

# 铁路轨道与列车振动控制技术

刘吉祥 张仕广 王正迁  
青岛地铁运营有限公司 山东 青岛 266000

**摘要:** 本文深入探讨了铁路轨道与列车振动控制技术的核心重要性、当前应用状况以及对未来发展的预期。振动控制技术,在铁路交通领域显得尤为重要,它不仅能够显著提升乘客的旅途舒适度,还能有效减少噪声污染,从而延长铁路线路的使用年限。文中详细剖析了几种主流的振动控制技术,包括减振器、无缝线路设计以及轨道质量控制等,并逐一评估了它们在实际中的表现。此外,针对铁路轨道与列车振动控制技术的未来发展,本文也提出了富有建设性的意见和建议。

**关键词:** 铁路轨道; 列车振动; 控制技术

## 引言

随着我国铁路事业的快速发展,提高铁路运输的安全性、舒适性和环保性能成为当务之急。铁路轨道与列车振动控制技术的研究和应用成为了关注焦点。振动过大不仅影响乘客的舒适度,还会加速轨道和车辆的磨损,导致噪声污染和线路维护成本增加。因此,研究铁路轨道与列车振动控制技术具有重要的现实意义。本文将探讨铁路轨道与列车振动控制技术的重要性、现状及应用进行探讨,并对未来发展进行展望。

### 1 铁路轨道与列车振动控制技术的重要性

铁路振动,这一由列车行驶中轮轨接触和轨道结构等因素引起的现象,虽看似微小,实则影响深远。过大的振动不仅会降低乘客的乘坐体验,更会对轨道和车辆造成不可逆转的损害,进而引发噪声污染和增加线路维护成本。因此,深入研究并应用铁路轨道与列车振动控制技术显得尤为关键。首先,该技术能显著提高乘客的舒适度。振动控制技术的运用能有效减少列车行驶中的颠簸,为乘客提供更加平稳、舒适的旅程,从而增强铁路运输的竞争力。其次,它有助于降低噪声污染。通过减小振动,可以间接减少因振动而产生的噪声,为沿线居民创造一个更加宁静的生活环境。再者,振动控制技术对延长铁路线路的使用寿命也至关重要。通过减轻轨道的磨损,该技术能够降低维修频率和成本,从而延长铁路线路的整体使用寿命。最后,该技术还能提高铁路

运输的安全性。降低振动意味着列车行驶更加平稳,这有助于减少因振动过大而引发的事故风险,确保铁路运输的安全与可靠。总之,铁路轨道与列车振动控制在提高乘客舒适度、降低噪声污染、延长线路使用寿命和提升运输安全性等方面均发挥着重要作用,其研究和应用具有重要的现实意义和长远价值<sup>[1]</sup>。

## 2 铁路轨道与列车振动控制技术及应用

### 2.1 减振器

在铁路交通系统中,振动是一个不可避免的现象。当列车在轨道上高速运行时,由于轨道的不平顺、车轮与轨道的接触以及列车的动态载荷等因素,会产生各种振动。这些振动不仅影响列车的行驶平稳性和乘客的舒适度,还可能对轨道结构和列车设备造成损害。为了减少这种振动,减振器作为一种关键的振动控制装置被广泛应用于铁路轨道与列车振动控制中。减振器的工作原理基于阻尼效应,即利用阻尼元件消耗振动能量,从而降低振动的幅度。在列车行驶过程中,振动能量通过车轮、车轴等传递到列车的各个部分。减振器通过其内部的阻尼元件,将这些振动能量转化为热能或其他形式的能量消耗掉,从而减小振动的传递和放大,保障列车行驶的平稳性和乘客的舒适度。液压减振器是铁路领域中常见且高效的减振装置之一。它利用液体的粘性阻尼来消耗振动能量。当振动发生时,减振器内的活塞在液压油的阻尼作用下往复运动,将振动能量转化为热能。这种热能随后通过液压油的循环散热系统散发出去,确保减振器不会因过热而失效。液压减振器的优点在于其阻尼力可调、减振效果好、使用寿命长等。通过调整减振器内液压油的粘度和阻尼孔的大小,可以实现对阻尼力的精确控制,从而适应不同列车和轨道条件下的振动控制需求。除了液压减振器外,橡胶减振器和气

**作者简介:** 刘吉祥,1991年10月3日,本科,青岛地铁运营有限公司,助理工程师,轨道交通。

张仕广,1993年1月24日,本科,青岛地铁运营有限公司,助理工程师,轨道交通。

王正迁,1992年12月18日,本科,青岛地铁运营有限公司,轨道交通。

体减振器也在铁路轨道与列车振动控制中发挥着重要作用。橡胶减振器利用橡胶材料的弹性和阻尼特性来消耗振动能量。它的结构简单、成本低廉,适用于各种振动环境。气体减振器则通过气体的压缩和膨胀来吸收和释放振动能量。它具有响应速度快、阻尼力可调等特点,特别适用于对振动控制要求较高的场合。不同类型的减振器各有其独特的优势和应用范围。在选择减振器时,需要根据实际需求进行综合考虑。例如,对于高速列车,由于其运行速度较快,对振动控制的要求也较高,因此可以选择阻尼力可调、减振效果好的液压减振器。而对于一些低速、轻载的列车,可以选择结构简单、成本低廉的橡胶减振器。

## 2.2 无缝线路

铁路轨道与列车振动控制技术及应用领域中,无缝线路技术是一项至关重要的创新<sup>[2]</sup>。这一技术的核心理念是通过将轨道焊接成长达数百米甚至上千米的连续轨道,彻底消除传统接轨处存在的空隙。这种连续性不仅增强了轨道的整体强度,更在减小列车行驶过程中产生的振动方面发挥了巨大作用。在传统的铁路轨道中,轨道是由一段段固定长度的钢轨通过接轨连接而成。这些接轨处在列车通过时会产生冲击和振动,不仅影响列车行驶的平稳性,还会加速轨道结构的磨损,增加维护成本。而无缝线路技术的出现,正是为了解决这一问题。无缝线路的制作过程需要高精度的焊接工艺和严格的质量控制。在焊接过程中,两段钢轨的端面被加热至塑性状态,然后通过压力使其紧密结合在一起。这样形成的焊缝具有与钢轨本身相近的强度和韧性,确保了整个轨道的连续性和稳定性。无缝线路技术的应用带来了显著的效益。首先,消除了接轨处的空隙,减少了列车通过时的冲击和振动,从而大大提高了列车行驶的平稳性。这种平稳性不仅提升了乘客的舒适度,还有助于保护列车和轨道结构免受损伤。其次,无缝线路减少了轨道结构的维护工作量。由于振动和冲击的减小,轨道结构的磨损速度大大降低,延长了使用寿命。在我国高速铁路领域,无缝线路技术得到了广泛应用。高速列车在高速行驶时,对轨道的平稳性要求极高。无缝线路技术的应用为高速列车提供了稳定、平顺的运行环境,确保了列车的高速、安全、舒适运行。同时,无缝线路技术也为我国高速铁路的发展提供了有力支持,推动了我国铁路交通的现代化建设。然而,无缝线路技术也面临一些挑战和问题。例如,在极端气候条件下,无缝线路可能会因热胀冷缩效应而产生应力集中现象,需要采取相应的措施进行预防和处理。此外,随着铁路交通的不断发

展,对无缝线路技术的要求也在不断提高,需要不断进行技术创新和改进。

## 2.3 轨道质量控制

铁路轨道作为列车行驶的基础设施,其质量直接关系到列车的运行平稳性、安全性以及乘客的舒适度。在铁路轨道与列车振动控制技术及应用中,轨道质量控制占据着举足轻重的地位。通过提高轨道质量,降低轨道几何不平顺性,可以有效地减小列车行驶过程中产生的振动,从而提升整个铁路系统的运行品质。轨道几何不平顺性,指的是轨道在几何形状上与设计标准或理想状态存在的偏差。这种偏差可能由多种因素引起,如施工误差、材料老化、地质条件变化等。轨道几何不平顺性不仅会导致列车行驶时的振动加剧,还可能引发列车脱轨等严重事故,因此必须对其进行严格控制。轨道质量控制技术主要包括轨道几何修复和轨道加强两个方面。轨道几何修复是针对已经存在的轨道几何不平顺性进行的修复工作。这项工作通常包括轨道检测、数据分析和修复施工三个步骤<sup>[3]</sup>。首先,使用专业的轨道检测设备对轨道进行全面检测,获取轨道几何形状的详细数据;然后,通过对检测数据的分析,确定轨道几何不平顺性的具体位置和严重程度;最后,根据分析结果制定修复方案,并进行修复施工,使轨道几何形状恢复到设计标准或理想状态。与轨道几何修复相比,轨道加强则更侧重于提升轨道结构的整体强度和稳定性。轨道加强的方法多种多样,可以通过增加轨道结构的截面尺寸、使用高强度材料、优化轨道结构设计等方式实现。例如,在高速铁路中,常采用无砟轨道结构,通过增加轨道板的厚度和使用高强度混凝土等材料,显著提升了轨道的承载能力和稳定性。此外,还可以通过对轨道扣件、连接件等关键部件进行加强,进一步提高轨道结构的整体性能。轨道质量控制技术的实施需要遵循科学、系统的原则。首先,要制定完善的轨道质量控制标准和规范,明确各项工作的具体要求和操作流程;其次,要加强轨道质量检测和分析工作,确保检测数据的准确性和可靠性;最后,要注重轨道修复和加强施工的质量管理,确保施工质量和效果符合预期要求。

## 2.4 其他振动控制技术

在探讨铁路轨道与列车振动控制技术及应用时,除了前文提到的几种关键技术外,还有许多其他重要的振动控制技术同样值得关注。这些技术虽然可能不是最直观的,但它们在减少振动、提高列车行驶平稳性和乘客舒适度方面同样发挥着不可或缺的作用。车辆悬挂系统优化就是其中一项关键技术。悬挂系统是列车与轨道之

间的“桥梁”，它负责将列车的重量和动态载荷传递到轨道上，同时吸收和缓冲来自轨道的振动和冲击。优化车辆悬挂系统，意味着通过改进悬挂装置的结构、使用更先进的阻尼材料和控制算法，使悬挂系统能够更好地适应不同的轨道条件和列车运行状态，从而更有效地减少振动传递，提高列车的行驶平稳性。悬挂系统的优化不仅包括硬件方面的改进，如采用更先进的液压或气压悬挂装置，还包括软件方面的提升，如使用更智能的控制算法来实时调整悬挂系统的刚度和阻尼。通过这些综合措施，可以显著提高列车对轨道不平顺性的适应能力，降低振动对列车和乘客的影响。另一项重要的振动控制技术是轨道与车辆耦合动力学分析。这是一种复杂而精确的分析方法，它通过研究轨道与列车之间的相互作用和动态响应，来揭示振动产生的机理和传播规律。通过这种分析，可以更准确地预测列车在不同轨道条件下的振动表现，从而为振动控制技术的设计和应用提供更有针对性的指导。耦合动力学分析涉及多个学科的交叉融合，包括力学、振动学、材料科学等。它利用先进的数值模拟方法和实验手段，对轨道与列车的动态行为进行深入研究<sup>[4]</sup>。通过这种研究，不仅可以优化现有振动控制技术的性能，还可以为开发新型振动控制技术提供理论支持和技术储备。除了上述两种技术外，还有许多其他振动控制技术也在不断发展和应用中，如主动控制技术、隔振技术等。这些技术各有特点和应用范围，但共同的目标都是减少振动、提高列车行驶的平稳性和乘客的舒适度。

### 3 铁路轨道与列车振动控制技术展望

随着我国铁路事业的持续高速发展和高速铁路网的逐步完善，铁路轨道与列车振动控制技术正面临着新的挑战与机遇。为了应对这些挑战并抓住机遇，未来的振动控制技术将朝着更加智能化、环保、个性化和深化耦合动力学分析的方向发展。智能化振动控制是未来铁路交通领域的重要趋势。借助大数据、人工智能等先进技术，我们可以收集和分析海量的轨道与列车运行数据，准确预测振动行为，并实时调整控制策略。这种智能化的振动控制系统能够确保列车始终在安全、舒适的

轨道环境中运行，提高乘客的出行体验。环保和节能已成为全球交通领域的共识，铁路交通作为绿色交通方式之一，其振动控制技术也需要更加注重环保和节能。未来的振动控制技术将通过研发新材料、优化结构设计等方式，降低振动控制过程中的能耗和环境影响，实现铁路交通的绿色可持续发展。个性化振动控制技术也是未来发展的重要方向。考虑到不同类型的列车和复杂的线路条件，我们需要为每一类列车和每一条线路量身定制最优的振动控制方案。通过深入研究各种列车的动态特性和不同线路的振动特性，我们可以为每一辆列车提供更加精准的振动控制服务，确保列车在各种线路条件下都能保持平稳运行。最后，耦合动力学分析的深化应用将为振动控制技术的创新提供强有力的理论支持。随着计算能力的提升和仿真技术的发展，我们可以更加精确和深入地分析轨道与车辆的耦合动力学行为，揭示振动产生的机理和传播规律。这将有助于我们优化现有振动控制技术的性能，并开发新型的振动控制技术，为铁路交通的安全、高效、舒适运行提供更加有力的保障。

### 结语

深入探讨铁路轨道与列车振动控制技术的重要性，不难发现其对于提升我国铁路运输的整体安全、舒适与环保标准具有不可或缺的价值。基于当前技术成果，持续研发并优化更具适应性和高效性的振动控制技术，无疑将为我国铁路事业的绿色、可持续发展注入强劲动力。本文旨在为相关领域的研究与应用提供全面参考，期望能助推铁路振动控制技术的创新与发展。

### 参考文献

- [1]李志强,张继科,梁波,等.高速列车振动控制技术研究[J].铁道科学与工程学报,2019,16(2):88-94.
- [2]赵洪涛,魏东明,丁志杰,等.基于主动控制的高速列车振动抑制研究[J].机械工程与自动化,2020,44(1):26-32.
- [3]王攀登,张伟,马文丽,等.高速列车车轮不圆对轨道振动的影响研究[J].振动与冲击,2021,40(3):56-62.
- [4]刘洋,杨宇,程瑶,等.基于大数据分析的高速铁路振动异常诊断方法研究[J].铁道运输与经济,2022,44(4):39-45.