

斯贝发动机轴承制造技术资料

Nº126

滚动轴承分析

(上册)

洛阳轴承研究所

一九七八年六

目 录

上 册

第一章 滚动轴承的种类	1
第一节 引言	1
第二节 球轴承	6
一、向心球轴承	6
1. 康莱(Conrad)型单列深沟球轴承	6
2. 带装球缺口型单列深沟球轴承	10
3. 双列深沟球轴承	11
4. 仪表球轴承	11
二、角接触球轴承(向心推力球轴承)	13
1. 单列角接触球轴承	13
2. 双列角接触球轴承	15
3. 双列自动调心球轴承	15
4. 双半内圈球轴承	17
三、推力球轴承	18
第三节 滚子轴承	19
一、概述	19
二、向心滚子轴承	19
1. 园柱滚子轴承	19
2. 滚针轴承	22
三、园锥滚子轴承	24
四、球百滚子轴承	28
五、推力滚子轴承	30
1. 推力球百滚子轴承	30
2. 推力园柱滚子轴承	31
3. 推力园锥滚子轴承	32

六	推力滚针轴承.....	32
四	节 结 语.....	33
第 二 章	滚动轴承的几何学.....	34
一	节 符 号 一 览 表.....	34
二	节 概 述.....	35
三	节 球 轴 承.....	35
一	沈 隙 和 节 园 (中 心 园) 直 径.....	
二	吻 合 率.....	
三	接 触 角 和 轴 向 沈 隙.....	
四	瓦 始 偏 斜 角.....	
五	曲 率 和 相 对 曲 率.....	
四	节 滚 子 轴 承.....	52
一	节 园 直 径 和 沈 隙.....	52
二	吻 合 率 和 弧 形.....	54
三	瓦 始 轴 向 沈 隙 和 接 触 角.....	55
四	曲 率.....	7
五	节 结 语.....	60
参 考 文 献.....		61
第 三 章	过 盈 和 沈 隙.....	62
一	节 符 号 一 览 表.....	62
二	节 概 述.....	63
三	节 轴 承 配 合 公 差 的 A F B M A 标 准.....	63
四	节 过 盈 配 合 对 内 沈 隙 的 形 响.....	76
五	节 压 配 力.....	81
六	节 不 同 的 膨 胀 量.....	82
七	节 表 面 光 洁 度 的 形 响.....	83
八	节 结 语.....	90
参 考 文 献.....		90

四章	钢球和滚子的负荷	91
第一节	符号一览表	91
第二节	概述	93
第三节	静负荷	93
第四节	动负荷	98
一	由于滚动体运动引起的各种动态力	98
二	离心力	102
三	绕轴承轴线的旋转	102
四	绕偏心轴线的旋转	108
五	陀螺力矩	111
第五节	结语	114
第五章	接触应力和接触变形	115
第一节	符号一览表	115
第二节	概述	117
第三节	弹性理论	118
第四节	表面应力和表面变形	122
第五节	表面下的应力	137
第六节	接触应力分析的局限性	149
第七节	接触类型	150
第八节	结语	154
参考文献		155
第六章	静载轴承中的负荷分布	158
第一节	符号一览表	158
第二节	概述	160
第三节	负荷—形变关系	161
第四节	受径向负荷的轴承	162
第五节	受推力负荷的轴承	175
一	中心推力负荷	175
二	角接触球轴承	175
三	偏心推力负荷	181

1.	单向轴承	181
2.	双向轴承	186
第六节	受径向和推力联合负荷的轴承	190
一	单列轴承	190
二	双列轴承	196
第七节	受径向、推力和力矩联合负荷的轴承	201
第八节	向心滚子轴承的轴线偏斜度	208
第九节	柔性支座中的滚动轴承	213
一	套圈的变形	213
二	滚动体与套圈之间径向的相对趋近量	221
三	滚动体负荷的确定	222
第十节	结语	228
参考文献		229
第七章	旋转速度	231
第一节	符号一览表	231
第二节	概述	232
第三节	简单的滚动体运动	233
一	保持架速度	233
二	滚动体的旋转	235
第四节	球轴承中的公转、枢转和自转运动	237
一	一般的运动	237
二	非陀螺枢转运动	244
三	旋转比	246
第五节	结语	251
参考文献		252
第八章	高速轴承中的负荷分布	253
第一节	符号一览表	253
第二节	概述	254
第三节	高速球轴承	255
第四节	高速滚子轴承	267
第五节	结语	272
参考文献		273

第一章 滚动轴承的种类

第一节 引言

人类在发明了车轮以后，开始懂得：要移动一个物体，如果把它放在几根滚棒上，就比在平面上拖动同样的物体要省力得多。以后，人类又知道采用润滑的方法可以减少物体在滑动时所需的力；但是，只要在这种场合可以采用滚动运动的话，滚动仍然还是比滑动要容易进行。这样，人们也就料到：以滚动运动作为基础的轴承，总有一天会得到发展，而应用于各种复杂的机口、机构。图1.1描绘了滚动轴承的演变过程。以前，滚动轴承没有广泛地被设计师们所采用，主要原因是滚动轴承的耐久性能不及流体动力滑动轴承。但是，在进入二十世纪以后，特别是最近二十年来，由于优质滚动轴承钢的发展，以及在加工工艺方面的不断改进，使滚动轴承获得了长寿命和特别高的精度，从而上述局面有了根本改观。

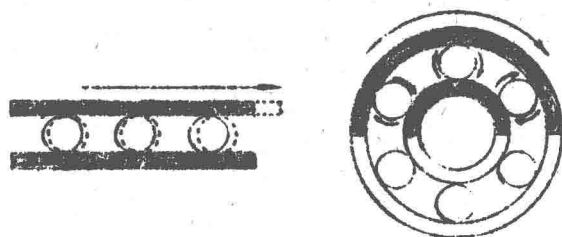
本书所说的滚动轴承一语，系泛指一切能使轴作旋转运动的球轴承和滚子轴承。滚动轴承通常总包括有一组实际支承着轴的钢球或滚子，以及一个往往是固定的轴承座，它的作用是保持轴在径向空间的正确位置。一般地说，滚动轴承可以成套购得，每套轴承包括两个钢制套圈，每个套圈都有一个经过淬硬的滚道，而淬硬钢滚动体就在套圈的滚道上滚动。钢球和滚子一般统称为滚动体，多数情况下，是用一个分离口或保持架使它们保持一定的间隔角度关系。

上面已经提到，优质滚动轴承的钢球、滚子和套圈，通常都是采用淬火硬度很高，或至少是表面硬度很高的钢材制造的。各国的轴承工业，都广泛采用一种含有适量铬元素，易于淬透的AISI52100钢（相当于我国的GCr15钢——译者）来制造球轴承，主要的轴承零件，几乎都淬硬到HRC61~65的硬度。在滚子轴承方面，某些厂家也采用这种钢材。微型球轴承的制造厂家，则大都倾向于采用象AISI440C之类不锈钢来制造轴承零件，这类轴承产品用在陀螺仪等灵敏

仪口中。多数的滚子轴承制造厂家，经常用 AISI 3310, 4620 和 8620 一类表面淬硬钢来制造各种滚动零件。无论采用什么材料，至少滚动零件的表面要有很高的硬度。至于保持架材料，一般都要比滚动零件材料软一些。保持架材料也应该具有很好的强度—重量比。因此，这些材料在物理性能方面与滚动零件材料有很大差别，例如：软钢、黄铜、青铜、铝、尼龙、聚四氟乙烯，以及玻璃纤维等等。

(1) 公元 1100 年，亚述人利用滚棒移动沉重的石块

(2) 后来，人类利用粗糙的大车轮，竭力克服摩擦阻力



(3) 十九世纪时，在自行车上使用的简易球轴承，标志着人类的一个重要胜利

图 1.1 滚动轴承的演变过程

在现在这个空间探索时代，许多特殊类型的轴承已经开始得到应用，例如：空气膜轴承，磁力轴承和外压（流体静力）轴承，等等。这些轴承都只适合于某种特定的应用场合。例如，在尺寸不受限制，有充分的压力流体沅，而又希望在重负荷下有极高的刚性时，应用流体静压轴承，又如：自作用空气轴承适合在轻负荷、高转速和有压力空气沅的场合下使用。滚动轴承的应用范围，则不象其它轴承那样受到限制；比如，微型球轴承可以用于惯性导航陀螺仪和高速牙钻（30万转/分），而外径60吋的大型滚子轴承可在轧钢机中得到应用。图1.2即为轧钢机上应用的一种大型球百滚子轴承。

图 1.2 轧钢机上应用的大型球面滚子轴承

特别是，滚动轴承和其它各种轴承相比，具有下列几方面的优点：

1. 滚动轴承比常规的流体动力轴承具有较低的摩擦转矩，以及相应地较低的摩擦动力损耗和较低的热动力损耗；
2. 滚动轴承的起动摩擦只略高于它的运动摩擦；
3. 滚动轴承对于因负荷变化而产生偏斜的敏感性，要比常规的流体动力轴承小得多；
4. 滚动轴承只需要少量的润滑剂便能正常运转。因此，可以避免采用昂贵的润滑系统。而且，某些滚动轴承还能实现长效的自含润

滑；

5. 滚动轴承所占用的轴承长度要比流体动力轴承小得多；

6. 在一定的范围内，负荷、速度和工作温度的变化，并不明显影响滚动轴承的良好性能；

7. 大多数滚动轴承都是按照同时承受径向和推力的联合负荷设计的；

8. 对于一种给定的滚动轴承来说，它可以在很大的负荷和速度范围内正常运转，并在材料屈服以前，保持其应有的各种性能。

为了正确运用滚动轴承的上述这些优点，也应该指出它的一些主要缺点。滚动轴承即使在润滑良好、安装无误、防尘防水以及运转正确等情况下，最后仍难免因滚动表面的疲劳而遭破坏。但是，晚近的一些研究表明，如同照明灯泡和人的寿命一样，滚动轴承也存在着一个并不遵循统计寿命分布的最小疲劳寿命（参看图1.3）。因此，目前关于具有超级疲劳耐久性的滚动轴承钢的研制，以及润滑技术方面的新改进，有朝一日，总会制造出即使在重负荷下使用也具有极高的耐疲劳破坏性的可贵的滚动轴承。

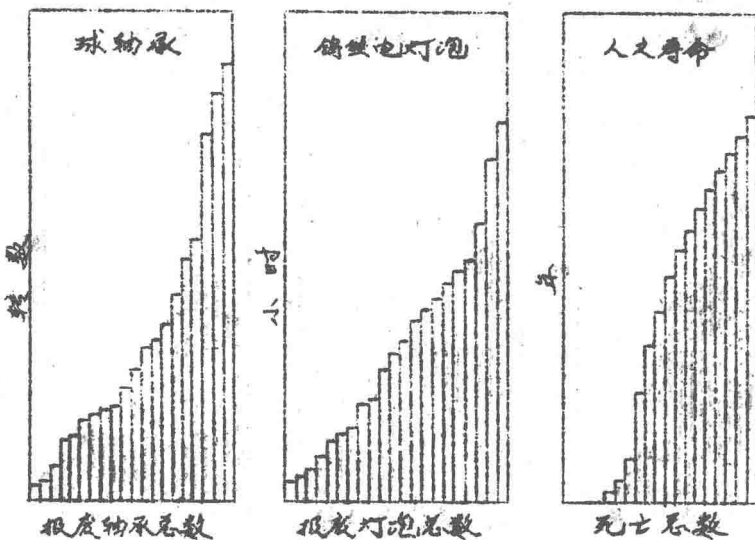


图1.3 滚动轴承的疲劳寿命分布与人及灯泡寿命分布的对比

鉴于滚动轴承的种类繁多。因此，在我们着手讨论轴承理论和进行轴承运转分析以前，有必要简单浏览一下轴承的各种类型。以下各节打标介绍在现代应用中几种最常见的球和滚子轴承。

第二节 球 轴 承

一、向心球轴承

1. 康莱(Conrad)型单列深沟球轴承

这种球轴承如图1.4所示，是最常用的一种滚动轴承。在这种轴承中，大多数工业用轴承内、外沟道的曲率半径，是钢球直径的0.515~0.63倍。

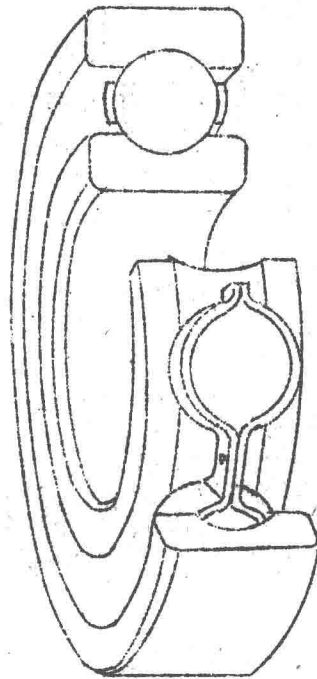


图1.4 康莱型单列深沟球的轴承

这种轴承在装配时，如图1.5所示，把钢球装在内圈和外圈之间，装配角 φ 是用下式确定：

$$\varphi = \frac{2}{d_m} (Z-1) D \quad (1.1)$$

式中:

Z — 钢球数目;

D — 钢球直径;

d_m — 轴承中心圆(节圆)直径。

然后再把内圈移动到和外圈同心的位置上, 将钢球等距地分开, 并用保持架予以固定。深沟球轴承因为吻合率高, 钢球直径大, 故具有较高的承载能力。虽然这种轴承是按照承受径向负荷而设计的, 但是, 它在承受径向和推力的联合负荷或纯推力负荷时, 性能也很好。如果采用恰当的保持架结构, 深沟球轴承可以承受小量的偏心负荷(力矩负荷), 如果轴承的外径作成下分球面形状, 它还能实现外环的自动调心。因此不能承受力矩负荷(参看图 1.6)。

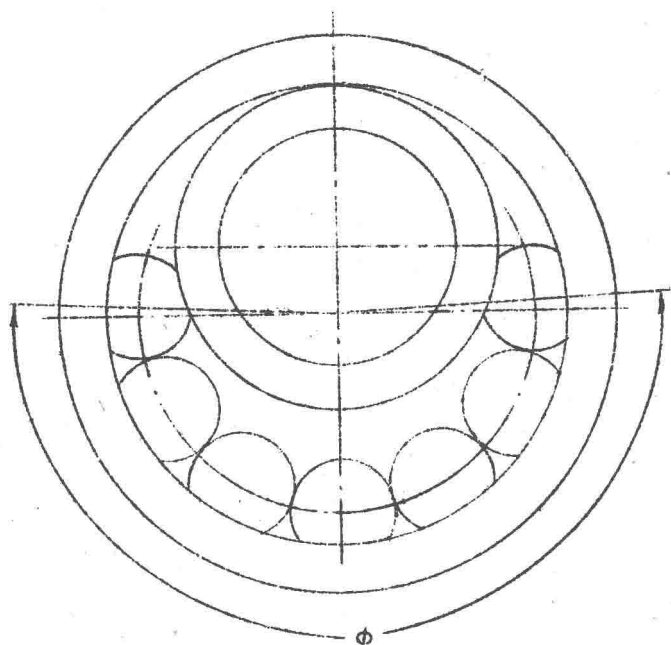


图 1.5 康莱型深沟球轴承装配原理图

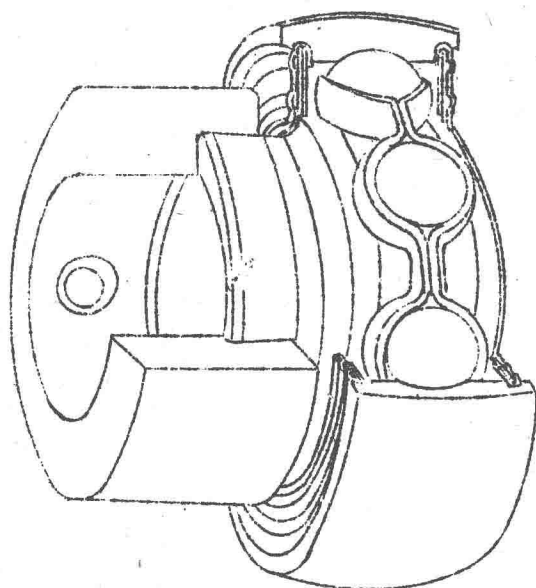
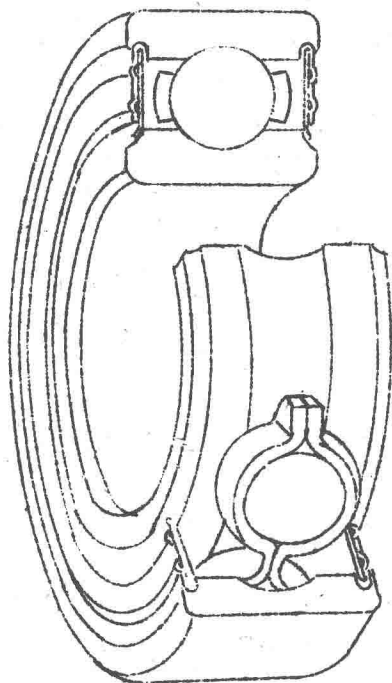


图1.6 外下自动调心的球面外径单列深沟球轴承

图1.7 带双唇密封圈的单列深沟球轴承，双密封圈用于保存润滑油（脂）和防止脏物进入轴承



在深沟球轴承上，可以再装上密封圈（图1.7）、防尘盖（图1.8），或是二者兼有（图1.9）。密封圈或防尘盖的作用，是防止润滑剂的泄出和尘污异物的落入，这种的轴承因为能提供适当的润滑和保证有效的冷却，故在高速时表现有良好的性能。

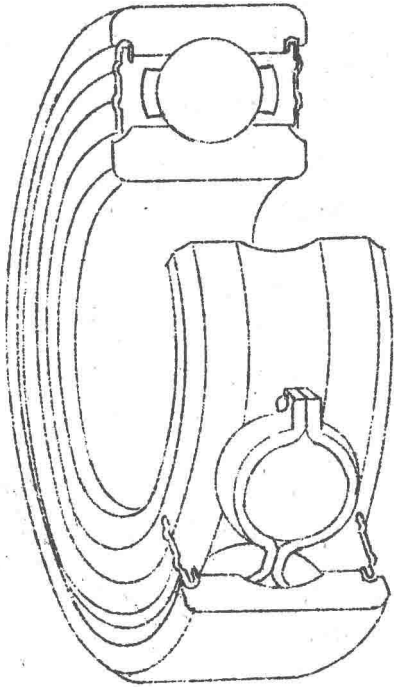


图 1.8

带双百防尘盖的单列深沟球轴承双防尘盖防止脏物进入轴承

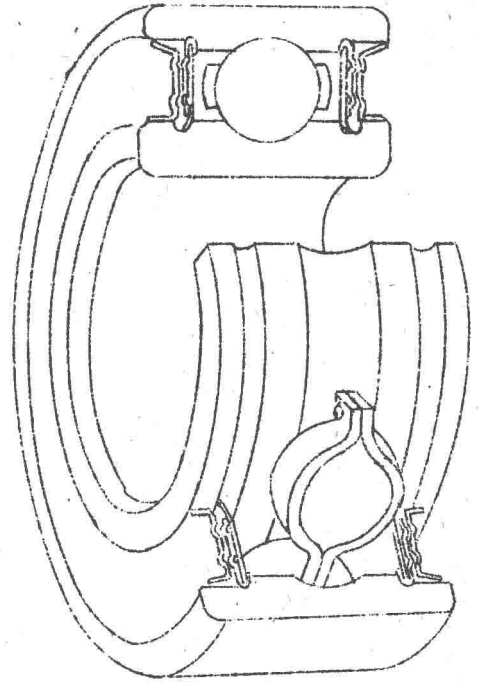


图 1.9

带双百密封圈和防尘盖的单列深沟球轴承防尘盖用于防止外来杂质的大颗粒进入轴承。该类轴承可用于农业上

根据 AFBMA(美国减摩轴承制造商协会)标准规定, 康莱型轴承有几种不同的尺寸系列。图 1.10 表示不同的轴承系列及它们的相对

尺寸。

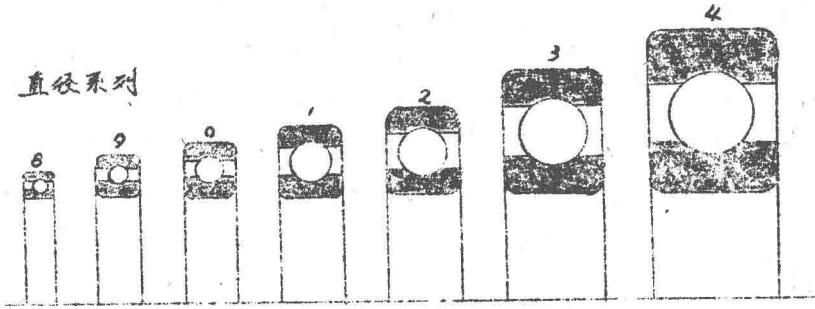


图 1.10 普通深沟球轴承尺寸系列的尺寸对比

2 带装球缺口型单列深沟球轴承

这种轴承如图 1.11 和图 1.12 所示，它在内圈或外圈沟边一侧的挡边上，有一个用机械加工方法得到的缺口，以便向内边内装入比康莱型轴承更多的钢球。这样，这种轴承的径向承载能力也就比较高。但由于装球缺口损坏了沟边的连续性。所以，它就不宜用在有推力负荷的场合；其它方面的性能，则都跟康莱型轴承相似。

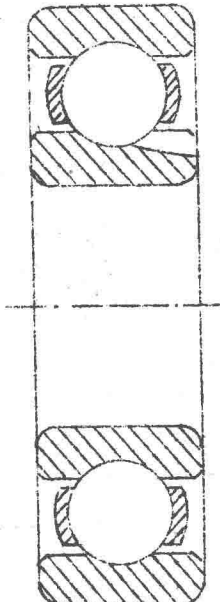


图 1-11

带装球缺口型单列深沟球轴承的装球缺口示意图

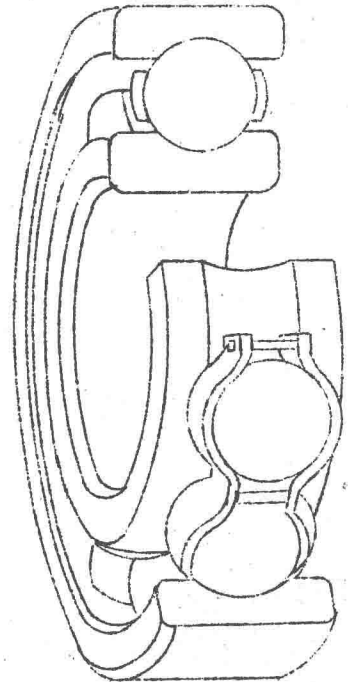


图 1.12

带装球缺口型单列深沟球轴承

3. 双列深沟球轴承

这种轴承如图1.13所示，它具有比单列深沟球轴承更高的径向承载能力。至于负荷是否能在两列钢球之间正确进行分配，主要关键在沟边的几何精度。其他方面，均与单列球轴承相似。

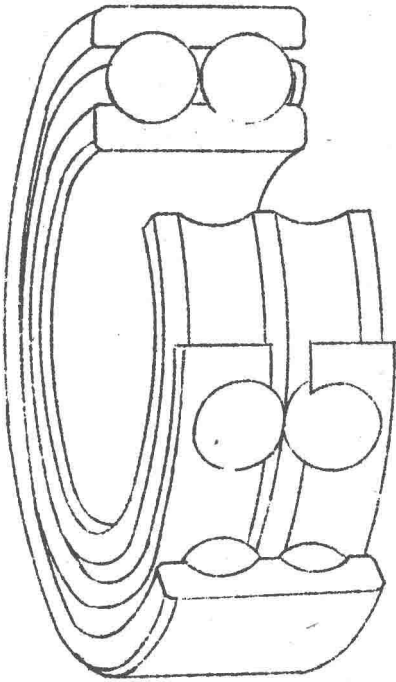


图 1.13
双列向心深沟球轴承

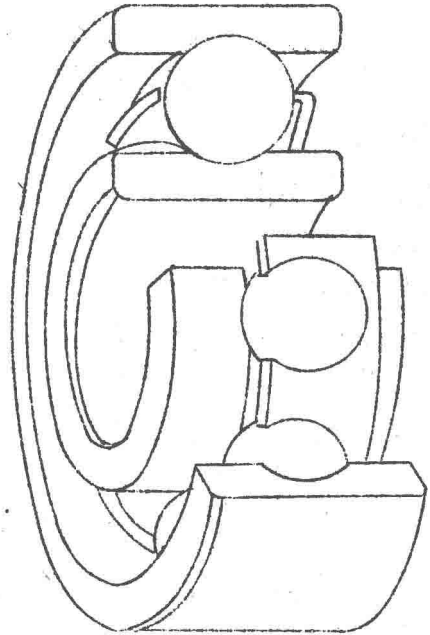


图 1.14
仪表球轴承

4. 仪表球轴承

这种轴承如图1.14所示，它们的尺寸范围是：内径从0.1875吋以下到0.500吋，外径从0.375吋以下到1.125吋，其中外径在0.375吋以下和内径不足0.1875吋者，通常称为微型轴承。仪表球轴承都是在比较严格的加工标准下制造的。例如，在洁净度方面的要求，就不同于前页所说的各种轴承。图1.15表示在“白屋”（洁净室）内装配仪表轴承的情形。仪表球轴承的沟边曲率半径通常不小于钢球直径的0.57倍，材料一般都采用不锈钢。

图 1.15 在洁净室内进行仪表球轴承
的精密和最后装配的操作情形