

# 战斗机机载机电系统设计方案综合评估

李丰羽\*, 俞笑, 黄铁山, 孙友师

中国航空工业发展研究中心, 北京 100029

**摘要:** 文章针对机电系统结构复杂、深度耦合等特征, 提出基于层级分析的机电系统设计方案综合评估方法, 通过建立科学的评价指标体系, 利用所提方法得到设计方案的量化评估结果, 完成多个设计方案之间的对比分析, 降低了机电系统正向设计风险。

**关键词:** 战斗机; 机电系统; 指标体系; 评估; 权重; 量化结果

中图分类号: V 249.1      文献标识码: A      文章编号: 1007-5453 (2016) 04-0026-06

机载机电系统是所有执行保障功能的飞机系统的总称, 是飞机上规模最大、涉及专业最广的复杂系统<sup>[1]</sup>。战斗机机电系统保障功能的定位及综合化发展的趋势决定了其与发动机、任务载荷等飞机系统以及飞机本体之间存在复杂耦合关系, 正是这种关联关系为机电系统正向设计带来了难度和风险。针对设计方案的评估可以为机电系统核心架构提供多种设计方案之间的科学对比, 为选择系统功能的物理实现方案提供决策依据。具备机电系统设计方案的评价能力, 可以有效避免在设计过程中因方案不断变动而消耗大量的时间与资金成本。

## 1 评估准则

战斗机机载机电系统的功能和性能直接影响飞机的作战性能与飞行安全, 是飞机成功执行任务的根本保障。因此, 机电系统设计方案的评估准则包含两个层面含义:

(1) 设计方案应满足飞机平台对机电系统的功能定义, 确保机电系统能够有力支撑飞机平台及任务系统等。例如, 机电系统能够为发动机稳定供油, 能够确保在整个飞行包线内为座舱、航电设备及驱动设备提供所需的二次能源, 并满足散热需求。

(2) 设计方案应根据航空装备的战技指标, 权衡各机电电子系统的设计指标, 以达到机电系统整体性能最优。由于机电各子系统之间存在耦合关系, 按照局部最优得到的设计

方案往往无法满足整体最优的要求, 应立足机电系统总体, 对机电系统性能进行综合评估和调整。

根据以上分析, 提出包含功能校验、指标权衡及方案优化在内的三项机电系统评估准则:

### (1) 机电系统设计方案满足功能要求

通过对机电系统设计方案进行功能校验, 确保满足两个方面的要求, 一是满足发动机、座舱、舵面及雷达等机电系统以外的子系统/设备在供能及制冷等方面的要求, 二是满足机电各子系统之间在供能及制冷等方面的要求。

### (2) 权衡机电系统设计方案总体性能指标

根据航空装备的战技指标, 权衡各机电电子系统在功重比、功率、重量、体积、效率及可靠性等方面的设计指标, 确保满足飞机总体设计指标分解到机电系统的指标要求。

### (3) 机电系统设计方案满足优化要求

通过分析机电系统设计方案的综合化程度、关键元部件的设计裕量等主要优化特征, 衡量现有技术条件下的系统整体性能, 确保机电系统在满足功能和性能要求的前提下, 所使用的机上资源最少。

## 2 评估方法

机电系统设计方案的综合评估是通过构建完整的评估指标体系, 完成指标值的归一化处理, 确定科学的指标权重, 采用合理的结果量化方法, 得到机电系统的综合评估结果。

收稿日期: 2016-02-25;      录用日期: 2016-03-10

\*通讯作者. Tel.: 010-57827741 E-mail: lifengyu1983@sina.com

引用格式: Li Fengyu, YU Xiao, HUANG Tieshan, et al. Comprehensive evaluation of battle plane airborne utility system design scheme [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(04): 26-31. 李丰羽, 俞笑, 黄铁山, 等. 战斗机机载机电系统设计方案综合评估[J]. 航空科学技术, 2016, 27(04): 26-31.

## 2.1 评估指标体系

机电系统的作用是支撑飞机平台和任务系统等的功能实现,因此,机电系统设计方案的评估指标与飞机平台的战术指标密切相关。评估指标体系的建立过程如图1所示。

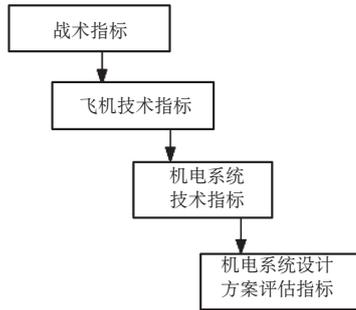


图1 评估指标体系的建立过程

Fig.1 Evaluation indicator system building process

建立机电系统评估指标体系的过程为:根据战术指标形成飞机的技术指标;将飞机技术指标细化分解,得到机电系统技术指标;经过筛选,构建适用于机电系统设计方案的指标体系。具体而言,针对每一项战术指标,逐一找出其与一个或多个飞机技术指标的关系;同理,针对每一项飞机技术指标,逐一找出其与一个或多个机电系统技术指标的关系。

相邻两级指标之间存在两类关系:“一对一”的直线关系以及“一对多”的树形关系。两种典型的从战术指标到机电系统技术指标的关系如图2和图3所示。

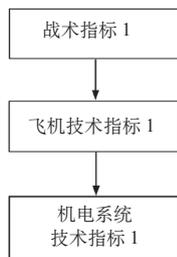


图2 指标的直线生成关系

Fig.2 Indicators generation with linear pattern

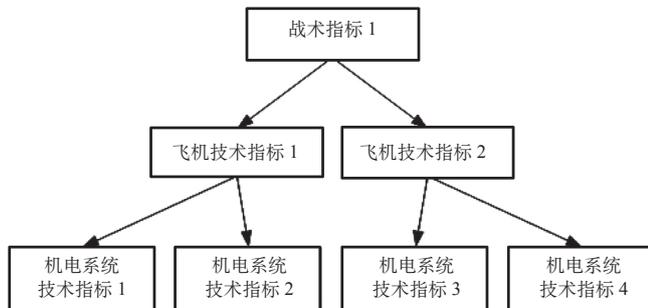


图3 指标的树形生成关系

Fig.3 Indicators generation with tree pattern

对于两级指标之间是“一对一”关系的情况,下级技术指标直接引用上级指标。而对于两级指标之间是“一对多”关系情况,可以利用两级之间的逻辑关系或数学函数关系确定下级技术指标的内涵。

针对“一对多”的情况,如对于战术指标—可用度 $A_i$ ,其与飞机技术指标—平均故障间隔时间MTBF和平均修复时间MTTR之间的计算模型如下式所示:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

由式(1)可知,战术指标(可用度)可通过飞机平均故障间隔时间和平均修复时间两个技术指标值计算得出。

## 2.2 指标值标准化处理方法

由于指标数值范围不同,需要对各指标值进行标准化处理,使得处理后的各指标项数值介于0~1之间,各指标项之间的数值匹配,具备一致性,并以此值作为该项指标的评估指标数值。可采用的标准化处理方法,包括线性函数法、凹/凸形函数法及S形函数法等,本文根据指标特征,综合运用了多种标准化处理方法,以更加准确地表现指标变化趋势。

## 2.3 指标权重的确定方法

机电系统设计方案的综合评估需要确定各指标值的权重,指标权重代表各指标的重要程度,体现了设计人员对该型航空装备机电系统的认知与定位。若指标体系包含多个层级,可以分别求得各层级父子节点之间的相对权重,逐级加权叠加,得到各个叶子节点对于根节点的权重。针对指标体系中的某一节点,为得到该节点下一层的所有子节点的相对权重,可采用层次分析法计算。层次分析法是一种定性定量相结合的系统化、层次化的分析方法,在处理复杂问题的决策上具有实用性和有效性,广泛应用于复杂产品设计、军事指挥及交通运输等领域<sup>[2-7]</sup>。层次分析法的步骤如下:

### (1) 构造成对比较矩阵

对所有的子节点,每一个节点为一个指标。将其重要性进行两两比较,得到判断矩阵,如下式所示:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, $a_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$ 为指标*i*相对于指标*j*的重要度。两指标的相对重要度可按9级标度法在1~9之间取值,如表1所示。

可以看出,当*i=j*时, $a_{ij}=1$ ;当*i≠j*时, $a_{ij}=1/a_{ji}$ 。

### (2) 层次单排序及一致性检验

表1 9级标度法评价  
Table 1 9-level evaluation method

评价级别	同等重要	略微重要	比较重要	很重要	非常重要
$a_{ij}$	1	3	5	7	9

层次单排序用来确定下层各指标对上层某指标的影响程度,用权值表示影响程度。

若成对比较矩阵,满足 $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ ,则称该矩阵为一致阵,否则该矩阵为非一致阵。

若成对比较矩阵是一致阵,则取对应于最大特征根 $n$ 的归一化特征向量 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 表征下层各指标对上层某指标的影响程度, $w_i$ 表示下层第 $i$ 个指标对上层某指标影响程度的权值;若成对比较矩阵是非一致阵,用其最大特征根 $\lambda$ 对应的归一化特征向量 $W$ 表征下层各因素对上层某因素的影响程度,即 $A \cdot W$ 。

$\lambda$ 依赖于 $a_{ij}$ , $\lambda$ 比 $n$ 大的越多,表明 $A$ 的不一致性越严重,用其最大特征值对应的特征向量作为被比较因素对上层某指标影响程度的权向量,其不一致程度越大,引起的判断误差也越大。因而可以用 $\lambda-n$ 数值的大小来衡量 $A$ 的不一致程度。

定义一致性指标 $CI = (\lambda - n / n - 1)$ ,其中 $n$ 为 $A$ 的阶数。

下面,定义随机一致性指标 $RI$ 。随机构造500个成对比较矩阵 $A_1, A_2, \dots, A_{500}$ ,则可得一致性指标 $CI_1, CI_2, \dots, CI_{500}$ ,则 $RI = (CI_1 + CI_2 + \dots + CI_{500}) / 500$ 。通常 $RI$ 由查表法获得,如表2所示。

表2 RI表  
Table 2 RI table

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

一般地,当一致性比率 $RI = CI / RI < 0.1$ 时,认为 $A$ 的不一致程度在容许范围内,可用其归一化特征向量作为权向量,否则要重新构造成对比较矩阵 $A$ 。

(3) 层次总排序及其一致性检验

层次总排序用于确定某层所有因素对于总目标相对重要性的排序权值。

设有如图4所示的层次结构模型,A层有 $m$ 个因素 $A_1, A_2, \dots, A_m$ ,对总目标层 $T$ 的排序为 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ;B层 $n$ 个因素对A中因素为 $A_j$ 的层次单排序为 $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{mj}$ 。

B层的层次总排序,即B层第 $i$ 个因素对总目标的权值为:

$$B_i = a_1 b_{i1} + a_2 b_{i2} + \dots + a_m b_{im} \quad (3)$$

设B层 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 对上层(A层)中因素 $A_j(j = 1, 2, \dots, m)$ 的层次单排序一致性指标为 $CI_j$ ,随机一致性指标为 $RI_j$ ,则层次总排序的一致性比率为:

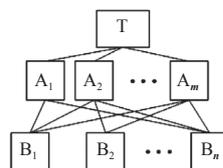


图4 层次结构模型

Fig.4 Hierarchy structure model

$$CR = \frac{a_1 CI_1 + a_2 CI_2 + \dots + a_m CI_m}{a_1 RI_1 + a_2 RI_2 + \dots + a_m RI_m} \quad (4)$$

当 $CR < 0.1$ 时,认为层次总排序通过一致性检验,根据最下层(决策层)的层次总排序做出最后决策。当 $CR \geq 0.1$ 时,认为层次总排序未通过一致性检验,需要重新考虑层次结构模型。

(4) 权重计算

对矩阵运算的目的是得到每个下层指标相对于上层某指标的重要程度度量,即评估指标值的权重。设各因素的权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ,则:

$$A \cdot W = \lambda_{\max} W \quad (5)$$

式中: $\lambda_{\max}$ 是矩阵 $A$ 的最大特征值。

为简化计算,采用规范列平均法(列和法)求解 $W$ 。

将 $A$ 的元素按列进行归一化处理,即:

$$\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj} \quad (6)$$

得到矩阵 $\bar{A} = [\bar{a}_{ij}]_{n \times n}$ 。

求 $\bar{A}$ 各行的平均值,即:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{a}_{ik} \quad (7)$$

得到权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

2.4 量化评估结果

机电系统设计方案可以采用求和法及求积法进行评估结果的量化。

求和法即将每项加权的指标值求和,得到最终评估值,越大越优。计算公式可表述为:

$$D_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad (8)$$

其中, $w_j$ 为第 $j$ 项指标的权重, $a_{ij}$ 为第 $i$ 个方案中第 $j$ 项指标值。

求积方法即将每项加权的指标值求积,得到最终评估值,越大越优。计算公式可表述为:

$$D_i = \prod_{j=1}^n (1 + a_{ij})^{w_j} - 1 \quad (9)$$

3 评估案例

根据参考文献[1]中的定义,机电系统包含众多子系统,

但评估案例仅选取液压、环控及电源一类具有能量相关特征的子系统作为研究对象,而不包含供氧、防/灭火及防/除冰等以安全保障功能为主的子系统。两类机电电子系统的评估指标体系差异较大,但评估方法相同。评估案例是为验证评估方法的可用性和有效性,因此,可以对研究对象做适当简化。

假设同一战斗机机电系统存在两套设计方案,一套采用21MPa液压系统,空气循环环控系统;另一套采用28MPa液压系统,空气+液体循环环控系统,两套方案的电源系统相同。下面利用前文所提机电系统综合评估方法对设计方案进行评估。

### 3.1 评估指标体系构建

利用2.1节中提出的评估指标体系构建方法,将战术指标逐层分解得到机电系统的技术指标。案例选出重量、功率、功重比、可靠性及效率5个技术指标作为本次评估所构建的指标体系元素,指标值的定义及计算方法如下。

#### (1) 重量

重量是机电系统的重要设计指标,关系到飞机携带任务载荷等的的能力,同时也影响机电系统整体能力提升的潜力。机电系统设计方案的重量评估指标为组成系统的所有设备重量之和,计算公式为:

$$M_I = \sum_{i=1}^n M_{iI} \quad (10)$$

式中: $M_I$ 为机电系统总重量,单位为kg; $M_{iI}$ 为第*i*个机电系统设备重量,单位为kg; $n$ 为机电系统设备总数。

#### (2) 功率

功率等级体现了机电系统的供能保障能力。机电系统设计方案的功率评估指标规定为机电系统末端设备的额定输出功率总和,计算公式为:

$$W_I = \sum_{i=1}^n W_{iI} \quad (11)$$

式中: $W_I$ 为定义的机电系统设计方案的功率指标,单位为kW; $W_{iI}$ 为以机电系统为整体,功率传输链末端第*i*个设备的额定输出功率,单位为kW; $n$ 为机电系统功率输出设备总数。

#### (3) 功重比

功重比是反映机电系统功率密度的重要指标,集中体现了机电系统的综合设计能力和机电部件的集成化水平。定义机电系统的功重比为功率指标与重量指标的比值,功重比 $K_I$ 的计算公式为:

$$K_I = \frac{W_I \times 10^3}{M_I} \quad (12)$$

其中, $K_I$ 的单位为W/kg。

#### (4) 可靠性

可靠性是指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力,可靠性直接影响飞机的出动频次,是机电系统的重要设计指标之一。计算机电系统的可靠性,首先需要建立机电系统可靠性模型,然后根据可靠性模型计算系统的可靠性指标。

串联系统的可靠度为各串联单元可靠度的乘积,而每个单元的故障分布服从指数分布规律,则:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (13)$$

式中: $R_s(t)$ 为串联系统的工作可靠度, $i$ 为串联单元序号, $R_i(t)$ 为第*i*个单元的工作可靠度, $n$ 为串联单元的数量。

因每个单元的故障分布服从指数分布规律,即:

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (14)$$

将式(14)代入式(13),可得:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} = e^{-\lambda_s t} \quad (15)$$

即:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (16)$$

式中: $\lambda_s$ 为串联系统的失效率, $\lambda_i$ 为各单元的失效率。

系统的MTBF为:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (17)$$

并联系统的可靠度为:

$$R_d \int(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_j(t)) \quad (18)$$

式中: $R_d(t)$ 为并联系统的工作可靠度, $j$ 为并联单元序号, $R_j(t)$ 为第*j*个单元的工作可靠度, $m$ 为并联单元的数量。

当部件的寿命服从参数为 $\lambda_j$ 的指数分布时,则系统的可靠度为:

$$R_s(t) = \sum_{j=1}^m e^{-\lambda_j t} - \sum_{1 \leq j < i \leq m} e^{-(\lambda_j + \lambda_i)t} + \dots + (-1)^{m-1} \sum_{j=1}^m e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t} \quad (19)$$

系统的MTBF为:

$$\text{MTBF} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{1 \leq j < i \leq n} \frac{1}{\lambda_j} + (-1)^{n-1} \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} \quad (20)$$

当 $n=2$ 时,

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (21)$$

#### (5) 效率

效率是反映机电系统设计水平的指标之一。定义机电系统的效率评估指标为功率指标与提取功率的比值,效率 $\eta$ 的计算公式为:

$$\eta = \frac{W_l}{W_p} \quad (22)$$

式中： $W_p$ 为机电系统从飞机提取的功率。

### 3.2 方案综合评估

利用所搭建的机电系统综合评估软件仿真平台,将机电系统设计方案导入仿真平台,生成评估指标。

两套设计方案的评估指标标准化结果如表 3所示。

表3 评估指标值  
Table 3 Evaluation indicator values

	重量/kg	功率/kW	功重比/(W/kg)	效率	可靠性/h
方案一	370.00	73.00	197.30	0.80	223.60
方案二	348.50	76.00	218.08	0.78	200.00

两套设计方案的评估指标值如表 4所示。

表4 评估指标标准化结果  
Table 4 Evaluation indicator standardization results

	重量	功率	功重比	效率	可靠性
方案一	0.65	0.81	0.49	0.83	0.88
方案二	0.91	0.82	0.92	0.76	0.74

根据专家打分意见,形成对称矩阵,对称矩阵如表 5所示。

表5 层次分析法的评价矩阵  
Table 5 Evaluation matrix of AHP

	重量	功率	功重比	效率	可靠性
重量	1	7	1/3	5	3
功率	1/7	1	1/9	1/3	1/5
功重比	3	9	1	7	5
效率	1/5	3	1/7	1	1/3
可靠性	1/3	5	1/5	3	1

需要特别说明的是,战斗机战术指标基本保持不变,由于飞机设计约束的存在,功率等级需求变化不大,在评价矩阵中体现为功率对其他指标的相对重要程度较低。

权重计算结果如表 6所示。

表6 权重计算结果  
Table 6 Weight calculation results

指标	重量	功率	功重比	效率	可靠性
权重	0.260	0.003	0.503	0.068	0.134

两套方案的综合评估结果如图 5所示。

其中,蓝色为方案一的综合评估结果,灰色为方案二的综合评估结果。采用求和法进行结果量化,方案一评估结果为0.617,方案二评估结果为0.877。

### 3.3 结果分析

#### (1) 指标权重分析

指标权重排名顺序由高到低分别为功重比、重量、可靠

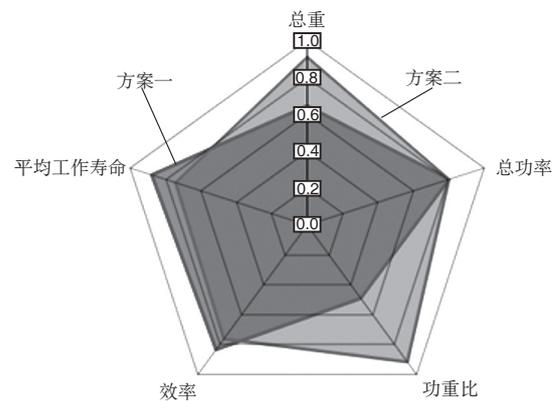


图5 两个套方案对比评估

Fig. 5 Evaluation and comparison between two schemes

性、效率和功率。功重比是反映机电系统功率密度的重要指标,集中体现了机电系统的综合设计能力和机电设备的集成化水平,具有最高权重;重量是机电系统的重要设计指标,关系到飞机携带任务载荷等的的能力,同时也影响机电系统整体能力提升的潜力,权重次之;机电系统的可靠性直接影响飞机的出动频次,是飞机系统的重要设计指标之一,权重居第三位;效率是反映机电系统设计水平的指标之一,权重排在第四位;功率等级体现了机电系统的保障能力,但由于飞机设计约束的存在,功率等级根据需求变化不大,因此功率所占权重最低。

#### (2) 综合评估结果分析

对于求和法的分析如下:

(a) 方案二的功重比提高了10.5%,标准化的指标值相差0.43,且权重值居首位,因此,指标值和权重值乘积得到的该指标占比对结果影响最大;

(b) 改进方案的重量减少了5.8%,标准化的指标值相差0.26,指标值及权重值居第二位,因此指标值和权重值乘积得到的该指标占比对结果影响比较大;

(c) 改进方案的平均无故障时间减少了10.6%,标准化的指标值相差0.14,指标值及权重值居第三位,因此指标值和权重值乘积得到的该指标占比对结果影响一般;

(d) 改进方案的效率及功率指标值接近,因此指标值和权重值乘积得到的指标占比对结果影响比较小。

## 4 结束语

机电系统设计方案的综合评估能够有效降低正向设计过程中的风险。根据战术指标构建完备的机电系统评估指标体系,利用合理的方法完成指标值标准化处理,采用基于层次分析的方法计算指标权重,采用量化方法得到机电系统设计方案的评估结果,对于多个机电系统设计方案的比较和选择具有科学的参考价值。

## 参考文献

- [1] 张聚恩,王旭东,赵陇,等.新航空概论[M].北京:航空工业出版社,2010.  
ZHANG Juen, WANG Xudong, ZHAO Long, et al. An introduction to aviation[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2010.(in Chinese)
- [2] 李支元. 层次分析法在多层次多指标评估系统中的应用研究[J]. 淮海工学院学报, 2012, 21(2): 73-76.  
LI Zhiyuan. Application and research of AHP in multi index evaluation system[J]. Journal of Huaihai Institute of Technology, 2012, 21(2): 73-76. (in Chinese)
- [3] 白振东,刘虎,徐敏,等. 飞机总体设计优化中的多目标方案优选方法[J]. 航空学报, 2009, 30(8): 1447-1453.  
BAI Zhendong, LIU Hu, XU Min, et al. Preferred selection method for multi-objective concepts in aircraft conceptual design optimization[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(8): 1447-1453. (in Chinese)
- [4] 赵锁珠,李军. 基于多准则决策的作战飞机顶层方案优选[J]. 飞行力学, 2009, 30(1): 29-33.  
ZHAO Suozhu, LI Jun. Scheme selection of aircraft top-layer design based on multi-criteria decision-making approach[J]. Flight Dynamics, 2009, 30(1): 29-33. (in Chinese)
- [5] 孙严,戴浩. 基于能力的军事需求方法简介[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(9): 2170-2176.  
SUN Yan, DAI Hao. Brief introduction of military requirement method based on capability[J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(9): 2170-2176. (in Chinese)
- [6] 李军,宋笔锋,杨伟,等. 现代作战飞机方案评估与决策系统的设计与实现[J]. 航空工程进展, 2012, 3(1): 49-54.  
LI Jun, SONG Bifeng, YANG Wei, et al. Design and development of modern combat aircraft project assessment and decision making software system[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2012, 3(1): 49-54. (in Chinese)
- [7] 李寿安,张恒喜,李曙林,等. 飞机生存力评估与综合权衡方法研究[J]. 航空学报, 2005, 26(1): 23-26.  
LI Shouan, ZHANG Hengxi, LI Shulin, et al. Research on aircraft survivability evaluation and synthetic tradeoff methods[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2005, 26(1): 23-26.(in Chinese)

## 作者简介

李丰羽(1983—) 男,博士,工程师。主要研究方向:机载机电系统研究。

Tel : 010-57827741 E-mail: lifengyu1983@sina.com

俞笑(1982—) 男,博士,高级工程师。主要研究方向:机载机电系统研究。

Tel : 010-57827731 E-mail: yuxiao010@126.com

黄铁山(1963—) 男,硕士,研究员。主要研究方向:机载机电系统研究。

Tel : 010-57827740 E-mail: huangts628@126.com

孙友师(1978—) 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:机载机电系统研究。

Tel : 010-57827740 E-mail: sunyoushi@sina.com

## Comprehensive Evaluation of Battle Plane Airborne Utility System Design Scheme

LI Fengyu\*, YU Xiao, HUANG Tieshan, SUN Youshi

Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China

**Abstract:** Considering the complicated and coupled characters of utility system, one evaluation method for utility system design scheme was proposed in this paper based on analytic hierarchy process. The design risk was reduced through comparative analysis among several schemes with the numerical evaluation results achieved though the constructed indicator system.

**Key Words:** battle plane; utility system; indicator system; evaluation ; weight; numerical result

Received: 2016-02-25; Accepted: 2016-03-10

\*Corresponding author. Tel. : 010-57827741 E-mail: lifengyu1983@sina.com