

附件 3

《城市轨道交通环境振动与噪声控制 工程技术规范》

(征求意见稿)

编制说明

《城市轨道交通环境振动与噪声控制技术规范》编制组
二〇一五年十一月

项目名称：《城市轨道交通环境振动与噪声控制技术规范》

项目统一编号：1441

起草单位：北京市劳动保护科学研究所、中国环境保护产业协会振动与噪声控制专业委员会、国家环境保护城市振动与噪声控制工程技术中心、浙江天铁实业股份有限公司

编制组主要成员：张斌、邵斌、户文成、魏志勇、宋瑞祥、张丽娟、刘金雨、王亮、许吉锭、许孔斌

标准所技术管理负责人：姚芝茂

标准处项目管理人：范真真

目 录

1	任务来源	1
2	标准制定必要性	1
3	主要工作过程	5
4	国内相关标准研究	7
5	城市轨道交通环境振动与噪声控制工程现状调研	9
6	主要技术内容及说明	22
7	标准实施的环境效益与经济技术分析	34
8	标准实施建议	34

1 任务来源

《城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范》标准编制项目由环保部于 2010 年下达，项目编号：1441。北京市劳动保护科学研究所承担该标准的编制工作，参编单位有中国环境保护产业协会振动与噪声控制专业委员会、国家环境保护城市振动与噪声控制工程技术中心、浙江天铁实业股份有限公司。

2 标准制定必要性

2.1 标准编制必要性

随着我国经济的持续发展和城市化进程逐步加快，城市人口急剧增加，使城市交通面临越来越严峻的形势。现代化城市，迫切需要一个与现代化生活相适应的现代化交通体系。轨道交通凭借运量大、速度快、安全可靠、准点舒适等技术优势，已成为我国城市交通体系发展的重点。近年来，我国城市轨道交通得到了快速的发展，截止 2014 年末，全国 22 个城市共开通城市轨道交通运营线路长度 3173 公里；全国城轨交通在建城市 40 个，在建线路 4073 公里，首次突破 4000 公里。预计 2015 年末运营线路总长将达到 3600 公里左右，2020 年运营线路总长达到 6000 公里左右。

城市轨道交通的快速发展，在带来快捷、方便出行的同时，其轮轨结构的相互作用产生巨大的振动与噪声，也使其沿线居民受到了严重的环境振动与噪声污染。城市轨道交通引起的环境振动与噪声污染已成为新的环境投诉热点。目前，各大中型城市因城市轨道交通振动与噪声影响的人口数量数十万计；若轨道交通建设全面铺开且开通运营，全国受到影响的人口将以数百万计，总体形势不容乐观。

根据编制组对城市轨道交通噪声及振动影响范围的调查研究和预测分析，城市轨道交通（地下线）振动的影响范围将扩散至 30-80m 左右，城市轨道交通地面线的噪声影响的范围为 20-30m（夜间），高架线噪声影响范围分别为 40-50m（昼间），150-200m（夜间）。

城市轨道交通引起的环境振动与噪声污染问题亟待解决。尽管我国对城市轨道交通进行了相关振动与噪声的环境影响评价，但由于轨道规划建于城市中心

区，路线规划时很难避免从学校、医院、居民区和重点文物保护单位等重要振动噪声敏感建筑物下方或其周边经过，而环评单位受到工程设计深度、评价工作时限以及实际工程技术经验等各种因素的局限，大多很难将振动与噪声控制部分进行定量分析，特别是防治工程技术措施方面，很难进行充分的深化、细化和优化。由于环境影响评价难以有效提出指导城市轨道振动与噪声控制的措施，振动与噪声治理单位在缺乏环境振动与噪声控制工程技术规范的前提下，需要花费大量的人力物力测试、比较、筛选控制措施，振动与噪声控制难以达到治理效果和经济投入的平衡点；在国内既有城市轨道交通建设工程中，因前期振动与噪声控制设计工作不到位而引发的减振降噪措施失效的、沿线居民集中投诉的、以及被迫后期改造等案例屡见不鲜。在我国城市轨道交通建设蓬勃发展的大背景下，城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范的制订成为必然。

《城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范》的制定，将指导我国城市轨道交通振动与噪声控制工程的设计、施工、验收及维护保养等相关工作，为使今后城市轨道交通振动与噪声污染的治理有据可依，降低城市轨道对其沿线居民环境振动与噪声的污染，提高居民生活环境质量，促进和谐社会的建设做出应有的贡献。

2.2 编制原则

为使本规范在解决城市轨道交通环境振动与噪声控制工程设计、施工、验收和运行维护的技术要求等问题时发挥应有的作用，本规范在编制过程中确定了以下 4 条原则：

（1）与现行环境法律、法规、政策协调配套

对城市轨道交通振动与噪声控制工程进行了规定，作为现行环境保护措施的配套规范。本规范以现行环境保护法律法规为准绳，与我国现行的环境法律、政策、技术政策协调配套，与现行的环境保护方针相一致。

（2）以数据和事实为基础

本标准的编制以城市轨道交通振动与噪声的相关理论为基础，结合轨道交通振动与噪声的实地测量数据和结果为依据编制。

（3）现状与未来相结合

控制措施的应用设计既着眼于眼前的现实问题,同时也考虑到轨道交通的远期规划,从根本上避免了重复建设,延长了措施的使用寿命。

(4) 可操作性强

城市轨道交通振动与噪声的控制措施以理论和测量数据为基础,简化了应用设计复杂的计算理论,以科学、简明地方式给出了控制措施的应用设计,便于具体的实施和运用。

2.3 编制依据

(1) 法律法规、政策依据

1) 中华人民共和国环境保护法

第七条 国务院环境保护行政主管部门,对全国环境保护工作实施统一监督管理。

县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门,对本辖区的环境保护工作实施统一监督管理。

国家海洋行政主管部门、港务监督、渔政渔港监督、军队环境保护部门和各级公安、交通、铁道、民航管理部门,依照有关法律的规定对环境污染防治实施监督管理。

第二十四条 产生环境污染和其他公害的单位,必须把环境保护工作纳入计划,建立环境保护责任制度;采取有效措施,防治在生产建设或者其他活动中产生的废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声、振动、电磁波辐射等对环境的污染和危害。

2) 中华人民共和国环境噪声污染防治法

第四条规定:国务院和地方各级人民政府应当将环境噪声污染防治工作纳入环境保护规划,并采取有利于声环境保护的经济、技术政策和措施。

第十二条规定:城市规划部门在确定建设布局时,应当依据国家声环境质量标准和民用建筑隔声设计规范,合理划定建筑物与交通干线的防噪声距离,并提出相应的规划设计要求。

第三十六条规定:建设经过已有的噪声敏感建筑物集中区域的高速公路和城市高架、轻轨道路,有可能造成环境噪声污染的,应当设置声屏障或者采取其他

有效的控制环境噪声污染的措施。

第三十七条规定：在已有的城市交通干线的两侧建设噪声敏感建筑物的，建设单位应当按照国家规定间隔一定距离，并采取减轻、避免交通噪声影响的措施。

3) 地面交通噪声污染防治技术政策

本技术政策规定了合理规划布局、噪声源控制、传声途径噪声削减、敏感建筑物噪声防护、加强交通噪声管理五个方面的地面交通噪声污染防治技术原则与方法。

地面交通噪声污染防治应遵循如下原则：

- ①. 坚持预防为主原则，合理规划地面交通设施与邻近建筑物布局；
- ②. 噪声源、传声途径、敏感建筑物三者的分层次控制与各负其责；
- ③. 在技术经济可行条件下，优先考虑对噪声源和传声途径采取工程技术措施，实施噪声主动控制；
- ④. 坚持以人为本的原则，重点对噪声敏感建筑物进行保护。

(2) 技术依据

本规范的技术依据，主要参照以下标准或规范：

GB 3096	声环境质量标准
GB 10070	城市区域环境振动标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 12523	建筑施工场界环境噪声排放标准
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 50118	民用建筑隔声设计规范
GB 50157	地铁设计规范
GB/T 50452	古建筑防工业振动技术规范
GB 50463	隔振设计规范
GB 50490-2009	城市轨道交通技术规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1	工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
GBZ 2.2	工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理有害因素

CJ/T 401	梯形轨枕技术条件
CJJ/T 191	浮置板轨道技术规范
HJ/T 90	声屏障声学设计和测量规范
HJ/T 403	建设项目竣工环境保护验收技术规范城市轨道交通
HJ 453	环境影响评价技术导则 城市轨道交通
HJ 2034-2013	环境噪声与振动控制工程技术导则
JGJ 146	建筑施工现场环境与卫生标准
JGJ/T 170	城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准
TB/T 2626	铁道混凝土枕轨下用橡胶垫板技术条件
TB/T 2629	铁路混凝土轨枕枕下弹性垫板
EN 13481-6	铁路应用 轨道 紧固系统的性能要求 第 6 部分：专用紧固系统振动衰减（Railway Applications - Track - Performance Requirements for Fastening Systems - Part 6: Special Fastening Systems for Attenuation of Vibration）

3 主要工作过程

为完成《城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范》的编制，北京市劳动保护科学研究所及相关单位开展了如下的工作：

（1）2010 年 11 月，在北京市劳动保护科学研究所组织各参编单位召开了会议，成立了《城市轨道交通环境振动与噪声控制工程技术规范》标准编制组，并形成了规范编制工作的技术路线。

（2）2010 年 11 月-2011 年 6 月，国内有关城市轨道交通振动与噪声相关的标准规范的调研，减振降噪措施使用的材料或设备的检验标准，项目的设计、施工、验收等方面的标准与方法的调研和整理；并对对参编单位已有的城市轨道交通振动与噪声的相关数据和资料进行了整理分析。

（3）2011 年 7 月，在国家环保部召开了开题会议。开题中对工作内容及技术路线、国内外有关情况和发展趋势、工作基础及分工、工作进度安排等内容进

行了汇报，并得到了专家的一致认可。

(4) 2011 年-2012 年，编制组对全国范围内不同区域现有类型城市轨道交通振动与噪声测试和调研，包括：地铁（地下线路、地上线路）、轻轨、有轨电车等正线源及环境振动与噪声现状以及目前采取的减振降噪技术措施、方法以及实际效果的调研；调研城市包括：北京、上海、广州、沈阳、长春、武汉、哈尔滨、西安、重庆等地。

(5) 2013 年 4 月 23 日，为全面准确掌握城市轨道交通环境振动与噪声控制技术的现状，我所组织召开了《城市轨道交通振动与噪声控制技术规范》项目的专家咨询会。会议邀请了政府、行业专家和企业的专家代表，有来自国家环境保护部、国家环境保护城市振动与噪声控制工程技术中心、国家环境影响评价中心、中国铁道科学研究院、中国铁道科学研究院咨询公司、中国环境科学研究院、中国船舶重工集团公司第七一一研究所、中国船舶重工集团公司第七二五研究所、北京交通大学、北京宝曼科技有限公司、中铁一局集团新运工程有限公司、北京易科路通铁道设备有限公司、隔而固振动控制有限公司、北京九州一轨隔振技术有限公司、瑞泰潘得路铁路技术武汉有限公司、浙江天铁实业股份有限公司、北京城建设计研究总院有限责任公司、北京市市政工程设计研究总院、中铁工程设计咨询集团有限公司、中铁第四勘察设计院有限公司、北京市地铁运营有限公司、北京市轨道交通建设管理有限公司 22 家单位的 45 名代表参加此次研讨。与会专家和代表为规范编制过程中需要考虑的问题、现有工程应用中存在的问题以及现有减振降噪措施的效果评估等内容进行了深入的探讨。

(6) 2014 年 3 月-12 月，编制组对涉及城市轨道交通的设计、建设、施工和验收单位，以及减振降噪措施的产品、材料、设备检测等单位的实地调研，掌握相关工作的操作流程，特别是工作的重点、难点，以及需要完善补充的事项。

对调研数据进行统计分析，明确我国不同区域环境振动与噪声之间的异同，控制措施和效果的差异，根据敏感建筑的类型、源强，确定振动与噪声控制级别，对工程控制措施进行综合选择。

(7) 2015 年 6 月 28 日、9 月 24 日编制组组织召开了《城市轨道交通振动

与噪声控制技术规范》(征求意见稿)专家讨论会,对形成的征求意见稿进行了逐条的讨论和修改。主要提出了以下修改意见:①对于第4章中的“污染物与污染负荷”,可根据振动与噪声污染的特点,进行相应的调整。经专家讨论,第4章名称更改为“振动与噪声的来源及其强度的调查”。②在第5章中应体现综合减振降噪措施,应优先线路规划设计、采取低噪声低振动设备设施等减振降噪预防措施。减振降噪措施的选取应遵循“源-传播路径-敏感建筑物”的顺序,综合选取控制措施,尤其是地铁的减振措施,不能单独只从源采取减振措施,应考虑采用源、传播路径和敏感建筑物的综合减振措施。③第9章中的施工部分,应从影响减振降噪效果的施工作为重点写入规范,对于通用施工可参考现行标准规范即可。

(8) 2015年11月6日,经过两次专家讨论会,编制组召开了《城市轨道交通振动与噪声控制技术规范》(征求意见稿)专家咨询会,与会专家一致认为该技术规范征求意见稿技术内容全面,技术要求基本合理,符合技术规范编制要求,在进一步完善相关内容及编制说明后,可公开征求意见。

4 国内相关标准研究

我国振动与噪声污染控制工程在理论研究、实用技术与产品研发、以及工程实践中已取得丰富成果,噪声控制技术、振动控制技术更加合理,国家、各地市和不同行业领域也颁布了一系列环境振动与噪声的相关标准规范。

(1) 城市轨道交通相关振动与噪声标准

a) 国家标准

- GB 3096-2008 《声环境质量标准》,该标准规定了我国不同声环境功能区的环境噪声限值及测量方法。
- GB10070-88 《城市区域环境振动标准》,该标准规定了我国城市区域内环境振动标准限值及适用地带范围和监测方法。
- GB 12348-2008 《工业企业厂界环境噪声排放标准》,该标准规定了工业企业和固定设备厂界环境噪声排放限值及其测量方法。
- HJ 453-2008 《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》,该标准规定了城市轨道交通建设项目环境影响评价的原则、内容、方法和要求。该标准

中规定了城市轨道交通列车运行引起的环境振动与噪声的预测方法。

- JGJ/T 170-2009《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》，该标准规定了城市轨道交通列车运行引起沿线建筑物振动与室内二次辐射噪声的限值及测量方法。
- HJ 2034-2013《环境噪声与振动控制工程技术导则》，该标准已于 2013 年 12 月 1 日起实施，该标准对环境噪声与振动控制工程在设计、施工、验收和运行维护各阶段提出了通用的技术要求，对振动与噪声控制工程的环境影响评价、设计、施工、竣工验收以及运行管理等方面提供了重要的技术依据。

b) 地方标准

- 上海发布了地方性标准 DB31/T470-2009《城市轨道交通（地下段）列车运行引起的住宅建筑室内结构振动与结构噪声限值及测量方法》，于 2010 年 3 月 1 号起执行；该标准规定了城市轨道交通（地下段）列车运行引起的沿线住宅室内振动与结构噪声的限值及其测量方法。
- 北京市发布了地方性标准 DB11/T 838-2012《地铁噪声与振动控制规范》，于 2013 年 1 月 1 日起实施；该标准规定了地铁列车运行引起的环境振动与噪声控制的原则和方法。用于指导地铁建设项目振动与噪声环境影响评价工作，具体措施的设计和既有线路的降噪隔振质量可参照执行。

(2) 减振降噪措施相关标准

随着我国城市轨道交通的发展，城市轨道交通引起的振动、噪声污染问题逐渐成为城市交通振动、噪声污染的主要污染源之一，对于城市轨道交通引起的振动与噪声问题也逐渐受到政府、科研院所、企业的重视，与其相关的减振降噪措施不断完善，相应的技术规范也不断增多，主要如下：CJJ/T 191 浮置板轨道技术规范、CJ/T 285 城市轨道交通浮置板橡胶隔振器、CJ/T 286 城市轨道交通轨道橡胶减振器、CJ/T 399 聚氨酯泡沫合成轨枕、CJ/T 401 梯形轨枕技术条件、HJ/T 90 声屏障声学设计和测量规范、TB/T 2626 铁道混凝土枕轨下用橡胶垫板技术条件、TB/T 2629 铁路混凝土轨枕枕下弹性垫板、TB/T 3122 铁路声屏障声学构件及测试方法、DB11/T 1034.1 交通噪声污染环境工程技术规范 第 1 部分 隔声窗措施、DB11/T 1034.2 交通噪声污染环境工程技术规范 第 2 部分 声屏障措施等。

近年来,我国在环境振动与噪声污染治理工程方面做了大量工作,并取得显著成效,同时积累了丰富的经验。通过制定和贯彻城市轨道交通相关技术规范,促进整个噪声振动治理行业水平的提高和发展,为推动我国的环境振动与噪声控制工程技术规范的编制起到推动作用。

5 城市轨道交通环境振动与噪声控制工程现状调研

5.1 振动控制措施

5.1.1 振源减振控制

在降低振源的激振强度方面,主要分为车辆的减振和轨道的减振。其中,车辆的减振措施有:车辆轻型化、径向转向架、合理的车轴配置、车辆弹性悬挂系统、弹性车轮、阻尼车轮、车轮踏面打磨以及新型机车车辆的研制等;轨道的减振措施有:道床、轨枕、钢轨等减振措施。其中:道床/轨枕/钢轨的减振措施为目前城市轨道交通减振措施的主要措施,并已得到广泛应用,其减振技术已基本发展成熟。

(1) 道床减振

道床部位减振主要为浮置板类,浮置板的原理是增大振动体的振动质量和弹性,利用其惯性力吸收冲击荷载,从而起到隔振作用。这种隔振系统在共振频率下的放大倍数很低,所以减振降噪效果非常显著。浮置板轨道结构系统采用三层水平垫板(钢轨下橡胶垫板、铁垫板下橡胶垫板、板下橡胶垫板)和一层侧向垫板,道岔处经验算横向刚度后也可采用上述措施。

浮置板道床减振措施目前主要分为:钢弹簧浮置板道床、减振垫浮置板道床等。浮置板系统的固有频率低(5-7Hz),减振效果可达 10-20 dB,疲劳寿命长,易更换维修,缺点是造价昂贵。

1) 橡胶减振垫式浮置板道床

橡胶减振垫式浮置板道床按照板下橡胶支承方式可分为整体支承、线性支承、分布式支承三种。整体支承优点是构造简单,施工速度快,施工误差小,隧道仰拱和道床受力均匀,支承面积大,可以很好地抵抗轨道纵向力和横向力,成本较低,缺点是隔振效果和可维修性相对较差。线性支承优点是较整体支承节省

材料，轨道结构的固有频率较低。分布式支承优点是轨道结构的固有频率低，减振效果好，维修方便，其缺点是抵抗轨道纵向力和横向力能力差，为了限制变形，必须使剪切模量、弹性模量、垫板厚度、垫板大小十分匹配。我国城市轨道交通大多采用分布式支承。三种支承方式要求的轨道建筑高度和隧道开挖深度不同。

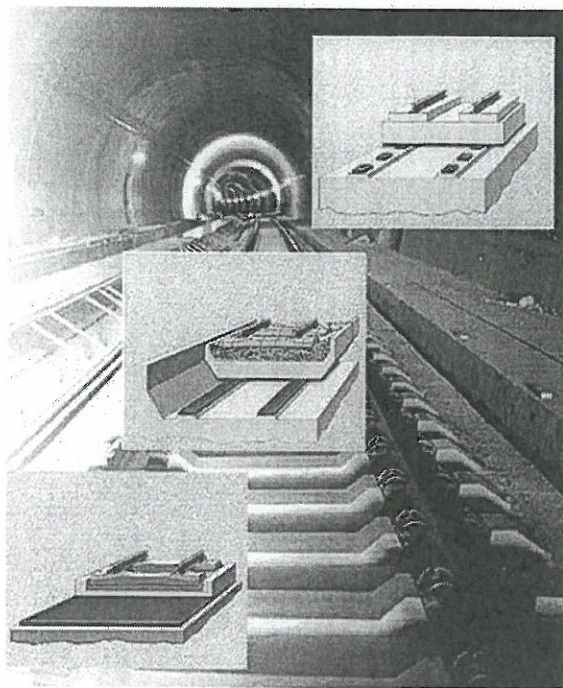


图 5-1 整体、线性、分布式橡胶减振垫式浮置板示意图

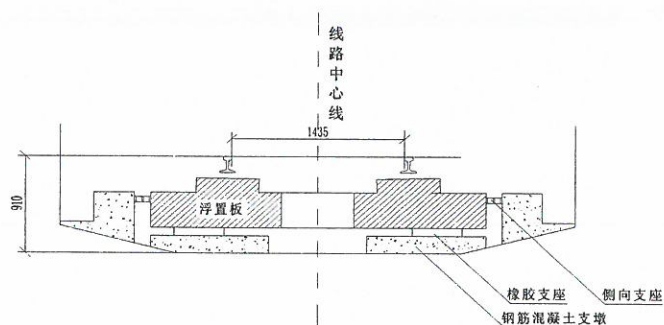


图 5-2 橡胶减振垫式浮置板

2) 钢弹簧支承浮置板

这是弹簧—质量—隔振系统。钢筋混凝土整体道床块置放在由柔性弹簧组成的隔振器上。整体道床能提供足够的惯性质量抵消城市轨道交通车辆产生的动荷载，仅有荷载和少量剩余动荷载会通过弹簧组成的隔振器传到基础结构，可以衰减 80%以上，与橡胶支承浮置板相比，弹簧支承浮置板的主要优点是固有频率低、

隔振效果好，可维修性好，缺点是造价高，见图 5-3。

我国北京、上海、广州、南京、深圳等城市轨道交通在特殊隔振地段也采用了该种弹簧道床。由于弹簧刚度的可设计性强，刚度范围较宽，因此弹簧支承浮置板的固有频率可以设计得较低，弹簧支承浮置板隔离低频振动的效果优于橡胶支承浮置板，一般厂家标称该种浮置板隔振效果为 18-35dB，根据我们的实际测试结果显示，其实际降噪效果约为 10-20dB。

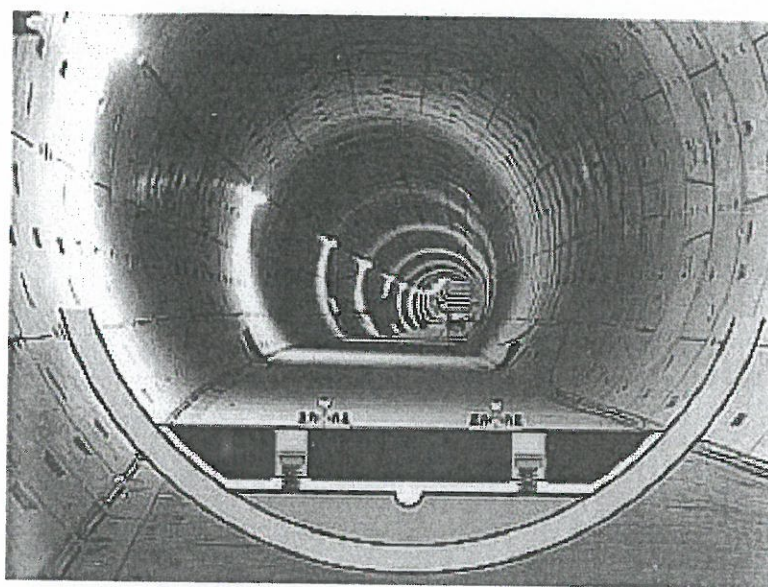


图 5-3 弹簧支承浮置板

(2) 轨枕减振

轨枕部位减振主要有梯形轨枕、弹性轨枕、弹性套靴等措施。

梯形轨枕轨道是一种新型的轨道系统，其轨枕是由预应力混凝土纵梁和钢管制的横向联接杆构成的，形似扶梯，因此称之为梯形轨枕，是纵向轨枕的一种，具有优越的减振降噪性能和更好的轨道稳定性。梯形轨枕是第二代板式轨道，它既能够发挥轨枕的特性，大幅度提高荷载的分散能力，又可补充钢轨本身的刚性和质量的性能特点。特别是无碴整体道床式梯形轨枕轨道，不但充分发挥了复合轨道高刚性的特点，还使轨道构造具有充分的弹性。利用减振材料等间隔支撑结构，使其浮于混凝土整体道床之上，实现了轻量级质量弹簧系统的构想，达到了减少支撑弹簧数量的目的。梯形轨枕不仅可应用在无碴轨道，同时也可应用在有

碴道床。梯形轨枕的减振效果约 8-13dB。

弹性短轨枕轨道由短轨枕、橡胶包套、微孔橡胶垫板组成，其减振原理是：地铁列车产生的振动能量通过扣件及铁垫板上、下橡胶垫的部分消耗后，传递给轨枕基础，然后通过轨枕底的微孔橡胶垫板的弹性变形来消耗掉大部分振动能量，同时轨枕周边的振动能量则通过橡胶包套来缓冲，从而系统地达到减振耗能的效果。弹性短轨枕常与整体道床和 DTVI-2 扣件、DJK5-1 型扣件、检查坑扣件、轨道减振器等多种扣件配合使用，目前已在美国、英国、德国等地采用，其减振效果在 6~10dB。

弹性长轨枕与弹性短轨枕一样，弹性长轨枕亦在轨枕底部设置刚度较低的弹性垫层，并通过弹性隔离层(“套靴”)将弹性垫层及长轨枕与道床隔离，使弹性长轨枕在列车通过时在垂直方向能被自由压缩一定的行程，从而实现减振；在水平纵向及横向基本无弹性，以确保其水平方向的稳定性。结合弹性长轨枕的外形结构、减振需求及列车运行安全要求，弹性长轨枕的综合刚度与传统弹性短轨枕一致，减振效果约 8~12dB。

(3) 扣件减振

钢轨部位减振主要为减振扣件类，扣件由扣压件、轨下垫层和联结螺栓组成。扣件的作用是固定钢轨正确位置，阻止钢轨的纵向和横向位移，防止钢轨倾翻，还能提供适量的弹性，并将钢轨所受的力传递给轨枕或道床承轨台。其中英国潘德罗尔—先锋 (Pandrol-Vanguard) 扣件，利用悬空的钢轨和轨座底板的缝隙，解决轨道的振动和噪声控制问题。在轨头下颚及轨腰支撑钢轨，钢轨呈悬空状态，改变了传统的轨底支承方式，扣件的支承刚度很低。

我国的城市轨道交通铺设较多的扣件主要有 DT-I (北京城市轨道交通)、DT-III (上海城市轨道交通 1、2 号线)、DT-IV (与 DT-III 类似，北京城市轨道交通 1 号线复西段)、DT-VI (北京城市轨道交通 1 号线复西段、5 号线)、DT-VI-2 (北京城市轨道交通 5 号线)、DT-VII-2 型 (上海城市轨道交通 2 号线、北京城市轨道交通 1 号线复八段、13 号线)、单趾弹簧 (广州城市轨道交通 1、2 号线)、弹条 II 型分开式 (深圳城市轨道交通 1、4 号线)、科隆蛋 (上海城市轨道交通 1、2 号线、广州城市轨道交通 1 号线)、潘德罗尔—先锋 (广州城市轨道交通 3 号

线、北京城市轨道交通 5 号线)。典型扣件示意图见图 5-4 至 5-11。我国常见的扣件减振效果在 2-8dB。

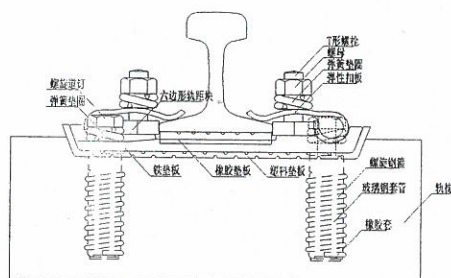


图 5-4 DT I 型扣件

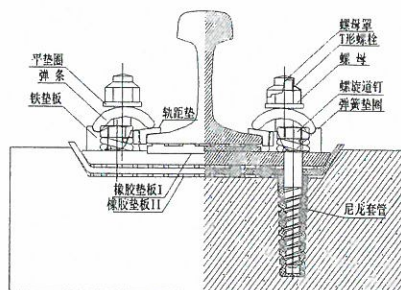


图 5-5 DTIII型扣件

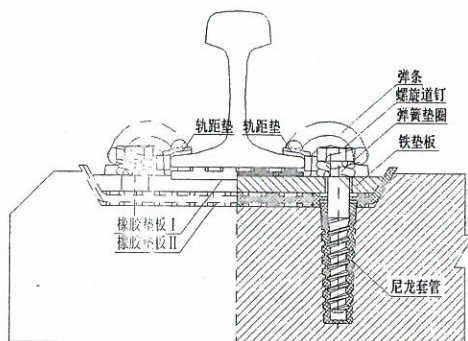


图 5-6 DTVI型扣件

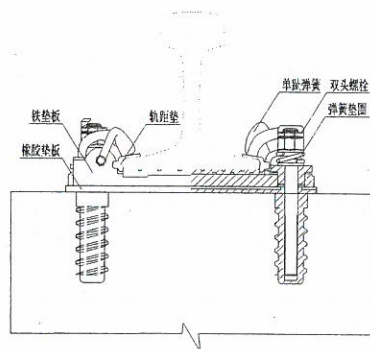


图 5-7 单趾弹簧扣件

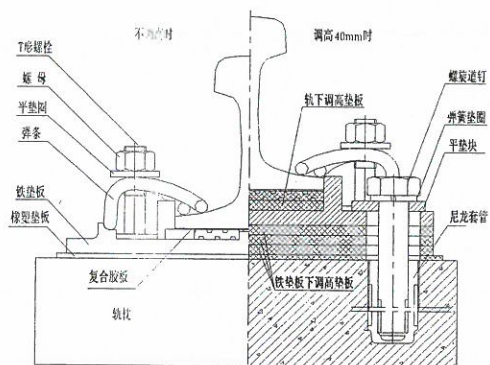


图 5-8 WJ-2 型扣件图

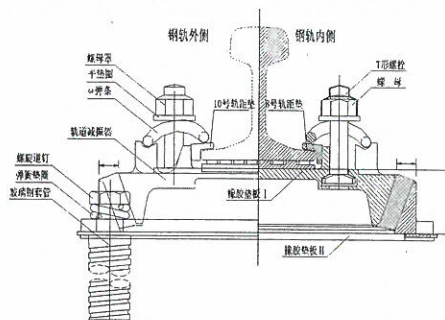


图 5-9 轨道减振器扣件

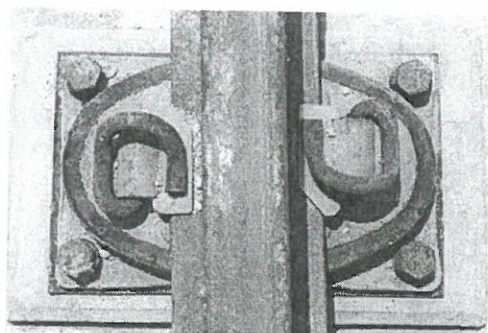


图 5-10 科隆蛋扣件图

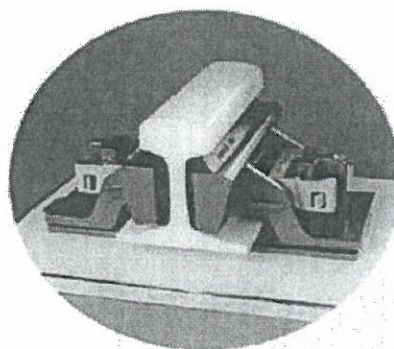


图 5-11 先锋扣件图

5.1.2 振动传播途径控制

在切断或削弱传播途径上的振动方面，主要减振措施包括：隔振墙/沟、敏感建筑物基础隔振等方面。隔振墙/沟、敏感建筑物基础隔振等还处于研究探索阶段，目前国内外的相关技术还未发展成熟。本标准技术规范中主要针对现已成熟的技术进行了相关的规定。因此这部分措施并未体现在规范中。

5.1.3 振动控制工程实例

目前，全国各地城市轨道交通线路上的减振措施很多，基本涵盖了国内外减振效果较好的各类减振措施。

(1) 扣件减振措施包括：DT-III、DT-VI、GJ-III 扣件及 Lord (洛德)、科隆蛋 (轨道减振器)、Vanguard (先锋) 等减振扣件；

(2) 轨枕减振措施包括：梯形轨枕、弹性短轨枕、弹性长轨枕、弹性套靴；

(3) 道床减振措施包括：橡胶浮置板、钢弹簧浮置板。

采用减振措施后，北京城市轨道交通 5 号线、10 号线一期，上海城市轨道交通 6 号线、9 号线，广州城市轨道交通 1 号线、2 号线、3 号线等城市轨道交通建设项目达到相应的环境保护验收要求。

(1) 道床减振——钢弹簧浮置板

北京某地铁线路开通前，对沿线敏感点的振动影响情况进行了预测与评价。

其中：

敏感点 A：距近轨轨道中心线的最近距离约 0m，二层学校建筑；该线路设计车型为 6B 型车、经过该建筑物的线路埋深约 14m。

该线路的环境影响报告中指出,该建筑环境振动垂向 Z 振级为 69.1dB,超过《城市区域环境振动标准》(GB10070-88)中“居民、文教区”夜间标准 67dB,超标量为 2.1dB。兼顾地铁振动产生的结构噪声影响,建议在该建筑及两侧一定区域内采用轨道隔振措施。

经相关减/隔振方案的技术经济可行性比选后,该区段线路采用了钢弹簧浮置板道床减振措施。

该线路开通后:

测试部门对该区段铺设的钢弹簧浮置板道床减振措施开展了减振效果测试分析,结果表明该措施在此区段的减振效果约 13~15dB。

相关单位于 2008 年对其沿线敏感点开展了竣工环境保护验收调查。调查报告中提出,在源强采取减振措施后,该建筑的环境振动垂向 Z 振级 VL_{Z10} 昼间、夜间测试值满足 GB10070-88 中“居民、文教区”昼间 70dB/夜间 67dB 标准,通过验收。

(2) 钢轨(扣件)减振——先锋扣件

敏感点 B: 距近轨轨道中心线的最近距离约 0m,平房区;该线路设计车型为 6B 型车、经过该建筑物的线路埋深约 19m。

该线路的环境影响报告对该区域的振动影响未进行详细分析,不过采用敏感点类比分析表面,该区域受地铁影响产生的振动将会超过 GB10070-88 中相应区域的标准限值,在工程建设中应引起重视。

该线路开通后:

测试部门对该区段铺设的先锋扣件减振措施开展了减振效果测试分析,结果表明该措施在此区段的减振效果约 8~11dB。

相关单位于 2008 年对其沿线敏感点开展了竣工环境保护验收调查。调查报告中提出,在源强采取减振措施后,该区域的环境振动垂向 Z 振级 VL_{Z10} 昼间估算值小于 64.6dB、夜间估算值小于 63.6dB,满足 GB10070-88 中相应区域的昼间、夜间标准,通过验收。

5.2 噪声控制措施

城市轨道交通噪声的来源主要有轮轨噪声、动力系统噪声、特定结构噪声、

气动噪声以及地下线附属设备、设施的噪声等。通过大量的理论和实验表明，轮轨噪声是城市轨道交通噪声的主要来源。轮轨噪声包括，轨道列车通过半径很小的曲线产出的“尖啸声”；车轮滚过钢轨接头时所发出的“撞击声”；车轮与钢轨接触面之间的微小不平造成有节奏的“轰隆声”亦称滚动噪声。

针对城市轨道交通引起的噪声，目前较常用的控制措施有声屏障、隔声窗、降噪车轮或通过改善轨道的振动达到降低噪声的目的。

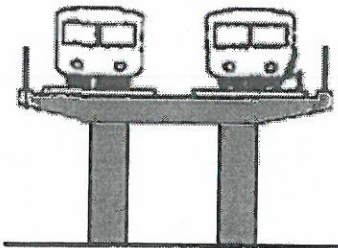
5.2.1 隔声

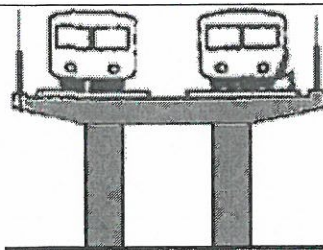
(1) 声屏障

声屏障作为传播途径控制噪声的有效手段，广泛地运用于道路、轨道交通中需要降噪的地方。对于城市轨道交通而言，声屏障距离声源近，适合使用声屏障。对于目前的轨道交通地面段都不同程度地使用了声屏障，例如，北京市城市轨道交通 13 号线、5 号线、大兴线、房山线，上海 3 号线、6 号线、明珠线，广州 4 号线、5 号线等大量地使用了声屏障进行降噪。从声屏障的原理和使用的效果来看，声屏障的隔声效果一般在 5-12dB 之间。

通过实地的测量，用于城市轨道交通的减振降噪措施能有效地降低轨道交通运营对周围环境造成的环境污染，同时其也是治理轨道交通环境污染不可或缺的措施。

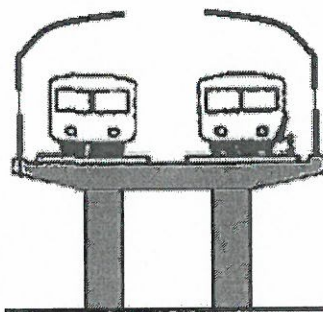
表 5-1 城市轨道交通声屏障降噪效果

常见的形式	描述	降噪效果
	直立型声屏障	3~6dB



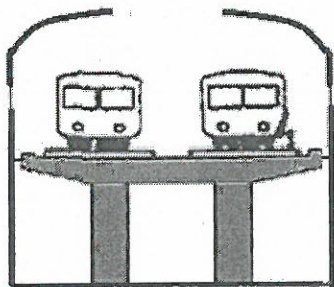
直立型声屏障

4~8dB



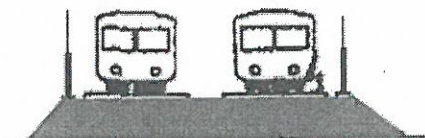
半封闭声屏障

7~10dB



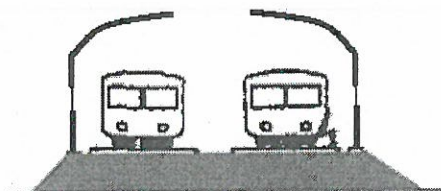
整体型声屏障

8-12dB



直立型声屏障

5~8dB



封闭型声屏障

6~10dB

(2) 隔声窗措施

环境噪声的治理,一般优先考虑声源降噪,其次是传播途径降噪,最后是接受点的保护。对于采取声源或传播途径降噪措施不能达到敏感建筑物声环境保护

要求的，宜采取隔声窗措施。隔声窗是一种对接受点进行保护的一种降噪措施，属于被动降噪。近些年来，随着社会对窗户的节能作用的重视，具有节能作用的双层窗户越来越广泛。双层窗在满足节能的要求时，同时能隔绝室外的一部分噪声。根据调研，常用的隔声窗的隔声能力一般在 25dB~40dB 之间。影响隔声量较主要的因素有型材、开启方式和密封措施、中空空气层厚度、玻璃厚度和中空玻璃间不同配置形式。

1) 不同型材的影响

目前市场上常见的窗户类型分为：pvc 塑料窗、铝窗、铝木复合窗、玻璃钢窗。经测试分析，在其他配置相同的情况下，铝木复合窗和玻璃钢窗隔声效果基本相同，pvc 塑料窗和铝窗的隔声量基本相同，但铝木复合窗和玻璃钢窗隔声效果较好，铝木复合窗和玻璃钢窗的隔声量比塑料窗和铝窗要好 1-2 分贝。但从成本效益分析，铝木和玻璃钢窗价位较高，塑窗和铝窗的价位合理，属于较广泛应用类型。

表 5-2 不同型材的窗户隔声量

样品名称	样品尺寸	玻璃配置	计权隔声量
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	33 (-2; -4)
平开铝合金窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	32 (-1; -2)
平开铝木复合窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	34 (-2; -3)
平开玻璃钢窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	34 (-1; -3)

2) 不同开启方式和不同密封措施

由于目前的窗户主要采取的开启方式为平开和推拉两种，平开窗的密封措施为橡胶密封条，而推拉窗的密封措施为两道镶嵌薄片毛条，因此，在进行影响因素分析时，将二者结合进行测试和分析。

经测试分析发现：平开窗的隔声效果要比推拉窗隔声效果高 4 分贝左右。

表 5-3 不同开启方式和不同密封措施窗户隔声量

样品名称	样品尺寸	玻璃配置	开启方式	密封措施	计权隔声量
PVC-U 平	1470mm×1470mm	5+9A+5	单扇可平开	橡胶密封条	31 (0; -2)

开塑料窗					
PVC-U 推拉塑料窗	1470mm×1470mm	5+9A+5	双扇可推拉	两道镶嵌薄片毛条	27 (-1; -2)
平开铝合金窗	1470mm×1470mm	5+9A+5	单扇可平开	橡胶密封条	31 (0; -2)
推拉铝合金窗	1470mm×1470mm	5+9A+5	双扇可推拉	两道镶嵌薄片毛条	27 (-1; -2)

3) 不同中空空气层厚度

影响双层中空玻璃的隔声量的因素之一是两片玻璃之间空气层的厚度,通过测试分析,加大空气层厚度可有效提高建筑外窗的隔声性能。但是从成本上,若空气层厚度增加至 20mm 以上,将大大增加成本。根据对单片玻璃的隔声量测试分析发现,10mm 厚的单层玻璃的隔声量与 5+9A+5 的中空玻璃隔声量几乎一样,若将空气层厚度加到 12mm,隔声量比 10mm 厚的单层玻璃有明显的提高。因此在建筑隔声窗应用中,建议中空玻璃的空气层厚度应高于 9mm。

表 5-4 不同中空空气层厚度窗户的隔声量

样品名称	样品尺寸	玻璃配置	计权隔声量
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+9A+5	31 (0; -2)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	33 (-2; -4)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+20A+5	35 (-2; -5)

4) 不同玻璃厚度

根据质量定律:材料越重(面密度越大)隔声效果越好。对于玻璃,面密度每增加一倍,隔声量在理论上增加 6dB。但是对于玻璃厚度每增加一倍,成本相对提高很多。目前市场上多用 5-6mm 厚的玻璃,单层玻璃 5-6mm 的隔声量基本相同,在 29 分贝左右。因此在双层中空玻璃隔声方面,5-6mm 的双层玻璃对隔声性能增长影响不大。此外,造成双层中空玻璃窗隔声量变化不大的原因还有吻合效应和共振的影响。

表 5-5 不同玻璃厚度窗户的隔声量

样品名称	样品尺寸	玻璃配置	计权隔声量
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	4+12A+4	32 (-1; -2)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+12A+5	32 (-1; -2)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	6+12A+6	33 (-1; -2)

5) 中空玻璃间不同配置

目前中空玻璃间的不同配置主要有:空气层,惰性气体,夹胶三种,充惰性

气体和夹胶这两种方式的隔声窗，比一般空气层的隔声窗隔声效果高 1 分贝。

表 5-6 中空玻璃间不同填充物

样品名称	样品尺寸	玻璃配置	计权隔声量
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+16A+5	33 (-1; -3)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	5+16Ar+5	34 (-1; -3)
PVC-U 平开塑料窗	1470mm×1470mm	3+夹胶+3+16A+5	38 (-2; -6)

(3) 其他隔声措施

隔声罩是将声源完全罩上，将噪声尽可能地封闭在有限空间内的隔声措施。隔声罩最常见于机械噪声的控制中。

隔声罩外壳由一层不透气的具有一定重量和刚性的金属材料制成，一般用 2~3 毫米厚的钢板，铺上一层阻尼层。阻尼层常用沥青阻尼胶浸透的纤维织物或纤维材料(用沥青浸麻袋布、玻璃布、毡类或石棉绒等)，有的用特制的阻尼浆。

外壳附加阻尼层是为了避免发生板的吻合效应和板的低频共振。外壳也可以用木板或塑料板制作，轻型隔声结构可用铝板制作。要求高的隔声罩可做成双层壳，内层较外层薄一些；两层的间距一般是 6~10 厘米，填以多孔吸声材料。罩的内侧附加吸声材料，以吸收声音并减弱空腔内的噪声。在这层吸声材料上覆一层穿孔护面板，其穿孔的面积约占护面面积的 20~30%。

在罩和机器、罩和基础之间，通常填以橡皮垫，以防止振动的传输。可以开启的活门和观察孔，设备或仪器正常工作时，要保证孔、缝隙的密封。对于需要散热的设备，应在隔声罩上留有必要的通风管道。这种管道要有消声结构，或者装消声器。在设计隔声罩时，要注意满足工艺和维修的要求，有时要采取防止油污、粉尘和腐蚀等措施。

5.2.2 消声

消声器是阻止声音传播而允许气流通过的一种器件，是消除空气动力性噪声的重要措施。消声器是安装在空气动力设备(如鼓风机、空压机)的气流通道上或进、排气系统中的降低噪声的装置。消声器能够阻挡声波的传播，允许气流通过，是控制噪声的有效工具。消声器的种类很多，根据其消声机理可分为六种主要的类型，即：阻性消声器、抗性消声器、阻抗复合式消声器、微穿孔板消声器、

小孔消声器和有源消声器。

阻性消声器对消除高、中频噪声效果显著，对低频噪声也可以通过优化设计获得比相同体积、相同压力损失的抗性消声器更好的消声效果，可以广泛推广应用。其消声量与消声器的结构形式、空气通道横断面的形状与面积、气流速度、消声器长度，以及吸声材料的种类、密度、厚度等因素有关，护面板材料及其型式对消声效果也有很大影响；护面用的穿孔板一般采用薄钢板、铝板、不锈钢板加工制成。为了发挥吸声材料的吸声性能，穿孔板的穿孔率应大于 20%，孔径 3 mm~10mm。

抗性消声器是通过管道截面的突变处或旁接共振腔等在声传播过程中引起阻抗的改变而产生声能的反射、干涉，从而降低由消声器向外辐射的声能，以达到消声目的的消声器。抗性消声器可针对低频噪声特定频率进行调谐设计。其最大的优点是不需使用多孔吸声材料，因此在耐高温、抗潮湿、对流速较大、洁净要求较高的条件下比阻性消声器好。

微穿孔板消声器是衬装微穿孔板消声结构的消声器。能在较宽的频带范围内消除气流噪声，而且具耐高温、耐油污、耐腐蚀的性能，即使在气流中带有大量水分，也不影响工作。由于穿孔直径小、板面光滑，因此由表面摩擦形成的沿程压力损失比一般阻性消声器要小，更适合高速系统和耐腐蚀、洁净系统的消声；但因片型较厚，局部压力损失偏大。以相同消声量和体量比较，微孔板消声器的压损普遍比阻性消声器大。

5.2.3 噪声控制工程实例

(1) 城市轨道交通地上线声屏障（屏障后有道路）



图 5-12 声屏障（屏障后有道路）与敏感建筑物相对位置

表 5-7 声屏障（屏障后有道路）监测结果

测点位置		昼间/dB		夜间/dB		备注
		监测值	背景值	监测值	背景值	
监测组 1	1 层	62.6	62.4	60.4	60.3	声屏障高约 3m，高架高约 10m，监测点距离近轨道中心线 58.4m
	3 层	63.2	63	59.3	59.1	
	6 层	66.6	66.4	60.9	60.4	
监测组 2	1 层	58.4	58.1	57.6	57.4	声屏障高约 3m，高架高约 10m，监测点距离近轨道中心线 35.6m
	3 层	58.2	57.9	57.1	56.7	
	5 层	60.9	60.5	59	58.8	

由表 5-7 中可以看出，由于道路和城市轨道交通同时存在，且敏感点背景超标，因此对轨道交通采取措施后保证两个敏感点的声环境质量没有恶化，达到验收要求。

（2）风亭、冷却塔降噪措施

根据某城市轨道交通环评及验收报告，对风亭、冷却塔采取了的措施包括：设置隔声门、消声器、设备与基础间减振垫、减振支吊架等措施。通过采取措施后，风亭、冷却塔等设备设施达到相关标准要求。

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围

本标准属于环境工程技术规范体系中的污染源类技术规范。

本标准适用于城市轨道交通引起的环境振动与噪声污染控制工程,可作为环境影响评价、工程设计与施工、建设项目竣工、环境保护验收及运行与管理的技术依据。

城市轨道交通主要包括以下几种制式:地铁、轻轨、单轨、有轨电车、磁浮、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统。

地铁是地下铁道的简称,是地下、高架、地面线路三者结合的大容量快速轨道交通。地铁的运能,单向在3万人次/小时,最高可达6-8万人次/小时。

轻轨是一种介于标准有轨电车和快速交通系统的,用于城市旅客运输的轨道交通系统,指运量或车辆轴重稍小于地铁的快速轨道交通。轻轨一般采用地面和高架相结合的方法建设,路线可以从市区通往近郊。列车编组采用3-6辆,单向运能为1-4万人次/小时。

单轨电车也称作独轨电车,指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统。以支撑方式的不同分为跨座式和悬挂式单轨的车辆采用橡胶轮,最高速度可达80 km/h,旅行速度为30-35 km/h,列车为4-6辆编组,单向运能为(1-2.5)万人次/小时。单轨电车的地形适应能力强。

现代有轨电车系统由电气牵引、轮轨导向,2-3节编组,单向运输能力为0.8~1万人/小时的低运量城市轨道交通系统。现代有轨电车系统工程投资少、建设周期短、线路布置灵活、选线方便、不独占路权、方便乘客乘降,但同时存在运量较低、速度较低、准点率稍差、景观效果有待改进等缺点。

磁浮是指利用常导磁铁或超导磁铁产生的吸力或斥力使车辆浮起,用以上的复合技术产生导向力。其最高运行速度不超过120公里/小时,单向运能为1-3万人次/小时。

市域快速轨道系统是指利用干线铁路或修建专用线路,开行于市中心区到卫星城镇、卫星城镇到卫星城镇间,主要满足市域范围内的出行需求。郊区铁路通常使用电力牵引和内燃牵引,列车编组多在4-10辆,最高速度可达100-120km/h,由于站距较地铁长,运行速度超过地铁。

目前,城市轨道交通的振动与噪声控制技术在我国发展最为成熟制式为地铁、轻轨。单轨电车、有轨电车、市域快速轨道系统等的发展尚未成熟,因此本

标准各部分内容的制定基础主要以地铁、轻轨的振动与噪声控制为基础，单轨电车、有轨电车、市域快速轨道系统等可参考本标准执行。

而磁悬浮交通与以上几种城市轨道交通制式不同，针对其振动与噪声污染防治的相关研究尚未成熟，且其振动与噪声控制技术与以上几种城市轨道交通制式有所不同，且因此本标准不适用于磁悬浮。

本标准主要内容从环境振动与噪声污染及其强度、总体要求、工程应用设计、主要工程措施及要求、安全与职业卫生、施工与验收、运行与维护这几个部分来规范控制工程措施的实施与管理。

6.2 振动与噪声的来源及其强度调查

6.2.1 振动与噪声的来源

本部分主要阐述城市轨道交通振动与噪声的来源以及其强度。

城市轨道交通振动主要由运行列车对轨道的冲击作用产生振动，并通过结构（隧道基础和衬砌或桥梁的墩台及其基础）传递到周围的地层，进而通过土壤向四周传播，诱发了附近地下结构以及建筑物振动。

城市轨道交通系统的噪声有两个主要来源，一是城市轨道交通地面线和高架线的列车运营引起的噪声，二是城市轨道交通（地下线）的附属设施：风亭、冷却塔、变电站等引起的噪声。

6.2.2 振动与噪声的强度调查

在 HJ453-2008《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》中规定了对运营期城市轨道交通的振动与噪声源强测量方法，并规定了声环境与振动环境的影响预测和评价方法，因此在本技术规范中应参照 HJ453-2008 中的规定执行。

其中对源强测量的规定如下：

（1）测量列车运行噪声源强时，传声器应距外轨中心线 7.5 m，距轨面高 1.5 m，测量列车通过时段的等效声级 L_{Aeq} ，取不少于 5 次算术平均值，并同时测量车速。测量时列车运行速度应为最高设计运行速度的 75%，或按实际运营线路的最高运行速度，速度的波动范围应小于 $\pm 5\%$ 。测量时背景噪声的声级应比被测声源的噪声级低 10 dB 以上。

(2) 测量风亭噪声源强时, 传声器距风亭当量距离 D_m 处, 测量高度应与风亭进、排风口同高度。风亭当量距离 D_m 的确定参照附录 B。

(3) 测量冷却塔噪声源强时, 传声器距冷却塔当量距离 D_m 处, 距安装基准平面高 1.5 m, 以冷却塔进风口方向的测点为准。当声源运转稳定时, 测量声源的 A 声级 LA 。测量时背景噪声的声级应比被测声源的噪声级低 10 dB (A) 以上。冷却塔当量距离 D_m 的确定参照附录 B。

(4) 测量列车运行振动源强时, 地下线测量时, 传感器应置于道床上部近轨外侧 0.5~1.0 m 处; 地上线测量时, 传感器应置于外轨中心线 7.5 m 地面处。在 60 km/h 速度下, 测量列车通过时段的 VL_{z10} 和 VL_{zmax} 值, 取不少于 5 次算术平均值, 并同时测量车速。

6.3 总体要求

本部分内容主要是针对城市轨道交通环境振动与噪声控制工程应遵循的一般原则。科学预估拟建轨道交通设施的潜在环境振动与噪声污染影响及可控程度, 优先通过合理规划、优化设计, 避免或减少轨道交通振动与噪声污染; 对仍存有的污染, 在进行振动与噪声控制工程措施设计和选取时应首先采用源强减振降噪的方式, 如果源强的减振降噪不能满足要求, 其次采取传播途径、建筑物防护等减振降噪措施综合治理。

(1) 振动控制措施

振动控制措施按振动传播路径可以分为以下三种:

- a) 源强减振措施, 主要有采取道床减振、轨枕减振、扣件减振等方式;
- b) 传播路径的减振措施, 主要有隔振沟、隔振墙等措施;
- c) 建筑物防护措施, 主要有建筑物基础隔振、隔振楼板、隔振地板等。

目前, 我国城市轨道交通减振措施已经发展成熟并广泛使用的措施为: 道床减振、轨枕减振、扣件减振措施。但是随着我国主要城市城市轨道交通线路的加密, 导致部分区域振动超标严重, 单独采取源强减振的方式不能满足减振要求, 因此在规范中提出采取振源、传播途径、建筑物防护综合减振措施。

(2) 噪声控制措施

噪声控制措施按照噪声的传播路径可以分为以下三种:

- a) 源强降噪措施, 主要有降低轮轨间振动、采用低噪声设备、设备基础减振等措施
- b) 传播路径降噪措施, 主要有声屏障、隔声罩、消声器等措施。
- c) 建筑物防护措施, 主要有隔声窗、建筑物外围护结构隔声防护等措施。

噪声产生的主要原因是由于振动, 因此在噪声源强降噪措施中, 降低城市轨道交通轮轨间的振动以及其附属设备设施的振动, 可以有效的从源强降低噪声。

因此城市轨道交通的振动与噪声控制应减振降噪相结合、多种措施相配合, 达到城市轨道交通减振降噪的要求。

城市轨道交通在设计、施工建设、运营时, 振动与噪声污染控制工程必须与城市轨道交通主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用, 以保证城市轨道交通周边的敏感建筑物不受振动与噪声的影响。

城市轨道环境振动与噪声控制工程还应符合我国现行相关环保法律法规、技术政策、设计规范以及相关环境噪声、振动标准, 遵循以人为本、源强控制、达标排放的原则, 综合考虑技术经济效益、社会与环境效益。

6.4 工程设计

本部分内容主要对于城市轨道交通引起的环境振动与噪声控制措施的工程设计进行规定, 主要包括振动控制工程和噪声控制工程两个方面。

振动与噪声控制工程设计时应明确减振降噪工程的控制要求, 从理论上来说, 控制要求应根据确定的环境功能区以及敏感点环境振动与噪声的超标量确定, 而超标量的确定应根据源强、预测或实测环境振动值/噪声值、国家标准规定限值综合确定, 或者根据城市轨道交通建设项目环境影响评价文件批复中的规定执行。

在工程设计时, 设计量应在超标量的基础上, 考虑到由于预测、类比测试等方式造成的误差及施工过程中引起的减振降噪效果降低等误差, 因此实际的工程设计量应为超标量与由于误差导致的设计裕量的之和。

6.4.1 振动控制工程

根据编制说明第 5 章中对现有城市轨道交通引起的环境振动污染的防治措

施的调查显示,目前,针对城市轨道交通引起的环境振动的减振措施主要分为道床减振措施、轨枕减振措施、扣件减振措施、传播路径隔振以及建筑物隔振等方式。

编制组对北京等地的已运行线路的减振措施的效果进行了测试分析,测试了根据目前先锋型扣件、轨道减振器型扣件、IV 型扣件、钢弹簧浮置板型道床、减振垫式浮置板道床、梯形轨枕等常用的减振措施减振效果。通过对以上常用的振源减振措施的减振效果进行总结,得到各类道床减振措施的减振效果为 10-20dB; 各类轨枕减振控制工程措施的减振效果在 6-13dB; 各类扣件减振控制工程措施的减振效果 2-8dB。以上结论基于大量的实测数据得到,且该减振效果是对于隧道壁上点的减振效果,由于地质条件、埋深、隧道结构等原因,各减振措施对于地面的减振效果可能低于在隧道壁上的减振效果。

在振动控制工程设计时不应单独以减振效果为依据,还应该符合《地铁设计规范》、《隔振设计规范》、《地铁限界标准》等国家现行的城市轨道交通项目的相关标准规范。

振动控制工程的铺设长度与敏感点能否达到控制要求密切相关,工程设计时,控制措施的铺设长度应大于敏感点沿城市轨道交通方向的长度。这个两端延长的长度我们一般称为过渡段。过渡段长度的设计原则是应保证非隔振路段随距离衰减的振动值能匹配减振措施的减振效果,确保措施的实际减振效果达到设计要求或满足减振需求。

6.4.2 噪声控制工程

噪声的控制工程根据城市轨道交通引起的环境噪声的特点可以分为:隔声工程和消声工程。其中隔声工程主要分为城市轨道交通列车引起的隔声工程,以及城市轨道交通附属设施设备引起的隔声工程;

而消声工程主要是城市轨道交通附属设施设备的风亭、冷却塔等引起的噪声控制工程。

(1) 隔声

根据编制说明第 5 章的隔声措施主要有声屏障、隔声窗、隔声罩等措施。

1) 声屏障设计

声屏障的位置,依据《声屏障声学设计和测量规范》HJ/T90-2004 中的基本原则,同时满足城市轨道交通运营安全及国家现行标准规范规定的基础上确定。且声屏障的位置应尽量靠近城市轨道交通干线。

随着城市建设的发展,城市轨道交通建设的加快,城市轨道交通将会穿过人口密集的居住区,而现代化的住宅多以高层住宅为主,因此城市轨道交通声屏障应用中比较常见全封闭、半封闭型声屏障。为了城市轨道交通运营安全,在采取全封闭声屏障时,应采取适当的通风消防措施。

声屏障的长度是影响声屏障的隔声性能的重要因素,为保护声屏障的隔声效果,声屏障的两端纵向延伸长度应使其对敏感点具有与声屏障设计插入损失相匹配的声衰减。

在关于印发《铁路建设项目环境影响评价噪声振动源强取值和治理原则指导意见》(铁计[2010]44 号)中推荐了联邦德国声屏障附加长度计算公式。编制组根据城市轨道交通的特点,利用 Soundplan 软件对该公式的对城市轨道交通的适用性进行了验证,利用该公式计算的声屏障附加长度基本满足声屏障设计要求。

2) 隔声窗的设计

建设部于 2010 年发布了 GB50118-2010《民用建筑隔声设计规范》,其中强制性条文的方式规定了住宅、学校等敏感建筑外窗的空气声隔声性能。因此,本标准中对隔声窗的隔声性能的最低值进行了规定,当根据本规范中隔声窗的工程设计量低于 GB 50118 中规定的住宅学校等敏感建筑外窗空气隔声量时,隔声窗的交通噪声隔声指数最低设计值应按 GB 50118 中 30dB 的规定执行。

3) 隔声罩的设计

对于城市轨道交通列车引起的噪声污染防治主要为声屏障和隔声窗措施,而对于城市轨道交通附属设施设备等固定噪声源隔声措施有隔声罩、声屏障等措施。

隔声罩可以有效地阻隔噪声的外传,减少噪声对环境的影响,但会给维修、监视、管路布置等带来不便,并且不利于声源设备的散热,有时需要通风以冷却罩内的空气,或满足仪器设备自身的通风散热要求。

为了能达到一定的隔声量，隔声罩需内衬吸声材料。隔声罩要密封，否则稍有缝隙或孔洞将影响其隔声性能。

(2) 消声

消声设计解决空气动力机械设备辐射的空气动力性噪声。消声器的设计时，其消声频率应与噪声源的频率特性相一致，以达到最佳的消声效果。

此外，消声器设计时，由于其出风口声音较大，应避免出风口正对敏感点。

6.5 主要工程措施及要求

6.5.1 振动控制工程

(1) 道床减振措施

根据编制说明第 5 部分的研究表明，目前最常见的浮置板道床隔振措施。道床减振措施主要包括钢弹簧浮置板轨道、橡胶浮置板轨道、减振垫式浮置板轨道减振措施。

浮置板道床隔振措施的固有频率较低，在进行减振措施的选取时应注意避开浮置板道床固有频率。

对于浮置板道床我国已经有了相应的行业标准——《CJJ/T 191 浮置板轨道技术规范》，该规范中对浮置板道床的隔振元件的技术要求进行了详细的规定，因此，本标准中就不再进行详细的规定和说明。

(2) 轨枕减振措施

轨枕减振措施目前常用的有梯形轨枕、弹性轨枕、套靴轨枕等。

本部分主要多轨枕类减振措施应满足的共性要求进行了规定，其中梯形轨枕选取时应满足其行业标准《CJ/T 401 梯形轨枕技术条件》的技术要求。

(3) 扣件减振措施

针对城市轨道交通的减振的扣件种类很多，其多数有其行业标准或产品标准，因此本标准中正文中没有对其进行一一排列，用一句话概况性的进行了表述，要求各类减振扣件应满足其相应的标准规范。

由于我国对于减振扣件的减振效果设计没有相应的规范，因此，对于减振扣

件减振效果的设计要求，应参考欧盟标准——《EN 13481-6 铁路应用 轨道 紧固系统的性能要求 第 6 部分：专用紧固系统振动衰减（Railway Applications - Track - Performance Requirements for Fastening Systems - Part 6: Special Fastening Systems for Attenuation of Vibration）》。

6.5.2 噪声控制工程

（1）隔声

1) 声屏障

本部分对声屏障的相关构件、材料等技术参数进行了规定。其中：声屏障材料选择参考《TB/T3122 铁路声屏障声学构件技术要求和测试方法》的相关规定；声屏障的结构设计应考虑到地基及屏体所受的各项荷载，应满足设计要求。

由于城市轨道交通地上线高架段的路基承受荷载有限，在设计声屏障时应尽量降低声屏障的重量，但应不引起声屏障与桥梁的共振，造成二次噪声污染。

2) 隔声窗

本部分主要对隔声窗选取时应满足的相应的要求。根据编制组对 150 樘标准窗和 200 樘非标准窗的实验室测试分析，得出推拉型式隔声窗的隔声效果明显低于平开型式的隔声窗隔声效果。这主要与推拉窗的开启面积大和密封方式有关。

根据厂家调研，目前北京市既有敏感建筑物外窗的型式主要有以下几种：推拉窗、平开窗、外开上悬窗、内开下悬窗等。由于隔声窗改造工程主要针对既有敏感建筑物，因此考虑成本及双层窗隔声效果，在原有建筑外窗满足使用要求且为中空玻璃配置时，可在敏感建筑物外窗的内侧或外侧加装一樘隔声窗。加装隔声窗的窗型推荐考虑了已有建筑外窗的形式和适合加装的位置。

隔声窗型材的壁厚、宽度及厚度与隔声窗的隔声性能直接相关，因此，在规范中对型材进行了满足相关标准规范的要求。

隔声窗中玻璃占主要面积，同时也是隔声窗隔声性能高低的主要决定因素。编制组对目前常见的玻璃配置的隔声窗隔声性能进行了测试分析，得出以下结论：a) 当中空玻璃总厚度和空气层厚度相同时，中空玻璃的每层玻璃采取不同厚度时，隔声窗的计权隔声量和交通噪声隔声指数都会有明显的上升。例如：

4+12A+8 配置的单扇平开隔声窗的交通噪声隔声指数为 35dB；6+12A+6 配置的单扇平开隔声窗的交通噪声隔声指数为 31dB。b) 当玻璃配置相同，空气层厚度增加时，隔声窗的隔声量也会增加。其中，5+9A+5 配置的隔声窗的交通噪声隔声指数为 29dB；5+12A+5 配置的隔声窗的交通噪声隔声指数为 29dB；5+16A+5 配置的隔声窗的交通噪声隔声指数为 30dB；5+21A+5 配置的隔声窗的交通噪声隔声指数为 31dB。

五金配件是影响隔声窗使用寿命及隔声窗寿命期间内密封性能的主要因素。因此，为保证隔声窗寿命期间内良好的密封性能。

密封材料的密封性能及使用寿命是影响隔声窗密封性能的主要因素，而隔声窗的密封性能的好坏直接影响隔声窗的隔声性能。推拉型式的隔声窗隔声性能低于平开型式的隔声窗的主要因素之一是推拉窗的密封性能低于平开窗。

3) 隔声罩

本部分对于城市轨道交通的固定噪声源采取的隔声罩措施在设计和选取时应满足的要求进行了规定。

(2) 消声

消声器是降低通风系统噪声的有效措施，消声器选择时，其频率范围、流苏、流阻等参数应满足设备、设施的要求。

6.6 劳动安全与职业卫生

本部分规定了振动与噪声控制工程施工过程中应贯彻的劳动安全与职业卫生的原则。劳动安全与职业卫生是从保障设施的正常运行和保护人民身体健康的基本要求出发，根据 GBZ1、GB12801 等有关法规、标准的要求，从劳动安全和职业卫生两方面论述。这里不仅要体现运行全，还要体现劳动安全和职业卫生，防止职业病的发生，保障人们身体健康。

6.7 施工与验收

6.7.1 施工

因国家对建设项目的施工有相关的法律、法规、标准、规范，且减振降噪产品的企业对本企业内的产品施工过程也都有相关的技术文件，因此本标准中的振

动与噪声控制工程的施工部分主要对影响工程减振降噪效果的相关要求进行了规定。

6.7.1.1 振动控制工程

由于部分措施对于土建阶段的施工精度要求较高,若土建施工预留的隧道结构高度不满足减振措施的实施要求,可能会严重影响减振措施的减振效果。

(1) 道床减振措施

针对道床减振措施的施工,由于钢弹簧浮置板道床施工与橡胶浮置板和减振垫浮置板道床的施工差异很大,因此分开进行了规定。

其中:影响钢弹簧浮置板道床减振性能的施工主要包括:隔振器安装处轨道基础表面的平整度、隔振套筒与预制道床的精度、排水沟的设置和与普通道床的衔接、隔离层与隔振原件之间的妥善密封以及完工后的浮置板周边的隔离及密封等。

影响减振垫/橡胶浮置板道床减振性能的施工主要包括:减振垫/橡胶隔振支座/垫的铺设、减振垫/橡胶隔振垫的密封、缝隙的处理等。

(2) 轨枕减振措施

轨枕减振措施的减振效果受施工影响的主要包括以下几个方面:轨枕与减振垫层的粘结和密封施工;轨枕布设时,轨枕的静态几何尺寸;若采取梯形轨枕时,梯形轨枕侧面粘贴隔离材料、轨枕、减振部件和缓冲部件间的缝隙、梯形轨枕轨排尺寸与轨道措施实施长度的匹配等;若采取弹性轨枕时,弹性轨枕的套靴施工、轨枕底部的弹性垫层施工等。

(3) 扣件减振措施

由于目前我国用于城市轨道交通的扣件种类较多,且各个产品间的具体施工和施工细节都会有所不同,本部分主要针对扣件减振措施施工过程中通用的部分进行了规定,主要包括:扣件弹性垫板的安装、钢轨调高、轨距调整等因素。其中浮轨扣件作为扣件中减振效果最好的措施之一,其安装时应注意钢轨下部的缝隙的尺寸及钢轨与橡胶砌块间的接触紧密程度。

6.7.1.2 噪声控制工程

在国家、行业、产品厂家的相关施工标准、施工技术文件中，对于声屏障、隔声窗、消声器等噪声控制工程的施工流程中的各个环节进行了工程施工质量控制，但是对于影响噪声控制措施降噪效果的施工质量控制并没有明确指出，该部分主要对影响降噪效果的面施工质量控制进行了明确。

其中，声屏障、隔声窗、隔声罩施工时，应避免缝隙的漏声，对缝隙采取密封措施；还应避免隔声构件与产生噪声的结构刚性连接，以免造成二次辐射噪声的影响。

对于消声器，施工过程中应注意保证气流的平滑过渡，避免气流的突变造成的局部噪声放大现象；此外，消声器安装时需要支架或吊架，支架或吊架应采取减振措施，防治消声器的振动传播到墙体，导致结构传声。

6.7.2 验收

6.7.2.1 工程验收

目前我国对建设项目施工的工程验收有相应的标准和规范，因此工程施工必须符合我国现行的建设项目工程验收规范。工程验收依据主要是和工程相关的批复文件，设计文件和合同等，工程的基本技术要求和设计、施工必须满足上述文件的要求。

6.7.2.2 环境保护验收

本规范中对验收时应遵循的振动环境质量、声环境质量及工业企业厂界排放限值进行了规定，并要求验收方式应按照 HJ 403-2007《建设项目竣工环境保护验收技术规范 城市轨道交通》中的相关规定执行。

我国于 2008 年颁布实施了 HJ 403-2007《建设项目竣工环境保护验收技术规范 城市轨道交通》，该标准规定了城市轨道交通建设项目竣工环境保护验收的一般技术性规范要求，其中对城市轨道交通引起的环境振动与噪声的环境保护验收也进行了详细的规定。

6.8 运行与维护

城市轨道交通环境振动与噪声控制工程的运行与维护应按照减振降噪措施

的技术要求、城市轨道交通运营要求，定期有专人对振动与噪声控制工程进行维护保养，若发现问题应得到及时处理。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

本标准对城市轨道交通的减振降噪措施的设计、施工、验收、运营维护等各个环节提出了要求，对城市轨道交通环境振动与噪声控制工程的实施和管理具有指导意义和实用价值，同时有利于环保部门进行相关管理和验收工作。振动与噪声控制工程是城市轨道交通建设的环境保护的重要内容，具有较大的社会效益和环境效益。

本标准的实施，将会有效防治城市轨道交通振动与噪声污染，同时可避免因措施设计不到位、措施选取不合理、材料设备不达标、施工不完善等原因造成的城市轨道交通振动与噪声污染问题，对促进人与环境和谐发展，保障社会经济可持续发展具有重要意义。

8 标准实施建议

为了推行本标准的实施，改善当前城市轨道交通环境振动与噪声污染的现状，需要国家和地方政府实施一系列振动与噪声控制设施运行管理相关政策，强化控制设施运行的监管力度。

同时，需要政府采用鼓励措施，调动企业开展低振动、低噪声设备研发的积极性，从源头上消减、控制振动与噪声污染。

本技术规范为首次制定，建议在实施过程中，应根据反馈的问题及技术进步的情况，进行进一步的修订完善、更新标准的内容。