■瓦房店轴承集团公司/王江山

重型车主减速器圆锥滚子轴承失效模式

重型载货汽车具有装载量大、运输效率高和经济性好的特点。随着高速公路网的建立与连接，重型载货汽车的地位越来越重要。在公路运输专业化进程中，重型载货汽车以其安全性、动力性、经济性和舒适性等方面的优势，正在发挥更为重要的作用。

主减速器结构分析

驱动桥是重型载货汽车总成中的一个重要部件，直接承受来自车厢的重量，驱动桥总成的可靠性是衡量载货汽车性能的一个重要指标。主减速器是驱动桥上的一个重要部件，其功能是增大由传动轴传来的转矩并降低转速，然后将力矩传递给差速器，最终由差速器将转矩分配给左、右驱动车轮。驱动桥一般由主减速器、差速器和驱动轮等传动装置组成，主减速器性能的优劣将直接影响力矩传递的效率和汽车的燃油经济性。

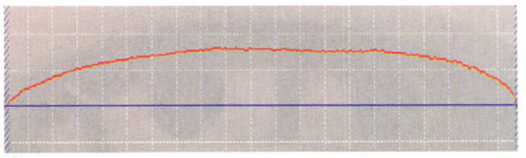
主减速器性能的可靠性和经济性可通过提高轴承性能获得。由于主减速器轴承一般要承受较大的轴向载荷，而大锥角圆锥滚子轴承具有很高的轴向和径向承载能力，并且圆锥滚子素线与轴承内圈、外圈滚道之间可以采取一定的凸度几何形状曲线匹配技术，从而大大降低重载下的边缘应力集中点，内圈大挡边与滚子球基面之间形成动压承载油膜，有效提高轴承的使用寿命。因此，大锥角圆锥滚子轴承零件之间的合理匹配至关重要，当然，轴承用户的科学合理安装及使用也是一个不可忽视的方面。重型载货汽车主减速器多采用大锥角圆锥滚子轴承。主减速器轴承的支承形式主要有两种：一是悬臂式结构，齿轮大端一侧有较长的轴，并在其上安装一对轴承；另一种是跨距式结构，齿轮轴的两端安装轴承。

由于重型载货汽车的技术发展迅速，对主减速器传递的转矩要求也越来越高。在现代主减速器结构中，其主动锥齿轮一般采用弧齿锥齿轮，由于螺旋角较大而产生极大的轴向力，一般轴向力都比径向力大。目前的主减速器轴承的标准配置是两套圆锥滚子轴承，它可以承受较大的倾覆力矩，当轴较轻且载荷较小时，一般采用悬臂式结构；当轴较重且载荷较大时，采用跨距结构，在锥齿轮的顶部附加安装一套轴承，一般采用圆柱滚子轴承，也称导向轴承，这样可以增加轴的支承刚度，有效避免锥齿轮轴在极端载荷下弯曲和锥齿轮啮合错位。随着载货汽车载重量的增加，目前主减速器前端轴承多采用323XXB系列圆锥滚子轴承，主减速器后端轴承多采用31300系列圆锥滚子轴承，这是因为该部位轴承普遍承受的轴向力要大大高于径向力。

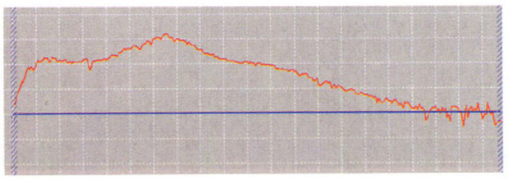
圆锥滚子轴承失效模式分析

某种重型载货汽车圆锥滚子轴承外圈、内圈以及滚子三者全部为全凸度，凸度量全部为3.6～6μm，圆锥滚子轴承外圈滚道、内圈滚道和滚子外径使用前，检测轮廓图形如图1所示。其中，外圈滚道图形圆滑过渡，滚道粗糙度值R_a=0.108μm；内圈滚道图形中心高

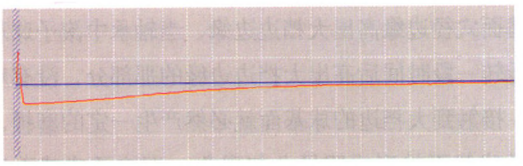
点偏向大挡边，滚道粗糙度值R_a=0.113μm；内圈大挡边磨削遗漏留边，粗糙度值R_a=0.16μm。



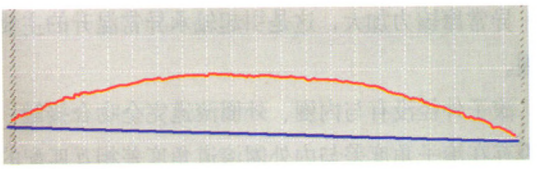
(a) 外圈滚道图形圆滑过渡



(b) 内圈滚道图形中心高点偏向大挡边



(c) 内圈大挡边磨削遗漏留边

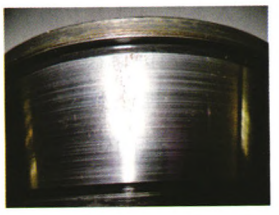


(d) 滚子外径轮廓图形圆滑过渡

图 1

某种重型载货汽车圆锥滚子轴承损坏后，外圈滚道完好无损，内圈滚道圆周方向出现划痕且靠大挡边有一处疲劳剥落，滚子靠大头外径出现高温蓝色损坏（见图2）。

(a) 外圈滚道完好无损



(b) 内圈滚道靠挡边一侧疲劳剥落

(c) 内圈大油沟轴向尺寸偏大

(d) 滚子大头外径蓝色损坏

图 2

某种重载汽车圆锥滚子轴承试验情况。共试验8套轴承，轴承试验编号1～8，其中1～4号轴承内圈大挡边角度产品工艺要求为89° 30′ 。为了验证试验效果，内圈大挡边角度加工为85° ～86° 时，轴承实际运转6h后，就出现异常温度升高。经查看，内组件中滚子外径全部严重变色（见图3）。其中有几粒滚子外径圆周方向出现明显的明暗相间的痕迹（见图4），这是滚子外径凸度与套圈滚道凸度高点错位所致，内径孔内有明亮也有发暗痕迹，如图5所示。

图3 滚子外径全部严重变色

图4 滚子外径明暗相间的痕迹

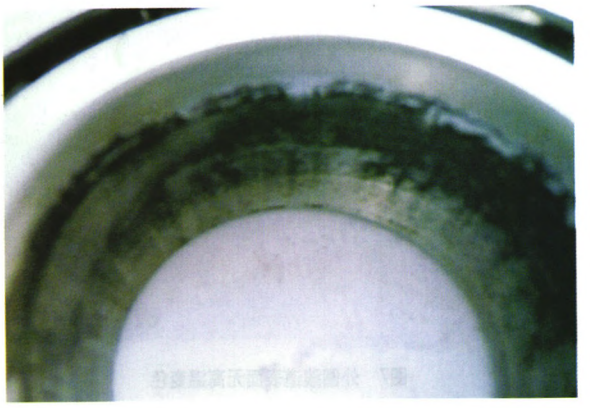


图5 内径孔内有发暗痕迹

经检测，滚子外径没有加工全凸度及磨坡，检测2粒滚子角度差为－6μm，即滚子小头直径大，也就是说滚子外径的角度差与内外圈滚道角度差匹配方向不一致，导致滚子外径在滚道中只是一部分接触到滚道，在同等载荷条件下，势必加剧滚子接触到滚道的部位应力集中，也会造成轴承温升或滚子早期疲劳剥落。检测滚子球基面SR值产品要求245.018mm，实际检测2粒滚子分别为SR249mm、SR222mm，可能正因为如此导致滚子球基面有的磨损严重，有的几乎没有磨损（见图6）。

图 6

而5～8号4套轴承内圈大挡边正常角度为89°30′时，轴承实际运转6h后，轴承滚子外径及外圈滚道表面却没有出现高温变色现象（见图7），但宽端面滚道表面有磨损痕迹，这是一个应引起注意的现象。

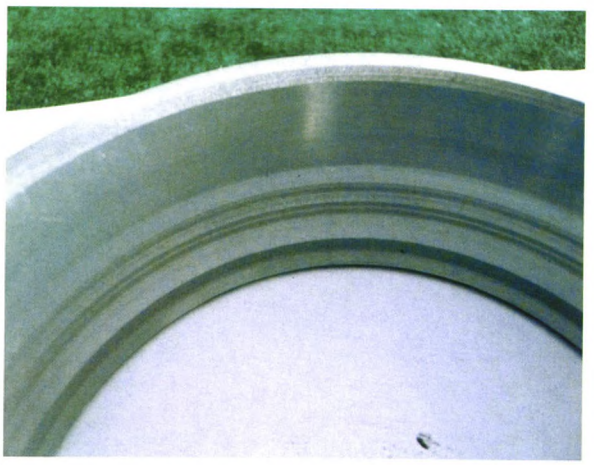


图7 外圈滚道表面无高温变色

另外，还要特别需要注意圆锥滚子球基面与内圈大挡边的接触位置。从图8中可以看出，圆锥滚子

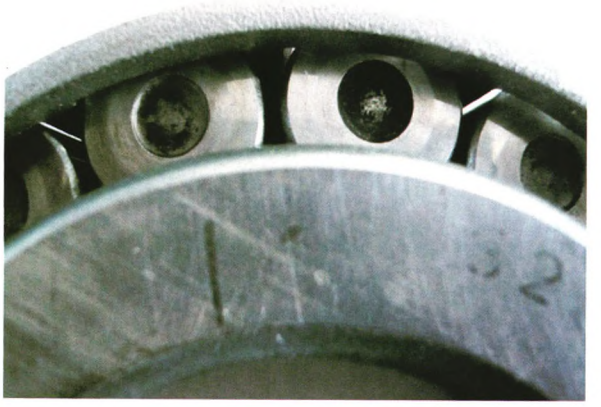


图 8

球基面穴径边缘高出大挡边边缘，当轴承中滚子球基面运转一段时间后高出大挡边边缘的那部分，没有磨损，接触到大挡边的球基面就必然产生一定的磨损，滚子球基面就形成明显凸起现象，而滚子球基面又是基准定位面，那么滚子在旋转过程必定不能稳定旋转，异常摩擦力加大，这是引起轴承异常温升的主要原因。

滚子外径没有与内圈、外圈滚道完全吻合接触，是否存在滚子角度差与内外圈滚道角度差相互匹配的问题？检测证明，滚子角度相互差以及滚道角度差都合格，只是二者间角度差如何合理匹配的问题应引起高度注意，这可能导致滚子外径出现明暗相间带状现象（见图3和图4）。这种现象现在仍然存在，只是比前期试验中稍有改善，还需要进一步分析原因解决。从另外一个角度来讲，对于大锥角圆锥滚子而言，如果大锥角圆锥滚子轴承内圈滚道、外圈滚道都有凸度，大锥角圆锥滚子也有全凸度，即所谓实行“三凸度”，在理论上是可行的，但人们忽视了在实际加工中所能达到的实际效果。首先，滚子加工的全凸度是用螺旋导轮或者靠模板来保证的，用贯穿法磨削滚子时，螺旋导轮是一件非常重要的工具，滚子定位精度、螺旋导轮的安装精度及维修精度，将直接影响滚子的加工质量。

实际中，滚子凸度的最高点不可能正好在滚子长度中心线上，常常偏离中心线的某一侧，都存在较大偏差的现象。同样，内、外圈滚道的凸度，主要通过调整砂轮修整器与砂轮主轴中心线在水平方向倾斜微量夹角，同时砂轮修整器（金刚石笔尖）与砂轮主轴

中心线在垂直方向也要倾斜一定角度来实现。即金刚石笔尖应低于砂轮端面中心线下面、金刚石笔尾部应高于砂轮主轴中心线，此时两条线中心交于砂轮宽度中心点，从而砂轮外表面形成一条双曲线，这样砂轮磨削内、外圈滚道时自然形成一条凸度曲线。因此，滚道凸度最高点不可能正好在滚道中部，存在较大偏差（见图1b）。而图1a所示外圈滚道凸度轮廓形状比较好，滚子外径凸度最高点没有偏移，如果滚子外径凸度最高点发生偏移时，可能就会出现图3和图4所示滚子外径明、暗现象发生，也可能由于滚子角度差与内外圈滚道角度差匹配不好，即滚子外径没有完全与滚道相吻合接触所致。可以通过取消内圈、外圈滚道凸度，适当加大滚子坡深，看看是否可以改变上述现象的发生。当滚子凸度最高点偏向某一侧时，又当套圈其中一个滚道凸度最高点偏离方向与滚子最高点恰好相反时，也就是两最高点错位较大时，不但容易造成滚子在旋转过程中相当不稳定，滚子在轴承滚道中运转一定时间后，滚子外径就会出现沿圆周方向出现的明暗相间的带状磨损划痕，导致轴承异常温升，还会降低轴承的整体承载能力，严重影响轴承的使用寿命。滚子加工工艺采取先磨微量全凸度，后磨滚子两端弧坡为佳。当然，随着大锥角圆锥滚子直径增大，弧坡的坡长、坡深值增大，这就需要针对不同的规格设计不同的滚子坡长和坡深值。

对于汽车圆锥滚子轴承内圈、外圈滚道以及滚子外径，是否都采取全凸度，是一个值得研究的工艺问题。如果三者都采取全凸度，由于加工工艺的不稳定因素，三者之间凸度最高点，存在较大相对错位，如前所述，还由于圆锥滚子角度偏差存在一个方向问题，同样，内圈、外圈滚道也存在一个角度差的方向匹配问题，当三者角度方向一致时，圆锥滚子外径完全与滚道吻合接触是最好的接触状态。但在实际加工中，不确定因素很多，不可能百分之百保证三者之间完全吻合接触，就需要解决这个问题。

另外，为保证内圈大挡边与滚子球基面之间良好的接触状态、润滑状态和运转稳定状态，重要的是如何使滚子球基面与内圈大挡边的接触点处于内圈大挡边的中部为最佳状态，同时适当加大滚子球基面穴径，可有效保持滚子在内圈大挡边及滚道中旋转的稳定性。另外，使润滑介质在轴承工作时在工作部位有效流动，有效减少滚子与滚道之间的滚动摩擦系数，可以使轴承获得足够的润滑，真正起到润滑与降温作用，改进滚动体与内圈大挡边及内、外圈滚道的接触应力状态，实现弹性流体润滑，降低轴承使用中运转异常温升现状和轴承产生的应力集中等。

工艺优化改进建议

建议取消轴承内圈、外圈滚道的全凸度为直线形，圆锥滚子保留全凸度或半凸度值得研究验证，倾向滚子为半凸度较好。坡深工艺是一个很值得细致研究的工艺参数，但滚子外径要求凸度1～2μm为好，改磨外径全凸度为磨外径半凸度，滚子磨坡后进行超精，这样有利于滚子与滚道吻合接触，充分保证滚子在滚道中应力分布均匀，减少或避免应力集中现象，从而减少轴承异常温升的现象，大幅度提高轴承使用寿命。

具体操作实施如下：

1）依据内圈大挡边面积，适当加大滚子球基面穴径尺寸，穴径底部、上边缘应有圆角，减少应力集中现象，可以改变滚子球基面与大挡边接触位置，有效减少或避免轴承异常温升现象。

2）确保滚子螺旋导轮角度的正确性。仔细修磨螺旋导轮大挡边的表面粗糙度，只有采取贯穿磨削方法加工圆锥滚子坡深、坡长尺寸统一性，使每个滚子承载能力均衡，滚子外径形状正确圆滑过渡。

3）合理匹配滚子角度差与内外圈滚道角度差加工方向。在加工滚子外径与内外圈滚道时，采取互相之间规定加工角度差方向，以保证角度差方向一致，使三者之间吻合接触，有效保证轴承正常承载能力。

关键词：
主减速器 圆锥滚子轴承 失效
（收稿日期20140415）