

焊接学会 第 XIIa 专业分委员会
数值分析、CAD/CAM 研究组

“焊接专家系统”专题学术会议 论文集

1989, 11, 北京

用于焊接工艺选择的 计算机专家系统QHWELD-1

清华大学 贾凯 施克仁

摘要:本文介绍了利用Turbo-PROLOG语言设计的一个以焊接工艺选择为主的计算机专家系统QHWELD-1。本系统是自然科学基金项目“重大焊接构件的设计、制造及安全评定专家系统”的一个组成部分。

该系统以实际应用为背景开发,有强大的数据库支持,是很有希望在实际中获得广泛应用的系统。本系统可在IBM-PC及其兼容机上运行,它结构设计合理、层次丰富、人机接口有善,不需要专门人员即可操作,其知识的扩充和修改也可以很方便地进行。推理时,系统采用逆向推理和正向推理相结合的技术,利用专家知识,针对用户的输入信息进行逐步推理,得出满足用户使用要求的工艺建议。它还可以给用户提供咨询、给出专家建议等信息。它的输出可以是屏幕输出,也可以用打印机输出标准形式的焊接工艺说明书。整个过程以人机对话的形式进行,信息丰富、使用方便。

一、前言

专家系统的出现并在工程上的应用已有近二十年的历史,这期间它的开发和研制也取得了辉煌的成绩,在许多领域中专家系统都有成功应用的实例,如化学分析、医疗诊断、地质勘探、计算机设计组装等等。在焊接领域中,专家系统的研制也有数年的历史,国外一些大学及研究机构在此做了不少工作,象著名的美国焊接协会建立了一系列的焊接专家系统,其中包括11个实用的专家系统。如WELDSELECTOR、WELDSYMBLE、WELDPROSPEC、WELDSTRESS等等。英国的焊接研究所从1984年开始相继推出了六个商品化的计算机软件包(专家系统),象PREHEAT、WELDCOST、WELDSPEC、MAGDATA等等。

近几年来,国内的一些单位也开始了焊接专家系统的研制工作,并且有的已取得了一定的成效。如清华大学、南昌航空学院、哈焊所、上海交通大学、天津大学等单位都进行了许多研究,有的还发表了一些成果。

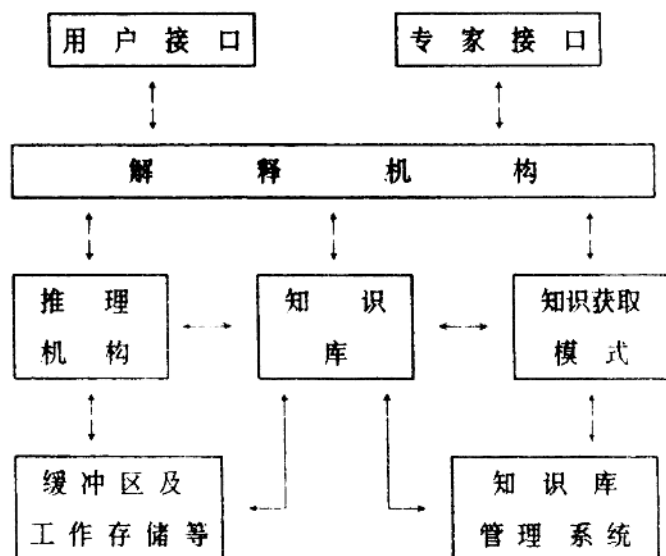
焊接生产的进行需要大量的具有专业知识的技术人员,因此在焊接领域进行专家系统的研制工作具有重大的技术和经济上的意义。它不仅可以帮助焊接

工作者正确的计算、选择各种工艺参数，而且还可以起到对资料进行管理、专家咨询等作用。使得不熟悉焊接的技术人员也能在计算机的帮助下制定出正确的焊接工艺。由于计算机工作迅速、准确，专家系统还可节省大量的人力和物力，因此它的应用具有广阔的前景。

本文结合实际焊接生产情况，针对石油化工等重要部门焊接生产要进行焊接工艺评定的需要，建立了焊接工艺选择与焊接性分析的专家系统QHWELD-1。它能够帮助焊接工作者根据已做的焊接工艺评定实验报告（PQR），制定出具有实用价值的焊接工艺说明书（WPS），或给出制定焊接工艺的参考建议、材料的焊接性分析等等。本系统的输入输出均为汉字显示，操作人员只需有简单的计算机知识便可使用。系统结构合理、使用方便、响应速度快，而且有很强的数据库支持，因此，本专家系统具有很高的实际应用价值。

二、系统的结构

1. 系统组成：



（图1-系统结构框图）

本专家系统主要由几个大的部分（见上图）组成，即：人机接口（包括用户接口和专家接口）、解释机构、知识库及其管理系统和知识获取模式。

这几个部分的功能概述如下：

(1) **人机接口**：它包括两个部分，即用户接口和专家接口，它的作用是把专家或用户的输入信息翻译成系统可以接受的内部形式，同时把系统向专家或用户的输出信息转换为人们易于理解的形式，起着人与计算机之间进行信息交换的媒介，使得用户不需要很多计算机知识便可以使用本专家系统。

(2) **解释机构**：回答用户对系统的提问，解释其内部的推理过程

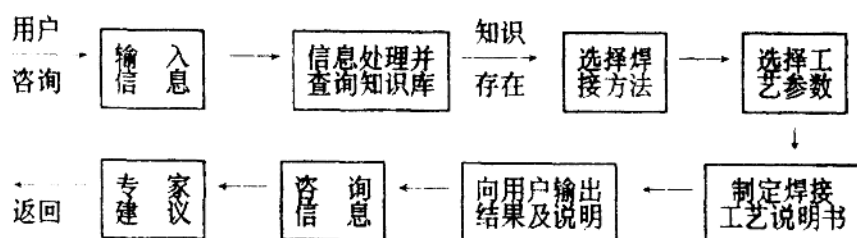
(3) **推理机构**：它能模仿人类专家的推理过程，在一定的控制策略下，针对用户提出的问题，选择一定的知识进行推理，得出相应的结论。推理机构可以称为知识库的智能搜寻者，它懂得众多的知识如何相关及按怎样的顺序去查询知识。推理的方法主要有正向推理和逆向推理。

(4) **知识获取模式**：这是专家系统向人类专家学习的方式，通过人机交互过程，增长专家系统内部的知识。

(5) **知识库及其管理系统**：这是专家系统中最重要的环节之一，知识库中知识的多少决定着专家系统水平的高低。知识库由三个部分组成，即数据库、规则库和事实库组成。它用于存储和管理从人类专家那里得来的知识和经验等等。数据库又可分为 p r o l o g 的数据库和 D b a s e Ⅲ 的数据库两种，推理时这两种数据库的数据均可以为本专家系统的推理机构所使用。

2. 推理过程

本专家系统的推理过程可以简单地概述如下：



(图 2 - 推理框图)

系统根据用户的需要，要求用户输入一些信息，并对这些信息进行处理。然后搜寻知识库找到有关的焊接知识，如知识不存在则告诉用户并返回初使状态。如找到有关的知识，系统就利用这些知识进行推理判断：首先给出可用的

焊接方法让用户选择，然后就这一方法及其它输入信息查询Dbase III数据库（外部），找到可用的PQR数据（根据国标及部标规定的替代范围），再根据这些PQR数据经分析制定出焊接工艺参数，形成WPS（焊接工艺说明书）向用户输出。输出方式可以是屏幕显示和打印WPS文件。最后还可进行咨询及提供一些参考建议。如果没有合适的PQR数据供参考，本系统也可以根据已有的经验或理论知识推出焊接工艺参数，并给出专家建议，起到一定的参考作用。

3. 适用范围

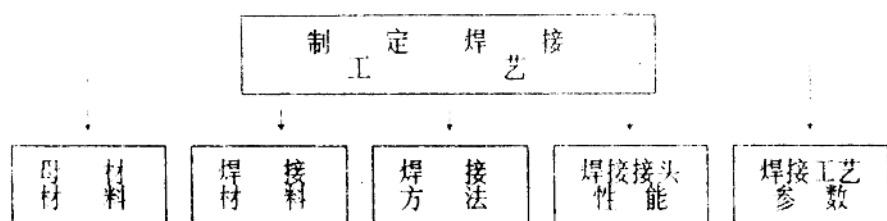
本系统的主要根据是来源于实际的PQR数据和手册、书本知识。根据PQR制定的焊接工艺说明书WPS可以直接用于生产实践，其它知识对实际生产也会有一定的指导作用。系统的应用范围如下：

- (1) 焊接方法：以手工电弧焊为主，还有自动埋弧焊、TIG焊等。
- (2) 焊接材料：以低碳钢和低合金高强度钢为主，还可以考虑性能类似的一些材料。
- (3) 应用范围：一般结构件和压力容器的焊接生产。

三、系统的专家知识

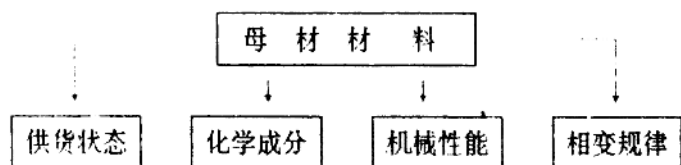
把专家系统技术应用到某一知识领域的前提是，该领域有专家。专家系统的知识就是把人类专家的经验 and 技能系统化、理论化后的用计算机表示出来的专业知识。针对制定焊接工艺这一要求，我们要考虑的因素很多，因此需要很多的专家知识。本专家系统的专家知识主要根据是：国家标准及部颁标准的一些规定、规程，经实际验证的PQR数据及经验参数，手册、工艺参考书中提供的图表、数据。

制定焊接工艺要考虑的主要因素有：母材材料、焊接材料、焊接方法、焊接接头、焊接工艺参数等等。因此系统的专家知识也可以相应分为这几大类，参看图3：

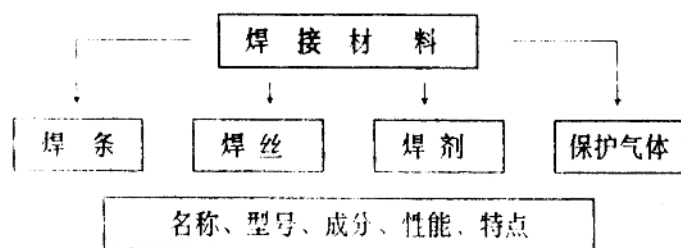


(图3—考虑因素)

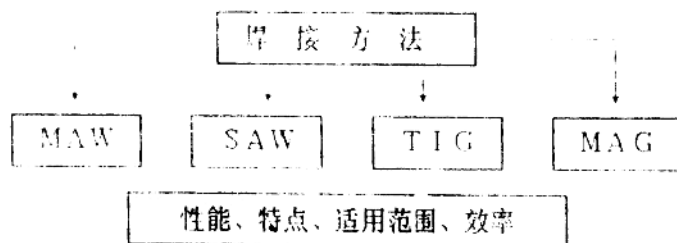
而这其中的每一项又由许多因素决定。参看图4~8，如母材材料要由其供货状态、化学成分、机械性能、相变规律等因素决定其使用性能。



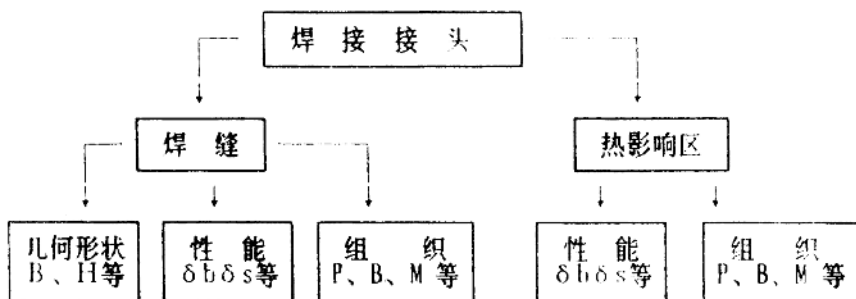
(图4—母材因素)



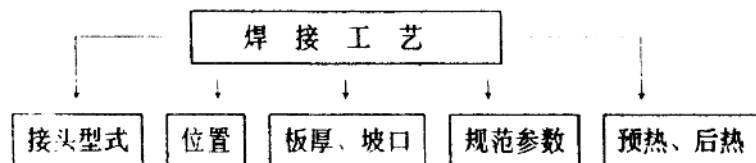
(图5—焊接材料因素)



(图6—焊接方法)



(图 7 - 焊接接头)



(图 8 - 焊接工艺)

所有这些因素都对最后的焊接质量起作用。要想制定出合理的焊接工艺，我们必须对所有这些影响因素进行分析，予以考虑。本专家系统经过大量的整理工作，把这些专家知识已转化为计算机内部的表示形式，各种知识之间通过推理机构有机的结合起来。

专家知识的存储方式分为几种形式：有基于规则型的（即以规则的形式表达）、有基于事实及表格形式的、还有外部文件说明形式的等多种形式。

四、系统的软件实现

1. 软件的运行环境

硬件配置：I B M - P C 计算机及其兼容机，配有硬盘和打印机

内存要求：不少于 5 1 2 K B。

操作系统：C C D O S 2 . 1 3 A 汉字系统。

2. 计算机语言的选择

目前，用于人工智能应用方面的计算机语言主要有两种，即：L I S P 和 P R O L O G 语言。这两种语言都有清晰的数学基础，逻辑性强，便于进行人机对话和实现智能推理过程。

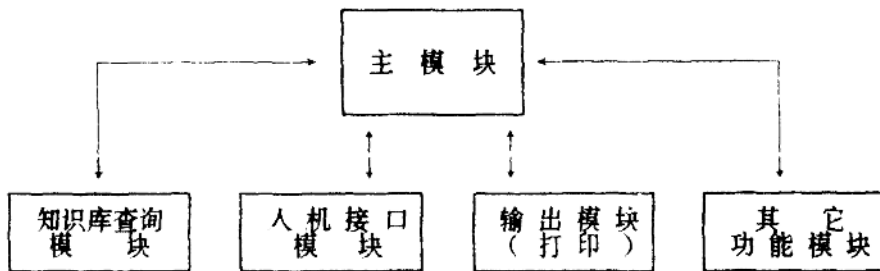
本专家系统采用了版本较新的PROLOG语言，是1986底由美国 Borland 公司推出的编译型TURBO_PROLOG语言。它除了具有其它智能语言的优点外，还有窗口功能比较强、运行速度较快、与其它语言接口容易、使用方便等一系列优点，比较适合用于专家系统的开发研制。

本系统除了PROLOG语言外，还应用了8088汇编语言和 BASIC语言，用于实现图形变换和辅助工具。

3. 系统软件的基本结构组成

本系统软件采用了模块设计方法，不同的模块用以实现不同的功能，模块之间的联系用参数的传递来实现。

模块大体上可分为主模块（推理、综合模块）、知识库查询模块、人机接口模块、输出（打印）模块及其它功能模块等等。

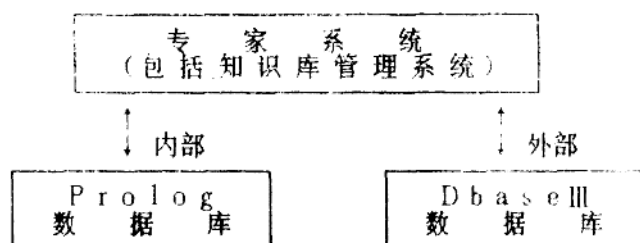


（图9—模块结构）

4. 系统的数据库

数据库可分为内部数据库和外部数据库两种。内部数据库是本系统可以直接使用的一种数据库，根据程序的需要建成易于转换成知识和规则的形式，可以随用随取；外部数据库是指可被其它程序语言直接使用的数据库，在本系统中我们采用了D b a s e III作为外部数据库，用来存储P Q R（焊接工艺评定报告）的数据，外部数据库可通过知识库查询模块与系统相联，从而成为专家知识的一部分。D b a s e III是一种比较成熟的数据库，它具有数据管理功能强、编程效率高、使用方便的一系列优点，自从推出以来，受到用户的广泛欢迎，被誉为‘大众数据库’。

本系统与Dbase III相联接,这使得本系统在数据库方面也具有Dbase III的一系列优点。而且除此之外,还享有人工智能中特有的一些优点,如能在数据库中知识的一致性、数据检索的多样化等等。Dbase III数据库可在Dbase III系统中进行查询,也可以在本专家系统中进行查询



(图 1.0 系统使用的数据库)

五、系统的工作过程及结果

1. **启动**: 由于系统采用的是运行文件,使用很方便。首先进入2.1.3.1汉字系统,再于本系统的子目录下,键入JKNW后回车,本专家系统即可以开始工作了。

2. **工作方式**: 系统通过与用户进行交互,获取输入信息,进行工作。交互过程全部采用汉字输出显示,并且配有彩色的画面及多项选择菜单供用户参考。必要时还可显示出提示帮助信息,以方便用户。整个工作过程图文并茂,输出格式丰富多彩,对各种选择还给与音响提示(如蜂鸣、音乐等等)。

3. **运行过程及结果**: 启动后,系统首先以醒目的字体显示"焊接工艺选择计算机专家系统"等字样,几秒钟后自动进入系统的主菜单。主菜单共有5个选择项,用户通过输入不同的选择编号即可进入不同的功能模块。菜单为彩色图形方式,有汉字显示选择项目并配有精心设计的图形,图文并茂,色彩丰富。

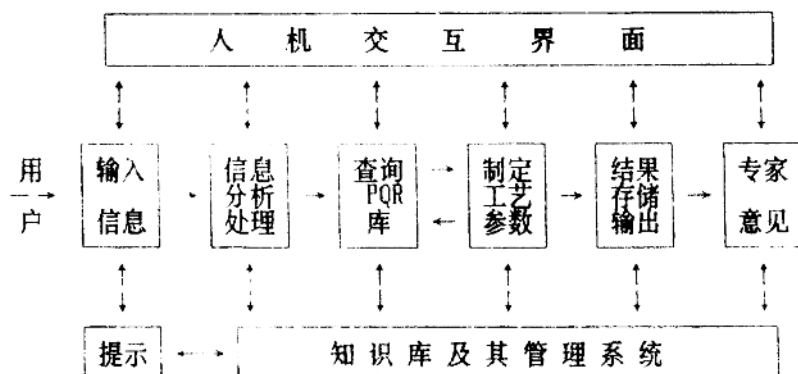
系统主菜单的选择项如下：

1. 制定焊接工艺
 2. 材料的焊接性分析
 3. 知识库查询
 4. 打印焊接工艺说明书
 5. 其它服务项目
- < Q---退出 >

用户如果选择第 5 项，则系统进入另外一副菜单，选择项目与主菜单相联接。菜单如下：

6. 本系统说明及功能演示
 7. 焊接工艺参考建议
 8. 计算焊缝组织中的铁素体量
 9. 图形绘制软件
 10. 专家接口
- < 其它键---返回 >

下面仅就第 1 项，制定焊接工艺这一主要部分，给出系统的简要工作过程及结果、建议。



(图 1 1 制定焊接工艺部分的工作过程简图)

用户选择第1项，系统就进入制定焊接工艺这一主要部分。系统首先显示前言，简单地介绍了系统将如何进行工作。按任意键后，系统开始工作，过程可以简述如下：

系统：根据最新标准，我将焊接工艺评定常用钢材分为八大类（显示出类别和提示信息），您要焊接的母材属于哪一类？

用户：选择第2类，16Mn、15MnV类钢。

系统：16Mn、15MnV类钢的牌号见菜单（菜单显示16Mn、16MnR、16MnRC、15MnV、15MnVR、15MnVRC、20MnMO等钢号），具体钢号是哪种？

用户：16Mn。（利用光标选择项目后回车）

系统：您选择了16Mn，您想把现有钢材的化学成分与钢材的标准成分作一比较吗？

用户：想比较。

系统：请输入现有钢材16Mn的化学成分的上、下限。

用户：输入C、Si、Mn、S、P等成分的含量值。

系统：经比较，成分C、Si、Mn、S、P含量合格（如不合格，系统则能指出因此而可能出现的危害）。您所焊工件的接头型式是哪种？（显示：

1. 板状对接 2. 管状接头 3. 角接接头）

用户：板状对接。

系统：工件的焊接位置是哪种？（用图形显示出4种焊接位置，即平焊、横焊、立焊、仰焊）

用户：平焊。

系统：是等厚材料的焊接吗？

用户：是的。

系统：请输入母材的厚度（mm）

用户：24

系统：经查找PQR数据库，根据PQR标准规定的替代关系，找到符合您要求的PQR记录为[8]、[平焊]、[手工电弧焊]。按任意键

用户：按键

系统：根据编号为8的PQR数据，我建议您采用如下的焊接工艺：（全屏显示工艺的第一部分，详见附表）

用户：按键

系统：焊接的工艺参数如下：（全屏显示各层焊道数、焊材、规格、电流、电压、焊速、线能量、预热及层间温度等工艺参数，详见附表）此工艺满足您的要求吗？

用户：满足要求。

系统：此W P S文件需要保存吗？

用户：需要保存。

系统：请输入保存的文件名。

用户：1 1 1 . W P S

系统：已存储该W P S文件，此W P S文件需要打印出来吗？

用户：需要打印。

系统：（以报表形式打印W P S文件，一共2页）打印结束。您想向本专家系统提问问题吗？

用户：想提问。

系统：（彩色画面显示）现在开始咨询，内容范围如下：（显示：1．母材 2．焊材 3．焊接方法 4．工艺参数 及其它提示信息）您想提问哪方面的问题？

用户：母材。

系统：具体问题是什么？（显示出一些问题）

用户：用给出的W P S能否焊接同组其它材料？

系统：根据压力容器焊接工艺评定（JB3964-85）标准的规定：同组别号中一种钢材的评定结果也适用于同组别其它钢材。所以，给出的16Mn的W P S也可用于焊接16MnR、16MnRC等材料。继续提问吗？

用户：继续提问。．．．

系统：回答问题。．．．

．．．．．

用户：不再提问。

系统：好，最后您想了解本专家系统的参考意见吗？

用户：想了解。

系统：参考意见：16Mn是35KG级的合金结构钢，这种钢材的焊接特点如下：16Mn的合金含量比较少，一般 $C_{eq} < 0.4\%$ ，淬硬倾向比A3低碳钢稍大，所以一般情况下它的加工工艺性能和A3低碳钢很近似。采用气割、碳弧气刨以及冷弯、热矫形等都不困难，焊接性也相当好，一般不必预热。只有在低温下、大厚度、结构钢性大的条件下才需采取适当的预热，一般预热 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

系统：在焊接16Mn时对点固焊的质量应该充分重视。当点固焊缝的长度短和截面小，加以低合金钢的淬硬倾向又比A3低碳钢的大，因此特别容易产生缺陷和开裂，并影响到焊缝的质量。所以对点固焊的焊条质量应严格控制，建议采用焊条J506和J507，使用前应按规定严格烘干。对点固焊的长度、截面和间隔也要做出规定，必要时采取预热措施。

用户：按任一键。

系统：根据您的要求，选择了焊条J507，它属于碱性低氢型焊条。碱性低氢型焊条使用前必须烘干，以降低焊条的含水量，减少氢的有害影响，防止产生气孔、裂纹及降低接头的机械性能。烘干温度一般为 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ ，保温时间为2小时。烘干后存放在 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的低温烘箱中，随用随取。同时应避免反复烘干，否则会使焊条的工艺性能变坏。

用户：按任一键。

系统：制定焊接工艺过程到此结束，再见！！

用户：按任一键。

系统：显示出主菜单，等待用户继续选项。

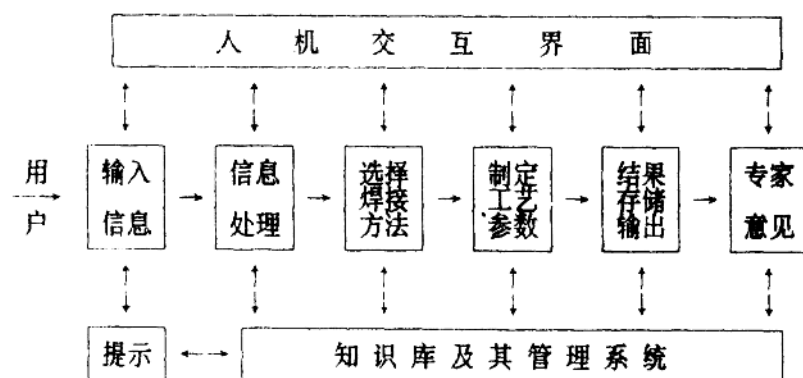
.....

以上是整个制定焊接工艺的对话过程，结果输出见附表1、表2。如果用户输入信息同上面的输入不同，整个过程也会有些不同的变化。在整个人机对话过程中，系统提供有足够的帮助信息使得用户能够了解其内部的分析过程，同时用户还可以利用功能键H得到其它的一些帮助信息。

在副菜单中的第7项中，焊接工艺参考建议与此过程略有不同，参考建议的根据不是PQR数据库，而全部是专家知识，所以得出的结论主要起参考作用。其大体过程请见简图12。

其中焊接方法的选择是根据用户的输入信息，系统进行分析处理给出可以满足用户要求的一些焊接方法让用户选择，从而确定采用哪种焊接方法。

制定焊接工艺参数时，系统不再查询D b a s e III的数据库，而是直接根据专家知识及其内部的数据库，运用推理机构进行推理分析，得出可以采用的焊接工艺参数范围。最后以焊接工艺说明书的形式向用户输出。整个过程同上面介绍的制定焊接工艺过程略有不同，输入输出信息也根据需要作了相应的变化调整。



(图1 2—焊接工艺参考建议部分的工作过程简图)

本系统的其它功能模块如：材料的焊接性分析、知识库查询、打印焊接工艺说明书等等，都能够给用户在制定焊接工艺、进行焊接性分析及查阅知识库等方面提供很大的帮助，在此不再作详细的论述。

六、结论

1. 用TURBO-PROLOG语言作为主体，我们实现了焊接专家系统QHWELD-1的研制。系统全部采用汉字信息，功能较强，图形变换丰富多彩，人机对话简单，使用很方便。

2. 本文较为全面地论述了焊接工艺选择计算机专家系统QHWELD-1的基本结构和主要功能。

3. QHWELD-1系统的数据库分为PROLOG数据库和DBASE3数据库两种, 结构较为合理。DBASE3数据库的功能很强、应用广泛, 本系统与之相联, 这提高了系统的实际应用价值, 使得系统的知识很容易维护。

4. 系统推理时根据用户的输入信息, 确定不同的路径, 选用相应的知识, 采用逆向推理和正向推理相结合的技术, 得出满足用户要求的结论。

5. 用户可以根据需要增添和修改系统的专家知识。这可以通过系统提供的一些辅助手段来实现。因此本专家系统的知识可以根据需要作出相应的调整。

6. 对专家系统QHWELD-1得出的结论, 即焊接工艺说明书的正确性已做初步的验证, 结果基本正确, 满足使用要求。

7. 本专家系统同真正实际应用相比还有一定的差距, 还需要对其知识及结构进行不断的完善和发展。在实际应用中发现问题和解决问题, 只有这样软件的水平才能真正得到提高, 实现专家系统软件的商品化。

< 完 >

参考文献

- [1] 南京大学计算机科学系编译,《中西文TURBO-PROLOG 1.1版使用手册》,1987。
- [2] 潘金贵等编译,《TURBO-PROLOG工具库》,南京大学出版社,1987。
- [3] 林尧瑞、张钹、石纯一等编著,《专家系统原理与实践》,清华大学出版社,1988。
- [4] 中国石油化工总公司标准,《石油化工工程焊接工艺评定 SHJ509-88》,1988。
- [5] 中华人民共和国国家标准,《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范 GBJ236-82》,1982。
- [6] 国家劳动局,《压力容器安全监察规程》,劳动出版社,1981。
- [7] 张文钺主编,《金属熔焊原理及工艺》上册,机械工业出版社,1980。
- [8] 周振丰主编,《金属熔焊原理及工艺》下册,机械工业出版社,1981。
- [9] 国家机械工业委员会主编,《焊接材料产品样本》,机械工业出版社,1981。
- [10] W. LUCAS, EXPERT SYSTEMS FOR WELDING ENGINEERS, Metal Construction, Vol.19. No.5. May 1987。
- [11] L. Johnson & E. t. Keravnou, EXPERT SYSTEMS TECHNOLOGY A GUIDE , ABACUS PRESS, 1985。
- [12] 周明德主编,《微型计算机 I B M - P C (0520) 系统原理及应用》,清华大学出版社,1984。
- [13] 沈美明等编译,《I B M P C (0520) 汇编语言程序设计》,清华大学出版社,1986。
- [14] 李锦峰等编,《如何使用汉字 d B A S E III (讲义) 》,清华大学出版社,1987。