

基于灰色关联投影法的军用运输机设计方案评选

王永杰¹, 张喜斌², 李建伟¹, 张恒喜¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军工程大学 训练部, 陕西 西安 710051)

摘要:为满足军用运输机设计方案的评选需要,提出了一种基于灰色关联投影法的设计方案评选方法。分析了运输机的任务能力、短距起落能力、可用性、生存性、经济可承受性、研制风险和舒适性等指标,运用灰色关联投影法建立6种设计方案对评价指标集的加权灰色关联判断矩阵,然后利用矢量投影原理计算了各设计方案相对理想方案的灰色关联投影值,根据灰色关联投影值评价设计方案的优劣。评估结果表明,该方法可用于军用运输机设计方案评选,相比其它方法有更好的实用性。

关键词:设计方案评选;灰色关联投影法;评价指标;军用运输机

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2009.06.002

中图分类号: V211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)06-0006-04

军用运输机设计方案的评选是运输机型号论证工作中的首要任务。提出和确认飞机研制中的关键战术技术指标是型号研制中应予重视的问题,可为军用运输机型号论证提供定量分析^[1]。可选择综合评价方法有数学规划、回归分析、效用评价等多种,有的方法要求大样本,有的要求具有典型的概率分布。本文采用的灰色关联投影法则可不受这些约束^[2]。该方法综合了整个评价指标集对评价结果的影响,可以避免只将各个方案中单个指标值进行比较而引出的偏离。它通过建立方案集对指标集的属性矩阵,然后计算灰色关联判断矩阵,进一步得到加权灰色关联判断矩阵,最后计算得到各个设计方案的灰色关联投影值。这样,通过各个设计方案的灰色关联投影值的大小来评价方案的优劣。

1 军用运输机设计方案评价指标

选择任务能力、短距起落能力、可用性、生存性、经济可承受性、研制风险和舒适性等7个属性作为军用运输机设计方案的一级评价指标^[3]。

1) 任务能力 M_c 可以用有效载重 G_v 和航程 L 来表示,公式为:

$$M_c = G_v L$$

2) 短距起落能力用起飞滑跑距离参数 L_{qh} 表示,近似计算公式为^[4]:

$$L_{qh} = \frac{0.908 p_0}{C_{y \max} (t_{wr} - f_{mc})}$$

式中: $C_{y \max}$ 为襟翼在起飞位置时的最大升力系数; p_0 为翼载荷; t_{wr} 为起飞滑跑时的平均推重比; f_{mc} 为滑跑时机轮与地面之间的摩擦系数。

3) 可用度 A_0 是可用性的概率度量^[5],公式为:

$$A_0 = \frac{T_{MBF}}{T_{MBF} + T_{MTR} + T_{MLD}}$$

* 收稿日期: 2009-03-20

基金项目: 国防预研基金资助项目(51319080202)

作者简介: 王永杰(1967-),男,河南长垣人,工程师,博士生,主要从事军用飞机型号发展工程研究。

E-mail: wjwz@163.com

式中: T_{MBF} 为平均故障间隔时间; T_{MTR} 为平均维修时间; T_{MLD} 为平均保障延误时间。

4)生存性 P 以雷达反射截面 S_{RCS} 、电子对抗能力和飞机的几何尺寸与装甲系数为主要影响因素^[6]。计算模型为:

$$P = 0.8\epsilon_e \left(\frac{5}{S_{RCS}} \right)^{0.25} + 0.2L_{all}/s$$

式中: ϵ_e 是电子对抗能力系数; S_{RCS} (m^2)指迎头或尾后方位 120° 左右之内的对应 3 cm 波长雷达的平均值; L_{all} 为飞机全长(不含空速管的长度); s 为机翼面积(m^2)。

5)经济可承受性主要通过寿命周期费用 C_z 来反映,飞机寿命周期费用主要包括从研究、发展、试验和评审($C_{DRT\&E}$)到生产(C_p)、使用维修保障($C_{O\&M\&S}$)等费用之和^[7]:

$$C_z = C_{DRT\&E} + C_p + C_{O\&M\&S}$$

6)研制风险常用风险概率函数 P_f 度量,研制风险主要有技术风险 P_1 、经济风险 P_2 和管理风险 P_3 ,表达式如下^[8]:

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i)$$

7)舒适性用舒适程度 S 表征,分3种情况考虑:乘坐舒适,舒适程度 $S = 1$;人员有轻度不良反应,舒适度 $S = 0.8$;人员有中度不良反应,身体能够快速恢复,舒适度 $S = 0.6$ 。

2 基于灰色关联投影法的评估模型

设军用运输机参评设计方案(以下简称方案)集合为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$,各方案评价指标集合为 $V = \{V_0, V_1, \dots, V_m\}$ 。记方案 A_i 对评价指标 V_j 的属性值为 Y_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$),一般情况下,指标有“效益型”和“成本型”的区别^[9]。此时称含有相对最佳方案的增广矩阵 $Y = (Y_{ij})_{m(n+1)}$ ($i = 0, 1, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)为方案集合 A 对指标集合 V 的决策矩阵。

决策之前应将评价指标进行无量纲化处理。记 Y' 为 Y 初始化后矩阵, Y'_{ij} 满足下式^[10]:

$$Y'_{ij} = \frac{Y_{ij}}{Y_{0j}} \quad (1)$$

以 Y'_{0j} 为母序列,以 Y'_{ij} 为子序列,得到其它方案与相对最佳方案的灰色关联度 r_{ij} ^[2]:

$$r_{ij} = \frac{\min_n \min_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}|}{|Y'_{0j} - Y'_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |Y'_{0j} - Y'_{ij}|} \quad (2)$$

通常取 $\lambda = 0.5$ 。这样将所求得的有 $m(n+1)$ 个 r 组成的矩阵称为灰色关联度判断矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{01} & r_{02} & \cdots & r_{0m} \\ r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

对灰色关联度判断矩阵进行加权处理,加权向量为 $W = [W_1 \ W_2 \ \cdots \ W_m]^T > 0$,得到加权灰色关联判断矩阵 R' :

$$R' = \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & \cdots & W_m \\ W_1 r_{11} & W_2 r_{12} & \cdots & W_m r_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ W_1 r_{n1} & W_2 r_{n2} & \cdots & W_m r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

将各方案看成行向量,方案 A_i 与相对最佳方案 A_0 之间的夹角 θ_i 称为灰色关联投影角。其余弦值 c_i 为:

$$c_i = \frac{A_i A_0}{\|A_i\| \|A_0\|} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j r_{ij} W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m [W_j r_{ij}]^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}}, \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (5)$$

灰色关联投影角 θ_i 越小,表示方案 A_i 越接近最佳方案 A_0 。设方案 A_i 的模数为 $d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m [W_j r_{ij}]^2}$, A_i 在 A_0 上的投影值为灰色关联投影值 D_i ,将权重进行归一化处理,得到灰色关联投影权值矢量 \bar{W}_j :

$$D_i = d_i c_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \left(\frac{W_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}} \right), \quad \bar{W}_j = \frac{W_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}}, \quad j = 0, 1, \dots, m \quad (6)$$

因此,灰色关联投影值 D_i :

$$D_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \bar{W}_j, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

把 D_i 为方案的评价值对其进行排序。 D_i 值越大,军用运输机设计方案 A_i 越优。

3 实例

假设有 6 种军用运输机设计方案,用第 1 节中的计算模型得到各方案评价指标值如表 1。

表 1 各方案评价指标值

Tab. 1 Evaluation indexes values of design schemes

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
M_c	3.72	3.51	4.47	3.70	4.21	4.01
L_{qh}	300	270	380	310	350	400
A_0	0.90	0.95	0.85	0.95	0.90	0.85
P	0.87	0.81	0.90	0.93	0.88	0.91
C_i /亿元	41.5	35.3	29.8	31.6	38.0	26.5
P_f	0.89	0.92	0.95	0.87	0.93	0.90
S	1	0.8	1	0.6	1	0.8

首先,根据表 1 中数据建立方案集 A 对指标集 V 的属性矩阵 Y ,初始化处理得到初始化矩阵 Y' ;然后根据公式得到灰色关联判断矩阵 R ,代入权向量 $W = [0.20, 0.10, 0.15, 0.15, 0.20, 0.15, 0.05]$,得到加权灰色关联判断矩阵 R' ;再根据公式计算,可以得到各个设计方案的灰色关联投影值 D 。

$$D = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6\} = \{0.6773, 0.7586, 0.8216, 0.7896, 0.7132, 0.8583\}$$

6 种方案的灰色关联投影值优劣排序为: $A_6, A_3, A_4, A_2, A_5, A_1$;最优方案为 A_6 。

采用层次分析法和模糊综合法进行评估并与灰色关联法进行对比^[11-12],结果显示:层次分析法偏重于判断矩阵的一致性讨论,对判断矩阵的合理性不作分析,因而不能充分利用已有的定量信息,常用于定性指标的评价问题,对于定性又定量的指标无法兼顾。模糊综合评价法则具有较大的主观性,评价结构比较粗略。灰色关联投影法综合了这两种方法的优点,弥补了其缺点。利用所需数据量少,计算小的优势,很好地反映了各个因素间的相对重要程度和优劣关系,适用范围广,是研究少数据、贫信息不确定问题的很好工具。

4 结束语

本文提出的灰色关联投影法综合了整个评价指标集的影响,解决了以往的评价方法无法兼顾定性定量指标和主观性太强的问题,把设计方案的模的大小和夹角余弦的大小结合起来,全面准确地反映了各个设计方案与理想方案的接近程度,避免了只将各个方案中单个指标值进行比较而引出的偏离,与层次分析法和模糊综合评价法相比,具有更好的实用性和更广的应用范围。

参考文献:

[1] 步恒祚. 浅议我国军用运输机的发展[J]. 航空科学技术, 2006, 18(2): 2-5.

BU Hengzuo. Brief Discussion on the Development of Chinese Airlifters[J]. Aeronautical Science and Technology, 2006, 18(2): 2-5. (in Chinese)

- [2] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
DENG Julong. Grey System Theory Course[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press,1990. (in Chinese)
- [3] 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.
LI Weiji. The General Design of Modern Aircraft[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press,2001. (in Chinese)
- [4] 侯洛源,陶增元,张恒喜,等. 飞机/推进系统总体设计[M]. 西安:空军工程学院,1994.
HOU Luoyuan,TAO Zengyuan,ZHANG Hengxi, et al. General Design of Aircraft/Propulsion System[M]. Xi'an: Air Force Engineering College,1994. (in Chinese)
- [5] 朱宝鏊,朱荣昌,熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
ZHU Baoliu, ZHU Rongchang, XIONG Xiaofei. Effectiveness Assessment of Combat Aircraft[M]. Beijing: Aviation Industry Press,2006. (in Chinese)
- [6] BALL R E. The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design[M]. Reston: AIAA,1985:29-32.
- [7] Levenson G S, Stephen Barro. Cost - estimating Relations for Aircraft Airframes[R]. Rand Corporation; AD-AD12091.
- [8] 冯惊雷. 武器装备研制风险分析方法研究与应用[D]. 西安:空军工程大学,2007.
FENG Jinglei. Method and Application of Weapon R&D Risk Analyzing [D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2007. (in Chinese)
- [9] Mavris D N, de Laentis D. An Integrated Approach to Military Aircraft Selection and Concept Evaluation[R]. AIAA 95-3921.
- [10] 吕锋,崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用[J]. 系统工程理论与实践,2002, 18(1):103-107.
LÜ Feng, CUI Xiaohui. Multi - criteria Decision Grey Relation Projection Method and Its Application[J]. Systems Engineeringtheory and Practice,2002,18(1):103-107. (in Chinese)
- [11] 魏翠萍,章志敏. 一种改进矩阵一致性的算法[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(8):62-65.
WEI Cuiping,ZHANG Zhimin. An Algorithm to Improve the Consistent Matrix[J]. Systems Engineeringtheory and Practice, 2000,20(8):62-65. (in Chinese)
- [12] 刘占伟,邓四二,滕弘飞. 复杂工程系统设计方案评价方法综述[J]. 系统工程理论与实践,2003,(12):1488-1491.
LIU Zhanwei,DENG Sier,TENG Hongfei. Surveg on the Evaluation Methods of Design Schemes in A Complicated Engineering System[J]. Systems Engineeringtheory and Practice,2003,(12):1488-1491. (in Chinese)

(编辑:姚树峰,徐敏)

Evaluation for Military Transport Aircraft Design Scheme Based on Grey Relation Projection

WANG Yong - jie¹, ZHANG Xi - bin², LI Jian - wei¹, ZHANG Heng - xi¹

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Department of Research, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In order to meet the requirement of military transport aircraft design scheme, this paper introduces an evaluation method of the military transport aircraft design scheme based on the grey relation projection. Evaluation indexes of military transport design scheme such as the mission capability, the capability of stone's throw rise and fall, availability, survivability, affordability, risk and comfort are analyzed. Then the six military transport aircraft design schemes are evaluated by the grey relation projection method. With this method, a weighed grey relation matrix of each military transport aircraft design scheme is built and the grey correlation projection values of the design schemes comparatively to the perfect scheme are calculated according to the vector projection theory. The grey relation projection values can be used for evaluation of the schemes. The result calculated shows that the grey relation projection method is feasible in application to military transport aircraft design scheme evaluation.

Key words: design scheme evaluation; grey relation projection; evaluation index; military transport aircraft