

# 基于 Internet/本地的锅炉故障 模糊诊断专家系统

阮曙东 赵海波 郑楚光

(华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 研究了一种基于 Internet/本地的锅炉故障模糊诊断专家系统,该系统利用模糊推理机制,通过检测电厂实时运行数据库中出现的故障征兆,结合给定的规则知识,诊断锅炉系统在运行过程中可能出现的特定故障.该系统可以在锅炉本地运行,也可以建立在基于 Internet 的远程锅炉专家分析平台上,以提高电站锅炉的远程技术支持能力.同时,本系统采用模块化结构,基于 Web 技术,具备良好的扩充性和操作性.

**关键词:** 锅炉;故障诊断;专家系统

**中图分类号:** TK227; TP39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2004)06-0096-02

## Diagnostic expert system of boiler fault based on Internet/Local

Ruan Shudong Zhao Haibo Zheng Chuguang

**Abstract:** A kind of boiler fault fuzzy diagnose expert system was developed. By adopting a method of fuzzy reasoning mechanism and monitoring signs of boiler fault, the boiler diagnostic expert system could diagnose possible faults with given rules. The system could run on local or on the remote boiler expert analysis platform. The remote technical supporting ability was improved in this system. At the same time, the system based on Web technology, adopting modularizing structure, has eminent exparsibility and manipulability.

**Key words:** boiler; fault diagnose; expert system

**Ruan Shudong** Postgraduate; State Key Laboratory of Coal Combustion, Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074, China.

目前锅炉的故障诊断大都位于本地进行,这就限制了厂外技术力量对电厂安全高效运行的远程技术服务,这显然是不能满足现代生产需要的,也必将制约一个企业在信息时代的高速发展.实际上,现代电厂本身已经构建了自己的本地实时运行海量数据库,建成了与 Internet 相连的局域网,如果利用电厂现有技术和设施,通过基于 Internet 的数据通信程序,把电厂的实时数据传输到远程,建立远程实时运行海量数据库,在此数据库的基础上建立专家分析平台,就可以解决这些症结.本文是基于 Internet 的电厂远程专家分析平台的一部分<sup>[1]</sup>,同时考虑到锅炉故障本身及其故障参数变化的模糊性和不确定性,本系统将锅炉故障模糊诊断系统建立在远程状态监测系统基础上,根据锅炉运行状态监测情况,确定锅炉系统

运行中出现的故障征兆,采用基于规则的模糊诊断推理机制,分析诊断锅炉系统在运行过程中可能出现的多种故障,并确定故障发生的原因.

## 1 系统结构

该系统采用某电站原有数据采集系统实现了对锅炉动态实时数据采集,并通过公用电话网络传输数据至监测诊断系统中心站,电厂数据保存在中心的 SQL 数据库中.整个系统采用浏览器/服务器/数据库三层结构模式,用户通过浏览器进行访问.基本结构如图 1 所示.

锅炉的各种故障和参数变化本身具有模糊性和不确定性,难以用数学模型定性地表示.本文的故障模糊诊断专家系统改进了传统的基于规则的

收稿日期: 2003-07-10.

作者简介: 阮曙东(1980-),男,硕士研究生;武汉,华中科技大学煤燃烧国家重点实验室(430074).

E-mail: jerry lucky @263.net

基金项目: 面向 21 世纪教育振兴行动计划;现代远程教育工程专项基金资助(教育部科学技术司[2001]215 号).

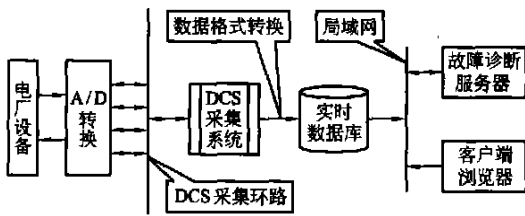


图 1 全局系统图

专家系统<sup>[2]</sup>，它是将参数变化模糊化，结合相应的规则，利用模糊推理得到故障诊断结果。因为利用了非经典逻辑中的模糊集合理论，能更好地处理这些界限不分明的问题，这种诊断专家系统方法较之基于规则的传统专家系统更易于诊断锅炉故障，同时具备较强的推理和容错能力，是锅炉故障诊断的一个重要的研究方向。

锅炉故障模糊诊断专家系统的结构如图 2 所示。该系统主要由以下几部分组成：测点管理模块，对诊断系统用到的所有测点量以及与测点相关的量进行管理；规则管理模块，即是专家系统的知识库规则表示，为诊断系统的正确运行提供保证；模糊量计算模块，计算测点变化的隶属度；诊断推理模块，根据故障的规则以及测点变化隶属度推理出故障发生的可信度；结果显示模块，将故障的诊断结果显示在网页上，并给出相关测点的对比。

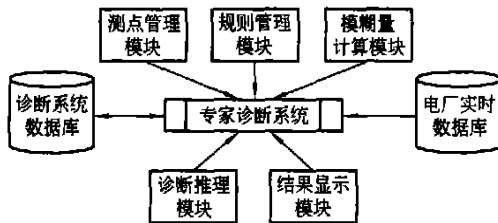


图 2 专家系统结构图

## 2 系统各模块及其功能

### 2.1 测点管理模块

电厂实时数据库中的测点库标识了所有测点到相应实时库字段的映射情况，然而在模糊故障诊断系统中，对于特定的故障，只需要少数特定的测点以及与测点相关的参数。另外参数库中一些需要用到的常量参数并没有标识，因此构建了测点管理模块，对模糊诊断系统中的所有测点进行管理。

目前测点库中测点包括以下 3 类：a. 常量参数，例如汽包水位限定值；b. 单个实时测点数据值，例如汽包水位参数；c. 多个实时测点数据值

的平均值，例如燃料量。

### 2.2 规则管理模块

该故障模糊诊断系统并无独立的知识库，而是将知识库并入规则库中。这样操作起来简单，而且更易于理解。规则管理模块主要用来管理专家系统用到的规则，规则的正确与否关系到诊断结果的正确与否，其中的规则应该由专家来添加。

目前系统所支持的规则主要是以下两种类型<sup>[3]</sup>：单前件、单测点规则和单前件、双测点规则。规则的形式主要由前件形式决定，前件的两种形式为：a. 测点 + 模糊量，这里模糊量有上升、下降、瞬时上升、瞬时下降等；b. 测点 1 + 模糊比较量 + 测点 2，这里的比较模糊量有大于、异常大于、小于、异常小于等。这些模糊量可以在使用中扩展。

参数的上升、下降、大小等状态均属于不确定性或模糊性概念。本文将动态信号处理与模糊数学方法结合起来，用隶属度来描述模糊量，用隶属函数来计算隶属度，根据模糊量的隶属度来确定某模糊性的程度。

以下为本系统中的几个隶属函数。

上升隶属函数

$$\mu_1(e_i) = \begin{cases} 0 & (e_i < 0), \\ (1 + (e_i - )^2)/^{-1} & (e_i = 0), \\ 1 & (e_i > ); \end{cases} \quad (1)$$

下降隶属函数

$$\mu_2(e_i) = \begin{cases} 0 & (e_i > 0), \\ (1 + (e_i - )^2)/^{-1} & (e_i = 0), \\ 1 & (e_i < ); \end{cases} \quad (2)$$

不正常大于隶属函数

$$\mu_3(r_i, r_j) = \begin{cases} 0 & (r_i = r_j), \\ 1 - \exp(-((r_i - r_j)/r_i)^2/(2^2)) & (r_i > r_j); \end{cases} \quad (3)$$

大于隶属函数

$$\mu_4(r_i, r_j) = \begin{cases} 0 & (r_i = r_j), \\ 1 - \exp(-((r_i - r_j)/r_i)^2/(2^2)) & (r_i > r_j), \end{cases} \quad (4)$$

式中， $e_i(t)$  代表测点的值； $e_i$  为测点变化的极限值； $r_i$  和  $r_j$  分别代表两个不同测点在同一时刻的值； $r_i$  为与测点相关的参数值，同一对测点在利用式(3)时有  $r_i = 0.5$ 。（下转第 101 页）

$|A_r|/|A| > 3.4$ , 可以判断此时薄球壳的振型是以法向位移为主. 而当  $k_1 a = 0.410 05$  时,  $|A_r|/|A| < 0.2$ , 故可判断此时薄球壳的振型是以面内位移为主. 这些将对流固耦联系统中薄球壳的

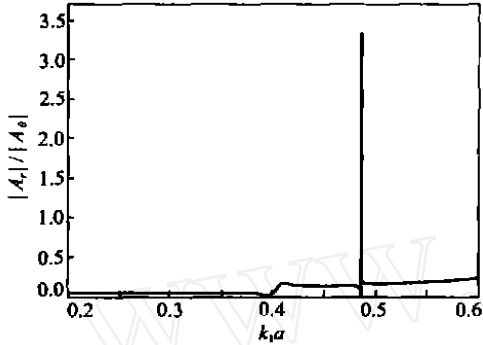


图2  $n=1$  时,  $|A_r|/|A|$  的曲线

设计、激励频率的选择有重要的指导意义.

### 参 考 文 献

- [1] 黄玉盈. 结构振动分析基础. 武汉: 华中工学院出版社, 1988.
- [2] Allen J S, Kruse D E, Ferrara K W. Shell wave and acoustic scattering from ultrasound contrast agents. IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2001, 48(2): 409~418
- [3] Gaunard G C, Werby M F. Sound scattering by resonantly excited, fluid-loaded, elastic spherical shells. J. Acoust. Soc. Am., 1991, 90(5): 2 536~2 550
- [4] Strifors H C, Gaunard G C. Multipole character of large-amplitude, low frequency resonances in sonar echoes of submerged spherical shells. Int. J. Solids Structures, 1992, 29(1): 121~130

(上接第 97 页)

鉴于篇幅, 其余模糊量隶属函数省略. 这些隶属函数中用到的参数主要根据经验得来, 不同的参数其值是不同的.

### 2.3 诊断推理模块

诊断推理模块是故障诊断的核心. 推理系统对每个故障进行推理, 给出故障存在的置信度. 最后的结论用故障存在置信度的趋势图表示, 同时也给出相关测点的变化趋势图.

诊断系统启动后, 推理系统立即运行, 跟踪规则库中每条故障对应的所有规则, 并从实时数据库中获得测点数据, 计算某条规则前件的隶属度

$$\mu_j = \left( \mu_i C_i / \mu_j \right),$$

式中,  $\mu_j$  为某故障在每个时间点的诊断结果, 也即故障存在的置信度;  $\mu_i$  为规则  $i$  的前件的隶属度;  $C_i$  为规则  $i$  的置信度, 根据具体故障和经验给定.

在推理系统中, 不采用去模糊化<sup>[4]</sup>的方法来对故障诊断结果进行去模糊化处理, 而是直接用  $\{0, 1\}$  的值来表示故障存在的置信度. 同时为每个故障设定报警信号, 该报警信号可以在系统运行时根据工况需要随时更改, 以更好地反映故障的报警限度.

## 3 研究结果

推理系统定时地对故障进行诊断, 并将诊断的结果传递给结果显示系统. 因此故障诊断系统显示的是故障的存在可能性的变化趋势. 同时结果显示系统可以显示出故障相关参数的值, 当故障置信度达到报警值时, 发出报警信息.

从推理系统中以及规则的形式中可以看到, 规则的置信度以及前件隶属度计算函数决定了故障诊断的结果, 因此, 在对故障进行事后分析时, 一方面可以精调具体规则置信度, 另一方面, 可以逐渐完善隶属度计算模型以及推理模型, 从而保证系统诊断结果更加符合实际结果.

### 参 考 文 献

- [1] 赵海波, 陈 胜, 郑楚光等. 电厂远程专家分析平台的建立. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(11): 76~78
- [2] 关惠玲. 设备故障诊断专家系统原理及实践. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 杨黎明. 锅炉故障诊断专家系统的研究: [博士学位论文]. 北京: 清华大学热能工程系, 1993.
- [4] 张智星, 张春在, (日)水谷英二. 神经-模糊和软计算. 张平安译. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.