

舰载对空多武器协同 LVC 仿真试验方法

张 远, 宋 洁

(中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 针对舰载对空多武器协同试验方法研究不足的现状, 分析了对空多武器协同系统试验鉴定的需求和重点, 分别提出阐述了基于实装试验、实装在线仿真测试和内场仿真试验的 LVC 仿真综合试验方法, 说明了的协同作战效能评估、试验结果可信性分析和试验环境构设等试验鉴定关键技术; 以含五型武器的典型对空多武器协同系统 LVC 试验为例, 分析了对空多武器试验鉴定内容及方法, 简述了试验实施过程。

关键词: LVC; 舰载武器; 协同作战; 对空协同; 仿真试验

LVC Simulation Test Method of Shipborne Anti-Air Multi Weapon Coordinative Systems

ZHANG Yuan, SONG Jie

(PLA, No. 92941 Troop 41 Element, Huludao 125001, China)

Abstract: Aiming at the situation of insufficient research in shipborne anti-air multi weapon coordinative systems, the requirement and key point of anti-air multi weapon coordinative system tests are analyzed. Based on the real installation test, online simulation test and infield simulation test, LVC (Live, Virtual and Constructive) synthetic test method is proposed. The identified key technologies of effectiveness evaluation of cooperative operation, feasibility of test results and test environment are improved. Typical test in shipborne anti-air multi weapon coordinative systems is taken as an example, the identification content, method and implementation process of the system are analyzed. Through the research in shipborne anti-air multi weapon coordinative systems with five weapons, the test of shipborne anti-air multi weapon coordinative systems is completed with high quality, and the improvement of shipborne air combat power is promoted, which is of great significance.

Keywords: LVC; shipborne weapon; coordinated battle; anti-air coordination; simulation test

0 引言

随着当前武器装备信息化建设与发展, 武器装备在体系作战中综合运用成为提升武器装备作战能力的有效途径。舰载对空多武器协同系统通过集中统一控制, 能避免多型武器独立作战带来的冲突和综合作战效能不高问题, 可显著提升全舰对空多武器体系综合作战能力。美国海军最新“宙斯盾”作战系统 (Baseline9C) 集综合防空和弹道导弹防御任务于一体, 与协同作战系统 (CEC, cooperative engagement capability) 等其它关键节点一起, 为实现和发展“海军一体化火力控制一制空”系统 (Naval Integrated Fire Control-Counter Air, NIFC-CA) 提供了重要支撑^[1], 提升了美国海军最新“阿利·伯克”级宙斯盾驱逐舰综合对空作战能力。建设舰载对空多武器协同系统, 发展类似的舰载“宙斯盾”系统, 提升大中型舰艇对空综合作战效能, 是包括我国海军在内的各国海军对空作战系统发展的必由之路。当前舰载对空多武器综合防空作战中, 不同对空武

器系统之间独立作战能力与无人机群、隐身目标、超音速目标、复杂带干扰目标等新型目标攻击为代表的新质、多域作战威胁的矛盾日益突出。随着信息化、模块化、标准化水平快速提升和新技术的不断应用, 对空作战武器的作战空域、多目标服务能力等作战性能不断提高, 为对空多武器协同系统进行仿真试验提供了条件。

LVC (Live 实况, Virtual 虚拟, Constructive 构造) 仿真在各类复杂多系统大型试验中是必不可少的试验方法和手段, 根据试验阶段、目的不同, 既可以单独设计、也可以联合实施, 通过集成各类 LVC 仿真资源构设逼真仿真试验环境, 能够显著提升试验质量和效益。其中, 实况仿真 (Live) 为真实职手操作真实装备在构设环境中的试验, 虚拟仿真 (Virtual) 为真实职手操作仿真系统在构设环境中试验, 构造仿真 (Constructive) 为模拟职手行为操作仿真系统在仿真环境中试验^[2]。舰载对空多武器协同试验是在单型武器系统作战性能检验基础上, 开展多型武器装备

收稿日期: 2022-04-21; 修回日期: 2022-05-30。

作者简介: 张 远 (1971-), 男, 吉林双辽人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事装备试验方向的研究。

引用格式: 张 远, 宋 洁. 舰载对空多武器协同 LVC 仿真试验方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(9): 249-254.

综合作战效能检验。基于全舰平台的对空武器体系联合试验,采用传统实装试验无法满足可实施性、安全性、经济性、全面性和逼真性等多种要求,开展 LVC 仿真试验是解决上述试验问题有效途径,在仿真、试验、训练等多领域形成 LVC 三类异构仿真系统的组合与互操作^[3],能够充分发挥仿真系统、实兵实装的优势。目前我国包含五类舰载对空武器的典型协同系统试验方法研究还基本处于探索阶段,进行 LVC 仿真试验方法研究与设计,可为具体实施舰载对空多武器协同系统试验鉴定提供借鉴。

1 对空多武器协同试验需求及难点

1.1 对空多武器协同试验需求

舰载对空武器通常包括如下五种类型:中远程舰空导弹、近程反导导弹、反导舰炮、中口径舰炮(可对空作战)和电子战系统,以往对空多武器系统基本上均为独立作战,对空防御作战能力只从单型武器装备角度进行独立的试验与评估。随着舰载武器装备逐步向多样化、标准化、网络化、智能化发展,同时装备上述武器系统并进行武器综合控制已成为现实需要,并推动了舰载作战系统及信息系统装备更新发展,典型对空多武器协同系统接口关系如图 1 所示。

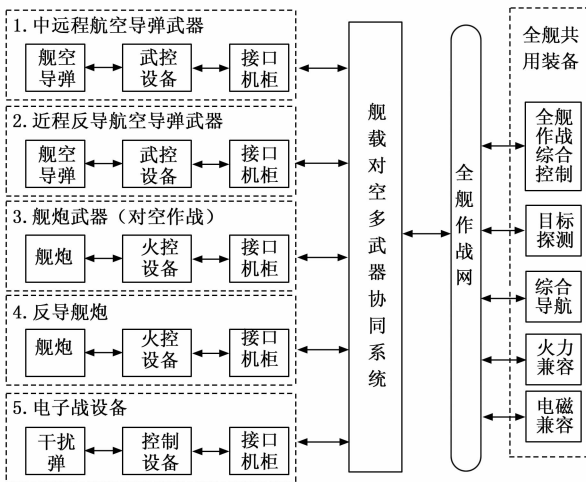


图 1 对空多武器协同系统接口关系图

各型对空武器装备在没有采用协同系统前,使用独立武器装备控制系统,完成初始简单静态武器目标分配(Static Weapon Target Assignment, SWTA)后,主要通过人工方式进行动态武器目标分配(Dynamic Weapon Target Assignment, DWTA),并利用电磁兼容和火力兼容设备进行不考虑作战态势的基本互斥协调。而对空多武器协同系统为 5 型武器装备共用控制系统,在保留原各型武器系统的基本作战功能、性能基础上,基于 DWTA 模型实现同时控制 5 型武器装备完成 DWTA、作战时机控制、作战过程准备、火力兼容控制协调和射击效果评估等综合作战控制^[4]。对空多武器协同系统的试验鉴定包括二方面:(1)对多型武器综合后总体功能、性能进行检验,包括:协调控制成功率、综合杀伤概率、综合多目标能力、综合反应时间和故

障处理能力等方面;(2)构设试验条件对其综合作战任务完成能力进行检验,包括:作战对手仿真模拟(敌方目标特性仿真)、作战环境仿真设置(敌方进攻态势仿真)和我方对空作战效果综合评估等方面。目前对空多武器协同系统相关试验理论、试验技术及试验方法研究正处于起步探索阶段,无法从大量实践中进行借鉴。

1.2 对空多武器协同试验重点

1.2.1 综合协调控制性能检验

舰载对空多武器协同系统通过深度融合综合集成后,需要对整体综合控制系统的协调控制成功率和协调结果科学合理性进行检验。综合协调难点是在效率和时间上难以统一兼顾:防空反导作战的时间非常有限,要求火力分配算法具有很好的实时性,为了保证最大的作战效能,又要考虑分配效果的最优性^[5]。对空多武器协同系统在实时控制中远程舰空导弹、末端反导导弹、近程反导舰炮、中口径舰炮和电子战系统等五型武器装备过程中,在如下方面对各武器装备进行兼容协调控制:对舰空导弹武器不同制导方式(中继制导、半主动寻的、主动寻的)进行作战过程控制;对各武器装备间相互干扰因素(时域、空域、频域)进行协调控制;针对杀伤区、杀伤概率、工作范围、作战响应时间、作战流程不同进行作战时机协调控制;根据火力资源使用情况(配弹量、发射间隔、工作时间)进行武器选择协调控制;根据具体目标情况实施杀伤方式(硬杀伤、软杀伤)协调控制等。对空协同系统需要控制的武器装备在作战原理、功能、性能及相互间干扰因素等方面巨大差异,为进行多武器兼容控制性能检验增加了难度和复杂度,对试验方法设计及评估方法创新提出了更高要求。对空作战综合协调控制问题实质为防空火力分配 WTA (Weapon Target Assignment) 问题,属于整数型非线性组合决策优化问题,可通过建立基于人工免疫的防空 WTA 模型^[6]等方法进行初步分析。

1.2.2 综合作战能力检验

根据作战任务、作战对手、作战环境不同,对空多武器协同系统实施不同的作战综合控制模式和策略,试验中,需要针对这些模式和策略进行综合作战效能检验,核心是基于先期毁伤下的防空火力分配准则,对毁伤效能、先期毁伤和资源消耗等多方面进行检验^[7]。在武器应用组合方面,包含如下模式:中远程导弹/末端反导导弹、导弹/舰炮、舰炮/舰炮、软武器拦截/硬武器拦截等多种作战组合模式;在拦截策略方面,包括如下拦截策略:梯次拦截、混合拦截、补射拦截;在对空作战指挥方式方面,包括如下不同作战指挥方式:全舰综合控制系统控制下的集中作战、对空多武器协同系统自主作战、对空分武器装备集中作战和对空分武器装备自主作战等。试验中,根据真实作战需要,对敌方空情态势、进攻目标类型、对空多武器协同系统所属各武器装备状态等作战要素,进行作战测试用例的设计:首先,测试用例要贴近实战要求,要对根据当

前潜在敌方装备现状进行分析研究,根据敌方战术技术特点进行进攻态势和进攻武器仿真设置,其仿真置信度要满足评估要求;其次,测试方法要真实可信,不论采用哪种试验方法,被试对空多武器协同系统实装或仿真测试系统要满足试验置信度要求,包括操作手、操作界面、系统工作状态、作战过程、反应时间、随机误差叠加等方面。作战模式、作战方式和拦截策略上的排列组合对应大量不同的拦截作战样式,可形成完全不同的综合作战能力,构造相应仿真测试作战态势必须贴近实战、合理、可信、全面,才能实现综合作战能力全面检验。

1.2.3 综合作战效能评估

综合作战效能体现完成规定任务剖面能力大小,度量系统完成任务的能力,一般以完成任务剖面的概率或完成任务的程度为单位^[8]。对空多武器协同系统作战效能在于对空武器装备的作战效能基础上,形成多型武器装备整体的拦截作战效能,表现为对多目标的服务处理能力和对具体某一目标的杀伤拦截能力。对综合作战效能进行评估,需要根据如下多种情况进行具体分析:结合五型武器装备自身性能进行分析,包括杀伤区、杀伤概率、实弹发射数量、反应时间以及相互干扰因素等方面;根据五型武器装备作战组合进行分析,包括硬/软、弹/弹、弹/炮、炮/炮等不同作战应用组合;根据作战任务中采用的具体不同作战指挥方式进行分析,包括全舰集中控制、对空自主控制、对空武器装备自主控制等。其中软硬武器的作战效能分析评估中,效能区域可分为软硬杀伤均有效区域、仅硬杀伤有效区域、仅软杀伤有效区域、软硬杀伤均无效区域四个效能区域,可通过科学建立效能函数方法,从硬武器杀伤拦截和软武器保护两个因素进行分析评估,效能函数 E 由可用性矩阵 A 、关联矩阵 G 、能力矩阵 N 和权矩阵 Q 决定,用 $E=AGNQ$ 来表征分析结果。其中, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 中, a_i 可用为 1,不可用为 0; $G = \{g_{11}, \dots, g_{mm}\}$ 中, g_{ij} 表示两种行动的关联程度; $N = \{n_{11}, \dots, n_{n2}\}$ 中, n_{11} 表示杀伤拦截目标能力, n_{12} 表示软对抗能力,例如 n_{11} 表示中程导弹拦截目标能力、 n_{21} 表示近程防御导弹拦截目标能力等; $Q = \{q_1, q_2\}$ 中, q_i 为决策矩阵, $\sum q_i = 1, i = (1, \dots, n)$ ^[9]。

进行综合作战效能分析评估,需要创新构建相应的理论分析评估模型,评估模型的可信度直接影响试验评估结果的可信性,因此分析评估模型使用前需要解决检核、验证与确认(VV&A)问题。评估模型涉及领域要涵盖时域、空域、频域和火力域等诸多方面,其中在时域上重点考核发射间隔、威胁等级排序等控制能力,在空域上考核防空火力弹道交叉影响控制能力^[10],在频域上考核软硬武器间电磁信号影响控制能力,火力域重点考核目标综合杀伤效果控制能力。评估模型参数设计包含操作手人为操作因素、消耗弹药(导弹、炮弹、干扰弹)数量、目标毁伤概率、目标服务能力、武备协调成功概率、数据置信度和专家打

分评估数据等多种参数,最终给出对单个目标拦截任务剖面完成概率的评估值和对所有目标拦截综合概率的评估值。其中,多武器对单目标的作战效能为代换关系^[11],评估值为:

$$P_k = 1 - \prod_{i=1}^l (1 - m_i \cdot P_{mi} \cdot C(i)) \quad (1)$$

其中: L 是武器类别, m_i 是武器数量, P_{mi} 是杀伤概率, $C(i)$ 是评估模型参数。

多武器对多目标的作战效能为单目标基础上的加法关系,其评估值为:

$$P_k = k_1 P_1 + \dots + (1 - k_1 - \dots - k_{n-1}) P_{n-1} + k_n (1 - P_1 - \dots - P_{n-1}) \quad (2)$$

其中: k_1, \dots, k_n 是多评估模型权系数, P_1, \dots, P_n 是多目标作战中单个目标作战效能。

上述评估是理想条件下基于防空武器拦截能力的简单效能分析,但实际防空综合作战效能评估涉及目标探测能力、指挥控制能力、保障生存能力和打击拦截能力等多方面的体系作战效能,采集的实装数据、仿真数据来源于内、外场各项试验,根据数据的置信度水平和受外界因素影响程度进行区别运用,基于评估模型进行对空多武器协同系统作战效能的分析评估,例如采用结构方程模型 SEM (Structural Equation Model) 进行防控体系作战效能分析^[12]。

2 对空多武器协同 LVC 仿真试验方法

2.1 实装试验

对空多武器协同系统拦截真实空中靶标的实兵、实装、实弹飞行试验中,需要参试作战舰艇操作手、五型武器装备、实弹及其它舰面设备共同参与完成,如舰载雷达系统、光电探测系统、全舰作战综合控制系统等。在操作手操作下,以对空多武器协同系统为核心,控制五型对空武器装备实施对真实目标的拦截作战过程,适时自动完成加辐射、弹弹协调、弹炮协调、炮炮协调、软硬协调、导弹发射、炮弹发射、干扰弹发射等作战流程。飞行试验中,所有参试武器装备均处于实兵实战状态,参试操作手在实战氛围中完成真实作战指挥及操作,试验结果中除对空多武器协同系统自动协调控制的功能、性能因素外,也包含人操作因素、指挥因素,又包含武器设备性能因素、可靠性因素,还包含环境因素、干扰因素,因此,飞行试验结果是检验对空多武器协同系统综合作战效能的最直接、最有效、最可靠的方法和手段。在飞行试验中,通过科学设计飞行试验的目标供靶方案、拦截射击方案,在有限的飞行试验序号中尽可能在更多方面实现对弹/弹、弹/炮、软/硬等部分拦截组合模式的综合作战效能的部分验证。受靶标、供靶保障能力、测控能力限制,实施拦截超音速飞机类目标、超音速反舰导弹类目标、超低空掠海目标、复杂机动飞机/反舰导弹类目标和集群攻击目标等飞行试验比较困难,无法组织进行大量试验;同时,在进行多目标同时拦截、多波次连续拦截等试验项目验证时,需要导弹、炮弹、干扰

弹足够多的数量保证,受试验费用限制,无法通过发射大量实弹方式进行考核;另外,受试验安全性要求限制,试验方案制定满足考虑安全、可控的限制要求,一些试验项目和内容无法通过飞行试验验证。因此,虽然飞行试验是对空多武器协同系统试验中最科学、有效的方法,但受多种因素制约,试验内容存在安全控制难度大、试验消耗大、样本数量有限及实战态势难以构造等不足。

2.2 仿真测试试验

2.2.1 实装静态性能试验

实装静态性能试验是传统试验方法,被试设备为对空多武器协同系统实装,陪试设备为五型对空武器装备和全舰综合控制系统、综合导航系统、目标探测系统等舰载共用设备,在导弹模拟器、火控设备模拟器等仿真模拟设备和陪试设备仿真、训练、回放、维护等功能配合下,执行全部或部分协调功能进行被试设备的基本单项功能和基本性能指标检查测试。静态性能试验中,试验设备为实装,试验操作人员为舰员,试验环境为非作战环境,静态试验为人在回路的虚拟仿真(Virtual Simulation)试验。静态试验主要实现对空多武器协同系统的基本作战功能、训练功能和仿真模拟功能的检查,以及对系统反应时间、目标服务能力、静态处理精度、装订精度和工作范围等主要技术指标的检查和测试。对空多武器协同系统静态测试中,受设备安全性、试验安全性及设备固有仿真模拟功能限制,开展五型装备同时参加的联合静态性能检查内容受限,无法实施某些战斗态下作战功能的试验测试用例,例如大批

2.2.2 外场实装在线仿真测试试验

外场实装在线仿真测试试验中,被试设备为舰面设备实装,陪试的全舰综合控制系统、目标探测设备、综合导航设备等外围设备采用仿真模拟系统,采用导弹模拟器和舰炮火控仿真设备等试验设备代替真实导弹、炮弹、干扰弹等火力资源。外场实装在线仿真测试试验通过构造贴近实战的仿真作战态势环境,由载舰操作手操作实装完成作战过程,为人在回路的实况仿真(Live Simulation)试验。作战上述陪试设备或系统在线接入对空多武器协同系统,通过实时生成并注入交战目标、命令、状态等仿真信息,在培训后的载舰操作手操作下,实现真实舰面设备对仿真目标的模拟拦截。在线仿真测试试验既能解决飞行试验中空中靶标供靶能力、试验成本、试验周期以及安全性等客观因素的限制问题,提高试验消费比、降低试验安全风险,又能通过构造各种复杂试验态势和边界条件,实施大量试验用例获取相应试验样本,从而实现对空多武器协同系统较全面的检查。对空多武器协同系统外场实装在线仿真测试试验对比飞行试验具有较高置信度、安全性、效费比,因此是试验鉴定主要试验方法和试验鉴定数据来源。实装在线仿真测试试验核心是研制配套的实装在线仿真测试系统,通过接入对空多武器协同系统实装,实现对空多武器协同系统复杂作战空情态势环境构造。对空多武器协同系统在线仿真测试评估系统逻辑设计如图 2 所示。

相对于实施真实空中目标动态校飞、导弹飞行试验、真实舰炮射击试验等外场实装、实兵、实弹试验,基于实

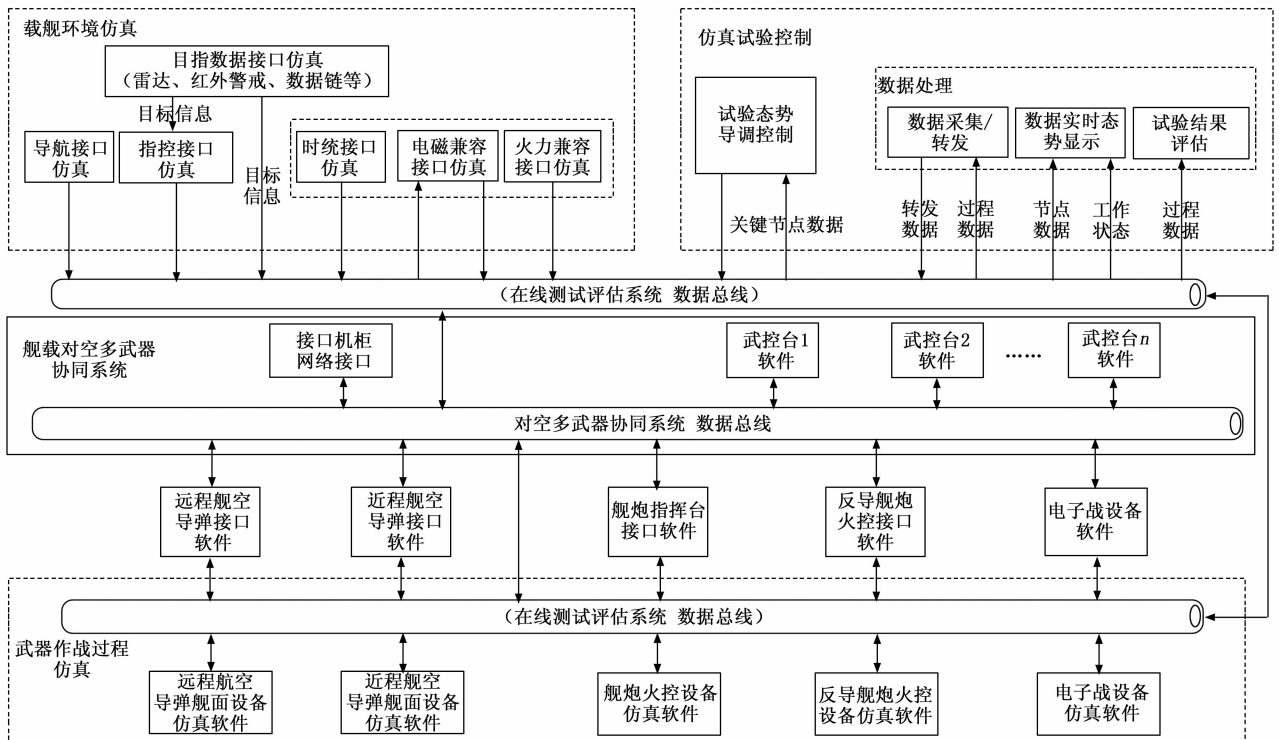


图 2 在线仿真测试评估系统逻辑关系图

装的在线仿真测试环境在保证与外场真实试验效果基本一致前提下, 在试验费用、试验周期、安全性和全面性等方面, 具有显著的经济和军事效益, 可显著提升试验鉴定的质量。因此, 实装在线仿真测试试验是对空多武器协同系统的主要试验方法。

2.2.3 内场仿真试验

对于对空多武器协同系统拦截目标综合杀伤概率(梯次、混合)、兼容控制成功率、杀伤区、多目标服务能力、目标处理能力、边界功能性能等总体功能性能指标, 采用上述实装参与的试验方法, 会受到装设备寿命、试验实施周期、试验综合费用和实施难度等条件限制, 不能满足上述检查所需要的试验用例大数量样本要求。内场实验室中, 被试对象为对空多武器协同系统实装武控台或移植后的作战软件, 通过构造对空多武器协同系统外部完整运行环境, 由试验人员完成仿真操作, 内场仿真为人不在回路的构造仿真(Constructive Simulating)试验。内场仿真试验中, 能够通过手动、自动方式实现对大量测试用例的测试, 具有时间少、效率高、试验参数调整灵活、试验成本低等优势, 在数据录取、分析评估软件配合下通过事后分析处理, 实现对某些大数据量试验项目的分析与评估。内场仿真试验主要依赖构造仿真模型, 仿真模型包括需求模型、逻辑功能模型、物理模型及模型转换方法等, 并可通过基于中间件交互方法实现 LVC 模型集成^[13]。

3 对空多武器协同试验鉴定关键技术

3.1 综合作战效能试验及评估技术

区别于单型武器装备自身功能及性能鉴定, 对空多武器协同系统功能及性能鉴定核心是对五型武备整体的综合作战效能进行评估, 比如协调控制性能、多目标处理及综合拦截性能等。美军在试验鉴定研究中形成的 CTM (Capability Test Methodology) 能力试验法成果中, 利于 LVC 构造不同的试验环境, 实现实兵系统与仿真系统互联, 完成对被试装备试验与评估^[14]。综合作战效能试验关键技术包括:

- 1) 对空防御综合作战效能总体指标的试验方法及评估模型;
- 2) 多型武器多通道兼容控制效能、软/硬武器综合作战效能试验方法及评估模型;
- 3) 大数据量数据实时数据采集及分析方法, 如基于镜像端口、分流器的及 Winpcap 数据采集法^[15];
- 4) 基于 LVC 试验数据的数据融合及综合分析评估模型;
- 5) 多传感器信息融合及目标分配效果试验方法及评估模型。

上述试验技术均需在单型武备试验基础上重新进行试验方法及评估模型创新, 例如在传统数据统计分析基础上, 引入加权分析法、指数分析法、图形综合分析法等新的方法和手段。

3.2 试验评估结果可信性评估技术

仿真试验结果置信度的高低直接影响试验鉴定结果的可信性, 决定试验结果的有效性。除飞行试验外, 实装静态试验、实装在线仿真试验和内场仿真试验均包含实体仿真、数据分析评估模型等仿真内容。其中, 实装在线仿真测试系统包含实装设备接口仿真、弹道仿真、杀伤效果仿真、目标运动特性仿真等内容。因此, 对空多武器协同系统试验结果可信性分析评估必须包括仿真模型的检核、验证与确认(VV&A)等内容。可信性评估具体包括两个方面: 作战环境仿真可信性和试验结果评估模型可信性。可信性评估贯穿于仿真测试系统建设和试验结果分析的全周期过程, 用于支持在仿真测试系统、仿真模型和结果评估模型等内容研制、构建、应用和改进。

3.3 试验环境构造技术

对空多武器协同系统试验鉴定核心是检验系统能否满足各种作战环境下综合控制功能及性能要求, 因此试验环境构造水平直接决定试验质量, 试验环境的构建是对空多武器协同系统试验鉴定工作的主要内容之一。试验环境构造包括设备运行环境和作战态势环境两方面内容, 由实兵实装、仿真系统和控制系统构成, LVC 试验中需要采用相关技术解决 LVC 仿真资源的互通互联, 比如可采用网关技术^[16]、基于模板的异构节点信息交互^[17]等方法加以实现。其中, 设备运行环境包括系统战斗态、训练态、维护态等工作状态下设备作战过程的关键环境节点, 在因安全性、功能限制等原因实装设备不参试的条件下, 通过采用替代仿真设备实现, 如开发研制实装在线仿真测试系统等专用试验设备, 相关具体技术包含: 实装在线接入技术、信息实时交互控制技术、数字接口仿真模拟技术和 HLA 仿真集成技术等, 其中 HLA 仿真集成技术是将采用不同仿真系统技术的仿真系统进行综合集成^[18]; 作战态势环境包括载舰平台环境、目标态势环境、对空作战综合控制系统及各对空武备的设备状态环境等, 通过构造敌我设备环境, 设计敌我攻防态势测试用例, 相关技术具体包括: 蓝方目标运动等特性模拟技术、蓝方战术战法模拟技术、红方战法模拟技术和作战态势实时控制技术, 其中实时控制技术主要包括异构系统互操作技术, 例如基于发布/订阅的 LVC 互操作技术, 实现对 HLA/TENA/DIS 仿真系统和实装的互操作^[19]。

4 多武器协同试验的实施

对空多武器协同系统开展鉴定试验前, 五型武器装备已完成各自系统独立的基本功能及性能试验鉴定, 对空多武器协同系统试验鉴定的实施主要内容包含两方面: 首先完成其对单型武器装备的作战控制功能及性能检验, 如控制单型武器装备对单目标拦截功能及性能; 其次完成其对五型对空武器装备的同时综合控制功能及性能检验, 包括: 多目标服务能力、对空防御综合杀伤概率、不同武器协调成功概率、杀伤区、二次拦截能力、补射能力、威胁

分析判断能力、综合杀伤效果分析提示能力等,重点是运用改进萤火虫算法等多种算法对火力通道组织、火力分配结果的合理性进行检验^[20]。单型对空武器装备与对空多武器协同不相关、具有独立性的功能及性能不在多武器协同试验中进行检查,如:机械指标、电气指标、典型单目标毁伤概率等。协同试验准备过程中,需要完成相关试验方法、评估方法、试验技术研究和配套在线仿真测试系统研制,并开展 LVC 试验系统互联互通测试;另外,需要根据相关方法、技术研究成果完成协同试验大纲的编制,明确试验项目及实施方法,并编制测试用例集等专用技术文件为实施试验大纲提供支撑。试验实施过程中,实时采集试验过程及结果试验数据,并通过实时或事后试验结果的分析与评估,为对空多武器协同系统试验鉴定提供依据。

5 结束语

美国海军“宙斯盾”防空综合作战系统已发展了近 10 个版本,同时 NIFC-CA 系统也已投入应用,这些系统提升了美国海军对空武器综合作战能力。同时,美军大量建设 LVC 试验训练系统,实现了通过 LVC 仿真系统替代实装完成大量试验,并通过建设 JLVC2020 (Joint LVC) 实现了多兵种、多 LVC 系统的集成^[21],为世界各国海军对空作战综合协同控制系统的研制与试验提供了借鉴思路。我国在防空任务综合协同试验领域的研究处于起步阶段,在对空多武器协同系统的 LVC 试验方法研究中,需要改变传统单型武器系统试验及单一试验模式的观念,紧贴当前主要作战对手、作战环境、作战任务,从体系对抗、联合作战、体系贡献率角度进行试验方法、技术和手段研究,设计 LVC 试验,实现对空武器装备综合作战效能的检验。及时开展对空多武器协同系统基于 LVC 的试验方法研究,对高质量完成对空多武器协同系统试验、促进载舰对空战力提升具有重要现实意义。

参考文献:

[1] 石静,邓建辉,谌剑.美“海军一体化火力控制一制空”能力发展现状与启示[J].指挥控制与仿真,2016,6:167-172.

[2] 周玉芳,余云智,翟永翠.LVC 仿真技术综述[J].指挥控制与仿真,2010,32(4):1-7.

[3] 张灏龙,谢平,赵滢,等.体系对抗仿真面临的挑战与关

[19] 任守纲,张景旭,顾兴健,等.时间序列特征提取方法研究综述[J].小型微型计算机系统,2021,42(2):271-278.

[20] 李舜韶,侯钰哲,李香莲.滚动轴承振动故障时频域分析方法综述[J].重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(10):85-93.

[21] 张千,王庆玮,张悦,等.基于深度学习的文本特征提

键技术研究[J].计算机仿真,2019,36(5):1-5.

[4] 刘传波,邱志明,吴玲,等.动态武器目标分配问题的研究现状与展望[J].电光与控制,2010,17(11):43-45.

[5] 林焯,王公宝.一种通用型舰载防空硬武器火力优化算法[J].指挥控制与仿真,2016,38(5):58-59.

[6] 阮旻智,李庆民,刘天华.编队防空火力分配建模及其优化方法分析[J].兵工学报,2010,31(11):1525-1529.

[7] 马良,王书齐.舰空导弹网络化协同反导作战效能分析[M].北京:国防工业出版社,2016.

[8] 罗文涛,许蕴山,肖冰松,等.时敏打击系统的作战决策与作战效能分析[J].火力与指挥控制,2013,38(9):1517-1520.

[9] 马双林.软硬杀伤性武器协同综合作战[J].西北工业大学硕士学位论文,2007,4:42-46.

[10] 刘方,姜志博,马志刚,等.基于同心筒结构的共架发射系统武器发射时域协调方法[J].海军工程大学学报,2015,27(2):86-89.

[11] 陈建华,等.舰艇作战模拟理论与实践[M].北京:国防工业出版社,2002.

[12] 罗鹏程,周经纶,金光,等.武器装备体系作战效能与作战能力评估分析方法[M].国防工业出版社,2014.

[13] 侯婧,柴旭东,周军华.ICE 中间件的 LVC 集成模型研究[J].机械工程学院学报,2017,29(2):62-66.

[14] 薄中,冯策,孙超,等.基于发布/订阅的 LVC 互操作方法[J].指挥控制与仿真,2019,41(3):37-42.

[15] 谢文杰,周小凡,栾晓文,等.航天测控网实时数据流量监控与分析技术[J].计算机测量与控制,2016,24(2):84-87.

[16] 董志华,朱元昌,邸彦强,等.武器装备联合试验环境构建关键技术[J].计算机仿真,2014,39(7):5-9.

[17] 孟宪国,蒋旭,邸彦强,等.一种基于模板的 LVC 仿真系统空情信息互操作方法研究[J].机械工程学院学报,2017,29(2):62-66.

[18] 程路尧.试验训练一体化仿真建模研究[J].计算机与数字工程,2017,45(3):478-481.

[19] 陆志斌,王洪军,李佳楨,等.基于发布/订阅的 LVC 互操作方法[J].指挥控制与仿真,2019,41(3):37-42.

[20] 姜文志,宗富强.多型舰空导弹火力通道目标分配[J].指挥控制与仿真,2018,40(2):81-85.

[21] 李进,吉宁,刘小荷,等.美军新一代支持联合训练的 JLVC2020 框架研究[J].计算机仿真,2015,32(1):463-467.

[22] 欧阳武,程启超,金勇,等.基于熵权模糊综合评价法的水润滑尾轴承性能评估[J].中国机械工程,2020,31(12):1407-1414.

[23] 钟鑫,刘文彬,杨剑锋.基于逻辑回归的滚动轴承性能退化评估[J].科技信息,2010(16):504-505.

(上接第 248 页)