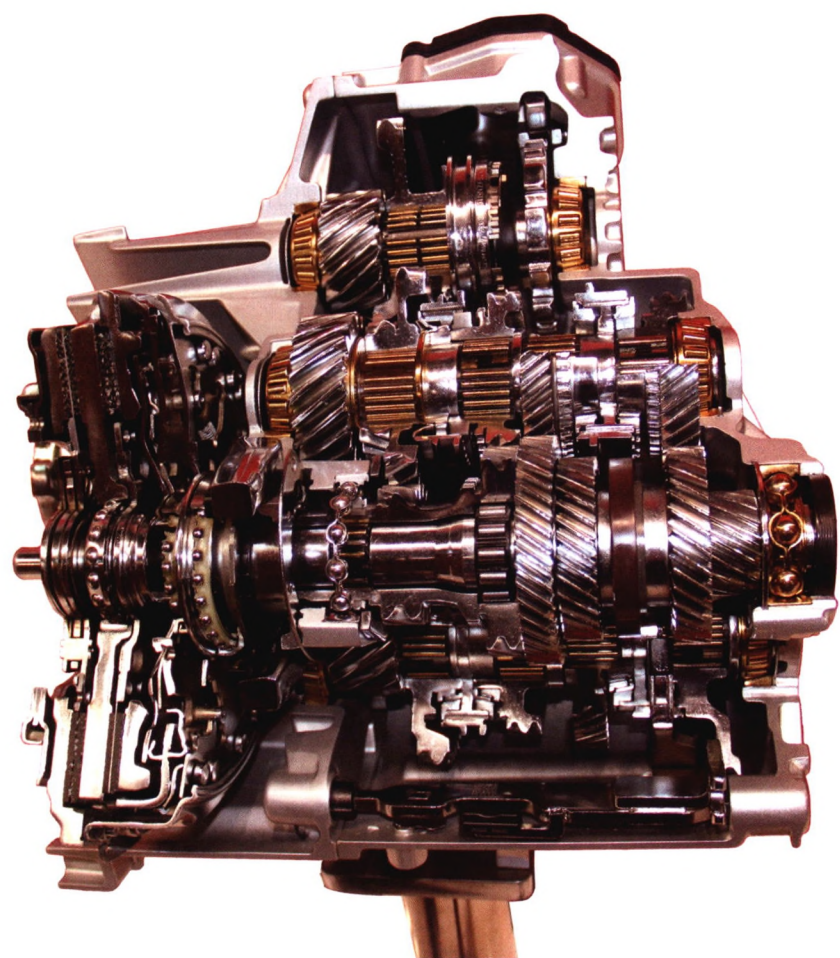


根据某型变速器用冲压外圈滚针轴承的主要技术指标，对高速工况轴承的材料、主参数、主要结构参数及关键工艺等关键技术进行了设计分析及校核，并模拟轴承使用工况建立试验台架，对设计的高速冲压外圈滚针轴承进行强化寿命试验验证。试验证明：设计加工的高速滚针轴承轴承各项性能指标均满足使用要求。



变速器高速滚针轴承的设计

□ 洛阳轴承研究所有限公司 / 张少龙 李媛媛 孙立明 王高峰 李泽强

变速器是汽车传动系统的核心部件之一，其可靠性对整个传动系统的工作性能起着重要作用。而高速滚针轴承作为变速器中的关键支承部件，其性能的好坏直接影响变速器的性能和寿命。因此，开展高速滚针轴承设计开发、理论研究及材料选用等关键技术的研究就显得尤为重要。本文以某型变速器用高速冲压外圈滚针轴承的设计开发为

例，对高速状态下冲压外圈滚针轴承的设计关键技术和试验验证进行了初步探讨。

主要技术指标及失效分析

1. 主要技术指标

轴承主要技术指标如下：

(1) 外径 $D=79.43\text{ mm}$ ，滚

针总体内径 $F_w=69.5\text{ mm}$ ，宽度 $C=19\text{ mm}$ 。

(2) 轴承座内径 $D_a=79.43\text{ mm}$ ，配合轴外径 $d_a=69.5\text{ mm}$ 。

(3) 润滑方式为飞溅滑油润滑。

(4) 工作环境温度 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

(5) 径向工作载荷 $F_r=220\text{ N}$ ，最大径向工作载荷 $F_{r\max}=300\text{ N}$ 。

- (6) 工作转速为8 000r/min,最大工作转速8 800r/min。
- (7) 寿命5 000h。

2. 失效分析

根据主要技术指标可知，轴承工况为轻载、高速。造成轴承失效的主要原因为高速轻载打滑、滚针歪斜、滚针边缘应力集中及高温卡死等，表面疲劳剥落已不是造成轴承失效的主要原因。

设计分析

根据轴承的工况条件、使用要求及失效原因，从结构形式、材料、结构参数等方面进行分析设计，以使其承载能力、转速及寿命满足轴承的使用要求。

1. 结构形式

某变速器选用冲压外圈滚针轴承为支承轴承，该轴承由冲压外圈、保持架及滚针组成，其结构示意图如图1所示。

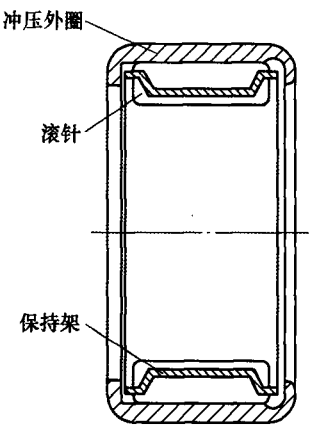


图1 冲压外圈滚针轴承结构示意图

2. 材料选择

(1) 冲压外圈。冲压外圈材料一般采用10号或08号优质冷轧钢板（带）制造，但本冲压外圈滚针轴承尺寸较常规轴承大，而20号钢板含碳量比10号或08号钢板稍高一些，反映到性能上的表现就是20号钢的抗拉强度和冲击韧性稍高一些，因此冲压外圈选用20号钢板。

(2) 保持架。保持架材料一般采用优质低碳钢制造，结合轴承实际工况，可选用25Mn、25钢或20钢等优质碳素结构钢。25Mn与25钢及20钢相比，具有较高的强度和淬透性，可切削性良好，因此保持架选用25Mn。

(3) 滚针。滚针是冲压外圈滚针的关键件，其材料一般为GCr15，本设计滚针材料选用了军甲钢ZGCr15，该材料用电渣重熔方法冶炼，与GCr15相比，其杂质少，碳化物更加细小且分布更加均匀，因此其性能更加优良。

3. 设计主参数

以提高额定动载荷，减小滚针与滚道间的接触应力为目标，对轴承设计主参数进行优化设计，其设计主参数见表1。

4. 滚针设计

轴承在高速工作时，滚针不可避免的会与保持架窗孔相对滑动，造成滚针磨损。通过提高滚针几何精度可以有效减小这种磨损，因此滚针按照文献所规定的 I 级精度等级的圆柱滚

子进行设计，且每套轴承中40个滚针的直径相互差不大于2 μm。

为解决滚针边缘应力集中造成的早期疲劳剥落，滚针采用了圆弧修正线母线修型设计。

5. 冲压外圈设计

根据实际工况，冲压外圈设计成穿孔型结构，其外径与轴承座内径过渡配合，冲压外圈表面碳氮共渗处理，硬度可达到670~810HV，从而提高冲压外圈滚道和外径表面的硬度和耐磨性。

6. 保持架设计

本轴承的保持架采用车制M形保持架。轴承保持架的引导方式有三种：滚动体引导、外引导和内引导。本设计保持架引导方式采用内引导，与外引导相比其优点如下：

(1) 可以避免离心力及热膨胀所造成的引导间隙减小，从而减轻引导面间由于摩擦引起的磨损。

(2) 较外引导保持架尺寸减小，使保持架重量及惯性力减小。

(3) 内引导可以为保持架提供拖动力，有利于减少或防止轴承产生高速轻载打滑。

高速滚针轴承保持架的引导面和窗孔是轴承磨损最严重的区域，因此，保持架设计时选择合适的引导间隙和窗孔尺寸显得尤为重要。综合考虑由离心力引起的保持架变形，保持架和套圈由于热膨胀引起的变形以及润滑油流动所需间隙等因素的影响，结合现行设计方法，确定引导间隙大小为0.1mm，窗孔长为13mm，窗孔宽为4mm。同时，为了保证保持架在高速状态下具有良好的运转平稳性，40个窗孔圆周均布误差不大于0.1mm，窗孔

表1 设计主参数

主参数	值
滚针直径 D_w /mm	4
滚针长度 L_w /mm	12.8
滚针个数 Z	40
滚针中心圆直径 D_{pw} /mm	73.5

底边至端面壁厚差不大于0.1mm。

因此，为了保证保持架各尺寸的精度，该保持架加工方法为整体采用车加工，窗孔采用数控电火花加工。保持架表面碳氮共渗处理，提高其硬度和耐磨性。

7. 径向游隙设计

根据冲压外圈滚针轴承径向游隙计算公式算出轴承径向游隙为0.018~0.097mm，可知径向游隙最小值偏小。而高速状态下，初始径向游隙过小会造成轴承出现卡死问题，因此，将轴承座内径公差J7压缩，改为H5 (^{+0.013}₀)，经计算可得轴承径向游隙为0.03~0.092mm，从而保证了轴承的工作游隙，使轴承避免出现卡死现象。

8. 零件的深冷处理

深冷处理又称超低温处理，是指在以液氮为制冷剂在-130℃以下对材料进行处理的方法，从而达到给材料改性的目的。本设计分别对滚针、冲压外圈及保持架成品零件进行了深冷处理，用以提高零件的尺寸稳定性和耐磨性，减小高速状态下冲压外圈和保持架的变形。

设计参数校核验证

根据相关公式计算出轴承径向额定动载荷为36.7kN，径向额定静载荷为79.9kN；承静安全系数为266.3，满足设计要求；极限转速约4 141r/min，不满足转速8 800r/min的工况要求。这是由于该轴承极限转速计算公式仅是在一定假设条件下的近似公式，当轴承采用飞溅润滑，适当加大轴承游隙以及提高制造精度时，均能提高轴承的极限转速，因此，鉴于该轴承的实际工况

及设计制造精度，该极限转速近似计算公式并不完全适用于该轴承，其转速能否满足要求需通过强化寿命试验进一步验证。

1. 寿命

滚动轴承的寿命主要通过疲劳寿命 (L_D 寿命) 进行设计验证，但其寿命理论是建立在润滑充分、中等载荷、中等转速等正常工况条件下的。显然疲劳寿命理论并不适用于该轴承轻载、高速的工况。因此，为验证轴承的寿命，模拟轴承使用工况建立了试验台架，对轴承进行了强化寿命试验。

2. 试验验证

(1) 试验台架建立。模拟轴承使用环境，采用4050润滑油，将温度控制在 $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，建立轴承试验台架如图2所示。

(2) 试验方法。试验样本共2套。根据轴承主要技术指标要求，

在保持解除疲劳失效机理一致的前提下，采用加大载荷的强化试验方法，大大缩短了试验时间，节省了试验费用。具体试验方法见表2。

(3) 试验结果。2套轴承试验过程中，寿命试验机未出现轴承温升过高、保持架及冲压外圈变形等造成的卡死以及疲劳剥落等引起的警报、停机现象；2套轴承运转500h后，寿命试验机依然运转正常，轴承均未发生失效。由此可知，设计开发的2套轴承均满足主机对转速、寿命等主要技术指标的要求。

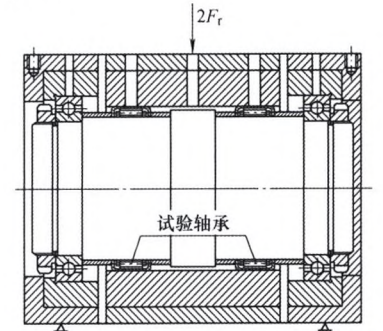


图2 试验台架结构示意图

表2 试验方法

试验机型号	ABLT-1A强化寿命试验机		
试验步骤	1	2	3
试验转速/r·min ⁻¹	8 000	8 000	8 800
径向载荷/N	440	220	600
轴向载荷/N	0	0	0
试验时间/h	300	100	100

结语

通过对某变速器用滚针轴承的使用工况及主要技术指标的研究，设计了满足高速工况下的冲压外圈滚针轴承，同时对设计参数进行了校核计算，并模拟轴承使用工况建立试验台架，对所设计轴承进行强化寿命试验，从而验证了针对高速冲压外圈滚针轴承的材料选取、主参数及主要结构设计参数的确定等关键技术思路的正确性，为同类轴承的设计提供了参考。AUTO1950



张少龙：洛阳轴承研究所有限公司。军品研发部工程师，硕士研究生。主要从事特种轴承的研发工作。