

轧机轴承技术及应用

洛阳轴研科技股份有限公司 赵广炎

概述

在轧机工作过程中，轴承处于非常恶劣的工作环境，往往要抵御重载、冲击、高温、水和灰尘的影响，这些极端工况对轧机轴承的质量、可靠性和寿命有着非常高的要求。ZYS 轧机轴承产品应用于工作辊、支撑辊以及开卷机、卷取机、输送滚道等辅助设备，我们能够为用户提供轧机轴承的全套解决方案，保证轧机连续、可靠地运转。

我公司在轧机轴承的设计、选型和安装、维护等方面拥有丰富的专业知识和经验，从设计阶段就开始同用户密切合作，为用户提供快速、专业的服务，最大限度地提高轧机性能。随着我公司轧机轴承设计、制造、检测及应用技术的不断发展，ZYS 轧机轴承水平不断提高，为用户服务的能力也不断提升。

轧辊轴承

轧辊轴承是轧机轴承中最主要的部分，其质量直接影响轧机的性能。常用的轧辊轴承配置形式有四列圆柱滚子轴承+止推轴承（如

图 1 所示）、四列圆锥滚子轴承（如 图 2 所示）以及用于压下机构的满装推力圆锥滚子轴承（如图 3 所示）和用于森基米尔式多辊轧机的背衬轴承（如 图 4 所示）等。

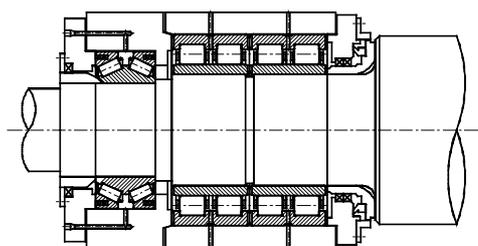


图 1 四列圆柱滚子轴承+止推轴承

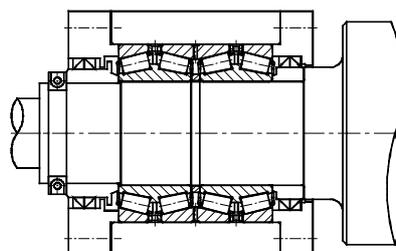


图 2 四列圆锥滚子轴承

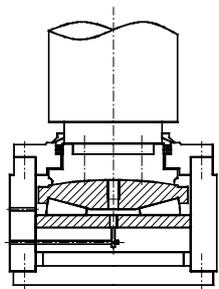


图 3 满装推力圆锥滚子轴承

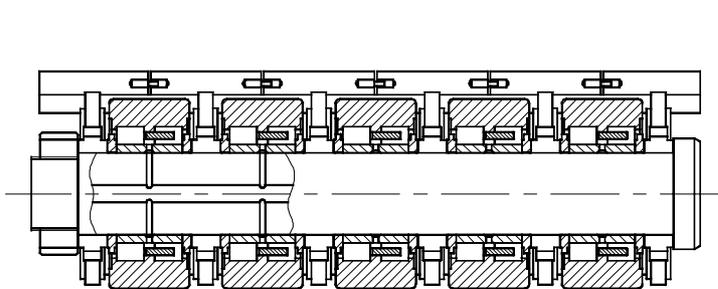


图 4 背衬轴承

四列圆柱滚子轴承

四列圆柱滚子轴承多用于线材轧钢机、型材轧钢机、开坯机的轧辊以及冷轧、热轧的支撑辊。如图 5 所示，这种型式的轴承外圈带有挡边或活动挡圈，内圈可以是一体的也可以是由 2 个内圈组合，外圈组件（即轴承外圈、滚子和保持架的组合）和内圈可以分离，该类轴承能够承受很大的径向载荷，不能承受轴向载荷。

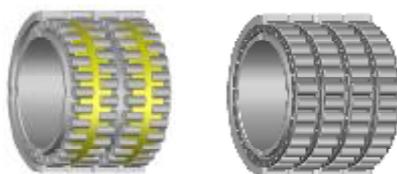


图 5 四列圆柱滚子轴承

结构形式

该类轴承内部结构一般分为三种，即“FC”型、“FCD”型和“FCDP型”。如图 6 所示，FC 型的结构包含 2 个外圈和 1 个内圈，尺寸较小（轴承宽度不大于 400mm）的四列圆柱滚子轴承多采用该类结构；FCD 型的结构与 FC 型类似，但有 2 个内圈，用于宽度较大的四列圆柱滚子轴承；FCDP 型的结构包含 2 个外圈和 2 个内圈，其中外圈的挡边是可分离的，该结构多用于轴承内径大于 400mm 的四列

圆柱滚子轴承。

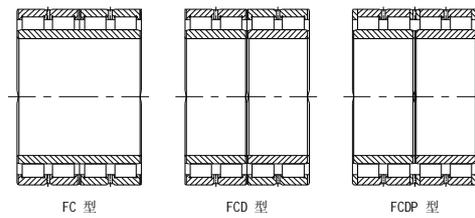


图 6 四列圆柱滚子轴承结构形式

其保持架结构一般采用车制实体保持架（如图 7(a)所示），该型式保持架结构简单，加工容易，多采用黄铜材料；对于尺寸较大（内径大于 400mm）的四列圆柱滚子轴承，一般采用支柱焊接保持架的结构形式（如图 7(b)所示），滚子中心轴向钻孔，穿入支柱，支柱一端通过螺纹联接一片保持架，另一端与保持架片焊接在一起，该型式保持架多采用碳钢材料，能够装入更多的滚子，从而提高轴承的额定承载能力。

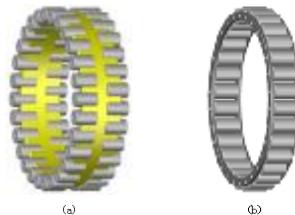


图 7 四列圆柱滚子轴承保持架结构型式

特殊设计

由于四列圆柱滚子轴承的内圈与轴承外组件是可分离的，因此在内圈的滚道表面留出一定的修磨量，内圈装上轧辊后与轧辊一同磨削，能够获得更好的径向跳动精度，对于有色金属轧机或精度要求较高的薄板轧机，通常采用内圈带修磨量的四列圆柱滚子轴承。

对于采用油雾润滑的支撑辊，可以选用带凝缩嘴的四列圆柱滚子轴承，如图 8 所示，在轴承润滑孔内按照供油要求的不同，安装一定数量的凝缩嘴，并在轴承外圈用 O 型圈密封，当油雾发生器产生的油雾经过凝缩嘴时，油雾粒子的表面张力受到破坏，从而结合成较大的油滴，进入轴承内部形成油膜，以增强轴承的润滑效果。

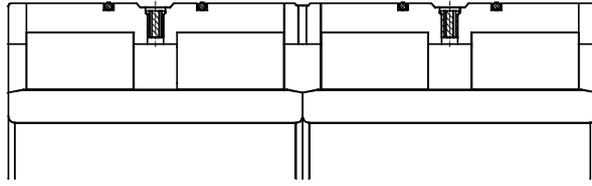


图 8 带凝缩嘴的四列圆柱滚子轴承

四列圆锥滚子轴承

四列圆锥滚子轴承能够同时承受径向载荷和轴向载荷，因此能够最大程度地利用有限的空间尺寸范围，多用于冷轧、热轧的工作辊。为了便于安装和拆卸，该类轴承与轧辊通常采用松配合。如图 9 所示，该类轴承是由 2 个内圈组件（即轴承内圈、滚子和保持架的组合），3 个外圈以及 3 个隔圈组成，在安装时必须按照轴承端面标记的编号顺序进行安装，如果顺序错误会导致轴承内部游隙改变，寿命减少甚至损坏。



图 9 四列圆锥滚子轴承

结构形式

如图 10 所示，该类轴承的外圈由 2 个单滚道外圈和 1 个双滚道外圈组成，在外圈之间有 2 个外隔圈，在双滚道外圈和外隔圈的外径面上加工有油槽和油孔；轴承的内圈由 2 个双滚道内圈组成，在 2 个内圈之间有 1 个内隔圈，为防止内圈和内隔圈端面的磨损，内圈和内隔圈的端面加工有油槽，为防止内圈内径面与轧辊卡死，其配合面必须润滑，在内圈内径面加工螺旋槽，有助于轴承内径和辊颈之间存留润滑剂。

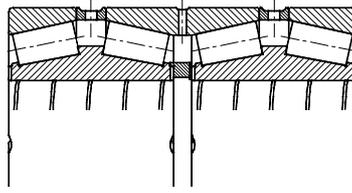


图 10 四列圆锥滚子轴承结构形式

其保持架结构一般采用钢板冲压保持架（如图 11a)所示），该型式保持架结构简单，加工容易；对于尺寸较大的四列圆锥滚子轴承，也可采用支柱焊接保持架的结构形式（如图 11 (b)所示），提高轴承的额定承载能力。

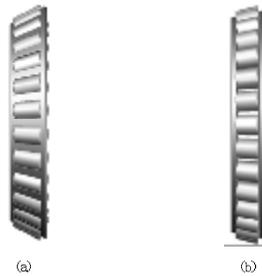


图 11 四列圆锥滚子轴承保持架结构型式

特殊设计

与四列圆柱滚子轴承类似，对于油雾润滑的场合，也可选用外圈带凝缩嘴和 O 形圈密封的设计。

对于脂润滑的场合，可以选用如图 12 所示带密封的结构形式，采用该形式能够减少润滑脂的消耗，防止水和异物进入轴承内部，延长轴承维护周期，提高轴承的使用寿命。在安装和拆卸密封四列圆锥滚子轴承时，与普通的四列圆锥滚子轴承不同，必须使用专用的工具，整体进行拆装。



图 12 密封四列圆锥滚子轴承

止推轴承

止推轴承与四列圆柱滚子轴承同时使用，用于承受轴向载荷，为避免该类轴承承受径向载荷，通常在轴承外径和轴承座孔之间留出较大的间隙；为避免松配合的内圈和辊颈相对运动造成辊面损伤，轴承内圈端面加工有止动键槽，为避免

外圈和轴承座相对运动，轴承外圈端面或外径也加工有止动槽。常用的止推轴承形式有圆锥滚子轴承、推力调心滚子轴承、推力圆锥滚子轴承、角接触球轴承、四点接触球轴承、深沟球轴承等多种类型，根据轧制力和轧制速度等因素进行选择。

结构形式

深沟球轴承、四点接触球轴承、角接触球轴承结构形式如图 13 中(a)、(b)、(c)所示，多用于高速、轻载的场合。

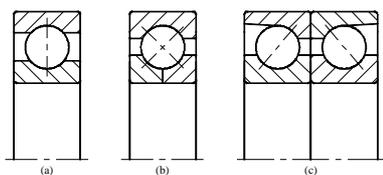


图 13 止推轴承的结构形式

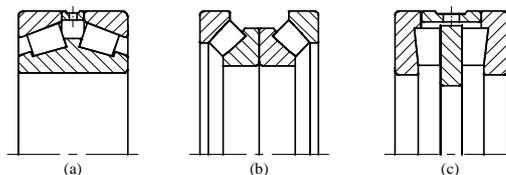


图 14 止推轴承的结构形式

圆锥滚子轴承、推力调心滚子轴承、推力圆锥滚子轴承结构形式如图 16 中(a)、(b)、(c)所示，多用于中速、重载的场合。

特殊设计

选用大锥角双列圆锥滚子轴承（图 16 (a)）承受轴向力时，一系列滚子受力，另外一系列滚子被放松，由于轴承内部存在游隙，滚子会产生偏斜，严重时可能会使保持架断裂，从而造成轴承的损坏。采用如图 15 所示的带有弹性装置的双列圆锥滚子轴承，通过弹簧施加在外圈一定的轴向力，就能够避免滚子被放松而产生偏斜。



图 15 带有弹性装置的双列圆锥滚子轴承

压下轴承

轧机压下机构用满装推力圆锥滚子轴承是用于调整轧制厚度的一类轴承，如图 16 所示。在轧机的驱动侧和操作侧各配置 1 套该轴承，该类轴承受载时转速很低，通常为每分钟 3 至 4 转；轴承工作时承受很大的轴向载荷，该类轴承顶端设计有与压下螺杆配合的上凸或下凹的球面，能够适应轧制材料厚度不均匀以及

轧辊系统变形的影响。

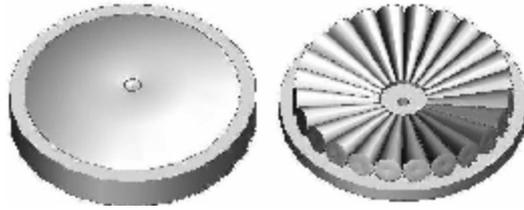


图 16 压下轴承

结构形式

由于该类轴承受载大，转速低，因此选用满装滚子的结构，以最大限度地提高轴承的承载能力。按照轴承顶圈与轧机压下结构配合面结构形式的不同，分为 TTSX 型（凸球面）和 TTSV 型（凹球面）两种结构，如图 17 所示。轧机工作时，除了轧制力外，还有平衡力、弯辊力等附加载荷，因此要求压下轴承具有较高的刚性，由于 TTSX 型轴承较 TTSV 型而言刚性好，因此在实际应用中，大部分轧机压下机构都优先选用 TTSX 型轴承。

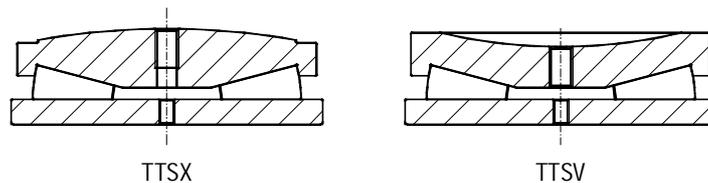


图 17 压下轴承结构形式

背衬轴承

如图 18 所示，该类轴承外径表面直接作为轧辊使用，因此外圈壁厚比一般轴承厚很多，轴承承受较大的载荷，将数个轴承组装在一根轴上使用，同时要求轴承有非常高的精度，特别是同一组轴承中，外圈的径向跳动和轴承截面壁厚相互差必须控制在极小的范围内。



图 18 背衬轴承

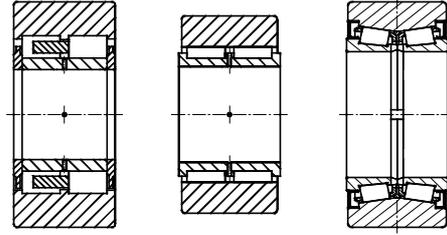


图 19 背衬轴承的结构形式

结构形式

该类轴承的结构形式有圆柱滚子轴承、圆锥滚子轴承以及滚针轴承，如图 19 所示，大多数场合使用圆柱滚子轴承的结构形式。

轧机轴承的配合与游隙

轧机轴承的配合

轧机轴承配合的选取，应根据轴承的类型和尺寸、载荷性质和大小以及装拆方便等因素来确定。正确选择轴承的配合，应保证轴承正常运转，防止内圈与轴、外圈与座孔在工作时发生相对转动。对于承受径向载荷的轧机轴承，当转速越高、载荷越大和冲击越强时，则应选用与轴越紧的配合，而对于经常更换的轴承一般选用松配合；对于承受轴向载荷的轧机轴承，应选择与轴的过渡配合或松配合，为避免承受径向载荷，轴承外圈与座孔通常留出较大的间隙。

常用的轧辊轴承推荐配合如下：

表 1 四列圆柱滚子轴承与辊颈的配合 (mm)

轴承内径 d		辊颈的公差	
超过	至	大	小
—	140	n6	
140	200	p6	
200	400	r6	
400	630	+0.260	+0.200
630	800	+0.330	+0.250
800	1250	+0.420	+0.320
1250	1400	+0.550	+0.400

1400	1600	+0.650	+0.520
------	------	--------	--------

表 2 四列圆柱滚子轴承与座孔的配合 (mm)

轴承外径 D		座孔的公差	
超过	至	大	小
—	400	H7	
400	1600	G7	

表 3 公制四列圆锥滚子轴承与辊颈的配合 (mm)

轴承内径 d		辊颈的公差	
超过	至	大	小
80	120	-0.120	-0.150
120	180	-0.150	-0.175
180	250	-0.175	-0.200
250	315	-0.210	-0.250
315	400	-0.240	-0.300
400	500	-0.245	-0.300
500	630	-0.250	-0.300
630	800	-0.325	-0.400
800	1000	-0.375	-0.450
1000	1250	-0.425	-0.500
1250	1600	-0.510	-0.600

表 4 公制四列圆锥滚子轴承与座孔的配合 (mm)

轴承外径 D		座孔的公差	
超过	至	大	小
120	150	+0.057	+0.025
150	180	+0.100	+0.050
180	250	+0.120	+0.050

轴承外径 D		座孔的公差	
超过	至	大	小
250	315	+0.115	+0.050
315	400	+0.110	+0.050
400	500	+0.105	+0.050
500	630	+0.100	+0.050
630	800	+0.150	+0.075
800	1000	+0.150	+0.075
1000	1250	+0.175	+0.100
1250	1600	+0.215	+0.125
1600	2000	+0.250	+0.150

表 5 英制四列圆锥滚子轴承与辊颈的配合 (mm)

轴承内径 d		辊颈的公差	
超过	至	大	小
101.600	127.000	-0.100	-0.125
127.000	152.400	-0.125	-0.150
152.400	203.200	-0.150	-0.175
203.200	304.800	-0.175	-0.200
304.800	609.600	-0.200	-0.250
609.600	914.400	-0.250	-0.325
914.400	1219.200	-0.300	-0.400
1219.200	—	-0.375	-0.475

表 6 英制四列圆锥滚子轴承与座孔的配合 (mm)

轴承外径 D		座孔的公差	
超过	至	大	小
—	304.800	+0.075	+0.050
304.800	609.600	+0.150	+0.100

轴承外径 D		座孔的公差	
超过	至	大	小
609.600	914.400	+0.225	+0.150
914.400	1219.200	+0.300	+0.200
1219.200	1524.000	+0.375	+0.250
1524.000	—	+0.450	+0.300

表 2 止推轴承与辊颈的配合 (mm)

轴承内径 d		辊颈的公差	
超过	至	大	小
—	—	e6 或 f6	

表 3 止推轴承与座孔的配合 (mm)

轴承内径 d		辊颈的公差	
超过	至	大	小
—	500	+0.6	+0.8
500	800	+0.8	+1.1
800	—	+1.2	+1.5

轧机轴承的游隙

所谓轴承游隙，是指将轴承在无载荷时，内圈或外圈的一方固定不动，然后使另一方相对固定套圈径向或轴向的移动量。径向移动量称为径向游隙，轴向移动量称为轴向游隙，如图 20 所示。

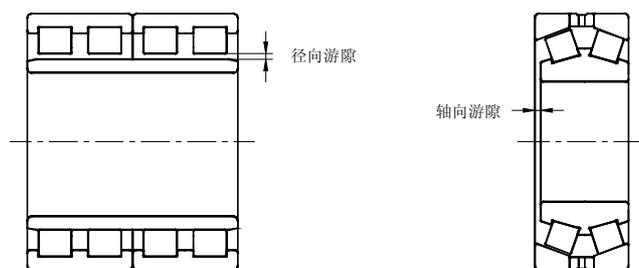


图 20 径向游隙与轴向游隙

轴承的游隙分为原始游隙和工作游隙，原始游隙是指轴承在出厂前预置的游隙，工作游隙是指由于轴承装配和调节以及温度等因素的影响，使轴承游隙改变的实际工作状态下的游隙。

配合与温度是导致轴承内部游隙改变的主要因素：

(1) 过盈配合导致轴承游隙减少

当轴承的内圈或外圈与轴或轴承座为过盈配合时，内圈会膨胀，外圈会收缩从而导致轴承内部游隙的减少，该减少量因轴承的结构、尺寸以及轴和轴承座的形状、尺寸而异。一般情况下可以按照式(1)近似计算。

$$d_f \approx (0.7 \sim 0.9) \Delta_f \quad (1)$$

其中： d_f —因过盈配合导致的轴承游隙减少量； Δ_f —配合的过盈量。

(2) 内外圈的温度差导致轴承游隙减少

由于轴承旋转而产生的热量，传递至轴及轴承座，一般轴承座比轴散热条件好，因此外圈温度比内圈及滚动体的温度约低 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ ，当轴承高速旋转时温差会更大，由于内外圈的温差会使其内圈及滚动体的膨胀量大于外圈，从而导致轴承内部游隙的减少，其减少量可以通过式(2)大致计算。

$$d_t \approx a \cdot \Delta_t \cdot D_e \quad (2)$$

其中： d_t —因内外圈温度差导致的轴承游隙减少量； a —轴承材料的膨胀系数； Δ_t —内外圈温度差； D_e —外圈滚道直径。

轴承工作游隙 d 与原始游隙 d_0 的关系可以由式(3)表示：

$$d \approx d_0 - d_f - d_t \quad (3)$$

轴承运转时内部游隙（即工作游隙）的大小对疲劳寿命、振动、温升、噪音

等轴承性能影响很大，如图 21 所示，图中曲线显示了轴承工作游隙与疲劳寿命之间的关系，可以看出轴承在运转时，略小于零的工作游隙，轴承的寿命最大。但在实际使用过程中由于轴承和相关件的精度以及工作中温升等因素的影响，轴承的游隙会相应减少，从而导致轴承发热严重和寿命显著下降，因此一般将轴承的初期工作游隙定为略大于零。

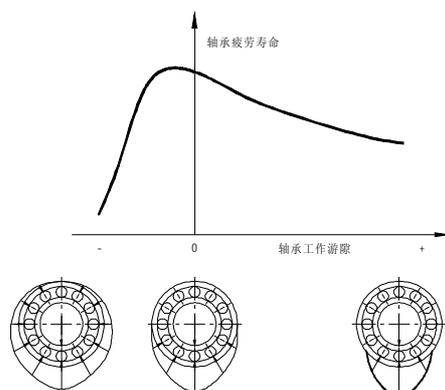


图 21 轴承工作游隙与疲劳寿命的关系

轴承游隙分为 C1、C2、C0、C3、C4、C5 等多个组别，其中 C0 为普通组游隙值，C1、C2 小于 C0，而 C3、C4、C5 大于 C0，表 4 给出了常用轧辊轴承推荐采用的游隙值。

表 4 轧机轴承推荐采用的游隙

轴承用途	轴承类型	推荐采用的游隙组别
轧辊主轴承	四列圆柱滚子轴承	C3、C4
	四列圆柱滚子轴承（内圈装入轧辊后修磨）	C2、C0
	四列圆锥滚子轴承	C2、C0
	深沟球轴承	C3
止推轴承	四点接触球轴承	C0
	配对角接触球轴承、双列角接触球轴承	特殊
	双列圆锥滚子轴承	C0
	大锥角双列圆锥滚子轴承（带隔圈）	C2

轧机轴承的润滑

轧机轴承的损坏原因 40%以上是润滑不良造成的，为保证轧机轴承正常运转，提高轴承性能，延长轴承的使用寿命，就必须选用适宜于使用条件的润滑方

法，还要设计安装防止水和氧化皮等异物侵入的可靠密封装置。轧机轴承的润滑方式主要为脂润滑和油润滑。

脂润滑

脂润滑的方法具有简单易行，轧辊更换方便的特点，而且还有利于密封轴承的配置，防止杂质、潮气或水分的侵入，因此应用很广泛。选择润滑脂时应根据轧机轴承工作温度、转速、载荷以及密封防水性能、冲击震动大小、供脂方法等情况选择适宜的润滑脂，更换油脂时应注意不同牌号的润滑脂不能混用。润滑脂的填充量一定要适量并填充到位，使轧机轴承工作表面始终处于油膜正常状态，过量的油脂会引起轴承内运行温度急速升高，特别是在高速运行时。

油润滑

油润滑相对脂润滑具有冷却效果强，并能从轴承内带走污物 and 水分等优点。轧机轴承常用的油润滑方法有压力油循环润滑、喷油润滑、油雾润滑和油气润滑。压力油循环润滑和喷油润滑都需要装设进出油管、润滑泵、储油器，有时还需润滑油冷却器，因此费用较高，一般多采用油雾润滑和油气润滑。

油雾润滑是用干燥、洁净的压缩空气与润滑油混合形成雾状喷射到轴承中，轴承座内的气流可冷却轴承，而轴承座内产生的压力又可有效地防止杂质进入，润滑油量可精确调节，消耗量很少，润滑系统维护成本很低，多用于中低速轧机轴承的润滑。

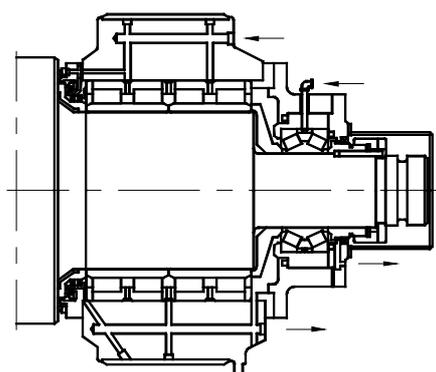


图 22 油雾润滑示意图

油气润滑是采用活塞式定量分配器，每间隔一定时间将微量油送到管内的压缩空气流中，在管壁上形成连续流动的油流，提供给轴承。由于经常送进的新的润滑油，因而油不易老化，压缩空气使得外部杂质不易侵入轴承内部。油气润滑与油雾润滑相比，润滑油用量更少且稳定，温升高，污染小，特别适用于高速轧

机轴承。

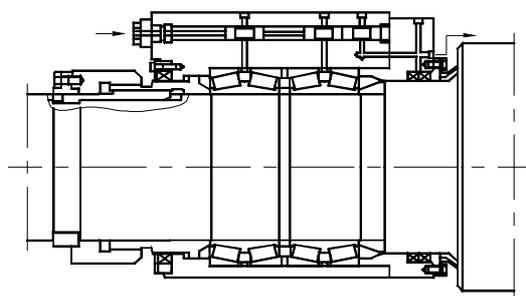


图 23 油气润滑示意图

轧机轴承的破坏形式与分析

轧机轴承在正确的安装和维护条件下是十分可靠的,在其使用寿命之内一般不会出现破坏。很大一部分轴承的破坏是由于安装、拆卸、使用方法不当以及润滑不良造成的,因此正确使用和维护轴承才能保证轧机可靠地运行。

在轧机工作期间应定期对轴承进行检查,特别是当轧机出现噪音、温升、振动、润滑剂异常等情况时,应立即停机检查,预防轴承发生破坏。当轴承出现破坏时,根据轴承破坏的形式分析原因,针对破坏的原因检查轴承相关件,润滑,密封以及工作环境等,尽可能在轴承损坏的早期阶段,找到补救措施或更换轴承,以避免造成更大的损失。

下面根据现场出现的各种轧机轴承的破坏形式,具体分析其破坏原因和相应的措施。

施。



图 24 生锈腐蚀

现象: 轴承表面出现锈蚀。

原因：由于轴承储存、保管不当；防锈剂不足；水或酸性介质进入。

措施：轴承使用过程中应注意轴承储存和保管；改善密封性能；定期检查润滑剂，防止轴承锈蚀。对于表面很小的锈蚀可用细砂纸磨光后继续使用，面积较大或锈蚀严重的轴承则需要更换。



图 25 变色及压痕

现象：表面出现变色、压痕和凹坑。

原因：润滑不良；异物进入轴承内部。

措施：检查轴承润滑方法和润滑剂的清洁度，改善轴承润滑条件；检查轴承密封情况；对于情况比较严重的轴承可以进行修磨或更换轴承。



图 26 表面剥落

现象：滚道或滚动体表面出现剥落，出现坑状凹凸不平。

原因：安装不当；润滑不良；载荷过大；游隙过小；异物进入轴承内部等

措施：检查轴承安装；改善轴承润滑条件；调整轧制工艺；加大轴承游隙；检查轴承密封情况；对于情况表面剥落严重的轴承必须更换。



图 27 断裂和破碎

现象：套圈或滚动体出现断裂或破碎。

原因：安装不当，用铁锤敲击；过盈量太大；冲击载荷过大；润滑不良，摩擦产生裂纹。

措施：正确安装轴承；改善轴承润滑条件，防止产生裂纹；选择正确的过盈量和轴承材料；对于套圈断裂和滚动体破碎的轴承必须更换。



图 28 保持架磨损和断裂

现象：保持架出现磨损或断裂。

原因：轴承高速旋转或频繁变动；设备振动大；异物进入保持架，产生异常载荷；滚动体在保持架兜孔内出现歪斜，产生异常载荷。

措施：正确安装避免倾斜；检测设备，降低振动；改善轴承润滑条件，防止温升加剧保持架的磨损，产生金属颗粒进入轴承内部；施加预载荷防止不受力的滚动体产生歪斜；对于保持架磨损严重和破裂的轴承必须更换。



图 29 背衬轴承卡伤

现象：滚动体端面和挡圈端面出现严重磨损。

原因：轴向负荷过大，造成滚动体端面油膜被挤压，没有润滑；轴和轴承箱精度不良，轴承产生偏斜；异物进入，卡在滚动体端面，加剧滑动摩擦。

措施：改善润滑剂和润滑方法；提高轴和轴承箱的精度；改善密封性能；对于磨损严重的轴承必须更换。

轴承在实际运行中还有很多种失效形式，有待我们进一步研究和分析。一般来说，轴承早期的破坏一般是由于配合部件的精度、安装的质量、使用条件、润滑和密封的效果等因素引起，实际使用中往往可能是多种因素同时影响。因此在出现异常时，必须立即停机检查，尽量在轴承破坏的早期发现问题，并采取相应的措施，这样才能更好地使用和维护轴承，有效地提高轴承的使用寿命。

（赵广炎：高工，洛阳轴研科技股份有限公司大型轴承制造部部长，中轴协技委会产品设计与应用专委会副秘书长）

BEARING • 2010

2010 上海国际轴承峰会演讲之二十（2010/9）