

文章编号: 2095-2163(2024)03-0093-05

中图分类号: TP391.7

文献标志码: A

飞机抗坠毁辅助选材评价系统的构建

程元彪¹, 徐海芝²

(1 中国商用飞机有限责任公司, 上海 200126; 2 中国人民解放军第二军医大学 第三附属医院, 上海 200433)

摘要: 本文针对飞机抗坠毁选材评价过程中存在主观性较大的问题, 采用了一种层次分析法, 来对评价专家进行评价分析。在此基础上, 对材料属性权重的分配问题进行研究, 通过对材料本身具备的性能特性筛选及某些特定因素进行综合评价, 从而更全面、更科学地反映材料的符合程度。通过开发选材系统进行计算并得出符合要求的结果, 表明该方法在计算机辅助飞机抗坠毁选材应用方面的可行性和准确性, 将有助于促进生产过程数字化的发展, 并具有良好的应用前景及借鉴意义。

关键词: 抗坠毁; 选材; 层次分析法; 权重; 系统

The construction of evaluation system of aircraft anti-crash auxiliary material selection

CHENG Yuanbiao¹, XU Haizhi²

(1 Commercial Aircraft Corporation of China Ltd., Shanghai 200126, China; 2 The Third Affiliated Hospital of Second Military Medical University of the People's Liberation Army of China, Shanghai 200433, China)

Abstract: For the subjective randomness problem in aircraft anti-crash material selection, the paper uses the method of expert evaluation by AHP. The research explores the weight distribution about material properties. It can more comprehensively meet the targets through the screening of material performance and the comprehensive evaluation of some particular properties. Furtherly, the research demonstrates the feasibility and accuracy in aircraft anti-crash material selection through computer aided material selection system and achieves its result in accord with the fact. It will be helpful for the development of digital production, and has the good application prospect and reference significance.

Key words: anti-crash; material selection; AHP; weight; system

0 引言

随着国内直升机不断发展, 越来越多的设计人员开始重视飞机抗坠毁的设计, 并且已经有相当完善的抗坠毁军用标准。在飞机抗坠毁的相关设计与制造中, 材料是很重要的一个部分, 而能够通过所需材料性能及合理的方法在众多材料中快速准确地确定材料的型号, 是现代制造的要求、是数字化设计中的重要体现, 也是提高工作人员效率的必然条件。目前, 大部分情况下, 企业设计人员往往凭积累的经验 and 知识从相关材料手册或现有的材料数据库中选择最优材料, 还没有严格统一的方法或者标准可供使用, 理论依据匮乏、可操作性差, 工作效率也较低, 并且又具有很强的主观性和随意性。相关的评判缺乏科学的标准和规范性的依据, 所以对这方面的研究是很必要的。

到目前为止, 国内对于抗坠毁方面的研究并不充分, 关于抗坠毁选材的研究更为少见, 只有部分专家学者对计算机辅助选材进行了研究。如: 常伟等学者^[1]研究了最优化方法的计算机选材系统。秦红玲等学者^[2]进行了基于 Access 数据库的计算机辅助选材系统开发。魏宏波^[3]开发了计算机辅助选材(合金钢)系统。蓝元沛等学者^[4]、石金刚^[5]做了飞机设计选材专家系统的开发。郑昌胜^[6]设定对应的材料数据存储格式并形成材料数据库, 建立相应的材料评价体系。徐倩^[7]基于合适材料用在合适部位的思想, 提出一种车身材料选择方法。丁永亮^[8]基于工业设计知识选材, 实现了材料快速查询、综合选材以及数据管理等功能。董玉川^[9]从设计角度提出塑件选材的程序, 进而得到一个符合产品设计师需求的辅助选材体系。王珂^[10]建立知识管理、用户反馈、帮助、用户管理等辅助选材模块。秦红玲等学者^[11]结合 Access

作者简介: 程元彪(1988-), 男, 硕士, 政工师, 主要研究方向: 数字化设计与制造技术、信息化管理、信息安全保密技术。Email: chengyuanbiao@126.com

收稿日期: 2023-03-09

数据库开发了金属材料计算机辅助选材系统。上述研究均没有结合抗坠毁本身的特点,给出一个合理权重分配的选择方法。

本文通过深入研究发现,可以采用层次分析方法(AHP)^[12]对评价专家进行评价,接着将专家对抗坠毁多个因素的评价值进行解析计算,得到比较公正的权重值后,再利用最优化方法进行筛选,最后通过设计研发的应用系统来验证本文研究的合理性和可行性。

1 材料选择综合评价方法

正确合理的决策来源于对所研究对象的合理评价,因此公正、科学及可靠性的提高是至关重要的。考虑到材料种类繁多,所以在选材中很可能因为错误的判断而造成严重后果^[13],但在实际设计过程中不可能对所有需求都对材料进行特殊定制。基于此,通常情况是设计者在满足使用要求的前提下,材料的选择一般是从经验材料库中选取,这样不但有稳定可靠的来源,同时也可再设计提供参考依据。在飞机抗坠毁的选材过程中,塑性应变、截断应力、屈服模量、比吸能、能量耗散因子、弹性模量、失效应力等是必须符合要求的因素,否则一旦飞机遇到坠毁事故根本不具备抗坠毁的能力。在坠毁过程中吸能问题与可承受力度非常重要,关键部位的材料性能甚至与乘机人员的生命安全息息相关。本文以对抗坠毁显著的材料性能作为初始选择条件,先对飞机抗坠毁设计过程中所要求的物理性能(如:应力、应变、使用温度等)、化学性能(如:可燃性等)等必须满足特定界限值的性能进行筛选,然后对密度、使用期、价格成本等并非必须满足特定值的材料属性,通过式(1)或(2)对相关属性值进行归一化计算后,属性值计算结果的矩阵为 \mathbf{P} 。

对于选材时,期望值越大越合理的因素归一化处理公式见式(1):

$$r = a_i / \text{sum} = a_i / \sum_{i=1}^n a_i \quad (1)$$

但对于密度、价格等这类选材时,期望值越小越合理的因素,研究采用的公式为:

$$r = \frac{1 - a_i / \sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n (1 - a_i / \sum_{i=1}^n a_i)} \quad (2)$$

其中, a_i 是每种材料属性的量值。

通过以不同的材料性能值对专家进行比较和专

家对材料特性所赋予权重值,得到各材料性能的权重矩阵为 \mathbf{W} ;应用加权平均的方法,对所选材料进行综合评价分析,最后将计算出的结果作为得到的推荐度值,以推荐度数值的大小排序后,将推荐选择的结果进行展示。当符合条件的数据很多时,根据推荐度值的情况,去除一些推荐度低的材料,这样就可以有效地显示一定条目的推荐材料信息。材料推荐值矩阵 \mathbf{R}_s 的计算公式可写为:

$$\mathbf{R}_s = \mathbf{W} \times \mathbf{P} = (w_1, w_2, \dots, w_m) \times \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{pmatrix} = \left(\sum_{i=1}^m w_i p_{i1}, \sum_{i=1}^m w_i p_{i2}, \dots, \sum_{i=1}^m w_i p_{in} \right) \quad (3)$$

其中, \mathbf{W} 表示对应性能的权重系数, $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 表示矩阵 \mathbf{P} 的每一列即为每一种材料属性数值归一化后的值。归一化处理使材料各种属性具有数值上的可比较性。

得到结果为 $\mathbf{R}_s = (T_1, T_2, \dots, T_{m-1}, T_m)$ 。 \mathbf{R}_s 中对应推荐值公式为:

$$T_i = \sum_{i=1}^n w_i p_i \quad (4)$$

其中, T_i 表示推荐度值; w_i 表示每项性能的权重系数; p_i 表示归一化的属性数值; n 表示符合要求的材料属性项数。

2 评价权重及系统架构设计

在此综合评判中,权重的准确性是评判的关键因素,因此专家的评价质量至关重要。一般处理方法都是利用专家评估的结果直接参与或者通过简单的加权平均处理得到所需结果,这些处理往往不能客观公正反映出评价的正确性。要提高专家评判的质量与准确性,首先应该对专家的筛选进行严格的要求,这样可以使得专家组成员具有非常高的可信度,其次应当综合多种因素对专家进行评价。确定专家的权重就是对专家进行正确评价、科学合理地度量专家可信度的过程。在得到专家评价的分值后,对材料性能值做专家评定加权处理,则可得到最终的评价权重值。

对于专家而言,有很多因素可用以评判,如工作经验、学术成就、学术水平、技术职称等要素^[7]。其中,工作经验依据专家对相关知识技能的积累与见

识;学术成就主要考虑其在研究领域中的突出成果;学术水平是从研究进展与相关能力来评价专家的能力;技术职称是专业水平的体现。通过这些因素可以公正、科学和客观地对其进行评价。本文中利用AHP法得到评价专家的相关权重值,考虑因素为工作经验、学术成就、学术水平、技术职称等。

本文对总师、设计组、工艺组、制造组等4组专家进行评价分析,基于工作经验因素对专家进行两两比较,若专家1对应专家2在工作经验方面对比值为 a ,则专家2对专家1对比值则是 $1/a$,因此构造出比较判断矩阵 A_1 如下:

$$A_1 = (a_{ij})_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} & \text{专家1} & \text{专家2} & \text{专家3} & \text{专家4} \\ \text{专家1} & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ \text{专家2} & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ \text{专家3} & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ \text{专家4} & 2 & 2 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

基于专家学术成就因素对专家进行两两比较,构造出两两比较判断矩阵 A_2 如下:

$$A_2 = (a_{ij})_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} & \text{专家1} & \text{专家2} & \text{专家3} & \text{专家4} \\ \text{专家1} & 1 & 2 & 1 & 1 \\ \text{专家2} & 1/2 & 1 & 3 & 1/2 \\ \text{专家3} & 1 & 1/3 & 1 & 1 \\ \text{专家4} & 1 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

由于所选专家组成员的技术职称基本一致,所以比较结果均为1,构造出判断矩阵 A_3 如下:

$$A_3 = (a_{ij})_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} & \text{专家1} & \text{专家2} & \text{专家3} & \text{专家4} \\ \text{专家1} & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \text{专家2} & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \text{专家3} & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \text{专家4} & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

基于学术水平因素对专家进行两两比较,构造出两两比较判断矩阵 A_4 如下:

$$A_4 = (a_{ij})_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} & \text{专家1} & \text{专家2} & \text{专家3} & \text{专家4} \\ \text{专家1} & 1 & 1/2 & 2 & 2 \\ \text{专家2} & 2 & 1 & 1/3 & 1 \\ \text{专家3} & 1/2 & 3 & 1 & 3 \\ \text{专家4} & 1/2 & 1 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

参照几何平均法公式^[14],对 A_1 矩阵做如下计算后,可求出保留五位小数后的向量 $W_1 = (w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14})$ 为:

$$w_{11} = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 3 \times 1/2} = 1.106\ 68$$

$$w_{12} = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 3 \times 1/2} = 1.106\ 68$$

$$w_{13} = \sqrt[4]{1/3 \times 1/3 \times 1 \times 1/5} = 0.386\ 1$$

$$w_{14} = \sqrt[4]{2 \times 2 \times 5 \times 1} = 2.114\ 74$$

即得 $W_1 = (1.106, 1.106, 0.386, 2.115)$,通过幂法^[15]计算最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.004$,通过一致性公式^[16]检验如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.004 - 4}{4 - 1} = 0.001\ 3$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.001\ 3}{0.90} = 0.001 < 0.1$$

通过计算结果可知,所得到的权向量符合一致性检验。同理,可以求出另外3种因素的向量为:

$$W_2 = (1.189, 0.931, 0.760, 1.189)$$

$$W_3 = (1.000, 1.000, 1.000, 1.000)$$

$$W_4 = (1.189, 0.904, 1.456, 0.639)$$

则可得:

$$W_a = (W_1, W_2, W_3, W_4)^T = \begin{pmatrix} 1.106\ 68 & 1.106\ 68 & 0.386\ 10 & 2.114\ 74 \\ 1.189\ 00 & 0.931\ 00 & 0.760\ 00 & 1.189\ 00 \\ 1.000\ 00 & 1.000\ 00 & 1.000\ 00 & 1.000\ 00 \\ 1.189\ 00 & 0.904\ 00 & 1.456\ 00 & 0.639\ 00 \end{pmatrix}$$

本文假定这几类因素重要性相同,对矩阵 W 每个专家向量值(即每列)进行相加处理,可以得到对各专家的评价权重值为 $W_r = (4.484\ 68, 3.941\ 68, 3.602\ 1, 4.942\ 74)$ 。

评价专家依照自己的相关经验对密度、使用期、价格成本、可燃性四种因素判断后,由此求得的评价权重矩阵 W_z 为:

$$W_z = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 \end{pmatrix}$$

考虑到小数位较多,所以对以上数据结果进行四舍五入处理。对以上的矩阵进行如下运算可得:

$$W_s = W_r \times W_z = w_i m_{ij} / \sum_{i=1}^n w_i m_{ij} = \{0.348, 0.200, 0.173, 0.279\}$$

即得到式(3)中的权重矩阵 W 。

若存在2种材料对应密度、使用期、价格成本、可燃性四种因素的性能值分别为:(100, 800, 2 000, 5), (150, 1 200, 3 000, 3),则经过归一化处理后可得对应数值为:(0.6, 0.4, 0.6, 0.625), (0.4, 0.6, 0.4,

0.375),从而得到 $R_s = \{0.567, 0.433\}$,即前一种推荐值为 0.567,后一种推荐值为 0.433。

本系统整体为 B/S 构架,利用 Oracle 作为后台数据库,基于 ASP.NET 平台进行开发设计。系统采用 B/S 的 3 层浏览器/服务器结构,即由表现层(UI)、业务逻辑层(BLL)、数据访问层(DAL)三部分组成。其中,系统表现层位于最外层,主要作用是显示数据和接收用户输入的数据,为用户提供一个交互式的操作界面;业务逻辑层处于系统数据访问层与表现层的中间,其功能主要是对系统数据库的访问及数据获取,可以访问数据库系统、相关附件(如:性能曲线文档、数据表等)。系统简化流程如图 1 所示。

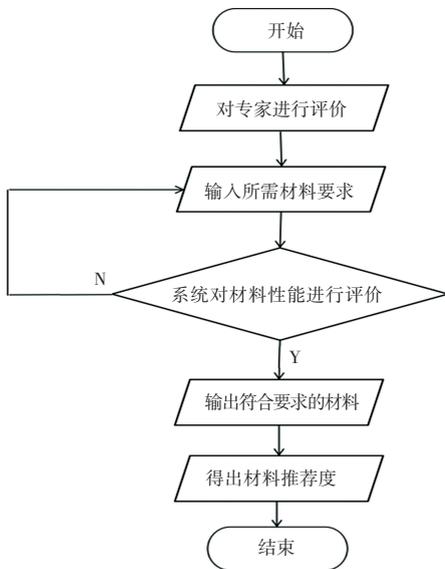


图 1 系统的简化流程

Fig. 1 Simplified flow chart of the system

3 应用实例

在应用系统中,最大特征指用幂法通过计算机程序进行求解,由于以上计算数据四舍五入而系统中的数据所取为 double 类型数据,所以最终结果较以上计算会更精确些,界面如图 2 所示。

对专家评价界面				
权重表	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4
专家 1	1	1	3	0.5
专家 2	1	1	3	0.5
专家 3	0.333	0.333	1	0.2
专家 4	2	2	5	1
考虑因素	工作经验	<input type="button" value="修改"/>	<input type="button" value="计算"/>	<input type="button" value="保存"/>
最大特征值: 4.004158				
CR=0.0015<0.1, 符合一致性检验。				

图 2 专家评价界面图

Fig. 2 Interface diagram for expert evaluation

专家针对相应的材料属性,根据经验进行评价打分,相关界面如图 3 所示。

专家对材料性能打分界面				
权重表	密度	使用期	价格	阻燃性
专家 1	0.4	0.2	0.1	0.3
专家 2	0.3	0.2	0.2	0.3
专家 3	0.4	0.2	0.2	0.2
专家 4	0.3	0.3	0.2	0.2
计算方法	加权平均法		<input type="button" value="计算"/>	<input type="button" value="保存"/>
权重向量为: (0.358 0.206 0.179 0.257)				

图 3 专家打分界面图

Fig. 3 Interface diagram of expert scoring

选择结果显示如图 4 所示,将得到的结果按照推荐度值从大到小排序,以供相关人员进行参考。

辅助选择抗坠毁材料界面					
失效应力(Mpa)	100	最大塑性应变	10	截断应力	100
屈服模量(Mpa)	10	比吸能	2	能量耗散因子	0.2
剪切模量(Mpa)	100	弹性模量	100	屈服应力	450
阻燃性	差	使用温度(°C)	100		
主要受力状态: 拉伸 <input checked="" type="checkbox"/> 压缩 <input type="checkbox"/>					
<input type="button" value="计算"/>					
查看	材料名称	生产商	材料标准	推荐度	备注
查看	1118	HPCR	112	0.616	
查看	JT103	波音	226	0.589	
查看	126	空客	112	0.572	
查看	124	CM	201	0.548	

图 4 材料检索结果界面

Fig. 4 Interface diagram of material retrieval results

点击查看按钮,可以查看材料详细信息。在数据库中查询符合抗坠毁筛选条件的材料密度、使用期、价格、阻燃性的信息,如图 5 所示。

	材料名称	密度	使用期	价格	阻燃性
1	1118	111	900	1000.00	
2	120	12	2500	1600.00	
3	124	202	5000	400.00	
4	126	111	9000	1000.00	
5	128	12	500	1600.00	
6	JT103	30	4000	800.00	
7	1118	11	4000	260.00	

图 5 筛选出的材料信息

Fig. 5 Filtered material information

从所显示信息加上图 5 中计算出的权重值可以做出如下分析:做出如上以名称为 1118 的材料为例,密度为 11,符合密度值越低越好的要求,价格为 260 也符合越低越好的要求,使用期值为 4 000,阻燃性值为 6,处于中等水平,根据以上的密度、使用期、价格、阻燃性的权重信息(0.358,0.206,0.179,0.257),就可以得出相关推荐度的结果符合研究时的推理计算,通过对比相关数据及参考以上推荐度公式,即可知计算出的推荐度符合筛选的初衷。

4 结束语

本文论述了飞机抗坠毁设计过程中的一种辅助选材方法,将综合评价思想应用于辅助选材过程中,其相应结果符合设计要求,由此得出如下结论:

(1)综合评价方法完全可以用计算机开发的系统实现,且操作简单、数据更加精确,提高了选材速度及科学性。

(2)通过对评价人员依照相应的评价集进行评价,使得主观随意性降低,提高了所得到的权重的有效性。

(3)飞机抗坠毁选材系统充分考虑了飞机抗坠毁选材时性能要求等特点,并且对某些重要因素进行评价,使得材料能更好地被区分,数据更精确。

本文方法能够更有效地为飞机抗坠毁数字化设计提供重要的辅助作用,计算机处理能力较人工计算大幅度增强,如得以适当利用将大大提高飞机抗坠毁选材应用过程速率、准确性、科学合理性。B/S架构使得维护成本降低,易于系统的管理,界面友好,可操作性高。这无疑也将促进飞机数字化设计的未来发展,同时也为有类似需求的其他系统提供有益的借鉴作用,更好地推进航空工业的数字化进程与发展。

参考文献

[1] 常伟,余向东,许志宏. 计算机辅助选材系统[J]. 材料工程,

1996(7):12-14.

- [2] 秦红玲,甘虎,朱大林. 基于 Access 数据库的计算机辅助选材系统开发[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2011,33(3):83-85.
- [3] 魏宏波. 计算机辅助选材(合金钢)系统[J]. 现代制造工程,2003(5):35-36.
- [4] 蓝元沛,焦起祥,关志东,等. 飞机设计选材专家系统的开发[J]. 北京航空航天大学学报,2010,36(11):1358-1364.
- [5] 石金刚. 基于材料数据库的车身选材系统研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2020.
- [6] 郑昌胜. 新能源汽车数字化智能选材仿真设计软件[D]. 长沙:湖南大学,2022.
- [7] 徐倩. 基于简化模型的车身概念设计阶段构件选材方法研究[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [8] 丁永亮. 面向工业设计的智能选材系统的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
- [9] 董玉川. 产品设计中塑料制品的选材研究[D]. 北京:北京服装学院,2013.
- [10] 王珂. 智能选材系统的研究实现[D]. 北京:北京交通大学,2012.
- [11] 秦红玲,甘虎,朱大林. 基于 Access 数据库的计算机辅助选材系统开发[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2011,33(3):83-85.
- [12] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990.
- [13] QURESHI M I, GHOURI K M, AHMADA, et al. Computer aided material selection[J]. Journal of Quality and Technology Management, 2012,3(1):53-59.
- [14] 周宇峰,魏法杰. 一种综合评价中确定专家权重的方法[J]. 工业工程,2006,9(5):23-27.
- [15] 颜庆津. 数值分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [16] 温岚. 用模糊综合评判法和层次分析法解决星船故障的评价问题[J]. 航天器环境工程,2005,22(3):177-184.