■ 洛阳轴承研究所有限公司/郑志功
■ 洛阳哈博轴承试验科技有限公司/张培君
■ 奇瑞汽车股份有限公司/王 技

汽车轮毂轴承模拟试验机加载方式探讨

汽车轮毂轴承的质量直接关系到汽车安全性、寿命、转向平稳性和舒适度，因此必须对其进行模拟工况耐久性试验。轴承设计者为了试验轮毂轴承单元的综合性能，获得轮毂轴承在实际道路运行中的损坏形式，给主机提供可靠、真实的试验数据，通过对汽车在行驶过程中的受力方式进行分析，研制出新一代汽车轮毂轴承模拟试验机，其加载方式模拟了轮毂轴承的实际受力状态。该系列试验机可以完成汽车轮毂轴承一般耐久性试验、强化疲劳试验、超速性能试验、抗烧蚀性高温试验、泥水喷溅试验及力矩刚性（角刚度）人工测试等。

对轮毂轴承进行试验，必须按正确的受力点对轴承施加一定大小和方向的载荷即轴向力和径向力，加载力必须满足力的三要素（位置、大小和方向）要求，轴承按一定转速运转，使其受力状态与轮毂轴承在汽车上的状态一致。在这样的状态下，按一定的载荷速度谱，进行模拟性能试验或强化试验，测试轴承的温升、振动等参数，直到达到试验要求。

由此可以看出，研究轮毂轴承实际的受力方式是试验机研制的关键所在。

轮毂轴承的外部载荷

轮毂轴承的外部载荷是对其进行受力分析、寿命计算和耐久性试验载荷谱设计的重要依据。影响轿车轮毂轴承外部载荷的情况非常复杂，这些因素包括路面状况、车速、轮胎特性、行驶路线以及驾驶习惯等。轮毂轴承的外部载荷等价于轮胎载荷，即轿车行驶过程中路面对轮胎的作用力，通常包括径向轮胎载荷和轴向轮胎载荷等。

汽车在高速直线行驶中，轮毂轴承受到的外力为地面的支反力（此力称为径向外力）。该力的大小和轮轴承重有关，方向由轮胎着地点垂直向上并通过轴承回转中心，作用点为轮胎着地点。汽车在弯道行驶中，轮毂轴承除受到上述地面支反力外，还受到物体作圆周运动时受到的向心力的影响，该力的大小和向心力数值有关，方向平行于轴线，指向弯道中心方向，作用点为轮胎着地点（此力称为轴向外力）。

轮胎轮辋轴承组件受力分析

如图1所示，路面对轮胎产生径向载荷F_Z和轴向载荷F_Y（轴向载荷F_Y有正反两个方向，对应不同方向转弯），此两力为地面对轮胎作用力，轮胎要保持平衡，由动静法得知，必然受到轮轴（或悬架）对轮胎轮辋轴承组件的方向相反、大小相等且作用于同一点的另一对作用力即径向载荷反力F'_Z和轴向载荷反力F'_Y（轴向载荷反力F'_Y有正反两个方向），轮胎

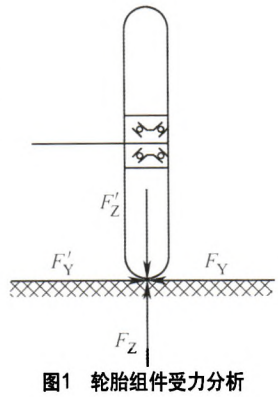


图1 轮胎组件受力分析

轮辋轴承组件重力不计。

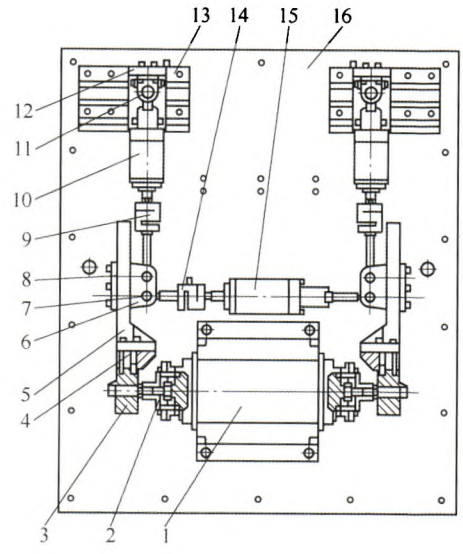
试验施加力方式选择

对轮毂轴承的试验加载力有两种形式。一种是以图1中径向载荷F_Z（单方向推力）和轴向载荷F_Y（双向力）为施加力，通过旋转的加载轴承直接加到轮毂轴承旋转圈上（加载轴承组件悬空，其主轴和轮毂轴承旋转圈固定在一起），作用于轮胎着地点，在试验机上其平衡力为F'_Z和F'_Y（同样作用于轮胎着地点）。该平衡力通过轮毂轴承非旋转圈（非旋转圈和机座固定在一起），最后由机座承受。另一种是以图1中径向载荷反力F'_Z（单方向拉力）和轴向载荷反力F'_Y（双向力）为施加力，直接施加到轮毂轴承的非旋转圈上，作用于轮胎着地点，在试验机上其平衡力为F_Z和F_Y（同样作用于轮胎着地点）。该力由轮毂轴承旋转圈加到承载轴系（轮毂轴承旋转圈和承载轴系主轴固定在一起），由于承载轴系固定在基座上，最后平衡力F_Z和F_Y为机座承受。经过受力分析可以得出，第二种形式中，轮毂轴承旋转圈必然受到一个合力，该合力和第一种形式中径向载荷F_Z（单方向推力）和轴向载荷F_Y（双向力）的施加力一致。

第一种加载方式直接，但加到着力点的径向力必须为推力，从着地点到轮毂轴承回转中心之间直接施加推力，在试验机上实现相对比较困难，国外有的试验机上该径向载荷实际为拉力，与轴承径向力方向不一致。第二种加载方式受力与第一种加载方式完全等效，结构简单，径向力偏距及轮胎半径（轴向力加载半径）调整容易，轮毂轴承安装方便。需要说明的是，载荷谱中一般给定的载荷为F_Z和F_Y，在试验时要对应调整载荷谱（主要调整轴向力方向和实际一致）。第二种加载方式可以根据不同的需要开发出同时试验两套轮毂轴承的双工位试验机，提高了试验效率。一般情况下，汽车左右轮毂轴承受力互不相同，仅在直线运动时受力一样，径向力各为轴重的一半，轴向力为零。

因此，我们采用第二种方案，如图2（试验机俯视图）所示，试验机布置形式为卧式。传动同步带轮安装在试验主体（承载轴系）1壳体内中部，变频电动机布置在床身内，通过同步带传动驱动承载轴系主轴旋转（图中未示出），主体壳体两端为试验装置2，试验装置2中轮毂轴承的非旋转圈和承载体3固定在一起（其旋转圈通过试验工装和承载轴系主轴相连），承载体3和过渡块4固定后与加载臂5固定在一起，设计不同的过渡块4可以调整轮毂轴承径向力偏距位置，调整和加载臂5上固定的施力块6位置可以获得不同的轮胎半径（轴向力加载半径），铰座销7和铰座销8分别通过杆端关节轴承和力传感器9、14和径向液压缸10、轴向液压缸15相连，径向液压缸10、轴向液压缸15分布在轮毂轴承回转中心线同一侧（如果径向液压缸和轴向液压缸分别位于轮毂轴承回转中心线两侧，为了保证力的三要素和实际一致，径向液压缸必须施加推力而不是拉力）。径向液压缸10另一端通过杆端关节轴承和铰座销11连结，该铰座固定在支架12上，支架12和调节板13固定在一起，固定在工作台16上；轴向液压缸15另一端通过杆端关节轴承和铰座销7连结，该铰座固定在右边加载臂上。径向液压缸和轴向液压缸两端分别连接两个杆端关节轴承组成的铰支座，构成可伸缩的二力杆，确保液压缸仅承受拉力或压力。轮胎着地点为轴向液压缸铰支座销7的中心，轴向力大小和方向随载荷谱相应变化，径向液压缸为单方向拉力，大小随载荷谱相应变化，其力线通过轴向液压缸铰支座中心（轮胎着地点）。为了抵抗轴向液压缸和径向液压缸等的重力，在左右两个加载臂下放置辅助支撑。

在图2中，径向液压缸10仅施加通过轮胎着地点的



1.试验主体 2.试验装置 3.承载体 4.过渡块 5.加载臂 6.施力块 7、8、11.铰座销 9、14.力传感器 10.径向液压缸 12.支架 13.调节板 15.轴向液压缸 16.工作台

图2 模拟试验方案（双工位）

拉力。如果此时将加载臂5等直接固定在机座上，也就是说将轮毂轴承的非旋转圈固定，而将试验主体（承载轴系）1悬空，要想产生径向液压缸10的拉力效果，一定是承载轴系对轴承非旋转圈固定施加通过轮胎着地点的推力。这样也可通俗地说明两种加载方式的等效。

对轮毂轴承加力的大小由力传感器测得。计算机控制系统根据设定的载荷值，该设定的载荷和实际测得的载荷值比较，对液压系统的比例伺服阀发出调节指令，完成闭环控制，确保载荷的准确性。

模拟试验机为双工位，同时试验两套轴承，效率高，特别适用于同型号不同生产厂家对比试验。该试验机能够试验一、二、三代轮毂轴承，可以分别实现内圈或外圈旋转。由于轴向力为轴承失效主要影响因素，该试验机左右两工位试验轴承为同一轴向力，确保两轴承等效试验。

该试验机通过计算机自动控制，提供实时数据及曲线显示。测取数据包括：主轴转速、主机电流、轴向和径向载荷、试验轴承温度及振动值等，人机界面丰富、便于操作，性能稳定，报警自动停机。其控制主界面如图3所示，设备外观如图4所示。

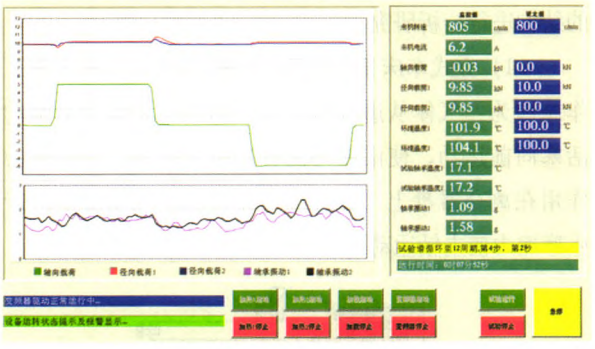


图3　控制界面示意

图4　设备外观

其主要技术指标为：

1）最大径向载荷20kN，控制精度：设定值±2%（稳态时），闭环控制。

2）最大轴向载荷±15kN，控制精度：设定值±2%（稳态时），闭环控制。

3）最高试验转速2 500r/min，控制精度：设定值±5r/min（稳态时），闭环控制。

4）控制方式：自动控制（无人值守，按设定载荷谱自动运行，报警自动停机）。

5）加载方式：液压加载。

6）温度测量范围：0～200℃。

7）振动测量范围：0～10g。

测量参数为载荷、转速、电流、温度、振动等。

设备特点

通过上述分析，正确选择试验施加力方式以及各技术参数的设置，我们研制了具有自主知识产权的汽车轮毂轴承模拟试验机，该设备具有以下特点：

1）该方案进行了技术创新，将伸缩二力杆引入加载系统，避免了轴向加载力和径向加载力的相互干涉。

2）试验轴承受力方向和实际一致，满足力的三要素要求，轴承受载失效形式和轴承在汽车上受载失效形式一致。

3）载荷闭环控制，可以进行强化试验，在试验机最大径向和轴向载荷下（轴向双向最大）正常运行。

4）转速（2 500r/min）闭环控制，可以进行350km/h超速试验。

5）软件界面显示参数设定值和实际值。

6）轴向载荷换向1s内载荷控制到位；高低速切换时间2s内转速控制到位。

结语

汽车轮毂轴承模拟试验机研制成功以来，已被国内外大型轮毂轴承生产厂家使用，对提高轮毂轴承产品质量的可靠性发挥了重要作用。轮毂轴承的模拟仿真试验、强化试验和超速试验将是汽车轮毂轴承试验的重要方向。随着科技的高速发展，试验技术及试验机的性能将会越来越高，必将对整个汽车工业起到强有力的推动作用。

关键词：
汽车轮毂 轴承 模拟试验机 载荷等效
（收稿日期20140510）