

# 飞机结构效能的综合设计

何宇廷<sup>1</sup>, 孙旭<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军装备部, 北京 100843)

**摘要:**依据武器系统效能的定义对飞机结构效能进行了定义,并分析了影响因素及相互关系。在此基础上,选定了飞机结构的效能模型,对飞机结构效能综合设计的内涵进行了分析,简述了飞机结构可用性设计、可信性设计、固有能力建设及效费综合特性设计的基本内容。

**关键词:**结构效能; 可用性; 可信性; 固有能力建设

**中图分类号:** V221 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)02-0007-03

在飞机设计的实践过程中,飞机结构的设计思想经历了“静强度设计”、“静强度和刚度设计”、“静强度、刚度和安全寿命设计”、“静强度、刚度和损伤容限与经济寿命设计”、“可靠性设计”等发展阶段<sup>[1-2]</sup>。飞机结构的现代设计理论也发展了如“结构优化设计”、“结构抗疲劳设计”、“结构防断裂设计”和“结构可靠性设计”等理论体系。同时,计算机结构辅助分析(CAE)和计算机辅助设计(CAD)等先进设计技术手段也日益得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。然而,保证了安全性的结构是“好”的结构吗?只有效能最高的结构才能算是一个“好”的结构。结构设计的最终目的是追求效能最优的结构。

## 1 飞机结构效能定义及模型

对于系统效能,文献[4]给出的定义为:系统效能是系统预期达到一组专门的任务要求的程度的度量,而且是系统可用性、可信性及固有能力的函数。它将可靠性、维修性、保障性、生存力和固有能力等因素反映为可用性、可信性和固有能力的3个指标效能,并认为系统效能是这3个指标效能的综合。

1) 可用性:在某一随机时刻要求完成任务时,飞机结构系统在任务开始时处于能工作和可投入使用状态的度量。用可用度  $A$  表征,与结构可靠性、维修性、保障性、测试性有关。

2) 可信性:任务开始时可用度给定的情况下,在规定的任务剖面中的某一时刻,飞机结构系统可工作并能够完成其规定功能的度量。用可信度  $D$  表征,与结构的任务可靠性、任务维修性、安全性、生存性等有关。

3) 固有能力的度量:飞机结构在任务期间内所给定的条件下完成任务能力的度量。用  $C$  表征,与结构的强度性能、刚度性能及稳定性等有关。

因此,飞机结构系统效能可表征为  $E = ADC$ 。

## 2 飞机结构效能综合设计

飞机结构效能是飞机结构本身的固有属性,其高低是通过设计技术手段来实现的,即是设计出来的。

### 2.1 飞机结构可用性设计

飞机结构可用性综合反映了结构系统的可靠性、维修性、保障性和测试性,是对飞机结构系统可工作状态的综合描述。因此,飞机结构可用性设计具体体现为飞机结构的可靠性、维修性、保障性和测试性设计等。

#### 2.1.1 飞机结构可靠性设计

收稿日期:2005-01-28

基金项目:国防预研基金资助项目(402030101)

作者简介:何宇廷(1966-),男,四川阆中人,教授,博士生导师,主要从事飞行器设计研究。

飞机结构可靠性是指在战术技术要求或使用技术要求所规定的使用条件和环境下,在规定的使用期限内,飞机结构完成规定功能的能力<sup>[5-6]</sup>。飞机结构的使用因素主要是载荷,其他包括腐蚀、热、噪声等。飞机结构可靠性设计就是在结构设计过程中采取适当可行的技术措施以最大限度提高结构的可靠性<sup>[5]</sup>。

细节设计是保证可靠性的关键环节,设计时主要应该考虑<sup>[6]</sup>:优化、余度、防错、环境适应性设计。

### 2.1.2 飞机结构维修性设计

由产品维修性的定义可知<sup>[7]</sup>,飞机结构的维修性是指在规定的条件和时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复其规定功能的能力。通常装备维修性设计可以考虑模块化、自测试功能设计等<sup>[4,7]</sup>。对于飞机结构的维修性设计可主要考虑可达性及易拆装性<sup>[6]</sup>,改善飞机的维修品质,缩短维修时间。

1) 可达性设计。它决定着对飞机的检查、拆装、调试、润滑保养和更换修理工作中所能触及到的结构件的难易程度。对于重要结构以及需要经常进行检查的零、组件,应该从机体外部就可以进行检查,或者通过快速拆下口盖就可进行检查。对于损伤部位能够用手摸到,在损伤修复时便于操作。

2) 易拆装性设计。飞机进厂翻修或大修,70% - 80%的工作量是拆装。外场排故定检、更换零、附件以及润滑保养和加改装等维修工作中也有大量的拆装任务。结构设计的简单化、成组化等为拆装提供了方便。

### 2.1.3 飞机结构系统保障性设计

保障性中的设计特性,是指与装备使用维修保障有关的设计特性,如可靠性与维修性等,以及使装备便于操作、检测、维修、装卸、运输、消耗品补给等设计特性<sup>[8]</sup>。这些都是通过设计途径赋予的。

飞机结构是飞机武器系统的平台,在设计阶段对飞机保障性的考虑将直接决定飞机的保障性。设计时应做到:①制定合理的维修保障方案,以便规划维修保障所需的资源和保障要求。②力求减少预防性维修的工作量,特别是外场级维修,以减少维修停机时间和机务人员配备。③便于进行排除故障的维修,并尽量采用通用和简易的工具和设备。④战伤条件下维修工作中应尽可能应用常用维修工具,即便是专用配套工具及设备,也要考虑便于使用、携带和运输。⑤维修备件配套定额和供应方案力求标准化,减少供应品种和数量。⑥考虑适应各维修级别的固定设施及相应的维修设备,尽量充分利用已有设备。⑦与装备技术状态一致并简明而适用的维修技术文件,以便统一维修要求和便于维修人员操作。⑧充分考虑易于实施维修人员的训练,维修人员不需要过高的文化水平,易于更替补充。

### 2.1.4 飞机结构系统测试性设计

飞机结构系统测试性良好的主要标志是自诊断(或自检)能力强、检查维修方便和便于使用外部测试设备进行诊断测试<sup>[9]</sup>。提高飞机结构系统的测试性水平的主要途径和方法如下:

1) 固有测试性设计。固有测试性仅取决于飞机结构系统的硬件设计,不受测试激励和响应数据影响。可以从功能和结构上把飞机结构系统划分为不同的可更换单位,以便于单独测试和隔离故障;可初始化到规定初始状态以便于重复测试;提供观测特性数据的通路和电路,以便于测试设备能观测其内部特征信息;提供能够测试结构内部元件、组件工作状态和输入测试激励的通路和电路,以便于检测和隔离内部故障等。

2) 兼容性设计。兼容性是飞机结构系统与外部测试设备(ETE)之间在信号传输、电气和机械上接口配合的一种设计特性<sup>[9]</sup>。设计目的是为测试设备进行测试提供方便,减少或消除大量专用接口装置的设计。

3) 机内测试(BIT)设计。为了给故障诊断提供最大的方便,系统和设备内部设置用于状态监控、故障检测与隔离的硬件和软件或自检装置等,使得系统本身就能检查工作是否正常或确定什么地方发生了故障。

## 2.2 飞机结构可信性设计

飞机结构可信性的实质是描述飞机结构系统在完成任务期间所处的状态,即能否连续工作。其受结构系统的任务可靠性、任务维修性、安全性和生存性等因素的影响。飞机结构可信性的概率度量是可信度。

### 2.2.1 飞机结构任务可靠性设计

不考虑飞机具体作战环境时,飞机结构自身所具有的可信度为  $D = R_m + (1 - R_m)M_t$ 。式中: $R_m$ 是任务可靠度; $M_t$ 是任务维修度。飞机结构任务可靠度是其在规定的任务剖面中完成规定功能的能力。它反映了飞机结构系统在执行任务期间完成任务的能力,度量时只考虑那些影响完成任务的结构故障。飞机结构任务维修性是其在规定的任务剖面内,经维修能保持或恢复到规定状态的能力。它强调在执行任务期间,在使用现场和一定的时间限制以内,有效保持和迅速恢复功能的能力。此时,飞机结构可信度是  $R_m$  和  $M_t$  的函数。对于作战飞机,在飞行过程中一般是无法进行维修的,因而  $M_t = 0$ ,飞机结构可信度即为任务可靠度。

提高飞机结构的任务可靠性主要是通过提高飞机结构可靠性来实现的。提高飞机结构任务可靠性的设

计措施与提高飞机结构可靠性的设计措施基本相同。

### 2.2.2 飞机结构生存性设计

飞机结构生存力是飞机生存力的重要组成部分<sup>[10]</sup>。结构的生存性是指飞机结构在特定环境(如作战环境等)下的生存能力。它是飞机结构敏感性与易损性的综合,常用在特定环境下的生存能力(或被杀伤概率)表示。其设计就是通过设计技术手段来降低飞机结构的敏感性与易损性,从而提高其生存性。

### 2.3 飞机结构固有设计

飞机结构固有设计主要是通过技术措施手段使结构满足其应有的强度性能、刚度性能及稳定性要求。在这一领域,飞机结构工程师们已有许多成熟的方法、手段及理论可供应用<sup>[11-12]</sup>,不再赘述。

### 2.4 飞机结构效费综合特性设计

当一架飞机设计完成之后,飞机结构的各项性能对结构系统效能都有贡献,同时又是结构系统寿命周期费用的驱动因素,因而飞机结构效能和寿命周期费用都是结构系统性能的函数,都是飞机结构系统的固有属性。因此,把飞机结构系统效能和寿命周期费用科学地加以综合,就形成了飞机结构系统的效费综合特性。飞机结构系统的效费综合特性是一种系统、全面反映飞机结构特性综合优化的顶层特性,可表述为:飞机结构系统在寿命周期内有效地利用经济资源达到其预定功能要求的能力。在飞机结构系统的效费综合特性设计中,效能和寿命周期费用要综合起来考虑、综合权衡分析。飞机结构系统效费分析是对飞机结构效费综合特性进行设计分析的重要手段和工具。其具体手段可参考有关专著<sup>[4,12-13]</sup>。

## 3 结束语

飞机结构效能的综合设计是一个正在探索的领域。本文依据武器系统效能的定义对飞机结构效能进行了研究。目的是为下一步飞机结构效能评估工作奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 顾诵芬. 飞机总体设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [2] 陶梅贞. 现代飞机结构综合设计[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.
- [3] 王志瑾,姚卫星. 飞机结构设计[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [4] 张恒喜. 现代飞机效费分析[M]. 北京:航空工业出版社,2001.
- [5] 陆廷孝,郑鹏洲. 可靠性设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [6] 中国航空科学技术研究院. 飞机结构可靠性分析与设计指南[M]. 西安:西北工业大学出版社,1995.
- [7] 甘茂治,吴真真. 维修性设计与验证[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [8] 马绍民,章国栋. 综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [9] 田仲,石君友. 系统测试性设计分析与验证[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [10] Robert E Ball. 飞机作战生存力分析与设计基础[M]. 林光宇,宋笔锋. 北京:航空工业出版社,1998.
- [11] 崔德刚. 结构稳定性设计手册[M]. 北京:航空工业出版社,1996.
- [12] 张恒喜,朱家元,郭基联,等. 军用飞机型号发展工程导论[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [13] 李为吉. 现代飞机总体综合设计[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.

(编辑:姚树峰)

## On the Comprehensive Design of Aircraft Structural Effectiveness

HE Yu - ting<sup>1</sup>, SUN Xu<sup>2</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. The Equipment Department of Air Force, Beijing, 100843, China)

**Abstract:** Based on the definition of weapon system effectiveness, aircraft structural effectiveness is defined and the relationships among its relative elements are analyzed. Then the model for aircraft structural effectiveness is established. The contents of comprehensive design of aircraft structural effectiveness, such as availability, dependability, inherent capability, and comprehensive characteristics of effectiveness and cost, are demonstrated.

**Key words:** structural effectiveness; availability; dependability; inherent capability