

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.01.024

# 基于层次分析法的影响民机使用的 设计问题评估方法研究

## The Minor Flaws Evaluation Based on the AHP Method of Civil Aircraft

孙雨辰 / SUN Yuchen

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

为了对民机设计问题进行定性和定量评价,将设计问题分为影响飞机的使用(包括影响运营限制和影响签派)和影响使用者的体验(包括影响飞行员、机务和乘务员的使用)两类。首先,采用层次分析法,用多维度评价指标把不同层面的问题量化。其次,通过多名专家打分制定影响权重,并划分出问题影响等级。最后,制定用于评价使用问题的通用评估检查单。通过填写检查单能够明确评价设计问题对使用影响的严重程度,为系统设计权衡是否需要优化设计提供支撑。

**关键词:** 民机; 设计问题; 影响使用; 层次分析法; 检查单

**中图分类号:** V22

**文献标识码:** A

**[Abstract]** In order to evaluate the design qualitatively and quantitatively, the design flaws are classified into two types. One type of the flaw is that affects aircraft operating, while the other affects users' experience. Thus, analytic hierarchy process (AHP) is adopted to quantify the complex and diversity evaluation indexes. The weighted value of each index is scored by several experts, and the influence rank is formulated by weight value. At last, an evaluation checklist is worked out. In the process of filling in the checklist, the operation effects caused by design flaws and the influence ranks are clearly displayed. It would provide strong support in the tradeoff on whether design optimization is necessary.

**[Keywords]** civil aircraft; design flaw; affect operation; AHP; checklist

## 0 引言

在民用飞机设计、生产、制造以及实际运营的过程中会发现,设计层面存在的问题直接影响飞机的使用及使用者的体验,这些问题并不影响飞机取得型号合格审定,但可能对航空公司的使用产生直接影响。通过初步评估与筛选,可以将此类问题分为影响飞机的使用(包括影响运营限制和影响签派)和影响使用者的体验(包括影响飞行员、机务和乘务员的使用)两类。针对影响使用的不同问题,应用检查单进行评估,采用层次分析法将评估判断指标影响权重量化,并按指标清晰地划分影响等

级,从而明确问题对使用影响的严重程度,为系统设计权衡是否需要优化设计提供支撑。

## 1 影响飞机使用的设计问题类型

飞机在运营阶段出现影响使用的问题,对飞机本身而言,可能增加额外运营限制和影响飞机签派,对飞机的使用者而言,飞机设计中存在的问题会给飞行员、机务人员和乘务员的操作带来不便。

### 1.1 影响运营限制

所设计的飞机应满足适航运行规章已规定的及预计会遇见的运行条件和环境下的签派,并完成相应的飞行任务。如果由于设计因素,对飞机运营

环境、系统正常工作条件产生额外的限制,而这种限制对飞机正常运营签派产生不利影响,此时,则需要对导致该种额外限制产生的设计因素进行分析与评估,发现导致问题产生的根本原因,并评估问题是否能够被客户或飞机的使用者接受,如不能,则需要对设计进行更改。

### 1.2 影响签派

签派放行是飞机运行控制的重要组成部分,飞机签派放行要综合考虑的因素有很多,如何在低成本消耗的情况下高效处理飞行事务成为航空公司遵循的重要飞行原则,在确保飞行安全的前提下,最大限度实现飞机的签派放行,是保证航空公司能够获取最大的经营利润的有效途径。

与飞机设计直接相关的是飞机故障情况,在不影响飞行安全的前提下,设计制定了飞机的主最低设备清单(MMEL)和构型偏离清单(CDL)项目,其中项目失效或缺损在满足一定限制的条件下不影响飞行安全,视为飞机带故障飞行的依据。因此,制定全面而完善的MMEL和CDL项目能够在一定程度提高飞机的签派率。

根据民用飞机的设计目标与要求论证报告,其过站离站时间为40 min,成熟期的短停维护时间目标值为25 min。在过站的过程中,机组、机务和勤务人员需要完成的工作任务包括:滑梯预位、准备地面设备、组织乘客离机、卸载行李、加油、废物箱清理、废水处理、饮用水处理、盥洗室清扫、客舱清扫、维修检查、装载货物组织乘客登机、起动发动机、获得飞机放行许可。

如果由于飞机设计的原因,导致在飞机过站或短停维护期间执行必要工作所需工时时间较长,或对执行维护任务的人员数量有额外要求,则同样视为其对飞机签派有影响。

### 1.3 影响使用者体验

飞机使用人员包括飞行员、乘务员和地面维护保养人员。飞机设计要保证在运营过程中避免对其工作与使用造成不便的影响。以下分别对其影响评估方法进行详细描述。

对于影响人员使用的问题,需要按照影响对象的不同分别进行定性分析,明确问题产生的后果,完整地评估其对运营影响的严重程度,以权衡是否进行更改。

#### 1.3.1 影响机组使用

飞行员的工作空间在驾驶舱之内,需要按照飞行任务执行正常、非正常、应急的操作程序,对驾驶

舱内的开关、按钮、操纵手柄、脚踏、刹车、油门台等控制器件进行操作,同时接收声、光、电、动、告警的反馈形式做出相应的操作。因此,驾驶舱应设计成理念明确、符合飞行员习惯、便于操作、形式统一、故障信息显示明确的形式。同时,国际民用航空界对于人为因素的考虑也日臻成熟,EASA于2007年率先在适航标准修订时增加了关于人为因素的条款CS-25.1302条。FAA也于2013年在其137号修正案中增加了FAR-25.1302条款。根据CS-25.1302条款要求,在驾驶舱设计中必须考虑到飞机机组人为因素的影响。

#### 1.3.2 影响维修人员使用

根据国际民航维修协会(IAMA)统计资料显示,历史上飞行事故80%都是由人的原因导致的。维修机务人员逐渐成为人为因素重要的一环。因此,飞机设计要保证维修人员的防差错设计,同时确保工作的便利性。

#### 1.3.3 影响乘务员使用

乘务员的主要工作场所为客舱,按照工作职责,乘务员需要对驾驶舱门、登机门、应急舱门、厨房、手推车、客舱广播装置、储物箱等设备进行操作,其设计状态直接影响到乘务员操作的便利性。影响乘务员使用的设计状态可以分为影响客舱安全和应急撤离、影响乘务员工作职责和影响乘务员使用舒适度三类。

## 2 影响使用问题评估流程

使用运营影响评估检查单能够对以上提到的问题进行全面核查,具体评估流程如图1所示。

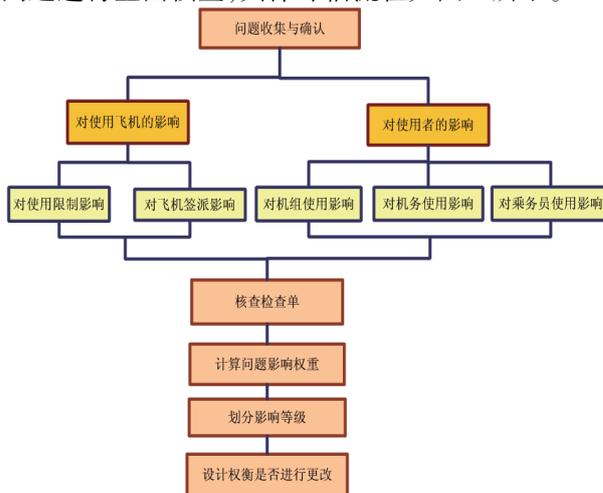


图1 影响使用的设计问题评估流程

### 3 基于层次分析法的问题影响权重系数确定方法

影响使用问题的层级和变量繁多,为了对其各个因素的重要度做出正确评估,需要确定每个问题的影响权重,因此采用系统工程理论中的层次分析法,将多层定性分析模型通过专家打分和数学的方法转化为定量分析模型。采用层次分

析法对影响使用的运营问题进行分析的过程详述如下。

#### 3.1 划分影响使用问题层次结构

对影响使用的多层次多变量问题,首先要对问题进行系统深入地分析,找出每种问题之间的层级隶属关系,按照不同的属性进行区分,并根据隶属关系将其建立一个从高层次到低层次的模型,具体如表 1 所示。

表 1 影响使用问题指标分析

第一层指标	第二层指标
对飞机的影响	A 影响运营限制 a1 增加额外运行限制 a2 增加飞行员负担 a3 对航空公司额外罚款(如噪音超限) a4 降低机场适应性
	B 影响签派 b1 执行 MMEL 项目中限制的 M 或 O 程序时,由于设备可达性不佳、可操作性差、执行程序时间过长等原因影响 MMEL 项目制定 b2 机身外部零部件,由于设计不合理影响其作为 CDL 项目 b3 飞机过站或短停时是否需要复杂、或通用性不佳的工具设备完成相关任务,或不便于执行勤务工作而导致飞机过站时间较长
对使用者的影响	C 影响飞行员 c1 驾驶舱缺少机组完成任务相符合的预定功能 c2 操纵器件功能、操作方式、控制效果不能满足人为因素要求,标识清楚、操作方式明确、功能适当、可达可用 c3 驾驶舱显示信息不易辨识、不易理解、精度和分辨率不恰当、设计缺乏对机组信息的认知的考虑,不能使机组在任何时候都知晓系统正在做什么及原因 c4 驾驶舱设计会导致机组过度依赖自动化设备而丧失对系统的监控 c5 缺少避免机组误操作的控制手段,影响影响机组发现飞机功能和性能的变化,从而发现差错并从中恢复 c6 缺少降低飞行机组犯错的可能性及消除错误的设计
	D 影响机务使用 d1 直接对维修人员安全造成不利影响 d2 维修状态缺少对维护人员人为因素考虑 d3 可操作性不佳 d4 可达性不佳 d5 维修便利性差
E 影响乘务员使用 e1 影响开启应急撤离舱门、释放滑梯、完成应急撤离 e2 影响乘务员工作职责 e3 影响乘务员使用舒适度	

#### 3.2 建立比较标度

建立比较标度是为了使人对问题的严重度之间定性比较的结果量化。通常采用的是 A. L. Satty 的 1~9 标度,1~9 级的标度法是将思维判断数量化的一种方法。首先,在区别事物的差别时,人们总是用相同、较强、强、很强、极端强的语言进行描述,再进一步细分,可以在相邻的两极之间插入折中的提法。因此对大多数评价判断来说,1~9 级的标度是合适的。其次,心理学的

实践表明大多数人对不同事物在相同属性上的分辨能力在 5~9 级之间。因此,对不同事物在相同属性的区分采用 1~9 级的标度是合适的,能够反映大多数人的判断。具体重要度定义见表 2。

类似地,如两两比较中一个问题比另一个问题次要,则分别用 1、1/3、1/5、1/7、1/9 标度次要重要梯度,介于之间的判断则可以分别用 1/2、1/4、1/6、1/8 标度。

表 2 两两比较重要度定义

标度	含义
1	两个问题比较,同样严重
3	两个问题比较,第一个问题比第二个问题稍微严重
5	两个问题比较,第一个问题比第二个问题严重
7	两个问题比较,第一个问题比第二个问题严重得多
9	两个问题比较,第一个问题比第二个问题极其严重
2、4、6、8	介于上述两个判断的中值

### 3.3 构建两两比较关系矩阵

为了评价第一层指标对使用问题及第二层指标对第一层指标的影响权重,邀请飞机使用、维护运营方面专家对影响因素进行比较打分。对表 1 中的第一层指标进行对比分析,可以得出如表 3 所示的打分表,建立影响使用问题对比矩阵 O。

同样,为了对第二层指标开展分析,可以按照表 3 形式建立问题 a1、a2、a3、a4 对第一层指标 A 影响对比矩阵 A-a,问题 b1、b2、b3 对第一层指标 B 影响对比矩阵 B-b,问题 c1、c2、c3、c4、c5、c6 对第一层指标 C 影响对比矩阵 C-b,问题 d1、d2、d3、d4、d5 对第一层指标 D 影响对比矩阵 D-d,问题 e1、e2、e3 对第一层指标 E 影响对比矩阵 E-e,同样请专家开展影响度比较分析。

表 3 影响使用问题对比矩阵 O

第一个问题	第二个问题				
	A 影响运营限制	B 影响签派	C 影响机组使用	D 影响机务使用	E 影响乘务员使用
A 影响运行限制	1				
B 影响签派		1			
C 影响机组使用			1		
D 影响机务使用				1	
E 影响乘务员使用					1

### 3.4 计算每一问题影响权值

根据各位专家的两两比较结果,得到判断矩阵 A = (a<sub>ij</sub>)<sub>n×n</sub>,需进一步计算各指标的相对权值,一般可按以下步骤采用和积法计算矩阵的特征值和近似值。

1) 将矩阵 A 按列归一化

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

2) 将每一列归一化的判断矩阵按行相加

$$W_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (2)$$

3) 将得到的向量归一化,即得权重向量

$$\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

### 3.5 一致性检验

由于各个权重比通常通过专家组打分得到,因此必须进行一致性检查,以防止指标间出现矛盾。通过以下步骤完成对每位专家打分的两两对比矩阵的检验。

1) 计算判断矩阵最大特征值 λ<sub>max</sub>

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n} \quad (4)$$

2) 计算一致性指数 CI

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

3) 利用表 4 平均随机数一致性指数表查出同阶矩阵的平均一致性指数 RI

表 4 平均随机数一致性指数

矩阵维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI 值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

4) 计算一致性比率 CR

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

5) 结果判定

当 CR = 0 时, 判断矩阵具有完全一致性;

当 CR ≤ 0.1 时, 判断矩阵具有满意的一致性;

当 CR > 0.1 时, 判断矩阵具有非满意的一致性, 此时应对判断矩阵中数据进行调整或舍弃。

经过检验, 每个判断矩阵都具有满意的一致性。

### 3.6 求均值

对于多位专家评定的结果, 需要对影响权值进行求均值计算, 以保证评估的合理性。

### 3.7 计算结果

对多位专家评分结果进行一致性检验后, 保留合理结果并求取均值, 各个评价指标的影响权重计算结果如表 5 所示。

表 5 影响权重计算结果

第一层指标	权重	第二层指标	权重
A	0.416 9	a1	0.525 1
		a2	0.108 3
		a3	0.086 5
		a4	0.280 1
B	0.340 7	b1	0.502 4
		b2	0.247 2
		b3	0.250 4
C	0.140 2	c1	0.450 6
		c2	0.131 9
		c3	0.080 0
		c4	0.076 5
		c5	0.118 4
		c6	0.142 6
D	0.069 1	d1	0.519 8
		d2	0.220 5
		d3	0.068 6
		d4	0.121 2
		d5	0.069 9
E	0.033 1	e1	0.732 5
		e2	0.192 0
		e3	0.075 5

## 4 问题影响等级划分方法

影响使用的具体问题可以按照其在检查单中影响问题的权重积分划分影响等级, 具体可分为影响程度严重、影响程度一般、影响较轻三类, 权重区间如表 6 所示。

表 6 各类问题影响等级权重区间

影响类别	影响等级		
	程度严重 	程度一般 	程度较轻 
A 影响运营限制	0.5~1.0	0.3~0.5	0~0.3
B 影响签派	0.5~1.0	0.3~0.5	0~0.3
C 影响机组使用	0.4~1.0	0.2~0.4	0~0.4
D 影响机务使用	0.5~1.0	0.3~0.5	0~0.3
E 影响乘务员使用	0.8~1.0	0.2~0.8	0~0.2

## 5 采用使用问题运营影响检查单评估飞机使用问题

在具体评估影响飞机使用的问题时, 可以按照以下步骤填写表 7 使用问题运营影响评估检查单。

1) 填写问题名称, 按照团队问题管理方法进行编号, 对具体问题的现象及原因进行简要说明。

2) 核查问题是否有相关适航条款要求并在检查单相应位置进行填写。

3) 针对具体问题, 依次使用子检查单 A、B、C、D、E 中的检查项目分别核查对运营限制的影响、对签派影响、对机组影响、对机务影响和对乘务员影响, 如存在相应影响, 则勾选“是”选项, 无影响则勾选“否”选项。

4) 在子检查单中勾选“是”的评估项的具体影响进行说明, 对勾选“否”的评估项影响填写“N/A”。

5) 对每个子检查单 A、B、C、D、E 中勾选“是”的评估项的影响权重进行求和, 填写在“影响系数”项下。

6) 按照表 6 中规定的影响等级权重区间, 划分影响等级, 并以    的直观形式进行划分。

7) 对五个子检查问题影响进行总结, 并以    标记的个数直观体现使用问题影响的严重程度。

表7 使用问题运营影响评估检查单

问题名称			问题编号	
问题描述				
相关试航条款				
<b>A、影响运行限制问题评估检查单</b>				
编号	检查项目	影响权重	是否影响	
a.1	是否会增加额外运行限制?	0.5251	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
a.2	是否增加飞行员负担?	0.1083	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
a.3	是否会对航空公司造成额外罚款? (如噪声收费等)	0.0865	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
a.4	是否会降低机场适应性	0.2801	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
具体影响说明		影响系数	影响等级	
<b>B、影响签派问题评估检查单</b>				
编号	检查项目	影响权重	是否影响	
b.1	执行MMEL项目中限制的M或O程序时, 是否由于设备可达性不佳、可操作性差、执行程序时间过长等原因影响MMEL项目制定?	0.5024	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
b.2	机身外部零部件, 是否由于设计不合理影响其作为CDL项目?	0.2472	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
b.3	飞机过站或短停时是否需要复杂、或通用性不佳的工具设备完成相关任务, 或不便于执行勤务工作而导致飞机过站时间较长?	0.2504	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
具体影响说明		影响系数	影响等级	
<b>C、影响机组使用问题评估检查单</b>				
编号	检查项目	影响权重	是否影响	
c.1	飞机驾驶舱是否缺少机组完成任务相符合的预定功能?	0.4506	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
c.2	操纵器件功能、操作方式、控制效果是否不能满足人为因素要求, 标识清楚、操作方式明确、功能适当、可达可用?	0.1319	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
c.3	驾驶舱显示信息是否不易辨识、不易理解、精度和分辨率不恰当、设计缺乏对机组信息的认知的考虑? 不能使机组在任何时候都知晓系统正在做什么及原因?	0.0800	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
c.4	驾驶舱设计是否会导致机组过度依赖自动化设备而丧失对系统行为的监控?	0.0765	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
c.5	是否缺少避免机组误操作的控制手段, 影响影响机组发现飞机功能和性能的变化, 从而发现差错并从中恢复	0.1184	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
c.6	设计是否缺少降低飞行机组犯错的可能性及消除错误的设计?	0.1426	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
具体影响说明		影响系数	影响等级	
<b>D、影响机务使用问题影响检查单</b>				
编号	检查项目	影响权重	是否影响	
d.1	设计状态是否会直接对维修人员安全造成不利影响?	0.5198	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
d.2	维修状态是否缺少对维护人员人为因素考虑?	0.2205	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
d.3	系统设计是否可操作性不佳?	0.0686	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
d.4	系统设计是否可达性不佳?	0.1212	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
d.5	系统设计是否维修便利性差?	0.0699	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
具体影响说明		影响系数	影响等级	
<b>E、影响乘务员使用问题影响检查单</b>				
编号	检查项目	影响权重	是否影响	
e.1	是否影响客舱安全和应急撤离?	0.7325	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
e.2	是否影响乘务员工作职责?	0.1920	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
e.3	是否影响乘务员使用舒适度?	0.0755	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
具体影响说明		影响系数	影响等级	
总 结		影响等级		

## 6 结论

飞机在全寿命周期内都会不断发现影响飞机使用和使用者的设计问题,通过对这些问题的确认与全面评估,才能做出是否改设计或进行设计优化的决策。本文通过层次分析法,将复杂评价指标量化,并通过专家打分的方法制定了每个评价指标的影响权重,并划分问题影响等级,最终形成使用问题运营影响评估检查单。在对具体影响飞机使用问题进行评价时,通过填写该检查单即可清晰地看出问题的影响及严重程度,从而权衡对问题进行设计更改的必要性。在设计的过程中不断解决并减少影响飞机使用的问题、改善使用者的体验,是保证飞机设计不断完善、使用性优良的唯一途径。

### 参考文献:

- [1] 刘镇承. 基于 Fuzzy-AHP 的快速检查单程序评价[J]. 科技创新导报,2014,11(24):79-80.
- [2] 吴丽萍. 模糊综合评价方法及其应用研究[D]. 太原:太原理工大学,2006.
- [3] 高扬,牟德一. 航空安全评估中的层次分析法-AHP[J]. 中国安全科学学报,2000(03):41-41.
- [4] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报,2000(04):582-586.
- [5] 王岩峰. 基于人为因素的民航维修安全分析与评估研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2009.

### 作者简介

孙雨辰 女,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器设计优化,运营经济性;E-mail:sunyuchen@comac.cc