

轴承基础知识

青工自学读物



ZHOUCHENG JICHU ZHISHI



王时任 周都刚 彭文生

33.3

青工自学读物

轴承基础知识

王时任 周都刚 彭文生

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7 字数 152,000

1983 年 5 月第 1 版 1983 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—15,900

统一书号: 15119·2257 定价: (科三)0.57元

目 录

前言	1
一、滚动轴承基本知识	6
二、几种新型结构的滚动轴承	46
三、特殊条件下工作的滚动轴承	64
四、液体润滑动压轴承	95
五、液体润滑静压轴承	125
六、气体润滑动压轴承	149
七、气体润滑静压轴承	161
八、电磁流体轴承	183
九、含油轴承及其他	201

前 言

我们伟大的祖国是世界上最早的文明古国之一，也是创造机械最早的国家，因而也是创造轴承最早的国家。

在我国著名的历史小说《三国演义》中，叙述了一个很有意义的故事：1700多年以前，蜀国丞相诸葛亮统率大军去攻打魏国，由于交通险阻，粮食供应很不方便。当时诸葛亮派人制造了大批“木牛流马”来搬运粮食。“木牛流马”都不要吃东西，可以日夜工作，非常方便。根据后来许多人的研究，所谓“木牛流马”就是一种独轮车，可见当时的独轮车已达到了相当完善的程度。

其实根据史籍记载，早在4500多年前，传说黄帝就制作和使用了车子，到商代(公元前十六世纪至前十一世纪)我们的祖先就已经能制造相当高级的两轮车了。当然，有车子必先有轴承的制作和使用。

明代科学家宋应星所著《天工开物》介绍了一种“南方独推车”，如图0-1所示。独推车的车轮与车轴固接在一起，轴的两端分别穿装在车架两边的轴承孔内。车轮转动时，车轴就在轴承孔内转动。其中轴承起着支承轴的作用。

这种轴承孔的表面与轴颈(轴与轴承相配合的部分)表面相接触，工作时相互产生滑动摩擦，故叫做滑动轴承。为了减少轴承工作表面的摩擦与磨损，常常在接触面上注入润滑剂。我国在周代(公元前十一世纪至前770年)就已经采用



图 0-1 南方独推车

油脂作为轴承的润滑材料。到南北朝时，就有采用石油做润滑材料的记载。

上述这种滑动轴承，轴承孔表面与轴颈表面处于直接接触的状态，通常叫做不完全润滑滑动轴承。它的特点是结构简单，加工制造方便，但摩擦系数大，磨损较快，一般只用于低速、轻载的场合。

人们在长期生产劳动中懂得了利用滚动的方法来搬运物体可以省力。

这一滚动原理应用到轴承方面，创造了滚动轴承，为轴承开辟了一个新的领域。在工业上大量、廉价地生产滚动轴承还不到一百年的历史。

滚动轴承工作时的摩擦性质主要是滚动摩擦，所以摩擦系数比较小，摩擦损失少。滚动轴承有专门工厂生产供应，使用极为方便，故在许多场合下取代了原来的滑动轴承，广泛地应用于各种机械中。但滚动轴承使用寿命较短，尤其是在高速运转时更是如此，加上它承受冲击能力差，高精度的滚动轴承制造困难，价格较贵，故其应用也受到一定的限制。

随着科学技术的进步，机器的转速也日益增高。就前面所述的滑动轴承来说，当轴的转速较高，并源源不断地供给

轴承表面以充足的润滑油时，则运动的轴颈表面将润滑油带入轴承的工作表面，轴承内孔表面与轴颈表面就由一层完整的油膜隔离开来，而成为液体润滑动压轴承。这种轴承摩擦系数也很低，而且油膜抵抗冲击载荷的能力也较强，故适宜于高速情况下工作，能承受很大的载荷，并能吸收振动与冲击，噪音小，使用寿命长。但这种轴承在启动与停车时，轴的转速低，不能形成完整油膜，因而短时间要出现不完全润滑，会加速轴承的磨损，而且高精度的液体润滑动压轴承，加工精度要求高，维护修理不方便。这种轴承目前广泛应用于汽轮机、发电机、鼓风机、内燃机、金属切削机床以及船舶推进轴系等许多场合。

如前所述，当轴的转速较低时，液体润滑动压轴承中不易形成完整油膜，轴承摩擦阻力增加，并会加速轴承的磨损。为了避免这些缺点，近四十年来发展了一种液体润滑静压轴承，它的承载油膜是依靠外部供给的具有适当压力的油液而形成的，而不依赖于轴颈的速度高把油带入轴承间隙来形成油膜。所以液体润滑静压轴承能克服液体润滑动压轴承的一些缺点，既可以在高速下工作，也可以在低速下工作；在正常情况下，轴承几乎不会产生磨损，故使用寿命长；具有良好的抗振能力；可以得到很高的回转精度。在大型天文望远镜、高速高精度磨床、重型机床、轧钢机等机器中获得了广泛地应用。这种轴承的主要缺点是需要一套供油系统。

随着科学技术的进一步发展，各种机器的工作条件就变得很不相同，例如有的要求转速特别高，有的要求轴承摩擦力矩尽可能小，有的要求可以长期不添加润滑剂等。为了很好地满足一些特定的要求，出现了如气体轴承、含油轴承、磁流体轴承等。

气体轴承是采用气体，例如空气作润滑剂的滑动轴承，也分为气体动压轴承与气体静压轴承两种。气体的粘度约为油的四、五千分之一，故其内部摩擦阻力非常小，能在高转速下工作。根据资料介绍，气体轴承的转速可达每分钟几十万转甚至上百万转。再者气体粘度受温度变化的影响小，所以能在很大的温度范围内应用。气体轴承的缺点是不能承受较大的载荷。气体轴承首先应用在原子能反应堆的送风机、宇宙航行用陀螺仪中，随后推广到了生产机器上，如内圆磨头就有采用气体轴承的。

含油轴承，顾名思义，轴承本身含有一定的润滑油，它是利用具有许多细小孔隙的轴承材料制造而成的。由于细小孔隙内充满着润滑油，因此轴承工作时，轴颈在轴承中的回转起到了抽吸作用，油就逐渐渗出到轴承的工作表面上，起着润滑的作用。由于上述特性，含油轴承可以在很长时间内不需要添加润滑油而能正常工作。它适用于轻负荷、低速不易加油的地方。

磁流体轴承是利用磁场的作用力使轴悬浮起来，因此完全不需要什么润滑剂，轴承的摩擦也大大降低。这种轴承曾采用作人造卫星的飞轮支承，解决了无重力状态下高速轴承无法供油润滑的问题。在浓缩铀离心机中为了维持超高速旋转和高真空状态，采用原来的滚动轴承和滑动轴承，润滑也比较困难，从而也采用了磁流体轴承。导弹、人造卫星、登月火箭、大型飞机、潜水艇等均要靠陀螺仪进行导航，有的陀螺仪中采用磁流体轴承，因其摩擦阻力非常非常小，所以大大提高了导航的准确性，常言道：“差之毫厘，失之千里”，将这句话用在陀螺仪上是很恰当的，而陀螺仪中采用磁流体轴承的重要作用也就更加明白了。

上述种种轴承是随着科学技术不断发展，为了满足机器不同工作条件的要求而创造出来的。由于它们在工作原理及性能上各有差异，因此能圆满地使用于工作条件不同的场合。正确地选择轴承和正确地设计各种机器的轴承部件，常常对提高机器质量、减轻机器重量、延长机器的寿命具有极其重要的意义。随着科学技术的发展，将会出现更多新的轴承，以满足科学技术日新月异的需要。

本书的前言、第一部分中的“选择与计算”、第四和第五部分由王时任编写；第三部分中的“老大哥”、“不怕火海”，“敢游太空”和第六、七、八、九部分由周都刚编写；其余第一、二、三部分由彭文生编写。全书由王时任统稿，徐锦华同志绘图。

由于我们的理论水平和实践经验有限，书中难免有不当和错误之处，恳请读者批评指正。

一、滚动轴承基本知识

略谈滑动摩擦与滚动摩擦

你参观过故宫吗？经过庄严肃穆的午门、太和门、“中和殿”，就是“保和殿”。在保和殿后檐台阶上有一块巨大的云龙雕石。人们不禁要问，这一块长16.57米，宽3.07米，厚1.7米，重二十多万公斤的大石料是如何运到这里来的？原来它的运送还有一番科学道理。这块巨大的石料在五百五十多年前采自北京郊区房山大石窝。由于缺少现代的机械，因此当时石料运输非常困难。为了运送这块巨石，曾提过许多方案，最后决定在冬季搬运。其法是在运输沿途每隔一里挖一口水井，运输时汲水泼成冰道，用旱船拉运。仅此一石之采运，即需万人之众。

为什么旱船不直接在地面上拉运而要在冰道上拉运呢？因为旱船拉运时，船与地面之间产生的摩擦为滑动摩擦。若地面坎坷不平，则两物体表面的摩擦系数就会增大，使旱船受到的摩擦阻力也越大，同样重量的旱船，就需要更多的人才能拉得动。我们不妨粗略分析一下在光滑的石地板上和冰道上拉运旱船时的受力情况。

图1-1为旱船拉运巨石的示意图。若旱船和巨石的总重量 Q 为三十万公斤，垂直压于地面，要拉动旱船前进，所需之拉力 P 必须大于物体对地面的摩擦阻力 F 。根据库伦摩擦定律，滑动摩擦阻力 F 为：

$$F = N \cdot f$$

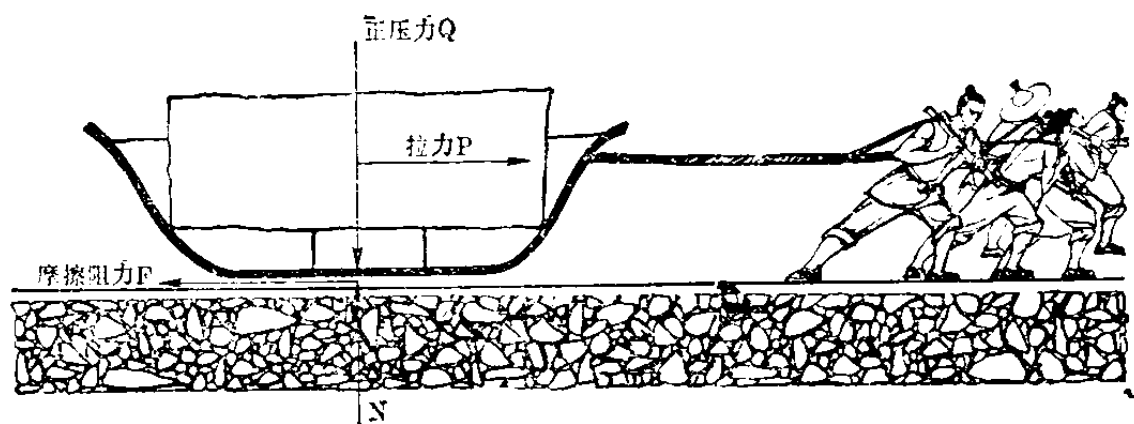


图 1-1 旱船拉运巨石

式中：N——法向反作用力；

f——滑动摩擦系数。

据有关资料介绍，在光滑的木地板或石地板上的滑木，其摩擦系数约为 $f=0.4$ ，这时，摩擦阻力

$$F=N \cdot f=300000 \times 0.4=120000(\text{公斤力})$$

若拉运旱船的民工平均每人的拉力为30公斤力，则需要4000人才能将旱船拉动。这么多人拉运一条旱船，显然是不现实的。

而吸水泼成冰道，在冰道上拉运，情况就不同了，因为在冰上的滑木其摩擦系数约为 $f=0.03$ ，这时，滑动摩擦阻力

$$F=N \cdot f=300000 \times 0.03=9000(\text{公斤力})$$

只需要300个民工即可将旱船拉动。

从上面简单分析可以看出，摩擦力的大小既与接触物的材料有关，也与接触表面的情况和性质有关。我国劳动人民早在几千年前就懂得了如何利用摩擦。为了省力，人们不仅想方设法减少滑动摩擦的摩擦系数，而且在许多场合还利用滚动摩擦来代替滑动摩擦。我们常见在短距离搬运机床，大都将一根根无缝钢管(滚筒)置于木架之下(不固定)，再将机床吊于木架之上并固定之(图1-2)，虽然重量达数千斤，甚至

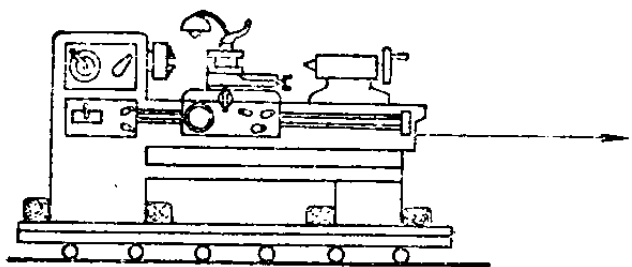


图 1-2 搬运机床

上万斤的机床，只需几个搬运工人推动绞盘，便可不断牵引向前。

为什么如此省力呢？因为滚筒和木架与地面之间系滚动摩擦，

而滚动摩擦系数一般比滑动摩擦系数小几十倍，所以滚动摩擦比滑动摩擦省力得多。

上面列举的是人力搬运的例子。如果使用机械，那又是另一回事了。拿巨大的云龙雕石的运输来说吧！如果在五百多年后的今天，大型吊车轻轻地一抓，便可将巨石吊于大型平板车上，然后一、二个司机，花一个多小时的功夫，即可将巨石从北京郊区房山大石窝，轻而易举地送到故宫。一辆大型平板车，能代替几百、上千人前簇后拥的拉运，这就是科学的力量。

为什么平板车这个“大力士”如此能干？除了车上配备大马力发动机外，就在于利用滚动摩擦省力这一特点。在上述情况下，不仅滚动车轮与路面之间是滚动摩擦，更主要的还在于车轮轴上装有省力的滚动轴承。

让我们再举几个有关摩擦的例子。大家都看过滑冰表演吧（图1-3）。为



图 1-3 滑冰

什么她在冰上能轻如行云，除了高度的平衡技巧外，窍门全在冰鞋。当穿上冰鞋滑行时，冰受到冰刀滑动摩擦而产生热，有一小部分冰被融化而形成一层薄薄的水膜，减少了冰与冰刀之间的摩擦阻力，故人们能在冰上轻快地滑行。如果你穿上北方的冰鞋，来到南方公园的“溜冰场”，那就英雄无用武之地了。因为这儿的“溜冰场”并没有冰，只不过是一块光滑的水泥地而已。北方的冰鞋在摩擦系数大的水泥地上是怎么也无法滑动的。但是，你看那一群群的小伙子和姑娘们却一个个在“溜冰场”上欢若雀跃、你追我逐，他们又怎么滑得动呢？原来他们都穿上了一双下面带有滚子的“冰鞋”，这时“冰鞋”的滚子与水泥地面之间就不再是滑动摩擦，而是滚动摩擦了，故虽是水泥地面，仍能轻快地滑行，收异曲同工之妙。

滑动摩擦与滚动摩擦的例子在日常生活中比比皆是。而各种机器和仪器仪表中，摩擦更是无所不在，凡是需要相对移动或转动之处都存在滚动摩擦或滑动摩擦，都相应地采用了滚动摩擦轴承(简称滚动轴承)和滑动摩擦轴承(简称滑动轴承)。因此，曾有人把轴承比作机械中的“关节”，这是有一定道理的，一个人如果患了严重的关节炎，就会步履唯艰，甚至瘫痪。机器或仪表中的轴承出了毛病，则整台机器或仪表就会运转失灵，甚至完全不能工作。可见轴承是任何机器或仪表中的一个不可缺少的重要零件。下面将分别就滚动轴承、滑动轴承等有关问题逐一加以介绍。

滚 动 轴 承

滚动轴承与一般滑动轴承比较，由于以滚动摩擦代替了滑动摩擦，故滚动轴承的机械效率高，起动容易(起动阻力

小), 旋转精度较高, 承受载荷的范围和适应速度的范围都相当广泛。又由于实现了标准化、商品化和高度自动化的生产, 使得质量不断提高而成本逐渐降低。因此, 无论是在古代的车辆中或近代的汽车、拖拉机、机床、船舶、人造卫星、星际航行等各种机器及仪表中, 几乎无一不用到滚动轴承。

滚动轴承与滑动轴承的应用大体上可用图 1-4 所示的曲线表示。图中横坐标表示轴承性能要求和使用条件, 纵坐标表示轴承用量。从图示曲线可以看出: 当工作机械对轴承性能要求很低时, 可采用简单的滑动轴承。当对轴承的工作性能要求特别高, 用滚动轴承无法满足机械的工作要求时, 则可采用液体润滑或气体润滑的滑动轴承。而在滚动轴承与滑动轴承都能满足工作要求的场合, 宜优先选用滚动轴承。

图 1-5 所示为世界历年滚动轴承总产量的概况, 以1940年的滚动轴承总产量为基数, 1950年的总产量为1940年的二点八倍, 1960年总产量为五点八倍, 1970年竟达到十三倍之多, 这种增长的趋势一直保持到现在。

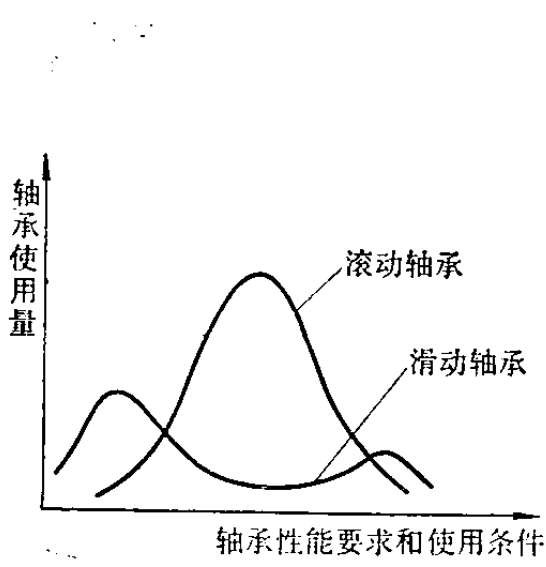


图 1-4 轴承的应用

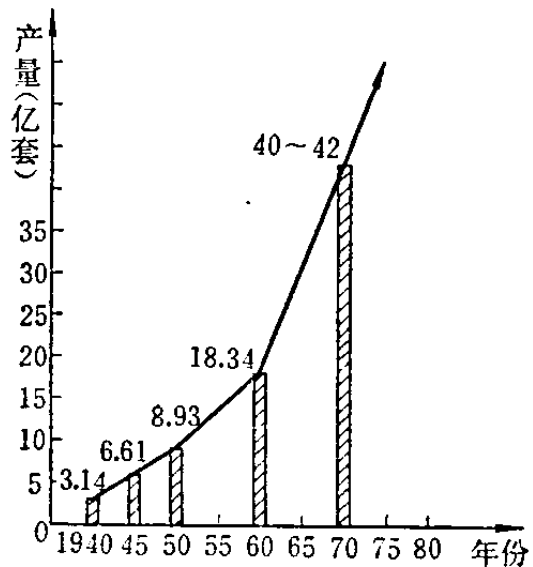


图 1-5 全世界滚动轴承总产量概况

从各国滚动轴承的生产量、使用量及其质量，可以窥见该国机械工业发展水平的一斑。可以说，滚动轴承的产量、使用量大，产品质量高，则机械工业的水平也较高。

解放前，我国机械工业异常落后，滚动轴承的生产完全是个空白，解放后全国各地逐步建立了许多滚动轴承厂，规模较大的有哈尔滨轴承厂、洛阳轴承厂、瓦房店轴承厂等等，目前大部分省市都有了滚动轴承制造厂，滚动轴承的生产量和使用量也是在逐年增加，以满足日益增长的需要。

四个伙伴

图 1-6 为滚动轴承的典型结构。可以看出，其基本结构一般由内圈、外圈、滚动体和保持架四个元件组成。因为它们经常在一起，可以说亲密无间，如形影之相随，所以有人称它们为四个“伙伴”。这四个“伙伴”，彼此配合默契。内圈通常与轴连在一起，

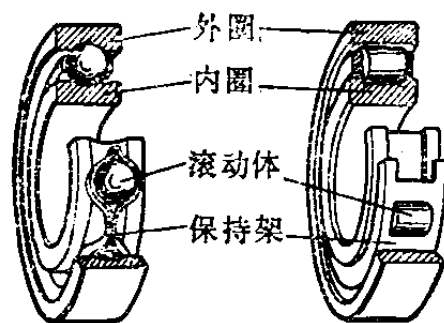


图 1-6 滚动轴承典型结构

跟轴一起旋转；外圈通常是固定在轴承座内或直接固定在机器的箱体孔中而起支承作用。但是什么事情都有例外，我们看看人力板车上装的滚动轴承，就是轴承外圈随车轮一起旋转，而内圈固定在轴上不旋转仅起支承作用；也有的滚动轴承的内、外圈以不同的转速或方向旋转的，如行星齿轮减速箱中的轴承便是。从图 1-6 可以看出，轴承的内、外圈上都有一道凹槽(称为滚道)，它具有高的几何形状精度，在轴承工作时起着导轨的作用，保证滚动体在滚道上作精确的运转。

由于各种机器或仪表的要求千差万别，为了适应不同的

工作要求，滚动体也就做成了不同形状，如球形、短圆柱滚子、长圆柱滚子、圆锥滚子、球面滚子、螺旋形滚子和滚针等类型（图1-7）。而滚动体的形状、大小和数量直接影响滚动轴承的承受载荷的能力和高速性能。

滚动体借助于保持架而等距离地排列在内、外圈之间的滚道内。由图 1-8 可以看出，如果没有保持架，则轴承工作时，相邻滚动体可能互相接触而加速滚动体的磨损。此外保持架还具有引导滚动体运动、改善轴承内部润滑性能，以及防止滚动体脱落等作用。

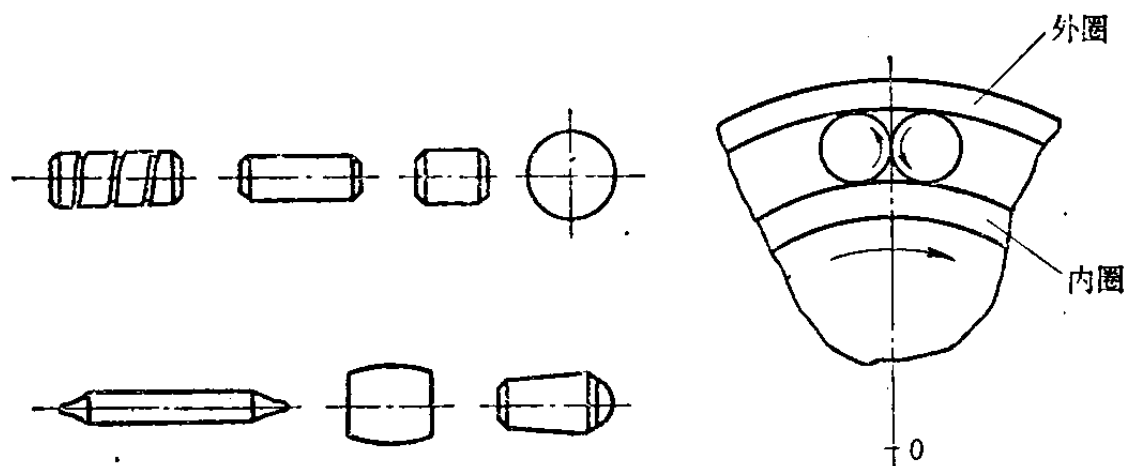


图 1-7 滚动体类型

图 1-8 没有保持架的情况

推力轴承一般也由四个“伙伴”组成。工作时与轴紧密地连在一起的套圈叫做紧圈，与轴承座或机器箱体孔相配合而与轴或套筒间留有间隙的套圈叫做活圈。单向推力球轴承有一个活圈，而双向推力球轴承则有两个活圈。推力轴承装于轴上的情况如图 1-9 所示。而滚动体借助于保持架而等距离排列在紧圈与活圈之间的滚道内。

四个“伙伴”虽然亲密无间，配合默契，但由于种种原因，有时也产生一些“矛盾”，不得不单独行动。如有些场合应用没有内圈或外圈、甚至没有保持架的滚动轴承。也有些

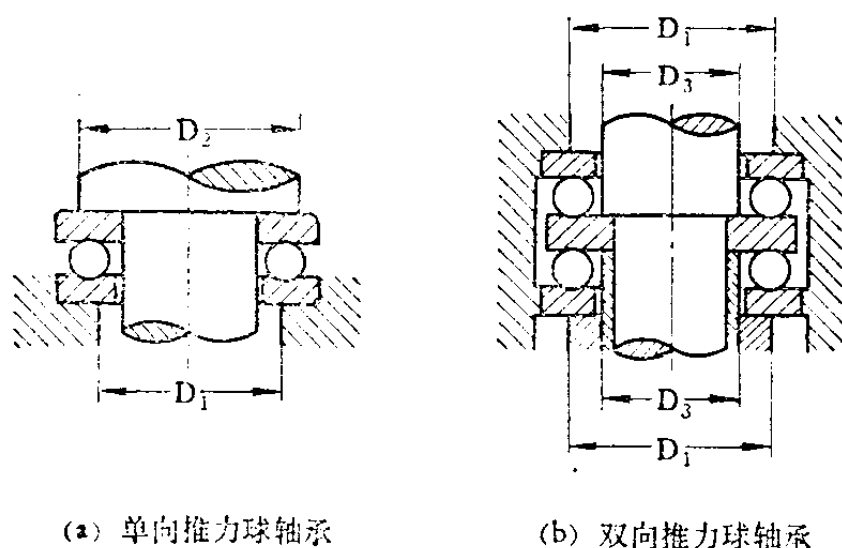


图 1-9 推力球轴承的安装

尺寸很大的轴承，就不止四个“伙伴”，而是由几十个甚至上百个“伙伴”所组成。

十 大 类 型

各种类型的滚动轴承，粗略一看，外表似乎都差不多，大都是四个“伙伴”相依为命，但仔细观察，便会发现其结构都各有特点。据统计，欧洲市场的轴承品种即达三万个以上。规格品种如此繁多的轴承，如何进行科学的分类，使人们一看其名字就知道其大致性能，以便合理选用，这是一件很有意义的工作。经过长期生产实际经验的积累和许多专家的研究，根据不同的结构特点和该轴承能承受负荷的能力，滚动轴承有各种各样的分类方法，它与人的分类颇有相似之处。

全世界有四十多亿人口，从不同角度，按不同的比较标准来划分，则可能有各种各样的分类方法。例如：按性别，可分为男人和女人两大类；按年龄，可分为婴儿、少年、青年、中年和老年；按肤色，可分为白种人、黄种人……。那

么，滚动轴承又是怎样来分类的呢？

轴承在工作时承受负荷的方向和滚动体的种类这两点，最集中地反映了滚动轴承的结构特点和性能，所以国家标准中，根据这两个特点，将五花八门，品种繁多的滚动轴承，分为十大类型，如表1-1所示。

这种分类方法比较科学，只要一说出轴承的名称，就可以知道该类轴承的大致性能。例如，比较两个内径相同的向心球轴承(即0000型)和向心短圆柱滚子轴承(即2000型)，不仅知道它们主要都用以承受径向负荷，而且由于滚动体的不同(一为球，另一为短圆柱滚子)，便可分析出它们承受负荷的大小及适应工作转速的高低有所不同。球轴承工作时，理论上点是点接触，摩擦损失少，故其极限转速较高，但其承受负荷的能力不如滚子轴承大。而滚子轴承工作时，理论上为线接触，摩擦损失较大，故其极限转速不如球轴承高，但其承受负荷的能力比球轴承大。其他类型的轴承也是如此，只要知道名字，就可以大体分析出该类轴承的工作特点。

巧妙代号

当你看小说或电影时，常常可以见到对军事指挥员不叫名字而称代号的情况，如称呼某某为1号、3号首长等等。同样，滚动轴承也都有它们的代号。我们会发现，在滚动轴承的轴承套圈端面有的用钢印打有210、305、7311等等一组数字。这是什么意思呢？我们从滚动轴承的代号谈起。由于滚动轴承品种规格繁多，为了便于选择和使用，国家标准规定采用汉语拼音字母和一组数字(七位数字)来表示轴承的类型、尺寸、结构特点及精度等级等，称为轴承的代号。轴承代号中最经常使用的是七位数字中的右起四位数字。