

民用飞机试飞规划与管理系统的评估研究

Assessment Research on Flight Test Control System for Civil Aircraft

马 菲 朱卫东 / Ma Fei Zhu Weidong
(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)
(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘 要:

国内某民机型号的飞行试验工作者们根据数年的工作经验,开发了基于民机飞行试验的规划与管理系统 (Flight Test Control System, 简称 FTCS), 以利于民机各项试飞工作的开展。相比于一般的信息管理系统, FTCS 系统具有更多行业本身的特质, 在对本系统的一些重要功能进行体验后, 从定性与定量的角度对系统进行评估, 建立一套适用于民机试飞优化系统的评估方法, 利于后续类似系统延续其优秀的设计长处, 改进本系统存在的不足, 为未来民机试飞系统的开发提供参考和借鉴。

关键词: 试飞; FTCS; 优化; 评估

中图分类号: V244.1+2

文献标识码: A

[**Abstract**] According to years of flight test experience, a group of the civil airplane flight testers developed a flight test control system (FTCS) to conduct civil airplane flight tests. Compared with normal information management system, FTCS has more characteristics of the aviation industry itself. After experienced a number of important functions, this report assessed this system qualitatively and quantitatively. A set of assessment process was established applicable for civil airplane flight test optimization method. This process contributed to inherit the advantages for following similar systems, and correct the disadvantages of the system itself. Furthermore, this assessment can provide useful references for the development of flight test system.

[**Key words**] flight test; flight test control system (FTCS); optimize; assessment

0 FTCS 的背景

民用飞机试飞任务复杂, 综合程度高。国际成熟民机企业凭借丰富的型号研制与试飞经验, 已摸索出一套以试飞规划软件为基础的试飞规划方法与管理体系统, 并将其作为核心知识产权进行保护。目前, 我国还未系统开展过民用飞机的试飞规划技术研究, 也缺乏相关规划软件的支持, 试飞任务的生成、组合、分析等工作基本依靠人工, 科学性 with 效率不高, 成为制约型号试飞取证工作的重要因素。

作为拥有我国自主知识产权的某民机项目, 自 2008 年首飞至今进行了长达 6 年的飞行试验, 在经历了摸索和挫折之后, 对于民机的试飞有了前所未

有的体会。鉴于我国缺乏规划软件支持现状, 以及后续型号对于该类型软件的迫切需求, 某民机公司组织了设计、试飞等与试飞紧密相关的人员, 在咨询国外相关领域的专家后, 委托国外具有优化类软件开发的专业团队, 开发适用于中国民机试飞的规划软件。

2013 年 3 月, 试飞规划项目启动民用飞机试飞规划与管理软件 (FTCS) 立项工作, 2013 年底完成了软件的主要开发工作, 目前已经进入使用阶段。软件开发目标: 开发一套主要包括试飞任务组合与优化、动态管理、试飞报告、任务检查、总体与详细试飞计划、计划延迟预警等功能的软件, 并将项目成果同时应用于某支线型号和大型飞机型号试飞

中。该软件能够动态管理试飞计划,进一步增强试飞规划性与科学性、减少试飞架次、缩短试飞周期,最终提高型号试飞效率。

1 研究的意义

民机试飞是一个复杂的系统工程,包含了诸多的不确定性因素,对于飞机的最终交付与批生产具有重大影响,即使民机试飞技术很成熟的波音和空客,对民机试飞过程仍然无法完全把控,对于中国民机产业的发展,试飞是一个巨大的挑战。中国民机试飞在艰难的探索中前行,民机的试飞体系经过6年的实践初具规模,但是也发现了现有体系的许多不足之处,其中对标准化统一的规划管理软件的需求最为迫切。试飞规划管理软件将众多试飞元素集成化,利于各参试单位在共同的平台进行沟通和决策,减少信息沟通带来的问题,将单架次试飞与试飞的总体计划很好地结合,参试人员能够通过系统对项目的作用与定位有更清晰的了解,某一个型号的试飞历程能够很好地在系统中展现,为后续型号的试飞提供了很好的借鉴。

中国首款民机试飞规划管理软件(FTCS)是对民机试飞信息集成化的首次尝试,对它的使用影响后续类似软件的开发,其功能和模块是后续民机领域信息管理软件的重要参照,因此,对本系统公正客观的评估为民机规划软件提出了一个初步化的标准;评估结果中系统的不足是后续系统升级和相关系统应该改进的方向;民机试飞规划系统评估体系的建立弥补了民机试飞管理体系该部分的空白。

2 系统的功能与特点

系统涵盖了中国民机试飞实施程序的全过程,即按照适航规章确定型号审定基础,试飞承担单位编制试飞大纲,梳理全部的试飞科目及试验状态点,根据试飞的计划安排试飞科目的实施,生成对应的试飞任务单,在完成单架次的试飞任务后编制快速报告,作为单架次执行情况的总结,当某个科目完成后编制对应的审定试飞报告、试飞分析报告,对飞行结果与适航规章的符合性进行评定,最终结果提交局方审批^[1]。

本系统可分为3个模块:基本功能模块、完整功能模块和自动优化功能模块。基本功能模块的内容包括设置试飞需求,进行总体规划和详细规划,生成试飞任务单、快速报告,评估试飞结果;完整功

能模块包含版本和状态控制,试飞点组合,TIA试飞任务管理,进行科目分组;自动优化功能模块的内容为自动优化单个试飞任务单,自动优化一组试飞任务单,自动优化整个试飞项目^[2]。

系统的具体功能如下:

(1)定义试验飞机的型号信息,主要包括布局参数、重量和重心、限制条件、性能参数、试验机、ATA等信息;

(2)定义飞机主要系统、子系统、测试参数、主要改装设备等;

(3)定义研发要求、审定要求、TIA、试飞大纲,创建科目、科目组、试验点、试验点程序,对试验点结合进行了设置,可输出试验点及完成报告;

(4)设置科目逻辑关系、停飞期、任务包、子任务包、任务组,手动创建任务单,创建试飞计划,记录飞行计划完成情况,输出试飞计划报告;

(5)显示科目状态,编辑、优化和自动生成单个试飞任务单,批量优化和生成试飞任务单,进行科目构型评估,手动调整试飞计划;

(6)编辑飞行后快速报告,进行架次结果有效性评估,编辑试飞报告;

(7)对本软件的基本参数进行设置,包含风险等级类型、风险影响类型、风险可能性类型、风险映射关系、试飞需求类型、计划延迟原因类型、科目重要性类型、试验点参数项目、飞行员分组等的设置;

(8)管理员控制功能,设置燃油计算公式,速度换算公式;

(9)记录各用户的操作。

3 研究综述

随着全球产业结构的调整,对服务业产品的要求已经从单纯的功能使用,上升到使用者对产品各方面的体验过程,记忆将长久保存对过程的“体验”。对于娱乐业、电子产业、互联网产业的用户体验研究,在国外已经如火如荼地开展,如惠普公司提出的“全面客户体验”口号,微软对其 windows 系统的体验定义等。国际标准化组织(ISO)对用户体验的重要元素之一可用性给出了定义:特定使用环境下,特定用户完成特定的目标时,产品所表现出的效果、效率和令人满意的程度。

我国关于用户体验的研究主要集中在互联网行业,如网站的设计、移动终端的设计等,关于 B2C, C2C 和图书馆用户体验的研究也较多^[3-4],其研究

范围有待进一步扩展。丁明、胡玉宁^[5]通过用户体验测试从感官体验、功能体验、交互体验三个角度对中国知网 KDN 知识发现网络的两个版本进行对比分析,总结平台的优缺点并给出建议;裴一蕾、薛万欣等^[6]从用户体验视角评价搜索引擎,建立基于用户体验的搜索引擎评价指标体系;采用层次分析法确定了各级指标的权重;构建了基于用户体验的搜索引擎模糊综合评价的数学模型;最后通过实例验证层次分析法与模糊综合评价相结合的搜索引擎评价方法的合理性与可靠性。

采用层次分析法与模糊综合评估相结合的方法对建立的用户体验模型进行评价,是目前通用的用户体验解决办法。层次分析法的特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上,利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评标方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。

4 系统的定量研究

作为民机试飞的首款信息管理系统,定量评估是完善此类系统评估体系的重要部分。相比于一般系统更多地从商业角度进行评价,如系统的开发周期、系统的成本、系统的利润性等,对于本系统的评估应该综合考虑通用的系统评价指标,同时还要兼顾航空试飞专业的特殊性,尤其应该从考虑本行业的从业人员的角度,建立合适的评估指标体系,便于做出客观公正的系统评估。

4.1 系统评估指标

采用用户体验的方法对本系统进行评估,首先

建立用户体验要素,即用来评价系统的评估指标。由于用户的体验是一个主观过程,注重的是实际应用,国际 ISO 标准和相关的研究机构并没有给出用户体验要素具体的标准,列出了三个影响用户体验的因素:系统、用户和使用环境。尽管各研究组织或行业对用户体验的定义有所差别,但包含的内容大同小异:可用性、有用性、可获得性、可找到性、满意度、可靠性和价值性。评价指标体系如图 1 所示。



图 1 评价指标体系

作为一款信息管理系统,其最主要的目的是实现其功能,简化对应的工作量,因此系统的有用性是必须选择的指标之一,反映的是该系统最基本的功能。系统使用对象在具体使用时的感受也是对系统最直接的评价,系统的可用性(系统的具体操作、系统的服务和系统的效率、质量)是第二个评价指标。在正常的工作范围内有效地使用系统的功能,即系统的可靠性、可维护性等系统特性是第三个评价指标。前三个指标更多地考虑系统功能相关方面的特性,关于系统本身的设计特性,应该作为单独的评价指标,即系统设计特性。系统评价体系选取了四个指标:有用性、可用性、系统特性和设计特性。

将选取的四个评价指标进行第二级细化:有用性分为所含的数据库、系统功能;可用性包含导入导出、系统服务、系统使用;系统特性细分为系统的开放性、可维护性、安全性;设计特性分为创新性、人为因素。对有用性和可用性细分至第三级,具体的指标体系如图 2 和图 3 所示。

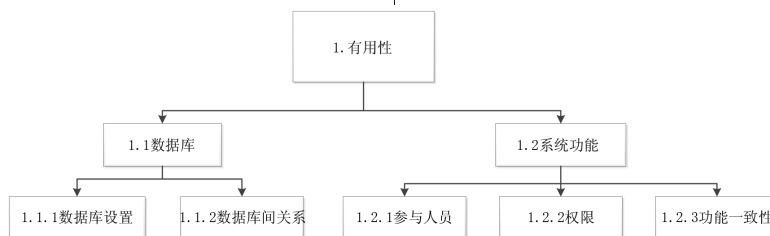


图 2 有用性指标分解

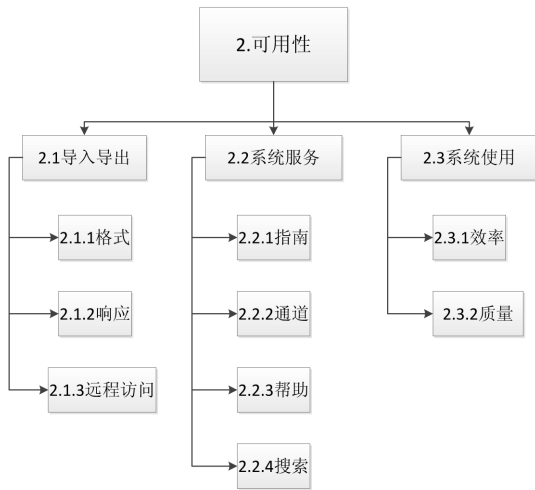


图3 可用性指标分解

4.2 定量研究模型

鉴于本系统具有其专业特性,使用层次分析法与模糊综合评价法相结合对其做出综合评定。首先选取4名全程参与系统研究和使用的航空专业人员,根据给出的系统评价指标进行评判,得到判断矩阵,计算出各指标的权重,并进行一致性检验,然后利用模糊数学的理论和方法,建立综合评价模型。

4.2.1 确定各级指标的权重

设 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, $U_i (i=1, 2, 3, 4)$ 代表第一级的4个指标的权重参数;

U_{ij} 表示第一级的 i 指标下第二级指标 j 的权重系数,类似的 U_{ijk} 表示第一级 i 指标的第二级 j 指标下第三级 k 指标的权重。

(1) 第一级指标的权重

第一级指标的判断矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

经计算最大特征根为 4.03, 得到其权重为 $U = \{0.4673, 0.2772, 0.1601, 0.0954\}$, 一致性检验 $CR = 0.01/0.89 < 0.1$ 。

(2) 第二级指标的权重

第二级第一个指标的判断矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征值为 2, 其权重为 $B_1 = \{B_{11}, B_{12}\} =$

$\{0.75, 0.25\}$

同理可得 B_2 的最大特征值为 3.01, 权重 $B_2 = \{B_{21}, B_{22}, B_{23}\} = \{0.1666, 0.0938, 0.7396\}$;

B_3 的最大特征值为 3.04, 权重 $B_3 = \{B_{31}, B_{32}, B_{33}\} = \{0.1047, 0.2583, 0.6370\}$;

B_4 的最大特征值为 2, 权重 $B_4 = \{B_{41}, B_{42}\} = \{0.25, 0.75\}$ 。

(3) 第三级指标的权重

第三级的第一个指标的判断矩阵 $C_{11} = \{C_{111}, C_{112}\} = \{0.25, 0.75\}$, 最大特征值为 2。

第二个指标 $C_{12} = \{C_{121}, C_{122}, C_{123}\} = \{0.2000, 0.2000, 0.6000\}$, 最大特征值为 3。

$C_{21} = \{C_{211}, C_{212}, C_{213}\} = \{0.2000, 0.2000, 0.6000\}$, 最大特征值为 3。

$C_{22} = \{C_{221}, C_{222}, C_{223}, C_{224}\} = \{0.4554, 0.1409, 0.1409, 0.2628\}$, 最大特征值为 4.01。

$C_{23} = \{C_{231}, C_{232}\} = \{0.3333, 0.6667\}$, 最大特征值为 2。

所有的一致性检验都满足要求。

4.2.2 模糊综合评价模型

设 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$ 为整个系统评价的指标集, 将系统的评估划分为 3 个层级:

- (1) 总目标: 对系统的最终评定 (g)
- (2) 具体评估指标: g_1, g_2, g_3
- (3) 第二级指标: m_1, m_2, m_3, \dots ,
- (4) 第三级指标: c_1, c_2, c_3, \dots

设 $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_m\}$ 是一个权重集, $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ 表示第 i 个指标在指标集 U 中的权重。

设 $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$ 是一个评估集合, 按评估由高到低排列, 对本系统的评估集可以选择 $V = \{\text{非常满意, 满意, 一般, 不满意, 很不满意}\}$ 。

设 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_m\}$ 是一个分数集合, $S_i (i=1, 2, \dots, m)$ 表示第 i 级的评估分数, 对于 $S_i = (n+1-i) * N/n$, 其中 N 作为打分的分制, 如百分制, $N=100$ 。

对第三级的指标进行单因素评定, 得到单因素评判矩阵 $R_{ij} = (r_{ij}^i) (n_i \times m)$ 。在已知该级别各指标的权重 A_i 后, 则对具体目标的模糊综合评价为 $B_i = A_i \times R_i$ 。

对第一级指标的评判为总的评判矩阵与权重相乘, 即: $B = A \times (B_i) T$ 。最终的评判结果为 $W = B \times S$ 。

4.3 定量研究

对 4 位参与系统使用的专业人员进行问卷调

查,其调查结果如表1所示。

表1 调查问卷结果

指 评 价 标 标 价	非常满意	满意	一般	不满意	很不满意
数据库设置	0	2	2	0	0
数据库间关系	0	2	2	0	0
参与人员	3	1	0	0	0
权限管理	1	2	1	0	0
功能一致性	0	3	0	1	0
格式	0	1	1	1	1
响应	4	0	0	0	0
远程访问	1	3	0	0	0
指南	4	0	0	0	0
通道	0	0	3	1	0
帮助	2	2	0	0	0
搜索	0	0	4	0	0
效率	0	2	2	0	0
质量	0	3	1	0	0
开放性	0	1	3	0	0
可维护性	3	1	0	0	0
安全性	4	0	0	0	0
创新性	1	3	0	0	0
人为因素	0	0	4	0	0

令 $r_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^5 C_{ij}}$, $\sum_{j=1}^5 C_{ij} = 4$, 得出对应的评估

矩阵:

$$R_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ 而 } C_{11} = \{C_{111},$$

$C_{112}\} = \{0.75, 0.25\}$, 因而得到数据库的综合评判结果 $B_{11} = (0, 0.5, 0.5, 0, 0)T$, 同理可得剩余指标的评判结果:

系统功能: $B_{12} = (0.2, 0.6, 0.05, 0.15, 0)T$;
 导入导出: $B_{21} = (0.35, 0.5, 0.05, 0.05, 0.05)T$
 系统服务: $B_{22} = (0.53, 0.07, 0.37, 0.04, 0)T$
 系统使用: $B_{23} = (0, 0.67, 0.33, 0, 0)T$
 对二级因素的综合评定:

有用性: $B_1 = (0.15, 0.575, 0.163, 0.113, 0)T$;

可用性: $B_2 = (0.108, 0.585, 0.287, 0.012, 0.008)T$;

系统特性: $B_3 = (0.478, 0.302, 0.220, 0, 0)T$;

设计特性: $B_4 = (0.063, 0.188, 0.75, 0, 0)T$ 。

对系统的总综合评定:

$B = (0.183, 0.497, 0.262, 0.056, 0.002)T$ 。

结合定量化的评判分数可得:

$W=7.61$, 对于 10 分制的得分属于满意。

5 结论

最终定量评估的结果为 7.61 分(10 分制), 与参与人员实际的使用情况十分接近, 系统的评价集中在满意与一般这个区域, 说明系统的性能暂时还未能达到使用人员非常理想的水平, 不过对于民机试飞的第一次尝试, 结果是可以接受的。后续通过软件投入使用后的完善和更新, 其性能也会逐渐提高到满意区域。

本次研究在借鉴其他系统评估方法的基础上, 综合考虑试飞的专业性, 提出了对该系统的评估体系和对应的定量方法, 但是在实际建模过程中, 对于指标的选取仍然存在一定的局限性, 对于指标的选取应该在更大的范围内筛选, 参考更多的专业人士对于指标的选择, 使得指标的选择更具专业性。另外, 通过问卷调查的方式去对系统性能进行评判, 选取的样本量过少, 在后续的研究中应该选取更多的样本容量, 并对样本容量的随机性进行严格的检验, 保证问卷的客观性, 利于对系统进行更公正、客观的评价。

参考文献:

- [1] 民用飞机试飞规划和管理软件需求报告[Z].
- [2] 民用飞机试飞规划与管理软件(FTCS)开发总结报告[Z].
- [3] 高燕, 聂笑一. 农业银行企业网银用户体验报告[J]. 中国管理信息化, 2014, 8.
- [4] 丁明, 胡玉宁. 基于用户体验的中国知网 KDN 知识发现网络平台综合评价[J]. 情报杂志, 2013, 32(10).