

# 全液压坑道钻机故障预测与诊断的现代化技术探讨

刁叔钧 (五邑大学 广东江门市 529020)

胡少韵 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

**摘要** 针对煤炭企业广泛使用的全液压坑道钻机现场运行状况,剖析了全液压坑道钻机的故障机理和特点,研究用现代科学技术对全液压坑道钻机故障进行预测与诊断的技术方法,探讨了各种最新技术方法的可行性与适用性,并指出了今后的发展方向。

**关键词** 全液压坑道钻机 故障 诊断

**中国图书资料分类法分类号** TP277

**作者简介** 刁叔钧 女 33岁 工程师 矿山机械工程

## 1 引言

我国煤炭工业井下钻探设备近年来有了很大发展,相继研制了性能良好的 MK、MYZ、ZY 等系列全液压坑道钻机(以下简称钻机)。这些钻机与机械传动钻机相比,具有钻进效率高、操作方便、解体性好、易于井下搬迁、不需打钻窝等优点,在煤矿井下得到了广泛的应用,取得了明显的经济效益和社会效益。然而由于井下运行环境较差,岩层复杂多变,钻进过程中会在操作技术和维护保养上出现一些问题和故障,影响平均时效的提高。钻探工作的经验表明,观察钻机在钻进过程中的状态及有关参数,对出现的故障现象进行诊断分析,实现钻机故障的预测预报无疑对提高钻探效率,减少事故与停钻率,提高钻机的可靠性,积累钻机操作与维护经验,延长钻机使用寿命具有重要意义。

引起钻机液压系统在钻进过程中发生故障的因素较多,这些因素既有确定性也有不确定性和模糊性。由于液压系统的故障、症状与故障源之间为一典型非线性关系,以及钻机失效形式及故障机理的复杂性和多样性,致使故障原因、故障部位和故障程度的诊断比较困难。钻机故障的科学预测和诊断是一个十分复杂的问题,尤其是在故障地点上难于做到较准确的定位,从而使得钻机故障科学诊断方面的研究工作难于进行。另外试图以现代科学理论分析方法来建立钻机钻进过程发生故障的数学解析模型

是困难的、不切合实际的。随着科学技术发展,国内外已推出了各种故障的现代化检测技术和诊断方法。笔者结合全液压坑道钻机的实际情况,基于现代科学技术,分析和评价各种故障检测技术和诊断方法应用于钻机的可行性和适用性,提出了利用现代科学技术解决钻机故障诊断的技术途径。

## 2 全液压坑道钻机故障诊断的现代化技术方法

### 2.1 故障诊断过程与实质

从现代化科学技术角度看,机械设备故障诊断是多学科交叉的实用性技术,它包括以下 4 个环节:

a. 信号采集 信号采集过程主要由监测技术、传感器技术及电子技术完成。按信号采集方式不同,可将钻机故障诊断分为振动、噪声、温度、铁谱分析、压力、电参数、油污染物等诊断途径。

b. 信号的处理变换及特征提取分析 此工作主要依靠数学工具,如快速傅立叶变换(FFT)、Z 变换、小波变换、相关函数及功率谱等信号处理技术;熵谱分析、J 散度、学习子空间法等特征提取分析技术。目前信号处理技术中信息的集成和融合技术有了很快的发展,现已向计算机图形识别方向迈进。

对钻机液压系统来说,信号的非平稳性和突变性是反映钻机运行状况和故障的重要信息。液压系统中的动态响应信号(压力、流量、振动)多为非平稳随机信号,包含丰富的故障信息。由于混杂着强随机噪声,导致有的故障特征增强,有的特征减弱,使用

传统的各种 FFT 变换的滤波方法难以精确地实现这种信噪分离。这也是钻机故障诊断困难所在之一。现在流行的小波变换可以作为一种信号预处理方法,用于故障特征信号(敏感因子)的提取和信号去噪,对突发型故障有较好的定量价值,是目前较先进的信号处理方法。

c. 状态识别与故障定位 这是故障诊断的主要工作。主要有数学分析、控制论、系统辨识、人工智能和模式识别等多种方法。

d. 作出诊断决策和趋势预测,干预机械设备及其工作过程。

设备诊断的任务与目的是使系统不偏离正常状态,并预防设备性能失效。当系统一旦偏离正常状态,则必须进一步分析故障生产的原因。这时的工作可理解为故障诊断。如果事先对设备可能发生的故障模式进行分类,那么诊断的实质就是模式分类。

## 2.2 现代故障诊断方法评价及用于钻机故障诊断的可行性

应用现代科学技术进行机械设备故障诊断方法大致可分为两类:一类是基于模型的诊断方法,如基于系统模型的状态估计、参数估计和等价方程的诊断方法等,其优点是能深入系统本质的动态性质和实现实时诊断,缺点是系统模型未知、不确定或具有非线性时不易实现,不适用于钻机;另一类是不依赖动态模型的方法,如基于故障树方法、模型识别诊断方法、灰色诊断方法、模糊诊断方法、专家系统诊断方法及神经网络诊断方法等。各种方法都有其优点和局限性,故钻机故障的研究须从这方面入手。

### 2.2.1 专家系统

专家系统(ES)自 1965 年开始至今已成为一个很热门的领域,它对于缺乏精确的计算公式却有着丰富求解问题的经验领域特别适用。钻机故障诊断的 ES 就是把专家的实践经验(如对钻机液压系统的振动、噪声、温度、过程状态的压力、功率等参数及外观的经验判断)集中起来,并以某种形式存入计算机,把判断过程编成具有推理能力的程序即推理机。这就使得计算机能够像技术专家那样诊断出故障所在。ES 由人机接口、解释机构、推理机、知识获取、知识库和数据库组成,具有如下特征:有专家水平的知识;能进行有效的推理;具有获取知识的能力;是一个具有持久性、一致性和周密性优点的交互式系统。

ES 的建立亦具有一定的复杂性和难度,存在如下缺陷:知识获取困难;知识的窄台阶问题;推理方法简单,易陷入组合爆炸和无穷递归;智能水平低,无自学能力和联想记忆(AM)能力。对钻机故障诊断专家系统而言,需要由钻机研制单位、生产单位和用户三者合作,积累和分析钻机运行管理经验知识,建立钻机故障预测与诊断数据库和知识库,共同开发钻机故障诊断的专家系统。

### 2.2.2 模糊理论

钻机运行过程中的动态信号及其特征值与故障原因普遍存在模糊性,其故障特征常用许多模糊的概念来描述,如“振动强烈”、“噪声大”、“磨损严重”等。同一故障可能会产生不同的故障征兆,不同的故障也可能引起同样的故障特征;每一个故障现象其产生的原因不止一个,一种原因所引起的故障现象也不止一个。故障与原因之间存在着一种模糊关系,模糊诊断由此产生。

模糊诊断的实质是根据模糊关系矩阵  $R$  及征兆模糊矢量  $A$ ,求得状态模糊矢量  $B$ ,从而根据判断准则大致确定有无故障。这里涉及的判断准则包括:最大隶属准则;择近准则;模糊聚类准则。它们是模糊诊断的常用准则,是在确定模糊等价关系矩阵后,根据 糜藏集定理,在适当的限定值上进行截取,即按照不同水平对  $R$  进行分割与归类,从而获得相应的故障类别。故障的模糊理论诊断方法具有概括能力强、切合判断逻辑、便于现场管理、可降低监测仪表成本等优点。但也存在一些问题,如隶属函数的形式难于选择和参数难于确定,模糊关系矩阵难于建立,人的干预程度较大,对于复杂的诊断系统,上述问题尤为突出。

### 2.2.3 人工神经网络

人工神经网络(ANN)是对生物神经系统的不同组织层次和抽象层次的模拟。在不同的应用领域中 ANN 的模型也不尽相同,目前流行的大约有 40 多种。但适合于故障诊断的一般为 BP( Back Propagation 反向传播) 网络及其修正方法、RBF( Radial Basic Function 径向基函数) 网络方法。BP 网络一般由输入层(故障征兆)、输出层(各种故障)和若干隐层组成,可以用来建立输入、输出之间复杂的非线性映射关系,如图 1 所示。BP 网络适合于故障诊断。它把故障与征兆的问题变为一个非线性优化问

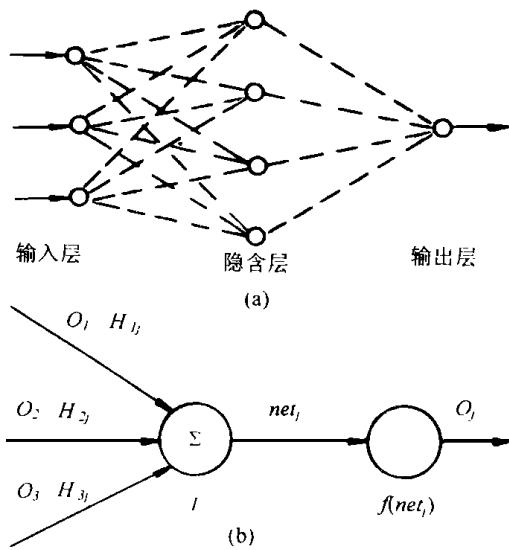


图 1 神经网络结构(a);神经元(b)

题,使用了优化中的梯度下降法,用迭代方法求得权值(相当于记忆问题),并加入隐层节点使优化问题可调参数增加,从而在故障集与征状集之间建立一定的映射关系。它对于故障形式繁多、故障原因复杂、故障与征状缺乏明显对应关系的故障诊断领域很适用。ANN 具有快速并行处理能力、联想记忆能力、自组织自学习能力和容错能力,允许输入偏离样本,只要输入模式接近于某一训练样本的输出模式。但 ANN 也有缺点:不能随意增加训练样本中征状的个数,不利于知识的扩充;训练速度过于缓慢,通常要数千步以上;存在局部极小问题,难以发现最佳权重解;隐层结构的确定缺乏严格的理论依据,只能依经验或试验方法选取;在学习样本时有“突然遗忘”现象。

对钻机的动力学分析表明:钻机液压系统除了具有饱和、死区、滞环、变增益、摩擦、游隙等典型非线性外,还存在阀流量—压力特性这样的高度非线性因素,故钻机液压系统本质上为非线性系统。利用 ANN 大规模并行处理及擅长处理复杂非线性模式的优势,可较好地解决这一难题。所以对全液压坑道钻机来说,ANN 是一种有实用价值的故障诊断方法。尤其是 ANN 的联想记忆、自组织自学习和容错功能,可利用 ANN 方法实现现场运行钻机的状态诊断,用方便易测的运行参数进行学习,实现方便、快速、投入少又实用的状态识别手段。

在实际应用时,可用钻机运行时的系统压力、回

油压力、给进压力、起拔压力、排油量、温度、噪音、电流、油质等易控测参数构造神经网络的输入层,取这些参数的正常值或异常值作为网络学习训练样本。经过训练,确定钻机正常或故障的输出层状态值。

#### 2.2.4 混合智能诊断系统

目前为了克服现有的诊断方法的局限性,人们正致力于研究一种更强大的混合智能诊断系统。如将 ANN 与专家系统相结合,用 ANN 来解决专家系统的知识获取;将模糊理论与 ANN 相结合,形成一种基于模糊理论的神经网络故障诊断方法,与现在的 ANN 方法相比,其不同之处在于采用模糊方法来处理 ANN 的输出以显示最后结果,并且对推理作出解释,而且模糊系统能够给操作人员提供语言量的输出;将模糊理论与专家系统相结合,利用模糊数学中模糊变换原理构成一个专家系统,其优点是模糊矩阵本身已经包含了产生式规则,而且矩阵系数还反映了因果关系的强弱程度;将模糊理论、专家系统和神经网络三者相结合,形成一种混合智能的大诊断系统。总之,当前将模糊理论应用在 ANN 和专家系统中,来解决不确定性问题,已得到共识,将会有很好的应用前景。

#### 2.3 开发钻机故障预测与诊断现代化方法需要开展的研究工作

钻机故障诊断研究的目的就是要鉴别机器的状态是否正常,并及时发现和确定故障的部位和性质,预报故障的趋势并在引发故障前提出相应的解决对策。为开展此研究工作,目前首先要结合钻机性能测试台,设计钻机故障信号(如系统压力、回油压力、给进压力、起拔压力、排油量、温度或温升、振动、速度、噪音以及流量与压力增益  $K$  等)检测系统。可在现有钻机实验台的基础上,在钻机有关部位增设相关传感器。采用人工干预方法模拟故障现象,检查信号的动态变化。

其次,根据钻机用户的反馈信息,结合钻机钻孔特性如岩石硬度、钻孔大小,并根据不同钻进方法如绳索取心钻进、大口径硬质合金钻进等,对已有的故障进行模式分类。在此基础上采用恰当的、先进的诊断方法,对故障信息信号进行预处理和识别,实现故障诊断和定位,最终研制钻机状态现代化检测系统。

# 倾斜孔钻进中复杂情况的发生规律及预防

王玉堂 (铁道部科学研究院西北分院 兰州 730000)

**摘要** 结合实践经验,对倾斜孔钻进中复杂情况的发生规律及预防处理进行论述和探讨,包括钻孔轴线相对裂隙分布方向的位置与孔壁稳定性相关规律以及相应的预防处理措施。

**关键词** 倾斜钻进 事故 预防

**中国图书资料分类法分类号** P634.8

**作者简介** 王玉堂 男 35岁 工程师 工程勘查

倾斜孔钻进中最典型的复杂情况之一是不稳定岩层中孔壁坍塌掉块现象,究其原因是地层中的裂隙发育所致。倾斜孔不同于垂直孔,在垂直孔中,四周暴露的岩石因岩块自重平行或以锐角指向钻孔中心轴线,岩块表面粗糙,使岩块仍能停留原处;冲洗

液柱压力和泥浆冲洗时孔壁泥皮化也有助于孔壁稳定性的保持。而倾斜孔中无液柱压力,几乎不使用泥浆,岩块自重垂直或以大钝角指向钻孔轴线,岩石自孔壁顶帮掉落的可能性增加。

在倾斜钻孔中要防止孔壁坍塌掉块,就要对岩

## 3 结论

a. 全液压坑道钻机现代故障预测与诊断技术对提高钻机产品质量性能和操作与维护水平方面的意义、作用和所具有的实用价值是显而易见的。尽管开展这一工作困难较大、起步较晚,却是必须面对解决的问题。

b. 在钻机故障诊断的现代化技术方法方面,采用专家系统和人工神经网络较为合适。这两种方法可用于钻机故障原因、故障程度的诊断与预测,并可实现智能化诊断。

c. 对钻机用户来说,钻机故障诊断技术必须

准确可靠和实用,漏报或误报率要低,尤其是必须做到故障准确定位。开发基于人工神经网络和专家系统的钻机故障诊断和故障定位技术是完全可行的。

d. 开发全液压坑道钻机故障诊断系统和仪器,还必须注意耐用性、安全性和防爆性。

## 参考文献

1. 张安华·机械设备状态监测与故障诊断技术·西安:西北工业大学出版社,1995
2. 焦李成·神经网络系统理论·西安:西安电子科技大学出版社,1992

(收稿日期 1999-05-04)

## THE MODERN TECHNIQUES FOR FAULT FORECAST AND DIAGNOSIS OF ALL-HYDRAULIC TUNNEL DRILLER

Diao Shujun (Wuyi University) Hu Shaoyun (Xi'an Branch, CCRI)

**Abstract** With respect to the site operation state of all-hydraulic tunnel driller used widely in coal enterprises, its fault mechanism and features are analyzed, the modern techniques for fault forecast and diagnosis are studied, the feasibility and adaptability of various modern techniques are inquired into, and the direction of future development is presented.

**Keywords** all-hydraulic tunnel driller; fault; diagnosis