

用于故障诊断中的知识库系统

王冰晓

(哈尔滨船舶锅炉轮机研究所)

Gabriel Silva

(美国俄克拉何马州立大学流体动力研究中心)

[提要] 本文提出了一种采用知识库系统对系统失效状态进行诊断的方法, 此方法以模糊集理论为基础。发展了一个计算机程序用于诊断系统的失效状态, 并给出了一个液压系统故障诊断的应用实例。

主题词 知识库系数 模糊集 知识采集 知识处理 故障诊断

前 言

备有由专家给定信息的知识库系统可以解决有针对性的实际问题。研究人员已经发现了许多途径来应用这种新技术, 其一是用来诊断一个系统的失效状态, 并且给出维修与防护的建议。内燃机诊断系统就是一例。此系统中的知识库包含有大约 530 条规则, 不久将被扩展到 1200 种^[1]。

采用知识库系统的一个问题在于某个系统用于诊断一种失效状态所需要的知识量。一般来说, 知识库应能较深刻地理解一个专门系统的运行方式, 并较全面地掌握系统所经受的失效状态和影响因素的种类。鉴于此, 每一个知识库系统都是不同的, 只用于某一专门系统。

我们以计算机程序发展了一种新方法, 从复杂系统可靠性角度, 对失效状态的共同效果进行分析。采用了知识采集和知识处理的概念, 并用模糊集理论对信息内在的不确定性进行处理, 本文给出了一个液压系统的故障诊断实例, 相信这一方法也可以用于其它领域。

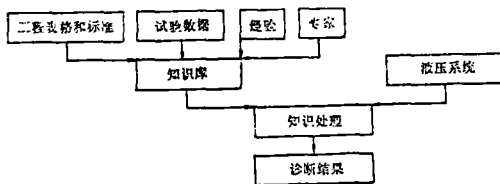


图1 知识库故障诊断系统的功能方框图

知识库系统

图1展示了一个知识库故障诊断系统的功能方框图。发展一个知识库系统, 应考虑两个问题: 知识采集和知识处理^[2]。

1. 知识采集

※ 本文收到日期: 1987年11月19日

此阶段,知识库系统接收和存贮信息。信息来自四条途径:专家、工程表格及标准、试验数据和经验。专家可以展示他们解决问题的过程,从中发展一系列反映问题解决过程的规则。没有专家时,知识工程师需要求助于其它三条途径。

一旦接受了信息,知识库系统就要以一种有用的形式存贮这些信息。选择一种合适的知识表达方式是知识采集的关键因素。在实际应用中,如何表达知识取决于知识库的大小。

2. 知识处理

此阶段,知识库系统用所获得的知识通过归纳或演绎方法来解决[2]。

发展一个知识库系数来估计液压系统

为了建立液压系统故障诊断知识库系统,可以采用现有的知识。FPRC^{*}的研究人员已经对几乎所有流体动力工程中的元件和系统进行了研究和试验。他们建立了一些工程上可接受的过程以估计液压元件和液压系统,还发展了一套流体动力工业的性能估计标准。这些素材为建立一个初步的知识库以诊断液压系统或元件的失效状态奠定了基础。

1. 知识采集

在诊断液压系统失效中,必须考虑许多因素。其中两个主要因素是元件的失效状态和系统的工作条件。

单独液压元件失效状态信息可以通过 FPRC 元件的估计[5] 获得。

在这些过程或试验中,每一项分别表达各元件某一失效状态的严重性,并给出不同的标定参数。既给出了给定元件失效状态的种类,又决定了一种或更多种导致这一失效状态的影响因素。这些过程和试验还考虑了其它一些影响此种元件失效的不太明显的因素,即所谓“边缘效应”。例如,流体的污染程度、负载循环次数以及不良的进口压力可能分别导致液压泵的磨损、疲劳和气蚀。气蚀也会引起泵零件的磨损。类似这种复杂情况有时很难分析。尽管如此,每一种失效状态可以由 FPRC 的估计过程对元件进行试验或通过采访熟悉相应元件的专家进行独立的描述。另外系统的工作条件既影响系统本身的可靠性,还影响组成系统的元件的可靠性。

系统的工作条件包括施加于运行中的某一元件现场影响特性、幅度和周期性。这些影响有压力,液体的污染程度,负载的循环次数和温度、寿命限制的组成方式以及其它一些因素。在这种情况下,从前所得到的元件估计特性可能发生变化。从而,在新的条件下有必要对每一元件的状态进行校正。

使用 FPRC 的数据[6]以及其他研究人员[6,7]的结果,我们把大多数实际过程中的失效状态和影响因素汇集在表 1 和表 2 中。表 1 概括了液压元件的一些数据;表 2 列出了液压系统的影响。

※ FPRC系 Fluid Power Research Center 流体动力研究中心之缩写

表 1 液 压 元 件 估 计 标 定 值

元 件	失效状态	主要影响	标定单位	估计试验	模 糊 标 定			隶 属 方 程		
					低 0-0.3	中 0.3-0.6	高 0.6-1.0	范围	Y	Z
泵	磨 损	流体污物	Ω	OSU-P-7	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-P-1	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	气 蚀	入口压力	kPa	OSU-P-2	$9.81 \times 10^5 \sim 6.87 \times 10^5$	$6.87 \times 10^5 \sim 5.89 \times 10^5$	$5.89 \times 10^5 \sim 0.98 \times 10^5$	$9.81 \times 10^5 \sim 0.98 \times 10^5$	4.41×10^5	0.98×10^5
软管	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-N-14	$10^5 \sim 6 \times 10^4$	$6 \times 10^4 \sim 4 \times 10^2$	$4 \times 10^3 \sim 10^2$	$10^5 \sim 10^3$	5×10^3	10^2
	老 化	温度	℃	OSU-N-10	-20~0	0~150	150~250	-20~250	125	250
硬管	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	腐 蚀	水含量	水β	OSU-V-2	10~7.0	7.0~6.0	6.0~1.0	10~1.0	5.5	1
直流电磁阀	磨 损	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	液 压 锁	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
		负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
伺服阀	磨 损	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	液 压 锁	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
		负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
溢流阀	磨 损	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	液 压 锁	流体污物	Ω	OSU-P-11	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
		负载循环次数	次	OSU-V-14	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
油缸	磨 损	流体污物	Ω	OSU-HC-7	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OSU-HC-5	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
	滑动密封失效	污物注入	β	OSU-HS-4	$10^6 \sim 8 \times 10^5$	$8 \times 10^5 \sim 9 \times 10^4$	$9 \times 10^4 \sim 10^2$	$10^6 \sim 10^2$	5.5×10^4	10^4

续上表

马 达	磨 损	流体污物	Ω	OSU-P-7	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	疲 劳	负载循环次数	次	OUS-P-1	$10^6 \sim 7 \times 10^5$	$7 \times 10^5 \sim 4 \times 10^4$	$4 \times 10^5 \sim 10^3$	$10^6 \sim 10^3$	5×10^5	10^3
过 滤 器	旁路泄漏	流体污物	Ω	OSU-F-2	0~5.0	5.0~10	10~50	0~50	25	50
		负载循环	次	OSU-F-3	$10^5 \sim 6 \times 10^4$	$6 \times 10^4 \sim 4 \times 10^3$	$4 \times 10^3 \sim 10^2$	$10^5 \sim 10^2$	5×10^4	10^4
	END LO-ADING	温 度	℃	OSU-F-6	-20~0	0~40	40~100	-20~100	40	100
	介质疲劳	循环次数	次	OSU-F-5	$10^5 \sim 6 \times 10^4$	$6 \times 10^4 \sim 4 \times 10^3$	$4 \times 10^3 \sim 10^2$	$10^5 \sim 10^2$	5×10^4	10^4
油 箱	污物注入	外界污物	空气 β	OSU-AF-1	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	水注入	水由空气注入	水 β	OSU-AF-2	1.0~2.0	2.0~6.0	6.0~10	1.0~10	5.5	10
	AERATION	温 度	℃	OSU-R-3	0~2.0	2.0~8.0	8.0~10	0~10	5	10

表 2 液压系统的环境影响值

影响因素	单位	模糊标定			隶属方程		
		低 0~0.3	中 0.3~0.6	高 0.6~1.0	范围	Y	Z
流体污物	mg/l	0~5	5~30	30~50	0~50	25	50
负载压力	kPa	$9.81 \times 10^6 \sim 9.81 \times 10^7$	$9.81 \times 10^7 \sim 1.92 \times 10^8$	$1.92 \times 10^8 \sim 2.94 \times 10^8$	$9.81 \times 10^6 \sim 2.94 \times 10^8$	1.42×10^8	2.94×10^8
入口压力	kPa	$1.96 \times 10^6 \sim 0.98 \times 10^6$	$0.98 \times 10^6 \sim 0.49 \times 10^6$	$0.49 \times 10^6 \sim 0$	$1.96 \times 10^6 \sim 0$	0.98×10^6	1.96×10^6
污物注入	(#P>10μm)	$10^7 \sim 10^8$	$10^8 \sim 10^9$	$10^9 \sim 10^{10}$	$10^7 \sim 10^{10}$	5.5×10^8	10^{10}
过滤空气	(#P>10μm)	$10^7 \sim 10^8$	$10^8 \sim 10^9$	$10^9 \sim 10^{10}$	$10^7 \sim 10^{10}$	5.5×10^8	10^{10}
由空气注入的水	PPM	200~400	400~800	600~800	200~800	500	800
温 度	℃	30~100	100~140	140~250	30~250	140	250

- 注： (1) 用于对元件估计的数据代表 FPRC 所做类似元件的试验结果；
 (2) 对“边缘效应”进行的是主观的估计；
 (3) 在没有对某一元件进行估计的数据时，我们采用相关的数据进行估计；
 (4) 表 1 和表 2 展现了如何使用所发展的方法。每一个元件所经受的失效状态和影响因素可能比列在表中的更多。更详细的情况，请参考[6]。

2. 知识处理

研究元件失效状态对系统可靠性的影响有许多方法[8]。先讨论几种不太成功的方法，进而引导出较先进的模糊集理论法。其中两种方法是“失效状态结果分析法(FMEA)”和“临界状态分析法(CA)”。FMEA法基本上是一个单一失效分析

过程,即在研究失效结果时,每一个失效状态被看作是单一的。CA法也遵循着前者的原理,只是还决定着与所定义的失效状态有关的系统中元件的临界状态。另外一种方法是“故障树法(FTA)”。它起始于引起失效的事件,然后对系统中不同失效状态的效果进行共同估计。“故障树法”的主要缺点是牵涉到复杂的逻辑关系,并且大的“故障树”难以理解^[10]。其它一些传统方法虽已被用于诊断系统的失效状态,但尚未得到令人满意的结果,其主要原因是它们的假设条件都有局限性。

由Gazdik发展的一种方法为失效状态估计提供了一条新途径。该法基于模糊集理论,由现场影响和失效状态的模糊量化方式构成。基于元件的“决定方程”,失效状态和影响因素的关系根据现场的实际条件进行校正。该法按照排列的方式,选出系统中的临界元件和临界影响,从而对整个系统进行诊断。

3. 方法

我们的方法以Gazdik法为基础,进行了一些修改,使之能更有效地用于液压系统的失效分析,其步骤如下:

(1) 元件估计

- a. 对每一元件组成一个表明“失效状态”和“影响因素”的关系矩阵。把“影响因素”放在列(从上到下);把“失效状态”放在行(从左到右);
- b. 使用表1所列出液压元件估计试验结果,将相应元素填入关系矩阵;
- c. 如果没有试验数据,采访有关专家;
- d. 应用“隶属方程”估计影响因素和失效状态的等级;
- e. 必要的时候填入“边缘效应”。

(2) 现场估计

在分析和诊断系统失效过程中,有时很难区别各种影响因素之间的关系。模糊集理论中正交算子的选择可能是解决这一问题的一条途径。模糊正交算子可以据实际应用采用不同的形式。

Gazdik法是基于尽早避免和防止某些影响因素的角度,而且根据某种影响能够避免或排除的难易程度,对每一影响因素进行校正。鉴于此,需要寻求一个适当的发生方程以满足这一要求。

如前所述,在液压系统中,现场条件对每一种元件均产生相应的影响。本故障诊断系统首先收集每一种液压元件失效状态和影响因素的有关数据,然后就现场参数对关系矩阵影响的严重程度进行估计。每个元件要根据实际的工作条件对影响变量的输入矢量进行估计。为了得到两个模糊集的正交值,我们发展了一个校对方程,可以获得校正后的关系矩阵。用Zadeh^[3]或Gazdik的正交公式对现场影响严重程度进行估计,其结果和所预计的并不一致。

我们发现,在对每一种元件进行校正中,使用方程(1)可以得到较满意的结果。这一方程可以被用来校正关系矩阵。

$$D = R (1 - x) \tag{1}$$

式中 R: 影响和失效状态之间的关系;

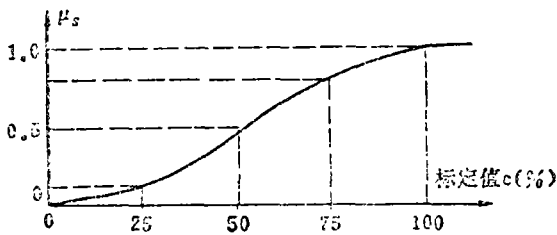
X: 现场影响值;

D: 对于整个系统的影响。

采用这一方程, 实际的影响变量值可以采用表2进行估计。

(3) 隶属方程

隶属方程具有主观性, 可以通过试验法、统计法或经验法获得。在液压系统中, 考虑影响因素对失效状态的效果时, 元件估计过程中参数的变化是连续的, 因而我们发展了具有以下形式的隶属方程:



$$\mu_s = \frac{1}{1 + \left(\frac{C-Z}{Y}\right)^2}$$

式中 C: 实际标定值;

Z: 100%时的标定值;

Y: 50%时的标定值;

图 2 表达了这一隶属方程。

C是实际的标定值或现场测定值,

图 2 隶属方程的图形表达

而 Z 和 Y 根据不同的影响因素可能具有不同的值, 请参考表 1 和表 2。

(4) 诊断

- a. 对于每一个元件, 在校正后的元件矩阵行上, 使用最高的影响值组成一个矢量
- b. 构成由一个步骤 a 中以每一个元件矢量组成系统矩阵;
- c. 在所有的影响因素中, 选择元件之和最大者作为临界影响;
- d. 在所有元件中, 选择影响因素之和最大者为临界元件。

4. 方法的实施

我们发展了一个计算机程序来实施这种方法。这一程序能够按照需要改变元件的估计数据或现场条件。

在计划编制程序前, 首先考虑了以下问题:

(1) 本程序应便于使用, 能够提供类似于使用说明, 数据输入步骤以及使用范等方面的信息;

(2) 程序应该能够使用户得到清晰可辨的诊断结果, 并且应能解决使用范围内的问题;

(3) 程序应向用户指明诊断结果的性质。如有可能, 应提供下一步采取的相应措施。

我们采用 BASIC 语言用结构编程法编制了此程序。程序基本上采用迭代方式, 引导使用者一步一步地遵循着一确定过程。整个程序由四个部分组成:

(1) 程序信息

此部分介绍这一程序的功能, 并给出基本的引导和所需要的有关参考资料。

(2) 数据输入

程序将要求使用者提供下列数据:

- a. 系统的鉴别;
- b. 诊断序号;
- c. 定义包括在诊断系统中元件的数量;
- d. 从显示的元件中选择出将要诊断系统中的元件;
- e. 用知识库中每一元件的输入标定值来填充元件的数据库;
- f. 根据列出的几种典型影响因素, 以实际值形式输入现场影响变量值。

程序对系统元件, 重要的失效状态和典型影响变量具有“默认”信息。这些信息来源于液压元件的估计试验(表1)。

(3) 数据处理

程序首先借助于每一个隶属方程将元件和现场的数据转换成模糊集的表达形式。然后根据方程(1)对每一元件进行校正。利用所得到的各种影响因素对每一元件作用最大值组成一个模糊矩阵, 从而可以找出临界元件和临界影响。

(4) 结果的输出

程序提供了以下输出结果:

- a. 问题的鉴别;
- b. 诊断系统中的元件表;
- c. 失效状态表;
- d. 影响变量表;
- e. 元件估计数据 (包括原始输入值和它们相应的模糊式);
- f. 系统诊断的模糊矩阵;
- g. 临界状态分析 (包括临界影响和临界元件);
- h. 关于诊断结果的一般性建议;
- i. 下一步应采取的措施。

程序框图如图3所示。程序既可就独立元件进行诊断, 也可对整个系统进行判别。

今后的发展

由于知识库系统的整个结构和功能性是基于知识采集过程中所获得的信息, 所以这些信息必须既准确又详细才能得到令人满意的诊断结果。相应地, 知识库应随知识的增多不断加以扩充, 且这些知识则应以失效状态和影响因素之间的逻辑关系形式进行存储。

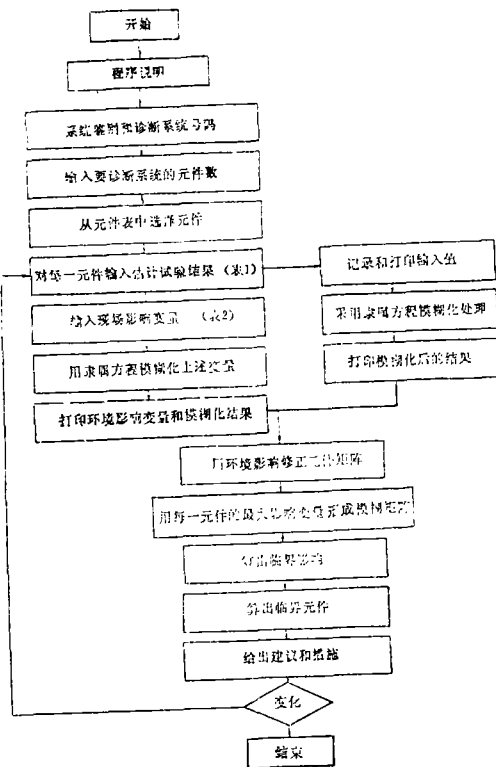


图 3 程序框图

在用户接口处,对现场工程师与专家间的采访方式应加以改进。程序可以进一步发展以便能够直接采访专家。例如:当现场工程师陈述一个问题时,应该有一个足够“聪明”的程序通过知识库或采访专家来直接获得知识。进一步地,每一阶段现场工程师应该被邀请,从而对专家所作出的判断和决定进行评论,直到一个满意的措施被采纳为止。

另外,建议方式应该根据知识库给出。换句话说,关于系统失效状态以及措施应该基于知识库的规则给出。这些规则应以条件语句的形式来建立:如果(条件),那么(措施)。

结 论

在系统的可靠性分析中,为了诊断影响变量和失效状态的共同作用效果,我们程序化了基于模糊集理论的一个现有算法。在所建立的初步知识库基础上,这种程序化的诊断提供了一种隔离系统中临界元件和临界影响的方法。所编程序,能够对系统的可靠性进行初步估计,也可用来模拟一个新系统的工作条件。

本程序可应用于任何系统。程序可以被扩充成为具有更多的功能和“默认”信息,也可以允许输入信息的变化。这种诊断方法还可以根据实际的应用通过修正决定方程和列队方式的途径进行相应的修改。进一步说,这种方法也能够被用来产生系统的文件,以便今后用于系统的仿真。

下略:附录1 模糊集理论回顾

附录2 模糊集及其有关的性质

附录3 液压系统故障诊断

参 考 文 献

- [1] Bonissone. P.P and Johnson, H.E Jr: "Expert System for Diesel Electric Locomotive Repair." Human Systems Management. 4. 1984
- [2] Kinoglu, F and Rileg,D:"Artificial Intelligence: Expert System Model of the design Process" Design News, 3-3-86, 1986
- [3] Zadeh, L. A.:"Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process,"IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics, 3 (1) 1973
- [4] Gazdik, I., "Fault Diagnosis and Provetaiov by Fuzzy Sets",IEEE Trans.on Reliability, 34 (4) 1985,10.
- [5] Recommended Procedures for Evaluating Fluid Power Components and Systems, OSU-MERDC, Hydraulic Program Personnel, Fluid Power Research Center, Oklahoma State Univ-rsity, FPRC No.72-1-72
- [6] Komarov, A.A.: "Relibility of Hydraulic Systems", Translation Foreign Technology Division, Air Force Systems Command, U.S.Air Force, 1969
- [7] "MHE 236 and MHE 237 Forklift Truck Hydraulic Systems Reliability Analysis", Fluid Power Research Center, OSU, Report NO.85-AF-3, 1985
- [8] Henley, B.J. and Kumamoto, H.:"Reliability Engineering and Risk Assessment", Prentice-Hall Inc., Englewod Cliffs, N.J., 1981

- [9] Fitch, E.C.: "Failure Analysis and Prevention", FES, Inc, Stillwater, Oklahoma, 1984
- [10] Bonissone, P.P.: "Failure Diagnosis and Decision Making in Industrial Processes: A Fuzzy Set Application", Proceedings of the 1981 Conference on Decision and Control, 1981

Knowledge Based System Used in Failure Diagnosis

Wang, Bingxiao

(Harbin Marine Boiler and Turbine Research Institute)

Gabriel Silva

(Fluid Power Research Center, Oklahoma State University, U.S.A.)

Abstract

This paper presents a method for diagnosing failure conditions of a system using a knowledge based system, which is based on the fuzzy set theory. To facilitate the use of this method, a computer program for diagnosing system failure modes has been developed, with a hydraulic system serving as an application example.

Key Words: knowledge based system, fuzzy set, knowledge acquisition, knowledge processing, failure diagnosis

新技术新产品信息

R88~31 DZS 4—13—Q 型燃用天然气的新型锅炉

本炉设计新颖, 采用“人”字型结构、多枪单值式燃烧器, 只设鼓风机, 用液力偶合器调节风量和风压, 风道、底座等和锅炉受热面结合为一体。结构紧凑、体积小, 重量轻。燃烧充分、稳定。设有熄灭自动保护装置。运行安全可靠。工作参数: 额定蒸发量4T/h; 工作压力13kgf/cm² (表压); 给水温度20℃; 空气预热温度140℃; 设计效率 $\eta > 85\%$, 测试效率已达90%。服务方式: 提供产品, 技术转让, 技术咨询, 也可根据用户要求重新设计。

(如需以上技术请与编辑部联系)