



机械设备故障诊断实用技术丛书

滚动轴承故障诊断 实用技术

杨国安 编著



中国石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



作者简介

杨国安,教授,博士生导师,机电设备状态监测及故障诊断专家。1985年毕业于石油大学炼油化工机械专业,于东南大学机械制造及自动化专业取得博士学位。承担国家自然科学基金等国家及省部级项目多项,企业项目30余项,发表论文60余篇,独立出版专著1本。在机电设备状态监测和智能诊断系统开发、往复机械及管道减振技术、压力容器安全性评价及寿命评估技术等方面取得了独具特色的技术成果。多次为中国石化、中国石油、天山股份、乌石化、金川集团、哈石化、辽阳石化、齐鲁石化、燕山石化、大唐多伦煤化工、天津石化、武汉钢铁公司、一汽轿车、胜利油田、中原油田和大港油田等几十家国有大型企业开展讲座并进行项目合作。相继开发Y308智能点检管理系统、Y303四通道机械设备状态监测及故障诊断分析仪、Y305双通道智能点检及动平衡仪、Y505多通道声发射系统。

机械设备故障诊断实用技术丛书

- 机械振动基础
- 信号处理基础
- 旋转机械故障诊断实用技术
- 转子动平衡实用技术
- 往复机械故障诊断及管道减振实用技术
- **滚动轴承故障诊断实用技术**
- 滑动轴承故障诊断实用技术
- 齿轮故障诊断实用技术
- 电动机故障诊断实用技术

责任编辑:潘向阳
责任校对:李伟
封面设计:七星博纳

ISBN 978-7-5114-1335-2



9 787511 413352 >

定价:32.00元

机械设备故障诊断实用技术丛书

滚动轴承故障诊断 实用技术

杨国安 编著



YZLI0890154774

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是《机械设备故障诊断实用技术丛书》之第6分册。本分册共分四部分:第一部分是第一章至第二章,主要介绍滚动轴承的基础知识和主要失效形式;第二部分是第三章到第四章,主要介绍滚动轴承的振动机理和常用诊断方法;第三部分是第五章,主要介绍滚动轴承的点检方法、点检标准以及点检工作中应注意的问题;第四部分是第六章,主要介绍了滚动轴承的故障诊断实例,用以说明滚动轴承故障诊断的思路。

本书内容详尽,通俗易懂,以为企业解决实际问题为根本,主要供现场从事机械设备管理与维护的工程技术人员使用,同时本书也为高等工科院校相关专业研究生或本科生在深入理解机械设备故障诊断理论体系方面提供了详尽的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

滚动轴承故障诊断实用技术 / 杨国安编著. —北京: 中国石化出版社, 2012. 1
(机械设备故障诊断实用技术丛书; 6)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1335 - 2

I. ①滚… II. ①杨… III. ①滚动轴承 - 故障诊断
IV. ①TH133. 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 276696 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 11 印张 225 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定价: 32.00 元

序

现代化工业生产越来越大型化、高速化、自动化，特别是石化、冶金、电力等过程工业，设备投资大，连续生产流程长，机械装备故障停机可以造成重大经济损失，甚至导致机毁人亡的重大事故。现代生产和某些特种装备对人的依赖程度越来越低，对设备的依赖程度越来越高，对故障的预示和诊治越来越重要。设备状态监测和故障诊断作为一门工程技术，是 20 世纪 60 年代以后才发展起来的。

近二三十年来国内设备诊断技术的研究开发异常活跃，发展迅速，在工厂应用经常取得出人意外的实效，设备诊断技术在工厂企业得到了普及和应用。为此，迫切需要提供一批适合不同层次科技人员特别是企业一线技术人员实用的书，同时也需要一些适合本科生和研究生学习用的参考书。杨国安教授编著的《机械设备故障诊断实用技术丛书》就是应这一需求编写的。

对设备的状态监测和故障诊断，实际上从机器诞生之日就已产生。当时人们通过听、摸、看、闻机器的振动、温度、噪声等异常情况，凭借工匠的经验，可以判断机器某些故障并采取对策或者修复。设备状态监测和故障诊断作为一门工程技术正在成为信息、监控、通信、计算机和人工智能等集成技术，并逐步发展成为一个多学科交叉的新学科。我曾在工厂工作 32 年，1979 年开始研究应用设备故障诊断技术。我很赞赏本丛书的出版，因为它既有基础理论知识，又有工程应用技术，对企业工程技术人员是一套难得的实用技术丛书；对缺少工程实践经验的院校研究生也是很好的参考书。

设备状态监测及诊断技术，是将运行中的机器看成“活”的，它时时刻刻在“说话”——发出信息，对其中的故障征兆信息进行采集、处理、分析，对故障进行早期诊断、预测，在机器没损坏之前查明故障原因并适时采取修复、预防和改进对策。故障诊断工作的决定作用在人，好的仪器有了真正掌

握了故障诊断技术的人才能够发挥作用。本丛书较全面地介绍了机械设备故障诊断技术的基础知识，包括设备故障诊断中的机械振动基础及信号处理，将理论与实践紧密结合，由浅入深，是一套很好的基础理论培训教材，也可供自学之用。本丛书还介绍了机电设备故障诊断实用技术、转子动平衡实用技术、轴承和齿轮故障诊断实用技术，并总结汇集了编者的若干科研成果，其内容实践性强，直观，便于掌握，可指导设备诊断工程实践。我对编者近几年不遗余力地编写这部内容丰富的丛书所付出的辛苦和做出的贡献表示钦佩。

机械装备故障诊断终极目标是有效防治故障，确保机器健康。其一是除故障：探测原因，有的放矢，消除故障；其二是防发展：早期预警，防微杜渐，预防故障；其三是防发生：查明根源，根治维修，防止故障。机械故障诊断是一门新兴的工程科学技术，它源于工程实践又应用于工程实践。企业技术人员作为机械故障诊断的“临床医生”会发现许多故障的征兆、积累了丰富的诊断经验。希望读者对本书提出宝贵意见，使其不断修改完善。本人和作者同在一个科研团队，我们团队愿与读者一道，务实，求真，协力，创新，为提高我国设备诊断理论和技术水平作出应有的贡献。

深信丛书的出版能够在推广和普及机械故障诊断技术，培养更多的从事故障诊断的工程技术人员和后备力量方面发挥重要作用。是为序。

中国工程院院士

高金吉

编 者 的 话

设备诊断技术是在设备管理和维修的基础上发展起来的。设备诊断技术就是掌握设备的现在状态与异常或故障之间的关系，以预测未来的技术。它包含两方面的内容：一是对设备的运行进行监测；二是在发现异常情况对设备的故障进行分析和诊断。

设备诊断技术首先出现在欧洲，主要是以英国倡导的设备综合诊断学为指导，在上世纪 60~70 年代，英国机械保健和状态监测协会最先开始故障诊断技术，美国的发展则是以后勤学为指导的设备服务维修，美国在 1961 年开始执行阿波罗计划后，出现了一系列因故障造成的事故。1967 年在美国航天局的倡导下，由美国海军研究室主持成立了美国机械故障预防小组，积极从事技术诊断的开发，他们在航空、航天、军事及核能等尖端领域处于领先地位。

日本则吸收了英美两国的优点，提出了全员维修(TPM)的观点。日本的新日铁自 1971 年开始开发诊断技术，1976 年达到实用化。日本的钢铁、化工、电力等行业处于世界领先。

我国自 1979 年才初步接触开发诊断技术，1984 年开始真正在企业推广故障诊断技术，并逐步形成了一支较有实力的故障诊断研究队伍，做出了许多卓有成效的研究成果，特别是自上世纪末，随着计算机技术的发展，彻底改变了故障诊断系统的软、硬件面貌，各种数据采集，分析，诊断功能的仪器被相继开发出来，各种专家系统也不断涌现，给工程技术人员提供了更有效的手段来分析解决问题。但问题也相继出现，现场工程技术人员由于受到专业知识的限制，面对琳琅满目的分析功能、界面、曲线，知其然不知其所以然；专家系统由于受到样本数量的影响，其可靠性、准确性也受到质疑。这使得故障诊断技术浮于研究层面，未有效地深入到基层，深入到生产第一线。应该讲故障诊断技术是一门实践性极强的应用科学，研究内容应本着“从实践中来，到实践中去”的原则，切实解决好生产一线存在的问题。

编者从上世纪 90 年代初开始接触大型装备预知维修技术，先后为几十家国有大型企业开展讲座和项目合作。通过这些项目的开展和与现场工作人员的广泛交流，使编者深深地认识到设备维护工作不仅直接关系到企业的生产效益和安全，而且与节能降耗和低碳环保也密切相关，甚至成为关键制约因素。当前故障诊断工作的推广应用最大的障碍是从事故障诊断技术的现场人员知识结构不合理和缺乏。他们懂得设备的结构、运行机制，却对时频变换不清楚，应该讲，故障诊断技术背后有严谨的数学知识作支撑。众多学科相互渗透构成了故障诊断技术的知识体系。有人说故障诊断就是传感器，有人说

是信号处理，有人说是数据挖掘、专家系统等等。这就充分说明了故障诊断技术知识结构的交叉性和多样性，编者近年来为很多企业培训故障诊断技术人员，和他们的亲密接触丰富了编者，也使编者感到编写一套适合于从事设备管理和维护工作的工程技术人员的实用技术丛书的必要性和迫切性。编者曾在2007年出版了《机械设备故障诊断实用技术》，该书的出版受到了企业设备管理维护人员的广泛欢迎，曾连续多次印刷。近几年通过与企业技术人员交流感到2007年出版的单行本内容上过于简捷，生产一线人员希望在内容体系、原理方法方面更细化些。鉴于此，编者决定出版一套系列丛书，以满足广大生产一线的设备管理和维修人员的需要。近几年，以一己之力编写这套丛书，虽殚精竭虑，仍力所不及，在这套丛书的编写过程中，现场技术人员和我的研究生提供了巨大的帮助。如果这套丛书对您有微薄之用，望不忘感念他们的辛勤付出。

本套丛书的目的是要较全面地对机械设备故障诊断技术的基础知识、机理、方法和应用技术进行较详尽地解释说明。尽量用一目了然的方式明确地说明关于故障诊断技术的一切。本书的宗旨是能用图形说明的尽量不去用文字解释，能用文字解释的不用数学去推演，即使用到的数学也尽量是初等的，从故障诊断基本概念出发，努力用最简单的数学来分析故障机理，而只有在确实需要时才使用复杂的方法。本书的内容参考了大量文献，包括网络上的一些优秀资源，综合汇编而成，这些内容为本书增添了许多新的知识。编者将在书后参考文献中尽量列出，争取不遗漏每一篇参考文献。但由于编者的疏忽可能存在遗漏现象，在此向遗漏参考文献的作者致以歉意，同时对这些优秀资源的作者和编者致以衷心的感谢！

这套丛书共分九分册，分别介绍了设备故障诊断中的机械振动基础、信号处理基础、旋转机械故障诊断实用技术、转子动平衡实用技术、往复机械故障诊断及管道减振实用技术、滚动轴承故障诊断实用技术、滑动轴承故障诊断实用技术、齿轮故障诊断实用技术和电动机故障诊断实用技术。在编写过程中，编者尽量照顾到整套丛书内容的系统性和完备性，尽力做到各分册间内容不重叠，但考虑到读者有选择地使用本套丛书的方便，有些内容各分册间是相通的，于是编者特意安排了适当的重叠，以加强每本分册的相对独立性，使每本分册也形成一个单独的知识体系，如第一分册和第二分册作为故障诊断技术的基础知识，各分册都会用到，但在每分册中也有相关知识的简介。

第一分册机械振动基础重点说明故障诊断中常用到的基本概念及基本原理的讲解和阐述，有针对性地介绍了与故障诊断技术相关的振动诊断标准。有些标准不同国家间可能略有差异，书中尽量同时列出，相同标准可能存在不同版本，考虑到目前现场的使用习惯，只要内容未变，也尽量照顾使用习惯列出，比如ISO2372，目前已有ISO10816，但考虑到使用习惯仍以ISO2372列出。

第二分册信号处理基础是本套丛书中的难点内容，重点说明信号处理的基础知识。本分册对数学基础有一定的要求，特别在傅里叶变换理论的阐述上，重点参考了国外的

经典教材和一些优秀的网络资源，对傅里叶变换的说明有独到之处，读者细读之必有所收获。该分册还较详尽地阐述了常用的故障诊断方法，这些知识对加深理解3~9分册的内容大有裨益。

第三分册旋转机械故障诊断实用技术重点说明旋转机械常见的故障诊断方法，该部分内容较成熟，也是故障诊断技术的重点内容之一。该分册还介绍了常用旋转机械和联轴器的点检方法和点检标准，这部分内容是企业实现预知维修和安全生产的重要保障。

第四分册转子动平衡技术主要说明轴及轴系动平衡原理，重点说明轴系现场动平衡技术，现场动平衡作为一门实用技术，广泛应用于多转子连接的轴系系统，简便易行，行之有效。书中以实例介绍了现场动平衡过程中的一些经验和方法。

第五分册往复机械故障诊断及管道减振技术主要说明往复压缩机的失效形式、故障诊断方法和常用点检方法。重点说明管道减振技术，阐述管道减振必须和往复机械整体考虑，标本兼治，才能做到本质安全，书中还以编者亲历的实例作了简要说明。往复机械故障诊断一直是世界性的难题，因此可参考的资料很少，且不系统。本书部分内容是编者结合自身多年来在往复机械及管道减振方面解决现场实际问题过程中所取得的一手资料和经验整理编辑而成。

第六分册滚动轴承故障诊断实用技术、第七分册滑动轴承故障诊断实用技术和第八分册齿轮故障诊断实用技术三分册均主要说明三种常用零件的失效形式，重点说明常用的故障诊断方法，简要说明各自的点检方法和标准，三分册分别介绍了基于油样分析的故障诊断技术。其中第六分册还介绍了滚动轴承的基础知识，以便读者查阅更方便。第七分册介绍了滑动轴承常用材料和液体润滑的基本原理，以便读者在分析滑动轴承故障时，能够与润滑理论相结合考虑，因为滑动轴承任何形式的故障无不与润滑油膜有关，至于气体润滑轴承只为增广读者知识面而考虑。第八分册介绍了齿廓啮合基本定律，以便读者在分析齿轮故障时，能充分考虑到齿轮齿廓形状，因为齿轮的大多数故障都与齿廓曲线被破坏有关，最常用的渐开线齿廓满足五线合一，不同的故障形式归结起来都是不同程度地破坏了五线合一原则。滚动轴承和滑动轴承作为独立的零件很难制定其零件的点检标准，且这样做也不存在任何意义，因为这两种零件的使用离不开机器本身，因此，所列点检标准为其所安装的相关机械设备的点检标准。

第九分册电动机故障诊断实用技术简要说明常用电动机的基本原理，以便读者分析故障时，能够结合电动机运行机制加以考虑。重点说明电动机振动故障诊断和电气故障诊断方法，简要介绍了电动机温度和噪声故障诊断方法。考虑到电机日常维护，本书还介绍了电动机的点检方法和日常修理和保养方法。

总之，故障诊断技术的终极目标是保证设备长周期、安全稳定运行，投入大量资金购买最现代化的仪器设备是必要的，但首要任务是充实现场工程技术人员知识储备，包括理论和实际的经验。现在从事故障诊断的人员，通过望、闻、问、切能对设备的运

行状况作出评价的越来越少。当振动异常的时候,对于常见故障,能借助仪器得出诊断结论,能够对问题给出合理解释的人才越来越缺乏,故障诊断工作的决定作用在人,不在仪器。仪器仅仅是人的工具,如果人不行,再好的仪器也无用;好的仪器有了有准备的人才能够发挥作用。真正掌握了故障诊断技术,加上得力的仪器设备,才能使设备维护人员大有用武之地,而成为别人无法替代的人才!

近几年,编者有幸得到国家自然科学基金的支持,对科学基金的研究深化了编者对故障诊断技术的认识,如果说企业合作项目丰富了编者的实践知识,那么,国家自然科学基金项目则提升了编者的基础理论水平,使编者在更高的层面上更加理性地分析、判断每一种故障形式,所以,对近年来国家自然科学基金项目(50875016)的支持表示感谢。

本分册在资料查阅、收集、整理和编排上,我的研究生沈江、陈宗衍做了卓有成效的工作,这本书的出版与他们的辛勤付出密不可分。在此对沈江、陈宗衍同学表示谢意。

由于本套丛书的编写工作十分浩大,限于编者水平,恳切希望读者对本套丛书中出现的错误和不妥之处提出批评指正,编者将不胜感激。编者网址: www.ygazd.cn, E-mail: yangga@mail.buct.edu.cn 或 ygapublic@163.com。

谨以此书献给辛勤工作在生产第一线的机械设备管理维护人员和有志于故障诊断技术研究的科学技术人员!

编 者

2011年10月于北京化工大学

目 录

第一章 滚动轴承概述	(1)
第一节 滚动轴承的发展	(1)
第二节 滚动轴承的基本结构及分类	(3)
一、滚动轴承的基本结构	(3)
二、滚动轴承的分类	(4)
第三节 滚动轴承的选择	(7)
一、选择的一般方法	(7)
二、选择需考虑的因素	(7)
第四节 滚动轴承的游隙、预紧及拆卸	(9)
一、滚动轴承的游隙	(9)
二、滚动轴承的预紧	(10)
三、滚动轴承的拆卸	(12)
第五节 滚动轴承故障诊断概述	(13)
一、滚动轴承故障诊断的意义	(13)
二、滚动轴承的故障演化	(14)
三、滚动轴承故障诊断的基本环节	(15)
四、滚动轴承故障诊断技术的发展趋势	(16)
第二章 滚动轴承的失效分析	(18)
第一节 滚动轴承的主要失效形式	(18)
一、疲劳剥落	(18)
二、磨损	(18)
三、塑性变形	(19)
四、腐蚀	(19)
五、断裂	(19)
六、胶合	(20)
七、保持架损坏	(20)
第二节 滚动轴承的失效原因分析	(20)
一、剥落	(20)
二、剥皮	(21)
三、卡伤	(21)
四、擦伤	(23)

五、断裂	(24)
六、裂纹、裂缝	(24)
七、保持架损伤	(25)
八、压痕	(26)
九、梨皮状点蚀	(27)
十、磨损	(28)
十一、微振磨损	(28)
十二、假性布氏压痕	(29)
十三、蠕变	(30)
十四、烧伤	(31)
十五、电蚀	(31)
十六、生锈、腐蚀	(32)
十七、安装伤痕	(33)
十八、变色	(34)
十九、总结	(34)
第三节 滚动轴承失效的分析方法	(37)
一、失效实物和背景材料的收集	(38)
二、宏观检查	(38)
三、微观分析	(39)
第三章 滚动轴承的振动与噪声分析	(40)
第一节 滚动轴承的振动机理	(40)
一、结构特点及加工装配误差引起的振动	(40)
二、轴承运行故障引起的振动	(41)
第二节 滚动轴承的振动信号特征	(42)
一、滚动轴承的固有频率与故障特征频率	(42)
二、滚动轴承的基本振动信号特征	(46)
三、故障滚动轴承的振动信号特征	(49)
第三节 滚动轴承的噪声分析	(55)
一、噪声产生的机理	(55)
二、噪声的分类与产生的原因	(55)
第四章 滚动轴承故障诊断的常用方法	(60)
第一节 基于振动信号的滚动轴承故障诊断技术	(60)
一、振动信号的采集	(61)
二、时域指标判断法	(65)
三、频谱分析	(68)
四、功率谱分析	(72)

五、倒频谱分析(倒谱分析)	(73)
六、冲击脉冲法(SPM 法)	(75)
七、共振解调法	(78)
八、小波分析	(81)
第二节 基于声发射的滚动轴承故障诊断技术简介	(88)
一、声发射检测的基本概述	(88)
二、声发射技术在滚动轴承中的应用	(89)
第三节 基于温度的滚动轴承故障诊断技术简介	(93)
一、温度诊断的方式	(93)
二、红外测温技术简介	(95)
三、红外热成像技术简介	(96)
第四节 基于油样分析的滚动轴承故障诊断技术	(99)
一、光谱分析	(100)
二、铁谱分析	(102)
三、磁塞分析	(105)
第五节 基于油膜电阻的滚动轴承故障诊断技术简介	(107)
一、油膜厚度法	(107)
二、接触电阻法	(108)
第六节 基于光纤的滚动轴承故障诊断技术简介	(109)
第五章 滚动轴承的点检	(111)
第一节 点检基础知识	(111)
一、点检的含义	(111)
二、点检的目的	(111)
三、点检的分类	(111)
四、点检的主要环节	(112)
五、点检员所需的技能	(113)
第二节 滚动轴承点检的方法	(113)
第三节 点检标准	(136)
第四节 推广点检工作应注意的问题	(144)
第六章 滚动轴承故障诊断实例	(145)
第一节 基于振动分析的诊断实例	(145)
一、风机滚动轴承故障案例	(145)
二、轴承偏载故障诊断案例	(147)
三、变频器主轴轴承故障诊断案例	(149)
四、鼓风机轴承故障诊断案例	(150)
五、齿轮箱轴承故障诊断案例	(152)

六、小波包络解调诊断滚动轴承故障案例	(153)
第二节 基于声发射的故障诊断实例	(155)
第三节 基于油液分析方法的诊断实例	(156)
一、振动筛轴承故障诊断	(156)
二、转炉耳轴承故障诊断	(158)
参考文献	(161)

第一章 滚动轴承概述

第一节 滚动轴承的发展

人类诞生之初,就面临一个不可避免的难题——搬运重物。为此,祖先们最早萌生了采用“滑撬”、圆柱滚棒的滚动滑撬思路。公元前 40 ~ 30 世纪,发明了利用滚动运动的车轮,从而车辆得以问世,此举大大提高了移动的速度,对人类社会及文明历史产生了十分重要的影响。

滚动摩擦的研究,最早起源于 Leonard da VINCI。1955 年, TABOR 利用同径钢球的滚动研究完全排除接触面滑移后的滚动摩擦,弄清了材料的内部摩擦才是滚动摩擦的本质成因。最早见诸文字的滚动轴承是 1772 年 VARLO 生产的车轴用球轴承。在实际使用的滚动轴承内部,除了滚动体的滚动运动以外,还会发生滚动体与保持架之间的滑移运动、钢球的旋滑运动、滚子的扭滑运动以及滚子与引导挡边之间的滑移运动等等。

滚动轴承工业与技术是在 19 世纪末至 20 世纪初以欧美为主形成并发展起来的。欧美主要轴承企业均创建于 1889 年至 1909 年之间,它正好与欧美民用汽车工业的形成合拍。日本主要滚动轴承企业则创建于 1916 年至 1928 年之间,适逢第一次世界大战结束,日本贯彻富国强兵政策大举扩充军备之机。随着军舰、飞机、坦克、车辆等军用装备的发展,形成了日本的滚动轴承工业。

至于促使滚动轴承工业形成的社会需求,欧美与日本则不相同。日本轴承工业产量在第二次世界大战接近尾声的 1944 年达到 3500 万套的最高纪录以后,因遭遇空袭而一落千丈。20 世纪后半期,欧美轴承产品的研发在冷战的形势下,主要集中于军事目的,从而导致以大力研发运输、生产、家用、声像等家用机械轴承为目的的日本滚动轴承技术在世界独领风骚。

在理论方面,从 20 世纪 50 年代开始研究滚动轴承振动与噪声的特性及成因,弄清了滚动轴承产生的振动与噪声频率主要来自以轴承外圈或轴承为弹性体的振动系统,由多种多样的固定振频组成,并且,也弄清了滚动体及内、外圈沟(滚)道波纹度与成品轴承产生振频的关系。这些研究成果对低振、低噪声滚动轴承的设计与生产作出了贡献,其结果使低噪声滚动轴承成为摩擦力矩与波动都小的轴承,从根本上提高了轴承的摩擦性能。

我国的滚动轴承工业是解放后才发展起来的。新中国成立以前,全国仅在瓦房店有一家轴承制造厂,在上海、沈阳、天津和长治等地有一些简陋的轴承修造点,大多数是手工作坊式的轴承修理场,连最普通的球轴承都不能独立完整地生产。新中国成立以后,经过 50 多年国民经济的蓬勃发展,我国各类轴承年产量从 1949 年的 4.8 万套增加到 2005 年的 60 亿套,累计生产轴承品种规格从 10 多个增加到 66600 多个,已能生产

出内径为 0.6mm 的微型轴承和外径达 5.44m、重量达 2.725t 的重型轴承，套圈最小壁厚为 0.275mm 的薄壁柔性轴承以及能在高温、低温、高速、高真空、腐蚀、辐射等特殊工作条件下使用的轴承，有力地促进了国民经济建设和国防工业的发展。从轴承生产总量和生产体系来看，我国已成为仅次于日本、美国和德国的世界轴承生产大国，表 1-1 为 2005 年国内外主要轴承生产企业介绍。

表 1-1 2005 年世界和中国主要轴承生产企业介绍

企 业 名 称	所 在 地	成 立 年 份
SKF	瑞典	1907 年
INA	德国	1946 年
FAG	德国	1893 年
TimeKen	美国	1897 年
Torrington	美国	1860 年
NSK	日本	1916 年
Koyo	日本	1921 年
NMB	日本	1951 年
NTN	日本	1918 年
Nachi	日本	1928 年
瓦房店轴承集团有限责任公司	中国瓦房店	1938 年
哈尔滨轴承集团有限公司	中国哈尔滨	1958 年
洛阳轴承集团有限公司	中国洛阳	1958 年

滚动轴承的用途日益广泛，运行条件千差万别，轴承企业已建起了规模庞大的数据库。它们始终关注社会动向，超前开发新功能滚动轴承，以满足表 1-2 所示的不同需求。

表 1-2 滚动轴承技术开发目标

社会需求	机械进步	轴承开发目标
节能	高效	小巧轻便
	小巧	高速旋转
	轻便	摩擦与波动轻微
保护资源	高载荷	轴承设计高荷载容量
	最长寿	靠材料与热处理延长寿命；靠表面调质延长寿命；靠润滑设计延长寿命
减少人手	自动化、免维修	润滑脂密封轴承；润滑脂长效；完美轴承
安全可靠	无故障	轴承功能安全可靠；轴承寿命稳定可靠
保护环境	轻快、无害	控制噪声、振动；生物分解性润滑剂；不适用稀有元素的材料
丰富多彩	多功能	方便好用；大小全备；旋转精度高—NRRO 控制
	高性能	刚性好；温升小；高低温多能；无粉尘；耐高真空、耐腐蚀、抗射线

未来机械技术开发的目标之一是真正小型化的微型机械技术，它要求功能新、侧摆小、 dm (主轴的高速化指标，轴承节圆直径与旋转速度的乘积)值超过 $2.5 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 的高线速、 600°C 以上高温条件下的润滑、摩擦与波动很轻微、用于特殊环境、无粉尘、滚动疲劳小、润滑剂长效、方便好用的完美轴承。

结构方面，将开发出外径小于 1mm 的超微型轴承。材料方面，将开发出陶瓷、塑料等新型轴承材料，能延长寿命的最佳表面调质，不使用稀有元素的环保轴承钢以及生物分解性润滑剂等。

根据我国机电行业的现状，滚动轴承行业的发展趋势为：从产能规模型向质量效益型转变，主要是围绕产品的精度、性能、寿命和可靠性等指标，加大轴承技术进步、技术创新的力度，特别是以轴承寿命和可靠性为重点，提升产品制造技术水平，同时调整产品结构，加强轴承结构设计和应用技术研究，扩大高精度、高附加值及专用轴承的生产能力，并根据主机的需求着重发展高速、高精度、高可靠性、长寿命、低摩擦、低振动、低噪声轴承和技术含量高的单元化轴承、智能化轴承、功能部件化轴承以及国防工业和特殊工况下使用的专用轴承。如轿车轮毂轴承单元、大型卡车、拖车用圆锥滚子轴承单元、汽车转向机轴承单元、机床主轴轴承单元、计算机硬盘驱动轴承单元等。

第二节 滚动轴承的基本结构及分类

一、滚动轴承的基本结构

滚动轴承的基本结构如图 1-1(a)、(b)所示，它一般由内圈、外圈、滚动体和保持架等四部分组成。内圈用来和轴颈装配，外圈用来和轴承座装配，通常是内圈随轴颈回转，外圈固定，但也可用于外圈回转而内圈不动，或是内、外圈同时回转的场合，当内、外圈相对转动时，滚动体即在内、外圈的滚道间滚动。常用的滚动体，如图 1-2 所示，有球、圆柱滚子、圆锥滚子、球面滚子、非对称球面滚子、螺旋滚子和滚针等几种形式。轴承内、外圈上的滚道，有限制滚动体侧向位移的作用。

上面阐述的主要是针对一般的向心轴承，而对于推力轴承，其基本结构如图 1-1(c)所示，同样有滚动体和保持架，但它并没有内圈和外圈，但相应的有座圈和轴圈。推力轴承中与轴配合在一起的元件叫轴圈，与机座孔配合的元件叫座圈。

保持架的主要作用是均匀的隔开滚动体。如果没有保持架，则相邻滚动体转动时将会由于接触处产生较大

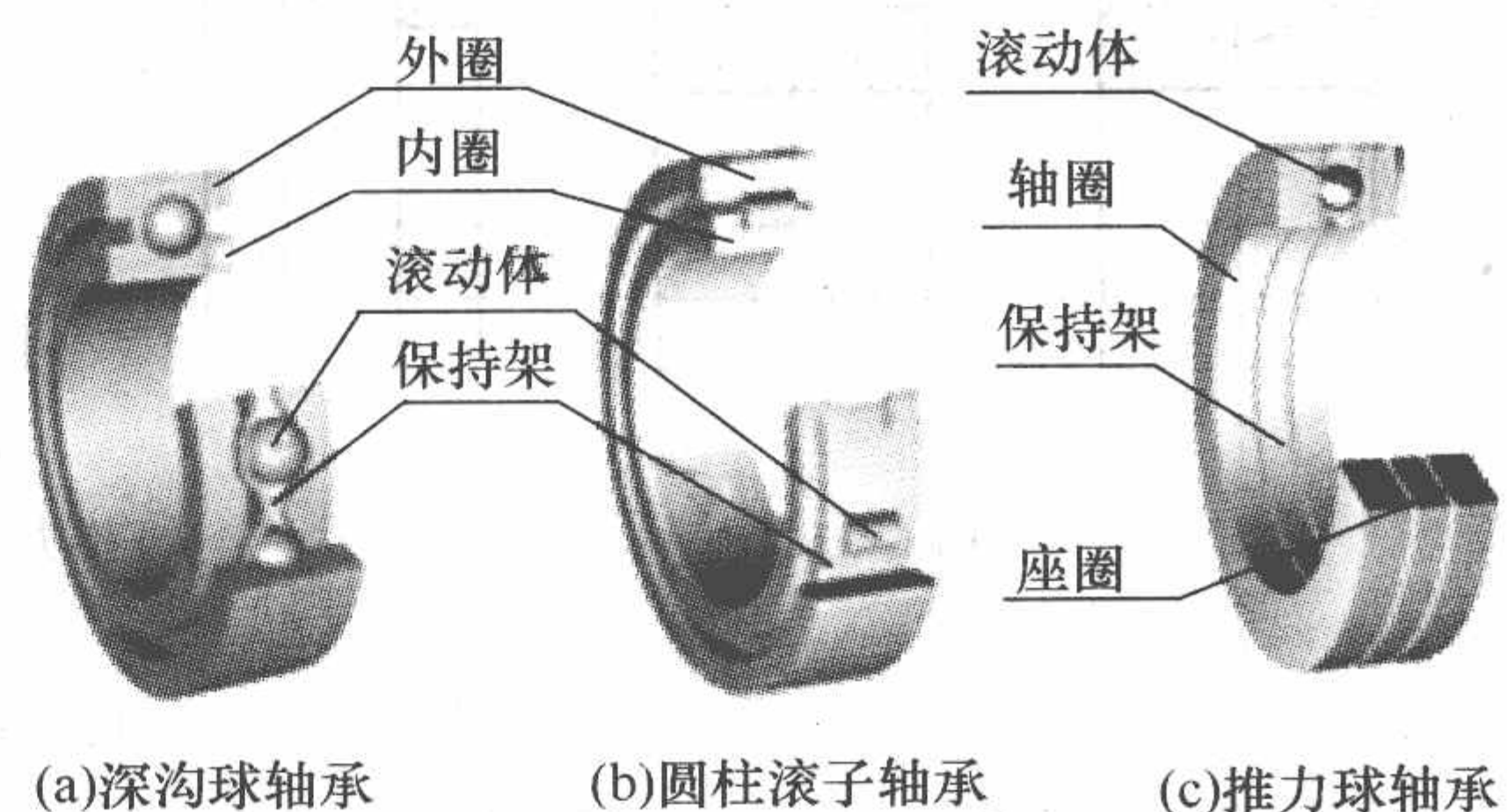


图 1-1 滚动轴承的基本结构