教练机训练效能计算方法改进

李航航 宋笔锋 高宏建

(西北工业大学 航空学院, 西安 710072) (北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

摘 要: 教练机训练效能对飞行学员掌握飞行技能和战术水平有重要作用,量化评估教练机训练效能是优化训练体制和评估飞行训练大纲的前提. 典型的教练机训练效能计算模型对飞机的航空电子系统、操纵系统考虑不足,对飞行参数选择有局限性. 利用层次分析法原理改进的教练机训练效能评估模型弥补了这些不足,同时对飞行科目权重给出了新的选择方法. 改进模型能够很好地适应第三代战斗机飞行员训练效能评估,为现代飞行训练大纲和飞行训练体制评估提供了基础,算例结果证明改进模型更为合理可行.

关 键 词: 教练机; 训练效能; 计算方法; 改进

中图分类号: V 119; V 237

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)06-0680-04

Computation method improvement of military training plane effectiveness

Li Hanghang Song Bifeng

(School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Gao Hongjian

(Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: The training effectiveness of military training plane is important to pilot cadets to master airmanship and to raise tactical level. Moreover, the quantitative evaluation of training effectiveness of training plane is the prerequisite to optimization of training system and evaluation of training syllabus. The typical computation model of training effectiveness of training plane has limitation in selection of flight parameters as well as insufficient attention to avionics and control system. Improved evaluation model of training effectiveness of training plane based on analytic hierarchy process covers the above-mentioned shortages, at the same time, provides new selection method for the weighting of flight subjects. Improved model can well satisfy the needs of training effectiveness evaluation of the third generation pilots, and lay the foundation for modern flight training syllabus and evaluation of flight training system. Simulation proves better feasibility and rationality of improved model.

Key words: training plane; training effectiveness; computational methods; improvement

教练机是空军装备的重要组成部分,它担负着战斗机飞行员的训练任务,影响着实战中飞行员对作战飞机的使用水平和最终作战结果. 教练机的优劣由训练效能来衡量. 国外对教练机训练效能定量化研究开始于20 世纪 70 年代[1,2],并已在相应的教练机型号论证研制中得到应用. 典型的训练效能计算模型有意大利的 Bazzocchi 模型、美国海军军机训练效能模型等. 国内对教练机效能计算方法的研究较少,见到的只是对国外典型训练效能计算模型的应用分析[3,4].

随着我国空军装备的更新换代,教练机的使用面临很多问题. 如现有教练机能否满足新装备的训练要求,训练体制和飞行大纲如何调整和优化等. 要解决这些问题就必须对教练机的训练效能进行深入研究. 为此,本文对国外典型教练机训练效能计算模型进行了深入研究,发现该模型在

收稿日期: 2006-01-13

作者简介: 李航航(1967-),男,陕西咸阳人,博士生, Li _ hanghang@163. com.

评估新一代教练机时存在一定不足,针对这些不足提出了模型改进方案,并通过实际算例验证改进后的效能计算模型. 结果表明:改进后的教练机效能计算模型是合理有效的.

1　典型效能计算模型

典型的教练机训练效能计算模型包括 Bazzocchi 模型和美国海军教练机计算分析模型. 这两种计算模型思路相似,本质都是属于多属性效用分析. 考虑教练机训练效能与学员飞行员的学习过程密切相关,涉及因素众多,不能用纯粹的数学解析模型来准确描述这样的复杂问题,因此,利用计入决策者偏好信息的工程模型则可以得到较好的求解.

Bazzocchi 模型认为训练效能与教练机的一些特征参数有关,这些特征参数涉及飞机的各个方面性能,如机动性、爬升率、航程和机载电子设备先进程度等. 特征参数与实际作战飞机越接近,则教练机的训练效能越高. 因此,特征参数与教练机训练效能密切相关,这些特征参数也被称为评价参数. 如果训练效能用 $T.E.$ 表示,则其数学表达式为[1,3]

$$T.E. = \boldsymbol{Z}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{W}\boldsymbol{T} \tag{1}$$

式中,$\boldsymbol{Z}$ 为评价参数矩阵;$\boldsymbol{W}$ 为评价参数对各飞行科目的重要度矩阵,由专家(或飞行员)打分得到;$\boldsymbol{T}$ 为各飞行科目的训练时间矩阵.

式中各个矩阵的值均为相对值,即首先要选定一个基准教练机,其它待评估教练机的特征参数值与基准教练机特征参数值之比构成 $\boldsymbol{Z}$ 矩阵. 训练效能的计算过程如下.

1) 选取评价参数和飞行训练科目,就各评价参数对飞行训练科目的重要度由专家打分,得到评价参数对飞行训练科目权重矩阵,并将其按飞行科目归一化,见表 1.

表 1　确定评价参数对训练科目权重矩阵

飞行科目	评价参数		…	
	爬升率	机动性	…	航电系统
起落	2(0.1)	4(0.2)		3.5(0.175)
仪表	2	3		3
⋮				
对地攻击	3	4.5		5

注:括号内的数据为归一化值.

2) 计算待评估教练机评价参数相对值见表 2,A 飞机为基准飞机,B 飞机为待评估飞机.

3) 将待评估飞机参数相对值与其相应对训练科目的权重值相乘,并按飞行科目求和,得到评价飞机对各飞行科目的效能值,见表 3.

表 2　待评估飞机与标准飞机参数对比

评价参数	实际值		相对值	
	A 飞机	B 飞机	A 飞机	B 飞机
爬升率	30	70	1	2.33
机动性	20.5	24.1	1	1.18
⋮				
航电系统	2	4.5	1	2.25

表 3　评价参数对训练科目加权

飞行科目	评价参数		…		飞行科目效能
	爬升率	机动性	…	航电系统	
起落	0.233	0.236		0.394	1.56
仪表	…	…		…	…
⋮					
对地攻击	…	…		…	…

4) 将标准飞机各飞行科目训练时间的相对值分别除以表 3 中评估飞机相应各科目的效能值,得到待评估飞机相对各飞行科目的等效训练时间相对值.

5) 将各飞行科目的等效训练时间相对值累加后,其倒数即为待评估飞机的训练效能.

等效的含义是指训练水平相等,即如果 B 飞机飞行 t_B 小时达到的训练水平与 A 飞机飞行 t_A 小时的训练水平相当,则 B 飞机的训练效能为 t_A/t_B. 显然,教练机的训练效能越高,则达到同样训练水平所需的训练时间就越短.

典型效能计算模型的优点在于将飞行员训练过程用定量化的数学模型进行评估,用等效飞行时间概念来衡量不同教练机的训练水平. 在效能计算过程中综合考虑了飞机性能参数和飞行科目的综合影响. 量化计算的前提是假设训练效能与评价参数成线性正比关系;训练水平与训练时间之间也成线性关系.

2　典型模型的不足

Bazzocchi 模型产生于 20 世纪 70 年代,受当时装备发展水平和作战思想的限制,其评价参数的选取没有充分考虑飞机机动性、敏捷性的影响,对飞机航电系统也仅作为一项指标参与评估,没有考虑飞机的操纵系统,对飞行科目的权重考虑也不大合理.

在 Bazzocchi 模型中,飞机的机动性被综合为 1 个参数,用经验公式进行计算[1],该计算式没有考虑三代机的技术特点,有很大局限性. 现代战斗机的作战思想已经不仅仅是追求高度、速度优势,而是注重于构成导弹发射条件,即机身快速指向能力,反映为稳定盘旋角速度,最大瞬时盘旋角速度、最大使用迎角,迎角俯仰率等参数. 这些因素在 Bazzocchi 模型中没有得到充分考虑.

Bazzocchi 模型中,对航电系统的考虑是按照

它所能提供给飞行员的功能数目作为量化值. 实际上,在现代战斗机中,航电系统已成为作战效能的倍增器,飞行员训练必须对航电武器系统进行重点掌握. 不同的飞行科目对航电系统的依赖程度也不相同,若将航电系统作为 1 个参数考虑,会导致航电子系统(雷达、导航,通信等)在权重和量化中出现"相互替代"现象.

操纵系统对飞行员的工作强度以及飞机的飞行品质都有很大影响,特别是在高级训练阶段,先进的操纵系统可以使飞行员的注意力集中在战术运用上,所以,操纵系统的先进程度也影响着教练机的训练效能,典型训练效能计算模型中没有对该问题进行考虑.

Bazzocchi 模型中,对飞行科目自身权重值的获取依靠各科目飞行时间的统计,这样就存在一个问题,各科目飞行时间安排是否合理,若不合理,则按照飞行科目安排的飞行时间所确定的计算权重必然也不合理.

3 改进后的训练效能计算模型

改进的训练效能计算模型包括评价参数的重新选择,飞机航电系统参数的细化研究,操纵系统综合评估和飞行科目权重的量化计算等.

在飞机评价参数的选择中,本文按照飞机的飞行包线、机动性能、起降性能和续航性能等几个方面进行综合分析,最终确定出以下评价参数.

机动性和敏捷性:最大稳定盘旋角速度,最大瞬时盘旋角速度,最大滚转角速度,爬升率;最大可控迎角.

起降性能:着陆接地速度.

高度-速度特性:升限,海平面最大平飞速度,最小机动表速.

续航性能:续航时间.

对于航电和操纵系统利用层次分析方法逐一细化,最终得到如下结果.

航电系统:按照显控系统,雷达/火控系统,导航系统,通信系统,电子战系统进行细化分析.

操纵系统:按照机械,助力,增稳控制,电传操纵进行细化分析.

飞行科目权重按照初/中级训练、高级训练和改装过渡训练 3 个阶段分别进行科目间的权重分析,方法仍采用层次分析法.

4 算例与结果分析

改进后的计算模型不仅适用于以往教练机效能评估,也能够应用于现代教练机训练效能的评估. 本文就应用改进模型对国内外部分教练机效能进行计算,其中,选择 K-8 飞机为基准飞机. 训练效能计算过程见表 1 ~ 表 3.

计算中需要评价参数对飞行科目的权重,飞行科目自身的权重以及各待评估教练机的性能配置参数等资料.

教练机评价参数中的机动性和敏捷性,起降性能,高度-速度特性和续航性能参数等均由相关文献得到. 操纵特性、航电系统的先进程度按层次分析法进行了量化,得到相应的计算值.

具体量化方法根据技术发展划分为等级,利用层次分析法对这些等级进行权重分析,图 1 是计算结果.

图 2 给出了以基准教练机 K-8 为例的教练机训练效能对各性能参数变化的敏感程度.

从图 2 可以看出,底部是二代机强调的高度-速度特性,中间为飞机的机动性和敏捷性,顶部为航电系统和操纵系统,从下至上各性能参数对训练效能的增长率影响依次增加. 这就说明,随着教练机的更新换代,特别是高级教练机的新研和改

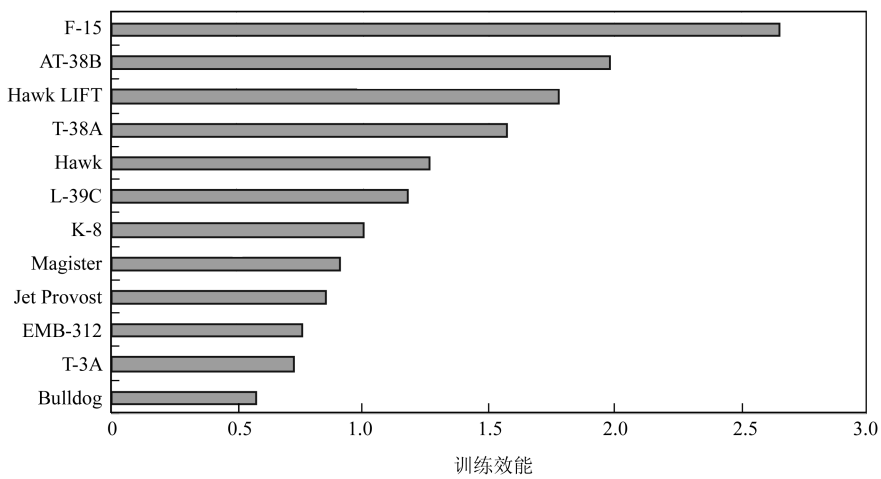


图 1 部分教练机训练效能计算结果

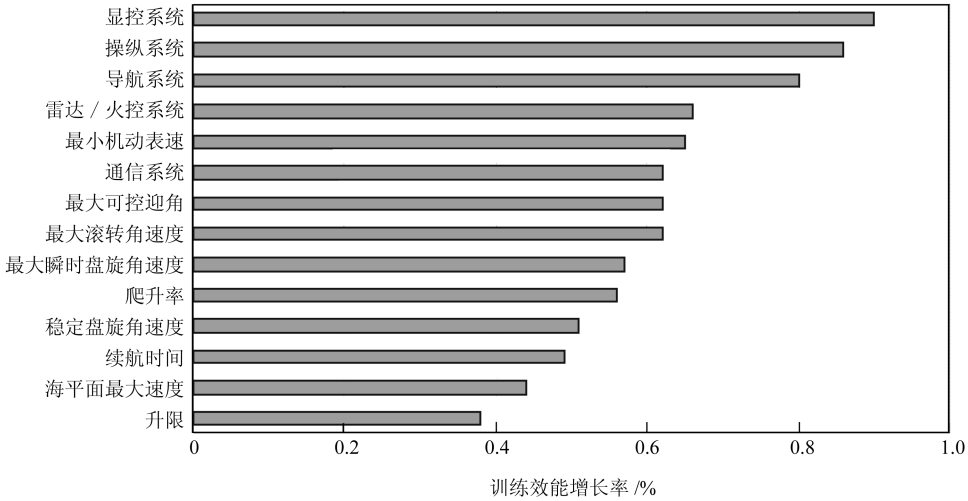


图 2　改进模型各评价参数敏感度分析

进,应特别重视航电系统和操纵系统,其次是机动性和敏捷性,最后才是飞机平台的高度-速度特性. 事实上,各国空军的高教机发展也正是基于这一思路而来的. 通过改进现役教练机的航电系统、操纵系统等使其更接近作战飞机,从而达到提高其训练效能的目的.

图 3 是利用原计算模型得到的各评价参数敏感度分析结果. 从中可以明显地看出:①评价参数相对较少;②各参数对效能的影响程度相当. 这就是说,飞机的航电系统、机动能力和平台的高度-速度特性的重要性相当,甚至偏低一些. 这正符合二代以前飞机的设计理念.

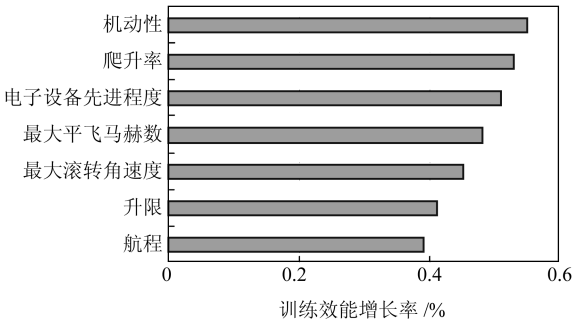


图 3　Bazzocchi 模型各评价参数敏感度分析

5　结　论

本文对教练机训练效能计算模型进行了深入研究,在继承典型训练效能计算模型优点的基础上,改进不足,建立了适合现代教练机效能评估的新模型,并通过算例,验证了其合理性. 教练机训练效能定量化计算是军机训练领域众多研究的基础和核心,在此基础上可以对空军训练体制、飞行员训练水平等一系列问题进行定量化分析,研究内容对空军教练机装备研制和使用有重要意义.

参考文献 (**References**)

[1] Ermanno Bazzocchi. Military pilot training philosophy-considerations on present and future trends [R]. China Defense Science and Technology Information Center, 1988

[2] Milligan J R, Strohl R J. Cost effectiveness modeling for a total training system[R]. AIAA-80-1894,1980

[3] 黄俊,怀进鹏,武哲. 高级教练机总体设计方案优化选择[J]. 北京航空航天大学学报,2002,28(6):656-659
Huang Jun, Huai Jinpeng, Wu Zhe. The conceptual design optimization for an advanced training aircraft[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2002,28(6):656-659 (in Chinese)

[4] 黄俊,曹怀志,王荣超,等. 应用训练效能评估高级教练机方案设计[J]. 航空学报, 1998,19(5): 581-584
Huang Jun, Cao Huaizhi, Wang Rongchao, et al. Assessment of conceptual design for an advanced training aircraft using training efficiency[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica,1998,19(5):581-584(in Chinese)

(责任编辑:刘登敏)