

“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代声学科学与技术丛书

铁路噪声与振动

——机理、模型和控制方法

Railway Noise and Vibration:
Mechanisms, Modelling and Means of Control

〔英〕David Thompson 著

中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所 译



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代声学科学与技术丛书

铁路噪声与振动 ——机理、模型和控制方法

**Railway Noise and Vibration:
Mechanisms, Modelling and Means of Control**

〔英〕David Thompson 著

中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所 译

科学出版社

北 京

图字号:01-20142995

内 容 简 介

本书是一本关于铁路噪声、振动的专著,较为详尽地阐述铁路噪声及其振动的产生机理、模型建立和控制措施,涵盖空气动力噪声、桥梁噪声、低频地面振动、地面诱导结构声的内容。本书共 14 章,主要内容包括滚动噪声、轨道振动、车轮振动、轮轨相互作用及由粗糙度产生的激励、车轮和轨道的声辐射、滚动噪声的缓解措施、空气动力噪声、曲线轮轨摩擦噪声、冲击噪声、桥梁噪声、低频地面振动、地面诱导结构声和车辆内部噪声等。

本书可供轨道交通(铁路)工程技术人员、科研人员参考,也可作为相关专业的本科生、研究生的教材和参考书。

This edition of *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control* by David Thompson is published by arrangement with ELSEVIER LIMITED of The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK

本书英文版 *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, 作者 David Thompson, 由 ELSEVIER LIMITED 出版社出版, 地址 The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK。

图书在版编目(CIP)数据

铁路噪声与振动:机理、模型和控制方法/(英)汤普森(David Thompson)著;中国铁道科学研究院节能环保研究所译. —北京:科学出版社,2014.5
(现代声学科学与技术)

书名原文:Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control

ISBN 978-7-03-040643-9

I. ①铁… II. ①汤…②中… III. ①城市铁路-铁路车辆-列车-噪声控制
②城市铁路-铁路车辆-列车振动-振动控制 IV. ①U270.1②U260.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 100546 号

责任编辑:刘凤娟 / 责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2013 年 5 月第一次印刷 印张:33 3/4 插页:1

字数:651 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代声学科学与技术丛书》编委会

主 编:田 静

执行主编:程建春

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

陈伟中	陈 宇	邓明晰	侯朝焕
李晓东	林书玉	刘晓峻	吕亚东
马远良	钱梦騄	邱小军	孙 超
王威琪	谢菠荪	杨德森	杨士莪
张海澜	张仁和	张守著	

推荐者的话

铁路噪声与振动是各国政府和相关学术界,尤其是环境保护专业学者十分关心的一个领域。随着铁路列车提速、客运高速化、货运重载化及城市轨道交通的不断建设,轨道交通沿线的噪声和振动使环境日益恶化,列车高速运行引起的轮轨噪声及空气动力噪声、高架桥引起的桥梁结构噪声、重载列车产生的低频地面振动及城市轨道交通诱发的环境振动等,成为不可避免的重要问题。对铁路噪声与振动研究是铁路建设和运营中不可或缺的一项重要任务,尤其是对于噪声和振动影响突出的高速铁路与城市轨道交通更具有迫切需求。

近年来我也一直关注有关铁路噪声与振动的产生机理、预测模型、控制方法和减振降噪技术的研究进展,期待能够将国外同行在本领域的优秀研究成果引荐给我国本领域的研究者与工程师们。最近,中国铁道科学研究院铁路噪声与振动专业的研究者们,敏锐地捕捉到了英国 David Thompson 教授的专著《铁路噪声与振动——机理、模型和控制方法》,并积极投入到此专著的翻译。通过他们的辛勤劳动,这本译著得以由科学出版社正式出版发行,使我多年的愿望得以实现,备感欣慰。

本书作者 David Thompson 教授长期以来一直致力于铁路噪声与振动的研究,是本领域颇有建树的国际著名专家。特别是在滚动噪声模拟方面,作者不仅具有扎实的理论功底,而且还积累了大量的实践经验。本书是其三十余年我们研究成果的总结,理论深度和实际应用得到了完美的统一,是一部比较全面研究铁路噪声与振动的优秀著作。

本译著的出版,无疑将有助于我国铁路噪声与振动研究工作的发展。我们热忱地期待它能对关心铁路建设与发展的我国广大读者有所启迪和帮助。

中国科学院院士、西南交通大学首席教授



2013年7月16日

译者的话

经过历时近两年的辛勤工作,在我们的期盼中,《铁路噪声与振动——机理、模型和控制方法》一书的译稿终于完成了。本书的作者——英国南安普顿大学噪声与振动研究所的 David Thompson 博士,长期以来一直致力于铁路噪声与振动的研究,是本领域颇有建树的国际著名专家。作者站在学术的前沿,详述铁路噪声与振动的机理、模型和控制方法,介绍了相关研究的新发展与新动向。本书注重理论的严谨与完整性,各章之间既有联系又相对独立,可通篇阅读,亦可挑选专题阅读,是一部研究铁路噪声与振动的专著。

铁路是一种效率高、能耗少、环境友好型的交通方式。我国铁路网已具一定规模,在建和投入运营的高速铁路已具世界领先地位,部分城市还建立了城市轨道交通系统,给人们的出行带来了极大的便利和舒适。但是,轨道交通(含铁路)的建设和发展也引发了一系列环境问题。其中,轨道运输系统所引起的噪声和振动对线路两侧的敏感区域影响较大,受到了人们的高度关注。列车高速运行引起的空气动力噪声、高架桥引起的桥梁结构噪声、重载产生的低频地面振动、地面诱导结构声等,都是近年来轨道交通(铁路)引发的新问题。针对这些问题开展研究,探讨解决的方法,是学术界需要探索 and 解决的问题。我们希望本书能够像一扇开启的窗户,有助于读者了解国外铁路噪声与振动的研究成果和进展。

本书共 14 章,由中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所翻译。其中,目录,版权页,第 1 章,第 5、6 章,第 9、10 章,第 12 章,附录 A 和附录 B,符号一览表及索引的译者为马筠;前言,致谢,第 7、8 章,第 14 章译者为吕冬梅;第 2 章和第 11 章的译者为彭锋;第 3、4 章,第 13 章的译者为孙成龙。以上各位译者还对全书进行了通校。西南交通大学牵引动力国家重点实验室翟婉明院士组织其团队成员对译稿进行了审校,参加审校的人员主要有常亮、张徐、尹镗、赵海和邵鸣和等。统稿由马筠完成。中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所的曾凤柳、阮志刚、白晓军对终稿进行了审验。

在本著作的翻译过程中,科学出版社的刘凤娟和本书著者 David Thompson 博士均给予了高度的关心与支持。David Thompson 博士还专门为本书提供了最新版的勘误表。译稿定稿前,曾请他对原文中的个别公式、编译性和编辑性问题进行了确认,对于原文中的个别符号及有关频率范围的表述,在征询作者意见后,我们采用了中国的习惯表达方式。此外,中国科学院声学研究所的戴根华研究员、中国铁道科学研究院铁道建筑研究所的杨宜谦博士也对本书的译著工作提供了帮

助。在此谨向他们表示衷心的感谢。

特别应该感谢的是中国科学院院士、铁路工程领域动力学理论与应用研究著名专家翟婉明博士,他在本书启动翻译之际,积极向科学出版社推荐此书。在翻译过程中,亦一直给予关注,并在阅读本书后欣然命笔撰写了“推荐者的话”,为本书增添了浓重的一笔。

限于我们的专业知识和翻译水平,译文中难免有不尽如人意之处,敬请读者批评指正。

译 者
2013 年 7 月

前 言

地震、狂风、烈焰，轰鸣声紧；
哦，轻声慢语，片刻宁静！

J. G. Whittier(1807—1892)

多年前，当我带着孩子们去火车站送别友人时，他们都非常期待见到火车。在候车时，一列快车呼啸着驶过了站台，声音震耳欲聋。“现在，我们不喜欢火车了”，孩子们哭着说。“别难过”，我说，“我的工作就是让火车变得更安静一些”，这句话让他们恢复了信心。他们想知道：“你用什么办法使火车变安静呢？”好吧，也许这本书可以给出答案，无论如何，这毕竟是 25 年来各种试图“让火车变安静”的工作成果。

1980 年我大学毕业时，有幸加入了英国铁路研究所(British Rail Research)。实习期间，我参加了各种不同的工作项目。之后，Alistair Gilchrist，后来的土木工程研究所所长建议我加入声学部。必须承认，直到那时，我真的不知道声学是干什么的！

最初，我主要从事滚动噪声的研究工作。Alistair 建议我在 6 个月到 1 年内解决滚动噪声问题，然后投入“真正令人感兴趣的课题”——地面振动。但直到近 20 年之后，Alistair 的建议才成为现实，然而即使现在，滚动噪声问题也未得到彻底“解决”。

在英国铁路公司(BR)期间，我幸运地注册成为了南安普顿大学声与振动研究所(ISVR)的一名外籍生，在研究所，我的博士学位题目是滚动噪声模拟。1990 年取得博士学位后，我加入了位于荷兰 Delft 的荷兰应用科学研究组织(TNO)的低噪声设计组，在那里主要继续从事铁路噪声等问题。1996 年，我重返 ISVR，先后任讲师、教授。教授像噪声控制、结构振动这样的硕士学位课程对我而言是一个挑战，有助于将我所从事过的铁路噪声工作提升到更高的学术水平。铁路噪声跨度很大，涵盖了声学 and 振动中的多个学科，如多自由度系统、梁与板振动的解析建模、有限元法和边界元解析、信号处理、模态分析，以及振动声学和气动声学。

本书汇集了铁路噪声和振动领域的研究成果，其中大多数成果已在各类刊物上发表，其目的是对这一领域进行系统介绍。虽然书中引用了许多我们自己的研究成果，但本书不只是记录了著者本人的工作，同时也记录了多年来共事的许多同事的工作。

本书对完全不了解声与振动知识的人是不适合的,读者应具备一定的声学基础。对于想了解声学的读者,我可以推荐几本书,包括 Spon 出版社出版的,由 F. Fahy 和 J. Walker 撰写的 *Fundamentals of Noise and Vibration*,以及 Academic 出版社出版的,由 F. Fahy 和 P. Gardonio 撰写的 *Sound and Structural Vibration*。

下面简要介绍一下书中符号的有些约定。根据上下文,频率用 $f(\text{Hz})$ 表示,圆频率用 $\omega(\text{rad/s})$ 表示,二者关系为 $\omega=2\pi f$ 。采用复数符号时,不言自明包含时间关系 $e^{i\omega t}$ 。因此,有些引用的结果(时间设为 $e^{i\omega t}$)需要修正,以便与本书一致。虚部的单位按个人习惯用 i 表示,而非 j 。

著者试图在全书采用统一的坐标系(见第 3 章),为此修改了一些引用参考文献中的符号。此外,本书的符号已标准化,以便于全书合理统一。很多算例是在几套备选参数的基础上,根据讲解的需要选择的。它们不代表任何特例,只表示若干“典型”情况。按照算例中采用的参数继续进行各种计算之后,建模过程就有望摆脱参数选择的影响。

人们感兴趣的频率范围主要由听觉频率范围确定,正常情况下从 20Hz 到 20kHz(地面振动一节除外,该节涉及的频率更低)。由于人耳对声音的响应服从对数规律(频率加倍,音程为一个常数,即 1 个倍频程),因此频率轴广泛采用对数刻度。声压也广泛采用分贝标度。在未加说明的情况下,计算声压级(以分贝计)时,基准声压设为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$,而声功率级的基准值为 10^{-12} W 。分贝标度有其局限性,但也是非常宽松的—— $\pm 1 \text{ dB}$ 以内的测量精度很难达到,而对应于幅值则相当于 $\pm 12\%$,这种误差在其他工程领域将被视为最大误差范围。

频率响应函数(FRF's)多以术语导纳(速度/力)表示,但某些参考文献有时用位移导纳或加速度导纳来表示。和目前振动的常规做法一样,在机械阻抗的表述(动刚度或视在质量)上,首选上述表示方法。

阻尼几乎完全可以用滞回(恒定损失因子)阻尼模型而不是用黏滞阻尼模型表示。该模型之所以用于轨道,其理由将在第 3 章给出。对车轮而言,阻尼的作用很小,以致采用何种阻尼模型差别很小。

本书阐述有关铁路噪声的产生机理及其建模技术、控制方法,重点放在声源上。希望除了铁路系统的人员外,本书还能适合于其他读者群。在考虑噪声控制原理用于实际问题时,本书提供了如何将各种技术、理论及其试验方法相组合的大量实例。在提出解决方案及测试之前,首先要对问题本身进行深入了解,这一点非常重要。本书试图在数学处理与实际案例之间,探讨基础理论与讨论应用之间,文字与插图之间,公式与物理解释之间达到的平衡。

David Thompson
南安普敦,2008 年 10 月

致 谢

本项目得到了许多人的帮助,在此我要向他们表示感谢。首先,我要感谢我的两位合著者,Chris Jones 和 Pierre-Etienne Gautier。虽然这本书基本上是我的项目,但是没有他们的帮助,我无法完成本书。他们直接参与了第 8,12~14 章的编写,并对全书的编写都有影响。Chris 曾是我在英国铁路公司(BR)的同事,1997 年后再次成为我在南安普顿大学声与振动研究所(ISVR)的同事。我们的友谊深厚,合作愉快且卓有成果。我是在 1991 年认识 Pierre-Etienne 的,当时 TWINS 项目才刚刚“诞生”。后来,从 2005 年开始,他又慷慨地数次邀请我作为客座教授,到巴黎的法国国家铁路公司(SNCF)的 de l'Innovation et de la Recherche 工作,本书的大部分内容就是在这段时间完成的。

感谢南安普顿大学声与振动研究所和南安普顿大学给我时间,撰写本书。能够从事自己喜欢的工作确实非常幸运。我也要感谢剑桥大学 Trinity 学院,在 2005 年着手撰写本书时,我是那里的访问学者,剑桥大学工程系负责具体接待我,在此期间视我为他们中的一员,在此,我想特别感谢 Hugh Hunt 和 Robin Langley。

在撰写本书的过程中,我从铁路运输系统的“Savoir”国际噪声和振动课程中获得了许多灵感,该项目作为南安普顿大学声与振动研究所、荷兰应用科学研究组织(TNO)、法国国家铁路公司(SNCF)和地下交通设备研究协会(STUVA)之间的合作投资,从 1991 年启动至今已经举办过十期。起初,和我一起授课的讲师有 Tjeert ten Wolde, John Walker, Friedrich Krüger 和 Eric Tassilly。这些年来,又陆续有其他同事参加了授课及课程的组织工作,Michael Dittrich, Laurent Guccia 和 Chris Jones 给我留下了深刻印象。我得益于他们中的每一位人。

感谢为本书提供照片、图片和各种信息的人们,感谢本书的校对人员,他们是 Olly Bewes, Estelle Bongini, Steve Cox, Virginie Delavaud, Pieter Dings, Don Eadie, Dieter Hoffmann, Marcel Janssens, Rick Jones, Toshiaki Kitagawa, Jan Lub, Florence Margiocchi, Kerri Parsley, Franck Poisson 和 Edwin Verheijen。我也要感谢 Elsevier 的工作人员,尤其感谢 Melanie Benson 和 Susan Li 给予我的耐心帮助。

回首往事,我想要感谢的人还有很多很多,尤其是那些信任我的人们,那些为我创造工作环境而取得了成果的人们。我在英国铁路研究所求职时, Alistair Gilchrist 是第一个面试我的人,后来正是在他的指点下我转向了声学领域。英国

铁路研究所的其他同事也对我产生了很大影响,他们是 Charles Frederick, Richard Gostling, Colin Stanworth 和 Brian Hemsworth。Bob White 是我在南安普顿大学声与振动研究所的博士导师,是个非常有灵性的学者。Tjeert ten Wolde 鼓励我去荷兰应用科学研究组织(TNO)工作,我与那里的许多同事愉快地合作,其中有 Jan Verheij, Michael Dittrich 和 Marcel Janssens。在欧洲铁路研究所(ERRI)工作期间,我有幸与 Paul Remington, Nicolas Vincent, Maria Heckl 和 Manfred Heckl 共事。在南安普顿大学声与振动研究所, Joe Hammond 果断地接纳了我,他和 Phil Nelson, Steve Elliott 及 Mike Brennan 是我的“业务管理者”,给予我很多鼓励。

多年来,这项研究得到了多方的资金支持,其中包括英国铁路公司、UIC 研究与试验组织(ORE)(即后来的 ERRI)的 C 163 委员会、荷兰环境和运输部、欧洲联盟、英国工程和自然科学研究委员会(EPSRC),以及多家公司,包括 Corus, Pandrol, Bombardier, DB, ProRail, SNCF 和 RFF。非常感谢他们的支持。

南安普顿大学声与振动研究所是一个非常好的工作单位,在那里我得到了许多同事的帮助。我有幸成为了多名研究生和博士后的导师,在此我要特别感谢他们: Tianxing Wu, Xiaozhen Sheng, Woo Sun Park, Anand Thite, Tristan Armstrong, Gang Xie, Ji Woo Yoo, Olly Bewes, Andrew Monk-Steel, Angela Müller, Jungsoo Ryue, Toshiki Kitagawa, Zhenyu Huang, Azma Putra, Nazirah Ahmad, Briony Croft, David Herron, Becky Broadbent, Nuthnapa Triepaischajonsak, 你们中的很多人将在成书中看到你们的工作成果,我很高兴地承认,没有你们的帮助,我无法完成这本书。在此,我要特别感谢 Robin Ford, 是他放弃休假,在南安普顿大学声与振动研究所和我们一起研究接触滤波作用。

最后,我要感谢我的家人和朋友,撰写本书的压力很大,他们给了我很大支持。感谢 St John's 教堂 Rownhams 的各位朋友。感谢父母给予我的一切。感谢 Alison 和 Fiona 这对双胞胎及 Sandra 带给我的爱和欢乐。感谢你——Claire, 25 年来对我的默默付出。没有你们,我不会拥有这么多!

版 权 致 谢

图 1.1、图 2.14、图 7.7、图 7.8、图 7.12、图 7.15、图 7.19、图 7.22、图 7.25、图 7.26 和图 7.28 转载自 *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit* 220 (4)。D. J. Thompson 和 P. E. Gautier, A review of research into wheel/rail rolling noise reduction, 385-408。ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/0954409JRRT79, 于 2006 年从 Professional Engineering Publishing 处得到授权。

图 1.2 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 231。D. J. Thompson 和 C. J. C. Jones, A review of the modelling of wheel/rail noise generation, 519-536。于 2000 年从 Elsevier 处获得授权。

图 2.5、图 7.11、图 7.18 和图 7.27 转载自 *Noise and Vibration from High-Speed Trains*, 主编: V. V. Krylov, 由 Thomas Telford 出版。2001 年从 Thomas Telford Ltd 处获得授权。

图 2.7 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 193。D. J. Thompson, On the relationship between wheel and rail surface roughness and rolling noise, 149-160。于 1996 年从 Elsevier 处获得授权。

图 2.11 和图 2.12 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 120。D. J. Thompson, Predictions of acoustic radiation from vibrating wheels and rails, 275-280。于 1988 年从 Elsevier 处获得授权。

图 2.13 转载自 *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit* 205(F2)。D. J. Thompson, Theoretical modeling of wheel-rail noise generation. 137-149。ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/PIME_PROC_1991_205_227_02。于 1991 年从 Professional Engineering Publishing 处获得授权。

图 2.14、图 2.16a、图 9.6 和图 14.5 转载自 *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, 主编: S. D. Iwnicki。于 2006 年从 Taylor & Francis Group LLC 处获得授权。由 Taylor & Francis 集团 LLC via 版权审查中心获准再版。

图 3.10 转载自 *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*,

Part F, *Journal of Rail and Rapid Transit* 213 (4)。D. J. Thompson, C. J. C. Jones, T. X. Wu 和 G. de France, The influence of the non-linear stiffness behaviour of railpads on the track component of rolling noise, 233-241。ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/0954409991531173。于 1999 年从 Professional Engineering Publishing 处获得授权。

图 3.42、图 3.43 和图 3.44 转载自 *Acustica united with Acta Acustica* 86。T. X. Wu 和 D. J. Thompson, The influence of random sleeper spacing and ballast stiffness on the vibration behaviour of railway track, 313-321。于 2000 年从 S. Hirzel Verlag 处获得授权。

图 3.45、图 3.46 和图 3.47 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 203。D. J. Thompson, Experimental analysis of wave propagation in railway tracks, 867-888。于 1997 年从 Elsevier 处获得授权。

图 5.26 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 267。D. J. Thompson, The influence of the contact zone on the excitation of wheel/rail noise, 523-535。于 2003 年从 Elsevier 处获得授权。

图 6.22、图 6.23、图 6.24 和图 6.25 转载自 *Journal of the Acoustical Society of America*, 113。D. J. Thompson, C. J. C. Jones 和 N. Turner, Investigation into the validity of two-dimensional models for sound radiation from waves in rails, 1965-1974, 2003。版权(2003)归美国物理研究所所有。

图 6.27 和图 6.28 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 293。T. Kitagawa 和 D. J. Thompson, Comparison of wheel/rail noise radiation on Japanese railways using the TWINS model and microphone array measurements, 496-509。于 2006 年从 Elsevier 处获得授权。

图 6.41、图 6.42(a)、图 6.43 和图 6.44 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 267。C. J. C. Jones 和 D. J. Thompson, Extended validation of a theoretical model for railway rolling noise using novel wheel and track designs, 509-522, 2003。于 2003 年从 Elsevier 处获得授权。

图 6.42(b)转载自 *Journal of Sound and Vibration* 193。D. J. Thompson, P. Fodiman 和 H. Mahe', Experimental validation of the TWINS prediction program, part 2: results, 137-147。于 1996 年从 Elsevier 处获得授权。

图 7.4 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 231。D. J. Thompson 和

P. J. Remington, The effects of transverse profile on the excitation of wheel/rail noise, 537-548。于 2000 年从 Elsevier 处获得授权。

图 7.10 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 231。D. J. Thompson 和 P. J. Remington, The effects of transverse profile on the excitation of wheel/rail noise, 537-548。于 2000 年从 Elsevier 处获得授权。

图 7.23 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 231。C. J. C. Jones 和 D. J. Thompson, Rolling noise generated by wheels with visco-elastic layers, 779-790。于 2000 年从 Elsevier 处获得授权。

图 7.30 转载自 *Applied Acoustics* 68。D. J. Thompson, C. J. C. Jones, T. P. Waters 和 D. Farrington, A tuned damping device for reducing noise from railway track, 43-57, 2007。于 2007 年从 Elsevier 处获得授权。

图 8.13 和图 8.22 (a) 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 267。C. Talotte, P. E. Gautier, D. J. Thompson 和 C. Hanson, Identification, modelling and reduction potential of railway noise sources; a critical survey, 447-468, 2003。于 2003 年从 Elsevier 处获得授权。

图 8.15 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 293。K. Nagakura, Localization of aerodynamic noise sources of Shinkansen trains, 47-565。于 2006 年从 Elsevier 处获得授权。

图 8.17 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 231。T. Kitagawa 和 K. Nagakura, Aerodynamic noise generated by Shinkansen cars, 913-924。于 2000 年从 Elsevier 处获得授权。

图 9.9 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 293。A. D. Monk-Steel, D. J. Thompson, F. G. de Beer 和 M. H. A. Janssens, An investigation into the influence of longitudinal creepage on railway squeal noise due to lateral creepage, 766-776。于 2006 年从 Elsevier 处获得授权。

图 10.1 和图 10.2 转载自 *Vehicle System Dynamics* 34。T. X. Wu 和 D. J. Thompson, Theoretical investigation of wheel/rail non-linear interaction due to roughness excitation, 261-282, 2000。Taylor & Francis Ltd, <http://www.informaworld.com>。

图 10.6、图 10.7、图 10.8、图 10.9、图 10.10 和图 10.11 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 251。T. X. Wu 和 D. J. Thompson, A hybrid model for the noise genera-

tion due to railway wheel flats,115-139。于 2002 年从 Elsevier 处获得授权。

图 11.7 和图 11.20 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 193。M. H. A. Janssens 和 D. J. Thompson, A calculation model for noise from steel railway bridges,295-305。于 1996 年从 Elsevier 处获得授权。

图 11.10、图 11.11 和图 11.21 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 293。O. G. Bewes, D. J. Thompson, C. J. C. Jones 和 A. Wang, Calculation of noise from railway bridges and viaducts: experimental validation of a rapid calculation model, 933-943。于 2006 年从 Elsevier 处获得授权。

图 11.13 转载自 *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit* 214。M. F. Harrison, D. J. Thompson 和 C. J. C. Jones, The calculation of noise from railway viaducts and bridges,214(3),125-134, ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/0954409001531252。于 2000 年从 Professional Engineering Publishing 处获得授权。

图 12.12、图 12.14、图 12.15 和图 12.17 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 272。X. Sheng, C. J. C. Jones 和 D. J. Thompson, A theoretical study on the influence of the track on train-induced ground vibration,909-936。于 2004 年从 Elsevier 处获得授权。

图 12.18 和图 12.19 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 228。X. Sheng, C. J. C. Jones 和 M. Petyt, Ground vibration generated by a load moving along a railway track,129-156。于 1999 年从 Elsevier 处获得授权。

图 12.24、图 12.25 和图 12.26 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 267。X. Sheng, C. J. C. Jones 和 D. J. Thompson, A comparison of a theoretical model for quasi-statically and dynamically induced environmental vibration from trains with measurements,621-636。于 2003 年从 Elsevier 处获得授权。

图 12.32 和图 12.33 转载自 *Journal of Sound and Vibration* 293。X. Sheng, C. J. C. Jones 和 D. J. Thompson, Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods,575-586。于 2006 年从 Elsevier 处获得授权。

图 13.3 转载自 *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport Journal* 153。C. J. C. Jones, D. J. Thompson 和 M. Petyt, A model for ground vibration from railway tunnels. 121-129。于 2002 年从 Thomas Telford Ltd 处获得授权。

目 录

推荐者的话

译者的话

前言

致谢

版权致谢

第 1 章 引言	1
1.1 轨道交通系统噪声与振动控制的需求	1
1.2 采取系统方法控制噪声的必要性	3
1.3 铁路噪声源和振动源	5
1.4 本书的结构	8
参考文献	9
第 2 章 滚动噪声简介	11
2.1 滚动噪声源	11
2.2 速度与粗糙度的关系	12
2.3 频率成分	16
2.4 车轮还是钢轨?	19
2.5 产生机理概述	23
参考文献	25
第 3 章 轨道振动	28
3.1 引言	28
3.2 简单的梁模型	36
3.3 双层支承梁	48
3.4 Timoshenko 梁模型	56
3.5 离散支承轨道模型	61
3.6 钢轨横截面变形	71
3.7 轨枕振动	75
3.8 轨下垫片刚度	83
参考文献	86

第4章 车轮振动	89
4.1 概述	89
4.2 车轮振动模态	89
4.3 频率响应	96
4.4 车轮导纳的简单模型	100
4.5 车轮转动的影响	104
4.6 试验结果	109
4.7 转向架和车辆上部结构产生的噪声	111
参考文献	114
第5章 轮轨相互作用及由粗糙度产生的激励	116
5.1 引言	116
5.2 轮轨相互作用模型	117
5.3 接触区导纳	128
5.4 接触滤波效应	135
5.5 粗糙度测量	140
5.6 粗糙度数据的处理	144
5.7 其他激励的机理	150
参考文献	157
第6章 车轮和轨道的声辐射	160
6.1 引言	160
6.2 声辐射的简单模型	161
6.3 车轮的辐射	166
6.4 钢轨辐射	173
6.5 轨枕辐射	186
6.6 列车通过时的声压级	190
6.7 验证测量	199
参考文献	202
第7章 滚动噪声的缓解措施	205
7.1 引言	205
7.2 降低粗糙度	208
7.3 车轮形状与阻尼	220
7.4 轨道的响应与辐射	234
7.5 屏蔽措施	246
7.6 综合措施	249