

民用飞机铝蒙皮表面处理评价量化方法研究

郝鹏, 卢翔, 杜建勋
(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)

[摘 要] 采用专家咨询法选择出对铝蒙皮表面处理性能影响相对较大的 5 个指标,利用层次分析评价理论建立了表面处理的层次结构模型,采用 MATLAB 获得矩阵特征值和特征向量等数据,得到对铝蒙皮表面处理性能影响定量的权重结果。此方法对民用飞机铝蒙皮涂层系统的研发和维护具有一定的理论意义。

[关键词] 表面处理; AHP; 判断矩阵; 权重向量
[中图分类号] TG174; O213 [文献标识码] A [文章编号] 1001-3660(2013)03-0091-03

Research on Quantitative Method of Surface Treatment Performance Evaluation
of Aluminum Skin about Civil Aircraft

HAO Peng, LU Xiang, DU Jian-xun

(Aeronautical Engineering College of Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

[Abstract] It used expert advice to select relatively large impact five indicators on the the aluminum skin surface processing performance, analytic hierarchy evaluation theory was used to establish the hierarchical structure model of the surface treatment. The eigenvalues and the eigenvectors data were obtained using MATLAB, and the results of the quantitative impact on the aluminum skin surface processing performance weights were got. This method has some theoretical significance for the development and maintenance of the aircraft skin coating system.

[Key words] surface treatment; AHP; judgment matrix; weight vector

铝及铝合金具有比强度高、耐腐蚀性好等优点,因此民用飞机蒙皮主要采用铝合金材料制造^[1]。民用飞机的飞行环境具有复杂性,飞机蒙皮外表面可能会受到各种腐蚀,腐蚀带来的后果不仅会影响飞机的使用寿命,严重时甚至会危及机组人员和乘客的生命安全^[2]。铝蒙皮表面处理的优劣不仅关系到后续涂层系统的抗腐蚀性能,而且关系到涂层系统的整体防护性能,所以研究民用飞机铝蒙皮表面处理的评价方法对飞机铝蒙皮涂层系统的研发和维护具有重要意义。

1 飞机铝蒙皮表面处理方式及其对比

民用飞机铝蒙皮的表面处理方法一般有铬酸阳极化、阿罗丁氧化处理和磷化底漆三种,这三种方法都能获得相对良好的抗腐蚀性能^[3-4],各国民用飞机制造公司通常根据自己的经验和准则选择适当的方法。表 1 是结合试验结果得出的三种表面处理方法各项性能的对比^[5]。

表 1 三种表面处理方式的各项性能对比
Tab.1 The performance comparison of three kinds
of the surface treatment methods

项目	阳极化 处理	阿罗丁-1200 喷淋法	磷化 底漆
膜层厚度	厚	薄	中等
膜层结构	多孔、致密	不均匀膜层	一般
对铝板附着力	很好	很好	好
耐潮后附着力	很好	好	一般
抗腐蚀性能	很好	好	好
抗机上液体介质性能	好	好	差
表面处理时间	很长	长	短
干燥时间	长	长	短
与下层漆相容性	好	好	一般
设备投资	大	小	小
人工、时间消耗	多	多	少
能量消耗	大	小	小
水冲洗及污水处理	要	要	不要
旧漆脱漆性	差	差	好
成本	高	高	低

[收稿日期] 2012-12-19; [修回日期] 2013-01-10
[作者简介] 郝鹏(1985—),女,河北人,硕士,助教,主要研究方向为民用飞机涂层与防护系统。

2 层次分析法

2.1 基本原理

层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP)^[6]是美国运筹学家 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代初提出的一种定性和定量相结合的分析方法,它突出反映了思维的递阶层次特点。递阶层次结构在一定程度上反映了系统的有序性,AHP 提供了一种深入认识和处理系统的方式,把杂乱无章的各种复杂决策因素统一起来,按系统的功能与行为进行深入研究^[7]。因此,层次分析法是对一些复杂、模糊的问题作出决策的简易方法,尤其适用于难以完全定量分析的问题^[8]。

2.2 AHP 量化分析方法

2.2.1 层次分析结构模型的建立

层次分析结构模型由一个总目标、一组能达到目标的备选方案和一组与备选方案相关的因素或准则所组成。根据具体问题的实际需要,准则可以被进一步分解成子准则、子子准则等,这样就把问题按照各因素之间的隶属关系和相互关联度分层,形成自上而下的逐层支配关系,也即形成一个递阶层次结构^[9]。

2.2.2 各层次判断矩阵的建立

判断矩阵的建立采用“1-9 标度法”。针对准则层和指标层的各影响因子,根据各因子不同的重要性,依据专家咨询法给出定性的判断矩阵,通过专家对某一

层次中所有元素,以所属的上一层次中某元素为准则进行两两比较,确定各元素相对重要的程度。

2.2.3 一致性验证

首先对判断矩阵特征向量和最大特征值进行计算。采用和积法对判断矩阵的每列元素进行归一化处理,处理后的各元素为:

$$a_{ij}' = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

将每一列经归一化处理后按行相加:

$$\omega_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}' \quad (2)$$

对向量 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 进行归一化处理:

$$\omega_i' = \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad (3)$$

得到向量 $(\omega_1', \omega_2', \dots, \omega_n')^T$,此向量即为特征向量近似解,最大特征值可表达为:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{n\omega_i'} \quad (4)$$

再进行一致性验证:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}, CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

(5)式中:CR 为一致性判断指标,当 $CR < 0.1$ 时,则认为判断矩阵一致性良好,否则不能接受,需要调整矩阵 A;RI 为随机一致性指标,其值见表 2。

表 2 随机指标(RI)

Tab.2 The random index(RI)

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

2.2.4 层次总排序

计算判断矩阵中各元素对于准则的相对权重,然后计算各层元素对系统目标的组合权重,再根据相对权重和组合权重进行排序。计算指标层对准则层的权重向量与准则层对目标层的权重向量的内积,所得结果即是最终各状态参量的权重值^[9]。

3 应用实例分析

3.1 铝蒙皮表面处理方式性能评价模型的建立

描述铝蒙皮表面处理方式性能优劣的指标众多,但进行性能评价时,不可能用所有的指标进行分析计算,有必要从众多指标中挑选出对性能影响较大的指标。本文采用专家咨询法选择出对铝蒙皮表面处理性能影响相对较大的 5 个指标,即:对铝板的附着力 C_1 、

抗腐蚀性能 C_2 、表面处理时间 C_3 、与下层漆相容性 C_4 及抗机上液体介质性能 C_5 。按照层次分析法的要求,可将表面处理分成由目标层 Z、准则层 C、方案层 P 构成的评价层次结构体系,如图 1 所示。

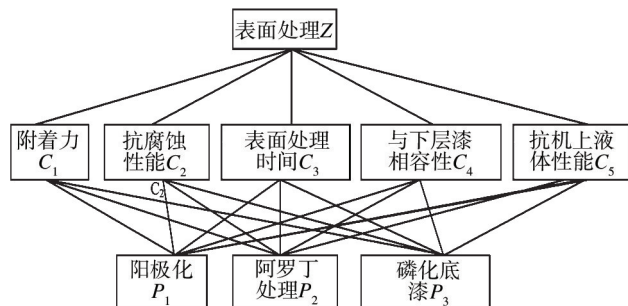


图 1 表面处理的层次结构模型

Fig.1 The layer structure model of surface treatment

3.2 表面处理方式权重量化分析

3.2.1 指标层矩阵的建立及一致性检验过程

本文采用专家咨询法构建指标层的判断矩阵。此方法要求专家评委深入细致地对同一层次各指标的重要性进行一对一的比较判断,并通过这些判断客观地确定不同指标之间的相对重要程度,继而初步给出指标之间相对重要性的具体数值,用于构建判断矩阵。表 3 为采用上述方法建立的指标层判断矩阵。

表 3 指标层判断矩阵

Tab.3 The judgement matrix of indexes

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	r_i
C_1	1	1/4	5	3	1/2	9.75
C_2	4	1	9	6	2	22
C_3	1/5	1/9	1	1/3	1/5	1.84
C_4	1/3	1/6	3	1	1/2	3
C_5	2	1/2	5	2	1	5

根据表面处理评价指标体系的层次分析模型和层次分析法的相关要求,利用 MATLAB 矩阵命令 $[v, d] = \text{eig}(A)$,分别计算表 3 中判断矩阵的最大特征值和特征向量,然后进行一致性检验。通过求解得出矩阵特征向量 $\omega = (1.1654, 4.4400, 0.4908, 0.5599, 0.6965)$,最大特征根 $\lambda = 5.1558$,通过计算得出一致性比例 $CI = 0.03895$,一致性指标 $CR = 0.0348 < 0.10$,由此验证判断矩阵满足一致性要求。再对特征向量 ω 进行归一化处理,得到指标层元素权重的大小,即 $\omega' = (0.1585, 0.6039, 0.0668, 0.0761, 0.0947)$ 。

3.2.2 方案层矩阵的建立及一致性检验过程

方案层各方案的判断矩阵建立方法及一致性检验方法与指标层相同,本文仅列出附着力 C_1 的判断矩阵(见表 4)及其一致性检验过程。

表 4 方案层元素 C_1 的判断矩阵

Tab.4 The judgement matrix of program C_1

方案	P_1	P_2	P_3
P_1	1	3	5
P_2	1/3	1	3
P_3	1/5	1/3	1

利用 MATLAB 矩阵命令 $[v, d] = \text{eig}(A)$,分别计算表 4 中判断矩阵的最大特征值和特征向量,然后检验其一致性。通过求解得出特征向量 $\omega = (2.0424, 0.8959, 0.5465)$,最大特征根 $\lambda = 3.0385$,并算得 $CI = 0.01925$, $CR = 0.0332 < 0.10$,由此验证判断矩阵满足一致性要求,再对特征向量 ω 进行归一化处理,得到指标层元素权重的大小,即 $\omega_1 = (0.5861, 0.2571, 0.1568)$ 。

利用 MATLAB 矩阵命令 $[v, d] = \text{eig}(A)$,计算出方案层元素 C_2, C_3, C_4, C_5 的矩阵的最大特征值依次为 3.0536, 3.0000, 3.0037, 3.0000, 经过检验,它们均符合一致性。将其进行归一化处理后的权向量依次为: $\omega_2 = (0.6024, 0.1612, 0.2364)$, $\omega_3 = (0.1632, 0.2269, 0.6099)$, $\omega_4 = (0.5690, 0.2788, 0.1522)$, $\omega_5 = (0.5753, 0.2708, 0.1539)$ 。以 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ 为列向量构成矩阵 W' 。各方案优先程度的排序向量为 $W = W' \cdot \omega'$,利用 MATLAB 得到各方案的权向量 $W = (0.5654, 0.2000, 0.2346)$ 。

计算结果表明,阳极化处理、阿罗丁处理、磷化底漆三者权重值分别为 0.5654, 0.2000, 0.2346。

4 结论

1) 三种不同的铝蒙皮表面处理方式的五种性能综合评定结果为:阳极化处理表现最为优异,其次为磷化底漆,再次为阿罗丁处理,后两者表现较为接近。

2) 在对铝蒙皮表面处理评价的过程中,实现了定性分析和定量分析的有机结合,得出定量的权重结果,由此得到了一种用于对表面处理,乃至对飞机涂层系统进行综合评价的重要方法,这对于民用飞机涂层的修复和研发具有十分重要的理论指导意义。

[参考文献]

[1] 赵建华,赵占西,尹小三. 铝合金复合阳极氧化表面处理工艺[J]. 表面技术,2008,37(4):54—56.
[2] 汪定江,郭必新. 飞机铝合金结构件腐蚀的原位修复工艺研究[J]. 表面技术,2002,31(1):51—52.
[3] 孙振起,黄明辉. 正交试验法优化铝锂合金表面处理工艺研究[J]. 表面技术,2011,40(3):68—70.
[4] 汤智慧,宇波,高玉魁. 后处理对离子镀铝涂层腐蚀性能的影响研究[J]. 装备环境工程,2007,4(2):27—31.
[5] 刘翔,丁鹤雁. 磷化底漆在军用飞机蒙皮涂层修补中的应用研究[J]. 材料工程,1999(4):36—38.
[6] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
[7] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
[8] 刘豹. 层次分析法——规划决策的工具[J]. 系统工程,1984,2(2):23—30.
[9] 钟欣,王玫,王杰. 基于层次分析法的电子产品概念设计评价研究[J]. 包装工程,2008,29(11):108—111.