

船舶工业机器人创新设计需求分析模型

林 焰^{1,2}, 衣正尧^{*1,3}, 李玉平³, 纪卓尚¹, 蒋晓宁¹

- (1. 大连理工大学 船舶工程学院, 辽宁 大连 116024;
2. 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;
3. 大连中远海运川崎船舶工程有限公司, 辽宁 大连 116052)

摘要: 船厂是船舶工业机器人的用户, 当前在船厂对机器人升级改造的创新设计过程中, 存在对机器人性能需求模糊问题. 采用传统 QFD 需求分析, 建立了船厂用户集主体需求模型. 进一步地, 针对该主体需求模型的概念区分模糊问题, 进行了深度需求分析, 建立了一种适合现代造船模式下的增强需求模型, 并通过加权分析得到了通用的技术矛盾. 通过该增强需求模型分析得出高空作业和漆雾污染问题是主要技术矛盾, 并得到专利规避、风险分析、技术指标、方案设计、科研院所等技术需求是性能需求的重点, 为船厂进行机器人概念创新设计提供了便利.

关键词: 船舶工业机器人; 智能造船; 智慧船厂; 船厂需求分析; 创新设计

中图分类号: U671.918 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb201806005

0 引言

现代船舶生产模式以总装大部件组装建造为主, 船厂是大型生产设备进行系统性制造的复杂整体, 由于船舶部件巨大、结构复杂, 船厂在生产设备的智能化、绿色化等方面相对其他工业落后. 目前, 船厂进行工业机器人应用和开发过程中, 由于升级换代跨度大^[1-2], 往往从低端人工作业直接期望达到智能化机器人作业, 存在各个层面的用户(如总师、各专业生产管理者、各层次生产技术人员等都属于机器人的用户)技术意见分歧、模糊, 判断机器人性能需求不清晰, 改造目标不明确, 提炼技术矛盾不突出等问题.

质量功能配置(QFD)方法可以将用户的声音转换为产品的工程特性、部件特性、规划特性和产品特性, 直接影响着后续其他阶段的合理分析和产品规划备选方案的有效设计. 郭婧宜等^[3]对装备进行结构和任务分解, 建立了任务和相关功能系统质量特性影响的系统效能模型. 王增强

等^[4]以 PE 破碎机为例提出了基于 QFD 和前景理论的产品规划方案选择方法. 李延来等^[5]论述了质量屋构建的研究进展, 指出了质量屋现阶段构建的模糊、不分明和不完全等特性. 张居凤等^[6]基于 QFD/SPA 的武器装备需求分析方法, 将模糊和定性的专家意见进行了集中, 量化得出装备性能指标的重要度.

传统方法采用需求分析作为船舶工业机器人研发和应用论证的起点, 通过这个过程, 船厂生产设备的改进需求被转化为一系列的性能指标后, 成为机器人创新设计的重要依据. QFD 方法于 20 世纪 70 年代首先在日本三菱重工被提出, 并成功在船厂应用过, 但资料显示仅应用在船舶本体产品的开发上, 未见应用在船厂生产设备的改造上^[7]. 但是, 近半个世纪以来, 造船模式经历了不断转型, 现代造船模式转型经历了成组技术、敏捷制造、绿色制造的不断发展, 传统 QFD 方法在船厂的应用面临着新挑战. 需求分析的论证过程中, 首先要通过对国内外同类型的机器人设备在

收稿日期: 2018-03-08; 修回日期: 2018-09-16.

基金项目: 工业和信息化部高技术船舶科研计划资助项目(工信部联装[2014]498号); 大连理工大学工业装备结构分析国家重点实验室专项经费资助项目(S15205); 海洋可再生能源专项资金资助项目(QDME2013ZB01); 广东省科技计划资助项目(2016B090918092).

作者简介: 林 焰(1964-), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: linyanly@dlut.edu.cn; 衣正尧*(1983-), 男, 博士, 在站博士后, E-mail: yizhengyao@163.com.

技术水平、发展趋势和使用特点等方面对比分析,提出通用的技术指标.其次,更重要的是,要结合用户船厂的工艺实际和用户实际需求,明确对工业机器人的性能需求,从而更加切合船厂生产实际来改造或开发机器人.

由于船厂是大型设备生产的系统性复杂整体,某环节机器人设备引进及其对功能的追求,其各技术指标之间相互矛盾对船厂整体生产装备工艺流程产生影响,某一指标改善可能带来对另一指标或多个指标的影响.这给船厂质检、生产、管理等各层人员,特别是一线作业人员的灵活应用带来一定困难,因此,需要以模型分析的方式,对各个用户集元素进行划分、加权、评判,确立主从、隶属关系,以提炼准确的技术矛盾,使船厂对机器人的性能需求更加清晰,改造和开发方向更加明确.

本文在船厂机器人设备的需求分析方面,分析用户需求驱动机理,创建用户集需求模型,并对创造主体进行挖掘,进一步做增强需求分析,细化用户需求,建立增强需求分析模型,并通过用户权重分析提炼技术矛盾,以便船厂更准确分析机器人创新设计的性能需求重点.

1 主体需求模型分析

1.1 传统 QFD 在船厂的应用

QFD 是用户需求驱动的产品设计与研发方法,是将用户的声音转换为产品的工程特性、部件特性、规划特性和产品特性的系统工具,可将用户需求逐级分解为有关的技术特性,并通过对各级技术要求等项目的重要度加权评价,找出对产品质量起关键作用的因素. QFD 的核心是质量屋 (house of quality, HOQ),如图 1 所示,它是一种形象直观的二元展开图表,采用加权评分法用于 HOQ 评估^[8].

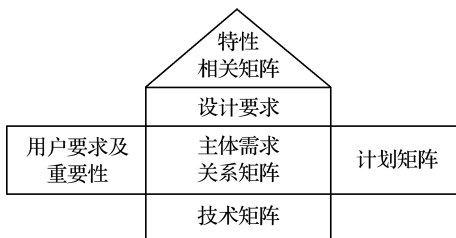


图 1 质量屋的构成

Fig. 1 Composition of HOQ

QFD 自提出以来,于 20 世纪 90 年代前后形

成了 3 种被广泛接受的 QFD 模式^[9]:赤尾洋二的综合 QFD 模式、John R 的 ASI 四阶段模式、Bob K 的 GOAL/QPC 矩阵模式. 3 种模式中,以 ASI 四阶段模式最清晰,其模式如图 2 所示.通过这 4 个阶段,用户要求被逐步展开为设计要求、零件特征、工艺操作和生产要求.

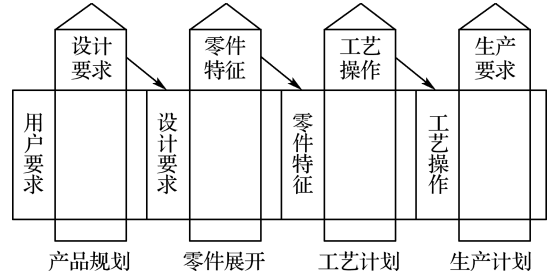


图 2 QFD 的 ASI 四阶段模式

Fig. 2 The ASI four-stage mode of QFD

当前,船厂在应用 QFD 进行机器人设备改造中,立项论证前,仅做了广义用户意见的征集,做了宽范围的调查,并未深入到性能需求的重点,以现场为代表的设备工人、船检、船东、厂内检验人员的需求体现不够充分,很多现场一线的最有价值的用户需求意见容易被忽视.从 QFD 理论上分析,未见对机器人的用户主体进行详细挖掘分类,其权值主要赋予模糊用户主体上,未对用户主体进行分解剖析,信息的采集准确度依赖于机器人的用户主体的综合评判,未与机器人的用户主体中的各子体直接进行技术关联,因此技术权重评判存在模糊性,评判过程中包含模糊和歧义.

1.2 主体需求模型的建立与分析

对上述船厂应用 QFD 的传统方法进行建模,利用不同的属性对用户和研发两个创造主体进行描述.每种属性又分为不同的抽象层次,主要分为 3 种属性,即创造主体集属性 i、信息汇总集属性 ii、基层信息集属性 iii.每一种属性分为各自不同层次,建立传统需求分析的用户创造主体模型如图 3 所示.

其中创造主体集 A_1 属于创造主体集属性 i,创造用户集 B_1 和创造研发集 C_1 属于信息汇总集属性 ii,船厂用户信息集 D_k 和机器人厂设计人员集 E_r 属于基层信息集属性 iii.

根据传统需求分析的信息流组织构成,其基本逻辑表示为 $A_1 = \{B_1, C_1\}, B_1 = D_k, C_1 = E_r$.其中,基层信息集属性中的船厂用户信息集 D_k 由 n

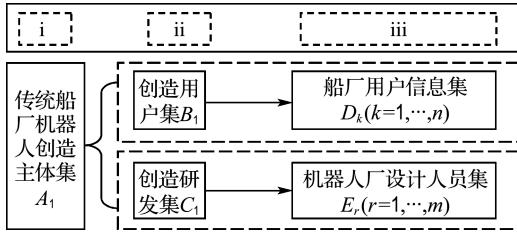


图 3 传统船厂机器人主体需求模型

Fig. 3 Traditional main requirement model for shipyard robots

个组成,该属性中的机器人厂设计人员集 E_r 由 m 个组成,可以表示为 $D_k = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, E_r = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$. 则传统船厂机器人开发的主体需求表示为

$$A_1 = \{B_1, C_1\} = \{D_k, E_r\} = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} \cup \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$$

传统船厂机器人开发的主体需求模型中,未能对基层信息集属性模块中的一线信息的准确性、多样性、权威性进行甄别和遴选,设计人员采集的基层信息非常模糊,这对后期机器人的创新方案设计会产生开发目标不明确、性能需求重点不突出的影响。

2 增强需求模型分析

2.1 增强需求模型建立

根据上述传统 QFD 方法在船厂机器人创新设计过程中的不足,引入创造主体增强集,加强对船厂设备操作人员、工艺上下游辅助操作人员、船东、船检、配套厂家技术人员以及各方质检人员、各级技术管理者、相关研发财务经费控制人员等项目的需求分析,构建船厂机器人的增强需求分析创造主体集 A_2 ,如图 4 所示。

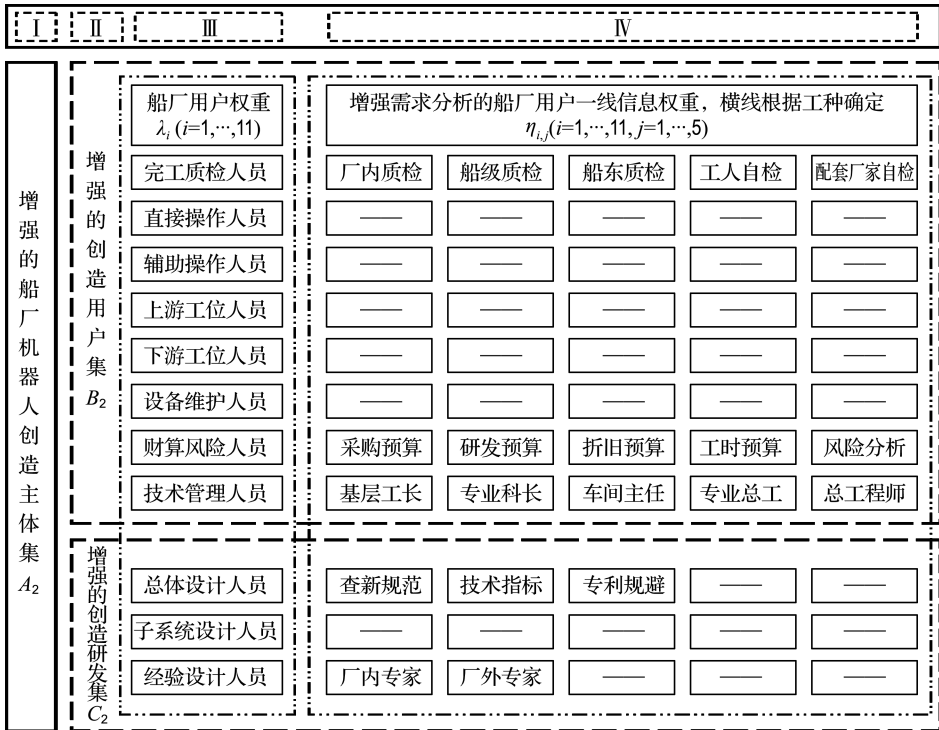


图 4 增强的船厂机器人主体需求模型

Fig. 4 Enhanced main requirement model for shipyard robots

图 4 中,在属性方面,与传统船厂机器人主体需求模型(图 3)的对比改进在于,除增强了创造主体集属性、信息汇总集属性、基层信息集属性外,还增加了一线信息集属性。其中 I 为增强的创造主体集属性,主要体现增强的创造主体集 A_2 ;

II 为增强的信息汇总集属性,主要体现增强的创造用户集 B_2 和增强的创造研发集 C_2 ; III 为增强的基层信息集属性,主要体现船厂基本用户信息来源的权重 λ_i ; IV 为增加的一线信息集属性,主要体现船厂用户一线信息元素的权重 $\eta_{i,j}$ 。

根据其信息组织构成,基本逻辑表示为

$$\begin{aligned} A_2 &= \{B_2, C_2\} = \{\lambda_i \mid i=1, 2, \dots, 11\} = \\ &\quad \{\eta_{i,j} \mid i=1, 2, \dots, 11, j=1, 2, \dots, 5\} \\ B_2 &= \{\lambda_i \mid i=1, 2, \dots, 8\} = \\ &\quad \{\eta_{i,j} \mid i=1, 2, \dots, 8, j=1, 2, \dots, 5\} \\ C_2 &= \{\lambda_i \mid i=9, 10, 11\} = \\ &\quad \{\eta_{i,j} \mid i=9, 10, 11, j=1, 2, \dots, 5\} \end{aligned}$$

图4中,增强的创造用户集以厂内使用机器人相关的人员为团体,主要包括机器人生产的产品完工质检人员、直接对机器人操作的直接操作人员、辅助对机器人操作的辅助操作人员、机器人工位的上下游工位人员、对机器人设备进行维护保养的设备维护人员、对机器人设备进行升级改造的财算风险人员、落实机器人升级改造的相关技术管理人员.增强的创造研发集由协作生产机器人的机器人厂或船厂自主研发机器人两个研发团体构成,主要包括负责项目的总体设计人员、负责机器人功能分解和集成对接的子系统设计人员、其他相近行业的机器人应用与研发的经验设计人员.

特别的,根据船厂的普遍工种特点,完工质检人员的子集中,厂内质检、船级质检、船东质检、工人自检、配套厂家自检等5项用户一线信息元素是通用的.此外,财算风险人员中的采购预算、研发预算、折旧预算、工时预算、风险分析,以及技术管理人员中的基层工长、专业科长、车间主任、专业总工、总工程师等用户一线信息元素也是通用的.因此,模型中固定上述元素.同时,总体设计人员中的技术查新和规范要求分析、技术指标的落实、研发项目的专利规避等元素,以及经验设计人员中的厂内、外专家元素,也是通用的.上述机器人升级改造的通用元素,在船厂任何制造阶段都一致,因此模型中直接体现,不再变更,不确定的元素,在模型中以横线“—”表示.由上述分析可见,模型所包含的各类基础用户元素,可以在目前船厂内普遍机器人创新设计过程中通用.

2.2 增强需求模型的加权分析

从增强需求分析模型中,可以得到增强的基层信息集属性Ⅲ中的权重 λ_i 的如下表达式:

$$\{\lambda_i\} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{11}\}$$

结合船厂实际,由于任何生产设备的升级改造,最终目标是面向产品的高质量生产,如果船舶

部件产品质量出问题,则机器人的改造不成功.因此,船东、船级、厂家及厂内等质检人员如对机器人所生产的产品有质疑,将会使机器人性能直接被否决.因此,在该增强需求分析中,将增强基层信息集属性Ⅲ中权重 λ_1 所表示的完工质检人员部分权重等同于其他全部基层用户权重.则有

$$\lambda_1 = \sum_{i=2}^{11} \lambda_i$$

将权重指标满意饱和度设为100,则有

$$\lambda_1 = \sum_{i=2}^{11} \lambda_i = 100$$

根据船厂生产设备改造经验,对模型图4中增强的基层信息集属性Ⅲ中的 λ_i 分别加权,则有

$$\{\lambda_i\} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{11}\} =$$

$$\{100, 10, 5, 5, 5, 10, 15, 5, 20, 10, 15\}$$

建立模型图4中的模型公式如下:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_7 \\ \lambda_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100 \\ \vdots \\ 15 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \eta_{1,1} & \eta_{1,2} & \eta_{1,3} & \eta_{1,4} & \eta_{1,5} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \eta_{7,1} & \eta_{7,2} & \eta_{7,3} & \eta_{7,4} & \eta_{7,5} \\ \eta_{8,1} & \eta_{8,2} & \eta_{8,3} & \eta_{8,4} & \eta_{8,5} \end{pmatrix}$$

在模型图4中,对固定的用户一线信息元素 $\eta_{i,j}$ 分别加权,根据船厂产品的质量检验、生产设备改造财算、技术管理经验等加权.加权过程中,由于技术管理人员主要依靠现场事实数据来进行决策,为降低管理者的主观判断风险,增加设备改造的客观实际需求性,将技术管理权重普遍降低,则有

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_7 \\ \lambda_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100 \\ \vdots \\ 15 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 25 & 35 & 10 & 15 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 3 & 3 & 2 & 2 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

3 算例分析

以某船厂坞内船体外板喷涂作业设备的升级改造为例,具体参数见文献[9].船厂在对该类机器人创新设计开发方面,首先进行国内外同类机器人的技术水平、发展趋势对比分析,见文献[10].然后要增强坞内作业的设备作业者、上下游作业者、设备维护者等需求分析,在模型中重点分析手持喷枪并高空作业的喷涂枪手、操作高架车一同进行高空作业的高架车手、船坞底部负责油漆搅拌的漆搅拌手,以及供漆设备的搬运、吊装、

保养维护者等,还要考虑整体工艺通道中的上下游作业者,以避免给上下游作业带来负担.根据模

型图 4,建立船厂坞内船体外板喷涂机器人增强需求模型如图 5 所示.

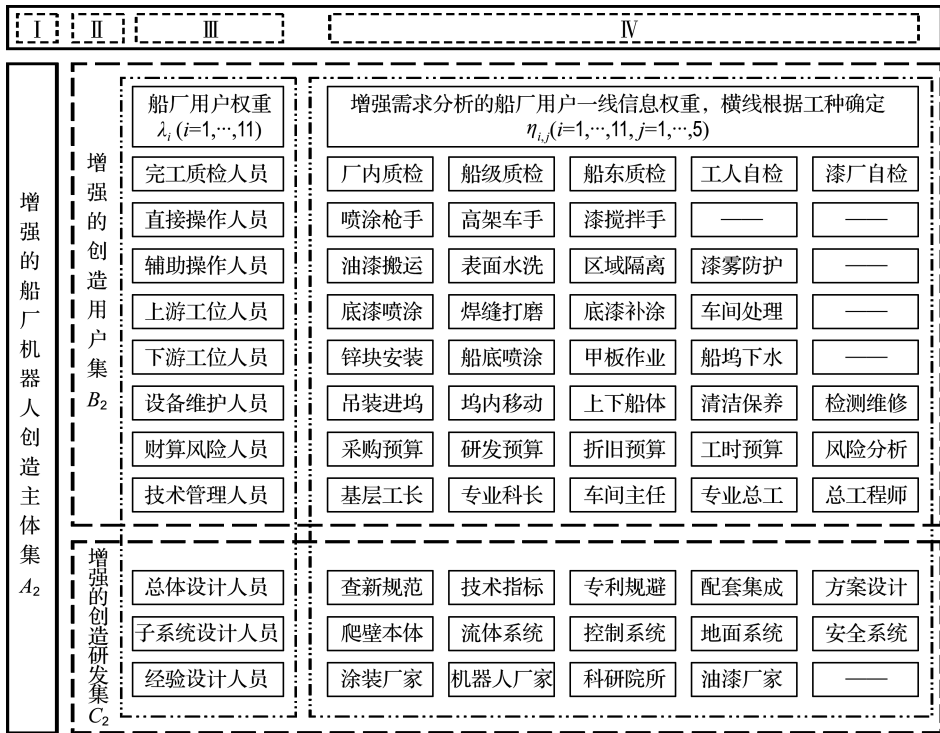


图 5 坞内船体外板喷涂机器人增强需求模型

Fig. 5 Enhanced requirement model of robot for ship shell plate spraying in dock

根据坞内船体外板涂装实际,对各个创造主体人员进行加权分析,对模型图 5 中增强的基层信息集属性 III 中的 λ_i 分别加权,各个 λ_i 权重与模型图 4 一致.此外,针对坞内喷涂作业的实际,对一线信息集属性 IV 中的 $\eta_{i,j}$ 进行加权,总体加权值如下:

$$\eta_{7,1} + \eta_{7,2} + \eta_{9,1} + \eta_{10,1} + \eta_{10,3} + \eta_{11,2} + \eta_{11,4} = 21$$

$$\sum_{|\eta_{i,j}| \leq 2} \eta_{i,j} = 42$$

从矩阵式可见,权重为 5 的元素有 5 个,权重为 4 的元素有 3 个,权重为 3 的元素有 7 个,权重为 2 以下(含 2)的元素有 35 个,但是有 6 个元素值为 0,视为无效项,权重为 2 以下(含 2)的有效项有 29 个.各个权重元素分析具体见表 1.

表 1 坞内船体外板喷涂机器人性能需求权重分析

Tab. 1 Weighted analysis for performance requirement of robot for ship shell plate spraying in dock

权重值	创造主体权重元素统计			
	权重个数	权重值总和	权重值占比/%	个数分布
5	5	25	12.5	5/49
4	3	12	6.0	3/49
3	7	21	10.5	7/49
≤ 2	35(有效 29)	42	21.0	29/49

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \\ \lambda_7 \\ \lambda_8 \\ \lambda_9 \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100 \\ 10 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \\ 5 \\ 20 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 25 & 35 & 10 & 15 \\ 4 & 4 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 2 & 2 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 5 & 2 & 5 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 2 \\ 4 & 3 & 5 & 3 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\eta_{7,5} + \eta_{9,2} + \eta_{9,3} + \eta_{9,5} + \eta_{11,3} = 25$$

$$\eta_{2,1} + \eta_{2,2} + \eta_{11,1} = 12$$

由表1可见,权重小于等于2的有效项目非常多,有29个,诸多创造主体用户需求的一线信息元素权重很小,但是,总体权重却达21%,如按照传统模型图3,则仅考虑了基层信息集属性的用户信息代表,机器人设计人员所采集的基层信息源将非常模糊,且忽视了一线信息集属性IV及其诸多一线信息源,可见,对机器人性能需求的增强分析是必要的。

同时,在本阶段的增强分析中可得:权重为5的专利规避、风险分析、技术指标、方案设计、科研院所等一线信息元素最为重要,也即进行该类作业的创造主体相关人员对机器人的性能需求和技术见解最为重要。

此外,权重为4的喷涂枪手、高架车手、涂装厂家,要重点考虑他们的一线用户需求,在实际现场用户需求征询中,这3个用户一线信息元素均对高空作业、漆雾污染两个问题的性能改善期望强烈。同时,将高空作业和漆雾污染的性能需求与其他用户信息相确认,均对其性能改善的期望强烈。可见,权重为4的喷涂枪手、高架车手、涂装厂家等相关创造主体人员所提出的高空作业和漆雾污染问题,是该类机器人性能需求的主要技术矛盾。

模型图5所示的性能需求分析说明,船厂坞内人工船体外板喷涂作业存在如下重点需要机器人进行改善的性能需求:(1)存在粉尘、漆雾、漆毒等对人和环境的危害和污染;(2)存在工人高空坠落、高架车刮碰船板等安全风险。需要采用爬壁机器人搭载喷枪作业并辅助真空漆雾回收防护的方法解决该技术矛盾,具体方法见文献[10]。

4 结 论

(1)在船厂进行机器人创新设计的过程中,针对当前传统QFD需求分析存在的对机器人性能需求模糊问题,详细地对船厂各层用户进行了划分,并对各用户元素进行了加权需求分析,建立了一种增强的船厂机器人主体需求模型。该模型简单,具备船厂多个生产线环节设备改造的通用性,可从用户集中确定机器人创新设计的主要技术矛盾,明确机器人性能需求重点,有助于船厂智能制造的转型和智慧船厂的服务功能提升。

(2)应用该需求分析模型,经过模型用户元素

的建立、用户元素的矩阵加权分析得出:喷涂枪手、高架车手、涂装厂家是用户集的重点对象;最大权重5的专利规避、风险分析、技术指标、方案设计、科研院所等相关创造主体人员的性能需求和技术见解最为重要;较大权重4的喷涂枪手、高架车手、涂装厂家等相关创造主体人员所提出的高空作业和漆雾污染问题,是该类机器人性能需求的主要技术矛盾。

(3)通过该需求分析模型的技术矛盾分析,某船厂对当前存在一定问题的船体外板坞内人工涂装施工作业进行了设计,获得了一种安全、环保、绿色、人本的爬壁机器人创新设计原理性解决方案。

参考文献:

- [1] 衣正尧,弓永军,王祖温,等. 用于搭载船舶除锈清洗器的大型爬壁机器人[J]. 机器人, 2010, 32(4):560-567.
YI Zhengyao, GONG Yongjun, WANG Zuwen, et al. Large wall climbing robots for boarding ship rust removal cleaner [J]. *Robot*, 2010, 32(4):560-567. (in Chinese)
- [2] 林 焰,衣正尧,李玉平,等. 大型船用坞内外板涂装机器人[J]. 机器人, 2018, 40(1):115-128.
LIN Yan, YI Zhengyao, LI Yuping, et al. Large spraying robots for ship shell plate in dock [J]. *Robot*, 2018, 40(1):115-128. (in Chinese)
- [3] 郭婧宜,孙宇锋,吴寒雪,等. 基于STT与模糊QFD的装备质量特性分解方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(8):1090-1095.
GUO Jingyi, SUN Yufeng, WU Hanxue, et al. Decomposition method of equipment quality characteristic based on STT and fuzzy QFD [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2012, 38(8):1090-1095. (in Chinese)
- [4] 王增强,李延来,蒲 云,等. 基于QFD和前景理论的产品规划方案选择方法[J]. 机械工程学报, 2013, 49(4):174-183.
WANG Zengqiang, LI Yanlai, PU Yun, et al. Selection in product plan alternatives based on quality function deployment and prospect theory [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2013, 49(4):174-183. (in Chinese)
- [5] 李延来,唐加福,姚建明,等. 质量屋构建的研究进展[J]. 机械工程学报, 2009, 45(3):57-70.
LI Yanlai, TANG Jiafu, YAO Jianming, et al.

- Progress of researches on building house of quality [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2009, **45**(3):57-70. (in Chinese)
- [6] 张居凤,汪玉,方志刚. 基于 QFD/SPA 的武器装备需求分析方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, **32**(9):2016-2021.
ZHANG Jufeng, WANG Yu, FANG Zhigang. Requirements analysis of weapons and equipment based on QFD and SPA methods [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2012, **32**(9):2016-2021. (in Chinese)
- [7] KWONG C K, YE Y, CHEN Y, *et al.* A novel fuzzy group decision-making approach to prioritising engineering characteristics in QFD under uncertainties [J]. *International Journal of Production Research*, 2011, **49**(19):5801-5820.
- [8] 姚海,金焯,严隽琪. 产品功能需求的定性及定量分析[J]. *机械工程学报*, 2010, **46**(5):191-198.
YAO Hai, JIN Ye, YAN Junqi. Qualitative and quantitative analysis of requirements on product function [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010, **46**(5):191-198. (in Chinese)
- [9] KORAYEM M H, IRAVANI A. Improvement of 3P and 6R mechanical robots reliability and quality applying FMEA and QFD approaches [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2008, **24**(3):472-487.
- [10] 林焰,衣正尧,李玉平,等. 一种坞内船体外板喷涂新方法研究[J]. *大连理工大学学报*, 2018, **58**(1):43-49.
LIN Yan, YI Zhengyao, LI Yuping, *et al.* The research on a new method for ship shell plate spraying in dock [J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2018, **58**(1):43-49. (in Chinese)

Requirement analysis model for innovative design of ship industry robots

LIN Yan^{1,2}, YI Zhengyao^{*1,3}, LI Yuping³, JI Zhuoshang¹, JIANG Xiaoning¹

- (1. School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
3. Dalian COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd., Dalian 116052, China)

Abstract: Shipyard is the user of the ship industry robot. In the current process of innovative design of robot upgrading, the robot performance requirements are unclear. Based on the traditional QFD requirement analysis, the main requirement model of the user set in shipyard is established. Furthermore, according to the indistinct concept of the main requirement model, the depth requirement analysis is carried out, a kind of enhanced requirement model suitable for the modern shipbuilding mode is established, and the general technical contradiction is obtained through the weighted analysis. The results show that the enhanced requirement model can be analyzed to show that the problem of high altitude operations and paint fog pollution is the main technical contradiction, and the technical requirements such as patent evasion, risk analysis, technical indicators, program design, and research institutes are the key requirements for performance. It can provide convenience for the shipyard to carry out the concept innovation design of robots.

Key words: ship industry robots; smart shipbuilding; smart shipyard; shipyard requirement analysis; innovative design