

# 人工智能在铸铁焊修技术中的应用

张建华 高晓英 藤桂法

(保定 河北农业大学机电工程学院)

**摘要** 将专家系统技术应用于铸铁焊修领域, 开发研制了相关的计算机软件。其软件是由知识库系统、图形图象库系统、推理机、用户界面四大部分组成, 主要用于完成焊接工艺制定、焊接实例查询、焊接材料介绍、焊后缺陷弥补四大功能。其主要特点是实现了领域知识的图形表示并开发了图文并茂的用户界面。

**关键词** 专家系统; 铸铁, 焊修, 计算机图形

## 0 序言

铸铁焊修技术在工业、农业、国防工业中应用很广, 如铸造缺陷的焊补、损坏零件的焊修等, 有很高的经济效益和社会效益, 铸铁焊接技术难度大, 情况复杂, 给这项技术的普及和推广带来很大困难。专家系统的开发为这一问题的解决开辟了新的途径。

铸铁焊修专家系统是把计算机人工智能的专家系统技术与铸铁焊修领域知识结合起来开发的计算机软件, 它能够模拟人类焊接专家的思维和工作方式, 综合运用人类焊接专家的知识, 像人类焊接专家一样根据现场情况确定焊接工艺方案, 指导焊接实践、培训焊接人才, 从而促进铸铁焊接技术在全国的普及推广。

## 1 铸铁焊修专家系统的开发环境及运行环境

### 1.1 开发环境

机型: AST-386; 汉字系统: LX-VII型汉卡; 语言: TURBO PROLOG V2.0 TURBO C V2.0 TURBO ASSEMBLER V1.0 三种语言混合编程。

### 1.2 运行环境

机型: IBM AT 及兼容机, 要求有 VGA 型图形卡, 内存不少于 640k; 汉字系统: LX 汉字系统或 CCDOS2.13H 汉字系统。

## 2 铸铁焊修专家系统的功能

其功能框图见图 1。

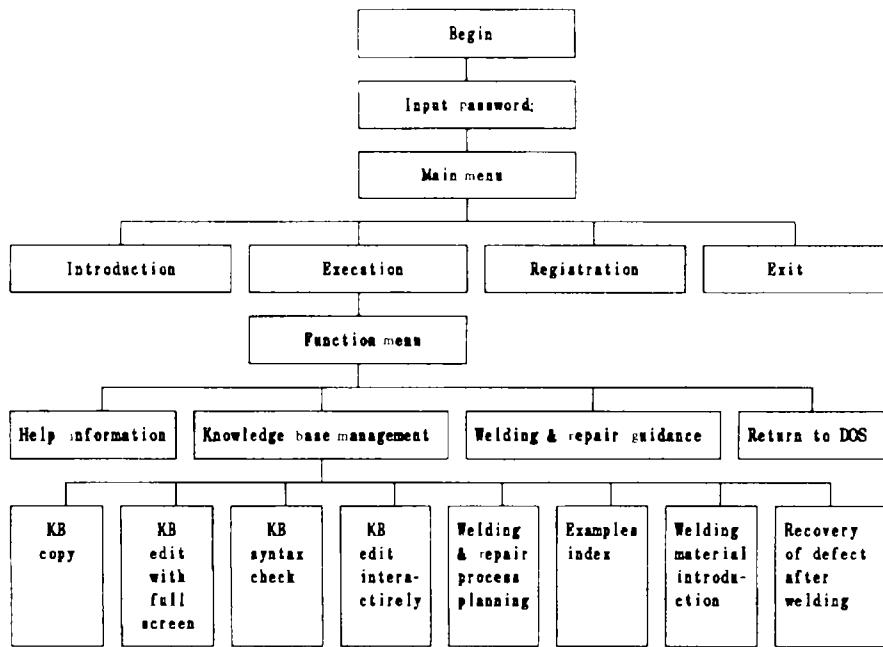


图1 铸铁焊修专家系统框图

Fig.1 Flowchart of expert systems for cast iron welding and repair

## 2.1 焊修指导

铸铁焊修专家系统的主要功能体现在焊修指导部分,此系统能指导绝大部分铸铁件的焊修,主要有发动机缸盖、机体、机床、铸造毛坯等,涉及电焊、气焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊、钎焊、胶补五种焊修方法,四十多种焊接材料,具体功能包括以下四个方面。

### 2.1.1 焊修工艺制定

这是焊修指导部分的重点。根据用户输入的焊件种类、缺陷部位等条件,综合考虑其焊后性能要求,缺陷特征,使用环境等因素,并结合设备人员条件,运用知识库知识、选择焊修方法,制定具体工艺方案,内容包括焊前准备、焊接材料、焊接参数、焊接工艺、焊后处理等项内容,并可对推理过程给出解释,根据用户需要打印工艺方案。

### 2.1.2 焊修实例

本院可提供大部分铸铁件典型缺陷焊修成功的实例,用户可以从焊件种类、焊修方法、焊后性能要求、使用环境四个方面给出限制条件,系统实现多渠道查询,找到符合限制条件的实例供用户参考。

造纸厂烘缸端盖是最常见、最难焊修的裂纹,其裂纹特点是沿支撑轴的周线上出现。我们将其成功的焊修实例收入实例库中。用户在查询实例时,可通过上述四个方面给出的限制条件“焊件种类、焊修方法、焊后性能要求、使用环境”分别选出:大型铸件;手工电弧焊;焊后要求高强度,有气密性要求、无机加工性要求;在100~150℃温度中,无腐蚀介质的环境中工作,计算机很快就可根据以上的限制条件找出此实例,在屏幕上显示出图像(图2),并有对裂纹的字幕说明“一直径约80cm的圆周裂纹,基本裂透,工件厚约10cm。”

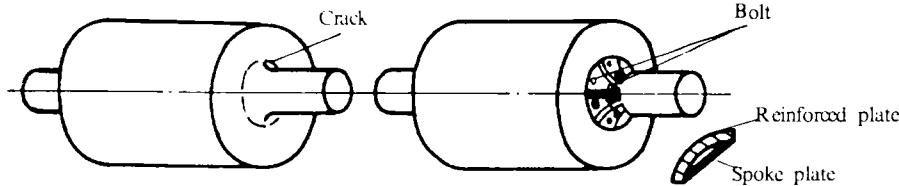


图2 缺陷部位图

Fig.2 Figure of defect position

图3 焊接工艺附图

Fig.3 Welding process scheme

如与用户所焊情况差不多,想知道其工艺,屏幕上可出现字幕:

1. 焊前准备: (1) 开坡口成“U”字形,钝边厚10mm,坡口宽约40~50mm。(2) 准备厚约5mm的低碳钢板条,宽度较坡口窄5mm,板条长约6~7cm,每板上打两个直径10mm的孔,沿轴线打出一点弯度。

2. 焊接材料: 直径3.2mm E 5016(结506)

3. 焊接规范: 交直流都可,电流130A

4. 焊接工艺过程: (1) 钝边上的裂纹采用短段、跳焊法,每段长约30mm,焊后用冲子锤击焊缝,焊缝要低平。(2) 将沿轴线打弯的低碳钢板条凸面向上扣在坡口中,用稍大些的电流一次将此板一边焊好,并趁热将其上翘部分打平。(3) 放入第二块板,并将其与第一块板先焊接好,然后同样将其一边焊好,这样依次将第一层板的一边与母材焊好,并相互焊接成一长条。这是最底层的一层板条,完全定好位后,从第一块板开始焊另一边,此时电流稍小些,将其焊好,趁热锤击板的凸面,将其打开(这能有效松弛应力),每层板之间通过两个孔塞焊成一体,就这样一层层直至将坡口焊平。

5. 焊后加固处理: 将2cm厚的低碳钢板割成如图3所示形状,共16块,每块成梯形,然后按缸盖的曲面打弯,与缸盖贴合,在板的两头钻两个直径15mm的孔,在与孔相对的缸盖上打孔,攻丝,用M14的螺栓将加强板固定在缸盖上。为提高板的刚度,在其上焊幅板。用Φ3.2mm的E5016焊条,将加强板之间,与母材之间焊好,如图3所示。从入孔钻入烘缸,在里面开坡口,宽深约10mm,用E5016焊条采用分散焊,每段长30mm,焊后锤击焊缝。全焊好后,在焊缝上涂上铅油。焊修结束。

如用户焊件缺陷部位不完全一样,想查看其它类似件的焊修方法,可根据上述四个限制条件查出有关类似要求的实例,认为有参考必要,可将整个工艺过程打印出。

### 2.1.3 焊接材料介绍

提供焊接工艺中涉及的多种焊条、焊丝、焊剂的详细资料,供用户选择。

### 2.1.4 焊后缺陷弥补

针对焊修过程中的五大缺陷:裂纹、白口及淬硬组织、气孔、夹渣、熔合性差,给出其产生的原因,预防方法和弥补措施,供用户参考打印。

## 2.2 知识库管理

铸铁焊修专家系统另一重要功能是知识库管理,为用户修改、完善知识库提供强有力的工作。具体功能有:

(1) 知识库拷贝

在系统内部实现对知识库文件的复制。

### (2) 知识库全屏编辑

将知识库调入一个全屏幕的编辑环境, 用户可对知识库进行修改、插入、删除、存盘等一系列操作。使用此功能要求用户对知识库数据结构有一定了解, 一般用于知识工程师对知识库的修改。

### (3) 知识库语法检查

对知识库文件自动查错, 就地修改并存盘。此功能可以对知识库中每个句子进行数据类型检查、谓词格式检查、语句格式检查, 省去了大量人工查错时间, 提高了知识库开发的效率。

### (4) 知识库交互编辑:

以一问一答形式对知识内容进行修改、删除、插入、存盘等操作, 用户不需了解知识库的数据结构, 甚至不需了解知识存放的文件, 这项功能更适合于焊接专家和普通用户对知识库的修改和维护。

## 3 铸铁焊修专家系统结构

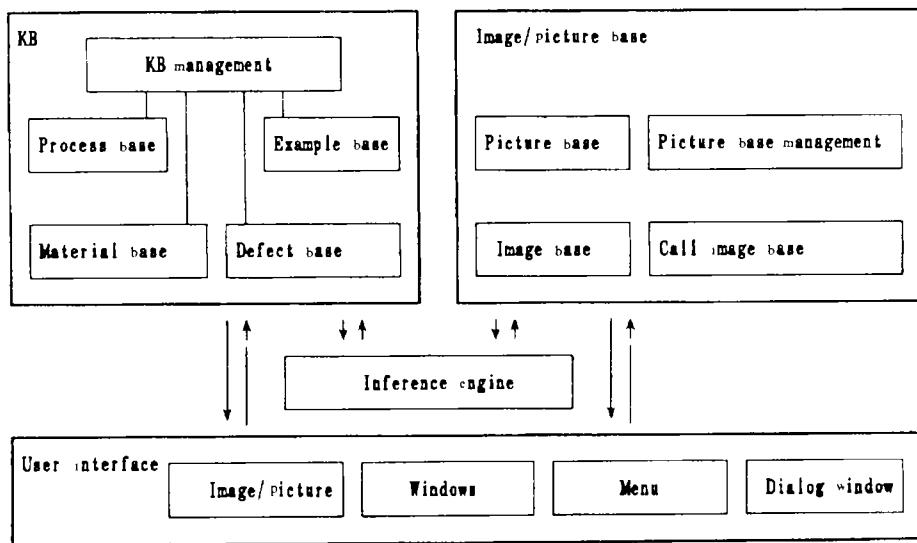


图4 铸铁焊修专家系统结构框架图

Fig.4 Structure of expert system for case iron welding and repair

铸铁焊修专家系统由知识库系统、推理机、用户界面、图形图象库系统四大部分构成。

### 3.1 知识库系统

知识库包括十个文件库, 按其内容不同分为工艺库、实例库、材料库、缺陷库四大部分。工艺库包括焊修方法的选择和工艺制定的规范及近 200 种焊修工艺, 是知识库的核心, 实例库包括典型的铸件焊修实例 97 个; 材料库包含工艺中涉及的 40 多种焊接材料; 缺陷库包含 5 种常见缺陷。这 4 部分由知识库管理模块统一管理。

### 3.2 推理机

采用正反向推理方法, 深度优先与宽度优先两种搜索策略, 利用动态数据库实现推理机。

知识库、图形图象库三者之间的通讯。推理机利用知识库中的领域知识，并调用图形图象库的图形图象知识，实现焊修指导部分焊修工艺制定、焊修实例查询、焊接材料介绍、焊后缺陷弥补四大功能。

### 3.3 用户界面

集图形、图象、窗口、菜单、对话框于一体；完全汉字化，避免了汉字状态下窗口及屏幕异常；菜单形式灵活，有条型、长型、框型、树型多种菜单形式，操作灵活简便；安全性、交互性好。

### 3.4 图形图象系统

包括图形库、图象库及图形库管理、图象库调用等模块，用领域知识的图形表示和开发图文并茂的用户界面。

## 4 知识表示及知识库数据结构

本专家系统采用基于逻辑的知识表示方法。基于逻辑的知识库是由说明事实的谓词逻辑子句组成。这些子句可以描述规则和数据，又可以控制 TURBO PROLOG 的内容合一的过程。

现举例说明如下：

领域知识：铸造毛坯缺陷，当缺陷处刚度小，工件允许有少量变形时，可以采用特殊冷焊法。

用基于逻辑的知识表示法表示为：

```
Show (piece, "1", "毛坯"),
Show ("Character", "1", "刚度较小"),
Show ("Character", "2", "允许有少量变形"),
Show ("Way", 1, 特殊冷焊法),
Cond (1, y, ('Piece', 1)),
Cond (2, y ('Character' 1)),
Cond (3, y ('Character' 2)),
rule (1, y ('Way', 1) [1, 2, 3])
```

在上述知识表示法中，知识被抽象为数字和符号，汉字信息不参与推理，推理速度快。

采用基于逻辑的知识表示方法，其知识库数据结构是一个多链结构。每个链由许多项构成，其中每一项由许多相同结构的谓词和子句构成。例如：工艺部分有焊修方法链，焊修工艺键等。焊修工艺链共有五项：

焊前准备—焊接材料—焊接规范—焊接工艺—焊后处理

其中焊前准备项由下述子句构成：

```
rule (1, 'Prepare', [3, 11, 17, 18, 40], [56, 33], [3], [1]),
rule (9, 'Prepare', [2, 3, 6, 15, 37, 41], [54], [2], [31]),
....
```

这种数据结构有以下优点：知识库易于开发和维护，知识库符合 TURBO PROLOG 内部数据库格式的要求，可以用 PROLOG 数据库标准谓词实现对知识库中数据项进行增删、修改、存盘、调入等一系列操作；把知识和处理知识的程序有效地分开，知识库独立于程序之外。

以数据库形式存在;知识模块化强,各条知识相对独立,不直接发生联系,其增删修改灵活。

## 5 推理控制策略

**推理方法:**采用正反向混合推理。例如在选择焊接方法时,首先要求用户输入条件,根据条件选出所有可行方案,这是正向推理;然后针对所选的每种方法进一步验证,询问设备技术状况等条件,最终确定一种方法,这是反向推理。正反向推理相结合,速度快,效率高。

**搜索策略:**采用宽度优先和深度优先两种策略。例如在选择焊修方法时,我们首先采用宽度优先,且确认一种方法后就停止搜索。

**冲突消解策略:**当有多于一个的规则可被激活时,采用顺序优先法,顺序靠前者优先选中。其推理分步进行,知识库分步调入以节省内存。在有些简单推理中,允许用户参与和控制推理过程,加快推理的进行。

## 6 图形图象库系统的建立

图形、图象技术在本专家系统中除用于开发图文并茂的用户界面外,主要用于实现领域知识的图形表示。铸铁焊修领域的许多专业知识需要用图形来描述,如:焊件缺陷部分,焊件缺陷特征、焊接工艺中的运条方法,焊接顺序,加强措施中的加强板、加强筋、止裂孔、坡口形状,加热减应区位置等等。这些内容难以用文字表达准确,而用图形、图象可以准确描述上面知识,而且信息量大,形象直观。

图形图象库系统建立有以下几步:

(1) 建图形库:用 PROLOG 语言编写一系列的图形子程序,以工程模块形式连入主程序。

(2) 建图象库:用绘图软件 PAINT BRUSH 生成了五个图象文件,构成图象库。

(3) 图形库管理:用 PROLOG 语言编程,构成了一个简易的图形编辑环境,可以对图形库中图形的大小,位置,长宽比较进行调整。另一功能是对图形建立索引、与推理机配合,自动检测图形,实现图形文件状态的自动切换。

(4) 图象库文件调用:PROLOG 语言调用 BIOS 及汇编语言程序,直接存取显示缓冲区和操纵寄存器,调用 PAINT BRUSH 图象文件,并能控制图象大小及位置。

为开发图文并茂的界面,增强其图形、图象处理能力,又编程实现了一些辅助功能,如:图形状态下调用汉字显示字库,调汉字打印字库,图形的局部放大、动画、图形汉字、图形窗口和图形菜单,打印图形等。

## 7 结 论

铸铁焊修专家系统在人工智能专家系统的开发上进行了一些大胆的探索,采用了基于逻辑的知识表示方法;正反向混合推理策略,开发了完全汉化,图文并茂的用户界面,并能把抽象的焊接领域知识用图形表达出来,还具有较强的知识库管理能力及打印功能,编程上采用了模块化程序设计,克服了图象文件调用、图形文件管理、三种语言接口等一系列技术难点。

铸铁焊接专家系统的开发,把人工智能与铸铁焊修技术结合起来,开辟了专家系统应用的新领域,为铸铁焊修技术在全国普及推广开辟了道路。

(1994年11月18日收到修改稿)

## 参考文献

- 1 张建华. 铸铁焊接原理及实践. 保定: 河北农大, 1984.
- 2 高晓英等. 铸铁焊修专家系统 CWES-I. 计算机在焊接生产中应用的学术与技术交流会论文集, 太原, 中国焊接协会, 1992.
- 3 陈兆乾等. TURBO PROLOG 程序设计. 南京大学出版社, 1991.
- 4 国家机械工业委员会编. 焊接材料产品样本. 北京: 机械工业出版社, 1987.

## Development and application of AI for cast iron welding and repair

Zhang Jianhua, Gao Xiaoying, Teng Guifa

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei)

**Abstract** Expert system technology is applied to cast iron welding and repair, its software is also developed. The software consists of knowledge base, image and picture base, inference engine and user interface. It is mainly used to plan the welding process, index the examples of welding, introduce the welding materials and recover the defects after welding etc.. Its main feature is that the knowledge is developed in picture and the user interface is made with images and texts.

**Key words** expert sistem; cast iron; welding and repair; computer graphies