

发动机振动噪声控制

□ 菲亚特动力科技研发（上海）有限公司/黄森

NVH (Noise, Vibration, Harshness) 指标已成为评价汽车产品质量和设计能力的关键指标之一，近些年来逐渐成为车企重要的关注点。目前，发动机的噪声水平对整车的贡献较大，是整车振动噪声的主要振源和噪声源，控制发动机的噪声水平，有利于提高整车的品质，降低整车噪声。

随着汽车工业的技术进步以及人们对环境和乘车舒适性要求的提高，呼唤着我国须尽快修改完善汽车噪声标准体系。近30年来，人们在发动机的噪声机理和降噪技术领域，无论是噪声源识别、低噪声燃烧系统、低噪声结构优化、阻尼降噪技术，还是零部件降噪技术等方面均取得了令人较满意的成果，各种车辆噪声普遍降低了10dB左右。尽管如此，就发动机的发展而言，最具挑战的还是解决排污和噪声，目前要求减少发动机噪声的压力除了表现在日益严格的法规外，客户对舒适性的重视也推动各个厂家去提高自己产品的NVH性能。



发动机在标定工况下的1m噪声级（台架上发动机位置距地面1m处）与轿车或者载货车的行驶噪声之间有一个平均衰减差值，发动机在标定工况下的1m噪声级必须控制在95~97dB (A) 之间才能可靠地满足欧盟噪声法规定的轿车77dB (A) 载货汽车83/84 dB (A) 的要求，而为了满足欧盟最新的噪声法规规定的轿车噪声74dB (A) 和载货汽车79/80 dB (A) 的要求，即使在考虑了各种降噪措施后发动机标定工况下的1m噪声级必须控制在93~95dB (A) 之内。

对乘用车而言，发动机在标定条件下，其1m噪声一般控制在94~96dB (A)，不超过96dB (A)。若整车未采取额外的屏蔽措施，则发动机1m噪声还应控制在94~95dB (A) 或以下。如今，随着技

术的进步和法规的发展，对发动机的1m噪声提出了更高的要求。

目前，我国的发动机1m噪声水平还很难达到国外同类产品的水平，汽油机一般在96dB (A) 以上，柴油机一般在100dB (A) 以上，发动机的噪声水平整体偏高。发动机的很多振动噪声问题都是设计出来以后才发现的，设计人员往往忽视了在设计起始阶段就应该考虑的振动噪声问题。

发动机噪声的控制

图1所示为发动机噪声的辐射简图，总的来说发动机噪声主要可分为三类：燃烧噪声、流体动力噪声和机械噪声。进气噪声、排气噪声和风扇噪声属于流体动力噪声；发动机内部燃烧爆发压力产生燃烧噪声；内部零件在运动机械力作用

下产生机械噪声，机械噪声主要是活塞敲击噪声、气门机构噪声、供油噪声和齿轮噪声。燃烧噪声、流体动力噪声、机械噪声最终通过发动机的表面辐射出去，发动机的表面辐射频率一般在1 600~3 000Hz之间，控制该频段的噪声对发动机降噪极其重要。

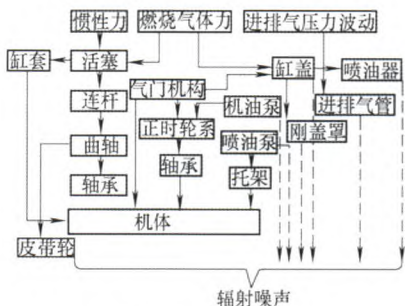


图1 发动机噪声辐射

振动噪声的控制离不开对激励源、传递路径、响应三个方向对振动噪声的消除和阻隔，目前主要采取主动和被动的控制方式来降低发动机的噪声。主动的控制方式主要是从控制激励源，被动的控制方式主要是在振动噪声的主要传播路径上对其控制以达到阻隔和削弱振动噪声的输出响应。

(1) 主动控制方式是最直接的控制方式。比如可以采取提高燃烧室的温度，缩短滞燃期，提高进气温度和燃烧室温度，提高预喷时间间隔和预喷量等措施来降低燃烧噪声。采用活塞销孔偏置，如向主推面偏移，减小活塞冷态配缸间隙，采取调节活塞，采用横向隔热槽降低机械噪声，通过消声器来降低进排气系统的流体动力噪声。另外，通过优化结构，降低发动机结构振动，通过减小激励力的幅值，避免激励频率与发动机结构频率重合或者接近，提高模态刚度和阻尼可以有效降低发动机的结构振动。不管

何种措施控制目标是降低机体表面振动速度和声辐射。

(2) 被动的控制方式是最易于实现且最方便的控制方式，特别是在结构定型的情况下。比如采取屏蔽措施，发动机表面噪声阻隔在屏蔽空间内，增加噪声在传播过程中的衰减，采用隔声罩，在管路中采用消声器、基础间加装隔振器，在壳体外粘贴黏弹性材料以及在金属件间加入隔声材料和吸声材料等。新材料新技术的运用对于降低振动噪声水平起着十分重要的推进作用，近年来发展的声子晶体技术、电磁流变技术、新型高阻尼合金等逐渐应用在降噪减振领域，取得了良好效果。

通常噪声的控制是主动和被动控制的结合，在主动控制难以实现的情况下，采用被动方式，特别是对于已经设计成型的产品，采用被动的降噪方式可以降低噪声的同时达到降低改造成本。随着计算机技术的发展，专业的发动机模拟仿真软件GT-POWER、机械系统动力学分析软件ADAMS、发动机系统动力学分析软件EXCITE，有限元分析软件NASTRAN和LMS.virtual lab等的应用，大大提高了低噪声发动机开发的效率，成为开发低噪声发动机的重要工具。在发动机的设计阶段采取试验和仿真相结合的手段，合理优化结构，降低结构共振风险，对主要部件和整机进行模态分析和声辐射分析，从而从源头上达到最优的NVH性能。

发动机噪声控制目标

近些年来，国内在车内外的噪声控制主要是从降低声压级的角

度出发，大多采取声压级来评价噪声。这样的评价方法并不能真实地反应产品的NVH性能，声压级大的不一定听起来不舒服，声压级小的也不一定悦耳，因为同样大的声压级所展现的声音质量是不同的，用声品质来描述声音质量这一概念，有些感觉舒适悦耳，有些令人厌恶，不可接受。人对噪声的感受不仅仅取决于声压级，还有声音的响度、尖锐度、粗糙度等与频率分布有关的参数。

国外在评价NVH性能时往往是主观客观相结合，比如国外在进行声音主观评价时将其划分10个不同等级，对每个等级进行打分，由专业的声品质评价工程师进行评价，在结合客观实测数据给冲综合评价。总的来说，发动机的噪声控制既要降低声压级还要保证声压级随着转速变化的线性关系，同时应该让声音频率的基础幅值分量分布均匀，避免个别频率幅值特别突出。做好各零部件之间的模态匹配以及控制系统和机械系统的匹配，根据整车的NVH水平目标，合理安排发动机的NVH目标，在开发过程中设置模态管理的目标，抓住主要振动噪声的主要贡献源，有的放矢，做到动力性、可靠性、振动舒适性、经济性综合考量。

结语

发动机的噪声控制是一项系统工程，需要各个子部件之间良好的匹配，在提高加工和装配质量的同时还要管理好模态，控制好激励力，优化好传播途径，优先优化主要激励源，从而设计出低噪声高品质的发动机。 **AUTO1950**