



机械故障诊断技术 及维修案例精选

JIXIE GUZHANG ZHENDUAN JISHU
JI WEIXIU ANLI JINGXUAN

黄志坚 编著



化学工业出版社



机械故障诊断技术 及维修案例精选

JIXIE GUZHANG ZHENDUAN JISHU
JI WEIXIU ANLI JINGXUAN

黄志坚 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合典型维修实例介绍各类机械设备诊断维修技术及应用,重点介绍了机械设备振动问题、摩擦与润滑问题、密封与泄漏问题、温度异常问题、零部件内部缺陷问题等的诊断分析及维修方法。涉及的机械设备包括轧钢机、汽轮机、发动机、空压机、泵类设备、机床、电动机、液压设备等。

本书的读者主要是企业广大机械动力设备维修工程技术人员,仪器仪表设计开发与制造专业技术人员,大中专院校相关专业的学生与教师。

图书在版编目(CIP)数据

机械故障诊断技术及维修案例精选/黄志坚编著.
北京:化学工业出版社,2016.3
ISBN 978-7-122-26060-4

I. ①机… II. ①黄… III. ①机械设备-故障诊断
②机械设备-故障修复 IV. ①TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第011547号

责任编辑:张兴辉
责任校对:程晓彤

文字编辑:张绪瑞
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数376千字 2016年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

机械设备在运行过程中要承受力、热、摩擦、磨损等多种作用。随着使用时间的增长,其运行状态不断发生变化,有的性能将逐步劣化,有的零件将失效,甚至完全不能工作,从而发生了故障。

在机械设备维修中,研究故障的目的是通过故障诊断技术查明故障模式,追寻故障机理,探求减少故障发生的方法,提高机械设备的可靠程度和有效利用率。同时,把故障的影响和结果反映给设计和制造部门,以便采取对策。

机械设备出现故障后,使某些特性改变,产生能量、力、热及摩擦等各种物理和化学参数的变化,发出各种不同的信息。捕捉这些变化的征兆,检测变化的信号及规律,从而判定故障发生的部位、性质、大小,分析原因和异常情况,预报未来,判别损坏情况,作出决策,消除故障隐患,防止事故的发生,这就是故障诊断。它是一门识别机械设备运行状态的科学。故障诊断是近年来发展较快的多学科交叉的实用性新技术,是建立在信息检测、信号处理、计算机应用、模式识别和机械工程各学科等现代科学技术成就基础上的综合性及应用性技术科学。它对保证关键机械设备的完好和正常工作、提高生产率、降低成本、加强生产管理等各方面起到了重要的作用。据资料统计,采用该项技术后,可减少75%以上的机械设备事故,维修费用能降低25%~50%。故障诊断技术是维修制度改革——将计划预防维修变为视情维修的技术基础,具有巨大的经济价值。目前,故障诊断技术的重要性已被提到维修技术的里程碑的高度来认识,并大力开展故障诊断技术的开发工作。

设备维修的内容包括:设备维护保养、设备检查和设备修理。设备维护保养的内容是保持设备清洁、整齐、润滑良好、安全运行,包括及时紧固松动的紧固件,调整活动部分的间隙等。设备检查是指对设备的运行情况、工作精度、磨损或腐蚀程度进行测量和校验。设备修理是指修复由于日常的或不正常的原因而造成的设备损坏和精度劣化。通过修理更换磨损、老化、腐蚀的零部件,可以使设备性能得到恢复。

本书结合实例介绍各类机械设备诊断维修。全书共6章。其中第1章是概论;第2~6章分别介绍机械设备振动问题、摩擦与润滑问题、密封与泄漏问题、温度异常问题、零部件内部缺陷问题等的诊断分析方法及维修方法。涉及的机械设备主要是轧钢机、汽轮机、发动机、空压机、泵类设备、石油化工设备、机床、电动机、液压系统等。

本书的读者主要是企业广大机械动力设备维修工程技术人员,仪器仪表设计开发与制造专业技术人员,大中专院校相关专业的学生与教师。

由于本书内容涉及面宽,限于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者予以指正。

编著者

第1章 机械故障诊断维修概论	1	2.7.2 发动机连杆轴承异响故障 分析	45
1.1 机械设备的故障	1	2.7.3 基于虚拟仪器的发动机断缸 故障振动诊断	50
1.2 故障的分析	4	2.8 空压机振动故障诊断及排除方法 与案例	54
1.3 故障的诊断	6	2.8.1 离心式压缩机喘振问题分析及 解决方案	54
1.4 机械设备的维修	7	2.8.2 往复式空气压缩机振动故障 的诊断	57
第2章 机械振动故障及诊断	10	2.9 泵类设备振动故障诊断及排除 方法与案例	62
2.1 机械振动概述	10	2.9.1 大型锅炉给水泵振动原因分析 及处理	62
2.2 转子的振动故障及诊断	11	2.9.2 混流式喷水推进泵叶轮刮擦 故障的诊断	66
2.2.1 转子不平衡	12	2.10 电机振动故障诊断及排除方法与 案例	69
2.2.2 转子与联轴器不对中	12	2.10.1 基于振动频谱分析的电动机 故障诊断	69
2.2.3 连接松动	13	2.10.2 永磁直流电动机振动和噪声 分析	72
2.2.4 油膜涡动及振荡	14	2.11 机床振动故障诊断与排除 案例	76
2.2.5 碰摩	15	2.11.1 高速切削振动的形成及其 控制	76
2.2.6 喘振	16	2.11.2 磨削加工中的振动分析	79
2.3 滚动轴承振动故障诊断与监测	17	2.12 管道振动故障诊断与排除 案例	81
2.3.1 滚动轴承	17	2.12.1 压缩机复杂管路压力脉动 及管道振动	81
2.3.2 滚动轴承的失效形式	18	2.12.2 催化裂化装置再生斜管振动 原因分析及解决办法	86
2.3.3 振动机理	18	2.12.3 汽轮机管系振动分析及 治理	88
2.3.4 信号特征	20	2.13 液压系统振动故障诊断及排除 方法与案例	91
2.3.5 滚动轴承的振动测量	21	2.13.1 机械振动与噪声	91
2.3.6 滚动轴承振动信号的简易 诊断	22	2.13.2 流体振动与噪声	91
2.4 齿轮箱的失效原因与振动诊断	23	2.13.3 液压泵和液压马达的振动与 噪声	92
2.4.1 齿轮箱的失效原因和形式	23		
2.4.2 齿轮箱振动诊断分析方法	25		
2.4.3 齿轮箱振动诊断实例	25		
2.4.4 原油外输泵振动诊断实例	27		
2.5 轧钢机振动故障诊断及排除方法 与案例	29		
2.5.1 轧钢机振动故障的分析	29		
2.5.2 高线轧机增速箱振动故障的 诊断	31		
2.6 汽轮机振动故障诊断及排除方法与 案例	33		
2.6.1 轴承载荷不足引起的汽轮机组 振动故障分析	33		
2.6.2 600MW 机组轴瓦振动故障诊断 和消除	36		
2.7 发动机振动故障诊断及排除方法 与案例	41		
2.7.1 航空发动机整机振动分析	41		

2.13.4	溢流阀的振动与噪声	92	4.2	泄漏治理	146
2.13.5	其他原因造成的振动与噪声 及预防	93	4.2.1	泄漏的分类	146
2.13.6	液压系统的谐振与对策	94	4.2.2	泄漏相关因素	146
第3章 润滑故障及油液监测维护		97	4.2.3	防漏治漏的基本途径	147
3.1	机械摩擦、润滑与磨损	97	4.3	机械设备密封故障诊断维修及泄漏 治理方法与案例	147
3.1.1	摩擦、润滑与磨损的概念	97	4.3.1	阀门的泄漏问题及治理 方法	147
3.1.2	摩擦分类法	97	4.3.2	阀门密封结构的改进	149
3.1.3	产生摩擦的原因	98	4.3.3	高温阀门阀杆填料密封 技术	150
3.1.4	磨损	98	4.3.4	低温阀门密封技术	154
3.1.5	润滑	100	4.3.5	机械密封的基本结构、作用 原理、特点及分类	156
3.2	油液的测试分析与监测	102	4.3.6	泵用机械密封的安装维护 要点	158
3.2.1	润滑油常规指标变化	102	4.3.7	机械密封漏损原因及其消除 方法	159
3.2.2	光谱分析法	103	4.3.8	给水泵机械密封事故的原因 分析	162
3.2.3	铁谱分析法	108	4.3.9	催化剂反应釜密封系统失效分析 与改进	164
3.2.4	磨损颗粒分析	113	4.4	液压与气动系统密封故障分析及 泄漏治理	167
3.3	油液系统的维护要点	115	4.4.1	造成泄漏的相关因素	167
3.3.1	污染的防治	115	4.4.2	泄漏的防治	168
3.3.2	泡沫的形成原因和防治	116	4.4.3	液压缸密封失效典型问题 分析	169
3.3.3	润滑装置与系统常见故障及 维修	117	4.4.4	MQ1350A 外圆磨床液压系统爬行 故障诊断	170
3.4	机械设备润滑故障诊断及排除 案例	126	4.4.5	多级套筒伸缩式双作用液压缸 故障分析及改进	171
3.4.1	高线精轧机组油膜轴承烧损的 分析	126	4.4.6	液压破碎锤密封泄漏的分析 与改造	172
3.4.2	冶金机械设备给脂润滑过程清洁 控制	128	4.4.7	换向气阀泄漏故障的 排除	175
3.4.3	汽轮机润滑油水分超标的分析与 治理	130	4.5	带压堵漏技术及应用案例	177
3.4.4	内燃机气缸套磨损因素及预防 措施	134	4.5.1	带压堵漏的技术途径	177
3.4.5	空气压缩机润滑故障及 对策	135	4.5.2	带压引流焊接密封	178
3.4.6	螺杆压缩机润滑油路分析及 维护	137	4.5.3	液化石油气储配站带压 堵漏	179
3.4.7	液压油污染度自动监测	140	4.5.4	带压粘接密封技术在石化大型 装置维修中的应用	181
3.4.8	大型机械液压油污染分析及在线 监测	142	4.5.5	粘接密封技术在制碱设备上的	
第4章 机械设备密封故障诊断与泄漏 治理		144			
4.1	密封概述	144			
4.1.1	密封的概念	144			
4.1.2	密封的分类	144			
4.1.3	密封材料	145			

应用	183
4.5.6 带压引流焊接堵漏应用实例	184
第5章 机械设备温度异常故障及诊断	187
5.1 机械设备温度异常问题的分析	187
5.2 温度的检测	188
5.2.1 温度测量方式及常用测温仪表	188
5.2.2 接触式温度测量	189
5.2.3 非接触式温度测量	192
5.3 轴承温度异常故障诊断与维修实例	194
5.3.1 棒材轧机油膜轴承烧瓦原因的分析	194
5.3.2 设备轴承金属温度异常及轴承故障的区分	197
5.4 液压系统温度异常故障诊断与维修实例	201
5.4.1 箱内作业叉车液压油箱的改进	201
5.4.2 土压平衡式盾构机液压油温度过高故障的排除	203
5.4.3 数控不落轮对车床油温高故障处理	204
5.5 空压机温度异常故障诊断与维修实例	206
5.5.1 空压机排气温度高故障分析与处理	206
5.5.2 螺杆式空压机故障的振动诊断	208

5.5.3 主空压机故障导致船舶漂航事故的分析	209
5.6 泵类设备温度异常故障诊断与维修实例	211
5.6.1 高温泵机械密封失效分析与改进	211
5.6.2 低温泵故障分析及其解决措施	213
第6章 机械缺陷无损检测及应用实例	218
6.1 渗透检测及应用实例	219
6.1.1 渗透检测原理和工艺	219
6.1.2 蒸汽透平机的检修与渗透检测	219
6.2 磁粉检测及应用实例	221
6.2.1 磁粉检测原理与方法	221
6.2.2 磁粉检测工艺	223
6.2.3 锻、铸件磁粉检测应用	223
6.2.4 在用小尺寸管座角焊缝裂纹磁轭法磁粉检测	224
6.3 射线检测及应用实例	226
6.3.1 射线检测原理	226
6.3.2 射线检测应用	228
6.4 超声检测及应用实例	229
6.4.1 超声检测原理	229
6.4.2 超声检测方法	230
6.4.3 超声检测应用	231
6.4.4 核电厂反应堆压力容器主螺栓超声检测	231
参考文献	236

机械故障诊断维修概论

1.1 机械设备的故障

机械设备在运行过程中要承受力、热、摩擦、磨损等多种作用。随着使用时间的增长,其运行状态不断发生变化,有的性能将逐步劣化,有的零件将失效,甚至完全不能工作,从而发生了故障。

在机械设备维修中,研究故障的目的是通过故障诊断技术查明故障模式,迫寻故障机理,探求减少故障发生的方法,提高机械设备的可靠程度和有效利用率。同时,把故障的影响和结果反映给设计和制造部门,以便采取对策。

(1) 定义

故障是指整机或零部件在规定的时间和使用条件下不能完成规定的功能,或各项技术经济指标偏离了它的正常状况,但在某种情况下尚能维持一段时间工作,若不能得到妥善处理将导致事故。例如:某些零部件损坏、磨损超限、焊缝开裂、螺栓松动,使工作能力丧失;发动机的功率降低;传动系统失去平衡和噪声增大;工作机构的工作能力下降;燃料和润滑油的消耗增加等,当其超出了规定的指标时,即发生了故障。

故障通常是指可以排除的障碍,即指可以修复的失效。

对于故障,应明确以下几点:

① 规定的对象。它是指一台单机,或由某些单机组成的系统,或机械设备上的某个零部件。不同的对象在同一时间将有不同的故障状况。例如:在一条自动化流水线上,某一单机的故障足以造成整条自动线系统功能的丧失;但在机群式布局的车间里,就不能认为某一单机的故障与全车间的故障相同。

② 规定的时间。发生故障的可能性随时间的延长而增大。时间除了直接用年、月、日、时等作单位外,还可用机械设备的运转次数、里程、周期作单位。例如:车辆等用行驶的里程;齿轮用它承受载荷的循环次数等。

③ 规定的条件。这是指机械设备运转时的使用维护条件、人员操作水平、环境条件等。不同的条件将导致不同的故障。

④ 规定的功能。它是针对具体问题而言。例如:同一状态的车床,进给丝杠的损坏对

加工螺纹而言是发生了故障，但对加工端面来说却不算发生故障，因为这两种情况所需车床的功能项目不同。

⑤ 一定的故障程度。即应从定量的角度来估计功能丧失的严重性。

在生产实践中，为概括所有可能发生的事件，给故障下了一个广泛的定义，即“故障是不合格的状态”。

(2) 模式

机械设备的故障必定表现为一定的物质状况及特征，它们反映出物理的、化学的异常现象，并导致功能的丧失。这些物质状况的特征称故障模式，需要通过人的感官或测量仪器得到，相当于医学上的“病症”。

常见的故障模式可按以下几方面进行归纳：

① 属于机械零部件材料性能方面的故障，包括疲劳、断裂、裂纹、蠕变、过度变形、材质劣化等。

② 属于化学、物理状况异常方面的故障，包括腐蚀、油质劣化、绝缘绝热劣化、导电导热劣化、熔融、蒸发等。

③ 属于机械设备运动状态方面的故障，包括振动、渗漏、堵塞、异常噪声等。

④ 多种原因的综合表现，如磨损等。

此外，还有配合件的间隙增大或过盈丧失、固定和紧固装置松动与失效等。

故障模式举例见表 1-1。

表 1-1 故障模式举例

序号	名称		模 式
1	轴承		弯曲、咬合、堵塞、开裂、压痕、卡住、润滑作用下降、凹痕、刻痕、擦伤、黏附、振动、磨损等
2	齿轮		咬合、破碎、移位、卡住、噪声、折断、磨损等
3	密封装置		破碎、开裂、老化、变形、损坏、泄漏、破裂、磨损、其他等
4	液压系统	液压缸	爬行、外泄漏、内泄漏、声响与噪声、冲击、推力不足、运动不稳、速度下降等
		液压泵	无压力、压力流量均提不高、噪声大、发热严重、旋转不灵活、振动、冲击等
		电磁换向阀	滑阀不能移动、电磁铁线圈烧坏、电磁铁线圈漏电、不换向等
5	机械系统		(1)系统不能启动或在运行中停止运动 (2)系统失速或空转 (3)系统失去负载能力或负载乏力 (4)系统控制失灵 (5)系统泄漏严重 (6)系统振动剧烈、噪声异常 (7)某些零部件断裂、烧损、过量变形 (8)电、磁导断失调 (9)其他

(3) 性质

① 层次性 机械设备可按结构和功能分解为若干个层次（或部分、单元），故障则与之相对应。

② 相关性 机械设备的某层次出现故障，同它相关的层次也可能引发故障，使多种故障并存。不同层次的故障互相联系、互相影响，关系复杂。

③ 延时性 故障的产生、传播和恶化都需要时间，且随时间的延长而变化。

④ 不确定性 故障的发生、现象、定量描述和检测分析都具有不确定性，从而增加了故障诊断和维修的复杂程度。

⑤ 修复性 多数故障是可以修复的,包括更换零部件。

(4) 分类

对故障进行分类是为了估计故障事件的影响深度、分析故障的原因,以便采取相应的对策。故障可从不同角度进行分类。

临时性故障:临时性故障又称间断故障,它多半是由机械设备的外部原因引起的。例如:工人误操作、气候变化、运输条件中断、环境设施不良等造成。当这些外部干扰消除后,运转即可正常。但临时性故障能导致永久性故障。

永久性故障:永久性故障造成的机械设备功能丧失必须到某些零部件更换或修复后才能恢复。

① 按故障发生时间分:

a. 早发性故障,这是由于机械设备在设计、制造、装配、安装、调试等方面存在问题引起的。例如:新购入的液压系统严重漏油和噪声很大。这种情况可以通过重新检测、重新安装来解决处理;若设计不合理,需修改设计;如果元件质量差,则应更换元件。

b. 突发性故障,这是由于各种不利因素和偶然的外界影响因素共同作用的结果。故障发生的特点是具有偶然性和突发性,事先无任何征兆,一般与使用时间无关,难以预测。但它容易排除,通常不影响寿命。例如:因润滑油中断而使零件产生热变形裂纹;因使用不当或出现超负荷引起零件折断;因各参数达到极限值而引起零件变形和断裂等。

c. 渐进性故障,它是因机械设备技术特性参数的劣化,包括腐蚀、磨损、疲劳、老化等逐渐发展而成的。其特点是故障发生的概率与使用时间有关,只是在机械设备有效寿命的后期才明显地表现出来。故障一经发生,就标志着寿命的终结。通常它可以进行预测。大部分机械设备的故障都属于这一类。

d. 复合型故障,这类故障包括上述故障的特征,其故障发生的时间不定。机械设备工作能力耗损过程的速度与其耗损的性能有关。例如零件内部存在着应力集中,当受到外界作用的最大冲击后,继续使用就可能逐渐发生裂纹;又如摩擦副的磨损过程引起渐进性故障,而外界的磨粒会引起突发性故障。

② 按故障表现形式分:

a. 功能故障,机械设备应有的工作能力或特性明显降低,甚至根本不能工作,即丧失了它应有的功能,称功能故障。这类故障可通过操作者的直接感受或测定其输出参数而判断。例如关键零件坏了、精度丧失、传动效率降低、速度达不到标准值,使整机不能工作;生产率达不到规定的指标等。

b. 潜在故障,故障逐渐发展,但尚未在功能方面表现出来,却又接近萌发的阶段。当这种情况能够鉴别时,即认为也是一种故障现象,称潜在故障。例如零件在疲劳破坏过程中,其裂纹的深度接近于允许的临界值时,便认为存在潜在故障。探明了潜在故障,就有可能在达到功能故障之前进行排除,有利于保持完好状态,避免因发生功能故障而带来的不利后果,这在机械设备使用和维修中有着重要意义。

③ 根据故障产生的原因分:

a. 人为故障,由于在设计、制造、大修、使用、运输、管理等方面存在问题,使机械设备过早地丧失了它应有的功能,称人为故障。它又分为:错用性故障,这是指机械设备没有按照原设计规定的条件运转,超载、超速、超时,工作条件发生未料及的恶化等原因导致的故障;固有薄弱性故障,它来源于机械设备本身,如设计不当、制造工艺差、材料低劣等,是固有薄弱性环节构成故障隐患或故障诱发因素。

b. 自然故障,机械设备在其使用和保有期内,因受到外部或内部各种不同的自然因素影响而引起的故障都属于自然故障。例如正常情况下的磨损、断裂、腐蚀、变形、蠕变、老

化等损坏形式。这种故障虽然不可避免,但随着设计、制造、使用和维修水平的提高,可使机械设备有效工作时间大大延长而使故障推迟发生。

④ 按故障造成后果分:

a. 致命故障,这是指危及或导致人身伤亡,引起机械设备报废或造成重大经济损失的故障。例如机架或机体脱离、车轮脱落、发动机总成报废等。

b. 严重故障,它是指严重影响机械设备正常使用,在较短的有效时间内无法排除的故障。例如发动机烧瓦、曲轴断裂、箱体裂纹、齿轮损坏等。

c. 一般故障,明显影响机械设备正常使用,在较短的有效时间内可以排除的故障。例如传动带断裂、操纵手柄损坏、钣金件开裂或开焊、电器开关损坏等。

d. 轻度故障,轻度影响机械设备正常使用,能在日常保养中用随机工具轻易排除的故障。如轻微渗漏、一般紧固件松动等。

此外,还可按故障的部位分为整体和局部;按故障的时间分为磨合、正常使用和耗损故障;按故障的责任分为相关和非相关故障;按故障外部特征分为可见和隐蔽故障;按故障的程度分为部分和完全;按故障的原因又可分为设计结构、生产工艺、材料、使用等故障。

故障通常采取几种分类法复合并用,如突发性的局部故障、磨损性的危险故障等。由此看出故障的复杂性、严重性和起因等情况。

1.2 故障的分析

(1) 故障统计分析

它是应用可靠性理论,运用统计技术和方法,从宏观现象上,定性地和定量地描述分析机械设备运动过程的模型、特点和规律性。显然,故障统计分析可以对机械设备的状况作出规律性地大致描述,提供信息,反映主要故障问题,但不能揭示事物的根本性质。

故障统计分析包括故障的分类、故障分布和特征量、故障的逻辑决断等。

(2) 故障物理分析

它是以机械设备在各种不同使用条件下发生的各种故障为研究对象,用先进的测试技术和理化方法,从微观和亚微观的角度分析研究故障从产生、发展到形成的过程,故障的机理、形态、规律及其影响因素。

故障物理分析包括故障机理和故障形态两个方面。

故障机理是研究机械设备产生故障的原因及其发展规律,即劣化理论。故障机理往往由于机械设备、零部件、材料、使用环境的差别而不同,很难扼要地把它说清,只能作简单的归纳,一般表现为断裂、磨损、变形、疲劳、腐蚀和氧化等。

故障形态的研究,是把故障机理和故障分析的研究,归结到故障的具体形态、类型和模式上。在大量统计和分析研究的基础上,用故障单元的外部特征作为判断故障内在联系的依据,具有鲜明的直觉感。

故障机理和故障类型的分析是维修策略,包括维修方式、管理体制、改造和更新等的决策依据,是维修技术的基础理论,对维修技术的应用和发展有重要的影响。

(3) 故障产生的主要原因及主要内容

故障产生的主要原因及主要内容见表 1-2。

(4) 影响因素

在机械制造和维修中,影响零部件参数值变化速率的因素主要有以下几个方面。

① 设计规划 在设计规划中,应对机械设备未来的工作条件有准确估计,对可能出现的变异有充分考虑。设计方案不完善、设计图样和技术文件的审查不严是产生故障的重要原因。

表 1-2 故障产生的主要原因及主要内容

主要原因	主要内容
设计	结构、尺寸、配合、材料、润滑等不合理,运动原理、可靠性、寿命、标准件、外协件等有问题
制造	毛坯选择不适合,铸、锻、热处理、焊、切削切工、装配、检验等工序存在问题,出现应力集中、局部和微观金相组织缺陷、微观裂纹等
安装	找正、找平、找标高不精确,防振措施不妥,地基、基础、垫铁、地脚螺栓设计、施工不当
使用保养	违反操作规程,操作失误,超载、超压、超速、超时、腐蚀、漏油、漏电、过热、过冷等超过机械设备功能允许范围;不及时清洗换油、不及时调整间隙、不清洁干净、维护修理不当、局部改装失误、备件不合格
润滑	润滑系统破坏,润滑剂选择不当、变质、供应不足、错用,润滑油路堵塞等
自然磨损	正常磨损、材料老化等
环境因素	雷电、暴雨、洪水、风灾、地震、污染、共振等
人的素质	工人未培训、技术等级偏低、素质差等
管理	管理混乱、管理不善、保管不当等
原因待查	其他原因

② 材料选择 在设计、制造和维修中,都要根据零件工作的性质和特点正确选择材料。材料选用不当、或材质不符合标准规定、或选用了不适当的代用品是产生磨损、腐蚀、过度变形、疲劳、破裂、老化等现象的主要原因。此外,在制造和维修过程中,很多材料要经过铸、锻、焊和热处理等热加工工序,在工艺过程中材料的金相组织、力学物理性能等要经常发生变化,其中加热和冷却的影响尤为重要。

③ 制造质量 在制造工艺的每道工序中都存在误差。工艺条件和材质的离散性必然使零件在铸、锻、焊、热处理和切削加工过程中积累了应力集中、局部和微观的金相组织缺陷、微观裂纹等。这些缺陷往往在工序检验时容易被疏忽。零件制造质量不能满足要求是机械设备寿命不长的重要原因。

④ 装配质量 首先要有正确的配合要求。配合间隙的极限值包括装配后经过磨合的初始间隙。初始间隙过大,有效寿命期就会缩短。装配中各零部件之间的相互位置精度也很重要,若达不到要求,会引起附加应力、偏磨等后果,加速失效。

⑤ 合理维修 根据工艺合理、经济合算、生产可能的原则,合理进行维修、保证维修质量。这里最重要、最关键的是要合理选择和运用修复工艺、注意修复前的准备、修复过程中按规程执行操作、修复后的处理工作。

⑥ 正确使用 在正常使用条件下,机械设备有其自身的故障规律。但使用条件改变,故障规律也随之变化。主要有以下几种。

a. 载荷。机械设备发生耗损故障的主要原因是零件的磨损和疲劳破坏。在规定的使用条件下,零件的磨损在单位时间内是与载荷的大小成直线关系。而零件的疲劳损坏只是在一定的交变载荷下发生,并随其增大而加剧。因此,磨损和疲劳都是载荷的函数。当载荷超过设计的额定值后,将引起剧烈的破坏,这是不允许的。

b. 环境。它包括气候、腐蚀介质和其他有害介质的影响,以及工作对象的状况等。温度升高,磨损和腐蚀加剧;过高的湿度和空气中的腐蚀介质存在,造成腐蚀和腐蚀磨损;空气中含尘量过多、工作条件恶劣都会影响故障的产生。但是环境是一客观因素,在某些情况下可人为地采取措施加以改善。

c. 保养和操作。建立合理的维护保养制度,严格执行技术保养和使用操作规程,是保证机械设备工作的可靠和提高使用寿命的重要条件。此外,需要对人员进行培训,提高素质和水平。

1.3 故障的诊断

机械设备出现故障后，使某些特性改变，产生能量、力、热及摩擦等各种物理和化学参数的变化，发出各种不同的信息。捕捉这些变化的征兆，检测变化的信号及规律，从而判定故障发生的部位、性质、大小，分析原因和异常情况，预报未来，判别损坏情况，作出决策，消除故障隐患，防止事故的发生，这就是故障诊断。它是一门识别机械设备运行状态的科学。

故障诊断是近年来发展较快的多学科交叉的实用性新技术，是建立在信息检测、信号处理、计算机应用、模式识别和机械工程各学科等现代科学技术成就基础上的综合性及应用性技术科学。它对保证关键机械设备的完好和正常工作、提高生产率、降低成本、加强生产管理等各方面起到了重要的作用。据资料统计，采用该项技术后，可减少 75% 以上的机械设备事故，维修费用能降低 25%~50%。故障诊断技术是维修制度改革——将计划预防维修变为视情维修的技术基础，具有巨大的经济价值。目前，故障诊断技术的重要性已提到维修技术的里程碑的高度来认识，并大力开展故障诊断技术的开发工作。

(1) 原理和任务

在医学中，通过被诊断者的体温、血压、脉搏等状况反映一个人的健康情况。而在机械设备中，运用诊断手段获取各种特征信息，反映它的技术状况，当参数超越一定范围，就有故障的征兆。例如：某机械运转一般都有噪声，当机械中的某些配合件因磨损等原因引起配合间隙增大时，就会出现冲击和振动，从而使噪声进一步增大。所以，噪声反映了故障的征兆。技术状况参数有许多，如温度、压力、流量、电流、电压、功率、转速、噪声、振动等。机械设备故障诊断的技术原理如图 1-1 所示。

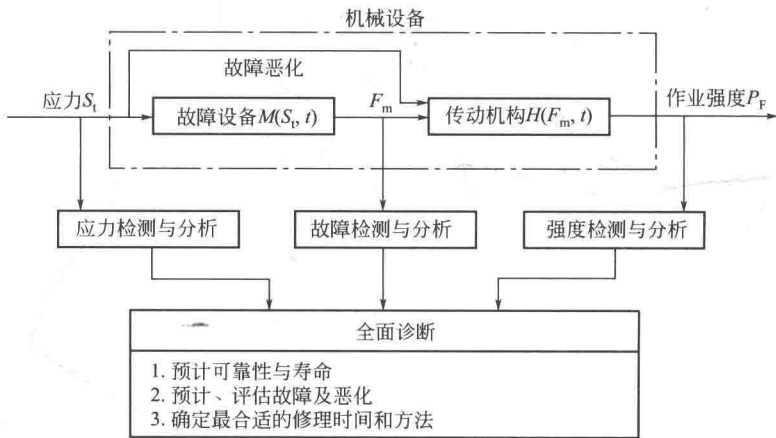


图 1-1 机械设备故障诊断技术原理

机械设备故障诊断技术必须完成以下任务：

- ① 弄清引起机械设备的劣化或故障的主要原因——应力状况。
- ② 掌握机械设备劣化、故障的部位、程度及原因等情况。
- ③ 了解机械设备的性能、强度、效率，做出诊断决策。
- ④ 预测机械设备的可靠性及使用寿命。

(2) 分类

- ① 功能和运行诊断 对新安装或维修好的机械设备需要诊断其功能是否正常，并根据

检查或诊断结果对其进行必要的调整,称功能诊断。对正在服役的机械设备进行运行状态的诊断,监视其故障的发生或发展,称运行诊断。

② 直接和间接诊断 直接诊断是对机械设备或零部件直接观察和测试,又称一次信息诊断。由于受结构和运行条件等因素的限制不能进行直接诊断,而需通过二次诊断信息间接地得到有关运行工况的公断称间接诊断。因它常带有综合信息的因素,有造成误诊的可能性。

③ 常规和特殊诊断 常规诊断属于机械设备正常运行条件下进行的诊断,一般情况下最常用。对正常运行条件难以取得的诊断信息,通过创造一个非正常运行条件取得的信息和进行诊断称特殊诊断。

④ 简易和精密诊断 由一般维修人员对机械设备进行概括性的评价称简易诊断。而精密诊断则是在简易诊断的基础上由专家对工况作精确的诊断。

⑤ 定期诊断和在线监控 定期诊断是每隔一定的时间对机械设备的各规定部位进行一次检查和诊断,又叫巡回检查;通过一些仪器仪表及计算机处理系统对机械设备的运行状态进行连续的跟踪监视和控制为在线监控,它是现代化的监测手段。

(3) 过程

故障诊断的基本过程如图 1-2 所示。

在故障诊断过程中,应能在不拆卸机械设备的条件下定量检测和评价其各部分的运动、受力、磨损、缺陷、性能劣化和故障状态等;应能确定故障性质、部位、程度和发展趋势,预测可靠性程度;应能确定发生异常时的修复方法。

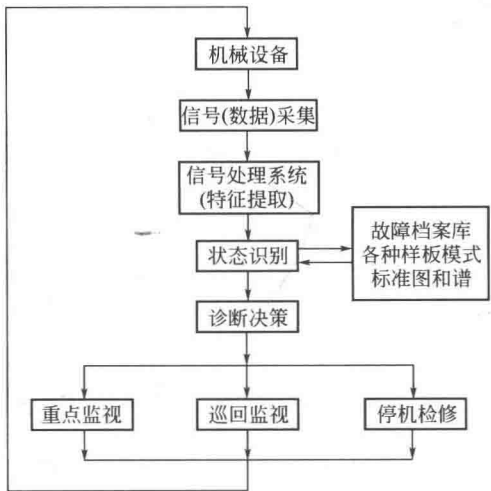


图 1-2 故障诊断的基本过程

1.4 机械设备的维修

设备维修的基本内容包括:设备维护保养、设备检查和设备修理。

(1) 设备维护保养

设备维护保养的内容是保持设备清洁、整齐、润滑良好、安全运行,包括及时紧固松动的紧固件,调整活动部分的间隙等。简言之,即“清洁、润滑、紧固、调整、防腐”十字作业法。实践证明,设备的寿命在很大程度上取决于维护保养的好坏。维护保养依工作量大小和难易程度分为日常保养、一级保养、二级保养、三级保养等。

日常保养,又称例行保养。其主要内容是:进行清洁、润滑、紧固易松动的零件,检查零件、部件的完整。这类保养的项目和部位较少,大多数在设备的外部。

一级保养主要内容是:普遍地进行拧紧、清洁、润滑、紧固,还要部分地进行调整。日常保养和一级保养一般由操作工人承担。

二级保养主要内容包括内部清洁、润滑、局部解体检查和调整。

三级保养主要是对设备主体部分进行解体检查和调整工作,必要时对达到规定磨损限度的零件加以更换。此外,还要对主要零部件的磨损情况进行测量、鉴定和记录。二级保养、三级保养在操作工人参加下,一般由专职保养维修工人承担。

在各类维护保养中,日常保养是基础。保养的类别和内容,要针对不同设备的特点加以

规定,不仅要考虑到设备的生产工艺、结构复杂程度、规模大小等具体情况和特点,同时也要考虑到不同工业企业内部长期形成的维修习惯。

(2) 设备检查

设备检查,是指对设备的运行情况、工作精度、磨损或腐蚀程度进行测量和校验。通过检查全面掌握机器设备的技术状况和磨损情况,及时查明和消除设备的隐患,有目的地做好修理前的准备工作,以提高修理质量,缩短修理时间。

检查按时间间隔分为日常检查和定期检查。日常检查由设备操作人员执行,同日常保养结合起来,目的是及时发现不正常的技术状况,进行必要的维护保养工作。定期检查是按照计划,在操作者参加下,定期由专职维修工执行。目的是通过检查,全面准确地掌握零件磨损的实际情况,以便确定是否有进行修理的必要。

检查按技术功能可分为机能检查和精度检查。机能检查是指对设备的各项机能进行检查与测定,如是否漏油、漏水、漏气,防尘密闭性如何,零件耐高温、高速、高压的性能如何等。精度检查是指对设备的实际加工精度进行检查和测定,以便确定设备精度的优劣程度,为设备验收、修理和更新提供依据。

(3) 设备修理

设备修理是指修复由于日常的或不正常的原因而造成的设备损坏和精度劣化。通过修理更换磨损、老化、腐蚀的零部件,可以使设备性能得到恢复。设备的修理和维护保养是设备维修的不同方面,二者由于工作内容与作用的区别是不能相互替代的,应把二者同时做好,以便相互配合、相互补充。

① 设备修理的种类 根据修理范围的大小、修理间隔期长短、修理费用多少,设备修理可分为小修理、中修理和大修理三类。

a. 小修理。小修理通常只需修复、更换部分磨损较快和使用期限等于或小于修理间隔期的零件,调整设备的局部结构,以保证设备能正常运转到计划修理时间。小修理的特点是:修理次数多,工作量小,每次修理时间短,修理费用计入生产费用。小修理一般在生产现场由车间专职维修工人执行。

b. 中修理。中修理是对设备进行部分解体、修理或更换部分主要零件与基准件,或修理使用期限等于或小于修理间隔期的零件;同时要检查整个机械系统,紧固所有机件;消除扩大的间隙,校正设备的基准,以保证机器设备能恢复和达到应有的标准和技术要求。中修理的特点是:修理次数较多,工作量不很大,每次修理时间较短,修理费用计入生产费用。中修理的大部分项目由车间的专职维修工在生产车间现场进行,个别要求高的项目可由机修车间承担,修理后要组织检查验收并办理送修和承修单位交接手续。

c. 大修理。大修理是指通过更换,恢复其主要零部件,恢复设备原有精度、性能和生产效率而进行的全面修理。大修理的特点是:修理次数少,工作量大,每次修理时间较长,修理费用由大修理基金支付。设备大修后,质量管理部门和设备管理部门应组织使用和承修单位有关人员共同检查验收,合格后送修单位与承修单位办理交接手续。

② 设备修理的方法 常用的设备修理的方法主要有以下一些:

a. 标准修理法。又称强制修理法,是指根据设备零件的使用寿命,预先编制具体的修理计划,明确规定设备的修理日期、类别和内容。设备运转到规定的期限,不管其技术状况好坏,任务轻重,都必须按照规定的作业范围和要求进行修理。此方法有利于做好修理前准备工作,有效保证设备的正常运转,但有时会造成过度修理,增加了修理费用。

b. 定期修理法。是指根据零件的使用寿命、生产类型、工件条件和有关定额资料,事先规定出各类计划修理的固定顺序、计划修理间隔期及其修理工作量。在修理前通常根据设备状态来确定修理内容。此方法有利于做好修理前准备工作,有利于采用先进修理技术,减

少修理费用。

c. 检查后修理法。是指根据设备零部件的磨损资料，事先只规定检查次数和时间，而每次修理的具体期限、类别和内容均由检查后的结果来决定。这种方法简单易行，但由于修理计划性较差，检查时有可能由于对设备状况的主观判断误差引起零件的过度磨损或故障。

机械振动故障及诊断

2.1 机械振动概述

机械设备中任何一个运动部件或与之相关的零件出现故障，必然破坏机械运动的平稳性，在传递力的参与下，这种力和运动的非平稳现象表现为振动。

如不能准确判断设备异常振动的原因，这会给系统运行带来较大隐患，最终造成设备无法正常运转，给企业生产带来巨大的损失。

振动分析及测量在诊断机械故障中有着重要的地位。建立在现代故障诊断技术和系统集成技术上的机械设备故障诊断系统，可对设备的运行状态实现实时在线监测，通过对其监测信号的处理与分析，以及不同时期信号变化的对比，可真实地反映出设备的运行状态和松动、磨损等情况的发展程度及趋势，为预防事故、科学安排检修提供依据。

从力学的角度来看，振动可以定义为：物体围绕某一固定位置来回摆动并随时间变化的一种运动。

图 2-1 所示弹簧质量系统中质量块的运动就是一个典型的振动例子。

在质量块上作用一个力（例如作用一个向上的力），让其偏离平衡位置，到达上限位置后，将作用力撤除，于是质量块便会因重力而向下运动，并穿过平衡位置到达某个下限位置，之后又会在弹簧拉力作用下向上运动。这种周而复始的运动就是振动。

根据这样的力学模型，心脏的跳动、肺部的呼吸、潮汐的涨落、柴油机排气管的噪声等都可归到振动学研究的范畴。

引起机械振动的原因有很多种，概括起来主要有：

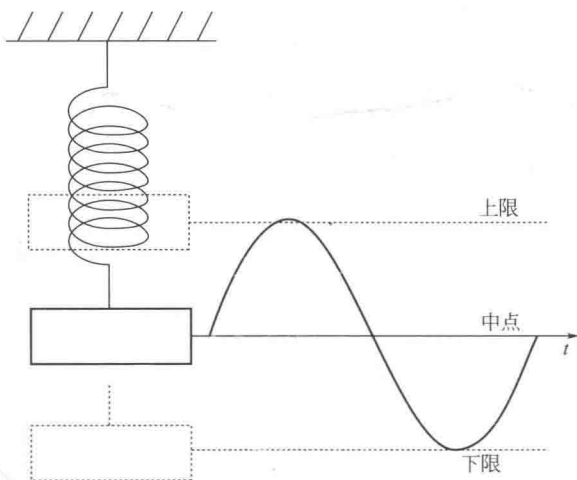


图 2-1 质量块运动随时间变化的轨迹