

汽车动力总成噪声检测技术

□ 神龙汽车有限公司技术中心/夏维 曹祥俊 段新宇

综述汽车动力总成振动和噪声在线检测技术原理和方法，并通过具体检测工艺案例来说明发动机及变速器振动噪声的主要来源和分析方法及手段。

随着我国汽车工业的快速发展，人们越来越重视汽车的舒适性以及环保节能性，对汽车噪声的控制要求也越来越严格了。影响舒适性的汽车噪声的主要来源有：发动机及变速器（GMP），空气进气、排气，轮胎（行驶噪声），空气动力噪声，设备噪声和干扰噪声。发动机从怠速到停止，GMP构成了100%用户感知到的噪声；在低速下（30km/h），GMP占用户感知噪声的40%~60%；高速的时候（≥100 km/h），GMP约占用户感知噪声的

20%~30%。显然动力总成的振动与噪声是汽车总体噪声的主要来源之一，也是衡量动力总成质量好坏的主要性能指标之一，其整体质量的优劣会直接影响用户使用感受，因此成为人们重点研究的对象。噪声检测的目的就是要从复杂的声源系统中，通过采用合理的测试手段，找出异常声源的部位、频率特性等，为排除故障提供指导方向。

通常发动机和变速器制造中，在总成装配线上或整车上以及专业实验室内进行振动与噪声测试，分

析和验证发动机及变速器零件加工符合性和装配正确性，并及时纠正异常，这对保证总成质量有着至关重要的作用。本文着重论述批量生产过程中发动机和变速器零部件常用的噪声检测方法。

发动机噪声分类

按照噪声的产生方式，发动机的噪声可分为燃烧噪声、机械噪声和气体动力噪声。燃烧噪声是气缸内气体压力由于燃烧而引起的周期性的变化；机械噪声是由于运动部件之间及运动部件与固定件之间间隙引起撞击，及内部周期性变化的作用力在零部件上产生的弹性变形，所导致的表面振动而引起的噪声；燃烧噪声和机械噪声是通过发动机表面向外辐射的，故又称为发动机表面噪声；进气、排气噪声和风扇、废气涡轮增压器等噪声是直接向大气辐射的噪声。



燃烧噪声和机械噪声是很难严格区分的。部分机械噪声也是发动机气缸内燃烧间接激发的噪声，例如气缸内燃烧所形成的压力振动通过缸盖、活塞、连杆、曲轴以及机体向外辐射的噪声也是由燃烧激发。将活塞对缸套的敲击、活塞环摩擦、正时齿轮及皮带、链传动系、配气机构、油泵等供给系统等，和其他如发电机、空压机、冷却器、液压泵等的运动件之间机械撞击所产生的振动激发的噪声叫做机械噪声。在振动理论上，发动机表面噪声产生于其运转时产生的各种振动。常使用多个谐波振动来描述发动机的振动，其中振动频率和发动机转速相同的叫一阶振动（H1），频率是发动机转速二倍的叫二阶振动（H2），依次类推，还存在三阶振动（H3）、四阶振动（H4）。振动频率越高，振幅就越小。一般工程上三阶及以上振动可

以忽略不计。

发动机第一噪声来源，由燃烧压力和惯性所产生的振动力：上下垂直振动力横向摆动振动力、侧滚左右振动力、左右摆动筛振力。

对于直列4缸发动机，其中上下垂直振动力与横向摆动振动、振动力来自二阶惯性力的作用。

发动机第二噪声来源：由第一振动噪声发生器的冲击而产生的第二振动噪声源的现象；由发动机驱动的系统，与发动机旋转产生的同步现象；系统本身产生的振动与噪声。第二振动噪声源有正时机构、正时驱动、电喷系统、附件驱动系统（发电机、压缩机、助力转向泵、水泵、油泵）、固有间隙的冲击等。

批量生产中发动机噪声检测的一般方法

正因为是在发动机的工作循环中有较多影响噪声的因素，噪声检测

显得十分重要。而各声源的频率结构十分复杂，声源之间的相互干扰及声源的传递通道千差万别，致使在实际诊断过程中，对各声源之间进行有效地判别很困难，这里介绍在发动机批量生产过程中检测噪声的一般性方法。

1.主观判断法

根据经验，用耳朵倾听来分辨噪声源及主次顺序的方法。这种方法能了解噪声源的基本情况，为噪声控制提供初步的方案，并且要求操作员具有一定的识别噪声的经验。神龙公司某新型发动机在批量生产过程中，发动机下线前100%进行台架试验和噪声检测，台架试验员具有丰富的实践经验，异常发动机都逃不过他们的耳朵。然而，由于不同的操作员感知程度也有差异，特别是有新手上岗时需要指导性文件帮助，为此，可编制如表1所示检查作业指导书。

表1 噪声感知检查作业指导书

序号	故障部位	故障原因	故障现象描述
1	主轴承部位	主轴承部分松动	敲击噪声响声大而沉闷
		主轴承全部松动	响亮而短促的敲击声。这种敲击声是有规律的，且随转速而变化
		曲轴轴向间隙过大	间歇式的尖锐敲击不规则的噪声
		曲轴去平衡孔过深	曲轴啸叫
2	连杆轴承部位	连杆间隙过量	缸体中部敲击
		连杆未拧紧	明显的嗒嗒声
3	活塞部位	活塞松动	双击敲击声
		活塞销松动	金属敲打缸壁的嗒嗒声
		活塞装反	非常明显的啪啪声，加速更明显
4	正时传动系统	正时皮带干涉	尖锐的啪啪声、吱吱声、啞啞声
		正时下罩盖未装好	与附件皮带轮干涉，发出塑料摩擦声
5	气阀驱动部分	液压挺杆卡紧或漏装	缸盖内气阀有闷声或金属敲打声
		凸轮轴型线缺陷	凸轮轴啸叫异响
		火花塞脱落	很大很响的放炮声，加速也有
6	冷却系统	水泵轴承异常	尖锐的啞啞声
7	进气歧管	进气歧管异常	轻微进气呼呼声无明显异响

2.分步运转法

有些部件是可以分别运转的，若能在开动或者断开这些部件的情况下分别测量所辐射的噪声，就可以把引起噪声的原因分解开来，从而找出主要噪声源。但有时其各部分的运转是相互联系的，某一部分停止工作会影响其他部件的运转。因此，只让其中一部分工作而不影响其他部分的运转往往是不容易实现的，因而这种方法的使用局限性很大。在现实生产中，分析故障时采用更换零件的方法，也近似认为是用了分步运转法。例如：怀疑某类发动机内的平衡箱配垫间隙有异常，把怀疑有问题的平衡箱装在另一台缸体上，进行试验重听。

3.频谱分析法

根据噪声源的频谱特性确定主要噪声源的方法称为频谱分析法。通过噪声频谱图，一方面可以了解噪声源的频率分布，如该噪声源是以低频为主，还是以中频或高频为

主。另一方面，可以确定一些峰值噪声的来源。利用频谱分析法可以估计噪声评价点的声能来源。但不能准确地估计其影响程度。神龙公司在批量生产中，发动机总成除了在装配线上100%台架试验之外，月产量超过1 000台的，每月取一台到质管室台架作性能抽检试验。抽检时也要对噪声进行评价。

应用频谱分析法测试某新型发动机零部件噪声的检测方式。

检测设备组成有：分析仪1台，3向加速度传感器，麦克风，主机1台用于连接加速传感器、麦克风、电源。传感器和麦克风在发动机被检测部位的安装方式详见表2。

发动机的噪声检测分别在冷态、热态、满负荷下进行。

检测时按照以下步骤分步进行：

（1）冷态循环测量（平衡箱）。

怠速保持30s，然后用2min从960r/min加速至3 600r/min，怠速2min。

冷态，部分负荷，即转矩为40N·m，转速从960r/min加速至3 600r/min，时间2min。

（2）热态循环测量。

冷态检测完毕后，把检测平衡箱的麦克风移到检测水泵的位置，热态水温按90℃，油温按110℃控制。

怠速保持30s，然后用2min从970r/min加速至4 000r/min，怠速2min。

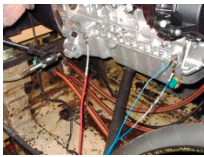
热态，部分负荷，即转矩为40N·m，转速从970r/min加速至4 000r/min，时间2min。

（3）满负荷下测量。

热态，满负荷，发动机转速从1 200r/min加速至5 000r/min，时间2min。

冷态时只检测平衡箱的噪声，此时只有在平衡箱的麦克风在工作，检测完毕把检测平衡箱的麦克风移到检测水泵的位置。热态时检测正时机构、水泵、喷嘴的麦克风工作，每个运转结束，根据公差范围的曲线，立

表2 检测装置安装方式

序号	被检测部位	麦克风布置	加速传感器布置	图示
1	平衡箱噪声	在平衡箱90° 方向，两者距离15cm（冷试）	1个Y向加速传感器，贴在油底壳上（靠近平衡箱的1#缸侧，发动机排气面飞轮端）	
2	水泵噪声	距离正时侧（水泵）25cm	Y向加速传感器，贴在水泵上	
3	正时噪声（导轮、皮带张紧轮、排气齿轮）	正时侧25cm	Y+Z向加速传感器，贴在油底壳（正时侧）	

即检查监控点的符合性。

4. 噪声检测公差范围线的确定方法

公差范围线是评价发动机在不同转速时所对应的振动频率合格与否的标准。噪声评价公差范围曲线的建立，按照上述检测方式在较长一段时间内在台架实验室测量多台发动机，采用主观判断、分步运转、频谱分析的方法，结合感官评价，初步形成范围曲线，再根据市场用户对噪声的评价信息对公差曲线进行修正和完善，最终建立起符合公司产品要求、满足客户需求的范围曲线，用于评价发动机制造过程中的噪声质量。

噪声评判标准

对发动机制造质量的评价与分析，能够准确反映出在一段时间内生产制造过程的质量波动状态。

台架对噪声的长期监控评价可以采用10分制的评分标准，可接收值是7分，7分以下为不可接收。近似于工厂使用的台架扣分卡。具体规则如表3所示。

汽车变速器振动和噪声在线检测工艺案例

汽车变速器振动和噪声的在线

检测也越来越受到重视。在生产过程中科学合理地设置变速器的振动与噪声检测，及时发现变速器的问题并纠正。现以神龙公司的五速手动变速器的试验台架为例说明（见图1）。

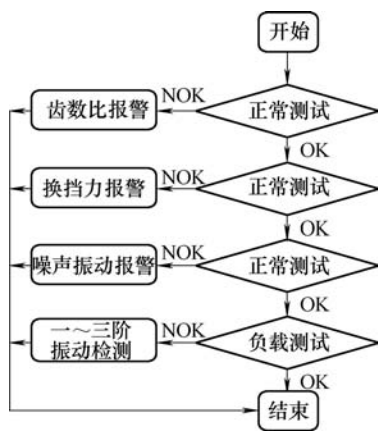


图1 变速器试验台架工艺流程

机械变速器的振动噪声90%以上是在齿轮、传动轴和轴承运转中产生的（见图2）。变速器箱体作

为一个封闭的结构，齿轮啮合冲击噪声和轴承的振动一部分通过箱体传播到空气中形成一次空气声，还有一部分通过箱体壁的振动传播到空气中形成二次空气声。通常噪声接收面积相对越大，对噪声辐射贡献也会越大。该试验台架选取变速器的主要噪声辐射面之一的上表面作为振动和噪声检测面。

变速器试验台架由一台驱动电机和两台加载电动机组成电封闭系统，台架试验前对变速器定量注油，试验后抽掉变速器内的润滑油，整个检测过程由设备自动完成。

当变速器到位后，电动机通过花键套带动一轴转动，差速器左右花键轴给变速器一定负载，模拟整车上的工况，由安装在上表面的接触式振动测头收集整个测试循环的检测数据，采集的数据经由分析

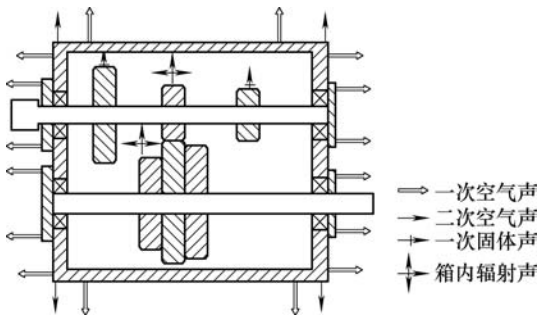


图2 变速器噪声传播示意图

表3 噪声评判规则

用户评价	难以忍受		不可接受		不满意		可接受	满意		优等
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	退货		要求更换		强烈不满	不满意	勉强满意	较满意	很满意	非常满意
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
注 释	拒绝区间				临界区间			接受区间		
判定	不可交付				必须在短期 内改进	在较长时间内改进 持续改善	可交付的			
行动措施	立即纠正									

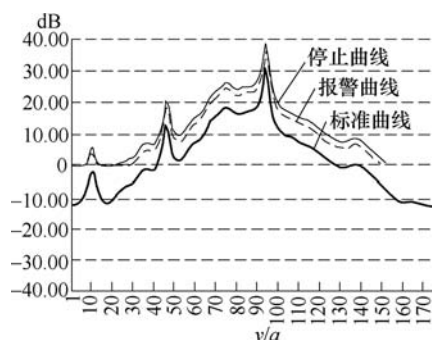


图3 测试循环的曲线监控

软件对变速器的品质做出判别。整个过程分为正常测试和加载测试两部分，正常测试是在不同转速下对变速器进行常规的换挡试验，加载测试的目的是对变速器在加载工况下的品质进行检测。正常测试和加载测试的区别在于评价标准有所区别，加载测试是对正常测试的补充和加严，即增加对变速器一阶振动、二阶振动、三阶振动的检测。

正常测试是通过对变速器进行换挡试验（5挡→4挡→3挡→2挡→1挡→N挡→R挡→N挡→1挡→2挡→3挡→4挡→5挡），对各挡位加/减速的振动曲线进行检测，和标准振动曲线进行比照，判别的主要评价指标为振动点数和振动密度。现生产变速器受零件批次、设备精度及稳定度、装配质量等因素影响，其整体装配品质从细微角度来看都存在差异，而这种差异是不可避免的也是可以接受的。通过对比发现，即使是同一台变速器经过重复进行台架测试其每次的测量数值都是不同的。为甄别变速器的试验差异是否影响质量，除了“标准曲线”外循环测试中引入了“报警曲线”和“停止曲线”。图3为测试循环的曲线监控。

加载测试是变速器在较大扭矩

下，完成2挡→3挡→4挡→5挡→N挡的换挡过程。加载检测主要目的是在有一定负载进行加速减速循环，对变速器的振动进行监控。监控项目主要为：各挡位齿轮和主减速齿的一阶/二阶/三阶的振动频率。每个速比下的测试，可以获得H1/H2/H3频率对应的3个加速曲线和3个减速曲线。

变速器振动和噪声的失效分析

机械中各种零件或构件都具有一定的功能，如传递运动、力或能量，实现规定的动作，保持一定的几何形状等等。当机件在载荷（包括机械载荷、热载荷、腐蚀及综合载荷等）作用下丧失最初规定的功能时，即称为失效。

判断机件失效与否的原则有三点：完全不能工作；不能按确定的规范完成规定功能；不能可靠和安全地继续使用。对于变速器在线检测台架，主要甄别的是第三种类型，即：不能可靠和安全地继续使用。

变速器的结构复杂，每个零部件的故障都有可能引起变速器整体故障。

引起变速器失效的零件主要有

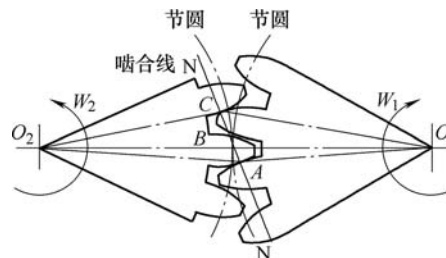


图4 齿轮啮合模拟简图

三类：齿轮，轴承以及轴。这三类零件失效比重之和占据了将近90%左右，其中齿轮的失效更是占了总失效比的将近60%。

一对齿轮在啮合的过程中产生噪声和振动，主要是由齿轮运转中产生节线冲力和啮合冲力所产生的。一对齿轮再啮合的过程中，由于齿轮的加工误差，以及周期性和非周期性的负载变化等因素，都会引起齿轮的节线冲力和啮合冲力。

1. 节线冲力引起的振动噪声

图4是一对齿轮的啮合模拟简图。一对齿轮在啮合的过程中，啮合点都处于啮合线上，而齿轮在啮合的过程中，两个齿轮的齿面之间，不仅仅只存在滚动摩擦，两个齿面之间还会存在一定的相对滑动，这样在啮合点处便会同时出现滚动摩擦和滑动摩擦，便会产生一个类似脉冲的动力，这就是节线冲力。

2. 啮合冲力引起的振动噪声

无误差、无障碍的齿轮即是理想齿轮。在理想齿轮中，啮合冲力是不存在的，但是绝对的理想齿轮是不存在的。齿轮在啮合过程中难免会产生受力，产生变形，而且由

表4 变速器台架试验常见噪声问题汇总

异常类型	异常表现	可能原因
噪声异常	噪声：齿轮啮合时高速旋转产生一定频率的敲击声和嗒嗒声	齿轮磕碰、齿面粗糙、齿顶压痕或无修缘，齿面局部未剃到、齿轮偏心
	啸音：齿轮啮合高速旋转时像吹口哨发出的尖叫声或风吹的声音	齿轮精度差（齿形、齿距、齿向误差大），齿轮侧隙过紧或偏大.....
	异响：除噪声和啸音以外的其他异常声音，如唧唧声、呜呜声	从动齿轮同步锥面磨削缺陷、滑动齿套拨叉槽粗糙或磕碰、空套齿轮定位面磕碰、拨叉干涉.....

于加工制造误差和安装误差等因素，齿轮在啮合过程中必然会由于碰撞而产生一定的冲击力。

齿轮噪声来源大致可以分为四个部分：设计方面、制造方面、安装方面和使用维护。

设计方面影响因素有：

- （1）精度等级的选择不当。
- （2）齿轮参数的选择不当（譬如：对于适配乘用车的变速器，通常采用较小系列的模数同时齿轮宽度较大，从而使齿轮啮合噪声较小也保证了齿轮强度）。
- （3）结构的选择（譬如：能使用腹板式结构时尽量使用腹板式的结构，以降低齿轮自身的固有频率，从而减少齿轮啮合过程中的噪声）。

制造方面影响因素有：齿轮误差（如：齿形误差、齿距误差、齿向误差）；齿轮粗糙度。

安装方面影响因素主要体现在装配时齿轮的同心度和平衡性，特别是对高精度的齿轮啮合，其平衡性的好坏直接影响了齿轮的传动质量的高低。使用维护方面影响因素有：齿轮表面清洁度和齿轮适当的润滑。

3.轴承噪声

轴承失效在变速器总失效比中

占了19%，是变速器总噪声的来源之一。据统计，在使用轴承的旋转机械中，大约有30%的故障都是由轴承引起的，可见轴承的好坏对机器的工作状况影响很大。

轴承的噪声源主要来源有滚道、保持架和故障噪声三个部分。

（1）滚道噪声。轴承的工作主要是轴承滚动体与滚道发生相对的滚动，而滚道与滚动体的接触实际成了一个弹性的非线性振动系统。滚道在加工过程中难免会产生一些误差，如：表面会存在一些类似波纹的粗糙度，由此，轴承在工作过程中便会产生一定的滚道噪声。

（2）保持架噪声。滚动轴承在工作过程中，滚动体与保持架之间必然会存在一定的摩擦，特别是当系统的润滑条件不好时，保持架会发出一定的噪声。

（3）故障噪声。当轴承的质量高，润滑条件好的时候，轴承发出的噪声能量会很小，然而当轴承发生故障时，无论是滚动体与保持架还是滚动体与滚道之间发生故障都将直接会产生一些噪声。

变速器在线诊断技术发展趋势

随着现代信息技术的日新月异

以及计算机技术和人工智能技术的发展，以车辆变速器为对象的在线故障诊断技术也得到飞快的发展。在线检测技术较传统的振动与噪声检测手段已发生深刻的转变。

（1）智能化。变速器故障诊断系统智能化将是今后的主要发展趋势。

（2）集成化。过去变速器在线检测只是单一的检测诊断，目前变速器在线检测技术除了检测和诊断，同时也向着管理和调度的集成化方向发展。

（3）功能分布式。由功能集中式转向功能分布式，随着单片机以及计算机系统的硬软件的发展创新，未来故障诊断系统会更加可靠。

值得关注的是，由于产品结构、设备结构、零部件状态、工艺参数甚至生产环境等因素的影响，会给变速器振动和噪声在线检测的准确度带来较大挑战。

这就要求我们必须从工艺规划、设备投资到调试和批量生产中的各个环节，对上述影响因素采取必要的技术手段和管理措施使之可控，并应用可靠的在线诊断技术确保变速器总成生产质量。

AUTO1950