

变速器齿轮齿面加工纹路引起啸叫原因分析

□ 柳州上汽汽车变速器有限公司技术中心/秦运德

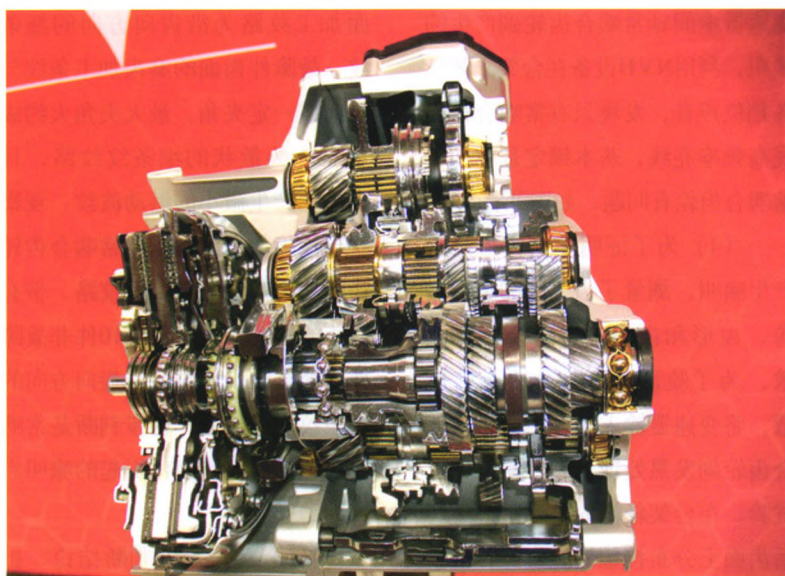
变速器啸叫噪声是变速器常见的NVH (Noise&Vibration&Harshness) 问题, 它给汽车用户的感受是最直接和最表面的, 随着汽车用户对主观感知要求越来越高, NVH性能也日益受到关注。目前变速器啸叫研究分析大部分都是在齿轮修型和加工精度方面, 尤其是在汽车低速行驶过程中变速器齿轮容易出现啸叫声。本文通过一款手动五挡变速器的齿轮表面磨齿加工纹路引起啸叫探讨, 并对齿面加工纹路加以修正, 认为对降低变速器产生的啸叫声有很好的作用。

变速器啸叫问题

整车下线进行日常性能检查, 汽车除了挂四挡以外, 挂一挡、二挡、三挡和五挡, 发动机加速在1 700~2 800r/min区间, 驾驶室内听见有明显的像吹口哨的啸叫声, 这种啸叫噪声能够被用户明显感知并感觉不适, 客户抱怨严重。

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, 当转速在1 700~2 800r/min时, 一/二/三/五挡挡位有啸叫声音, 四挡没有啸叫声音, 啸叫声音和在整车驾驶室内听见的啸叫声音

性质相同, 同时空载校验台, 也可以模拟出同样的故障模式。

(2) 从故障模式初步判断啸叫产生零件应该是常啮合齿和附近的零件, 在校验台校验没有啸叫声音的输入轴换到故障件上, 故障件啸叫声未消除; 取消故障件输入轴内孔的滚针轴承, 啸叫声音未消

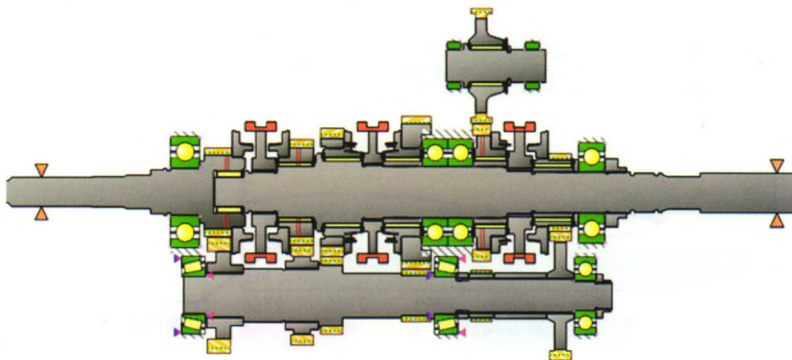


图 1

除。

(3) 在校验台校验没有啸叫声的中间轴组件上的常啮合齿轮换到故障件上，故障件啸叫声消除，此时故障问题零件基本可以锁定在中间轴上的常啮合齿轮有问题。按照一般的理解，此时将故障怀疑是常啮合齿轮齿向有问题和齿轮副配合有问题，为了充分验证是变速器中间轴常啮合齿轮副产生的啸叫，利用NVH设备在台架上测量各挡位声音，发现只有常啮合齿出现高频率亮线，基本锁定是中间轴常啮合齿轮有问题，如图2所示。

(4) 为了证明轮齿齿形是否产生啸叫，测量了齿轮副的齿形齿向，齿形和齿向报告符合图样要求。为了验证齿轮副是否存在偏载，将变速器输入轴、中间轴常啮合齿轮副发黑处理，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3所示。

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、两端接触和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，排除了齿形齿向和接触偏载问题。

(5) 进一步探究引起该啸叫故障的原因，仔细观察故障件和非故障件齿轮齿面，发现两者加工纹路不一致，非故障件的齿轮磨齿齿面加工纹路为沿齿向方向的细条纹，故障件齿面的磨齿加工条纹与齿向成一定夹角，最大夹角大约成75°，为散状的细条纹纹路，且齿面上产生微小的振动波纹；观察10台故障件中间轴组件常啮合齿轮齿面均为散状的细条纹纹路，带有微小的振动波纹，另外10件非故障件常啮合齿面均为沿齿向方向的细条纹加工纹路，初步判断是常啮合齿轮加工纹路变化引起的啸叫声音。

(6) 为了验证判断结论，把10台非啸叫变速器的常啮合齿轮与10台啸叫变速器的常啮合齿轮互换，结果10台故障变速器啸叫声音消除，10台非啸叫变速器产生了啸叫声音，啸叫声音性质和客户抱怨的声音性质一样，目前可以判定是中间轴常啮合齿轮加工纹路变化引起的啸叫声音故障。



图3

加工纹路变化引起啸叫原因

变速器常啮合齿轮是斜齿轮结构。齿轮啮合时，齿面接触线为线接触，轮齿之间是一种逐渐啮合过程，受力也是逐渐由小到大，再由大到小；因此斜齿轮啮合较为平稳，冲击和噪声小，适用于高速和大功率传动。在同等条件下，斜齿轮的啮合过程比直齿轮长，即重合度较大，这就降低了每对轮的载荷，从而提高了齿轮的承载能力，延长了齿轮的使用寿命，并使传动平稳。

故障件齿面的纹路与齿向成一定夹角，最大夹角大约成75°，为散状的细条纹纹路。变速器斜齿轮啮合时，齿面线接触，啮合方向为沿齿向方向，此时常啮合齿轮副的啮合侧隙会变大，侧隙是影响齿轮副产生噪声的重要因素。在较低载荷时，由于发动机转矩波的影响，容易产生敲击声音，侧隙越大，敲击声音越明显；较高载荷时，齿面之间的啮合冲击急剧上升，侧隙越大，冲击力度越大，啸叫声音越明显。反之，侧隙设计的太小，会因

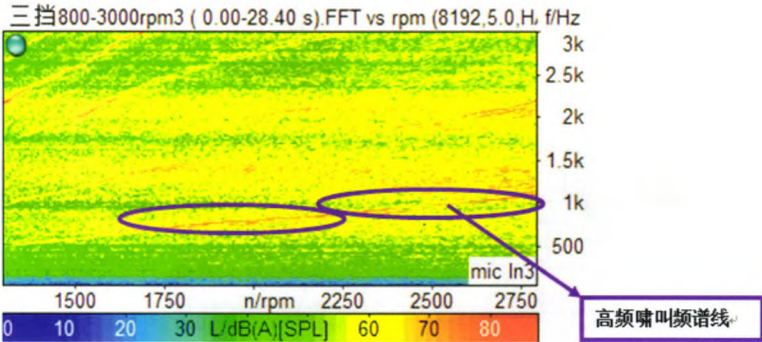


图 2

装配误差，热变形等因素使齿轮副之间出现干涉，而这种干涉造成齿面间的相互挤压，同样会使噪声急剧增大。按照以往变速器开发经验，侧隙设计在0.03~0.13mm比较合理，该区间齿轮之间传递不会出现尖锐的啸叫声音，齿轮副噪声较小。故障件常啮合齿面同时产生的振动波纹，齿轮齿面啮合时，直接影响到齿面之间接触质量，有时局部齿面会严重磨损，甚至造成轮齿断裂。

产生故障齿面纹路的原因

齿面加工纹路差常表现为齿面撕裂、齿面啃齿、齿面振纹和齿面鱼鳞斑。故障件齿面的磨齿加工条

纹与齿向成一定夹角，最大夹角大约成75°，为散状的细条纹纹路，且齿面上产生微小的振动波纹，该纹路主要是由于齿轴的工装夹具刚性不好，或受外界振动源影响。解决方法为：消除或者减小振动源，提高刀具刃磨质量，刀轴和工件心轴刚性，提高刀具和齿坯的装夹稳定性或减小进给量，保证充分的切削液润滑等。

生产验证

为了批量验证根本原因，重新更新中间轴常啮合齿磨齿刀具硬度，减小磨齿切削用量，加工1 000件中间轴组件，同时装配了1 000台变速器总成进行验证，空载校验台、加载校验台均没有出现啸叫声

音，整车上NVH测试各挡位声音频谱符合要求，并得到客户满意认可。

结语

变速器是汽车关键动力总成零部件，其声音的变化会直接影响操作者的主观感受，按照一般的逻辑思维，变速器啸叫很多只局限于齿形齿向研究。上述啸叫问题，给问题解决带来了多重困难，类似问题解决可以通过观察故障件和非故障件的齿面纹路差异，可以很快找出问题的出发点，争取一步研究到位，减少问题解决时间，同时对零部件加工提出了更高的要求。

AUTO1950

(上接第19页)

理。低压真空渗碳技术：低压真空渗碳过程通过计算机对渗碳温度、渗碳时间、丙烷（或甲烷、乙炔等）及氮气的流量和压力进行精确控制。可获得均匀的渗碳层、表面硬度、良好的显微组织及较小的热处理畸变，与盐浴加热淬火畸变比较，其畸变量仅为1/3~1/10。高压气淬技术：齿轮加热后在气体中冷却比在液体中冷却的均匀，因此淬火畸变小。高压气淬减小畸变，一方面是由于冷却速度低，热应力和组织应力小；另一方面，由于不存在蒸汽膜沸腾，因此冷却比较均匀。目前，多用于低于1.5MPa压力的高纯度氮气作淬火冷却介质。

2.实例

(1) 某轿车变速器齿套，28MnCr5钢，技术要求：渗碳淬

火有效硬化层深度0.25~0.4mm（630HV1）；平面度<0.05mm，圆度<0.05mm。热处理工艺采用ICBP型低压真空渗碳炉及真空渗碳工艺（Infracarb渗碳专家系统+高压气淬技术）。畸变控制情况：齿套可获得很小的畸变量，保证圆度<0.03mm，平面度<0.03~0.05mm。

(2) BJ121型汽车后桥从动弧齿锥齿轮，20CrMnTi钢，技术要求：渗碳层深度1.1~1.5mm，内孔圆度≤0.15mm，底平面的平面度：内缘≤0.10mm，外缘≤0.06mm。渗碳淬火采用密封箱式多用炉，温度与碳势自动控制，并采用“稀土低温渗碳工艺”（见图5）畸变控制情况：采用两个齿轮背对背紧配合，穿入两个横梁水平放置，通过调整两个横梁间距，来保证圆度畸

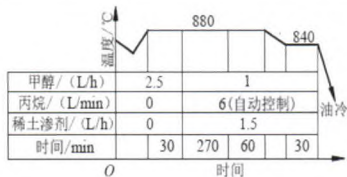


图 5

变合格率；平面度内缘≤0.10mm的占98%，外缘≤0.06mm的占96%，内孔圆度≤0.075mm的占100%。

(3) 一汽变速器分厂同步器滑套（带内外齿），20CrMoH钢，要求渗碳淬火。渗碳淬火采用连续式渗碳炉，1~5区温度分别为840~890℃、840~890℃、840~890℃和840~850℃，2~5区碳势w（C）分别为1.15%~1.25%、1.15%~1.25%、0.85%~1.05%和0.85%~1.05%。采用稀土渗碳工艺后，渗碳温度由920℃降至890℃，同步器滑套（带内外齿）畸变合格率达到96%以上。AUTO1950