

文章编号: 1674-8190(2023)01-141-10

航空发动机客户需求与技术措施重要度 量化评估应用研究

王向辉

(中国航发商用航空发动机有限责任公司 系统集成部, 上海 200241)

摘要: 现有的民用航空发动机客户需求重要度的量化评估方法不符合民用航空发展稳中求进的需要。采用Kano模型和质量功能展开(QFD)方法,提出一种客户需求技术措施重要度量化评估改进算法与技术措施重要度量化评估方法,增加客户需求重要度调整系数中基本型需求的比重,将客户需求进行重要度量化评估并转化为可量化的发动机产品和服务的技术措施,完成技术措施的优先级排序;给出民用航空发动机运行支持体系、换发设备开发的应用案例。结果表明:客户需求重要度量化评估改进算法与技术措施重要度量化评估方法能够在发动机产品和服务研制过程中更加科学有效地进行资源分配与决策,提升产品市场竞争力。

关键词: 民用航空发动机;客户需求重要度;Kano模型;质量功能展开;量化评估

中图分类号: V37

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2023.01.17

Application research on quantitative evaluation of engine customer demand and technical measure importance

WANG Xianghui

(Department of System Integration, AECC Commercial Aircraft Engine Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: The available quantitative evaluation method of the importance of civil aviation engine customer demand cannot meet the needs of civil aviation development. Kano model and quality function deployment (QFD) method are used to propose an improved importance quantitative evaluation algorithm of the customer demand and a importance quantitative evaluation method of technical measures, in which the proportion of basic demand in the adjustment coefficient of the customer demand importance is increased, and the importance quantitative evaluation of customer demand is converted into quantifiable technical measures for engine products and services, and the priority ranking of technical measures is completed. The application cases of civil aviation engine operation support system and replacement equipment development are given. The results show that the improved importance quantitative evaluation algorithm of the customer demand and importance quantitative evaluation method of technical measures can make more scientific and effective resource allocation and decision-making in the process of engine product and service development, and enhance the market competitiveness of products.

Key words: civil aviation engine; customer demand importance; Kano model; quality function deployment; quantitative evaluation

收稿日期: 2022-02-22; 修回日期: 2022-06-18

通信作者: 王向辉, wangxianghui@acaec.com.cn

引用格式: 王向辉. 航空发动机客户需求与技术措施重要度量化评估应用研究[J]. 航空工程进展, 2023, 14(1): 141-150.

WANG Xianghui. Application research on quantitative evaluation of engine customer demand and technical measure importance[J].

Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023, 14(1): 141-150. (in Chinese)

0 引言

在民用航空发动机领域,客户需求捕获分析是民用航空发动机运行支持及客户服务工作的起点,是保证发动机市场竞争力的关键一环^[1-2]。我国民用航空发动机运行支持体系刚刚起步,仅开展了客户需求的捕获和初步分析工作^[3]。随着民用航空业的发展,客户对发动机产品的需求越来越多样化,如何对客户需求的的重要度进行量化评估并转化为对应的技术措施,有效分配技术开发资源,形成“以客户为导向”的产品和服务开发过程,使用较低的成本获取较高的客户满意度,已经成为航空发动机主制造商亟待解决的问题之一。

客户需求捕获完成后,需开展客户需求分析,确定需求的优先级。通常以客户需求重要度排序来定义需求的优先级。针对客户需求重要度的确定方法,国内外研究者对 Kano 和质量功能展开(Quality Function Deployment,简称 QFD)方法展开了深入研究。W. Ho^[4]、H. Raharjo 等^[5]建立了基于层次分析法(Alytic Hierarchy Process,简称 AHP)的客户需求重要度分析模型对客户需求进行重要度评判;袁贵勇等^[6]将 AHP 和 QFD 结合用于空战武器装备发展规划决策中,建立用户需求关系矩阵并计算需求的重要度;刘玉敏等^[7]借助 QFD 方法利用关系矩阵和相关矩阵对顾客满意度测评指标与影响因素直接的关系进行量化分析;Zhang Zaifang 等^[8]提出使用模糊理论确定多粒度多语义的顾客需求重要度;钟晓芳等^[9]应用熵权重法对获取的客户需求信息进行赋权运算,确定关键功能需求;Chen C C 等^[10]提出了基于 Kano 模型的客户需求重要度调整方法。上述方法在对客户需求的分类和量化评估上存在不足。

张居凤等^[11]提出了基于 Kano 模型的武器装备论证需求分析方法,计算客户满意度和不满度系数,量化客户需求重要度;Tan K C 等^[12]针对 Kano 模型不同的需求类别将改进系数 K 值引入到需求的重要度分析中;侯智等^[13]对 Kano 模型中不同客户需求分析的 K 值进行了计算分析,保障其准确性;陈晨等^[14]针对基于 Kano 模型的 QFD 需求分析方法,引入客户需求重要度调整系数的方法。

上述提出的基于 Kano 模型的 QFD 需求分析方法^[11-14]在客户需求重要度的量化评估上主观性较强,得到的重要度结果存在一定误差,不符合民

用航空发动机稳中求进的特点,且上述方法均未对客户需求对应的技术措施的重要度开展量化分析研究。

本文采用基于 Kano 模型需求分析方法,提出一种客户需求重要度量化评估改进算法和基于 QFD 的技术措施重要度量化评估方法;结合国内某型民用航空发动机研制工作,以发动机运行支持体系客户需求及技术措施、民用航空发动机换发设备的开发需求及技术措施为例,对本文提出的方法进行应用研究,通过实例对方法的有效性进行验证。

1 基于 Kano 模型的需求分析方法

本文采用 Kano 模型对客户需求进行分类,通过对 Kano 问卷的统计分析,计算不同客户需求的客户满意系数^[15],同时采用客户满意度量化评估调整系数计算分析,将客户需求满意度转化为客户需求权重,量化分析客户对产品属性的重视程度和偏好。在产品开发过程中可以更加科学有效地进行资源分配与决策,使用较低的成本获取较高的客户满意度,提升产品的市场竞争力。

1.1 Kano 模型

Kano 模型是由日本著名质量管理专家 Kano 博士,在 20 世纪 80 年代提出的一种与产品质量相关的用户满意度模型^[16],其提出的用户满意度曲线如图 1 所示。

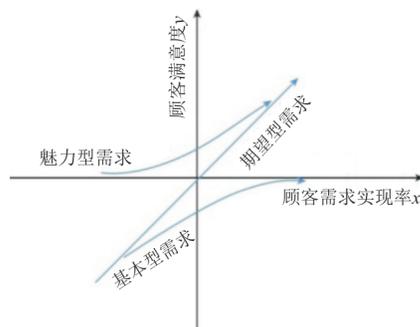


图 1 Kano 模型^[16]

Fig. 1 Kano model^[16]

1.2 客户需求的辨识与分类

首先采用 Kano 模型对客户需求进行分类,过程包括整理需求、设计 Kano 问卷、统计结果等步骤。为降低结果的偶然性,整理需求后,需组织不

同部门的用户填写 Kano 问卷, 如表 1 所示。

表 1 Kano 问卷^[11]
Table 1 Kano questionnaire^[11]

产品是否满足某项需求	选项
满足	<input type="checkbox"/> 我喜欢
	<input type="checkbox"/> 必须那样
	<input type="checkbox"/> 我中立
	<input type="checkbox"/> 如果那样也行
	<input type="checkbox"/> 我不喜欢
不满足	<input type="checkbox"/> 我喜欢
	<input type="checkbox"/> 必须那样
	<input type="checkbox"/> 我中立
	<input type="checkbox"/> 如果那样也行
	<input type="checkbox"/> 我不喜欢

然后将问卷结果进行整理, 利用需求分类评估表准确地对客户需求进行分类, 如表 2 所示, 其中 M、O、A、I、R 和 Q 分别表示基本需求、期望型需求、魅力型需求、无关需求、相反需求和问题型需求。

表 2 Kano 模型需求分类评估表^[11]
Table 2 Kano model demand classification assessment^[11]

用户需求	不满足某需求				
	我喜欢	必须那样	中立	那样也行	我不喜欢
我喜欢	Q	A	A	A	O
必须那样	R	I	I	I	M
中立	R	I	I	I	M
那样也行	R	I	I	I	M
我不喜欢	R	R	R	R	Q

1.3 现有重要度计算方法

采用客户满意系数的概念指明产品提供某服务下的客户满意程度和未提供情况下的不满意程度, 利用表 2 整理评估客户需求类型, 同时统计各需求确定为 M、O、A、I 类型的频数, 根据式(1)~式(3)计算需求 i 的满意度系数、不满意系数、调整系数^[14]。

满意度系数:

$$S_i = \frac{F_{Ai} + F_{Oi}}{F_{Ai} + F_{Oi} + F_{Mi} + F_{Ii}} \quad (1)$$

不满意系数:

$$D_i = \frac{m_i + F_{Oi}}{F_{Ai} + F_{Oi} + F_{Mi} + F_{Ii}} \quad (2)$$

式中: m 为与客户满意系数相关的调整参数。

$$m_i = \max \left\{ \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}, \frac{D_i}{\sum_{i=1}^m D_i} \right\} \quad (3)$$

客户满意度量化评估调整系数计算公式^[14]为

$$I_{Radj,i} = (1 + m_i)^k \times I_{R0,i} \quad (4)$$

1.4 改进算法

国内外研究者在客户需求重要度分析上开展了大量研究^[11-14], 但现有方法仍然存在一些不足, 未考虑民用航空发展稳中求进的需要, 与当前我国航空发动机生态结合不够紧密。

我国民用航空发动机运行支持和客户服务刚刚起步, 与国外成熟企业的运行支持体系及客户服务产品存在较大差距。对于捕获的发动机运行支持方面的客户需求, 需要优先满足基本型需求, 保障发动机的交付运维的情况下, 再开发客户化、智能化的服务产品以满足客户的魅力型需求。

本文对客户重要度改进系数进行优化, 一是在客户需求最终重要度中, 增大基本型需求的重要系数, 更加符合我国民用航空发展稳中求进的特点; 二是将初始改进系数 I_{R0} 引入到 K 值的影响范围, 即将竞争力对比分析产生的初始改进系数与调整改进系数“ $1 + m_i$ ”综合分析。

提出客户满意度量化评估的调整系数计算公式(5):

$$I_{Radj,i} = [(1 + m_i) \times I_{R0,i}]^{1/k} \quad (5)$$

式中: I_{Radj} 为经过调整后的重要度; I_{R0} 为初始改进系数, 即竞争力目标值与现有值的比值; m_i 为需求相对重要度的最大值; $1 + m_i$ 为调整改进系数。

将 Kano 模型的需求满意度系数 S_i 与需求不满意系数 D_i , 代入式(3)。通过式(5)的计算, 将客户需求初始重要度 I_{R0} 优化为最终重要度 I_{Radj} , 作为 QFD 质量屋矩阵的输入。

系数 k 是与需求类型相关的参数, 可以区别不同类型的客户需求的最终重要度, 保证结果的可靠性。

依据不同需求类型在 Kano 模型的曲线特点, 对 k 赋值, 即基本需求 $k < 1$, 通常取 0.5; 期望型需求 $k = 1$; 魅力型需求 $k > 1$, 通常取 2^[12]。

2 产品技术措施重要度评估方法

质量功能展开(QFD)是一种顾客需求驱动的产品规划和改进算法^[16],其基本思想是利用客户需求、偏好和期望驱动产品的开发过程,针对客户需求科学地分配技术开发资源,形成以“客户为导向”技术开发过程。典型的质量屋结构如图2所示。

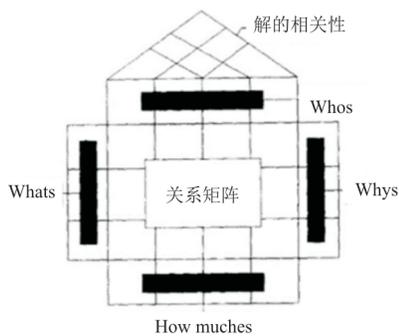


图2 QFD方法的标准质量屋^[17]

Fig. 2 Standardization quality house of QFD^[17]

结合质量功能展开,将量化评估后的客户需求与可开发的产品技术措施进行分值为1~10分的打分,形成需求重要度与技术措施的相关矩阵,流程图如图3所示。

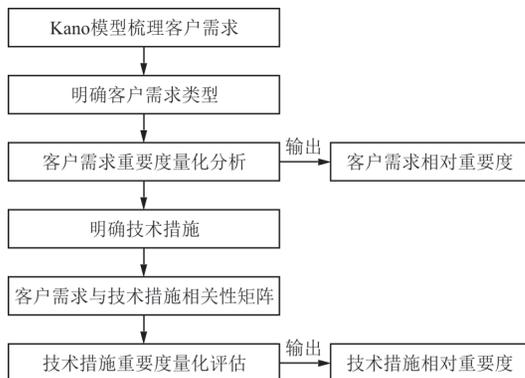


图3 技术措施重要度评估流程

Fig. 3 Flow chart of importance evaluation of technical measures

具体步骤如下：

(1) 基于Kano模型梳理客户需求,明确客户需求的类型；

(2) 通过公式(5)量化评估客户需求的重要度；

(3) 明确可以开展量化评估的产品和服务技术措施；

(4) 根据不同的客户需求,对应措施进行分值为1~10分的技术相关性打分评估；

(5) 计算产品和服务每项技术措施的重要度分值；

(6) 计算产品和服务每项技术措施的相对重要度；

(7) 对产品和服务的技术措施进行评估排序。

根据质量功能展开的原理,梳理所有客户需求对应的技术措施,并对技术措施和客户需求的相关性打分,分值为1~10分。根据相关矩阵,每项客户需求的重要度与对应技术措施的乘积之和,计算得出所有项技术措施的重要度数值并进行排序,确定可以开展的产品和服务技术措施的相对重要度,明确资源投入占比和开发顺序。

3 发动机运行支持体系客户需求重要度量评估应用研究

3.1 发动机运行支持体系客户需求量化评估

开发完备的民用航空发动机运行支持体系可以进一步提高发动机市场竞争性,但在其设计开发过程中涉及到许多复杂信息掌握在国外垄断企业手中,导致设计者难以将可量化的客户需求准确且有效转化为可量化的产品技术措施。依据本文提出的量化评估方法,分析并量化评估某型航空发动机运行支持体系相关的客户需求,将其转换为对应可量化的产品和服务技术措施,映射到运行支持体系的开发过程,指导航空发动机运行支持体系的开发过程。

综合历史资料和以往经验,用户对航空发动机运行支持体系的客户需求包括以下7个方面,即客户支援、产品维修工程分析、工程技术服务、技术出版物、航材支援、培训、大修维修^[18-19]。根据本文提供的客户需求重要度量评估要求,对客户需求进行辨识,并计算出各项客户需求的重要度。Kano问卷调查过程中,调查对象包括来自市场部门、研发部门和维修部门的50位工作人员和领域专家。统计结果和计算结果如表3所示,从表中可以得出运行支持体系客户需求的分类结果和客户满意度系数。

表3 运行支持体系客户需求统计及其客户满意度系数
Table 3 Customer demand statistics and customer satisfaction coefficient

序号	客户需求	频数统计						S_i	D_i	m_i	需求类型
		F_A	F_O	F_M	F_I	F_R	F_Q				
1	客户支援	42	3	4	1	0	0	0.90	0.14	0.213	A
2	产品维修工程分析	4	4	37	2	3	0	0.17	0.87	0.181	M
3	工程技术服务	3	45	1	0	1	0	0.98	0.94	0.231	O
4	技术出版物	4	3	37	3	3	0	0.15	0.85	0.177	M
5	航材支援	33	10	2	3	2	0	0.90	0.25	0.212	A
6	培训	5	37	3	5	0	0	0.84	0.80	0.198	O
7	大修维修	0	15	33	2	0	0	0.30	0.96	0.199	M

参考专家意见和市场经验用五个等级对竞争对手的竞争能力进行打分,分别用数字1~5来表示,5表示满意程度最高,1表示满意程度最低。综合竞争力分析结果,结合自身情况,确定航空发动机运行支持系统的竞争力目标,依照本文公式(4)提出的方法,计算改进系数,确定改进后的客户需求重要度并进行排序。运行支持体系客户需求重

要度结果如表4所示,可以看出:提供产品维修工程分析、技术出版物、大修维修是客户的基本型需求,而提供客户支援、航材支援是客户的魅力型需求,提供工程技术服务、培训是客户的期望型需求;提供产品维修工程分析、提供产品技术出版物、提供产品大修维修等方面的客户需求相对重要度较高,需重点关注。

表4 运行支持体系客户需求重要度
Table 4 Adjustment of customer demand importance

客户需求	分类结果	竞争力分数			初始改进系数	调整改进系数	调整后的重要度	相对重要度	排序
		本单位	竞争对手	目标					
客户支援	A	3	3	4	1.33	1.213	1.27	0.06	6
产品维修工程分析	M	2	4	4	2.00	1.181	5.58	0.28	1
工程技术服务	O	2	3	4	2.00	1.231	2.46	0.12	4
技术出版物	M	2	4	4	2.00	1.177	5.54	0.27	2
航材支援	A	4	3	5	1.25	1.212	1.23	0.06	7
培训	O	3	3	4	1.33	1.198	1.60	0.08	5
大修维修	M	3	3	4	1.33	1.199	2.56	0.13	3

运行支持体系客户需求相对重要度如图4所示,可以看出:产品维修工程分析的相对重要度为28%,技术出版物相对重要度为27%,大修维修相对重要度为13%。

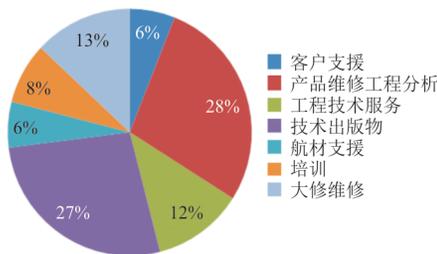


图4 运行支持体系客户需求相对重要度
Fig. 4 Relative importance of customer requirements of operation support system

3.2 技术措施重要度评估

依据本文提供的技术措施重要度量化评估方法,梳理出7项客户需求对应的技术措施,共有15项技术措施,并对技术措施和客户需求的相关性打分,分值为1~10分。根据客户需求与技术措施的相关矩阵,计算每项客户需求的重要度与对应技术措施的乘积之和,得出15项技术措施的重要度数值并进行排序,如表5所示,可以看出:提供维修方案与维修计划、提供发动机排故、提供使用维护手册、提供发动机故障诊断、提供发动机故障预测等技术措施的重要度排序较高,在民用航空发动机运行支持体系开发过程中应当给予重点关

注。结合专家意见,需求分析结果较为符合我国航空发动机运行支持发展现状,对当前存在的“重科研生产,轻运行使用”^[6]的问题,有较好的应用效果。

表5 运行支持体系技术措施重要度评估

Table 5 Importance evaluation of customer demand technical measures

技术措施	客户需求得分							技术措施的重要度	相对重要度	技术措施的重要度排序
	产品维修工程分析	技术出版物	大修维修	工程技术服务	培训	客户支援	航材支援			
提供维修方案与维修计划	10	0	5	5	3	2	2	90.7	0.09	1
提供地面支持设备与工具	3	0	3	10	5	2	0	59.6	0.06	10
提供发动机排故	10	0	0	8	5	3	2	89.8	0.09	2
提供发动机结构修理	8	2	5	0	0	2	3	74.7	0.07	6
提供航材库存服务	3	0	3	2	0	0	10	41.6	0.04	15
提供航材物流服务	3	0	3	2	0	3	10	45.5	0.05	14
提供维修人员培训	0	5	2	0	10	2	0	51.3	0.05	13
提供使用维护手册	3	10	2	3	0	0	0	84.6	0.08	4
提供发动机故障诊断	8	0	2	8	2	8	5	89.0	0.09	3
提供发动机故障预测	8	0	2	8	0	8	3	83.3	0.08	5
发动机健康管理	4	0	2	5	0	8	8	59.8	0.06	9
提供7×24 h快速响应服务	3	0	0	8	0	8	8	56.5	0.06	12
机队可靠性监控	2	0	0	8	8	10	3	60.0	0.06	8
AOG支援	5	0	0	8	0	5	8	63.8	0.06	7
大修维修服务	5	0	10	0	0	4	0	58.5	0.06	11

运行支持体系客户需求技术措施的相对重要度如图5所示,可以看出:提供维修方案与维修计划相对重要度为9%,提供发动机排故相对重要度为9%,提供发动机故障诊断相对重要度为9%,提供使用维护手册相对重要度为8%,提供发动机故障预测相对重要度为8%。

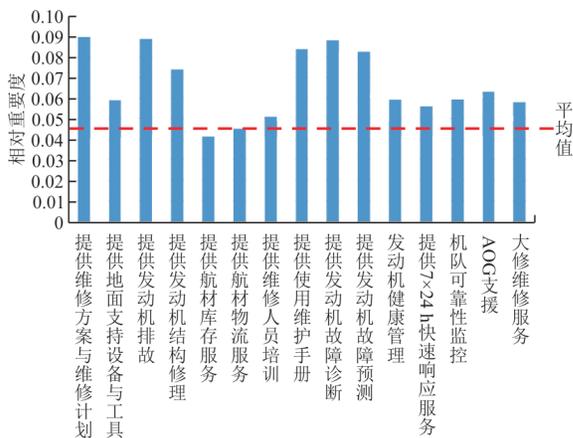


图5 运行支持体系技术措施相对重要度

Fig. 5 Relative importance of technical measures of operation support system

3.3 某型发动机运行支持体系应用

在我国某型民用航空发动机研制过程中,已应用该方法开展发动机运行支持系统开发的规划与论证。在我国科研实力逐渐与国际接轨的大环境下,民用航空发动机企业在保障发动机产品质量特性的基础上,在发动机服务产品“维修方案与维修计划”“发动机排故”“发动机故障诊断”“使用维护手册”“发动机故障预测”等方面增加资源投入,建立“以客户为导向”的运行支持体系,更能提升客户的满意,提升发动机产品的市场竞争力和经济效益。

4 换发设备需求重要度量化评估应用研究

“提供地面支持设备与工具”是发动机运行支持体系开发的重要技术措施。本文以该技术措施中典型工具“换发设备”进行客户需求重要度的量化评估分析。

4.1 换发设备的需求重要度量化评估

根据客户需求重要度及技术措施量化评估要求,以换发设备开发需求为例,进行需求重要度和技术措施重要度的评估,计算换发工具设备开发

需求的重要度。Kano 问卷调查过程中,调查对象包括来自市场部门、研发部门和维修部门的 20 位工作人员和领域专家。统计结果和计算结果如表 6 所示,从表中可以得到换发设备需求的分类结果和客户满意度系数。

表 6 换发设备需求统计及其客户满意度系数
Table 6 Customer demand statistics and customer satisfaction coefficient

序号	客户需求	频数统计						S_i	D_i	m_i	需求类型
		F_A	F_O	F_M	F_I	F_R	F_Q				
1	换发设备保障换发过程安全	2	1	17	0	0	0	0.15	0.90	0.21	M
2	适用多种机型,通用性好	8	4	3	5	0	0	0.60	0.35	0.14	A
3	换发过程操作便捷	12	3	5	0	0	0	0.75	0.40	0.17	A
4	不依赖操作人员技能	2	10	7	1	0	0	0.60	0.85	0.20	O
5	换发时间短	0	18	2	0	0	0	0.90	1.00	0.23	O
6	工具设备移动方便	10	3	3	4	0	0	0.65	0.30	0.15	A
7	工具设备维护方便	8	6	5	1	0	0	0.70	0.55	0.16	A

从表 6 可以看出:“换发设备保障换发过程安全”是客户的基本型需求,而“适用多种机型,通用性好”“换发过程操作便捷”“工具设备移动方便”“工具设备维护方便”是客户的魅力型需求,不依赖操作人员技能、换发时间短是客户的期望型需求。

参考专家意见和市场经验用 5 个等级对竞争

对手的竞争能力进行打分,分别用数字 1~5 来表示,5 表示满意程度最高,1 表示最不满意。综合竞争力分析结果,结合自身情况,确定航空发动机运行支持系统的竞争力目标,依照公式(4)提出的方法,计算改进系数,确定改进后的客户需求重要度并进行排序,结果如表 7 所示。

表 7 换发设备需求重要度
Table 7 Importance of replacement engine equipment development demand

客户需求	分类结果	竞争力分数			初始改进系数	调整改进系数	调整后的重要度	相对重要度	排序
		本单位	竞争对手	目标					
换发设备保障换发过程安全	M	3	3	5	1.67	1.21	4.05	0.30	1
适用多种机型,通用性好	A	1	3	5	1.67	1.14	1.42	0.10	4
换发过程操作便捷	A	2	3	5	1.67	1.17	1.38	0.10	5
不依赖操作人员技能	O	1	2	4	2.00	1.20	1.95	0.14	3
换发时间短	O	2	3	5	1.67	1.23	2.39	0.18	2
工具设备移动方便	A	3	3	4	1.33	1.15	1.24	0.09	6
工具设备维护方便	A	2	3	4	1.33	1.16	1.24	0.09	6

从表 7 可以看出:“换发设备保障换发过程安全”“换发时间短”“不依赖操作人员技能”等方面的需求相对重要度较高,需重点关注。

换发设备客户需求相对重要度如图 6 所示,可以看出:“换发设备保障换发过程安全”的相对重要度为 30%，“换发时间短”的相对重要度为 18%，“不依赖操作人员技能”的相对重要度为 14%，上述三种需求相对重要度较高,需重点关注。

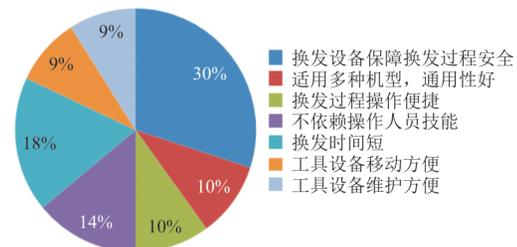


图 6 换发设备需求相对重要度
Fig. 6 Importance of replacement engine equipment development demand

4.2 技术措施重要度评估

依据本文提出的技术措施重要度量化评估方法,梳理出7项换发设备需求对应的技术措施,共有12项技术措施,并对技术措施和客户需求的相

关性打分,分值为1~10分。建立换发设备需求与技术措施的相关矩阵,计算每项需求的重要度与对应技术措施相关性的乘积之和,得出12项技术措施的重要度数并进行排序,如表8所示。

表8 换发设备开发技术措施重要度评估
Table 8 Importance of replacement engine equipment technical measures

技术措施	客户需求得分							技术措施重要度	相对重要度	技术措施重要度排序
	换发设备保障换发过程安全	适用多种机型,通用性好	换发过程操作便捷	不依赖操作人员技能	换发时间短	工具设备移动方便	工具设备维护方便			
连接件强度设计评估(高安全系数)	10	0	0	0	0	0	0	4.05	0.07	8
换发设备实现发动机地面举升	5	10	0	8	5	0	0	40.46	0.10	4
设备地面自移动平台	0	3	0	6	3	10	0	62.00	0.06	9
换发设备举升发动机的缓震设计	10	5	0	5	0	0	0	35.53	0.10	5
设备实现发动机翻转、偏航、俯仰多自由度移动	5	10	5	10	5	5	0	57.32	0.13	2
举升操作精度高(± 0.1 mm)	0	8	0	10	3	5	0	78.98	0.07	7
换发设备地面举升控制软件的逻辑、避免超载和碰撞、限定偏转值	10	5	6	5	5	5	0	44.25	0.14	1
换发设备举升结构限位装置	10	3	0	5	0	0	0	83.73	0.09	6
防碰撞安全预警(高精度传感器)	10	5	5	5	3	0	0	54.49	0.12	3
设备支持8h待机运转	0	0	0	0	0	10	5	71.38	0.03	12
设备通过触屏面板操作控制	0	5	10	5	0	0	0	18.57	0.05	10
换发设备传动部件、传感器等附件维护简便可达	0	5	0	0	0	0	10	30.63	0.03	11

从表8可以看出:“换发设备地面举升控制软件的逻辑、避免超载和碰撞、限定偏转值”“设备实现发动机翻转、偏航、俯仰多自由度移动”“防碰撞安全预警(高精度传感器)”“换发设备实现发动机地面举升”“换发设备举升发动机的缓震设计”“换发设备举升结构限位装置”等技术措施的重要度排序较高,在民用航空发动机换发设备研制过程中应当给予重点关注。

换发设备需求技术措施的相对重要度如图7所示,可以看出:“换发设备地面举升控制软件的逻辑、避免超载和碰撞、限定偏转值”相对重要度为14%，“设备实现发动机翻转、偏航、俯仰多自由度移动”相对重要度为13%，“防碰撞安全预警(高精度传感器)”相对重要度为12%，“换发设备实现发动机地面举升”相对重要度为10%，“换发设备举升发动机的缓震设计”相对重要度为

10%，“换发设备举升结构限位装置”相对重要度为9%。

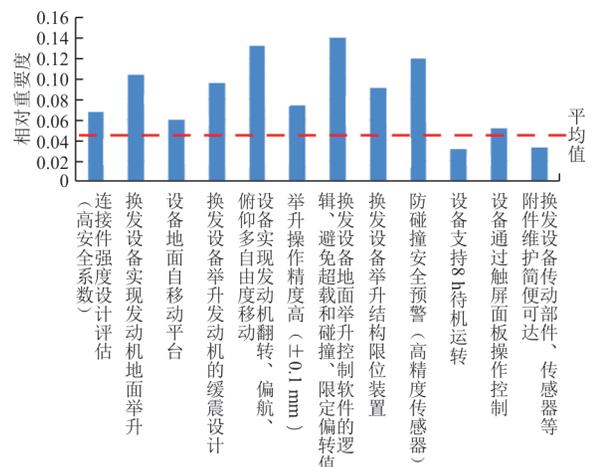


图7 换发设备开发技术措施相对重要度
Fig. 7 Importance of replacement engine equipment technical measures

4.3 某型发动机换发设备开发应用

在我国某型民用航空发动机研制过程中,应用客户满意度量化评估的调整系数改进算法、产品技术措施重要度评估方法已完成民用航空发动机在翼换发设备的研发,目前进入在翼换发设备的制造环节。我国民用航空发动机交付运行过程中,对发动机的运营安全性考量比重很大。民用航空发动机企业开发换发设备时,需优先保障高安全性要求,再关注换发的时间短、换发便捷等客户期望。在换发设备的软件控制、发动机多自由度移动、防碰撞等方面增加资源投入,更能提升客户对换发设备的满意度。

5 结 论

(1) 客户满意度量化评估的调整系数改进算法,在开展客户需求重要度量化评估过程中增加了客户基本需求的考量权重,更符合我国民航发展稳中求进的特点。

(2) 产品技术措施重要度评估方法,可将客户化的需求转化为重要度可量化评估的发动机产品技术措施,以客户需求为导向优化资源配置。

本文是民用航空发动机“以客户为中心”理念的探索研究,倡导“以客户为导向”的民用航空发动机产品和服务开发。

参 考 文 献

- [1] 汤小平. 国内民用飞机制造商运营支持能力建设思考[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 1-6.
TANG Xiaoping. Thoughts on the construction of operational support capability of domestic civil aircraft manufacturers [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 1-6. (in Chinese)
- [2] 汤小平. 浅谈民机制造商运行支援体系和能力建设[J]. 航空维修与工程, 2017(7): 20-21.
TANG Xiaoping. Discussion of operation support system and capability building for civil aircraft manufacturers [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2017(7): 20-21. (in Chinese)
- [3] 史妍妍, 王桂华, 刘庆东. 航空发动机需求管理方法研究[J]. 航空发动机, 2017, 43(1): 1-4.
SHI Yanyan, WANG Guihua, LIU Qingdong. Research on aircraft requirements management method [J]. Aero Engine, 2017, 43(1): 1-4. (in Chinese)
- [4] HO W. Integrated analytic hierarchy process and its applications: a literature review [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 186(1): 221-228.
- [5] RAHARJO H, MIN X, BROMBACHER A C. A systematic methodology to deal with the dynamics of customer needs in quality function deployment [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 38(4): 3653-3662.
- [6] 袁贵勇, 刘晓东. QFD方法在空战武器装备需求分析中的应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2004(4): 23-26.
YUAN Guiyong, LIU Xiaodong. Application of QFD in the requirement analysis of aerial warfare weapon and equipment [J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2004(4): 23-26. (in Chinese)
- [7] 刘玉敏, 张晓丽, 徐济超. 顾客满意度测评的质量功能展开方法[J]. 系统工程理论与实践, 2004(9): 20-27.
LIU Yumin, ZHANG Xiaoli, XU Jichao. Customer satisfaction measurement model based on quality function deployment [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2004(9): 20-27. (in Chinese)
- [8] ZHANG Zaifang, CHU Xuening. Fuzzy group decision-making for multi-format and multi-granularity linguistic judgments in quality function deployment [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 36(5): 9150-9158.
- [9] 钟晓芳, 刘思峰. 模糊德菲法和熵权重法在不确定环境下产品设计中功能选择的应用[J]. 工业工程, 2009, 12(4): 78-81.
ZHONG Xiaofang, LIU Sifeng. Fuzzy Delphi method for function selection in product design with uncertainty [J]. Industrial Engineering Journal, 2009, 12(4): 78-81. (in Chinese)
- [10] CHEN C C, CHUANG M C. Integrating the Kano model into a robust design approach to enhance customer satisfaction with product design [J]. International Journal of Production Economics, 2008, 114(2): 667-681.
- [11] 张居凤, 汪玉, 高兴华, 等. 武器装备论证需求分析方法研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(1): 119-123.
ZHANG Jufeng, WANG Yu, GAO Xinghua, et al. Method on requirements analysis of weapons and equipment demonstration [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2011, 32(1): 119-123. (in Chinese)
- [12] TAN K C, SHEN X X. Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment [J]. Total Quality Management, 2000, 11(8): 1141-1151.
- [13] 侯智, 陈世平. 基于Kano模型的用户需求重要度调整方法研究[J]. 计算机集成制造技术, 2005, 12(11): 1785-1790.
HOU Zhi, CHEN Shiping. Regulatory method for importance of customers requirements based on Kano model [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 12(11): 1785-1790. (in Chinese)
- [14] 陈晨, 梁工谦, 傅将威. 基于Kano模型的QFD在航空发动机涡轮叶片研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2013(11): 83-86.

- CHEN Chen, LIANG Gongqian, FU Jiangwei. Application of QFD based on Kano model for designing aeroengine turbine blade [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(11): 83-86. (in Chinese)
- [15] BERGER V, BLAUTH R, BOGER D, et al. Kano's methods for understanding customer defined quality[J]. Center for Quality Management, 1993, 2(4): 2-36.
- [16] KANO N, SERAKU K, TAKAHASHI F, et al. Attractive quality and must be quality[J]. Japanese Social Quality Control, 1984, 14(2): 39-48.
- [17] REVELLE J B. Overall review of QFD [C]// The First QFD Seminar of China. Beijing: IEEE, 2009: 1-7.
- [18] 蒋平, 刘静琳, 黄劲东. 民用航空发动机运行支持体系架构设计[J]. 航空发动机, 2019, 45(4): 79-85.
JIANG Ping, LIU Jinglin, HUANG Jindong. Frame design of civil aeroengine operation support system [J]. Aero Engine, 2019, 45(4): 79-85. (in Chinese)
- [19] 顾新, 刘松岑. 以预测性为中心的维修理论和维修方式发展研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 7-14.
GU Xin, LIU Songcen. Research on the development of predictive centered maintenance theory and maintenance mode [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 7-14. (in Chinese)

作者简介:

王向辉(1987—),男,学士,高级工程师。主要研究方向:航空发动机运行支持及客户服务技术。

(编辑:丛艳娟)

(上接第 80 页)

- Ni-base single crystal superalloy[D]. Shenyang: Institute of Metal Research Chinese Academy of Sciences, 2007. (in Chinese)
- [19] 须庆, 姜传海, 陈艳华. DD3 镍基单晶高温合金喷丸强化后残余应力的有限元模拟[J]. 机械工程材料, 2012, 36(4): 80-83.
XU Qing, JIANG Chuanhai, CHEN Yanhua. Finite element simulation of residual stress for DD3 nickel-based single crystal high temperature alloy after shot peening strengthening [J]. Material for Mechanical Engineering, 2012, 36(4): 80-83. (in Chinese)
- [20] 苗情. 微晶刚玉砂轮缓进深切磨削镍基单晶合金涡轮叶片榫齿研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
MIAO Qing. Creep feed profile grinding of turbine blade root of single crystal nickel-based superalloy with microcrystalline alumina wheels[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2020. (in Chinese)
- [21] NOVOVIC D, DEWES R C, ASPINWALL D K, et al. The effect of machined topography and integrity on fatigue life[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2004, 44(2/3): 125-134.
- [22] 胡阳, 李易凌. DD9 镍基单晶高温合金固溶处理初熔组织研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(3): 336-339.
HU Yang, LI Yiling. Incipient melting structures in DD9 nickel based single crystal superalloy during solid solution [J]. Special Casting and Nonferrous alloys, 2021, 41(3): 336-339. (in Chinese)

作者简介:

靳淇超(1986—),男,博士,工程师。主要研究方向:航空难加工材料切削加工表面完整性与抗疲劳制造。

刘红军(1987—),男,学士,工程师。主要研究方向:先进制造技术。

张世贵(1982—),男,学士,高级工程师。主要研究方向:难加工材料精密铣削技术。

蒋睿嵩(1984—),男,博士,副教授/副研究员。主要研究方向:航空发动机复杂零件高性能制造技术、复杂结构设计优化等。

(编辑:马文静)