



# 机电一体化 设计与应用研究

张德良 著




天津出版传媒集团  
天津科学技术出版社

# 机电一体化设计与应用研究

张德良 著

天津出版传媒集团

天津科学技术出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化设计与应用研究 / 张德良著. -- 天津 :  
天津科学技术出版社, 2020. 7

ISBN 978-7-5576-8427-3

I. ①机… II. ①张… III. ①机电一体化-系统设计-研究 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 120475 号

---

### 机电一体化设计与应用研究

JIDIAN YITIHUA SHEJI YU YINGYONG YANJIU

责任编辑: 韩 瑞

出 版: 天津出版传媒集团  
天津科学技术出版社

地 址: 天津市西康路 35 号

邮 编: 300051

电 话: (022)23332390

网 址: www.tjkjcs.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 河北文盛印刷有限公司

---

开本 710×1000 1/16 印张 14 字数 240 000

2020 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 58.00 元

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 目 录

第一章 机械零部件 .....	1
第一节 杠 杆 .....	1
第二节 轮 .....	4
第三节 滑 轮 .....	5
第四节 螺旋机构 .....	7
第五节 弹 簧 .....	8
第六节 轴 承 .....	9
第七节 滑轮组 .....	13
第八节 齿 轮 .....	13
第九节 齿条和小齿轮 .....	16
第十节 棘轮、棘爪和曲柄 .....	16
第十一节 活塞和曲柄 .....	17
第十二节 凸轮和随动件 .....	18
第十三节 链条和链轮 .....	20
第十四节 间歇传动轮 .....	20
第十五节 机构 .....	21
第十六节 机械零件 .....	24
第二章 电子零部件 .....	33
第一节 电 容 器 .....	33
第二节 电 阻 器 .....	38
第三节 二 极 管 .....	42
第四节 光电二极管 .....	46
第五节 三 极 管 .....	47
第六节 集成电路(IC) .....	53
第七节 运算放大器 .....	56
第八节 数字集成电路 .....	60

<b>第三章 离散传感器</b> .....	68
第一节 传感器分类 .....	68
第二节 非接触型传感器——接近型 .....	69
第三节 非接触型传感器——光电型 .....	82
第四节 传感器输出接口 .....	99
第五节 模拟传感器 .....	103
第七节 将传感器集成到功率和控制电路中 .....	111
第八节 离散传感器故障检测 .....	113
<b>第四章 模拟传感器</b> .....	117
第一节 控制阀 .....	117
第二节 温度传感器 .....	124
第三节 压力传感器 .....	132
第四节 流量传感器 .....	138
第五节 液位传感器 .....	148
第六节 位置传感器 .....	155
第七节 其他类型的过程传感器 .....	158
第八节 传感器故障检测 .....	159
<b>第五章 机电一体化的接口技术</b> .....	161
第一节 接口电路的基础知识 .....	161
第二节 接口技术 .....	166
第三节 实用数字 IC .....	180
第四节 微型计算机与传感器的接口电路 .....	189
第五节 微型计算机与传动装置的接口电路 .....	193
<b>第六章 常用电气接头与仪表</b> .....	198
第一节 电气接头 .....	198
第二节 仪 表 .....	212

# 第一章 机械零部件

## 第一节 杠 杆

杠杆是最常见的机械装置。杠杆就是一个简单的梁,能够铰接在旋转关节或者杠杆支点上。图 1-1 所示为一个简单的平衡杠杆。如果在梁的右端施加一个作用力,在梁的左端就会产生一个同样大小的力。

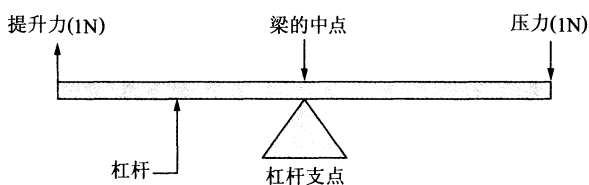


图 1-1 基本杠杆

图 1-2 所示为一个一级杠杆,杠杆支点位于离右端  $2/3$  杠杆长度的位置。利用杠杆支点偏离中心的特点,可以实现一些良好的机械特性。如果在梁的右端施加大小为  $1\text{N}$  的作用力( $F_A$ ),那么在杠杆的左端会产生  $2\text{N}$  的力( $F_G$ ),位移同样也会变换。图 1-2 中杠杆右端  $12\text{cm}$  的位移( $M_A$ )转变成杠杆左端  $6\text{cm}$  的位移( $M_G$ )。力与位移的计算公式如下:

力  $(Y \div X) \times F_A = F_G$

位移  $(X \div Y) \times M_A = M_G$

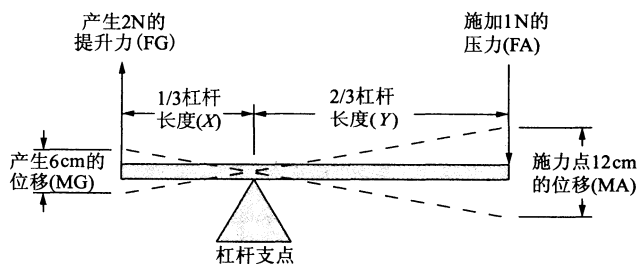


图 1-2 一级杠杆

图 1-3 所示为一个二级杠杆。二级杠杆中的杠杆支点位于梁的一端,使用者可以在另外一端施加力,这样在施力点和支点之间产生一个作用力。通过调整力产生点在梁上的位置,可以实现一些机械特性。如果在杠杆左端施加一个 1N 的作用力( $F_A$ ),那么在离左端  $2/3$  杠杆长度处将产生 3N 的力( $F_G$ )。同样,位移也会转换。杠杆左端 12cm 的位移 ( $MA$ ),转化成离左端  $2/3$  杠杆长度处 4cm 的位移 ( $MG$ )。力与位移的计算公式如下:

力  $(L \div X) \times F_A = F_G$

位移  $(X \div L) \times MA = MG$

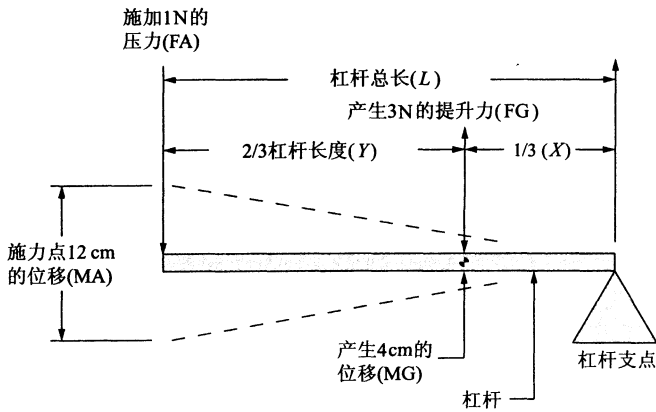


图 1-3 二级杠杆

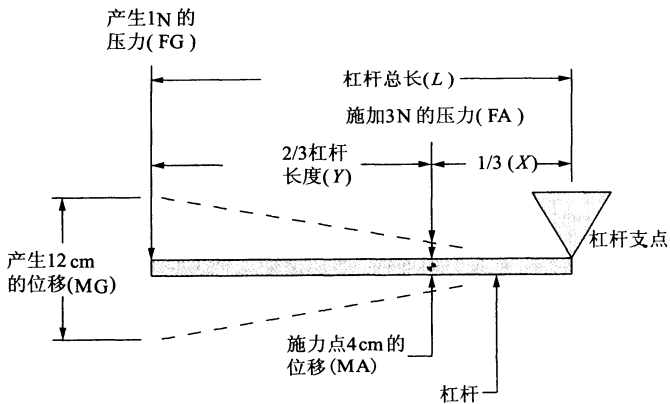


图 1-4 三级杠杆

图 1-4 所示为一个三级杠杆。三级杠杆与二级杠杆的不同之处在于施力点的位置以及作用力的方向。在这类杠杆中,施力点位于杠杆支点和力产生点之间。通过改变施力点在梁上的位置,可以获得不同的机械特性。如图 1-4 所示,如果在

杠杆的施力点上施加 3N 的作用力( $F_A$ ),那么在杠杆的左端可以获得 1N 的作用力( $F_G$ ),并且位移也发生了转换。杠杆的左端产生 12cm 的位移( $M_G$ ),而施力点的位移( $M_A$ )只有 4cm。位移与力的计算公式如下所示:

$$\text{力} \quad (X \div L) \times F_A = F_G$$

$$\text{位移} \quad (L \div X) \times M_A = M_G$$

杠杆机构在连杆系统中有非常广泛的应用。如图 1-5 所示,其中包含两个一级杠杆,二者通过一个连杆连为一体,这样设计可以将左端杠杆的运动复制到右端的杠杆上。

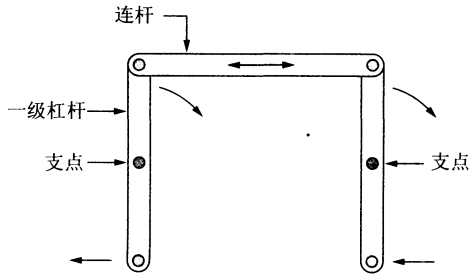


图 1-5 杠杆与边杆

直角杠杆(图 1-6)的角度是  $90^\circ$ ,属于一级杠杆,其最典型的应用是在连杆系统中改变施力的方向。绝大多数直角连杆的力臂之比都为 1:1,但也可以采用不同的力臂比值。

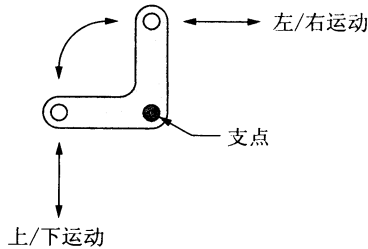


图 1-6 直角杠杆

图 1-7 所示为一种共用杠杆与连杆的机构。机构的动力来源于左上方的螺线管。仔细研究该机构图并分析连杆的运动,可以知道复位弹簧对螺线管以及位于远端的连杆同样起作用。

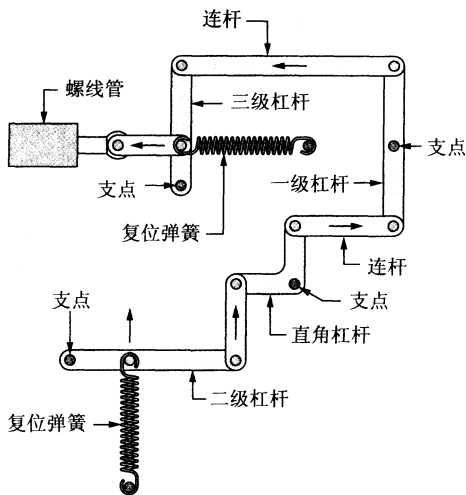


图 1-7 杠杆及连杆机构

## 第二节 轮

轮是另外一种形式的杠杆,是一级杠杆的变体。仔细观察图 1-1 所示的一级杠杆,假设用一个支点位于中心的圆盘来代替梁。

如果圆盘可以自由旋转,那么就可以将其看作一个轮。轮有两种基本形式,一种具有可动的旋转轮轴,如图 1-8 所示,我们称之为“动轮”;另外一种具有固定的轮轴,如图 1-9 所示,我们称之为“定轮”。这两种形式的轮都有非常多的用途。

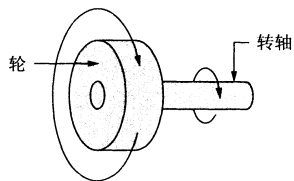


图 1-8 轮与转轴

图 1-10 所示为一个齿轮传动机构。电动机上的齿轮有一个旋转轴,可以将电动机的转动传递到齿轮上。主动齿轮的转动带动惰轮,惰轮围绕一个固定的转轴旋转,同时惰轮带动从动齿轮旋转,从动齿轮绕着转轴旋转,并输出动力做功。

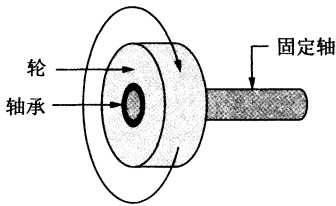


图 1-9 轮与定轴

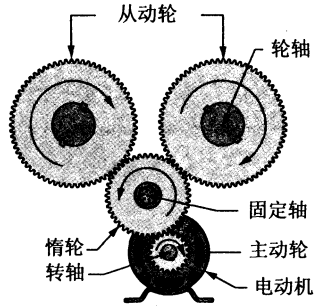


图 1-10 齿轮传动机构

### 第三节 滑 轮

滑轮是轮的一种变体,它有一个圆形凹槽,这个凹槽可以容纳一根缠绕在滑轮外圈的绳索。如果我们给绳索一端施加 1N 的拉力,那么在绳索的另外一端将产生 1N 的提升力。图 1-11 所示为一个简单的滑轮装置。

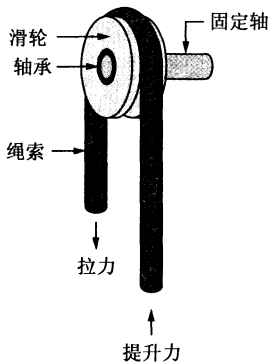


图 1-11 简单的滑轮装置

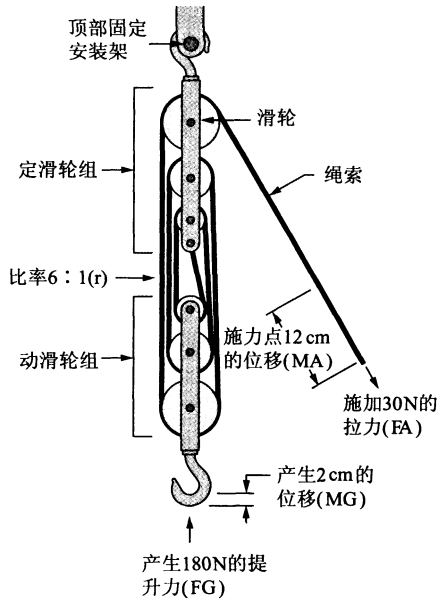


图 1-12 典型的滑轮组装置

如果将滑轮以累加的形式组合,将会获得很多令人欣喜的机械性能。图 1-12 所示为一种典型的滑轮组装置,该装置可以产生较大的提升力。用提升力除以滑轮组之间竖直方向的绳索根数可以确定滑轮组需要的拉力。图 1-12 表示的是一

种比率为 6:1 的滑轮组。滑轮组产生的提升力(FG)可以根据“施加拉力(FA)×比率”计算获得:

$$30N(FA) \times 6 = 180N(FG)$$

输出端的位移可以通过“施力点位移(MA)÷比率”计算获得:

$$12cm(AG) \div 6 = 2cm(MG)$$

图 1-13 所示为将一个与螺线管相连的滑轮用作位移放大器的工作原理。这个滑轮安装在一个插棒式铁芯上。当螺线管动作时,位移可以增加一倍。

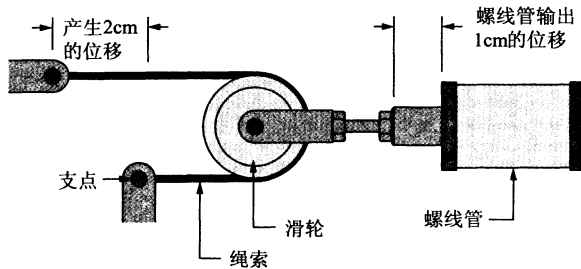


图 1-13 螺线管位移倍增装置

滑轮组最常见的应用是 V 形带传动,该传动形式常用于能量转换。图 1-14 所示是一种典型的三角带传动原理示意图。可以通过计算“从动轮直径÷主动轮直径”获得传动比。

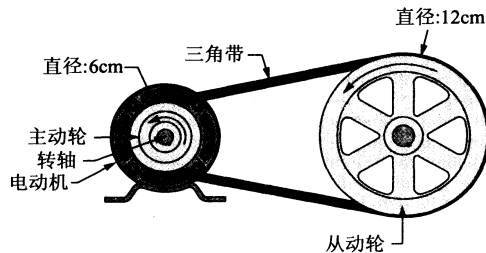


图 1-14 三角带传动

牵引传动机构是另外一种利用滑轮组工作的装置。电梯的升降机构经常采用这种传动方式。图 1-15 所示的牵引传动机构就使用了一个简单的滑轮。负载悬挂在绳索的一端,配重悬挂在绳索的另外一端。利用电动机及其减速系统驱动滑轮,或者牵引绞盘来移动负载。

绞盘是另外一种形式的滑轮变体。绞盘在绞车设备中比较常用。如图 1-16 所示,绞盘是一种能够将绳索持续不断地卷在绞盘鼓面上的滑轮。在正常情况下,绞盘由正反转电动机及其减速系统驱动,并绕一个转轴旋转。当电动机正转时,绳

索将放出;当电动机反转时,绳索将缩回。

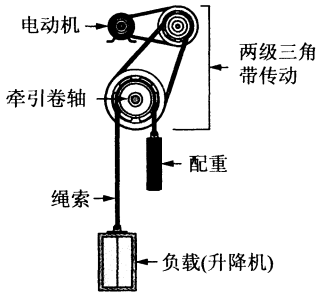


图 1-15 牵引传动机构

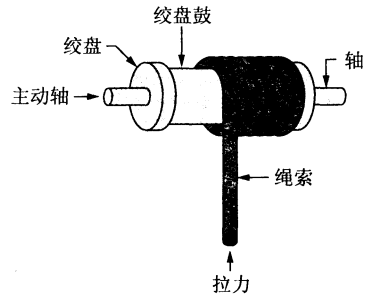


图 1-16 绞盘装置

缆索滑轮驱动系统提供了一种轻便的传递能量的方法。图 1-17 所示为缆索滑轮驱动系统的基本组成。请注意,复位弹簧安装在螺线管缆索的另外一端,有助于随时保持缆索的张紧程度。图 1-18 所示为护套缆索驱动系统,在自行车上可以经常见到其应用。

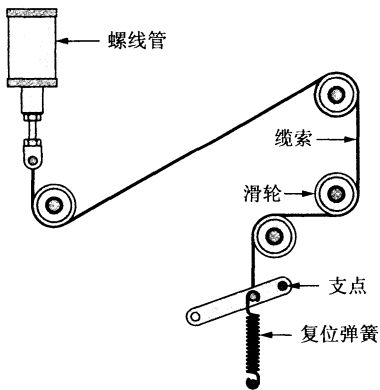


图 1-17 缆索滑轮驱动系统

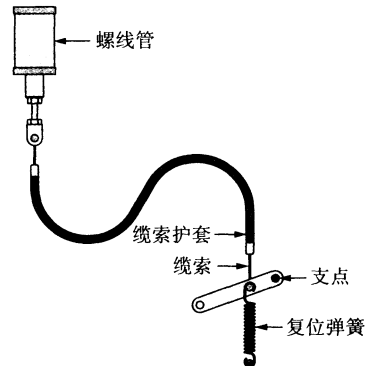


图 1-18 护套缆索驱动系统

## 第四节 螺旋机构

螺旋机构是机械设计中最重要机构之一。基本螺旋机构可以看作一个斜面围绕圆形轴的表面旋转包绕而成。通过这种方式,形成了螺旋式斜面,也叫螺纹,如图 1-19 所示,其中表示了将斜面转化成螺旋面的过程。机器螺旋转动一次所用的距离即为螺距。

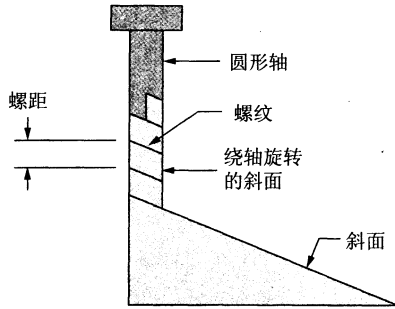


图 1-19 基本螺纹

除了能起到锁紧作用外,螺旋机构在运动控制方面的运用也极为广泛。图 1-20 所示是一个电动螺纹驱动机构的断面图。在这个实例中有一个活塞,该活塞底部与螺母固定在一起,安装在一个轴套内。当螺杆旋转时,活塞作伸缩运动,运动的方向取决于螺杆转向。螺杆由齿形带驱动,该齿形带又与一个直流电动机相连。通过改变直流电动机的极性,就会使得活塞伸出或者缩回。活塞的运动速度由电动机的转速以及齿形带的传动比来共同决定。

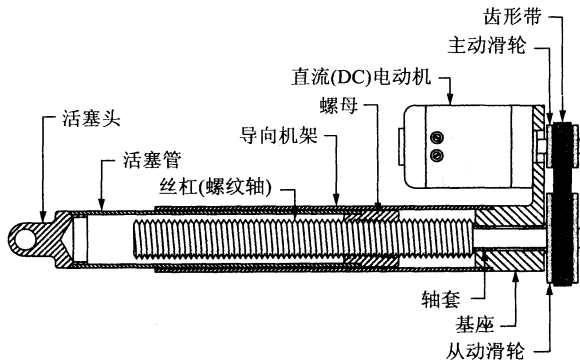


图 1-20 电动螺纹驱动机构

## 第五节 弹 簧

弹簧是机械设计中必不可少的基本元件,弹簧作为一种机械装置,利用弹性变形来储存能量。为了满足各种不同的需要,在实际应用中弹簧有多种不同类型。

图 1-21 中列举了几种在机电设备中常用的弹簧类型。

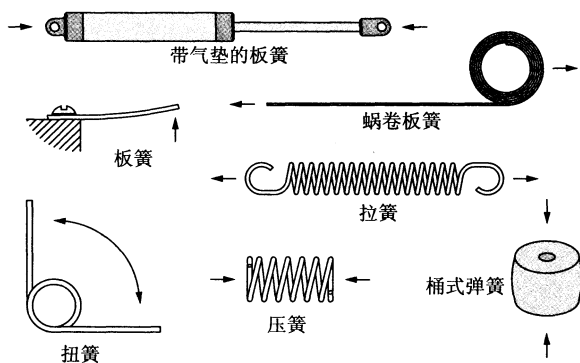


图 1-21 常见弹簧类型

## 第六节 轴 承

轴承是一种有源元件,它能降低相互滑动表面间的摩擦损失。技术上,轴承的作用是降低一个固定表面和一个移动表面之间的摩擦力,并且还能承载负荷。轴承主要有 5 种重要类型,即滑动轴承、滑动轴颈轴承、滚动轴承、磁性轴承和分子轴承。

### 一、滑动轴承

滑动轴承,顾名思义能促进负荷和支架之间的线性运动。凡是一台机器的某个部分向另一部分滑动的地方,都需要滑动轴承。滑动轴承通常使用润滑剂来降低滑动表面之间的摩擦力。图 1-22 所示为使用滑动轴承的典型例子。

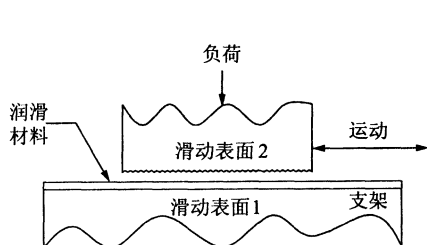


图 1-22 滑动轴承

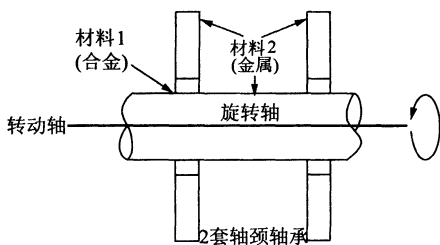


图 1-23 典型的干径向轴承

### 二、滑动轴颈轴承

滑动轴颈轴承或者简称轴颈轴承类似于滑动轴承,但是在应用时必须有一根

转动轴。径向轴承使负荷以径向压力的方式作用在轴上。有两种径向轴承,不使用润滑剂的径向轴承和使用润滑剂的径向轴承。

不带润滑剂的径向轴承经常被叫作干径向轴承,允许移动表面彼此经过时相互摩擦。这些轴承使用低摩擦力的耐磨材料或者在两个表面之间采用浸渍润滑剂的材料,以便承受运动。图 1-23 所示为典型的干径向轴承。通常使用两种材料,材料 1 和材料 2 是不同的,而且它们中的一个是非金属或者合金(润滑剂)。

第二种类型的轴颈轴承使用润滑剂。润滑剂有油、油脂、凝胶冻、气体薄膜和水等。在运行过程中,润滑油在滑动的表面之间形成一个薄层,有效地隔离了两个表面,从而显著地降低摩擦。

### 三、滚动轴承

滚动轴承是非常重要的机械元件之一,两个表面彼此滚动,它们之间的摩擦会大大地降低,因此滚动轴承适合于相对高速旋转的机器和系统。

图 1-24 所示为一个典型的滚动轴承。滚动轴承由两个金属(通常是钢)圆环和一套滚动元件组成。两个圆环中较小的叫作内环,另一个称为外环。

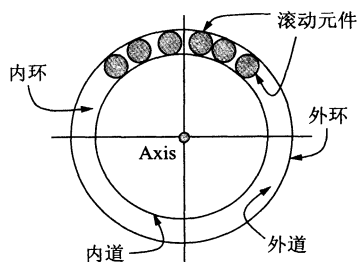


图 1-24 典型的滚动轴承

内环和外环的周长要配合好。确定数目的固体滚子,根据负荷要求设计成几何形状,并且在两个圆环之间的空间内以相等的间隔放置。这些被预先确定的滚子通常由钢和陶瓷材料做成,称为滚动元件。滚动元件在两个圆环表面之间滚动。这些表面被称为内道和外道,统称为滑道。圆环的表面(滑道)是硬质的,而且圆环必须有通体均匀的刚度。

轴承通常必须应付两种负载,径向负载和轴向负载。根据使用场合不同,轴承承受的可能全部是径向负载、轴向负载或者两者的结合。通过负载的大小可确定使用轴承的尺寸和类型。

就滚动元件而言,轴承有很多类型。这些滚动元件的几何形状确定轴承的类

型。通常使用的滚动元件是滚珠、圆形滚柱、针型滚柱、锥形滚柱。

滚珠轴承使用球体作为滚动元件,圆形滚柱轴承使用圆柱状的滚柱作为滚动元件。图 1-25 显示了不同类型的滚动元件的几何形状,下面简单介绍滚珠轴承。

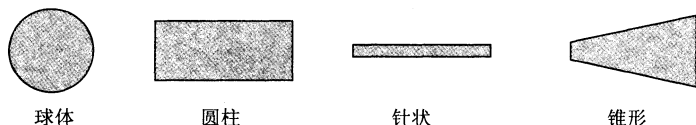


图 1-25 在轴承中使用的典型的滚动元件

滚珠轴承是最普通的轴承类型。滚珠轴承有多种结构,每一种都有特定的载荷、装配或者调整特性。虽然滚珠轴承主要用于携带径向负载,但是该轴承也能处理轴向负载,并且通常用在负载较小或者中等的场合。在一个通用的滚珠轴承系统里,负载从外道传送到滚珠,再从滚珠传到内道。外环通常紧固在系统本体上,而内环则紧固在旋转部分或负载的轴上,如图 1-26 所示。

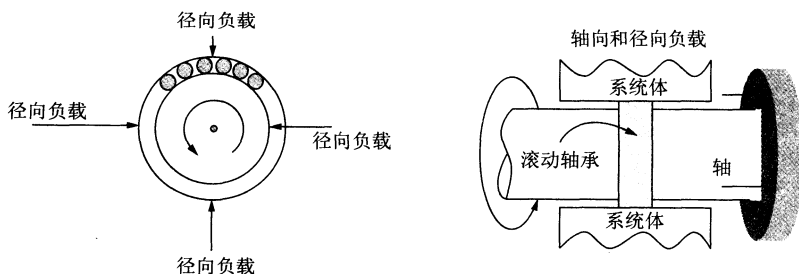


图 1-26 典型的由径向负载施加压力的滚动轴承

所有滚珠都以非常小的点接触内道和外道,这使得它们能非常顺畅地旋转,然而由于接触面积非常小,如果轴承超载,滚珠可能变形使轴承损坏。在深槽滚珠轴承里,滚珠在比较深的凹槽轨道里运转,这使得轴承既适合径向负载又适合轴向负载。深槽滚珠轴承可以在环内有两排滚珠,这提供了更大的刚度。对于作用在两个方向上的负载,则需要双向轴承。

#### 四、磁性轴承

磁性轴承可消除机械摩擦损失。图 1-27 所示是一个典型的磁性轴承。它由 4 个马蹄铁形状的电磁体组成。4 块磁铁被均匀地安排在一根转轴的周围。每个电磁体能产生一种吸引转子铁的力。这类轴承能使转轴浮动在电磁体建立的磁场上。

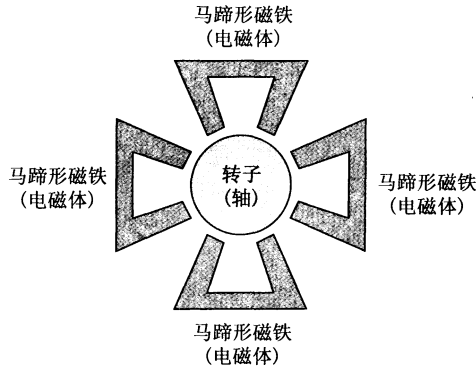


图 1-27 由 4 个分立的马蹄形磁铁组成的磁性轴承

磁性轴承可代替轴颈轴承和滚动轴承,用于高性能涡轮机组中。由于没有机械接触,磁性轴承几乎完全没有摩擦。另外,由于没有机械磨损,可靠性也得到增强。除了明显的优点以外,磁性轴承也有一些不稳定性,即由于某些不平衡的磁场转移转子的位置,给系统带来严重问题。转子的位置应该永远对准系统的几何轴心。由于转子轴在磁场里浮动,在设计电磁铁时必须考虑轴的自身重量的影响。磁性轴承一般是开环回路。

为了保持转子的位置固定,需要通过有源反馈控制使轴承能稳定工作。然而,反馈控制的需求有时会给轴承的动态响应带来不适应性。

磁性轴承特定的应用包括精密纱锭机器、存储能量用的飞轮、高可靠性泵、压缩机等。注意到某些飞轮的转速超过 50 000rpm,常规的滚珠轴承将会爆破,磁性轴承没有运动部件,因此它能应付这些难以置信的速度。

## 五、分子轴承

由于纳米技术的出现,人们开始设计分子轴承。轴承对大多数的纳米范畴的机器来说不可缺少。与纳米技术相适应的分子轴承很可能在今后的分子机器上普遍存在,就像今天宏观机器上的传统轴承一样。设计分子轴承有大量工作要做,因为对于不同的应用需要多种类型的分子轴承。最简单的分子轴承是一个单独的化学键,只对小的负载有用。分子轴承不需要润滑油。