

创新方法系列丛书

TRIZ 应用综合例析

——轴颈磨损防护与修复

张明勤 张士军 陈继文 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



• 创新方法系列丛书 •

TRIZ 应用综合例析

——轴颈磨损防护与修复

张明勤 张士军 陈继文 编著



机械工业出版社

本书作为《TRIZ 入门 100 问——TRIZ 创新工具导引》的姊妹篇，在编排体系上同样采用了作者归纳总结的“TRIZ1141”“七类工具包”“五座 TRIZ 桥”实用体系。本书引入一个在制造业普遍存在的经典问题——轴颈磨损的防护与修复，以该问题的分析解决为主线。全书不仅把 TRIZ 的内容体系进行了简约化展示，同时把每一种 TRIZ 工具在同一问题上的应用及其效果充分展现出来，最终获得轴颈磨损问题的庞大解集。应用本书既可以快速掌握 TRIZ 的基本内容，又可以活学活用，举一反三领略 TRIZ 解决问题的方法与技巧，树立学习 TRIZ、应用 TRIZ 的信心。本书删繁就简，重点突出，注重实用，对 TRIZ 的推广应用具有很好的示范作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

TRIZ 应用综合例析：轴颈磨损防护与修复 / 张明勤，张士军，陈继文编著. —北京：机械工业出版社，2012.5

(创新方法系列丛书)

ISBN 978-7-111-38134-1

I. ①T… II. ①张…②张…③陈… III. ①轴颈—磨损—防护②轴颈—磨损—修复 IV. ①TH133.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 083799 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：丁昕祯 责任编辑：丁昕祯 程足芬 余 晖

版式设计：霍永明 责任校对：张 薇

封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9 印张·203 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-38134-1

定价：19.80 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

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

• 前 言 •

“自主创新，方法先行”，创新方法是自主创新的根本之源。2007年起，我国政府把创新方法工作作为重大科技专项开始推进。2008年4月，中华人民共和国科学技术部、国家发展改革委员会、教育部、科学技术协会联合发文《关于加强创新方法工作的若干意见》，指出“大力推进技术创新方法的应用，切实增强企业创新能力。针对建立以企业为主体的技术创新体系的重大需求，推进TRIZ等国际先进技术创新方法与中国本土需求融合；推广技术成熟度预测、技术进化模式与路线、冲突解决原理、效应及标准解等TRIZ中成熟方法在企业的应用。通过编制技术创新方法培训教材，积极推动技术创新方法的培训，特别是推动TRIZ中成熟方法的培训，构建创新型企业文化，培养创新工程师，增强企业创新能力”。近年来，TRIZ培训如雨后春笋蓬勃发展，TRIZ相关的教材、著作也是竞相出版，给人们学习TRIZ提供了丰富的“食粮”。但是，对于工作在一线的工程技术人员来说，传统TRIZ显得过于庞杂，学习门槛高，常常导致“消化不良”。特别是现有书籍缺少综合型的经典案例来对TRIZ理论的应用进行融会贯通与系统示范。

本书作为《TRIZ入门100问——TRIZ创新工具导引》的姊妹篇，在编排体系上同样采用了作者归纳总结的“TRIZ1141”“七类工具包”“五座TRIZ桥”实用体系。本书引入一个在制造业普遍存在的经典问题——轴颈磨损的防护与修复，以该问题的分析解决为主线，全书不仅把TRIZ的内容体系进行了简约化展示，同时把每一种TRIZ工具在同一问题上的应用及其效果充分展现出来，最终获得轴颈磨损问题的庞大解集。应用本书既可以快速掌握TRIZ的基本内容，又可以活学活用、举一反三领略TRIZ解决问题的方法与技巧，树立学习、应用TRIZ的信心。本书删繁就简，重点突出，注重实用，对TRIZ的推广应用具有很好的示范作用。

本书共10章。第1章绪论，引出在制造业普遍存在的疑难问题——轴和轴颈磨损及其相关概念；第2章轴颈失效的一般分析，介绍国内外对于这一问题的常规研究方法、研究效果、研究动态与进展；第3章基于TRIZ的轴颈失效分析，首先简单介绍了TRIZ的解题模式、经典TRIZ的内容体系、TRIZ1141实用体系等内容，引出了“TRIZ桥”概念，然后对轴颈磨损问题进行了系统分析，包括功能分析、因果分析和资源分析等；第4章基于TRIZ“思维桥”的轴颈防护与修复，突破思维定势，应用五种创新思维方法，给出轴颈磨损问题的多种解决方案；第5章基于TRIZ“进化桥”的轴颈防护与修复，应用八大技术系统进化法则，给出轴颈磨损问题的系列解决方案，并给出进化潜能图；第6章基于TRIZ“参数桥”的轴颈防护与修复，应用40条发明原理以及阿奇舒勒冲突矩阵和2003版冲突矩阵，又给出轴颈磨损问题的多种解决方案；第7章基于TRIZ“结构桥”的轴颈防护与修复，应用物场分析方法和标准解系统，同样给出轴颈磨损问题的系列解决方案；第8章基于TRIZ“功能桥”的轴颈防护与修复，应用How to模型与科学效应，也得到轴

颈磨损问题的几种解决方案；第9章基于ARIZ的轴颈防护与修复，给出了解决轴颈磨损问题的程式化步骤；第10章轴颈防护与修复解矩阵，提出了解矩阵的概念，并把应用各种TRIZ工具得到的轴颈磨损问题解决方案，通过解矩阵进行汇总、分析、评价和优选。本书附录部分介绍了通用工程参数、发明原理、冲突矩阵、标准解系统和科学效应，供读者查阅。

本书在山东省科学技术协会和济南市科学技术协会的大力支持下，由济南创新方法研究会发起，山东建筑大学张明勤教授、张士军博士、陈继文博士联合编著。并得到了科技部创新方法工作专项（2009IM021000、2010IM021300）的资助。书中参考了国内外大量相关文献和成果，引用了一些图片，在此一并表示感谢。

本书从编写体例到内容选择是一种新的尝试，限于水平和时间，错误与不足之处在所难免，请读者将批评指正意见与建议发至 sdtriz@126.com 信箱，以便再版时修订，诚致谢意。

编 者

• 目 录 •

前言

第1章 绪论 1

1.1 机器中的轴 1

1.2 轴与轴颈和轴承 4

1.2.1 轴与轴颈 4

1.2.2 轴颈与轴承 4

1.2.3 轴与轴承 6

1.3 轴颈的重要性、作用与技术 要求 7

1.4 轴颈失效的危害 7

1.5 小结 8

第2章 轴颈失效的一般分析 9

2.1 国外研究动态 9

2.2 国内研究动态 9

2.3 轴颈失效的形式 11

2.4 轴颈失效的相关因素 13

2.5 轴颈磨损的一般原因 14

2.6 轴颈磨损的传统解决方法 16

2.6.1 轴承破损的解决方法 17

2.6.2 轴颈磨损传统的解决方法 18

2.7 小结 19

第3章 基于TRIZ的轴颈失效 分析 20

3.1 TRIZ简介 20

3.1.1 TRIZ的定义 20

3.1.2 TRIZ对发明问题的分级 21

3.1.3 TRIZ理论体系的主要内容 22

3.1.4 经典TRIZ的体系结构 24

3.1.5 TRIZ解决问题的模式 24

3.2 基于TRIZ1141体系的问题分析 模型与过程 25

3.2.1 何为TRIZ1141体系 25

3.2.2 基于TRIZ1141体系的问题

分析模型与过程 25

3.3 轴颈磨损问题描述 27

3.4 轴颈磨损系统功能分析 28

3.5 轴颈磨损系统因果分析 30

3.5.1 因果分析的目的 30

3.5.2 因果分析的概念 30

3.5.3 因果图的绘制 30

3.5.4 轴颈磨损的因果图 32

3.6 轴颈磨损系统资源分析 32

3.7 小结 33

第4章 基于TRIZ“思维桥”的 轴颈防护与修复 34

4.1 基于TRIZ“思维桥”的问题 分析模型与过程 34

4.1.1 “思维桥”的概念 34

4.1.2 基于TRIZ“思维桥”的问题 分析模型与过程 34

4.2 IFR的应用 35

4.2.1 IFR的概念 35

4.2.2 应用IFR分析轴颈磨损 问题 35

4.3 九屏法的应用 36

4.3.1 九屏法的概念 36

4.3.2 应用九屏法分析轴颈磨损 问题 36

4.4 STC算子的应用 39

4.4.1 STC算子的概念 39

4.4.2 应用STC算子分析轴颈磨损 问题 40

4.5 金鱼法的应用 40

4.5.1 金鱼法的概念 40

4.5.2 应用金鱼法分析轴颈磨损 问题	41	7.2 轴颈磨损系统功能模型分析	69
4.6 小人法的应用	41	7.3 从功能模型到物场模型	70
4.6.1 小人法的概念	41	7.4 利用一般解法	71
4.6.2 应用小人法分析轴颈磨损 问题	42	7.5 利用标准解法系统	72
4.7 小结	42	7.5.1 正确理解标准解系统	72
第5章 基于 TRIZ “进化桥” 的 轴颈防护与修复	43	7.5.2 利用标准解法系统	72
5.1 基于 TRIZ “进化桥” 的问题 分析模型与过程	43	7.6 小结	75
5.2 基于技术系统进化法则的分析	43	第8章 基于 TRIZ “功能桥” 的 轴颈防护与修复	76
5.2.1 技术系统进化法则的概念	43	8.1 基于 TRIZ “功能桥” 的问题解决 模型与过程	76
5.2.2 基于技术系统进化法则分析 轴颈磨损	44	8.2 面向功能需求的 How to 模型 分析与选择	77
5.3 轴承与轴颈的 S 曲线	53	8.3 科学效应知识库的选用与参考 方案	78
5.3.1 S 曲线的概念	53	8.3.1 实现“F02: 降低温度”功能 的科学效应	78
5.3.2 轴承与轴颈的 S 曲线	54	8.3.2 实现“F02: 降低温度” 功能的科学效应的选择与 参考方案	79
5.4 轴承与轴颈的进化潜力图	56	8.4 小结	80
5.5 小结	58	第9章 基于 ARIZ 的轴颈防护与 修复	81
第6章 基于 TRIZ “参数桥” 的 轴颈防护与修复	59	9.1 基于 ARIZ 的问题解决模型与 过程	81
6.1 基于 TRIZ “参数桥” 的问题解决 模型与过程	59	9.2 简约 ARIZ 求解	82
6.2 轴颈磨损系统冲突分析	59	9.2.1 ARIZ 求解过程	82
6.3 冲突问题的求解模型与过程	60	9.2.2 ARIZ 求解轴颈磨损问题	83
6.4 利用浏览法选择发明原理求解	61	9.3 小结	85
6.5 利用阿奇舒勒冲突矩阵查找发明 原理求解	61	第10章 轴颈防护与修复解矩阵	86
6.6 利用 2003 版冲突矩阵查找发明 原理求解	63	10.1 解决方案的类型	86
6.7 利用分离原理理解物理冲突	66	10.1.1 风机方面	86
6.8 小结	68	10.1.2 轴承方面	86
第7章 基于 TRIZ “结构桥” 的 轴颈防护与修复	69	10.1.3 轴颈方面	86
7.1 基于 TRIZ “结构桥” 的问题 解决模型与过程	69	10.1.4 工作环境方面	87
		10.2 解矩阵的概念	88
		10.3 轴颈防护与修复的解矩阵	89

10.4 解矩阵方案的评价	90	附录 D 阿奇舒勒冲突矩阵	102
10.5 解矩阵方案的优选	91	附录 E 2003 版冲突矩阵	107
10.6 小结	91	附录 F 76 个标准解系统	123
附录	92	附录 G 30 个 How to 模型与 100 个科学 效应对照表	126
附录 A 39 个工程参数	92	参考文献	135
附录 B 48 个工程参数	94		
附录 C 40 个发明原理	95		

第1章 绪论

轴类零件是机器中普遍使用的典型零件之一。轴主要用于支承传动零件，如齿轮、带轮、凸轮等，以及传递运动和动力。回转运动的零件要实现其功能，必须装在轴上。一般情况下，轴需要用轴承正确支承到箱体或支架上，轴才能正常运动及传递动力。机器的运行状况、工作能力和工作质量等与轴有密切的关系。

1.1 机器中的轴

机器对于人们而言已经耳熟能详。例如，家庭用的自行车（图 1-1）、缝纫机、电风扇、空调、洗衣机等；又如工程用的拖拉机（图 1-2）、装载机、挖掘机、采煤机等；还有机械加工用的车床、铣床、钻床、刨床、磨床以及现代数控加工设备等；现代办公用的计算机、传真机、打印机、绘图仪等，也都是机器。机器具有三个特点：

- 1) 它是人为的实体组合。
- 2) 组成他们的各个部分之间具有确定的相对运动。
- 3) 能够用来变换或者传递能量、物料与信息。



图 1-1 自行车

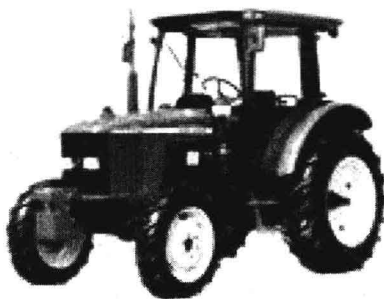


图 1-2 拖拉机

轴是在机器中应用最多的零件之一。轴是支承转动零件并与之一起传递运动、转矩或弯矩的机械零件。以人们最常见的简单机器——自行车为例，其中就包含了许多轴。图 1-3 所示为自行车的前轴，图 1-4 所示为自行车的中轴。

汽车、拖拉机、挖掘机、装载机等机器是现代工农业生产常用的机械设备，它们中的一个非常重要的部件就是变速器。变速器是将发动机的动力进行变换与传递的运动部件，

是大多数动力机械中不可或缺的传动部件。图 1-5 所示为某拖拉机变速器的结构布置图，其中有五根轴，所有齿轮都安装在各自的轴上，轴通过轴承支承在变速器箱体上。

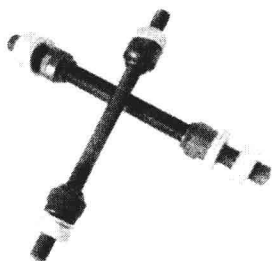


图 1-3 自行车的前轴

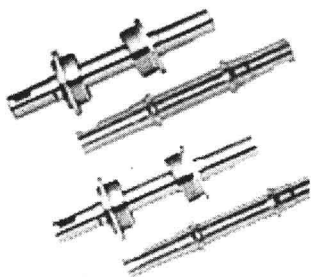


图 1-4 自行车的中轴

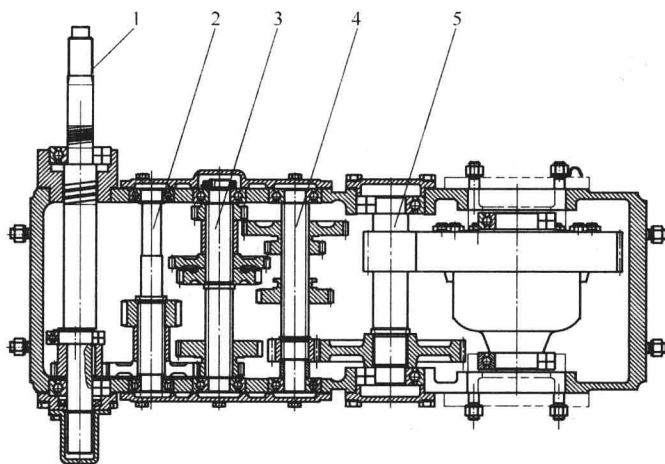


图 1-5 拖拉机变速器的结构布置图

1—I 轴 2—II 轴 3—III 轴 4—IV 轴 5—V 轴

轴的分类方法很多，根据其结构形状的不同，轴类零件可分为光轴、阶梯轴、空心轴、实心轴、挠性轴和曲轴等，如图 1-6 所示。根据轴所受的载荷不同可分为心轴、传动轴和转轴。心轴只受弯矩不受转矩，如自行车前轴，心轴又可分为转动心轴和固定心轴，如图 1-7 所示。传动轴只受转矩不受弯矩，如汽车上的万向节传动轴，如图 1-8 所示。转轴既受转矩又受弯矩，如图 1-9 所示。轴类零件主要是圆形截面的回转体零件，其长度一般情况下大于直径。轴的长径比小于 5 的称为短轴，大于 20 的称为细长轴，大多数轴介于两者之间。

轴类零件应根据所受载荷等工作条件和使用要求选用不同的材料，并采用不同的热处理规范，比如调质、正火、淬火等。通常情况下，轴既需要有一定的强度，又需要有一定的刚度和耐磨性。轴的常用材料是普通碳钢和合金钢。应用最广泛的是碳钢，其中 45 钢最常用。在高温、高速和重载条件下工作的轴，通常选用 20CrMoV、38CrMoAl 等合金钢，

有良好的高温力学性能。中等精度且转速较高的轴类零件，通常选用40Cr等合金结构钢。40Cr在经过调质和淬火后，会获得良好的综合力学性能。

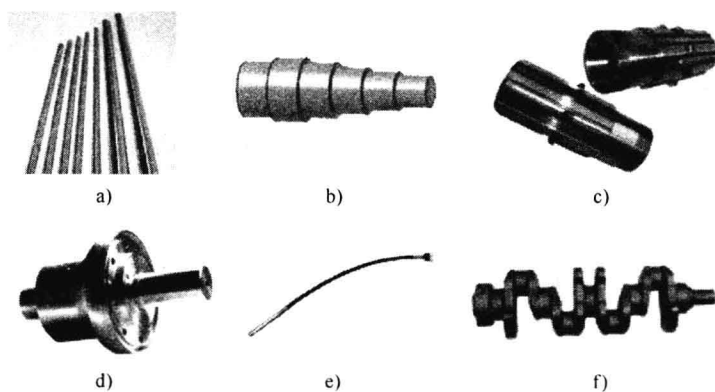


图 1-6 轴的类型(结构形状的不同)

a) 光轴 b) 阶梯轴 c) 空心轴 d) 实心轴 e) 挠性轴 f) 曲轴

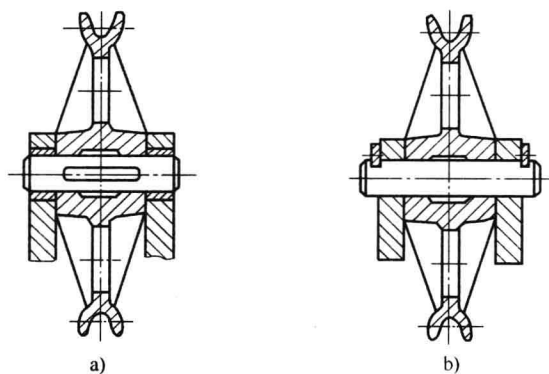


图 1-7 心轴

a) 转动心轴 b) 固定心轴

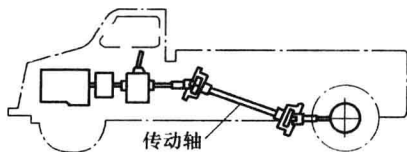


图 1-8 汽车上的传动轴

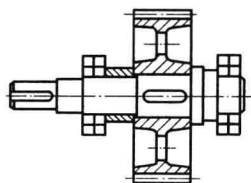


图 1-9 转轴

1.2 轴与轴颈和轴承

1.2.1 轴与轴颈

轴的结构是由轴上的零件布置、定位方法、载荷特性、轴承的类型与尺寸、轴的加工工艺等多种因素决定的。在进行轴的设计制造时，不仅应考虑使轴的强度符合要求，还要注意各零部件的安装、尺寸、形状等的协调。轴的结构工艺性是指轴的结构形式应便于加工，以提高生产率、降低成本。轴的结构除了要方便轴上的零件拆卸和调整外，还应具有良好的加工工艺性，使之受力合理、应力集中小，轴上的花键、螺纹或轮齿也要符合相应的标准。

因需要安装不同的部件，常见轴的各段直径常常不等，同时为设计、安装等方便，人们将轴的不同的部位进行进一步命名，如图 1-10 中的轴所示。轴与轴承接触被轴承支承的部分称为轴颈；轴上安装传动零件的部分称为轴头，即图 1-10 中安装联轴器的部分，为了便于安装，轴头和轴颈的端部都加工有倒角；轴头和轴颈之间的部分称为轴身，轴身上安装工作部件；用于固定轴上零部件的台阶称为轴肩；用作固定轴上零部件的环形部分称为轴环；凡是轴上截面不等的各部分统称为轴段，如图 1-11 所示。

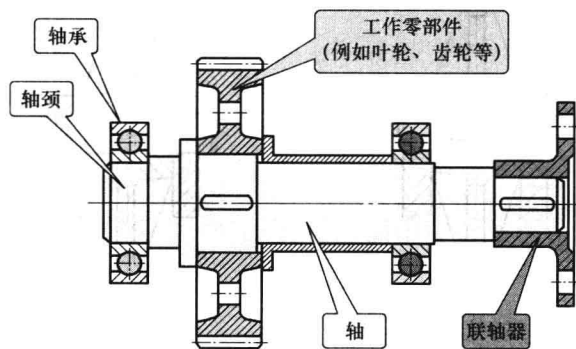


图 1-10 安装后的轴

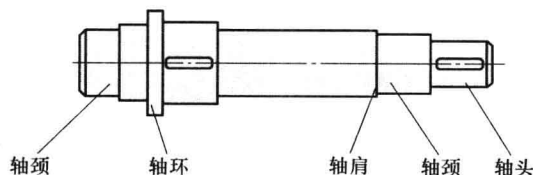


图 1-11 轴

1.2.2 轴颈与轴承

轴颈为轴上安装轴承的部位。如图 1-12 所示，轴上的工作部件将载荷作用到轴上，轴受载转动时，一部分载荷通过轴承传递到轴承安装的箱体或者支架上。

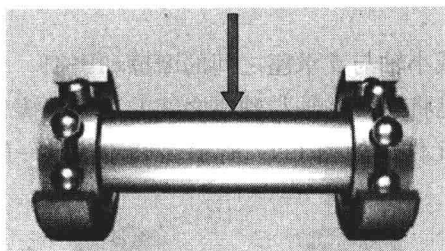


图 1-12 轴的运转

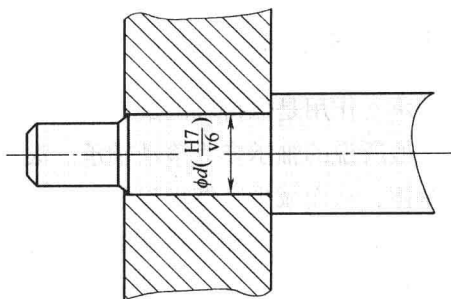


图 1-13 过盈配合

轴上零件的固定分为周向固定和轴向固定。轴上零件的周向固定是为了轴或固定在轴上的零件在作回转运动时,防止零件与轴产生相对转动。周向固定的方法有多种,常见的是键联接;当载荷较小时,可采用紧定螺钉联接或者用圆柱销、圆锥销、弹性销等销联接。当要求轴与轴上的零件承载能力大且回转精度高、对中性好时,轴与零件之间的联接应采用过盈配合,即靠轴和轴上零件之间的配合面摩擦力来实现周向固定(图 1-13)。

轴上零件的轴向固定指零件在轴上应具有确定的轴向位置,以保证它正常工作。零件轴向固定的方法也有很多种。常见的是轴肩和轴环(图 1-11),其优点是固定形式简单可靠,可承受较大的力,缺点是轴直径会有突变,易产生应力集中,且加大了轴的直径。另一种常用的形式为套筒,套筒常用于轴的中间轴段零件的固定,优点是装拆方便、结构简单,缺点是套筒与轴为间隙配合,不适合在高转速的轴上应用。当无法采用套筒或套筒太长时,可在轴上车出细牙螺纹,用圆螺母作轴向固定(图 1-14),其优点是能承受较大的力,缺点是对轴的强度削弱较大,故圆螺母常用于固定轴端零件。弹性挡圈大多同轴肩联合

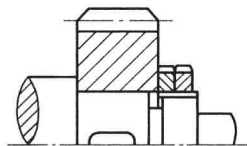


图 1-14 圆螺母固定

使用,其结构紧凑,装拆方便,但只能承受较小的进给力,同时由于弹性挡圈的安装需要在轴上开环形槽(图 1-15),从而削弱了轴的强度,因此,弹性挡圈常用于轴承的进给力不大时,零件的轴向固定。轴端挡圈(又称轴端压板,图 1-16),结构形式简单,可用于轴端零件的轴向定位和双向固定。

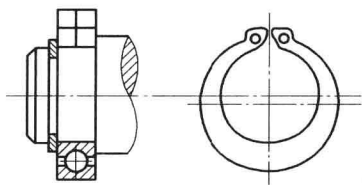


图 1-15 弹性挡圈固定

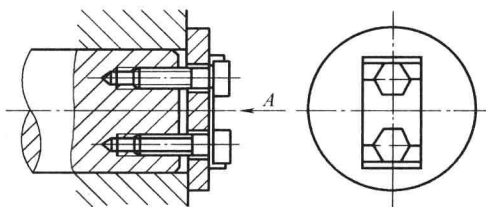


图 1-16 轴端挡圈固定

1.2.3 轴与轴承

轴承的作用是保持轴的旋转精度，转动时，减小轴与支承座之间的摩擦和磨损。

一般所说的轴承多为滚动轴承。滚动轴承就是将运转的轴与轴座之间的滑动摩擦变为滚动摩擦，从而减少摩擦损失的一种精密的机械元件。如图 1-17 所示，滚动轴承一般由外圈、内圈、滚动体和保持架组成。轴承内圈装在轴颈上并与轴一起旋转，轴径与轴承配合较紧；轴承外圈装在机座或箱体零件的轴承孔内，通常配合较松。滚动体是实现滚动摩擦的滚动元件。轴承内外圈上有滚道，当内外圈相对旋转时，滚动体将沿滚道滚动，它们由保持架均匀隔开，避免相互摩擦。滚动体有球形滚珠、圆柱滚子、圆锥滚子、鼓形滚子、螺旋滚子、滚针等，如图 1-18 所示。为满足特殊场合的使用要求，有的轴承可以无内圈或无外圈，也可以带防尘圈、密封圈等结构。滚动轴承使用维护方便，工作可靠，起动性能好，在中等速度下承载能力较强。与滑动轴承（图 1-19）相比，滚动轴承的径向尺寸较大，减振能力较差，高速时寿命短，噪声较大。

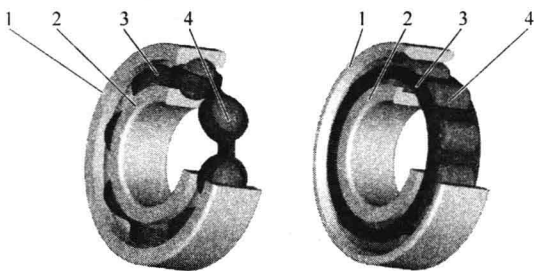


图 1-17 滚动轴承

1—外圈 2—内圈 3—保持架 4—滚动体

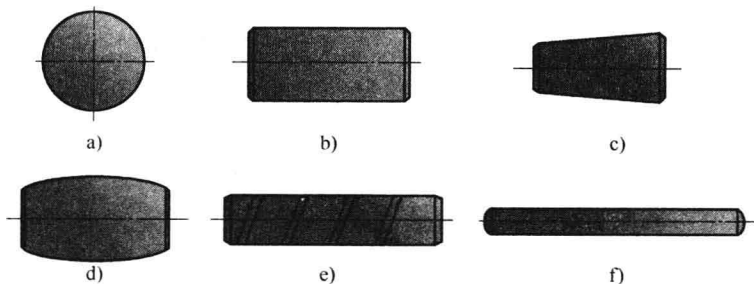


图 1-18 滚动体的种类

a) 球形滚珠 b) 圆柱滚子 c) 圆锥滚子 d) 鼓形滚子 e) 螺旋滚子 f) 滚针

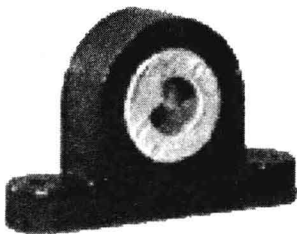


图 1-19 滑动轴承

1.3 轴颈的重要性、作用与技术要求

支承轴的轴颈是轴的装配基准,其精度直接影响轴的回转精度;轴上的重要表面又以支承轴的轴颈为设计基准,有严格的位置要求;为保证轴上安装零件的回转精度,轴的轴线要与轴颈同轴。

轴颈是轴的装配基准,它们的精度和表面质量一般要求较高,其技术要求一般根据轴的主要功能和工作条件制订,通常有以下几项:

(1) 表面粗糙度 一般与传动件相配合的轴径的表面粗糙度为 $Ra2.5 \sim 6.3\mu\text{m}$,与轴相配合的支承轴径的表面粗糙度为 $Ra0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

(2) 位置精度 轴类零件的位置精度要求主要是由轴在机械中的位置和功能决定的。通常应保证装配传动件的轴颈对支承轴颈的同轴度要求,否则会影响传动件(齿轮等)的传动精度,并产生噪声。普通精度的轴,其配合轴段对支承轴颈的径向跳动一般为 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$,高精度轴(如主轴)通常为 $0.001 \sim 0.005\text{mm}$ 。

(3) 几何精度 轴类零件的几何精度主要是指轴颈、外锥面、莫氏锥孔等的圆度、圆柱度等,一般应将其公差限制在尺寸公差范围内。对精度要求较高的内外圆表面,应在图样上标注其允许偏差。

(4) 尺寸精度 起支承作用的轴颈为了确定轴的位置,通常对其尺寸精度要求较高(IT5 ~ IT7)。装配传动件的轴颈尺寸精度一般要求较低(IT6 ~ IT9)。

1.4 轴颈失效的危害

轴颈磨损是最常见的轴颈失效形式。轴颈磨损容易造成生产效率降低、加速设备老化、影响产品质量。有时被迫停机检修,延误交货日期,影响正常工作;有的甚至造成严重的安全生产事故。因轴颈磨损,甚至出现过整条生产线全部报废的重大事故,导致企业破产。

因轴颈磨损,轴受载时容易产生过大的弯曲变形或扭转变形,从而影响轴上零件的正常工作。例如,装有齿轮的轴的弯曲变形,会影响齿轮的正常啮合,会导致齿轮啮合发生偏载;轴的弯曲变形会使轴承内外圈相互倾斜,从而缩短轴承的使用寿命。另外,轴颈磨损后,轴的扭转变形过大,将影响设备的精度及运转零部件上负荷的分布均匀性,并对轴的振动造成一定的影响,产生附加的振动。

例如,某石蜡造粒机原转鼓标准轴颈为 80mm ,长为 113mm ,实际测量磨损后轴颈的最小直径为 78.2mm ,最大磨损量为 1.8mm ,其他部位有很深的沟槽。造粒机转鼓是造粒系统的重要组成部分,它的工作状况直接影响造粒机的运行安全性及产品质量,严重时可导致机组不能工作。这说明轴颈与轴承孔的配合间隙严重超差,如果不对磨损轴颈进行防护与修复,不仅影响外观质量,而且会造成产品质量降低、刮蜡效果差,还可能导致机组停机,影响正常生产。

又如,中国某公司有一台真空转鼓过滤机,其转鼓重达 4t ,于 1995 年投入使用后,

为了维持设备正常运转，改善了润滑状况，增加了轴承的更换次数，然而在近几年的检修中，还是发现该机转鼓轴颈出现了磨损现象。上述方法虽能延缓轴颈磨损速度，但无法从根本上消除设备隐患，急需对轴颈进行防护与修复。但是修理轴颈需大型吊装设备，施工难度很大，更重要的是由于整机拆卸、移出、吊装、安装复位难度都非常大，修复需要的工期也较长，影响正常的生产进度，是生产所不允许的。

1.5 小结

轴是机器中广泛使用的机械零件，它有多种类型和结构形式，其性能对机器性能有着重要的影响。轴通过其轴颈部位与轴承装配才能正常工作。轴颈是轴的装配基准和重要的设计基准，通常对其精度和表面质量有着较高的要求。生产工作过程中，轴颈磨损成为最常见的轴颈失效形式，会引发生产效率降低、设备老化加速、产品质量下降、被迫停机检修、生产事故，甚至企业破产等众多问题。

第2章

轴颈失效的一般分析

在机械运转中,轴颈磨损是轴颈失效的常见形式,轴颈磨损是非常普遍的问题。目前对轴颈修复技术的研究主要集中在电火花沉积技术、电刷镀技术、超音速电弧喷涂、激光熔覆技术、有机高分子金属修补技术等方面。

2.1 国外研究动态

近年来,许多国外学者对轴颈失效及解决方法进行了研究。如机车涡轮增压器的主轴,其轴承套圈首先遭破坏,然后主轴产生裂纹,最终交变弯曲载荷导致主轴的疲劳断裂。主轴颈磨损后用埋弧焊修复,但为了降低焊接过程中对材料性能的影响,操作比较困难。Tahar Sahraoui 考虑到修复轴颈用镀铬的方法对环境和身体的危害,用超音速电弧喷涂法修复燃气涡轮轴(涂层为 WC-12% Co, Cr3C2-25% NiCr 和 Tribaloy©-400)的轴颈,实验分析了多种条件下涂层的摩擦行为,结果表明用超音速电弧喷涂法得到的涂层比用镀铬的方法具有更高的硬度和更高的耐磨性。澳大利亚一位学者提出利用复合材料补丁(composite bonded patches)来修复轴的技术,复合材料补丁是一种快速修复技术,通过对轴进行修补后的分析表明,这种技术对轴的弯曲强度、耐蚀性影响甚小,且结合强度高。

2.2 国内研究动态

近年来,国内学者也深入研究了轴颈失效及解决途径。如将轴颈进行再车削,然后再新配轴承,但由于磨损表面被车削,公称尺寸变小,从而影响轴的抗扭能力,而电弧喷涂技术可以应用在重载电动机转子的轴颈磨损修复中,且实践证明修复后的轴颈运转持久可靠。

电火花沉积技术是将电源存储的高能量电能($10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$),在电极与金属母材间瞬时($10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ s}$)高频释放,形成空气电离通道,使高合金电极与基材表面产生瞬间高温(约 $8000 \sim 10000^\circ\text{C}$),使放电微小的区域内的材料高能离子化,在电场作用下,转移并扩散进入到工件表层,形成冶金型牢固结合的沉积层。利用电火花沉积技术修复的零件具有高硬度、高耐磨性、高疲劳强度以及高耐蚀性和抗氧化、耐高温、耐烧蚀等优良性能。王华仁等利用电火花沉积/堆焊技术对交流变频电动机轴进行了修复,结果表明电