

设备诊断实施技术丛书

液压设备状态 监测与诊断

陈兆能 余经洪 编著



上海科学技术文献出版社

设备诊断实施技术丛书

液压设备状态监测与诊断

陈兆能 余经洪 编著

上海科学技术文献出版社

责任编辑：方 虹

封面设计：石亦义

设备诊断实施技术丛书
液压设备状态监测与诊断
陈兆能 余经洪 编著

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.5 字数 128 000

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷

印数：1—1 200

ISBN 7-5439-0931-6/T·436

定 价：6.30 元

《设备诊断实施技术丛书》编委会

主任委员:朱林生

副主任委员:沈一飞

主 编:佟德纯

委 员:(以姓氏笔划为序)

王大义 叶万水 石来德

华占秀 孙雪麟 李柱国

陈兆能 何维亨 吴震球

单怀俊 杨建珍 萨本信

葛修鑫 蔡 正

前 言

高速发展的现代科技和社会消费,要求工业产品的性能和质量都要达到前所未有的高标准,这首先要依赖于工业生产设备的精密、高完善度和高可靠度。因此,现代工业中,对各种生产设备的管理显得尤为重要,越来越引起企业家和工程技术的重视。这不仅因为生产设备的失效或精度的下降都要付出昂贵的代价,而且单靠人的经验去分析判断已十分困难。现代的设备服务于设备终生的管理中,包括设备运行、状态监测、故障诊断、趋势预报、决策维修等,所采用的技术手段及分析方法有几十种之多,并向着智能化、综合化和网络化发展,全面更新了原有的管理概念。高级精密的设备监测、诊断、分析仪器及高水准的管理技术人员,已成为现代化企业不可缺少的重要成员。

我国政府的有关部门将设备状态监测和故障诊断工作的要求纳入了《国营工业交通设备管理条例》之中,明确规定:“要根据生产需要,逐步采用现代故障诊断和状态监测技术、发展以状态监测为基础的预防维修体制”。把设备诊断技术列入了企业管理法规,并指出了设备诊断技术要为维修体制改革和设备现代化管理服务。

设备状态监测与故障诊断是设备诊断中的两个过程,两者既有密切联系又有区别。设备状态监测是指对设备某些参数(如振动、噪声、温度等)进行测取,将测定值与规定的正常值(门限值)进行比较,以判别设备的工作状态是否正常。若对设备进行定期或连续监测便可获得设备状态变化的趋势性规律,进而对

设备剩余的寿命作出估计,于是便可对设备状态进行预测、预报。状态监测又称为简易诊断,只要恰当选择监测参数、测点以及监测周期等,一般都能取得良好的效果,这种初级诊断适于现场作业人员实施。而对设备产生故障的原因、部位和严重程度作出判断,为设备优化管理决策提供依据,称为精密诊断,则由专门技术人员实施。

设备诊断技术属于信息论范畴,因此它包括信号的采集、信号的分析处理(数据处理)和状态识别(包括判断和预报)三个基本环节。然而,信息技术不等于诊断技术。从事设备诊断的技术人员必须具备有关设备及零部件工作机理方面的知识,以及用于诊断和仪器设备或分析系统的有关知识。由于诊断方法及手段越来越发展,有关知识面也越来越广阔。现在以设备物理参数分类的常用设备状态诊断方法大致有以下几种:

(1)振动诊断:以机械振动、冲击、机械导纳以及模态参数为检测目标。

(2)声学诊断:以噪声(声压和声强)、声阻、超声、声发射为检测目标。

(3)温度诊断:以温度、温差、温度场、热象为检测目标。

(4)污染诊断:以泄漏、残留物、气体、液体、固体磨粒成分变化为检测目标。

(5)光学诊断:以亮度、光谱和各种射线效应为检测目标。

(6)性能趋向诊断:以机械设备各种主要性能指标为检测目标。

(7)强度诊断:以力、应力、扭矩力为检测目标。

(8)压力诊断:以压力、压差以及压力脉动为检测目标。

(9)电参数诊断:以电流、电压、电阻、功率等电信号及磁性为检测目标(包括对钢丝绳以电磁特性为检测目标的检测)。

(10)表面形貌诊断:以变形、裂纹、斑点、凹坑、色泽等为检测目标。

由上海市设备管理协会主持,邀请了多年来从事设备诊断技术工作及研究工作的专家,编写一套《设备诊断实施技术丛书》。丛书分批推出,各分册以设备状态中不同物理参数和设备类别为专题,介绍诊断信号的获取、分析、计算等的方法及原理,以及它们的检测标准,并辅以使用的各种诊断仪器方面的基本知识和实际操作步骤,供企业设备诊断技术人员和管理人员在工作中作技术指导用书。对处于工作状态的设备进行诊断,不仅是与看不见的东西打交道,而且因为自身因素及环境因素的复杂,有极大的可变动性,人们必须依赖科学的方法和数学推理作出判断。技术人员只有熟知推导过程,才能准确、合理地使用诊断仪器显示系统提供的结论,最终达到对设备进行准确诊断的目的,并能不断适应更新的科学仪器为他们提供的诊断方法。为此,丛书将各种数学推导也作基本介绍,但不多也不深,如要作进一步深入研究,可以求助于许多已经出版的相应科目的理论专著。

设备诊断是一门新兴的边缘学科,同时也是发展迅速的学科。丛书将根据该领域内新技术新方法应用的出现,不断推出新的分册。希望这套书能成为技术人员和管理人员得力助手,不负全体编写人员的初衷和他们的辛勤笔耕。

目 录

第 1 章 液压设备故障诊断方法	1
§ 1.1 功能诊断法	1
§ 1.2 振动诊断法	3
§ 1.3 声学诊断法	4
§ 1.4 参量诊断法	7
第 2 章 液压设备的失效分析	10
§ 2.1 失效与失效判据	10
§ 2.2 失效模式与失效机理	13
一、失效模式	13
二、失效机理	16
§ 2.3 典型液压元件失效实例	21
一、25CY 轴向柱塞泵	21
二、XB-40 轴向柱塞泵	22
三、YZ 型溢流阀	23
四、34EO-H ₂ B-T 型电磁换向阀	23
第 3 章 液压设备故障诊断方法综合应用	24
§ 3.1 液压元件故障诊断的频域方法	24
一、频域分析的基本概念	25
二、功率谱方法	28

三、相位谱方法·····	32
§ 3.2 液压元件故障诊断的时域方法·····	32
一、简单的时域分析法·····	32
二、倒频谱法·····	36
三、自相关函数法·····	38
四、参数模型法·····	43
五、J 散度法·····	45
§ 3.3 液压系统故障诊断的方法·····	50
一、工程逻辑法·····	50
二、框图法·····	54
三、鱼刺图法·····	54
四、故障树分析法·····	56
§ 3.4 油液诊断方法·····	73
第 4 章 诊断液压设备故障的参数及仪器 ·····	75
§ 4.1 液压设备故障诊断参数·····	75
一、振动与噪声·····	75
二、压力与流量·····	78
三、油液污染度·····	82
四、容积效率与泄漏量·····	84
五、油温与热效率·····	85
六、声发射·····	86
七、摩擦副电阻·····	86
八、油液综合体积弹性模量·····	87
§ 4.2 液压设备故障诊断测试仪器·····	88
一、压力测试仪器·····	88
二、流量测试仪器·····	91

三、油温测试仪器	96
四、振动测试仪器	98
五、噪声测试仪器	102
六、动态电阻应变仪	106
七、电荷放大器	112
八、磁带记录仪	117
九、谱分析仪	120
第 5 章 油液污染分析	124
§ 5.1 液压系统油液污染物分析	125
一、颗粒浓度法	128
二、淤积指数法	129
三、显微镜颗粒计数法	129
四、自动颗粒计数器法	129
五、光谱分析法	130
六、铁谱分析法	131
§ 5.2 铁谱分析技术	132
一、铁谱分析特点	132
二、工作原理	133
三、主要装置	135
四、油样制备	136
五、颗粒识别	139
§ 5.3 油液分析诊断应用实例	141
一、某铲车液压系统磨损监测	141
二、某汽车起重机液压系统磨损监测	141
三、某取料机悬回装置液压系统磨损监测	143
四、某采煤机牵引部液压系统磨损监测	144

五、某起重机液压系统磨损监测	145
§ 5.4 油液综合体积弹性模量的测试	145
一、互相关测速法	146
二、测试实例	148
第 6 章 液压设备故障的计算机监测与诊断	151
§ 6.1 计算机故障监测与诊断系统	151
一、计算机监测与诊断系统的组成	151
二、故障诊断信号处理的软件	153
§ 6.2 计算机故障诊断系统实例	155
一、松靴诊断准则	155
二、空吸诊断准则	156
§ 6.3 计算机故障识别系统实例	158
一、模式识别概念	158
二、故障识别系统	159

参考文献

第1章 液压设备故障诊断方法

液压设备是机械设备中的主要组成部分。据有关资料统计,液压设备的故障率约占整个设备总故障的30%左右。近年来,液压驱动设备向高速、高精度、自动化方向发展,对设备可靠性的要求也越来越高。许多大型设备如冶金、轧钢系统中液压装置已成为十分重要的关键设备。现在,日本、美国等国都已对此进行了大量研究工作,开展液压设备故障诊断技术的应用。如日本日立建筑机械公司对建筑行走机械常用泵进行了诊断;美国俄克拉荷马州立大学提出了叶片泵和齿轮泵的诊断方法。国内液压设备故障诊断技术的研究和应用起步较晚,正在发展之中。

液压设备是一种流体驱动的装置,除了一般机械设备的共同点外,还有其自身的特点,例如油液分析就是液压设备中一个重要而特殊的诊断参数。对于液压设备的故障诊断来说,应用一般诊断原理,结合自身特点发展诊断手段和仪器,以状态监测的普及为基础,积极开展诊断机理研究,并使之实用是当前的主要任务。

目前,确定液压设备状态的常用方法有功能诊断法、振动诊断法、声学诊断法和参量诊断法等。

§ 1.1 功能诊断法

液压设备是个完整的系统,有其输入参数和其相应的输出

参数。根据输出参数的变化规律,可以判断设备状态的好坏,从而对设备作出诊断。液压设备的输出参数主要有:油液压力、流量、容积效率。例如液压系统的压力低于某额定值或出现剧烈波动时,就意味着油液通道阻塞或内泄漏等故障。容积效率是液压设备功能的主要表征,它可以用测量稳定液流的流量和压力的方法,或是用测量工作液温度差和压力降的方法来获得。但由于容积效率的在线检测比较麻烦,且其变化量不太明显,待到变化明显时,则已“病入膏肓”,因此容积效率通常只作为诊断的一个参考指标。

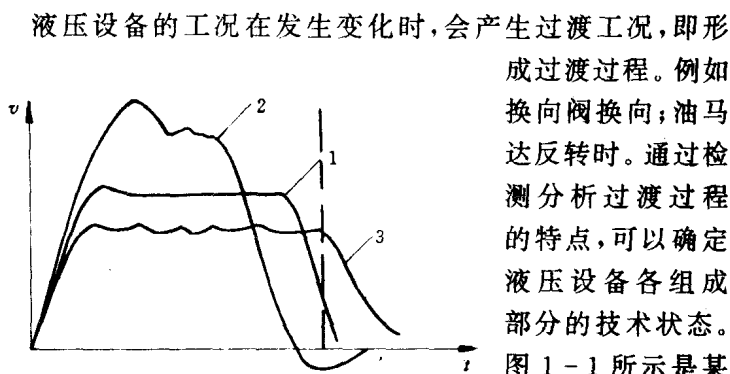


图 1-1 某液压缸的速度-时间过渡过程

液压设备的工况在发生变化时,会产生过渡工况,即形成过渡过程。例如换向阀换向;油马达反转时。通过检测分析过渡过程的特点,可以确定液压设备各组成部分的技术状态。图 1-1 所示是某工厂液压缸执行机构的速度-时间过渡过程。其中曲线 1 是正常特性曲线。若特性曲线偏离曲线 1,则表明液压缸发生故障。曲线 2 表示节流口和换向环节故障。曲线 3 表示密封件损。由上可见,根据过渡过程特性曲线偏离正常特性曲线的情况,可以确定设备的状态并查明故障的主要原因。

同样,分析过渡过程特性 $p=f(t)$, $Q=f(t)$, 可以确定阀的启闭状态,泵的运转状态等。

§ 1.2 振动诊断法

振动诊断法是目前应用得最普遍,发展得比较成熟的一种诊断方法。液压系统中发生的振动过程包含着十分丰富的信息,相当充分地反映了液压元件和整个设备的技术状态。振动信号的频率范围宽广,能够迅速地反映设备状态的瞬态变化。振动信号转换为电信号也比较容易,从而有利于使诊断过程自动化。

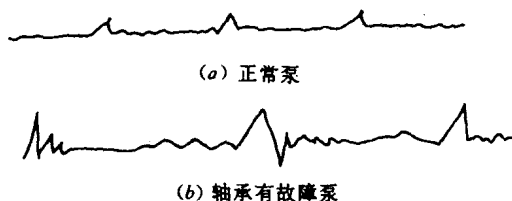


图 1-2 正常泵体的振幅频谱(片段)比较

图 1-2 所示为一台正常齿轮泵和一台轴承有故障的泵的振幅频谱的片段。从波形图上可以看到,正常泵的振动谱的主要分量是齿轮齿的啮合谐波,而支承轴承滚道上的故障引起的谐波与泵转速一致且振幅也较大。

故障诊断时通常使用三种振动参数:振动位移、振动速度和振动加速度。一般情况下,低频(几十赫兹)时的振动强度由位移值度量,中频(几十赫兹到几千赫兹)时的振动强度由速度值度量,高频(几千赫兹以上)时的振动强度由加速度值度量。在实际测量时,可由所测得的振动谱来确定应采用的最宜参数。

以振动参数进行故障诊断,测量点的选择十分重要。对测点的要求是应对故障敏感,信号比较大,也即信噪比较高。测量

点只有一个是不够的,不能正确反映总体情况。因此,特别是对于大型设备,需要在设备的前中后、上下左右等部位上设点测量,并且在相互垂直的两个方向或三个方向上进行。

振动测量仪器一般由测振传感器、测量放大器和记录显示装置等组成。使用时要注意仪器的有效工作频率范围。

振动诊断法应用于液压设备诊断有不少成功的事例。美、英、德、日本等国对齿轮泵、叶片泵、柱塞泵的振动特性做了许多研究。如日本日立建机株式会社在认真分析了建筑行走机械常用泵的故障形式后,认为该泵有两个主要故障:滑靴松动和耳轴承损坏。滑靴松动反映为高频振动,而耳轴承损坏表现为低频振动。充分肯定了振动监测和诊断的可行性。

§ 1.3 声学诊断法

声学诊断法主要包括噪声诊断和声发射诊断。

液压设备在运行时不可避免地要产生噪声。但噪声的增加,意味着故障的存在。噪声是反映设备工作状态诊断信息的重要来源。研究噪声的声源、机理、特征及其频率组成,就可对设备的状态进行监测与诊断。

液压设备中的流体噪声 FBN (*Fluid Borne Noise*) 和结构噪声 SBN (*Structure Borne Noise*), 最终反映为空气噪声 ABN (*Air Borne Noise*) 传入人耳。液压系统中的气蚀、水锤、换向冲击、配油吸空、齿轮啮合、配合间隙、管道摩擦、密封不良等等都会产生流体噪声和结构噪声。在实际的工况下,噪声的形成是一种很复杂的物理现象,在稳定的工作条件下,也不可能获得两个完全一样的噪声波形图。但即使如此,对噪声信息作相应的统计处理,仍可确立设备状态的一系列特征。

噪声的测量结果会受到外界条件的影响,如环境、测量场所的规模、消音能力、空气湿度、其他设备等。由于信噪比较低,因此一般很少直接用噪声的声强或声压来表征诊断对象的技术状态。

液压设备的噪声频带很宽,通过测量噪声的频谱,进行谱分析,可以获得大量信息。利用频谱图可以区分出诊断对象各组成部分的特征频带,并根据其噪声强度的变化来确定诊断对象的状态。

图 1-3 所示为某研究单位对一润滑油泵所测得的噪声频谱图。图 1-3(a)中第一个峰值频率在 150Hz 处;图 1-3

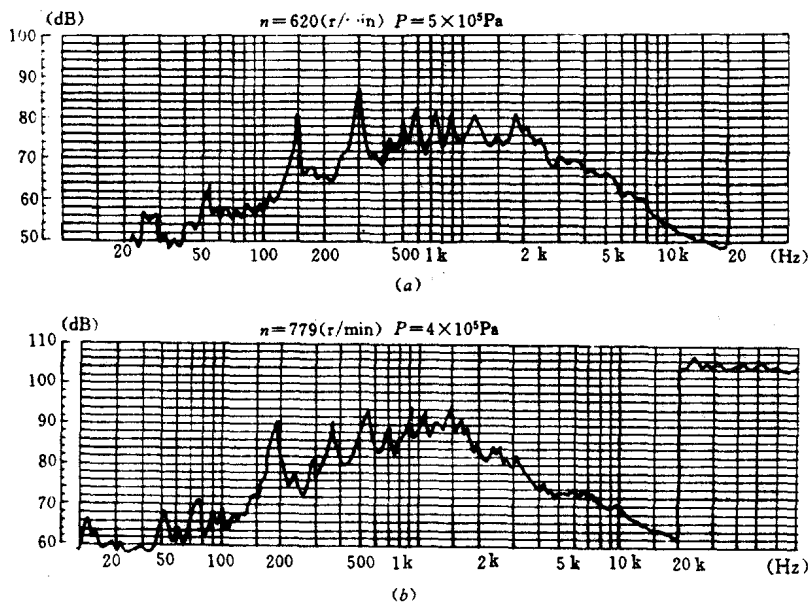


图 1-3 润滑油泵的噪声频谱图

(b)中第一个峰值频率在 180Hz 左右,其余峰值频率均为第一峰值的高次谐频。分析油泵齿轮的啮合频率,可得

$$f = \frac{nz}{60}$$

式中 n ——油泵转速(r/min);

z ——油泵齿数 $z=14$ 。

当 $n=620\text{r/min}$ 时, $f=144.9\text{Hz}$;

$n=779\text{r/min}$ 时, $f=181.7\text{Hz}$ 。

由此可见,噪声基频就是齿轮牙齿的啮合频率。主要噪声源就是油泵齿轮啮合时几何空间变化不均匀造成的流量脉动和啮合不平稳所形成的。

声发射技术是近几年来迅速发展起来的一种诊断方法,它具有许多优点,已成为一种快速、动态、灵敏、整体性的无损检测手段。声发射诊断的工作原理是当元部件在外力作用下,内部晶格发生位错、晶界产生滑移或者形成裂纹、进而扩展直至断裂,在上述过程中材料会发出高频噪声,这种现象称为声发射。声发射的频率范围很宽广,从可听声直至 50MHz 左右的超声。由于一般机械噪声的频率在 10kHz 以下,所以利用高频超声来检测声发射,大大减低了周围环境机械噪声的干扰。在干扰中检测并分析声发射信号,进而根据声发射信号特征来判断声发射源,从而进行故障诊断。

声发射源除了晶格位错运动、裂纹形成和扩展外,还有摩擦、磨损、泄漏等。

国外有些学者专门研究了用声发射技术来检测液压系统中的泄漏。工作油液流过缝隙时会引起压力脉动而发出超声发射,这种超声发射取决于压力微脉动量,取决于液流平均速度,取决于缝隙截面的几何尺寸、表面状态和液体的性能,也就是说与系