

大跨度桥梁抗震设计中的新型隔震技术应用

杨少伟

新昌县交通建设有限公司, 浙江绍兴, 312500;

摘要: 随着大跨度桥梁的建设不断推进, 其抗震设计的挑战逐渐加大, 传统的抗震设计方法如加强结构刚度和采用阻尼器虽然在一定程度上能提高抗震能力, 但难以应对复杂的地震作用, 近年来, 新型隔震技术如滑动隔震技术、高阻尼隔震技术及智能隔震技术的出现为桥梁抗震设计提供了新的思路和解决方案, 本文介绍了这些新型隔震技术的原理、发展和应用, 重点探讨了其在大跨度桥梁抗震设计中的具体应用, 通过分析其在设计过程中的选型与优化, 以进一步提高桥梁的抗震性能和安全性。

关键词: 大跨度桥梁; 抗震设计; 隔震技术

DOI: 10. 69979/3029-2727. 24. 07. 030

引言

大跨度桥梁作为交通基础设施的关键组成部分, 承载着重要的运输任务, 在地震等自然灾害中, 传统的抗震设计方法已难以满足现代桥梁对抗震性能的高要求, 隔震技术作为一种新型的抗震手段, 近年来在大跨度桥梁抗震设计中得到了广泛应用, 滑动隔震、高阻尼隔震和智能隔震技术因其出色的抗震性能和可调性, 成为大跨度桥梁抗震设计中的重要技术, 本文通过对这些新型隔震技术的研究与应用分析, 探讨其在大跨度桥梁抗震设计中的潜力与发展方向。

1 传统抗震设计方法

1.1 加强桥梁结构刚度

在传统的大跨度桥梁抗震设计中, 加强桥梁结构刚度是一种常见且有效的技术手段。该方法核心理念是通过增加桥梁结构的整体刚度, 提高其在地震作用下的抗震能力, 进而减少地震对桥梁的破坏。具体而言, 加强刚度通常采用增大桥梁构件截面尺寸、增加支撑和加固节点的方式, 旨在使桥梁的结构更加坚固, 以确保在强烈地震作用下, 桥梁的变形量控制在合理范围内, 避免因变形过大而导致的结构失效, 然而增加结构刚度虽然能够提升抗震能力, 但其效果往往有限且会带来一些不容忽视的负面影响, 例如: 刚度增加往往伴随自重的增加, 这可能会加大桥梁的静载荷和地震反应, 导致桥梁在强震作用下产生较大的惯性力, 这种惯性力的作用可能会引发桥梁的过度振动, 进而对桥梁结构造成额

外的损害^[1]。

1.2 采用阻尼器技术

在传统的大跨度桥梁抗震设计中, 采用阻尼器技术广泛应用于提高桥梁结构的能量耗散能力, 减小地震对桥梁的破坏, 其核心原理是通过在结构中引入额外的能量耗散装置, 将地震产生的振动能量转化为热能或其他形式的能量, 进而减小桥梁结构的振动幅度。常见的阻尼器类型包括粘滞阻尼器、摩擦阻尼器、磁流变阻尼器等, 粘滞阻尼器通过流体的粘滞力来吸收和耗散振动能量, 摩擦阻尼器则利用摩擦力在结构震动过程中实现能量的耗散, 而磁流变阻尼器则依靠智能材料的电磁特性, 能够实时调节阻尼力以适应不同的震动环境, 这些阻尼器通过不同的工作机制能有效地降低结构的震动响应, 减轻地震作用对桥梁的破坏。阻尼器技术的引入还能有效控制结构的振动幅度, 减少桥梁在地震中的破坏性变形, 相比单纯的刚度增强, 阻尼器能够在减小桥梁结构变形的同时, 避免因刚度过大而引发的惯性力增大问题, 其优点在于其能量耗散特性, 能够将地震的动能转化为热能, 通过热量的散发消除地震的能量积聚, 使桥梁保持较小的振动幅度, 达到有效减震的目的。

2 新型隔震技术的研究与发展

2.1 滑动隔震技术

滑动隔震技术作为新型隔震技术之一, 近年来在大跨度桥梁抗震设计中得到了广泛关注与应用, 其基本原理是通过在桥梁与基础之间安装滑动隔震装置, 使得地

震波传递到桥梁结构时,部分地震能量通过隔震装置被吸收或偏转,以此有效降低地震波对桥梁结构的影响,滑动隔震装置通常由滑动摩擦面、支撑结构和阻尼元件组成,其中滑动摩擦面是实现能量耗散和减少地震传递的核心部分,通过设计滑动面材料的摩擦系数,可以调节其滑动特性,控制地震能量的吸收能力,进而有效减小桥梁的震动幅度。滑动隔震技术的优势在于能够显著降低桥梁在地震中的响应,其作用原理主要依赖于摩擦力的耗散特性,当地震波作用于桥梁时,滑动隔震装置能够在一定程度上“滑动”,使桥梁的震动与基础之间的动力学耦合关系发生改变,以此实现有效的隔震效果,滑动隔震系统具有较高的非线性特征,能够在地震初期有效地减小桥梁的振动,并且在强烈地震作用下仍能保持较为稳定的工作状态。除此之外,滑动隔震装置的适应性较强,可以根据不同桥梁的实际情况和地震特性选择不同的滑动面材料和设计参数来优化隔震效果,滑动隔震技术的应用大幅提升了桥梁结构的抗震能力,并且有效减少了桥梁在地震中所需的维修和维护成本,具有较高的经济效益与社会效益。

2.2 液压隔震技术

液压隔震技术是一种基于液压系统的高效能量耗散手段,广泛应用于大跨度桥梁及高层建筑的抗震设计中,其基本原理是通过液压阻尼装置(如液压缓冲器、液压阻尼器等)在结构与基础之间引入液体流动的机制,借助液体的压缩特性和流动特性将地震波所带来的震动能量转化为热能或其他形式的能量,减少其对结构的影响。液压隔震系统通常由液压缸、活塞、油路系统等组成,当地震波作用于结构时,液压系统中的油液在压力的作用下发生流动,流动过程中产生的摩擦力和液体阻力有效吸收了震动能量,这一过程中液压装置除了起到能量消散的作用,还能有效调节震动传递路径,进一步降低震动幅度、保护桥梁结构免受强烈震动的破坏。液压隔震技术的优势主要体现在其高度的可调性和可靠性,液压系统能够根据地震的强度和频率灵活调节控制震动能量的耗散和传递,以确保桥梁结构在不同地震波作用下都能保持较好的抗震性能,液压阻尼器的工作原理具有高度非线性,能够在地震初期迅速吸收大量能量并且在强震作用下仍能保持稳定的阻尼特性,避免因能量过多积聚而导致的系统失效或性能衰减,与传统的刚度增强或纯粹的摩擦型隔震系统相比,液压隔震技术

具有较强的能量吸收能力和高效的振动抑制效果,能够在地震作用下自适应地调整其阻尼力,确保桥梁始终处于最佳的隔震状态,避免了地震后可能带来的过度振动或残余位移^[2]。

2.3 智能隔震技术

智能隔震技术近年来在大跨度桥梁抗震设计中取得了显著的研究进展,其核心原理是在传统隔震技术的基础上引入智能材料和智能控制系统,通过实时感知和调节结构与地震波之间的相互作用,动态调整隔震系统的工作状态,以最大限度地降低地震对桥梁结构的影响,智能隔震技术的关键在于其具备自适应能力,能够根据外部地震激励的特征实时调整其阻尼特性和刚度,以应对不同强度、频率和持续时间的地震波,常见的智能材料如磁流变材料、压电材料和形状记忆合金等,具有在外界刺激下改变自身物理性质的能力,这使得智能隔震系统能够在地震过程中实时调节,达到最佳的隔震效果。具体而言,智能隔震技术通过集成传感器、控制器和执行器形成闭环控制系统,能够实时监测桥梁的振动状态并根据传感器获取的数据动态调节智能材料的特性,磁流变材料是目前智能隔震技术中广泛使用的一种材料,其通过外加磁场的变化调整其流变性质,进而在地震波作用下改变系统的阻尼特性,以适应不同地震强度的需求;形状记忆合金则能够根据温度或应力的变化恢复其原始形状,利用这一特性调节结构的刚度进一步提升抗震性能。除此之外,智能控制系统通过精确的算法,能够根据桥梁的震动反馈信号实时优化控制策略,使得隔震装置始终保持在最佳工作状态,避免因过度消耗或低效耗能而造成的不必要的结构负荷和能量浪费,以有效提升桥梁的抗震能力,还能在一定程度上减少因设计不当或地震环境变化带来的损害,具有较高的灵活性和适应性。

3 新型隔震技术在大跨度桥梁抗震设计中的应用

3.1 抗震设计的规范与标准

在大跨度桥梁的抗震设计中,新型隔震技术的应用离不开相关规范与标准的指导,随着地震工程技术的不断进步,多个国家和地区相继制定了专门针对桥梁抗震设计的规范与标准,推动了隔震技术的应用和发展。在中国,《桥梁抗震设计规范》(JTG/T D60-01-2015)

作为国家级的设计标准,明确了抗震设计的基本要求、设计方法及计算程序,为桥梁的抗震设计提供了理论依据和实践指导,根据这一规范,大跨度桥梁的抗震设计需要考虑地震烈度和地震波的特性,还应结合结构类型、桥梁所在区域的地震危险性等因素进行综合分析,在此框架下,新型隔震技术,如滑动隔震、高阻尼隔震和液压隔震等,逐步被纳入到设计标准的适用范围,成为提升桥梁抗震性能的重要手段。新型隔震技术的应用,尤其是在高烈度地震区的大跨度桥梁设计中,能够显著提升结构的抗震性能,并有效降低地震波对桥梁的影响,以滑动隔震为例,在《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T D60-2004)中,明确规定了滑动隔震装置的选型、设计计算和安装要求,并对摩擦系数、滑动性能和耐久性等方面提出了严格的标准,对于高阻尼隔震技术,规范中则要求设计时充分考虑阻尼器的能量吸收特性和长期稳定性,确保其在长期使用中的可靠性;在液压隔震技术的应用上,规范也规定了液压装置的工作原理、适用条件以及抗震设计的具体要求,确保这些装置在强震作用下能够发挥最大效能,避免桥梁因过度振动或变形而发生严重损坏,另外设计标准还强调了新型隔震技术与传统结构抗震措施的结合,例如:阻尼器的配置、隔震器与桥梁结构的连接方式等,以达到整体抗震性能的最优平衡^[3]。

3.2 隔震技术的选型与设计

随着地震工程技术的不断进步和新型隔震装置的不断涌现,合理选择与设计适合的隔震技术对于提升桥梁抗震性能、减少地震损害具有重要意义,隔震技术的选型首先需根据桥梁所在区域的地震危险性、桥梁结构特征及使用需求等因素进行全面分析。对于高烈度地震区的大跨度桥梁,滑动隔震技术常因其较高的能量吸收能力和适应性成为首选方案,其通过设置滑动摩擦面,利用摩擦力消耗地震能量,减少桥梁的震动响应,其选型设计需要考虑滑动面材料的摩擦系数、摩擦材料的耐久性和滑动阻力等因素,确保隔震器在长期使用中的稳定性与可靠性,同时还需根据桥梁的重量、跨度、地震波频率等因素进行优化,合理设置摩擦力和滑动位移的上限,以确保系统能够在不同强度和频率下,提供稳定有效的隔震效果。对于低烈度地震区或对抗震性能要求较为灵活的桥梁,常应用液压隔震技术和高阻尼隔震技术,液压隔震技术通过液压系统将地震能量转

化为热能或其他形式的能量,具有较强的能量吸收能力和较高的调节性,在设计液压隔震装置时需要精确选择液压缸、活塞以及油路系统等部件,确保系统能够在地震作用下迅速吸收和消耗能量,另外液压系统的密封性和耐久性也是设计时必须重点考虑的因素,以保证其在长期使用中的稳定性;高阻尼隔震技术则依赖于高阻尼材料的能量耗散特性,能够通过粘弹性阻尼器、橡胶高阻尼器等装置有效降低结构的振动幅度,在选型过程中需要根据桥梁的动态特性和地震环境的具体要求,选择合适的阻尼材料及装置参数并进行合理的阻尼计算与优化设计,以保证其能在强震时发挥最大效能。

3.3 桥梁隔震系统的实现与优化

3.3.1 隔震器的安装与调试

在大跨度桥梁的抗震设计中,隔震器作为桥梁隔震系统中的核心组件,其安装与调试是保障系统长期稳定运行和高效隔震能力的基础,通常需根据桥梁的设计方案及地震特性进行合理布局 and 位置选择。一般来说,隔震器应布置在桥梁的基础与上部结构之间,确保能有效隔离地震波的传播,减少震动传递到桥梁结构的影响,在安装过程中首先需要精确定位每个隔震器的安装位置,确保其与桥梁结构的相对位置准确无误,这一过程要求设计人员充分考虑桥梁的跨度、桥墩间距以及地震波的传播特性,合理规划隔震器的数量和分布,以实现最佳的抗震效果。在调试阶段,通常需要通过模拟地震波的作用进行隔震器的功能测试与性能评估,先通过专业的测试设备模拟不同强度和频率的地震波,监测隔震器在地震波作用下的反应,调试人员应检查隔震器的阻尼性能、弹性特性及其与桥梁结构的互动情况,确保隔震器能够根据地震波的不同特性,自适应地调整其工作状态,以实现最佳的能量耗散效果,在这一过程中还需要根据桥梁的动态响应,调节隔震器的参数,如阻尼系数、刚度和摩擦系数等,确保其在实际地震中能够充分发挥作用^[4]。

3.3.2 系统性能评估与优化方法

在大跨度桥梁抗震设计中,系统性能评估通常涉及多个方面,包括隔震系统的能量耗散能力、动态响应、稳定性及其与桥梁整体结构的协同作用等。性能评估需要通过数值模拟与理论分析相结合的方式,对隔震系统的设计参数进行初步评估,常见的评估方法包括有限元分析、模态分析和时程分析等,这些方法可以有效模拟

地震波作用下隔震系统的动态响应,预测其在不同地震强度、不同频率的作用下的表现,通过对系统响应的分析评估其在地震波的作用下是否能够有效隔离震动,并确保桥梁结构的安全性。优化方法则是通过对评估结果的分析,进一步调整隔震系统的设计参数,隔震器的选型与布局需要根据桥梁的实际结构和地震环境进行精细调整,例如:优化滑动隔震器的摩擦系数、调节高阻尼隔震器的阻尼特性,或是改变液压隔震系统的压力与流量设定,以提高能量耗散效果和阻尼效率,另外还需考虑到系统的长期稳定性与维护性,避免因材料疲劳、温度变化或长期荷载作用引起性能下降。

4 结束语

综上所述,随着隔震技术的不断发展和创新,滑动隔震、高阻尼隔震、液压隔震等技术已逐渐成为提升桥梁抗震能力的关键手段,通过合理选型、精确设计与科

学的系统优化,其能够有效减轻地震对桥梁结构的影响,提高其在极端环境下的安全性与可靠性,随着技术的进步和相关规范的完善,隔震技术将在桥梁抗震设计中发挥更加重要的作用,推动桥梁结构在抗震领域的不断革新和发展。

参考文献

- [1] 谭鑫波. 大跨度桥梁抗震特点及施工技术[J]. 工程建设与设计, 2018, (07): 106-108.
- [2] 杨俊宁. 大跨度桥梁抗震设计方法及抗震加固技术[J]. 四川水泥, 2017, (12): 54.
- [3] 周业超. 大跨度桥梁抗震设计实用方法的相关思考[J]. 建材与装饰, 2017, (37): 228-229.
- [4] 杨福欣. 大跨度桥梁抗震设计实用方法[J]. 建材与装饰, 2017, (13): 246-247.