车内仪表台区域风噪声问题解决

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 刘广锰

噪声问题越来越成为顾客关注的质量缺陷，在某车型进入量产阶段后，道路试验发现了批量问题——仪表台区域风噪声。此缺陷会影响高速驾驶时驾驶员的注意力和心情，严重影响客户满意度。

笔者采用“人、机、料、法、环”的思路，进行零件尺寸测量、车身测量、加工人调查、加工工艺调查及工装夹具等，成功找到了问题的根本原因。并针对产生问题的根本原因，协同其他部门共同设计制作了辅助工装，优化工艺文件并对加工人进行再次培训，最终解决了此问题。

据近年的JD-Power民意测评及知名汽车论坛的最新消息显示，汽车消费者已经越来越关注车辆噪声类缺陷，相关的抱怨也越来越多，风噪声便是其中重要一项。由于我国道路状况的飞速发展，车辆高速行驶已经成为常态，风噪声在车辆高速驾驶情况下，通过听觉系统影响乘客舒适性，进而对驾驶者反应速度和身体状况等带来安全隐患，解决风噪声问题显得愈发重要。

发现风噪声

在某车型产量爬坡阶段，发现了批量风噪声问题，在车辆急加速或高速行驶下，仪表台区域可听到高频的风噪声。笔者作为噪声项目工作组的负责人，开始了对此噪声的分析和解决工作。

由于噪声是一个非常主观的缺陷，无法通过照片、文字等传统方式进行描述。因此分析解决问题的第一步是确定风噪声的特征数据。

经过与考核员共同道路测试，噪声特征定义为：在干燥平整路面上，风力小于三级，车辆在40～60km/h时急加速或车辆匀速行驶在100km/h以上时，驾驶者可听到前方有高频口哨音，近似于耳鸣声或高频电磁噪声，音量较低，但极易影响司机心情和注意力。此噪声在高速下，随车速增加而增大。通过以上特征，可将此噪声定义为：顾客无法接受的风噪声。

噪声源定位

解决风噪声的第一步是要定位噪声源。风噪声的最大特点就是难于定位，人耳仅能判断大概区域。因此需要对驾驶者座位所有周围区域进行排查。

风噪声存在各种复杂的影响因素，在实际工作中，通常采用“从易到难，从外向内”的顺序进行试验，定位声源。

1. 前风挡玻璃区域

首先按照传统的试验方法，采用胶带密封前风挡玻璃四周，作用是密封玻璃与车身之间可能有泄露点，密封能够消除匹配位置可能带来的空气湍流。试验结果：缺陷仍旧存在。

2. 车门区域

采用同样的密封方法，密封左前门玻璃四周（包括后视镜区域）及车门与车身配合位置，结果仍然不理想。

检查车门相关密封零件的装配位置，所有零件均装配到位，不存在由装配失误带来的泄露孔洞。

据以上试验，确认后视镜基座四周的配合良好，需进一步验证零件内部存在问题的可能性。

验证过程中，笔者采用自制的

“零风阻后视镜”——没有镜体，只有基座，基座内的所有孔洞均经过封堵，几乎不存在风阻和泄露（见图1）。

将“完美后视镜”替换原来的后视镜，对比路试结果，缺陷仍旧存在。因此排除后视镜区域带来风噪声的可能。

3. 天窗区域

作为顾客抱怨的重灾区，天窗区域的隐患同样不可忽视。笔者同时密封天窗排水孔和密封天窗玻璃四周。路试验证时，缺陷仍旧存在。因此排除天窗区域带来风噪声的可能。

4. 发动机舱区域

至此，驾驶者座位周围的三大部位（前风挡玻璃、车门及天窗）均已完成排查。需将排查重点转移到防火墙及发动机舱区域。

防火墙是隔离发动机舱和乘客舱的屏障，其作用是隔绝发动机舱的热量和噪声，并允许转向、空调、电器等相关管路管线通过（见图2）。因为防火墙的特殊位置，其结构复杂，管路纵横。基本没有可操作空间。本着先易后难的原则，首先排查发动机舱区域的噪声。

发动机舱内部的最大噪声源是发动机。在车辆行驶过程中，大量零件处于高速运转工况下，噪声组成及其复杂，需要进行风噪声频谱分析。

将风噪声进行高保真录音，同时记录发动机转速。经对录音进行频谱分析，增加带通滤波器，逐步侦听不同频率范围下声音的类型，终于将故障噪声定位在10～20kHz的高频区域。

图1　普通后视镜与“零风阻后视镜”

图2　防火墙区域供管线穿过的众多孔洞

通过风噪声和发动机转速的时域对比分析，得出发生风噪声时，发动机转速均在2 000r/min以上。

根据发动机各部件的频率阶次分布，只有阶次最高的正时链条和平衡轴，才可能产生高频振动，但无法解释只有发动机转速在2000r/min以上才突然产生噪声。

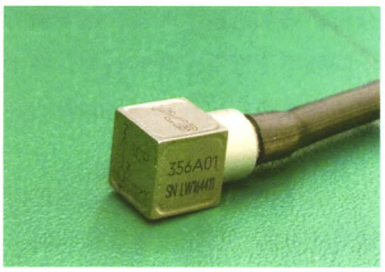
笔者将目光转移到发动机的另外一个高速部件：废气涡轮增压系统。涡轮只在发动机转速达到2000r/min以上时才起动工作，工作转速极高，可达到惊人的100 000r/min，其转速与发动机转速不存在明显的阶次关系。种种迹象均与时域分析的结果相吻合。

为了验证涡轮是否为噪声源，笔者采用了加速度传感器进行频率测量。将原本用于振动试验台路谱采集的高频加速度传感器，应用到了噪声分析领域。

加速度传感器根据被测物体的加速度输出不同的电压信号，电压信号的波动频率与加速度的变化频率一致，同时也与被测物体的震动频率一致。通过测量电压信号的频率，便可间接测量被测物体的振动频率。

采集后进行时域分析，分析结果显示：风噪声产生的时间和涡轮工作时间基本一致，风噪声频率和涡轮工作频率也高度吻合。

采用同样方法测量正时链条区域振动频率，测量结果显示：频率低于风噪声频率，且其振动频率呈现与发动机转速对应的连续变化，



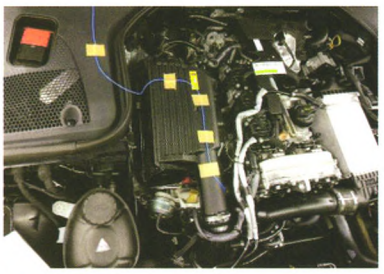


图3 发动机固定加速度传感器

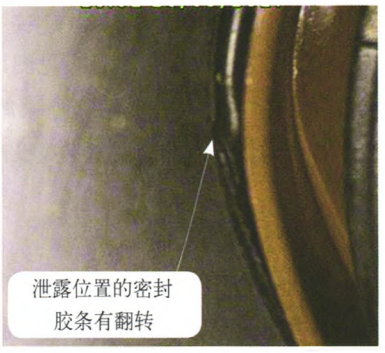


图4 通过内窥镜发现的泄露点

与风噪声的时域特性不匹配。

通过以上频谱分析，风噪声的声源是发动机增压涡轮。

5. 缺陷车与正常车辆对比试验

为进一步确认噪声源噪声类型和积累足够数据，对一辆无噪声车辆进行了同样发动机频率测量。

测量结果显示，无噪声车辆发动机涡轮在工作后采集到的频率信号，与缺陷车一致。证明正常车辆的发动机涡轮增压系统也会发出同样的噪声，但被防火墙成功隔离，不会传播到驾驶者的位置。

以上对比试验，证明风噪声的声源是发动机增压涡轮，但防火墙并未成功隔离噪声。解决传播途径上的泄漏点是解决问题的关键。

噪声传播泄漏点定位

1. 泄露点定位

虽然经过以上试验，对噪声原因的分析取得了很大进步，同时也遇到更大难题：

（1）防火墙错综复杂的管路，根本没有足够的空间进行各种密封试验。

（2）在不进行密封试验的情况下，可以采用小型麦克风探位。这种方法也只能定位大概区域。目前只有驾驶者位置有噪声，证明泄漏点在前部。如果探入麦克风，驾驶者便失去驾驶空间。

（3）前期试验，车辆已接近里程限制。由于法规对新车里程的严格要求，缺陷车已经无法继续进行高速道路试验。

以上限制条件，要求必须采取传统方式以外的试验继续分析缺陷车的问题。经过慎重考虑，“气压差法”成为首选。

采用抽气泵实现车内空间负压，模拟车辆高速行驶时车内外的气压差（高速行驶下车内为高压），空气会在车内外气压差的作用下流过孔隙，如果空气中夹杂着烟雾，空气流通途径会被探测到。

车辆静止停放，开启空调车内循环，将抽气管通过后窗玻璃处进入车内，并密封气管周围的间隙。烟雾发生器置于车外，将烟雾在防火墙区域释放。通过在车内观察，终于发现泄漏点：转向管柱密封护套与车身之间，密封胶条密封不到位（见图4）。

值得注意的是，这一泄露点，由于结构限制，再加上地毯的阻挡，从车内无法通过正常方法发现。在车底也只能通过内窥镜在特定角度找到泄露点。

2. 对比试验

对正常车辆进行同样试验，结果显示，正常车辆无泄漏。

选取一台里程低的缺陷车，密封此泄露位置后进行路试试验，结果显示风噪声消失。

基于以上试验，转向管柱密封护套密封不良是产生风噪声的根本原因。

泄漏原因分析

找到了风噪声的原因后，问题便由动态噪声问题转变为零件匹配等静态问题。

1. 重新装配试验

首先对问题车辆进行再次装配试验，发现可以将密封胶条装配到正确位置。经过路试试验，风噪声缺陷消失。因此，装配是一个影响因素。

根据上述试验结果，定义问题车辆维修方法：重新装配转向管柱密封护套。同时要求生产部门实施

100%的在线检查，确保尽早控制泄露点。

影响密封护套安装位置的两个工位：内饰线仪表台总成安装工位（以下简称内饰工位）和底盘线管柱与转向机连接工位（以下简称底盘工位），其他工位不会对此零件进行操作。因此均需要在两个工位后进行检查控制。

2. 零件尺寸测量

在深入分析装配失误原因的同时，对相关匹配零件进行尺寸测量。测量内容为转向管柱位置、密封护套零件尺寸、车身转向管柱开孔的尺寸。

（1）转向管柱的装车位置测量，采用整车三坐标测量机器，在整车坐标系下测量转向管柱中心轴位置，测量结果显示位置在公差范围内。

（2）转向管柱开孔测量，采用整车三坐标测量开孔零件的中心孔位置和开孔尺寸。测量结果同样显示其在公差范围内。

为验证零件尺寸的稳定性，增加三个转向管柱开孔零件的特殊测量，测量结果显示测量尺寸均在公差范围内，且比较稳定。

密封护套的尺寸测量，与供应商一起进行径向切面投影测量和轴向切面密封胶条唇边投影测量。测量结果，均显示零件尺寸在公差范围内。

至此，零件尺寸和车身尺寸不是造成问题的原因（见图5）。

3. 装配工艺调查

目前已经确定，泄露是由装配失误带来的，需要在装配方面进行深入分析。主要从生产班次、操作人、工艺文件、工装夹具等四个方面进行。

（1）班次缺陷统计分析。量产后，总装生产线开始A、B班双班生产。在缺陷统计分析中，收集信息主要包括：数据来源，已发现缺陷车辆和开始在线控制后的记录数据；数据要素，缺陷车在内饰工位的时间和班次、缺陷车在底盘工位的时间和班次。

将数据进行对比分析，得到如下结果：实施在线控制后，在内饰工位仍会发现缺陷。维修后，底盘工位再未发现缺陷，道路试验再未发现风噪声车辆。结论：缺陷来自于内饰工位。

根据缺陷车在内饰工位的操作班次，将统计数据区分为A班和B班两部分，根据缺陷车在内饰工位的操作时间，再加上班次信息，得出结论：缺陷车大部分来自于夜班，少量来自于B班白班。

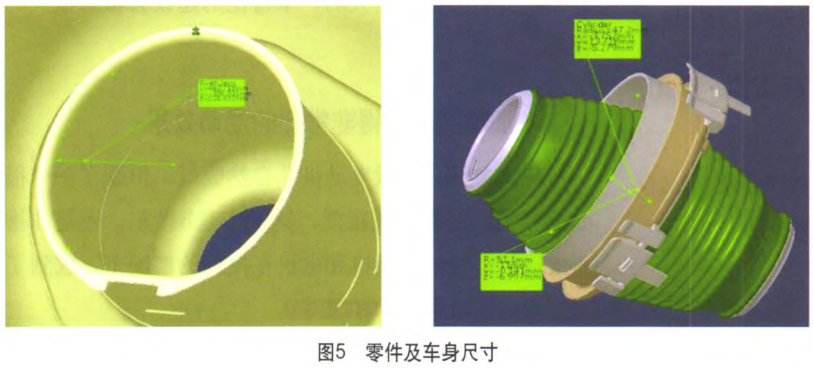


图5　零件及车身尺寸

通过以上数据分析，应重点调查B班加工人和夜班状况。

（2）操作人。调取操作人培训上岗记录，发现A班对应操作人在内饰线工作时间较长，经验丰富。B班操作人员是增开双班后调入此岗位，从业时间短。

（3）工艺文件。在总装工艺作业指导书上，明确表示密封护套应四周卡紧，但并未详细解释安装手法和卡紧顺序。总装工人在安装过程中，已遵循作业指导书进行操作。

（4）工装夹具。在内饰工位，只有仪表台总成的夹持工装，密封护套安装步骤，并无辅助工装。

经与操作人员沟通和亲自安装发现，安装护套时旋转位置不易掌握，且护套可从多个角度进行下压卡紧。如果角度过大，则容易出现泄漏点。

因此也解释了夜班加工车辆缺陷率高的原因：夜班加工人员容易注意力不集中。

根本原因及问题解决

1. 根本原因

经以上所有试验及数据分析，得出产生问题的原因，并绘制原因分析鱼骨刺图，如图6所示。

产生风噪声的原因如下：

（1）内饰工位，转向管柱密封护套安装工位缺乏有效辅助工装，且在作业指导书中未明确指导安装方法。

（2）B班加工人经验缺乏加上夜班时工作注意力差。导致转向管柱密封护套与车身存在泄漏点，密封功能缺失。

（3）高速行驶下，发动机涡轮产生的高频噪声经以上泄漏点传至司机位置，产生风噪声。

2. 问题解决措施

针对以上根本原因，相关部门制定如下几点措施：

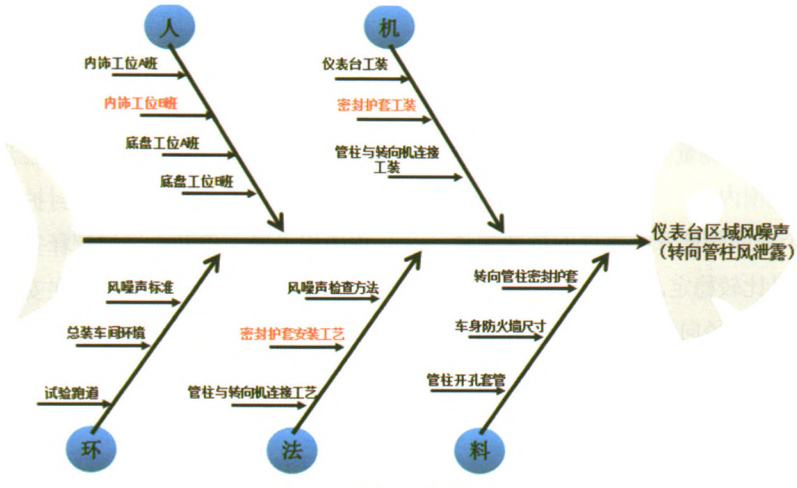


图7　根本原因鱼骨刺图

设计辅助工装，在内饰线转向管柱密封护套安装工位，保证护套的旋转位置和压入角度；降低加工人安装难度。

更新作业指导书，明确安装的方法，明示注意事项。

严格培训操作人，保证安装手法稳定一致。

继续进行100%在线控制，尤其在辅助工装到位前，保证无泄漏点。

3. 措施有效性验证

经过笔者和总装车间共同设计和维修车间大力协助，辅助工装很快成型，并开始投入使用。

经过多日的在线检查和线下路试考核结果显示，此问题已经得到解决。AUTO1950

（上接第37页）

还在用，而当前的汽车发动机早已不是传统的发动机。

2. 升功率、升扭矩的过度追求已经开始减弱

目前最高的是大众，达到150的升功率，但现在普遍都是在不到100或100左右。过度追求升功率、升扭矩，对可靠性会带来一定的影响。高NVH的质量是各家车企追求的目标，包括江淮、长城都在此方面做了很多的工作，需要从市场化和用户的角度考虑这个问题。

3. “四新”（新技术、新材料、新结构、新工艺）用得很多

例如中原缸套实际上使用了缸套最典型的技术，如缸内喷涂。现在“四新”没有全部都用上，但也用了不少。

4. 减摩技术得到广泛应用

例如有一款发动机在进行评测时，爬坡到立交桥上再下滑，收油门，在此过程中速度在增加，进气门为关闭状态，实际上这个时候是带有制动的，但发动机能让它在下滑过程中还增速，可见减摩技术做得非常好，很省油。

5. 平台化建设取得突出成果

有两款发动机配在四款车上，包括一汽丰田、广汽丰田，奥迪、迈腾，开发一台发动机很不容易，投入的人力物力财力都是巨大的，平台化的建设会带来很大的收益。

6. 油电混合取得非常好的混动效果

此次参评，有款发动机是自然吸气，但配了一个很大的电机，结果油耗很低，这辆车是B级车，还是非增压发动机。燃油发动机和电机在良好的匹配下，收到了意想不到的效果。AUTO1950