

环宇金属锡基滑动轴承设计通用技术条件

1. 技术重点和难点

【重点】 非液体摩擦滑动轴承的设计计算；

【难点】 形成液体摩擦的条件；

§ 7.1 滑动轴承的特点、类型及应用

滑动轴承的运动形式是以轴颈与轴瓦相对滑动为主要特征，也即摩擦性质为滑动摩擦。实践表明，由于滑动轴承的润滑条件不同，会出现不同的摩擦状态。轴承工作面的摩擦状态分为干摩擦状态、边界摩擦状态、混合摩擦状态和流体摩擦状态四类，如图所示。

两摩擦表面直接接触，又不加入任何润滑剂，两摩擦表面被流体（液体全隔开，摩擦性质仅取决于分子之间粘性阻力称为流

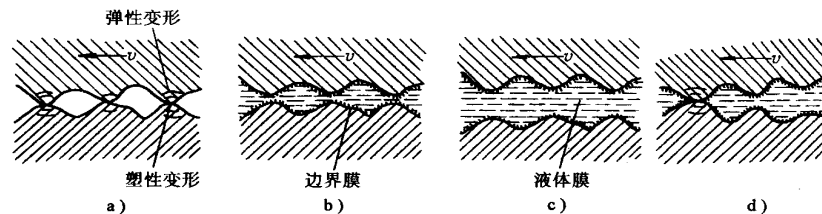


图 13-1 摩擦状态
a) 干摩擦 b) 边界摩擦 c) 液体摩擦 d) 混合摩擦

触，相对滑动，称为干摩擦；或气体）层完全于流体内部体摩擦；两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开，摩

擦性质取决于边界膜和表面吸附性质的称为边界摩擦状态；实际上，干摩擦状态和边界摩擦状态很难精确区分，所以这两种摩擦状态也常常归并为边界摩擦状态。在实际应用中，轴承工作表面有时是边界摩擦和流体摩擦并存的混合状态，称为混合摩擦。边界摩擦和混合摩擦又长称为非液体摩擦。

所以，滑动轴承按其摩擦性质可以分为液体滑动摩擦轴承和非液体滑动摩擦轴承两类。

1) 液体滑动摩擦轴承：由于在液体滑动轴承中，轴颈和轴承的工作表面被一层润滑油膜隔开，两零件之间没有直接接触，轴承的阻力只是润滑油分子之间的摩擦，所以摩擦系数很小，一般仅为 0.001~0.008。这种轴承的寿命长、效率高，但是制造精度要求也高，并需要在一定的条件下才能实现液体摩擦。

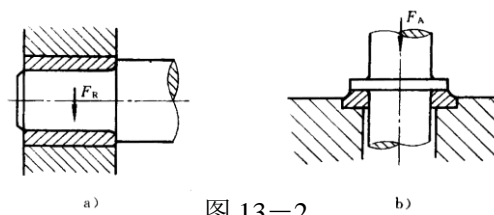
2) 非液体滑动摩擦轴承：非液体滑动摩擦轴承的轴颈与轴承工作表面之间虽有润滑油的存在，但在表面局部凸起部分仍发生金属的直接接触。因此摩擦系数较大，一般为 0.1~0.3，容易磨损，但结构简单，对制造精度和工作条件的要求不高，故此在机械中得到广泛使用。

干摩擦的摩擦系数大，磨损严重，轴承工作寿命短。所以在滑动轴承中应力求避免。

所以，高速长期运行的轴承要求工作在液体摩擦状态下，一般工作条件下轴承则维持在边界摩擦或混合摩

擦状态下工作。因此本章主要讨论非液体滑动摩擦轴承。

按照轴承承受的载荷分类可以分为：1) 径向滑动轴承，主要承受径向载荷 F_R ；2) 止推滑动轴承，主要承受轴向载荷 F_A （如图所



示)。

图 13-2

在机械中，虽然广泛采用滚动轴承，但在许多情况下又必须采用滑动轴承。这是因为滑动轴承有其独特的优点是滚动轴承不能代替的。滑动轴承的主要优点是：1) 结构简单，制造、加工、拆装方便；2) 具有良好的耐冲击性和良好的吸振性能，运转平稳，旋转精度高；3) 寿命长。但是也有其缺点，主要有：1) 维护复杂，对润滑条件较高；2) 边界润滑轴承，摩擦损耗较大。因而在大型汽轮机、发电机、压缩机、轧钢机及高速磨床上多采用滑动轴承。此外，在低速而带有冲击载荷的机器中，如水泥搅拌机、滚筒清砂机、破碎机等冲压机械、农业机械中也多采用滑动轴承。

§ 7.2 滑动轴承的结构

1、径向滑动轴承

常用的径向滑动轴承，我国已经制定了标准，通常情况下可以[根据工作条件进行选用](#)。径向滑动轴承可以分为整体式和剖分式（对开式）两大类。

(1) 整体式径向滑动轴承

整体式滑动轴承（JB/T2560-91），如图所示为轴承。

它由轴承座和轴承套组装在轴承座孔中，一般配合为座用螺栓与机座联接，顶部设

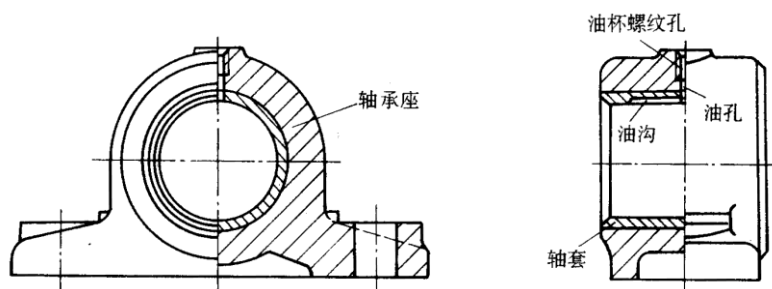


图 13-3

整体式滑动轴承。轴承套压 H8/s7。轴承有安装注油

油杯的螺纹孔。轴套上开有油孔，并在其内表面开油沟以输送润滑油。这种轴承结构简单、制造成本低，但当滑动表面磨损后无法修整，而且拆装轴的时候只能作轴向移动，有时很不方便，有些粗重的轴和中间具有轴颈的轴（如内燃机的曲轴）就不便或无法安装。所以，整体式滑动轴承多用于低速、轻载和间歇工作的场合，例如手动机械、农业机械中，等。

这类轴承座的标记为： HZ×××轴承座 JB/T2560，其中 H 表示滑动轴承座，Z 表示整体式，×××表示轴承内径（单位 mm）。标准规格为：HZ020~140。

(2) 剖分式滑动轴承

剖分式滑动轴承是由轴承盖、轴承座和螺栓组成。

对开式二（四）螺栓正滑动轴承（JB/T2561-91 或 JB/T2562-91），如图 13-4 所示。轴承座水平剖分为轴承座和轴承盖二（或四）个螺栓联接。为了防止轴承

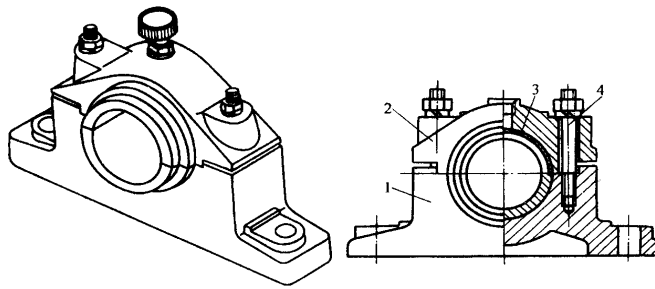
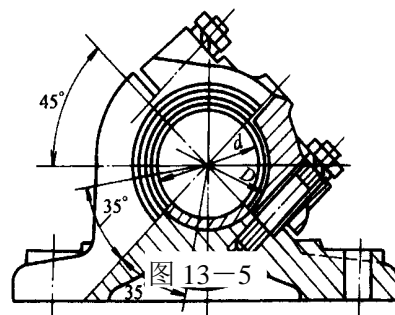


图 13-4 对开式二螺栓正滑动轴承
1—轴承座 2—轴承盖 3—轴瓦 4—螺栓

座、剖分轴瓦所示。两部分，并用盖和轴承座横向错动和便于装配时对中，轴承盖和轴承座的剖分面做成阶梯状。对开式滑动轴承在装拆轴时，轴颈不需要轴向移动，装拆方便。另外，适当增减轴瓦剖分面间的调整垫片，可以调节轴颈与轴承之间的间隙。这种轴承所受的径向载荷方向一般不超过剖分面垂线左右 35° 的范围，否则应该使用斜剖分面轴承。为使润滑油能均匀地分布在整个工作表面上，一般在不承受载荷的轴瓦表面开出油沟和油孔。

这类轴承轴瓦与座孔之间的配合为 H8/m7。轴承座标记为：H2×××轴承座 JB2561-91(或 H4×××)，其中 H 表示滑动轴承座，2（4）表示螺栓数，×××表示轴承内径（单位 mm）。标准规格为 H2030~H2160（H4050~H4220）。

对开式四螺栓斜滑动轴承（JB/T2563-91），如图所示为斜滑动轴承。轴承剖分面与水平面成 45° 角，轴承载荷的方向应位于垂直剖分面的轴承中心线左右 35° 的范围内，其特点与对开式正滑动轴



轴承座的标记为：HX×××轴承座 JB/T2563-91，其中 H 表示斜座，×××表示轴承内径（单位 mm）。标准规格为 HX050~HX220。

对开式斜滑于垂直剖分承相同。表示滑动轴格为 HX050~

当轴颈较长（宽径比大于 1.5~1.75），小，或由于两轴承不是安装在同一刚性机架难保证时，都会造成轴瓦端部的局部接触（如图 13-6 所示），使轴瓦局部严重磨损，为此可采用能进行调节轴线位置的滑动轴承，称为回滑动轴承。

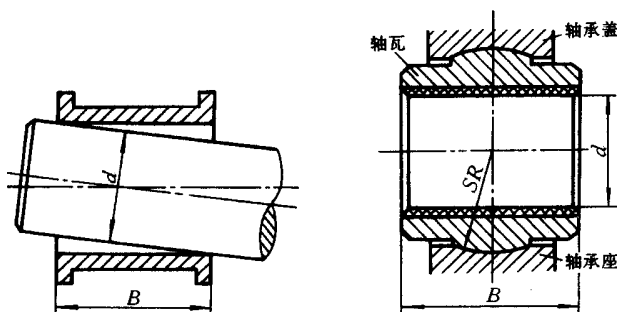


图 13-6

轴的刚度较上，同心度较（如图所相对轴承自承，如图所示表面做成凸

这种滑动轴承的结构特点是轴瓦的外形球面，与轴承盖及轴承座上的凹形球面箱配合，当轴变形时，轴瓦可随轴线自动调节位置，从而保证轴颈和轴瓦为球

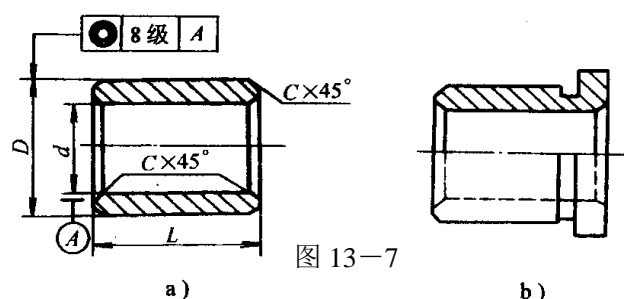


图 13-7

面接触。

(3) 轴承与轴瓦结构

整体式轴承中与轴颈配合的零件称为轴套，结构如图所示，分为不带挡边和带挡边的两种结构，其基本尺寸、公差参见 GB2509-81 或 GB2510-81。

对开式轴承的轴瓦由上下两半组成，如图所示既有一定的强度，又有良好的减磨性，常在轴瓦一层减磨性好的材料（如轴承合金），称为轴承衬。可靠的贴合在轴瓦表面上，为此可以采用如图所示（图中涂黑层表示轴承衬）

为了将润滑油引入轴承，作表面，常在其上开有供油孔和油沟应开在轴瓦的非承

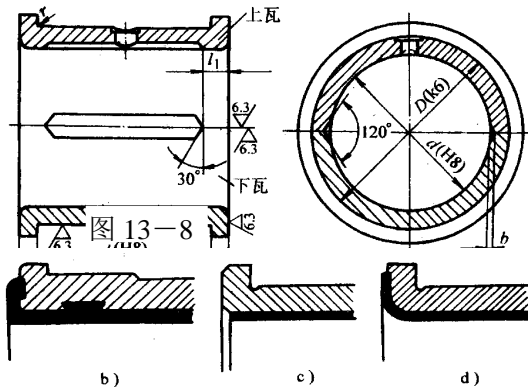
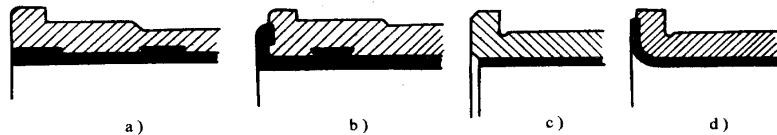


图 13-8 轴瓦与轴承衬的结合形式

示。为使轴瓦内表面浇铸轴承衬应可的结合形式并布满于工和油沟；供油载区，否则会



降低油膜的承载能力，如图 13-10 所示。轴向油沟也不应在轴瓦全长上开通，以免润

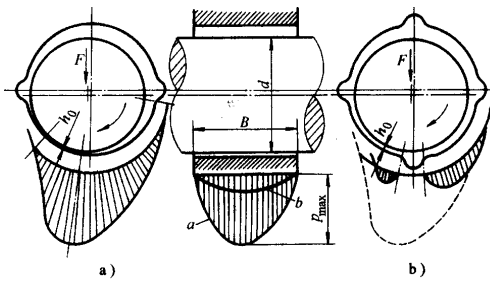


图 14-8 油沟布置对油膜承载能力的影响
a) 正确 b) 错误

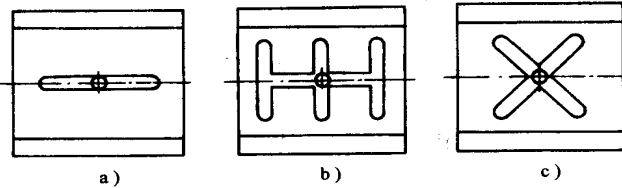


图 14-9 油孔和油沟

滑油自油沟端部大量泄漏。常见的油沟形式如图 13-11 所示。

对于一些重型机器的轴承轴瓦，其上常开设油室。它既可以使润滑空间增大，并有贮油和保证润滑油稳定应的作用，如图所示。

2、推力滑动轴承

图 13-10

推力滑动轴承用于承受轴向载荷。如图 13-13 所示为一简单的推力轴承结构，它由轴承座、套筒、径向轴瓦、止推轴瓦所组成。

为了便于对中，止推轴瓦底部制成球面形式，并

图 13-12

图 13-11

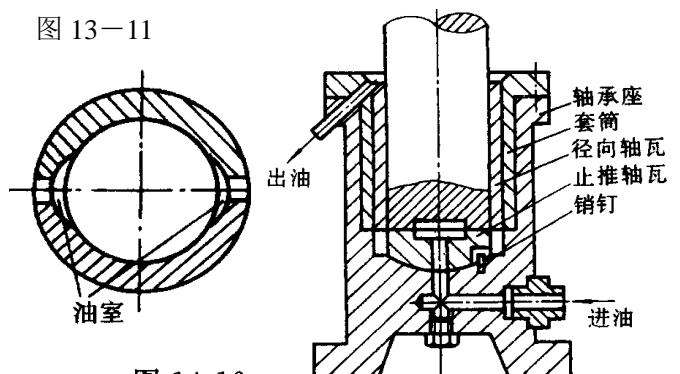


图 14-10

图 13-8 止推滑动轴承

用销钉来防止它随轴颈转动，润滑油从底部进入，上部流出。

其最简结构如图 14-11 所示。

由于工作面上相对滑动速度不等，越靠近边缘处相对滑动速度越大，磨损越严重，会造成工作面上压强分布不均匀，相对滑动端面通常采用环状端面。当采用多环轴颈，如图 14-11b 所示，这种结构能够承受双向轴向载荷。

对于 14-11 所示的结构多用于低速轻载的场合。

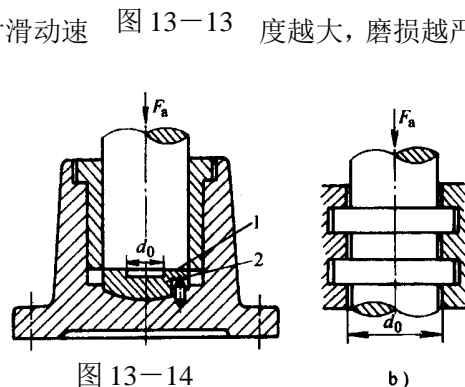


图 13-14

b)

图 14-11 推力滑动轴承

1—轴颈 2—轴瓦

§ 7.3 滑动轴承的失效形式及材料

一、滑动轴承的失效形式

滑动轴承的失效形式通常由多种原因引起，失效的形式有很多种，有时几种失效形式并存，相互影响。

(1) 磨粒磨损

进入轴承间隙的硬颗粒物（如灰尘、砂砾等）有的嵌入轴承表面，有的游离于间隙中并随轴一起转动，它们都将对轴颈和轴承表面起研磨作用。在机器起动、停车或轴颈与轴承发生边缘接触时，他们都将加剧轴承磨损，导致几何行状改变、精度丧失，轴承间隙加大，使轴承性能在预期寿命前急剧恶化。

(2) 刮伤

进入轴承间隙的硬颗粒或轴颈表面粗糙的轮廓峰顶，在轴承划伤出线状伤痕，导致轴承因刮伤而失效。

(3) 胶合（也称为烧瓦）

当轴承温升过高，载荷过大，油膜破裂时，或在润滑油供应不足条件下，轴颈和轴承的相对运动表面材料发生粘附和迁移，从而造成轴承损坏，有时甚至可能导致相对运动的中止。

(4) 疲劳剥落

在载荷反复作用下，轴承表面出现与滑动方向垂直的疲劳裂纹，当裂纹向轴承衬与衬背结合面扩展后，造成轴承衬材料的剥落。它与轴承衬和衬背因结合不良或结合力不足造成轴承衬的剥离有些相似，但疲劳剥落周边不规则，结合不良造成的剥离周边比较光滑。

(5) 腐蚀

润滑剂在使用中不断氧化，所生成的酸性物质对轴承材料有腐蚀性，特别对制造铜铝合金中的铅，易受腐蚀而形成点状剥落。氧对锡基巴氏合金的腐蚀，会使轴承表面形成一层由 SnO_2 和 SnO 混合组成的黑色硬质覆盖层，它能擦伤轴颈表面，并使轴承间隙变小。此外，硫对含银或铜的轴承材料的腐蚀，润滑油中水分对铜铝合金

的腐蚀，都应予以注意。

以上列举了常见的几种失效形式，由于工作条件不同，滑动轴承还可出现气蚀、流体侵蚀、电侵蚀和微动磨损等损伤。从美国、英国和日本三家汽车厂统计的汽车用滑动轴承故障原因的平均比率来看，因不干净或由异物进入而导致鼓掌的比率较大。

故障原因	不干净	润滑油不足	安装误差	对中不良	超载	腐蚀	制造精度低	气蚀	其它
比率 (%)	38.3	11.1	15.9	8.1	6.0	5.6	5.5	2.8	6.7

二、轴承材料

轴瓦与轴承衬的材料通称为轴承材料。针对以上所述的失效形式，轴承材料性能应着重满足以下主要要求：

1) 良好的减摩性、耐磨性和抗胶合性

减摩性是指材料副具有低的摩擦系数。耐磨性是指材料的抗磨性能（通常以磨损率表示）。抗胶合性是指材料的耐热性和抗粘附性。

2) 良好的摩擦顺应性、嵌入性和磨合性

摩擦顺应性是指材料通过表层弹塑性变形来补偿轴承滑动表面初始配合不良的能力。嵌入性是指材料容纳硬质颗粒嵌入，从而减轻轴承滑动表面发生刮伤或磨粒磨损的性能。磨合性是指轴瓦与轴颈表面经过短期轻载运转后，易于形成相互吻合的表面粗糙度。

3) 足够的强度和抗腐蚀能力

4) 良好的导热性、工艺性、经济性等

应该指出的是：没有一种轴承材料全面具备上述性能，因而必须针对各种具体的情况，仔细进行分析后合理选用。

常用的材料可以分为三大类：1) 金属材料，如轴承合金、铜合金、铝基合金和铸铁等；2) 多孔质金属材料；3) 非金属材料，如工程塑料、碳-石墨等。

1) 轴承合金（通称巴氏合金或白合金）

轴承合金是锡、铅、锑、铜的合金，它以锡或铅作为基体，其内含有锑锡（Sb-Sn）或铜锡（Cu-Sn）的硬晶粒。硬晶粒起抗磨作用，软基体则增加材料的塑性。轴承合金的弹性模量和弹性极限都很低，在所有轴承材料中，它的嵌入性及摩擦顺应性最好，很容易和轴颈磨合，也不易与轴颈发生胶合。但轴承合金的强度很低，不能单独制作轴瓦，只能粘附在青铜、钢或铸铁轴瓦上作轴承衬。轴承合金适用于重载、中高速场合，价格较贵。

2) 铜合金

铜合金具有较高的强度，较好的减磨性和耐磨性。由于青铜的减磨性和阿耐磨性比黄铜好，故青铜是最常用的材料。青铜有锡青铜、铅青铜和铝青铜等几种，其中锡青铜的减磨性和耐磨性最好，应用广泛。但锡青铜比轴承合金硬度高，磨合性及嵌入性差，适用于重载及中速场合。铅青铜抗胶合能力强，适用于高速、重载轴承。铝青铜的强度及硬度较高，抗胶合能力较差，适用于低速重载轴承。在一般机械中有 50% 的滑动轴承采用青铜材料。

3) 铝基轴承合金

铝基轴承合金在许多国家获得了广泛的应用。它有相当好的耐蚀性和较高的疲劳强度，摩擦性也较好。这些品质使铝基轴承合金在部分领域取代了较贵的轴承合金和青铜。铝基轴承合金可以制成单金属零件（如轴套、轴承等），也可以制成双金属零件，双金属轴瓦以铝基轴承合金为轴承衬，以钢作衬背。

4) 灰铸铁和耐磨铸铁

普通灰铸铁或加有镍、铬钛等合金成分的耐磨灰铸铁，或者是球墨铸铁，都可以用作轴承材料。这类材料中的片状或球状石墨在材料表面上覆盖后，可以形成一层起润滑作用的石墨层，故具有一定的减磨性和耐磨性。此外石墨能吸附碳氢化合物，有助于提高边界润滑性能，故采用灰铸铁作轴承材料时应加润滑油。由于铸铁性脆、磨合性能差，故只适用于轻载低速和不受冲击载荷的场合。

5) 多孔质金属材料

这是不同于金属粉末经压制、烧结而成的轴承材料。这种材料是多孔结构的，孔隙约占体积的 10%~35%。使用前先把轴瓦在加热的油中浸渍数小时，使孔隙中充满润滑油，因而通常把这种材料制成的轴承称为**含油轴承**。它具有自润滑性。工作时，由于轴颈转动的抽吸作用及轴承发热时油的膨胀作用，油便进入摩擦表面间起润滑作用；不工作时，因毛细管作用，油便被吸回到轴承内部，故在相当长的时间内，即使不加油仍能好好的工作。如果定期给以供油，则使用效果更好。但由于其韧性较小，故宜用于平稳无冲击载荷及中低速情况。常用的有多孔铁和多孔质青铜。多孔铁常用来制作磨粉机轴套、机床油泵衬套、内燃机凸轮轴衬套等，多孔质青铜常用来制作电唱机、电风扇、纺织机械及汽车发电机的轴承。我国也有专门制造含油轴承的生产厂家，需用时可根据设计手册选用。

5) 非金属材料

非金属材料中应用最广的是各种塑料，如酚醛树脂、尼龙、聚四氟乙烯等。聚合物的特性是：与许多化学物质不起反应，抗腐蚀性好，例如聚四氟乙烯（PTFE）能抗强酸和弱碱；具有一定的自润滑性，可以在无润滑条件下工作，在高温条件下具有一定的润滑能力；具有包容异物的能力（嵌入性好），不宜擦伤配合零件表面；减磨性及耐磨性比较好。

选择聚合物作轴承材料时，必须注意以下一些问题：由于聚合物的热传导能力差，只有钢的百分之几，因

此必须考虑摩擦热的消散问题，它严格限制着聚合物轴承的工作转速及压力值。又因为聚合物的线胀系数比钢大的多，因此聚合物轴承与钢制轴颈的间隙比金属轴承的间隙大。此外聚合物材料的强度和屈服极限较低，因而在装配和工作时能承受的载荷有限。另外聚合物在常温下回产生蠕变现象，因而不宜用来制作间隙要求严格的轴承。

碳—石墨是电机电刷的常用材料，也是不良环境中的轴承材料。碳—石墨是由不同量的碳和石墨构成的人造材料，石墨含量越多，材料越软，摩擦系数越小。可在碳—石墨材料中加入金属、聚四氟乙烯或二硫化钼组分，也可以浸渍液体润滑剂。碳—石墨轴承具有自润滑性，它的自润性和减摩性取决于吸附的水蒸气量。碳—石墨和含有碳轻化合物的润滑剂有亲和力，加入润滑剂有助于提高其边界润滑性能。此外，它还可以作水润滑的轴承材料。

橡胶主要用于以水作润滑剂或环境较脏污之处。橡胶轴承内壁上带有纵向沟槽，便于润滑剂的流通、加强冷却效果并冲走脏物。

木材具有多孔质结构，可用填充剂来改善其性能。填充聚合物能提高木材的尺寸稳定性和减少吸湿量，并能提高强度。采用木材（以溶于润滑油的聚乙烯作填充剂）制成的轴承，可在灰尘极多的条件下工作，例如用作建筑、农业中使用的带式输送机支撑滚子的滑动轴承。

§ 7.4 非液体滑动轴承设计

非液体滑动轴承的主要失效形式为工作表面的磨损和胶合，所以其设计计算准则是：维持边界油膜不破裂。由于影响非液体摩擦滑动轴承承载能力的因素十分复杂，所以目前所采用的计算方法仍限于简化条件。

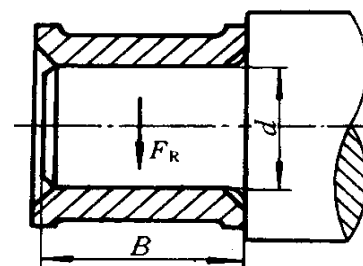
1、径向滑动轴承设计计算

设计时，一般已经知道轴颈直径 d ，转速 n ，轴承承受的径向载荷 F_R ，然后按照下述步骤进行计算。

1) 根据工作条件和使用要求，确定轴承的结构型式，并选定轴瓦材料。

2) 确定轴承的宽度 B 。一般按宽径比 B/d 及 d 来确定 B 。

的承载能力越大，但油不易从两端流出，散热性差，油温升高；
段泄漏量大，摩擦功耗小，轴承温升小，但承载能力小。通常
1.5。若必须要求 $B/d > 1.5 \sim 1.75$ 时，应改善润滑条件，并采



B/d 越大，轴承
 B/d 越小，则两
取 $B/d=0.5 \sim$
用自动调位轴

承。

图 13—15

常用机械推荐值见下表。

机器种类	轴承	B/d	机器种类	轴承	B/d
汽车及航空发动机	曲轴主轴承	0.75~1.75	空气压缩机及 往复泵	主轴承	1.0~2.0
	连杆轴承	0.75~1.75		连杆轴承	1.0~1.25
	活塞销	1.5~2.2		活塞销	1.2~1.5
柴油机	曲轴主轴承	0.6~2.0	电机	主轴承	0.6~1.5
	连杆轴承	0.6~1.5	机床	主轴承	0.8~1.2

	活塞销	1.5~2.0	冲、剪床	主轴承	1.0~2.0
铁路车辆	轮轴支撑	0.8~2.0	起重设备		1.5~2.0
汽轮机	主轴承	0.4~1.2	齿轮减速器		1.0~2.0

3) 验算轴承的工作压力

(1) 校核压强 p

对于低速或间歇工作的轴承，为了防止润滑油从工作表面挤出，保证良好的润滑而不致过渡磨损，压强 p 应满足下列条件：

$$p = \frac{F_R}{dB} \leq [p]$$

式中： F_R 为轴承轴向载荷，单位 N；

$[p]$ 为许用压强，单位 MPa，可以查有关手册得到；

d 、 B 为轴颈的直径和工作长度，单位 mm。

(2) 校核压强速度值 pv

压强速度 pv 值间接反应轴承的温升，对于载荷较大和速度较高的轴承，为了保证轴承工作时不致过渡发热产生胶合失效， pv 值应满足下列条件：

$$pv = \frac{F_R}{dB} \frac{\pi dn}{60 \times 1000} = \frac{F_R n}{19100B} \leq [pv]$$

式中： n 为轴的转速，单位 r/min； $[pv]$ 为 pv 的许用值，也可以查有关手册得到。

(3) 校核速度 v

对于压强 p 小的轴承，即使 p 和 pv 值验算合格，由于华东速度过高，也会产生加速磨损而使轴承报废。因此，还要作速度的验算，其条件式为：

$$v = \frac{\pi dn}{60000} \leq [v]$$

$[v]$ 为许用速度值，单位 m/s，也可以查有关手册得到。

(4) 选择轴承配合

在非液体滑动摩擦轴承中，根据不同的使用要求，为了保证一定的旋转精度，必须合理选择轴承的配合，以保证一定的间隙，具体的选择如下表所示。

精度等级	配合符号	使用情况
2	H7/g6	磨床和车床分度头轴承
2	H7/f7	铣床、钻床和车床的轴承，汽车发动机曲轴的主轴承及连杆轴承，齿轮减速器及蜗杆减速器轴承
2	H7/e8	汽轮发电机轴、内燃机凸轮轴、高速转轴、刀架丝杠、机车多支点轴承等的轴承

4	H9/f9	电机、离心泵、风扇及惰齿轮轴的轴承，蒸汽机与内燃机曲轴的主轴承及连杆轴承
6	H11/d11	农业机械使用的轴承
6	H11/b11	农业机械使用的轴承

2、止推滑动轴承设计计算

止推滑动轴承的设计步骤与径向滑动轴承相同。

如图所示为止推轴承结构简图，其主要核算步骤如下：

(1) 校核压强 p

$$p = \frac{F_A}{\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)K} \leq [p]$$

式中： F_A 为轴向载荷，单位 N；

d_1 、 d_2 为轴环的内外径，单位 mm，一般取 $d_1 = (0.4 \sim 0.6) d_2$ ；

$[p]$ 为 p 的许用值，单位 MPa，可以又手册上查得；

K 为考虑油槽使支撑面积减小的系数，一般取 $K=0.90 \sim 0.95$

(2) 校核 pv_m 值

$$pv_m \leq [pv]$$

式中： v_m 为轴环的平均速度，单位 m/s； $v_m = \frac{\pi d_m n}{60000}$ ， $d_m = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$ 为轴环平均直径，单位 mm； pv 为

许用值，单位 MPam/s，见下表。

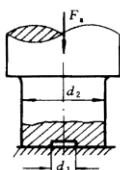
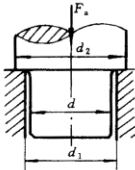
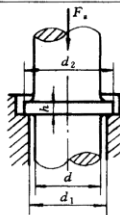
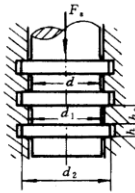
轴环材料	未淬火钢			淬火钢		
轴瓦材料	铸铁	青铜	轴承合金	青铜	轴承合金	淬火钢
$[p]$ /MPa	2~2.5	4~5	5~6	7.5~8	8~9	12~15
$[pv]$ / MPam/s	1~2.5					

常用轴承形式及尺寸

如下表所示。

压强计算公式成为：

表 12-5 止推滑动轴承形式及尺寸

空心式	单环式		多环式
			
d_2 由轴的结构设计拟定 $d_1 = (0.4 \sim 0.6) d_2$ 若结构上无限制，应取 $d_1 = 0.5 d_2$	d_1, d_2 由轴的结构设计拟定		d 由轴的结构设计拟定 $d_2 = (1.2 \sim 1.6) d$ $d_1 = 1.1 d$ $h = (0.12 \sim 0.15) d$ $h_0 = (2 \sim 3) h$

$$p = \frac{F_A}{z \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) K} \leq [p] \quad z \text{ 为轴环的数目。}$$

3、计算示例

【例】用于离心泵的径向滑动轴承，轴颈 $d=50\text{mm}$ ，转速 $n=1500\text{r/min}$ ，承受的径向载荷 $F_R=2500\text{N}$ ，轴承材料为 ZCuSn5Zn5Pb5 。根据非液体摩擦滑动轴承计算方法校核该轴承是否可用？如不可用，应如何改进（按轴的强度计算，轴颈直径不得小于 50mm ）？

【解】查表得到 ZCuSn5Zn5Pb5 的许用值： $[p]=5\text{MPa}$ ， $[v]=3\text{m/s}$ ， $[pv]=10\text{MPa}\cdot\text{m/s}$

按已知数据，并取 $B/d=1$ ，得：

$$v = \frac{\pi d n}{60000} = \frac{\pi \times 50 \times 1500}{60000} = 3.93(\text{m/s})$$

$$p = \frac{F_R}{dB} = \frac{2500}{50 \times 50} = 1.0(\text{MPa})$$

$$pv = 1.0 \times 3.93 = 3.93(\text{MPa} \cdot \text{m/s})$$

由以上计算可知， $v > [v]$ ，故考虑从以下两个方面来改进：

1) 减小轴颈以降低速度，取 $d=50\text{mm}$ ，则：

$$v = \frac{\pi d n}{60000} = \frac{\pi \times 50 \times 1500}{60000} = 3.93(\text{m/s}) > [v]$$

故，此方案不可用。

2) 改选材料

在铜合金轴瓦上浇铸轴承合金 ZChSn10P16-16-2 ，查表得： $[p]=15\text{MPa}$ ， $[v]=12\text{m/s}$ ， $[pv]=15\text{MPa}\cdot\text{m/s}$ 。其它参数不变则可满足要求。

§ 7.5 滑动轴承的润滑

润滑的目的主要是减少摩擦，降低磨损，提高轴承效率，同时还有散热冷却、缓冲吸振、密封和防锈的作用。

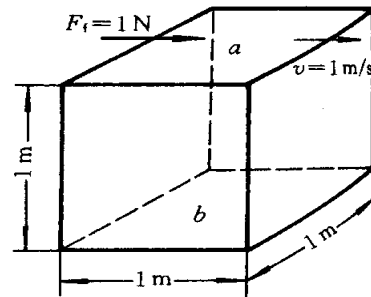
一、润滑剂及其选择

润滑剂分为润滑油、润滑脂和固体润滑剂三类。

1、润滑油

润滑油是滑动轴承中应用最广的润滑剂，目前使用的润滑油多为矿物油。润滑油最重要的性能是粘度，它也是选择润滑油的主要依据。**粘度标志着液体流动的内摩擦性能**。粘度越大，内摩擦阻力越大，液体的流动性越差。粘度的大小可用动力粘度（又称绝对粘度）或运动粘度来表示。

动力粘度的定义：设长、宽、高各为 1cm 的液体(如图所示)，使两平行平面 a 和 b 产生 1m/s 的相对滑动速度所需的力 F_f 为 1 你 N, 则认为这种液体具有 1 粘度单位的动力



粘度，以 η 表示的粘斯)。

运动粘度 ν 为动力粘度 η 与同温度下该液体的密度 ρ 的比度，其单位为 m^2/s ，该单位偏大，工程上多用 mm^2/s ，即 cSt(厘

工业上多用运动粘度标定润滑油的粘度。根据国家标准，油牌号一般按 40°C 时的运动粘度平均值来划分，我们需要时可手册或资料参考选择。

图 13-17

润滑油产品以查阅相关

2、润滑脂

润滑脂是在润滑油中添加稠化剂（如钙、钠、铝、锂等金属）后形成的胶状润滑剂。因为它稠度大，不宜流失，所以承载能力较大，但它的物理、化学性质不如润滑油稳定，摩擦功耗也大，故不宜在温度变化大或高速条件下使用（一般在轴承相对滑动速度低于 1~2m/s 时或不变注油的场合使用）。

目前使用最多的是钙基润滑脂，它有耐水性，常用于 60°C 以下的各种机械设备中的轴承润滑。钠基润滑脂可用于 115~145°C 以下，但抗水性较差。锂基润滑脂性能优良，抗水性好，在 -20~150°C 范围内广泛使用，可以代替钙基、钠基润滑脂。

3、固体润滑剂

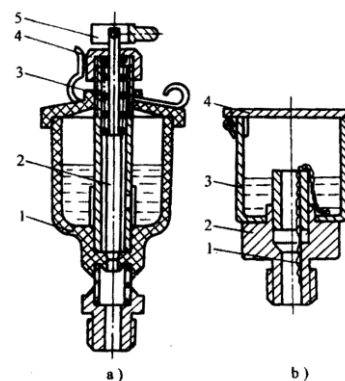
常用的固体润滑剂有石墨和二硫化钼。在滑动轴承中主要以粉剂加入润滑油或润滑脂中，用于提高其润滑性能，减少摩擦损失，提高轴承使用寿命。尤其高温、重载下工作的轴承，采用添加二硫化钼的润滑剂，能获得良好的润滑效果。

二、润滑方法和润滑装置

为了保证轴承良好的润滑状态，除了合理选择润滑剂之外，滑方法和润滑装置也是十分重要的。

1) **润滑油**：润滑油的润滑方法有间歇供油和连续供油两种。

间歇供油有手工油壶注油和油杯注油供油。这种方法只适用于低速不重要的轴承或间歇工作的轴承。



合理选择适用于低速不重

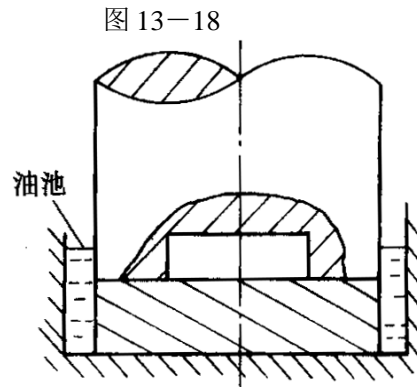
图 14-13 油杯滴油润滑装置

a) 针阀油杯 1-杯体 2-针阀 3-弹簧 4-调节螺母 5-手柄
b) 芯轴油杯 1-油芯 2-接头 3-杯体 4-杯盖

对于重要的轴承必须采用连续供润滑，连续供油方法及装置主要有以下几种

(1) 油杯滴油润滑

如图所示分别为针阀油杯和芯捻油杯。针阀油杯可调节改变供油量，在轴承停止工作时，可通过油杯上部手柄关闭油。芯捻油杯利用毛细管作用将油引到轴承工作表面上，这调节供油量。



滴油速度以油杯，停止供种方法不易

(2) 浸油润滑

将部分轴承直接浸入油池中润滑，如图所示。

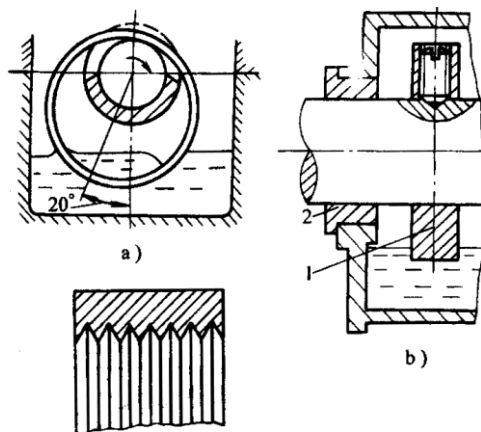
图 13-19

(3) 飞溅润滑和油环润滑

飞溅润滑主要用于润滑如减速器、内燃机等机械中的轴承。通常直接利用转动零件将油池中的润滑油带起溅到轴承或箱体壁上，然后经油沟导入轴承工作面进行润滑。

甩油环根据安装特点分为松环和固定环两种，如图所示。

松环是指油环松套在轴上，如图 a 所示。靠摩擦将附着在油环上的油溅到箱体壁上，然后经油沟导入甩到轴承工作面上进行润滑。当轴承转速较低时，环动。转速增加，由于在环和轴的接触部位有油润滑，油环会出现滞后。松环的供油量与环的质量、宽度、及润滑油的粘度有关。大量实验证明，松环的供油量是完全够用的。如果在油环的内表面上开出窄的沟，供油量会明显增大，轴的温度也会明显降低。松 $\leq 20\text{m/s}$ ，运转比较平稳的轴承。



力随轴转动，轴承和直接和轴同步运摩擦力降低，浸油深度以对轴承的润槽，如图 c 所环适用于 v

图 13-20

图 14-15 飞溅润滑装置

a) 松环润滑 b) 固定环润滑 c) 沟槽环
1—甩油环 2—轴承

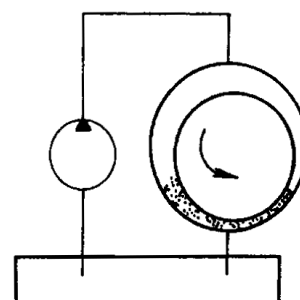
如图 b 所示，油环通过紧固螺钉或其它方式固定

固定环。这种结构主要用于低速，通常 $v \leq 13\text{m/s}$ 范围内使用。

在轴上，称为

(4) 压力循环润滑

如图所示，压力循环润滑是一种强制润滑方法。润滑油泵将一润经油路导入轴承，润滑油经轴承两端流会油池，构称个循环润滑。这供油量充足，润滑可靠，并有冷却和冲洗轴承的作用。但结构复杂、用于重载、高速和载荷变化较大的轴承当中。



高压力的油种润滑方法费用较高。常

图 13-21

2) 脂润滑

润滑脂只能间歇供给。常用的装置如图所示的（图 a）旋盖注油油杯和（图 b）压注油杯。旋盖注油油杯靠旋紧杯盖将杯内润滑脂压入轴承工作面；压注油杯靠油枪压注润滑脂至轴承工作面。

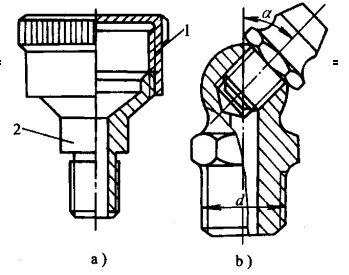


图 13-22

图 14-17 脂润滑装置
1—杯盖 2—杯体

滑动轴承的润滑方式可根据系数 k 选定：

$$k = \sqrt{pv^3}$$

式中： p 为比压，单位 MPa； v 为轴颈的线速度，单位 m/s。

当 $k \leq 2$ 时，用润滑脂，油杯润滑； $k=2\sim 16$ 时，用针阀式润滑； $k=16\sim 32$ 时，用油环或飞溅润滑； $k > 32$ 时，用压力润滑。

【小结】本章内容可以归纳如图所示

