

车辆 NVH 控制技术与应用

许雪莹 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

车辆 NVH 控制技术与应用

许雪莹 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书全面论述了汽车 NVH 的基本概念和知识,系统地介绍了汽车 NVH 开发的全部过程。第一章介绍了 NVH 的基本概念及其在开发、生产和销售等几个环节的重要性,包括相关汽车声学的基本知识;第二章为了满足教材的系统性,对重要的声学概念进行了阐述,详细介绍了减振降噪常用措施以及声学结构的原理;第三章结合汽车具体结构和部件进行实战降噪演练,以加深对减振降噪理论和措施的理解;第四章主要内容为声学车型陪伴的具体工作和系列试验安排,以保证本书在工程上的实用性。

本书选用了大量的图片和照片,力图避免呆板的说教;考虑本书的科普性和趣味性,避免枯燥的公式推导,借助实物进行原理上的剖析,追求简单易懂;适合于 NVH 领域的工程师、教师、研究生和本科生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆NVH控制技术与应用 / 许雪莹著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-5170-6738-2

I. ①车… II. ①许… III. ①汽车噪声—噪声控制②汽车—振动控制 IV. ①U467.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第183671号

书 名	车辆 NVH 控制技术与应用
作 者	CHELIANG NVH KONGZHI JISHU YU YINGYONG 许雪莹 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京合众伟业印刷有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 3.125印张 73千字
版 次	2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
印 数	0001—1200册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



F 前言

FOREWORD

从事 NVH 相关的研发工作已有十余年，在工作当中经常遇到刚从事 NVH 工作的同事关于汽车声学方面的咨询，希望能做一个有关于汽车 NVH 的科普培训。经过了多个项目的实践锻炼，积累了自己的体会，于是把 NVH 理论和实践进行了综合梳理，以供新入行的同事借鉴学习。

其实此前已有多本很好的书，也都是 NVH 行业的前辈们总结的。例如如庞剑老师的《汽车噪声与振动——理论与应用》，可以作为经典的入门书；刘显臣的《汽车 NVH 综合技术》，对 NVH 诊断和原理做了比较系统的介绍。本书假定读者已经具备了一定的声学 and 测量知识，从噪声振动控制的角度出发，结合整车的结构和汽车声学所关注的热点进行阐述，希望本书能够为新入行的同事提供一份有价值的参考资料。

噪声与振动是一门既古老又年轻化的学科，汽车声学则是历经了漫长的发展之后，在今天蓬勃兴起。自 13 世纪起，四轮马车在欧洲已经十分盛行，此时马车的车

厢已开始采用弹簧悬置结构，并加大了后轮，使乘坐舒适性大大提高。1580年，欧洲的载客四轮马车开始使用减震的弹簧悬架。从1894年起，早期的摩托车已开始正式使用邓禄普充气轮胎。现代汽车的诞生尽管不足一个半世纪，但汽车声学尤其在近几十年内得到了长足的发展。新材料、新技术不断涌现，使得有源（主动）降噪和减震已经在汽车的很多系统上得到应用。CAE软件的发展使得汽车噪声与振动的很多性能可以用计算机模型来预测，大大加快了汽车的开发周期。随着汽车技术的发展和人们对汽车乘坐舒适性要求的提高，汽车NVH性能已经成为继安全性、可靠性之后最重要的性能。现代汽车发展的两个趋势是轻量化和高速化，轻量化设计限制了阻尼材料和吸隔声材料的使用，而高速化则意味着发动机功率的进一步提升，这两种发展趋势都对整车NVH性能发起了极大的挑战。

本书的第一章介绍了NVH的基本概念及其在开发、生产和销售等几个环节的重要性，包括相关汽车声学的基本知识；第二章为了满足本书的系统性，对重要的声学概念进行了阐述，详细介绍了减振降噪常用措施以及声学结构的原理；第三章结合汽车具体结构和部件进行实战降噪演练，以加深对减振降噪理论和措施的理解；第四章主要内容为声学车型陪伴的具体工作和系列试验安排，以保证本书在工程上的实用性。

本书的特色在于：①选用了大量的图片和照片，力图避免呆板的说教，使汽车噪声振动的讲解变得活泼生

动、鲜活可及；②考虑本书的科普性和趣味性，竭力避免枯燥的公式推导，只引用结论，并借助实物进行原理上的剖析，追求文章的简单易懂；③在章节的安排上，力求每一个小节都能解释或解决一类问题，让读者通过目录索引快速找到答案，并触类旁通。

在编写本书的过程中，我和身边诸多的同事进行了不断的讨论和总结，彼此借鉴，受益很多。在成文的过程中，邹振浩高级工程师和王学军博士对本书提出了宝贵的意见，他们都在工作中给予我很多的帮助和支持。在此也感谢将我带入噪声振动领域的老师王佐民教授，感谢一直关心我工作和成长的马扎根教授，也感谢在背后支持我工作的爱妻方旒女士。

作者虽竭尽全力，但疏漏和错误仍在所难免，在此真诚地欢迎读者批评和指正。(Email: beiruzi@126.com)

作者

2018年2月于上海



目录

CONTENTS



前言

第一章	轻轻松松见个面 认识 NVH	1
	什么是 NVH	1
	NVH 在整车开发中的地位	1
	NVH 性能对消费者购车趋向的影响	2
	整车 NVH 指标如何设定	2
	整车 NVH 评价的指标	3
	汽车主要噪声源与行驶速度的关系	3
	NVH 低频、中频和高频的划分	4
	汽车的噪声振动源	5
	汽车结构声和空气声的区别	5
	整车中空气声的发生和传递机理	7
	应对空气声的主要措施	8
	整车中结构声的发生和传递	8
	应对结构声的主要措施	9
	NVH 在车型开发中的地位	10
	车体密封对车内噪声影响大吗	10
	什么是发动机的阶次	11
	Booming 噪声	12
	轮胎/路面噪声	14
	风噪声	14
	什么是声品质	15
	关门声	16

	主观评价在整车 NVH 开发中的角色	17
	常用的 NVH 控制技术	18
	振动源控制	18
	振动传递途径控制	18
	噪声源控制	18
	噪声传递途径控制	19
	主动控制	19
	CAE 技术简介	19
	本章总结	22
第二章	认认真真打基础 走进 NVH	23
	声音的产生	23
	声波、纵波	23
	横波、弯曲波	25
	吻合效应	25
	声辐射效率	26
	驻波	27
	声阻抗	28
	风振效应	29
	噪音和乐音的差异	30
	描述声波的基本物理量有哪些	31
	拍频现象	33
	吸声材料和吸声结构	33
	吸声材料评价方法	36
	隔声材料和结构	36
	隔声材料评价方法	38
	吸、隔声材料在整车上的应用	39
	隔振材料和结构	43
	隔振评价方法	45

	减振材料和结构	46
	动力吸振器	47
	减振阻尼评价方法	48
	减、隔振材料和结构在整车上的应用	49
	消声器的分类	51
	扩张比和扩张室长度对管道传递损失 的影响	52
	旁支消声器	54
	本章总结	57
第三章	明明白白做改进 实践 NVH	58
	动力总成噪声	58
	辅助动力总成噪声	60
	动力总成的振动	60
	发动机的整机振动	60
	发动机的轴系扭转振动	60
	动力总成噪声的降低方法	61
	声(振)源控制	61
	传播途径的控制	61
	改进案例	63
	车身的 NVH 措施	64
	应用实例	68
	底盘系统 NVH 措施	68
	弹性元件的种类	69
	钢板弹簧	69
	螺旋弹簧	70
	油气弹簧	70
	扭杆弹簧	70
	空气弹簧	70

减震器	71
轮胎噪声	71
传动系统噪声	72
传动轴噪声	72
减少传动轴噪声措施	73
刹车噪声	74
进/排气系统噪声	74
进气噪声及其控制	75
排气噪声及其控制	75
应用实例	77
整车模态匹配	78
模态匹配	78
传递途径控制	79
应用实例	80
本章总结	81
第四章 ○ 快快乐乐做跟进 检查 NVH	82
车身密封检查	82
车身声学部件检查	84
车型陪伴的系列试验介绍	85
路试前的准备	87
本章总结	88
○ 参考文献	89



第一章

轻轻松松见个面 认识 NVH

当身边越来越多的话题是关于 NVH 时，我们便会有迷惑，迷惑于 NVH 的神秘，也会有期待，期待着能亲手揭开盖在 NVH 头上神秘的面纱……

☞ 什么是 NVH

NVH 即是噪声 (Noise)、振动 (Vibration) 和不舒适 (Harshness) 三个英文单词首写字母的简写。主要是研究车辆的噪声和振动对整车性能和舒适性的影响。车辆的噪声源，主要包括：发动机，排气系统，高速行驶时的风噪声、轮胎噪声。其他任何运动的部件都有可能发出噪声。车辆的振源，主要包括：发动机、传动系统、不平的路面。

☞ NVH 在整车开发中的地位

有统计表明：整车约有 1/3 的故障问题是和车辆的 NVH 问题有关的。而各大公司有近 1/5 的开发费用耗费在解决车辆的 NVH 问题上，见图 1-1。

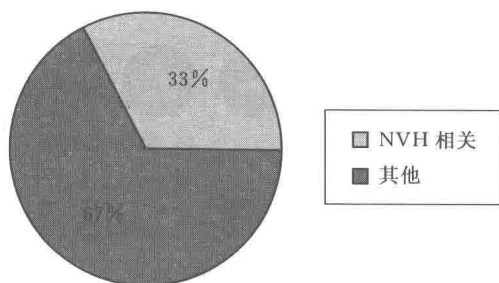


图 1-1 客户对汽车质量投诉

👉 NVH 性能对消费者购车趋向的影响

根据 1996 年对欧洲汽车市场的调查，由于汽车的性能、质量等方面均已达到较高的水平，因此顾客对乘坐舒适性的要求明显提高，仅次于汽车款式。随着我国汽车产业的跨越式发展，汽车的大众化和普及，汽车顾客群的成熟，人们对作为顾客可直接感受的汽车的 NVH 性能的要求将越来越高。作为汽车用户所能感受到的最直接和最表面的噪声和振动，是影响顾客评价车辆性能的主要指标。调查结果表明：购买第二辆车的顾客，他们往往对 NVH 的性能要求更加挑剔。顾客在选购验车时，很容易就可以评价发动机怠速的声音是否安静，方向盘和座椅的振动是否舒适，还有关门声是“厚重”还是“破响”等，而这些印象往往可以左右买家的购车决定。

👉 整车 NVH 指标如何设定

顾客的要求：汽车在不同工况和路面条件下的振动噪声水平和声音品质。国家标准：通过噪声的限制。在国内对于

整车目前有两种标准：GB 1495—2002《汽车加速行驶车外噪声限制及测量方法》规定车外加速行驶噪声限值 74dB (A)；GB/T 14365—2017《机动车辆定置噪声测量方法》规定发动机外和排气管口处噪声限制为 85dB (A)。竞争对手样车水平：开发新车与标杆样车的水平。公司技术水平：公司在汽车 NVH 设计、分析与试验方面的能力和配套供应商水平，见图 1-2。



图 1-2 整车 NVH 目标的制定

👉 整车 NVH 评价的指标

无论车辆是在怠速还是在行驶工况下，在评价整车的 NVH 的最终指标基本上就是乘员耳旁、方向盘、座椅、底板等几个位置处的噪声和振动情况。对于振动可以用加速度、速度或者位移来表示；对于噪声，可以用声压级来表示，见图 1-3。

👉 汽车主要噪声源与行驶速度的关系

对于小汽车来讲，时速 50km 以下发动机噪声为主要噪声源，随着速度的增加，主要噪声源变为轮胎/路面噪声，在时速超过 100km 时风噪声又占据了优势，见图 1-4。

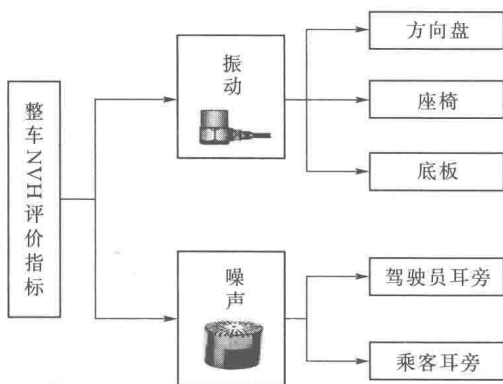


图 1-3 整车 NVH 评价指标

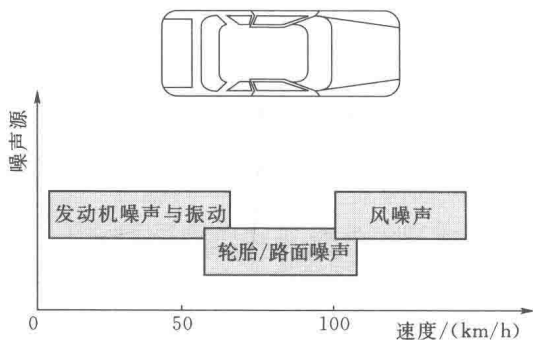


图 1-4 车速与主要噪声源的关系

👉 NVH 低频、中频和高频的划分

在汽车业界通常以 150Hz 作为低频和中频的分界，1000Hz 作为中高频的分界。同时对于车内声场来讲，空气声在 500Hz 以上就可能超过结构声而成为主要成分，见图 1-5。

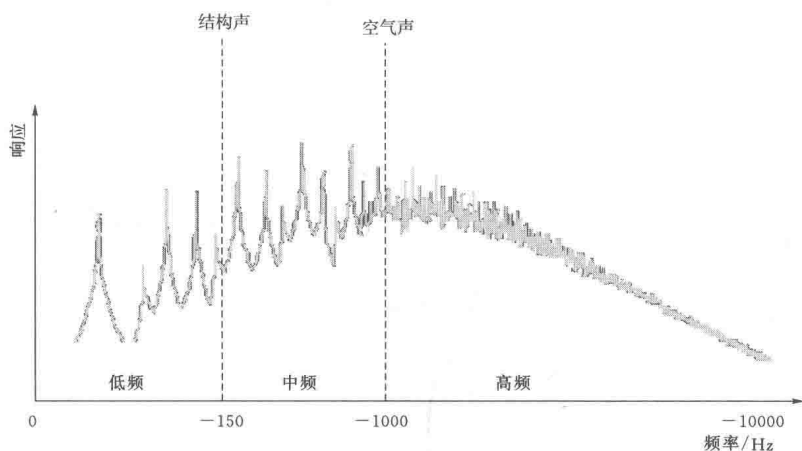


图 1-5 整车的 NVH 低频、中频和高频划分

👉 汽车的噪声振动源

一般噪声与振动系统可以用源—传递路径—接受体模型来表示。汽车的噪声源几乎遍及车身的各个方面。主要的噪声源有：发动机辐射噪声、进排气噪声、冷却风扇噪声、底盘噪声、轮胎噪声、风噪声等；主要的振动源有：发动机自身振动、排气系统振动、传动轴振动、悬架振动、路面激励等，见图 1-6。

👉 汽车结构声和空气声的区别

空气声和结构声最早是用在建筑声学方面的两个术语。多层住宅里的居民，多数会有这样一种抱怨：邻居家里的拖鞋、电视、甚至抽水马桶等声音经常干扰到自己的休息，但对于邻居家里普通谈话的声音一般没有抱怨，这其实就是一

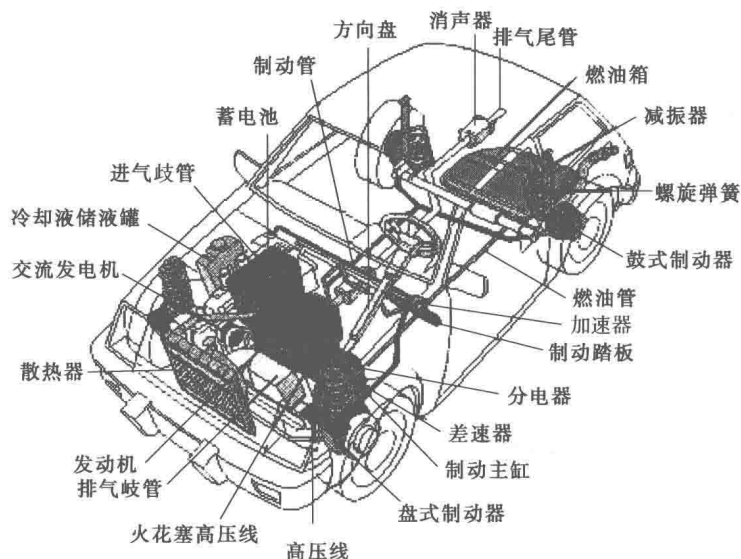


图 1-6 整车主要噪声振动源分布

种典型的结构声和空气声传播的例子。建筑物的楼板层一般有足够的厚度和重量，并具有良好的密封性，因此楼上房间的大声喧闹对楼下房间的干扰并不大，即楼板对于空气声的隔离性能相当好。但是拖鞋直接撞击底板却可以对楼下房间产生强烈的干扰，即楼板对于结构声的隔离性能很差。

对车辆内部噪声来讲，我们听到的内部噪声是结构噪声和空气传播噪声相互叠加形成的。车辆噪声源，如轮胎/路面噪声和发动机噪声向车内辐射时，通过车身孔隙透射到乘坐室内，车内这部分噪声被称为空气传播噪声，其频率一般在几百赫兹到几千赫兹。车辆振动源，如路面激励、发动机振动等直接或者间接作用到车身，引起车身振动；另外车辆噪声源向外辐射噪声作用到车身，也会引起车身

振动，车身的振动产生结构辐射噪声；车内这部分噪声被称为结构噪声，结构噪声的频率一般在几十赫兹到几百赫兹。实践证明，对于车内噪声来说，500Hz 以下结构声占主要成分，500Hz 以上空气声占有优势，随着频率的上升，空气声的比例也在急剧增加。结构声和空气声实际上是车内噪声的直达声，车内噪声的另一部分为混响声。混响声是指声源发出的声波经过车内壁面一次或多次反射后的噪声。车内噪声实际上也是直达声与混响声叠加的结果，见图 1-7。

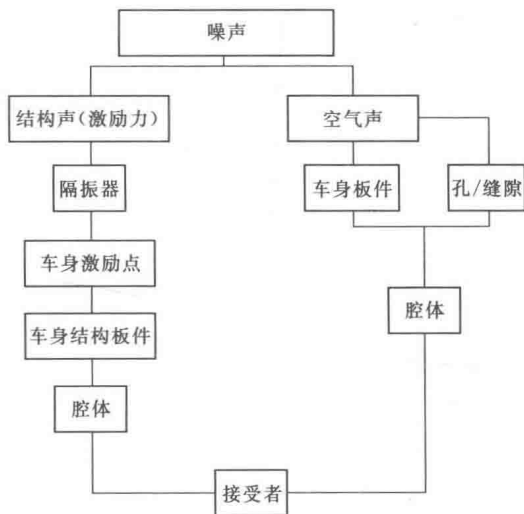


图 1-7 空气声和结构声的传播

👉 整车中空气声的发生和传递机理

整车上空气声的传递途径有两条：一是通过车身壁板及门窗上所有的孔、缝隙直接传入车内；二是车外噪声声波作用于车身壁板，激发壁板振动，并向车内辐射噪声。典型的