

基于模糊综合的民机 可达性设计评价方法研究

Study on the Accessibility of Civil Aircraft Based on the Fuzzy Comprehensive Evaluation

吴昊¹ 孙玛丽² / Wu Hao¹ Sun Mali²

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 200232; 2. 上海飞机客户服务有限公司, 上海 200240)

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;

2. Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd, Shanghai 200240, China)

摘要:

为更好地对民用飞机的维修可达性进行评价,首先解释了维修可达性的定义及内涵,其次构建了民用飞机维修可达性的评价体系,研究了模糊综合的维修可达性评价方法。最后通过实例分析,为民用飞机维修可达性设计分析提供了一种有效的思路。

关键词:民用飞机;可达性;模糊综合评价;层次分析法

中图分类号:V267

文献标识码:A

[Abstract] In order to analyze the maintenance accessibility of civil aircraft better, this paper explains the definition of accessibility firstly. An accessibility evaluation system for civil aircraft is established secondly, and the method of accessibility evaluation is researched finally, an example is analyzed in detail for the method mentioned above and the result shows that the paper can provide an effective idea for the maintenance accessibility analysis of civil aircraft.

[Key words] civil aircraft; accessibility; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process

0 引言

可达性是指维修产品时,接近维修部位的难易程度,是衡量产品维修性的重要指标。良好的可达性,能够方便迅速地到达维修的实体并能自如操作工具,从而提高维修效率,减少维修差错,降低维修工时和费用。可达性差是维修时面临的一个重要和首要问题,维修效率低通常是可达性差的结果。那些看不见或看不清,够不着,工具不能使用,为了检查某个零件需要拆除旁边其它零件,是可达性最差的设计,因此提高和改进可达性是维修性设计的重要目标。本文对产品的可达性设计因素进行探讨,同时阐述了采用虚拟维修技术来验证维修可达性的思想,希望能为产品的维修性设计提供指导。

1 可达性定义及内涵

维修可达性是指维修产品时,能够迅速方便地达到维修部位的特性。通俗地说,就是维修部位能够“看得见、够得着”或者容易看见、够着,而不需拆卸、搬动其他零部件。维修可达性是产品本身的一种特性,是在产品设计时就被赋予的固有属性^[1]。

在国军标中可达性的定义为:产品维修或使用,接近各个部位的相对难易程度的度量。这个定义中可达性应该包含更多的内涵和意义,即可达性不是仅仅局限于到达故障部位,还应当包含能够进行维修操作的能力和可视性。因此本文认为可达性是指维修产品时,能看到、摸到产品的不同组成部分并能操作维修工具的相对难易程度。

2 基于模糊综合的维修可达性评价方法

2.1 可达性评价体系

良好的维修可达性要求:合理地布置产品各组成部分及其维护点、润滑点、检测点,使之易于观测和维护;合理开设维修通道;保证维修操作有足够的空间,包括使用工具、器材的空间。根据上述要求和原则以及可达性的定义,本文主要考虑因素包括三个方面:视觉可达、实体可达和操作可达。结合国内外相关资料,对这些因素进行简要分析如下。

(1)视觉可达:维修部位在维修人员视线可达范围内,方便维修,如拆下盖板时,要能以正常的视角看到所有的零部件;取放零部件时,要能从开口部分看到零部件;为了能识别,要在机件上和零部件上做出标识;装配零部件时,要使零部件上的附件都能看得清而不受其他零部件遮蔽,也不受维修人员的手和工具的遮蔽;需要调整的部件,既要看得见调整处,又要在机体上或对应的显示器上显示其调整范围。

(2)实体可达:工具或手能够沿一定路径或方式,接近维修部位。零部件应在不拆卸其他零部件的情况下能直接接触到;故障率高的零部件、更换时间长的零部件,应放在可达性好的部位;对于大的、重的零部件等,在布局时应考虑尽可能放置在开口部分的近旁。

(3)操作可达:手或工具有足够的空间完成相应的维修动作,如扳手应至少有 60°的转动空间才可以完成扳手的维修任务。

根据上述分析,按照影响因素属性关系,将影响维修可达性的因素组成多级递阶层次结构,从而构成影响维修可达性评价体系,如图 1 所示。

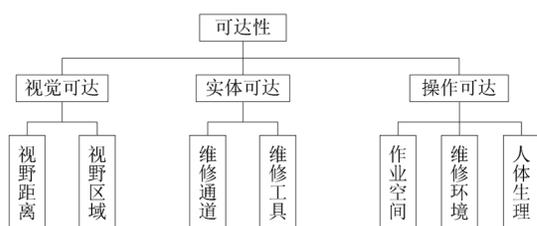


图 1 维修可达性评价体系

2.2 确定各指标打分准则

指标体系建立以后,就要进一步确定各指标的打分准则。打分时对每一指标分为好、中、差、极差

四个等级,其中“好”分值在 90~100,评价人员根据评价指标的评分准则,模糊给出一个介于 90~100 的分数。相应地,“中”为 75~90,“差”为 60~75,“极差”为 60 分以下,具体分值由评价人员根据评价对象实际情况给出模糊分值。

视觉可达评分准则如表 1 所示。

实体可达评分准则如表 2 所示。

操作可达评分准则如表 3 所示。

表 1 视觉可达评价准则

评分	评分准则
90~100	整个维修过程中,均可以直接看见维修对象和内部操作
75~90	执行维修动作之前,可以直接看见维修对象,但维修操作时由于身体或维修设备/工具等阻挡,导致维修对象不可见,维修操作可见
60~75	执行维修动作之前,可以直接看见维修对象,但维修操作时由于身体或维修设备/工具等阻挡,导致维修对象不可见,同时,维修操作也不可见
0~60	整个维修过程中,均无法直接看见维修对象和内部操作,主要依靠维修人员的感觉、经验和技术水平

表 2 实体可达评价准则

评分	评分准则
90~100	维修人员在自然状态下可以直接到达维修对象安装位置
75~90	维修人员经过一定的努力,如身体调整等,可以直接到达维修对象安装位置
60~75	维修人员无法直接到达维修对象安装位置,但通过维修设备/工具远距离维修时,不影响维修动作完成
0~60	维修人员无法直接到达维修对象安装位置,但通过维修设备/工具远距离维修时,维修动作受影响,很难正常完成

表 3 操作可达评价准则

评分	评分准则
90~100	维修和拆装对象的周围空间宽敞;操作空间对维修人员的姿态没有要求
75~90	维修空间狭小,但能完成维修操作;操作空间对维修人员姿态的影响较小
60~75	维修空间狭小,在特殊条件下,增加维修工作内容时,才能完成维修操作;操作空间对维修人员姿态有专门要求
0~60	维修和拆装对象周围空间狭小,严重影响维修动作的完成,无法操作或非常勉强下操作。

2.3 确定评价指标权重

权重的选择合适与否直接关系到模型的成败。确定权重的方法很多,如专家估计法,层次分析法,可根据系统的复杂程度和实际工作需要选择。本评估方法中采用层次分析法^[2]。

在层次分析法中,如果 $n \times n$ 矩阵 A 满足如下条件:(1) $a_{ij} > 0$; (2) $a_{ij} = 1/a_{ji}$; (3) $a_{ii} = 1$ 时,矩阵 A 被称为判断矩阵。判断矩阵 A 是正矩阵,它被用来描述 n 个因子 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 进行对比判断后对事件的影响大小关系。判断矩阵标度及其含义见表 4。对于 n 阶正矩阵 A ,根据线性代数有关理论可知:它的特征值可作为衡量同一层次中每个因素对上一目标的影响中所占的比重。

表 4 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示两个因素相比具有同样的重要性
3	表示一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示一个因素比另一个因素明显重要
7	表示一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	为上述两相邻判断的中值
倒数	当因素 i 与 j 比较取 a_{ij} 时,则 j 与 i 比较取 $1/a_{ij}$

根据 Perron 定理对于 n 阶方阵 A , λ_{\max} 为方阵 A 的最大特征值,则有:(1) λ_{\max} 必为正特征根,而且它对应的特征向量为正向量。(2) A 的任何其他特征根 λ 恒有 $|\lambda| < \lambda_{\max}$ 。(3) λ_{\max} 为 A 的单特征根。对于 n 阶正矩阵 A 可以证明 A 的最大特征值 $\lambda_{\max} \geq n$,当且仅当 A 为一致时 $\lambda_{\max} = n$ 。而当 A 不一致时, $\lambda_{\max} > n$,在 AHP 分析中, A 的不一致性必须控制在一定的允许范围内, Saaty 定义了一致性指标: $C. I = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 用比值 $C. R = C. I / R. I$ 来判断判断矩阵 A 的不一致性是否可以接受,其中: $R. I$ 是平均随机一致性指标,该值可以查表得出。一般当 $C. R < 0.1$ 时,认为判断矩阵的不一致性可以接受。

2.4 分层综合评价

待评价人员按照评价准则,对每一评价指标打分以后,按照各个指标的权重进行综合评价,可得到飞机维修可达性的评价结果。综合评价是按级进行评价的,评判顺序为:首先进行最低层次的模糊综合评判,其次由最低层次的评判结果构成上

一层次的模糊矩阵,在进行上一层次的模糊综合^[3],循此自底而上逐层进行模糊综合评判,可得到维修可达性的综合评判结果。其算式为:

$$U = \omega_1 \times u_1 + \omega_2 \times u_2 + \omega_3 \times u_3 \quad (1)$$

3 实例验证

本文的民用飞机维修可达性评价确定从视觉可达、操作可达和实体可达三个方面进行综合评价,利用本文提出的模糊综合评价分析空客 A320 飞机空调系统的流量控制活门,给出了维修可达性模糊综合评价的应用实例,A320 飞机空调系统的流量控制活门的位置如图 2、图 3 所示。

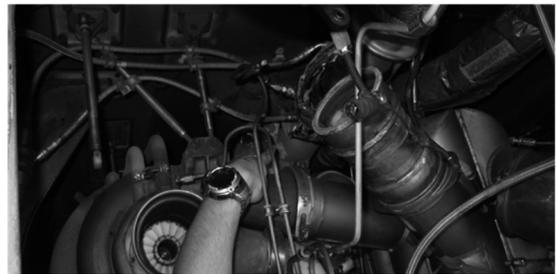


图 2 A320 飞机空调系统的流量控制活门的位置大致示意



图 3 A320 飞机空调系统的流量控制活门的位置细节示意

3.1 准则层在目标层权重的确定

本文采用方根法来确定准则层在目标层的权重。具体方法如下:(1) 求出因素判断矩阵每一行所有元素的几何平均值;(2) 把求得的几何平均值归一化得到所求向量的特征值,即为各个因素的相对权重;(3) 计算判断矩阵的最大特征值;(4) 计算判断矩阵一致性指标,检验其一致性。具体的因素判断矩阵和求得各因素的权重如表 5 所示。

3.2 维修可达性的综合模糊评价

本文中对于二级指标的权重均采用平均分配的方法。按照评价准则,对每一因素打分以后,按照二级指标各个因素的权重进行综合评价,可得到的模糊综合评价结果如表 6 所示。

(下转第 52 页)

参考文献:

[1] Walsh P P, Fletcher P. Gas Turbine Performance[M]. UK: Blackwell Science Ltd, 1998.

[2] Tong M T, Halliwell I, Ghosn L J. A Computer Code for Gas Turbine Engine Weight and Disk Life Estimation[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. ASME APRIL 2004, Vol. 126: 265-270.

[3] Sagerser D A, Lieblein S, Kkebs R P. Empirical Expressions for Estimation Length and Weight of Axial-flow Components of VTOL Powerplants[R]. NASA TM X-2406, 1971.

[4] Waters M H, Schairer E T. Analysis of Turbofan Propulsion System Weight and Dimensions[R]. NASA TM X-73, 199, 1977.

[5] Pera R J, Onat E, Klees G W, et al. A Method to Estimate Weight and Dimensions of Aircraft Gas Turbine Engines Volume 1[R]. NASA, CR135170, 1977.

[6] Franciscus L. Interrim Computer Program for Estimating Aircraft Engine Weight and Dimensions on A Component Basis [R]. NASA TM X-73404, 1976.

[7] Hale P L. A Method to Estimate Weight and Dimensions of Aircraft Gas Turbine Engines - Final Report and User's Guide [R]. NASA, CR168049, 1982.

[8] Tong M T, Naylor B A. An Object-Oriented Computer Code for Aircraft Engine Weight Estimation[J]. NASA/TM-2009-215656, 2009.

[9] 潘代锋,伏宇. 一种预估涡喷/涡扇发动机重量的方法[J]. 燃气涡轮试验与研究,2010, 23(3): 49-51.

[10] 郭淑芬,陈军,赵洪利. 涡喷与涡扇发动机重量估算方法[J]. 航空发动机,1999,2: 8-10.

[11] 郭淑芬,宋慧敏,王甫君. 涡轴与涡桨发动机特殊部件重量估算[J]. 航空发动机. 1999,4: 8-11.

[12] Sanghi V, Kumar S K, Sundararajan V. Preliminary Estimation of Engine Gas-Flow-Path Size and Weight[J]. Journal of Propulsion and Power, 1998, 14(2): 208-214.

[13] 陈光,洪杰. 航空燃气涡轮发动机结构[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社,2009.

[14] 刘长福,邓明. 航空发动机结构分析[M]. 西安: 西北工业大学出版社,2006.

[15] 陈光. 航空发动机结构设计分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社,2006.

[16] Tong M T, Halliwell I, Ghosn L J. A Computer Code for Gas Turbine Engine Weight and Disk Life Estimation[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. ASME APRIL 2004, Vol. 126: 265-270.

(上接第 38 页)

表 5 各因素的比较矩阵

因素	视觉可达	操作可达	实体可达	权重
视觉可达	1	1/2	1/3	0.164
操作可达	2	1	9/8	0.393
实体可达	3	8/9	1	0.443
$\lambda_{\max} = 3.1034, C.I. = 0.0517, C.R. = 0.089 < 0.1$				

表 6 维修可达性二级指标评价表

二级指标	视野距离	视野区域	维修通道	维修工具	作业空间	维修环境	人体生理
得分	85	90	80	70	60	60	70
权重	0.5	0.5	0.5	0.5	1/3	1/3	1/3
一级指标得分	87.5		75		63.33		

根据表 6 的模糊综合评价结果,采用式 1 计算 A320 飞机空调系统的流量控制活门维修可达性的评价结果为 71.88 分,表明该部件的维修可达性差,有待改善。同时航空公司也反映该部件的维修存在一定的难度,流量控制活门难以接近,拆下该活门,必须先拆下位于其下方的部分元件和管道,不但增加了维护工作量,更增加了系统风险,降低了

空调部件的可达性。

4 结论

本文以维修可达性为研究对象,对产品的维修可达性综合评价方法展开了深入研究。建立维修可达性评价体系,引入模糊综合分析法把民用维修可达性分析的定性问题转化成了定量问题,从而便于实际分析。实例分析表明本文所提出的模糊综合的民机可达性设计评价方法模型能够处理民机可达性评价的问题,本文为民用飞机维修可达性设计分析提供了一种有效的思路。

参考文献:

[1] 甘茂治. 维修性设计与验证[M]. 北京: 国防工业出版社,1996.

[2] 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.

[3] 程光耀,孙厚芳,雷贺功,慈建平. CAPP 多工艺方案的模糊综合评价[J]. 北京理工大学学报,2004,24(3): 197-200.