

文章编号:1005-0523(1999)04-0039-05

# 回转机械振动模糊故障诊断系统的研制

曾 诚<sup>1</sup>, 李玲新<sup>2</sup>, 熊国良<sup>1</sup>,

(华东交通大学 1.机械工程学院; 2.基础课部 江西 南昌 330013)

**摘要:**介绍了回转机械故障诊断研究的新进展,提出振动模糊诊断法;重点介绍了系统构成与功能实现;最后经举例验证该系统诊断的可靠性和有效性<sup>[9]</sup>。

**关键词:**回转机械;振动;模糊诊断;专家系统

**中图分类号:** TP277 **文献标识码:** A

## 0 引 言

回转机械是国民经济中应用最广泛的一类设备,发展和推广回转机械的故障诊断技术在当前有着极其重要的现实意义和经济价值<sup>[1]</sup>。国家早在“七五”及“八五”期间就把回转机械的状态监测与故障诊断列为重点攻关课题<sup>[2]</sup>。目前,国内外一些企业和院校已对回转机械的故障诊断开展了广泛的研究与应用,获得了显著的成果<sup>[3]</sup>。其中具有代表性的有:华中理工大学的“汽轮发电机组诊断专家系统”;上海交大的“旋转振动故障专家系统”;北京振通检测技术研究所的“基于频谱分析的故障诊断专家系统”等<sup>[4]</sup>。这些系统对某类设备常见故障有较强的诊断效果<sup>[5]</sup>。

## 1 振动模糊诊断

### 1.1 振动模糊诊断基本原理

振动反映了系统状态及变化规律的主要信息<sup>[6]</sup>。统计资料表明:机械设备的故障有67%左右是由于振动引起的,并且能从振动和振动辐射出的噪声反映出来<sup>[7]</sup>。回转机械的振动信息尤其明显,且振动诊断具有快速、简便、准确和在线诊断等一系列优点,所以振动诊断法是回转机械状态识别和故障诊断的最有效、最常用的方法<sup>[8]</sup>。

但是,由于机械系统本身的复杂性以及所摄取的振动信号强烈的模糊性,使故障之间没有清晰的界限,这时利用传统的振动频谱分析,对一个故障可能有多个征兆来表现,一个征兆也可能有多个故障原因的复杂现象,往往难定两者的对应关系,进行指导维修<sup>[9]</sup>。本系统提出了振动模糊法,将模糊数学与振动诊断相结合,利用模糊综合评判技术,较好地处理了回转机械故障的不确定性问题<sup>[10]</sup>。

### 1.2 振动模糊诊断法的实现

#### 1.2.1 隶属函数的确定

收稿日期:1999-04-06;修订日期:1999-06-08

作者简介:曾诚(1971-),男,福建仙游人<sup>[11]</sup>。华东交通大学讲师,在读硕士研究生。

回转机械的能量在频谱图中主要集中于倍频和工倍的分数倍频带内,故可将频谱图中的各部分能量分布的变化作为衡量机器振动状态的基础,通过模糊识别技术观察状态变化的相关性来反映机械故障的特征<sup>[13]</sup>为了体现故障的特征,对于小于0.5倍频部分选最大的幅值为 $F_1$ ;0.5倍频部分的幅值为 $F_2$ ;…… $F_9$ 为滚动轴承内圈的固有频率处的幅值; $F_{10}$ 为外圈的固有频率的幅值; $F_{11}$ 为钢球固有频率的幅值,如表1所示。

表1 幅值频率对应表

幅值	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$
频率	0~0.5X	0.5X	0.5~1X	1X	2X	3~5X	3,5,7X	>5X			

说明: $X$ 为基频

本系统隶属函数用升半哥西分布,确定如下

$$u_{F_i} = \begin{cases} 0 & (0 < F_i < a) \\ K(F_i - a)^2 / [1 + K(F_i - a)^2] & (F_i \geq a) \end{cases}$$

其中: $F_i$ 为幅值的大小, $(i = 1, \dots, 11)$ ;  $K, a$ 为常数

### 1.2.2 故障原因集和征兆集

当每一种故障出现时,频谱图中总是有一些谱峰的幅值发生变化<sup>[13]</sup>在诊断中,故障原因集合 $U = \{u_j | j = 1, 2, \dots, 15\}$ 与征兆集 $V = \{v_i | i = 1, 2, \dots, 11\}$ 之间互相渗透、相互交叉,存在模糊关系,根据大量经验和专家知识得到模糊关系矩阵 $R$ ,如表2表示<sup>[13]</sup>

表2 模糊关系矩阵R

故障种类	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$
	0~0.5X	0.5X	0.5~1X	1X	2X	3~5X	3,5,7X	>5X			
转子不平衡				0.9	0.05	0.05					
轴向碰磨	0.20		0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10			
轴弯曲				0.50	0.40		0.10				
轴裂纹				0.40	0.30	0.30					
联轴器对中不良				0.40	0.50	0.10					
配合松	0.20	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10				
不精确	0.30		0.10	0.20	0.30	0.10					
轴承对轴颈偏心				0.80	0.20						
轴承间隙过大	0.90		0.10								
内圈剥落				0.20					0.80		
外圈剥落				0.20						0.80	
钢球剥落				0.20							0.80
支承部件松动		0.10		0.70		0.10	0.10				
基础松动		0.20		0.60		0.10	0.10				
弹簧损伤				0.30	0.20	0.20	0.20	0.10			

通过隶属函数,可得到征兆集 $V$ 上的模糊集合 $B = (b^1, b^2, \dots, b^{11})$ ;故障原因集 $U$ 上的模糊集合为 $A = (a^1, a^2, \dots, a^{15})$ ,两个集合满足下列关系式 $A = R \cdot B$ ,通过模糊综合评判技术,可以诊断出回转机械的常见故障<sup>[13]</sup>

## 2 系统的组成

"回转机械振动模糊故障诊断专家系统"的硬件系统由传感器、数据采集器和486以上微

机等构成,如图 1 所示:软件系统是在汉字操作系统的支持下,采用 C 语言和数据库语言开发而成的通用软件,如图 2 所示<sup>[13]</sup>

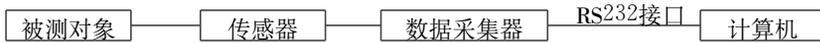


图1 系统硬件组成图

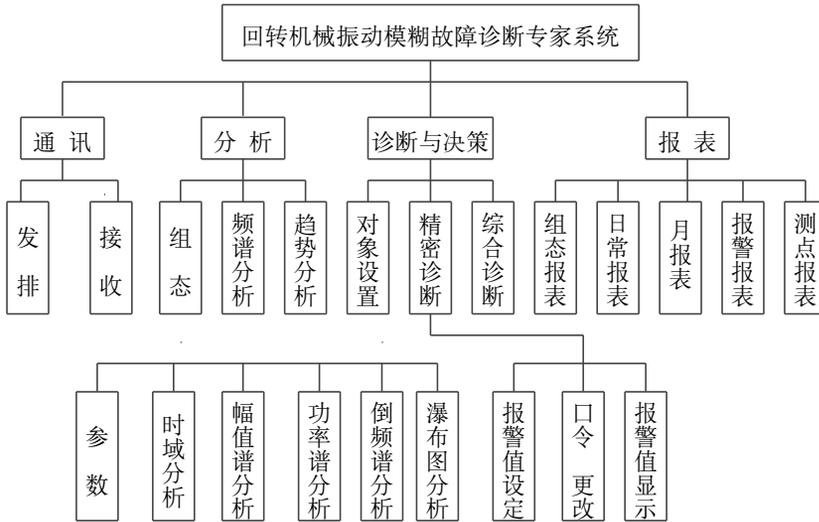


图2 软件系统结构图

### 3 系统的建立与实现

#### 3.1 数据采集与信号分析

机械振动是三维的,存在着方向性<sup>[13]</sup>一般情况下可用垂直和水平两个方向的振动信息来代替振动的全部信息,因此要在被测截面上安装两个相互正交的传感器,并将测得的振动信号进行合成<sup>[13]</sup>在较简单的情况下,根据幅值谱分析和功率谱分析就可以了解设备振动的大致情况<sup>[13]</sup>当谱线出现调制现象时,仅仅分析这两者远远不够,还必须结合时域分析和倒频谱分析结果进行综合分析,才能全面掌握设备的状况;瀑布图分析则提供了一种三维的动态分析方法<sup>[13]</sup>

#### 3.2 推理模型的建立与完善

推理机是用于记忆所采用的规则和控制策略的程序,使整个系统能够以逻辑方式协调地工作<sup>[13]</sup>它根据数据库的数据来触发知识库中的某条规则,依据推理模型得出新的结论,而不是简单地搜索现成答案<sup>[13]</sup>通常有三种构造推理机的方法:正向推理、反向推理和混合推理<sup>[13]</sup>本系统采用的是混合推理,实际上它是正向推理与反向推理的组合<sup>[13]</sup>

#### 3.3 诊断与决策的实现

诊断与决策部分是整个系统的核心和智能体现,诊断决策系统总体结构如图 3 所示:

在本系统中,知识表示方法采用产生式规则,并采用非精确混合推理模型<sup>[13]</sup>诊断结论中给出故障的发生可能性的诊断因子,具有较高的推理效率<sup>[13]</sup>

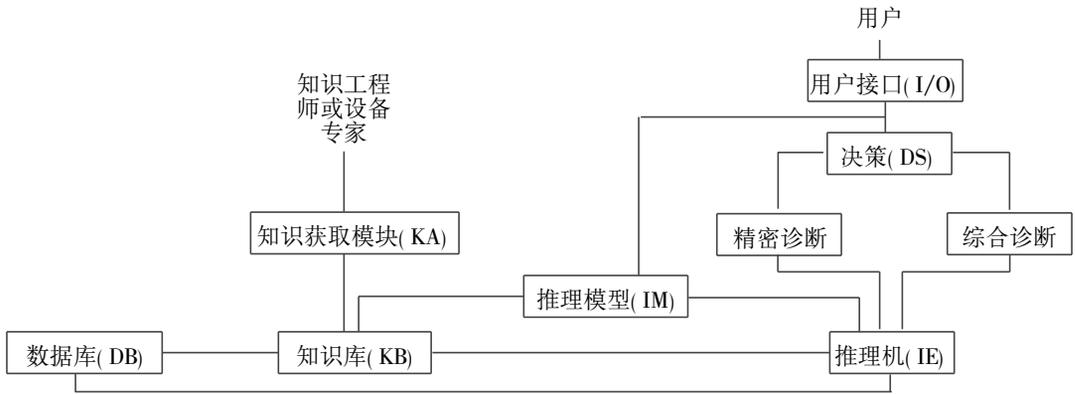


图3 诊断决策系统总体结构

### 4 应用实例

1996年9月25日发现在001号空压机的08号测点位置有异响,经使用本系统分析得知,故障较可能是轴向碰磨和联轴器配合松动<sup>[13]</sup>现场工人停机检查得知,诊断情况准确<sup>[13]</sup>检修后空压机恢复正常工作<sup>[13]</sup>其频谱分析、精密诊断图分别如图4、图5所示:

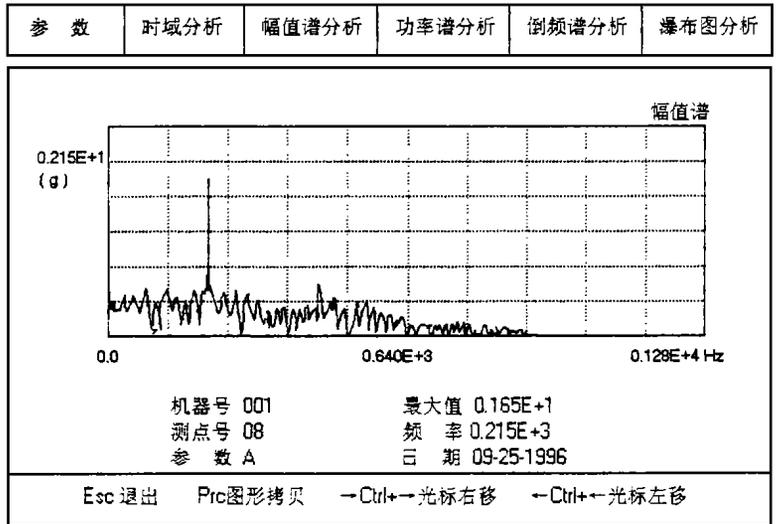


图4 001号机频谱分析图

### 5 结论

利用“回转机械振动模糊故障诊断专家系统”从1996年6月起对南昌机务段设备车间的空压机、风机和水泵进行监测和故障诊断,已成功预测预报了早、中期设备故障共15起(其中空压机占9起,风机为4起及水泵为2起),从而避免了重大事故的发生和盲目拆装与更换,基本扭转

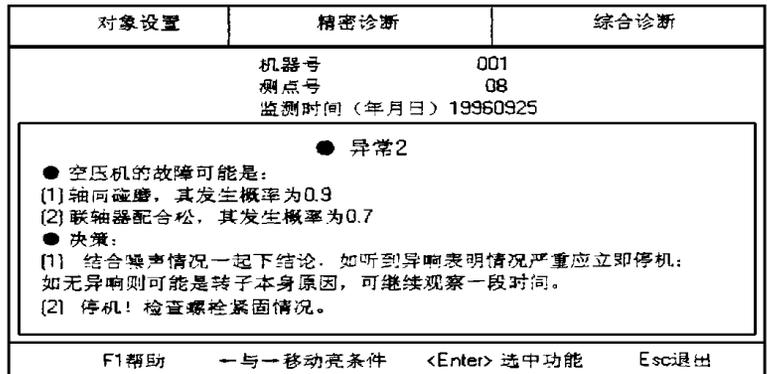


图5 001号机精密诊断图

了空压机、风机和水泵维修的被动局面,既提高工作效率又节省了费用,直接经济效益超过 12 万元<sup>[13]</sup>。由于本系统对回转机械故障诊断效果准确率较高(统计资料表明达 85% 以上),1997 年通过路局科委鉴定,并已经在南昌铁路局推广应用一年多,反响较好<sup>[13]</sup>。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 何耀华等<sup>19</sup>汽轮鼓风机组模糊诊断系统的研制[A]<sup>19</sup>全国设备诊断技术学术会议论文集,1995:1085~1086<sup>19</sup>。
- [2] 熊国良,邹慧君<sup>19</sup>基于模糊支持逻辑推理模型的旋转机械故障诊断专家系统的研究[D]<sup>19</sup>上海交通大学博士论文,1994<sup>19</sup>。
- [3] 阮 跃<sup>19</sup>振动故障模糊诊断的理论研究及应用<sup>19</sup>全国设备诊断技术学术会议论文集[C],1997:254~260<sup>19</sup>。
- [4] 何正嘉,张 涵<sup>19</sup>模糊诊断原理及其应用[M]<sup>19</sup>西安:西安交通大学出版社,1992:26~27
- [5] 故障诊断软件研制<sup>19</sup>回转机械振动模糊故障诊断专家系统鉴定资料<sup>19</sup>华东交通大学机械系,1997<sup>19</sup>。
- [6] H Tnada·, Fuzzy data analysis by possibilistic linear models· *Fuzzy Sets And Systems*, 1987(24),363~375<sup>19</sup>。

## A Study on Expert System for Fuzzy Vibrating Fault Diagnosis of Rotating Machinery

ZENG Cheng<sup>1</sup>, LI Ling-xing<sup>1</sup> XIONG Guo-liang<sup>2</sup>,

(<sup>1</sup> Coll. of Mechanical Eng. · <sup>2</sup> Basic Courses Depar., East China Jiaotong University, Nanchang 330013 China)

**Abstract:** The current developments of fault diagnosis study for rotating machinery are introduced firstly in the paper and then the method of fuzzy vibrating diagnosis is put forward. The structure and the implement of functions of the system are mainly discussed in the third part. The reliability and validity is exemplified.

**Key words:** rotating machinery; vibration; fuzzy diagnosis; expert system