

智能化焊接 CAPP 的分析与开发

吴叶军¹, 魏艳红²

(1. 常州工程职业技术学院 机电与汽车工程学院, 常州 213164;

2. 南京航空航天大学 材料科学与技术学院, 南京 200016)

摘 要: 通过分析国内外焊接 CAPP 的研究现状和需求, 提出了将焊接专家系统技术融入到焊接 CAPP 中, 并成功开发了焊接领域第一个智能化 CAPP 系统. 通过焊接工艺设计模块、工艺过程卡编制模块、材料定额计算模块共同完成焊接工艺的编制. 其中焊接工艺设计模块建立了焊接知识库、焊接推理机、焊接工艺解释机制, 使其能够自动推理焊接工艺参数; 工艺过程卡编制模块提供了典型工艺编制法、相似工艺编制法和菜单编制法, 使工艺人员能快速完成工艺编制; 材料定额模块通过焊接坡口参数化和迭代思想实现了计算各层焊接材料消耗量及总用量.

关键词: 计算机辅助工艺设计; 焊接; 专家系统; 材料定额

中图分类号: TG 409 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)07-0109-04

0 序 言

计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, CAPP) 是通过向计算机输入被加工零件的几何信息 (图形、尺寸等) 和加工工艺信息 (材料、热处理、批量等), 由计算机自动输出零件的工艺路线和工序内容等工艺文件的过程^[1].

文中分析了焊接 CAPP 国内外研究现状和实际需求, 提出了将专家系统技术融合到 CAPP 中, 并成功开发了焊接领域首个智能化 CAPP 系统.

1 国内外研究现状及分析

1.1 CAPP 的种类

(1) 派生式 CAPP 系统. 基本原理是利用零件的相似性, 相似的零件有相似的工艺过程. 一个新零件的工艺过程可以通过检索现有的相似零件族 (组) 的标准工艺过程并加以筛选或编辑而成.

(2) 创成式 CAPP 系统. 根据具体零件, 创成式 CAPP 系统可以自动产生零件所需要的各个工序和加工顺序, 自动提取制造知识, 自动完成机床选择、工具选择和加工过程的最优化; 通过应用决策逻辑, 可以模拟工艺设计人员的决策过程.

(3) 专家型 CAPP 系统. 该系统是近些年才提出来的, 它是一种基于人工智能技术的 CAPP 系统, 也称智能化 CAPP 系统. 与创成式 CAPP 系统一样,

专家系统也是以自动方式生成工艺规程, 创成式 CAPP 系统以逻辑算法加决策表为特征的, 而专家系统则以知识库加推理机为特征的. 专家型 CAPP 系统求解问题的过程是逻辑判断和决策的过程, 非常适合工艺过程设计中需要依靠专家经验和优化策略等解决的问题, 因此专家型 CAPP 系统前景广阔^[2].

1.2 国外研究现状及分析

国外 CAPP 的研究始于 20 世纪 60 年代后期, 第一个 CAPP 是挪威 1969 年推出的 AUTO-PROS 系统, 1973 年正式推出商品化 AUTO-PROS 系统. 美国是 20 世纪 70 年代初开始研究 CAPP 的, 并于 1976 年由 CAM-I 公司推出颇具影响力的 CAM-I'S Automated Process Planning 系统, 成为 CAPP 发展史上的里程碑. 2003 年 2 月, 波兰 Silesian 技术大学开发了基于知识库的机械加工 CAPP 系统^[3], 该系统属于专家型 CAPP.

1.3 国内研究现状及分析

国内有关焊接 CAPP 的研究开始于 80 年代, 30 多年来, 有了长足的进步, 开发了一些实用的 CAPP 系统. 1999 年哈尔滨工业大学的魏艳红^[4] 开发了“工程项目焊接工艺 CAPP 系统”, 实现了焊接工艺文件的管理. 2001 年清华大学的朱志明等人^[5] 开发了“焊接结构件装焊 CAPP 系统”, 该系统的用户管理模块、工艺文档管理模块可以更改, 具有一定的柔性, 以满足企业不断发展的需要. 2005 年哈尔滨工业大学的刘丰等人^[6] 开发了“基于 Client/Server 的表格化焊接 CAPP 系统”, 提出了将工艺内容和工艺卡格式分离的设计方法.

这些焊接 CAPP 以实用性为设计原则,主要功能是对焊接工艺文件的管理和编制,具有一定的实用性,但是还存在许多不足之处,比如系统智能化程度不高,没有充分融入焊接知识,且大多数系统功能单一。课题组对焊接专家系统和焊接 CAPP 都有一定的研究经验,基于此吸取了已有焊接 CAPP 的优点,并将专家系统技术融入到 CAPP 中,设计开发了焊接领域首个智能化 CAPP 系统。

2 系统分析与设计

针对已有焊接 CAPP 智能化程度低、功能单一的问题,同时充分分析了合作单位中国有色(沈阳)冶金机械有限公司的需求,参照了相关焊接标准,设计了如下 3 个模块,图 1 为系统的主界面。



图 1 系统主界面

Fig. 1 Main interface

(1) 增加“焊接工艺设计模块”。主要负责焊接工艺参数的自动推导(图 1 中的“工艺参数”部分)。

(2) “工艺过程卡编制模块”。吸取了已有的焊接 CAPP 的优点,以实用性为设计原则,将工艺内容和工艺卡格式分离,功能包括工艺文件的管理、打印等,工艺图实现了与 AutoCAD 和 SolidWorks 软件的交互(图 1 中的“工艺图”)。

(3) 增加了“焊接材料计算模块”。主要负责计算各层焊材消耗量及总用量。

2.1 焊接工艺设计模块设计

通过建立焊接知识库、焊接工艺推理机制、焊接工艺解释机制、基础数据库、人机交互界面来实现焊接工艺的设计,其实现过程如图 2 所示。

2.1.1 焊接知识库的建立及其学习功能

(1) 焊接知识库的建立。焊接是一门经验性很强的技术,焊接经验的积累非常重要。对合作单位多年积累的焊接经验进行分类及必要的技术处理,然后分别建表,存储到数据库中,形成焊接知识库。

焊接知识库包括母材知识库、焊接材料选择知

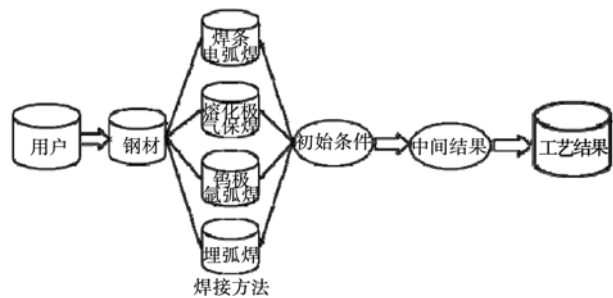


图 2 焊接工艺设计实现过程

Fig. 2 Process of welding process design and implementation

识库、焊接坡口图知识库、焊前预热知识库、焊后热处理知识库、焊接工艺参数知识库等,见图 3。

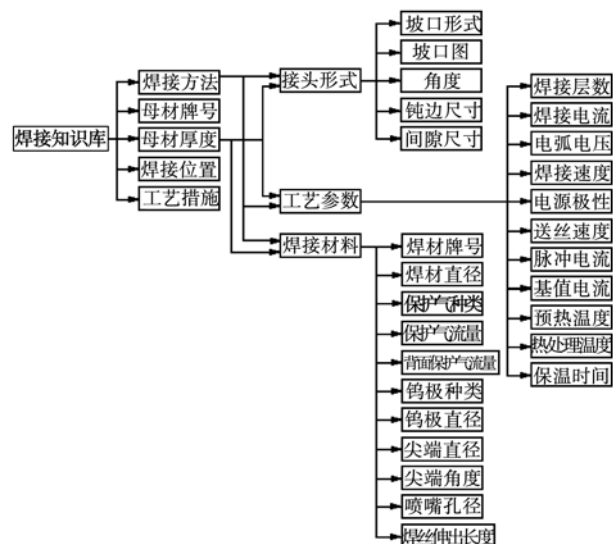


图 3 焊接知识库列表

Fig. 3 List of welding knowledge base

(2) 焊接知识库的学习。知识库都可以进行学习的,例如母材库、焊接材料库、坡口图库等。焊接知识库的来源有企业一线工程师经验知识、焊接标准、焊接专家、焊接手册等,这些知识来源可靠,保证了焊接知识库的专业性、权威性,为焊接工艺设计推理提供了保障。在学习过程中,要求用户按照系统要求给出各种知识,采用固定格式与用户进行交流,保证了用户提供的知识水平与系统可用的知识水平相一致。

以母材知识库学习为例,图 4 为母材库扩充界面,在此界面中输入标准、牌号、厚度、抗拉强度、公称成分、制品类别,即可完成母材知识库的学习。

2.1.2 焊接工艺推理机制

专家系统根据已知问题信息及知识库中的知识推出结论的过程中所采用的推理方法及控制策略称



图4 母材库扩充界面

Fig. 4 Interface of base material

为系统的推理机制。

系统的推理分为3个过程:初始条件、中间结果、最终推理结果,采用正向推理的思想,推理出焊接工艺参数,如图5所示。

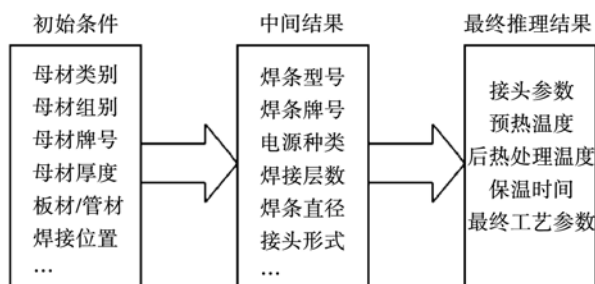


图5 焊接工艺设计过程的推理过程

Fig. 5 Inference process of welding process design

(1) 初始条件. 要求用户输入焊接方法、母材类型、焊接位置、焊缝形式、钢材牌号、母材厚度等。初始条件主要是根据总结的知识决定。

(2) 中间结果. 由于有些设计结果,需要用户干预,所以设计中间结果,主要包括坡口图形、焊接材料、焊接层数等,不同焊接方法的中间结果不同。用户可以在这个阶段对推理出的部分参数进行必要的修改,从而使最终推理结果更加准确。

(3) 最终推理结果. 根据初始条件、中间选择结果,设计出最终结果,即推导出最终焊接工艺参数,不同焊接方法,最终结果有所不同。

2.1.3 焊接工艺解释机制

系统的解释机制主要是对在工艺设计过程中焊接参数的选择做出解释,以预热温度的推理为例:推理预热温度时,系统首先根据用户在初始条件界面输入的母材牌号,查询预热知识库表,如果该知识库中有此母材牌号的推荐预热温度,则推理结束,并做出解释:根据预热温度知识库推理出预热温度;如果知识库中没有此母材牌号的推荐预热温度,则根据国家能源局发布的 NB/T—47015《压力容器焊接规

程》的规定推理出预热温度,并做出解释:根据 NB/T—47015《压力容器焊接规程》计算得到预热温度。

2.2 工艺过程卡编制模块设计

以智能化、标准化、方便快捷为目的进行设计,采用“所见即所得”的方式进行焊接工艺的编制。系统有以下3种编制工艺的方法。

(1) 典型工艺编制法. 建立了焊接典型工艺库,通过系统后台,管理员用户可以将成熟的焊接工艺存储到焊接典型工艺库中,普通用户则可以在典型工艺搜索界面搜索到需要的典型工艺,然后修改少量必要的工艺内容,就可以得到新的焊接工艺。

(2) 相似工艺编制法. 如果用户没有搜索到合适的典型工艺,则可以在所有工艺库中查询是否有相似工艺。用户查询到相似工艺后,点击“复制相似工艺”按钮,就可以复制该相似工艺,再修改部分工艺内容,即可形成新的焊接工艺。

(3) 菜单编制法. 如果既没有典型工艺,又没有相似工艺可以借鉴,则可以利用主界面中的各菜单及基础数据库编制焊接工艺。以实用性、人性化为宗旨,设计了添加工序、插入工序、删除工序、删除工艺卡片等功能,使用户在编制工艺卡时能方便、快捷地完成。

2.3 焊接材料计算模块设计

焊材定额计算一直是定额计算中一个重要组成部分,它计算繁琐,汇总种类繁多。计算焊材消耗的软件较多,但大多数都是针对焊材总用量的。借鉴已发表的论文^[7],采用变参数模型的思想,来统一描述坡口形状,通过迭代的思想计算各焊层截面面积,使得计算精度和效率显著提高。

焊接材料定额的基本计算公式为

$$g = \frac{SL\rho}{1000K_n}(1 + K_b) \quad (1)$$

式中: g 为焊条(丝)消耗量; S 为焊缝熔敷金属截面积; L 为焊缝长度; ρ 为熔敷金属密度; K_b 为药皮重量系数; K_n 为填充金属熔敷过度系数。

2.3.1 坡口参数化

坡口焊缝可以通过改变如图6中各参数演变成

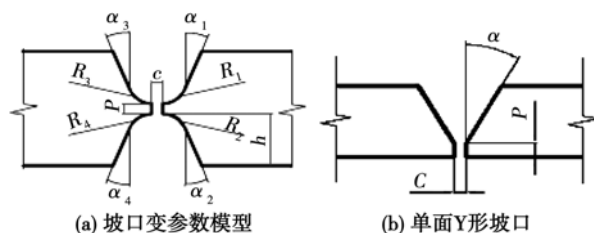


图6 坡口变参数模型示意图

Fig. 6 Variant parameter model of groove

各种坡口形式. 比如, 当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 0, h = 0$ 时可以演变成单面 Y 形坡口.

2.3.2 迭代

图 7 为分层计算参数模型, 直接计算各层的截面积 $\Delta S_{\text{fl}}, \Delta S_{\text{r2}}, \Delta S_{\text{B}} \cdots$ 比较困难, 但转为计算 $S_{\text{fl}} (\Delta S_{\text{fl}}), S_{\text{r2}} (\Delta S_{\text{fl}} + \Delta S_{\text{r2}}), S_{\text{B}} (\Delta S_{\text{fl}} + \Delta S_{\text{r2}} + \Delta S_{\text{B}}) \cdots$ 就较为简洁了, 而各层焊材截面积为 $\Delta S_{\text{fl}} = S_{\text{fl}}, \Delta S_{\text{r2}} = S_{\text{r2}} - S_{\text{fl}}, \Delta S_{\text{B}} = S_{\text{B}} - S_{\text{r2}} \cdots$

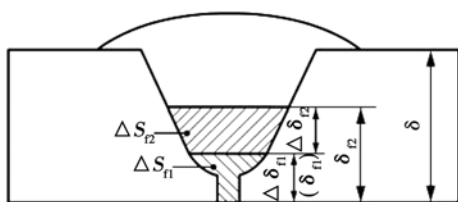


图 7 分层计算参数模型

Fig. 7 Layered parameter model

2.4 与 AutoCAD 和 SolidWorks 软件的集成

AutoCAD 和 SolidWorks 是应用非常广泛的 CAD 软件, 系统开发了这两种图形文件的接口, 从而能充分利用 CAD 图形文件.

2.5 系统及数据安全

系统的安全性问题既包括系统本身的安全性和稳定性, 也包括数据库的安全性, 系统采取了以下措施来保证安全性.

(1) 设置用户组和用户权限. 系统采用“系统管理员 - 部门管理员 - 工艺人员”三级管理, 系统管理员负责分配各部门的管理员, 部门管理员负责本部门典型工艺的制定.

(2) 数据库加密. 数据库密码系统将明文数据加密成密文数据, 数据库中存储密文数据, 查询时将密文数据取出解密得到明文信息, 即便硬件存储失窃也不会泄漏数据, 大大提高了数据库的安全性.

(3) 定期检查数据库日志的记录. 定期查看数据库日志检查是否有可疑的登录事件发生, 审核数据库登录事件的失败和成功, 可以及时地发现是否有非法登录和企图非法登录.

3 结 论

(1) 将焊接专家系统融入到焊接 CAPP 中, 并吸收了已有焊接 CAPP 的优点, 成功开发了焊接领

域首个智能化焊接 CAPP.

(2) 智能化焊接 CAPP 实现了焊接工艺参数的推导、各层焊材消耗量及总用量的计算, 最终形成直接可用的焊接工艺过程卡, 提高了焊接 CAPP 的智能化程度, 丰富了焊接 CAPP 的功能.

(3) 系统实现了与 AutoCAD, SolidWorks 的接口, 能方便地导入电子图形文件, 使工艺员能充分地利用其它部门的 CAD 图形.

(4) 系统设置了普通用户和管理员用户, 并通过对数据库加密、定期检查数据库日志的记录等措施, 提高了数据的安全性和系统的稳定性.

参考文献:

- [1] 王先逵. 计算机辅助制造 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [2] 肖伟跃. CAPP 的反思与展望 [J]. 成组技术与生产现代化, 2007, 24(4): 1-5.
Xiao Weiye. The reflections and outlook of the CAPP [J]. Group Technology and Production Modernization, 2007, 24(4): 1-5.
- [3] Grabowik C, Knosala R. The method of knowledge representation for a CAPP system [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 133(1): 90-98.
- [4] 魏艳红. 工程项目焊接工艺 CAPP 系统 [C] // 中国机械工程学会焊接学会. 第九次全国焊接会议论文集 (2). 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1999: 621-623.
- [5] 朱志明, 张崇轲, 陈丙森. 焊接结构件装焊 CAPP 系统的研究与开发 [J]. 焊接学报, 2001, 22(4): 87-91.
Zhu Zhiming, Zhang Chongke, Chen Bingsen. Study and development of assembly welding CAPP system for welded structures [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(4): 87-91.
- [6] 刘 丰, 魏艳红. 基于 Client/Server 的表格化焊接 CAPP 系统 [J]. 焊接学报, 2005, 26(5): 77-80.
Liu Feng, Wei Yanhong. Tabular welding computer aided process planning system based on client/server [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2005, 26(5): 77-80.
- [7] 沈春龙, 钱晓军, 黄有仁. 基于变参数坡口模型分层焊材消耗计算 [J]. 焊接学报, 2009, 30(3): 33-36.
Shen Chunlong, Qian Xiaojun, Huang Youren. Calculation of layered welding material dosage based on model of variant parameter groove [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2009, 30(3): 33-36.

作者简介: 吴叶军, 男, 1985 年出生, 硕士, 讲师. 主要从事焊接技术、数字化焊接的科研和教学工作. 发表论文 5 篇. Email: wuyejun1985@126.com