



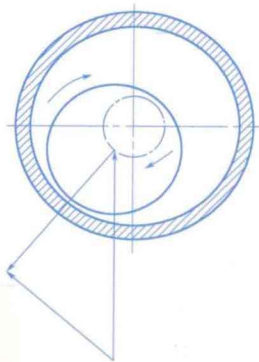
教育部高职高专规划教材
JIAOYUBU GAOZHI GAOZHUAN GUIHUA JIAOCAI

设备状态监测与故障诊断

第二版

SHEBEI
ZHUANGTAI JIANCE YU
GUZHANG ZHENDUAN

● 张碧波 主编
● 徐宝志 张莹 副主编



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

设备状态监测与故障诊断

第二版

张碧波 主编

徐宝志 张莹 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是依据全国化工高职高专教学指导委员会、过程装备及控制专业教材工作会议精神以及过程装备及控制专业教学基本要求编写的,突出高等职业教育的特点,融入最新的标准,强调了实用性、复合性和先进性,体现了现代技术水平。

本书将理论知识与企业应用技术有机地结合在一起,符合目前的教学改革要求。全书共分八章,包括绪论、振动理论概述、振动诊断技术、常用设备状态监测仪器、机器故障诊断实例、油液污染诊断技术、温度诊断技术、其他诊断技术等内容,各章配有一定数量的习题供学习时选用。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人学校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类及近机械类专业的教学用书,还可用于工矿企业动力设备管理的岗位培训。

图书在版编目(CIP)数据

设备状态监测与故障诊断/张碧波主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2011.4

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-10619-3

I. 设… II. 张… III. ①机械设备-状态-监测-高等学校:技术学院-教材②机械设备-故障诊断-高等学校:技术学院-教材 IV. TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第030265号

责任编辑:高钰

文字编辑:李娜

责任校对:吴静

装帧设计:刘丽华

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)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 $\frac{3}{4}$ 字数288千字 2011年6月北京第2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:22.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

本书是在第一版基础上，根据全国化工高职高专教学指导委员会过程装备及控制专业教材工作会议精神，吸取原教材在教学实践中所取得的经验修订而成。本书参考学时数仍为 50 学时。

编者听取了有关学校师生的意见，特别是有关企业一线工程技术人员的意见，审慎确定了修订方案，主要修订工作如下。

- (1) 保持原书体系，增加了部分内容，拓宽了应用范围。
- (2) 更新了部分内容，突出了应用性。
- (3) 采用通用的、最新的国际标准和国家标准。
- (4) 增加了习题，以利于教与学。

本书除用于学校的教学外，还可用于企业的岗位培训。

参加本书修订工作的有：徐宝志（第五章的第九节），张莹（第四章的第一节），张丰（第四章的第三节及第五节），董卫国（第六章、第八章），王蕴弢（第四章的第二节及第四节，第七章），张碧波（第一章、第二章、第三章及第五章的第一节～第七节），于凤春（全书的习题及答案），左经刚（第五章的第八节），陆殿忠（附录），全书由张碧波任主编，负责全书的统稿，徐宝志、张莹任副主编。

李晓东教授及张玉刚高级工程师仔细地审阅了全部文稿和图稿，提出了很多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中缺点和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2011年3月

第一版前言

本书是根据全国化工高职高专教学指导委员会过程装备及控制专业教材工作会议精神，按照过程装备及控制专业的教学基本要求并结合编者从事教学和生产实践的经验编写而成的。本书参考学时数为 50 学时。

本书具有如下的特点。

(1) 体现了新知识和新技术的应用。

(2) 以培养技术应用型人才为目标，贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则，删减了理论性较强的内容，突出了实用性强的教学内容。

(3) 采用通用的、最新的国际标准和国家标准。

(4) 每章配有小结和适量思考题，以加强应用理论知识解决实际问题能力的训练。

(5) 适用范围广。除用于学校的教学外，还可用于企业的岗位培训。

参加本书编写的有：董卫国（第六章、第八章），王蕴波（第四章的第二节、第三节和第四节，第七章），张碧波（第一章、第二章、第三章及第五章），张莹（第四章的第一节），陆殿忠（附录），全书由张碧波任主编，负责全书的统稿。

丛文龙副教授仔细地审阅了全部文稿和图稿，提出了很多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，且编写时间仓促，书中缺点和错误难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 故障诊断的概念	1
一、设备技术状态及监测	1
二、故障与维修	1
三、故障诊断的定义	2
第二节 故障诊断技术的工作原理和工作方法	3
一、故障诊断技术的工作原理	3
二、故障诊断技术的工作方法	3
第三节 故障诊断技术的层次	4
一、简易诊断技术	4
二、精密诊断技术	4
小结	5
习题	5
第二章 振动理论概述	6
第一节 振动的概念和分类	6
一、振动的概念	6
二、振动的分类	8
第二节 自由振动	9
一、单自由度无阻尼线性系统的振动	9
二、单自由度有阻尼线性系统的振动	10
第三节 强迫振动和自激振动	11
一、简谐力作用下单自由度系统的强迫振动	11
二、自激振动	13
第四节 振动信号在幅值域中的描述	14
一、概率密度函数	14
二、均值与方差	14
三、均方根值	15
四、轴心轨迹	16
第五节 振动信号在时域中的描述	16
一、波形的相似性	16
二、互相关函数	17
三、自相关函数	18
四、相关分析的应用	19
第六节 振动信号在频率域中的描述	20
一、频谱分析	21
二、幅值谱分析	23
三、功率谱分析	24

四、倒频率谱分析	25
小结	26
习题	26
第三章 振动诊断技术	28
第一节 振动监测系统的组成	28
一、测振传感器	28
二、磁带机	46
三、数据采集器	48
四、信号分析与处理设备	51
第二节 振动诊断技术的实施过程	51
一、诊断对象的确定	52
二、诊断方案的确定	52
三、振动信号的测量	54
四、设备状态分析与故障诊断	57
五、测量周期的确定	74
小结	74
习题	75
第四章 常用设备状态监测仪器	77
第一节 SPM 滚动轴承故障诊断仪性能及操作	77
一、冲击脉冲法的基本原理	77
二、CMJ-1 型冲击脉冲计工作原理	78
三、仪器结构及组成	79
四、仪器操作步骤	80
五、操作注意事项	80
第二节 JTQ-1 机器听诊器性能及操作	81
一、仪器工作原理	81
二、仪器结构及组成	81
三、仪器操作步骤	82
四、操作注意事项	82
第三节 ENPAC 2500 测振仪性能及操作	82
一、仪器工作原理	83
二、ENPAC 2500 测振仪的组成	83
三、ENPAC 2500 测振仪界面介绍	84
四、仪器操作步骤	85
五、双通道应用	86
第四节 DZ-2011 现场振动平衡分析仪性能及操作	86
一、仪器工作原理	86
二、仪器结构及组成	87
三、操作步骤	88
四、操作注意事项	90
第五节 EXP 3000 电机综合监测分析仪	91
一、仪器工作原理	91
二、EXP 3000 电机综合监测分析仪的组成	91
三、EXP 3000 电机综合监测分析仪的主要功能	91

四、EXP 3000 电机综合监测分析仪的操作	91
小结	91
习题	92
第五章 机器故障诊断实例	93
第一节 转子不平衡的诊断	93
一、不平衡振动特征识别	93
二、诊断实例	95
第二节 转子不对中的诊断	96
一、转子不对中的振动特征识别	96
二、诊断实例	97
第三节 油膜涡动和油膜振荡的诊断	100
一、振动特征识别	100
二、诊断实例	100
第四节 机器联接松动的诊断	104
一、机器联接松动的特征识别	104
二、诊断实例	105
第五节 齿轮故障的诊断	106
一、齿轮振动特征识别	106
二、诊断实例	109
第六节 滚动轴承振动故障的诊断	112
一、滚动轴承故障的特征识别	113
二、诊断实例	117
第七节 转子与静止件摩擦故障的诊断	119
一、振动特征识别	119
二、诊断实例	120
第八节 往复式空压机振动故障的诊断	120
一、故障的特征识别	121
二、诊断实例	123
第九节 交流异步电动机的故障诊断	124
一、交流异步电动机故障的特征识别	124
二、诊断实例	127
小结	128
习题	129
第六章 油液污染诊断技术	131
第一节 油液污染诊断技术概述	131
一、油样分析的含义	131
二、磨粒的形成机理与识别	132
第二节 铁谱分析技术	135
一、铁谱分析的原理及特点	135
二、铁谱仪	136
三、铁谱分析过程	137
四、铁谱的定性分析	138
五、铁谱的定量分析	139
六、铁谱技术的应用实例	140

第三节	光谱分析技术	141
一、	油样光谱分析的简单原理	141
二、	油样光谱分析的特点	142
三、	磨损界限	142
第四节	磁塞技术	142
一、	磁塞检测的基本原理	142
二、	磁塞的构造原理	142
三、	磁塞的安装	143
小结	.....	143
习题	.....	143
第七章	温度诊断技术	145
第一节	温度诊断概述	145
一、	温度诊断原理	145
二、	温度诊断方法	146
第二节	红外监测诊断技术及其应用	147
一、	红外基础知识	147
二、	红外测温仪	149
三、	红外热电视	154
四、	红外热像仪	157
五、	红外监测诊断工程实例	160
小结	.....	162
习题	.....	162
第八章	其他诊断技术	164
第一节	超声和声发射诊断技术	164
一、	超声诊断技术	164
二、	声发射诊断技术	165
第二节	诊断专家系统	167
一、	诊断专家系统的原理和组成	167
二、	诊断专家系统的实际应用	169
三、	诊断专家系统的问题及发展	170
小结	.....	171
习题	.....	171
附录	.....	173
习题答案	.....	178
参考文献	.....	180

第一章 绪 论

在 20 世纪 80 年代初，世界上一些发达国家开发和创立了一种称为“设备诊断技术”的高新技术，它能在设备运行中或基本上不拆卸设备的情况下，通过监测掌握设备运行状态，判断产生故障的部位和原因，并能预测未来的技术状态。本章介绍设备状态监测和故障诊断技术的基本概念、基本原理和方法。

第一节 故障诊断的概念

一、设备技术状态及监测

设备从投入使用时开始，其工作状态和技术指标（即技术状态）就一直在发生变化，如果任其发展，就会产生故障，甚至造成严重后果。1986 年 4 月 27 日前苏联切尔诺贝利核电站四号机组发生严重振动而造成核泄漏，致使 2000 多人死亡，经济损失达 30 亿美元，引起国际上普遍的关注。

类似这样的设备事故每年都有大量的报道，它反复提醒人们，为了避免设备事故，保障人身和设备安全，必须对设备进行监测，使人们随时掌握设备的技术状态，从而使设备维修和管理更趋科学化。

二、故障与维修

（一）故障的含义

所谓“故障”，指的是“一台装置在它应达到的功能上丧失了能力”，即机械设备运行功能的失常（Malfunction），并非纯指失效（Failure）或损坏（Breakdown）。设备一旦发生故障，往往给生产和产品质量乃至人们的生命安全造成严重的影响，为使设备保持正常运行状态，必须采用合适的方法进行维修。

（二）状态维修的概念

设备经过运行使用之后，性能将逐渐变差，为保证其正常工作，必须及时将劣化了的性能加以恢复，这就是设备维修。在设备技术发展史上，先后经历了三种维修方式。

1. 事后维修

按这种维修方式工作的设备，往往没有采用有效的监测手段，通常在设备损坏之后进行修理。这种维修制度只适用于造价低的设备，并且设备事故对人身不会造成伤害、对工艺没有大的影响的情况。对于现代化的生产，由于设备向大型化、高速化、自动化等方向发展，力学性能指标越来越高，设备组成和结构越来越复杂，一旦发生事故，造成的损失是非常巨大的。设备修复也很困难，要付出昂贵的修理费用。因此，这种维修方式已很少采用。

2. 定期预防维修

定期预防维修是设备按固定的周期进行维修，如定期地对设备进行清洁、润滑，有计划地更换配件等。这种维修方式，对保证设备安全运行，减少维修费用能起到一定的作用，但

由于缺乏对设备故障规律的认识，没有有效的监测手段，检修周期基本上是凭人的经验加上某些统计资料来制定的，它很难预防许多由于随机因素引起的事故，而且会造成过剩维修。甚至由于维修不当，反而增加了故障率。

按照定期预防维修的观点，设备在新的时候或刚修理过时，其故障率是较低的，随着时间的推移，故障率会逐渐增大；当出现故障的设备数达到 2% 时，就应对全部设备进行修理，这会使 98% 的设备有剩余的寿命；但如不按期检修，在更短的时间内将又有 2% 的设备发生故障。

但事实并非如此。联合航空公司（United Airlines）和美国航空公司（American Airlines）对 235 套机械设备（包括电机、泵类、控制系统）作了一个普查，发现只有 8% 的设备的故障率随时间推移按照一定的规律增加，而其余 92% 的设备故障率近似为一常数。多数设备故障率并不随时间增加而变大，全部设备都定期进行检修是不科学的，无形中浪费了大量人力和物力，减少了设备可用运行时间，这就是所谓的过剩维修。况且人们并不知道其故障是怎样随时间变化的，采用这种方式对设备进行维修，对于预防设备事故的作用是有限的。

3. 状态维修

状态维修是一种新的维修方式。顾名思义，使用这种维修方式，需要预先掌握设备的实际技术状态，据此决定维修工作。它的基本原则是只有当测量结果表明有必要检修的时候才进行检修，也就是说，它按“需”维修（见图 1-1）。将定期维修变成定期检测设备的运行状态，跟踪故障的发展过程及推算设备状态超标发生的时间，就可根据设备状态劣化的程度，在故障发生前的某个时间内做好检修准备，有针对性地、有计划地安排停工修理。如果生产条件不容许，也可有安排地让设备坚持运行到出现故障时再停下检修（当然，故障后果严重或对人身安全有重大威胁的除外）。实行这种方式的维修制度，无论对减少备件库存量，缩短检修时间，提高检修质量还是对减少故障造成的人身事故，提高设备的有效利用率都是有好处的。

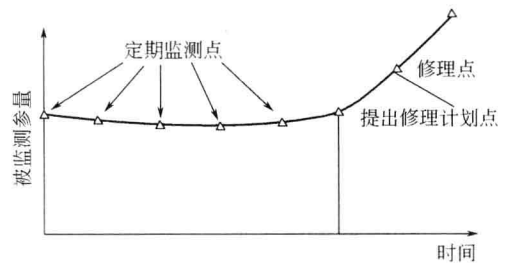


图 1-1 状态维修方式

三、故障诊断的定义

“诊断”包括两方面内容：“诊”是对设备客观状态作检测；“断”则是确定故障的性质、故障的程度、故障的部位，说明故障产生的原因，提出对策等。现在所说的设备故障诊断技术，具有两个特点。

一个特点是应用了许多现代化的监测仪器和分析诊断系统。电子技术和计算机技术的迅速发展，快速傅里叶变换算法语言的出现，使信号分析技术从硬件到软件都达到了新的水平。设备、零件的可靠性研究以及对零件失效机理的研究，为设备诊断技术的发展提供了坚实的理论基础。现在可供使用的仪器和监测系统，从便携式仪器到成套设备，直到具有人工智能的专家系统均已出现，其性能指标、功能规格正在不断更新和扩大。这些应用现代科学理论和技术制造出来的电子仪器设备，具有许多主观监测无可比拟的优点，如灵敏度高，反应速度快，信号转换方便等，计算机还具有记忆和逻辑判断能力。因此，过去靠感官无法发现的微小状态变化，现在都可准确地及时地加以测定。

另一个显著特点是它强调的是动态诊断。设备只有在运行中才能产生物理的、化学的信

号, 信号超过一定指标就表示发生了故障。设备停止运行, 信号消失, 有的故障就难以发现。

综上所述, 设备故障诊断就是在设备运行中或基本不拆卸设备的情况下, 监测设备运行的状态量, 预测故障的部位和原因以及其对设备未来运行的影响, 从而找出对策的一门技术, 设备故障诊断是一门很有应用前途的技术。

第二节 故障诊断技术的工作原理和工作方法

一、故障诊断技术的工作原理

在设备监测和故障诊断技术中, 异常及故障的表现叫做征兆, 征兆的特点叫模式。和医学诊断相似, 为了进行机械故障诊断, 要将故障征兆进行分类(如振动、噪声、变形、残留物、松动、斑点、凹坑, 断裂等), 弄清故障类别(磨损、裂纹、腐蚀、不平衡、不对中、泄漏), 性质(渐发性、扩展性)和程度(局部故障、整机故障等), 在掌握了故障具体类别之后, 就可根据故障的机理预测其发展情况, 提出相应对策。故障诊断技术一般有如下四个方面的工作内容。

(1) 信号检测 就是正确选择测试仪器和测试方法, 准确地测量出反映设备实际状态的各种信号(应力参数, 设备故障劣化的征兆参数, 运行性能强度参数等), 由此建立起来的状态信号属于初始模式。

(2) 特征提取 将初始模式的状态信号通过放大或压缩、形式变换、去除噪声干扰等处理, 提取故障特征, 形成待检模式。

(3) 状态识别 根据理论分析结合故障案例, 并采用数据库技术所建立起来的故障档案库为基准模式, 把待检模式与基准模式进行比较和分类, 即可区别设备的正常与异常。

(4) 预报决策 经过判别, 对属于正常状态的设备可继续监视, 重复以上程序; 对属于异常状态的设备则要查明故障情况, 做出趋势分析, 估计今后发展和可继续运行的时间以及根据问题所在提出控制措施和维修决策。

二、故障诊断技术的工作方法

故障诊断技术的工作方法和应用场合见表 1-1。

表 1-1 故障诊断技术的工作方法和应用场合

序号	故障征兆	工作方法	应用场合
1	振动	强度测定、频谱分析、SPM 脉冲诊断	旋转机械、往复机械、流体机械、转轴、轴承、齿轮等
2	温度	红外测温、红外热像、热电偶	热工设备、工业炉窑、电动机、电器、电子设备等
3	油液	油品的理化性能、磨粒的铁谱分析及油液的光谱分析	设备润滑系统、有摩擦副的传动系统、电力变压器等
4	声学	噪声、声阻、超声波、声发射等	压力容器及管道、流体机械、工业阀门、断路器开关等
5	强度	载荷、扭矩、应力、应变等	起重运输设备、锻压设备、各种工程结构等
6	压力	压力、压差、压力联动等	液压系统、流体机械、内燃机、液力耦合器等
7	点蚀和裂纹等	着色渗透、X 射线、磁粉探伤、声发射等	设备及零件的表面损伤、交换器及管道内孔等

选用上述工作方法要根据对象不同而有所区别，其中以振动、油液、温度及声学的诊断方法应用最多。

第三节 故障诊断技术的层次

设备故障诊断在应用上分成简易诊断和精密诊断两类。状态监测与故障诊断是诊断技术的两个组成部分。

一、简易诊断技术

简易诊断技术是应用简单的方法，对设备技术状态快速作出概括性评价的技术。一般有以下几个特点。

- ① 由设备维护人员在生产现场进行。
- ② 使用的诊断仪器及检测仪表较简单和易于携带。
- ③ 只对装备有无故障、故障的严重程度及其发展趋势做出定性的初步判断。
- ④ 相关的技术知识和经验比较简单。
- ⑤ 采集的故障信号应该储存建档。

设备的简易诊断技术包括定期的或在线的状态监测，它能对设备技术状态的一些参数作出是否正常的判断。当参数存在异常或超过限值时，即报警或自动停机。

设备简易诊断适宜于安装调试阶段用以检查和排除运输过程及安装施工中的缺陷以及在使用维护阶段进行状态监测，发现事故隐患，掌握设备的劣化趋势。

二、精密诊断技术

精密诊断技术是使用精密的仪器，在简易诊断的基础上对设备技术状态作出详细评价的技术。一般包括以下几个特点。

- ① 诊断由具有一定经验的工程技术人员或专家在生产现场或诊断中心完成。
- ② 使用的诊断分析仪器比较复杂。
- ③ 对设备故障的存在部位、发生原因及故障类型进行识别和定量分析。
- ④ 相关的技术知识和经验比较复杂，需要较多的学科配合。
- ⑤ 对信号进行深入的处理，并根据需要预测设备寿命。

近年开发的人工智能与诊断专家系统和计算机辅助设备诊断系统等都属于精密诊断技术领域，一般多用于关键机组和诊断比较复杂的故障原因。

精密诊断除用于设备的开发研制过程外，更多用于使用维修阶段，但由于它所需费用较高，只有当简易诊断难以确诊时才采用。

在推广应用诊断技术时，一定要结合实际情况，应该把重点放在普及简易诊断上，同时积极开发精密诊断技术，使之尽快达到实用水平。需要指出的是两种诊断体制的划分只是相对的，现在的所谓精密诊断，随着技术的进步就会划入简易诊断范围之内。设备故障诊断技术发展很快，状态维修技术将很快得到普遍推广。

小 结

1. 故障是机械运行功能的失常。
2. 设备维修分事后维修、定期预防维修和状态维修三类。
3. 设备故障诊断就是在设备运行中或基本不拆卸设备的情况下，监测设备运行的状态量，预测异常故障的部位和原因，以及预知对设备未来运行的影响，从而找出对策的一门技术。
4. 设备故障诊断有简易诊断和精密诊断两个层次。

习 题

一、单选题

1. 设备状态维修被誉为维修技术的一次重大革命，其优点和经济性不包括（ ）。
 - A. 避免失修
 - B. 避免过剩维修
 - C. 做好维修准备
 - D. 零件实现最大寿命
2. 设备故障诊断应在（ ）进行。
 - A. 机器运行中
 - B. 机器停止运行后
 - C. 机器损坏后
 - D. 装配过程中
3. 设备故障诊断未来发展方向是（ ）。
 - A. 事后诊断
 - B. 量化诊断
 - C. 经验诊断
 - D. 人工智能和网络化
4. （ ）是目前应用最广泛也是最成功的诊断方法。
 - A. 振动诊断
 - B. 温度诊断
 - C. 油液污染诊断
 - D. 超声波诊断
5. 定期预防维修特点，下列说法错误的是（ ）。
 - A. 设备运行中维修
 - B. 会增加故障发生率
 - C. 造成过剩维修
 - D. 增加维修成本

二、判断题

- （ ）1. 定期预防维修是最新的维修方式。
- （ ）2. 状态维修具有显著的周期性特点。
- （ ）3. “状态监测与故障诊断”的概念来源于仿生学。
- （ ）4. 设备故障具有传播性。

三、思考题

1. 如何理解状态维修的概念？
2. 什么是故障诊断技术？
3. 故障诊断技术基本工作原理是什么？
4. 简述简易诊断技术与精密诊断技术的关系。

第二章 振动理论概述

机械振动状态监测和故障诊断技术在理论上和方法上都很成熟，它涉及很多学科知识。本章介绍机械振动的基本知识和信号分析的基本方法，这些是设备状态监测和故障诊断技术的理论基础。

第一节 振动的概念和分类

一、振动的概念

振动是物体运动的一种形式，它是指物体经过平衡位置而往复运动的过程。机械振动是物体（或其一部分）沿直线或曲线并经过其平衡位置所作的往复运动。图 2-1 所示的弹簧振动是简单机械振动的例子。

振动的情况可用位移、速度和加速度三个参量来表征，这三个参量统称为振动参数。

(1) 位移 振动物体离开平衡位置的距离。常用微米 (μm) 或毫米 (mm) 作单位。

(2) 振动速度 就是振动物体位移的快慢，即位移对时间的变化率。以毫米/秒 (mm/s) 为单位。

(3) 振动加速度 即物体振动速度的变化率，也就是位移的二阶导数，一般用 g (重力加速度) 表示其大小。

将振动参数随时间变化的状态画出来，可以得到相应曲线，此线叫做振动波形。简谐振动的波形如图 2-2 所示，它是一条正弦曲线（实线）。

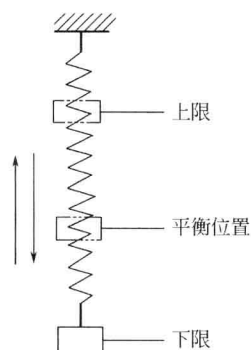


图 2-1 弹簧振动

振动理论概述

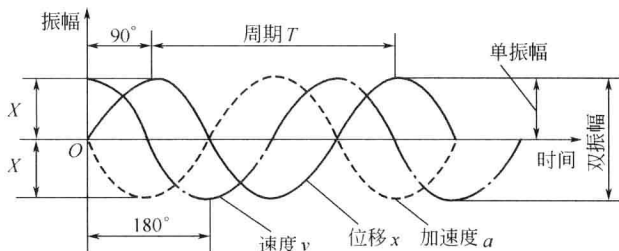


图 2-2 简谐振动的时域图像

每一个振动参量都具有三个基本要素，即振幅 X 、频率 f 和相位 φ 。现在就以简谐振动为例，来说明三要素的概念、它们之间的关系以及在振动诊断中的应用。

1. 振幅 X

简谐振动位移可以用下面的函数式表示

$$x = X \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \phi_0\right) \quad (2-1)$$

式中 X ——位移振幅，指振动物体（或质点）在振动过程中偏离平衡位置的最大距离。

（在振动参数中有时也称峰值或单峰值。 $2X$ 称为峰峰值、双峰值或简称双幅， μm 或 mm ；

t ——时间， s ；

T ——周期，振动质点（或物体）完成一次全振动所需要的时间， s ；

ϕ_0 ——初始相位， rad 。

由于 $\frac{2\pi}{T}$ 可以用角频率 ω 表示，即 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ，所以式（2-1）又可写成

$$x = X \sin(\omega t + \phi_0) \quad (2-2)$$

简谐振动的时域图像如图 2-2 所示。

振幅不仅用于表达位移，还可以用于表达速度 v 和加速度 a 。将简谐振动的位移函数式（2-1）进行一次求导就得到了速度的函数式：

$$v = V \cos(\omega t + \phi) = V \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \phi_0\right) \quad (2-3)$$

式中 V ——速度最大幅值， mm/s 。

再对速度函数式（2-3）进行一次求导，就得到了加速度的函数式：

$$a = A \sin(\omega t + \phi_0 + \pi) \quad (2-4)$$

式中 A ——加速度最大幅值， mm/s^2 。

从式（2-2）、式（2-3）、式（2-4）可知，速度比位移的相位超前 90° ；加速度比位移的相位超前 180° ，见图 2-2。

这里介绍一个与振动幅值有关的物理量即速度有效值 V_{rms} ，也叫速度均方根值，这是一个经常用到的振动测量参数。当前大多数振动标准都是采用 V_{rms} 作为判别参数。

对于简谐振动来说，速度的最大幅值 V_p （峰值）与速度有效值 V_{rms} 、速度平均值 V_{av} 之间的关系如图 2-3 所示，速度有效值是介于幅值和平均值之间的一个参数值。用代数式表示，三者有如下关系

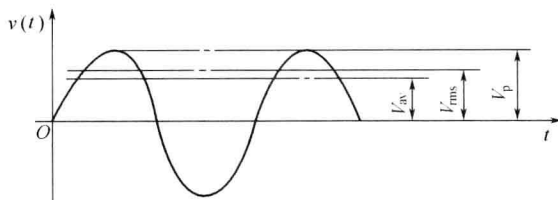


图 2-3 简谐振动速度有效值 V_{rms} ，峰值 V_p 与平均值 V_{av} 之间的关系

$$V_{\text{rms}} = F_f V_{\text{av}} = \frac{1}{F_c} V_p \quad (2-5)$$

式中 F_f ——波形系数；

F_c ——波峰系数。

幅值反映振动的强度，振幅的平方与物质振动的能量成正比，振动诊断标准都是用振幅来表示的。

2. 频率 f

振动物体（或质点）一秒钟振动的次数称为频率，用 f 表示，单位为 Hz。振动频率与周期 T 是倒数关系，即

$$f = \frac{1}{T} \tag{2-6}$$

式中 T ——周期，是振动体再现相同振动的最小时间间隔，s 或 ms。

频率如果用角频率 ω 来表示，则

$$\omega = 2\pi f \tag{2-7}$$

我国交流电源的频率为 50Hz。如果一台机器的转速为 1500r/min，那么其转速频率（简称转频） $f_r = 25\text{Hz}$ 。

频率是振动诊断中非常重要的参数，在确定诊断方案，实施状态识别，选用诊断标准时都要用到振动频率。对振动信号作频率分析是振动诊断最重要的内容，也是振动诊断的最大优势。

3. 相位 φ

在式(2-2)中，令 $\varphi = \omega t + \phi_0$ ，则得

$$x = X \sin \varphi \tag{2-8}$$

式中 φ ——振动物体的相位，rad。

相位是时间 t 的函数。振动信号的相位，表示振动质点的相对位置。不同振动源产生的振动信号都有各自的相位。相位相同的振动，会引起共振，产生严重的后果；相位相反的振动会使振动互相抵消，起到减振的作用。由几个谐波分量叠加而成的复杂波形，即使各谐波分量的振幅不变，仅改变相位角，也会使波形发生很大变化。

相位测量分析在故障诊断中亦有相当重要的地位，一般用于谐波分析、动平衡测量、振动类型和共振点识别等许多方面。

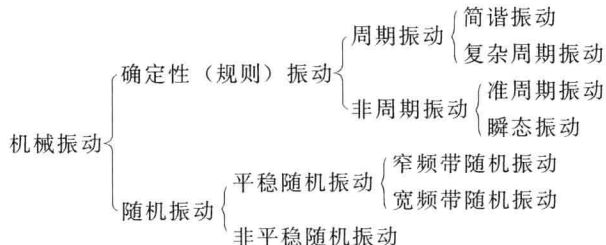
在图 2-2 中，标明了同一振动信号的位移、速度、加速度三者之间的相位关系。

二、振动的分类

各种机器设备在运行中，都不同程度地存在振动，这是机械运行的共性。然而，不同的机器，或同一台机器的不同部位，以及机器在不同的时刻或不同的状态下，其产生的振动形式又往往是有差别的，这又体现了设备振动的特殊性。从不同的角度来考察振动问题，可按如下方式将振动进行分类。

1. 按振动规律分类

按振动的规律，一般将机械振动分为如下几种类型。



这种分类，主要是根据振动在时间历程内的变化特征来划分的。大多数机械设备的振动类型是周期振动、准周期振动、窄频带随机振动和宽频带随机振动以及几种不同类型振动的组合。一般在启动或停机过程中的振动信号是平稳的。设备在实际运行中，其表现的周期信