

行业发展

SPECIAL REPORT

高速铁路和城市轨道线路 橡胶减震制品的现状和发展

宋传江

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 橡胶减震制品的应用是轨道线路减振最有效的方法之一。随着我国铁路行业的跨越式发展,特别是高速铁路和城市轨道交通的快速发展,对轨道线路的减振和降噪要求也越来越高,因此轨道减震器在高速铁路和城市轨道上得到快速的应用。本文就轨道线路橡胶减震制品——轨道减震器的现状和发展情况做一个简单的概述。

关键词: 轨道线路; 轨道橡胶减震制品; 减振; 降噪

国务院于2006年审议通过了国家《中长期铁路网规划》,其发展目标为:到2020年,全国铁路营业里程达到10万km,主要繁忙干线实现客货分线,复线率和电化率均达到50%以上。在2006~2010年我国将完成9800km客运专线建设任务。

城市轨道交通主要由城市地铁、市郊铁路、城市轻轨3大部分组成,具有运量大、速度快、节能、舒适以及污染小的优点,是解决城市交通问题的最佳选择。国外许多城市的轨道交通已经成为城市交通骨干,客运量占整个城市客运量的50%以上,有些甚至达到80%。我国将从现在开始用30~50年的时间,建成覆盖主要大城市的现代化轨道交通网,里程达到2000km以上,为此每年需要建成40~70km的地铁或轻轨。

高速轨道及城市轨道交通不仅能有效地改善交通环境,而且还有助于带动城乡建设和经济发展,具有显著的经济和社会效益。但是也应该承认,轨道交通系统也会不可避免地给环境带来诸如噪声、振动、电磁辐射等问题,其中以列车行驶中的噪声和振动影响尤为突出。过量的噪声和振动将严重影响乘客和轨道沿线人们的正常生活;另一方面,噪声和振动还可能引起有关设备和结构以及周边建筑物的疲劳损坏,缩短使用寿命。

因此,控制轨道交通噪声和振动是改善乘客舒适性和环境保护的重要课题。减小列车的振动和降低噪声,在轨道交通区段采取相应的减振降噪措施,已成为轨道交通系统建设中的一个关键。

1 轨道交通的振动与噪声种类

针对轨道交通的振动和噪声控制问题,国内外先后进行过大量的研究。大量研究结果表明,轨道交通的振动与噪声源主要包括以下几方面。

1. 主要振动源:列车与结构的动态相互作用;车辆动力系统振动;轨道结构振动;轮轨不平顺。

2. 主要噪声源:轮轨噪声包括滚动噪声、冲击噪声、摩擦噪声、结构噪声(由于轮轨表面相互作用产生的振动通过轨道、桥梁和地基等传递,导致相应结构振动而辐射噪声);车辆动力设备噪声包括牵引电机、通风机、压缩机受电弓等设备噪声和车辆运行时的空气动力噪声。

轨道交通噪声通常具有宽带特性,频率范围在0~6kHz之间,其中对环境影响大的频率在0.1~1kHz范围。从理论上讲,控制振源与声源是最根本的方法,但目前就我国的实际情况来看,开展这一工作还存在一定困难。本文主要对改善轨道线路振动和降低噪声的方法进行概述。

2 轨道线路减振方法

2.1 线路减振

线路减振措施包括采用较大半径曲线线路和采用超长无缝线路。采用较大的曲线半径线路可以减少列车通过的冲击噪声。但是,对于城市轨道交通而言,由于城轨线路穿行于市内,线路选形受到很大限制,这一措施很难实现。采用超长无缝线路减少了钢轨接头,从而减少了轮轨间的冲击力,减少了脉冲型的激扰源,所以能够减少振动与噪声。无缝线路较普通线路可降低噪声 10 dB。

2.2 钢轨减振

常用的钢轨减振方法包括打磨钢轨,使轮轨表面平滑和采用重型钢轨。另外,国外还采用了减振降噪型钢轨,列车通过钢轨顶面时,由于钢轨腹板的厚度较小,轨腰产生振动,这一振动向外传播产生噪声。为了最大限度地减小钢轨腹板振动,可在钢轨腹板两侧粘贴减震橡胶和钢板(见图 1)。粘贴钢板是为了增大振动质量,起到衰减振动的作用;粘贴橡胶则是增大阻尼振动,达到吸振目的。

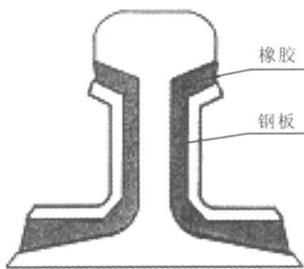


图 1 减振降噪型钢轨

2.3 扣件减振

2.3.1 轨道减震器扣件

为降低地铁和轻轨交通的振动和噪声,在上世纪 70 年代德国 CLOUTH 公司设计研制了称为科隆蛋(COLOGNE EGG)的轨道减震器产品,这是一种金属-橡胶复合减震器。金属-橡胶复合减震器是国内外目前应用最为广泛的轨道减振降噪装置。由于橡胶在很宽的温度范围内具有独特的粘弹行为,不仅可以象钢弹簧一样通过弹性形变来吸收储存冲击能量,而且还可以通过分子链相对运动而大幅度地消耗能量,这种能力是任何其它材料所不具备的。1980 年橡胶减震器首次在德国 KVB 铁路中实际应用,发达国家已在地

铁、轻轨上大量使用橡胶轨道减震器;我国也在 1994 年 12 月 12 日开通的上海地铁一号线首次使用轨道减震器产品;根据地铁运营测试结果,轨道减震器降噪约为 8 dB,到目前为止,在广州、深圳、北京地铁中也得到广泛应用。经过三十几年的发展,我国轨道橡胶减震器在材料、设计、分析、实验方面都获得了长足发展,在实验、材料等各方面都形成了自己的一套标准,一些系列化的产品均已申请世界专利。国内外大量实验表明,这种减震器的减振性能一般介于弹性扣件与浮置板之间。

轨道减震器按结构可分为压缩型、剪切型两种,按其功能可分为用于高架桥普通线的流动板道上的蛋型弹性轨道减震器(见图 2),用于高架桥和隧道普通线的流动板道上的压缩型弹性轨道减震器(见图 3),用于道岔、交叉道和轨道流动电闸的流动板道上 3 倍宽度的蛋型专线轨道减震器(见图 4)。

1. 剪切型轨道减震器(科隆蛋)。剪切型轨道减震器俗称科隆蛋(COLOGNE EGG),是一种单片、高弹力的轨道支撑。其上板和底座通过橡胶圈被牢固的硫化粘合在一起,功能上要求竖直方向具有刚度柔软性,能产生较大的竖向位移,以实现缓和冲击、隔离振动的需要;同时,在横向和纵向方向要求具有很大的刚度,能承受较大的冲击荷载。

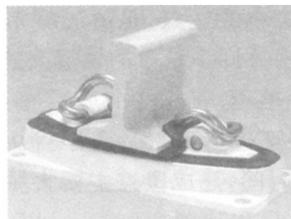


图 2 剪切型轨道减震器

2. 压缩型轨道减震器。板式轨道减震器是压缩型轨道减震器的一种,其侧面橡胶提供横向刚度,以保证上钢板座的稳定;竖向刚度则由产品的底板橡胶来保证,这样产品的竖、横两向刚度可分别设计,因此从设计的角度来看,板式轨道减震器更容易实现刚度匹配。另外,虽然板式轨道减震器的竖向刚度可通过将底板橡胶设计成一定的轮廓形状,以满足橡胶的变形及隔振的需要,但是由于产品的刚度仅由材料的压缩性能决定,产品的

刚度大,弹性相对剪切型的结构差一些,而降低胶料硬度虽然能够改善产品弹性,却降低了产品的稳定性,因此产品的竖向刚度不能调整得太低,其隔振性能相对剪切型产品来说要差一些。

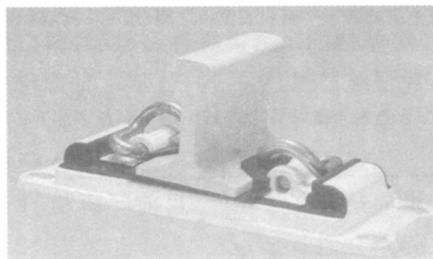


图3 压缩型轨道减震器

与剪切型结构相比,压缩型轨道减震器是一种高度小、质量小、成本低的单片式轨道支撑。其上板和底座通过橡胶靴被牢固的硫化粘合在一起,橡胶仅受压力载荷,它的弹性在高载荷范围内越来越强,这也就避免了轨道扣件在短时过载的情况下过度偏转。同时,下钢板座在结构上从横向、纵向、垂向3个方向都限制了上钢板座的自由度,上钢板座只在橡胶弹性变形的范围内运动,因此确保了轨道系统的安全,从而确保了整体结构的安全性。

3. 蛋型专线轨道减震器。蛋型专线轨道减震器的结构和功能与常规的剪切型轨道减震器相对应。其上板上设计了可供安装轨道的凹槽,轨道安装是通过一块尺寸与凹槽相当的铸件板来实现的。道岔或交叉道口的钢轨组件与铸件板以常规方式连接,然后再用螺栓与上板凹槽相连,这使得在设计施工过程中剪切型轨道减震器与道岔或道口接触面的安装施工简化,并且能够确保连续有效的隔振效果,即使在由于不连续运行而产生不规则振动的条件下也具有有良好的隔振性能。

4. 客运专线道岔弹性铁垫板。目前国际上拥

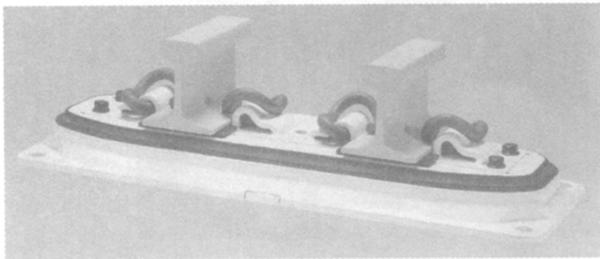


图4 蛋型专线轨道减震器

有客运专线道岔生产技术的厂商主要有代表法国技术的VOSSLOH(科吉富)公司和代表德国技术的BWG公司。国产道岔的生产厂家有:中铁宝桥集团股份有限公司、中铁山桥集团有限公司和中铁轨道公司。自2006年3月起,中国铁道科学院与株洲时代新材料科技有限公司联合开发客运专线道岔扣件系统(见图5),其中时速350km的18号单开道岔弹性铁垫板是满足最高时速350km客运专线、轴载荷170kN运营条件的新型道岔用垫板(见图6),该产品的性能要求高,主要体现在弹性垫板具有较高的橡胶材料物理性能(见表1)和产品性能(见表2)。

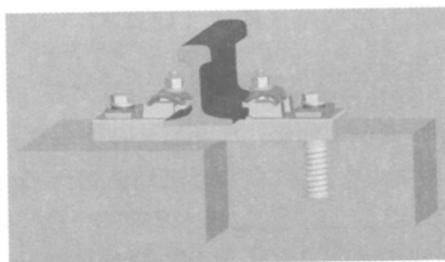


图5 客运专线道岔扣件系统

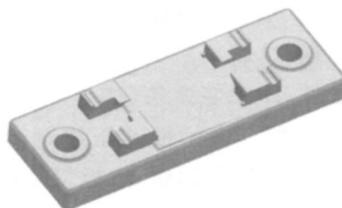


图6 弹性铁垫板

表1 弹性铁垫板胶料物理性能指标

项 目	指 标	试验方法
邵尔 A 型硬度/度	50~70	ASTM D 2240
200%定伸应力/MPa	≥7	ASTM D 412-9a
拉伸强度/MPa	≥13	ASTM D 412-9a
拉断伸长率/%	≥300	ASTM D 412-9a
高温压缩永久变形 (70℃×22h)/%	≤30	ASTM D 395方法B
体积电阻率/(Ω·cm)	≥10 ⁸	ASTM D 257
热空气老化后(70℃×70h)		
邵尔 A 型硬度变化/度	≤10	ASTM D 573
拉伸强度/MPa	≥10	ASTM D 573
拉断伸长率变化率/%	≤15	ASTM D 573
耐臭氧试验(40℃,臭氧 浓度 50×10 ⁻⁸ , 100h)	不得有裂纹	ASTM D 1149
油浸泡后体积膨胀率/%		
ASTM 3#油(23℃×70h)	≤100	ASTM D 471
ASTM 1#油(23℃×70h)	≤20	ASTM D 471

表2 弹性铁垫板产品性能指标

项 目	指 标	试验方法
垂向静刚度/(kN·m)	25±5	载荷范围 10~60 kN
动静刚度比	≤1.5	载荷范围 10~40 kN, 加载频率 4 Hz, 1 000 次循环, 动刚度状态最大最小载荷对应位移与静刚度状态最大最小载荷对应位移之比
工作电阻/Ω	≥10 ⁸	将产品放置在长、宽不小于橡胶垫板的两块平钢板或铜板之间, 用 500 V 高阻仪测试金属板之间的电阻
疲劳		
外观	产品无破坏	
静刚度变化率/%	≤20	用加载头通过短钢轨对被测弹性铁垫板施加周期荷载 10~80 kN, 加载频率 (4±1) Hz, 荷载循环 300 万次
破坏形式	R	

该类产品外形尺寸大, 产品尺寸精度要求高, 刚度值比通用轨道减震器产品低, 为整个道岔系统提供弹性, 实现道岔区刚度均匀化, 并在行车过程中满足一定的减振降噪性能要求, 现已成功应用到胶济线。

2.3.2 弹性扣件系统

扣件系统是联结钢轨和轨枕使之形成轨排的部件, 其结构有多种, 但每种结构的扣件系统基本由弹条、绝缘轨距块、绝缘套管和橡胶垫板等组成。弹性扣件除具有普通钢轨扣件的性能外, 还应该具有许多特殊功能, 如保持轨距能力强、有足够的防爬阻力、绝缘性能好, 最关键的性能是有良好的减振性能, 这就要求采用弹性好的轨下垫板和扣件弹性件, 即扣件弹条(或弹片)的弹性与垫板的弹性要匹配。当垫板被压缩时, 弹条(或弹片)有足够的弹性紧扣钢轨; 垫板复原后, 弹条(或弹片)也能紧扣钢轨复原。实践证明, 扣板式扣件和拱形弹片式扣件不能满足使用要求, 无挡肩、无螺栓扣件是各国扣件发展的趋势, 特别适用于重载、大运量、高密度的运输条件。我国的弹条扣件主要为 I、II 和 III 型扣件, 其中 III 型扣件扣压力大(大于 11 kN), 弹性好(弹性变形不小于 12 mm), 目前正在大量铺设。英国的 Pandrol 扣件

是当今世界最著名的扣件, 目前新研制的 fastclip 型扣件弹条类似 ω 形, 单个弹条扣压力 12.5 kN, 垂直于钢轨方向安装, 不易脱落。橡胶垫板也采用了双面小圆柱高弹性垫板。

目前, 扣件减振往往是将轨道减震器和弹性扣件并用, 以期得到最佳的减振效果。

2.3.3 CRP 型轨道垫

CRP 型轨道扣件(轨道垫)是一种复合轨道支撑件(见图 7), 由一块铁垫板和一块橡胶垫组成。整个扣件通过锚固螺钉将铁垫板和橡胶垫锚固在基础上。橡胶垫主体材料可以是三元乙丙橡胶、丁苯橡胶/氯丁橡胶并用胶等, 为提高其抗磨损性能, 可在上面覆盖抗磨损材料。该扣件可以更换不同高度与刚度的橡胶垫, 能够满足不同轴载与刚度的要求。CRP 型轨道扣件设计简单、成本低, 以标准元件为基础。由于橡胶垫的尺寸、受压面、外形、厚度、弹性等特性可以依据铁垫板自由选择, 所以能够解决广泛存在的轨道工程问题。

2.3.4 轨下橡胶垫板

轨下橡胶垫板置于钢轨和轨枕之间, 主要作用是缓冲列车通过路轨时所产生的振动和冲击, 减少铁路的动态负荷和振动, 保护路基和轨枕, 提高钢轨的纵向平稳性, 并使信号系统绝缘。我国

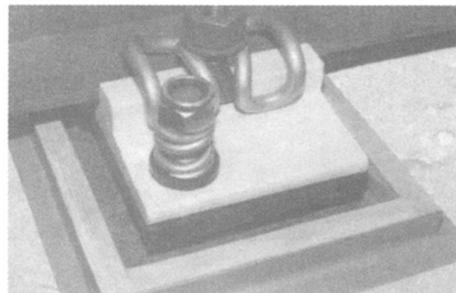
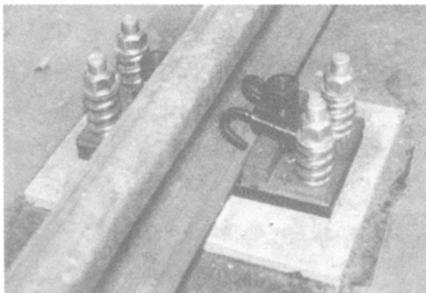


图7 轨道垫

使用的橡胶垫板多采用双面有沟槽的结构(见图8),并根据钢轨轨型对橡胶垫板进行分类。

高弹性圆柱形轨下橡胶垫板(见图9)是近年来发展的新型垫板。国外以英国 Pandrol 公司生产的橡胶垫板最著名。该种橡胶垫板采用双面有圆陀的结构,能够显著提高轨道结构的整体弹性,尤其在钢轨接头部位,减缓了列车通过时产生的附加动力,对整治“接头病害”有显著效果。减少了线路维修量,延长了维修周期。

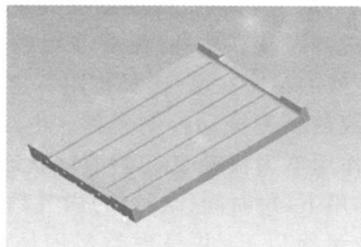


图8 双面有沟槽结构的轨下橡胶垫板

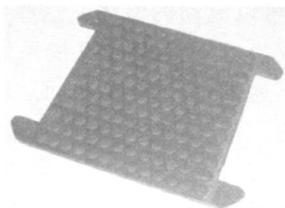


图9 高弹性圆柱形轨下橡胶垫板

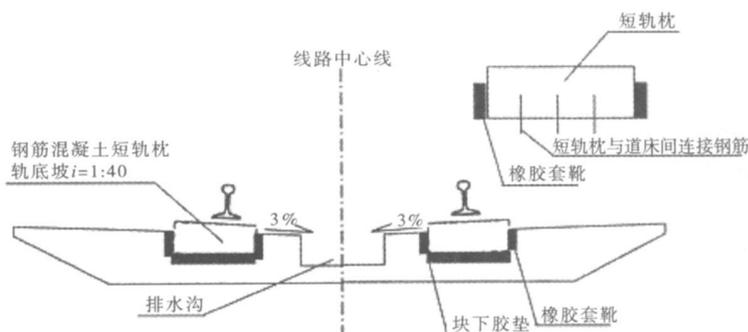


图10 弹性短轨枕式整体道床

2. 弹性长枕埋入式整体道床。弹性长枕埋入式整体道床由长轨枕、橡胶垫板、混凝土道床等几部分组成。由于在混凝土道床下铺垫了橡胶垫板,从而提高了减振性能。其维修更换比弹性支撑块式轨道方便,容易保证轨距,在高架桥上使用较为有利。但是,现场施工量大,进度较慢。

橡胶垫板作为弹性部件,衡量其弹性好坏的标准是动、静刚度,最重要的是动刚度,而动、静刚度具有相关性,静刚度值容易获得,所以通常用静刚度值来表征橡胶垫板弹性概念。橡胶垫板的静刚度主要由形状因数和材质本体弹性模量来决定。

2.4 道床减振

由于传统的有碴轨道碎石道床不能满足城轨行车需要,决定了城轨应优先采用无碴轨道结构。目前,无碴轨道整体道床包括有枕灌注式整体道床、浮置板式整体道床和钢轨埋置式板式轨道结构三种。对于减振型道床,每种结构又相应采取了不同的减振措施。

2.4.1 有枕灌注式整体道床

1. 弹性支撑块式(短轨枕式)整体道床(如图10所示)。弹性支撑块式整体道床由两个独立的短轨枕、弹性钢轨扣件和轨下弹性垫板及混凝土道床等几部分组成。短轨枕外设的橡胶套靴提供轨道的纵、横向弹性变形,具有较好的噪声和振动衰减特性,弥补了无碴轨道刚性大的缺陷。但是,高架桥上使用这种轨道结构,当高温曝晒和雨水或脏物进入橡胶套靴内部时可能对结构性能或寿命产生不利影响。

2.4.2 浮置板式整体道床

浮置板式整体道床由预制的浮置板(轨道板)、CA 砂浆填充层、轨道板之间的凸形挡台及轨道板下的橡胶垫板等组成。其中,橡胶垫板一般为发泡橡胶。由于橡胶垫板的吸振作用,只有部分静载和小量残余动载传到基础结构中去,所以减振效果良好,一般可降噪 15~16 dB,适用于

减振要求高的地段。由于轨道板和橡胶垫板预先制好,所以现场施工简单,进度较快。

2.5 各种轨道减振方案的成本分析比较

在以上列举的三大减振方案中,浮置板道床具有最佳减振效果,但造价相应较高,与普通道碴道床进行造价对比分析,结果见表 3。造价居中的轨道减震器具有较高的性价比。

表 3 各种减震方案的成本比较

减震方式	相关费用指数
道碴道床	1.0
减震钢轨	1.3~1.5
轨道垫	1.1~1.2
轨道减震器	1.2~1.4
浮置板式减震系统	2.5~3.0

3 轨道线路橡胶减震制品的技术发展

3.1 高性能橡胶材料的研制

橡胶部分既是减震器的主要工作部分,也是影响使用寿命的关键因素。金属-橡胶减震器的失效原因主要是橡胶部分的疲劳破坏、永久变形和老化,随着使用时间的延长,轨道减震器的减振性能会大大降低,因此为使减震器具有良好的减振性能,必须研制新型橡胶材料。橡胶的原位接枝技术是一种能改善橡胶减震材料性能的有效方法,其原理就是通过改性剂来有效改善橡胶和补强填充物之间的结合力,从而达到两个目的,一是提高橡胶和补强填充物之间的结合力;二是混炼过程中通过橡胶对补强填充物附聚体的破坏力加大,使得补强填充物的分散均匀性改善,从而增大胶料的定伸应力、拉伸强度等性能。由于橡胶和补强填充物之间界面结合力提高,可以降低材料的疲劳生热,延缓疲劳破坏,从而提高橡胶制品的承载力和延长使用寿命。因此,要在改性剂、补强填充物、改性工艺条件等方面进行深入研究,以期得到性能更好的橡胶复合材料。另有研究表明,以少量具有纳米片层结构的有机改性蒙脱土与橡胶进行插层纳米复合,能显著降低材料的疲劳生热,延缓疲劳破坏过程。高性能橡胶材料研究的具体内容包括硫化体系及抗硫化返原助剂的选择和应用,抗热氧老化、抗紫外线老化助剂的选择和应用,加工成型工艺的改进,产品的结构设计,在

大载荷下的静态蠕变,在高频、大振幅下的动态疲劳和蠕变研究等。还有研究表明,用氧化锌改性橡胶复合材料,可开发出既具有优越的减振降噪性能,又具有良好的耐磨、抗老化性能的橡胶垫板产品,进而研制出新的减振型轨下胶垫、扣件铁垫板下胶垫和支承块下胶垫等系列产品,为减振型轨道结构提供配套部件。

3.2 新型减震器

近年来国际上高度重视自适应(有源/半有源)减震器的研究,其中对电/磁流变液减震器的研究已接近产业化。电/磁流变液减震器是利用电/磁流变液的粘度在电/磁场作用下急剧变化的特性而制成的新型振动控制元件。电/磁流变液在无外场作用下为流动良好的液体状态,而在强电/磁场作用下,短时间(毫秒级)内其粘度可增加 1~2 个数量级以上,并呈现类似固体的力学性能;而且粘度的变化是连续、可逆的,一旦去掉磁场后,又变成可以流动的液体。这些特点使电/磁流变液装置成为电气控制与机械系统间简单、安静而且响应迅速的中间装置,因而引起国内外学者和工业界的广泛兴趣,成为当前智能材料研究的一个重要分支,被认为最具前途的智能材料之一。利用这类液体的流变效应可制成各种减震器,用于有效调节系统的阻尼或刚度特性。可以考虑将这种技术应用在轨道减震器中。

4 结语

随着城市轨道交通建设规模的不断扩大,轨道交通给城市带来的振动和噪声污染也越来越大,对城市轨道交通减振降噪的研究就显得越来越重要。轨道减振是减小轨道交通振动和降低噪声的关键。国内对轨道减振用橡胶制品的研究还处于初级阶段,很多橡胶制品,如轨道减震器、橡胶套、枕下橡胶垫、弹性支撑的研究还刚刚起步,甚至有的还未见报道。今后,我国还应该更加深入的从车辆构造、轨道结构、轮轨关系以及桥梁结构等角度对轨道交通可采用的减振降噪技术进行研究,使轨道交通运营产生的振动和噪声问题得到根本解决。

参考文献:略