



高等学校教材

牵引动力国家重点实验室开放课题资助项目

车辆噪声与 振动控制

○ 刘岩 主编

CHELIANG ZAOSHENG YU
ZHENDONG KONGZHI

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

铁路科技图书出版基金资助出版

牵引动力国家重点实验室开放课题资助项目

车辆噪声与振动控制

刘 岩 主编

中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书主要介绍了噪声与振动的基本理论和常用的噪声测试仪器,分析了高速铁路客车噪声源的产生及传播途径,论述了声品质的主要研究内容和吸声、隔声的基本原理以及工程振动测量、信号处理和有限元分析方法,最后对低噪声路面的类型和降噪原理进行阐述。

本书主要用作普通高等学校车辆工程专业本科教材,也可作为相关专业研究生以及从事车辆工程设计、制造、实验研究等工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆噪声与振动控制/刘岩主编. —北京:中国铁道出版社,2014.4

铁路科技出版基金资助 高等学校教材

ISBN 978-7-113-17451-4

I. ①车… II. ①刘… III. ①铁路车辆—噪声控制—高等学校—教材②铁路车辆—振动控制—高等学校—教材 IV. ①U270.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 060050 号

书 名:车辆噪声与振动控制

作 者:刘岩 主编

责任编辑:阚济存 编辑部电话:010-51873133 电子信箱:td51873133@163.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:马 丽

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

版 次:2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14.75 字数:400 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-17451-4

定 价:32.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:(010)51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

我国铁路高速化和城市轨道交通的发展,给人们的出行带来了很大的便利。但是另一方面,交通噪声和振动问题则日益突出。随着国家经济实力的提高和社会环保意识的增强,人们对噪声和振动的危害更加关注。研究车辆噪声和振动的特点、分布规律和传播途径,在车辆设计和制造时融入减振降噪理念,使噪声和振动降至允许范围内,使我们生活和工作的环境更加安静和舒适,是我们的共同追求和目标。本书就是在此背景下完成的。

本书共分为8章。第一章介绍了国内外铁路客车、城市轨道车辆和汽车噪声与振动研究的现状;第二章论述了振动及噪声的物理量度和评价标准;第三章介绍了常用的噪声测试仪器,论述了实验室测试原理及方法;第四章分析了高速铁路客车噪声源特点及传播途径;第五章论述了声品质的主要研究内容;第六章介绍了吸声、隔声和声屏障降噪的基本原理;第七章分析了工程振动基本理论、测量方法,并论述了振动信号的处理与分析,介绍了有限元法进行结构振动分析的基本过程;第八章介绍了低噪声路面的类型、降噪原理和适用范围,本书第八章可作为振动与噪声课程的选学内容。

本书由大连交通大学噪声与振动控制团队集体编写。本团队对噪声与振动控制研究已有十五年的历史。对我国高速铁路客车、内燃机车、城市轨道车辆及汽车等的车内噪声传播途径及分布规律、减振降噪材料的吸声和隔声特性、声品质客观参量计算和主观评价方法等进行了长期、深入的研究、开展了大量的现场和实验室相关试验。书中许多案例是编者多年来进行的噪声与振动试验,其中部分研究内容和试验结果已在实际中得到应用并取得较好的降噪效果。

本书由大连交通大学刘岩主编。本书第一章由刘岩、钟志方编写,第二章由杨冰编写,第三章由黄彬编写,第四章由张晓娟编写,第五章由张常宾编写,第六章由张晓排编写,第七章由郭吉坦编写,第八章由赵晶编写。

本书的主要内容已在大连交通大学相关专业本科生、研究生中讲授过多届,

收到了较好的效果。在本书编写过程中,中国南车、北车集团等相关工厂提供了试验场所和条件;历届车辆工程、载运工具运用工程等相关专业研究生参加了试验,并为数据处理做了大量工作,在此谨致衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免有不当之处,恳请读者指正为盼。

最后感谢铁路科技图书出版基金、牵引动力国家重点实验室开放课题资助项目对本书出版的资助。

编者

2014年3月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 国内外铁路客车噪声与振动研究现状	1
第二节 噪声与振动的危害	8
第三节 城市轨道交通噪声与振动研究现状	9
第四节 本门课程主要内容	11
复习思考题	12
第二章 声学基础知识	13
第一节 振动和声波的产生	13
第二节 振动及噪声的物理量度	16
第三节 声学波动方程	22
第四节 声波的衰减	24
第五节 噪声与振动评价	27
复习思考题	33
第三章 车辆噪声与振动检测技术	34
第一节 测试方法概述	34
第二节 测试设备	36
第三节 实验室测试方法	50
第四节 驻波管测试方法	72
复习思考题	79
第四章 高速铁路客车噪声源及其传播途径	80
第一节 高速铁路客车噪声源及其控制措施	80
第二节 高速铁路客车噪声传播途径分析	87

第三节 高速铁路客车车内噪声分布规律	87
复习思考题	91
第五章 高速铁路客车声品质	92
第一节 概 述	92
第二节 声品质客观参量	97
第三节 声品质主观评价方法	104
复习思考题	107
第六章 噪声控制技术	108
第一节 隔声降噪理论	108
第二节 吸声降噪理论	121
第三节 声屏障降噪理论及技术	136
复习思考题	140
第七章 工程振动	142
第一节 工程振动概论	142
第二节 工程振动测量	159
第三节 动应力的测量	182
第四节 振动信号的处理与分析	187
第五节 动力学问题的有限元法	200
复习思考题	211
* 第八章 城市道路低噪声路面技术	212
第一节 城市道路交通噪声的产生和原因	212
第二节 低噪声路面的类型	213
第三节 低噪声路面降噪原理	219
第四节 低噪声沥青路面的材料特性	220
复习思考题	223
参考文献	224

第一章 绪 论

随着国家经济实力的增强,我国铁路事业得到了迅速发展。科学技术的进步促进了铁路高速化,使铁路客车制造业走上新的台阶。新技术、新工艺、新材料、新设备迅速应用于高速铁路客车制造中。例如:由于列车的空气阻力与其速度的二次方成正比关系,要减小列车空气阻力,需要改进列车车头形状,使其流线形;车体表面和连接处尽可能平滑可减小空气动力噪声;列车速度提高后,对客车的密封性能提出严格的要求,特别是当高速铁路客车通过隧道和列车“会车”时作用于车窗的压力很大,因此高速铁路客车需要良好的密封性;为了提高高速铁路客车的防腐蚀性能和降低能耗,延长车辆的使用寿命,高速铁路客车车体采用轻量化材料及先进的制造工艺等。目前高速铁路客车制造已走在其他制造业的前列。

我国铁路已经成为人们出行选择的主要交通工具之一。在交通运输领域中,铁路与其他交通工具相比具有以下优点:

1. 高效舒适

一列铁路客车可载运千名左右旅客。随着车速的提高和先进技术的应用,铁路目前已从解决乘客“乘车难”问题向乘车舒适型转化。高速铁路客车车内宽敞舒适,运行平稳,其运量和乘车舒适度是汽车、飞机、轮船等其他交通运输工具无法比拟的。

2. 安全可靠

由于高速铁路线路基本上是全封闭的,又有完善的运行控制系统和安全保障系统,因此,铁路发生的交通事故比其他交通工具要少得多。如日本高速铁路客车运行至今未发生过重大行车事故。

3. 快速便利

速度是高速铁路技术水平的重要标志。世界上许多国家的高速铁路客车最高运营时速已达到300km,目前正在研究继续提高列车的运行速度,给乘客出行以更大的便利。对于中等运程的旅客,乘坐高速铁路客车与乘坐飞机所花费的时间基本相当。而高速铁路正点率高并且能够全天候运营,所以深受旅客欢迎。随着列车速度的进一步提高,高速铁路的优越性将体现得更加明显。

4. 节约能源

在交通运输业,运送每位旅客所消耗的能源,飞机和汽车均比铁路要高得多,目前高速铁路客车采用电力牵引,这在当今节约能源时代具有非常重要的意义。

综上所述,高速铁路已得到社会的高度评价和广泛认可,并取得了巨大的经济效益和社会效益。

第一节 国内外铁路客车噪声与振动研究现状

一、国外高速铁路客车噪声与振动研究现状

(一) 日本高速铁路噪声与振动研究现状

1. 日本高速铁路

1964年10月日本建立了世界上第一条高速铁路——东海道新干线。高速铁路的建设,

带动了世界铁路的大发展,是铁路事业新的里程碑。东海道新干线开通时使用的0系电动车组,创造了当时210 km/h的运行速度世界纪录,仅用3 h 10 min就将东京和大阪连接起来。0系电动车组车头形状的流线形,代表新干线高速铁路的独特设计。

1982年开通的东北、上越新干线高速列车的200系电动车组,其最高运行速度达到240 km/h,具备较强的耐寒、耐风雪能力。1992年东海道新干线300系电动车组,为了达到稳定的高速性能,车体钢结构实现轻量化和低重心化,车体材料采用铝合金制造。其最高运营速度达到270 km/h,将东京——新大阪间的运行时间缩短到2.5 h,在世界上第一次做到了“朝发夕归”。

1997年山阳新干线500系电动车组,为了减少列车运行空气阻力,在车头外形部分采用长鼻型设计,其尖端长度达15m,运营速度达到300 km/h。车体钢结构采用铝合金材质的焊接结构,钢结构侧墙、端墙、底架等大部分部件采用铝合金蜂窝结构。铝合金具有良好的塑性,挤压成型容易,可以根据车体的优化设计,挤压出各种复杂形状的断面,宽度可达700~800 mm,长度可达30 m。随着大型挤压型材的开发和研制,车体钢结构各个部件的制造已由骨架敷以外板的传统制造工艺,改变为骨架、外板一体化的大型挤压型材组装新工艺,大幅度地减少焊接工作量,从而控制和减少焊接变形,使车体钢结构制造工艺大为简化,降低制造工时,更好地保证装配质量。

1998年由JR东海公司和JR西日本公司共同开发的东海道新干线700系电动车组投入运营。在车体钢结构上采用填充了吸声材料的空心挤压型材,降低了运行噪声,改善了车内环境,使乘客的乘车舒适度得到了很大提高,其制造技术代表了当时世界铁路最高水平。

到2006年初,日本先后建成了六条高速铁路新干线(东海道、山阳、东北、上越、北陆、九州岛新干线),全长超过2 000 km,用铁路将日本各大城市紧紧联系在一起,带动了经济、文化、贸易等的发展。

为了进一步提高运行速度,日本铁路公司研发了新型列车。N700系高速客车由日本JR东海公司和JR西日本公司共同开发,是在700系电动车组基础上,以300 km/h运行速度为目标的新一代高速铁路客车。为了降低由于高速运行在隧道内产生的微气压波,对车头形状进行了进一步改变;为了提高通过曲线的舒适度,安装了车体抗倾摆系统,提高了列车运行稳定性和曲线通过能力。

2. 噪声与振动研究现状

日本自建成世界上第一条高速铁路后,就一直致力于铁路噪声控制的研究。近50年来,在既有线和高速铁路客车的噪声治理方面始终处于世界领先水平。500系、700系、N700系等新干线高速铁路客车在减振降噪研究方面取得了显著的效果。

在降低轮轨噪声方面,日本一直进行消声车轮、弹性车轮的研究,经过大量试验证明,其消声车轮可降低噪声1~3 dB(A),弹性车轮可使铁路客车通过曲线时轮轨间摩擦产生的尖叫声明显降低。另外,采用轨道打磨技术减少了轨面凹凸不平和线路不平顺等问题,也起到了降低轮轨噪声的作用。

500系高速铁路客车在车体结构设计方面,为了降低轮轨噪声和驱动装置噪声,加大了转向架附近地板的厚度以增加隔声量。在高速运行状态下,空气动力噪声比轮轨噪声有更大的影响和危害性。试验证明,轮轨噪声与速度的2~3次方成正比,而空气动力噪声与速度的6次方成正比。因此,为了减少空气阻力,500系高速列车的车头形状改变了300系高速客车的

楔状结构,采用长鼻型车头形状的流线形设计,对控制空气动力噪声起到了重要的作用。

700系高速铁路客车采用新型车头形状,底架采用大型、薄壁、宽幅、空心、形状复杂的挤压型材,使车体结构更加趋于轻量化、合理化,使车体钢结构部件数量进一步减少。使焊接变形得到有效控制,焊接质量进一步提高。在车体钢结构底架挤压型材空隙中填充吸声材料,切断噪声的传播途径,达到预期的设计目的。

2007年投入东海道,山阳新干线运营的N700系高速铁路客车在集电系统的噪声防护、车内噪声控制和人机工程、提高乘车舒适度、轻量化设计等方面进行了更加深入的研究。随着新干线高速铁路客车速度的提高,由隧道内微气压波引起的车体横向振动已成为铁路设计部门目前主要研究的问题之一,为了降低进入隧道内微气压波,N700系高速铁路客车的车头形状比700系高速铁路客车更加科学;考虑到两辆车的连接处易产生空气动力噪声,N700在车辆连接处采用全包风挡结构以保证车体圆滑过渡,从运行结果看,不仅降低了空气动力噪声,对转向架处的轮轨噪声也起到较好的屏蔽作用;转向架附近噪声还由于安装低噪声地板及驱动装置的低噪声化而明显衰减。为减少集电系统噪声,在以往成功经验基础上,对受电弓进行更加科学的设计,为降低高速气流对受电弓的冲击,实现侧壁的轻量化和面积的优化设计起到了重要的作用。

日本在对高速铁路客车本身进行减振降噪结构设计的同时,开发研制降噪声屏障并很快实施。1964年东海道新干线约60%的区段设置了降噪声屏障,1997年北陆新干线约90%的区段设置了降噪声屏障。声屏障的研究从声学理论、吸声材料与隔声材料的性能到其结构形式。应用领域从高速铁路扩展到机场、高架桥、城市路面交通等诸多方面。另外,日本在噪声实验室内和试验场地采用模型试验方法对声屏障进行了各种性能试验,使新设计的声屏障能够取得更好的降噪效果。声屏障的结构形式已从直立型发展到顶部改造型(如倒L型、Y型、干涉型、水车型、鹿角型等)。1997年北陆新干线,直立型声屏障占70%左右,顶部改造型占20%左右,顶部改造型相对于直立型声屏障可降低噪声6~10 dB(A)。在顶部改造型中,鹿角型比Y型和倒L型等有较明显的降噪效果,可比Y型大约降噪3 dB(A)左右。目前,高速铁路、高架桥和高速公路两侧设置的降噪声屏障到处可见。日本已成为降噪声屏障应用最多和降噪效果最明显的国家之一。

(二)德国高速铁路噪声与振动研究现状

1. 德国高速铁路

德国1962年研制出高速铁路客车,最高运营速度为160 km/h。1974年研制出具有代表性的TE403型电动车组,1977年最高运行速度提高到200 km/h。1985年制造出ICE型高速铁路客车,1988年其试验速度达406.9 km/h。德国第一批高速铁路客车于1991年投入运营,最高运营速度为280 km/h,其中科隆—法兰克福最高运营速度达到300 km/h,实现了铁路的高速化,至此德国高速铁路走在了世界的前列。

2. 噪声与振动研究现状

德国从20世纪70年代开始对铁路噪声进行了大量的研究,取得了许多成果。例如,在铁路建设初期,利用噪声预测分析软件研究噪声的特性和分布规律,根据其预测结果采取有效方法进行噪声控制;在修建高速铁路时采用无砟轨道,在轨道下面采用弹性垫板,切断轨道振动向转向架和车体方向的传播;开发新型受电弓,以减少空气动力噪声的影响;开发和设计减振降噪车轮;采用轨道打磨机对轨道表面进行打磨,以减小轨道表面的凹凸不平,使轮轨接触面有

良好的配合;在铁路两侧设置降噪声屏障,降低轮轨噪声对周围环境的影响。这些措施在应用中均取得了较好的效果。

(三)法国高速铁路噪声与振动研究现状

1. 法国高速铁路

法国铁路采用了许多新技术、新工艺、新材料和新设备,先后研制了多种类型的高速铁路列车。20世纪70年代中期,为了克服世界范围内石油危机的影响,法国加速研制高速电动车组。1983年第一条高速铁路线路上,TGV高速列车正式投入运营,最高运行速度为270 km/h,标志着法国铁路制造业进入了高速运营时代。

法国是铁路列车试验速度最高的国家。1983年9月巴黎东南新干线使用的TGV-PSE列车试验速度达380 km/h,1989年试验速度达482 km/h,1990年5月TGV-A列车试验速度达到515.3 km/h,创造了轮轨黏着式交通运输工具运行速度的世界最高纪录。

2. 噪声与振动研究现状

法国对铁路噪声的研究一直是铁路相关部门主要工作之一。根据研究证明,当列车高速行驶时,空气动力噪声随速度的提高而大幅度增加,对铁路和环境的影响要高于轮轨噪声。因此法国高速铁路噪声研究工作主要集中在如何降低空气动力噪声方面,如列车头部的流线形设计、车体表面的平滑状态等降低噪声的措施。其主要方法是通过试验和仿真分析列车头部不同流线形和车体表面不同平滑状态对空气动力噪声的影响,通过对大量实验结果进行评价和分析,以便确定列车头部和车体的最佳结构形状。目前法国在空气动力噪声研究方面处于世界领先水平。

二、国内高速铁路噪声与振动研究现状

我国高速铁路的发展和建设成为国民经济建设新的增长点,这一点已成为人们的共识。由于我国铁路由“乘车难”向乘车舒适度转化相对滞后,对铁路噪声和振动的研究还有很大的局限性。目前我国在铁路噪声与振动方面的研究主要集中在以下几方面。

(一)铁路桥梁噪声控制研究

由于铁路桥梁主要采用钢制桥梁,而钢制桥梁噪声的辐射作用造成的危害远远高于地面噪声,因此我国铁路桥梁设计人员一直在进行桥梁噪声与振动的控制技术研究。根据国外的先进经验,在铁路桥梁噪声控制研究方面主要基于统计能量分析的基本原理,通过对铁路桥梁噪声辐射的分析,将统计能量分析方法应用于铁路桥梁噪声预测之中,根据预测结果进行铁路桥梁的减振降噪设计,收到了较好的效果。

(二)轮轨噪声降低研究

经过研究和试验证明,当铁路客车在200 km/h以下运行时,轮轨噪声是噪声的主要来源。轮轨噪声主要包括:列车通过轨道接缝处、道岔处等的冲击噪声;列车运行时,特别是钢轨表面和车轮踏面出现凹凸不平时产生的滚动噪声和列车通过曲线时的尖叫噪声等。以上情况造成车轮和钢轨的振动,振动转变为声波的形式辐射出去。为了减少轮轨噪声,目前主要开展以下研究。

1. 弹性车轮

弹性车轮以隔离和缓解车轮的振动,使其振动转化为热能而达到吸收和衰减的目的。现在采用的弹性材料多以橡胶材料为主。但是由于橡胶材料的耐久性、抗老化性等问题,在高速

铁路客客车上使用还有许多技术需要进一步完善,目前主要在地铁等城市轨道车辆上使用。

2. 长钢轨和重型钢轨

采用长钢轨可减少钢轨的接头数量,最大程度上减少列车通过轨道接缝处等的冲击噪声和振动影响。采用重型钢轨可增加轨道综合抗弯刚度,达到阻碍和隔离轨道结构噪声和振动的目的。

(三)高速铁路客车声品质研究

声品质评价是近年兴起的用于评定交通工具乘坐舒适度的新方法。声品质的本质是决定于人耳对声音感知的主观判断结果。除了目前常规采用的测试方法以外,声品质的研究更强调心理声学及非声学因素的影响。随着科学技术的进步和环境保护意识的增强,相对于单纯地追求噪声声级的降低,人们更关注的是提高和改善环境的声品质,以满足人们舒适度的主观需要。噪声的研究工作已由声级声学向声品质发展,科学研究由客观参量向主观参量发展和深入。

目前我国在铁路客车噪声评价标准中仅针对 A 计权声压级提出要求。因此在铁路客车降噪设计时也仅仅以达到 A 计权声压级要求为目的。但是由于实际中,在低频范围内 A 计权声压级被衰减,以至于低估了铁路客车低频范围内的噪声,其结果造成即使铁路客车噪声达到 A 计权声压级标准要求,也和噪声实际情况,特别是其传声机理和声场分布规律不相符,给铁路客车的减振降噪设计带来偏差,从而无法满足人们对舒适度的主观需求。由于对噪声的主观评价目前尚不能用仪器直接测量,这就导致无法使用现有的测试仪器及相关方法来关注和测量人的感官对声音的感受。但是对主观感受的声音品质用客观的、可测量的物理参数来描述是可行的。当前较为成熟的客观参量主要有:响度、尖锐度、粗糙度和抖动度,这些客观参量能较好地描述人耳听觉对声音的反映。

近年来,随着科学技术的进步,声品质研究在汽车领域取得了较大进展,其成功经验给铁路客车车内噪声研究提供了途径和思路。从声品质客观参量测试到主观评价结果分析,均通过声品质主客观相关性研究,以确定铁路客车车内噪声的真实分布和规律,为减振降噪设计提供依据。

(四)铁路声屏障降噪技术研究

声屏障是采用吸声材料和隔声材料制造出的特殊结构,设置在噪声源与接受点之间,阻止噪声直接传播到接受点的降噪设备。声屏障安装方便,是控制交通噪声污染的重要措施之一。

目前控制铁路交通噪声的主要方法是在铁路两侧安装声屏障。但是声屏障往往是安装后再测试其降噪效果,即使达不到降噪要求也难以解决和改善,造成人力、物力、财力的很大浪费。根据国外的先进经验,首先对声屏障原型降噪效果进行测试与分析;根据相似理论与模型试验的相关知识,在噪声试验室内建造声屏障缩尺模型,通过多次试验,对比声屏障原型和缩尺模型的插入损失,进行降噪声屏障原型与缩尺模型相关性研究,为声屏障的降噪设计和实际应用提供依据。

(五)相似理论与模型实验相关性研究

由于噪声实验室的空间限制,不可能进行声屏障的原型试验,根据国外的先进经验,主要采用缩尺模型的方法开展研究。根据相似理论与模型实验的相关知识,在噪声实验室内用缩小的声屏障模型模拟实际声屏障,在实验室内对声屏障模型进行声学测试,研究降噪声屏障的声学特性,并与实际声屏障的测试结果进行对比分析,开展相关性研究。

通过模型实验,在需要掌握和了解的领域预测实际系统和设备的性能,根据测试结果和分析,建立模型和原型间的相互关系。理论通过实践进行检验和证实,进而指导实践。因此模型试验是有效的实践方法之一。模型试验研究作为一种研究手段,具有以下明显特点:

- (1)在相对复杂的试验中突出主要矛盾,使解决问题的思路更加清晰;
- (2)模型试验一般情况下,相对于原型尺寸小,节省人力、物力和财力;
- (3)模型试验对实物的设计和制造具有较高的应用价值。

模型实验主要是在实验室内用缩小的模型来进行现象的研究。国外在噪声控制方面之所以取得成果,很大程度是在实验室内进行基础试验研究,特别是运用相似理论和缩尺模型试验,在噪声控制领域进行深入的研究,最终达到最佳降噪效果和实现优化设计。

关于相似理论,澳大利亚的 R. W. Muncey 于 1950 年提出了声学缩尺模型的模拟条件:尺度缩小 n 倍的模型应与原型有完全相同的边界形状,且模型表面在频率 nf 上的声阻抗应与原型相应部位在频率 f 上的声阻抗相等。缩尺模型试验所依据的相似性法则,一般是根据被测量的原型按一定比例缩小或放大做成模型,模型中的频率是原型试验中噪声源频率的相应倍数。

三、实验案例分析

声屏障缩尺模型降噪试验在噪声实验室的半消声室内进行。声屏障缩尺模型与声屏障原型具有相似的几何边界条件。根据半消声室的实际情况,缩尺模型与原型比例确定为 1:3,即相似比 $n = 3$,模型的结构尺寸按原型比例缩小。为了更加全面地掌握声屏障原型与其缩尺模型的相关性,两声屏障缩尺模型(缩尺模型 1、缩尺模型 2)采用同一结构,结构内安装两种不同吸声材料进行降噪试验。缩尺模型 1 实验材料为穿孔镀锌板内填充超细玻璃棉,缩尺模型 2 实验材料为穿孔镀锌板内填充聚酯纤维吸音棉,图 1-1 为声屏障缩尺模型测试布点图。为了确定其声屏障缩尺模型的插入损失,在半消声室移出缩尺模型后进行无声屏障试验,无声屏障试验布点如图 1-2 所示。声屏障缩尺模型各测点的位置如表 1-1 所示,其中, MIC01-1 ~ MIC06-1 为声屏障缩尺模型 1 各测点的编号, MIC01-2 ~ MIC06-2 为声屏障缩尺模型 2 各测点的编号。

在声屏障原型测试中,采用的声源为列车行驶产生的噪声,将列车看作一个在半自由空间中辐射的线声源。缩尺模型试验采用声屏障原型试验中列车经过时录制的噪声信号,经噪声与振动测试系统的数字式回放系统并经功率放大器放大至所需音箱回放,将噪声频率相应提高 3 倍作为缩尺模型试验的噪声源信号。



图 1-1 声屏障缩尺模型测试布点图



图 1-2 半消声室内空室无声屏障测试布点图

表 1-1 声屏障缩尺模型试验各测点的位置

测点名称	MIC01-1	MIC02-1	MIC03-1	MIC04-1	MIC05-1	MIC06-1
	MIC01-2	MIC02-2	MIC03-2	MIC04-2	MIC05-2	MIC06-2
距地面高度(m)	0.33	0.66	0.33	0.66	0.33	0.66
距声屏障远(m)	1	1	2	2	3	3

为了满足相似理论和模型试验的要求,根据声屏障原型测试和半消声室内缩尺模型测试结果,进行其相关性分析。图 1-3 ~ 图 1-8 为声屏障原型与其缩尺模型对应测试点的相互关系。图中曲线为声屏障原型在测点 MIC01 ~ MIC06 测试位置的插入损失曲线。“■”散点曲线表示缩尺模型 1 在对应测点的插入损失曲线。“△”散点曲线表示缩尺模型 2 在对应测点的插入损失曲线。

从图 1-3~图 1-4 中可以看出,各测点在声屏障缩尺模型试验与声屏障原型试验中的插入

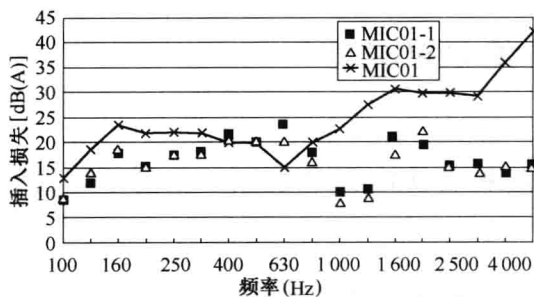


图 1-3 测点 MIC01 的插入损失对比图

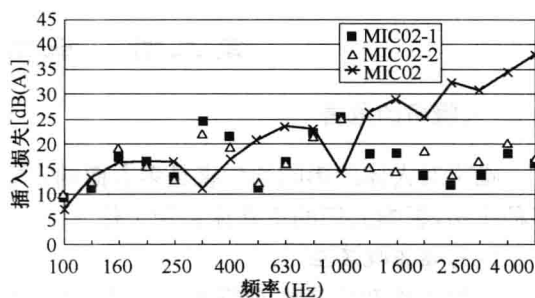


图 1-4 测点 MIC02 的插入损失对比图

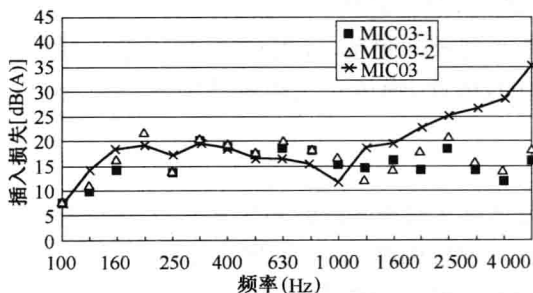


图 1-5 测点 MIC03 的插入损失对比图

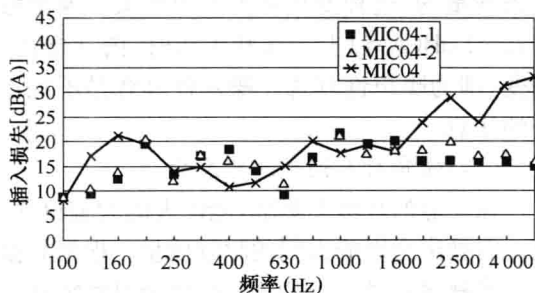


图 1-6 测点 MIC04 的插入损失对比图

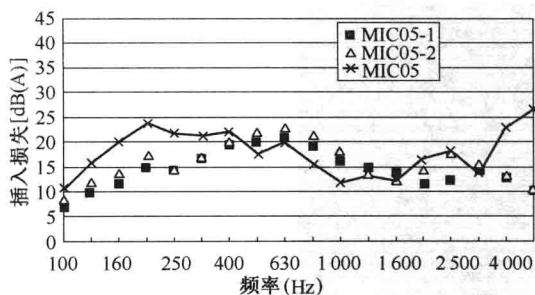


图 1-7 测点 MIC05 的插入损失对比图

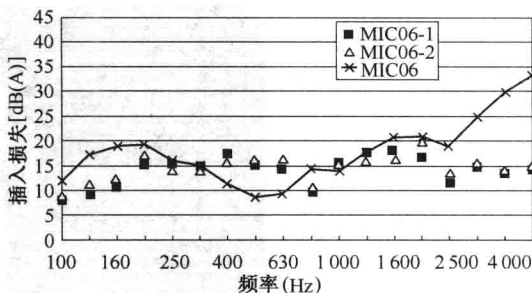


图 1-8 测点 MIC06 的插入损失对比图

损失曲线图有较大的发散,即距缩尺模型声屏障 1 m、距声屏障原型 3 m 范围内,缩尺模型声屏障和声屏障原型的插入损失曲线没有很好的相关性,在这个范围内研究声屏障原型与缩尺模型声屏障的相关性意义较小。

从图 1-5~图 1-8 中各测点在声屏障缩尺模型试验与声屏障原型试验中的插入损失曲线图可以看出,在 100~1 600 Hz 范围内,缩尺模型声屏障与原型声屏障的插入损失曲线接近,有较好的相关性,误差在 2~5 dB(A);而大于 1 600 Hz,缩尺模型声屏障和声屏障原型的插入损失曲线有较大的发散,相关性较差。缩尺模型声屏障结构内安装的吸声材料的改变,对插入损失没有太大影响,仅在 1~2 dB(A) 范围内变化。

根据统计,城市道路交通噪声频率主要集中在 100~1 000 Hz 范围内,因此,对缩尺模型声屏障的插入损失在 100~1 600 Hz 范围内进行 2~5 dB(A) 的修正,将得到与声屏障原型较为接近的曲线。可以采用修正后的缩尺模型曲线模拟实际降噪屏障的插入损失。

第二节 噪声与振动的危害

一、噪声的危害

噪声对人体的影响和危害是多方面的。概括起来,持续的、强烈的噪声可引起耳聋、诱发多种疾病,影响人们的正常休息和工作。

(一) 噪声性耳聋

长期工作和生活 在高噪声环境下,由于持续不断地受到噪声的刺激,人耳容易发生器质性病变,导致听力下降。噪声对听觉的影响,是以人耳暴露在噪声环境前后的听觉灵敏度来衡量的,这种变化称为听力损失。噪声强度越高,危害越大。根据研究表明,如果长时间在 85 dB(A) 以上工作和生活时,内耳器官不断受到噪声刺激,日积月累,便可发生器质性病变,即为噪声性耳聋。噪声性耳聋是不能治愈的,因此,噪声对人造成的伤害必须给予充分的注意。

(二) 噪声对人们生活的影响

在安静的环境下睡眠,能使人的大脑得到充分休息从而消除疲劳和恢复体力,保证身体健康。而噪声会影响人们的睡眠质量。根据数据统计,理想的睡眠环境,噪声应在 40 dB(A) 以下。当噪声超过 50 dB(A) 时,就会对睡眠产生影响。另外,当噪声高于 60 dB(A) 时,对人们工作效率产生影响,因此,办公场所的噪声一般应控制在 60 dB(A) 以下。

(三) 噪声对人体健康的影响

噪声对人体的影响是多方面的:作用于人的神经系统,可引起头痛、脑胀、耳鸣、失眠、记忆力减退;作用于心血管系统,易使交感神经紧张,从而使心跳加快,心律不齐、血压升高等;作用于消化系统,易使肠胃功能紊乱。因此,噪声对人体健康的影响必须引起足够的重视。

二、振动的危害

声波起源于物体的振动,振动激发噪声。物体的振动除了向周围空间辐射、在空气中传播声波(简称“空气声”)外,还通过与其相连的固体结构传播声波(简称“固体声”)。固体声在传播的过程中又会向周围空气辐射噪声,特别是当引起物体共振时,会辐射很强的噪声。

(一) 振动对人们健康的影响

大量试验表明,人对频率为 2~12 Hz 的振动感觉较敏感。频率高于 12 Hz 或低于 2 Hz 时敏感性会逐渐减弱。人体反应较强烈的振动频率是与人体某些器官固有频率相吻合的频率,如:人体在 6 Hz 左右,内脏器官在 8 Hz 左右,头部在 25 Hz 左右。振动对人体的影响分为全身振动和局部振动。全身振动是指人直接位于振动体上时所受的振动,局部振动是指人手持振动物体时引起人体的局部振动。振动会产生噪声干扰人的生活、学习和健康,特别是低频振动,将使人的机体受到损害,必须给予充分的注意。

(二) 振动对设备、建筑物的影响

振动对设备、建筑物的影响是严重的,如振动会使机床的加工精度下降,即使轻微的振动也会影响精密仪器的正常工作,造成生产质量难以保证。如振动过大,还会造成机器设备的损害。当振动施于建筑物时,过高的振动强度将对建筑物造成损坏。因此,在设备的安装和建筑物的设计时,必须充分考虑振动的危害。

第三节 城市轨道交通噪声与振动研究现状

一、城市轨道交通系统的基本特性

城市轨道交通系统主要包括地铁、轻轨、单轨等交通运输系统。

地铁车辆由于运行速度快、列车编组辆数多、无平面交叉等优点具有较高的运输能力;由于主要在地下专用行车道上运行,不和其他交通运输工具相干涉,可按照运行时刻表行车,保证列车运行安全、准时;能够充分利用地下空间,缓解路面道路的拥挤现状。

但是由于地铁系统主要建设在地下,在施工过程中,涉及隧道和线路施工、通风照明、通信信号、供电等一系列问题。地铁系统的绝大部分线路、设备均在地下,而城市地下由于有各种管线存在将会增加施工难度。另外,为了保证乘客安全,还要考虑防火救灾,避难设施等,在这些方面均需投入大量资金。因此,地铁系统每公里建设费用较高。而且由于其施工技术复杂,需要较长的建设周期,在建设周期内对地上周围交通带来较大影响。

轻轨车辆的运量小于地铁,高于常规公共电、汽车,属于中运量轨道交通系统。轻轨交通系统虽然主要在地面运行,但是具有专用行车道,为半封闭运行模式。其建设费用高于路面汽、电车,但是低于地铁系统,而且建设周期相对较短。因此,在城市交通规划中,轻轨交通系统适用于中等城市的支线交通和小城市的干线交通。

单轨交通系统由于速度快,具有较高的吸引力。单轨交通系统分为跨坐式和悬挂式两种。

前者跨坐在轨道梁上,车体重心在轨道梁的上方;后者悬挂在走行装置下方,车体重心在轨道梁的下方。轨道梁为混凝土结构,车轮为橡胶轮胎。单轨交通系统主要在高架轨道运行,不和地面交通相干涉,因此能够做到准时、正点。从运输能力上分析,当线路客流量超过公共汽、电车的运输能力,而又达不到修建地铁标准时,可考虑采用单轨交通系统。

城市轨道交通系统与城市常规公共汽车、小汽车相比较,有着明显的优点,主要体现在以下几方面。

(一)运输能力

城市轨道交通系统与常规公共汽、电车不同,可以编组运行,一般采用4~8辆编组运行。因此具有较强的运输能力,能够满足城市高峰期客流量的需要。

(二)运营速度和安全性

城市轨道交通系统一般情况下具有专用行车道,为全封闭或半封闭运行模式。有利于提高运行速度和实行自动控制。可以按照运行时刻表运行,做到快速、准时,安全性较高。

(三)舒适性和运营费用

随着科学技术的进步和新材料、新工艺、新设备的应用,城市轨道交通系统采取减少冲击振动,降低噪声等新技术,提高了运行平稳性和乘客乘车舒适性。从运营角度来看,因为城市轨道交通系统可实现编组运行,节省运营所需各种费用。由于车辆制造水平较高,城市轨道车辆使用寿命较长。

从以上特性分析中可以看出,城市轨道交通系统具有快速、准时、安全、舒适、污染低等特点。从经济效益和社会效益综合考虑,修建城市轨道交通系统是解决城市交通问题的主要方法之一。

二、城市轨道车辆噪声与振动研究现状

随着我国经济的快速增长,城市人口急剧增加,造成城市道路交通问题日益尖锐。城市轨道车辆的发展,使城市道路交通得以缓解,但是交通噪声污染十分严重,噪声给道路两侧居民的生活增添了很大的烦恼。随着城市规模的不断扩大和城市交通的日渐繁忙,城市道路交通噪声问题会逐渐加剧成为制约城市人居环境质量提高的重要因素。因此,减少城市道路交通噪声,改善沿线的声环境,提高人们的生活质量势在必行。

随着国家对环境保护工作的重视,目前对城市噪声区域的划分已有明确的规定和标准,各城市都在深入地进行环境治理。人民群众对工作、生活和居住的环境越来越关注,渴望有一个舒适、安静的工作和生活环境,噪声扰民已成为民众投诉较多和迫切需要解决的主要问题之一。将噪声降低到允许的范围内,是我们的共同希望和要求。同时,城市环境指标也是朝着国际化、现代化城市目标迈进的重要因素。

城市轨道车辆噪声与振动主要表现形式如下。

(一)轮轨噪声

轮轨噪声主要由车辆运行时产生的滚动噪声、通过轨道接头处冲击产生的冲击噪声及通过曲线产生的摩擦噪声组成。其他如线路不平及车辆踏面磨损、剥离等缺陷也都会引起轮轨噪声。轮轨噪声作为车辆主要噪声源,对车内环境影响较大。

(二)机械噪声

机械噪声主要包括牵引动力系统噪声和齿轮传动噪声。