

轮毂轴承外圈轴向受力分析研究

田倬于, 陈远, 丁勇, 周猛, 刘嘉龙, 李岩, 李建

驻马店中集华骏铸造有限公司 河南驻马店 463000

摘要: 轮毂轴承外圈大多数情况是分体单独压装, 它和轴承内圈配合成整套轴承, 负责实现汽车轮毂与轴之间的承载和运动配合, 为轮毂的转动提供精确引导, 从而保证汽车的正常行驶。它们既要承受轴向载荷又要承受径向载荷, 因此被视为一个关键性的轮端总成零部件。此外, 轮毂轴承还有助于保持车辆的稳定性, 并通过其润滑特性减少摩擦力矩, 提高运行效率。在汽车的生产线上, 轴承的安装、注油、密封以及游隙的调整都是必要的工序。因此, 轮毂轴承外圈在运动过程中的轴向受力分析研究显得尤为重要。它可以给产品设计人员提供压装间隙的依据, 也可以让装配生产企业知道压装不到位的潜在风险, 避免汽车在行驶过程的轴承“跑外圈”风险。

关键词: 轮毂; 轴承外圈; 轴向受力; 压装间隙

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.10.003

轮毂轴承的外部载荷复杂多变, 在实际行驶当中, 路况、行车速度、转弯半径和轮胎特性等都显著影响着轮毂轴承的寿命与性能。轮毂轴承的外部载荷通过轮胎施加在轮毂轴承上, 即在汽车的实际行驶过程中, 路面对轮胎的径向、轴向载荷等间接作用在了轮毂轴承上。根据力的传递特性, 可认为轮毂轴承外部载荷等价于轮胎的外部载荷。

研究表明, 汽车在转弯时轮胎受到的轴向力最大。因此, 这时轮毂轴承受到的轴向力最大, 此时的轴向力就是轴承外圈可以承受的最大力。本次计划以驻马店中集华骏铸造有限公司K轮毂总成作为研究对象, 通过精确的理论计算, 确定如果轮毂轴承外圈没有压装到位, 在汽车行驶过程中受到的轴向力是否能使其发生轴向移动。

理论计算

K轮毂总成设计采用的是圆锥滚子轴承, 而滚动轴承想要充分发挥它的功能, 就必须得到适宜的配合。通常内圈(轴圈)采用过盈配合, 外圈(座圈)采用间隙配合。在某种使用条件下, 当过盈量不足或者轴承外圈压装不到位的时候, 会造成轴承外圈松动、蠕变、微动磨损及发热等现象。如果过盈量太大或者轴承外圈压装倾斜, 可能会造成轴承外圈开裂。

要想了解压装配合面的面压与应力, 可以按照承受均匀内压或外压的壁厚圆环进行计算。由以上内容可知, 本次研究的是采用过盈配合将轴承外圈压装在轴承台阶上时, 可使用厚壁圆筒理论计算所需压入力。而压入力取决于配合面的接触区域面积、表面压力和摩擦系数。

因此，压入力*K* 计算

$$K=\mu P_m \pi DB \tag{1}$$

式中 μ ——摩擦系数， $\mu=0.10$ （压入），防锈润滑油滑；

P_m ——接触面的压强，单位为MPa；
 D ——轮毂轴承孔内径，单位为mm；
 B ——轴承外圈宽度，单位为mm。

$$P_m = \frac{D}{D} \frac{1}{\left[\left(\frac{m_e - 1}{m_e E_e} - \frac{m_h - 1}{m_h E_h} \right) \right] + 2 \left[\frac{h^2}{E_e (1 - h^2)} + \frac{1}{E_h (1 - h_0^2)} \right]} \tag{2}$$

式中 ΔD ——有效过盈量， $\Delta D=[D/(D+3)] \times \Delta D_a$ ，单位为mm；
 ΔD_a ——名义过盈量，取决于轴承外圈和轴承孔内径的过盈量，单位为mm；
 E_e ——轴承外圈的弹性模量，为208 000MPa；

E_h ——轴承座即轮毂的弹性模量，查表为173 000 MPa；

m_e ——轴承外圈的泊松比，为0.33；
 m_h ——轴承座即轮毂的泊松比，查表为0.3。

$$h=D_c/D, \quad h_0=D/D_0$$

式中 D_c ——轴承外圈平均直径， $D_c=(7D+3d)/10$ ，单位为mm。

计算模拟

1.基础数据统计

表1为轴承总成基础数据，从中可以看出，总成跳动受轮毂外径和制动鼓内径装配间隙、各自装配面的跳动以及制动鼓的刹车面跳动影响。如何找到这几个数值之间的关联至关重要，下面将对装配过程进行研究，对其中的微小变形进行分析。

表1 轴承总成基础数据 (单位: mm)

零件号		上部轴承孔内径	上部轴承孔外径	上部轴承外圈外径	上部轴承外圈平均直径	上部过盈量范围	下部轴承孔内径	下部轴承座外径	下部轴承外圈外径	下部轴承外圈平均直径	下部过盈量范围
HUB-01025	上限	146.935	162.4	147	129.8292	0.15	122.187	141.25	122.263	105.5159	0.126
	下限	146.885	159.6	146.975		0.04	122.137	138.75	122.238		0.051
HUB-01043	上限	152.35	170.4	152.425	133.2975	0.125	152.35	170.4	152.425	133.2975	0.125
	下限	152.3	167.6	152.4		0.05	152.3	167.6	152.4		0.05

目前轴承外圈压装形式（上下同时压装）如图1所示。

因此，在计算压装力时应考虑上下压入力的较大值，作为压力机需要的压力。

2.轮毂轴承外圈压装力计算

由上面公式计算可知，内侧轴承外圈的压装力*F*（压内侧）=147.98N，外侧轴承外圈的压装力*F*（压外侧）=159.95N。

轮毂轴承在行驶过程中受到轴向力计算

1.车型确定

K轮毂总成使用在载货汽车上，涉及车型有24t和

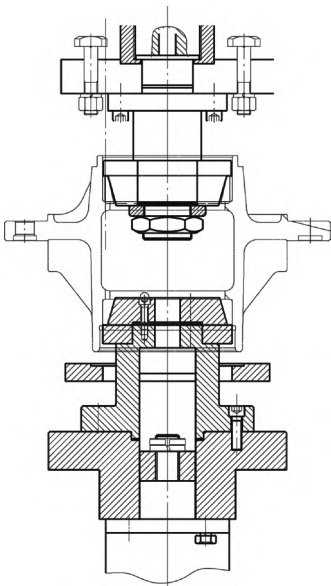


图1 压轴承外圈示意

30t两种型号，具体车型及车桥负重参数见表2。

表2 车桥负重数据

车型	型号	前桥负重/kg
24t	FXZ77LD-7S-V	7100
	FXZ77ND-7S-V	7100
	FXZ77LM-6S-V	6300
	FXZ77SX-7S-V	7100
	CYZ52RX-7S-V-F	7100
	CYZ52SX-7S-V-F	7100
30t	FYH77SM-Z9S-V	6300
	FYH77SD-Z9S-V	7100
	CYH52SD-7S-V-F	7100
	CYH52TX-7S-V-F	7100

2.转弯时受到轴向力计算

载货汽车每根前轴有两个轮毂，每个轮毂安装一个轮胎，每根轴共有两个轮胎。如果考虑到路况、力传递损失等各种因素，轴向受力分析将会非常复杂。经和轴承公司公司售后工程师沟通，决定采用简化算法来分析。此方法可用来对各种轴承实际使用问题的分析，计算误差精度在10%以内，足以适用于本研究。

由表2可知，24t和30t车型的前桥负重有6300kg和7100kg两种规格，本文以6300kg为研究对象，进行计算分析。

因为前轴的承重是6300kg/根，所以每个轮胎所受径向载荷 $M=6300/2=3150\text{kg}$ 。

汽车转弯轮胎受力如图2所示。一般汽车的转弯向心加速度 $a=0.1\sim 0.2g$ ，重力加速度 $g=9.8\text{N/kg}$ 。本次 a 选取最小值 $0.1g$ ，则在轮胎半径位置上受到的轴向力 $F=Ma=3150\text{kg}\times 0.1\times 9.8\text{N/kg}=3087\text{N}$ 。

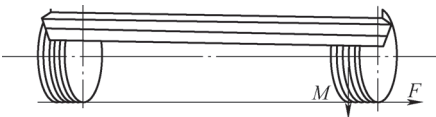


图2 汽车转弯轮胎受力示意

查载货汽车资料得，轮胎型号有295/80R22.5、11R22.5和12R22.5三种，本文选取最小轮胎型号295/80R22.5。其中295表示横截面宽度为295mm，80表示高宽比为80%，R表示子午线轮胎结构，22.5表示轮辋直径为22.5英寸（1in=25.4mm）。则轮胎直径 $D=295\text{mm}\times 80\%\times 2+25.4\text{in}\times 22.5\text{mm/in}=1043.5\text{mm}$ ，

轮胎半径 $R=521.75\text{mm}$ 。

轮胎在转弯时所受力矩 $M_{\text{轮胎}}=FL=FR=3087\text{N}\times 0.52175\text{m}\approx 1610.6\text{N}\cdot\text{m}$ 。

根据力的传递特性，可认为轮毂轴承外部载荷等价于轮胎的外部载荷，则 $M_{\text{轮胎}}=M_{\text{轴承外圈}}$ ，其中轴承内圈对外圈的力传递损失在这里可忽略不计。由于汽车转弯方向不同时，每个轮毂只有一个轴承外圈受到内圈对它的轴向力，需要如下分别计算。

轴承外圈（内侧）半径 $R_1=61\text{mm}$ ，轴承外圈（外侧）半径 $R_2=46.6\text{mm}$ 。则

$M_{\text{轮胎}}=M_{\text{内侧轴承外圈}}=F_{\text{内侧}}R_1$ ，则 $F_{\text{轴内侧}}=26403.3\text{N}$

$M_{\text{轮胎}}=M_{\text{外侧轴承外圈}}=F_{\text{外侧}}R_2$ ，则 $F_{\text{轴外侧}}=34562.2\text{N}$

3.轮毂轴承受到轴向力和压装力比较

$F_{\text{压内侧}}=14798\text{N}$ ， $F_{\text{轴内侧}}=26403.3\text{N}$ ， $F_{\text{轴内侧}}>F_{\text{压内侧}}$

$F_{\text{压外侧}}=15995\text{N}$ ， $F_{\text{轴外侧}}=34562.2\text{N}$ ， $F_{\text{轴外侧}}>F_{\text{压外侧}}$

结语

经过本次研究，对轴承外圈压入力的计算过程进行了学习，对相关影响因子也有了相对全面的认识。经过上述计算分析，K轮毂不管是内侧还是外侧的轴承外圈在汽车转弯过程中，受到的轴向力都大于其初始压装力。因此，如果轮毂轴承外圈前期没有压装到位，和轮毂轴承台阶保持1mm以上的间隙，在汽车行驶过程中受到的轴向力能使其发生较大的轴向移动，会出现轴承“跑外圈”的风险。

因此，需要对轴承外圈压装过程进行严格控制，避免出现质量隐患。必须保证轴承外圈和轮毂轴承孔台阶面完全贴合，增加端面的摩擦力来防止轴承外圈轴向移动。同时，轴承内圈和轴承外圈的游隙也需要控制在合理的范围内，这样就限制了轴承外圈的可移动范围。即便随着汽车行驶里程的增加，由于振动磨损等因素导致轴承外圈的最大静摩擦力在逐渐减小，最终轴承外圈发生了微小的轴向位移，也不会影响使用效果和使用寿命。 **AUTO1950**