

变速器输出轴装配 对齿轮轴向间隙的影响

□ 柳州上汽汽车变速器有限公司/卓色康

本文对衬套与轴承出现不合理轴向间隙现象进行研究分析，讨论输出轴后轴承的装配方式对齿轮、零件轴向间隙控制的影响。

目前，大多数商用车采用前置后驱的动力传动方式，变速器通常为纵置三轴式结构，输出轴前轴承通过卡圈与壳体限位，限制轴系的轴向位置，在输出轴的后轴承与壳体之间采用间隙配合，属于浮动支撑。目前采用传统装配工艺，该后轴承的装配是采用油压机压装，导致前轴承内圈与轴、衬套与轴的静摩擦力总和无法抵抗压机作用力，导致输出轴系整体轴向窜动的现象发生，最终导致衬套与轴承出现不合理轴向间隙、从动五挡齿不合理的轴向间隙。本文将对此现象问题进行研究分析，讨论输出轴后轴承的装配方式对齿轮、零件轴向间隙控制的影响。

我公司生产的某系列变速器总成装配完成后，输出轴窜动，输出轴前轴承与倒挡滚针轴承衬套之间产生间隙，测量54件返修总成的输出轴窜动，52件不合格，具体实际测量数据见表1。

五挡从动齿轴向间隙超差，测量20件五挡从动齿轮轴向间隙，9件不合格。数据见表2。

表1 输出轴前轴承与一/倒挡滚针轴承衬套之间间隙测量（单位：mm）

技术要求无间隙，即0										
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.11	0.12	0.9	0.11	0.10	0.12	0.10	0.10	0.10	0.11
2	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10
3	0.10	0.10	0.9	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
4	0.11	0.11	0.12	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
5	0.11	0.10	0.09	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10
6	0.11	0.11	0.15	0.15	0	0				

表2 五挡从动齿轴向间隙（单位：mm）

技术要求0.15~0.342										
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.1	0.13	0.2	0.25	0.18	0.13	0.25	0.1	0.1	0.2
2	0.2	0.25	0.15	0.2	0.16	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

原因分析

根据上述现象及测量结果，输出轴前轴承与一/倒挡滚针轴承衬套之间存在间隙，说明在压装输出轴后轴承时，输出轴前轴承卡圈能够保证中间轴承与壳体之间的相对位置，但前轴承内孔与输出轴、衬套与输出轴的摩擦力总和，无法承受压机压装后轴承的作用力压力，输出轴组件向输入轴方向发生轴向窜动，导致滚针轴承衬套与前轴承之间间隙的产生。如图1所示。

出轴组件向输入轴方向发生轴向窜动，导致滚针轴承衬套与前轴承之间间隙的产生。如图1所示。

五挡从动齿轴向间隙超差（理论值为0.15~0.342mm），说明在前轴承无法限制输出轴系轴向窜动的状态下，前轴承使倒挡从动、五倒挡同步器的位置相对输出轴往上移动，导致五挡从动齿的轴向间隙发生变化。

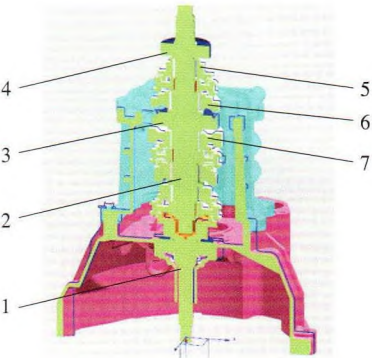


图 1

1.输入轴 2.输出轴 3.前轴承 4.后轴承
5.五挡从动齿 6.倒挡从动齿 7.一/二挡衬套

数据分析验证

为了解实际装配过程中零件的尺寸公差控制水平对装配压力的影响，分别对输出轴轴径尺寸、前轴承孔径、滚针轴承衬套内径和后轴承孔径进行测量，测量结果见表3。

针对上述测量数据进行处理，分别对前、后轴承内孔与轴之间的过盈配合、衬套与轴之间的过盈配合产生的摩擦力进行计算分析，按极限配合计算，用以对比压机压力大小，判断前轴承、衬套和轴产生的静摩擦力总和能否抵抗压机的压力，使得输出轴系不发生轴向窜动。如图2所示。通过计算，输出轴前轴承与轴的静摩擦力 $F_1=947\sim$

4 464N，输出轴后轴承与轴的摩擦力 $F_2=1\ 751\sim5\ 479\text{N}$ ，衬套与输出轴的静摩擦力 $F_3=1\ 623\sim6\ 945\text{N}$ 。

压机作用在输出轴后轴承的压装力：输出轴后轴承的压装力直接从生产线的压机中随机读取，所读取10台压装力大小，汇总情况见下表4。

从以上计算数据分析，可以看到：压机压力 F 设定为大于5kN才能克服后轴承与输出轴之间的静摩擦力 $F_{2\max}$ ，此设定是合理的。而理论计算得到的前轴承、衬套与输出轴静摩擦力的大小，与配合过盈量、摩擦系数及材料的弹性模量有着直接的关系。

压机压力 F 需要克服 F_1+F_3 摩擦力，才能使输出轴系往输入轴方向发生窜动。从表4压机读数中，我们发现工作压力读数涉及范围在5kN左右波动比较频繁，并且实际压装到位后，压机还将产生平均压力为20kN的停止压力作用在后轴承上。

致此，5kN的工作压力已经大于 F_1+F_3 的最小静摩擦力，输出轴系轴向窜动已经存在风险。再加上停止压力也远远超过 F_1+F_3 的最大静摩擦力，必然发生输出轴轴向窜动，

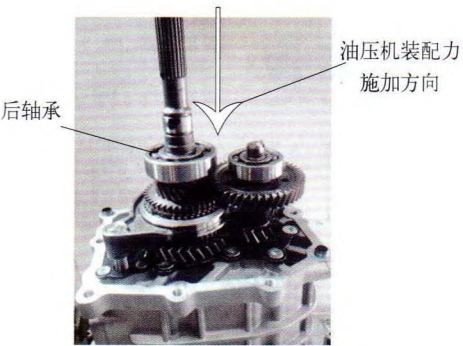


图 2

导致一档从动齿的衬套与中间轴承间间隙的产生、五挡从动齿轴向间隙超差。

那么，在压机5kN的压力作用下，通过CAE软件对输出轴前轴承的系统变形进行模拟分析，所选用规格型号轴承径向游隙0.012~0.028mm，轴向游隙0.1~0.23mm。得知对深沟球轴承内部游隙的影响如下：在此工况下，相当于轴承外圈固定，轴向游隙吃掉后，产生132.64MPa的应力，如图3所示；外圈与内圈有0.008 6mm错位量，如图4所示。

利用CAE (Workbench) 软件分析得到如下结果：输出轴后轴承施加5kN载荷，轴承内孔与输出轴之间的静摩擦系数取 $\mu=0.08\text{mm}$ 时，输出轴发生轴向窜动0.04mm

表 3 (单位：mm)

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
输出轴轴径 $\phi 32^{+0.015}_{+0.002}$	32.006	32.005	32.006	32.005	32.007	32.007	32.007	32.006	32.008	32.005
前轴承孔径 $\phi 32^{0}_{-0.01}$	32.000	31.996	31.998	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
滚针轴承衬套内径 $\phi 32^{+0.01}_{0}$	31.992	31.995	31.994	31.993	31.995	31.994	31.993	31.993	31.997	31.996
输出轴轴径 $\phi 28^{+0.015}_{+0.002}$	28.008	28.006	28.008	28.008	28.007	28.008	28.007	28.008	28.008	28.008
后轴承孔径 $\phi 28^{0}_{-0.008}$	27.992	27.992	27.992	27.995	27.993	27.993	27.992	27.994	27.992	27.993

表 4 (单位：kN)

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
工作压力	7.28	4.97	5.93	6.52	5.02	5.75	5.30	6.06	4.93	6.32
停止压力	20.38	21.55	20.48	18.85	20.09	25.33	22.89	25.60	20.28	24.91

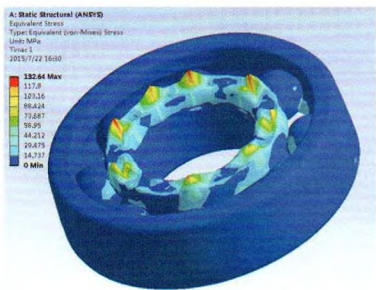


图 3

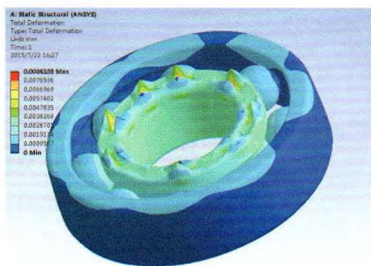


图 4

(见图5)。此时，一/二挡衬套与前轴承会出现0.04mm的间隙，而相对应的五挡齿轮轴向间隙也会比理论计算值(0.15~0.342mm)减小0.04mm，符合实际发生的情况。若轴承内孔与输出轴配合面更加光滑，理论上两者静摩擦系数更小，轴向窜动量将会更大。

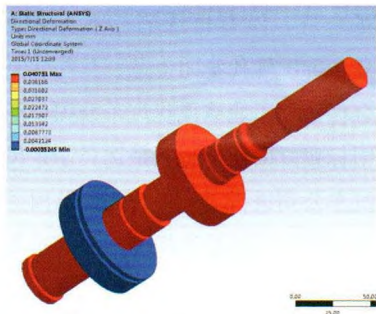


图 5

同时，对壳体屈服强度、变形、损坏等存在影响：由于前轴承挡圈将轴承固定在轴承箱上，故可以理解为压机5kN作用力直接作用在轴承箱上，最终最大应力125.41MPa(见图6)；最大变形量0.089mm(见图7)，应力已经比较

接近ADC12材料屈服极限。

参考日本工业标准JIS H 5302：2006铝合金压铸件中ADC12材料等效接近于ISO3522的AlSi11Cu3Fe，材料屈服强度为140MPa，抗拉强度为228MPa。

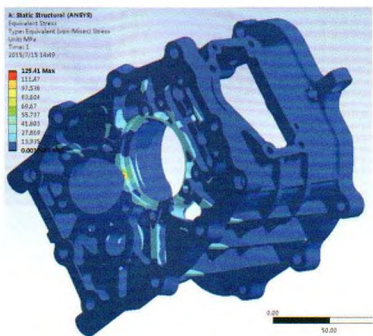


图 6

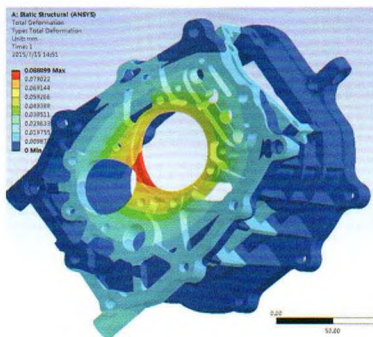


图 7

优化解决方案

使用油压机紧配合压装的装配工艺，将不可避免地发生上述现象，故实际生产中我们需要重新优化或变更装配工艺。目前，针对变速器齿轮、轴承的装配工艺，很多汽车变速器生产已经采用轴承加热的方式进行热装配，即轴承加热到一定温度，由于轴承内圈的热胀，使得内圈直径增大，与输出轴外径的配合关系由过盈配合，转变为过渡配合，甚至间隙配合，这样的装配方法，就能轻松地将轴承装配到输出轴上，只要使用很小的外力作用，就能保证轴承安装到位。这样

就能有效避免压机压装力设置不足时，导致轴系轴向窜动的产生，保证产品的装配质量。

针对此轴承热装的优化方案，经过与专业轴承厂家进行技术交流确认，将深沟球轴承的安装方由压力压装改为热装，只要热装工艺满足技术规范要求，不会对产品性能造成影响。但需要明确的是，采用热装时轴承加热要均匀，加热温度不要超过120℃，原因如下：

(1) 对于使用油脂润滑的闭式深沟球轴承，当加热温度超过120℃时，轴承油脂性能会发生变化，影响轴承的润滑效果。

(2) 开放式深沟球轴承保持架使用的是高碳钢材料，当温度高于125℃时，高碳钢中马氏体组织会分解，出现二次淬回火，降低轴承套圈硬度，影响轴承寿命。

因此，综合以上两点，将深沟球轴承的安装方式由压装改为热装时，只要加热温度不超过120℃，不会对产品的性能产生影响。

结语

综合上述分析，由于变速器结构设计的原因，当压机的装配压力大于前轴承与轴、衬套与轴的静摩擦力总和时，将使得轴承无法固定和约束输出轴系，引起输出轴系的轴向窜动，同时，此输出轴系的轴向窜动也将必然导致五挡、倒挡的轴向间隙的产生。

对此，将轴承压装工艺改为使用轴承加热器加热后，采用热装工艺，只要加热温度不超过120℃，既可以保证轴承的使用性能，也可以完全避免本文中提到的各零件轴向间隙产生。 **AUTO1950**