汽车变速器轴承位啸叫研究

□ 柳州上汽汽车变速器有限公司/秦运德

目前变速器啸叫研究分析大部分甚至全部都是在齿轮方面，尤其是在汽车反拖滑行过程中变速器齿轮更容易出现啸叫声。本文通过一款手动五挡变速器的冲压外圈滚子轴承与轴配合产生的啸叫研究与改善，进而对轴承推荐的标准提出一些修改建议。

汽车变速器是汽车传动系统重要组成部分，也是汽车主要噪声源之一。同时变速器啸叫噪声是变速器常见的NVH（Noise & Vibration & Harshness）问题，随着汽车用户对主观感知要求越来越高，NVH性能也日益受到关注。

整车在进行日常性能检查，汽车挂一挡、二挡、三挡和四挡，发动机转速在1 200～1 500r/min，驾驶室内听见有明显的像吹口哨的啸叫声音，这种啸叫噪声能够被用户明显感知并感觉不适，低于1 200r/min和高于1 500r/min，均没有啸叫声。

啸叫噪声声源识别

为了找到声源做如下试验验证，以找出变速器具体哪个零件或者零件之间配合产生的啸叫噪声，变速器设计布置结构如图1所示。

（1）将啸叫的变速器利用加载校验台校验，尽量模拟出整车环境，当转速升到1 200～1 500r/min，一、二、三、四挡位有啸叫声音，空挡也有轻微的啸叫声，啸叫声音和在整车驾驶室内听见的啸叫声音性质相同。

（2）在加载校验台校验没有啸叫声音的输入轴换到故障件上，故障件啸叫声消除，此时故障问题零件基本可以锁定在输入轴上。变速器的主动一挡齿和主动二挡齿与输入轴为齿轮轴结构，按照一般的理解，此时将怀疑是输入轴的主动一挡齿和主动二挡齿齿向有问题和齿轮副配合有问题。

（3）为了证明轮齿齿形是否产生啸叫，将变速器一、二挡齿轮副发黑处理，进行接触斑点试验，在台架轻微的转动下，运转后齿面上分布接触擦亮痕迹，试验结果如图2所示。

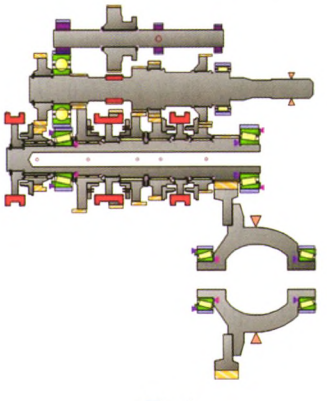

图 1

图 2

检查遗留在被测齿轮齿工作面的接触斑痕，沿齿宽方向实际接触痕迹的长度大于全齿宽的80%左右，齿高方向实际接触痕迹的长度大于全齿高的 70%左右，该齿轮副接触属于正常较好的接触，不存在轮齿的齿顶、齿根局部接触、齿面的一端局部接触、两端接触、游离接触等非正常接触。从试验结果判断，该齿轮副运转时，不应该产生

啸叫，排除了齿形齿向问题。

（4）对比测量了故障件输入轴与无啸叫变速器的输入轴，故障件输入轴上前轴承位轴颈为34.998mm，符合图样要求$\phi35^{0}_{-0.011}$mm，无啸叫变速器的输入轴为34.978mm超下差，初步怀疑输入轴前轴承配合有问题。而且从主观上判断，该啸叫声音声源靠近发动机连接端面，前轴承位置与发动机连接面接近。

（5）为了验证判断结论，加工10件输入轴直径超下差的零件（34.980～34.989）mm，分别装入有啸叫的变速器，啸叫噪声消除，判定啸叫噪声是由轴承与输入轴径向游隙不足引起。

理论设计验算

该变速器输入轴前轴承为冲压外圈滚针轴承，外圈为薄壁套筒结构。

该轴承对配合的输入轴轴颈尺寸推荐了两个标准：$h5^{0}_{-0.011}$mm和$h6^{0}_{-0.016}$mm，而对于与之配合的壳体内孔也推荐了两个标准：$R6^{-0.029}_{-0.045}$和$R7^{-0.025}_{-0.05}$，我们目前输入轴轴颈设计为$\phi35h5^{0}_{-0.011}$mm，壳体内孔设计为$\phi47R6^{-0.029}_{-0.045}$mm，采用的都是轴承推荐标准，轴承内接圆直径检测方法为：轴承压入一个定值环规后，要求内接圆直径为：$\phi35^{+0.05}_{+0.025}$ mm。该检测方法为破坏性检测，那么压入壳体后，内接圆直径是多少需要理论计算，以知道径向间隙是否满足要求。

轴承外圈壁厚1.3mm，属于薄壁套筒结构，在项目图样设计中一般都只标出轴承和输入轴轴颈内外径的尺寸及公差，以此来保证装配后形成要求的配合，由于轴承外圈与壳体内孔采用过盈配合。其过盈量形成外圈与壳体的装配应力，在这种装配应力的作用下，轴承外圈内径将产生一定的收缩量，显然，轴承外圈的收缩量与轴承外圈压入壳体时的过盈量密切相关，也与外圈和壳体的几何尺寸，两者的壁厚系数及各自材料性能相关。由于轴承外圈的内孔收缩改变了原来的尺寸，也就改变了内孔与轴的配合关系，以致达不到原来的设计要求，容易出现间隙过小，有时甚至试车温度升高而抱轴，严重时会出现内孔小于轴而不能装配的现象（我们这里参考《过盈配合中轴套收缩量的理论计算》）。

根据轴承理论收缩量计算公式，通过计算发现轴承压入壳体后，外圈收缩量为0.019～0.069mm，整个轴承滚针内接圆直径为34.996 5～35.046 6mm，配合的输入轴外径为34.989～35mm，配合间隙为-0.003 5～0.057 6mm。查询相关资料，该轴承工作游隙为0.01～0.06mm，轴承压装后，与轴配合出现间隙小于0.01mm区间，甚至出现过盈配合的概率，变速器在运转过程中，输入轴前轴承出现游隙不足、轴承滚针运转不灵活、卡滞现象，从而出现啸叫噪声。

设计优化

该输入轴前轴承推荐了两个配合标准轴颈：$\phi35\ h5^{0}_{-0.011}$mm和$\phi35\ h6^{0}_{-0.016}$mm，图样设计为$\phi35^{0}_{-0.011}$mm，为h5标准。根据加载试验，按此标准加工出的零件会出现批量啸叫问题，参考h6标准和考虑供应商加工反馈因数，图样改为$\phi35^{-0.018}_{-0.01}$mm，同时也征求了轴承专业供应商的意见，该更改尺寸公差对轴承无影响，并在疲劳台架试验和整车路试得到验证，以及后续批量生产验证，更改方案是有效的。

实际应用

变速器很多零件都是套筒结构，比如圆锥滚柱轴承外圈、滚针衬套、拨叉轴衬套等薄壁套筒结构零件，与壳体内壁或者轴类零件压装后都是过盈配合，零件都会有一定的收缩量或者膨胀量，与壳体配合内孔会收缩，与轴配合外壁会膨胀如图3所示，从而导致与轴或者滚针轴承配合径向游隙缩小。参考上述轴承位啸叫研究，在项目图样设计初始阶段，可以计算出比较合理的尺寸公差，避免项目后期出现难装配、运转不灵活、卡滞、啸叫等问题，争取一步设计到位，减少项目后期问题和更改工作量。

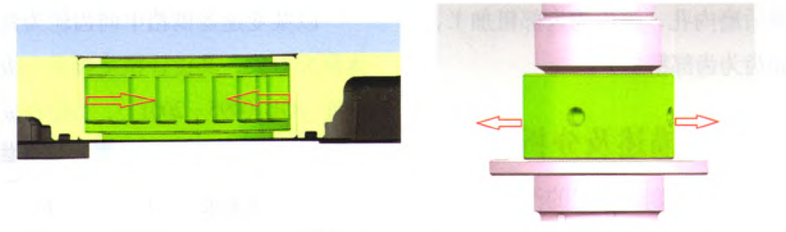

图 3