



中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会 特别推荐

# Automotive Noise and Vibration

## 汽车噪声与振动 ——理论与应用

Principle and Application

■ 庞剑 谌刚 何华 编著

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 汽车噪声与振动

Automotive Noise and Vibration

——理论与应用

——Principle and Application

庞剑 湛刚 何华 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书全面论述了汽车振动与噪声的基础理论和实际应用,涉及发动机、动力传动、车体、整车等系统。全书分为四篇,共二十四章。第一篇“汽车噪声与振动的基本原理和分析方法”概述了汽车噪声与振动的特点,全面介绍了实际中用到的分析与测试方法。第二篇“发动机及动力传动系统的噪声与振动”介绍了发动机的噪声与振动,进气系统和排气系统噪声与振动,动力装置隔振系统和传动轴系的振动与噪声。第三篇“车身及整车噪声与振动”介绍了结构振动和结构噪声、空气噪声及风激励噪声、整车噪声与振动的分析。第四篇“汽车噪声与振动专题”介绍了汽车噪声与振动的评价、主动控制、噪声振动控制与产品开发的关系、摩擦噪声、汽车噪声与振动的新问题和发展趋势。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车噪声与振动:理论与应用 / 庞剑, 湛刚, 何华编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2006. 6

ISBN 7 - 5640 - 0749 - 4

I. 汽… II. ①庞… ②湛… ③何… III. ①汽车噪声 ②汽车-振动  
IV. U461

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 043798 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 30.25

字 数 / 597 千字

版 次 / 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 80.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

---

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

## 作者简介

**庞剑**：1985年获武汉理工大学工学学士学位，1991年获上海交通大学工学硕士学位，1996年获美国俄克拉荷马大学工学博士学位。曾任武汉船舶设计研究所工程师，Stewart and Stevenson公司高级工程师和技术专家。1999年加盟福特汽车公司。发表了40多篇有关振动与噪声的学术论文，合著有《Road Vehicle Dynamics》等书，担任多家国际汽车杂志的审稿人和客座编辑。曾任底特律中国人协会主席。著有长篇小说《留学美国的日子》，发表了100多篇文学作品。

**谌刚**：1984年毕业于上海交通大学动力系并于1987年获硕士学位，1997年获新加坡南洋理工大学博士学位，曾任华中科技大学讲师，新加坡国立研究院首席工程师，SONY首席工程师，IBM顾问科学家和Gates公司研究员。有五项专利，发表过100多篇有关论文及五本著作，近期受邀担任2006年国际动力总成（发动机和传动系统）大会振动与噪声分会主席。

**何华**：西安交通大学工学学士（1985）和工学硕士（1988），美国麻省理工学院声学博士（1996）。美国密西根州立大学工商管理硕士（2002）。曾任德国Fraunhofer工业工程研究所工程师，美国波音公司噪声部高级研究员。1998年加盟通用汽车公司，参加和主持过十余种新车型的整车声学设计，分析，测试和系统集成。美国汽车工程师协会（SAE）声学材料委员会委员，国际车辆噪声与振动杂志常务编辑和其他期刊的审稿人。曾任底特律华人工程师协会（DCEA）会长。

# 序言一

近年来，庞剑博士、湛刚博士和何华博士与汽车噪声工程师和院校师生做过一些学术交流。他们将交流的材料进行整理和扩充，完成了这部学术著作。他们在噪声与振动领域工作了20年，有着坚实的理论基础，同时他们又都在世界著名的汽车公司直接从事产品开发工作，具有丰富的实践经验。这部著作是他们理论研究的结晶和实际工作的总结，因此这部著作的出版对我国汽车噪声振动界具有极大的学术价值和实用参考价值。

汽车噪声与振动是衡量汽车好坏的一项非常重要的指标。顾客对汽车的舒适性的要求越来越高，每个国家对噪声污染的控制越来越严，因此噪声与振动的大小决定了一部汽车在市场上的前景。国外汽车公司在新产品开发过程中，噪声与振动控制是所有技术中投入人力与物力最多的一项技术。这部著作全面地阐述了整车和各个系统的噪声与振动原理与控制技术，介绍了汽车噪声与振动控制的发展动向，因此它为我国汽车公司开发新车型提供了极其有价值的参考。

中国汽车工业发展迅速，现已成为汽车生产大国，而且这种发展的势头还会持续下去。世界著名的汽车整车公司和零部件公司纷纷增加在中国的投资，但遗憾的是，在中国生产的汽车基本上是在国外开发的。尽管这些公司开始在中国建立产品开发中心和研究院，但是多半还只是对已经在国外开发的车型进行改进以便适应中国市场。

这些年，中国的汽车企业如雨后春笋般地发展，而且这股奋起直追的势头非常强劲。但是与国外知名企业相比，这些企业的竞争力还相当薄弱，拥有自主知识产权的产品不多，还处在跟踪国外产品的阶段。中国不仅要成为一个汽车大国，而且要成为一个汽车强国。强国就意味着要有具有国际竞争力的汽车品牌，而技术和管理是汽车品牌的支柱。

《汽车噪声与振动——理论与应用》还介绍了汽车产品开发与技术的关系，



因此这部著作对汽车其他领域与整车开发有着重要的参考价值。可以说这本书是一个窗口，我们可以透过这扇窗口窥视到国外公司在汽车开发过程中的一些程序。

每次到美国底特律去，我总是感受到旅美中国汽车专家们对中国汽车发展的高度关注和热情。他们愿意与国内汽车界进行更多的交流与合作。

中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长 付于武

A handwritten signature in black ink, appearing to read '付于武' (Fu Yuwu), written in a cursive style.

## 序言二

我与谌刚博士分手多年了，我一直想念他，想念他一家人；我也知道，他一直想念我，想念在中国的亲友与老师，想念他从小成长的中国故土。“人情同于怀土兮，岂穷达而异心。”当他问我能否为他与庞剑、何华两位博士合撰的专著《汽车噪声与振动——理论与应用》作序时，我欣然同意。

多年前，谌刚博士曾在我所在的教研室工作数年，思维敏捷，作风实在，责任心强，工作出色，是我们教研室的学术骨干。他参与合作完成了两本振动学术著作，其中的《机械振动系统》一书获得全国机电类优秀教材一等奖，并被国家教育部的有关部门推荐为研究生用书。早在 20 世纪 80 年代，他曾完成多项课题，并发表多篇有关汽车动力学、振动与噪声的学术论文。他的学术水平和勤奋精神留给我深刻的印象。现在，他在摩擦学、动力学、振动与噪声方面的研究成就，已经引起了国际有关人士的注意。今天，我十分高兴看到这本专著，这凝聚了他们的成就与辛苦，我想，这也是他们对祖国的一个回报。

这部著作介绍了汽车噪声与振动的基础理论，阐述了车体、发动机和动力传动等汽车系统的噪声与振动的控制技术；还包括了有关汽车噪声与振动的许多专题，如噪声振动的评估、目标的制定、发展的动向、噪声与振动同汽车产品开发的关系等等；书中还介绍了国外汽车公司产品的一些经验。这部著作最大特点是理论与实践的结合。这三位博士跨越着学术界和工业界，正因如此，才能写出这样兼具理论与实践为一体的专著。我一直特别主张技术学科的学者要走出纯学术圈子，而融入到工程实际中去，同时也衷心期望工程技术人员要不断地提高理论水平。只有理论与实际紧密的结合，才能推动科学与技术的发展与进步。“问渠哪得清如许？唯有源头活水来！”而这部著作正体现了这种精神。

这本著作对从事汽车噪声与振动研究的科研人员、教师和研究生来说，是一本很好的参考书；对汽车工程师来说，是一本宝贵的参考书，它为我国汽车

开发研究提供了一个重要的借鉴。

另外，我还要讲的是，我力主科学与人文交融，因为这样，一能陶冶情感，提升境界，二能扩大视野，启迪智慧。我想，这是时代发展的必然，这是造就出色人才的必由之路。本书三位作者不仅是出色的技术学科的学者，而且有着良好的人文功底。我相信，他们今后还会在业务上做出更多的成就，为祖国做出更大的贡献。

最后，我还想用中国的古谚：“金无足赤，人无完人。”当然，书也无完书。我同作者的心情一样，希望读者能对本书不妥之处，提出批评建议。“嚶其鸣矣，求其友声。”

谨为之序。

中国科学院院士  
华中科技大学教授 杨叔子

杨叔子



## 序言三

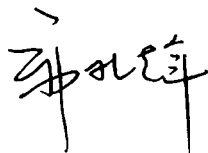
中国已经是世界第二大汽车生产国。中国汽车工业的发展速度和潜力几乎令每一位中国汽车人兴奋鼓舞。但是与此同时，我们又有很多担忧，因为我们的汽车产品开发能力与生产大国的地位不相配，拥有自主知识产权的产品非常少。

在合资的过程中，外国公司会把汽车产品开发的整个程序和关键技术拿到中国来吗？我举个关于飞机制造的例子。20年前，中国已经生产出大型运输机“运十”，但是在与国外的合作中，我们放弃了自我产品开发，以为开放市场会得到国外技术。20年后，我们产品开发的能力没有了，国外公司也没有将关键技术传给中国。现在我们清醒了。中国汽车的发展也面临着这个问题。我们曾经拥有一定的产品开发能力，但十多年来，中国绝大多数汽车公司已经与外国著名汽车公司合资，生产国外品牌的汽车，这样独立自主的开发能力反而下降。“以市场换技术”的战略看来又要重蹈中国航空工业的覆辙。

作为一个汽车大国，作为一个正在走向强国之路的中国，我们一定要有自己的产品开发能力。关键技术、整车开发程序和科技创新是我们从汽车生产大国走向汽车强国的关键。要提升我们自己的开发能力，有一条很重要的途径，那就是借助海外华人的力量。我到美国密西根去的时候，见到了许多中国人。他们都是汽车公司的技术骨干，掌握着关键技术并具有丰富的产品开发经验。这些华裔汽车专家为中国汽车的快速发展而欢欣鼓舞。他们是我们走向世界的一座桥梁，是中国走向汽车强国的一笔财富。

我非常欣慰地看到庞剑、湛刚和何华博士完成了这部《汽车噪声与振动——理论与应用》著作。这三位博士在噪声振动理论方面造诣颇深，同时又具有十分丰厚的实践经验。他们将理论与实践结合在一起，将技术与产品开发的过程结合在一起。这部著作的出版为汽车噪声与振动界提供了一份宝贵财富。

中国工程院院士 郭孔辉



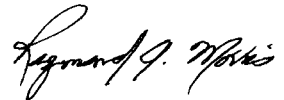
## 序 言 四

As a leading global mobility engineering society, SAE International recognizes the pivotal importance and complexity of noise, vibration and harshness (NVH) engineering in a vehicle's design.

Today's automotive consumers demand quieter and smoother-riding vehicles and engineers must stay at the forefront of innovation and technology to meet these demands. The authors of this book-Dr. Jian Pang, Dr. Gang Sheng and Dr. Hua He-are all active participants within SAE International and they understand automotive NVH technology. This book delves into the key components of NVH, including the history of noise and vibration development in automobiles; the fundamentals of acoustics and vibration; powertrain and driveline noise and vibration; and body and whole vehicle NVH. In addition, the authors include chapters on special topics, including vehicle NVH assessment and trends in vehicle NVH.

This book would make an excellent companion piece to the many resources that SAE International offers regarding NVH, including technical papers and books, electronic and online technology compilations, standards, continuing education courses and conferences.

Sincerely,



Raymond A. Morris  
Executive Vice President and COO  
SAE International

## 英文简介

This book systematically discusses the principles and applications of noise and vibration as encountered in the design and development of modern passenger vehicles. The book features four parts, twenty four chapters, covering all major systems in a vehicle: powertrain, driveline, body, interior, as well as the complete vehicle as a total system. The first part “Fundamentals of Automotive NVH Problems and Methods” reviews the basics of vehicle NVH (Noise, Vibration and Harshness), and the commonly used testing and analysis tools and methods in the automotive industry. The second part “Powertrain and Driveline Noise and Vibration” discusses the types and NVH characteristics of the related subsystems and components such as engine, engine accessories and ancillary components, intake and exhaust systems, engine mounting and driveline. Design considerations for better NVH performance are provided as well. The third part “Body and Whole Vehicle NVH” discusses the structure-borne noise, air-borne noise and wind noise. In addition, this part deals with the whole vehicle as a total system in terms of modal mapping and source-path-receiver analysis. The fourth part “Vehicle NVH Special Topics” introduces subjective and objective assessment of vehicle NVH, and also discusses the friction induced NVH problems, along with active control of noise and vibration. The part will also cover some current hot topics, such as NVH in vehicle development process, and alternative propulsion system unit.

# 前 言

我们在噪声与振动领域学习和工作了20年，在汽车界也工作了很多年。我们发现国内外系统介绍汽车噪声与振动的书非常少，于是就萌生了写这本书的念头。

汽车有很多指标，如可靠性、安全性、噪声振动、节油性能等等。虽然安全性和可靠性等技术指标非常重要，可是噪声振动性能却越来越备受关注，已经成为影响一部汽车品牌最重要的指标之一。政府法规对汽车噪声与振动的要求越来越高，顾客购买汽车时，噪声与振动是主要考虑的因素之一。政府与顾客这两股力量使得汽车公司、有关政府机构、大学都投入大量人力与财力从事汽车降噪与减振的研究。

中国汽车市场正在走向成熟，人们对噪声与振动的关注在日益增加。汽车制造公司正在加大对这方面研究和开发的投入。可以预计在不久的将来，噪声与振动将是汽车厂家和顾客最关注的指标之一。

噪声与振动是一门古老的学科，但是新的技术不断渗透进来，使得它又成为一门非常新而且技术含量很高的学科。随着控制技术的发展和成本降低、新材料的应用、测试技术不断完善、计算机软件的开发，汽车噪声与振动技术的发展非常迅速。有源（主动）降噪和减振已经在汽车的很多系统上得到应用。CAE软件的发展已经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。整车公司已经将整车的噪声与振动目标分解到大部分子系统及零部件中去，形成了整车厂—供应商联合开发的产业链，使得汽车整体噪声与振动不断降低。另外，新型动力系统（如混合动力、燃料电池）的应用，汽车又面临新的噪声与振动问题。现在，噪声与振动已经成为汽车界最活跃的研发领域之一，在汽车研究与产品开发过程中的作用越来越突出。

我们在汽车公司从事产品开发与研究工作的，又一直活跃在学术界。在编写这部著作的过程中，我们相互学习，借鉴彼此的经验，受益很多。书中的内容都曾在各种学术会议上公开交流过。在总结了广大同行和自己的工作经验基础上，我们试图构建一套汽车噪声与振动的结构体系，紧密围绕着汽车产品开发的过程来描述噪声振动问题，有机地将振动噪声理论与汽车产品开发的实践结合起来。希望这本书能为从事噪声与振动工作的研究人员、广大的汽车工程师以及研究生和大学生提供一份有价值的参考资料。

在撰写这部著作的过程中，我们得到了很多专家与同行的鼓励和帮助。中国振动界德高

望重的前辈杨叔子院士、中国汽车界的权威专家郭孔辉院士，中国汽车工程学会的常务副理事长付于武先生和国际汽车工程师协会执行副总裁 Raymond Morris 先生给予了鼓励并分别写了序言。中国汽车工程学会的张宁副秘书长、桂宏宙处长、王英珍高工等领导积极地向出版社推荐本书。在此，我们对他们表示真挚的感谢！我们利用业余时间写作，占用了本来应该与家人好好相聚的时光。如果没有他们的理解与支持，我们很难完成这本书，对此，我们向他们表示深深的感谢！我们在国内读研究生的时候，一些名师将我们引入噪声振动领域。在以后的工作中，许多老师和同事给予我们很多帮助。在此，我们要特别感谢上海交通大学的骆振黄教授、严济宽教授、陈之炎教授和沈荣瀛教授，西安交通大学的戴德沛教授（已故）、黄协清教授、林志航教授、张陞陞教授，华中科技大学的杨叔子教授和师汉民教授，武汉船舶设计研究所的张国良总工程师。

本书论述了汽车噪声与振动的基础理论和实际应用，涉及发动机、动力传动、车体、整车等系统。全书分为四篇，共二十四章。庞剑撰写了第一、二、三、十二、十三、十四、十五、二十、二十二章，庞剑和何华共同撰写了第十九、二十一、二十四章，谌刚和何华共同撰写了第四、五、六、七、八、九、十、十一、十六、十七、十八、二十三章。由于写作时间的仓促和水平的限制，难免会有些错误，真诚地欢迎读者指正（电子信箱分别为NVHbook@gmail.com, shenggan@ hotmail.com, glacier49681@ yahoo.com）。另外，我们尽可能让书中的名词术语与国内的惯用法保持一致，如果有疏忽，请读者指正。

庞剑、谌刚、何华  
2005.6 美国密西根

# 目 录

## 第一篇 汽车噪声与振动的基本原理和分析方法

<b>第一章 汽车历史、结构、噪声与振动概述</b> .....	(3)
第一节 汽车历史回顾 .....	(3)
第二节 汽车性能与坐标概述 .....	(5)
第三节 汽车噪声与振动概述 .....	(7)
第四节 汽车噪声与振动的特征 .....	(10)
第五节 汽车噪声与振动的主要问题 .....	(11)
参考文献 .....	(16)
<b>第二章 声学基础</b> .....	(17)
第一节 声学的基本概念 .....	(17)
第二节 声学方程的建立 .....	(20)
第三节 声级的评估 .....	(22)
第四节 声波的传播与反射 .....	(24)
参考文献 .....	(26)
<b>第三章 振动基础</b> .....	(28)
第一节 虚功原理与拉格朗日动力方程 .....	(28)
第二节 离散体的振动 .....	(31)
第三节 连续体的振动 .....	(34)
第四节 非线性振动 .....	(36)
第五节 随机振动 .....	(39)
参考文献 .....	(41)

<b>第四章 有限元法</b> .....	(43)
第一节 结构有限元法与形函数 .....	(43)
第二节 单元质量矩阵和刚度矩阵 .....	(45)
第三节 系统总刚度矩阵、质量矩阵与系统方程 .....	(47)
第四节 声学有限元法 .....	(47)
参考文献 .....	(48)
<b>第五章 边界元方法</b> .....	(49)
第一节 边界元方法的基本理论 .....	(49)
第二节 边界元问题的其他分类 .....	(51)
第三节 边界元软件和建模分析要点 .....	(52)
参考文献 .....	(53)
<b>第六章 统计能量分析法</b> .....	(54)
第一节 统计能量分析的基本理论 .....	(54)
第二节 统计能量分析的几个具体问题 .....	(56)
第三节 统计能量分析的商业工程软件简介 .....	(63)
第四节 统计能量分析在汽车工业中的应用 .....	(64)
参考文献 .....	(67)
<b>第七章 模态分析与综合</b> .....	(69)
第一节 理论模态分析 .....	(69)
第二节 试验模态分析与参数识别 .....	(70)
第三节 模态综合 .....	(73)
参考文献 .....	(76)
<b>第八章 传递路径分析法</b> .....	(77)
第一节 传递路径分析基本理论 .....	(77)
第二节 传递路径分析软件和实际应用 .....	(81)
第三节 中频问题分析方法概述 .....	(84)
参考文献 .....	(88)
<b>第九章 汽车振动噪声测试技术</b> .....	(90)
第一节 振动测试技术 .....	(90)



第二节 噪声测试技术 .....	(94)
参考文献 .....	(114)

## 第二篇 发动机及动力传动系统的噪声与振动

<b>第十章 发动机的振动</b> .....	(119)
第一节 概述 .....	(119)
第二节 发动机的振动源 .....	(120)
第三节 扭转振动 .....	(124)
第四节 汽车曲轴/传动系弯曲振动及发动机在车架上的振动 .....	(146)
参考文献 .....	(147)
<b>第十一章 发动机的噪声</b> .....	(150)
第一节 概述 .....	(150)
第二节 燃烧噪声 .....	(153)
第三节 发动机机械噪声 .....	(162)
第四节 燃烧噪声和机械噪声的分离 .....	(180)
第五节 空气动力噪声 .....	(182)
第六节 发动机噪声的降低方法 .....	(185)
参考文献 .....	(187)
<b>第十二章 管道声学及进气系统的噪声与振动分析</b> .....	(189)
第一节 管道声学 .....	(189)
第二节 消声元件声学评价指标 .....	(198)
第三节 消声元件声学分析 .....	(203)
第四节 进气系统噪声与振动分析与设计 .....	(216)
参考文献 .....	(234)
<b>第十三章 排气系统的噪声与振动分析</b> .....	(236)
第一节 排气系统的噪声分析与控制 .....	(236)
第二节 排气系统的振动分析 .....	(256)
参考文献 .....	(262)

<b>第十四章 动力装置的振动隔离系统分析</b> .....	(266)
第一节 动力装置的隔振问题 .....	(266)
第二节 单自由度系统隔振 .....	(269)
第三节 动力吸振器 .....	(270)
第四节 动力装置隔振模型 .....	(272)
第五节 隔振器的类别 .....	(273)
第六节 隔振器位置和支架刚度的选择 .....	(277)
第七节 隔振系统的评价指标 .....	(279)
第八节 动力装置系统的隔振设计 .....	(283)
参考文献 .....	(284)
<b>第十五章 动力传动系统的噪声与振动</b> .....	(287)
第一节 概述 .....	(287)
第二节 动力传动系统的噪声与振动源分析 .....	(290)
第三节 平面内的不平衡分析 .....	(296)
第四节 双平面的不平衡分析 .....	(299)
第五节 轴系的模态分析 .....	(302)
参考文献 .....	(303)

### 第三篇 车身及整车噪声与振动

<b>第十六章 车身振动和结构传播噪声</b> .....	(309)
第一节 概述 .....	(309)
第二节 车身噪声振动响应分析和设计要点 .....	(310)
第三节 连接点激励力传递分析和车身结构设计要点 .....	(320)
第四节 结构噪声与结构振动的激励源及传递途径 .....	(323)
参考文献 .....	(329)
<b>第十七章 空气传播噪声</b> .....	(331)
第一节 空气传播噪声源 .....	(332)
第二节 车身板隔声和吸声 .....	(335)
第三节 空气传播噪声的测量方法 .....	(340)
第四节 车身声学处理与噪声分析 .....	(346)
参考文献 .....	(352)