



Railway Wheel-rail Noise:
Mechanism, Prediction
and Control

杨新文 翟婉明 著

轨道交通轮轨噪声 机理、预测与控制



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

同济大学学术专著(自然科学类)出版基金项目

轨道交通轮轨噪声机理、 预测与控制

杨新文 翟婉明 著

*Railway Wheel-Rail Noise :
Mechanism , Prediction and Control*



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书从轨道交通轮轨的相互作用出发,系统地介绍了轮轨噪声的产生机理、预测模型和控制技术,涵盖了车辆和轨道系统低噪声设计理论与技术、吸声板设计理论与技术及声屏障设计理论与技术。本书最大的特色在于:既有理论分析又有工程应用实例,内容丰富,体系完整,具有很强的理论意义和实用价值,也具有良好的社会效益和应用前景;同时,这也是著者多年科学研究成果的积累与结晶,是国内较为全面阐述轨道交通轮轨噪声的第一部著作。

本书的读者对象是高等院校的机车车辆工程、铁道工程、振动工程、声学等专业的师生,以及从事轨道交通机车车辆与工务工程的研究人员以及设计、维护人员。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通轮轨噪声机理、预测与控制 / 杨新文, 翟婉明著. —上海: 同济大学出版社, 2017. 9
ISBN 978-7-5608-7271-1

I. ①轨… II. ①杨… ②翟… III. ①轮轨噪声—研究 IV. ①U270.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 192072 号

同济大学学术专著(自然科学类)出版基金项目

轨道交通轮轨噪声机理、预测与控制

杨新文 翟婉明 著

责任编辑 陆克丽霞 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店
排 版 南京新翰博图文制作有限公司
印 刷 上海同济印刷厂有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 18.25
字 数 456 000
版 次 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-7271-1

定 价 98.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

轨道交通包括高速重载铁路、普通铁路、磁浮铁路、市域铁路、城市轨道交通等。轨道交通与公路交通相比,具有节能、环保、安全、正点、快捷、舒适、大运量等特点,在全世界国民经济发展中起到了不可忽视的作用。随着经济社会的发展,社会对铁路的需求越来越大,高速铁路作为现代社会的一种新的运输方式,具有速度快、运能大、节约土地、节能、环保等技术特点,发展高速铁路符合中国经济社会发展的需要,对于构建现代综合交通运输体系、实施可持续发展战略、建设创新型国家具有重要作用。目前,我国正大力推进新型城镇化进程,城市轨道交通作为城市交通的大动脉已在诸多城市得到大力发展,为构建和谐、绿色城市发挥了巨大的作用。


轨道交通噪声与振动问题日益引起社会与行业的关注。在轨道交通建设过程中,虽然通过改善车辆结构低噪声优化、采用减振降噪型轨道结构、铺设轨道吸声板以及安装声屏障等技术,取得了明显成效,但相比国内外其他行业,轨道交通的噪声振动控制技术措施还显单一,理论研究还不够深入,与公众对环境舒适性越来越高的要求还有差距。因此,深入研究轨道交通减振降噪技术就显得尤为重要。

本书从轨道交通轮轨噪声产生机理、预测模型和控制技术三方面较为详细地介绍了引起轮轨噪声的原因和机车车辆通过有砟/无砟轨道时轮轨噪声的计算方法与关键控制技术。本书详细地阐述了车轮和轨道结构的导纳与脉冲响应函数、车轮和轨道结构的声辐射特征、轮轨相互作用、轮轨噪声产生的激扰源、轮轨高频振动的基本特征、轮轨噪声预测模型与验证、轮轨滚动噪声的基本特征、轮轨冲击噪声的基本特征、轮轨曲线啸叫噪声的基本特征、轮轨系统结构参数对轮轨噪声的影响以及轮轨噪声控制技术,并以城市轨道交通和高速铁路作为工程背景对各种轮轨噪声的基本特征等方面做了一些研究与探讨。本书是著者多年科学研究成果的积累与结晶,也是国内较为全面阐述轮轨噪声的第一部著作。本书可为高等院校的机车车辆工程、铁道工程、振动工程、声学等专业师生,从事铁路机车车辆与线路的研究人员和铁路机车车辆与线路设计、维护人员提供一些参考。

本书共分为12章,其中翟婉明院士负责本书第1章—第4章内容及审定工作,本人负责制定全书大纲及统稿,并撰写了第5章—第12章。其中,杨建近、顾少杰、王金等参与了本书部分研究工作,马晓云、刘小山、邹彦、沈剑罡、臧景超参与了部分章节的统稿工作。另外,本书在撰写过程中得到同济大学城市轨道交通与铁道工程系周顺华教授、练松良教授、王炳龙教授、官全美教授以及“轨道交通结构建设与养护课题组”其他师生的大力支持

持。另外,本书的部分研究成果得到英国南安普敦大学 David Thompson 教授的指导,在此一并表示衷心的感谢。

本书在出版过程中得到国家自然科学基金课题“高速铁路高架桥梁结构噪声产生机理与控制策略研究”和同济大学专项出版资金资助,在此表示衷心感谢。



同济大学 嘉园

2017.5

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 轨道交通噪声概述	1
1.2 轨道交通噪声源	3
1.2.1 轨道交通噪声污染的特点	3
1.2.2 轨道交通噪声源	3
1.2.3 轨道交通噪声源的识别	6
1.3 轮轨噪声理论预测现状	7
1.3.1 轮轨滚动噪声	7
1.3.2 轮轨冲击噪声	10
1.3.3 轮轨曲线啸叫声	11
1.3.4 轮轨系统结构对轮轨噪声的贡献	16
1.4 轮轨噪声控制方法	17
1.4.1 轮轨系统结构低噪声优化	17
1.4.2 轮轨噪声控制方法	19
第 2 章 轮轨振动系统导纳与脉冲响应函数特性	33
2.1 轮轨振动系统导纳与脉冲响应函数	33
2.1.1 轮轨振动系统的模态	33
2.1.2 轮轨振动系统的导纳求解方法	34
2.1.3 轮轨振动系统的脉冲响应函数求解方法	35
2.2 车轮导纳	36
2.2.1 车轮有限元建模	36
2.2.2 车轮的振动模态	37
2.2.3 车轮的导纳特性	39
2.3 轨道导纳	43
2.3.1 轨道有限元建模	43

2.3.2	轨道的振动模态	44
2.3.3	轨道系统的导纳特性与验证	45
2.3.4	振动沿轨道的传递与衰减	50
2.4	车轮脉冲响应函数	53
2.4.1	车轮脉冲响应函数求解方法	53
2.4.2	车轮脉冲响应函数特征	54
2.5	轨道脉冲响应函数	56
2.5.1	轨道脉冲响应函数求解方法	56
2.5.2	轨道脉冲响应函数特征	57
第3章	轮轨相互作用	59
3.1	轮轨相互作用概述	59
3.2	车辆和轨道耦合振动频域分析模型	60
3.2.1	车辆-轨道垂向耦合振动频域分析模型	60
3.2.2	车辆和轨道系统振动微分方程	61
3.2.3	轮轨接触关系	66
3.3	车辆-轨道耦合振动时域分析模型	67
3.3.1	物理模型	67
3.3.2	车辆系统运动微分方程	71
3.3.3	轨道结构动力学模型及其运动微分方程	75
3.3.4	轮轨耦合空间接触关系	86
3.3.5	数值积分方法	105
第4章	轮轨噪声激扰模型	109
4.1	概述	109
4.2	轮轨冲击激扰模型	109
4.2.1	车轮扁疤激扰模型	109
4.2.2	钢轨错牙接头	110
4.2.3	轨道低接头	112
4.3	谐波型激扰模型	112
4.3.1	车轮多边形磨耗激扰模型	112
4.3.2	钢轨焊缝接头	114
4.3.3	钢轨波磨	115
4.3.4	与冲击型激扰的关系	116
4.4	轨道随机不平顺激扰模型	117
4.4.1	轨道不平顺的检测和评估	117

4.4.2	轨道中长波不平顺谱	119
4.4.3	轮轨表面粗糙度	122
4.5	轮轨表面粗糙度谱的特性	122
4.5.1	轮轨表面粗糙度谱频域特性	122
4.5.2	轮轨表面粗糙度谱时域特性	125
4.5.3	轮轨接触滤波	127
第5章	轮轨高频振动的基本特征	131
5.1	轮轨高频振动频域特性	131
5.1.1	分析方法	131
5.1.2	轮轨高频振动频域特性	133
5.2	轮轨高频振动时域特性	136
5.2.1	分析方法	136
5.2.2	轮轨高频振动时域特性	137
第6章	轮轨系统声辐射特性	142
6.1	轮轨系统声辐射特性求解方法	143
6.1.1	结构声辐射求解方法	143
6.1.2	声学边界元法求解结构声场原理	143
6.1.3	轮轨系统结构声辐射效率	144
6.1.4	轮轨系统结构声辐射功率	145
6.1.5	轮轨系统结构声辐射指向性	145
6.2	车轮声辐射特性	145
6.2.1	车轮边界元模型	145
6.2.2	车轮声辐射效率	147
6.2.3	车轮声辐射功率	147
6.2.4	车轮辐板形式对声辐射特性的影响	147
6.2.5	车轮辐板开孔对声辐射的影响	149
6.2.6	车轮声辐射瞬态特性	156
6.3	轨道系统各部件的声辐射特性	158
6.3.1	钢轨声辐射特性	158
6.3.2	轨枕声辐射特性	161
6.3.3	轨道板声辐射特性	162
第7章	轮轨噪声预测模型	171
7.1	概述	171

7.2	轮轨噪声预测模型	171
7.2.1	车轮噪声辐射模型	171
7.2.2	钢轨噪声辐射模型	172
7.2.3	轨枕、支承块和轨道板噪声辐射模型	173
7.2.4	地面影响	174
7.3	轮轨噪声预测仿真软件 WRNOISE	174
7.3.1	软件基本组成	174
7.3.2	预测软件基本功能	175
7.4	轮轨噪声预测模型验证	176
7.4.1	与 TWINS 预测结果进行比较	176
7.4.2	与实测结果比较	177
第8章	基于预测模型的轮轨噪声的基本特征	179
8.1	铁路环境噪声的评价指标及评价标准	179
8.1.1	铁路环境噪声的评价指标	179
8.1.2	铁路环境噪声的评价标准与限值	181
8.2	轮轨冲击噪声基本特征	184
8.2.1	车轮扁疤引起的轮轨冲击噪声	185
8.2.2	钢轨错牙接头引起的轮轨冲击噪声	187
8.2.3	钢轨焊缝不平顺引起的轮轨冲击噪声	188
8.3	轮轨滚动噪声基本特征	189
8.3.1	轮轨滚动噪声频谱特性	189
8.3.2	轮轨滚动噪声时程特性	190
8.3.3	轮轨滚动噪声的暴露声级与最大声级	190
8.3.4	轮轨噪声沿高度方向的衰减规律	191
8.3.5	轮轨噪声随轨道中心线距离的传播特征	191
8.4	轮轨曲线啸叫声基本特征	192
8.4.1	概述	192
8.4.2	曲线啸叫声理论预测模型	192
8.4.3	曲线啸叫声辐射特性分析	196
第9章	轮轨结构参数对轮轨噪声的影响	200
9.1	概述	200
9.2	车轮参数	200
9.2.1	车轮踏面对轮轨噪声的影响	200
9.2.2	车轮辐板形式对轮轨噪声的影响	201

9.2.3	车轮辐板厚度对轮轨噪声的影响	202
9.3	钢轨参数	203
9.3.1	钢轨质量对轮轨噪声的影响	203
9.3.2	钢轨胶垫刚度对轮轨噪声的影响	204
9.3.3	钢轨轨下胶垫阻尼对轮轨噪声的影响	205
9.4	轨枕参数	206
9.4.1	轨枕质量对轮轨噪声的影响	206
9.4.2	枕下道砟刚度对轮轨噪声的影响	207
9.4.3	枕下道砟阻尼对轮轨噪声的影响	208
9.5	轨道板参数	209
第 10 章	轮轨噪声控制技术	214
10.1	车轮噪声控制技术	214
10.1.1	车轮吸振器	214
10.1.2	阻尼车轮	214
10.1.3	弹性车轮	216
10.2	钢轨噪声控制技术	217
10.2.1	钢轨吸振器	218
10.2.2	阻尼钢轨	223
10.2.3	钢轨打磨	224
10.3	吸声板控制技术	224
10.3.1	吸声原理	225
10.3.2	多孔材料和微穿孔板理论	225
10.3.3	吸声板参数对轮轨噪声的影响	226
10.4	声屏障控制技术	230
10.4.1	隔声原理	230
10.4.2	声源特性对声屏障降噪效果的影响	232
10.4.3	声屏障几何形式对轮轨噪声的影响	233
10.4.4	声屏障吸声材料对轮轨噪声的影响	234
10.4.5	声屏障高度对降噪效果的影响	235
第 11 章	城市轨道交通轮轨噪声	237
11.1	城市轨道交通轮轨振动与噪声辐射概况	237
11.2	浮置板轨道轮轨噪声的特征	240
11.3	城市轨道交通减振降噪控制措施	248

第 12 章 高速铁路轮轨噪声	251
12.1 高速铁路噪声辐射概况	251
12.2 高速铁路无砟轨道轮轨噪声特性	255
12.3 高速铁路轮轨冲击噪声特性	258
12.4 高速铁路轮轨噪声控制	261
附录	267
附录 1 车轮和钢轨典型的振动模态	267
附录 2 车轮导纳计算程序	271
附录 3 三分之一倍频程计算程序	272
附录 4 Kalker 线性理论的蠕滑系数 C_{ij}	274
附录 5 常见轨道交通客车垂向模型动力学参数表	275
附录 6 常用轨道模型钢轨动力学参数表	276
附录 7 减振轨道扣件参数	277
附录 8 常用轨道吸声材料的吸声系数	278

第 1 章 绪 论

1.1 轨道交通噪声概述

轨道交通包括高速重载铁路、普通铁路、磁悬浮交通、市域铁路、城市轨道交通等。轨道交通与公路交通相比,具有节能、环保、安全、正点、快捷、舒适、大运量等特点,在全世界国民经济发展中起到了不可忽视的作用。德国、英国、法国、美国、日本等经济发达国家在发展过程中,都把轨道交通作为重中之重。在我国,同样也必须通过大力发展轨道交通来改善我国现有的交通面貌并提升交通效能,轨道交通也是解决我国经济进一步发展“瓶颈”问题的重要途径之一。

截至 2007 年年底,我国铁路既有线经历了 6 次大提速,旅客列车最高运行速度已达到 200 km/h。自 2004 年《中长期铁路网规划》实施以来,我国铁路发展成效显著,对促进经济社会发展、保障和改善民生、支撑国家重大战略实施、增强我国综合实力和国际影响力等发挥了重要作用,受到社会的广泛赞誉和普遍欢迎,成为现代化建设成就的重要展示。截至 2016 年年底,中国铁路运营里程达到 12.3 万 km,主要繁忙干线实现客货分线,建立省会城市及大中城市间的快速客运通道,以及环渤海地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区 3 个城际快速客运系统,建设高速客运专线 2.2 万 km 以上。近年来,随着我国“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”国家战略的推进,中国高速铁路将成为迈向全球、友谊四海的纽带(图 1-1)。国际市场对于发展高速铁路的广大需求,必将让倍具优势的中国高速铁路在国际市场上掀起一场“中国高铁风暴”。

另外,目前我国城市特别是大中城市规模不断扩大,城市人口也不断密集化,卫星城的建设蓬勃发展(图 1-2)。随着生活水平的提高,城市居民对交通出行的质量(速度、灵活性、舒适性和安全性)将有更高的要求。在国家土地、环境以及节能减排政策的引导下,城市土地开发利用将朝高密度集约化的方向发展。因此,在特大城市、大城市以及城市群中,将会出现更多的适合大容量快速轨道交通建设的交通走廊。

然而,与其他诸如汽车、飞机等交通工具一样,轨道交通也存在着对环境的振动与噪声污染问题。从这一点上说,轨道交通的振动与噪声污染问题在一定程度上降低了它的环保优势。随着生活质量的改善,人们对振动与噪声的容忍程度越来越低。在西方,相关部门规划新线路时甚至出现过公众抵制的事件,部分原因就是由于轨道交通的振动与噪声问题^[1]。我国既有线沿线特别是在建及规划中的高速铁路沿线大多都是经济发展快、人口稠密地区,而城市轨道交通更是在城市中穿行,列车行驶所产生的噪声与振动必然会对其周边生活、工作的人们的身心健康造成危害,这在新线规划设计及既有线提速改造时

理应予以考虑与解决。

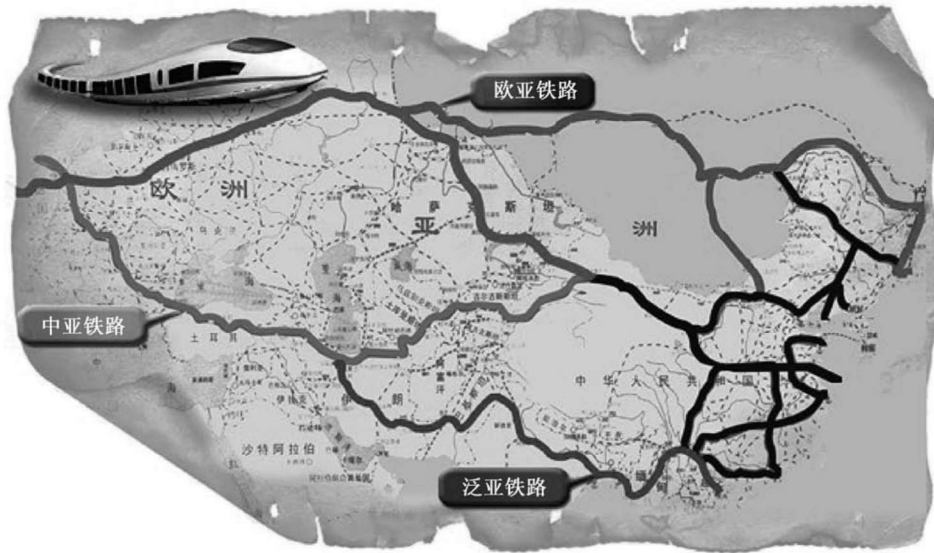


图 1-1 中国高速铁路走出去蓝图

有些国家曾经走了一条先污染后治理之路,导致了不必要的人力、物力和财力的浪费。例如,1964 年日本东海道新干线刚投入运营时,采用 0 系列动车组,无论从列车上还是线路上都未考虑采取任何的减振降噪措施,然而大量的居民投诉,导致日本国铁在技术准备不够充分的情况下,建起大量声屏障,由于声屏障是在无充分的理论计算、试验研究和结果验证的条件下建成的,因此出现了许多区域仍不达标状况,铁路建设部门只好再增大资金投入,夜间施工加高或改型声屏障,但最终降噪效果和资金投入是不成比例的^[2]。日本对 100 系列以后的新干线列车进行了车辆与线路的低噪声设计与控制,大幅降低了铁路沿线噪声的污染^[3,4]。而在我国,北京、上海等城市轨道交通在地面线路投入运营后,由于噪声严重扰民的问题,致使相关决策部门提出未来的城市轨道交通建设在城区范围内不宜发展地上线路的建议。



图 1-2 城市轨道交通系统

因此出现了许多区域仍不达标状况,铁路建设部门只好再增大资金投入,夜间施工加高或改型声屏障,但最终降噪效果和资金投入是不成比例的^[2]。日本对 100 系列以后的新干线列车进行了车辆与线路的低噪声设计与控制,大幅降低了铁路沿线噪声的污染^[3,4]。而在我国,北京、上海等城市轨道交通在地面线路投入运营后,由于噪声严重扰民的问题,致使相关决策部门提出未来的城市轨道交通建设在城区范围内不宜发展地上线路的建议。

古人云“前车之辙,后车之鉴”,当我们认真总结国内外环境问题的深刻教训的时候,必须认识到:有计划、有步骤地对现有的振动与噪声污染进行综合治理固然重要,更重要的是要有效地控制新的振动与噪声污染的发生。在轨道交通设计和建设阶段就必须合理地解决

轨道交通的噪声问题,这已是国外学者的普遍认识。而在我国,人们也显然已经意识到了这一点,并从轨道交通噪声预测方法到控制措施等方面进行了一系列有益的研究与实践。

1.2 轨道交通噪声源

1.2.1 轨道交通噪声污染的特点

轨道交通噪声具有以下特点:

- (1) 轨道交通噪声辐射属物理性污染,没有污染物,不会积累,它的能量最终转变为热能;
- (2) 当声源停止,噪声污染就消失了;
- (3) 轨道交通噪声具有流动性,列车运行到哪里,噪声污染就被带到哪里。

1.2.2 轨道交通噪声源

轨道交通噪声是由各种不同类型的噪声组合而成的,通常按噪声产生的机理分类别。按发声机理的不同,可分为轮轨噪声、空气动力噪声、集电系统噪声、车厢内噪声和桥梁结构物二次噪声,如图 1-3 所示。振动是产生噪声的根源,依据轨道交通系统动力学理论,轨道交通噪声产生机理如图 1-4 所示,列车运行由于车辆与轨道耦合作用而产生轮轨噪声;列车构成部件与周围空气由于流固耦合作用而产生空气动力噪声;受电弓与接触网动态耦合作用而产生集电系统噪声;列车与桥梁耦合作用使桥梁和周围建筑物发生振动而产生二次噪声。另外,列车车厢内噪声声场环境非常复杂,发声源众多,主要有三种类型:直达声、透射声和结构振动辐射声。

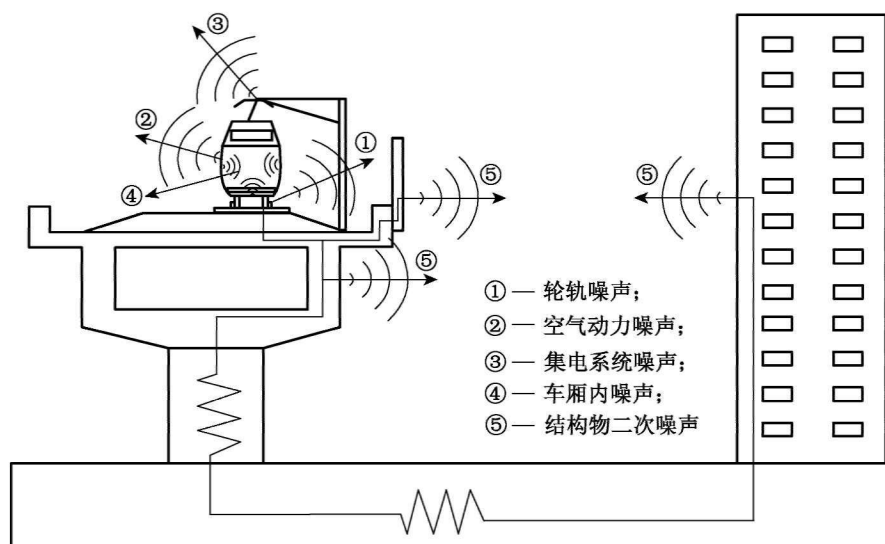
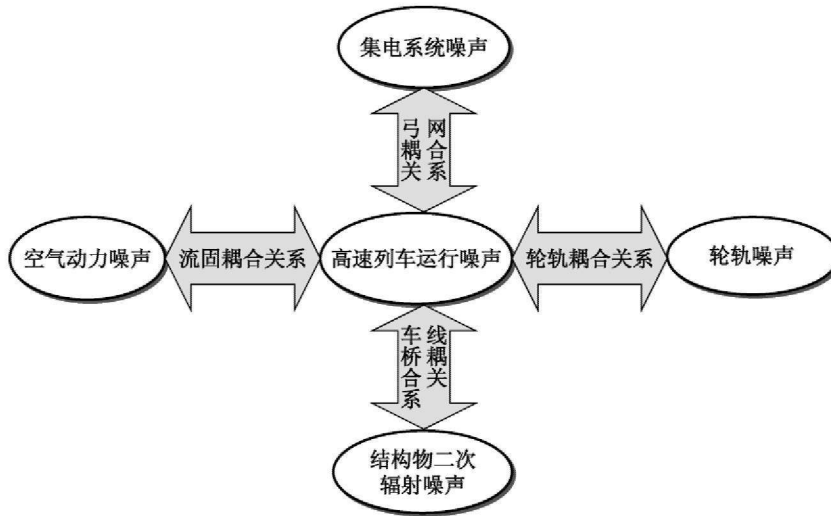


图 1-3 铁路声源解析示意图



1. 轮轨噪声

轮轨相互作用，车轮与轨道部件所产生的噪声称为轮轨噪声。轮轨噪声包括：滚动噪声、冲击噪声和曲线啸叫声，如图 1-5 所示。

车轮和轨道的振动是由轮轨相互作用产生的，与轮轨表面几何状态（如：轮轨表面粗糙度、车轮踏面和钢轨表面局部损伤等短波不平顺）的关系较大。

(1) 由轮轨表面粗糙度激扰产生的车轮、钢轨和轨枕(轨道板等)振动并向空间辐射出的噪声称为轮轨滚动噪声；

(2) 由车轮踏面局部损伤、钢轨接头等冲击型激扰产生的轮轨系统振动所辐射的噪声称为冲击噪声；

(3) 列车在曲线轨道上运行时轮轨轴向相互作用(轮缘挤压外轨以及内侧车轮踏面在钢轨上滑动)所产生的高频噪声称为曲线啸叫声。

上述三种类型的噪声统称为轮轨噪声。对于高速铁路，曲线半径较大，主要存在轮轨滚动噪声和冲击噪声。而对于城市轨道交通，三种类型的轮轨噪声均存在，并且小半径曲线较多，故曲线啸叫声尤为突出。

2. 空气动力噪声

将车体表面及其附属物附近的气流发出的噪声称为空气动力噪声，它主要发生在车头、制冷风扇、受电弓及其底座、空调设备、排气装置、车顶百叶窗、车门、车窗、车辆连接处、转向架、轴箱、车体表面、车尾位置和受电弓架等部位。对于高速铁路，由于列车运行速度快，故空气动力噪声将成为主要的噪声源。

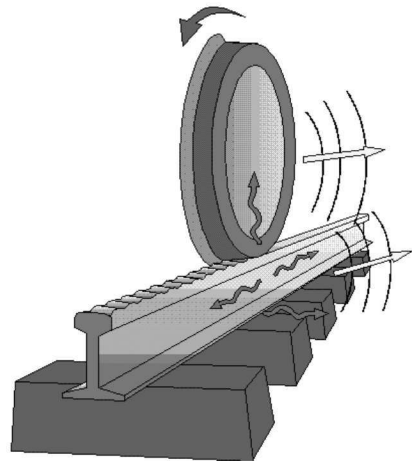


图 1-5 轮轨噪声辐射示意图

3. 集电系统噪声

电气化列车集电系统在高速运行情况下会产生较剧烈的噪声,包括弓网滑动噪声、电弧噪声以及气动噪声。弓网滑动噪声是受电弓和接触网之间相对滑动引起的高频振动而产生的。电弧噪声是受电弓与接触网发生瞬时脱离时产生的弧光噪声。在日本新干线高速列车噪声问题中,电弧噪声一度非常突出,后来通过在受电弓与接触导线接触部分采用柔性结构,成功消除了电弧噪声。

4. 列车车厢内噪声

列车车厢内噪声主要影响乘客和司乘人员的乘坐心情,甚至造成心理和生理上的伤害。对于长期工作在列车上的司乘人员而言,过高的车内噪声会对其听力系统产生不同程度的伤害,如轻度头昏以及头痛感觉,从而使其反应迟钝,工作效率降低,严重时甚至会影响行车安全。

直达声是从噪声源发出,以空气为媒介,从车窗、车门的缝隙和排风口等直接传播到车内的声音。透射声指的是透过车身结构传到车内的声音。振动辐射声为固体传播声,包括一次固体传播声和二次固体传播声。一次传播声主要是轮轨、车辆机械系统引起的振动,振动能量通过固体结构和悬挂系统传到车体内壁,引起车体内壁振动,进而辐射噪声。二次固体传播声是噪声源的声能量激发车体内壁,引起车体内壁振动,进而辐射噪声。

5. 车致桥梁结构和建筑结构二次噪声

轨道的振动传到桥梁并通过地面传到其他建筑物,使桥梁及附近建筑物产生振动并辐射噪声。通常将桥梁及附近建筑结构振动噪声称作结构二次噪声,如图1-6所示。

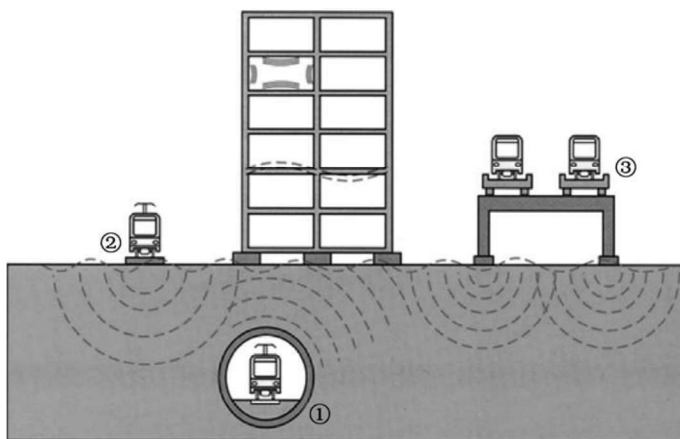


图1-6 轨道交通引起的建筑物结构二次噪声

轨道交通桥梁主要有两类:一类是钢结构桥,另一类是混凝土结构桥。钢桥的噪声通常明显高于混凝土桥。在中低速铁路中钢桥的应用较普遍,高速铁路也曾有过采用钢结构桥梁的例子,如日本东北新干线的利根川桥^[3]。在利根川桥建成通车后,发现钢桥的噪声很大,甚至超过轮轨滚动噪声,引起社会强烈不满。后来,对这座钢桥采取了很多的降噪措施,才使得桥梁结构二次噪声符合噪声标准,但这样既费人力、物力和财力,又破坏桥

梁的美观。荷兰目前仍然有为数不少的钢结构桥,列车在钢桥上运行时所辐射的噪声比地面线路高出约 10 dB(A)^[4]。现在,许多国家在建新线时,尤其是高速铁路,尽量避免采用钢结构桥,通常采用钢筋混凝土(RC)或预应力混凝土桥梁。

与钢结构桥梁不同,混凝土桥梁的结构二次噪声一般发生在低频段,在列车高速运行中,桥梁结构二次噪声比其他噪声要小。日本新干线的实践表明^[5]:在有砟轨道上,若采用了道砟垫,就可以使得在总体噪声中,结构二次噪声的贡献几乎可以忽略不计;对于板式轨道的结构二次噪声,在运行速度为 200 km/h 的情况下,桥面正下方约 5.8 m 处的噪声级不到 68 dB,与其他噪声相比要小。因此,只有在其他噪声能够有效降低到一定程度时(例如 70 dB),才会使得降低结构物噪声显得有必要。在目前的情况下,只要在轨道板下采用板下垫层和橡胶支座等减小桥梁及地基振动的措施,从降低桥梁低频噪声的角度来说已经足够。

桥梁和建筑物结构二次噪声频率比较低,主要分布在几十赫兹到数百赫兹范围内,然而桥梁和建筑物结构辐射面积大,用声屏障隔声的方法控制结构二次噪声几乎没有效果。控制桥梁和建筑物结构二次噪声最有效的方法是阻止轨道振动的传递,即用隔振和吸振的方法降低轨道传递给桥梁与建筑物结构的振动,从而减少结构的噪声辐射。

1.2.3 轨道交通噪声源的识别

按照由牵引集电噪声、轮轨噪声和空气动力噪声分别占主导所对应的列车运行速度范围的不同,可以将其分为三个区段,两个不同区段转变的列车运行速度称为声学转变速度^[6],如图 1-7 所示。列车的声学转换速度不是固定不变的,它跟列车和轨道的状态、所采取的减振降噪措施都有关系。例如,当轮轨滚动噪声性能不好,临界转换速度将会更低而噪声将会更高,换言之,在低速区域较低范围就由轮轨滚动噪声占主导,而空气动力噪声会在更高的列车运行速度下占主导。

随着列车运行速度的提高,铁路噪声的主要成分会发生变化。为了能识别列车运行时各类噪声所占比例,日本和欧洲一些国家开展了大量的现场测试试验来进行列车噪声源识别。表 1-1 列出了日本新干线的噪声组成情况。由

表 1-1 可见,轮轨噪声和桥梁结构物噪声随列车速度的提高,所占的比重稍有下降,而空气动力噪声与集电系统噪声等均有不同程度的提高。我国对列车运行噪声源识别的研究起步较晚,近几年来,随着高速客运专线的建设,铁道科学研究所和西南交通大学等单位

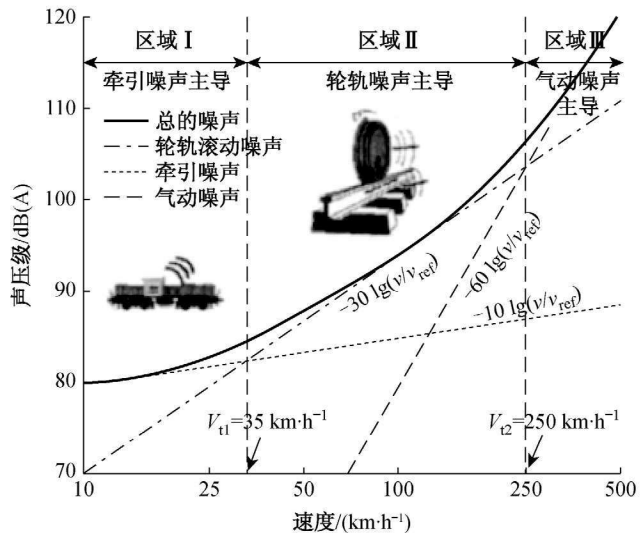


图 1-7 不同噪声成分随列车运行速度变化的关系