

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

# 基于工艺评定的焊接专家系统的研制

清华大学焊接教研组 陈丙森 何利力

## 摘 要

基于工艺评定的专家系统主要是为制定工艺卡(WPS)服务的。它将为用户制定出包括焊接材料、坡口设计、前后热处理工艺、焊接顺序及焊接规范的完整焊接工艺卡。同时系统具有用户咨询功能,可为用户提供母材及焊接材料的性能和用途等各方面的咨询。系统主要由人工智能语言LISP编制而成,可以在IBM-PC及其兼容机11行汉字操作系统支持下运行。

## 一、前言

焊接工艺在制造过程中具有举足轻重的位置,它将直接影响到焊接件的生产 and 最终质量。

焊接工艺的制定,主要包括以下内容[1]:(1)选择焊接材料,(2)坡口设计,(3)前后热处理工艺,(4)焊接工序,(5)焊接工艺参数选择。对于重要的焊接结构,例如压力容器,根据有关标准规定必须根据焊接评定工艺报告(PQR)中合格的数据来制定焊接工艺卡。

掌握了材料的焊接性能后,在焊接生产之前还需进行焊接工艺评定以形成焊接工艺评定报告(PQR)。工艺评定具有严格的程序,我国有相应的国标,如《钢制压力容器焊接工艺评定》[2],类似的还有中国石油化工总公司标准《石油化工工程焊接工艺评定》[3]等等。各个单位尤其对于一些较大的施工单位,除现有的工艺评定(PQR)报告可供制定焊接工艺参考外,每年得花费较多的资金进行工艺评定试验。所以如果能将各单位不同的工艺评定报告,集中起来,作为共享资源,可以免作不少重复的工艺评定试验,节省大量人力物力。

WPS在过去,都是靠技术人员来制定的。然而,随着科学技术的发展,人工智能已发展到了实用阶段,尤其是新一代人工智能语言的出现,已经使计算机已能从事制定焊接工艺这类的工作。在一些国家,近年来研制了多个有关焊接工艺的专家系统,例如:WELDSELECTOR[4]是由美国Colorado School of Mines和AWI共同研制的,事实上它是一个焊接材料选择系统,包括了手工焊、气体保护焊和药芯焊丝焊接等焊接方法的焊接材料选择。另外,热输入控制,焊接坡口设计,焊接工艺与参数选择,残余应力分析等与工艺有关的专家系统也相继在国外出现了。Weldspec[5]是由英国焊接研究所和在美国爱迪生焊接研究院共同研究的工艺参数制定系统,它通过储存有关焊接的各种文件然后通过搜索,得到焊接工艺,接头设计等参数,它属于典型的焊接工艺制定系统。

在我国，计算机在焊接工艺设计方面的应用起步较晚，本系统就是清华大学焊接专家系统的一个部分，它的工作是从有关单位搜集PQR报告和各类其它数据，加上各种焊接工艺知识，组成数据库，主要用智能语言LISP编制推理机制。专家系统的最终目的是编制焊接工艺卡，其功能如图1所示。

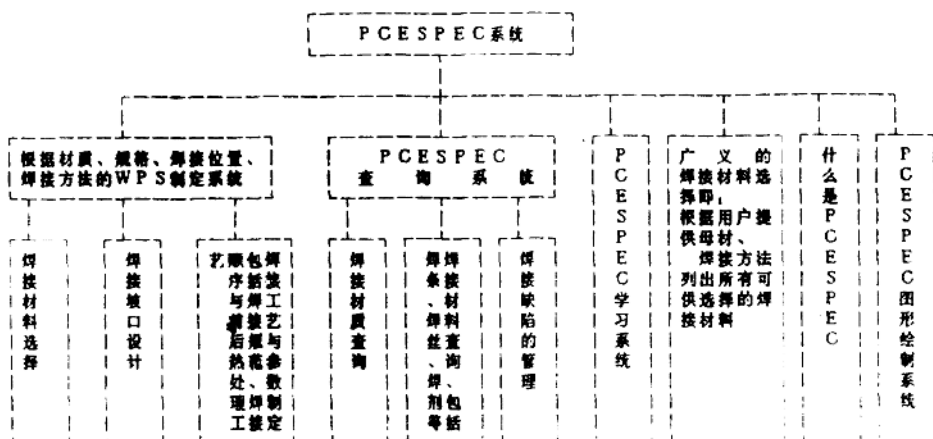


图1. 系统功能图

本系统在11行汉字操作系统下实现，适用于IBM-PC及其兼容机，适用于各种显示器，至少640K内存。

## 二、知识表示

知识的获取过程是知识从其一般形式到计算机程序的传递和转换过程。现有的知识表示方法有产生式系统，框架，语义网络，逻辑等等。本系统采用的知识表示方法为框架结构。

框架理论(frame theory)最初是在七十年代由美国麻省理工学院M.Minsky提出的一种知识表示的方法。框架提供了一种结构，在它里面新的数据将用从过去经验中获取的概念来解释。它是一种知识的结构化表示方法。同时，框架也是一种表示定型状态的数据结构，它的顶层是固定的，表示某个固定的概念、对象或事物，其下一层由一些称为槽(slot)的结构组成[6]。框架是一种层次的高级数据结构，框架下面的槽可以看成是一种子框架，子框架本身还可以进一步分层次，如侧面、值等。

焊接工艺与参数选择的专家系统就是用框架来表示知识的，它使用一种最常用的框架形式[7]：一个框架是由若干个槽组成，每个槽由若干个侧面组成，每个侧面又有若干个值组成，这些都是框架存储的信息：

```
( (框架名> ( (槽 1> ( (侧面 1> ( (值 1>
      ( (值 2> )
      .....
    )
    ( (侧面 2> ( (值 1> ) ... )
    .....
  )
  ( (槽 2> ( (侧面 1> ( (值 1> ) ... ) ... )
  .....
) )
```

下面是一个用于描述焊条的框架的例子：

```
( J507 ( AKO ( VALUE ( 焊条 ) ) )
  ( 概述 ( 特性 ( J507符合GB: E5015 相当AWS: E7015
    J507是低氢钠型药皮的低碳钢焊条。可进行全位置
    焊接。熔敷金属具有良好的塑性、韧性及抗裂性能 ) )
  ( 用途 ( 可用来焊接中碳钢和某些低合金钢 ) ) )
( 烘干 ( 温度 ( 350℃ ) )
  ( 时间 ( 一小时 ) ) )
( 参考电流 ( 2.5mm ( 60-90A ) )
  ( 3.2mm ( 90-120A ) )
  ( 4.0mm ( 140-180A ) )
  ( 5.0mm ( 170-210A ) ) ) )
```

操纵这些数据结构的过程由存取函数来实现的，存取函数沿框架名——槽名——侧面各路径存取值。函数FPUT用于存放信息，在调用这个函数时需提供一条包括框架，槽和侧面的访问路径，如：

```
(FPUT 'J507' '电源' 'VALUE' '直流')
```

就会在J507框架中开辟一个“电源”的槽，在“电源”槽中产生一个“VALUE”的侧面，存放“直流”的值。

同样FGET函数是为了提取信息的，如要提取J507的烘干温度，则只要通过以下请求：(FGET 'J507' '烘干' '温度')

其回答就会是(350℃)。

框架之间可以形成层次的以及复杂的相互关系，组成一种关系图，代表各块之间的关系。J507框架通过AKO槽与另一个框架(焊条框架)相联系。任何有关的信息，如果在给定框架中找不到，就可通过AKO关系与其发生关系的框

架中继承信息或寻找。例如要从J507框架中提取有关电源极性的信息，函数 IDENTIFY 就实现了以下功能：首先寻找J507框架中有关电源极性的信息，如果找不到，则通过AKO 槽到焊条框架中寻求默认的电源极性。

系统中还有一些比较明确的规则，可以在推理过程中直接提取使用。这些规则是由前项和后项两部分组成的，前项表示前提条件，各个条件由逻辑词组成各种不同的组合。后项表示当前提条件为真时，所应采取的行为或所得的结论

在LISP语言中的表达式为：(RULE <名字>  
(IF <触发事实1>  
.....  
<触发事实N>)  
(THEN <结论事实1>  
.....  
<结论事实N>))

如： 如果 焊接方法为埋弧焊接(SAW)  
则 焊接位置为平焊

LISP的表达式为：

```
(RULE IDENTIFY2  
  (IF (METHOD IS SAW))  
  (THEN (POSITION IS 平焊)))
```

### 三、基于工艺评定的专家系统的主要内容

本系统制定W P S 的流程图如图2.所示。

本系统主要内容说明如下：

#### 1. 数据库

本系统主要目标是由P Q R数据库推断制定W P S，因此首要的是建立各种P Q R报告的数据库。我们根据焊接材质、焊接方法和焊接位置建立了多个P Q R数据库，它们全都采用了框架结构。有关焊条、焊丝、焊剂的特性、化学成分、用途等知识则分别以文本方式建立了数据库，以供查询。

关于W P S中坡口形式的设计，本系统将V型坡口和X型坡口用不同方法处理。V型坡口形状尺寸简单，系统通过一般推理就可设计。至于X型坡口，我们按其不同尺寸建立了框架结构的数据库。在使用过程中系统主要通过搜索数据库，参考数据库中的数据进行W P S的制定。

#### 2. 搜索所需的P Q R

为编制W P S用户必须输入四个基本量：焊接材质、规格、焊接位置和焊接方法。四个基本量一经输入，本系统就开始P Q R的搜索工作，这个工作主

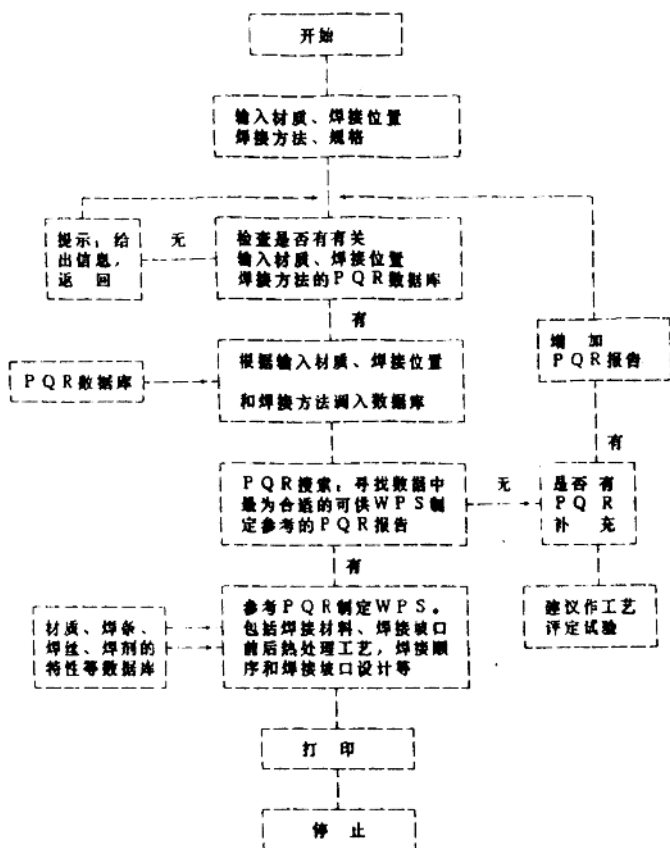


图2. 制定WPS的工作流程图

要通过函数INQUIR-EXIST来完成。它的主要功能是搜索出数据库中可供在制定WPS参考的最合适的PQR报告，下面我们具体说明其功能。

- (1) 根据焊接材质、焊接位置和焊接方法调入相关的数据库。
- (2) 在所调入的数据库的PQR报告文件中，寻找是否存在这样一个PQR报告，其材质和所输入的材质根据国标《钢制压力容器焊接工艺评定》分类是同类同组，如果不是同类同组，但工艺评定属于国标规定可以替代的范围；而二者的规格又完全相同，如果存在这样的PQR，就可取出这个PQR报告。否则继续下一步。
- (3) 查找最为接近所输入四个基本量的PQR报告。在焊接位置和焊接方法给定，材质的工艺评定可替代的情况下，根据母材的厚度进行搜索，即查找出厚度最为接近的PQR报告。

(4) 判别。设(3)搜索得到的PQR报告的厚度为T，所输入的厚度为H，判别是否满足国标规定的  $0.75T \leq H \leq 1.5T$  的条件，如果满足，取出此工艺评定报告。否则提供信息，返回。

通过INQUIR-EXIST将得到两种信息，即可供WPS编制参考使用的PQR报告或建议做工艺评定试验。

#### 3. 焊接材料选择

WPS制定中的焊接材料选择，主要根据PQR报告得到。通过PQR搜索得到的PQR报告可能有几份，在这几份PQR报告中可能用了不同的焊接材料，系统将列出这几种焊接材料供用户选择，同时在选择过程中用户可以查询包括焊条、焊丝、焊剂的各种特性、化学成分、熔敷金属的机械性能等方面内容。应该指出，用户如无特殊要求，计算机则可以推荐一种或一组常用的焊接材料。

#### 4. 焊接坡口设计

系统的焊接坡口设计包括两部分：(1)在材质工艺评定可替代的情况下，提供的规格方法与所参考的PQR报告中的完全相同，则就用PQR报告中的坡口尺寸。我们还根据PQR报告专门设计了X型坡口的数据库。这些坡口是针对使用本系统的单位的经验建立的，坡口的形状、尺寸可直接调用。(2)当母材规格与现存PQR中规格不同时，则主要参考现有PQR中的坡口数据来设计。但是设计出的焊接坡口与PQR中的基本相同，只略作修改而已。当然焊接坡口设计必须符合有关国标[8][9]。

#### 5. 焊接工艺及其有关参数

系统在坡口设计完后就给出清根工艺；然后又给出热处理工艺，主要包括预热温度，层间温度和焊后热处理的要求。热处理工艺的制定主要是根据母材性质和母材厚度决定的。

焊接顺序是焊接工艺过程的具体步骤，它的制定是根据PQR，通过一定的规则来实现的。系统最后给出焊接顺序图。

焊接工艺参数包括焊接电流、电压、焊接速度及线能量。系统参考PQR报告得到的工艺参数是一个范围。输出的数据，包括正反面焊道情况，焊接顺序，焊接方法，电流、电压、焊接速度，以便WPS的使用。

6. 经过以上一系列过程，一个完整的WPS已形成，最后结果用户可以打印输出，如图3.所示。

### 四、结论

1. 系统是针对于压力容器工艺卡的制定的，它能根据PQR工艺报告和焊接生产的一些实用数据，通过推理制定出合理而完整的工艺卡(WPS)。
2. 由于主要数据直接来自工艺评定，因此系统编制的WPS可直接为生产服

- 务 而且系统操作方便
3. 系统提供了查询功能。这种查询功能可以自成一体，也可以在工艺卡的编制过程中为用户提供咨询

程序设计:清华大学焊接教研组		COPYWRITE 10.1989				
焊接工艺说明书 (WPS)		工程名称				
		PQR NO.	A II-B42-[S+M]XP			
		WPS NO.				
		日期	11-04-1989			
材质	16MN	规格	42mm 接头型式: 板对接			
焊接方法	SAW+SAW	焊接材料	J507 W10MNSI 焊剂431			
焊接位置	平焊	烘干温度	350°C			
电源极性:		烘干时间	一小时			
预热工艺	予热温度 >=125°C	层间温度 >=125°C				
热处理:						
焊接坡口图	X 型坡口	焊接程序图				
<p>上切口角: <math>65 \pm 5</math></p> <p>间隙: 0-3 下切口角: <math>85 \pm 5</math></p>						
焊接工序及工艺参数						
正反面	正面	正面	正面	反面	反面	反面
焊接道数	[1-3]	[4-6]	[11-13]	[7-10]		
焊接方法	SAW	SAW	SAW	SAW		
焊材直径(mm)	4	4	4	4		
焊接电流(A)	180-200	700-720	580-810	700-720		
焊接电压(V)	21-23	35-36	35-36	35-36		
焊接速度(mm/min)	7-10	33-38	33-46	33-38		
线能量(kj/cm)	24-36	40-45	27-52	40-45		
编制	校核	审查	批准			
备注:						

图3. WPS 输出



4. 系统主要是用GCLISP语言编制的。由于语言的特点，使系统具有较强的推理功能。
5. 系统的数据库和推理机制还需不断补充和完善，以适应各种情况。由于GCLISP语言版本的特点，目前的图形打印功能有待更好的完善。

## 五 参考文献

- [1] P.T. Houldcroft, *Welding Process Technology*, Cambridge University Press, 1977.
- [2] 中华人民共和国国家标准(待批稿), 钢制压力容器焊接工艺评定。
- [3] 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, 北京。
- [4] Expert System Matches Welding Electrodes to the Job, *Welding Journal*, April, 1987.
- [5] A.D. Brightmore, Microcomputer software helps welding engineering, *Joining & Materials*, November, 1988.
- [6] 林尧瑞等, 专家系统原理与实践, 清华大学出版社, 1988年4月。
- [7] P.H. 温斯顿, B.K.P. 霍恩著, 黄昌宁, 陆玉昌译, LISP程序设计, 清华大学出版社, 1988。
- [8] 中华人民共和国国家标准, GB985-80, 手工电弧焊焊接接头的基本型式与尺寸。
- [9] 中华人民共和国国家标准, GB986-80, 埋弧焊焊接接头的基本型式与尺寸。