

基于知识工程的船体焊接工艺研究

马国辉, 田 凌, 刘思超, 陈俊宇

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

摘 要: 船舶制造过程中船体焊接领域工艺知识缺乏有效的归纳与整理, 导致其重用性和共享性差。针对上述问题, 基于知识工程技术, 研究了船体焊接工艺领域知识的获取、分类、表示及推理应用的方法, 并开发了工艺知识库系统, 有效实现了知识的共享与重用。首先提出了船体焊接工艺知识获取途径及分类模式; 其次以此为基础, 将基于本体的知识表示方法的研究成果应用于船体焊接工艺, 建立领域本体; 然后提出焊接工艺推理模式, 以国家标准、行业标准等规范性文件和专业书籍、专家意见等指导性文件为基础构建工艺规则库, 设计模糊规则推理系统; 最终设计开发面向船体焊接工艺的知识库系统, 规范化实现知识获取、知识表示、知识推理及知识管理功能, 为船体焊接领域相关工作人员提供知识共享及重用的支撑平台, 为船舶制造其他领域中知识工程技术的利用提供参考。

关 键 词: 船体焊接工艺; 知识工程; 模糊推理; 本体; 知识库; 知识共享

中图分类号: U 671.83; TP 391.7 **DOI:** 10.11996/JGj.2095-302X.2020030430

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2020)03-0430-08

Research on hull welding techniques based on knowledge engineering

MA Guo-hui, TIAN Ling, LIU Si-chao, CHEN Jun-yu

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In the process of shipbuilding, the knowledge in the field of hull welding is lack of effective induction, which results in poor reusability and sharing. To solve these problems, based on knowledge engineering technologies, this paper studies the methods of knowledge acquisition, classification, representation and reasoning application in hull welding and develops a knowledge base of techniques, which effectively realizes the sharing and reuse of knowledge. Firstly, a classification mode and access to acquire the knowledge of hull welding were put forward. Secondly, on this basis, the results of the research on knowledge representation method based on ontology was applied to the hull welding process and a domain ontology was established. Thirdly, a reasoning mode of welding process was put forward, and a rule base of process was established based on normative documents such as national standards and industry standards and instructive documents such as professional books and expert opinions, then a fuzzy rule reasoning system was designed. Finally a knowledge base system for hull welding process was designed and developed, and such functions were standardized as knowledge acquisition, knowledge representation, knowledge reasoning and knowledge management, providing support platform of knowledge sharing and reuse for related

收稿日期: 2020-01-16; 定稿日期: 2020-02-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51675299); 北京市自然科学基金项目(3182012); 国家高技术船舶科研项目(17GC26102.01); 清华大学自主科研计划资助项目

第一作者: 马国辉(1993-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生。主要研究方向为知识工程等。E-mail: mgh17@mails.tsinghua.edu.cn

通信作者: 田 凌(1963-), 女, 辽宁铁岭人, 教授, 博士, 博士生导师。主要研究方向为机械制造及自动化/数字化制造。

E-mail: tianling@mail.tsinghua.edu.cn

personnel in the field of hull welding, and providing implications for the use of knowledge engineering technologies in other fields of shipbuilding.

Keywords: hull welding process; knowledge engineering; ontology; fuzzy reasoning; knowledge base; knowledge sharing

在船舶制造过程中,焊接工艺是船体建造的主要工艺方法之一,其工作量占船体建造总工作量的30%~40%^[1],因此船体制造过程中焊接工艺的质量对船舶制造的质量、成本以及效率等各个方面有着直接的影响。在船体焊接生产设计阶段,确定焊接位置,选择最优的焊接方法、焊接材料以及焊接设备直接影响着焊接工艺的水平高低,从而影响船舶制造整体水平。然而由于船舶本身体积庞大、结构复杂、耗材繁多、系统精密、价格昂贵等特点,船舶行业一般都是单件小批量生产,而且制造周期较长,工序繁琐复杂,制造过程中涉及的焊接工艺知识极多,能否对焊接工艺知识进行重复高效利用至关重要。经过多年积累,船舶制造领域相关知识已经十分丰富,然而就目前我国船厂的粗放式生产管理模式而言,工程知识缺乏有效的归纳和整理,大量知识散落于相关领域工作人员的本地储存介质或是领域专家头脑之中,重用性和共享性差,所以切实有效的知识管理迫在眉睫。

一些学者针对计算机辅助船舶焊接工艺设计以及焊接工艺信息化管理做了相关研究,邓欣和吴松林^[2]开发的船舶焊接工艺评定专家系统,引入知识管理和专家推理实现对焊接工艺评定的管理,但缺乏对知识类的定义缺乏规范性;冯志强和柳存根^[3]提出的基于粗糙集理论的知识建模方法,可以应用于船舶焊接生产设计,通过对知识进行模糊化处理有效解决船舶焊接工艺知识难以利用的问题,但缺乏对于类间属性的定义;王园^[4]开发的船舶焊接工程管理系统,实现了焊接物量和焊接工时的定额制定标准化,但针对对象具有局限性;RUY等^[5]以船舶设计CAD系统为基础设计开发的焊接材料质量评价系统旨在实现用于设计和生产的信息在领域内实现提取和重用,但面向用户具有局限性,信息的双重程度也十分有限;王素清和马彦军^[6]基于SPD软件平台,提出的面向智能制造的焊接工艺模型的构建方案、郭温^[7]提出的基于实例推理的船舶焊接工艺设计策略以及裴大茗等^[8]提出的基于模糊知识推理的船体焊接工艺设计方法均以数据库技术为基础,进行知识库推理系统的设计与开

发,但是在建模过程中缺乏对于知识概念类间属性关系的定义,以至难以实现船舶焊接工艺知识的共享及重用。上述学者的研究侧重于计算机对船舶焊接工艺设计的辅助作用,却缺乏对工艺知识在工艺设计中重要性的认识,虽然部分研究中针对船舶焊接工艺知识的有效利用开发了工艺知识库,但在知识建模过程中并未重视工艺知识类间属性的关联性,导致工艺知识的共享及重用难以实现。如何有效地利用成熟的工艺知识,保证工艺方法的稳定可靠是船体焊接领域面临的主要问题。针对这一问题,本文从知识工程技术入手,进行了船体焊接领域相关问题的研究。

为了能够充分利用船舶制造中船体焊接领域多年来积累下的工艺知识,并实现知识的共享与重用,本文将知识工程技术应用于船体焊接工艺知识领域,提出基于本体的知识表示方法对船体焊接工艺进行知识表示,并以此为基础进行船体焊接工艺推理研究,最终实现船体焊接工艺知识库的构建。首先确定船体焊接工艺知识的获取途径,并分析建立知识分类体系;提出既利于工艺知识共享与重用又能实现知识的规范化表达的船体焊接工艺知识表示方法,构建焊接工艺领域本体,实现对船体焊接工艺知识概念、关系、属性和实例的描述;然后构建焊接工艺规则库,设计知识库推理规则,通过输入必要的焊接初始条件推理给出合适的焊接参数;最后开发船舶船体焊接知识库系统,实现对船体焊接知识查询、管理等功能,最终支持在不同位置的相关工作人员间实现船体焊接工艺知识有效的共享与重用,打通信息孤岛,打破知识壁垒。

1 知识获取及知识分类

知识工程技术的首要活动就是要进行知识的获取。针对船舶船体焊接工艺知识的特点,根据实际情况,主要从以下几个方面进行获取:

- (1) 船舶企业及船舶工艺研究所等机构提供的内部文件、数据等。
- (2) 船体焊接相关权威书籍及文章。
- (3) 与船体焊接相关工作人员沟通过程中整理

所得经验性知识及规则性知识。

(4) 参观实际生产过程并提取总结的相关知识。

(5) 国家标准、行业标准等提取的约束性知识。

以上途径获取的工艺知识分为显性知识及隐性知识两种类型,显性知识主要指数据库等形式存储下来的以规范性方式呈现的知识,而隐性知识指储存于焊接工作人员头脑之中的经验类知识,这种情况的知识难以获取,格式也不规范,主要通过会议、交流及总结等方式获取,通过领域本体的方式可以有效的将隐性知识表示为规范性知识并得以有效的储存和管理,为后续知识的共享和重用奠定基础。

知识的分类对于知识库的构建至关重要,对船体焊接工艺知识进行合理分类,不仅方便对知识库中的工艺知识进行查询及管理,更有利于后续对于船体焊接领域本体的构建^[9]。同时,在建立船体焊接工艺知识分类规则时,也要充分考虑到知识应用的需求。根据上述船体焊接工艺方式获取的途径以及形式的不同,将知识分为规则性知识、实例性知识、约束性知识及资源性知识。

规则性知识主要指通过经验总结或大量数据整理得到的普遍适用于工艺设计的知识,如焊接方法的选择、坡口形式的选择、焊丝材料及直径的选择以及焊接参数的选择等;实例性知识主要指通过船舶企业或者相关工作人员处获取的典型船体焊接实例,通过管理共享大量的实例性知识可以对未来的工艺设计提供宝贵的参考信息;约束性知识主要指国家标准、企业标准等规定性文件中对船体工艺设计过程提出约束的知识;资源性知识包括焊接工艺过程中涉及到的母材种类、焊材种类、设备种类等以及其参数状态。

2 基于本体的知识表示方法

经过多年来国内外学者的研究,目前已经有多种知识表示方法,使用较多的有逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、面向对象的表示法、基于本体的表示法等。其中,逻辑表示法具有精确、严密、易于实现的特点,但是却无法表示不确定性的知识,并且效率低;产生式表示法多用于专家系统的规则性知识建模,不适用于以知识的共享及重用为基础的知识库系统的知识建模;框架表示法具有结构性、继承性和自然性的优点,但缺乏过程性知识的表示;基于本体的知识表示方法表达了概念的结构、概念间的关系等领域中实体的固有特征,主

要针对于共享这一概念。下面主要对本文中使用的基于本体的知识表示方法的特点以及船体焊接工艺领域本体的构建过程进行介绍。

2.1 本体表示法的特点

本体理论来源于哲学范畴,定义为“对客观事物的系统描述”^[10]。随着人工智能的发展,计算机研究人员将本体概念引入并赋予新的定义,将本体应用于某一领域内,创建领域内的各种知识类别、属性及相互之间的关系,完成既定目标的自动推理。近年来,许多学者针对不同的领域构建知识库均采用基于本体的知识表示方法,充分说明了基于本体的知识表示方法在知识共享与重用中具有不可替代的优越性。

针对船体焊接工艺的本体构建需求,本文提出本体由以下 4 种要素构成:

(1) 类。概念的集合,针对船体焊接工艺明确划分的、描述不同知识的种类。如船体焊接工艺方法、焊接设备等。

(2) 关系。类与类之间的交互作用,一般来说常用的关系有以下 4 种:表达父类与子类的继承关系;表达局部与整体的从属关系;表达类与实例的实例关系;表达类与属性类的属性关系。如“船体焊接工艺方法”与“气体保护焊”即为继承关系。

(3) 实例。表示某个概念类的具体实体。实例表示的是具体的对象,而类表示的是对象的集合。如“CO₂ 气体保护焊”即为“气体保护焊”的实例。

(4) 函数。针对关系的一种特殊表现形式,利用特定的函数关系来描述类与类的关系。

根据本体特点,将基于本体的知识表示方法应用于船体焊接工艺知识库的构建,具有以下优点:

(1) 本体表达了概念的结构、概念之间的关系等领域中实体的固有特征,将船体焊接知识形式化、规范化,便于工艺知识库的共享与重用。

(2) 规范化的知识便于工艺知识库的扩展和后续功能的开发。

2.2 船体焊接工艺领域本体构建方法

目前本体的构建方法尚未统一,不同研究人员根据项目需求和知识特点选择不同的本体构建方法,其中,代表性的建模方法主要包含以下几种: METHONOLGY 法、TOVE 法、IDEF5 法、骨架法、KACTUS 法和七步法等。针对船体焊接工艺领域本体的特点,以及后续知识库设计的需要,本文采用基于建模工具 Protégé 的七步法本体建模方法。该方法具体流程如图 1 所示。

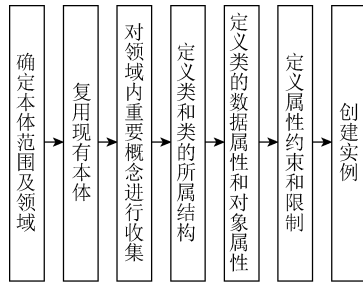


图1 七步法构建流程图

Fig. 1 Flow chart of seven-step method

本文中涉及的船体焊接工艺领域本体主要围绕工艺知识库的功能实现来进行构建。对于船体焊接工艺而言, 主要的工艺知识包括母材规格、焊接方法、坡口类型及参数、焊接参数等。具体的本体构建中顶层类的模式如图2所示。

其中, 为对顶层类进行更为详尽的描述, 以及后续功能的实现, 使用 Protégé 本体建模工具构建船体焊接工艺模型, 对船体焊接工艺本体模型中关键类和部分子类的可视化展示如图3所示。用 Protégé 本体建模工具编辑的本体一般以 RDF/XML 格式保存为 OWL 文件。通过 Protégé 构建的知识本

体模型, 存在着实例添加繁琐、已有知识模型修改困难等问题。将工艺知识本体模型存储到数据库中可以有效地解决这些问题, 同时能够很好地支持后续知识库系统的开发^[1]。本体 OWL 文件中的文本对应了本体的基本元素数据结构、本体及其实例的建立步骤等, 然而 OWL 文件并不能直接存储于数据库中, 在构建知识库时, 需要先进行 OWL 文件的解析, 也就是识别出 OWL 文本中的类、属性、限制、实例和关系, 将其中的元素提取出来, 存储在数据库中。有多种程序包可以实现这一功能, 比如 Python 的 Owlready 和 rdflib 等包。

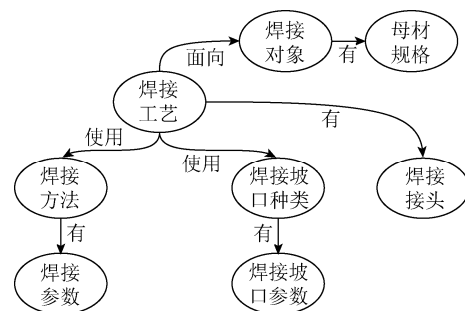


图2 焊接工艺知识本体顶层类

Fig. 2 Top class of welding process knowledge ontology

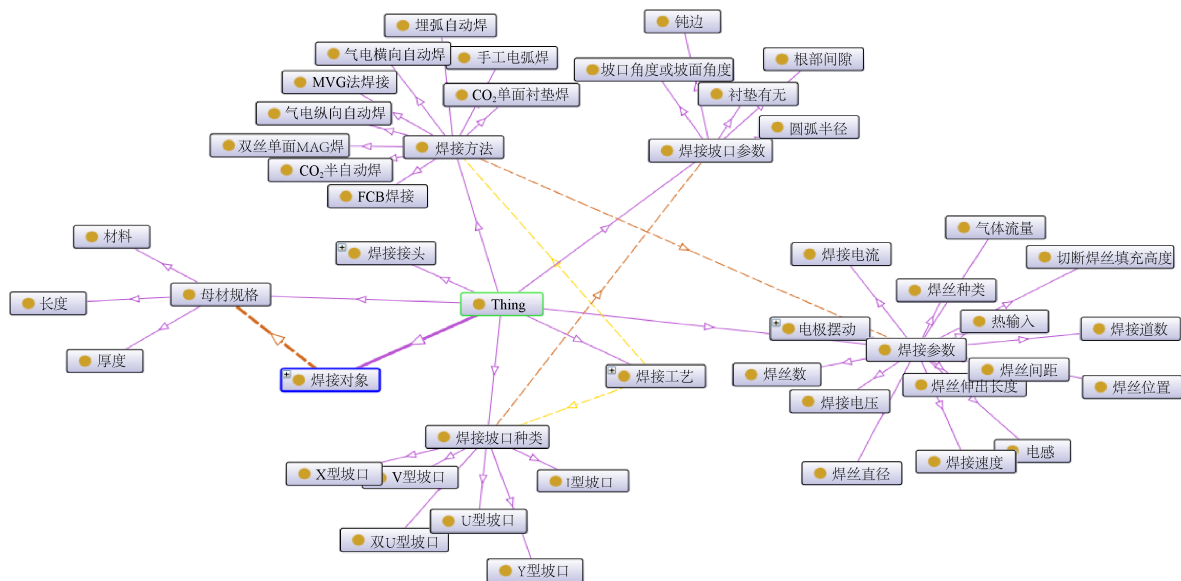


图3 船体焊接工艺类及子类部分关系软件可视化

Fig. 3 Visualization of part of relationship between hull

3 船体焊接工艺的知识推理

知识库的推理方法依赖于系统中知识表示模式, 将知识表示与利用以正确的形式结合才能使知识库系统发挥最大的效用。船体焊接工艺本体的建立是基于焊接工艺, 以产生式的思路逐渐扩展, 同时本体的知识表示方法明确定义了本体间属性, 故

推理机制主要以基于产生式规则的推理方式进行。由于焊接工艺中参数较多, 系统采用正向推理模式进行设计。

3.1 船体焊接工艺推理模式

对于船体焊接工艺而言, 主要工艺包括焊接方法、坡口种类及参数、焊材直径及焊接参数。推理流程如图4所示。将焊接对象、母材厚度、焊缝长

度作为初始条件，推理给出适合的焊接方法；确定具体的焊接方法后，结合接头形式、单双面焊接、母材厚度，给出推荐的坡口形式及对应坡口形式的坡口参数推荐值；根据初始条件母材厚度，结合确定的焊接方法、焊接坡口，给出推荐的焊材直径；最后综合以上所有结论，根据不同的焊接方法得出不同形式的焊接参数，如针对 CO₂ 半自动焊，给出焊接电流、焊接电压、电感、焊接速度、焊丝伸出长度、气体流量等焊接参数推荐值。实际推理过程中，每个流程相对独立，例如初始条件中已确认焊接方法，可直接推理焊接坡口。

3.2 船体焊接工艺推理系统结构

产生式推理系统通常由规则库、推理机和动态数据库构成。

规则库由领域规则组成，在机器中以某种动态数据结构进行组织，按其逻辑关系，一般可形成一个推理结构图或者表^[12]。对应到船体焊接工艺的每

一个推理流程，在系统的工艺规则库中都应该有与之对应的工艺规则表。焊接方法推理规则见表 1。焊接方法的确定影响因素很多，这里的推理规则表只是给出推荐，实际的焊接方法选取，如有其他条件(如场地、船厂设备等)制约，根据具体情况进行确定，由于推理流程的独立性，这样的情况并不影响后续的推理继续进行，后续推理流程中，如遇相同情况做相同处理。

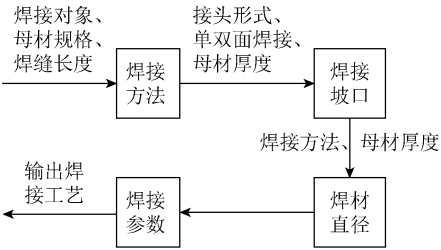


图 4 船体焊接工艺推理流程
Fig. 4 Reasoning process of hull welding process

表 1 船体焊接方法推理规则表
Table 1 Inference rules of hull welding method

焊接对象			焊缝长度 l (mm)	焊件厚度 t (mm)	焊接方法
板拼接	小组装拼板	在分段制造流水线上	—	—	FCB 焊接
		不在分段制造流水线上	$l \geq 500$	—	埋弧自动焊
	分段间拼板	—	$l < 500$	—	手工电弧焊或 CO ₂ 半自动焊
		—	—	—	CO ₂ 单面衬垫焊
		—	—	$12 \leq t \leq 22$	双丝单面 MAG 焊
船体舷侧板横向对接		—	—	气电横向自动焊	
外板拼接	分段内部	平直段	—	—	埋弧自动焊
		曲面段	—	—	CO ₂ 单面衬垫焊
	船台大合拢	垂直接缝	—	$9 \leq t \leq 25$	气电纵向自动焊
		其他焊缝	—	$t \geq 25$	MVG 法焊接
		其他焊缝	—	—	CO ₂ 单面衬垫焊
角钢对接	—	—	—	$t \leq 7$	手工电弧焊或 CO ₂ 半自动焊
	—	—	—	—	$t \geq 7$
扁钢对接	—	—	—	$t \leq 30$	手工电弧焊或 CO ₂ 半自动焊
	—	—	$l \leq 250$	—	手工电弧焊或 CO ₂ 半自动焊
	—	—	$250 \leq l \leq 450$	—	CO ₂ 单面衬垫焊
	—	垂直立对接	—	$t \geq 30$	MVG 法焊接
	—	其他位置	$l > 450$	—	CO ₂ 单面衬垫焊
	其他	—	—	—	手工电弧焊或 CO ₂ 半自动焊

推理机亦称控制执行机构，是一个程序模块，负责产生式规则的前提条件测试或匹配、规则的调度和选取、规则体的解释和执行。即推理机实施推理，并对推理进行控制。针对船体焊接工艺推理的推理机某一次推理过程如图 5 所示。

动态数据库在推理过程中内容或者状态不断变化。如果把动态数据库的每一组数据作为一个节点，则在船体推理过程中，就是一个从初始条件到目标参数的数据求解过程。

3.3 船体焊接工艺模糊规则推理

如手工电弧焊的坡口规则表所示，船体焊接工艺推理规则中存在很多模糊的规则：如取同一母材厚度，会有多种坡口形式符合规则；同时规则中的部分输出为范围推荐，在手工焊接范围内，这样的范围推荐形式尚可存在，但是在自动焊中，却需要向设备输入明确的参数数值。所以单纯的产生式规则推理并不能完全满足船体焊接工艺推理系统。

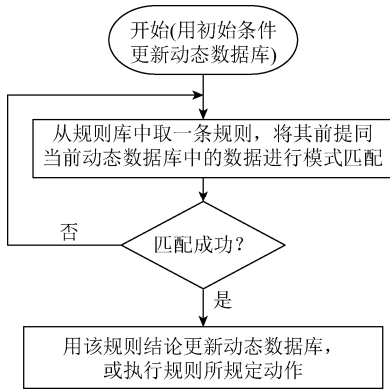


图 5 推理机的一次推理过程

Fig. 5 One reasoning process of reasoning machine

模糊规则推理是从不精确的前提集合中得出可能的、不精确的结论的推理过程。一个模糊规则推理系统基本上包括如图 6 所示 5 个功能模块，推理过程为：比较输入变量和隶属函数，获得每个语言标示的隶属值(模糊化)；对初始部分的隶属函数作并运算，得到每个规则的激活权；依赖于激活权产生每一个规则的有效结果；叠加所有有效的结果，产生一个明确的输出(去模糊化)。

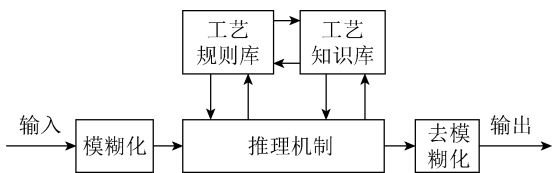


图 6 模糊规则推理系统

Fig. 6 Fuzzy rule reasoning system

将模糊推理引入船体焊接工艺推理系统，可以

在初始条件输入及推理参数输出时有效地解决上述问题。例如，对母材厚度进行模糊化预处理，即将输入的精确量转化为模糊量。具体操作为：选取隶属度函数 $A(x)$ ，对论域 U 中任一元素 x ，均有一个数 $A(x) \in [0,1]$ 与其对应，称 A 为 U 上的模糊集，隶属度 $A(x)$ 越接近于 1，表示 x 属于 A 的程度越高。本研究中采用三角形隶属度函数对焊接工艺数据进行模糊化处理。即对分割集合 P 来说， x 的隶属度为

$$w = 1 - \frac{|m - x|}{b} \tag{1}$$

其中， m 和 b 分别为 P 的中心和宽度。然后根据隶属度的大小，确定 x 的特定论域 P 。

当母材厚度取 20 mm 进行单面手工电弧焊接时，根据表 2 可知此厚度可采用 V 型坡口、Y 型坡口、U 型坡口，采用三星形隶属度函数，对焊接工艺数据进行模糊化预处理(本研究针对母材厚度小于等于 50 mm 的研究对象)：

(1) 对于 V 型坡口隶属度为

$$w = 1 - \frac{\left| \frac{50+16}{2} - 20 \right|}{50-16} = \frac{21}{34} \tag{2}$$

(2) 对于 Y 型坡口隶属度为

$$w = 1 - \frac{\left| \frac{40+5}{2} - 20 \right|}{40-5} = \frac{13}{14} \tag{3}$$

(3) 对于 U 型坡口隶属度为

$$w = 1 - \frac{\left| \frac{50+12}{2} - 20 \right|}{50-12} = \frac{27}{38} \tag{4}$$

表 2 手工电弧焊坡口形式及坡口参数规则表

Table 2 Inference rules of Groove form and groove parameter of manual arc welding

单面或双面焊接	母材厚度 t (mm)	焊接坡口	钝边 P (mm)	根部间隙 b (mm), 圆半径 R (mm)	坡口角度 $\alpha(^{\circ})$ 或 坡口面角 $\beta(^{\circ})$	衬垫
单面	$t \leq 2$	卷边坡口	-	-	-	无
	$t \leq 4$	I 型坡口	-	$b \approx t$	-	无
	$3 < t \leq 10$	V 型坡口	-	$b \leq 4$	$40 \leq \alpha \leq 60$	无
	$t > 16$	V 型坡口	-	$5 \leq b \leq 15$	$5 \leq \beta \leq 20$	有
	$5 \leq t \leq 40$	Y 型坡口	$2 \leq P \leq 4$	$b \leq 4$	$\alpha \approx 60$	无
	$t > 12$	U 型坡口	$P \leq 3$	$b \leq 4$	$8 \leq \beta \leq 12$	无
双面	$t \leq 8$	I 型坡口	-	$b \approx t/2$	-	无
	$3 \leq t \leq 40$	V 型坡口	-	$b \leq 3$	$\alpha \approx 60$	无
	$t > 10$	Y 型坡口	$2 \leq P \leq 4$	$1 \leq b \leq 3$	$\alpha \approx 60$	无
	$t > 10$	X 型坡口	$2 \leq P \leq 6$	$1 \leq b \leq 4$	$\alpha \approx 60$	无
	$t > 12$	U 型坡口	$P \approx 5$	$1 \leq b \leq 3$	$8 \leq \beta \leq 12$	无
	$t \geq 30$	双 U 型坡口	$P \approx 3$	$b \leq 3$	$8 \leq \beta \leq 12$	无

通过计算可知母材厚度为 20 mm 时, 对于 Y 型坡口隶属度最大, 因此选择 Y 型坡口。

在对参数输出去模糊化运算中, 典型的方法有面积中心法、TSK 模糊模型等, 本研究中采用对每个规则输出取加权平均进行处理。其中权重由每种规则的隶属度值计算得出。即最终系统输出为

$$y = \frac{\sum_{i=1}^u y^i \times w_i}{\sum_{i=1}^u w_i} \quad (5)$$

其中, u 为符合条件的规则数。针对规则表中存在的部分输出为范围推荐, 采用去边缘化取中值的处理方式。

4 知识库的设计与开发

为实现船体焊接工艺知识管理, 本文设计并开发了船体焊接工艺知识库, 面向船舶制造设计人员提供知识的共享与重用。如图 7 所示, 知识库系统分为数据层、服务层及展示层。

数据层是系统的基础和核心, 包括了工艺知识

库、工艺规则库、实例库和用户信息库。主要负责数据的获取及储存, 同时也是整个系统运行的数据来源。

应用服务层主要负责系统的数据处理及功能实现, 又分为功能支撑层和服务组件层。功能支撑层主要包括数据的格式转换、信息的模糊处理及负责工艺推理的推理机; 服务组层主要包括知识管理、知识检索、用户权限管理。针对用户及系统管理人员进行系统相关功能的实现。

展示层是基于 Web 实现用户与知识库系统的交互环境, 包括用户登录、查询、系统维护等界面。

系统采用 B/S 开发模式, 该模式下用户通过浏览器即可访问服务器进行相关操作, 实现船体焊接工艺知识的远程共享与重用。同时系统以 Java 语言做作为开发语言, 以 Mysql 数据库管理系统进行知识资源的存储, 使用 Protégé 作为本体建模工具, 通过 jena 接口存放本体至数据库; 用户界面使用 Web 前端 CSS 框架 Bootstrap 编写实现, 在 Windows 10 系统环境下开发完成。

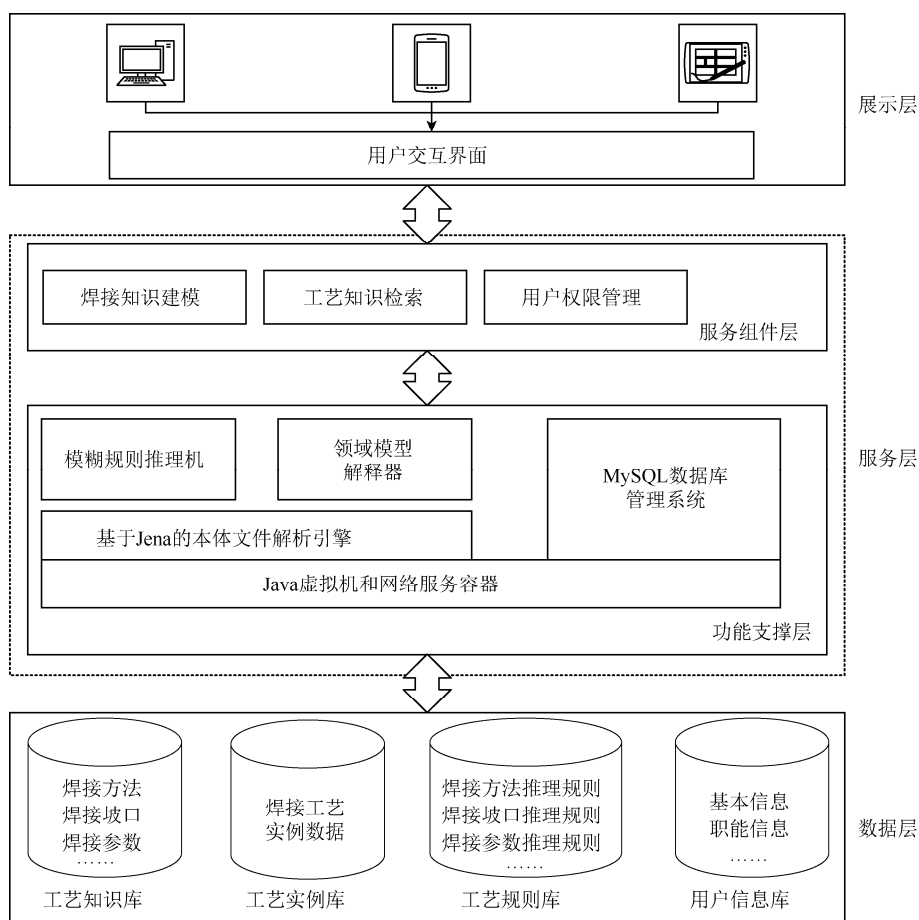


图 7 船体焊接工艺知识系统框架

Fig. 7 Knowledge system framework of hull welding process

5 结束语

本文将知识工程技术应用于船舶制造中船体焊接工艺,提出基于本体的船体焊接工艺知识表示方法,研究了船体焊接工艺的知识获取和分类、知识推理和知识管理等关键技术,实现了焊接工艺领域知识的共享与重用,能够为工作人员及时准确提供所需知识,为其提高工作效率、提升产品质量从而提升企业竞争力,同时为我国船舶制造领域在智能制造水平的提升上发挥作用。

参考文献

- [1] 李风波. 船舶与海洋工程焊接[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015: 22.
LI F B. Welding of ship and ocean engineering[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2015: 22 (in Chinese).
- [2] 邓欣, 吴松林. 船舶焊接工艺评定专家系统的研究与开发[J]. 材料开发与应用, 2012, (4): 80-83.
DENG X, WU S L. Research and development of ship welding procedure evaluation expert system[J]. Material Development and Application, 2012, (4): 80-83 (in Chinese).
- [3] 冯志强, 柳存根. 基于粗糙集知识建模的船舶焊接生产设计方法[J]. 造船技术, 2015, (1): 58-62.
FENG Z Q, LIU C G. Ship welding production design method based on rough set knowledge modeling[J]. Shipbuilding Technology, 2015, (1): 58-62 (in Chinese).
- [4] 王园. 船舶焊接工程管理系统研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2015.
WANG Y. Research on management system of ship welding engineering[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2015 (in Chinese).
- [5] RUY W S, KIM H K, CHO Y J, et al. Implementation of welding material quantity evaluation system combined with ship design CAD system[J]. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2017, 9: 219-226.
- [6] 王素清, 马彦军. 面向智能制造的焊接工艺模型设计[J]. 船舶标准化工程师, 2018: 16-20.
WANG S Q, MA Y J. Design of welding process model for intelligent manufacturing[J]. Ship Standardization Engineer, 2018: 16-20 (in Chinese).
- [7] 郭温. 基于实例推理的船舶焊接工艺设计研究[J]. 铸造技术, 2012, 33(1): 100-102.
GUO W. Research on ship welding process design based on case-based reasoning[J]. Foundry Technology, 2012, 33(1): 100-102 (in Chinese).
- [8] 裴大茗, 任帅, 景旭文, 等. 基于模糊规则推理的船舶焊接工艺规划[J]. 电焊机, 2016, 46(5): 63-66.
PEI D M, REN S, JING X W, et al. Ship welding process planning based on fuzzy rule reasoning[J]. Electric Welding Machine, 2016, 46(5): 63-66 (in Chinese).
- [9] 郭乾统, 田凌. 面向机械产品概念设计的知识库设计研究[J]. 图学学报, 2015, 36(5): 713-723.
GUO Q T, TIAN L. Mechanical conceptual design oriented knowledge database organized by domain ontology[J]. Cartography Journal, 2015, 36(5): 713-723 (in Chinese).
- [10] 袁国铭, 樊波, 成天华. 信息科学中本体理论的发展综述[J]. 微型电脑应用, 2014, 30(7): 35-39.
YUAN G M, FAN B, CHENG T H. Overview on the development of ontology theory in information science[J]. Microcomputer Applications, 2014, 30(7): 35-39 (in Chinese).
- [11] 吴康清, 黄利平, 李伯舒, 等. 基于故障知识库的机械零部件故障管理支持系统[J]. 图学学报, 2019, 40(3): 623-630.
WU K Q, HUANG L P, LI B S, et al. Failure management and support system of mechanical parts based on failure knowledge-base[J]. Cartography Journal, 2019, 40(3): 623-630 (in Chinese).
- [12] 李行洲. 基于规则推理的去中心化知识共享机制[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2019.
LI X Z. Decentralized knowledge sharing mechanism based on rule reasoning[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2019 (in Chinese).