

面向任务的军机作战有效性试飞设计与评估

李超, 马小健, 任晓斌

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要:为解决军机使用试验与鉴定阶段飞行试验过程中的作战有效性评估问题,提出了基于 DoDAF 的使用试飞设计方法,设计了基于组件和交战行为时序描述的作战想定设计方法,形成了军机使用试飞作战想定组件库;设计开发了专用软件,实现了作战有效性向装备指标的映射以及面向任务的综合试飞;提出了基于 5 步法的军机作战效能定量评估方法,解决了军机作战有效性定量评估的问题。

关键词:军用飞机; 试验与鉴定; 使用试飞

Design and Evaluation of Mission-Oriented Military Aircraft Operational Effectiveness Flight Test

Li Chao, Ma Xiaojian, Ren Xiaobin

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: In order solve the problem of operational effectiveness evaluation in the flight test of military aircraft in the stage of operational test and evaluation, a method of operational test design based on DoDAF is proposed, and a method of operational scenario design based on component and time series description of combat behavior is designed, which forms a component library of operational test scenario of military aircraft. A special software is designed and developed to realize the mapping of operational effectiveness to equipment indexes. Firing and task-oriented integrated flight test, a quantitative evaluation method of military aircraft operational effectiveness based on five-step method is proposed, which solves the problem of quantitative evaluation of military aircraft operational effectiveness.

Keywords: military aircraft; testing and identification; use test flight

0 引言

装备作战效能是一个内涵丰富、包容性高的概念,其定义为在预期或规定的作战使用环境以及所考虑的组织、战略、战术、生存能力和威胁等条件下,由有代表性的人员使用该装备完成规定任务的能力。装备作战效能评估有助于充分发挥现役装备的作战能力和作战潜力,进一步提出新型装备合理可行的战术技术指标,对武器装备研制技术发展具有非常重要的意义。

军机试验与鉴定的作用是尽早发现、解决新机设计缺陷,检查各项战技指标的符合性,对其作战有效性和适用性进行评估,并最终确认装备能否胜任作战任务要求。军机试验与鉴定工作可分为研制试验与鉴定(DT&E)和使用试验与鉴定(OT&E)2个阶段,OT&E是指在逼真的战场环境下,由典型作战人员操作,针对装备作战效能测试而开展的阵地试验以及对上述测试结果所进行的评估,装备的作战有效性评估主要是在 OT&E 阶段完成的。OT&E 的类型包括仿真、地面试验、飞行试验等多种,其

中飞行试验是 OT&E 中耗费最大,耗时最长也是组织最为复杂的一类试验。由于不同作战任务对装备的功能、性能要求存在差异,因此装备的飞行试验作战有效性评估应面向特定任务开展。另外,装备作战效能评估方法是多种多样的,根据评估目的及角度的不同,在选取评估方法时是有所差异的。

本文参考美国国防部体系结构框架(DoDAF)规范化结构框架,结合军机作战使用想定环境,设计了基于组件和交战行为时序描述的作战想定设计方法,完成特定想定的推荐试验点集,辅助完成完成试验点综合设计,开发了专用软件,实现了作战有效性向装备指标的映射以及面向任务的综合试飞,通过 DoDAF 多视图定义方法及装备体系任务模型的定义,辅助完成军机使用试飞科目规划,提出了一种基于 5 步法面向任务的军机作战有效性试飞设计与评估方法,结果验证了该评估方法的正确性及有效性,可以用于支持军机使用试飞的设计与评估工作。

1 基于 DoDAF 的使用试飞设计

1.1 试飞科目设计

作战任务是指在一定的环境和时间条件下,为达成特定作战目标而由各作战功能单元共同进行的一系列相互关联的作战活动的有序集合^[1]。由于交战过程具有高度复杂

收稿日期:2019-03-21; 修回日期:2019-04-16。

作者简介:李超(1987-),男,陕西西安人,硕士研究生,工程师,主要从事机载通信系统性能试飞研究及电路与系统设计研究,建设规划与项目管理工作方向的研究。

性、系统性及强随机性等因素,因此对军机作战任务的描述往往十分笼统,不够精确,给作战有效性评估试飞的科目设计带来了很大难度。

美国国防部体系结构框架^[2] (DoD Architecture Framework, DoDAF) 是由美国国防部的 US Undersecretary of Defense for Business Transformation 工作小组所制定的体系结构框架,其前身是 C4ISR 体系结构框架。DoDAF 通过定义作战视图 (OV)、系统和服务视图 (SV)、技术和标准视图 (TV) 以及总体结构视图 (AV),各个视图之间相互联系,应用多视图建模思想分析复杂系统的一种方法,可以运用于复杂军事任务的分析与描述。通过 DoDAF 多视图定义方法,辅助完成军机使用试飞科目规划。依据 DoDAF 装备体系任务模型的定义,对复杂军事任务的描述应包括任务目标、任务装备、任务活动以及任务活动间关系 4 个方面。即对于任何一个作战任务,都可以被形式化描述为一个四元组:

$$OT = \{TO, TE, TA, TR\}$$

其中: $TO = \{TO_1, TO_2, \dots, TO_n\}$, 表示作战任务的目标集合; $TE = \{TE_1, TE_2, \dots, TE_n\}$, 表示作战任务的装备集合; $TA = \{TA_1, TA_2, \dots, TA_n\}$, 表示作战任务的活动集合; $TR = \{TR_1, TR_2, \dots, TR_n\}$, 表示作战任务的活动间关系集合^[3]。

直接在作战任务层面对作战有效性进行评估,特别是定量评估的难度特别大,为实现对新机作战有效性进行科学准确的评估,应首先完成作战任务层面向装备指标层面的映射。基于 DoDAF 的军机使用试飞设计就是以 DoDAF 开发的作战任务体系结构为基础,实现作战任务向装备指标需求的映射,其设计过程可具体分为作战任务分析 (OTA)、功能节点分析以及指标需求边界分析等 3 个步骤。

第一,作战任务分析 (OTA) 是从 DoDAF 体系结构中的 AV-1 和 OV-1 模型提取与作战使命、作战任务相关的信息,确定作战任务需求,并完成作战任务的细化分析和定义;

第二,功能节点分析是根据 DoDAF 体系结构中的 SV-4 以及 SV-5 中相关信息,把作战任务需求分配到各个功能模块,完成体系能力需求向子能力需求的映射;

第三,指标需求边界分析是通过 DoDAF 获取体系结构中的 SV-1、WSV-1 以及 WSV-2 中相关信息,把各个功能节点的任务转化为具体的、可测的功能/性能指标要求,并最终完成子能力需求向实体需求的映射^[4-5]。

依据上述理论,按照 DoDAF 框架对作战任务进行层次分解,利用自顶向下的科目设置原则,将试飞科目依次规划为“典型作战剖面、基本战术动作以及具体指标测量等 3 类,实现军机作战能力从作战域向装备指标域的映射。

1.2 基于组件和交战行为时序描述的作战想定设计

作战想定是对交战双方的企图、态势以及作战发展情

况的设想和假定。作战想定是使用试飞开展的基础和前提。作战过程涉及内容繁多,把静态的军事作战概念模型转化为可重用性较高的模型组件,对作战过程设计具有重要意义。

依据综合试飞的原则,在一次典型作战任务试飞中可以结合完成多个战术动作试飞以及功能性能验证试飞科目,也可以在同一个架次中进行多个关联子任务的验证,如雷达空空模式和空空武器的使用等,这样可以进一步提高试飞的综合程度。

根据前期规划好的试飞动作点,识别并定义出各动作点的关键属性,并构建动作点数据库。设计智能化的基于动作点关键属性的动作点检索算法,为面向使用的试飞设计提供支持。数据库的内容应该包括试验点所属任务阶段、飞行高度、飞行速度、发动机推力、飞机构型、耗时、动作、配试条件、前置科目要求等等。此外还应包括 COI、MOE、MOP 三者之间的对应关系,及其和各试验点的对应关系,便于进行科目综合。



图 1 作战剖面设计软件界面

设计开发了面向任务的综合试飞辅助设计系统软件,通过对数据库中的动作点进行智能化筛选,实现特定想定的推荐试验点集,辅助完成完成试验点综合设计。作战过程设计内容繁多,把静态的军事作战概念模型转化为可重用性较高的模型组件,对作战过程设计具有重要意义。利用建模技术,完成机载武器装备(雷达、光雷、电台、导航设备、武器等)、配试资源(目标机、靶机、地面雷达、通信指挥所、试验空域等)的模型化描述,进行分类编号,完成作战想定组件设计。对电磁环境、气象环境、威胁环境进行了组件建模,完成组件设计。将设计完成的作战想定组件录入数据库,并设计开发了基于组件和交战行为时序描述的作战剖面设计软件。

2 军机作战效能试飞评估技术

通过 DoDAF 框架对作战任务进行层次分解,实现了军机作战能力从作战域向装备指标域的映射。在其基础上,通过设计面向任务的军机作战有效性试飞评估方法,解决军机作战效能定量评估的问题。本文提出了基于 5 步

法的军机作战效能定量试飞评估方法其核心是在面向特定任务的情况下, 确定被试装备完成作战任务应具备的某个或几个关键性能指标, 进而将其进一步分解, 实现被试装备效能指标与功能指标的分解映射, 通过确定关键性能指标评价函数、综合效能评价函数及相关计算, 进而实现装备作战效能的评估量化分级, 最终完成军机作战效能试飞评估。

该评估方法主要通过被试武器试飞任务否决项的制定、关键作战要点 (COIs) 的确定、对一个或多个 COIs 对用的 MOE/MOP 的分解、确定 COI 关键性能指标评价函数、综合效能评价函数及相关计算 5 个步骤来完成, 军用飞机作战有效性试飞评估流程如图 2 所示。



图 2 军机作战效能试飞评估流程图

2.1 否决项的制定

否决项的制定, 即如被试武器系统不满足某关键性能指标或关键系统属性 (KPP、KSA) 则就无法具备某项作战能力, 立即终止试验。例如美国全球鹰无人机 BLOCK 30 所定义的 KPP 包括了续航时间、全球部署能力、实时操作能力、网络就绪能力以及态势感知能力等 5 项^[6]。KPP 和 KSA 指标在试验初期就应进行评定。

2.2 关键作战要点 (COI) 的制定

COI 是指影响作战有效性的相互独立的若干关键指标, 可以根据具体任务的不同, 进行设置, COI 通常是一个问句, 同时一个作战任务可以包括 1 个或多个 COIs^[7]。COI 是判断装备面向特定任务是否具备完成能力的关键性指标, 军机作战有效性或作战效能取决于 COI 的符合程度, 通过 COI 分析模型目标值确定完成任务能力的定量评估。

2.3 COIs 对应的 MOE/MOP 分解

COIs 的分解是将被试对象的关键指标进行进一步分解, 设定包括 COI、MOE、MOP 三者之间的对应关系, 即是将被试对象的效能指标与固有性能指标进行映射, 把各个 COI 关键指标转化为具体的、可测的功能/性能指标要求, 便于确定关键性能指标评价函数及综合效能评价函数, COIs 的分解过程可通过多被试对象的多个维度进行。

以某型军机雷达隐身空战作战效能分析为例, 该雷达适应性指标 (COI-1) 分解如图 3 所示, 将该指标分解为探测能力 (MOE-1)、跟踪能力 (MOE-2)、抗干扰能力 (MOE-3), 再通过每项 MOE 指标进行二次分解为多个 MOP 指标, 进而实现效能指标与固有性能指标的分解映射。

2.4 作战有效性评估

装备作战效能评估指标是多种多样的, 根据所研究对

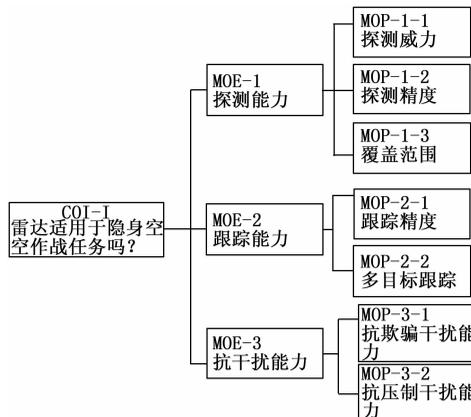


图 3 典型 COI 及 MOE、MOP 分解图

象的具体情况, 可以选择不同的效能指标。在基于特定试飞任务的情况下, 本文所述作战有效性或作战效能取决于 1 个或多个 COIs 的符合程度, 可以用任务能力水平 (MCL) 进行定量评价。通过设置目标值、支持任务完成的最低要求以及否决点, 将其划分为 3 个等级。100 分表明装备满足 COI 分析模型中全部目标值, 80 分对应于临界值, 而 50 分对应于不具备此项任务, MCL 任务能力等级水平如图 4 及表 1 所示。

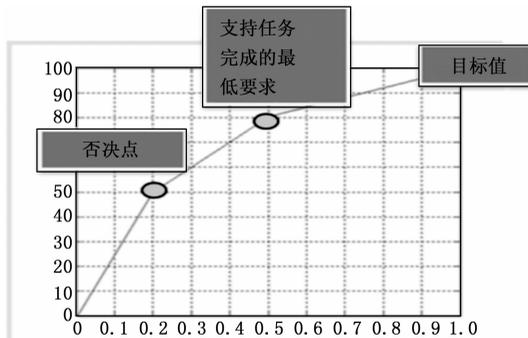


图 4 MCL 等级示意图

表 1 任务能力水平的定义

任务能力水平	范围	
全任务能力	80	100
部分任务能力	50	<80
非任务能力	0	<50

其中, 全任务能力代表最高水平, MCL 至少为 80 分。一个系统被定为具备全任务能力意味着这个系统针对某特定任务而言已经达到了初始作战能力; 部分任务能力代表中间水平, MCL 在 50 到 80 之间, 意味着有部分任务能力仍达不到初始作战要求, 这样描述仅适用于现有任务能力存在且可以量化的; 非任务能力代表最低水平, MCL 低于 50。非任务能力系统不会改善目前的任务能力, 一个分数少于 50 的系统仍可通过其他方面来证明自身价值, 如更低的成本或先进的技术^[8]。

2.5 MCL 的计算

为每个 COI 构建数学函数用于推导 MCL。针对军机典型任务，可以构造分段线性函数。需要一定的数据点以确定函数关系，包括代表目标、初始、现有能力值和确定零点的值。给出了 COI 分析模型示例和构建分段线性函数所需的参数值。

下式为一个 MCL 解析模型构建实例：

$$P_{mission} = P_d * P_{a|d} * P_j * R * A_o$$

其中： P_d 为探测概率， $P_{a|d}$ 为电子攻击指定目标的概率， P_j 为干扰概率， $R A_o$ 为可靠性， $P_{mission} A_o$ 为作战有效性， $P_{mission}$ 为任务成功概率。

完成对多 COIs 的评估，必须给出一个整体综合结论，如 OE 需要应用权重的方法来平衡多个相互竞争的目标。为了正确进行加权，COIs 必须是互斥的。因为一个系统的单项功能通常不依赖于彼此，设置互斥性应该不难。例如，一个人空中救援任务结果通常不会受一个对地攻击任务结果的影响。

对于此项任务，每个 MOE 将与其对应的 MCL 值相关（由决策模型确定），MCL 的权重要与对应的 MOE 有相同的权重；也就是说， w_1 对应于 MOE1 和 MCL1， w_2 对应于 MOE2 和 MCL2， w_3 对应于 MOE3 和 MCL3 等。一旦对应于某个 MOE 的 MCL 值确定下来，MCL 相应的加权可通过下面的等式计算：

$$P_{mission} = \sum \omega_k MCL_k; \sum \omega_k = 1$$

如果这是单一的任务，计算出来的 $P_{mission}$ 就是 OE 的结果，当 $0 \leq OE < 50$ 时为非任务能力，当 $50 \leq OE < 80$ 时为部分任务能力，当 $80 \leq OE \leq 100$ 时为完全任务能力。

当存在多任务时，每个任务有其自己的 MOE 权重，每个任务的加权通过相应的任务水平的权重 w_i 来计算，所有任务水平的权重总和同样等于 1。方程如下：

$$OE = \sum \omega_i (P_{mission})_i; \sum \omega_i = 1$$

如本例所示，MCL 的函数只在某一个水平下确定，即某一个任务水平。然后，确定相应的权重并采用规定的求和方法，最终确定总体任务能力^[9-10]。

3 试飞应用

在某型军用飞机 OT&E 使用试飞阶段，利用本文所述方法开展了雷达隐身空战任务作战效能评估。基于作战任务想定，利用本文设计的作战剖面设计软件，综合考虑复杂环境影响因素，共筛选了多个试验点集，完成了综合试飞科目的设计。

在评估过程中，将 COI 分解为 3 项 MOE 及 7 项 MOP 指标，确定了关键性能指标评价函数及综合效能评价函数，通过 MCL 计算，完成了该军用飞机雷达隐身空战作战效能的评估量化分级，最终完成军机作战效能试飞评估，确定该军用飞机雷达隐身空战过程中作战任务完成能力，评估

结果如表 2 所示，评估结果表明该军用飞机雷达具备隐身空空作战完全任务能力。

表 2 某军机雷达隐身空空作战任务能力评估

COI	MOE	MOP	OE	评估结论
雷达是否隐身空空作战任务	探测能力	探测威力	85	完全任务能力
		探测精度		
		覆盖范围		
	追踪能力	跟踪精度		
		多目标跟踪		
	抗干扰能力	抗欺骗干扰		
		抗压制干扰		

4 结束语

本文完成了基于 DoDAF 的军机使用试飞作战有效性评估流程的正向设计，实现了作战有效性向装备指标的映射以及面向任务的综合试飞，提出了基于 5 步法的军机作战效能定量评估方法，解决了军机作战有效性定量评估的问题。该方法在某型军机雷达隐身空战过程中作战任务完成能力进行了应用，结果表明该方法对军机作战有效性评估有较强的应用价值，有效降低了军机使用试飞的设计与评估工作难度。同时，为面向任务的军机作战有效性评估工作提供了理论基础，对未来其他型号航空武器装备作战效能评估的研究提供了一定的参考与借鉴。

参考文献：

- [1] 曹裕华，周雯雯，高化猛. 武器装备作战试验内容涉及研究 [J]. 装备学院学报，2014 (4): 112-117.
- [2] 高昂，王增福，赵慧波，等. DoDAF 体系结构分析 [J]. 中国电子科学研究院学报，2011 (5): 461-466.
- [3] 李剑. 基于 DoDAF 的作战体系结构建模方法 [J]. 四川兵工学报，2009 (7): 14-16.
- [4] 崔潇潇，王明哲. DoDAF 标准的系统效能评价 [J]. 兵工自动化，2006, 25 (12): 1-2.
- [5] 岳增坤，陈炜，夏学知. 基于 DoDAF 的体系结构模型设计与验证 [J]. 系统仿真学报，2009 (5): 1407-1411.
- [6] Gilmore J M. Director, Operational test and evaluation RQ-4B global hawk block 30 operational test and evaluation report [R]. 2014.
- [7] Alvidrez F C. Using Model based system engineering in flight test [J]. Itea Journal of Test & Evaluation, 2012.
- [8] 金振中，嫁旭山. 武器装备作战效能的评估方法 [J]. 战术导弹技术，2007 (1): 20-26.
- [9] 宋敬华，赵亮，阳仁奇. 武器装备作战效能试验研究 [J]. 计算机测量与控制，2012 (7): 1928-1930.
- [10] 豆建斌，卢兴华，姜连松. 装备战备水平及其评估方法 [J]. 火力与指挥控制，2012 (10): 1-4.