

# 示功图畸变的往复压缩机故障自动分析

杨 红,陈元辉,张远新

(武汉工程大学机电学院,湖北 武汉 430074)

**摘 要:**示功图是有效的参数法诊断手段,可在较深层次上诊断压缩机故障.基于前期开发的示功图自动测试系统,研究开发了一个基于示功图畸变的故障分析系统.系统由独立的故障规则库和应用程序框架组成开放式的体系结构,采用综合比较诊断法,可对测试示功图进行自动分析和故障判断;对示功图可显见的压缩机故障,归纳出数值型和变化型两类故障特征参数,并设置参数变化阈值以表征参数的允许变化范围;以特征判据、故障判据和故障特征数据表组成故障规则数据库,以特征参数的组合作为故障判据;系统支持面向用户的故障规则扩展功能,可适应新的研究成果的扩展应用.

**关键词:**往复式压缩机;故障分析系统;示功图畸变;综合比较诊断法;故障规则库

**中图分类号:**TH457

**文献标识码:**B

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.12.018

## 0 引 言

往复式压缩机是石油化工领域广泛使用的大型关键设备,直接关系到装置的长周期安全运行.往复压缩机运动多样,既有回转运动又有往复运动;结构复杂,既有气路,又有油路和水路,因此激励源多,故障率较高,而对其实施状态监测和故障诊断,相对于其它旋转机械来说难度较大.往复压缩机常见故障诊断方法有振动声学法、参数法和油液法等<sup>[1]</sup>.现有的故障诊断研究主要集中于技术手段较为成熟的因旋转运动引起的振动信号分析,而对于往复式压缩机特有的热力学参数信号,应用研究较少<sup>[2-3]</sup>.

示功图是压缩机运行状况和工作性能的综合反映,是研究压缩机性能与工作状态的基本方法之一,是有效的参数法诊断手段,可在较深层次上诊断压缩机故障.根据测试的示功图,可对压缩机进行分析计算.利用示功图形状的变化,还可以分析判断压缩机气阀、活塞环、填料等的泄漏情况、进排气过程的压力损失情况、压缩及膨胀过程的热交换情况等故障状态,为压缩机进行有效的状态监控提供依据.文献[4]列出了典型示功图所显示的各种故障,将压缩机工作正常时的示功图与故障情况下的图形进行比较,根据示功图图形的畸变,可以有效判别压缩机的某些故障.

计算机自动测试技术的发展,为基于示功图

的故障诊断提供了技术支撑<sup>[5]</sup>.在笔者前期开发的示功图自动测试、分析系统的基础上<sup>[6]</sup>,根据相关的理论研究成果,本文开发了一套基于示功图畸变的压缩机故障自动分析系统,给出了系统体系结构,着重探讨了系统实现的若干关键技术,并给出了系统应用实例.

## 1 系统体系结构

系统由故障规则数据库和应用程序框架构成开放式的体系结构,如图 1 所示.故障规则数据库独立于应用程序框架,为系统提供故障诊断规则信息支持;应用程序按功能划分为规则库信息提取、故障识别、诊断报告、规则扩展等主要功能模块,实现系统的主要功能.

故障规则库由多个数据表组成,用来存储压缩机的相关判据规则和故障特征信息,是系统的信息中心;规则扩展提供了对故障规则库进行扩展的人机交互接口,用户能够将新的故障判据规则以及故障特征信息扩充到数据库中,以应用新的研究成果,增强系统功能;故障识别模块根据确定的故障特征参数,对测试示功图和参考示功图进行相关特征参数的计算、比较和分析,提取故障特征信息,同时从规则库中提取规则信息作为故障判断依据,并进行匹配分析,诊断出故障特征,为诊断报告提供依据;诊断报告为用户提供直观的故障信息,根据故障识别模块分析的结果确定

收稿日期:2011-10-31

基金项目:武汉市科技攻关项目“石油化工装置关键设备运行状态在线监测与事故应急预案”资助(200860423193)

作者简介:杨 红(1971-),男,湖北当阳人,博士,副教授,硕士研究生导师.研究方向:机械设备智能监控、虚拟现实技术及应用、新型高效过程装备等.

示功图故障类型,从数据库中提取相应故障信息形成诊断报告,给出故障原因、故障特征和可能的解决方案等信息,为用户的正确决策提供依据。

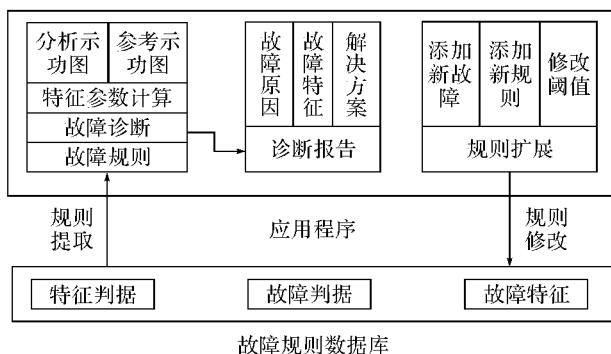


图 1 系统体系结构

Fig. 1 System framework

表 1 示功图故障特征参数及其反映的工况状态

Table 1 Characteristic parameters of fault power-indicating chart & corresponding operating condition

数值型特征参数	反映的工况状态	变化型特征参数	反映的工况状态
示功图面积	压缩机在膨胀、吸气、压缩和排气四个过程中,任何一个过程发生变化都可能导致面积发生变化	膨胀线变化	膨胀过程不正常
吸气线长度	膨胀或吸气过程不正常	压缩线变化	压缩过程不正常
压力最小值	膨胀或吸气过程不正常	吸气线变化	吸气阻力变大
压力最大值	压缩或排气过程不正常	排气线变化	排气阻力变大
排气线长度	压缩或排气过程不正常	膨胀线突变	压力产生突变

机器故障状态的界限并不是完全定量清晰的,对于每一类故障,考虑到其严重程度不同,以及实际测试精度或误差的影响,系统中使用参数变化阈值来衡量这个偏差。在作特征值判断时,用户可根据实际情况和经验设置各特征参数的阈值,只要特征参数在阈值允许的范围内波动则认为正常的,若超出则认为是不正常的。

**2.1.2 故障诊断流程** 系统采用综合比较诊断法,将测试示功图的当前状态与参考示功图的历史状态进行比较,以识别压缩机的故障。系统故障诊断流程如图 2 所示。系统首先分别从测试示功图和参考示功图中提取各个特征参数的特征值,并进行比较,得到各个特征参数的变化状态,然后对所有特征参数的变化状态按照一定顺序组合成故障特征信息,并提取出来。同时,从故障规则库中提取判据规则,并与提取出的故障特征信息进行匹配分析,识别出具体的故障状态,并生成诊断报告提供给用户。

## 2.2 故障规则库的组织

故障规则库基于 Access 关系型数据库开发,由特征判据、故障判据和故障特征三个数据表组成,基本结构如图 3 所示。

## 2 系统实现关键技术

### 2.1 示功图故障识别

**2.1.1 故障特征参数** 故障特征参数是指对故障灵敏、稳定可靠的物理参量。故障特征参数选取时应重点考虑其敏感性、可靠性以及参量检测的可实现性。对示功图而言,应尽可能选取对示功图形状变化反应敏感的参数。对示功图可显见的压缩机故障进行分析,可归纳出多种独立的易于计算或判断的特征参数,并可进一步划分为数值型和变化型两类参数,前者可用数值大小来定量表示,后者用变化趋势来表示。示功图故障特征参数及其反映的工况状态如表 1 所示。

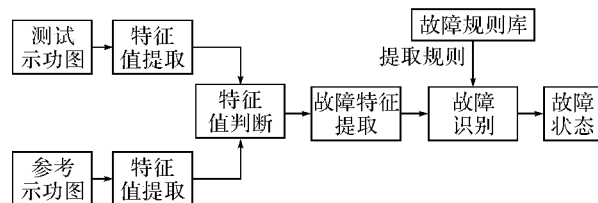


图 2 示功图故障综合比较诊断流程

Fig. 2 Integrated-comparison diagnosis flow of power-indicating chart fault

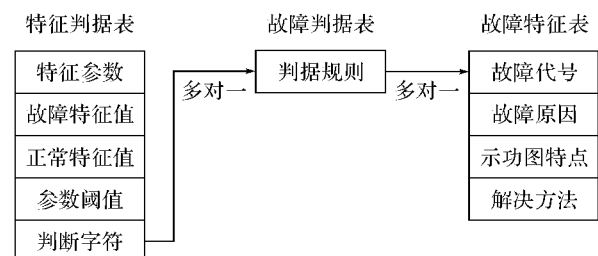


图 3 故障规则库基本结构

Fig. 3 Basic structure of fault-rule database

特征判据表由特征参数、故障特征值、正常特征值、参数阈值和判断值等字段组成。特征参数字段存放系统所确定的所有特征参数;故障特征值为待分析示功图计算得到的特征值;正常特征值为参考示功图计算得到的特征值;参数阈值为当

前特征参数的允许波动阈值;判断字符为两种示功图比较分析之后得到当前特征参数的判断字符.数值型特征参数的判断字符由 T、E 和 F 三个字符组成,分别表示特征值变大、不变、变小三种趋势;变化型特征参数的判断字符由 T 和 F 两个字符组成,表征其有、无变化.

单一的特征参数并不能确定故障类型,只有特征参数的组合才能作为某个故障的判据,所有特征参数可能的组合,构成了故障判据表.故障判据表由判据规则字段组成,保存所有特征参数的可能组合序列.组合序列由特征参数判断字符组成,字符先后顺序与特征判据表中特征参数出现的先后顺序一致.以其中一条判据规则为例:字符组合“FFEEETFFFF”的含义为第一个特征参数值变小,第二个特征参数值变小,第三个特征参数值不变,以此类推.

根据判据规则就可以确定压缩机对应的故障了,判断出故障之后还要把详细的故障信息报告给用户.故障特征表保存压缩机各种故障的详细信息,由故障代号、故障原因、故障特点和解决方法等字段组成.故障判据表与故障特征表并不是一一对应的关系,不同的组合序列可能对应同一故障特征.因此,故障判据表与故障特征表是多对一的关系.

### 2.3 面向用户的规则库扩展

故障规则库具有开放式结构,系统提供了友好的规则扩展接口,用户可根据需要自主修改三个数据表的相关信息,如图 4 所示.具体的扩展内容包括特征判据表中的参数阈值、故障判据表中的判据规则以及故障特征表中的所有故障信息.

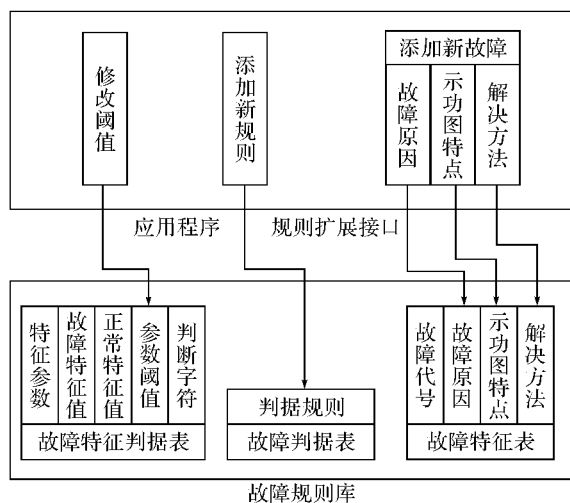


图 4 面向用户的规则库扩展

Fig. 4 User-oriented extension of fault-rule database

## 3 系统应用

系统基于与示功图测试系统一致的 VB6.0 软件环境开发,以方便两个子系统的整合.以一个 W 型往复空气压缩机的吸气阀故障示功图测试分析为例<sup>[7]</sup>,预先实测故障示功图并保存相关数据.进入故障分析系统,分别选择“分析示功图”和“参考示功图”,则在绘图区和状态参数显示区会分别显示两者的示功图曲线和压缩机相关的运行状态参数.点击“故障分析”按钮,程序将自动对两个示功图进行分析、比较,得出诊断结论,并在“故障原因”、“故障特征”和“解决方案”显示区显示详细的故障信息,如图 5 所示.

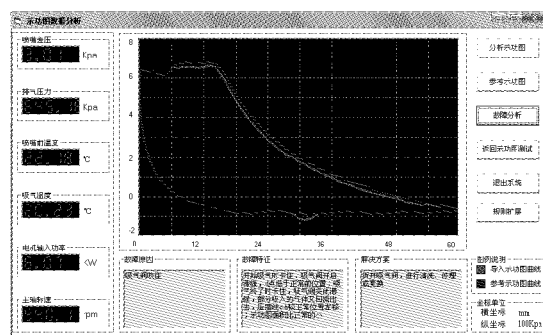


图 5 系统应用运行实例

Fig. 5 Application example of system

## 4 结 语

示功图是有效的参数法诊断手段,根据示功图图形的畸变,可有效判别压缩机的某些故障.本文开发的压缩机故障自动分析系统,独立的故障规则库和应用程序框架为系统提供了开放式的体系结构,面向用户的故障规则扩展功能,利于新的研究成果的扩展应用.选择的故障特征参数,利于计算和识别,特征参数的阈值变量,考虑到了状态变化的波动情况.示功图的自动测试和基于示功图畸变的自动故障分析系统,为压缩机使用维护人员提供了一种有效的分析工具,系统经适当扩展,还可并入在线实时监测系统中,为设备长周期安全运行提供保障.

### 参考文献:

- [1] 刘卫华,郁永章.往复压缩机故障示功图诊断法研究[J].压缩机技术,2001(6):9-12.
- [2] Liu Weihua, Ang Haisong. Study of failure diagnostic methods and intelligent diagnostic system for reciprocating compressor[J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2002, 7(3): 126-132.

- [3] 尤祥胜. 往复式空气压缩机振动故障诊断[J]. 压缩机技术, 2006(4):19-23.
- [4] 沈庆根. 化工机器故障诊断技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.
- [5] 杨占刚, 车延博, 张振宇. 基于 PC 的活塞式压缩机示功图测控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(10):1331-1333.
- [6] 杨红, 胡家顺, 修吉平. 基于 PC 的压缩机示功图测试、分析系统[J]. 压缩机技术, 2003(3):14-16.
- [7] 高京卫, 韩毅. 往复式压缩机气阀失效形式及故障诊断[J]. 天然气技术, 2007, 1(6):74-76.

## Automatic analysis of reciprocating compressor fault with distortion of power-indicating chart

**YANG Hong ,CHEN Yuan-hui ,ZHANG Yuan-xin**

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Power-indicating chart is an effective means to diagnose faults of the reciprocating compressor at a higher level as a parameter method. Based the automatic test system of power-indicating chart developed earlier stage, a suit of fault analysis system based on the distortion of power-indicating chart is developed. The system architecture is composed of an independent fault-rule database and application framework. The system adopts the method of integrated-comparison diagnostics, and can analyze the power-indicating chart automatically. Aimed at the fault power-indicating chart, the numerical type and tendency type characteristic parameters are induced, and corresponding threshold value is set to restrict the range of variation. The fault-rule Database is composed of three data sheets, including characteristic criterion, fault criterion and fault characteristic, and uses the combination of characteristic parameters as fault criterion. The system also supports user-oriented extension of the fault-rule to adapt to the extension application of new research results.

**Key words:** reciprocating compressor; fault analysis system; distortion of power-indicating chart; integrated-comparison diagnostics; fault-rule database

本文编辑: 陈小平