗沉、消防灭火、烟气处理、管路重构以及技术装备生命力的恢复等。

舰艇生命力于1869年由马卡罗夫提出,至今已有140多年的发展历史。它是在第一次世界大战中发展起来的,在第二次世界大战后得到补充和发展,到今天已经发展成为一门新兴的交叉学科。从发展上来看,它涉及的知识面广,是一门建

收稿日期: 2012-12-05　　**网络出版时间**: 2013-06-24 16:48
作者简介: 浦金云(1961-),男,教授。研究方向:舰艇生命力与损管技术
通信作者: 浦金云

downloaded from www.ship-research.com

立在系统工程基础上的学科，前景比较广阔。

特别是近10年来，舰艇生命力评估和损管决策技术作为舰艇预防、限制、消除灾害的重要手段，其基础理论和应用空间在快速发展与延伸，技术水平逐渐提高。本文将重点分析国外舰船生命力评估与损管技术的发展现状，并对其特点及发展趋势进行综合分析。

1 生命力评估系统的开发

舰艇生命力评估系统是进行生命力指标计算、分析和存储的交互式软件平台，是实现生命力评估算法标准化、评估结果实用化、设计要求准确化的关键一步[2-3]。

1.1 基本特点

通过对意大利、荷兰、挪威、英国和美国等国家生命力评估系统开发现状[4-5]的分析，发现其生命力评估系统的开发具有以下基本特点：

1）重点侧重于易损性的评估，兼顾易感性和修复性的评估；

2）评估系统的开发并非一蹴而就，而是经过多年不断完善才逐步完成；

3）针对不同的设计阶段使用统一的评估模型，保证各个阶段评估结果的一致性；

4）都是交互式计算平台，用户可以自定义舰船和威胁武器的相关属性；

5）大多数国家对修复性（人员主动损管能力）的评估研究较少，而英国和美国的生命力评估系统已开始对人员的主动损管能力进行仿真。

另外，英国海军和美国海军在进行计算机仿真评估的同时还非常重视试验验证。试验主要包括两类：一类是大尺度（全船）的试验验证，主要是对结构和功能损伤的仿真进行验证；另一类是小尺度的试验验证，主要是对关键的机理损伤仿真算法和二次损伤仿真算法进行验证。图1是英国海军以“海鹰”导弹对“德文郡”（Devonshire）号驱逐舰的实船攻击试验验证。

图1 实船攻击试验

Fig.1 Real ship test of United Kingdom HMS Devonshire destroyer hit by anti-ship missiles

1.2 评估系统的主要功能

通过对国外生命力评估系统的综合分析，发现其具备的主要功能包括：

1）易感性评估。主要体现在：根据武器制导特性和舰艇信号特征，在三维空间方向上对炸点的可能分布进行较为精确的描述。

2）可视化评估，包括船体和设备的可视化、灾害环境的可视化以及评估结果的可视化等。

3）损伤机理和损伤模式仿真，包括弹体侵彻效应、破片损伤效应、冲击损伤效应、爆破超压损伤效应、气泡毁伤效应、火灾毁伤效应以及进水毁伤效应等。

4）系列生命力指标评估，包括不沉性指标、船体强度指标、机动性指标、作战任务剖面的完成能力以及人员生命力（人员疏散能力）等。

5）对舰员的修复性、主动损管能力进行评估。

6）对评估所需的初始条件进行自定义/再开发，包括攻击武器属性的自定义、船体和设备基本布置、配置和性能参数的自定义、损伤阈值的自定义、系统功能逻辑的自定义以及损伤仿真模型的再开发等。

1.3 评估系统的模块化设计

意大利海军的舰艇生命力评估系统也是目前国际上开发较为成功的一个交互式易损性评估软件，主要包含4大模块：船体模块（对船体外形、舱室布置进行定义）、系统模块（对系统的功能逻辑进行定义）、损伤模块（模拟武器损伤和灾害蔓延机理）和分析模块（分析功能损伤概率），各模块之间的关系如图2所示。

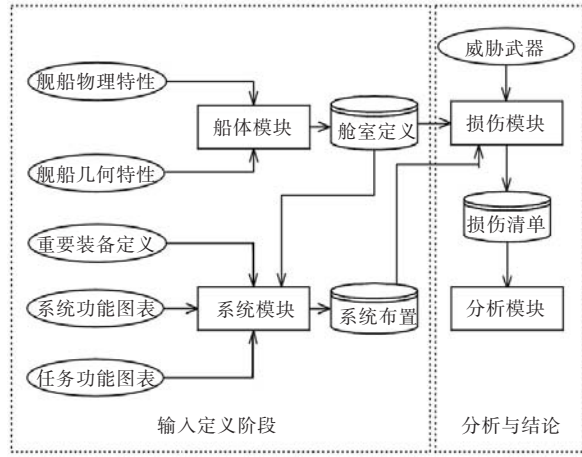

图2 评估系统的模块化设计

Fig.2 Modular design of the survivability assessment system

downloaded from www.ship-research.com

例如,国外某护卫舰上易损性评估建模属性包括船体板2 188个、舱室724个、系统151个以及重要设备515个。评估的易损性指标包括机动能力完全丧失概率、沉没概率、对空作战任务(AAW)在各损伤等级下的概率、对海作战任务(ASuW)在各损伤等级下的概率以及反潜作战任务(ASW)在各损伤等级下的概率等。

1.4　改进方向

英国海军的舰艇生命力评估系统目前主要针对的是舰艇方案设计阶段,如何从有限的数据中自动生成舰艇及其系统的模型是其评估系统需要改进的一个重点。另外,如何简化攻击环境的设置,以快速地对威胁相关参数进行定义,以及对不同设计阶段的评估结果进行一致性分析也是其需要重点解决的问题。

据报道,意大利海军舰艇生命力评估系统的改进方向包括:

1)在损伤模块中增加火灾蔓延模型,以模拟火灾的毁伤效应;

2)对人员的生命力、弹药库爆炸时的大型舰艇生命力进行评估;

3)对武器毁伤机理的相关模型进一步修正。

总而言之,生命力评估系统的开发不仅需要各类精确的数理模型、计算机图形显示技术,还需要软件综合集成技术的支撑[6]。因此,仿真平台的开发将是一项复杂的系统工程。这就要求在功能设计上要统筹安排,在流程设计时要合理规划,在软件开发时综合集成,在模型建立时做到理论与试验相结合。

2　智能损管辅助决策及损管监控技术

智能损管辅助决策系统的研发是损管技术的一个重要方向。但是,由于损管决策的复杂性,目前仍没有有效的手段和技术开发高智能化水平的辅助决策系统。

2.1　损管决策的复杂性分析

舰艇的损管决策任务不仅受时间的限制,还受灾害的复杂性以及认知的局限性的影响,下面将从上述3个方面对损管决策的复杂性进行分析[7-10]。

1)时间的限制。

舰艇在受到武器攻击后,灾害蔓延速度非常快。以火灾为例,在几分钟之内就有可能蔓延至相邻舱室。因此,智能决策系统必须在较短的时间内给出较准确的决策方案。

2)灾害的复杂性。

舰艇在受到武器攻击后,灾害模式较多,包括进水、火灾、热烟气、管路破裂、强度丧失、技术装备损伤以及人员伤亡等。因此,损管决策需要考虑灾害和损伤的每一个方面,这也是智能损管决策技术开发的难点。

对于损管决策来说,及时、准确地获得完整信息至关重要。一般来说,处于灾害发生最近处的战位会将灾害信息及时报告给决策者,但由于战场情况复杂多变,并受战位人员个人因素等的影响,决策者及时、准确地获得完整的灾害信息的可能大大降低。

3)认知的局限性。

由于灾害和损伤的复杂性,使得舰员难以对舰艇当前的安全状态和损管方案做出准确评估。以船体为例,需要借助于不沉性和剩余强度计算软件对其是否会沉没做出准确评估,舰员仅依靠经验难以做到。

2.2　智能损管决策的基本流程

损管决策是危机决策的一种形式,现实中的损管决策受时间、任务、环境和资源等多种复杂因素的影响,其决策流程如图3所示。

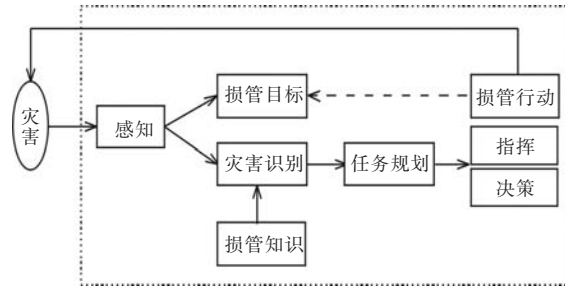

图3　损管决策的基本流程

Fig.3　A basic procedure of damage control decision-makings

通过分析上述决策基本流程,并结合损管的实际情况,可给出损管决策的基本步骤。

第1步:进行灾害探测。对于损管决策来说,及时、准确地获得完整信息至关重要。探测的灾害包括破损进水的位置、火灾烟气的位置以及管路的破损情况等。

第2步:进行损伤评估。在灾害发生后,分析处理获得的信息,对灾害和舰艇状态,以及灾害和舰艇状态的发展趋势做出正确评估,为决策提供明确的依据。

第3步:损管决策。灾害和战场形势是瞬息万变的,损管决策是整个过程中最主要的部分,要

downloaded from www.ship-research.com

求决策者能够果断、准确做出决策，利用现有的资源控制或消除灾害。

舰艇损管辅助决策系统是辅助指挥员完成损害分析、制定损管预案的辅助决策工具。损管辅助决策系统开始于上世纪80年代，最先应用的是抗沉辅助决策系统。它作为损管监控系统的软件部分，与监控硬件保留有数据接口。特别是随着计算机技术的进步，以计算机为基础、具有信息处理量大、反应时间快、辅助决策能力强等优点的现代化损管监控系统正日益受到各国海军的重视，已成为损管监控系统的发展趋势[11]。

第4步：命令的执行。决策做出，并不意味着决策正确和灾害能够被限制或消除，决策者还必须对决策的执行进行监督跟进，不断从灾害现场获得实时信息反馈，以完善和修改决策。

2.3 发展趋势

未来的损管是全方位的损管，必将在严密的指导下，以较少的、训练有素的指挥官和损管舰员，在智能化损管系统的引导下，以最有效的方式完成信息收集、损害评估和辅助决策等过程，建立起快速的损管反应能力，将损害所带来的损失降到最低程度。舰艇损管决策及监控技术的发展趋势为：

1）加强损管系统的融合和兼顾设计。损管系统的设计应与现行损管体系中的各个机构、损管策略很好地协同，与舰上实际的损管能力兼容。需要在顶层设计中引入系统论、运筹学等方法，设计出更实用的损管系统。

2）开发信息化、智能化程度高的损管监控系统。以计算机为基础，研制模块化、标准化、通用化的硬件设备。研制冗余度高、可靠性好的损管信息网络，最大限度地利用硬件资源，使损管信息贯通流畅。以人工智能为核心编制模块化损管软件，为损管指挥决策提供充分的信息资源。

3）增加嵌入式模拟训练设计。在系统或设备上装入或增加能够使全体人员更加熟练掌握各项技能的硬件和软件环节，通过这种环节提供与实际装备相同操作的训练。在舰艇实际损管系统中嵌入辅助训练系统是提高损管效能的有效方式。

4）加强系统智能重构技术的研究。自动修复技术是提高舰艇生命力和安全性的更高层次的需求，为此，需将监控系统和人工智能相结合，加快智能重构技术在舰艇消防管路、重要装置布置等方面的理论研究和实际运用。

5）加强损管辅助决策能力。未来损管系统不仅是一套汇集信息的机械控制系统，而且还是一套损管报告系统和辅助命令决策系统。当某种损伤发生时，系统能自动唤起相关备件资料或相应人员情况的数据库，供损管指挥员快速决策。

3 管网智能重构技术

对于现代舰船来说，消防水管网破损后的有效重构是一个极为复杂的问题。当管路网络拓扑复杂到一定程度时，舰员无法人工判断重构路径与效能。具备战损动态重构能力的分布式智能控制技术是智能化损管的关键技术之一。

美国海军研究实验室于2003年制订了针对智能型火灾抑制系统的测试计划，该计划中的一个重要部分就是要对受损消防供水管路的智能修复能力进行测试。有关智能修复能力测试的具体目标是对基于阀门调整顺序表的受损点隔离方法的可靠性与反应时间进行考核。这里的阀门调整顺序表是依据特定的触发条件建立的隔离阀操作程序表，而特定的触发条件包括消防管路的压力、流量以及压阻的变化信号。2006年，提出了针对消防供水管路智能修复能力的改进计划，该计划指出原有基于阀门调整顺序表的隔离方法存在一定的不足，即阀门调整顺序表的结构并不具有唯一性，这种状况会造成受损区隔离与修复措施的不可靠和低效性[12-14]。

与消防水管网的智能重构类似，美海军在新型驱逐舰的设计中对冷却水系统采用了分布式智能控制组件。在进行的实弹试验中，分布式智能控制系统表现出了极高的生命力，该产品逐渐应用于美国海军的新研舰艇。

当前，智能重构技术的发展趋势是把监控系统与人工智能相结合，加快智能重构技术在舰艇消防管路、电力网络系统、供油管路及供气管路重构中的应用。

4 结 语

重点分析了国外海军在舰艇生命力评估系统、损管辅助决策技术、损管监控技术以及管网智能重构技术等方面的研究现状和发展趋势，深入剖析了各方面的关键问题，特别是关键模型和关键流程的建模情况，为国内相关领域的研究提供了有价值的参考。

然而，由于舰艇生命力与损管技术是一个多领域的交叉学科，不仅需要借助于仿真建模，还需

downloaded from www.ship-research.com

要试验的有机配合,因此,实用的生命力与损管技术依然是未来研究的热点和难点。

参考文献:

[1] 浦金云,金涛,邱金水,等. 舰船生命力[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[2] 侯岳,浦金云,孙凯. 一种交互式舰艇不沉性概率评估与设计系统[J]. 海军工程大学学报,2010,22(5):92-97.
HOU Yue, PU Jinyun, SUN Kai. On ship unsinkability probability assessment and design system[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2010, 22(5): 92-97.

[3] 谢田华,唐宇,迟卫. 提高舰艇生命力的保障措施的研究[J]. 舰船科学技术,2003,25(5):12-13.
XIE Tianhua, TANG Yu, CHI Wei. Research of the assuring measure of promoting warship survivability [J]. Ship Science and Technology, 2003, 25(5): 12-13.

[4] LEE D K, LEE S S, PARK B J, et al. A study on the framework for survivability assessment system of damaged ships [J]. Ocean Engineering, 2005, 32(1): 1122-1132.

[5] BOULOUGOURIS E K, PAPANIKOLAOU A D. Optimization of the survivability of naval ships by genetic algorithms[C]// Proc. 3rd Int. EuroConference on Computer Applications and Information Technologies in the Maritime Industries, COMPIT' 04. Siguenza, Spain, 2004.

[6] GILLIS M P W, KEIJER W, WOUTER K. Simulation of advanced concept for damage control[J]. Naval Forces, 2003, 22(1):6-10.

[7] GILLIS M P W, KEIJER W. Evaluated van damage control concept [J]. Den Haag: TNO-FEL, 2002: 13-17.

[8] WILKINS D C, SNIEZEK J A, TETEM P A, et al. The DC-SCS supervisory control system for ship damage control: Volume 1 -design overview, ADA392798 [R]. Urbana: University of Illinois, 2001: 31-32.

[9] BAER P. Integrated damage control visualization system: Version 2.0 technical specification [R]. Urbana: University of Illinois, 2001.

[10] ANDRADE S F. An intelligent agent simulation of shipboard damage control, ADA380225 [R]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2000: 33-40.

[11] WILKINS D C, SCHULTZ K, DANIELS M, et al. The DC-SCS supervisory control system for ship damage control: Volume 5-knowledge ontology, ADA394174[R].Urbana: University of Illinois, 2001: 10-18.

[12] KIM J H, MAYS L W. Optimal rehabilitation model for water distribution systems [J]. Journal of Water Resources Planning Management, 1994, 120(5): 674-692.

[13] LEBAUDY A, CALLAHAN B, FAMME J B. Survivable computing environment to support distributed autonomic automation [C]//Automation and Controls (ACS) 2007 Proceedings. Washington D C: American Society of Naval Engineers, 2007.

[14] RICHARDS L. Multi-attribute trade space exploration for survivability [C]//KALAWSKY R. Proceedings of the 7th Annual Conference on Systems Engineering Research. Chicago: The Printing House Press, 2009: 879-887.

[责任编辑:易基圣]

downloaded from www.ship-research.com