



FAG



性能优良的流体泵滚动轴承

SCHAEFFLER

前言

Schaeffler 是一家为全世界客户提供滚动轴承（标准和特殊轴承）、滑动轴承，并能提供产品维修和服务的卓越的供应商。Schaeffler 提供基于 225 000 种产品，为 40 000 多个客户提供解决方案，产品广泛覆盖多达 60 多个工业子行业的应用。

流体泵经济解决方案

Schaeffler 提供应用于流体泵范围广泛的、高精度的、旋转运动的轴承产品。在这个领域，创新和经济解决方案的需求正日益增加。因此，在高质量标准轴承的基础上找到精确匹配的系统解决方案变得越来越重要。

这种发展在本刊物有所体现，其中您可以找到流体泵定制化解决方案的应用案例。

流体泵分类

按照流体泵功能原理分类：

- 叶片泵
- 容积泵
- 其它泵

本刊物主要覆盖以流体力学为机理的离心泵用滚动轴承。然而，轴承的解决方案和技术原理同样也适用于其它类型的泵。

高效节能的轴承布置

减小泵的能量损失可以通过减小泵的质量和减小摩擦系数来实现。Schaeffler 也利用这一原则开发新的轴承及轴承单元产品。产品开发初期，可以利用最新的轴承计算软件进行比较和优化轴承布置的摩擦性能。这意味着，流体泵生产商能够节省时间和研发成本。

发展合作伙伴

我们的应用工程师和对外销售工程师可以作为全球发展伙伴支持你，以便你的泵类设备运行会更有效、更可靠，也更经济。

本出版物提供了一个面向流体泵轴承应用的概述。不同的应用领域，流体泵本身所处的工况条件也各不相同。影响流体泵轴承选型的因素不仅仅是工作类型，同时还有其它很多因素。

前言

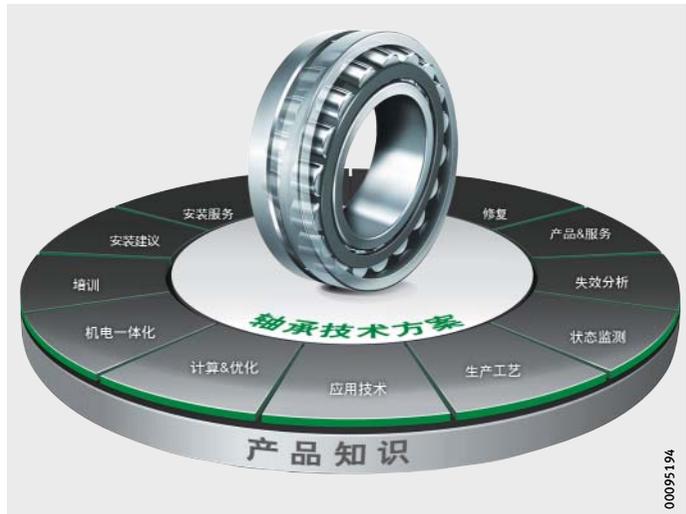
滚动轴承样本 HR 1

样本 HR 1 介绍了按照德国国家标准和国际标准 DIN ISO 生产的滚动轴承，可满足原始设备制造商、经销商和售后市场以及特殊滚动轴承附件和更多的滚动轴承类型及设计改进的要求。

该样本介绍了轴承布置设计时应考虑的产品类型、设计阶段必须考虑的因素、相邻结构需要的公差以及轴承布置中如何进行密封。它也给出了有关轴承额定寿命计算，温度和载荷，轴承布置中合适的润滑油等详细信息，此外，还介绍了产品的正确安装和维护方法。

Global Technology Network

在 Global Technology Network，Schaeffler 有效地结合了本地的专家知识和创新能力。我们当地的 Schaeffler 技术中心和世界范围的专家一起合作，直接向你们所在地区提供我们的专家意见和工程技术服务。通过这样的方式，在世界的任何地方你都将体验到最佳的支持，感受到我们专业的知识、高质量的创新和定制的解决方案。这有可能使得你的机器持续降低成本，提高效率 and 整体的竞争力。



更多信息

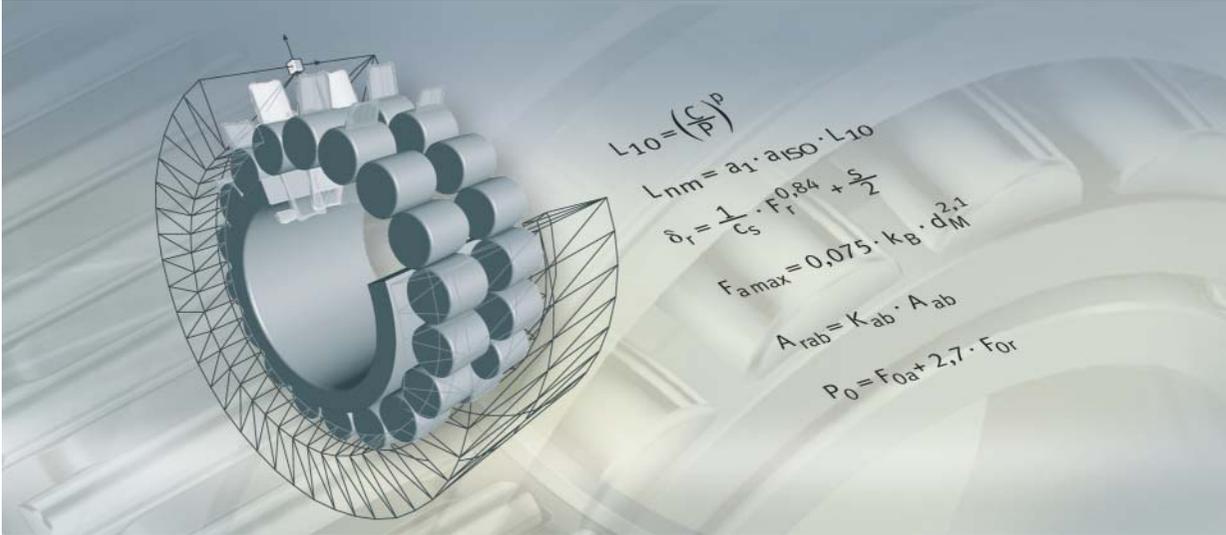
- www.schaeffler.com/gtn
- <http://medias.schaeffler.de>

内容

	页
技术原理	
动承载能力和寿命	5
轴承布置的选择	11
原理和要求	18
设计举例	20
滚动轴承的选择	
X-life	24
深沟球轴承	25
单列角接触球轴承	26
双列角接触球轴承	28
单列圆柱滚子轴承	30
四点接触球轴承	31
调心球轴承	32
调心滚子轴承	33
圆锥滚子轴承	34
创新产品	
串联角接触球轴承	36
介质润滑轴承	37
滚动轴承的涂层	39
机电传感器	41
服务	
技术建议	46
BEARINX	47
计算	
失效分析	50
Schaeffler Industrial Aftermarket	52
应用举例	
潜水泵	54
标准化工泵	56
双吸泵	58



FAG



技术原理

动承载能力与寿命
轴承布置的选择
原理和要求
设计举例

动承载能力与寿命

滚动轴承的动承载能力是由材料的疲劳特性决定的。

动承载能力通过基本额定动载荷和基本额定寿命进行描述，依据是 DIN ISO 281。

疲劳寿命取决于：

- 载荷
- 运转速度
- 第一次出现失效的统计概率

对于运转的滚动轴承，基本额定动载荷 C 是指：

- 对于向心轴承为一恒定的径向载荷 C_r
- 对于推力轴承为一恒定的作用在轴承中心的轴向载荷 C_a

基本额定动载荷 C 是指大小和方向都恒定的载荷，在此载荷作用下，一大批相同轴承能够达到基本额定寿命 100 万转。

滚动轴承的尺寸

所需滚动轴承的尺寸取决于：

- 额定寿命
- 承载能力
- 运转可靠性

额定寿命计算 计算方法

额定寿命计算方法如下：

- 基本额定寿命 L_{10} 和 L_{10h} 符合 ISO 281，请参见
- 扩展额定寿命 L_{nm} 和 L_{nmh} 符合 ISO 281，请参见

基本额定寿命

基本额定寿命 L_{10} 和 L_{10h} 由下式计算：

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

L_{10} 10^6 转
基本额定寿命以百万转为单位，
是指一大批相同轴承中有 90% 在首次出现疲劳前达到或超过的寿命

L_{10h} h
根据 L_{10} 的定义以小时为单位的基本额定寿命

C N
基本额定动载荷

P N
向心和推力轴承的当量动载荷

p -
寿命指数；

滚子轴承：p = 10/3

球轴承：p = 3

n min^{-1}
运转速度。

动承载能力与寿命

当量动载荷

当量动载荷 P 是一个计算值。其大小和方向恒定；对向心轴承为径向载荷，对推力轴承为轴向载荷。

利用载荷 P 计算轴承寿命，可得到与实际中的联合载荷一样的额定寿命。

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

P	N
当量动载荷	
X	-
径向系数，请见尺寸表或产品说明	
F_r	N
轴承的径向动载荷	
Y	-
轴向系数，请见尺寸表或产品说明	
F_a	N
轴承轴向动载荷。	



这种计算方法不能用于向心滚针轴承、推力滚针轴承和推力圆柱滚子轴承。这些轴承不允许承受联合载荷。对于纯径向载荷作用下的向心滚针轴承， $P = F_r$ ，纯轴向载荷下的推力滚针轴承和推力圆柱滚子轴承， $P = F_a$ 。

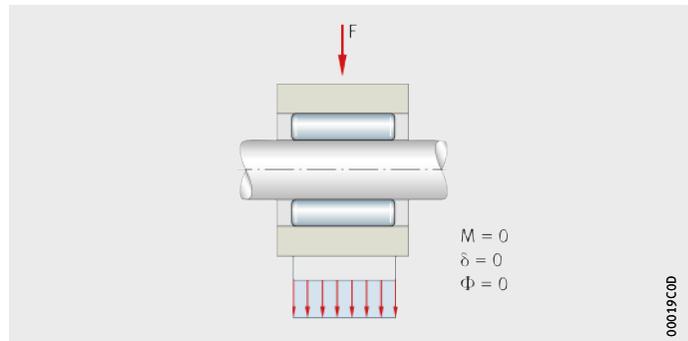
影响因素

影响因素包括，图 1：

- 轴承对中
- 轴承载荷
- 工作游隙
- 倾斜和力矩载荷
- 润滑和污染

F = 载荷
 M = 力矩
 δ = 挠度
 Φ = 倾角

图 1
 计算案例



扩展的额定寿命

扩展的额定寿命计算 L_{nm} 和 L_{nmh} 在 DIN ISO 281 附录 1 中已被标准化。自 2007 年，此方法已纳入国际标准 ISO 281。对应于 DIN ISO 281 附录 4 的计算机辅助计算，ISO/TS 16281 自 2008 年以来在 DIN 26281 中已有详细说明。

L_{nm} 和 L_{nmh} 的计算如下：

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10}$$

$$L_{nmh} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10h}$$

L_{nm} 10^6 转

扩展的修正额定寿命对应于 ISO 281

a_1

寿命修正系数可靠性不是 90% 如下：

所需的可靠性 90% (L_{10m}) $a_1 = 1$

所需的可靠性 95% (L_{5m}) $a_1 = 0.64$

所需的可靠性 99% (L_{1m}) $a_1 = 0.25$

a_{ISO}

考虑工况的寿命修正系数

L_{10} 10^6 转

基本额定寿命

L_{nmh} h

扩展的修正额定寿命，以小时为单位

L_{10h} h

根据 L_{10} 的定义以小时为单位的基本额定寿命

修正寿命系数 a_1 的数值在 ISO 281 : 2007 被重新修订，且与以前的参数有所不同。

寿命修正系数 a_{ISO}

计算寿命修正系数 a_{ISO} 的标准方法必须考虑下列影响因素：

- 轴承载荷
- 润滑条件（润滑剂的类型和粘度、转速、轴承尺寸、添加剂）
- 材料疲劳极限
- 轴承类型
- 材料的残余应力
- 环境条件
- 润滑剂中的污染状况

$$a_{ISO} = f \left[\frac{e_c \cdot C_u}{P}, \kappa \right]$$

a_{ISO} 考虑工况的寿命修正系数

e_c

考虑污染影响的寿命修正系数

C_u

疲劳极限载荷

P

当量动载荷

κ

粘度比：

如果 $\kappa > 4$ ，能进行计算，用 $\kappa = 4$

如果 $\kappa < 0.1$ ，这种计算方法不能使用。

动承载能力与寿命

工作寿命

使用寿命是指轴承实际达到的寿命。它可能与计算值有显著偏差。

引起磨损和疲劳的可能原因有：

- 工况数据的偏差
- 轴与轴承座的不对中
- 过大或过小的工作游隙
- 污染
- 润滑不当
- 工作温度过高
- 轴承以很小的摆动角摆动（假性布氏压痕）
- 大的振动和假性布氏压痕
- 极大的冲击载荷（静过载）
- 装配时的早期损伤



由于各种各样的可能的安装和工况，我们无法预先准确地确定使用寿命。最可靠的方式是通过比较类似的应用获得近似的估算。

润滑原理

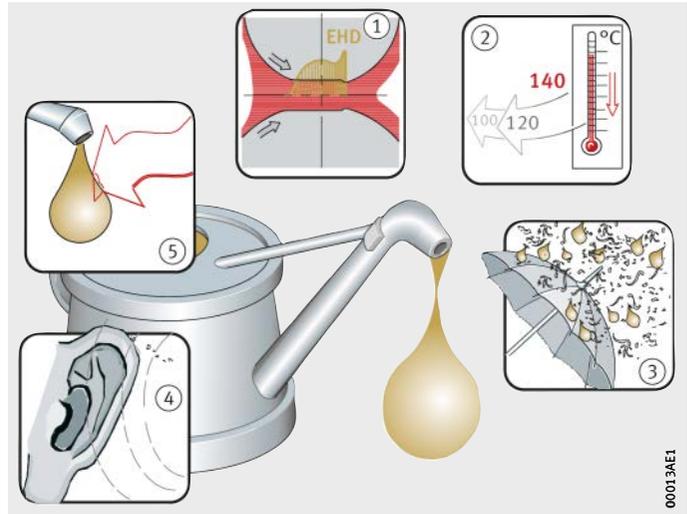
润滑和维护对于确保滚动轴承的可靠性和实现长的工作寿命非常重要。

润滑油的作用

润滑油对滚动轴承有重要的作用，图 2。

- ① 形成能够承载的润滑油膜
- ② 油润滑可以散热
- ③ 脂润滑可密封轴承防止外界污染物的侵入
- ④ 降低运转噪声
- ⑤ 防腐蚀

图 2
润滑油的作用



润滑类型选择 在设计过程中，必须尽早决定轴承是采用脂润滑还是油润滑。在确定润滑剂类型和润滑剂量时，下列因素起决定作用：

- 工况
- 轴承类型和尺寸
- 相邻结构
- 润滑剂供给

脂润滑应用准则 采用脂润滑时，必须考虑下列准则：

- 设计简单
- 密封功能
- 润滑脂的存储
- 低维护，长寿命（在特定的场合可以实现终身润滑）
- 如果需要再润滑，必须设计旧脂收集区和注脂管道
- 脂润滑不能散热
- 不能带走磨损颗粒或其它颗粒

油润滑应用准则 采用油润滑时，必须考虑下列准则：

- 润滑剂分布良好并能分布到整个接触区
- 为轴承散热（在高速和重载情况下更为显著）
- 能够带走磨损颗粒
- 采用最小油量润滑时，能够实现非常小的摩擦耗能
- 对供油和密封要求较高

在极端运转情况下（例如高温，真空，腐蚀性介质），可能需要采用特殊的润滑方式，如固体润滑剂，请咨询工程服务部门。

滚动轴承润滑脂 Arcanol

如果客户希望自己注入润滑脂，我们也可以提供一系列的特别适用于滚动轴承的润滑脂 Arcanol。

这一系列的润滑脂根据不同的性能进行分类并且可以满足几乎所有的应用。

动承载能力与寿命

粘度比 粘度比 κ 是润滑油膜的形成与接触面分离评估的指标：

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

κ
粘度比
 ν $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
润滑油在工作温度下的运动粘度
 ν_1 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
润滑油在工作温度下的参考粘度。

当 $\kappa = 4$ 或以上，处于弹性流体动压润滑状态，金属表面之间完全被隔开的。

当 $\kappa \geq 4$ 和非常高的清洁度及中等负荷，滚动轴承能够抗疲劳。经验告诉我们，当 $\kappa = 2$ 或以上时，一个完全有能力承载的油膜可以形成。

当 $\kappa = 1$ 或以上，同时具有高的清洁度，对应的实际使用寿命基本上能达到基本额定寿命。

如果 κ 是在 0.4 和 1 之间，可能会导致额定寿命的减少，此时可以认为是处于中等的混合摩擦状态。

当 $\kappa < 0.4$ ，处于完全的混合摩擦状态。如果润滑油是用在这种情况下，必须考虑磨损对轴承寿命的影响。如果润滑油添加了合适的抗磨添加剂，那么在接触区形成的分离也可由添加剂辅助形成。通过这一化学润滑方式，也有可能实现低磨损。

润滑油在工作温度下的参考粘度 ν_1 由轴承的平均直径 d_M 和转动速度 n 决定，图 3。

润滑油在 +40 °C 的公称粘度是由所需工作粘度 ν 和工作温度 ϑ 决定的。

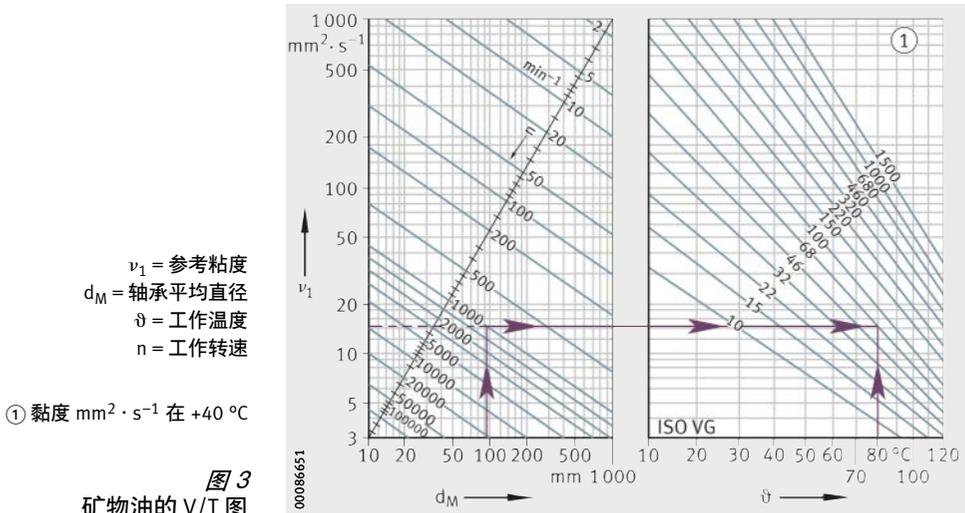


图 3
矿物油的 V/T 图

更多信息

- 参见 样本 HR 1：滚动轴承
- TPI 168，滚动轴承润滑脂 Arcanol
- TPI 176，滚动轴承的润滑

轴承布置的选择

轴承布置的类型

支撑和引导一根旋转轴至少需要两个有一定距离的轴承。根据实际应用，可选择定位 - 浮动轴承布置，可调节轴承布置或两端浮动轴承布置。

定位 - 浮动布置

由于制造误差，两个向心轴承支撑的轴和轴承座的定位面距离通常有偏差。工作温度的升高也会使得这个距离改变。这些距离偏差都可以通过浮动轴承来补偿。定位 - 浮动轴承布置案例如示例图 1 和 图 2。

浮动轴承

理想的浮动轴承是带保持架的圆柱滚子轴承 N 和 NU 系列或者滚针轴承，只能承受径向载荷。这类轴承的滚子和保持架组件可以在无挡边的套圈滚道上移动。其他类型的轴承，比如深沟球轴承和调心滚子轴承，只能在一个套圈是松配合情况下才能用作浮动轴承。因此，点载荷作用下的轴承套圈通常采用松配合；此处通常是外圈，请见旋转条件。

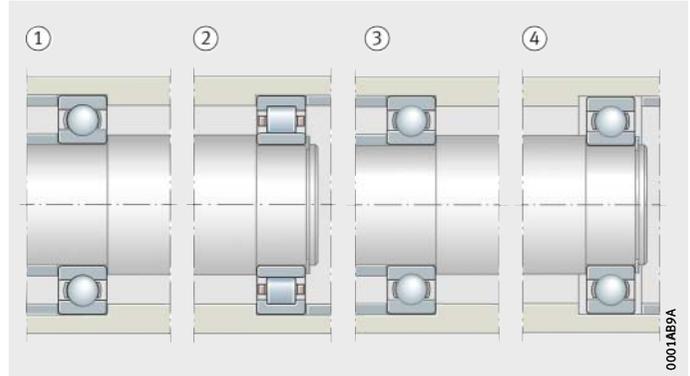
定位轴承

定位轴承可以固定轴的轴向位置，并且承受外部轴向力和径向力。定位轴承类型的选择取决于轴向载荷的大小以及轴向定位精度要求的高低。

定位 - 浮动轴承布置举例

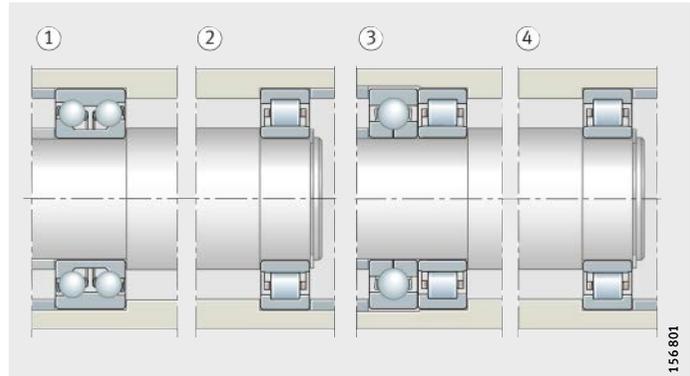
- 深沟球轴承
- ① 定位轴承
- 圆柱滚子轴承 NU
- ② 浮动端轴承
- 深沟球轴承
- ③ 定位轴承
- ④ 浮动轴承

图 1
定位 - 浮动布置



- 双列角接触球轴承
- ① 定位轴承
- 圆柱滚子轴承 NU
- ② 浮动端轴承
- 四点角接触轴承和圆柱滚子轴承
- ③ 定位轴承
- 圆柱滚子轴承 NU
- ④ 浮动端轴承

图 2
定位 - 浮动布置



轴承布置的选择

可调整的轴承布置

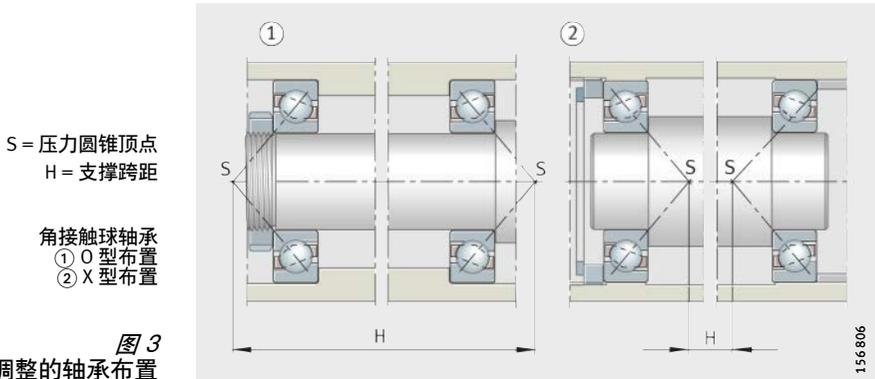
可调节轴承布置通常由两只对称安装的角接触球轴承或圆锥滚子轴承。安装时通过轴向移动轴承的套圈，直至获得合适的游隙或所需的预载荷。

由于便于调整，这种可调整的轴承布置特别适合于轴向定位要求高的场合。

X 与 O 型布置

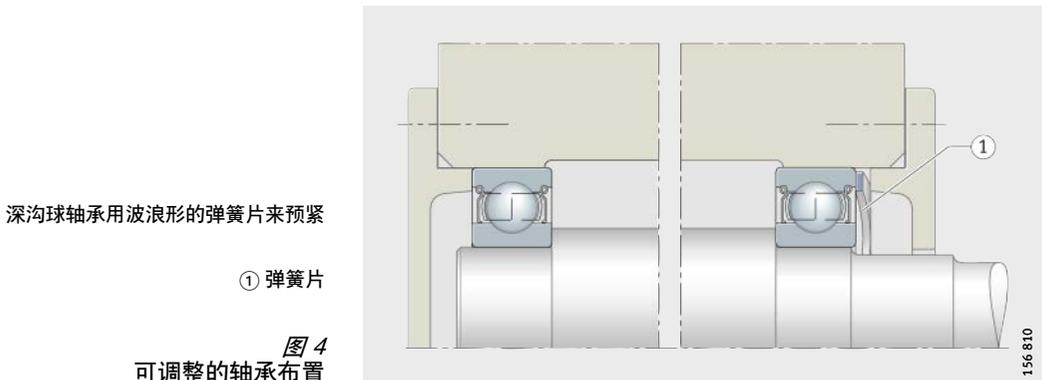
图示是对于轴承布置中，O 型，图 3 ① 和 X 型布置，图 3 ② 的一个基本特性。在 O 型配置中，轴线和压力线所交的圆锥定点 S 朝向外侧；在 X 型配置中，圆锥顶点朝向内侧。O 型布置轴承两载荷作用中心的距离 H 比 X 型的大。因此，O 型配置的抗倾斜能力较强。

设定轴向游隙时，必须考虑热膨胀的影响。



弹性调节

可调整的轴承布置也可以通过使用弹簧预紧来实现，图 4 ①。这种弹性调整的方法能够补偿热膨胀，轴承外圈需要相应的松配合。也可以用于停机时有振动的场合。



浮动轴承布置

如果不需进行精确轴向定位，则两端选用浮动支撑是一种很经济的布置方法，图 5。这种布置结构与可调整的轴承布置相似。

但是，在浮动轴承布置中，轴与轴承座之间的相对位移可达到轴向游隙 s 。 s 值作为轴向定位精度特性，即使在最不利的热膨胀工况下，轴承也不会被轴向的应力破坏。

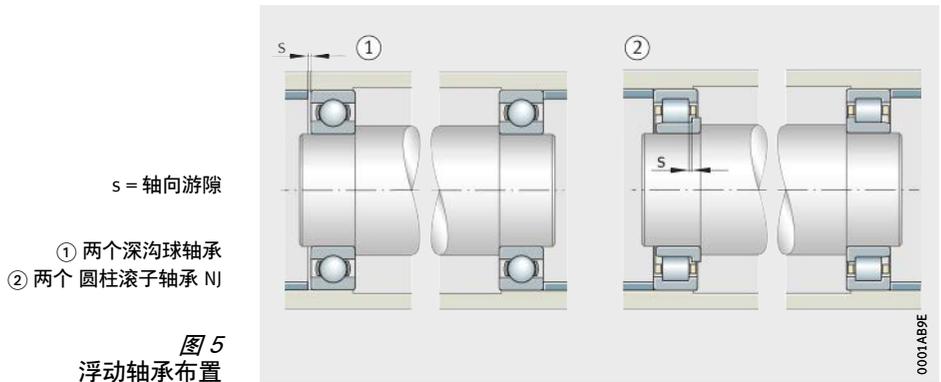
适用的轴承

适宜用作浮动轴承布置的轴承包括深沟球轴承、调心球轴承和调心滚子轴承。

这些轴承中，一个套圈通常是外圈，其配合允许有轴向移动。

在浮动轴承配置中，带保持架的圆柱滚子轴承 NJ，轴承内部可进行长度补偿，图 5。内圈和外圈可以采取过盈配合。

圆锥滚子轴承和角接触轴承必须进行调整以保证精确运转，所以不适合用作浮动轴承。



轴承布置的选择

轴承的轴向定位

轴承套圈的轴向定位根据具体轴承布置确定（定位端轴承、浮动端轴承、可调整轴承和两端浮动轴承）。

设计指南

轴承配合件的挡肩必须足够高，即使轴承倒角最大时仍有足够宽的支撑面（DIN 5418）。

轴承套圈必须通过力锁紧或有效的配合防止蠕动。轴承套圈只能和轴肩或轴承座肩接触，不能与圆角接触。

定位轴承可以承受轴向力。定位端零件也必须与轴向力相匹配。轴和座孔、弹性挡圈、轴承座端盖、轴端挡盖、螺母和隔圈的挡肩必须是相配的，图6和图7。

在使用不可分轴承时，只有一个套圈要求紧配合，而另一个套圈由滚动体定位。

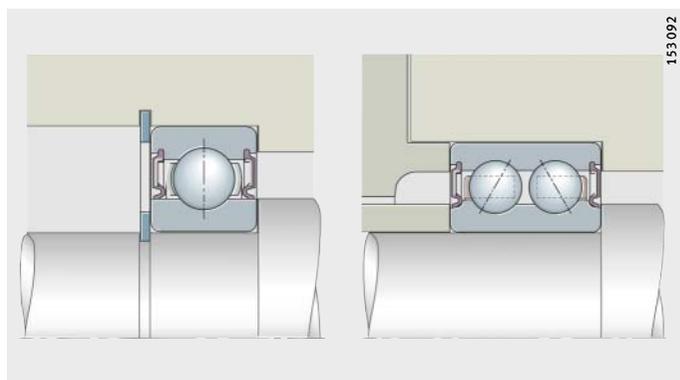
在可调节和浮动轴承布置中，轴承只承受单向轴向力，只需单侧支撑轴承套圈。反向引导可以由第二个对称分布的轴承来实行。轴端螺母，环形螺母，端盖或隔圈都适合作为调整元件。

在浮动轴承布置中，通过轴肩或座肩、端盖、卡簧等防止轴承套圈的侧向移动。

定位元件的例子

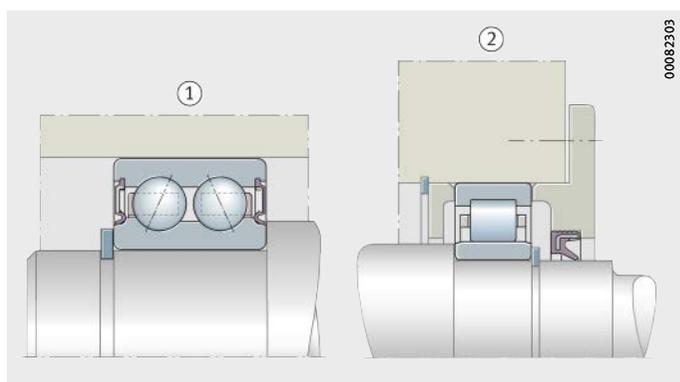
有效的内外圈配合进行轴向定位

图6
定位端轴承



- ① 有效的内外圈配合进行轴向定位
- ② 有效的内外圈配合进行轴向定位

图7
浮动轴承



旋转条件

旋转条件是指轴承某个套圈相对于载荷方向承受的是圆周载荷或是点载荷。流体泵可能发生的旋转条件请参考下表。

点载荷

套圈与载荷方向相对静止且没有力使该套圈相对配合面移动。配合面没有被破坏的危险，则两者间可采用松配合。

圆周载荷

作用在套圈上的载荷，使套圈相对配合面有移动，并且在轴承旋转一圈的过程中滚道上每一点都要承受该载荷。



由于配合面可能被损坏，所以必须使用紧配合。

转动条件

运动工况	举例	示意图	载荷情况	配合
内圈旋转 外圈固定 非可变载荷方向	轴承受重力		内圈承受圆周载荷和外圈承受点载荷	内圈： 须采用紧配合 外圈： 可采用松配合

轴和轴承座孔公差

正常的安装和旋转条件下的轴与轴承座的配合可以参考如下推荐。

座公差

旋转条件	可更换性负载	工况	公差带
外圈承受点载荷	外圈容易更换，非剖分式轴承座	公差等级按所需要的运转精度确定	H7 (H6) ¹⁾
	外圈容易更换，剖分式轴承座		H8 (H7)
	外圈不易更换，非剖分式轴承座	需要高运转精度	H6 (J6)
	外圈不容易更换，角接触球轴承和圆锥滚子轴承的可调整外圈，剖分式轴承座	普通运转精度	H7 (J7)
	外圈容易移动	由轴传入热量	G7 ²⁾

1) G7 采用 GG 制作的轴承座，如果轴承外径 $D > 250$ mm 而且外圈与座孔温差 > 10 K。

2) F7 采用 GG 制作的轴承座，如果轴承外径 $D > 250$ mm 而且外圈与座孔温差 > 10 K。

轴承布置的选择

轴公差

旋转条件	轴承类型	轴公称直径 mm	可更换性 负载	公差带
内圈承受圆周载 荷或不确定的载 荷方向	球轴承	至 50	一般载荷 1)	j6 (j5)
		50 到 100	低载荷 2)	j6 (j5)
			一般载荷和重载荷 3)	k6 (k5)
		100 到 200	低载荷 1)	k6 (m6)
			一般载荷和重载荷 4)	m6 (m5)
		大于 200	低载荷	m6 (m5)
	一般载荷和重载荷		n6 (n5)	
	滚子轴承	至 60	低载荷	j6 (j5)
			一般载荷和重载荷	k6 (k5)
		60 到 200	低载荷	k6 (k5)
			一般载荷	m6 (m5)
			重载荷	n6 (n5)
		200 到 500	一般载荷	m6 (n6)
			重载荷, 冲击载荷	p6
大于 500		一般载荷	n6 (p6)	
	重载荷	p6		

1) $C/P > 10$ 。

2) $C/P > 12$ 。

3) $C/P < 12$ 。

4) $C/P < 10$ 。

特殊的应用可能存在偏差，比如涉及到运转精度，运转的平稳性或工作温度。更高的运转精度需要更小的公差，比如 5 级精度比 6 级精度更高，如果在运转中轴承内圈温度比轴高，配合会变松而超过允许值。这样就必须选用更紧的配合，例如用 m6 替代 k6。

在诸如此类的应用中，配合问题可以这样折衷解决。一些单独的要求必须权衡以便得到最佳的解决方案。

工作游隙

一个较低的预紧力与轴承的额定寿命是息息相关的，因为载荷被分配到多个滚动体上，承载区加大，轴承布置的刚度提高。然而，这种预紧力不能超过一个最佳值，因为接下来由于较高的接触应力会造成轴承额定寿命迅速的减少，图8。

另一方面，过大的工作游隙会导致滑动的影响，不利的载荷分布以及不良的运行性能。

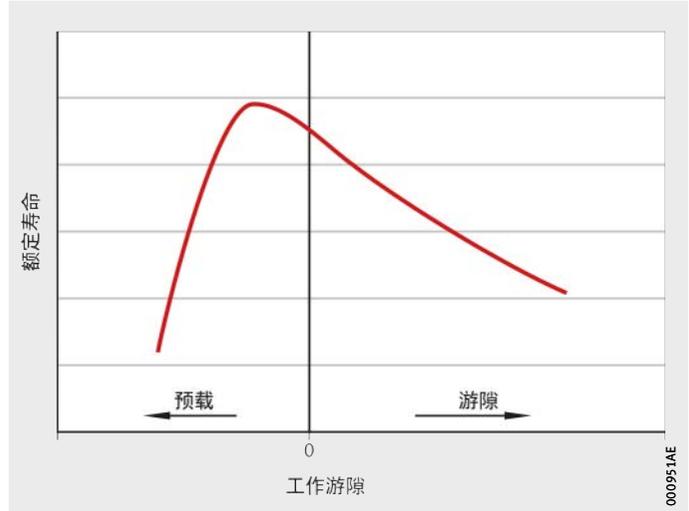


图8
工作游隙

原理和要求

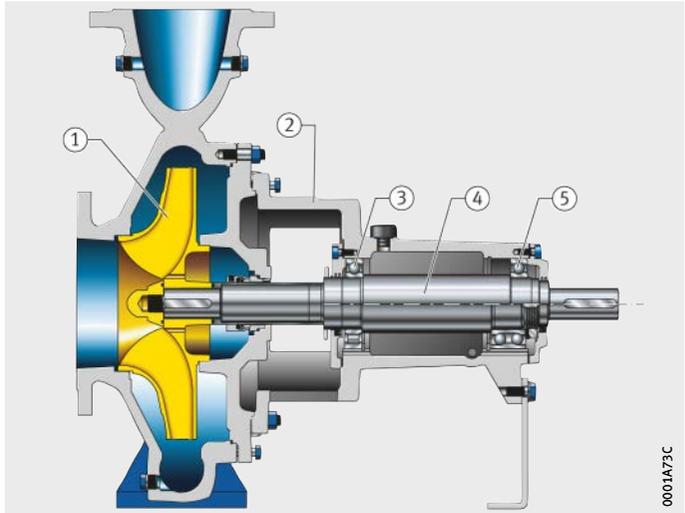
原理

许多流体泵可以优化成单级设计，单吸离心泵，图 1。基于流体动力学工程的能量传输是这些泵的主要工作原理。圆周方向旋转的叶轮装置所产生的离心力对流体进行加速。加速度产生的动压流体由输送机构减速，比如涡壳，其原理类似扩散器。因此，它可以将很大部分的流体动压力转换成流体静压力。特殊要求和不同应用领域决定了这个基本设计的调整和进一步发展。



图 1
标准化工泵
© KSB Aktiengesellschaft
MegaCPK

通用单级离心泵轴承布置结构，图 2。



① 叶轮
② 轴承支架
③ 叶轮端轴承
④ 轴
⑤ 驱动端轴承
图 2
标准化工泵
© KSB Aktiengesellschaft
MegaCPK

轴承配置要求

流体泵轴承配置有各种各样的要求。泵的生产要求和滚动轴承的特性要尽可能的匹配，一致。

滚动轴承需满足的要求：

- 具有成本效益的解决方案
- 使用标准的滚动轴承
- 承受径向和轴向载荷
- 承受振动和冲击
- 工作寿命长
- 低维护费用

滚动轴承需满足的更高要求：

- 较长的再润滑间隔时间及终生免维护
- 耐腐蚀
- 高效节能和完整的解决方案
- 低摩擦
- 低噪音水平
- 承受高温
- 介质润滑
- 状态监测

滚动轴承生产商应具备的条件：

- 设计工具
- 技术建议
- 失效分析

电机轴承配置要求

电动机主要作为流体泵的驱动单元。

电驱动轴承的配置必须考虑的影响因素包括：

- 载荷
- 速度
- 轴的布置以及轴承室的设计
- 振动和噪声特性
- 额定寿命
- 低摩擦
- 密封
- 耐高温
- 油脂寿命
- 绝缘
- 维护和安装

更多信息

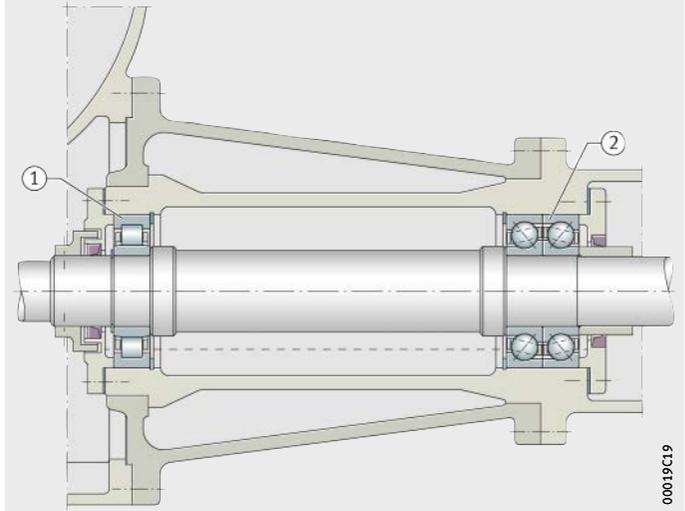
- TPI 206, 电绝缘轴承

设计举例

离心泵轴承配置结构

离心泵轴承配置使用以下技术数据计算，图 1：

- 额定功率 44 kW
- 传送速度 24 000 l/min
- 传送高度 9 m
- 转速 $n = 1\,450 \text{ min}^{-1}$
- 轴向力 $F_a = 7.7 \text{ kN}$
- 径向力 $F_r = 11 \text{ kN}$ 浮动端轴承 ①
- 径向力 $F_r = 5.9 \text{ kN}$ 定位端轴承 ②



- ① 浮动端轴承
- ② 定位端轴承

图 1
离心泵轴承配置结构

轴承选择

叶轮端浮动轴承配置，驱动端泵轴安装两个角接触球轴承 FAG7314-B-TVP.UA?XL?X 型布置。后缀 UA 表示轴承可以组合成串联的 O 型或 X 型布置。O 型或 X 型轴承配置的公差是 j5 轴和 J6 轴承座。配对轴承作为定位端，承受轴向力 F_a 是 7.7 kN。径向载荷 F_r 大约是 5.9 kN。

靠近叶轮端的浮动轴承是圆柱滚子轴承 FAG NU314-E-TVP2?XL?? 径向载荷 F_r 大约是 11 kN。

X-life 关于 X-life 产品的进一步信息请参考第 24 页。

润滑，密封

滚动轴承的润滑采用油浴润滑。油位应达到最低滚动体的中心线，轴承空间通过轴密封圈进行密封，另外的迷宫密封安装在叶轮前端。

BEARINX

利用计算程序 BEARINX 可对某些影响因素，如轴的挠度，润滑或污染等对轴承寿命更精确的计算，参见第 47 页。

角接触球轴承 X 型布置 (定位端)

角接触球轴承 FAG 7314-B-TVP.UA?XL? :

- 基本额定动载荷 $C_r = 126\,000\text{ N}$
- 基本额定静载荷 $C_{0r} = 93\,000\text{ N}$
- 极限转速 $n_G = 5\,500\text{ min}^{-1}$

配对轴承基本额定动载荷 $C_{r\text{tot}}$:

- $C_{r\text{tot}} = 1.625 \cdot C_r$
- $C_{r\text{tot}} = 1.625 \cdot 126\,000\text{ N} = 204\,750\text{ N}$

系数 1.625 只适用于球轴承。

当 $F_a/F_r = 1.3 > e = 1.14$, 配对轴承的当量动载荷 P 的计算接触角为 40° 如下:

- $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- $P = 0.57 \cdot 5\,900\text{ N} + 0.93 \cdot 7\,700\text{ N} = 10\,524\text{ N}$

基本额定寿命计算公式:

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{n} \cdot \left(\frac{C_{r\text{tot}}}{P} \right)^p$$

$p = 3$ 球轴承:

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{1450} \cdot \left(\frac{204\,750}{10\,524} \right)^3 = 84\,643\text{ h}$$



角接触球轴承的两列必须满足最小径向载荷要求。在连续运转条件下, 对于带保持架的滚子轴承, 最小径向载荷必须满足 $P/C_r > 0.01$ 。案例中, $P/C_{r\text{tot}} = 0.05$ 。

圆柱滚子轴承 (浮动轴承)

圆柱滚子轴承 FAG NU314-E-TVP2?XL? :

- 基本额定动载荷 $C_r = 242\,000\text{ N}$
- 基本额定静载荷 $C_{0r} = 222\,000\text{ N}$
- 极限转速 $n_G = 5\,500\text{ min}^{-1}$

当量动载荷 P :

- $P = F_r = 11\,000\text{ N}$

基本额定寿命:

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{n} \cdot \left(\frac{C_r}{P} \right)^p$$

$p = 10/3$ 球轴承:

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{1450} \cdot \left(\frac{242\,000}{11\,000} \right)^{10/3} = 342\,930\text{ h}$$



不要要求轴承寿命过长。如果计算寿命 $> 60\,000\text{ h}$, 这就意味着轴承布置选择过大。对于连续运转的轴承, 最小的径向载荷必须满足 $F_{r\text{min}} = C_{0r}/60$ 。案例中, $F_{r\text{min}} = 222\,000\text{ N}/60 = 3\,700\text{ N}$ 。

设计举例

设计指南

对于一个旋转系统的设计，不同的计算和一定的假设是必要的。基于技术知识和流体泵领域应用经验，Schaeffler 对轴承的设计和计算有更合适的方法。只对轴和叶轮组件的某些工作点进行检查。为了达到一个透彻的分析，有必要考虑其它工况下某些特定泵型的不同的叶轮和轴的组合。

因为不可能计算影响轴承布置的所有因素，为了新产品完全符合要求，Schaeffler 有自己的测试部门。可测试各种条件下与实际应用密切相关的具有代表性的产品。为了实现与客户的愿望一致，基于良好的合作，这些测试可以根据计划安排并进行后续的结果评估。

基于这类调查研究活动，可以不断提高 Schaeffler 产品品质和持续的新产品开发。因此，我们可以为客户提供高性能、高质量和高可靠性的产品。

Schaeffler 多年的经验和专业知识被世界各地的客户所认可。

我们的目标

客户全球第一的合作伙伴。



FAG



滚动轴承的选择

X-life

深沟球轴承

单列角接触球轴承

双列角接触球轴承

单列圆柱滚子轴承

四点接触球轴承

自调心球轴承

调心滚子轴承

圆锥滚子轴承

X-life

特性

X-life 是 FAG 和 INA 两大品牌中的顶尖产品，代表着高性能，高可靠性以及卓越的品质。相比之前的标准产品，X-life 具有更高的基本额定动载荷，所以基本额定寿命和实际使用寿命更长。这种高性能的结果主要是由于采用了高精尖的生产制造技术和改善的内部结构。最终改善的是更均匀的轴承表面以及接触面积，有效地优化了载荷分配，图 1。

这种特征开辟了扩展设计的可能性：

- 在载荷相同和设计空间不变的条件下，X-life 轴承具有更长的额定寿命和更长的再润滑间隔时间
- 相反，如果设计空间相同，额定寿命不变，轴承能承受更高的载荷
- 在额定寿命和负载不变的情况下，X-life 轴承允许更高的性能密度，改进设计结构和轻量化设计

因此，X-life 轴承对于节能，高效以及成本控制具有非常重要的意义。

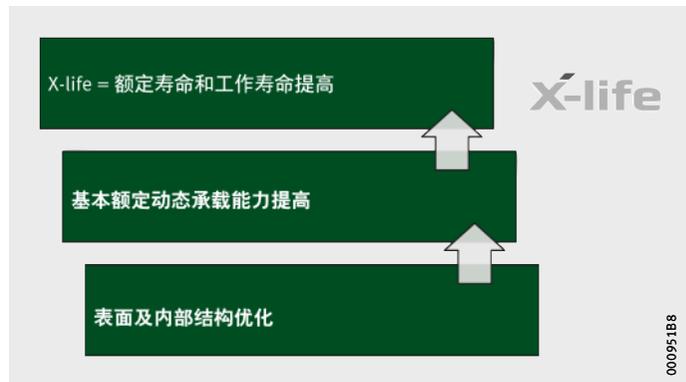


图 1
X-life 关键特征

深沟球轴承

特性

深沟球轴承是由实体内外圈、保持架和钢球组成的不可分离轴承，用途非常广泛。他们设计简单、运转可靠且易于维护。包括开式和密封式两种设计。

C 系列深沟球轴承的尺寸公差和滚道质量 是专门按照 P6 精度等级研发的，具有较低的噪音水平，更好的密封性能和更高的成本效率，图 1。

深沟球轴承 C 系列适用于 6000、6001、6002、6004、6200 到 6210 和 6305 到 6310。

深沟球轴承 C 系列是基于 FAG 现有型号的基础上所创新的。



图 1
深沟球轴承 C 系列

径向和轴向承载能力

由于滚道的几何形状和采用钢球作为滚动体，深沟球轴承能够承受双向轴向载荷和径向载荷。

工作温度

开式深沟球轴承能够承受的极限工作温度是 +120 °C（轴承外径尺寸最大是 90 mm）和 +150 °C（轴承外径尺寸处于 90 mm 到 240 mm 之间）。

唇式密封深沟球轴承的工作温度范围从 -30 °C 到 +110 °C，受其润滑脂和密封圈材料限制。

间隙式密封轴承工作温度范围从 -30 °C 到 +120 °C。

密封

深沟球轴承适用于减小摩擦的接触式密封（HRS、ELS）和非接触式密封（Z、BRS）。

润滑

密封轴承使用高质量润滑脂进行润滑，这些润滑脂能够满足轴承工作寿命周期内润滑的要求。

保持架

单列深沟球轴承 C 系列 采用了优化的铆接金属钢板保持架。

更多信息

- TPI 165，深沟球轴承 C 系列
- www.FAG-GenerationC.com
- 产品目录 *medias*®
- 技术原理和尺寸表：参见 样本 HR 1：滚动轴承

单列角接触球轴承

特性

单列角接触球轴承是自保持单元，包括：实体内圈和外圈、滚珠和由尼龙、冲压钢板或黄铜制成的保持架组件，*图 1*。内圈和外圈的滚道沿轴承的轴向相互偏移。轴承分为开式和密封式设计。它们的角度调节功能非常有限。



图 1
单列角接触球轴承

X-life

许多型号的角接触球轴承被定义为 X-life 系列产品。其它特殊要求产品可协商供货。

径向和轴向承载能力

单列角接触球轴承能够承受单向轴向力和较大的径向力。需要另一与其对称安装的轴承才可进行轴向调整。由于具有 40° 接触角，这些轴承可承受较大的轴向载荷。

通用设计

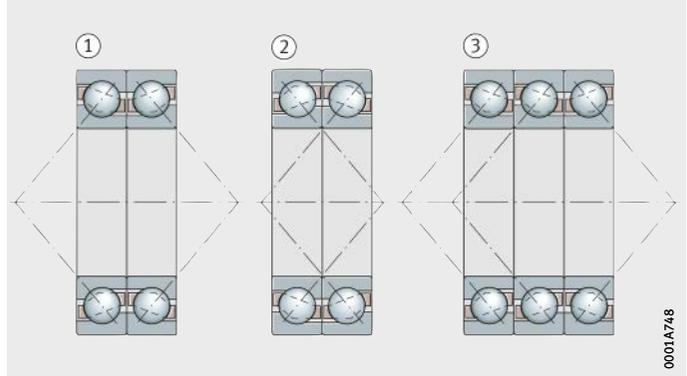
通用设计的单列角接触球轴承具有后缀 UA、UL 或 UO，可用于 X 型、O 型布置、串联布置或成组使用。这些轴承可以满足任何安装布置形式的需要，*图 2*。

Schaeffler 所提供的万能配对角接触球轴承不仅有标准公差等级 PN，同样也有高精度等级 P5 的产品。

例外：滚动体的公差等级均为 P5（无特殊后缀）。

- ① O 型配置
- ② X 型配置
- ③ 串联 - O 型布置

图 2
轴承布置多种形式



后缀 UA 代表小轴向游隙轴承组；后缀 UL 代表轻预载；
后缀 UO 代表 X 型、O 型布置的零游隙轴承组。不同轴向游隙值的万能配对设计产品可协议供货。

串联布置轴承的安装



如果单列角接触轴承采用串联布置，相互接触的外圈端面必须确保有足够的重叠量。如有疑问，请咨询 Schaeffler 工程技术服务部门。

工作温度

推力角接触球轴承的工作温度范围从 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
带玻璃纤维增强的聚酰胺保持架的轴承适用的工作温度到 $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

密封轴承合适的工作温度范围为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

密封

后缀 2RS 表示轴承两侧带有唇式密封。RS 接触式密封用于防止灰尘、污染物和水蒸气的侵入。

润滑

密封轴承使用高质量润滑脂进行润滑，这些润滑脂能够满足轴承运转寿命周期内润滑的要求。

无密封的轴承或者仅一侧密封的轴承没有初装润滑脂。它们可以采用脂润滑或油润滑。

保持架

单列角接触球轴承有：

- 玻璃纤维增强尼龙窗式保持架
- 黄铜实体保持架
- 钢板窗式保持架

金属笼式保持架轴承满足 API 610 要求。

更多信息

- 产品目录 *medias*[®]
- 技术原理和尺寸表：参见 样本 HR 1：滚动轴承

双列角接触球轴承

特性

双列角接触球轴承是由实体内外圈，滚动体及尼龙（铜或钢）保持架，组成，图 1。双列角接触球轴承的结构类似于稍微变窄的一对 O 型布置的角接触球轴承。但不同之处在于接触角和套圈的设计。

由于沟道的几何尺寸及两列滚动体，轴承能够承受径向和轴向双向载荷，因此特别适合应用在泵上。

角接触球轴承的角度调节功能非常有限。



图 1
双列角接触球轴承

X-life

许多型号的角接触球轴承被定义为 X-life 系列产品。其它特殊要求产品可协商供货。

径向和轴向承载能力

双列角接触球轴承能够承受双向的轴向力和大的径向力。双列角接触球轴承特别适合于需要实现轴向刚性引导的轴承配置中。

轴向承载能力取决于接触角，即接触角越大，轴承所能承受的轴向载荷越大。

双列角接触球轴承的接触角有 25° 、 35° 和 45° ，然而 X-life 双列角接触球轴承的接触角是 30° 。

接触角 45° 的轴承带有双内圈。另外，更大的滚动体能够有效提高基本额定承载能力。黄铜保持架也能有效的改善轴承安全运行性能。

工作温度	双列角接触球轴承的极限工作温度与单列角接触球轴承的一致。
密封	双列角接触球轴承可使用唇密封 RSR 或 HRS。接触式密封用于防止灰尘、污染物和水蒸气的侵入。 双列角接触球轴承同样也可使用非接触式密封 Z。
润滑	密封轴承使用高质量润滑脂进行润滑，这些润滑脂能够满足轴承工作寿命周期内润滑的要求。
保持架	取决于设计，单列角接触球轴承有： <ul style="list-style-type: none"> ■ 玻璃纤维增强尼龙窗式保持架 ■ 黄铜保持架 ■ 弹性钢板保持架 金属钢板保持架轴承满足 API 610 要求。
更多信息	<ul style="list-style-type: none"> ■ TPI 213，双列圆锥滚子轴承，X-life 品质 ■ 产品目录 <i>medias</i>® ■ 技术原理和尺寸表：参见 样本 HR 1：滚动轴承

单列圆柱滚子轴承

特性

带保持架的单列圆柱滚子轴承包括实体内圈、外圈以及圆柱滚子和保持架组件。图 1 外圈两侧带有刚性挡边或没有挡边，内圈带有一个或两个刚性挡边或没有挡边。带保持架的轴承具有很高的刚性，可承受高径向载荷，与满装设计相比，适合于更高的转速。此类轴承可拆分，因此便于安装与拆卸。内、外圈可以分别安装并实现紧配合。带保持架的单列圆柱滚子轴承可用作非定位、半定位及定位轴承。

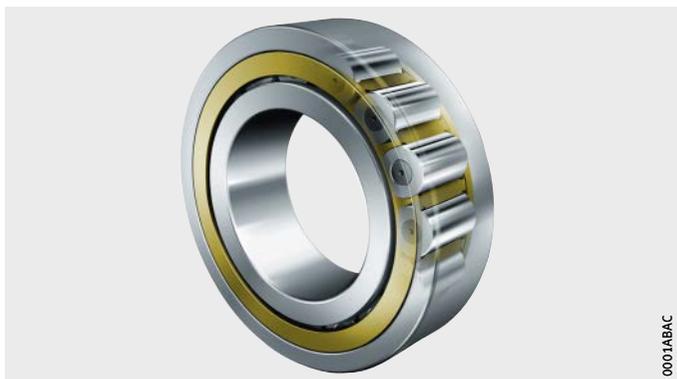


图 1
圆柱滚子轴承

X-life

许多尺寸段的单列圆柱滚子轴承都是 X-life 产品。其它种类可协商供货。

浮动轴承

圆柱滚子轴承 NU 型和 N 型是浮动轴承，只能承受径向力。NU 型轴承，外圈有两个挡边，内圈没有挡边。N 型轴承，内圈有两个挡边，外圈没有挡边。

轴向位移

内、外圈相对中心位置的轴向位移为“s”。

工作温度

带保持架的单列圆柱滚子轴承可用于工作温度 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ （塑料保持架）或 $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ （金属保持架）。如果连续工作温度超过 $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，请联系我们。

密封

轴承不带密封。

润滑

可以从端面进行脂润滑或油润滑。

保持架

圆柱滚子轴承有：

- 玻璃纤维增强尼龙实体保持架
- 黄铜实体保持架
- 窗式钢板保持架

更多信息

- 产品目录
- 技术原理和尺寸表：参见样本 HR 1，滚动轴承

四点接触球轴承

特性 四点接触球轴承为单列角接触球轴承，因此与双列角接触球轴承相比，大大降低了对轴向空间的要求，[图 1](#)。

轴承包含实体外圈、可分离内圈、球和保持架组件，保持架由黄铜或聚酰胺材料制成。双半内圈可以容纳尽量多的球。双半内圈是针对具体轴承匹配的，即使相同尺寸的轴承也不能与另一个轴承的双半内圈相互替换。带有球和保持架组件的外圈可以和双半内圈分开安装。

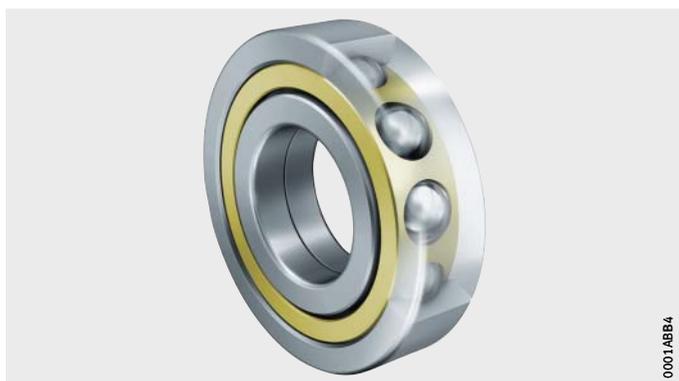


图 1
四点接触轴承

X-life

许多尺寸段的四点接触球轴承被定义为 X-life 系列产品。其它尺寸段可协商供货。

双向轴向承载能力

由于轴承的滚道带有高的挡边，接触角为 35° 和尽可能多的滚动体，四点接触球轴承的这种设计具有很高的双向轴向承载能力。

工作温度

带黄铜保持架的四点接触球轴承适用的工作温度范围为 -30°C 到 $+150^\circ\text{C}$ 。

带玻璃纤维增强尼龙保持架的轴承最高工作温度不超过 $+120^\circ\text{C}$ 。

密封

四点接触球轴承为开式设计。

润滑

它们没有初装润滑剂，可以采用脂润滑或油润滑。

保持架

四点接触球轴承有如下种类的保持架：

- 黄铜实体窗式保持架
- 增强型玻璃纤维尼龙窗式保持架

更多信息

- 产品目录 *medias*[®]
- 技术原理和尺寸表：参见样本 HR 1，滚动轴承

调心球轴承

特性 调心球轴承是双列的自保持单元，包括具有凹形球面滚道的外圈，圆柱形或圆锥形内孔的内圈以及球和保持架组件。轴承分为开式和密封式设计，图 1。



图 1
调心球轴承

径向和轴向承载能力 调心球轴承可以承受双向轴向载荷及径向载荷。

角度不对中补偿 在正常工况条件下且内圈旋转，调心球轴承能够略微倾覆转动。在内圈旋转的正常工况下，调心球轴承相对其中心的最大调心角可达 4° ；密封型轴承最大可达 1.5° 。因此，允许内、外圈之间有相对歪斜，从而补偿不对中，轴的挠曲及轴承座的变形。如果是外圈旋转或内圈有倾覆运动的情况，则其调心能力会降低。在这种情况下，请与我们联系。

工作温度 带黄铜保持架的开式轴承的工作温度可以从 -30°C 到 $+150^\circ\text{C}$ 。带玻璃纤维增强尼龙保持架的轴承最高工作温度不超过 $+120^\circ\text{C}$ 。受润滑脂和密封材料限制，密封式调心球轴承的工作温度范围为 -30°C 到 $+100^\circ\text{C}$ 。

密封 密封轴承两端有接触式密封。

润滑 密封轴承使用高质量润滑脂进行润滑，是免维护的。

保持架 调心球轴承有：
■ 玻璃纤维增强尼龙实体保持架
■ 黄铜实体保持架

更多信息 ■ 产品目录
■ 技术原理和尺寸表参见样本 HR 1：滚动轴承

调心滚子轴承

特性

调心滚子轴承是双列不可分离轴承，由具有凹形球面滚道的实体外圈、实体内圈和带保持架的鼓形滚子组成。内圈有圆柱孔或圆锥孔，图 1。

对称的鼓形滚子可以在外圈球面滚道里自由定位。因此，可以很好地补偿轴的挠曲以及轴承基座产生的不对中。



图 1
调心滚子轴承

X-life

许多尺寸段的调心滚子轴承都是 X-life 产品。其它尺寸段可协商供货。

径向和轴向承载能力

调心滚子轴承可以承受双向轴向力和大的径向力。它们为高承载能力而设计，因为它们拥有尽可能多而且长的鼓形滚子，调心滚子轴承可用于载荷最大的场合。

角度不对中补偿

调心滚子轴承可以补偿角度不对中。允许的调心角对应的载荷条件为 $P < 0.1 \cdot C_r$ 。

这些调心角是允许的，如果满足以下条件：

- 恒定的倾斜角度（静态角度不对中）
- 内圈为旋转部件

工作温度

带有金属保持架的调心滚子轴承适用的工作温度范围从 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

带玻璃纤维增强型聚酰胺保持架的轴承适用的工作温度最高达 $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

密封

密封轴承和填充油脂的轴承可协议供货。

润滑

开式调心滚子轴承可以油润滑或脂润滑。

保持架

调心滚子轴承有：

- 实体铜保持架或玻璃纤维增强尼龙实体保持架
- 钢板保持架或铜保持架

更多信息

- TPI 218，密封调心滚子轴承
- 产品目录 *medias*[®]
- 技术原理和尺寸表参见 样本 HR 1，滚动轴承

圆锥滚子轴承

特性 圆锥滚子轴承由具有锥形滚道的实体内、外圈和采用窗式保持架的圆锥滚子组件组成，[图 1](#)。
圆锥滚子轴承有标准轴承，也有配对的开式轴承，还有整体式的单边带密封唇的 JKOS。
开式轴承是可分离轴承。因此，带有滚子和保持架的内圈可以和外圈分开安装。



[图 1](#)
圆锥滚子轴承

X-life 许多尺寸段的圆锥滚子轴承都是 X-life 产品。其它尺寸段可协商供货。

径向和轴向承载能力 圆锥滚子轴承可以承受单向的轴向载荷和很高的径向负载。通常两个圆锥滚子轴承采用轴向对称布置，镜像安装配对使用。

角度不对中补偿 圆锥滚子和内外圈滚道间改进的接触线优化了接触点处的应力分布，防止产生边缘应力并允许轴承不对中补偿。

工作温度 开式圆锥滚子轴承适用的工作温度范围为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。受润滑脂和密封圈材料限制，带唇式密封的轴承适用工作温度范围为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

密封 标准设计和配对的标准圆锥滚子轴承是非密封的。整体式圆锥滚子轴承 JKOS 在一侧有唇式密封。

润滑 标准设计和配对的圆锥滚子轴承可以采用油或脂润滑。整体式圆锥滚子轴承 JKOS 填充有高质量润滑脂。

保持架 圆锥滚子轴承有：
■ 钢板保持架（开式圆锥滚子轴承）
■ 玻璃纤维增强塑料保持架（整体式圆锥滚子轴承 JKOS）

更多信息 ■ 产品目录 *medias*[®]
■ 技术原理和尺寸表参见 样本 HR 1，滚动轴承



创新的产品

串联角接触球轴承
介质润滑轴承
滚动轴承的涂层
机电一体化和传感器

串联角接触球轴承

特性

串联角接触球轴承是双列角接触球轴承，根据所选的接触角，节圆直径及球的大小可以将双列球配置成不同的组合方式，[图 1](#)。这些轴承是按照特殊的应用条件而设计，以便获得低的摩擦，优化载荷在轴承内部的分布，并且具有很高的刚性。一般情况下，外圈和内圈可以分别安装，安装后与球和保持架一起组成一个轴承单元。



[图 1](#)
串联角接触球轴承

实践经验证明串联角接触球轴承具有非常好的摩擦性能。串联角接触球轴承已经在各种应用场合使用，其效率有了非常明显的提高。

大型流体泵采用 Schaeffler 串联角接触球轴承，代表着效率最优化的设计。

径向和轴向承载能力

角接触球轴承能够承受轴向和径向载荷。由于采用串联角接触球轴承的设计，滚子和挡边之间的接触平滑，无预载造成的能量损失。

润滑

少量的油便足以润滑滚道。

更多信息

■ 如需了解更多有关串联角接触球轴承的信息，请联系舍弗勒各办事处销售工程师或应用技术部

介质润滑轴承

特性

在典型的流体泵应用中，轴承和输送介质是通过密封系统隔开的。密封技术的失效属于流体泵失效的主要原因之一。被输送的流体穿过轴承的密封系统，污染物进入轴承，降低了润滑剂的润滑性能甚至将润滑剂冲走，导致轴承损坏。

市场对介质润滑轴承的需求正日益增加。流体泵输送的介质主要有水，酸，碱，安息油；这些流体中有时会含有固体。

所以，介质润滑滚动轴承面临着许多挑战，*图 1*。例如，在腐蚀环境下工作的轴承不但要耐腐蚀，而且要能够承受过度碾压。此外，滚动轴承必须具有更好的抗磨损能力以及轴承零件之间的接触点不容易粘附。



图 1
滚动轴承的挑战

介质润滑的先决条件是轴承各零部件的材料对相关介质具有持续的抗腐蚀性。使用开式轴承，必须考虑在运行期间轴承材料对周围的介质有足够的抗腐蚀性。此外，轴承材料必须有足够的硬度和韧性才能适应介质带入到接触面的颗粒。所以，轴承套圈材料不但要具有抗碾压的能力，而且要耐介质腐蚀，耐磨和耐介质中的颗粒碾压的性能。综合这些性能特征，才能选出合适的轴承套圈材料。

介质润滑轴承

保持架也是重要的零件。它必须与介质兼容，即不会因为介质的影响而膨胀，发脆或腐蚀。在许多情况下，只有特殊材料，如高性能塑料 PAI、PI、PEEK 或奥氏体钢才能满足这种综合要求。除保持架使用高性能的材料以外，使用陶瓷滚动体和优化的轴承内部设计才能使轴承具有足够的性能。综合解决方案的另一个要素是涂层，可以防止打滑和耐腐蚀。然而，覆盖在滚道上的涂层综合性能要求非常高，因此，对应于单个解决方案的专用涂层的开发仍具有发展潜力。

对额定寿命的影响

随着润滑介质的变化，油或油脂变为环境介质，在没有润滑作用的情况下，典型的疲劳寿命理论便不再适用。与疲劳寿命相比，工作寿命更为重要。工作寿命不但取决于转速，接触应力和材料的疲劳强度等参数，磨损（粘着磨损和磨腐），高温运行和腐蚀也是工作寿命的关键因素。例如，在水中运转的滚动轴承，其寿命主要受磨损和腐蚀的影响。此外，相互接触的轴承零件也会受到机械的和化学的作用而产生疲劳失效。

摩擦机理和典型的磨损特征

摩擦机理	磨损机理	磨损特征的类型
磨损（裂缝）	磨损	刻痕，刮擦，锈迹
粘合	粘合	微动腐蚀，热裂，材料转移，锈迹
变形 (弹性滞后和阻尼)	变形	凹口，刻痕，波纹，刮痕
	表面疲劳	腐蚀斑，恢斑（大量的小块），块状体
摩擦化学反应	摩擦化学反应	反应层，摩擦马氏体

技术应用领域

介质润滑滚动轴承可应用于工业，石油化学制品，饮用自来水，污水处理，排水系统，再生能源和建筑等领域。

更多信息

- 其它有关介质兼容性的材料信息可以参考样本 TPI 64，耐腐蚀产品
- 如果要浏览滚动轴承的材料，包括材料对介质润滑的适应性，可以参考样本 TPI 226，滚动轴承材料技术
- 如果需要合作开发新产品或签订协议，请联系舍弗勒各办事处销售工程师或应用技术部

滚动轴承的涂层

特性

Schaeffler 轴承和精密零件具有良好的性能很长的工作寿命，可以为用户的各种需求提供全面的研发和经济的解决方案。然而，工况条件有时会超出标准设计的限制。对于这类工况，我们有广泛的涂层应用技术解决方案，可以提高轴承零件的工作寿命。

涂层覆盖在轴承零件的表面，不会在基体材料中发生热化学扩散。Schaeffler 的涂层种类很多。涂层有很多的使用方法，不同的方法有不同的优点。带涂层的轴承应该与相应的安装特征相匹配。在许多情况下，只要给滚动接触的某一个零件，或某个零件的某一部分加涂层就足够了。

涂层可以使滚动轴承或滑动轴承性能大大增强。在极端条件下或特殊条件下，只有带涂层的滚动轴承才能使用，图 1。

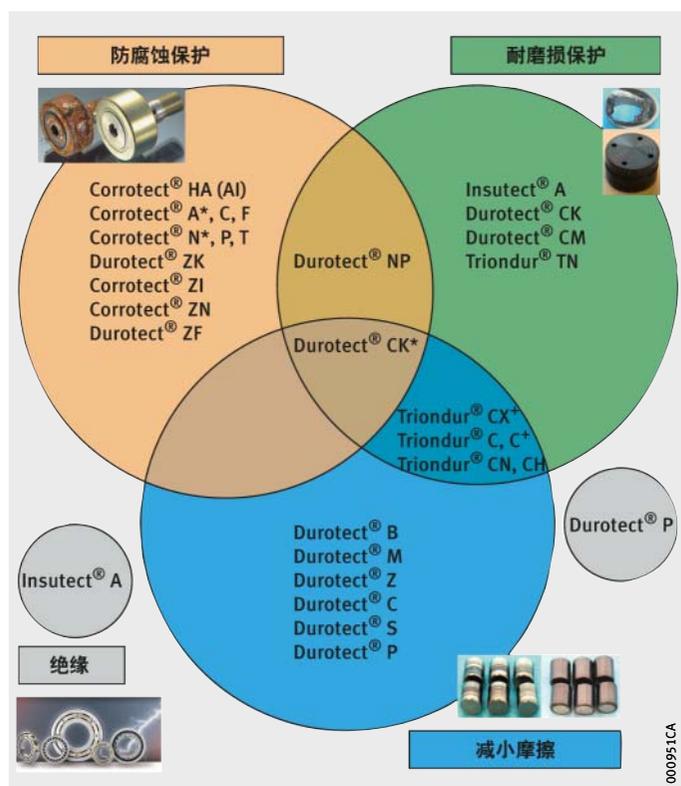


图 1
涂层

滚动轴承的涂层

涂层有如下用途：

- 有电流的场合确保绝缘
- 减小摩擦（能量效率）
- 提高防腐蚀的能力
- 干摩擦运行条件下减小磨损

根据特殊情况，舍弗勒可提供带涂层的产品。例如，使用 Triondur 涂层的滚动轴承可以大大减小摩擦。为了满足日益增长的需求，我们的表面技术中心正在不断研发新的涂层和合适的试验验证方法。目前，我们有 40 多种不同的表面涂层技术。

更多信息

- TPI 67，特殊涂层 Corrotect
- TPI 133，特殊涂层
- TPI 186，通过使用涂层获得更高的性能
- TPI 206，绝缘轴承
- PEC，提高电机效率
- 如果需要合作开发新产品或签订协议，请联系舍弗勒各办事处销售工程师或应用技术部

机电一体化和传感器

特性

机电一体化在轴承方案创新研发方面正变得越来越重要。通过使用附加的功能，机电一体化使机械生产效率，成本效率和可靠性都得以提高。由于新开发的滚动轴承集成了传感器，可以测量速度，转向，温度和载荷，还有集成电源或配套电源，Schaeffler 可以和客户合作研发新的流体泵解决方案。

监控系统

激烈的竞争带来了成本压力并迫使企业降低维护成本。因此，避免计划外停机，使机器的寿命最长是极其重要的。特殊的状态监测系统，可以较早的探测设备损伤情况。因此，可以根据预测的时间更换轴承，防止非计划停机。

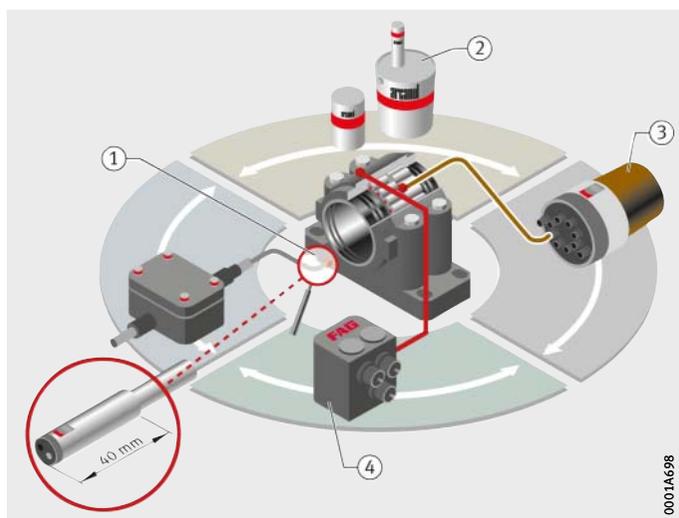
可选用的检测系统有：

- FAG SmartCheck
- FAG DTECT X1_s
- FAG GreaseCheck

通过 FAG 产品，如 FAG CONCEPT8，FAG DTECT X1_s，FAG GreaseCheck 和 FAG SmartCheck 的联网，网络系统可进行连续监测，图 1。

- ① FAG GreaseCheck
- ② 动轴承润滑脂 Arcanol
- ③ FAG CONCEPT8
- ④ FAG SmartCheck

图 1
监控系统



机电一体化和传感器

FAG SmartCheck

FAG SmartCheck 是一个低成本的、技术创新可灵活使用的在线测量系统，该系统对分散的机械及其过程参数进行持续的监测，图 2。它具有昂贵系统的性能特征，但设计结构紧凑，易于安装且使用简单。该系统可以在标准基础上进行扩展，因此，适用于需要有变化的场合。

FAG SmartCheck 有以下优点：

- 增加设备在工厂的适用性
- 适时维护
- 有利于降低客户的总成本
- 机器和工艺参数的相互关系



图 2
FAG SmartCheck

FAG SmartCheck 一经售出便可马上投入使用。集成的特征使它具有通用，可靠的监测性能。

要进行更精确的监测，可选择储存于监测设备，专用于泵类设备的模板部件并将相关参数通过模板部件输入即可。

该装置有一个包含 FAG 和 INA 标准轴承数据的滚动轴承总数据库。用户还可以在任何时候将其它滚动轴承的数据加到该数据库。

因此，生成的特征值可以对泵进行精确的监测。

FAG DTECT X1_s 是机械设备行业和生产工厂中对旋转式零部件进行监测的灵活的在线监测系统，图 3。

此系统对可能造成的损坏进行早期的可靠的检测，从而减少了可造成巨大损失的计划外停机。这就减少了产线停机的风险，提高了工厂设备的利用率。

FAG DTECT X1_s 的优点是：

- 通过振动诊断保护机器可靠运行
- 结构紧凑，节省空间
- 适用于恶劣的环境条件（-20 °C 到 +70 °C）
- 由于测量渠道众多，可以执行多种监控任务
- 通过各种过程参数的组合增强监控的可靠性
- 多种交互界面和连接接口
- 通过停机保护增加了设备运行的安全性
- 由于使用标准化的连接系统，安装简单且灵活



图 3
FAG DTECT X1_s

0001A376

机电一体化和传感器

FAG GreaseCheck

很多滚动轴承都采用脂润滑。油脂在接触表面形成足够承载的油膜，可以防止轴承磨损及早期疲劳失效。所以，对滚动轴承油脂工况条件的可靠了解是非常重要的。大约四分之三的滚动轴承失效与润滑有关，如：缺油，污染或油脂老化。

为了防止因油脂老化而导致滚动轴承失效，可以计算油脂的工作寿命，参见样本 HR 1，滚动轴承。

为了防止因滚动轴承损坏而导致机器损坏，并因此造成昂贵的工厂停机损失，一般来说，油脂需要在工作寿命远没有结束之前加以更换，并以此作为机器维护保养的一部分。因此，人们往往会因为错误的安全意识而导致过润滑，并对轴承的功能和工作寿命产生负面影响。

FAG GreaseCheck 的润滑剂感应器可以分析运行中的滚动轴承内部的油脂状况，图 4。这个感应器能够在油脂远未失效前检测轴承内油脂的变化状态。因此，更换油脂可以在接近需要时进行。

可能带来的好处有：

- 减少与润滑相关的运行故障就可以减少停机的时间
- 润滑剂成本减少
- 维护更换零件的成本减少
- 提高生产效率，降低工厂运行成本



图 4
FAG GreaseCheck

更多信息

- TPI 214, FAG SmartCheck 或 www.FAG-SmartCheck.com
- TPI 170, FAG DTECT X1_g
- SSD 21, 滚动轴承油脂的状态监测 (FAG GreaseCheck)



FAG



服务

技术建议

使用 BEARINX 计算

失效分析

Schaeffler Industrial Aftermarket

使用 BEARINX 计算

特性

BEARINX 是滚动轴承计算的主要软件之一。它可以对单个轴承、复杂的轴系和直线导轨系统的滚动轴承进行详细的分析。整个计算过程采用完善的计算模型进行。即使是复杂的应用工况，也可计算出轴承每个滚动体上的接触应力。

BEARINX 计算考虑了下列因素：

- 轴承的非线性弹性形变
- 轴和轴承座的弹性
- 轴承的配合、温度，转速对轴承的工作游隙或预载以及接触角的影响
- 滚子和滚道轮廓以及滚道接触的密合度
- 对球轴承而言，接触角的位移会带来附加载荷
- 实际的接触应力考虑了滚动体的修形和不对中
- 润滑条件、污染和实际接触应力对轴承疲劳寿命的影响

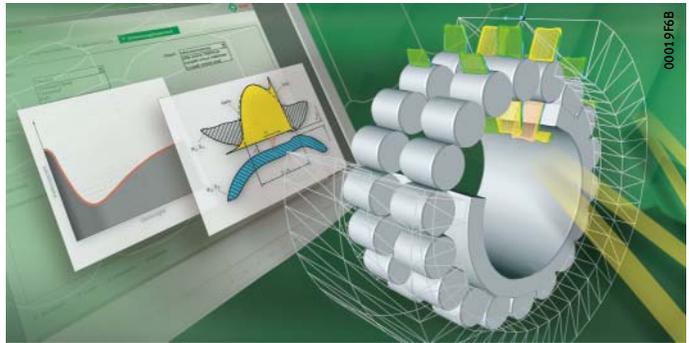


图 1
BEARINX

借助于显而易见的计算结果以及轴坐标的曲线图和轴承内部载荷分布图，可对设计变量进行辅助分析。在线指南和详细的帮助系统，可以很容易充分利用 BEARINX-online 的潜在功能进行轴系统计算。

DIN 26281 利用计算机辅助计算方法和相应的高端技术进行疲劳寿命统一计算。这一计算方法当然也包含在在线版里面。

BEARINX-online 轴系统计算 – 客户版

普通有效的计算工具一般使用简化的计算方法。在这种情况下，由于轴变形和各种不同类型的轴承产生的不同变形特性导致的不对中，大部分被忽略了。一般来说，决定轴承疲劳寿命的轴承内部载荷分布是通过粗略的计算方法来确定的。

使用 BEARINX 计算

可以利用 BEARINX-online 来确定考虑了轴变形和滚动轴承变形特性的实际载荷，图 2。当然，还可以进行轴承内部载荷分布的精确计算，包括考虑到滚动体修形的实际接触应力。

BEARINX-online 的轴运算法则与 Schaeffler BEARINX 的运算法则是完全相同的。BEARINX-online 轴系统计算使单个轴系统的数个支撑点的轴承计算更方便。数据输入可通过 Java 辅助用户界面提供支持。数据检查可以通过设计图表辅助进行。

集成的数据库使得 Schaeffler 样本轴承的几何尺寸和数据检索更加方便。实际计算是通过强大的 Schaeffler 计算服务器进行的。BEARINX-online 创建的轴系统计算输入文件和 BEARINX 是兼容的。因此，与舍弗勒工程师进一步沟通就会更容易且避免工作重复。



图 2
轴计算

该软件不会提供从 Schaeffler 到客户之间的间接计算服务和专业技术建议。恰恰相反：通过这种方式，Schaeffler 希望与客户合作更加密切。其目的是在客户设计阶段的早期对轴承进行初步选型，以便减少客户的研发时间。

BEARINX-online 轴系统计算 – 纵览：

- 考虑所有相关的影响，轴承工作时的刚性计算
- 轴变形（轴的挠度变形和倾斜变形）图像化显示
- 相关轴系统轴承的刚性和弹性调节
- 与 DIN 26281 一致的疲劳寿命计算
- 通过智能的集成建立简单的轴系统模型

BEARINX-online Easy Friction – 客户版

BEARINX-online 模型 Easy Friction 可用于详细确定 Schaeffler 滚动轴承的摩擦力。该模型考虑了滚动轴承的内部载荷分布和滚道与挡边上的接触压力以及滚动体修形。新的模型是基于利用物理运算法则的摩擦计算理论并且通过大量的实验数据确认而得。轴承的额定寿命计算与 ISO/TS 16281 一致。

运算法则中的 BEARINX-online, Easy Friction, 特别考虑了下列参数：

- 滚动和滑动接触能量损失
- 非承载区的能量损失
- 润滑油飞溅能量损失
- 密封摩擦

由于 Schaeffler 完全包含在母软件 BEARINX 以内，因此，其它典型的影响因素都已经考虑在内：

- 径向和轴向载荷
- 轴承套圈的倾斜
- 润滑剂（粘度等级）
- 温度
- 轴承内部几何精度
- 轴承游隙
- 轴承零件修形
- 挡边几何形状

由于轴承是可以交换的，不同的轴承布局的计算结果可以很容易且快速进行比较。这就使获得一个高效且摩擦力优化的轴承布局成为可能。所有数据都可以在本地储存。所以，对于某个已有的案例不需要对数据进行重复输入直接进行快速修改。此外，储存的文件可以和 Schaeffler 技术服务部交换以便获得优化的轴承布局设计。

最重要的结果可以直接显示在窗口屏幕上。除此以外，输入的数据和计算结果可以打印成 PDF 文档。

计算软件只在在线格式上有效。

更多信息

- www.schaeffler.cn
- 参见 PBO BEARINX-online, 轴计算
- 参见 PBR BEARINX-online, Easy Friction

失效分析

特性 滚动轴承是泵类零件中与高可靠性及长寿命相关的最重要的零部件之一。如果工作时间太长，滚动轴承会因为材料疲劳，磨损，热应力或润滑条件的改变而损坏，从而导致提前失效。

轴承损坏的根本原因 大多数情况下，轴承的损坏是由下列原因造成的：

- 由于颗粒或不好的流体造成的清洁度不足
- 工作温度过高或温差过大
- 安装不正确
- 冲击载荷及振动
- 材料疲劳
- 电流腐蚀
- 轴承在轴或轴承座上的位置不正确
- 载荷太大或太小

轴承损坏的类型 流体泵轴承的损坏包含以下内容：

- 金属表面或表面以下疲劳
- 磨损（表面磨损，粘着磨损）
- 由于湿度或摩擦腐蚀造成的腐蚀（微动腐蚀，假性布氏压痕）
- 由于涡流电流或直流电流造成的电流腐蚀
- 由于过载或凹口（由于颗粒或安装错误造成的凹口）造成的塑性变形
- 断裂破碎（力作用断裂，疲劳断裂）或热裂。

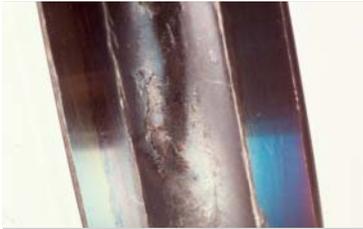
为了弄清楚轴承损坏的原因，仅仅对轴承进行分析评估是不够的。对轴承邻近的零件，润滑，密封以及轴承的工作环境和条件进行进一步分析是必要的。通过常规检查有助于弄清轴承损坏的原因。

以失效分析结果为基础，相关技术部门可以采取补救措施。

由于污染或电流腐蚀造成的轴承失效

污染	电流腐蚀
	
原因：	
来自污染工作区域的空气，工作人员的手或工具，润滑剂的异物或清洗溶液里含有灰尘，污染物或有腐蚀作用的物质	连续的交流电或直流电，即便是小电流也会产生蚀刻痕迹
补救措施	
对润滑剂进行过滤，清洗工作区域，只有在安装时才打开轴承的原始包装。在工作环境有污染的情况下，应该考虑轴承密封	防止电流通过轴承（接地，绝缘）使用绝缘轴承

由于润滑剂或材料疲劳失效造成的轴承损坏

润滑剂失效	材料疲劳
	
原因：	
润滑剂流动阻塞或温度过高，导致润滑剂老化	过载，预载过大，内圈配合太紧，轴承工作时间超过了计算的疲劳寿命
补救措施	
使用适当，适量的润滑剂，防止油脂损失并选用适当的再润滑周期，采用正确的轴承座维护和预载检查以便降低轴承温度	替换轴承或在设计上进行修改获得更长的计算疲劳寿命

Schaeffler Industrial Aftermarket

特性

业务部门 Schaeffler Industrial Aftermarket (IAM) 负责终端客户及所有重要行业内的零部件更换与服务。基于创新的解决方案、产品与服务，以及智能实现总体拥有成本 (TCO) 的理念，提供覆盖轴承生命周期整个阶段的全面服务。其目的是帮助客户降低维护成本，提高设备利用率，避免计划外停机，图 1。



图 1
Schaeffler Industrial Aftermarket

维修和质保部门的职能范围可以从安装到工厂设备监测，延伸到设备维护预防措施的说明和实施。

全面的安装和校准工具，测量工具以及润滑剂，另外还有为客户提供的培训教程，这些使维护工作更容易，工作效率更高。舍弗勒拥有经验丰富和卓越的专家团队，为保证滚动轴承寿命提供解决方案，我们以客户为导向，是客户强有力的合作伙伴。

工业服务专家们拥有世界级的技术水平，可以提供世界范围的技术支持，如：通过英特网或 GSM 进行远距离诊断。凡是需要有人介入的地方，都能找到卓越的技术人才或工程师提供技术支持。设备可靠性最高水准是通过技术服务合同来实现的。为客户提供量身定制的服务。

更多信息 ■ 样本 IS 1，滚动轴承的安装和维护 – 产品，服务，培训



FAG



应用举例

潜水泵
标准化工泵
双吸泵

潜水泵

引言 潜水泵是一种即可移动，也可固定安装的离心式水泵。它们的流量很大但扬程小。

其应用领域主要是用于水或污水的清除或运输，如建筑污水的排放或从河道和容器中抽水。

潜水泵与离心泵的不同之处在于其基本设计是立式的，主轴垂直安装，驱动电机与主轴直接相连（部件结构），图 1。



图 1
潜水泵
© Flygt Xylem

技术要求 潜水泵轴承所受的力不但取决于泵的运行，而且取决于它的设计。在运行过程中，轴承载荷不但来自于水压，污水中的颗粒也会产生轻微的冲击。

由于设计结构的原因，垂直放置的轴以及安装在轴上的电机会产生轴向力。这种组合单元的转速一般可以高达 $3\,600\text{ min}^{-1}$ 。

设计方案

为了获得一个高效，可靠且免维护的轴承布局系统，一般会采用承载力很强，密封且终生润滑的固定 / 浮动端轴承布局。

在上述案例中，固定端设置在下端，为双列角接触球轴承。轴承的制造公差小，确保叶轮转动时精确导向，其尺寸间隙小，因此减小压力损失。角接触球轴承的接触角较大，非常适合承受轴向载荷。

浮动端采用的也是双列角接触球轴承，只是轴向没有固定。由于没有轴向固定，当轴热膨胀时，轴承便可很方便地轴向移动。

在较小的泵里，这类轴承是密封的，终生润滑，对于较大的泵，轴承必须有再润滑装置。由于轴是垂直放置的，一般来说，油润滑是不可能的。

使用的产品

用于潜水泵的轴承有：

- 单列深沟球轴承
- 单列和双列角接触球轴承
- 圆柱滚子轴承

除了这些滚动轴承以外，某些特殊方案还有可能用到与特殊需求相匹配的轴承。这种情况下，请联系舍弗勒应用技术部的技术专家。

标准化工泵

引言 “标准化工泵”这个名字不是指输送的流体，而是指按照 ISO 2858 的尺寸标准和功率标准生产的泵。然而，标准化工泵在很多情况下还要同时满足其它标准，如：ISO 5199 (EN 25199)。由于这些技术参数一样，不同制造商生产的泵可以在现有的管道系统内进行更换和安装。

其应用领域之广不但涵盖了化学工业和石油化工行业，也应用于食品工业。因此，所输送的流体种类很多，在某些情况下，流体的特征差异很大。单级，单吸离心泵的结构，图 1。



图 1
标准化工泵
© NKG
格兰富水泵工作图

技术要求

这些化工泵的标准导致市场对泵的功率和大小在功能上有不同的需求和限制。标准技术条件也会影响轴承的定位，如 ISO 2858 指定了轴端直径，因此，功率最小轴承直径也随之确定。

除了工作载荷以外，一般没有冲击或类似现象发生。标准化工泵的工作转速最大可到 $3\,600\text{ min}^{-1}$ 。然而，通过变频器换档也可以获得与流量匹配的转速。

设计方案

与潜水泵一样，标准化工泵一般用的是固定 / 浮动端轴承布局。浮动端的径向载荷可由轴向不固定的深沟球轴承承担。大多数情况下，浮动端用的是 NU 型圆柱滚子轴承，其内圈没有挡边，以确保轴向移动方便。其余径向力和附加的轴向力都由固定端的定位轴承承担。

这种固定端可以通过双列或，第 56 页，*图 1*，显示的配对单列角接触球轴承进行配置。除这种轴承布局以外，也可以考虑用两个深沟球轴承做浮动端等特殊方案。一般来说，这种布局更经济，但轴的导向精度较差。

轴承的润滑可以采用油润滑或脂润滑。

使用的产品

用于标准化工泵的轴承有：

- 单列深沟球轴承
- 单列和双列角接触球轴承
- 圆柱滚子轴承

除这些轴承以外，也可以选用其它方案，如：圆锥滚子轴承或调心滚子轴承用于重载和高扭矩。这些布局是与相关的需求相匹配，是专为特殊的案例设计的。这种情况下，请联系 Schaeffler 应用技术部的技术专家。

双吸泵

引言 双吸泵有两个叶轮，背靠背设计。这种对称布局改善了泵的吸水性能，*图 1*。由于两个叶轮并联排列，扬程不变，但流量增加一倍。

与单吸泵相比，双吸泵工作时压差要小得多。这种设计可用于自来水管路系统，冷却水供应以及区域热循环或消防系统。

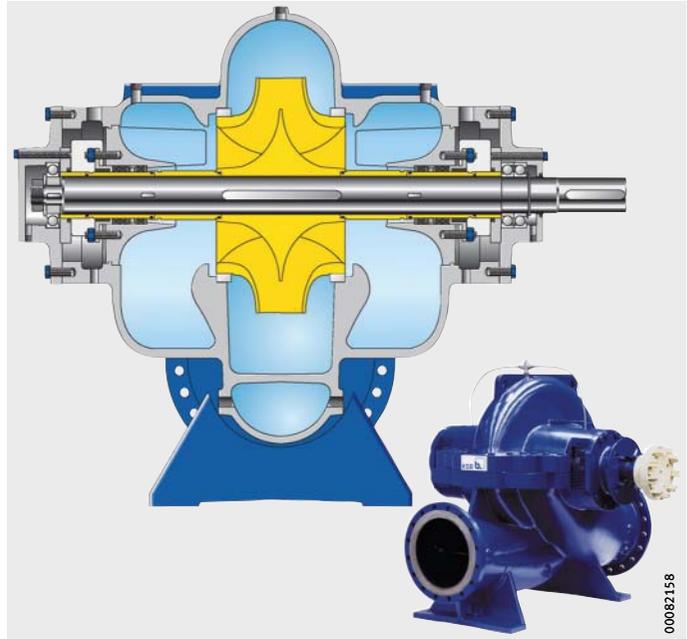


图 1
涡壳泵及其横截面
© KSB Aktiengesellschaft RDLO

技术要求 由于叶轮对称设计，其轴向力几乎完全相互抵消。叶轮的重量越大，会导致轴的挠度变形越大，特别是大型泵更加显著。使用图中案例显示的双涡壳泵可以确保减小轴的挠度变形和径向载荷。如果设备安装正确，水泵可以均匀地，无冲击运转。

设计方案

与潜水泵和标准化工泵的悬臂轴承布局相比，双吸泵的叶轮一般定位在两个轴承之间。

因此，所产生的径向载荷均匀地分布在相关轴承上。由于叶轮对称布置，轴向力几乎为零。适合双吸泵的轴承布局是定位轴承和非定位轴承的组合。

由于轴向力很小，定位轴承可以安装在驱动端，也可以安装在泵的一端。

如果载荷较小，两端都可以用单列深沟球轴承。为了使非固定端便于移动，这一端的轴承不能轴向固定。载荷很大的场合，可以使用单列或双列角接触球轴承作为固定端。两端的轴承都可以采用油润滑或脂润滑。

使用的产品

用于双吸泵的轴承有：

- 单列深沟球轴承
- 单列和双列角接触球轴承

除这些滚动轴承以外，还可选用其它轴承方案，如：对于大型水泵，为了便于安装，可以使用剖分式轴承。这些布局是与相关的需求相匹配，是专为特殊的案例设计的。这种情况下，请联系舍弗勒应用技术部的技术专家。

注释

舍弗勒贸易 (上海) 有限公司

上海嘉定区安亭镇安拓路 1 号

邮编 201804

中国

电话: +86 21 3957 6500

传真: +86 21 3957 6600

为保证资料的正确性, 书中每部分都经过了仔细的审核。但本公司不对任何不正确或不完整的数据承担责任。我们保留做技术修改的权利。

© Schaeffler Technologies AG & Co. KG

版本: 2016 年 01 月

没有本公司的正式授权, 严禁复制本书或其部分内容。

TPI 223 CN-CN