

纸厂制浆过程实时专家系统

何万里 (珠海未来科技开发公司 519015)

摘要:介绍一个用于纸厂制浆生产过程控制的实时专家系统,论述了该系统的结构体系,并对知识库的组织形式、专家决策方法、诊断与控制的实施技术等作了进一步阐述。

关键词:实时专家系统 模糊推理 故障诊断 专家控制 智能控制

一、引言

蒸煮是纸浆厂制浆生产过程中,最重要的工艺环节,其生产过程是一复杂的多相物理化学反应过程。大多数制浆造纸企业已实现了间歇蒸煮化学浆的计算机控制,并收到了一定的效益。由于受当时理论和技术条件的限制,运行中越来越表现出不足。我们从企业需求出发,根据原有控制系统的特点,综合专家系统技术、控制理论和模糊理论,研究开发了制浆蒸煮的实时专家系统。

二、总体结构

为了能对蒸煮过程进行有效控制,并考虑原有系统的特点,我们建立了一个具有实时专家系统和计算机监控的二级结构的分布式智能控制系统(如图1),上位机是实时专家系统,是设计的重点。前端机以企业原有的

计算机监控系统(简称监控机)为基础,作必要的改造和扩充后,通过 RS485 网与上位机相连。处于低层的监控机在高层的实时专家控制系统管理下工作,二台监控机以 IPC386 为中心,分别完成 4 台 110m³ 蒸煮锅蒸煮过程的数据采集和实时控制。每台监控机以固定的周期向实时专家系统(在不引起混淆时,简称系统),传送现场采集到的状态信息(模拟量和开关量等),并负责执行专家控制的决策。

三、实时专家系统的设计

实时专家系统是整个智能控制系统的核心,它的完善程度,直接影响到蒸煮过程的控制效果和智能化水平的高低。本系统的设计思想包括三个方面:①故障的诊断与处理。能根据采集到的数据及时预报传感器、执行机构及工艺设备和工艺生产过程等故障,对已出现的故障,能根据它的原因和性质提供有效的排除故障的方法;②要有良好的过程控制效果。工艺上体现在粗浆的得率、均匀性和 kappa 值的稳定性,还要有一定的适应能力,可以较好的满足企业产品结构调整和工艺变化的需要(柔性生产);③提供一个用于操作培训用的仿真环境

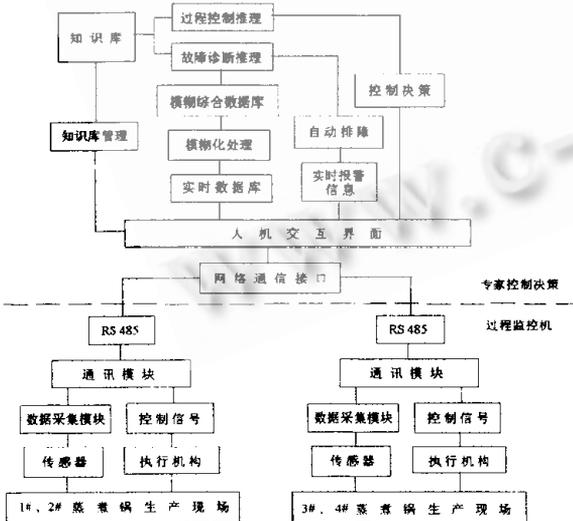


图1 系统体系结构

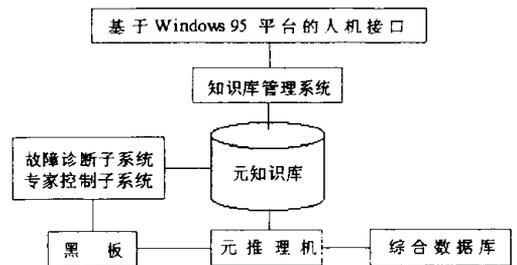


图2 蒸煮过程实时专家系统

(这部分内容已超出本文范围,从略)。设计过程中,用模糊技术来处理过程中不确定性问题,避免了专家系统所谓的“脆弱性”。该实时专家系统由专家控制子系统和故障诊断子系统组成,如图2所示。

1. 知识库的组织构成

设计实时专家系统,首要问题是建立蒸煮这一生产过程的知识库。知识库中的知识来源于制浆工艺工程师、操作工人和过程控制工程师有关的生产过程和过程控制的理论与经验知识,这是本系统知识获取的主要途径,我们将这些知识分类组织成图3所示的树形结构。

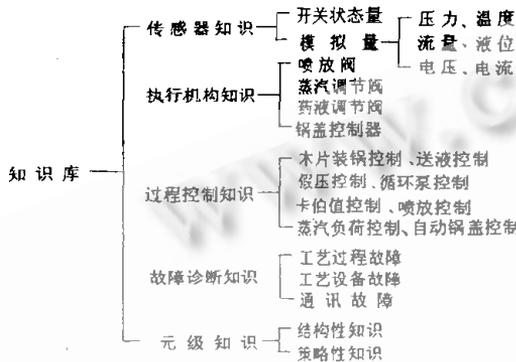


图3 知识库的组织结构

2. 知识的表达形式

建立知识库有二方面的工作,除上面提到的知识获取外,另一方面的工作就是知识的表达,即知识的机器表示。已有的知识表达方法有谓词逻辑、时序逻辑、语义网、产生式、框架法和 petri 网等,它们都各有特色和适用范围。由于产生式系统具有接近人的思维模式,易于理解和人机交互,且表达格式相同,一致性好,各规则又相对独立,增删、修改也较容易等特点,因而在模糊控制、智能控制及专家系统中有广泛应用,本系统采用模糊产生式规则表示方法,其模型为

R_i if(条件) then(结果) with $CF(R_i)$ (1)

式中, R_i 为规则号, CF 为规则的可信度($0 < CF \leq 1$)。知识库中的规则,有确定性规则和不确定性规则二种,为保证规则形式上的统一,对于确定的、不需要作模糊化的规则,可信度 CF 取为 1。

3. 故障的实时诊断与处理子系统

该子系统负责对故障进行预测、预报和诊断定位,并根据发生故障的具体性质、部位及故障的类别,采用不同

的处理方法。这里所指的故障,它包括通信故障、工艺设备故障和过程控制故障三方面内容。

通信故障诊断的主要功能是检测系统与监控机间通信和接口是否正常;对数据库、知识库的访问是否顺利;键盘输入的参数、指令是否合法。

工艺设备故障诊断则完成传感器、执行机构、主要电气设备和工艺设备运行状况的监视,检测传感器是否正常的方法之一,是估算出传感器的动态测量方差,其中一条规则为

```
R41  if  1#换热器出口温度测量值>20℃ and
        1#换热器出口温度测量值<260℃ and
        1#换热器出口温度测量值均方差大于8℃
    then 1#换热器出口温度变送器有故障 with CF =
        0.8
```

对电气设备则采取监视其工作电压和运行电流的方法。例如,检测循环泵电机 M1 运行状况的规则有:

```
R52  if  2组1#循环泵电机 M1 有二相电流偏高 and
        一相电流接近或等于0
    then 电机缺相运行 with CF = 1.0
    对应这一故障的处理规则,有:
```

```
R76  if  M1 缺相运行
    then 进入启用备用电机 M2 的过程 with CF = 1.0
```

过程控制故障诊断是对蒸煮反应过程中的工艺故障的初步预测和诊断处理,以下是诊断药液循环系统的一条规则:

```
R61  if  药液流量值偏小 and
        药液流量变送器工作正常
    then 药液循环系统故障 with CF = 0.7
```

4. 专家控制子系统的设计

专家过程控制子系统主要有八个控制单元,它们是木片装锅控制、送液控制、“假压”控制、循环泵控制、Kappa 值控制、喷放控制、自动锅盖控制、蒸气负荷平衡控制等,下面就其中两个单元的处理方法作一简介。

(1)假压控制。“假压”是由于锅内存在有空气和原料在蒸煮过程中排出的不凝性气体所致。由于“假压”的存在,不仅使测量到的压力值不能真实的反映出蒸汽温度压力关系曲线,而且还影响药液对原料的渗透,该单元的控制模型为规则模型,其中一条规则描述为:

```
R28  if  顶部压力偏差正大
    then 打开排气阀 with CF = 0.9
```

(2)蒸煮质量的预报与控制。工艺上衡量蒸煮质量的一个主要指标是 Kappa 值(或高锰酸钾值)和它的标准

偏差,我们这里以蒸煮过程的理论经验模型作为 Kappa 值的预报与控制的基础,其形式为:

$$K = a(H_f - H_s)^{-\gamma} EA^{-\beta}$$

$$K = \int_0^t \exp(B \cdot A/T) dt \quad (2)$$

式中, K—蒸煮过程中纸浆的 Kappa 值

H—H 因子

H_s—有效碱取样时的 H 因子

H_f—蒸煮结束时的 H 因子

t—蒸煮时间

T—蒸煮温度(绝对温标)

a、γ、β、A、B 为待定系数,可由实验和回归法得出。

蒸煮质量的预报,以式(2)作为预报决策模型,根据工艺制定的蒸煮曲线,对 K 值作出预测,并预报喷射时间。Kappa 值的控制,则以式(2)作为参考模型,充分挖掘深层知识,结合领域专家的经验,构成控制规则模型。

5. 元知识库

从图 3 中可以看出系统中除了过程控制知识、传感器知识等这些启发性的经验知识和规则外,还有一类元知识。所谓元知识就是关于知识的知识,即如何使用、组织和管理过程控制和故障诊断二个子系统的知识,它们有用于描述该系统的组织结构的结构性知识,有用于描述如何选择使用规则的策略性知识。如:

R76 if (1)传感器 3LB 有效障 and
(2)目标规则前提存在“传感器 3LB 的测量值偏大”

then 满足(2)的目标规则不予执行 with CF = 1.0

元知识集中在元知识库中,它不涉及如何诊断故障和实施过程控制,而是一个在更高层次对它们进行协调和管理决策、对结果加以分析、综合评价,得出最终的控制决策,以完成整个过程的控制。

6. 黑板

黑板是一中间数据库,故障诊断和专家控制二个子系统推理产生的一系列中间假设和决策结果等中间信息在黑板上发表,同时它又是二个子系统之间唯一通信场所,它们之间通过黑板完成信息交流。

7. 推理机制

为保证系统的实时性,采用基于规则的正向推理方法,来控制知识推理的运行。本文使用模糊集合论、可能性理论进行联合推理,推理过程简述如下:

①取出规则的前提条件中的模糊概念与事实(模糊数据库的数据)匹配。

②激活匹配的规则,并计算出它们的匹配程度。

③若有多条规则激活,则构成冲突集(R_1, \dots, R_N),冲

突消解策略为最大匹配原则。

④计算出结论的可信度。对于可信度小于设定的动作阈值的结论,不直接向监控系统发操作指令,而是通过人机交互方式,显示在屏幕上由值班操作员现场决策是否执行本次操作。

四、系统实现

系统在 Intel 586/233 CPU 的工业 PC 机上实现,基于面向对象的方法和技术开发。用面向对象的方法开发专家系统,领域知识到产生式规则为直接映射,转换自然,可重用性好,易于维护。监控机与系统的通信及专家系统的设计均采用 Visual C++ 语言编程完成,开发后的软件运行于 Windows 95。

系统总体运行过程如下(软件 00 模型略):

①在进入主菜单中,若选择实时专家控制功能,监控机便与 PC 机间建立起双向通信,PC 机将监控机采集到的数据,按通信协议,存放于实时数据库中。若启动仿真运行菜单,则完成模拟培训功能。

②在实时专家控制时,专家系统在每个采样周期进行一次推理,一旦诊断出故障,便以多媒体形式报警,并给出故障原因和相应处理。对完成不能判断原因的故障,则中止对知识库搜索,保留推理链,备以后分析。

③实时过程控制单元在工艺生产流程的不同阶段发挥作用,控制决策来自专家系统,监控机收到控制指令后,驱动相应执行机构实现对过程的控制。

五、结束语

本文采用专家控制决策和过程监控二级分布式系统结构,在硬件上可以重用原有监控系统的资源,节约了企业的技改资金。而且对现场和输入、输出通道改动很少,安装和调试时间也相应减少。这种结构各部分还可独立扩充、维护与升级,易于与 CIMS 系统接口。系统投运以来,诊断与排除故障的准确率达 100%,首发故障的诊断准确率为 95%,控制水平较以前有了很大的提高。

参考文献

- [1] 吴泉源,刘江宁,人工智能与专家控制。长沙:国防科技大学出版社,1995
- [2] 殷国富,工程专家系统技术及其应用。成都:成都科技大学出版社,1993
- [3] 杨叔子等,基于知识的诊断推理。北京:清华大学出版社,1993 (来稿时间:1998年9月)