

基于 QFD 的工程机械维修性设计要求分析

郭鹏飞, 郑怀洲, 于春风, 赵永朋

装备学院研究生管理大队, 北京 101416

摘要 维修性设计是工程机械研究阶段必须开展的一项重要工程活动, 而维修性设计要求的提出与确定又是后续各项维修性工作的前提与基础。简要介绍了质量功能展开(QFD)方法, 重点论述了质量屋(HoQ)的基本构成; 探讨了基于 QFD 的工程机械维修性设计要求分析过程, 主要包括提出客户维修需求、确定维修需求权重、提出维修性设计指标、构造设计指标关系矩阵、构造设计指标——维修需求关系矩阵和得出维修性设计指标权重矩阵 6 个步骤。最后, 通过运用该方法对某型推土机维修性设计要求进行了分析, 得出了其维修性设计指标重要度排序依次为拆装性、模块化、标准化、简易化、可达性和易识别性。结果表明, 引入 QFD 方法对工程机械维修性设计要求进行分析, 在分析过程中将定性分析与定量研究有机结合起来, 能够解决工程机械维修性设计要求分析过程中的复杂性与不确定性问题, 并得出对维修性设计要求的综合评价, 具有很高的实用价值。

关键词 QFD; 工程机械; 维修性; 设计要求; 分析

中图分类号 TH122

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.34.008

Design Requirements for Construction Machinery Maintainability Based on QFD

GUO Pengfei, ZHENG Huaizhou, YU Chunfeng, ZHAO Yongpeng

Company of Postgraduate Management, Academy of Equipment, Beijing 101416, China

Abstract The design for maintainability is important in the construction machinery, and the identification of the design requirements of construction machinery maintainability is the pre-requirement. Firstly, the paper briefly discusses the QFD method, especially, the basic makeup of HoQ. Secondly, the analysis process of the design requirements of construction machinery maintainability based on QFD is discussed, mainly including six steps: analyzing the clients' maintainable requirements, evaluating the weight of each requirement, determining the design index of maintainability, constructing the design index matrix, constructing the design index and maintainable requirements matrix, and forming the design index weight matrix of maintainability. Lastly, through analyzing the design requirements of one bulldozer maintainability based QFD, the importance sequence of maintainability design indexes is obtained, as in the order: the disassembly-assembly character, the modularization, the standardization, the compactness, the accessibility and the easiness to identify. It is shown that the analysis of design requirements of construction machinery maintainability based on QFD can effectively solve the problems of complexity and uncertainty in the analysis process and evaluate the design requirements of maintainability by integrating qualitative analysis with quantitative analysis, with a high practical value.

Keywords QFD; construction machinery; maintainability; design requirements; analysis

0 引言

经过 60 多年的发展, 中国工程机械行业已形成了具有相当规模和较强生产能力的完整体系。特别是实行改革开放

以来, 随着国民经济的高速发展, 工程机械产业发展迅猛。虽然国产工程机械产量不断增加, 国内市场不断增大, 但是在维修性方面无论是与国外同类产品相比, 还是与客户的维修

收稿日期: 2011-11-15; 修回日期: 2011-11-30

作者简介: 郭鹏飞, 博士研究生, 研究方向为军事装备保障, 电子信箱: guopengfei_ok@126.com; 郑怀洲(通信作者), 教授, 研究方向为军事装备管理与保障, 电子信箱: ProfessorZheng@163.com

需求期望相比都还有较大的差距,这直接导致了国产工程机械在使用过程中,故障较多,维修困难,大大影响了生产效益与社会效益。同时,较好的维修性也是工程机械产品使用的一项基本要求,是现代化设计的一项重要指标。因此,必须深入开展工程机械产品维修性设计要求分析,以确保工程机械具有较好的维修性。

维修性是指产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到规定状态的能力^[1]。维修性是工程机械的一种质量特性,即由设计赋予的使装备维修简便、迅速、经济的固有属性。为使装备具有良好的维修性,需要从论证开始,就进行产品的维修性要求分析、设计、试验、评定等各种工程活动。这些工程活动构成了维修性工程。其中,维修性设计是装备研究阶段必须开展的一项重要工程活动,而维修性设计要求的提出与确定又是后续各项维修性工作的前提与基础。

当前,对工程机械维修性设计分析主要是凭经验的单纯定性分析,还没有一套行之有效的方法和理论,其结果和可靠性也难以得到保证。这使工程机械设计要求分析工作往往带有主观因素,也导致了从总体上看维修性要求分析在论证中自顶向下的驱动作用体现不足。引入质量功能展开(Quality Function Deployment, QFD)方法对维修设计要求进行分析,在分析过程中将定性分析与定量研究有机结合起来,处理维修性设计过程中的复杂性与不确定性问题,可以形成对设计要求的综合评价。实践证明,QFD方法将客户维修需求转换为维修性设计要求的适合工程机械维修性设计要求分析,为工程机械的维修性设计要求分析提供了一种新的有效途径。

1 质量功能展开

质量功能展开是一种用户驱动的产品设计方法,采用系统化的、规范化的方法调查和分析“软”而“模糊”的顾客需求,将其转变为工程设计人员能够理解的可以测度的工程指标,并且逐步地部署到产品设计开发、工艺设计和生产控制中去,使所设计和制造的产品能真正满足顾客需求^[2]。它是一种主动的预防式的设计方法,将注意力集中在问题的规划与预防上,而不是单纯地解决问题。

总体来说,QFD是从质量保证的角度出发,通过一定的市场调查方法获取顾客需求,并采用矩阵图解法将顾客需求分解到产品开发的各个阶段和各职能部门中,通过协调各部门的工作以保证最终产品质量,使得设计和制造的产品能真正地满足顾客的需求。从系统工程的观点来看,QFD是系统工程思想在产品开发过程的具体应用,正在发展成为具有方法论意义的现代设计理论。QFD的核心内容是顾客的需求转换,质量屋 HoQ 是一种直观的矩阵框架表达形式,它提供了在产品开发中具体实现这种需求转换的工具。广义的质量屋 HoQ,如图 1 所示,主要由以下几部分构成^[3]:

(1) 质量屋的左墙,期望实现的目标,回答 WHATS;

(2) 质量屋的右墙,是多个期望实现目标的权重;

(3) 质量屋的天花板,是系统的特征(功能特征、技术特征),质量屋的 HOWS;

(4) 质量屋的房顶,是系统特征之间的相关矩阵,表明一个系统特征对其他系统特征所产生的影响;

(5) 质量屋的房间,是期望实现目标和系统特征之间的关系矩阵,表明各系统特征和目标的相关程度;

(6) 质量屋的地板,是系统特征的指标及其重要度,用以帮助确定应优先考虑的系统特征。

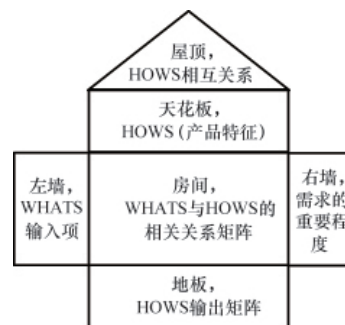


图 1 HoQ
Fig. 1 HoQ

2 基于 QFD 的工程机械维修性设计要求分析过程

在进行工程机械维修性设计时,根据 QFD 的基本思想,应把分析、获取客户的维修需求作为质量功能展开的出发点,并以此为基础,依次提出工程机械维修性设计指标、设计指标关系矩阵和维修需求与设计指标相互关系矩阵,并修订维修需求与设计指标相互关系矩阵,最后得出工程机械维修性设计指标的重要度排序。具体过程如图 2 所示。

(1) 确定客户对工程机械的维修需求,作为质量屋的输入。客户需求是质量功能展开的出发点与基础,也是质量功能展开过程中最为关键、困难的一步。因而要通过多种方法与渠道准确而全面地收集客户对工程机械的维修性要求,进行汇集、分类与整理,用精炼、准确的语言进行描述作为质量屋的输入。

(2) 确定客户对工程机械维修需求的权重,即当有多个维修要求时为各要求分配优先权。优先权的确定反映了用户的偏好,不同的用户可能为维修要求分配不同的优先权,可运用 Delphi 法^[4](德尔菲法)得到任务目标的权重,维修需求权重矩阵用 E 表示。

(3) 提出工程机械维修性设计要求。根据客户对工程机械的维修要求,并参照中国国家军用标准和美军军用标准以及有关文献^[5]可知,影响工程机械维修性设计的指标主要包括:可达性、拆装性、标准化、模块化、简易化和易识别性。

(4) 建立维修性设计指标之间的关系矩阵。该矩阵用来表示能力之间的相互影响程度,能够反映一项能力对其他能力的影响,判断和识别相互矛盾或相互叠加的能力需求,以便在能力优化时加以考虑和权衡,达到多指标同时优化的目

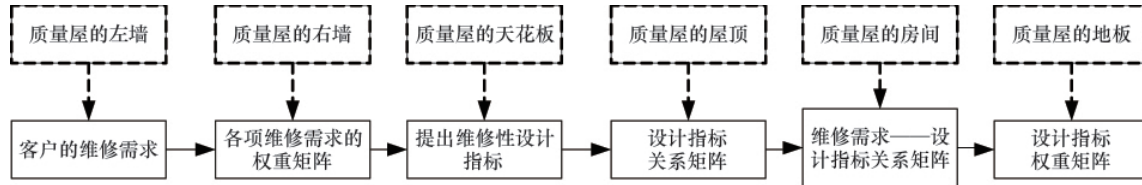


图2 基于 QFD 的工程机械维修性设计要求分析流程

Fig. 2 Analysis flow of design requirements of construction machinery maintainability based on QFD

的^[6]。指标之间的关系有负相关、无关系、正相关。负相关表示当一个指标向好的方向发展时,另一个指标变差,用-1—0之间的数表示;无关系时用 0 表示;正相关表示一个指标变好时,另一个也变好,用 0—1 之间的数表示^[7]。指标关系矩阵中的相关程度由专家根据经验整理给出。得到关系矩阵 A

$$A=[a_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(5) 建立工程机械维修性设计指标与维修需求的关系矩阵。该矩阵用于描述维修性设计指标与客户维修需求的相关程度,一般分为强相关、中等相关、弱相关和不相关,依次用“◎”、“○”、“△”和“▲”表示,分别取值 5,3,1,0^[8]。该矩阵的具体数据可运用 Delphi 法得到。得到关系矩阵 D

$$D=[d_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

然后,根据指标间的相互关系矩阵和设计指标——维修需求的关系矩阵,得到修订后的关系矩阵 D^*

$$D^*=DA = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(6) 依据维修需求权重矩阵 E 和修订后的关系矩阵 D^* , 计算得到各维修性设计指标的权重矩阵 $R, R=ED^*$ 。以此可以得出各指标的重要度列表,对各维修性设计指标进行重要度排序,并进而分析在工程机械维修性设计过程中需要重点关注的内容。

3 实例分析

以某型号推土机为例,说明基于 QFD 进行维修性设计要求的分析过程。

工程机械维修性设计要求质量屋是基于 QFD 方法分析设计要求的核心,本文遵循基于 QFD 的工程机械维修性要求分析过程构建工程机械维修性设计要求分析质量屋,如图 3 所示(矩阵 E, A 和 D 的相关数据由 Delphi 法和层次分析法(AHP)得到)。

(1) 通过总结以往维修经验、查阅相关资料^[9]和问卷调

查,客户对欲设计的某型推土机维修性需求可以概括为表 1 所示几个方面。

(2) 由表 1 可知,客户对某型推土机各项维修需求的权重矩阵 E 为

$$E=[0.2 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0.2]$$

(3) 由第 2 节可知,某型推土机维修性设计指标分别为可达性、拆装性、标准化、模块化、简化化和易识别性。

(4) 由图 3 可知,某型推土机维修性设计指标间的关系矩阵 A 为

$$A=[a_{ij}]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 & 0.1 & 0 & 0.3 \\ 0.5 & 1 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.3 \\ 0 & 0.6 & 1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.5 & 1 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 1 \end{bmatrix}$$

(5) 由图 3 可知,某型推土机维修性设计指标与客户维修需求的关系矩阵 D 为

$$D=[d_{ij}]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 1 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 5 & 5 & 0 & 1 \\ 1 & 5 & 3 & 3 & 3 & 1 \\ 0 & 5 & 1 & 3 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 5 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据指标间的相互关系矩阵和指标和目标的关系矩阵,得到修订后的关系矩阵 D^* 为

$$D^*=DA = \begin{bmatrix} 8.3 & 12.1 & 7.5 & 9.5 & 7 & 5.2 \\ 5.3 & 10.3 & 9.4 & 9.4 & 4.4 & 3.8 \\ 4.1 & 10.3 & 8.5 & 8.1 & 7 & 4 \\ 2.8 & 8.3 & 6.4 & 6.9 & 6.2 & 2.5 \\ 1.8 & 7.5 & 8.5 & 8.6 & 6.2 & 2.9 \\ 5.1 & 8.5 & 6.7 & 6.7 & 4.2 & 3.6 \end{bmatrix}$$

(6) 根据修订后的关系矩阵 D^* 和维修需求的权重矩阵 E , 经过归一化处理,得到某型推土机各维修性设计指标的权重矩阵 R 为

$$R=ED^*=[4.77 \quad 9.62 \quad 7.61 \quad 8.04 \quad 5.94 \quad 3.73]=$$

$$[0.1201 \quad 0.2423 \quad 0.1916 \quad 0.2025 \quad 0.1496 \quad 0.0939]$$

把所得结果代入图 3 分析,从某型推土机维修性设计要求分析质量屋的地板栏中可以看出各项维修性指标的重要度排序,从高至低依次为拆装性、模块化、标准化、简化化、可

达性和易识别性。其中,维修性设计要求中的“拆装性”所占的权重比例最高,达到 24.23%;其次是“模块化”,达到了 20.25%;另外,“标准化”达到 19.16%。“简化”和“可达性”达到 13%左右。相比较而言,“易识别性”所占权重比例最低,成了最不重要的指标,但与“可达性”指标权重相差并不太大,

在分析设计要求时也不能偏废。同理,通过层层细化,基于 QFD 方法可以进一步对各项维修性设计指标的子指标进行重要度排序,甚至可以运用到每个零(部)件的设计性要求分析,最后还能对各维修性设计指标对客户需求的满足程度进行综合评估。

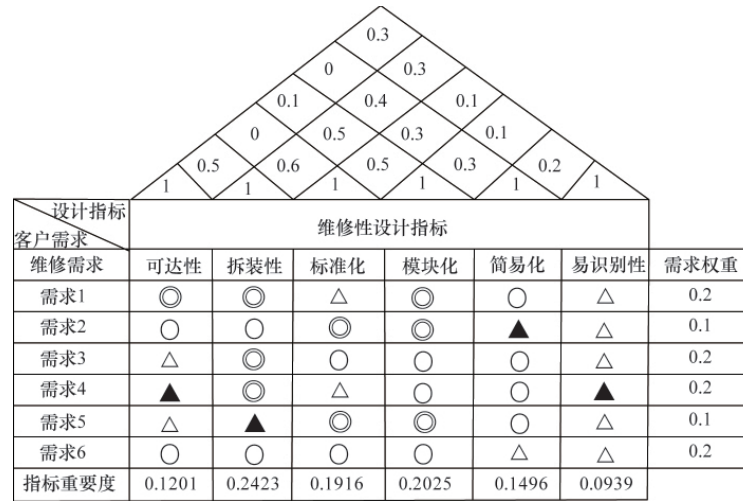


图 3 某型推土机维修性设计要求分析质量屋

Fig. 3 HoQ of design requirements analysis of a certain type of bulldozer maintainability

表 1 客户对某型推土机的维修需求

Table 1 Client's maintainable requirements for a certain type of bulldozer

维修需求	需求 1	需求 2	需求 3	需求 4	需求 5	需求 6
具体内容	故障检测要准确而迅速	故障修复可多采用换件式	拆卸的单元尽可能少	安全方便,维修操作空间大	费用低,维修便宜部件为弃件式	维修人员数量不应超过 X 人
权重	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2

4 结论

在工程机械设计阶段,维修性是必须要考虑的重要要素之一,维修性的好坏将对工程机械全寿命周期内的维修保障都将产生直接的影响。本文基于质量功能展开方法提出了一种新的工程机械维修性设计要求分析模型,给出了相应的分析过程,最终得到了能够合理反映客户维修需求的工程机械维修性设计指标重要度排序,这一排序可以为工程机械维修性设计提供参考,并能为下一阶段在更大范围内进行方案探索提供有力支持。该方法是对工程机械维修性设计要求分析的有益探索,丰富了工程机械维修性设计要求分析的手段。

参考文献 (References)

[1] 秦英孝. 可靠性、维修性、保障性概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 232.
Qing Yingxiao. Reliability, maintainability & supportability [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002: 232.

[2] 林志航, 车阿大. 质量功能部署研究现状及进展 [J]. 机械科学与技术, 1998, 17(1): 119-122.
Lin Zhihang, Che A'da. Mechanism Science and Technology, 1998, 17 (1): 119-122.

[3] 韩晓光, 冯国涛, 刘沃野. 基于 QFD 的维修质量管理部门设计[J]. 军械工程学院学报, 2006, 18(3): 37-40.

Han Xiaoguang, Feng Guotao, Liu Woye. Journal of Academy of Ordnance Engineering, 2006, 18(3):37-40.

[4] 范柏乃, 单世涛, 陆长生. 城市技术创新能力评价指标筛选方法研究 [J]. 科学学研究, 2002, 20(6): 663-668.
Fan Bainai, Shan Shitao, Lu Changsheng. Studies in Science of Science, 20(6): 663-668.

[5] Wani M F, Gandhi O P. Development of maintainability index for mechanical system [M]. Reliability Engineering System Safety, 1999, 65 (3): 259-270.

[6] 王向飞, 邓智嘉. 基于 QFD 的武器装备发展型号论证研究 [J]. 军用标准化, 2007(6): 28-32.
Wang Xiangfei, Deng Zhijia. Military Standardization, 2007(6): 28-32.

[7] 谢俊杰, 王威, 谢梅芳. 基于 QFD 与 D-S 理论相结合的舰船研制方案评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2008(8): 18-21.
Xie Junjie, Wang Wei, Xie Meifang. Ship Electronic Engineering, 2008 (8): 18-21.

[8] 张彦军. 基于 QFD 与 TRIZ 的机械产品概念设计研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004: 23.
Zhang Yanjun. Research on the design of mechanism product concept based on QFD & TRIZ [D]. Xi'an: The University of Xi'an Electronic Science & Technology, 2004: 23.

[9] 徐久军. 机械可靠性与维修性 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2000: 50-75.
Xu Jiujun. Mechanical reliability & maintainability [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2000: 50-75.

(责任编辑 郑伟, 刘志远)