

振动诊断的 动力学理论与方法

陈安华 刘德顺 郭迎福 编著



机械工业出版社
China Machine Press

振动诊断的动力学理论与方法

陈安华 刘德顺 郭迎福 编著



机械工业出版社

本书针对振动诊断理论研究与工程实践的需要,较系统地叙述了动力学基本理论与典型方法及其应用。主要内容包括振动诊断技术的动力学原理、线性振动分析、运动稳定性与分岔、非线性振动分析和振动性态的刻划等,其中运动稳定性与分岔和非线性振动分析为全书的重点。

本书以应用为目的,在深入浅出、简明扼要地介绍动力学基本概念、基本理论和基本方法的同时,重点揭示了机械系统中常见的动力学行为及其物理机理。

本书可供机械故障诊断领域的研究者和工程技术人员使用,也可作为机械类专业大学高年级和研究生教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

振动诊断的动力学理论与方法 / 陈安华等编著.

—北京:机械工业出版社,2001.12

ISBN 7-111-09404-2

I. 振… II. 陈… III. 机械振动—故障诊断—动力学分析 IV. TH113.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第068316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:梁福军 责任校对:杨少晨

封面设计:姚毅

北京海直大都印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年1月第1版第1次印刷

890mm×1240mm A5·7.625印张·230千字

0001—1500册

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本书购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

机械故障诊断理论与技术是一门新兴的交叉学科，是社会生产和科学技术发展到一定阶段的必然产物。该学科涉及众多的科学与技术领域，具有明显的“积木式”知识结构，其显著特点是理论性与实践性俱强，新理论与新技术密集。自 20 世纪 60 年代末至今，机械故障诊断理论与技术在世界范围内受到政府、学术界和工业界日益广泛的关注，一直是技术科学中研究与应用的热点。在各种故障诊断技术中，基于振动特性分析判断机械工作状态，识别故障类型与位置，预测故障趋势的振动诊断方法占据着主导地位。由于其适用面广，无需专门昂贵仪器以及便于实施在线监测与诊断等突出特点，振动诊断方法在工程实际中获得了广泛的应用，产生了巨大的经济和社会效益。

振动诊断涉及两类基本问题，即故障分析与故障诊断。前者是已知故障的类型、位置与程度，通过分析、计算或实验的途径确定在既定故障激励下诊断对象的响应特性，可以称之为正问题求解。故障分析的目的是在故障集与振动状态集之间建立确定的映射关系，进而形成诊断知识库。后者是根据异常响应的特征，推知故障的类型、位置与程度，可以称之为逆问题求解。故障诊断的目的是通过解读实测图谱和数据，辨别异常响应特性，依据业已建立的故障集与振动状态集之间的映射关系，作出诊断结论。显然，无论是故障分析还是故障诊断，都必须依据一定的动力学原理，正是在这个意义上，可以认为线性振动理论、非线性振动理论、运动稳定性与分岔理论是振动诊断方法的科学基础。

线性振动理论已发展得较为完善，已有一整套广大工程技术人员所熟知的规范的分析求解方法，因此，在故障分析与故障诊断的研究与实践中，人们通常倾向于将对象线性化，建立线性化的动力学模型，应用线性系统理论与方法分析故障激励下机械系统的异常动力学行为，阐释故障机理，形成诊断知识库，并基于线性系统的立场、观点和方法解读实测图谱和数据，得出诊断结论。当诊断对象中的非线性

因素很微弱时，基于线性振动理论的机械故障诊断方法，在多数情况下不仅能得出定性上正确、定量上误差不大的结论，而且能大幅度地降低理论与技术难度和分析计算工作量。然而，由于源自物理的、结构的、几何的以及其他方面的非线性因素的客观存在，非线性是机械系统动力学的固有属性，并且故障的存在及其恶化通常又强化了系统的非线性，机械运转速度的提高和新型材料的应用也使得机械系统中的非线性因素更加显著。当诊断对象中客观存在的非线性较为突出时，线性化的建模与分析不仅导致定量上难以接受的误差，更为重要的是难以避免地过滤了与故障密切相关的系统非线性动力学行为，如稳态响应对初始条件的依赖性、运动的多样性与稳定性、振动状态突变与滞后现象、超谐波与亚谐波共振、组合共振、参数共振、混沌振动以及系统长期性态对参数的依赖性等，进而不利于机械系统故障的准确诊断，甚至导致误诊和漏诊。研究与实践使人们清楚地认识到，在机械故障诊断学科中应用现代非线性动力学理论与方法，既是减少误诊、漏诊，提高诊断水平的需要，也是本学科自身深化发展的逻辑必然。

写作本书的意图是为机械故障诊断领域的研究者、工程技术人员以及相关专业的研究生、高年级大学生提供一本参考书。该书以应用为目的，介绍振动诊断技术所依据的动力学基本理论与典型方法，主要内容包括振动诊断的动力学原理、线性振动分析、运动稳定性与分岔、非线性振动分析、振动性态的刻划等。考虑到线性振动理论已为大多数读者所熟悉，因此，本书只在第2章作概括性介绍，而把重点放在非线性动力学的基本概念、基本理论与基本方法。为了便于工科类读者理解和掌握本书的基本内容，作者力图做到深入浅出、清晰直观，所用到的数学知识不超出大学工科类专业的数学课程。本书在结合振动诊断需要介绍动力学基本理论与方法及其应用的同时，重点揭示了机械系统中常见的动力学行为及其物理机理。值得说明的是，求解非线性动力学问题的数值方法在理论研究和工程实际中经常被采用，如初值问题和边值问题的数值解法等，但考虑到数值方法方面的书籍较多，且各种算法的程序也较为齐全，限于篇幅，本书不再涉及数值方法方面的内容。

由于非线性动力学理论与方法远非完善，其工程应用散见于各学科文献之中，在振动诊断技术中的应用才刚刚开始，且远未成熟，加之作者学识水平有限，书中难免存在错误与疏漏，乞望读者指正。

本书涉及的部分研究工作得到了国家自然科学基金和湖南省自然科学基金的资助，湘潭工学院学科建设办公室，湘潭工学院科研处以及湘潭工学院振动、冲击与诊断研究所对本书的写作与出版给予了大力支持，特此致谢。

作 者

2001年6月1日

目 录

前言

| | |
|---|----|
| 第 1 章 机械故障诊断概述 | 1 |
| 1.1 机械故障诊断理论与技术的发展背景 | 1 |
| 1.1.1 社会生产对故障诊断技术的迫切需求 | 2 |
| 1.1.2 科学技术的进步为故障诊断技术的发展 奠定了坚实的基础 | 3 |
| 1.2 机械故障诊断的基本内容与技术过程 | 3 |
| 1.3 机械故障诊断方法 | 5 |
| 1.4 振动诊断方法的动力学原理 | 6 |
| 1.4.1 对基于线性振动理论的故障诊断方法的讨论 | 8 |
| 1.4.2 关于非线性振动诊断的几个问题 | 11 |
| 第 2 章 线性振动分析方法 | 17 |
| 2.1 单自由度线性系统振动分析 | 17 |
| 2.1.1 单自由度线性系统的自由振动 | 17 |
| 2.1.2 简谐激励的受迫振动 | 22 |
| 2.1.3 单圆盘转子的横向振动 | 25 |
| 2.1.4 任意周期激励的响应 | 28 |
| 2.1.5 非周期激励的响应 | 29 |
| 2.1.6 单自由度线性系统振动的非时域描述 | 31 |
| 2.2 无阻尼多自由度线性系统的自由振动 | 33 |
| 2.2.1 固有频率与模态 | 33 |
| 2.2.2 主质量与主刚度 | 36 |
| 2.2.3 主坐标与模态叠加法 | 37 |
| 2.2.4 等固有频率情形 | 39 |
| 2.3 无阻尼多自由度线性系统的受迫振动 | 40 |
| 2.3.1 简谐激励的受迫振动 | 40 |
| 2.3.2 模态叠加法 | 41 |

| | | |
|--------------|----------------------------|-----------|
| 2.3.3 | 任意激励的受迫振动 | 43 |
| 2.4 | 有阻尼多自由度线性系统的振动分析 | 44 |
| 2.4.1 | 模态阻尼方法 | 44 |
| 2.4.2 | 传递函数矩阵与复频响应函数矩阵 | 46 |
| 2.4.3 | 多自由度一般粘性阻尼系统的振动分析 | 47 |
| 第 3 章 | 运动稳定性与分岔的一般理论 | 51 |
| 3.1 | 李雅普诺夫稳定性概念 | 51 |
| 3.1.1 | 扰动方程 | 51 |
| 3.1.2 | 李雅普诺夫稳定性定义 | 54 |
| 3.2 | 李雅普诺夫直接方法 | 56 |
| 3.2.1 | 函数的定号与变号 | 56 |
| 3.2.2 | 李雅普诺夫直接方法 | 57 |
| 3.3 | 线性系统稳定性理论 | 60 |
| 3.3.1 | 线性系统的稳定性准则 | 60 |
| 3.3.2 | 特征方程所有根具有负实部的判据 | 62 |
| 3.4 | 李雅普诺夫一次近似理论 | 65 |
| 3.5 | 奇点的性质与类型 | 69 |
| 3.5.1 | 奇点的定义 | 69 |
| 3.5.2 | 奇点的性质与分类 | 70 |
| 3.5.3 | 奇点附近相轨迹的结构 | 75 |
| 3.6 | 极限环的一般理论 | 76 |
| 3.6.1 | 极限环及其稳定性 | 77 |
| 3.6.2 | 极限环存在的条件 | 80 |
| 3.7 | 分岔的一般理论 | 83 |
| 3.7.1 | 结构稳定性 | 83 |
| 3.7.2 | 分岔的基本概念 | 84 |
| 3.7.3 | 动力学系统的分岔 | 85 |
| 第 4 章 | 非线性振动分析方法 | 92 |
| 4.1 | 机械系统中的非线性动力学现象 | 93 |
| 4.2 | 摄动法 | 97 |
| 4.2.1 | 直接摄动法 | 97 |

| | | |
|--------------|------------------------|------------|
| 4.2.2 | 林滋泰德—庞卡莱摄动法 | 102 |
| 4.3 | 平均法 | 105 |
| 4.3.1 | 弱非线性系统的自由振动 | 105 |
| 4.3.2 | 等效线性化方法 | 108 |
| 4.3.3 | 弱非线性系统的受迫振动 | 108 |
| 4.3.4 | 弱非线性转子接近共振的受迫振动 | 112 |
| 4.4 | KBM 法 | 116 |
| 4.4.1 | 弱非线性系统的自由振动 | 116 |
| 4.4.2 | 远离共振的受迫振动 | 121 |
| 4.4.3 | 接近共振的受迫振动 | 125 |
| 4.5 | 多尺度法 | 129 |
| 4.5.1 | 多尺度法的基本思想 | 129 |
| 4.5.2 | 达芬系统的振动分析 | 130 |
| 4.5.3 | 自振系统的受迫振动 | 149 |
| 4.6 | 谐波平衡法 | 157 |
| 4.6.1 | 基本原理 | 157 |
| 4.6.2 | 被动隔振体的非线性振动分析 | 161 |
| 4.7 | 弗洛凯理论 | 164 |
| 4.8 | 多自由度系统非线性振动 | 170 |
| 4.8.1 | 自由振动 | 171 |
| 4.8.2 | 受迫振动 | 178 |
| 4.8.3 | 旋转机械超谐波共振分析 | 185 |
| 4.8.4 | 参数振动 | 191 |
| 第 5 章 | 振动性态的刻划方法 | 194 |
| 5.1 | 混沌振动 | 194 |
| 5.1.1 | 混沌振动概述 | 195 |
| 5.1.2 | 产生混沌振动的途径 | 196 |
| 5.2 | 振动性态刻划的一般方法 | 200 |
| 5.2.1 | 时间历程分析 | 200 |
| 5.2.2 | 频谱分析 | 201 |
| 5.2.3 | 时序分析 | 201 |

| | |
|--------------------------|------------|
| 5.3 频闪采样与庞卡莱映射 | 202 |
| 5.3.1 频闪采样 | 202 |
| 5.3.2 庞卡莱映射 | 203 |
| 5.4 李雅普诺夫指数 | 204 |
| 5.5 胞映射方法 | 206 |
| 5.5.1 简单胞映射方法的基本原理 | 207 |
| 5.5.2 平衡胞、周期运动、吸引域 | 207 |
| 5.5.3 简单胞映射的算法 | 210 |
| 参考文献 | 214 |

第 1 章 机械故障诊断概述

工业固定资产的占有量表征一个国家的工业生产能力，占工业固定资产总值约 60%~70%的机械设备拥有量构成了国家经济实力和社会财富的重要组成部分。因此，采用先进的机械状态监测与故障诊断技术，以保障机械设备的正常、高效运行，是促进国民经济健康稳定发展的重要手段。另一方面，由于现代生产机械日益高速化、大型化、精密化、自动化，机械设备的可靠性、维修性、安全性日显重要，因为一旦发生故障，将直接导致巨额经济损失和灾难性的人员伤亡。血泪教训促使人们清醒地认识到，技术系统的故障已成为现代工业乃至整个人类的心腹大患。为了确保社会生产的正常进行，解除故障的潜在威胁，降低故障造成的损失，近年来，各国政府、工业界和众多领域的专家学者投入了大量的财力和精力，开展机械状态监测与故障诊断这一新兴学科领域的研究。因而，故障诊断理论与技术理所当然地成了当代工程科技的一大热点。

自 20 世纪 60 年代末至今，机械故障诊断理论与技术已获得迅猛发展，新理论、新技术、新方法不断建立并日臻完善，工程应用日益广泛，已基本形成一个相对独立的学科体系。该学科是众多基础理论与技术相互交叉和融合的产物，具有明显的“积木式”的知识结构，其基本特点是：理论性与实践性俱强，新理论与新技术密集。由于社会生产和科技发展对诊断技术的要求不断提高，以及相关知识领域（如计算机科学与技术、信号与系统分析、动力学理论与方法、人工智能等）的新成果不断涌现，机械故障诊断学科正处于高速发展之中。

1.1 机械故障诊断理论与技术的发展背景

尽管人类有关机械故障诊断与设备维修的被动而原始的行为也许可以追溯到自瓦特发明蒸汽机后不久的年代，并通过长期实践逐渐积累了大量的经验，但这些行为与经验，远不能满足现代工业对故障诊

断与维修技术的迫切需求,远不能与现代意义上的机械故障诊断理论与技术相提并论。所谓机械故障诊断,就是通过检测、提取、利用机械系统运行中产生的相关信息,识别其技术状态,确定故障性质,分析故障原因,寻找故障部位,预报故障趋势,并提出相应对策。从以上定义可以看出,机械故障诊断是一个包含运行状态检测、信号分析处理、故障模式识别、未来趋势预测、维修决策形成等内容的完整而系统的技术过程。

像技术科学所有新兴学科一样,机械故障诊断理论与技术的形成和发展有其鲜明的社会生产和科学技术背景,是社会生产和科学技术发展到一定阶段的必然产物。

1.1.1 社会生产对故障诊断技术的迫切需求

现代机械设备的功能综合与高技术密集,无疑极大地促进了社会生产力的发展,但也同时派生出人们必须直接面对的问题:

- 维护管理难度和运行维修费用剧增
- 故障分析难度和故障危害程度剧增

这一现实迫使工业技术领域进行两种根本性的变革:

(1) 设计观念的变革 长期以来,机械产品设计人员始终把优良的功能作为设计的最终(有时甚至是唯一)目标,而忽视可靠性、稳定性和维修性等方面的问题。这一传统的设计观念已经给人类带来过许多损失和灾难。从单纯追求优良的功能到自始至终及产品寿命周期内所有因素的并行工程的设计观念的变革已成为势在必行。

(2) 维修体制的变革 设备维修体制是与一定的社会生产发展阶段相适应的。对于大型、精密、稀贵设备和流程工业中连续运转、利用率高的关键设备,传统的事后维修制(Breakdown Maintenance)和定期预防维修制(Time-based Preventive Maintenance)因不能及时维修和过剩维修而酿成重大事故和大幅度增加生产成本,无法适应现代工业的发展,必将逐步地被一种新的维修体制,即视情维修制(Condition-based Maintenance)所取代。

顺利地这两种变革的必要基础正是机械故障诊断理论与技术。“社会一旦有技术上的需要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”(《马克思恩格斯选集》,人民出版社,1972年版,第

505 页)。到 20 世纪 60 年代, 航天技术的兴起、核能工业的发展、高技术密集型大型工程和机组的出现, 又给发展机械故障诊断理论与技术施加了强大的推动力。

1.1.2 科学技术的进步为故障诊断技术的发展奠定了坚实的基础

第二次世界大战中, 由于缺乏先进的故障诊断技术和相应的维修手段, 以及设计时片面追求优良性能而忽视可靠性、稳定性和维修性, 以致盟军的不少武器装备未能实现预期的效能。尽管此时人们对于诊断技术的重要性已经有所认识, 但发展这项先进技术的科学技术条件并不成熟。直至 20 世纪 60 年代中期和末期, 与故障诊断技术密切相关的科学理论与技术才获得突破性的进展。

(1) 数学、力学相关分支(如模糊数学、断裂力学、损伤力学、计算力学等)的创立和发展, 以及模式识别、非线性科学的兴起, 深化了人们对于故障的生成与演化、机械动力学过程与现象的认识, 并为分析故障机理、识别故障模式、预报故障趋势提供了有效的理论与方法。

(2) 振动测试、红外热像、声发射、油样分析等技术和传感技术的发展, 丰富了信号检测与分析的手段、方法和应用范围, 为故障诊断提供了各具特色的有效技术途径。

(3) 计算机和电子技术的进步, 快速傅里叶变换的出现, 把信号处理与分析技术推到了前所未有的高度, 从而使得机械设备的在线监测与实时诊断成为可能。

(4) 动力系统辨识和建模理论与方法的新发展, 使得人们有可能在状态集与故障集之间确立较为可靠的映射关系, 并以此为基础进行故障诊断和趋势预报。

科学技术的上述进步, 为机械故障诊断理论与技术的形成和发展奠定了坚实的知识基础。

到 20 世纪 60 年代末期, 由于具备了来自现代社会生产的必要性和科学技术提供的可能性, 机械故障诊断理论与技术便应运而生了。

1.2 机械故障诊断的基本内容与技术过程

机械故障诊断理论与技术的根本宗旨在于, 以经济的、科学的手

段保障生产系统安全地、高效地运行。它以设备及其零部件以及工艺参数和工作环境为研究对象，以故障机理分析为基础，以信号检测、信号分析与处理、模式识别为主要技术手段，以机械设备在给定条件下准确实现预期功能为目标。一般认为，机械故障诊断包含三个基本环节：①设备运行状态的检测与识别。②运行状态异常时的故障分析、诊断与趋势预报。③故障治理方案的形成。

1. 状态检测

对表征设备运行状态的信号（如振动、噪声、温度等）进行在线监测或离线检测，分析、判断设备是否处于异常状态，是故障诊断的基础和前提。检测参数、检测部位和检测方式的选取通常具有十分重要的意义。

2. 故障诊断

在工艺参数和工作环境正常的情况下，如果状态检测表明设备运行处于异常状态，表明设备出现了故障。故障的存在必然导致异常信号的产生。故障诊断的基本原理是，提取对各类故障高度敏感的相应特征信号进行分析处理，以基于故障机理分析或经验获得的故障集与状态集之间确定性的（通常并非是一对一的）映射关系为基础，依据特征信号的结构、强度和变化情况，识别故障模式，判断故障部位，预测故障趋势。

3. 决策形成

在故障分析与诊断的基础上，依据故障原因、部位、程度、趋势以及对预期功能的影响和潜在的危险性，提出尽可能经济和快捷的治理策略。如果分析表明设备尚可继续运行，则需要密切监视故障的发展状况，以便及时采取必要措施。

机械故障诊断的基本内容和技术过程如图 1-1 所示。

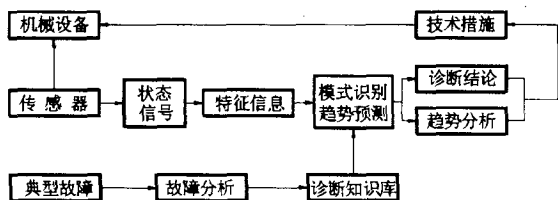


图 1-1 机械故障诊断流程图

1.3 机械故障诊断方法

不同的诊断对象、不同的诊断目的与要求、不同的环境条件通常需要采用不同的诊断方法。实施故障诊断的必要基础是检取、分析和处理表明设备状态的信号。设备状态特征信号有两种类型：一类是能量形式的特征信号，如振动、噪声、温度、电压、射线和弹性波等，这类信号的获取与分析一般需要相应的传感装置和分析处理装置；另一类是物态形式的特征信号，如油液中的磨粒、设备产生的烟雾以及表观形貌等，这类信号一般可利用特殊设计的收集与分析装置，或通过直接观测进行检取与分析。根据所利用特征信号的物理性质的不同，机械故障诊断有以下几类典型的方法。

1. 振动诊断方法

机械系统的运行过程必然伴随着振动，故障的存在必然导致异常振动。不同类型、不同部位的故障一般产生不同特征的振动。振动诊断法将在设备特定部位检取的振动位移、速度或加速度信号作为分析对象，依据振动信号的结构、强度和变化方式，识别机械系统运行状态和故障模式。对于静态设备和工程结构，可以施加特定的人工激励，并检测其响应，通过分析传递特性，判断是否存在损伤或缺陷。

2. 噪声诊断方法

机械设备的运行难以避免地产生噪声，噪声的强弱及其包含的主要频率成分与故障的类型、部位、严重程度等密切相关。噪声诊断就是通过对机械系统运行过程中产生的噪声信号进行测量与分析来达到诊断的目的。

3. 温度诊断方法

机械设备的运行状态与温度有关，因此根据诊断对象及其周围环境温度的变化，可以识别其运行状态。温度诊断方法是以温度、温差、温度场为检测与分析对象，进行不同状态量的比较与分析，或采用红外热成像技术进行识别和诊断。

4. 油液分析诊断方法

机械设备的润滑油或冷却液中携带着一定量的磨损残余物（磨

粒), 其成分、数量、大小和形状表征着机械设备的磨损部位、程度和类型。油液分析诊断方法就是通过采集和分析有代表性的油样中携带的磨粒, 识别磨损状态。

5. 无损检测方法

无损检测方法就是利用材料的某一物理性质因存在缺陷而发生变化的特点, 在不破坏表面及内部结构的前提下, 探寻机械零部件和工程结构中存在的裂纹、砂眼和缩孔等缺陷, 使用的手段有超声波、射线、声发射和磁力等。

在上述各种诊断方法中, 振动诊断方法由于其独特的优点而得到最为广泛的应用。相对于其他诊断方法而言, 机械设备故障的振动诊断方法具有以下特点:

(1) 机械系统运行过程中的有关振动参数值, 是其动态性能的综合反映, 并直接影响其预期功能的实现, 因此, 不论是简易诊断还是精密诊断, 振动诊断方法都只需测取少量参量, 经过简单的分析处理便能准确无误地判断机械系统运行是否出现异常而处于故障状态。

(2) 机械系统是一种实现特定功能的人造动力学系统, 为了故障诊断的目的, 人们可以建立某种形式的动力学模型, 并以此为基础研究各类故障的动力学机理, 进而形成较完备的诊断知识库。机械设备中不同部位、不同类型故障的存在, 无论是改变了模型的结构、参数, 还是改变了激励的类型和强度, 都不可避免地以不同的方式表现在系统的响应中, 且一般地, 故障与响应之间存在确定性的映射关系。因此, 振动诊断方法能对机械系统和结构系统常见故障作出有效分析和诊断, 其适用面非常广泛。

(3) 振动诊断方法因无须进行解体检测, 且一般不需施加特定人工激励, 因而便于实施在线监测、诊断与预警。

(4) 振动诊断方法通常只需用到通用性较强, 且价格相对较低的测试与分析仪器, 无须购置价格高昂的专用设备, 因而诊断成本较低。

1.4 振动诊断方法的动力学原理

动力学是一门古老的学科, 可追溯到牛顿、伽利略和开普勒等人

的工作，曾被视为自然哲学的分支，研究力与运动、激励与响应之间的关系。由于其显著的工程技术背景，动力学一直作为技术科学的理论基石。机械系统是在给定输入下通过运动实现预期功能的人造技术系统，是动力学研究与应用的主要对象。机械故障诊断的基本目的是通过检测机械系统运行中的某些特征参量，经过分析处理，判断运行状态是否正常，识别故障的类型、程度与发生故障的部位。实现这个目的，有赖于建立诊断对象正常状态和各种故障状态下的动力学模型，并基于模型有针对性地研究给定激励产生的响应及其稳定性，建立故障与运动状态之间的对应关系，分析工况参数对运动及其稳定性的影响，开展这些工作的必要基础正是动力学理论与方法。

已知故障的类型、部位和程度，目的在于确定已知故障激励下机械系统的振动状态特征，这一过程称为故障分析，或正问题求解。其逆过程，即已知机械系统的振动状态特征，目的在于推知故障类型、部位、成因和程度，称为故障诊断，或逆问题求解。正问题求解是为了建立诊断知识库，即在故障集与振动状态集之间建立明确的映射关系。而逆问题求解，则是依据业已建立的映射关系，解读现场测取的能反映系统振动状态特征的数据和图谱，得出诊断结论。

正问题和逆问题的求解必须依据一定的动力学原理。把对象视作线性系统，依据线性振动理论及分析方法来进行故障分析，建立故障集与振动状态集的映射关系，从线性系统观点出发解读实测数据和图谱，称为基于线性振动的故障分析与诊断方法，简称为线性振动诊断方法。把对象视作非线性系统，依据非线性振动理论及分析方法建立诊断知识库，从非线性动力学角度解读实测数据和图谱，称为基于非线性振动的故障分析与诊断方法，简称为非线性振动诊断方法。显然，按不同的方法建立同一对象的诊断知识库，以及按不同的方法解读同一套实测数据和图谱，有可能会得出不同的结论，这是不足为怪的。

在机械系统运行过程中，由于故障的激励，将产生异常的振动。不同类型的故障一般地对应于不同的振动特征。基于振动分析的故障诊断方法，正是依据振动状态集与故障集之间的确定性（并非完全一对一的）映射关系来实现诊断目的，这种映射关系是智能诊断系统诊断知识库的重要组成部分，也是诊断人员赖以工作的理论或经验知识