自动变速器噪声的成因及其对策

□ 上海港教培中心/潘承海

本文主要是分析研究自动变速器的噪声。自动变速器在工作中会产生各种噪声，每一种都有自己特点。降低噪声是提高机械传动效率的主要途径之一。

在自动变速器开发时，降低噪声是一个重要指标。汽车和工程机械的噪声不仅会损害驾驶员和乘客的舒适和健康，而且还会使周围环境承受交通噪声之苦。目前世界各国均有所规定和限制，如DIN ISO362制定的欧洲汽车加速阶段噪声排放限值（见表1）。

自动变速器噪声及其成因

自动变速器噪声源可分五种（见表2）。下面按照重要性，对现代汽车和工程机械变速器的噪声源的噪声现象进行分析。

1.鸣鸣声

在载荷作用（传递功率）的情况下，齿轮副滚动接触噪声称为鸣鸣声（啸声、振鸣声或嗡嗡声）。这种运行噪声有若干起因：

（1）啮合作用。啮合冲击是齿距误差或像轴与齿轮之间的同心度这样的几何误差，以及在载荷作用下由于齿轮在轴或外壳的变形而引起的偏离齿轮定律的偏差共同作用的结果（见图1）。然而，为避免这些啮合冲击所进行的齿廓校正仅仅对某一载荷范围才会有效。

（2）参数激发振动。参数激发振动的起因是轮齿刚性随啮合位置而变化（见图2）。这种振动的大小取决于传动机构的几何形状和转速。如果激励频率（转速乘以齿

表1 DIN ISO362制定的欧洲汽车加速阶段噪声排放限值

汽车类型		噪声排放限值/dB（A）			
		1970年	1977年	1994年	1995年
乘用车	–	82	80	77	74
厢式车 轻型货车	＜2t	84	81	78	76
	＞2t，＜3.5t	84	81	79	77
货车	3.5t，<75kW	89	86	81	77
	＞7.5t≤150kW	89	86	83	78
	≥150kW	91	88	84	80
客车	＜150kW	89	82	80	78
	＞150kW	91	85	83	80

表2 变速器噪声及其成因

鸣鸣声	齿轮在载荷下产生振动： 啮合冲击；参数激发冲击；滚动接触噪声
咔啦声	传动系扭转振动所引起的松动零件的振动： 空套齿轮；同步器锁坏
哐当声	有间隙的零件（齿轮、接头、轴-毂连接件等）在开始加载时产生的敲击声
换挡噪声	同步啮合功能不正常导致同步器毂短齿出现刮擦声
轴承噪声	滚动轴承发出的运转噪声，特别是在损坏之后

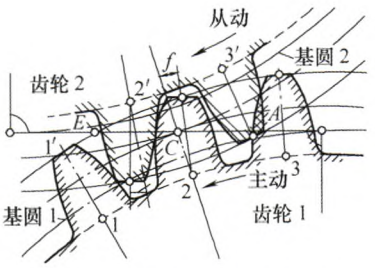
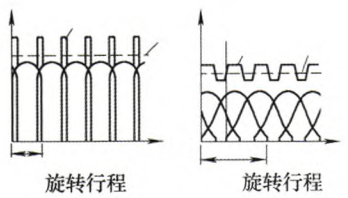


图1 轮齿变形导致的啮合冲击

数和谐波）接近于齿轮副的自然频率，共振便会产生特别大的振幅，因而也就会产生特别大的噪声。即使在齿轮轮齿非常精准的情况下，也会出现这样的振动。



(a) 直齿圆柱齿轮 (b) 斜齿轮

图2 轮齿的刚度ca波形和啮合刚度cy（长时间的cs的平均值）

（3）滚动接触噪声。表面质量不高会产生“搓衣板系效应”，从而导致滚动接触噪声。

即使在满足生产公差要求的情况下，如果生产时形成的某些齿侧表面结构引起了振动，也会出现噪声。

许多汽车的倒挡仍然采用圆柱齿轮。从产生噪声的角度来看，这种做法不是最好的选择，因为在这种情况下滚动轴承噪声特别明显。

使用现代技术可将传统变速器的噪声降低到在车内根本就听不到的程度。然而，提高期望值带来的巨大制造成本会成为一个问题。

2.咔啦声/咯噔咯噔声

无载荷时，齿轮和换挡元件在容许的功能限值和生产限值内的振动会产生咔啦声和咯噔咯噔声，这些响声是由变速器轴的扭转振动所引起的。如果扭转振动的振幅超过一定值之后，目前尚未啮合的空套齿轮轮齿将会离开轮齿驱动侧，并在齿隙范围内来回振动。这种振动的振幅取决于该空套齿轮的转动惯量、阻力矩（对该零件产生减速效应）和引起激励的扭转振动加速度的大小。受到激励作用后，同步器锁环和滑动结合套也会在它们的间隙范围内出现扭振动。松动的零件在遇到间隙极限的情况时出现撞击是这种噪声的真正起因。如果撞击发生在变速器的空挡位置，这种现象被称为怠速齿轮咔啦噪声；如果发生在某个挡位的行驶途中，就将其称为驱动或滑行咔啦噪声或称为驱动或滑行咯噔咯噔声。如图3所示，以两台5挡变速器为例，以齿轮的形式给出了可能的振动元件。

发动机缸数的有限性导致了发动机转速的波动，从而引起变速器轴的扭转振动（导致出现这些噪声）。几乎所有的旨在提高内燃机的油耗和排放标准的措施都会引起运转不稳。零件松动产生的噪声仅出现在某些工作条件下。

在很小的驱动力或推力载荷作用下，齿轮、当前的挡位的啮合短齿圈和主减速器齿轮的齿面也会提升而分离，从而引起咔啦声。

通过减小齿侧隙和限制中心距公差，以及采取措施使发动机的扭转振动不能传给变速器，可使咔啦声和咯噔咯噔声的声级保持在可接受的水平上。然而，这样做又会很快遭遇成本上的增加。减小咔啦声和咯噔咯噔声的一个决定性因素是让传动系协调工作，特别是正确地设计离合器片中的扭转减振器、双质量飞轮和减振器，以便在所有的情况下，使传动系的扭转振动的振幅保持在一定的限值之内。

3.哐当声

除了作为对载荷突变的一种反应的低频纵向冲击声（约2～8Hz）外，还会出现叫做“哐当声”的高频金属响声（约300～6 000Hz）。在工作的零件侧面互相敲击就会出现这种响声。进行噪声分析时，必须对从飞轮到轮边减速器的整个传动系进行考虑。由于一些重要的参数（扭转间隙、转动惯量、刚性和减振性）或者很难变化或者不可能 变化，所以通常借助于传动轴直径、发动机支座或离合器减振器的刚度特性，尝试着一种优化。借助于发动机调校也可对哐当声产生有利的影响，不过这也会导致敏感的车辆响应特征受损。

4.换挡噪声

如果同步器不能正常起作用，换挡时就会出现明显的啮合噪声。扭转振动（特别是传动系的回转间隙所致）会导致滑动接合套过早地（速度同步之前）与空套齿轮的啮合短齿圈接合，从而引起刮削声或摩擦声。这种噪声的其他可能起因包括：同轴度偏差、齿距误差、齿

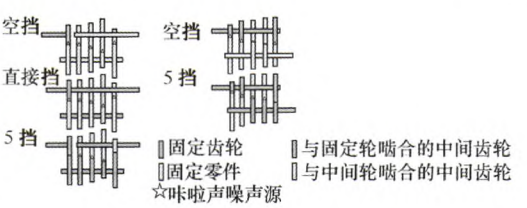


图3 同轴式和非同轴式变速器的卡啦声和咯噔咯噔声的噪声源

廓异常和驾驶人的换挡风格。啮合噪声虽然是一种车辆舒适性的问题，却反映了产品的质量问题。

5.轴承噪声

轴承噪声通常很难觉察。这种噪声仅仅在滚动轴承装配过紧或损坏时才会出现，但随着损坏程度的增加，噪声性迅速增大。这种噪声的特点为实现利用结构传递噪声进行早期损坏程度诊断提供了依据。这种诊断原理越来越经常地用于工业变速器。因此，应该从正面来看待这种噪声现象，及时发现对避免二次故障有帮助。

6.自动变速器和无级变速器的特有噪声

在具有多个传动比的自动变速器和无级变速器的情况下，我们再次遇到了基本类型相同的噪声。由于液力变矩器在非锁止的情况下具有极强的减振能力，所以发动机的扭转振动只能以微弱的程度传递给相应的变速器齿轮，对它们产生轻微的激励作用，因此不会出现明显的咔啦声。但是，如果锁止离合器接合，就会出现驱动咔啦声或滑行咔啦声。

无级变速器噪声的主要起因之一是输入侧传动带撞击侧锥盘，导致了明显的呜呜声。目前对设计推力链带、锥盘及其表面都进行了广泛的研究，对转速和载荷的影响也进行了广泛的研究。不过，在这种变速器设计的情况下，油泵还是主要的噪声源。

怠速敲鼓声是另一种汽车噪声现象。这种噪声并非与变速器直接相关，它常常伴随有车辆的强烈振动。在汽车静止不动时，如果将变速杆置于“D”位或“R”位，就会出现这种情况。由于传递来自液力变矩器的转矩，发动机支座的弹性橡胶支撑件可能已经达到它们的最大运动行程，这将相应地导致将高的作用力传给汽车车身。

降低变速器噪声的主动和被动的措施与方案

（1）松动零件的振动引起的噪声。松动零件的振动程度受变速器本身三个参数的影响。齿隙和转动惯量应尽可能小，而作用于各个松动零件上的阻力矩应尽可能大。由于存在许多功能上的抱怨，像低环境温度下的变速器功能、高效率等，因此，很少有降噪的潜力。如果相应降低变速器轴的扭转振动的振幅，可大幅度减小咔啦声和咯噔咯噔声。如果发动机转速的波动被解耦，将可为降低噪声创造极大的空间。

（2）传动系的动态特性。在降低换挡噪声的措施方面，不可能提供一种万能的药方。每台变速器都要求进行单独的匹配和调校。除了同步器零件本身之外。对换挡期间的整个传动系的动态特性必须予以考虑。尽量采用（hunting ratio）无公约数传动比。

通过调整整个传动系可以将传递给车身的结构传播噪声减到最小。在这里，模态将起到重要的作用。在此模态中，对变速器壳体、支座、轴承、和车身的共振必须相互协调，以至于不会出现相互放大的情况。例如发动机-变速器总成弯曲，该振型的频率由变速器的刚度来确定。对该振型的频率进行优化处理，以至于使它明显处于发动机的优势激励阶次之外。为了实现细微的模态校准，必须对更多的振型进行研究。

（3）降低变速器噪声的被动措施。降低变速器噪声的被动措施，尤其与从齿轮轮齿经过轴传给外壳的传播噪声的传递相关。对于高频振动而言，在载荷作用下如果比存在任何不可接受的变形的情况下，应该将一个尽可能软的隔离元件（橡胶块）用作低通滤波器。变速器壳的结构特别重要。必须避免变速器壁面上出现的噪声强烈型振动。采用提高刚度的措施时应仔细考虑这样的事实：采用外部加强筋虽然制造成本低，但是却增加了噪声辐射。变速器壳体的材料对于噪声辐射也会产生重大影响。

在共振频率、质量和刚度的优化中，总是存在与汽车的其他参数出现矛盾的情形。例如，与安装空间（封装）、车身刚度（安全性/碰撞）、行驶动力学和舒适性，以及由橡胶支撑件的刚度引起的耐久性与紧密相关的发动机/变速器支座的隔振元件使用寿命之间的矛盾。

用封闭变速器的方法，可几乎彻底防止空气传播噪声的辐射，但对质量、散热和价格却带来了影响。

必须在考虑整车情况下，对特定措施的有效进行最终评判。然而，在系统和零件层面上的改进效果也可在试验台架上或借助于CSE计算（即FEM）加以检验。为此，采用所谓的混合模型已被证实是有效的。这种混合模型能将由试验确定的量（如噪声传递函数）集成到计算分析中，从而使预测结果更接近现实成为可能。AUTO1950