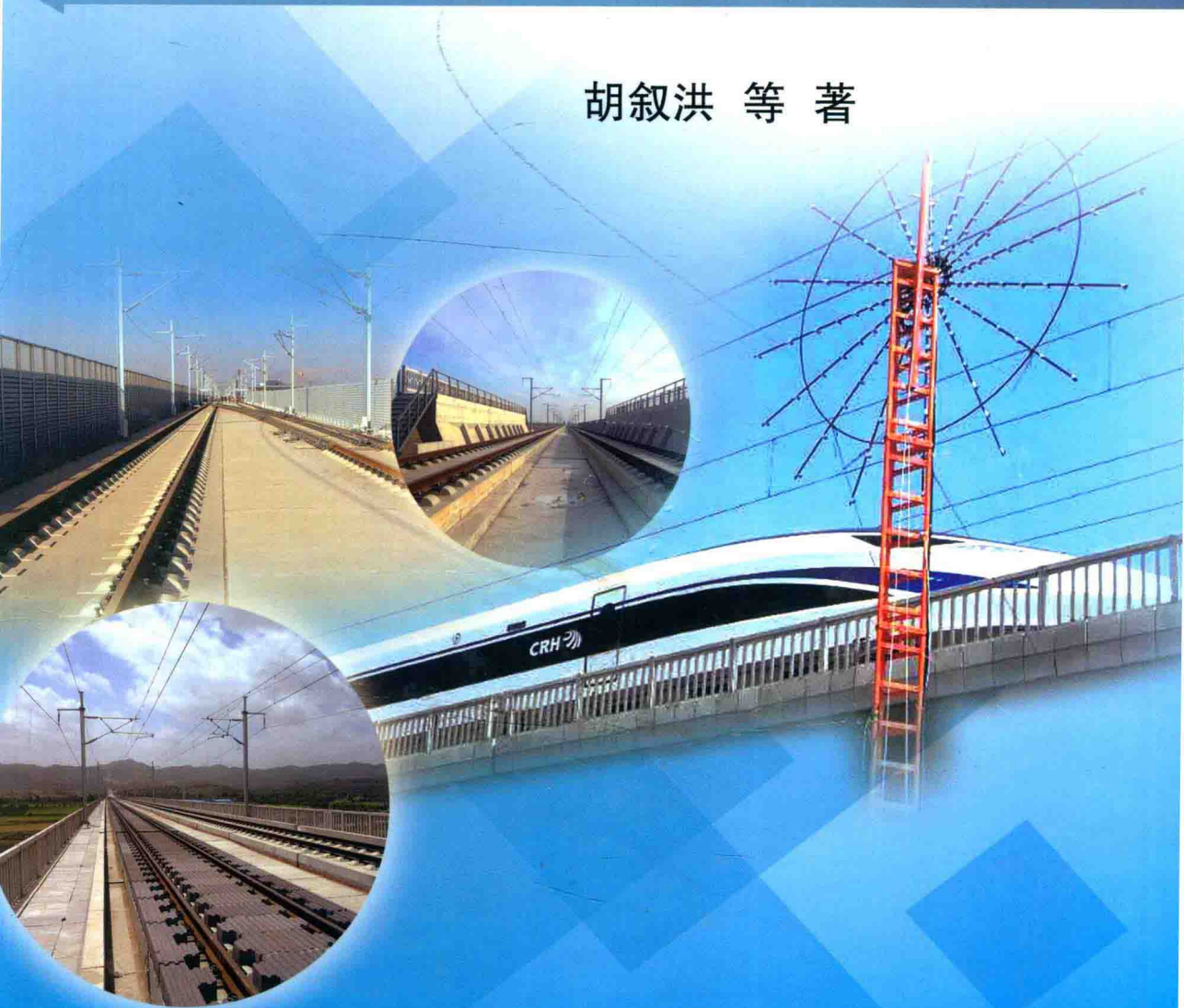


高速铁路减振降噪技术 研究与应用

GAOSU TIELU JIANZHEN JIANGZAO JISHU YANJIU YU YINGYONG

胡叙洪 等 著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速铁路减振降噪技术研究与应用

胡叙洪 等 著

中国铁道出版社

2018年·北京

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路减振降噪技术研究与应用/胡叙洪等著. —北京:
中国铁道出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-113-24342-5

I. ①高… II. ①胡… III. ①高速铁路-基础设施-减振
降噪-研究 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 051065 号

书 名: 高速铁路减振降噪技术研究与应用
作 者: 胡叙洪 等

策 划: 江新锡
责任编辑: 张卫晓 编辑部电话: 010-51873193
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 苗 丹
责任印制: 高春晓

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.tdpress.com>
印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司
版 次: 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 21 字数: 524 千
书 号: ISBN 978-7-113-24342-5
定 价: 180.00 元

版权所有 侵权必究

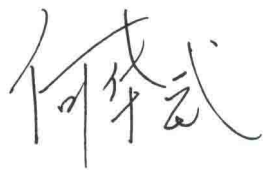
凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

序

截止 2015 年底,我国建成通车的高速铁路里程已达 1.9 万公里。我国高速铁路的运营规模、建设速度以及相应的技术研究和装备制造发展速度均为世界之最。高速铁路在提供人们快速、准时、便捷这一优质交通方式的同时,也带来了环境噪声振动问题。但相比而言,随着人们对舒适环境要求的日益提高,我们对高速铁路减振降噪技术的研究还略显滞后,主要体现在:高速铁路减振降噪产品目前主要是声屏障,产品单一、治理措施不够丰富,技术理论研究也有待提高。

本书作者胡叙洪及其研发团队依托铁道第三勘察设计院集团有限公司国家与地方联合工程实验室长期开展减振降噪研究工作,通过与铁道科学研究院、中国科学院声学所、北京交大、西南交大、中南大学等单位合作开展关于减振降噪课题研究,取得了丰硕成果,积累了丰富经验。特别是作者主持完成了国家高技术研究发展计划(863 计划)重大项目课题“高速铁路减振降噪关键技术”研究,开展了高速铁路噪声源辨识技术研究、高速列车关键部件低噪声设计研究、大型结构物减振降噪装置和隧道内外降噪技术研究、减载式声屏障研究,形成了高速铁路减振降噪技术体系和成套装置,为本书的编写奠定了良好的基础。

《高速铁路减振降噪技术研究与应用》是作者及其研发团队在本领域多年研究的积累及对“高速铁路减振降噪关键技术”课题创新研究及实践的总结。该书系统介绍了高速铁路基础设施减振降噪技术体系,涵盖了桥梁、轨道、隧道减振降噪技术及声屏障设计技术,既有理论分析又有实际应用实例,内容丰富、体系完整。该书介绍的高速铁路减振降噪技术与装置都是该领域实用技术与前沿研究方向,具有很强的实用价值和学术价值,具有良好的社会效益和应用前景。该书的出版对加快我国高速铁路减振降噪技术理论研究和产品研发,丰富和完善高速铁路减振降噪治理措施,具有很好的指导意义。



2016 年 11 月

前 言

铁路是国家重要的基础设施,也是大众化交通工具,在综合交通运输体系中处于骨干地位。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需要,对于构建现代综合交通运输体系,实施交通强国战略,建设创新型国家具有重要作用。

高速铁路噪声振动日益引起社会的关注,在高速铁路建设过程中,虽然通过改善动车组头部流线、提高车体表面平滑度、改良受电弓性能、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,减振降噪技术措施还显单一,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,高速铁路减振降噪技术研究和产品研发非常必要。

中国铁路设计集团(原铁道第三勘察设计院集团)有限公司于2012年承担了国家高技术研究发展计划(863计划)重大项目课题“高速铁路减振降噪关键技术”(2011AA11A103)研究,参加单位包括北京交通大学、西南交通大学、中车长春轨道客车股份有限公司、中铁电化局集团有限公司、中国科学院声学所。主要研究内容包括:

- (1)高速铁路噪声源定位、辨识、空间分布及频谱分析与噪声源数据库;
- (2)高速列车结构 NVH 特性和关键部件低噪声设计、制造技术;
- (3)高速铁路大型结构物减振降噪装置设计和隧道内外降噪技术、吸声材料研发等;
- (4)高速铁路声屏障复合噪声特性分析和减载式声屏障设计与制造技术。

本书是在系统总结国家高技术研究发展计划(863计划)重大项目课题“高速铁路减振降噪关键技术”的创新与实践基础上,对高速铁路噪声源辨识技术及基础设施减振降噪技术研究方向、方法进行系统阐述;对高速铁路槽形梁、减振支座、钢桥粘弹性阻尼层装置、轨道吸音板、钢轨阻尼装置、隧道新型缓冲结构、隧道内吸声材料与结构、减载式声屏障等高速铁路减振降噪装置设计、制造技术及工程应用情况进行详细介绍。希望对今后从事高速铁路减振降噪技术研究、装备研制、高速铁路减振降噪设计、建设与管理的工程技术人员有所帮助。

本书共分为七章,主编胡叙洪,负责确定本书各章节内容、制定全书大纲及统稿与审定工作,前3章由刘冀钊、胡文林负责撰写,第4章由郭邴、徐鹏负责撰写,第5章由苏伟、马广负责撰写,第6章由王世清、张桂扬负责撰写,第7章由薛林海、王婷婷和刘立斌负责撰写。王少林参加了第1~5章的撰写工作。

本书在出版过程中得到国家863课题“高速铁路减振降噪关键技术”资金资助,并得到中国工程院何华武院士的支持与鼓励,何华武院士欣然作序,对高速铁路减振降噪关键技术研究成果给与肯定,并对本书提出了宝贵意见,作者及其团队表示衷心感谢。

编者

目 录

第1章 概 论	1
1.1 我国高速铁路减振降噪技术研究现状	1
1.1.1 高速铁路噪声源辨识技术	1
1.1.2 高速铁路噪声控制措施	2
1.2 高速铁路减振降噪技术体系及发展方向	8
1.2.1 高速铁路噪声源辨识、噪声控制指标分解、声学设计优化策略	8
1.2.2 低噪声动车组设计技术	9
1.2.3 基础设施噪声控制技术	9
参考文献	12
第2章 国内外铁路噪声振动控制标准	14
2.1 国内外噪声控制标准	14
2.1.1 国外噪声标准、限值	14
2.1.2 国内铁路噪声标准、限值	19
2.1.3 国内外铁路噪声标准、限值对比分析	21
2.2 国内外振动控制标准	21
2.2.1 国外环境振动控制标准	21
2.2.2 我国环境振动控制标准	24
2.2.3 国内外环境振动控制标准对比分析	25
参考文献	26
第3章 高速铁路噪声源辨识测试技术	27
3.1 高速铁路噪声源分类	27
3.2 高速铁路噪声形成机理	27
3.3 高速铁路噪声源辨识方法	28
3.4 高速铁路噪声源辨识测试方法研究与改进	30
3.4.1 反卷积算法	30
3.4.2 传声器阵列优化设计	32
3.5 高速铁路噪声源辨识测试与分析	35
3.5.1 高速铁路噪声源辨识测试	35

3.5.2 高速铁路噪声源辨识测试成果分析	38
3.6 高速铁路噪声源辨识测试分析小结	44
3.6.1 高速铁路噪声源特点	44
3.6.2 高速铁路噪声源辨识测试方法	44
参考文献	46
第4章 高速铁路轨道减振降噪技术研究与应用	47
4.1 概 述	47
4.2 轮轨噪声控制技术	49
4.3 高速铁路轨道吸声板降噪技术研究与应用	49
4.3.1 吸声材料吸声机理及吸声系数测定方法	49
4.3.2 国内外轨道吸声板应用情况	51
4.3.3 高速铁路轨道吸声板研制	54
4.3.4 高速铁路轨道吸声板生产及安装	75
4.3.5 轨道吸声板安全性及降噪效果高速铁路现场实测	77
4.3.6 轨道吸声板城轨应用实例	82
4.4 高速铁路钢轨阻尼装置降噪技术与应用	83
4.4.1 阻尼减振降噪原理及阻尼结构	83
4.4.2 国内外钢轨阻尼装置应用情况	84
4.4.3 钢轨阻尼装置研制	86
4.4.4 钢轨阻尼装置生产及安装	101
4.4.5 钢轨阻尼装置降噪效果现场试验	102
4.4.6 钢轨阻尼装置城轨应用实例	106
参考文献	107
第5章 高速铁路桥梁减振降噪技术研究与应用	108
5.1 高速铁路桥梁振动与噪声问题	108
5.1.1 高速铁路桥梁地段振动问题	108
5.1.2 高速铁路桥梁地段噪声问题	109
5.1.3 国内外桥梁地段振动控制技术研究和实践情况	110
5.1.4 国内外桥梁地段噪声控制技术研究和实践情况	111
5.1.5 高速铁路桥梁噪声振动控制技术研究方向	115
5.2 槽形梁降噪设计与实践	116
5.2.1 槽形梁设计要素及关键参数	116
5.2.2 槽形梁结构方案声学性能	118
5.2.3 槽形梁设计方案	120
5.2.4 车桥耦合振动分析	120

5.2.5 槽形梁降噪性能分析	124
5.2.6 槽形梁降噪性能实测	127
5.2.7 槽形梁技术经济优势分析	137
5.2.8 槽形梁应用实例	139
5.3 桥梁支座减振技术研究	140
5.3.1 桥梁减振支座理论分析模型	140
5.3.2 常用简支梁桥减振支座关键动力学参数	144
5.3.3 减振支座对地面振动的影响	151
5.3.4 墩高对减振支座合理刚度的影响	153
5.3.5 常用跨度简支梁减振支座参数选取	155
5.3.6 减振支座设计	155
5.3.7 减振支座竖向减振性能室内试验	157
5.3.8 减振支座小结	162
5.4 黏弹性阻尼层降噪技术及应用	163
5.4.1 黏弹性阻尼层减振降噪机理	163
5.4.2 黏弹性阻尼材料选型	164
5.4.3 典型铁路钢结构桥梁结构噪声分析	170
5.4.4 黏弹性阻尼层上线安装及现场试验	185
参考文献	191
第 6 章 高速铁路隧道噪声控制技术研究及应用	194
6.1 高速铁路隧道洞口微气压波控制技术研究及应用	194
6.1.1 高速铁路隧道洞口微气压波控制技术现状	194
6.1.2 高速铁路隧道缓冲结构常见型式分析及参数优化	197
6.1.3 新型高速铁路缓冲结构型式及参数优化	218
6.1.4 高速铁路隧道微气压波环境影响分析	234
6.1.5 高速铁路隧道缓冲结构设计方法	238
6.2 高速铁路隧道内噪声控制技术研究	248
6.2.1 交通领域常用吸声材料	248
6.2.2 高速铁路隧道吸声材料	255
6.2.3 聚合砂吸声板声学性能影响因素	256
6.2.4 聚合砂吸声板的物理特性	271
6.2.5 聚合砂吸声板隧道内敷设方案	272
6.2.6 隧道内敷设吸声材料对微气压波的改善	279
6.3 高速铁路隧道噪声控制技术对比分析	282
参考文献	284

第7章 高速铁路减载式声屏障研究与应用	288
7.1 概 述	288
7.1.1 高速铁路声屏障应用现状	288
7.1.2 高速铁路声屏障技术研究方向	292
7.2 高速铁路声屏障气动载荷和降噪特性	293
7.2.1 高速铁路声屏障气动荷载特性	293
7.2.2 高速铁路声屏障降噪特性	300
7.3 高速铁路减载式声屏障研究	307
7.3.1 高速铁路减载式声屏障减载降噪机理	307
7.3.2 高速铁路减载式声屏障结构形式	307
7.3.3 高速铁路减载式声屏障材料	309
7.3.4 高速铁路减载式声屏障单元板减载降噪性能检测	311
7.4 减载式声屏障测试与应用	311
7.4.1 高速铁路减载式声屏障降噪性能测试	312
7.4.2 减载式声屏障降噪性能	312
7.4.3 高速铁路减载式声屏障减载性能测试	315
7.4.4 高速铁路减载式声屏障减载技术优势	321
7.5 结 语	322
参考文献	323

第1章 概 论

我国自20世纪90年代初开始研究高速铁路技术,经过多年的不断积累,2008年开通了第一条高速铁路——京津城际铁路,自此中国开启了高速铁路快速发展期,随后陆续开通了京沪高速、武广客专、郑西客专等高速铁路。截至2017年底,已经基本建成了“四纵四横”客运专线网,累计高速铁路里程达2.5万km,装备了约2186标列动车组,成为世界上建设规模最大、运营里程最长、动车组数量最多的国家。

我国幅员辽阔,从气温角度划分,既有地处严寒的哈大高速铁路,也有地处热带的海南环线高速铁路;从地质角度分析,既有东部沿海的深厚软土地区高速铁路,也有西部山区高速铁路。复杂的气候、地质条件,决定了中国高铁的自身特点。从工程结构角度主要表现为桥隧比例大部分在80%以上。因此,减振降噪技术研究的主要方向应该是桥梁、隧道和轨道。

1.1 我国高速铁路减振降噪技术研究现状

高速铁路的快速发展显著加快了中国铁路现代化建设进程,给人们带来快捷、方便、安全和舒适的出行,同时,铁路的噪声和振动也给沿线居民生活造成了影响。为此,对高速铁路运行装备和主要基础设施开展了一系列减振降噪工作,通过改善动车组车头部流线、提高车体表面平滑度,有效降低空气动力噪声;通过采用无砟轨道、铺设跨区间无缝线路、对钢轨和道岔定期打磨等手段,提高轨道的平顺性,降低列车轮轨噪声;通过改良受电弓性能,降低集电系统噪声;另外,在线路两侧敏感点路段设置声屏障,有效降低环境噪声,取得明显成效。我国高速铁路减振降噪技术研究现状主要如下:

1.1.1 高速铁路噪声源辨识技术

在噪声源识别领域,国内外专家学者做过很多理论研究和实际应用。工程中常用的方法主要包括:近场测量法、声强测量法、表面振动测量法、声全息法和传声器阵列波束形成法。

1. 近场测量法

一般利用声级计测量,依据测试数据确定声源位置与大小。近场测量方法只能测试相对静止的噪声源,且测试过程较复杂;对于运动和距离较远的发声体,则无法进行有效的识别;不能精确给出声源位置,便无法给出声源特性。

2. 声强测量法

利用声强探头进行测量,声强探头能区分出声波的辐射方向,从而确定噪声源的位置,其属于近场测试范畴。这种方法操作简便,对单一声源效果不错,但对于复杂发声体就无法识别;声强测量法能精确识别固定或低速运行的声源,但无法测量高速运行的声源。

3. 表面振动测量法

通过测量振动源表面振动速度,依据振动辐射强弱确定声源位置。该方法不能直接给出

声源位置及其特性,声源位置、幅值、频谱需要通过计算得到。

4. 声全息法

声全息法是基于声学原理,采用波前重建声学技术。声全息技术包括远场声全息和近场声全息。远场声全息识别的分辨率不高,功能比较弱,而且不能对振动和声音信号进行重建,所以其应用比较有限。而近场声全息在 20 世纪末得到迅速发展,是一种强大的噪声源定位、声场计算和声音可视化的声学高尖端技术。但近场声全息只能够在近场中测量,对于高速运行的大型设备(如火车、飞机等)由于安全问题不能靠近,因而该方法就无法实现,且由于在近场中测量时,存在反射、背景干扰等问题,所以声全息法适合非稳态、静置声源、声源表面振动小的情况。

5. 传声器阵列波束形成法

传声器阵列波束形成法是基于波束形成原理,通过不同方向声源到达传声器阵列面的时间差,辨识多个同时存在声源的位置、幅值和频谱。波束形成是信号处理的一种方法,是指对各传声器输出延时、加权、求和处理,使得输出信号聚焦到指定声源处。因此波束形成器可以看作一个空间滤波器,它可以滤掉其他方位传入的声源信号。

传声器阵列波束形成法为工程中常用的噪声源辨识方法。在铁路噪声领域中,国外在 20 世纪 70 年代开始逐步利用传声器阵列进行声源识别。1979 年德国 DLR 的 King 首先使用线阵列对高速列车噪声进行了测试。此后,日法等国也相继利用传声器阵列对列车运行噪声进行测试,获得许多宝贵的资料。如今,利用传声器阵列测试技术在发达国家中已经成为常规的声源识别技术。

近年来,国内逐步将传声器阵列应用于噪声源识别中,国内各大科研院所,如:中科院声学所、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学等单位,对传声器阵列波束形成技术进行了深入研究。

国内把传声器阵列应用于运行列车噪声源识别起步较晚。2004 年,北京交通大学利用线阵列进行铁路运行噪声测试,第一次将传声器阵列引入铁路噪声测试中;2008 年、2010 年西南交通大学和北京交通大学分别利用平面阵列对京津城际、京沪等高速铁路噪声进行测试,并取得一些成果。

目前,成熟的商用传声器阵列测试系统和软件有丹麦 B&K 公司的 PULSE 系统、德国的 BBM 公司的 PAK 系统及比利时 LMS 公司的测试设备等。

高速铁路噪声源辨识测试中应用最多的为丹麦 B&K 公司 PULSE 系统。PULSE 分析系统包括固定声源和移动声源分析,固定源算法中嵌入了反卷积算法,且考虑了快速移动源引起的多普勒效应,提高了阵列精准度。目前,应用较广泛的为孔径 4 m、78 通道的平面阵列,噪声源辨识下限频率一般为 200 Hz。

高速铁路噪声源辨识测试没有统一的测试方法与分析方法。如:高速铁路噪声源辨识测试设备性能、功能,传声器阵列与线路中心的距离、安装高度等均没有统一要求。高速铁路集电系统噪声、车体噪声、轮轨区噪声、桥梁结构噪声等声源分区方法不一致,导致测试结果差别较大。

1.1.2 高速铁路噪声控制措施

高速铁路噪声源可分为轮轨噪声、车体空气动力噪声、集电系统噪声及桥梁结构噪声。轮轨噪声包括车轮辐射噪声和钢轨振动辐射噪声。轮轨噪声幅值特性与钢轨、车轮及桥梁、路基结构形式有关。测试结果表明轮轨区噪声占比 50% 以上,无疑轮轨噪声是高速铁路最突出的

噪声源。

另外,高速列车通过隧道引发的噪声影响也是不容忽视的问题。高速列车组通过隧道时由于隧道壁的反射作用,使列车内噪声升高,导致列车内舒适度降低;同时由于列车速度快,列车进入隧道形成的压缩波在传播过程中遇到突然扩大的空间产生能量散射,因而在隧道口易形成音爆。特别是日本,由于隧道断面较小,隧道口音爆现象突出,早在20世纪60年代日本就已开展了隧道口音爆控制研究,取得较好效果,并在工程中进行大量应用。

多年来,国内外科研部门围绕制约高速铁路发展的主要环境问题,从列车到基础设施,从声源治理到传播途径控制,开展了一系列减振降噪技术研究,取得了突出成效。如高速列车关键部件低噪声设计技术、轨道吸声板、隧道缓冲结构、声屏障等技术研究及工程应用。

1. 轮轨噪声控制措施

轮轨噪声控制主要措施包括钢轨打磨、钢轨无缝化、安装钢轨阻尼装置、铺设轨道吸声板等。其中,钢轨打磨及无缝化处理,通过平滑钢轨工作面、改善轮轨接触状态,减小车轮与钢轨相互作用的振动能量级,从而在源头减小振动以降低轮轨噪声;钢轨阻尼装置安装在钢轨侧面上,利用阻尼材料的耗能减弱钢轨振动,降低钢轨噪声,从而实现在源头对轮轨噪声进行控制,该项技术措施目前主要在城轨项目进行应用;轨道吸声板铺设在道床板顶面,利用吸声材料直接在噪声源处吸收轮轨区域噪声,该技术措施已在地铁项目、国外高速铁路中得到了大量应用。

对于轮轨噪声控制,德国、日本研究较为深入,工程应用较多。目前,德国已在高速铁路车站、隧道、正线区间应用轨道吸声板,取得良好的降噪效果。科隆—法兰克福、科隆—莱茵、纽伦堡—英戈尔斯塔特、汉诺威—柏林等高速铁路区间噪声敏感区段均铺设轨道吸声板。根据相关资料显示,德国 Liakustik 吸声板公司在汉诺威—柏林、科隆—莱茵等无砟轨道地段铺设了112 km,同时在柏林中央火车站等低速线路也进行广泛铺设,吸声板基材是以黏土为主原料经高温膨胀所得的多孔膨胀黏土轻集料,平均吸声系数达0.9,实验区噪声比采用混凝土轨枕的碎石道床低0.9~3.2 dB(A),比整体道床低3.9~6.2 dB(A)。日本铁道综合技术研究所为新干线开发了板式轨道吸声板。对于既有板式轨道地段,将吸声板安置在由绝缘性能优良且强度高的塑胶线材制成的框架中;对于新建板式轨道地段,把吸声基材与混凝土轨道板制作成一体,整体成型的吸声轨道板不仅吸声特性优良且价格低,是一种技术可行的板式轨道降噪措施。吸声板基材主要有无机质类、陶瓷类和轻质混凝土类三种,用以应对不同频带的噪声。

我国在遂渝、成灌铁路铺设了轨道吸声板,并取得了一定的降噪效果,列车通过遂渝和成灌铁路铺设轨道吸声板地段试验最高速度为220 km/h;2015年中国铁路设计集团(原铁道第三勘察设计院集团)有限公司在大西客专综合试验段路基、桥梁、隧道、车站各铺设400 m轨道吸声板进行300 km时速条件下降噪效果和轨道吸声板位移、表面气动压力、车底气动压力等技术指标测试,测试结果表明:300 km时速条件下,轨道吸声板纵向、横向及垂向无位移;轨道吸声板表面气动负风压实测最大值小于轨道吸声板自重,铺设轨道吸声板不影响列车正常运行;轨道吸声板最高可使高速铁路近场噪声降低4.5 dB(A)。轨道吸声板在中国高速铁路中还没有应用,应加大安全、降噪效果的论证力度,尽快应用于300 km/h以上高速铁路。

2. 声屏障

(1) 普通声屏障

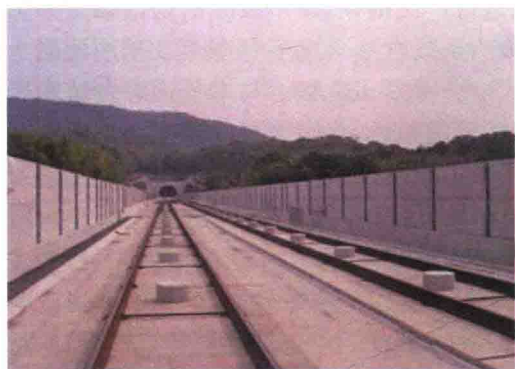
声屏障是国内外高速铁路最常用的降噪措施,德国、法国、日本、韩国高速铁路大量应用,尤以德国、日本应用长度累计最长。

德国声屏障用来降噪、挡风、替代护栏,在生态环境较好且没有噪声敏感点路段也设置声屏障,以保护铁路两侧声环境,因而德国声屏障设置路段较长。德国声屏障采用插板式结构,桥梁段声屏障以铝合金、亚克力透明材料为主;路堤段声屏障以非金属材料、铝合金材料及亚克力透明材料为主。

日本声屏障基本上结合桥梁防护栏建设,新干线声屏障主要有三种形式:一是铁路桥梁路段设置全混凝土 2 m 高栏;二是在噪声敏感点路段高栏上加隔音壁;三是在噪声敏感点路段设置插板式声屏障。声屏障材料主要采用混凝土+珍珠岩吸声板、内附吸声玻璃棉的金属单元板,部分路段声屏障顶部增设声干涉装置提高降噪效果。

德国声屏障距线路中心不小于 3.8 m,先期建成的时速 300 km 的科隆—法兰克福铁路声屏障,由于未考虑列车高速行驶产生的脉动气压力对声屏障结构的影响,导致声屏障扭曲变形、底部连接螺栓受剪切破坏,德国 DB 随即开展高速铁路声屏障在列车风作用下动力响应及声屏障抗疲劳研究,研究成果纳入 DS804 标准。

我国京津城际声屏障设计吸取了德国高速铁路声屏障的经验与教训,自主研发适合我国国情的能够抵抗高脉动力、抗疲劳的新型声屏障,声屏障形式为插板式,有 2 m 和 3 m 两种高度。目前,我国高速铁路声屏障累计里程超过 4 000 km。随着高速铁路不断发展,桥梁断面尺寸不断调整(京津城际桥梁段声屏障距线路中心距离为 4.15 m,京沪高速及其他客运专线声屏障距线路中心距离为 3.3~3.6 m),声屏障距线路中心距离减小,脉动风压进一步加大,声屏障单元板及安装强度需要进一步加强。因而在不损失降噪效果的前提下,降低声屏障表面压力,提高声屏障抗疲劳和安全性成为高速铁路声屏障设计的新要求。声屏障主要形式如图 1-1 和图 1-2 所示。



(a) 日本高速铁路声屏障



(b) 德国高速铁路声屏障

图 1-1 国外高速铁路声屏障

(2) 干涉式声屏障

干涉式声屏障是声屏障的辅助措施,是在声屏障顶端设计一定的腔室结构,令频率相同(或相近)相位相反的两列声波在一定位置相遇,互相抵消,从而达到消声的目的,以获得更好的降噪效果。干涉装置最早应用于日本,目前在我国公路、城市轨道交通、普通铁路上均有应用。如:京九铁路广安门路段、太中银铁路绥德段、沪昆客专上海段(低速段)应用了声屏障顶部降噪装置,如图 1-3 所示,降噪增加量相当于增高 1.5 m 声屏障高度。高速铁路高速段目前还未应用。



(a) 京津城际路基段声屏障



(b) 京津城际桥梁段声屏障

图 1-2 国内高速铁路声屏障



(a) 太中银铁路干涉式声屏障



(b) 京九铁路干涉式声屏障

图 1-3 干涉式声屏障应用照片

3. 隧道内噪声控制措施

列车通过隧道时,隧道内噪声远大于明线处的噪声,测试结果表明隧道内噪声比隧道外噪声高约 16 dB(A)以上,隧道内车内噪声高于明线处车内噪声约 5 dB(A)以上,车内舒适度明显降低。目前,我国尚未开展普通铁路、高速铁路、城市轨道交通隧道内噪声控制研究,但开展了公路隧道噪声控制研究,并在公路隧道中已经实施降噪措施。我国西南地区山区面积较大,铁路隧道长度占线路总长度的比例大,贵广高速铁路隧道比例达到 56%。控制车内噪声、提高车内舒适度,应采取隧道内综合降噪措施,及时开展包括隧道内噪声预测方法与参数研究,吸声材料、吸声结构布置方式与合理布置位置研究,布置总量与降噪效果及其经济性方面的研究等。

4. 长大隧道口音爆控制措施

列车进入隧道形成的压缩波在传播过程中遇到突然扩大的空间产生能量散射形成微气压波,其表现形式为空气振动和噪声。微气压波的特性与隧道断面大小、隧道长度、列车运行速度、列车类型等直接相关。当隧道口微气压波达到一定程度时,会发出砰砰的音爆声,对周边环境造成影响。研究表明,气动效应产生的压缩波主要集中在低频区域,微气压波问题实际上也是低频噪声和振动问题。

目前,我国高速铁路长大隧道口均设置缓冲结构,缓冲结构很大程度上起到控制音爆的作用,但由于效率低,在高速铁路部分隧道口即使安装了缓冲结构,隧道口 100 m 内的房屋也会有强烈振感,部分长大隧道还会发生音爆现象。如:武广客运专线吊沟岭隧道,长 3 488 m,隧道口设置 10 m 长扩大断面+2.5 m×4.8 m 开孔的缓冲结构,列车通过时出口右侧 50~100 m 外房屋振感强,门窗发出“砰砰”声响;海棠隧道,长 2 908.81 m,隧道口设置了 2 个 2.6 m×4.2 m 的等截面直立开孔式缓冲结构,即泄压孔,列车通过时隧道口村庄房屋振感强烈,门窗发出“砰砰”声响;大瑶山一号隧道长 10 081 m、二号隧道长 6 025.51 m、三号隧道长 8 391.08 m,隧道口设置了直立短喇叭口,经调查列车通过时隧道口仍然有音爆现象,振感强烈。典型隧道缓冲结构如图 1-4 所示。



(a) 遂渝线隧道洞口缓冲结构



(b) 日本新干线两侧开窗型缓冲结构

图 1-4 隧道洞口缓冲结构应用照片

5. 桥梁减振降噪措施

(1) 钢筋混凝土桥

我国高速铁路桥梁结构形式主要包括 32 m 简支箱梁、大跨度连续梁。高速列车在桥梁路段运行时会有两部分噪声从桥梁处向环境辐射,一是列车轮轨区噪声直接或通过桥梁防护墙、桥面板的反射向环境辐射;二是列车通过桥梁时,振动能量通过轨道结构传递到桥面,从桥面传至箱体并激发其振动,形成桥梁二次辐射噪声。目前,桥梁地段列车辐射噪声通过采用声屏障进行控制,但对高速铁路桥梁结构二次辐射噪声没有着手研究。桥梁声屏障分为插板式和整体式,插板式声屏障立于遮板上,通过预埋螺栓将 H 钢立柱与桥梁连接,H 钢立柱间距 2 m;整体式声屏障是将声屏障吸声单元通过钢筋与桥梁浇筑在一起,类似于 U 形箱梁。桥梁声屏障结构形式如图 1-5 所示。

我国高速铁路桥梁路段环境振动满足《城市区域环境振动标准》(GB 10070—1988),但高速铁路通过需要特殊保护的水生生物保护路段、IC 企业等微振动保护路段时需要采取减振措施。如:为保护中华鲟产卵,宜万铁路宜昌长江大桥采用减振支座,降低环境振动,保护鱼类;台湾高速铁路为适应沿线高科技工业园区特殊防振要求,桥梁段采用减振支座,如图 1-6 所示。

(2) 钢桥

我国钢桥发展到现在有 120 多年历史,目前,我国钢桥从数量、规模、结构形式不断发展,取得举世瞩目的成就。钢桥一般由杆件或板件焊接、拼接而成,其结构的基本单元是钢板,其



(a) 桥梁插板式声屏障



(b) 桥梁整体式声屏障

图 1-5 桥梁声屏障应用照片



图 1-6 台湾高速铁路用减振支座

钢板厚度一般为 12~30 mm, 钢材强度高, 钢结构相对比较轻, 构建尺寸小, 施工安装便利, 且可以通过再利用、回炉等措施循环使用, 减少建筑垃圾。相对混凝土结构, 具有更好的延展性, 安全储备更大, 抗震性能好, 是桥梁发展的方向。由于诸多原因, 我国钢桥使用较少, 高速铁路中预应力混凝土桥占绝对数量优势, 即便公路桥钢桥数量也较少, 钢桥总数不足桥梁总数的 1%, 而美国钢结构桥梁占桥梁总数的 33%, 日本占 41%。钢桥噪声辐射大、频率高, 对环境的影响大, 是制约钢桥发展的瓶颈因素之一。欧美等国已经开展了钢桥噪声控制技术研究, 主要是使用约束阻尼装置进行钢梁噪声抑制。如图 1-7 所示。目前, 我国针对铁路钢结构桥梁的结构噪声研究少、治理经验较少。

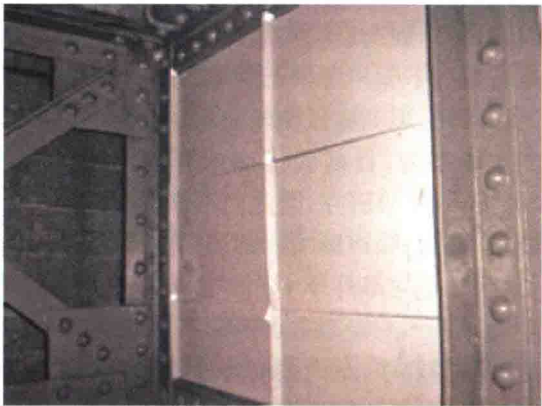


图 1-7 钢梁腹板上粘贴约束阻尼层材料