

附件3

《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》编制说明

（征求意见稿）

《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》编制组

2013 年 8 月

项目名称：城市轨道交通噪声与振动控制技术政策

项目统一编号：42.1.2

承担单位：北京市劳动保护科学研究所、国家环境保护城市噪声
与振动控制工程技术中心、北京宝曼科技有限公司

主要起草人：张斌、王世强、户文成、宋瑞祥、李磊、毛旭东、
侯瑾

项目管理负责单位及负责人：清华大学环境学院 高志永

主承担单位及项目负责人：中国环境科学研究院 党秋玲

环保部科技标准司项目管理人：刘睿倩

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务由来.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 城市轨道交通发展及控制技术概况	2
2.1 城市轨道交通发展概况	3
2.2 城市轨道交通噪声振动控制技术概况	4
3 制订技术政策的必要性	14
3.1 我国城市轨道环境噪声与振动污染形势严峻.....	15
3.2 我国缺乏噪声振动控制技术指导付出的代价高昂	17
3.3 控制噪声振动污染是公众的追求目标.....	17
4 国内外相关技术政策研究	18
4.1 国内技术政策及标准法规	18
4.2 国外相关政策及法规.....	22
5 技术政策制订的基本原则、编制依据和技术路线	29
5.1 基本原则.....	29
5.2 编制依据.....	29
5.3 技术路线.....	31
6 主要技术内容的说明	31
6.1 总则.....	31
6.2 合理规划	33
6.3 优化设计.....	35
6.4 源头措施.....	36
6.5 传播途径消减.....	37
6.6 敏感目标.....	39
6.7 鼓励研发的新技术、新产品、新工艺	42

1 项目背景

1.1 任务由来

为防治城市轨道交通噪声与振动污染，保证人们正常生活、工作和学习的声与振动环境质量，保护既有文物古迹，保障影响区域内的精密仪器的正常使用，促进城市轨道交通噪声与振动污染防治技术进步，环境保护部发布了《关于开展 2012 年度国家环境技术管理项目计划工作的通知》（环办函〔2012〕328 号），将《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》列入 2012 年项目计划。项目由北京市劳动保护科学研究所、国家环境保护城市噪声与振动控制工程技术中心和北京宝曼科技有限公司承担完成。

1.2 工作过程

2012 年 3 月，根据项目要求，成立了《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》编制组，确定了项目任务分工；明确项目的工作计划和进度安排。编制组结合既有的工作基础，进一步收集国家相关产业政策、行业发展规划及国内外有关的污染控制技术等资料，并开展了大量的调研工作。

（1）现场考察

编制组深入北京、河北、湖北、湖南等地的企业进行实地调研，收集了相关资料。掌握了企业的产品信息，技术现状，应用条件和措施控制效果。

（2）技术政策编制培训

为了贯彻落实《国家环保技术管理体系建设规划》，规范污染防治技术政策的制修订工作，确保技术政策科学严谨，并具有可操作性，以推动我国污染防治技术的发展，在 2012 年 6 月，环保部科技标准司在北京召开了技术政策编制培训会。本技术政策的主要编制人员参加了培训，掌握了技术政策框架及编制的方法。会后，本技术政策编制人员认真研读了由环境保护部科技标准司编制的《污染防治技术政策编制要求（试行）》，明确了技术政策编写的基本要求，结构框架和主要组成内容，对污染防治技术政策的编制工作流程和编写格式进行了认真学习，确保项目的工作程序、格式符合环境保护部的要求。

(3) 开题报告及项目论证

编制组结合既有的工作基础和研究成果,结合国内外城市轨道交通噪声与振动污染防治措施的应用情况和技术现状,初步确定了技术政策的框架体系,编制了《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》初稿及其开题报告。

2012 年 9 月,环境保护部科技标准司在北京组织召开了《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》开题论证会,参加会议的有北京交通大学、中国环境科学研究院、中国铁道科学研究院、中国铁道科学研究院咨询公司、北京易科路通铁道设备有限公司的专家和代表。会议期间,与会专家对技术政策的框架结构和技术内容提出了许多具体的修改意见。编制组对此十分重视,并一一记录,在后续工作中重点论证和修改完善。

(4) 征求意见稿讨论会

为全面准确掌握城市轨道交通环境噪声与振动污染防治水平和技术现状,规范技术的应用和引领行业的健康发展,完成国家环境保护部《城市轨道交通噪声与振动控制技术政策》(简称《技术政策》)指导文件的编制,2013 年 4 月 23 日我所组织召开了《技术政策》项目的专家咨询研讨会。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、国家环境保护城市噪声与振动控制工程技术中心、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。与会专家和代表集思广益,围绕《技术政策》展开了交流和讨论,提出了很多建设性的意见和建议。编制组将对专家提供的资料和意见进行归纳、整理和研究,为《技术政策》(征求意见稿)定稿提供参考。

2 城市轨道交通发展及控制技术概况

2.1 城市轨道交通发展概况

城市轨道交通的发展在世界已有 100 多年的历史。1863 年世界上第一条地铁在英国伦敦建成通车，标志着城市轨道交通方式的诞生。经过 100 多年的发展，城市轨道交通的类型变得多种多样，目前城市轨道交通有地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车以及磁悬浮列车等多种类型。城市轨道交通系统以其便捷、快速、准时、节能、有效缓解地面交通拥堵的优势，越来越成为全球各大城市开发建设的热点，并逐渐成为一个国家综合国力、城市经济实力、人们生活水平及现代化的重要标志。在不同国家、不同发展阶段内，凡经济发达的国家与城市都建有地铁。城市轨道交通已经成为占用土地和空间最少、运输能量最大、运行速度最快、环境污染最小、乘客最安全舒适的理想交通方式，被誉为“城市交通的主动脉”。就世界范围而言，1950 年以前开通地铁的城市数目较少，其中两次世界大战对地铁的建设产生了较大的影响。进入 20 世纪中叶，地铁的建设开始加速，新开通地铁的城市数量不断增加，地铁建设的重点地区也不断变化。1863-1900 年，新开通地铁的城市仅有 7 个，主要集中在欧洲以及北美的美国；而在 20 世纪前 50 年里，前开通地铁的城市数量一共只有 13 个，但是建设的重点地区已经开始变化，亚洲取代北美洲成为地铁建设的重点地区。而在 20 世纪后半叶，新建地铁城市的数量急剧上升，从 1951-1975 年间新增 30 个到 1976-2000 年间新增 62 个。在 2000 年后仅三年时间里面，新增地铁的城市就有 9 个。欧洲一直是地铁建设的重要地区，这很大程度上得益于欧洲的经济水平发展和公共交通政策。随着 20 世纪 50 年代以后许多第三世界国家的独立以及经济发展，地铁开发热点地区开始转向亚洲、南美洲等发展中国家和地区。就世界范围来看，欧洲是地铁总通车里程最长的地区。截止 2003 年底修建地铁的城市共有 51 个，占全世界城市数目的 42%，总通车里程超过 3000Km，约占全世界总通车里程的 42%；亚洲虽然地铁建设起步较晚，但是发展迅速，其总通车里程已超过 2000Km，居第二位。

而我国，随着我国经济社会的发展和城市化进程的加快，城市轨道交通建设得到了快速的发展。“十一五”期间，我国的主要大城市，北京、上海、广州、天津、重庆、南京、武汉、长春、深圳、大连、成都、沈阳、佛山 13 座城市，先后建成并开通运营了 51 条城市轨道交通线，轨道交通运营里程达到 1469 公里，其中上海地铁运营总里程 420 公里，北京运营总里程超过 300 公里。

“十二五”期间，计划于 2015 年前后将规划建设 96 条轨道交通线路，建设线路总长 2500 多公里，建设规模将是“十一五”期间的两倍左右。预计到 2015 年，北京城市轨道运营总里程将达到 561 公里；而上海将延伸突破 600 公里，将超过伦敦成为世界上城市轨道运营里程最长的城市。“十二五”期间，绝大多数城市的轨道交通都将进入高速建设和发展的黄金期，全国将有一半以上的大中城市拥有城市轨道交通。

2.2 城市轨道交通噪声振动控制技术概况

城市轨道交通的大力发展既解决了交通拥堵问题又能提高土地资源利用，具有其它交通方式所无法比拟的优点。但由于轨道交通大多穿越或位于闹市区，城市轨道交通引起的环境振动与噪声日益显著。针对城市轨道交通引起的噪声与振动的控制，已是国内外环保领域的热点。

2.2.1 振动控制措施

振动控制措施常使用于有减振需求的线路，目前国内外使用非常地普遍，已经是一项较为成熟的技术。在上世纪，针对轨道的减振措施就已得到广泛的应用，见表 1。

表 1 减振措施的应用情况

名称	使用时间	国家\城市	线路
梯形轨枕	1998 年	日本	横滨高速铁道
科隆蛋(COLOGNE EGG)	1980 年	德国	KVB 铁路
VANGUARD 扣件	1990 年末	英国	伦敦地铁
橡胶浮置板道床	1954 年	加拿大	多伦多地铁
浮置板轨道结构(有渣、无渣)	1965 年	德国	科隆地铁(1968 年后)

减振降噪型轨道结构分三类：弹性扣件、弹性支承块和浮置板。

(1) 轨道减振器扣件

钢轨扣件由扣压件、轨下垫层和联结螺栓组成。目前，国内地铁通常采用的扣件型式主要有 DTI 型 ~ DTVII 型、WJ-2 型和单趾弹簧扣件等，这些扣件主要用于一般减振要求的路段。

我国地铁线路使用的扣件主要有：

① DT 系列，主要用于地下线，有 DTI、DTII、DTIII、DTIV、DTVII 等。上海地铁采用了 DTIII 型扣件 (图 1)。该扣件采用二级减振，在钢轨和铁垫板下都设绝缘橡胶板，扣件的弹性、减振效果较好。



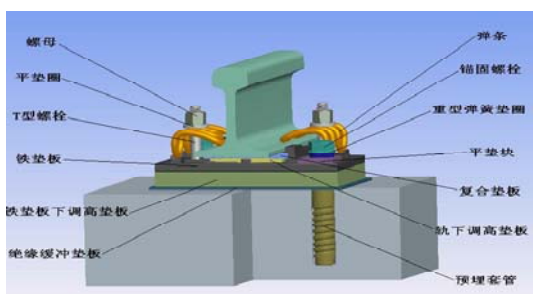
DTVI2 型扣件



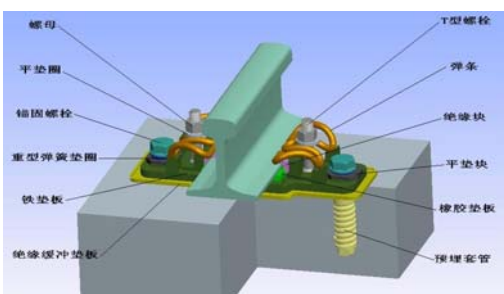
DTVII2 型扣件

图 1 DT 系列扣件

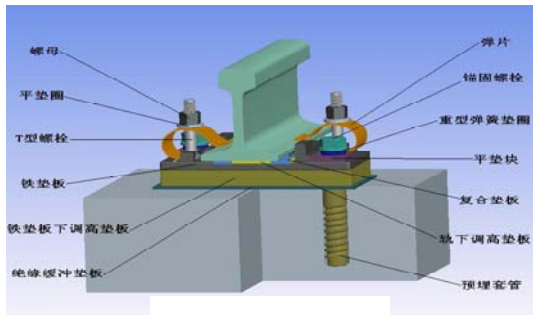
② WJ 型扣件，WJ 型扣件主要用于高架线，常见有 WJ-2、WJ-4、WJ-7、WJ-8 型等，WJ-2 型扣件用于桥上无碴轨道 (图 2)。



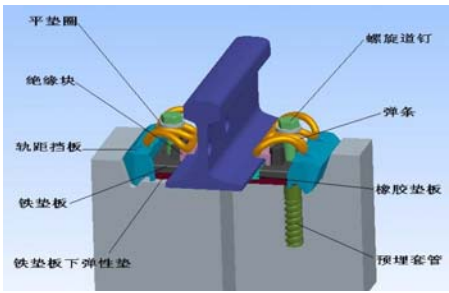
WJ-2 型扣件



WJ-7 型扣件



WJ-1 型扣件



WJ-8 型扣件

图 2 WJ 型扣件

③ Cologne -Egg 弹性扣件 (又称轨道减振器)

Cologne -Egg 弹性扣件是在减振要求较高地段采用的轨道减振器扣件(图 3)。该扣件的承轨板与底座之间用减振橡胶硫化粘贴在一起,利用橡胶圈的剪切变形获得较低竖向刚度。

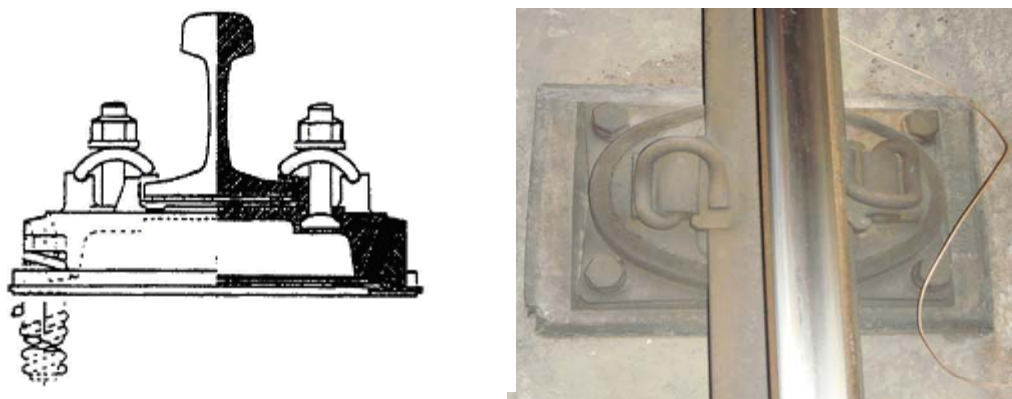


图 3 轨道减振器

④ 弹条扣件

弹条扣件常用的有弹条 I 型、II 型、III 型,有弹性分开式和弹性不分开式两种。弹条 II 型一二阶弹性分开式,常用于桥上板式轨道,与 WJ-7 类似深圳、天津,适用于地下线一般减振地段(图 4)。



弹条 I 型扣件



弹条 II 型扣件

图 4 弹条扣件

⑤ 特殊扣件

特殊扣件主要有先锋扣件。先锋扣件一般由橡胶支撑块、铸铁底板、侧挡板、挡肩、轨距锁紧块、耦合垫板、锚固系统、锁紧弹条以及防撞垫板等组成(图 5)。

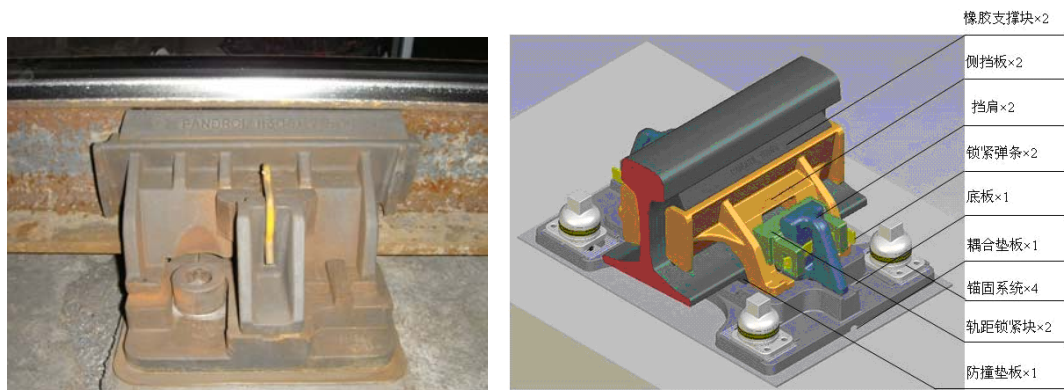


图 5 先锋扣件实物及结构示意图

城市轨道交通扣件的应用情况，见表 2。

表 2 城市轨道交通扣件一览表

扣件名称	扣件类型		适用轨型 (kg/m)	适用范围	铺设地点
	是否分 开式	有无 T 型 螺栓			
DTI 型扣件	是	有	50	地下线	北京地铁 1、2 号线
DTII 型扣件	是	有	60	地下线	上海地铁 1、2 号线
DTIII 型扣件	是	有	60	高架线	北京地铁 5 号线
DTII2 型扣件	是	有	60	地下线	北京地铁复八线复西段
DTIV 型扣件	是	有	50	地下线	深圳地铁一期车辆段库外线
DTIV1 型扣件	是	有	50	木枕碎石 道床	北京地铁复八线
DTIV 型扣件	是	无	50、60	地下线	
DTIV1 型扣件	是	无	60	高架线	北京地铁复八线、13 号线
DTVII2 型扣件	是	无	60	地下线	北京地铁 13 号线、八通线
DTVII3 型扣件	否	无		混凝土枕 碎石道床	上海地铁 2 号线
DTVII 型扣件	是	有	60	高架线	上海地铁 2 号线
DTVII2 型扣件	是	有	60	高架线	上海明珠线一期
WJ-2 型扣件	是	有	60	高架线	深圳地铁一期
WJ-4 型扣件	是	无	60	地下线	大连现代有轨电车
WJ-5 型扣件	是	无	50	高架线	广州地铁 1、2 号线
单趾弹簧扣件	是	无	60	地下线	广州地铁 1、2 号线
轨道减振扣件	是	有	60	地下线	上海地铁 1 号线

(2) 弹性支承块轨道结构(LVT)

① 国内外低振动轨道结构使用简况

弹性支承块轨道(Low Vibration Track , 简为 LVT), 具有较好的减振性能,降低轮轨之间的动力作用,使列车运行平稳。

据瑞士联邦铁路的轨道检查记录显示,运营了1~7年的LVT几何状态仍可保持在标准范围之内。

由于LVT的减振降噪效果较为明显,因此,城市轨道交通中对振动和噪声敏感的地段,特别是高架结构,弹性支承块式无碴轨道结构是一种比较理想的选择方案。

② LVT 的结构

LVT 结构由弹性支承块、道床板和混凝土底座及配套扣件构成。弹性支承块由橡胶靴套包裹的钢筋混凝土支承块以及块下大橡胶垫板组成。

LVT 结构的垂向弹性由轨下和块下双层弹性橡胶垫板提供,最大程度地模拟了传统弹性点支承碎石道床的结构和受荷响应特性,并使得轨道纵向弹性点支承刚度趋于一致。通过双层弹性垫板刚度的合理选择,可使轨道的组合刚度接近有碴轨道的刚度。支承块外设橡胶靴套提供了轨道的纵、横向弹性变形,使这种轨道结构在承载能力和振动能量吸收诸方面更接近坚实均匀基础上的碎石道床轨道,以适应低振动、低噪音的要求。双层弹性垫板的轨道振动特性可使轨道的几何形位在长时间内保持稳定。

(3) 梯形轨枕

梯形轨枕原是日本减振轨道技术,该轨道系统自1996年起在日本JR东日本, JR北海道, 海南电铁, 筑波新线等应用, 2005年第一次在北京地铁5号线试验铺设后, 取得了很好的减振效果。目前已在中国北京, 上海, 广州, 深圳等轨道交通中得到广泛应用。

梯形轨枕轨道是第二代板式轨道, 它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。这种设计,还可在很大程度减小结构噪音,成为一种“低噪音、低振动的轨道构造”。

梯形轨枕既可应用在无碴轨道,同时也可应用在有碴道床;可极大降低有碴道床的维护保养量。

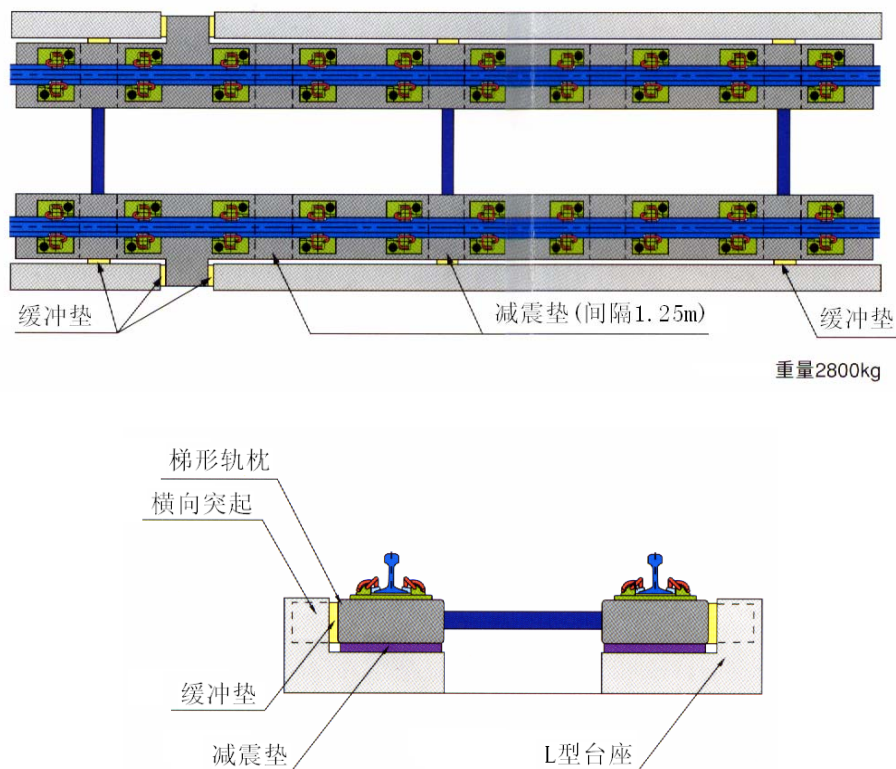


图 6 梯形轨枕轨道系统

(4) 浮置板式轨道结构

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。

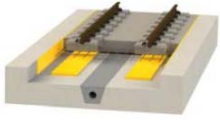
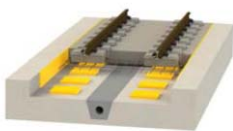
最早采用浮置板式轨道结构的是联邦德国。德国先开发的是有道碴的浮置板轨道结构。在多特蒙德的一座轻轨铁路隧道内铺设了试验段。此后, 在科隆地铁以及迪塞尔多夫的轻轨上铺设了无碴浮置板式轨道。由于其良好的减振降噪性能, 这种结构在华盛顿、亚特兰大、多伦多、布鲁塞尔等地均有铺设。我国第一次采用浮置板式轨道结构的城市轨道交通线路是广州地铁 1 号线。

(5) 其它减振降噪方式

① 减振垫

减振垫一般采用高分子材料，如聚氨酯、天然橡胶、氯丁橡胶等。通常做成支承或连接件，广泛用于各种车辆、船舶、机械、桥梁、建筑中，以消除或减缓振动的影响。目前，减振材料在德国、瑞士等很多国家的建筑物、地面振动防护方面均有应用，效果较好。减振垫在我国也有成熟的应用。如在重庆地铁 6 号线的黄茅坪站至高义口站区段，使用了奥地利 Getner Werstoffe GmbH 生产的聚氨酯微孔弹性体减振材料，具有较好的减振效果。

表 3 减振垫铺设方式及减振效果

编号	铺设方式	示意图	固有频率	减振等级
1	全表面支撑轨道		14-25	高等减振
2	线式支撑质量弹簧系统		8-15	高等和特殊减振
3	点式支撑质量弹簧系统		5-12	特殊减振

② Edilon 钢轨埋置式板式轨道结构

荷兰 Edilon 公司研制了一种以纵向连续支承取代传统的分散点支承、增加了轨底支承系统应力水平的埋置式轨道结构。从 1976 年开始，荷兰就铺设了埋置式轨道结构 (Embedded Rail Structure, 简为 ERS)。实践证明，由于这种轨道结构在钢轨周围使用了一种称为 Edilon Corkelast 的材料，取得了较好的隔声和隔振效果。该类型的轨道结构使用 20 年来，养护维修工作量相当少。近几年，在荷兰阿姆斯特丹至比利时边境修建了 3km 试验段，效果良好。

③ D 型可更换式弹性直结轨道

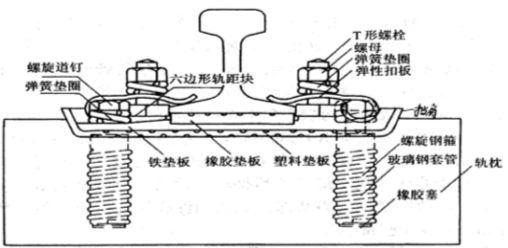
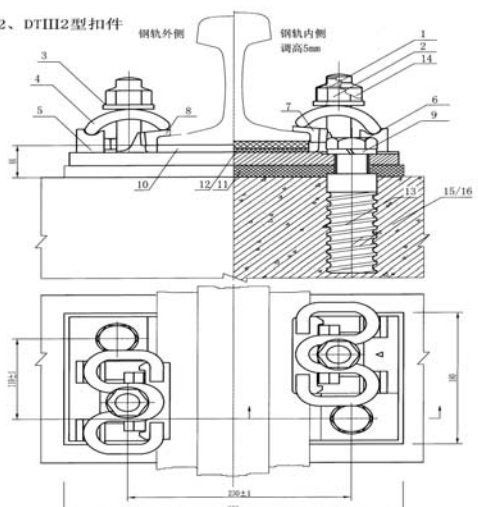
这种轨道结构大量应用于日本的高速铁路和地铁系统，使用历史已有 20 多年。其特点是：可以不破坏周边混凝土而方便地进行轨枕下胶垫的更换及高低调整，并且可以根据用途来选择各胶垫的弹性。其轨枕下胶垫作为地层振动对策和噪声对策所采用的刚度是不同的，减振箱内各侧面的刚度要比枕下胶垫刚度大得多。根据振动的 1/3 倍频程的频谱分析图可知：在 500Hz 以上时可望有 30dB 左右的减振效果，有利于降低向外传递的振动和噪声，缓解对轨道结构和桥梁结构的损害。

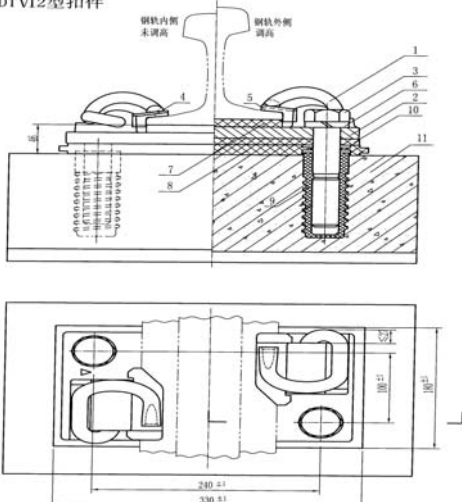
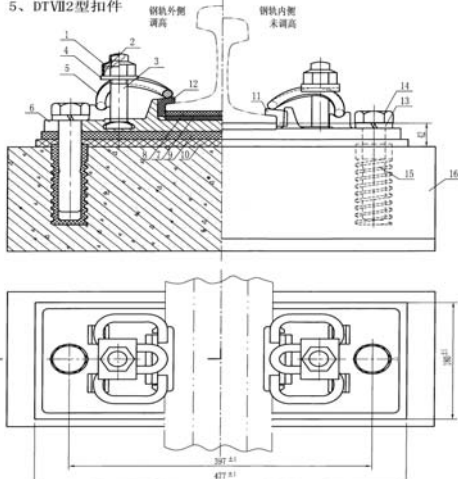
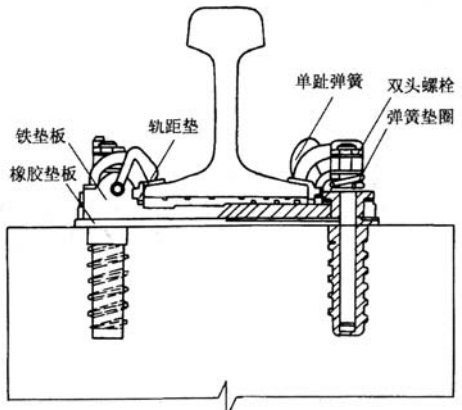
④ 减振降噪型钢轨

当列车车轮滚过钢轨顶面时，由于钢轨腹板的厚度较薄，轨腰产生振动，这一振动向空气辐射而产生噪声。为了最大限度地减小钢轨腹板振动引起的噪声，在钢轨腹部粘贴了减振橡胶。一般是在钢轨腹部粘上橡胶后再粘上一钢板，以增加振动质量，起到衰减作用。要求使用高阻尼橡胶增大振动衰减作用，达到降噪目的。

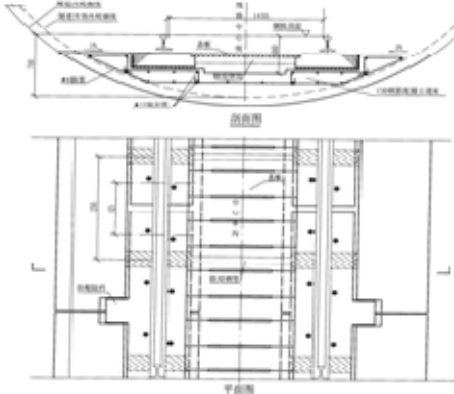
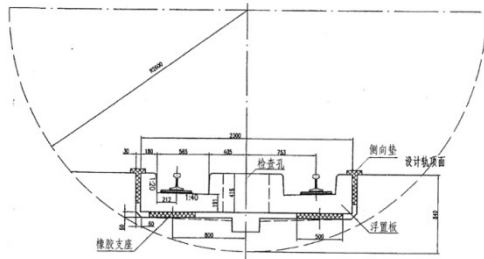
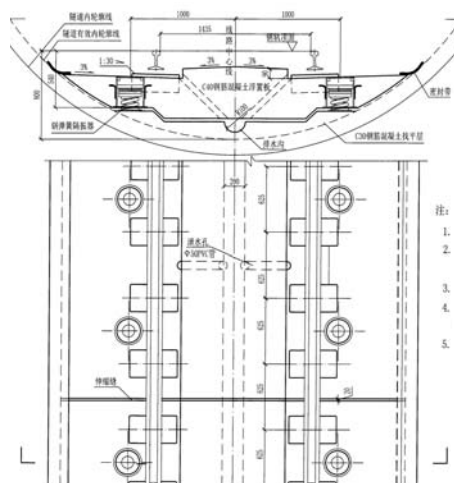
轨道结构隔振应用情况，见表 4。

表 4 轨道减振降噪类型说明及应用实例

轨道减振类型	示意图	结构及效果	应用
DTI 型扣件	 The diagram shows a cross-section of a DTI type fastener. It features a hexagonal rail section with a T-shaped bolt passing through it. The bolt is secured with a nut, a spring washer, and a resilient plate. Below the rail, there is a layer of rubber pad, followed by a plastic pad, and then a steel plate. The entire assembly is supported by a concrete base. Labels include: 螺旋道钉 (Screw nail), 弹簧垫圈 (Spring washer), 六边形轨距块 (Hexagonal gauge block), T形螺栓 (T-shaped bolt), 螺母 (Nut), 弹性垫圈 (Elastic washer), 弹性扣板 (Elastic plate), 铁垫板 (Steel pad), 橡胶垫板 (Rubber pad), 塑料垫板 (Plastic pad), 螺旋钢管 (Screw steel pipe), 玻璃钢管 (Glass steel pipe), 橡胶塞 (Rubber plug), and 轨枕 (Sleeper).	弹性分开式有挡肩扣件	北京地铁 1 号线
DTIII2 型扣件	 The diagram shows a cross-section of a DTIII2 type fastener. It features a rail section with a T-shaped bolt passing through it. The bolt is secured with a nut, a spring washer, and a resilient plate. Below the rail, there is a layer of rubber pad, followed by a plastic pad, and then a steel plate. The entire assembly is supported by a concrete base. Labels include: 2、DTIII2型扣件 (2, DTIII2 type fastener), 钢轨外侧 (Outer rail), 钢轨内侧 (Inner rail), 调高5mm (Adjust height 5mm), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.	全弹性分开式	北京复八线的复西段和上海 1 号和 2 号线

DTVI2 型扣件	DTVI2型扣件 	全弹性分开式	北京地铁 10 号线
DTVII2 型扣件	5、DTVII2型扣件 	分开式无挡肩扣 件，用于高架线	上海 2 号线
单趾弹 簧扣件		分开式无挡肩扣 件	广州地铁 1 号线

WJ-2 扣件	图 6 WJ-2 型扣件	分开式无挡肩扣件，用于高架	上海明珠线
先锋扣件		英国潘德路制造	北京地铁 5 号线
轨道减振器扣件		北京地铁采用的 III 型扣件，VI 型扣件都属于轨道减振器扣件，是一种国产扣件	北京地铁 5 号线
弹性短轨枕		正线隧道为短轨枕、无轨枕的整体钢筋混凝土道床，而在车场段多为普通钢筋预应力混凝土轨枕，道岔为木枕。短轨式整体道床包括中心水沟式和侧沟式	北京 5 号线、10 号线等几乎全部应用中心水沟式，沈阳 1 号线应用侧沟式

		两种	
梯形轨枕		---	北京地铁 4 号线及大兴线
橡胶浮置板道床	 图 1 橡胶浮置板道床断面	---	香港、广州 1 号和 2 号、华盛顿等地均有应用
钢弹簧浮置板道床		---	深圳、南京、广州、北京地铁 5 号线

2.2.2 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、特定结构噪声以及气动噪声等。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、新型桥梁、降噪车轮或通过改善轨道的形态达到降低噪声的目的。

2.2.2.1 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。对于北京市目前的轨道交通地面段都不同程度地使用了声屏障，特别是地铁五号线，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。

2.2.2.2 隔声窗

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。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。

3 制订技术政策的必要性

3.1 我国城市轨道环境噪声与振动污染形势严峻

城市轨道交通是城市基础设施中公共交通系统的重要组成部分。轨道交通凭借运量大、速度快、安全可靠、准点舒适的技术优势，深受到市民和政府的欢迎。从已运营的情况来看，现已逐步成为居民出行的首选交通工具。尽管城市轨道交通会带来很多便利，但与此同时也为环境噪声振动污染埋下了重大的隐患。随着越来越多轨道交通的运营，其隐患可能大规模爆发出来，污染问题日益突出，形势紧迫，具体表现为以下方面：

（1）城市轨道交通噪声振动影响范围广，污染面积大

城市轨道交通轮轨结构的相互作用产生巨大的噪声与振动，干扰线路周围居民的睡眠和休息。根据我所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，如按四类声功能区分析，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），每公里轨道交通线路的污染面积见表 5。

表 5 城市轨道交通噪声影响范围及污染面积

线路类型	时段	影响范围	每公里污染面积(km ²)
地面线	昼间	—	—
	夜间	20~30m	0.02~0.03

高架线	昼间	40 ~ 50m	0.04 ~ 0.05
	夜间	150 ~ 200m	0.15 ~ 0.20

若轨道线路周围有遮挡物，噪声的影响范围和污染面积将有所减缓。

城市轨道交通引起的振动衰减较慢，源头减振和利用建筑物基础减振是最为有效的方式。在源头未采取措施的前提下，按保守的4类功能区分析，轨道交通的影响范围将扩散至10~80m左右，具体情况见表6。

表6 城市轨道交通振动影响范围及污染面积

线路类型	建筑物类型	时段	影响范围	每公里污染面积 (km ²)
地下线	II类建筑物（中层）	昼间	40 ~ 50m	0.04 ~ 0.05
		夜间	60 ~ 80m	0.06 ~ 0.07
	I类建筑物（高层）	昼间	10 ~ 20m	0.01 ~ 0.02
		夜间	30 ~ 40m	0.03 ~ 0.04

城市轨道交通运营里程直接影响噪声振动污染面积，两者成正比关系；轨道交通运营里程越长，受到污染的面积也就越多。如若不采取相应的控制措施，我国因城市轨道交通噪声与振动污染的区域面积将十分庞大。

（2）生活环境恶化，影响人口众多

城市轨道交通为方便市民出行的需要，其线路常穿行于建筑物和人口稠密地区，受到噪声振动影响的人口数量众多，居民的生活环境恶化。我国城市人口相对集中，城区人口密度大，如上海内环线以内的人口密度达到3.4万人/平方公里，北京中心城区人口密度达到2.2万人/平方公里，若按照污染面积计算，各大城市因城市轨道交通噪声振动影响的人口数量将以数十万计。若轨道交通建设全面铺开，全国受到影响的人口将以数百万计，总体形势十分严峻。

（3）环境投诉频发，群体性事件时有发生

轨道交通引发的噪声振动影响休息、睡眠，容易使人紧张、烦躁，甚至情绪失控。从各大城市既有运营的轨道交通情况看，因城市轨道交通环境噪声振动污染问题日益突出，扰民投诉频发，纠纷时有发生，甚至部分事件上升为群体性事件，干扰轨道交通的建设和正常运营，在社会上造成了极其恶劣影响。

综上所述，城市轨道交通噪声振动污染形势紧迫，控制城市轨道交通噪声振动污染已刻不容缓。

3.2 我国缺乏噪声振动控制技术指导付出的代价高昂

我国因缺乏城市轨道交通噪声振动控制技术的指导,致使城市轨道交通建设付出了极高的代价。目前,城市轨道交通控制技术的主要依据环评报告,而环评单位受到自身专业、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,大多很难将噪声振动控制技术的进行准确、全面分析。在国内既往轨道建设工程中,因前期噪声振动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,不仅影响了轨道交通建设,而且造成了巨大的无法挽回的经济损失。

3.3 控制噪声振动污染是公众的追求目标

随着生活水平的提高,人们追求更加舒适的生活居住环境,对环境污染承受能力却越来越低。作为环境污染之一的环境噪声与振动污染也越来越受到政府和社会的关注和重视。2009年,九三学社在北京两会提交了《关于治理城铁噪声、建设绿色城市轨道交通的建议》,建议加强对城市轨道交通噪声振动污染的控制,保护沿线群众权益;2011年的两会上,人大代表提议将轨道交通噪声振动污染提上日程,呼吁“治理轨道交通振动噪声污染刻不容缓”,借鉴国外减振降噪方面的先进经验,少走弯路,避免不合理不科学设计带来的资源浪费以及扰民问题。为提高生活居住环境,控制噪声振动污染,国家先后颁布和实施一系列的政策法规。2010年1月,国家环境保护部发布了《地面交通噪声污染防治技术政策》,用以防治地面交通噪声污染,指导交通等基础设施合理规划建设;2011年1月,环境保护部、国家发改委、科技部等国务院十一个部门联合发了《关于加强环境噪声污染防治工作改善城乡声环境质量的指导意见》,用以加强噪声振动污染防治工作,改善声环境质量。国家一系列政策法律的颁布和实施,使环境噪声振动污染在一定程度上得以缓解,但缺乏具体的技术政策和操作方法,远未达到预期的效果。

综上所述,面对日益严峻的城市轨道交通噪声振动污染形势,制定城市轨道交通噪声与振动控制技术政策已迫在眉睫、势在必行。制定控制技术文件是控制和解决轨道交通噪声振动污染必要的技术手段,通过制定技术政策使控制技术有章可循,有理可依,防止因控制技术不合理而造成的不必要的经济损失,避免环境污染事件的发生,为不断提高人们的生活居住环境质量提供坚实的技术保障。

4 国内外相关技术政策研究

4.1 国内技术政策及标准法规

4.1.1 产业政策

伴随环保意识的增强和环境保护工作力度的加大,环保产业正日益成为社会关注的焦点和热点,中国环保产业迎来了快速发展的黄金时期。

2010 年 9 月《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车七个产业列入战略性新兴产业。其中节能环保被放在首要位置,这意味着在未来相当长时间内,环保产业将成为国家宏观政策重点支持的产业之一。

2011 年底,国务院办公厅正式印发《国家环境保护“十二五”规划》,这是未来五年中国环保行业的纲领性文件。规划中强调要加大交通、施工、工业、社会生活等领域噪声污染防治力度。做好重点噪声源控制,解决噪声扰民问题。

2012 年 3 月,工业和信息化部公布了《环保装备“十二五”发展规划》,支持和鼓励大气污染治理装备、水污染治理装备、噪声与振动控制装备、固体废物处理装备、资源综合利用装备、环境监测专用仪器仪表、环境污染治理配套材料和药剂。根据工业和信息化部及科学技术部联合发布的《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录(2011 年版)》(工信部联节[2011]54 号文件),噪声与振动控制领域,鼓励城市轨道浮置板用钢弹簧隔振装置、地铁大风量防护复合消声器、低频噪声和固体声污染控制设备及集成控制技术的应用和发展。

4.1.2 标准及法规

4.1.2.1 振动标准

1988 年,我国颁布了 GB10070-88《城市区域环境振动标准》,标准按照不同区域划分规定了环境振动限值,限值见表 7。

表 7 城市各类区域垂直 Z 振级限值(dB)

使用地区范围	昼间/	夜间
0 特殊住宅区	65	65
1 居民、文教区	70	67
2 混合区、商业中心区	75	72

3 工业集中区	75	72
4a 交通干线道路两侧	75	72
4b 铁路干线两侧	80	80

2007 年环保部提出修订《城市区域环境振动标准及测量方法》标准，新标准对城市轨道交通引起的振动提出了限值要求

HJ453-2008《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》规定了由城市轨道交通引起的环境振动的评价内容、范围、环境振动测量方法，并提出了由城市轨道交通引起的环境振动预测方法。

中华人民共和国住房和城乡建设部发布行业标准 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》，适用于城市轨道交通列车引起的沿线建筑物振动与二次辐射噪声的控制和测量，其振动的频率范围为 4-200Hz，二次辐射噪声的频率范围为 16-200Hz。室内振动的限值见表 8。

表 8 建筑物室内振动限值（dB）

区域	昼间	夜间
0类	65	62
1类	65	62
2类	70	67
3类	75	72
4类	75	72

注：昼夜时间划分：昼间 06：00-22：00；夜间：22：00-06：00；昼夜时间适用范围在当地另有规定时，可按当地人民政府的规定来划分。

上海发布了地方性环境标准 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。住宅室内振动的限值见表 9。

表 9 城市轨道交通（地下段）列车运行引起的住宅室内振动限值（dB）

声功能区类别	限值（VLzmax）	
	昼间	夜间
1类	70	67
2类	72	69
3类	75	72
4类		
说明：上述限值适用于需要安静的房间，包括卧室，书房和起居室		

*注：频率范围为1-80Hz

中华人民共和国住房和城乡建设部和中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布 GB50463-2008《隔振设计规范》，其中规定了精密仪器及设备以及动力机器基础的容许振动值。

GB50157-2003《地下铁道设计规范》根据环境保护对沿线不同地段的减振、降噪要求，轨道应采用相应的减振轨道结构。新版设计规范于2009年10月份发布了征求意见稿，对轨道减振措施提出了更高的要求。

中华人民共和国住房和城乡建设部和中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布 GB50308-2008《城市轨道交通工程测量规范》，2008年9月1日起执行。

中华人民共和国住房和城乡建设部和中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布 GB50490-2009《城市轨道交通技术规范》，于2009年10月1日起执行。

GB/T50452-2008《古建筑防工业振动技术规范》分别规定了砖结构，石结构以及木结构古建筑物的振动容许值。

JB16-2000《机械工业环境保护设计规定》对特殊建筑物的振动容许值进行了规定。表10中的速度容许值不是单一方向的速度，而是合速度。

表 10 JB16-2000 影响建筑物正常使用的振动速度限值

建筑物类型	振源频率/Hz	速度容许值[V]/(mm/s)
有保护价值或对振动特别敏感的建筑物	10-30	3
	30-60	3-5
古建筑（严重开裂及风蚀者）	10-30	1.8
	30-60	1.8-3.0

北京市轨道交通建设管理有限公司发布 QGD-001-2009《城市轨道交通弹簧浮置板轨道技术标准》，统一规范北京市轨道交通弹簧浮置板轨道结构的设计施工、验收与检测以及弹簧减振器的供货与检验试验。

4.1.2.2 噪声标准

针对城市轨道交通噪声，国内现行的相关的标准如下：

(1) 声环境质量标准

目前，我国关于城市轨道交通噪声的评价标准，主要是 GB 3096《声环境质量标准》，标准中将距离城市轨道交通一定距离之内的区域定义为 4a 区域，昼间执行 70dB(A)，夜间执行 55 dB(A) 的标准，并且其最大声级不得超过环境噪声限值的幅度 15 dB(A)，即夜间不得高于 70dB(A)。城市轨道交通（地面段）噪声的监测方法主要采用敏感建筑物的测量方法，昼、夜间各测量时间不少于 1hour；若运行车辆密集，测量时间可缩短至 20min。

表 11 城市轨道交通噪声评价量及限值

标准名称	测量点	评价量	限值dB(A)	
			昼间	夜间
声环境质量 GB3095-2008	敏感建筑物室外	Leq	70	55
	敏感建筑物室内	Leq	60	45

声环境质量中虽然规定了城市轨道交通的测量方法和昼、夜间限值，但在实际运用过程中，往往因为周围环境的限制而不能发挥其本应有的功能。如在已有道路交通的情况下，如何评价新建城市轨道交通带来的影响。

(2) 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

针对城市轨道交通列车运行引起的沿线建筑物振动与室内二次辐射噪声，城乡与住房建设部出台了相应的标准，即 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》，标准中规定了不同声功能区的限值，详见表 12。

表 12 建筑物室内二次辐射噪声限值[dB(A)]

区域	昼间	夜间
0类	38	35
1类	38	35
2类	41	38
3类	45	42
4类	45	42

(3) 铁路边界噪声限值及其测量方法

国家标准 GB 12525《铁路边界噪声限值及其测量方法》，标准中对既有铁路（包括改、扩建既有铁路）和新建铁路实施不同的边界限值。环境保护部公告 2008 年第 38 号中规定：

既有铁路（包括改、扩建既有铁路）边界铁路噪声按表 13 的规定执行。既有铁路是指 2010 年 12 月 31 日前已建成运营的铁路或环境影响评价文件已通过审批的铁路建设项目。

表 13 既有铁路边界铁路噪声限值(等效声级 Leq)

时 段	噪声限值（单位：dB(A)）
昼 间	70
夜 间	70

新建铁路（含新开廊道的增建铁路）边界铁路噪声按表 14 的规定执行。新建铁路是指自 2011 年 1 月 1 日起环境影响评价文件通过审批的铁路建设项目（不包括改、扩建既有铁路建设项目）。

表 14 新建铁路边界铁路噪声限值(等效声级 Leq)

时 段	噪声限值（单位：dB(A)）
昼 间	70
夜 间	60

4.2 国外相关政策及法规

美国、欧盟等国家和地区虽然未制定城市轨道交通噪声与振动污染防治的技术政策，但是通过法律法规、控制限值来进行技术管理。

4.2.1 振动控制标准

对于建筑物结构的安全振动控制标准，国外目前已经陆续颁布实施了一些技术标准或法规，联邦德国标准 DIN4150-1999，瑞士标准 SN640312-1992 等。应该指出的是，由于各国在制定标准时的是在某一场地条件下，针对特定结构物进行实验取得数据的基础上加以调整而制定的一种普适标准，因而各国标准之间存在差异。

衡量建筑物所受到的影响常用的物理量为振动速度和振动频率。这是因为振动速度和振动频率与建筑物的破坏有着直接的关系，他们能直接反映建筑物的破坏烈度以及结构对振动响应时的能量大小，在建筑物的振动中起着决定性的作用。所以，这些规范大多采用建筑物的振动速度和频率相关的限值。

(1) ISO 推荐的建筑振动标准

国际标准化组织 ISO 推荐的建筑振动控制标准 ISO 2631-2: 2003 建筑物内的振动 (1 ~ 80Hz)。规定的建筑物内振动限值如表 15 所示。

表 15 ISO 关于建筑物内振动限值的建议

地 点	时 间	振动级/, $a_0=10^6 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$					
		连续、间歇振动和重复性冲击			每天只发生数次的冲击振动		
严格工作区 (医院手术室、精密实验室)	全天	X (Y) 轴	Z 轴	混合轴	X (Y) 轴	Z 轴	混合轴
		71	74	71	71	74	71
住宅	昼间	77—83	80—86	77—83	107—110	110—113	107—110
	夜间	74	77	74	74—97	77—100	74—97
办公室	全天	83	86	83	113	116	113
车间	全天	89	92	89	113	116	113

(2) 德国标准 DIN4150-3-1999

德国标准 DIN4150-3-1999 根据建筑物对振动的灵敏性将其分为三类。该标准规定：建筑物的振动速度应低于某一等级限值，在该限值下结构通常不会发生损伤，但若是接近相应的限值则应该进行深入的研究；稍微超越这些限值不会破坏建筑物的稳定性，但会降低建筑物的使用功能 (如产生小裂缝等)。

该标准还规定：当建筑物在外荷载作用下发生非连续的间歇性振动或冲击振动时，振动的测量点应布置在建筑物的基础处。并选用测量到的三个方向速度的最大值；当建筑物在外荷载作用下发生连续振动，振动的测量点应布置在顶层楼板平面内 (由外墙支撑的) 的楼板中心位置处，并选用平面内的最大水平速度，见表 16。

表 16 DIN4150-3 影响建筑物正常使用的振动速度限值

建筑物类型		基础处的振动速度限值 mm/s			顶层楼板水平速度限值 mm/s	
		非连续振动			非连续 振动	连续振动
		1—10Hz	10—50Hz	50—100Hz		
第 1 类	商业建筑、工业建筑 和与此用途相类似的建筑	20	20—40	40—50	40	10

第 2 类	住宅、公寓和具有此类用途的建筑	5	5—15	15—20	15	5
第 3 类	除以上两类外，对振动特别敏感的建筑物和具有一定保护等级的历史性古建筑	3	3—8	8—10	8	2.5

(3) 日本烟中元弘归纳的建筑物容许振动界限

日本烟中元弘对一些研究者提出的建筑物振动允许界限进行了归纳,针对不同的评价指标的规定如表 17 示。

表 17 日本烟中元弘归纳的建筑物振动限值

振动评价指标	建筑物类型	容许值
振动位移/m. m	普通建筑物	0.067 (0.203)
	强度特别好的建筑物	0.135 (0.406)
	设备和基础结构	0.406
	可以有轻微受害的场所	0.406
	住宅和建筑物	0.203
	教堂、旧纪念馆	0.127
振动速度/(mm/s)	建筑物基本没有损坏	5
	轻微损坏	10
	有相当的损坏发生	50
	损坏相当大	100
	损害的危险范围	>84
	损坏发生	>119
振动加速度/g	安全范围	<0.102
	开始引起损坏	>1.02

(4) 瑞士标准 SN640312-1992

瑞士标准将结构类型将建筑物分为 4 个不同类别,振动容许值按照质点峰值振动速度 PPV 来取,取三个方向振动速度的最大值。该标准考虑两组不同的振源:第一组振源 M 是机械、交通和施工设备;第二组振源 s 是冲击荷载,假定发生的机率较小,因而容许的限值较高。表 18 为 SN640312-1992 对不同类型建筑物所规定的振动速度限值。

表 18 SN640312-1992 对不同类型建筑物所规定的振动速度限值

结构类别	振源 M	振源 s
------	------	------

	频率 /Hz	V _{max} / (mm/s)	频率 /Hz	V _{max} / (mm/s)
钢筋混凝土结构和钢结构（无抹灰），如工业建筑、桥、桅杆、挡土墙、非埋设管线；地下结构，如有衬砌和无衬砌的石窟、隧道、坑道等	10—30 30—60	12 12—18	10—60 60—90	30 30—40
有混凝土楼板、混凝土地下室墙和地上墙及有砗的建筑；石挡土墙、埋设管线；地下结构，如砌体衬砌的石窟、隧道、坑道等	10—30 30—60	8 8—12	10—60 60—90	18 18—25
有混凝土地下室楼板和墙的建筑，地面上为砌体墙、木搁檐楼板	10—30 30—60	8 5—8	10—60 60—90	12 12—18
特别敏感或要求保护的古建筑	10—30 30—60	3 3—5	10—60 60—90	8 8—12

注：对于振源 M，带*的较低值用于频率 30Hz，较高值用于 60Hz，中间用插值；对于振源 S，带*的较低值用于频率 60Hz，较高值用于 90Hz，中间用差值。

（5）美国联邦交通管理部《Transit Noise And Vibration Impact Assessment》

（FTA-VA-90-1003-06）

对于由城市轨道交通引起的环境振动给出了一类粗略预测方法和一类精细预测方法。其中粗略预测方法是一种相对简单的预测方法，用于设计方案敲定期对各候选的设计方案进行环境影响评估，而精细预测方法较为复杂，它是在设计方案敲定后对环境的影响进行较为精确的判定，并据此有目的地开展减振措施设计。

（6）精密仪器振动控制标准

振动对于激光、电子显微镜、电子天平的操作，外科手术器具、半导体集成电路的制作等有很大的影响。为了保证这些精密仪器的正常工作，美国和日本等有关文献提出了建筑物或仪器台座的微振动限值要求，即对精密仪器的环境振动控制容许标准在位移振幅小于 1 μ m、加速度小于 1 gal 的量级范围内。

4.2.2 噪声控制标准

国外轨道交通的评价主要依据两方面，一方面是噪声接收（noise reception），即以居住区评价为主；另一方面是噪声发射（noise emission），是对轨道交通的源强进行限制。常用的评价指标有 L_{eq} 、 L_{dn} 和 L_{max} 。

噪声接收以较长时间的等效声级进行评价，目前各国根据自身的研究成果使用了不同的参考时段，主要有两类：一是将一天（24 小时）分为昼、夜两类，二是直接以一天 24 小时的测量结果作为评价标准，具体参考时段划分方法见表 19。

表 19 限值制订参考的时段

国家	昼间	夜间	24 小时
英国	7: 00-23: 00	23: 00-7: 00	—
葡萄牙	7: 00-23: 00	23: 00-7: 00	—
芬兰	7: 00-23: 00	23: 00-7: 00	—
比利时	7: 00-23: 00	23: 00-7: 00	—
瑞典	—	—	24 小时
挪威	—	—	24 小时
丹麦	—	—	24 小时
波兰	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
意大利	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
匈牙利	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
德国	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
法国	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
捷克	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
澳大利亚	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—
瑞士	6: 00-22: 00	22: 00-6: 00	—

基于不同的时段，各国政府出台了相应的限值对轨道交通进行管理，部分国家的限值如下表所示：

表 20 部分国家的铁路噪声法规中对居住区的容许值

国家	评价指标	容许值类别	昼间	夜间	整天	建筑物正面噪声级
澳大利亚	L_{Aeq}	新建铁路线的指标	65~70	55~60		
丹麦	L_{Aeq}	新建铁路线的指标			60	63 (24h)
	L_{Amax}				85	88
法国	L_{Aeq}	降噪计划极限值	60			65~70 (24h)
	L_{Amax}	高速线极限值	65~75			
德国	L_{Aeq-5}	新居住区指标	50~55	40~50		59 (d)

		新建和改造线极限值	59	49		49 (n)
荷兰	LAeq	新建铁路最佳值	60	50	55	60 (24h)
	LAeq	新建铁路最大值	73	63	68	50 (23:00-7:00)
挪威	LAeq	新建铁路线的指标	55		60	60
	LAmx			50		
瑞典	LAeq				60	
英国	LAeq	新建住宅指标	55	42		68 (6:00-24:00)
		新建线隔声法规	68	63		63 (6:00-24:00)
日本	LAeq	新干线标准			70	

(1) 欧盟铁路噪声排放限值

欧盟通过自身的铁路噪声工作组专门对铁路噪声的标准、防治、监测、政策与管理等进行了研究与监督。对于传统轨道车辆的噪声排放制定了限值，见表 21:

表 21 AEIF 专家组对传统轨道车辆的噪声排放限值

运行条件	静止噪声限值	启动噪声限值	行进噪声限值
指标(单位)*	$L_{pAeq,T}$ (dB(A))	L_{pAFmax} (dB(A))	速度 80Km/h, $L_{pAeq,Tp}$ (dB(A))**
货运车厢	65	/	/
电气机车	75	82	85
柴油汽车	75	86	85
电力动车组	68	82	81
柴油动车组	73	83	82
客车	75	/	80

*注 1: 均为距铁轨中心线 7.5 米处声级。

*注 2: Tp 指的是车辆通过的时间，等于车辆长度/速度。

(2) 德国铁路交通噪声限值

《德国联邦减量保护法》(the Federal Immission Protection Law)的第 41~43 条款指出，在新的建设项目或道路、铁路沿线的重大改造中必须考虑噪声预防问题，并在《交通噪声预防条例》(the Traffic Noise Prevention Ordinance, 又称第 16 号联邦减量保护条

例“16th Federal Immission Protection Ordinance”, 16th BImSchV) 以及《运输线路与声环境保护措施条例》(the Transportation Route and Sound Protective Measures Ordinance) (24th BImSchV) 中进行了具体规定。如果在一个新的建设项目中, 或对道路、铁路沿线的重大改造项目中, 预期其噪声将会超过下表中的限制值, 则必须按照这些条例实施噪声削减预防措施。在 16th BImSchV 条例中, 规定了下述噪声限值:

表 22 德国铁路交通噪声限值 (dB (A))

区域	昼间 (6: 00–22: 00)	夜间 (22: 00–6: 00)
医院、学校、中老年居住的住宅区	57	47
完全或者通常作为住宅用的区域, 小型社区	59	49
中心区、村庄和混合区域	64	54
小型商业区	69	59

(3) 丹麦铁路噪声限值

丹麦环保局 1/1997 号环境指令(铁路噪声与振动)中对铁路噪声限值做了规定。

表 23 丹麦铁路交通噪声限值 (dB (A))

区域	噪声限值*
城区或附近的休闲性区域(社区公园、私家花园、园艺花园等)	60
住宅区(住宅性建筑、日间托儿中心、户外休闲区域)	60
公共机构(医院、学校等)	60
服务性企业等(旅馆、办公楼)	65

(4) 美国铁路噪声限值

美国环保署制定了铁路噪声设计指标, 用以指导各州及地方政府依其责权执行, 管制现存和新建铁路的噪声。

表 24 铁路噪声设计指标

	住宅区一(单一住宅)	住宅区二(社区)	城市区
低密度住宅	70dB	75dB	80dB
中密度住宅	75dB	75dB	80dB
高密度住宅	75dB	80dB	85dB
商业区	80dB	80dB	85dB
工业区、高速公路	80dB	85dB	85dB

5 技术政策制订的基本原则、编制依据和技术路线

5.1 基本原则

5.1.1 突出实用性和可操作性

技术政策的编制在充分调研和征求专家意见基础上，广泛地同环境管理、规划设计、污染控制、地铁建设与运营等领域的专家交流和研讨；认真分析目前城市轨道交通存在的实际问题和可行的防治方法，因此技术内容针对性强、可操作性高。

5.1.2 内容全面、满足环保工作要求

城市轨道交通噪声与振动控制技术政策的技术内容体现全过程控制的思想，从最初的线网规划至最后的运行与监测，从管理、设计、控制、监测等角度提出针对性的防治方法，涉及内容全面，能满足环保工作的要求。

5.2 编制依据

（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

环发[2010]7号文中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。

5.3 技术路线

本技术政策研究路线见下图。

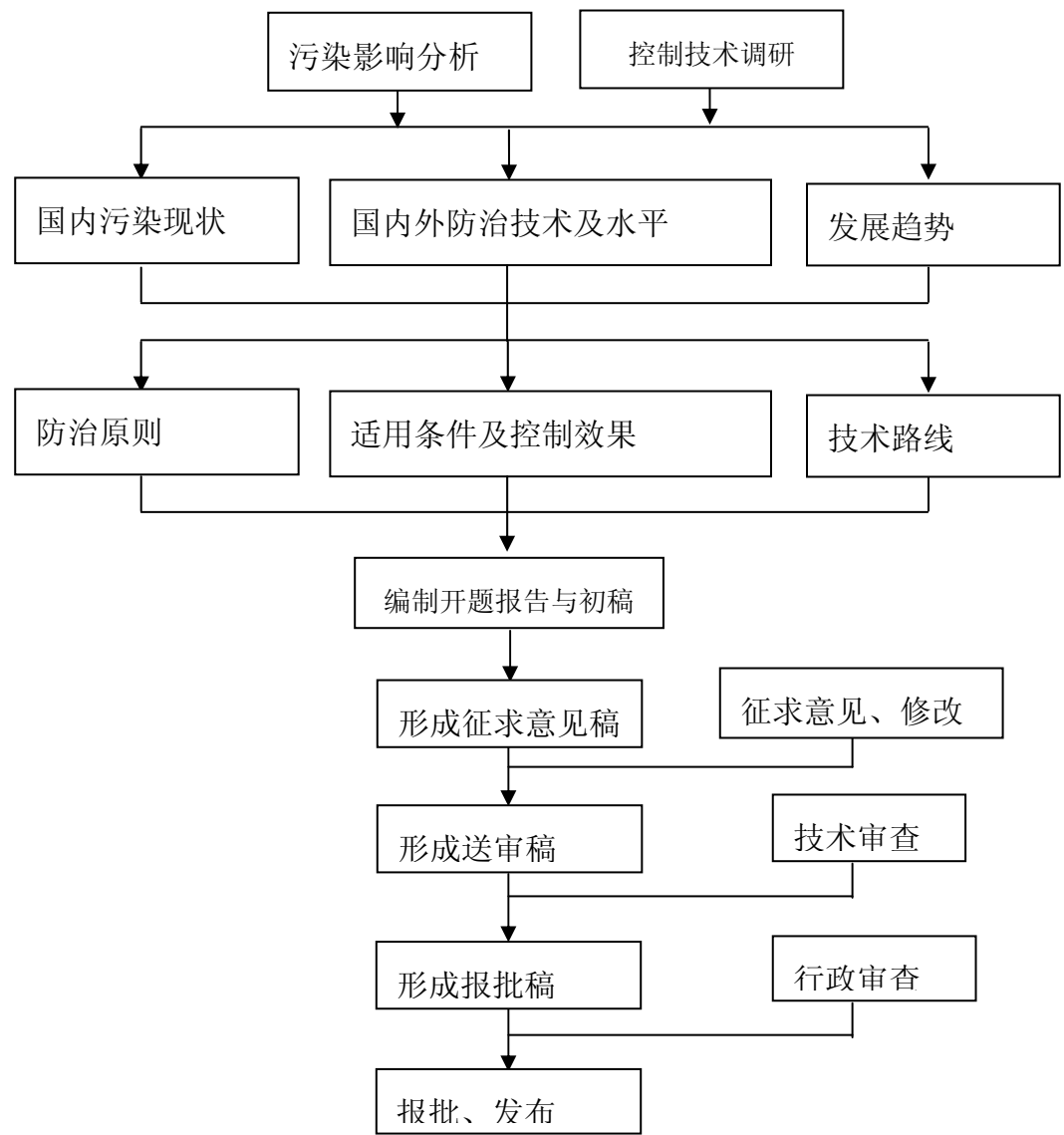


图 7 本技术政策研究技术路线

6 主要技术内容的说明

本技术政策由总则、合理规划、优化设计、源头措施、传播途径消减、敏感目标防护、鼓励研发的新技术、新产品、新工艺和共七部分组成。

6.1 总则

总则中主要包括技术政策制定的依据、技术政策适用的范围等要求，有针对性的提出城市轨道交通噪声与振动污染防治的技术路线和遵循的原则等总体性界定。

（一）为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》等法律法规，防治环境污染，保证人们正常生活、工作和学习的声与振动环境质量，保护既有文物古迹，保障影响区域内的精密仪器的正常使用，促进城市轨道交通噪声与振动污染防治技术进步，制定本技术政策。

（二）本技术政策为指导性文件，供各有关单位在环境保护工作中参照采用；本技术政策提出了防治城市轨道交通噪声与振动污染可采取的技术路线和技术方法，包括合理规划、优化设计、源头控制、传播过程消减、敏感目标防护等方面的内容。

根据城市轨道交通噪声与振动污染来源、传播途径以及现在的防治技术手段的理论，针对城市轨道交通噪声与振动污染可以从五个方面进行着力解决，即“合理规划”、“优化设计”、“源头措施”、“传播途径消减”和“敏感目标防护”，可采取的措施包括：

① 合理规划—从城市轨道交通宏观层面提出相应的技术要求，从总体上控制或减少产生噪声与振动的线路或路段，具体包括线网规划、线路走向、声功能区、土地利用性质等方面的内容。

② 优化设计—针对具体的城市轨道交通项目，从预测方法、方案比选优化和减振降噪措施选用等方面，提出优化设计的方法。

③ 源头措施—针对城市轨道交通线位、轨道、车辆、运营速度、隧道结构等提出相应的控制措施；源头减振降噪是最为有效的控制手段，应积极鼓励和优先采取源头措施。

④ 传播途径消减—针对源头控制仍不能达标或源头不能采取控制的情况下，使用阻隔噪声或振动传播的技术方法。

⑤ 敏感目标防护—采取前两项措施，仍不能使环境质量达标的情况下，采取建筑物防护的方法和手段，保护建筑物室内的环境质量和人体的健康。

（三）本技术政策中的城市轨道交通设施是指以钢轮钢轨为导向的轨道交通设施，不包括其他形式的城市轨道交通设施。

城市轨道交通系指采用专用导向装置运行的城市公共客运交通系统，包括城市轨道交通、轻轨、单轨、有轨电车、自动导向轨道交通以及直线电机轨道交通。根据我国目前城市轨道交通的建设情况来看，我国建设最多且最为主要的城市轨道交通为地铁；从城市轨道交通

通噪声与振动污染情来看,各地的地铁仍是城市轨道交通噪声与振动污染最为严重的交通种类。基于这样的国情和实际情况,因此,本技术政策的适用于钢轮钢轨为导向的轨道交通设施,不适用于其它形式的城市轨道交通设施。

(四)城市轨道交通噪声与振动污染防治应遵循以下原则:

坚持合理规划、预防为主的原则。科学预估拟建轨道交通设施的潜在环境噪声与振动污染影响及可控程度,通过合理规划和采用有效的防控措施,避免或降低轨道交通噪声与振动对敏感目标的影响。

坚持源头控制与综合治理相结合的原则。对已开通运行的城市轨道交通设施,应采取源头控制为主,传播途径消减和建筑物防护为辅的控制措施,确保城市轨道交通噪声与振动符合周围环境要求。

坚持安全可靠,技术适用,经济合理的原则。重视措施的安全性和可靠性,优先考虑与控制需求相匹配的技术,同时兼顾经济成本、使用寿命、维护成本、次生影响等因素。

城市轨道交通引起的环境噪声与振动污染范围广,一旦出现超标的现象,造成的社会影响恶劣;若后期采取控制措施则资金投入大,影响工程进度且对线路周围环境污染难以根除,基于这样的事实,城市轨道交通采用“合理规划,预防为主”的原则,合理规划线路或设计合理的控制措施,尽量避免城市轨道交通噪声与振动污染的线路出现。

针对建成运营的城市轨道交通线路,采用何种控制措施或是留有多少的防护距离应以排放达标为根本的出发点;若确实无法达标,应坚持以“源头措施”为主、“传播途径”和“建筑物防护”综合治理入手并采取措施,综合治理。

安全运营是城市轨道交通最为重要的基本要求,无论采取何种控制措施都应确保其安全可靠,控制措施的风险应可控;不过度追求控制措施的控制效果,确保控制措施能满足需求,并应考虑措施的价格、施工技术、维护成本等因素是否经济合理,即控制措施应坚持“安全可靠、技术适用、经济合理”的原则。

6.2 合理规划

合理的规划对于城市轨道交通噪声与振动污染具有重要的意义,是污染防治技术政策一项重要的技术内容。

(一)城市轨道交通线网规划应与城市发展总体规划相协调,鼓励将城市轨道交通噪声与振动污染作为线网规划决策的依据。

线网规划是指在一定线路数量规模条件下，确定路网的形态及各条线路走向的决策过程。线网规划具有非可逆性，线路一经建成便不可改。鉴于线路规划的重要性，因此在线路规划时，应考虑线网对周围环境造成的污染和影响，将城市轨道交通噪声与振动污染作为线网规划决策的依据，从总体上减少存在污染的范围和区域。

（二）城市轨道交通线路应与声与振动功能区划相适应，优先规划在 4 类区，鼓励沿既有交通干线或规划交通干线布置。

妥善处理线路与声功能区的关系。不同类别的声功能区从某种意义上讲即代表不同的噪声容许值，对于存在污染风险的轨道交通的规划其应置于容许值较高的 4 类区域内；从既有城市轨道交通噪声与振动的投诉分布情况来看，其投诉多发生于轨道交通线路经过环境较为安静的区域，避免穿越容许值较低的 1 类区和 0 类区。交通干线，多是 4 类区域，鼓励线路在此区域内设置。

（三）城市轨道交通线路的走向应与既有建筑物留有充足的防护距离或控制条件；城市轨道交通线网规划用地控制范围内不宜新建建筑物，无法避免时，应采取相应的措施，以消除城市轨道交通引起的不利影响。

城市轨道交通线路主要包括地下线和地上线（含地面线和高架线），这两类的线路造成的污染不同。从收集的资料和实际测试的数量来看，地上线以环境噪声污染为主（少部分存在振动污染），地下线主要以环境振动污染为主。无论是振动或者噪声，其均以能量的形式传播。留有充足的防护距离，让其能量衰减，是保护敏感目标的重要方法。

针对振动污染，其治理难度较地面线噪声污染治理的难度高，留有足够的防护距离是地下线规划的重要技术内容，在线路规划与设计应予以考虑。

表 25 振动随地面水平距离的衰减量（北京）

水平距离	0m ~ 10m	10m ~ 20m	20m ~ 30m	30m ~ 40m	40m ~ 50m
振动衰减量	0	1dB	2dB	3dB	5dB

表 26 地铁埋深对振动的影响

地铁埋深（h）	$8\text{m} \leq h \leq 13\text{m}$	$13\text{m} < h \leq 17\text{m}$	$17\text{m} < h \leq 20\text{m}$
振动衰减量	1dB	2dB	3dB

备注：埋深是指轨顶面至地面的垂直距离。

若未留有足够的防护距离，均存在环境污染超标的可能。国内已出现过城市轨道交通运营时环境超标，治理时却没有可以设置控制措施的位置，因此预留采取控制措施的条件十分必要。另外，由于城市土地短缺，越来越多的建筑在城市轨道交通线网规划用地控制范围内建造。此类建筑，有存在、发展的合理性，技术政策不予以否定，但必须配备充足的防护措施，能充分消除其影响，方可建造。

（四）合理规划城市轨道交通沿线土地利用性质，优先以商业、工业用地为主，减少居住、文教用地。

土地利用性质决定了建筑物的使用性质。目前，受城市轨道交通噪声与振动影响最为严重且人口最多的建筑为居住建筑，影响最明显时段主要集中在夜间（晚上十点后）和凌晨（早上八点前）。而对于商业或工业建筑而言，此类建筑多数夜间无人居住，对噪声与振动的容忍程度相对较高。在近轨道的区域，多规划建设此类建筑，有助于噪声与振动的防治。

6.3 优化设计

（一）对于轨道交通噪声与振动污染较严重的线路或路段，应增设比选方案，结合潜在的环境噪声与振动污染影响和可控程度，对线路走向、敷设方式、车辆类型等进行比选优化。

城市轨道交通线路很难完全依靠规划，解决噪声与振动污染；不可避免地会有部分线路或路段因防护距离不足，造成噪声与振动超标的问题。针对此类情形，在设计的时候，应增设对比优选方案，从线路走向、敷设方式、车辆类型等方面考虑，是否存在其它更优的方案，能从总体上降低受噪声与振动的建筑物的数量或是减轻受影响的程度。

（二）规范采用环境噪声与振动影响预测模型或预测模拟方法，结合项目阶段、建筑物使用功能和区域特点，针对性开展预测，提高预测精度。

采用的方法是否规范，预测结果是否准确直接影响措施的合理选择。目前，针对城市轨道交通噪声与振动的环境影响评价方法，主要参考 HJ 453《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》中的预测方法，但其参数取值范围较大，预测结果常因人而异；另外，针对特殊的敏感建筑物，如车辆段上盖物筑，古建筑等，运用此方法预测深度和精度略有不足，因此应结合项目阶段、建筑物使用功能和区域特点，针对性开展预测，提高预测精度。

（三）在选用减振降噪措施时应科学预估其因安装、施工、运营、环境条件变化等因素对控制效果造成的消弱影响，为设计留有合适的裕量。

涉及到具体措施的选用，常根据减振降噪的需求量确定具体的措施。但从既有的调查资料看，产品容易受到安装、施工、运营、环境条件变化的影响，从而造成减振降噪能力下降，在具体的产品或技术选用时，应提前考虑其设计裕量。另外，还有部分产品，其性能会随着使用时间的延长，其性能下降明显，后期运营超标的可能性极大，此类情况在具体措施选用时应予以避免。

6.4 源头措施

（一）源头措施可从线位、轨道、车辆、运行速度、隧道结构等多方面着手；采用的措施应充分保证轨道交通运行安全以及轨道结构运行稳定。

城市轨道交通引起的环境噪声与振动污染，应该从线位、轨道、车辆、运营速度、隧道结构等多方面着手，综合采取措施。

表 27 列举了一些措施相应的降噪效果。

表 27 不同线路及轨道结构的 A 计权噪声修正值

各种条件	修正值
弯道（半径 $r \leq 500\text{m}$ ）	相对于直线轨道噪声级高 3 ~ 8dBA
岔道	相对于直线轨道噪声级高 4dBA
坡道（上坡）	相对于直线轨道噪声级高 2dBA
混凝土高架桥结构（8m）	相对于地面轨道噪声级高 3 ~ 5dBA
混凝土枕	相对于木枕噪声级高 1 ~ 2dBA
混凝土整体道床	相对于碎石道床噪声级高 2 ~ 4dBA

（二）鼓励城市轨道交通车辆、轨道设备创新，推广使用低噪声、低振动型车辆、轨道结构和先进的高弹性车辆转向结构。

城市轨道交通采用的车辆在车辆宽度、轴重、材质等方面存在差异。在选择车辆时，应优先考虑低噪声、低振动型车辆，从而减少整条线路对外的噪声与振动辐射水平。

表 28 不同轮轨条件的 A 计权噪声修正值

车轮有磨平、表面粗糙、不圆	噪声级提高 3 ~ 5dBA
弹性车轮	噪声级降低 10 ~ 20dBA

（三）控制措施的等级应与需求量相匹配，并结合线路的地质条件，控制措施自身特点、控制效果、工作频率、既往的运行状况等选择具体的减振措施；初级、中级减振措施可采用扣件减振，高级、特殊减振措施宜采用枕下结构和道床减振措施。

针对振动污染，目前最有效且采用的方式主要有三种，即扣件减振、枕下结构减振和道床减振。

不同措施的减振效果如下表所示：

基于以上减振措施的概述，对常用减振措施进行了对比分析，见下表。

表 29 不同轨道结构的减振量

轨道结构类型	减振量（振动加速度级）
普通钢筋混凝土整体道床	0
轨道减振器式整体道床	-3 ~ -5
弹性短轨枕式整体道床	-8 ~ -12
橡胶浮置板式整体道床	-15 ~ -25
钢弹簧浮置板式整体道床	-20 ~ -30

在具体措施选用时，控制措施的等级应与需求量相匹配。

6.5 传播途径消减

（一）对于采用源头措施后仍不符合要求的线路，可在传播途径采取措施消减城市轨道交通引起的噪声与振动影响。

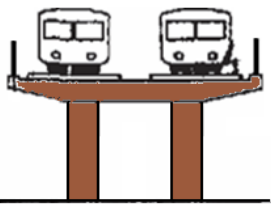
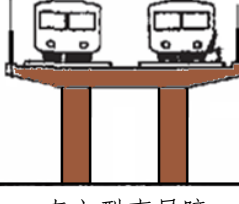
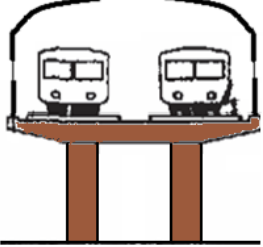
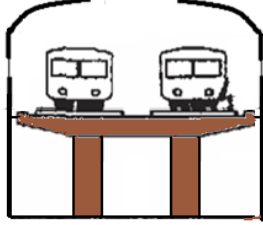
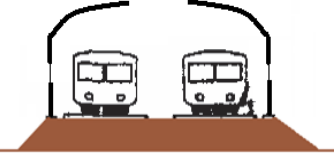
（二）对于城市轨道交通地面线和高架线造成的噪声污染，宜采用安装声屏障措施；超标严重的线路，若条件允许，可使用半封闭或全封闭型声屏障。

在源头采用措施仍不能使噪声达标的情况下，应从传播途径积极采用控制措施。目前，声屏障仍是控制噪声传播最为常用的防治措施，因此鼓励采用声屏障措施保护受影响的敏感建筑物。

轨道交通设置的声屏障形式主要有直立型、半封闭声屏障和整体型声屏障。而于声屏障的效果，北京市劳动保护科学研究所曾对北京市轨道交通使用的声屏障进行了实地测量，其降噪效果一般介于 3 ~ 10dB，对于全封闭型、整体型声屏障其降噪效果可达 10 ~ 17dB，具体效果如下：

表 30 声屏障的降噪效果

屏障型式	降噪效果	屏障型式	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	12 ~ 17dB
 直立型声屏障	5 ~ 8dB	 封闭型声屏障	6 ~ 10dB

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。

(三)受地下线振动影响的建筑物,可在其外部的合理位置采用减振沟、隔振墙等隔振屏障增大振动衰减量。

在振动传播的途径上加以控制是一项有效的减振隔振措施,工程上常见的且效果明显的是用屏障隔振。

(1) 连续屏障

屏障隔振措施用来阻碍或改变外围振动波向屏蔽区的传播,从而减小屏蔽区的地面、结构振动。主要有连续屏障和非连续屏障两类。

① 开口空沟,开口空沟仅适用于相对波长较短的情况;

② 用泥浆、锯屑、砂子等填充的减振沟。主要起到消波、滤波的作用,可改变大部分振动波的频率分布,从而分散主要频段的能量,不仅将水平分量产生的能量降低到最低限度,同时也使竖向能量有了很大的衰减,常用于保护重要建筑物和爆破工程中。

根据淳庆等人在对强夯施工时的减振沟减振效果研究时的结论,减振沟可减小 60%-80% 的振动加速度,且减振沟的减振效果随其深度增加而增加,而减振沟的宽度基本不影响减振效果。同时,从郭涛对不同位置条件下减振沟的减振效应研究中可以得出,当减振沟与保护目标较近时,减振效果较好;当减振沟与保护目标较远时,减振效果较差。

③ 混凝土刚性隔振墙。隔振墙效能与减振沟类似,有试验表明,隔振墙的板质、厚度和深度对减振效果均有影响。

然而，连续屏障由于维护和实施等方面的原因，在实际中并不很常见。相关的理论研究和应用实例表明，这类措施一般用于地面线引起的振动治理问题中，其深度直接决定其减振效果的好坏。屏障类减振措施应靠近振动源布置，且其深度不应小于特征频率瑞利波波长的0.6倍。对于150m/s的瑞利波，如果需要控制20Hz以上的振动波，其屏障深度不应小于4.5m。

(2) 非连续屏障

① 圆柱形排桩或排孔隔振体系。

② 在地层下打入柱桩，形成柱列或柱阵。采用这种措施防止地铁振动对沿线建筑的干扰，在国外已有成功案例。

③ 密布封口钢管桩隔振体系。该隔振体系与隔振墙效果相当。

(四) 鼓励城市轨道交通高架线采用隔声或隔振型桥梁，避免二次辐射引起的环境污染。

目前部分轨道交通采用的桥梁，在列车通过时，会激起桥梁振动，从而引起二次结构噪声的问题。这类噪声通常以低频噪声为主，控制难度较大。因此，针对城市轨道交通线路可积极采用的具有减振降噪的能力的桥梁，减少噪声与振动的对外辐射。

6.6 敏感目标

(一) 合理布局和调整优化城市轨道交通线路两侧的建筑物使用性质，首排建筑物以商业、办公建筑为宜。

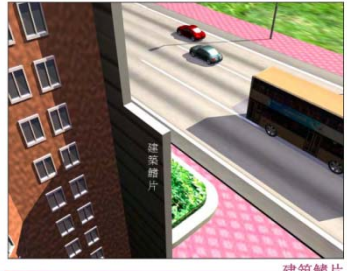
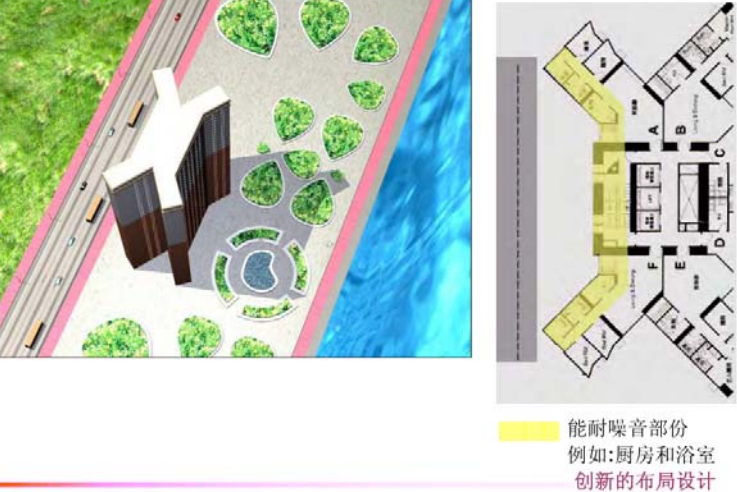
商业、办公建筑通常夜间无人居住，对噪声和振动的承受能力较高；在建筑布局时，近轨道线路两侧宜优先设置商业、办公建筑。

(二) 城市轨道交通噪声影响范围内的新建建筑物宜通过建筑形式、结构、格局等因素的优化，增加对噪声的阻挡作用；既有敏感建筑物宜加装隔声窗，以确保室内声环境质量符合相关规范要求。

针对既有建筑物，对于采用源头控制和传播途径控制仍不能使声质量达标的情况，只能通过隔声窗的使用达到保护室内环境的目的。影响隔声量主要的因素有型材、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，目前隔声窗的隔声量主要介于25~40dB。一般情况下，使用隔声窗均能使室内声环境符合国家有关的标准。

对于新建建筑物，可以通过建筑布局设计、调整楼宇排列等方法降低建筑物的噪声，具体设计时可参考下表。

表 31 新建建筑的创新设计

 基座平台 (1) 采用基座平台	 楼宇排列 (2) 调整楼宇排列	 能耐噪声的楼宇 (3) 能耐噪声的楼宇保护
 露台 (4) 露台	 建筑鳍片 (5) 建筑鳍片	 跨越式平台 (6) 跨越式平台
 能耐噪音部份 例如:厨房和浴室 创新的布局设计 (7) 创新的布局设计		注：资料来源于香港环境保护署《香港纾解交通噪音的屋宇设计及缓解措施》

(三) 振动影响范围内的新建建筑物，宜采用基础隔振、增加建筑的高度、提高建筑质量、合理铺设减振材料等措施消减振动的影响。

建筑物的基础、形式、结构、楼层、格局等属性对振动衰减有较大的影响。

地铁引发的振动一般主要是通过地基振动对周围建筑物产生影响，建筑物基础振动导致地板墙体、梁柱、门窗和家具等振动并辐射二次结构噪声。要减小敏感建筑物受地铁振动的影响，可从建筑物本身着手。

(1) 采用合理的基础和结构型式

地铁振动的影响与建筑物基础和结构形式有很大关系。地基弹性很大程度上影响着建筑

物对振动的感应程度，地基刚性越强，建筑物的振动响应越低。通常，轻型框架结构的振动衰减很小，而重型框架结构的振动衰减较大。合适的结构型式对减振也是非常有帮助的。

1) 使用刚性桩、筏基础

桩基础由基桩和联接于桩顶的承台共同组成，应用广泛于高层建筑中。其特点有：

① 桩支承于坚硬的（基岩、密实的卵砾石层）或较硬的（硬塑粘性土、中密砂等）持力层，具有很高的竖向单桩承载力或群桩承载力，足以承担高层建筑的全部竖向荷载（包括偏心荷载）。

② 桩基具有很大的竖向单桩刚度（端承桩）或群刚度（摩擦桩），在自重或相邻荷载影响下，不产生过大的不均匀沉降，并确保建筑物的倾斜不超过允许范围。

③ 凭借巨大的单桩侧向刚度（大直径桩）或群桩基础的侧向刚度及其整体抗倾覆能力，抵御由于风和地震引起的水平荷载与力矩荷载，保证高层建筑的抗倾覆稳定性。

④ 桩身穿过可液化土层而支承于稳定的坚实土层或嵌固于基岩，在地震造成浅部土层液化与震陷的情况下，桩基凭靠深部稳固土层仍具有足够的抗压与抗拔承载力，从而确保高层建筑的稳定，且不产生过大的沉陷与倾斜。常用的桩型主要有预制钢筋混凝土桩、预应力钢筋混凝土桩、钻（冲）孔灌注桩、人工挖孔灌注桩、钢管桩等，其适用条件和要求在《建筑桩基技术规范》中均有规定。

筏基础又叫筏板基础。特点为整体性好，能很好的抵抗地基不均匀沉降。

2) 建筑物的刚性、质量

通过调整房屋结构体系的刚度，改变结构自振频率，可避免主振源与房屋结构之间由于低频耦合作用产生的共振现象。此外，建筑物振动与建筑结构有关，对于轻型结构框架或基础，振动衰减为零；对于重型结构框架或基础，振动衰减为（15 ± 5）dB；对于重型结构建筑物楼层增加，振动减少，每层减少 1 ~ 4 dB, 轻体结构振动不随楼高的增加而减少。

在 HJ 453《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》中，对于不同类型的建筑物其对振动传播的影响如下表所示：

表 32 不同类型建筑物对振动传播的影响

建筑类型	基础较差的轻质、老旧房屋（质量较差的低层建筑或简易临时建筑）	基础一般的砖木、砖混结构建筑（中层建筑或质量较好的低层建筑）	基础良好的框架结构建筑（高层建筑）
振动衰减量	-3 ~ 3dB	3 ~ 8dB	6 ~ 13dB

(2) 安装隔振装置

在建筑结构上安装隔振装置，例如建筑物基础加减震支座，或在房间内建造一个与外房间结构没有任何刚性连接的房间，即“房中房”结构。“房中房”是隔振要求较高的建筑常采用的方法，它与外层结构是完全分离的，振动被彻底隔开，使得室内几乎不受外界影响。

（3）建筑物减振材料

减振垫通常做成支承或连接件，广泛用于各种车辆、船舶、机械、桥梁、建筑中，以消除或减缓振动的不良后果，在中国、瑞士等国家的建筑物、地面振动防护方面均有应用，效果较好。对建筑物使用隔振垫，包括建筑物侧面隔振垫和建筑物底部隔振垫，其减振效果应针对不同建筑物进行不同的设计。

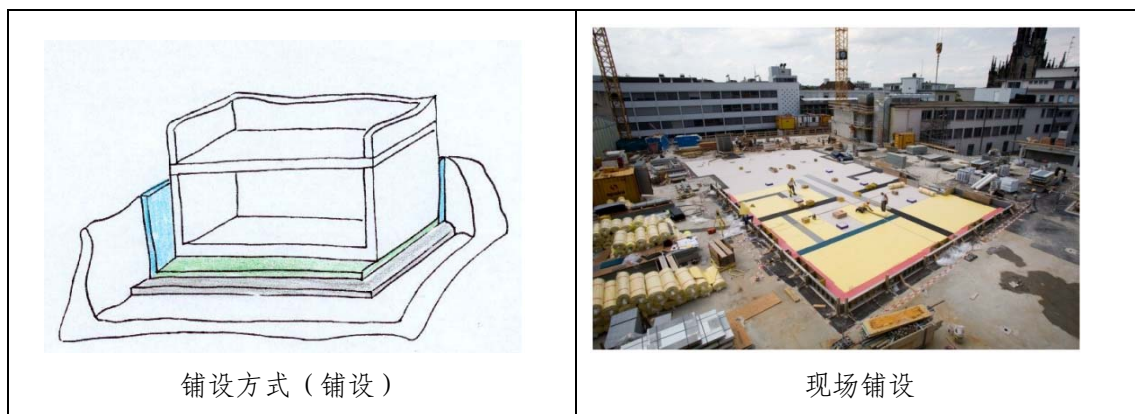


图 8 Getzner 减振材料在建筑结构上的应用

（四）无预留控制条件或施工改造难度大的环境噪声与振动影响较大线路，在条件允许的前提下，可考虑进行建筑物拆迁或功能置换。

（五）精密仪器加工车间、精密仪器实验室、古建筑、车辆段上盖建筑、下穿线路上方的既有建筑物等特殊振动敏感建筑物宜进行前期的专项技术研究论证，避免技术评估不足引起的环境污染风险。

针对位于线路两侧较近的建筑物，如精密仪器实验室、古建筑、车辆段上盖建筑、下穿线路上方的既有建筑物等，由于距离轨道近且对振动极为敏感。在实际中，常有类似的案例出现，导致后期改造难度极大。因此，此类情形应进行专项技术论证，事前预防。

6.7 鼓励研发的新技术、新产品、新工艺

噪声与振动防治相关的新材料、新产品、新工艺的研发，能有效的提高噪声与振动的控制水平，在实践工程项目中应积极鼓励推广和应用。

（一）低噪声、低振动车辆的研究

针对城市轨道交通噪声与振动污染的现状和控制措施的发展趋势，鼓励有关的部门或单位积极开展低噪声、低振动型车辆的研究，从源头减少噪声与振动的污染程度。

（二）减振措施长效性的研究

减振措施长期使用后的效果，是经济性、安全性和有效性的重要体现，同时也是措施选用的重要评价指标。

（三）新型减振轨道结构的研究

措施可从源头、传播途径和敏感目标处分别采取相应的隔振控制措施，其中源头控制措

施效果最为显著。目前，绝大多数城市轨道交通噪声与振动控制技术或产品均着手于轨道结构，因此研究新型的减振轨道结构仍是轨道交通污染控制的主要发展方向。

（四）微孔弹性体等新型隔振材料的推广和应用

隔振材料广泛用于轨道和建筑物的减振，隔振材料在振动防治工作中有着十分重要的地位和作用。从国家产业政策上看，高分子材料是国家鼓励优先发展的产业，高分子隔振材料在轨道交通的应用具有较大的发展空间；此外，从国外使用的隔声材料看，高分子材料多加工成微孔弹性体的型式，其性能稳定，具有较好的推广和应用价值。

（五）高精度的施工工艺的研究和应用

绝大多数的控制措施均有严格的安装控制指标，而这些指标往往直接影响到控制效果的优劣。开展高精度的施工工艺的研究和应用，将是保证这些指标按照要求安装的重要手段和方式。