

ISTE WILEY

现代电机典藏系列

电机故障 诊断

Electrical Machines
Diagnosis

[法] 让·克劳德·特里加苏 (Jean-Claude Trigeassou) 主编
姚刚 汤天浩 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代电机典藏系列

电机故障诊断

Electrical Machines Diagnosis

[法] 让·克劳德·特里加苏 (Jean - Claude Trigeassou) 主编
姚 刚 汤天浩 译

机械工业出版社

本书是法国多所大学和研究机构跨学科研究团队多年原创性研究成果的总结,系统深入地介绍了电机及电力传动系统的故障检测与诊断技术,主要内容包括:电机故障类型及常见故障诊断方法,故障情况下电机的数学建模,基于参数辨识、观测器、热监测等技术的电机故障诊断,蓄电池内阻估计及汽车起动性能评估方法,电机机电故障诊断的频谱分析方法,基于神经网络的电机故障检测与定位,变流器故障分析及诊断方法。本书内容紧密结合实际,所讨论的故障诊断方法均包括理论分析及实际验证等各个方面,具有重要的理论意义和实际参考价值。本书可作为电气、机械、信息等专业本科高年级学生及研究生教学、科研用书,亦可作为相关领域工程技术人员的参考书籍。

Copyright © ISTE Ltd 2011

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Electrical Machines Diagnosis, ISBN: 978-1-84821-263-3, by Jean-Claude Trigeassou, Published by ISTE Ltd and John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2015-2924 号。

图书在版编目(CIP)数据

电机故障诊断/(法)让·克劳德·特里加苏主编;姚刚,汤天浩译.
—北京:机械工业出版社,2019.3

(现代电机典藏系列)

书名原文:Electrical Machines Diagnosis

ISBN 978-7-111-62340-3

I. ①电… II. ①让… ②姚… ③汤… III. ①电机-故障诊断
IV. ①TM307

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 055742 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉

责任校对:刘志文 封面设计:鞠杨

责任印制:孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2019 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16.75 印张·321 千字

0 001—2 500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-62340-3

定价:89.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

关于本书

电机的故障监测与诊断既是一个科学问题也是一个经济问题，其目的是提高电力传动系统的可靠性和耐用性。

本书讨论电力传动系统中各类故障的检测技术，考虑的故障主要包括电机的电气故障、热故障和机械故障，静态变流器故障及储能元件故障。

电力传动系统中故障的诊断是全局系统监测的重要组成部分，可通过各种技术来实现，包括参数估计、状态观测、卡尔曼滤波、频谱分析、神经网络、模糊逻辑、人工智能等。本书还特别强调了在故障情况下电机的建模问题。

本书给出了由法国多个领域研究人员得出的关于电机故障诊断方面的原创性研究成果，可为高可靠性电机设计及电力传动系统监测和维护工程师提供指南。由于电机的监测和故障诊断仍然是一个亟需深入研究的问题，本书对相关科研人员也具有重要参考价值。

如果您有意写作图书、翻译图书或者有好的外版书推荐，请联系策划编辑罗莉。

邮箱: cmpluoli@163.com

编辑QQ: 40070283

电话: 010-88379762

作者介绍

Jean-Claude Trigeassou 于1988~2006年在法国普瓦捷大学 (Université de Poitiers) 高等工程师学校 (École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, ESIP) 担任教授, 主要研究兴趣是矩量法及其在参数辨识和控制中的应用、连续系统参数估计及其在电机故障诊断中的应用。目前, Trigeassou教授在法国波尔多大学 (Université de Bordeaux) 的IMS-LAPS实验室工作, 主要研究工作涉及分数阶系统的建模、稳定性分析、参数辨识和控制等。

译者序

电机是实现电能和机械能相互转换的重要机电设备,广泛应用于电力传动、交通运输、伺服控制等诸多工业领域。电机一旦出现故障,可能会导致整个系统停机或引起更为严重的事故,因此保障电机运行的可靠性具有十分重要的意义。自20世纪60年代以来,电机的故障检测与诊断一直是电机设计人员、生产厂商、运维工程师及科研人员高度重视的关键技术。

电机或电力传动系统工作条件一般较为恶劣,工业环境中的振动、潮湿、盐雾、霉菌,以及设备本身的老化、磨损、过热等因素可能会导致电机或传动系统出现各种不同类型的故障,对应的检测和诊断技术可能涉及电气故障、机械故障、热故障及多种不同类型故障同时发生时的故障识别与定位问题,一直以来都是学术界和工业界的研究热点和难点。

法国是电机设计制造的强国之一,在航空航天、高速铁路、电力传动系统及控制等领域处于世界领先水平。本书是法国多所大学和研究机构跨学科研究团队多年原创性研究成果的总结,针对电机及传动系统故障诊断研究中的难点,系统地介绍了各种常见故障及故障诊断技术。本书的章节安排和主要内容为:第1章概述电机故障类型、成因及常见故障诊断方法,第2章讨论故障情况下电机的数学建模,第3章介绍一种新的参数辨识方法并用于电机故障诊断,第4章讨论观测器原理并应用于电机参数估计和故障诊断,第5章介绍电机的热监测技术及其在故障诊断中的应用,第6章讨论蓄电池内阻估计算法及汽车起动性能评估方法,第7章通过实例介绍感应电机机电故障检测的频谱分析方法,第8章讨论基于神经网络的电机故障检测与定位方法,最后第9章分析静态变流器故障机理,并介绍对应的故障诊断技术。本书各章内容紧密结合实际,介绍的故障诊断方法均包括理论分析及实际验证等各个方面,对于学术研究和工程实践均具有重要的理论意义和应用参考价值。

在本书第9章作者、上海市“千人计划”特聘教授 Mohamed Benbouzid 的推荐下,本人有幸获此机会和机械工业出版社合作翻译出版本书。在翻译过程中,得到了我校电气工程学科带头人汤天浩教授的大量指导;同时,岳美玲博士、张米露博士,以及硕士研究生孙干、张俊杭、徐邱敏、王梦梦等帮助进行了大量初

IV 电机故障诊断

稿整理、公式录入及排版等工作。在此对 Benbouzid 教授、汤天浩教授、机械工业出版社的罗莉编辑,以及各位博士、硕士研究生表示衷心的感谢。

本书内容涉及电机及电力传动系统原理、数学建模、参数估计、状态观测、滤波器、频谱分析、人工智能等不同领域的知识,可作为电气类、机械类、信息类专业本科高年级学生及研究生的教学、科研用书,亦可作为相关领域工程技术人员的参考书籍。

在本书的翻译过程中,译者在忠实于原文的基础上力争做到翻译准确、严谨,同时尽量兼顾中西方的表达习惯。但限于译者水平,错误和欠妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。译者的联系邮箱为 shakesteel@126.com。

姚 刚
上海海事大学

原书前言

随着对电力传动系统可靠性和耐用性的要求越来越高，电机的故障检测和诊断不仅仅是科学问题，更涉及经济问题。自电机首次投入工业应用以来，电工领域的工程师一直密切关注电机持续工作时的可靠性。为了避免故障，工程师们通过实验反馈来改善电机结构，增强其鲁棒性。此外，他们通过已发现的故障和改进的技术来积累经验，并将经验应用于“人工故障诊断”，在本书中列举了机械领域、特别是在汽车维护保养方面的例子。

20 世纪五六十年代以来，基于电力电子电源的广泛使用及 20 世纪 70 年代末出现的微型计算机，使得“自动”诊断技术被广泛使用，快速地改变了机器维护保养的方法。数字控制和计算机系统的不断发展为自动控制技术开辟了新的天地，如实时识别与在线自适应控制算法等新功能被集成应用。系统监测已成为日趋复杂的自动化系统中必不可少的管理类功能，自动故障检测和诊断作为监测系统的一个功能，其概念在 20 世纪 80 年代已经形成。

不幸的是，电机控制方面的新技术同时也会引起新的电机故障。现在，除了传统的电气故障、机械故障和热故障外，还会出现电力电子和信息系統故障，以及由于脉宽调制电源产生的故障。不管是随之可能出现的电机电源断电还是重构，这些故障可能会立刻产生破坏性的后果，而这些严重的后果都能凸显早期故障诊断技术的必要性。

因此，电机的故障诊断技术，或者更大范围内的电力传动系统故障诊断技术，必将成为调速系统设计、使用和维护的一个基本组成部分。大功率设备成本高昂，其系统完整性必须得到保证，这也体现了对应故障诊断技术的重要性。然而，我们也不能忽视小功率设备，其故障一样会产生巨大的经济损失，甚至导致整条生产线瘫痪。

得益于先进数字控制算法的应用，新的故障诊断方法不断出现。如傅里叶分析的引入就是人工诊断方法的自然扩展，该方法采用振动传感器和电流传感器，可以检测机械轴承故障或笼型电机转子故障。另一方面，这一领域起初就较重视人工智能相关技术的研究，这是因为传统故障诊断方法中有些就是基于专业知识的诊断方法。基于数学模型的故障检测是第三类故障检测方法，例如状态观测和

识别, 这类方法最早是在自动控制领域发展起来的。

1995 年, 为了协调电力传动系统故障检测方面的工作, “GDR Electrotechnique” 和 “GDR Automatique” (电气工程和自动控制) 两大研究组织共同对感应电机的监测和诊断课题展开了联合研究。来自这两大领域的法国研究团队和几个来自信号处理领域的研究团队定期举行会议, 展示工作成果, 讨论联合研究方案。同样的, “参数辨识” 研究团队主要在连续系统的系统辨识和电机物理参数估计方面开展研究工作。经过这些研究团队的共同努力, 一致认为故障电机的建模和早期故障检测中的参数辨识是极其重要的。

具体来说, E. Schaeffer 在定子绕组短路故障建模 (详见第 2 章) 方面的研究, 推动了故障检测技术的发展。该方法使得在早期故障检测中建立宏观模型, 以及在交流电机电气故障仿真中建立更加完善的模型成为可能。同样地, J. Faucher 及其学生^{①②}的相关研究工作提出了可替代硬件实验的故障仿真技术, 有效地避免了故障实验的潜在破坏性。

参数辨识方法很适合电机内部故障的检测 (如定子绕组短路、转子断条等), 而状态观测的方法则更适合于电机外部故障的诊断, 例如传感器或执行器故障。此外, 故障模型和包含 (关于正常系统) 先验知识的物理参数估计方法的结合, 使得针对感应电机定/转子的故障诊断方法不断完善。这些方法在另一本专著中有两章^③进行详细介绍, 本书中只在第 2 章和第 3 章中有所提及。

本书中给出的研究成果来自于与前文提到过的研究团队的合作, 他们致力于电机故障诊断方法、以及可用于电力传动系统故障诊断的更为普适方法的研究。这里的故障主要是指电机故障, 但故障也可能存在于电力电子设备或电池的能量存储系统中。故障类型种类繁多, 如定子或转子故障、机械故障、热故障、逆变器故障和充电状态估计等。同时我们发现处理这些故障的方法也多种多样, 这些方法主要可分为两大类: 一类是基于模型的方法, 如参数识别法、状态观测法、无效模型法等; 另一类是不依赖于模型的方法, 例如频谱分析、神经网络和模糊逻辑等人工智能方法。

读者必须注意的是, 故障诊断结果存在概率的问题。检测一个故障, 特别是

① V. Devanneaux, *Modélisation des machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil en vue de la surveillance et du diagnostic*, PhD Thesis, INP Toulouse, 2002.

② A. Abdallah Ali, *Modélisation des machines synchrones à aimants permanents pour la simulation de défauts statoriques: application à la traction ferroviaire*, PhD Thesis, INP Toulouse, 2005.

③ Chapter 7, “Parameter estimation for knowledge and diagnosis of electrical machines” and Chapter 8 “Diagnosis of induction machines by parameter estimation”, in *Control Methods for Electrical Machines*, edited by René Husson, ISTE Ltd., and John Wiley, 2009.

一个早期故障，其检测结果对应某个可信度，最终系统是正常运行或是异常运行的可能性均存在。比如说，由参数识别算法给出的检测结果是电阻增大，这有可能导致转子发热（正常情况），也有可能断条（异常情况）。因此，至今为止也没有一个完美的方法可以解决电机故障监测问题，我们需要得到可靠的诊断结果以降低故障的误报率。

本书中，第1章描述了电机的故障类型、何时发生，并分析了它们的物理成因（内部或外部的原因），如轴承中的感应电流、导体和绝缘体间不断的热循环；然后，介绍了文献中最常用的诊断方法。

第2章介绍了一种基于短路位置感应电流的短路绕组建模新方法，该感应电流会在电机气隙中产生干扰磁场。该方法的物理分析推导得到一种考虑定子短路绕组的全新 Park 模型，并可扩展到笼型转子中使用。此故障建模方法可通过参数估计来检测和定位定/转子故障，并在实验室中得到验证。

通过参数估计进行故障诊断通常会产生一个实际问题：为了实现收敛，辨识算法需要持续地激励以干扰电机的工作点，这与调节器的作用正好相反。一个解决方法是使用电荷扰动，而这将导致逆变器电压不稳，并因此出现一个闭环识别问题。针对这个问题，第3章介绍了一种辨识方法，考虑了矢量控制算法非线性和多变量的特征，并以改进异步电机电气故障诊断为目标。

观测器在交流电机矢量控制中发挥着重要作用，尤其是在估算磁通量时需要使用龙伯格观测器、卡尔曼滤波器或者高增益观测器。除了状态变量，我们还需要估计随操作点变化而变化的参数，例如转子电阻等。此外，还可以使用扩展观测器。第4章主要介绍观测器方法的基本原理和应用。

我们一般很容易意识到电机中的电气故障，而其背后的热故障往往会被忽略。全局诊断系统框架中，热监测是很重要的一个方面。比如通风管损坏引起的故障诊断中，温度无法直接检测，这时可采用扩展卡尔曼滤波器。然而，该方法的正确使用依靠于对影响测量结果的不同噪声的充分认知和对算法参数的完善调节。第5章介绍可以应用于温度测量的方法，这些方法在热监测中发挥了重要作用。

蓄电池在电动汽车或混合动力汽车中发挥着重要的作用。估算电池的荷电状态是保障其服务连续性和操作安全的一个基本问题。第6章提出了一个新的双函数方法。算法的创新性不仅是因为在算法的初始阶段使用了失效模型技术，而且因为建立了基于分数微积分的新电池模型。该方法也可用于电机故障诊断，不论是为笼型电机进行频率特性建模还是应用于电机内部热传递的建模，都可以通过扩散偏微分方程表示。

旋转电机的老化和不正确使用会导致机械不平衡、噪声以及超声振动。训练有素的工作人员能通过耳朵检测和定位不同类型的故障，甚至是早期故障。事实

上, 信号处理技术可以应用于该自动检测过程, 待处理信号可以由一个振动传感器检测。然而, 我们倾向于使用现有的线电流传感器, 这种传感器可以提供更多机械和电气方面的信息。频谱分析的基本工具是离散傅里叶变换, 数字处理器的强大计算能力使该复杂算法得以实现。第 7 章通过实验实例介绍应用于感应电机机械/电气故障检测的频谱分析方法。

人工神经网络在自动化系统的监测中也可以发挥巨大作用。在处理分类问题时可以作为首选工具; 只要方法与属性匹配, 其在异步电机故障检测和定位中能够发挥巨大的作用。第 8 章介绍一种基于 Park 模型和傅里叶变换相结合的残差产生方法, 能够在定/转子故障发生时产生不同的频谱特征。神经网络利用训练数据库进行故障模式学习和分类, 进而实现故障的检测与定位。

由于电力电子控制技术的广泛应用, 静态变流器的故障检测成为电力传动系统故障检测的重要方面。基于状态估计和辨识的传统方法并不适用于变流器的故障检测, 因此我们根据人工智能理论(如神经网络、模糊控制等)和多变量统计法提出了一系列新方法。第 9 章的 9.1 节列举了应用这些方法的例子; 随后, 分析故障对变流器电子器件的影响, 更确切地说, 这些故障是由热疲劳引起的; 第 9 章的 9.2 节讨论了这些故障并给出了故障诊断的一些建议。

Jean – Claude Trigeassou

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 电机常见故障及其诊断方法	1
1.1 概述	1
1.2 感应电机的组成	3
1.2.1 定子	3
1.2.2 转子	3
1.2.3 轴承	4
1.3 感应电机的故障	4
1.3.1 机械故障	6
1.3.2 电气故障	7
1.4 感应电机故障诊断方法概述	8
1.4.1 基于解析模型的故障诊断方法	9
1.4.2 无需解析模型的故障诊断方法	11
1.5 本章小结	14
1.6 参考文献	14
第 2 章 感应电机绕组故障建模	18
2.1 概述	18
2.1.1 仿真模型与诊断模型	18
2.1.2 模型选择的目标	18
2.1.3 模型选择的方法	19
2.1.4 本章结构安排	20
2.2 研究框架与一般方法	20
2.2.1 前提假设	20
2.2.2 绕组的等效	20
2.2.3 无故障等效两相电机	27
2.2.4 考虑定子绕组故障	29
2.3 定子绝缘故障时的电机建模	32

2.3.1	定子短路时的电机方程	32
2.3.2	任意参考系下的状态模型	34
2.3.3	三相定子模型的扩展	38
2.3.4	诊断模型的验证	39
2.4	定/转子耦合故障建模方法的普适化	42
2.4.1	转子不平衡时的电机方程	43
2.4.2	定/转子故障时的一般电机模型	45
2.5	感应电机的监测方法	47
2.5.1	感应电机故障诊断的参数估计	47
2.5.2	监测方法的实验验证	50
2.6	本章小结	53
2.7	参考文献	54
第3章	感应电机的闭环诊断	56
3.1	概述	56
3.2	闭环辨识	57
3.2.1	闭环辨识中存在的问题	57
3.2.2	电机故障诊断中的参数辨识问题	59
3.3	感应电机闭环辨识的一般方法	59
3.3.1	考虑控制的作用	59
3.3.2	基于闭环解耦的电机参数辨识	61
3.3.3	辨识结果	64
3.4	定/转子同时故障时的闭环诊断	66
3.4.1	感应电机通用故障模型	66
3.4.2	具有先验知识的参数估计	67
3.4.3	故障的检测与定位	68
3.4.4	直接辨识和间接辨识的结果比较	70
3.5	本章小结	72
3.6	参考文献	73
第4章	基于观测器的感应电机故障诊断	76
4.1	概述	76
4.2	建立数学模型	78
4.2.1	三相感应电机无故障时的模型	78
4.2.2	感应电机无故障时的 Park 模型	81
4.2.3	感应电机出现故障时的模型	84
4.3	故障观测器	84
4.3.1	基本原理	84
4.3.2	不同种类的故障观测器	87

4.3.3 扩展观测器	92
4.4 基于观测器的故障诊断	94
4.4.1 使用 Park 模型	94
4.4.2 使用三相电机模型	97
4.4.3 观测器重构转矩的频谱分析	99
4.5 本章小结	100
4.6 参考文献	101
第5章 感应电机的热监测	103
5.1 概述	103
5.1.1 感应电机温度监测的目的	103
5.1.2 感应电机温度监测的主要方法	104
5.2 基于卡尔曼滤波器的实时参数估计	107
5.2.1 卡尔曼滤波器的特征及优点	107
5.2.2 扩展卡尔曼滤波器的实现	108
5.3 热监测的电气模型	111
5.3.1 连续时间模型	111
5.3.2 全阶模型	112
5.3.3 离散化的扩展模型	114
5.4 实验系统	115
5.4.1 实验平台简介	115
5.4.2 热仪表	117
5.4.3 电气仪表	118
5.5 实验结果	121
5.5.1 卡尔曼滤波器的调节	121
5.5.2 磁饱和的影响	124
5.6 本章小结	126
5.7 附录 感应电机特性	126
5.8 参考文献	127
第6章 基于模型失效方法的汽车铅酸蓄电池内阻估计:	
在汽车起动性能评估中的应用	130
6.1 概述	130
6.2 汽车起动阶段铅酸蓄电池的分数阶模型	131
6.3 分数阶模型的辨识	133
6.3.1 输出误差辨识算法	134
6.3.2 输出灵敏度计算	135
6.3.3 估计参数的验证	135
6.3.4 应用到起动信号中	135

6.4 用电池电阻作为起动能力的指示器	136
6.5 模型验证及电池内阻的估计	138
6.5.1 模型验证的频率法	138
6.5.2 电池内阻估计的应用	140
6.5.3 简化的阻值估计器	143
6.6 电池状态的估计	146
6.7 本章小结	148
6.8 参考文献	148
第7章 基于信号分析技术的感应电机机电故障诊断	151
7.1 概述	151
7.2 电流的频谱	152
7.3 信号处理	153
7.3.1 傅里叶变换	153
7.3.2 周期图	154
7.4 实验中的信号分析	155
7.4.1 断条引起的故障	156
7.4.2 轴承故障	160
7.4.3 静态不对中故障	166
7.4.4 匝间短路	173
7.5 本章小结	176
7.6 附录	176
7.6.1 附录 A 实验使用电机的部分特性参数	176
7.6.2 附录 B 实验使用滚珠轴承的部分特性参数	177
7.7 参考文献	177
第8章 基于神经网络的感应电机故障诊断	179
8.1 概述	179
8.2 在故障诊断问题中 ANN 的使用方法	180
8.2.1 选择故障指示器	180
8.2.2 选择神经网络的结构	181
8.2.3 建立学习和测试数据库	182
8.2.4 神经网络的学习和测试	182
8.3 监测系统概述	183
8.4 故障检测可能出现的问题	184
8.5 提出的鲁棒检测新方法	184
8.5.1 产生估计的残差	185
8.6 定/转子故障的特征	186
8.6.1 正常运行时的残差分析	186

8.6.2	定子故障时的残差分析	186
8.6.3	转子故障时的残差分析	188
8.6.4	同时存在定/转子故障时的残差分析	190
8.7	利用 RN_d 神经网络检测故障	191
8.7.1	提取故障指示器	191
8.7.2	RN_d 神经网络的学习过程	191
8.7.3	RN_d 网络的结构	193
8.7.4	RN_d 网络的训练结果	193
8.7.5	RN_d 网络的测试结果	194
8.8	定子故障的故障诊断	197
8.8.1	选择 RN_{cc} 网络故障指示器	197
8.8.2	RN_{cc} 网络的学习序列	198
8.8.3	RN_{cc} 网络结构	199
8.8.4	RN_{cc} 网络的学习结果	201
8.8.5	RN_{cc} 网络的测试结果	201
8.8.6	RN_{cc} 网络的实验验证	203
8.9	转子故障的故障诊断	208
8.9.1	选择 RN_{bc} 网络的故障指示器	208
8.9.2	RN_{bc} 网络的学习序列	208
8.9.3	学习、测试和验证结果	209
8.10	感应电机完整的监测系统	210
8.11	本章小结	212
8.12	参考文献	212
第9章	静态变流器中的故障检测与诊断	214
9.1	概述	214
9.2	故障检测和诊断	215
9.2.1	神经网络方法	215
9.2.2	模糊逻辑方法	221
9.2.3	多维数据分析	224
9.3	功率电子模块的热疲劳和失效模式	231
9.3.1	功率电子模块的相关技术	231
9.3.2	电力电子模块性能退化的原因及主要类型	239
9.3.3	连接件损坏对电气特性的影响以及对故障诊断的潜在作用	244
9.3.4	接触面接触不良对热特性的影响和在故障诊断中的潜在应用	246
9.4	本章小结	248
9.5	参考文献	249

电机常见故障及其诊断方法

Sadok Bazine, Jean - Claude Trigeassou

1.1 概述

本章主要介绍电机中的常见故障及其诊断方法，重点针对感应电机，介绍其故障检测技术。这些方法同时也可以方便地应用到其他类型的电机中。

电机故障诊断得益于各研究领域的技术突破。以诊断为目的进行故障检测和预测对工业系统运行的连续性有着重要的影响，因此针对该问题的各种研究工作不断增多。

有效的故障诊断方法和对故障进行早期检测可以有效减少设备停用时间以及故障维修时间，这意味着可以有效避免大多数有害的甚至破坏性的故障，从而减少经济损失。

一个好的故障检测方法要尽可能少地采集所需的信号，并在短时间内分析信号得到明确的故障类型。

电机及其驱动系统的故障多种多样。根据故障成因，可将它们分为两类（见图 1.1）：内部原因造成的故障和外部原因造成的故障。外部原因故障往往由电源电压、机械负载和使用环境造成；内部原因故障往往由电机内部部件引起，如磁通、定/转子线圈、机械气隙及鼠笼等。在图 1.1 中，我们列出了故障的简单列表：

- 定子上的电气故障：产生原因可能是因为某一相开路、同相或两相之间短路及某一相与定子支架间短路等；
- 转子上的电气故障：对于绕线式异步电机，可能是由于线圈开路或短路造成；对于笼型异步电机，则可能是导条和/或短路环破损或开裂造成的；
- 定子内孔或转子的机械故障：例如轴承故障、不对中以及安装错位等；
- 驱动系统电力电子器件故障。

根据电机的对称性，任何故障都会引起电机气隙旋转磁场的畸变。因此，测量信号中就会包含谐波。通过测量这些信号，可以从外部监测电机运行状态。这些信号可以是电信号，也可以是机械信号，如电流、电压、磁通、转矩以及转速等。故障检测和辨识方法得到广泛研究主要因为还有以下问题亟待解决：

- 定义一个诊断过程用以检测和辨识任意类型的故障；