



本文通过对发动机怠速异响表现进行了分析与验证，并对发动机关键运动副装配间隙进行反复校核并通过控制变量法进行分组验证，确认异响来源于曲柄连杆机构连杆小头与活塞销配合处，连杆小头与活塞销之间的配合间隙过大是造成异响的主要原因。通过采用分组装配法，在保持加工经济性的同时，提高装配间隙精度的控制，最终有效解决了发动机异响问题。

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司 潘秀燕 梁德鑫 凌以静

浅谈某型号发动机异响问题的分析与解决

随着汽车工业的不断发展以及人们对座驾乘坐品质的要求不断提高，发动机作为汽车上的关键部件，作为汽车的动力来源，同时也是引起整车振动的主要激励源之一，发动机除了需要拥有优良的动力性能外，还应具有更高的 NVH 性能，不能出现振动过大、异响等现象。

本文所提发动机在热试区域以及整车检测均出现怠速异响的情况后，对其进行拆解、诊断，根据零件图纸校核装配尺寸链，并通过控制变量法进行多组验证，还原其异响问题并锁定原因，并指定了有效的控制措施，为异响类型问题解决提供了参考，对产品质量的提高与控制，以及用户体验提升都有着重要的意义。

发动机热试异响情况简述

根据反馈，小批量某型号发动机在热试期间以及整车检测中出现异响问题，主要情况如下：

- 1) 起动热机一段时间后出现“哒哒哒”的金属敲击声，异响时油温处于 70 ~ 90℃ 之间。
- 2) 异响出现在怠速、低速工况下，发动机转速超过 1000r/min 时异响反而不易辨清。
- 3) 异响发动机比例较低。
- 4) 其他机型未出现类似异响。

确认异响产生位置

根据现有信息，首先找出异响发生的部位：

- 1) 从主观上判断，通过观察热试发动机，其出现的“哒哒哒”异响周期性重复，不同发动机异响情况差别不大，初步分析其频次并结合发动机怠速转速进行分析，初步排除异响出现在配气机构的

可能，将范围缩小到曲柄连杆机构。

- 2) 使用听诊器检查发动机各部位，发现异响部位位于发动机下部曲柄连杆机构对应位置，具体气缸位置不定，与主观分析结果基本一致，因此将异响产生部位锁定在曲柄连杆机构处。

- 3) 为更精准地锁定异响产生位置，通过控制变量法设置多组试验，逐一替换异响发动机曲柄连杆机构部件进行热试，当替换至连杆或活塞时异响消失，而替换其余零部件时异响仍存在。

通过以上步骤分析验证，基本可以将发动机产生异响的部位锁定在曲柄连杆机构中活塞与连杆连接位置处而非其他机构。

确认异响产生的原因

锁定异响产生部位后，利用鱼骨图从人、机、料、法、环等方面出发，通过头脑风暴法分别对各方面列举出所有可能的末端因素，如图 1 所示。由于生产环境并未发生明显变化，因此先排除环境因素，其余 3 项因素列为潜在原因，分析结果如下。

(1) 操作者因素（人）

相关操作岗位人员均接受过一定程度的培训，满足独立上岗条件，并使用了正确的零件，全程按照标准化操作，且异响发动机在各班次的分布比例无明显差异，因此排除人为因素。

(2) 设备因素（机）

经检查，曲柄连杆机构相关如拧紧、润滑、压装等设备均运行正常，期间未出现过故障记录，且生产相同机型的其他生产线亦出现了相同的异响问题，因此排除设备因素。

(3) 材料因素（料）

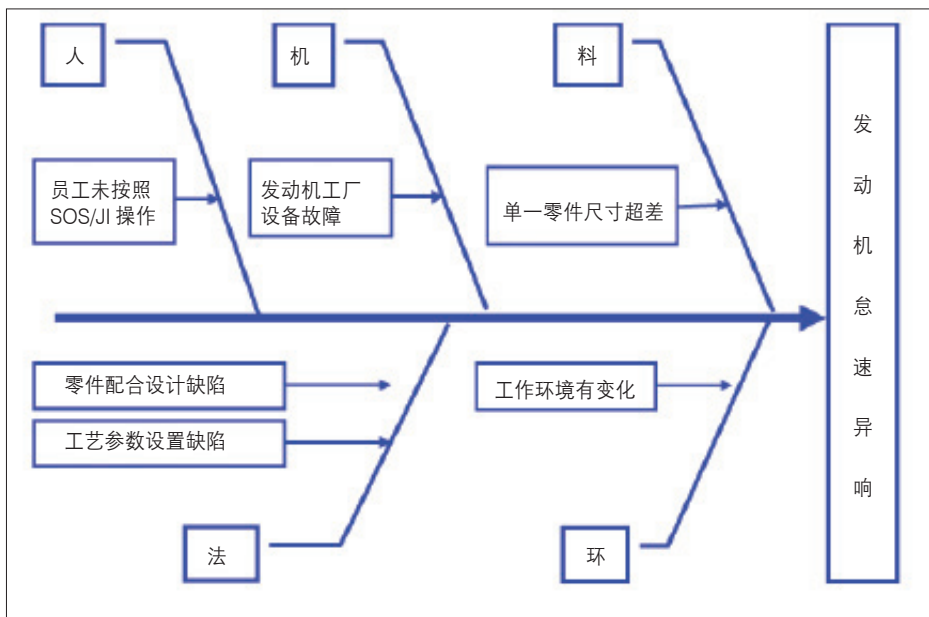


图1 异响问题分析鱼骨图

曲柄连杆机构主要涉及的运动部件有缸体、主轴瓦、曲轴、主轴承盖、连杆、连杆瓦、活塞、活塞销，分别对异响发动机相关零部件的孔径、直径、厚度等涉及安装配合的尺寸进行测量，检测结果均合格，各零件尺寸及几何公差均满足图纸要求，因此排除单一零件尺寸超差的因素。

(4) 工艺因素（法）

1) 工艺参数如拧紧扭矩、润滑参数、压装参数等均无变化，因此排除工艺参数的因素。

2) 根据前文分析，产生异响的部位在曲柄连杆机构中活塞与连杆连接位置处，结合替换零件的验证结果，分别取3台异响发动机与2台无异响发动机测量活塞销与连杆小头的配合间隙（图2），结果见表1，经对比可得出异响发动机连杆小头与活塞销的配合间隙整体较正常发动机偏大，根据零件图纸得到连杆小头与活塞销的配合间隙范围为0.006~0.018 mm，异响发动机



图2 连杆小头与活塞销配合间隙的测量值尚在标准范围内，但接近上差。

3) 为验证间隙接近上差是否导致异响的原因，人为选配活塞销与连杆，以其装配间隙0.145 mm为界，设置大、小间隙两组发动机进行对照热试，具体参数见表2，结果大间隙组发动机均出现异响，而小间隙组均无异响。

4) 进一步对异响发动机曲

柄连杆机构相关零部件进行统计分析，大多数零部件分布无明显倾向，而连杆却有90.5%来自于供应商A。该机型所用连杆由两家供应商提供，分别对两家供应商的连杆进行取样分析，结果表明供应商A连杆小头直径的过程能力明显低于供应商B，即直径波动大，从而造成装配间隙波动大，分析结果见表3。

(5) 要因确认

活塞销是用来连接活塞和连杆，并把活塞所受的压力传给连杆的零件，它承受着方向和大小都不断变化的冲击载荷。活塞销与连杆衬套磨损过度、加工不当或装配间隙过大均会造成松旷，两者的撞击声是上下双向的，声音较脆，在发动机怠速或低速运转时，因转速较慢，所以响声比较缓慢且明显。经以上验证，可以得到导致发动机异响的主要原因有以下几点：

1) 连杆小头与活塞销之间的配合间隙过大是造成异响的主要原因。

2) 现有配合间隙标准要求范围偏大，接近上差时已经有异响产生。

表1 连杆小头与活塞销配合间隙测量结果（单位：mm）

发动机	异响_1	异响_2	异响_3	正常_1	正常_2
第一缸	0.0147	0.0151	0.0131	0.0096	0.0119
第二缸	0.0107	0.0153	0.0131	0.0105	0.0121
第三缸	0.0169	0.0133	0.0142	0.0118	0.0113
第四缸	0.0161	0.0168	0.0173	0.0127	0.0127

表2 试验对照组间隙表（单位：mm）

发动机	大间隙_1	大间隙_2	小间隙_1	小间隙_2
第一缸	0.0178	0.0143	0.127	0.143
第二缸	0.0164	0.0145	0.134	0.145
第三缸	0.0160	0.0162	0.132	0.137
第四缸	0.0139	0.0161	0.139	0.128



表 3 两家供应商过程能力结果

特征	供应商 A		供应商 B	
	P_p	P_{pk}	P_p	P_{pk}
小头直径	0.94	0.88	2.36	2.26
小头 AA 方向直径（上截面）	0.86	0.55	2.59	1.5
小头 AA 方向直径（下截面）	0.99	0.67	2.02	1.68
小头 BB 方向直径（上截面）	0.88	0.63	2.19	1.89
小头 BB 方向直径（下截面）	0.96	0.8	2.05	1.71

3) 连杆供应商的过程能力较差，加工过程波动大使得零件装配间隙波动也大，从而促使异响的出现。

消除异响产生的对策

基于上述分析及验证结果，连杆小头与活塞销之间的配合间隙过大是造成异响的主要原因，因此控制两者之间的配合间隙是解决问题的主要方向。针对异响产生原因制定以下对策：

1) 将连杆小头与活塞销配合间隙要求收紧至 0.006 ~ 0.013 mm。

2) 通过分组装配法，在保持加工经济性的同时，提高装配间隙精度的控制。

3) 连杆供应商 A 增加珩磨工序，提高连杆小头直径加工的过程能力。

在以上措施执行后，跟踪一段时间再无异响问题出现，至此发动机异响问题已被解决。

结论

如今汽车已经融入到了千家万户的生活之中，随着各种生活场景的发展变化，汽车不再仅仅是一种代步工具，而是一个集成多种功能的移动场景。而作为引起整车振动的主要激励源之一，发动机产生的噪声振动控制水平直接影响着用户的驾乘体验。

发动机异响的问题在市场上偶有顾客抱怨，而造成发动机异响的原因是多种多样的。本文通过对发动机怠速异响表现进行了分析与验证，找到了异响的根本原因并制定了有效的优化方案，对提高发动机的品质、避免异响问题的重复发生有一定的实际应用价值，对提升产品口碑有极大的帮助，并对发动机运动机构的设计具有一定的参考意义。AI

哈曼：引领智能化转型，创造非凡舱内体验

电气化、智能化、网联化已成为当前汽车行业重要发展方向。2023 年哈曼重点推出 Ready 系列产品和技术方案，带来令人惊叹的用户体验。

“Ready”意为准备就绪，言下之意，哈曼的汽车产品已具备量产能力，将赋能汽车行业实现智能化转型。哈曼 Ready 系列的四大产品包括：可以为当今和未来汽车提供快速无缝车内软硬件升级的 Ready Upgrade 解决方案；包含 Neo QLED Auto 显示屏和刚性 OLED 显示屏在内的 Ready Display 产品组合；集增强现实抬头显示（AR-HUD）硬件和增强现实（AR）软件产品为一体的 Ready Vision 产品；可实现从舱内感知到定制化的车内闭环干预的 Ready Care 产品。哈曼 Ready 系列的每款产品均可独立工作，具有独特的汽车安全、

健康、车载娱乐和互联优势。同时，他们也可以和哈曼其他 Ready 系列产品无缝集成，实现更优体验。

哈曼 Ready Upgrade 解决方案凭借量产级的座舱域控制器和经过预验证的软件套件，可以大幅缩短汽车的开发周期并显著降低成本。今年 1 月，哈曼宣布与法拉利达成为期数年的合作将在其下一代座舱中应用哈曼 Ready Upgrade 的软硬件产品，加速缔造法拉利与众不同的独特座舱体验。

哈曼推出的 ADAS 解决方案聚焦于提升驾驶员安全和注意力。哈曼 Ready Vision 产品融合了增强现实抬头显示（AR HUD）技术。另一款 ADAS 产品 Ready Care 是一套系统级的驾驶员检测系统（DMS），具备前沿的舱内雷达感知技术。



在低碳和轻量化方面，哈曼 Ready 系列产品进行了性能、设计的全面优化。哈曼专注打造消费级体验，汽车级品质。在中国，哈曼的汽车业务持续增长，与国内外汽车制造商的深度合作也得到进一步拓展。哈曼的愿景是引领汽车行业的智能化转型，并创造非凡的舱内用户体验。未来，哈曼将继续遵循严格的车规级标准，更快地交付即时可用的产品和方案，为驾乘人员打造更智能、更安全的体验之旅！AI