

液压设备 故障诊断与监测 实用技术

黄志坚 袁 周 等编著

液压设备故障诊断与监测实用技术

黄志坚 袁 周 等编著



机械工业出版社

本书论述了液压设备故障诊断与监测的有关理论与方法,介绍了液压系统主要与常见故障的原因和排除方法,液压元件与系统的故障检测方法,液压设备故障诊断与监测的思路、策略与技巧,液压设备安装调试、检查维护的方式方法。本书也介绍了液压设备故障的智能诊断与在线监测技术,以及各类液压设备故障实例,进一步阐述其诊断与排除方法。

本书可供液压设备研究、开发、设计、制造、使用、维修人员,机电专业的大学生、研究生、教师参考,也可供相关专业的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

液压设备故障诊断与监测实用技术/黄志坚等编著. —北京:机械工业出版社, 2005.7

ISBN 7-111-17124-1

I. 液… II. 黄… III. ①液压系统—故障诊断 ②液压系统—监测—技术 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089437 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:沈红 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京原创阳光印业有限公司

2005 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·27.5 印张·677 千字

0001—4000 册

定价:46.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

液压传动与控制技术在国民经济与国防各部门的应用日益广泛, 液压设备在装备体系中占有十分重要的位置。液压设备一旦发生故障, 轻则导致产品质量下降, 重则引起生产中断, 严重的甚至造成灾难性的后果。设备的故障诊断与监测是保证其运行可靠、性能良好并充分发挥效益的重要途径。

液压系统是结构复杂且精密度高的机、电、液综合系统, 系统具有机液耦合、时变性和非线性等特性。液压故障因故障点隐蔽、因果关系复杂、易受随机性因素影响、失效分布较分散, 故障诊断与监测的难度大。

相关技术, 包括计算机技术、人工智能技术、网络技术、传感器技术、信号分析与处理技术等的发展进步为液压设备故障诊断与监测提供了有利条件。

为了帮助广大专业技术人员进一步掌握现代液压设备故障诊断与监测技术并更好地解决各类千变万化的实际问题, 我们编著了此书。

本书取材广泛、侧重实用、注重新技术的应用与学科的交叉, 由此形成其显著特点。

在写作过程中, 本书作者力求理论密切联系实际, 具体问题具体分析; 力求使书中的内容既先进又实用, 既高度概括又深入细致, 并涵盖各应用领域。本书重点介绍液压设备故障诊断与监测中的故障机理、测试手段、分析方法、诊断策略、排除措施、典型案例, 并尽量使这几个方面有机地结合起来。希望广大读者能从中扩展视野、更新知识, 并由此深入思考, 实现认识的飞跃。

全书共 24 章。第 1 章概要地论述液压设备故障诊断与监测的有关理论与方法。第 2、3、4 章介绍液压系统主要与常见故障的原因和排除方法。第 5、6、7 章介绍液压元件与系统的检测方法。第 8、9 章介绍液压故障诊断与监测的思路、策略与技巧。第 10、11、12 章介绍液压设备安装调试、检查维护的方式方法。第 13、14 章介绍液压设备及故障智能诊断与在线监测技术。第 15~24 章则介绍各类液压设备故障诊断与排除方法。

本书第 16 章、第 19 章、第 22 章由袁周执笔, 第 18 章第 3、4 节分别由谢文祥、杨金好执笔; 第 21 章第 2 节由司振军执笔; 第 23 章第 5、6 节由肖体兵执笔; 第 24 章第 4 节由冶占武执笔。其余各章节由黄志坚执笔。全书由黄志坚

IV

统稿。

作者要特别感谢武汉科技大学湛丛昌教授和北京航空航天大学裘丽华教授。

作者还要感谢广州珠江钢铁有限责任公司、广州恒运电厂、天津布柯玛公司、中国机械工程学会流体传动与控制分会、广州机械科学研究院、广东工业大学等单位的领导和专家在专业技术工作中对作者的大力支持与热情帮助。

本书可供液压设备研究、开发、设计、制造、使用、维修人员，机电专业的大学生、研究生、教师参考；亦可供相关专业的人员阅读。

黄志坚

2005年1月

目 录

前言

第 1 章 液压设备故障诊断概论	1
第 1 节 现代液压设备概述	1
第 2 节 液压设备故障概述	3
第 3 节 液压故障诊断的基本问题	5
第 4 节 液压故障诊断的相关因素	7
第 5 节 液压故障诊断技术的现状 与发展趋势	9
第 2 章 液压装置常见故障及 排除与改进	13
第 1 节 压力失控问题	13
第 2 节 消除压力控制缺陷的改进措施	15
第 3 节 速度失控	18
第 4 节 消除速度控制缺陷的改进措施	19
第 5 节 动作失控	25
第 6 节 消除动作秩序混乱缺陷 的改进措施	26
第 7 节 温度升高异常	28
第 8 节 消除温度异常缺陷的改进措施	29
第 9 节 蓄能器引发故障的诊断与排除	30
第 10 节 闭式液压传动的故障诊断与排除	32
第 3 章 液压系统的振动、噪声 诊断与排除	35
第 1 节 液压系统的振动与噪声的来源	35
第 2 节 振动与噪声的防治与改进措施	38
第 3 节 液压系统的谐振与对策	41
第 4 节 飞机液压能源系统管路振动分析	43
第 5 节 液压自动辊缝控制压力脉动与 噪声的消除	46
第 6 节 液压自动棒料送料器振动 原因分析	48
第 7 节 四柱式液压拉深机溢流阀 噪声分析	49
第 8 节 液压泵壳体振动信号的监测	51
第 4 章 泄漏的诊断与防治	54
第 1 节 液压系统泄漏及其防治概述	54
第 2 节 密封失效分析	55

第 3 节 消除泄漏的改进措施	57
第 4 节 连铸机大包回转台托臂液压缸密封 改进实例	60
第 5 章 液压元件与系统的测试	64
第 1 节 确定考察对象状态的评判标准	64
第 2 节 通过观察测试判断液压 装置的状态	65
第 3 节 通过现场实验判断液压 元件的状态	69
第 4 节 液压元件的拆卸分解及诊断	70
第 5 节 液压系统动态响应特性 的测试分析	76
第 6 章 液压检测装置及参数 测量诊断法	79
第 1 节 参数测量诊断概述	79
第 2 节 液压系统故障现场快速诊断仪器	80
第 3 节 简易数字液压检测仪	82
第 4 节 用 PFM 便携数字液压测试仪诊断挖 掘机故障	85
第 5 节 液压缸用位置检测器及其应用	87
第 6 节 综合型参数检测装置用于液压 故障诊断	89
第 7 节 PCT 检测仪在油井液压系统检测中 的应用	90
第 8 节 HMG2020 型测试仪用于系统压力动 态测试	93
第 9 节 数字式流量测试仪用于液压元件内 泄量检测	94
第 7 章 液压元件计算机辅助测试 (CAT) 技术及应用	97
第 1 节 液压 CAT 技术概述	97
第 2 节 电液伺服阀特性计算机辅助 测试系统	99
第 3 节 军用飞机液压泵 (ZB-34) 计算机辅 助测试系统	101
第 4 节 基于虚拟仪器的液压元件测试	104
第 5 节 液压实验台 CAT 改进实例	106

第 8 章 液压系统故障诊断的		第 7 节 纸机液压系统的维护	200
基本方法	111	第 8 节 农机液压系统的维护	201
第 1 节 液压系统故障诊断区段划分法	111	第 9 节 石油钻井平台顶驱钻机液压	
第 2 节 液压系统故障诊断排除		系统的维护	203
——分析法	113	第 10 节 液压采煤机的维护	205
第 3 节 液压系统故障逻辑推理诊断法	116	第 13 章 液压故障的智能	
第 4 节 液压系统故障诊断排除		诊断与监测	207
——截堵法	118	第 1 节 液压故障智能诊断概述	207
第 5 节 改变系统结构的故障诊断法	122	第 2 节 基于 Web 的液压故障诊断	
第 9 章 液压故障诊断的策略与技巧 ...	124	专家系统	210
第 1 节 找出故障的特征信息	124	第 3 节 神经网络—模糊推理协作系统	213
第 2 节 设定故障检测的先后次序	126	第 4 节 液压系统状态监测的神经网络	
第 3 节 积极假设, 严谨验证	129	模式识别	215
第 4 节 化整为零, 层层深入	132	第 5 节 智能诊断系统的学习机制	217
第 5 节 聚零为整, 综合评判	136	第 6 节 案例推理在轧钢活套液压故障诊	
第 6 节 抓住关键, 顺藤摸瓜	141	断中的应用	224
第 7 节 相似类比, 触类旁通	143	第 14 章 液压设备在线监测	
第 10 章 液压设备安装调试	151	技术及应用	228
第 1 节 液压设备安装调试概述	151	第 1 节 设备在线监测技术概述	228
第 2 节 液压设备的安装	152	第 2 节 液压系统的状态监测	231
第 3 节 液压系统的清洗	156	第 3 节 CEBUS 现场总线在液压阀状态监	
第 4 节 液压系统的调试	164	控系统中的应用	233
第 11 章 液压油样分析与污染控制	167	第 4 节 快速锻造液压机计算机控制与	
第 1 节 液压油劣化现场监测方法	167	监测系统	235
第 2 节 液压油污染度的电流测定法	170	第 5 节 虚拟仪器技术在液压系统状态监	
第 3 节 铁谱分析在液压故障诊断		测中的应用	238
中的应用	172	第 6 节 液压设备非介入式在线	
第 4 节 油液污染度遮光型自动颗粒		检测与诊断	240
计数测定法	174	第 7 节 建筑机械液压故障诊断	
第 5 节 TBM 维护油液污染度检测		与在线监测	244
分析实例	176	第 8 节 采煤机液压系统工况监测	245
第 6 节 舵机液压油乳化事故分析与		第 9 节 液压系统在线监测测试器	
改进实例	178	及其应用	248
第 7 节 液压油污染的防治	180	第 10 节 轧机液压在线监测系统	249
第 12 章 液压系统维护与管理	183	第 15 章 金属加工设备液压故障	
第 1 节 液压系统日常检查	183	诊断与排除	254
第 2 节 液压系统维护概论	185	第 1 节 金属切削加工机床液压故障	
第 3 节 港口机械液压系统的主动维护	190	诊断与排除	254
第 4 节 铁矿井下铲运机液压系统的维护 ...	193	第 2 节 材料切割加工设备液压故障	
第 5 节 高温高尘下的液压系统的		诊断与排除	261
使用和维护	196	第 3 节 压力加工机液压故障诊断与排除 ...	266
第 6 节 飞机液压管路的维护	197	第 16 章 轻工机械液压故障	

诊断与排除		271	诊断与排除		362
第 1 节	BOY15S 型注塑机液压传动系统的故障诊断	271	第 1 节	汽车起重机液压故障的分析与排除	362
第 2 节	XS—ZY—1000A 型注塑机的改进	273	第 2 节	汽车液压系统故障诊断与排除	366
第 3 节	GK400 橡胶密炼机液压故障分析	274	第 3 节	其他起重运输设备液压故障诊断与排除	372
第 4 节	液压棉花打包机故障和处理方法	278	第 22 章	船舶液压故障诊断与排除	379
第 5 节	印刷切纸机液压系统的故障分析与排除	281	第 1 节	船舶液压故障诊断概论	379
第 6 节	陶瓷挤管机液压系统的改进	283	第 2 节	船舶起锚机液压系统故障的诊断	381
第 17 章	农机液压故障诊断与排除	284	第 3 节	液压舵机故障的诊断	383
第 1 节	拖拉机液压故障的诊断	284	第 4 节	起货机变幅液压系统故障的诊断与排除	384
第 2 节	联合收割机液压系统故障诊断与排除	290	第 5 节	减摇鳍装置液压故障的诊断与排除	386
第 18 章	钢铁冶金设备液压故障诊断与排除	295	第 6 节	船用液压马达故障诊断与国产化维修策略	387
第 1 节	炼铁设备液压故障诊断与排除	295	第 23 章	飞机液压故障诊断与排除	391
第 2 节	炼钢与连铸液压故障诊断与排除	299	第 1 节	某型飞机液压系统相关失效原因及改进	391
第 3 节	板带热轧机液压故障的诊断与排除	308	第 2 节	飞机前起落架自动收起原因及对策	394
第 4 节	卷取机及钢卷运输设备液压故障诊断与排除	312	第 3 节	飞机液压泵故障分析及预防	397
第 19 章	电力设备液压故障诊断与排除	322	第 4 节	某机载雷达天线座液压马达内漏分析与改进	400
第 1 节	汽轮机调速系统液压故障诊断与排除	322	第 5 节	飞机液压导管破裂故障分析及措施	403
第 2 节	电力开关液压故障诊断与排除	333	第 6 节	用 FAS-2C 光谱仪诊断飞机液压系统故障	407
第 3 节	水电站液压启闭机闸门下滑量的分析及处理	338	第 24 章	工程机械液压故障诊断与排除	410
第 20 章	煤矿机械液压故障诊断与排除	342	第 1 节	挖掘机液压系统故障诊断与排除	410
第 1 节	采煤机液压系统故障诊断及处理	342	第 2 节	装载机液压故障诊断与排除	416
第 2 节	液压支架故障的诊断与排除	352	第 3 节	推土机液压故障诊断与排除	420
第 3 节	提升机液压站及制动系统故障诊断	359	第 4 节	其他工程机械液压故障诊断与排除	423
第 21 章	起重运输设备液压故障		参考文献		428

第1章 液压设备故障诊断概论

第1节 现代液压设备概述

1. 液压设备的基本特征

液压设备是一种动力传递与控制装置,通过它人们可根据需要实现机械能—液压能—机械能的转换。第一个转换是通过液压泵实现的。液压泵旋转的内部空腔在与油管联通时逐渐增大,形成吸油腔,将油液吸入;在其与压油口联通时逐渐缩小,形成压油腔,将油排入系统。第二个转换是通过执行元件液压缸或液压马达来实现的,压力油依帕斯卡原理推动执行元件的运动部分,驱动负载运动。各类控制阀则用于限制、调节、分配与引导液压源的压力、流量与流动方向。

液压设备从主体讲属于机械设备,它作为一种机械产品与机械技术关系密切。液压设备是一种流体动力机械,其工作原理、工作介质及由此而来的结构与工艺特征均体现了这一点。液压设备又是一种控制机构,它与控制技术同样关系密切。液压系统与电气、电子及计算机系统有广泛的能量与信息的交流,两者之间相互依赖,相互渗透。液压设备在各工业部门中被广泛应用,它是实现其工艺目的或相应功能的工具,这些因素必然反映至液压设备的本身。液压设备故障诊断与监测涉及各类测试手段,它与测试技术不可分离。由此可见,液压设备综合了机械技术、流体技术、电气、电子与计算机技术,以及与设备执行的任务相关的技术(如金属切削,塑料成型加工,钢铁冶金,采煤等)。设备故障诊断人员不仅应掌握有关的测试技术的基础知识,还应熟练掌握有关的测试技能。

从系统论的角度看,液压设备是一个系统,它具备一般系统的基本特征:整体性、层次性、动态性与目的性。因此,系统分析方法非常适合液压系统故障的分析。

液压设备无疑是一个信息系统,系统与外部环境之间,系统内部各组成部分之间有广泛的信息交流,信息分析方法也很适合液压故障的分析。

2. 液压元件概述

液压元件是液压设备的基本组成单元。

1) 液压泵。液压泵是机械能—液压能转换元件,它负责向液压系统提供符合要求的压力油源,是液压系统的动力元件,液压泵的特点是:①结构较复杂,加工工艺、材料及安装要求均较高。②液压泵是液压系统中负载最大,运行时间最长的元件,故磨损劣化的速度也快。③液压泵装拆方便,为了保证安装精度,一般不宜经常拆卸。

液压泵是液压系统的关键元件,液压泵损坏之后,会对系统压力与流量带来一系列影响。液压泵的损坏主要发生在工作部分、运动件及动力传递零件上,如工作部分的磨损、轴承损坏及传动轴扭断。

液压泵是故障诊断与状态监测的重点对象。

液压泵按结构主要分为齿轮泵、叶片泵与轴向柱塞泵三种；按压力等级可分为低压泵、中低压泵与高压泵三种；按排量的大小有大型泵与小型泵之分，按排量变化情况有定量泵与变量泵之分。

2) 压力阀。压力阀是液压系统的压力调节与限定元件。压力阀主要包括各类溢流阀、减压阀与顺序阀。目前，大多数压力阀均为二级阀。压力阀一旦失效，便会引起压力失调（如压力下跌、无压力、压力波动及不可调等），压力阀失效的主要原因是阀心卡死及弹簧折断等。

压力阀也是诊断与监测的重点对象。

3) 方向阀。方向阀用于控制液压回路的液流正反流向。方向阀主要包括各类换向阀和单向阀。换向阀是断续工作的，其寿命以换向次数计。换向阀的损坏主要是阀心配合面磨损、阀心卡死、弹簧折断或疲软，以及电磁铁损坏等。换向阀在使用中容易装反，换向阀的阀心也容易装反。换向阀损坏后，液压系统的动作次序会出现错乱。单向阀的损坏主要发生在密封面上。

4) 流量阀。流量阀用控制流经油路的流量，以控制执行件的运动速度。流量阀主要是各类调速阀与节流阀，流量阀的失效主要在于节流口堵塞、阀心卡死等。流量阀失效以后，液压系统会出现运动速度失控症状。

5) 液压马达。液压马达在压力油的推动下产生旋转运动，对负荷输出转速与转矩。液压马达主要有齿轮马达、叶片马达、轴向或径向柱塞式液压马达。液压马达的损坏主要是工作部分及运动件磨损，使间隙增大，进而引起输出转矩与转速下降、泄漏增大及振动增大。在一个工作周期中，液压马达一部分时间工作，另一部分时间处于停止状态，其运动速度也比较慢，与液压泵相比，磨损速度要慢。

6) 液压缸。液压缸在压力油的作用下推动负载作直线运动。液压缸的损坏主要发生在密封件上。密封件损坏引起液压缸速度变慢与爬行，并引起外泄漏。

7) 密封件。密封件是液压系统维持正常压力的保证因素。液压装置的能量流与物料流量是一致的，且前后相通，故液压回路中任一处发生密封问题都会引起系统能量传递的偏差。

8) 液压辅件。主要包括蓄能器、过滤器、管件、接头等。

3. 液压设备的分类

对液压设备分类的目的在于帮助人们弄清其差异，以便在故障分析的过程中区别不同情况，采取最合适的方式方法，从而取得更加理想的工作成效。在此，从不同的角度对液压设备进行分类。

(1) 按控制方式分类 按控制方式，液压设备可分为电控、机控与手控三大类。电控液压设备通过电磁铁操纵有关的换向阀，实现其控制目的，这是主要的液压设备。电控液压设备多采用标准液压元件，装拆比较方便，备件存贮也方便，这对故障分析比较有利。不便之处在于电控液压设备的构成比较复杂，机电液系统交织在一起相互影响，比较容易出故障。在这类系统中，控制信息的传递过程较长，要经历多个环节，故障分析时检查的内容也比较多。

机控液压设备的控制信息取自于机构的运动。机控液压装置大多用在各类机床上，如车

床与刨床的液压系统便是通过行程限位机构控制运动方向的。机控液压设备的工作压力及传动功率偏低,运行环境也比较好,磨损速度相对较慢。机控液压设备上非标准件较多,非标准件的机械结构较复杂,零件上有较多的孔和槽,这些孔与槽的作用是用机械图表示的,阅读起来很不方便。这类设备液压系统的管系复杂,难以在较短的时间内清理。上述原因使故障分析更加困难。

手控液压设备的控制信息来自操作者。各类工程机械的液压系统大多属于这一类。手控液压设备运行环境都比较差,元件的磨损速度快。工程机械又多在野外工作,检测手段也不如室内。这类设备运行工况变化较大,相互间的比较也困难一些。

(2) 按设备的规模分类 按设备的规模,液压设备可分大型设备、中型设备小型设备。尽管区分设备型号的界限难以规定,但设备规模相对差异是显而易见的。大型设备由于结构复杂,重量与体积大,装拆困难,是诊断与监测的重点与难点,也是现场工程技术人员的主要关注对象。这类设备的故障诊断与排除往往需要用一定的人力在事先调查清楚,并拟定出合理的工作方案,以便使工程顺利进行,以尽可能减少各类资源消耗。

(3) 按设备的精密程度分类 按精密程度,液压设备可分为精密设备与普通设备。精密设备承担更加精确的工作任务,其构成的液压元件技术先进,精度也相应地高,往往采用伺服元件,液压系统的测试控制技术也更加先进。精密设备的性能参数误差范围更小,对设备的操作使用环境也有更严格的要求。同样,对有关的工程技术人员也提出了更高的要求,需要他们更加深入细致地掌握设备状况。同时精密设备要匹配更加精密的检测仪器。

(4) 按设备在生产系统中的重要程度或应用场合分类 按设备在生产系统中的重要程度,可将液压设备分为关键设备、重点设备及一般设备。关键设备是生产线的瓶颈,不允许出现意外停机的情况。重点设备一旦停机,会对生产带来较大的影响。所以关键设备与重点设备是监测的重点对象。

按设备的应用场合,液压设备可分为很多种类,如机床液压设备、塑料成型加工液压设备、工程机械液压设备、钢铁冶金液压设备、建材加工液压设备等。在不同的应用场合,设备的属性也有很大的差异。故障分析人员应弄清应用环境对液压设备输出的力与速度的大小及误差范围,以及动作的准确程度有什么要求,同时也要弄清液压设备性能参数发生偏移会对所生产的产品的产量与质量产生的影响,还要弄清环境因素(如温度、湿度及清洁度等)对液压设备性能损坏的影响等。

第2节 液压设备故障概述

1. 液压故障的概念

液压故障是指液压元件或系统丧失了应达到的功能及出现某些问题的情形。“功能丧失”有几种情况,完全丧失功能是破坏性故障(如泵轴扭断、电磁铁烧坏);降低功能是功能性故障(如泵容积效率下降、液压缸速度减慢);由人们错误操作与装配引起的故障是误动作故障。“出现问题”表现在振动、噪声,功能的丧失与出现问题往往联系在一起,它们都是液压装置内部条件(结构状况)及外部条件(输入量)未满足其正常运行的要求所引起的。

2. 液压故障的属性

1) 故障元件, 即发生故障的元件。液压设备以元件为基本组成单元, 液压系统的故障一般情况下就是某一具体元件的故障, 只有在对液压元件的原理、结构、功能、失效机理等有了深入系统的认识之后才能顺利地分析现场故障和排除故障。液压故障分析的一个重要特点是通过系统性能变化的考察来推断元件的损坏, 这里尤其要注意的是系统性能变化与元件损坏之间的各种关系。

2) 故障参量, 即表征液压装置功能丧失或出现问题的物理量。如压力、流量、泄漏量、速度(转速)、力(转矩)、动作秩序、位置、效率、振动、噪声及吸油口的真空度等, 上述参量值超出了规定的范围, 即表明系统发生了故障。

3) 故障症状, 即故障参量超出了规定的范围, 且被人们观测到的现象。它是故障的外在表现。

4) 故障信息, 即反映液压装置内部损坏情况的特征信息。故障症状显然是故障信息, 另外, 设备的异常现象、报警信号、系统测试分析结论、设备的使用期限、维护保养状况、运行及修理记录等在一定的条件下也是故障信息, 故障信息与故障成某种对应关系, 它是判断故障的起点和依据。

5) 故障原因, 即引起故障的初始原因。主要有油污染、机械磨损与断裂失效、设计制造问题、安装问题、环境条件不符及人为因素等。因果关系分析是具体的现场液压故障分析的主要内容, 找出最初原因是其直接目的。

6) 故障范围, 即故障的涉及面。有的故障是单一性的, 有的故障是综合性的和全面出现的。前者是由个别因素异常引起的结果, 而后者则会涉及到多环节与部分。液压油脏引起液压系统多处阀心卡死, 电磁铁烧坏等; 设备使用时间长, 多处磨损, 引起系统压力与流量下降等就属于综合性故障。

7) 故障强度, 即故障的严重程度, 也就是液压装置损坏的严重程度。严重故障强度高, 轻微故障反之。在现场, 应注意发现故障苗头, 避免严重故障。轻微故障往往信息量不充分, 现象不明显, 所以故障分析的难度也要大。

8) 劣化速度, 即故障产生、发展的速度。有的故障是突然产生的, 而另一些则是逐步发展的。如零件疲劳断裂、电线脱落是突发型故障。对于突发型故障, 应注意掌握故障的预兆。对于渐变型故障, 更应长期监测, 以弄清其发展趋势。

9) 故障时效, 即故障的作用持续状况。有的故障是暂时的、间断性的、时有时无的。例如, 污染物堵住了节流口, 后来油液冲走了污染物。再如, 由于行程开关安装松动, 换向阀可能不会及时换向。另一些故障一旦出现只有在修理或更换了零件之后才能恢复功能, 这类故障是永久性故障。暂时性故障原因在外部, 永久型故障的直接原因在元件内部。

10) 故障频率, 即故障出现的频繁性。有的故障经常出现, 有的故障偶尔出现。对经常出现的故障, 应考虑采取有力措施消除其根本原因。偶发性故障分析起来则要困难得多。

3. 液压故障的重要特点

与一般的机械与电气故障相比, 液压故障具有下列特点。

(1) 隐蔽性 液压装置的损坏与失效, 往往发生在深层内部。由于不便装拆, 现场上的

检测条件也很有限,难以直接观测,各类泵、阀、液压缸与液压马达无不如此。由于表面的症状个数有限,加上随机性因素的影响,故障分析也很困难。如大型液压阀板内部孔系纵横交错,一旦出现串通与堵塞,液压系统就会出现严重失调,在这种情况下找故障点难度很大。

例:某液压系统如图 1-1 所示。症状为:卸荷压力仅比工作压力低 1MPa 左右(工作压力约为 4MPa)。系统运行约 10min 后,油液便温升至 50℃ 以上。

引起这一问题的原因是主油路与溢流阀卸荷控制油路在阀板上串通(串通油路如图中虚线所示)。一部分经这一通道再通过换向阀回油箱。换向阀通径小,有阻力,故油液在换向阀前有压力 p_1 ,使溢流阀处在二级压力控制下,溢流阀心不能充分开启,系统压力上升,油液因节流发热加剧。当时故障分析人员对有关的液压元件作了详细的检查,并未找到可疑点。后来对阀板孔系的串通情况作了一系列校验,才找到了故障位置。

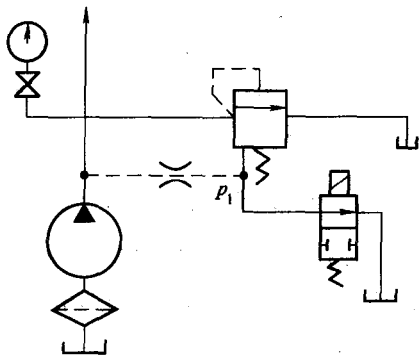


图 1-1 主油路与卸荷油路串通的
液压系统

(2) 交错性 液压系统的故障,其症状与原因之间存在各种各样的重叠与交叉。一个症状可能有多种原因引起。例如,执行元件速度慢,引起的原因有:负载过大、执行件本身磨损、导轨误差过大、系统内存在泄漏口、调压系统故障、调速系统故障及泵故障等。一个故障源也可能引起多处的症状。例如,叶片泵定子内曲线磨损之后,会出现压力波动增大和噪声增大等故障,泵的配流盘磨损之后会出现输出流量下降、泵表面发热及油温升高等症状。一个症状也可能同时是由多个故障源叠加起来形成的,例如,当泵、换向阀和液压缸均处于磨损状态时,系统的效率有较大幅度的下降。当逐一更换这些元件,效率也将逐步地提高。对于一个症状有多种可能原因的情形,应采取有效手段剔除不存在的原因。对于一个故障源产生多个症状的情形,可利用多个症状的组合去确定故障源。对于叠加现象,应全面考虑各影响因素,并分清各因素作用的主次轻重。

(3) 随机性 液压系统在运行过程中,受到各种各样的随机性因素的影响,如电网电压的变化、环境温度的变化、机器工作任务的变化等。外界污染物的侵入也是随机性的。由于随机性因素的影响,故障具体发生的变化方向更不确定,会造成判断与定量分析的困难。

(4) 差异性 由于设计、加工材料及应用环境等的差异,液压元件的磨损劣化速度相差很大。一般的液压元件寿命标准在现场无法应用,只能对具体的液压设备与液压元件确定具体的磨损评价标准,这又需要积累长期的运行数据。

第 3 节 液压故障诊断的基本问题

1. 液压故障诊断的工作内容

液压故障诊断的主要工作内容有:①判定故障的性质与严重程度。根据现场状况,判断是否存在故障,是什么性质的问题(压力、速度、动作还是其他),问题的严重程度(正常、轻微故障、一般故障、还是严重故障)。②查找失效元件及失效位置。根据症状及相关信息,

找出故障点，以便进一步排除故障。这里主要弄清“问题出在何处”。③进一步查找引起故障的初始原因。如液压油污染，液压件可靠性低，环境因素不合要求等。这里主要弄清故障的外部原因。④机理分析。对故障的因果关系链进行深入的分析与探讨，弄清问题产生的来龙去脉。⑤预测故障发展趋向。根据系统磨损劣化的现状及速度，元件使用寿命的理论与经验数据，预测液压系统将来的状况。

分析、对比、统计、归纳与综合，找出规律。在一个现场问题处理完毕之后，应将其与类似的案例作对比，并按有关原则进行评判与归类，从中提取带有共性的结论，用于指导今后的故障分析。

2. 液压故障诊断的一般步骤

现场液压故障的分析与处理涉及多方面的因素，只有对其活动过程进行合理的组织，才能取得较高的工作效率。现场的情况差别甚大，没有固定的模式，但其中主要工作步骤是大致相同的。

1) 任务的确定。明确考察对象的范围，故障分析的最终目的。

2) 对现场情况的初步了解。这一步骤是调查了解相关的现有信息，并对现场状况作大致的判断。

3) 工作方案的确定。根据现场的状况，围绕给定的任务，选定技术手段（包括技术路线、搜索方向、检测方式），确定所需的维修人员，技术资料及其他必需的条件，估计工作进程。

4) 按设定的工作程序对考察对象作检查、测试、分解、判断，得出结论。

5) 对技术活动进行总结，作好记录。记录的主要内容是症状，失效件的损坏情况，有关的环境因素，分解测试过程，故障定论，故障处理及往后的运行状况。

以上步骤显然适合于较大规模的现场问题的诊断与处理。较小规模的故障分析过程可参照这种方式灵活处理。设定工作步骤的目的是使工作过程更加有序，更有成效。

3. 液压故障诊断的基本要求

工业生产现场故障诊断与处理的目的是保证设备的正常运行，进而保证生产秩序的正常与稳定。现场的技术经济条件也对实际工作起制约作用，因此，故障诊断应尽量满足下列要求：

1) 正确。即得出的结论一定要正确，否则就无法排除故障，使设备恢复正常。

2) 精确。得出的结论越精确，消除故障的费用与时间就越少，预防故障的能力也越高，因此，故障分析不能过于粗略，而是要尽可能地深入下去。

3) 简捷。由于现场上干扰因素过多，过于精密与复杂的仪器不一定适用，且价格昂贵，一般应采用简单的方法直接分析现场问题。为了降低工人的劳动强度，并防止拆装过程对液压元件精度产生不良的影响，应尽可能避免反复装拆，这需要在工作程序与分析方法上多想办法，找出窍门。

4) 快速。关键液压设备停机往往造成整个车间、整个生产线停顿，在这种情况下必须争分夺秒地进行工作，尽早解决问题。

5) 超前。为了防止有大故障造成损失，故障分析人员必须具备较强的判断能力，在故

障的萌芽状态，就能抓住其苗头，并采取有效措施予以处理。

第4节 液压故障诊断的相关因素

1. 故障设备的状况

1) 设备的结构。液压设备在结构上的复杂程度及外形与重量等。越是复杂庞大的设备，故障分析越是困难。

2) 设备的精度。精度高的设备，工艺要求也越高，允许误差就越小，稍有偏差，便是故障状态。这种情况的故障分析，需要更精密的测试手段。

3) 装拆的方便程度。有的液压设备主要元件装在机器的外面，有的则装在机器的内部或机架的底下。有的设备用胶管联接，有的用钢管联接。有的液压油路是在阀板内部联通，另一些则是外部管路联接，这些因素都影响到机构的安装与拆卸，影响到工作的进程。

4) 测点的设置状况。有的液压设备测点较多，另一些则很少。测点多有利于分段检测，有利于排除不存在的故障原因。测点少的液压设备往往要通过分解察看液压设备内部状况去判断故障。

5) 故障点隐蔽性。有的故障很容易判定，而另一些故障点则隐蔽些。主要受故障点所处的位置，故障的重叠性，假象造成的错觉等影响。

6) 类似设备的情况。在同一个地方，有同种设备或类似设备存在，故障分析要方便得多，因为这样就有了对比的基准，可相互调换元件做现场实验。

7) 备件的状况。备件越充裕，故障分析也越方便。用备件与怀疑有故障的元件作性能上的对比，可很快查出问题。

8) 资料状况。设备的使用说明，维修记录等的详细与齐全程序，与设备故障分析有密切的关系。

2. 测试手段

测试手段是考察设备状况的必要条件，是制约故障分析的重要因素。这里主要是仪表的齐全程度，精度与量程。

1) 仪表的齐全程度。液压设备若是重要关键设备，企业的维修部门应匹配下列参量测试的仪器与仪表：压力测试、流量测试、速度与转速测试、振动与噪声测试、机械零件几何精度测试、元件表面温度测试、油温测试、油样分析、电参量测试等。

2) 仪表的精度。液压测试的精度问题，必须予以足够的重视，在此简要介绍有关仪器、仪表的测试精度。

常用的波登管式压力表的精度有 0.5、1.0、1.5、2.5 等几种。压力表精度等级数据的意义是：测量误差 = 精度等级 × 压力表最大量程。例如：压力表精度为 1.0 级，最大量程为 10MPa，则最大误差为 $0.001 \times 10 = \pm 0.1\text{MPa}$ 。现场测试的压力表应以精度等级为 1.0 或 1.5 为宜。精度等级为 0.5 的压力表可作校验用，压力传感器可测量压力的动态特性，精度约为 0.5%。

流量测量一般用椭圆轮流量计，精度约为 $\pm 0.5\%$ 。比较先进的有超声波流量计，精度

更高。

转速测量一般用手持式转速计，精度约为 1‰，要获得更高的精度宜用测速发电机或电子计数式转速机。

速度的测量可采用普通的秒表测运动件的行进时间，然后用行程除以它便可。

温度测量一般用普通温度计测量油温，用电阻式接触表面温度计测试液压件表面温度。

3) 仪表的量程。压力表的量程确定方法是使正常系统压力处在压力表全量程的 $1/3 \sim 3/4$ 以内。其他参量测试仪表也应使被测量处在仪表全量程的 20% ~ 80% 以内。

3. 有关的信息

现场液压故障分析需要各类信息，这些信息反映液压设备目前状态及有关的环境因素，也反映其过去的情况。有的信息可以直接利用，另有一些信息要加工处理才能利用。除了对现场的设备故障状况有了解，故障分析还需要下列初始信息：设备的结构及工作原理；设备的运行环境及运行状况；设备的维修状况及测试手段；设备的备件状况；同类设备的状况；本厂及邻近地区的液压设备维修能力；设备的使用维修要求；设备的故障判断指导。

为了获得这些信息，故障分析人员应对以下方面进行信息收集工作：查阅设备的使用说明与备件使用说明；查阅有关设备运行记录与维修记录；查阅有关的技术书刊，技术标准与规程；与操作人员，维修人员，备件管理人员，机械加工人员交流；收集有关的备品备件供应广告信函；到有关备件供应点及机械加工厂作调访；积极参加有关的学术与技术交流活动。

只有把上述工作充分地做好了，把技术工作的具体环境彻底弄清楚了，才能最大限度地利用各种资源及有利条件，才能取得最满意的工作成效。

4. 故障诊断与维修人员的状况

故障分析人员即分析与排除故障的工程技术人员，是认识的主体，是故障诊断过程中最活跃的，起决定作用的因素。故障诊断人员的理论知识，实践经验，现场技能，思想方法与工作方法，心理素质，以及工作作风等均与其工作成效密切相关。

(1) 理论知识 须系统地掌握的学科有液压传动及控制、流体力学、控制理论；机械工程基础知识，包括机械原理、机械设计、机械工艺学、机械工程材料、机械振动、摩擦与润滑，以及机械零件失效分析等；电气工程基础知识，包括电力拖动技术、电子技术，以及电气测试技术；计算机技术基础知识，主要是工业控制机（可编程控制器、单片机）技术、计算机辅助测试技术、仿真技术，以及人工智能技术；液压测试技术；振动测试及信号处理技术；故障诊断学；可靠性技术；与液压设备应用有关的工艺知识。

(2) 工作经验 主要包括对各类液压元件有实际的接触，熟悉主要液压元件的原理、结构、规格型号及性能特征；对液压设备的故障症状、故障机理、故障产生发展规律，以及故障诊断与监测的方式方法有深入系统的认识与全面的掌握；形成了分析各类现场液压故障的思维模式与工作程序；对所管辖的液压设备的特点有充分的了解。

(3) 现场技能 主要包括能正确地查阅各种技术资料，并从中找到所需的信息；能正确地操作，维护，装拆与调试液压设备；能正确地选用测试工具，选定测试参量及测试点，得出正确的结论，能正确处理现场数据；能凭感官大致地但也是迅速地判断现场上的异常情

况。

(4) 心理素质 主要包括对现场液压故障分析工作有浓厚的兴趣；工作细致，能不厌其烦地从事艰苦的工作，直到得出满意的结论。能避免因粗心大意与急躁忙乱引起的各类失误；头脑冷静，在问题复杂，情况紧急的关头，仍能做到临阵不慌，有条不紊。

(5) 工作作风 主要包括始终如一地坚持实事求是，脚踏实地的工作作风；独立自主地研究技术问题，不为假象所困惑，不被成规所束缚，不因他人的意见而动摇不定，坚定不移地沿着既定目标前进，但又能合理地吸收他人的正确意见。

(6) 思想方法 从事现场液压故障分析，须注意从下列方面改进思想方法：即自觉地将唯物辩证法，系统科学与信息科学作为指导原则，在实践与探索中形成正确的工程技术方法体系；正确认识液压技术与其他技术的关系。从当代科学技术体系的高度上认识液压故障诊断与状态监测技术；随时准备接受新技术，及时掌握有关学科的发展动态；充分认识各种有利与不利的外部条件，从实际出发，合理利用各种资源，实现工作过程与成效的优化；培养较强的逻辑思维能力，做到分析问题概念明确，思路清晰，敏捷，富有创造性，逻辑论证细致严密。

第5节 液压故障诊断技术的现状与发展趋势

1. 现代液压故障诊断的技术途径

根据液压系统故障诊断技术的要求，依靠近代数学的最新研究成果和各种先进的监测手段，目前国际上正处于研究和开发阶段的液压系统故障诊断方法有：功能诊断法、振动诊断法、声学振动法、热力学诊断法、传递函数诊断法、主成分诊断法、模糊诊断法、神经网络诊断法、专家系统诊断法和灰色系统诊断法等。

(1) 功能诊断法 根据解析诊断模型，传动装置可以表示为一个将输入信号变换为输出信号的系统，见图 1-2。

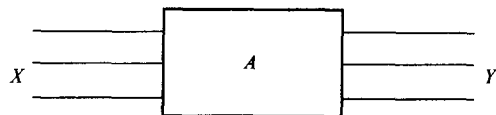


图 1-2 功能诊断法示意图

X—包括内外干扰因素、控制作用和出现内部故障引起的作用在内的输入参数的集合

Y—输出参数的集合

A—输入与输出参数之间的联系算子，算子的结构由传动装置的状态确定

(2) 振动诊断法 它是预测传动装置状态的方法，且很有发展前途。液压系统中发生的振动过程是一种高度集中传递信息的过程，它相当充分地反映了很多部件和整个传动装置的技术状态，对其振动参数测量并进行频谱分析以及与标准频谱分析进行比较，可以确定故障所在。

振动分析是一种重要的液压故障分析手段。这种分析方法的基本过程是用传感器将液压系统的压力，流量的脉动量或液压元件壳体的振动信号（位移，速度及加速度）测出并记录下来，然后通过谱分析仪作频谱变换。将这些谱图与各类标准状态（正常状态及各种典型故障状态）谱图作对比，考察其最接近哪种状态。谱图分析主要通过振幅的变化及振动峰值所处频率的变化来判断故障。图 1-3 是某液压设备压力脉动信号傅里叶变换频谱图。

图 1-3a 是正常状态下的谱图，图 1-3b 是系统溢流阀磨损并引起系统压力下降 10% 时的谱图。从这两幅谱图上可看到，在主振频率（297.5Hz）上，正常状态下的幅值电平是