

圆锥滚子轴承装配的轴向间隙对齿轮影响的研究

李 丹

宁夏银星能源股份有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 本文旨在探讨锥轴承装配过程中轴向间隙设置不当对齿轮系统性能的影响。通过理论分析与试验验证相结合的方法,研究了圆锥滚子轴承轴向间隙调整不当对齿轮的影响。并详细讲述了轴承游隙的计算及调整方法。研究结果表明,合理的轴向间隙设置对于确保齿轮系统的高效运行至关重要。

关键词: 圆锥滚子轴承; 轴向游隙; 齿轮啮合

引言

在机械传动系统中,齿轮作为主要的动力传递元件,其工作性能直接影响到整个系统的效率和寿命。对于大功率的齿轮箱或减速器来说,在设计上我们采用锥轴承,而锥轴承则是支撑齿轮轴的重要部件之一,它不仅承受着径向载荷,还需要承受一定的轴向载荷。因此,正确安装圆锥滚子轴承并调整好轴向间隙是保证齿轮正常工作的前提条件。然而,在实际应用中,由于设计不合理或装配工艺不佳等原因导致的轴向间隙不当,会引发一系列问题,如齿轮啮合不良、磨损加剧等,进而影响整个系统的运行效果。

例如1:在齿轮箱维修中,我们遇到因轴肩磨损导致轴向间隙增大的情况,经测量,轴向间隙增加0.22mm,圆锥滚子轴承在原安装尺寸下运行,此时轴承轴向游隙过大,使得轴在轴向上有一定的自由度,当轴受到外部载荷时,轴可能会发生轻微的位移。轴的位移会导致齿轮的啮合点发生变化,使得齿轮齿面承受载荷不均匀,这种不均匀的载荷分布就是所谓的偏载现象。因轴承轴向游隙大于其工作的最佳游隙,使齿轮啮合出现偏载现象,偏载现象会导致齿轮的局部磨损加剧,增加噪声和振动,降低传动效率,甚至可能导致齿轮过早损坏。如图1所示:

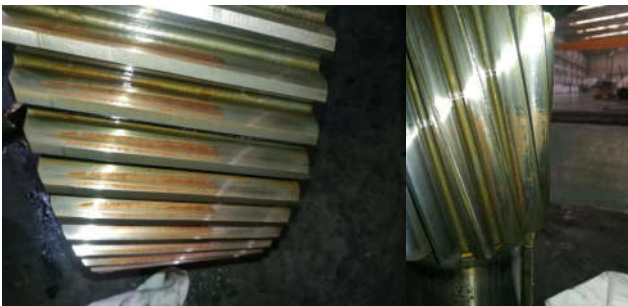


图1 齿轮偏载

例如2:在减速器的维修中,我们发现部分齿轮会出

现轮齿齿面断齿现象,经检查测量,高速级齿轮轴其轴向窜动量为0.6mm,其轴向的安装间隙远大于圆锥滚子轴承的工作游隙,致使出现轮齿齿面断齿现象,如图2所示:



图2 轮齿断齿

1 圆锥滚子轴承及轴向游隙基础理论

1.1 圆锥滚子轴承简介

(1) 圆锥滚子轴承的结构特点和工作原理

圆锥滚子轴承以其内外圈具有锥形滚道的设计著称,该结构允许轴承同时承受径向与轴向载荷,展现出强大的承载能力。滚子作为传动介质,在内外圈的锥形滚道上滚动,有效降低了摩擦系数,提升了机械效率。其结构紧凑、重量轻,广泛应用于各种重载和高速旋转设备中。

(2) 圆锥滚子轴承的主要类型及选用原则

圆锥滚子轴承主要分为单列、双列和四列三种类型,其选用原则主要取决于设备的载荷特性、旋转速度以及工作环境。单列圆锥滚子轴承适用于承受中等载荷的场合,具有结构简单、安装方便的特点;双列圆锥滚子轴承则能承受更大的载荷,适用于重载或复杂应力状态;四列圆锥滚子轴承则专为极重载和低速重载设计,如轧钢机等大型设备^[1]。

1.2 轴向游隙的概念及重要性

(1) 游隙的定义及分类

游隙,即轴承内部各零件之间的间隙,分为径向游

隙和轴向游隙。径向游隙是内外圈相对径向移动的距离，而轴向游隙则是沿轴承轴线方向移动的间隙。适当的游隙对于保证轴承正常运转至关重要。

(2) 轴向游隙对轴承性能和寿命的影响

轴向游隙直接影响轴承的运转平稳性、润滑效果和寿命。过小的游隙会导致轴承过热、磨损加剧，甚至因摩擦过大而损坏；过大的游隙则可能引起振动和噪声，降低设备运行的稳定性和精度。适当的轴向游隙能够保证轴承在工作时有良好的润滑效果，减少摩擦损失，提高运转效率，从而延长轴承的使用寿命。

1.3 轴向游隙的确定与调整方法

(1) 轴向游隙的计算公式及影响因素

轴向游隙的确定通常需要基于具体的应用条件、轴承型号及其内部结构，通过经验公式或轴承制造商提供的表格来进行初步计算。轴向游隙的大小会受温度影响而发生变化，特别是在高速运转或承受较大载荷时，轴承因摩擦生热而产生膨胀，轴向游隙将随之缩小。此外，轴和轴承座的变形也会影响轴向游隙。因此，在设计时必须充分考虑这些因素，选择合适的材料和配合方式，以保证轴承的稳定运行。

(2) 轴向游隙调整的方法和技术手段

轴向游隙的调整通常采用以下方法：一是通过预紧或松弛轴承内、外圈之间的相对位置，来调整轴向游隙。这种方法可通过调节垫片厚度、螺纹套圈等方式实现；二是采用弹性元件（如波形弹簧）来控制轴向游隙，根据工作条件自动调整。这些弹性元件在工作时能吸收轴的变形，减少因载荷或温度变化导致的游隙变化；三是采用双列或多列圆锥滚子轴承组配使用，通过精确调节各组轴承的相对位置来调整总的轴向游隙。

技术手段上，高精度的测量设备，如激光测距仪或高精度千分尺，能够帮助准确测量轴向游隙，从而实现轴向游隙的精准调整。在调试阶段，应通过运转测试观察轴承的实际工作性能，必要时进行反复调整，确保轴承在运行中的最佳表现。

2 圆锥滚子轴承与轴向间隙的关系

2.1 轴向间隙定义

轴向间隙是指在无外加载荷作用下，一对锥轴承内圈与外圈之间沿轴线方向的最大移动距离。适当大小的轴向间隙可以补偿热膨胀引起的尺寸变化，避免因温度升高而导致的过紧配合，同时也有利于保持润滑油膜的存在，减少摩擦损失。

2.2 影响因素

轴向间隙的大小受到多种因素的影响，包括但不

限于：轴承内部结构参数（如滚子直径、内外圈宽度等）、工作环境温度、轴承预紧力、安装误差。

3 轴向间隙对齿轮的影响

3.1 啮合状态变化

当轴向间隙过小或过大时，都会导致齿轮副之间的接触面积发生变化，影响正常的啮合过程。过小的轴向间隙会使齿轮产生干涉现象，增加局部压力，加速齿面磨损；而过大的轴向间隙则可能导致齿轮间出现较大的游隙，引起冲击振动，降低传动精度，甚至断齿^[2]。

3.2 传动效率下降

不合适的轴向间隙会影响齿轮的润滑状况，造成油膜破裂，增加干摩擦比例，从而增加能量损耗，降低传动效率。

3.3 噪声水平增加

轴向游隙不当还会改变齿轮啮合时产生的噪声特性，通常表现为噪声强度增大及频谱分布异常，这不仅影响了机器的工作环境，也可能成为故障诊断的一个重要信号。

4 圆锥滚子轴承轴向工作游隙的计算及调整方法

4.1 圆锥滚子轴承轴向游隙的调整原理

大多数情况下，轴承在运作时需要留有一定的游隙，最佳的工作游隙是接近零的正值。首先根据齿轮箱或减速器的转速及额定载荷确定轴承的原始游隙，对于圆锥滚子轴承其游隙为标准游隙，根据轴颈尺寸及轴承系列确定轴承轴向游隙的范围值。其次，计算工作游隙，因装配的关系及温度的影响，轴承的工作游隙会受到配合关系和温差得影响^[3]。

工作游隙 = 轴承初始游隙 - 配合引起的游隙减少量 - 温差产生的游隙减少量。

过盈配合引起的游隙减量等于有效的过盈配合乘以相应的系数，该系数为经验值，但配合关系引起的游隙减少量具体分为与轴承座的配合、与轴的配合关系。配合引起的游隙减少量 = 内圈和轴之间的有效过盈量 (mm) * 内圈的减少系数 + 外圈和轴承座之间的有效过盈量 (mm) * 外圈的减少系数。

当轴承运行时，其轴承内圈的温度高于轴承外圈的温度，使轴承游隙减小，温差产生的游隙减量与轴承材料的热膨胀系数、温差和轴承直径大小成正比，对于轴承来讲，我们取用钢的热膨胀系数为 12×10^{-6} 。

4.2 圆锥滚子轴承的轴向游隙的调整方法

对于要求高精度和低噪音的使用情况，对于齿轮箱或者减速器的装配工艺，我们通常采用预紧法，预紧法是通过施加预紧力来减小轴承游隙的安装方法。它是

给予圆锥滚子轴承一定的预紧力，对于圆锥滚子轴承来说，只能在轴向施加预紧。我们可以根据轴承的几何参数和轴承工作游隙来计算预紧力。对于轻载的应用场合，预紧力可以设定为轴承额定动载荷的1%到2%；对于重载应用，预紧力可以设定为3%到5%。

实例：以某一型号减速器为例，其中速级轴承型号为32318，通过查阅可知该轴承原始游隙为0.24mm-0.3mm。

对于该轴承来说，配合引起的游隙减量与轴承内径与外径之比成正比，该轴承 $K = d/D = 90/190 = 0.4736$ ，减量系数为经验值，可根据轴承手册进行查阅，该轴承外圈减量系数为0.78，内圈减量系数为0.87。轴承外圈与轴承座为过渡配合，经测量，外圈和轴承座之间的有效过盈量为0.01mm，轴承内圈与轴为过盈配合，过盈量为0.02mm，因此可以算出由配合产生得游隙减量为0.025mm。

根据该型号减速器正常加载试验数据可知，轴承座与轴的温差在9°C至16°C之间（温差与轴向间隙值有关），按经验值可取12°C，可算出温差产生的游隙减量为0.021mm。

最终可得出轴承工作游隙的范围为0.194mm至0.254mm。

在精确控制游隙的情况下，我们可以通过增减垫片的数量或厚度来微调轴承的游隙。其方法以轴向尺寸链为基础，通过测量的数据，计算出控制圆锥滚子轴承在其工作游隙范围内所需要的垫圈厚度进行安装。安装完毕后，重新测量轴承的游隙，确保其符合要求。

装配完毕的减速器经过加载试验的验证，具有较好的啮合性能（啮合率100%），如图3所示。噪声、振动性能如图4所示。



图3 齿轮啮合

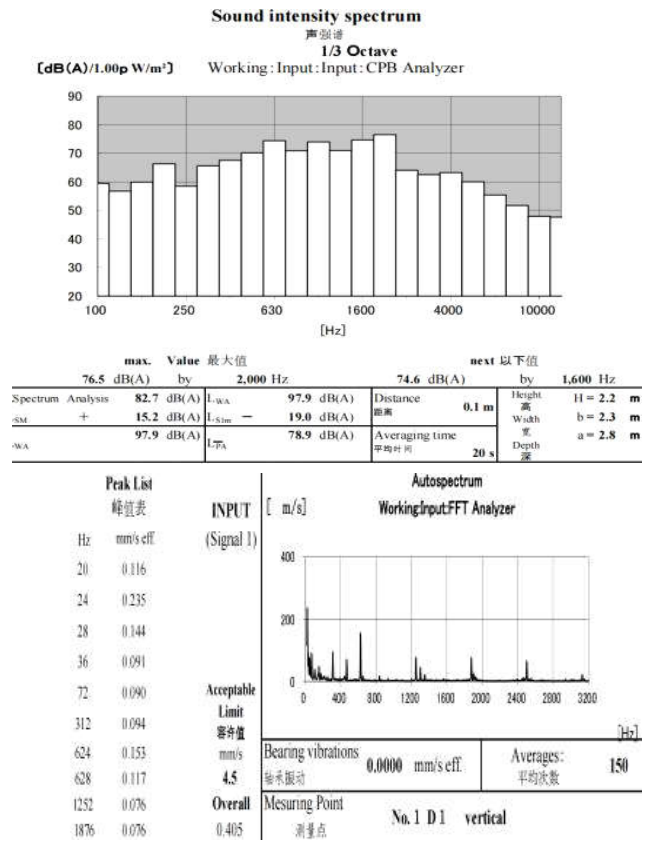


图4 噪声及振动检测

结论

通过对锥轴承装配中轴向游隙对齿轮影响的研究，我们得出以下结论：合适的轴向游隙对于维持良好的齿轮啮合状态、提高传动效率、降低噪声具有重要作用。在设计和装配过程中应充分考虑各种可能影响轴向游隙的因素，并采取有效措施确保其处于最佳范围内。

参考文献

- [1]陈一丹.基于轮毂轴承轴向游隙定位测量的动态选配方法研究[J].轴承,2023,(04):44-45.
- [2]孙禄东,王峰,刘刚等.双列圆锥滚子轴承轴向游隙的调整[J].轴承,2019(10):83-85.
- [3]王路顺,卫广国.大型四点接触球轴承轴向游隙测量方法的探讨[J].哈尔滨轴承,2020(02):22-24.