

热工过程在线监测和故障诊断专家系统¹⁾

冯冬青 陈铁军

(郑州工业大学信息与控制研究所 郑州 450002)

姚志红

(上海交通大学信息与控制系 上海 200030)

摘要 本文以火电厂热工过程为对象,设计了一个在线监测和故障诊断的专家系统.系统采用了模块化的层状知识库结构,推理机构采用不精确推理与正反向混合搜索策略.该监测诊断系已通过统仿真实验,且锅炉部分已投入实际应用.

关键词 故障诊断,专家系统,热工过程,知识表达.

1 引言

火电厂是国家能源系统的重要组成部分,保证火电厂出产的安全可靠性,对国民经济的发展有着重要的意义.而火电厂的生产是一个高度复杂的过程系统,由于设备老化,仪表故障,人为失误造成的生产事故时有发生,特别是自动化程序比较低的中小型火电厂的情况更为严重.因此,在线监测和故障诊断方法的研究与实施势在必行.

工业系统故障诊断方法大体分为两大类⁽¹⁻³⁾:第一类方法是基于数学模型及参数状态估计技术的方法;第二类是主要基于数据分析及直觉推理的方法,如统计方法,过程控制图法,故障树技术、因果关系图方法,决策表方法与模式识别方法等,第三类是主要基于专家经验及知识的专家系统方法.与第二类方法相比,第一类方法十分依赖于数学模型.由于在异常工况下,缺乏现场数据,难以建立数学模型;并且实际对象的结构也将发生相应的变化,致使模型的结构与实际对象不一致;加上模型本身的误差最终会影响诊断的命中率,这就使第一类方法在复杂工业系统故障诊断中的应用受到了很大的限制.第二类方法的主要问题是知识表达能力十分有限且缺乏灵活性,有的方法只宜用于故障检测,或者只宜于简单场合的故障诊断.而专家系统方法不依赖于数学模型,并且具有较丰富和灵活的知识表达和问题求解能力.既可以充分发挥专家在诊断中根据各种感觉与各种知识得到的事实与专家经验进行快速准确推理,又能很方便地推广应用于各种不同的诊断对象,这正是专家系统不同于其它诊断方法的显著优越性所在.

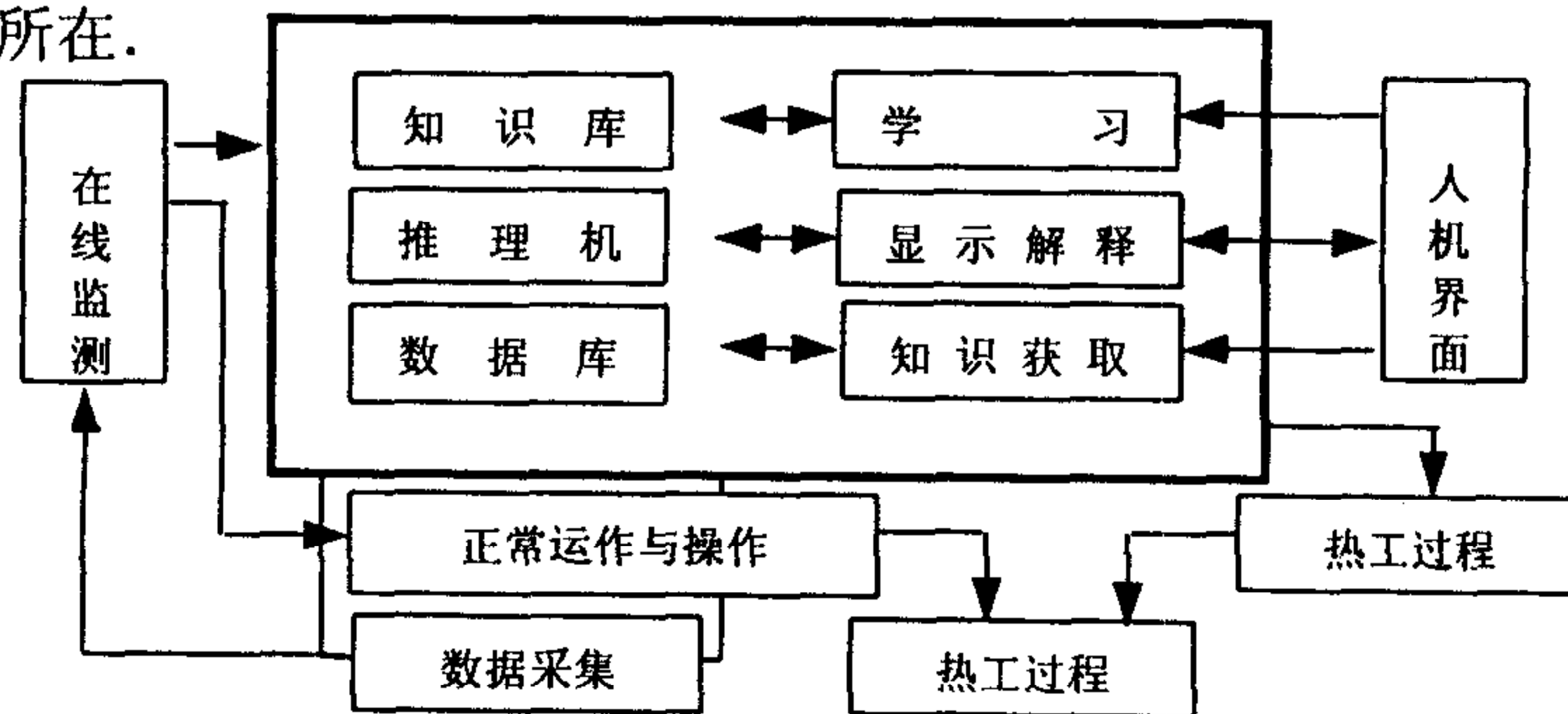


图 1 故障参测与诊断系统

¹⁾ 河南省自然科学基金项目

本研究是根据笔者长时间以来对该锅炉运行系统多方面研究及对生产过程中故障模式的经验积累前提下做出的^[4-5], 因此, 该专家系统具有良好的针对性, 仿真实验表明诊断可靠性是较高的.

2 锅炉运行故障在线诊断专家系统

热工过程的故障诊断主要包括故障检测, 故障诊断与故障补偿措施三个方面的内容, 如图 1 所示.

为了避免出现匹配冲突, 缩短推理所花费的时间, 本研究采用模块化的层状知识库结构, 如图 2 所示, 根据从过程(或用户界面)得到的信息先进行第一层的推理过程, 判断并选择该去哪些模块, 然后进入第二层特定知识库中推理判断, 如此便可大大减少推理时间, 提高诊断速度.

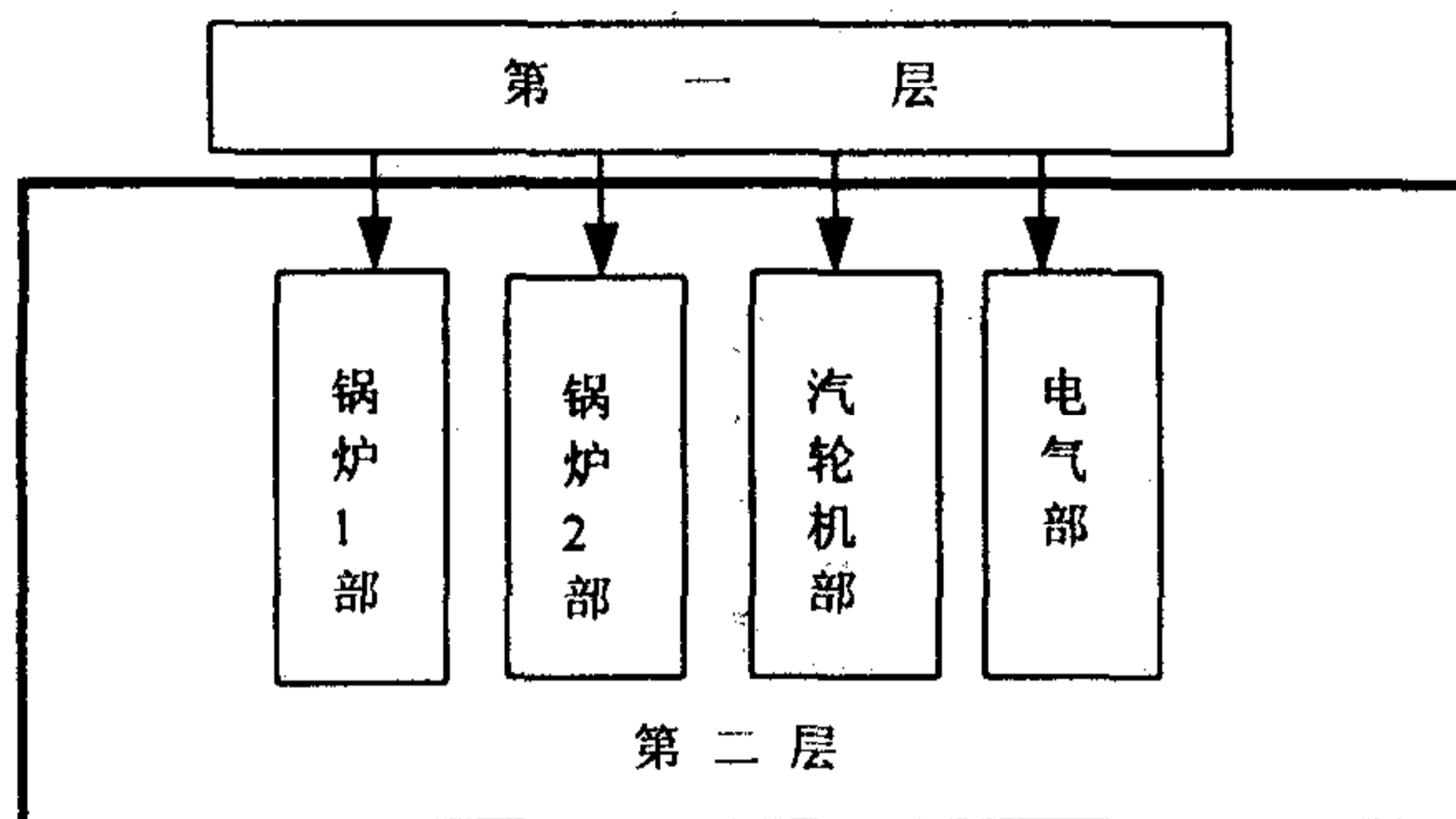


图2 知识库的层状结构图

2.1 知识表达

该诊断系统中专家的知识用一系列的规则表示, 而模块化的规则集合容易修改与扩充, 有利于系统的学习与功能的增加, 不仅可以诊断系统, 而且具有强有力的解释说明能力. 该专家系统的知识库中表示规则的一般形式为

```
IF (R1 ∧ R2 ∧ ⋯ ∧ Rn)
THEN (E1)
With Confidence Q
```

其中, R_1, R_2, \dots, R_n 均为前提(事实); E_1 为结论; Q 为结论的可信度(Q 为0—1之间的某一个实数; 若 $Q=1$, 则表示该结论完全可信; 若 $Q=0$, 则表示该结论完全不可信).

知识库由各种规则组成, 规则每一项存放着相应规则前提与结论的地址, 及结论可信度等. 例如, 锅炉1部模块知识库部分规则如下:

```
IF 水位 > +50mm ∧ 水位 > +75mm
THEN 锅炉将会满水
With Confidence 1
IF 水位 > +50mm ∧ 水位 ≤ +70mm ∧ 汽温 ↓ ∧ 水量 > ) 汽量
THEN 锅炉将会满水
With Confidence 1
IF 水位 ↓ ∧ 汽压 ↓ ∧ 水量 > ) 汽量 ∧ 省煤器两侧烟温差上升
THEN 省煤器损坏
```

With Confidence 0.7

IF 水位 ↓ ↓ ∧ 汽压 ↓ ∧ 水量 > 汽量 ∧ 省煤器两侧烟温差不上升 ∧ 排烟温 ↓
THEN 水冷壁管损坏

With Confidence 0.8

IF 水位 < -50mm ∧ 水位 > -75mm ∧ 汽温 ↑ ∧ 水量 ≥ 汽量
THEN 锅炉将会缺水

With Confidence 0.75

2.2 故障监测与诊断

该系统采用不精确推理与正反向混合搜索策略寻找故障源。系统在线的监测热工过程的各有关数据，同时通过采样中断子程序进行定时采样，采样数据用于刷新存入实时数据库，并以一定的时间间隔存入历史数据库长期保存。

故障诊断程序首先对汽包水位、主汽压力，主汽温度、炉膛负压，主汽流量、给水流量等主要参数进行预处理，获得特征量，并进行检测判断，若无异常则等待片刻进入下一个故障检测周期；若发现异常，诊断系统即进入故障诊断周期。

一旦进入故障诊断，首先经一次判断，选择该去哪些模块，选定模块后即进入正

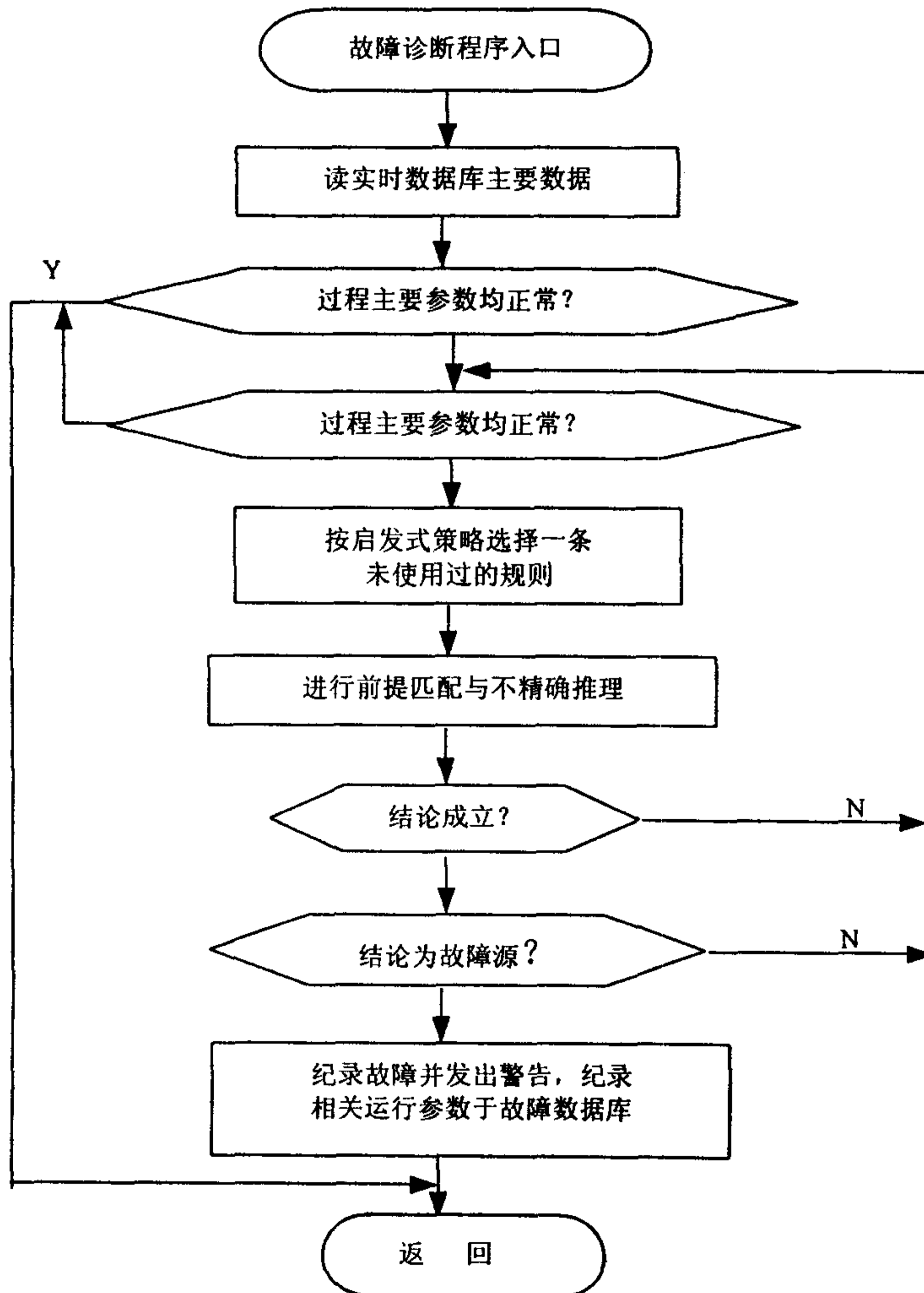


图3 监测与诊断流程图

向推理. 当发现规则前提中存在不匹配的命题时, 认为该规则已被使用且匹配失败, 转入故障现象表选择其他有关的规则继续进行推理. 若存在未知命题时, 则进入反向搜索寻找可以支持这一命题的事实, 再转入正向推理; 若规则前题匹配均成功则转入反向搜索寻求结论成立的更充分的证据, 并将结论存入故障现象表, 一旦发现结论为故障源就加以记录, 并继续进行推理, 直到与故障现象表中有关的规则均被使用为止. 然后发出报警信息, 并将相关运行参数记录于故障数据库, 以便进行追忆. 故障诊断过程如图 3 所示.

3 诊断过程的特点:

- ①准并行处理. 故障诊断的处理不影响在线监测系统的正常运行, 保证了运行参数监测的规范性.
- ②实时性及快速性. 由于采用模块化层状结构, 使得推理时间大大缩短, 能根据故障及原因的特征值迅速诊断出结果.
- ③学习能力较强. 推理过程采用正反向混合搜索策略, 使得诊断可靠, 灵活, 具有学习功能. 由于知识库独立于推理机, 用户可以通过知识编辑程序方便地输入、修改、删除或扩充知识库.
- ④具有故障现象追忆功能. 可记录故障发生前、后过程中相关系统参数的量值, 变化曲线, 可在事后对故障的发生原因进行分析.

参 考 文 献

1. Isermann R. Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods A survey. *Automatica*, 1984;20(4): 543—548
2. 李郝林等, 生产监控系统研究概况, 信息与控制, 1991 1: 38—42
3. 戴连奎等, 一个用于化工过程故障诊断的知识基系统, 信息与制, 1991, 20(1): 53—56
4. 陈铁军, 冯冬青等, 火电厂煤粉炉结构分散化模型, 信息与制, 1993, 22(4): 430—436
5. T. Chen and D. Feng, Modular Controller for Thermal Process, IFAC 5th LAC, Shenyang China. 1998.9. 1663—1668

冯冬青 男, 1958年生. 1982年毕业于郑州工业大学工业自动化专业, 1988年获合肥工业大学工业自动化专业硕士学位. 现为郑州工业大学副教授、信息与控制研究所所长. 主要研究方向为智能控制理论、计算机控制技术 etc.

陈铁军 男, 1954年生. 1982年毕业于郑州工业大学工业自动化专业, 1989年获西安交通大学自动控制专业博士学位. 现为郑州工业大学教授, 电气信息工程学院院长. 主要研究方向为复杂系统控制理论及其应用、计算机智能控制技术等.

姚志红 女, 1959年生. 1982年毕业于湖南大学工业自动化专业, 1990年获郑州工业大学工业自动化专业硕士学位. 主要研究方向为智能控制理论、计算机控制技术等.