

道路与桥梁工程中的抗震设计与加固技术研究

李治国

(安徽益祥建设集团有限公司, 安徽 合肥 230001)

【摘要】地震作为一种自然灾害,对道路与桥梁工程的安全性构成了严重威胁。本文旨在深入研究道路与桥梁工程中的抗震设计与加固技术,通过理论分析和实证研究,提出有效的抗震设计方案和加固措施,以提高工程结构的抗震性能,保障人民生命财产安全。

【关键词】道路工程;桥梁工程;抗震设计;加固技术

引言:

地震作为一种不可预测的自然灾害,对人类社会造成了巨大的损失。在道路与桥梁工程中,地震的影响尤为显著,可能导致结构破坏、交通中断,甚至引发更严重的次生灾害。因此,加强道路与桥梁工程的抗震设计与加固技术研究,对于提高工程结构的抗震性能,减少地震灾害损失具有重要意义。

一、道路与桥梁工程抗震设计原则

(一)整体性原则

在道路与桥梁工程的抗震设计中,整体性设计首先要求结构在设计初期就考虑其空间协同工作,确保各部分能共同承受地震力并分散应力。通过合理布置结构元素,如梁、柱、墩等,以及加强连接部分,如接头、节点,可增强结构的整体刚度和稳定性。例如,连续梁桥的设计中,主梁与桥墩的协同工作尤为重要,以确保地震产生的能量能够均匀传递和分散。其次,设计师需同时关注结构的强度、刚度、稳定性和延性。在强度控制中,不仅要保证结构在地震作用下不发生破坏,还要在结构材料和截面设计中留有一定的安全余量,以抵抗未知的地震。刚度要求结构在地震作用下的位移不过大,以保证行车的舒适性和安全性。稳定性则涉及结构在地震后的保持自我平衡的能力,延性则是结构在塑性变形后仍能继续承载荷载的能力,这两者都是保证结构在地震后仍能继续使用的关键因素。再者,整体性原则还体现在地震响应分析中,设计者需结合结构的实际工作条件,如道路或桥梁的使用状况、地形、地质和地震特性,进行精细化的动态分析,以便更准确地预测结构在地震中的表现。

(二)延性设计原则

在道路与桥梁工程的抗震设计中,延性设计原则在道路与桥梁工程中的应用首先是材料的选择,结构

工程师倾向于选用具有良好塑性性能的材料,如高强度混凝土和高屈服强度的钢材,这些材料在受力过大时可以产生较大的塑性变形,从而延缓甚至阻止结构的瞬间破坏。其次,结构形式的优化也很重要,如采用预应力技术,预应力筋的张拉可以提高结构的承载力,同时也能通过预应力度度的调整,来满足不同延性需求。此外,合理的截面设计,如采用双筋截面或者变截面,可以分散应力集中,提高结构的延性。另外,延性设计还包括抗震构造措施,如设置合适的屈服区,通过屈服区的塑性变形来吸收能量;采用耗能元件,如屈曲约束支撑、摩擦型减震器和粘滞阻尼器等,它们能在结构变形时提供额外的能量耗散途径。此外,结构的连接方式也对延性有显著影响,如采用铰接连接,可以提高结构的转动能力,增强整体的变形协调性。同时,在实际设计中,延性设计原则需与整体性原则相结合,确保结构在局部塑性变形的同时,整体仍能保持稳定。

(三)能力保护原则

在能力保护原则的指导下,首先,结构必须在地震中保持足够的承载能力,以确保交通的正常运行。这要求设计者在选择结构形式、材料和尺寸时,充分考虑地震荷载下的承载需求,同时留有一定的安全余地,以应对可能的超预期地震。其次,结构在地震后的使用性能,如通行宽度、行车舒适度等,也是能力保护原则的重要考量因素。设计时需确保即使在地震后,道路依然能保持基本的通行条件,桥梁的结构不会影响车辆的通行。其次,冗余设计是指在结构中引入多余的部分或组件,它们在正常情况下可能并不承载荷载,但在结构受损时,可以接替受损部分,保持结构的整体功能。功能冗余则是在系统中设置多个可独立工作的子系统,即使某个子系统在地震中受损,其他子系统仍能保证整体功能的实现。例如,桥梁设

计中可以设置多跨连续梁，一跨受损时，其他跨仍能保持承载能力。同时，能力保护原则也强调了结构的灾后恢复性，通过采用易于修复的结构形式和连接方式，以及使用耐久性强的材料，可以降低地震后修复的难度和成本，从而提高结构的灾后恢复能力。

二、道路工程抗震设计技术

（一）路基抗震设计

地基处理是路基抗震设计的基础，通过采用合理的地基加固方法，如换填、排水、夯实和化学加固，可以改善地基的剪切强度和抗液化性能，降低地基在地震中的破坏风险。同时，地基的排水设计也至关重要，良好的排水系统可以降低地基水分含量，防止地震引发的 *liquefaction*。地基处理时需结合场地的地质条件，选择最合适的处理方案。同时，路基断面设计应考虑地震荷载的影响，以降低局部剪切破坏的可能性。例如，采用分层填筑，增强层间黏结，可以提高路基的抗震性能。此外，合理的坡度设计能够降低地震时的滑移风险，同时防止雨水径流对路基的冲刷。在路基与路面的连接处，需设置适当的防震措施，如设置柔性接缝，以减少地震能量的集中和传播。这些接缝允许路基和路面在地震中独立变形，从而降低相互作用产生的破坏。同时，路基与桥梁的衔接处，应通过过渡段设计，确保地震作用下两者能协调工作，避免应力集中和损伤传递。再者，在路基抗震设计中，通过使用高延性材料，如高分子聚合物复合材料，可以提高路基结构的塑性变形能力，使结构在大震下具备更好的生存能力。此外，采用预应力技术，如预应力锚索或预应力梁，可以增强路基的承载能力，同时通过调整预应力度，实现不同延伸需求。而路基抗震设计则通过定期的地面位移监测、沉降观测以及土壤含水量监测，可以及时发现路基可能的地震损伤，为修复提供依据。

（二）路面抗震设计

路面是道路工程中，高分子聚合物复合材料的使用可以显著提高路面的塑性变形能力，增强路面的延性，使得路面在地震时能更好地吸收和耗散能量，从而降低突然破裂的风险。此外，使用高强混凝土、预应力混凝土等高强度材料，可以提高路面的承载能力，确保在地震作用下的稳定。同时，采用分层铺筑，增强层间黏结，可以增强路面的抗震性能。同时，优化路面的厚度和结构尺寸，可以提高路面的刚度和稳定性。再者，在路面与路基的连接处，需设置适当的防震措施，如设置柔性接缝，以减少地震能量的集中和传播。这些接缝允许路面和路基在地震中独立变

形，从而降低相互作用产生的破坏。同时，路面与桥梁的衔接处，应通过过渡段设计，确保地震作用下两者能协调工作，避免应力集中和损伤传递。同时，通过采用易于修复的结构形式和连接方式，以及使用耐久性强的材料，可以降低地震后的修复难度和成本，从而提高路面的灾后恢复能力。此外，设计中还应考虑路面的可监测性，以便在地震后能迅速评估路面的损伤状况，指导修复工作。此外，通过定期的路面状况检查、裂缝检测以及厚度测量，可以及时发现路面可能的地震损伤，为修复提供依据。

三、桥梁工程抗震设计技术

（一）桥墩抗震设计

混凝土因其高延性和可塑性，成为桥墩抗震设计的首选材料之一。采用高强混凝土或添加纤维增强的混凝土，可以显著提高桥墩的承载力和抗弯性能，同时增强其抵抗裂缝扩展的能力。同时，钢材因其良好的延性和可塑性，常用于预应力混凝土或钢结构桥墩，以提高结构的抗震性能。同时，设计时需考虑地震荷载的传递路径，通过合理的截面形状，如矩形、T形或箱形截面，以分散应力并提高抗弯性能。此外，桥墩的尺寸和比例也需经过精确计算，以抵抗地震产生的弯矩和剪力。再者，基础应具有足够的承载力和抗液化能力，以保证在地震中稳定。采用法兰基础、扩大基础或桩基础等方法，可以提高基础的稳定性和抗剪切能力。同时，地基处理也是基础设计的重要一环，通过排水、加固或换填，可以改善地基的抗震性能。在构造措施上，桥墩抗震设计通常包括设置屈服区，当桥墩在地震中达到屈服点时，屈服区域的塑性变形能够吸收部分地震能量，延缓结构的破坏。另外，预应力技术的应用可以提高桥墩的承载能力，通过调整预应力的大小，实现不同延性的需求。此外，设置防震缝或抗震滑移接头，可以减少地震能量在桥墩之间的传递，降低局部破坏的风险。此外，设计时应采用易于修复的结构形式和连接方式，如采用螺栓连接代替焊接，以简化修复过程。同时，选择耐久性好的材料，如高性能混凝土，可降低地震后的维护成本。

（二）桥梁上部结构抗震设计

桥梁上部结构，包括梁、板、拱、斜拉桥的索塔和主缆等，而梁和板的抗震设计需考虑其截面形状和尺寸，以提供足够的承载能力并抵抗地震产生的弯矩和剪力。首先，采用预应力技术，如预应力混凝土梁，可以显著提高结构的抗弯强度，同时通过调整预应力的分布和大小，达到延性设计的要求。

在梁的连接处，如节点和接头，应采用适当的构造措施，如使用防震缝和抗震装置，减少地震能量的集中和传播，提高结构的抗震性能。同时，拱肋的截面设计需考虑拱的曲率和恒载，以保证其在地震时的稳定。拱圈的抗震性能则依赖于拱的曲率和拱脚的稳定性，设计时应确保拱脚的锚固可靠，以抵抗地震产生的侧向力。拱桥的地震响应分析通常需要考虑拱的非线性行为，以更准确地评估其在地震中的表现。再者，索塔的抗震设计要求结构具有足够的抗弯和抗扭刚度，同时，为了提高其延性，可以在索塔中设置屈服区，使其在地震中能够发生塑性变形以吸收能量。索塔与主梁的连接处是关键抗震节点，需要通过抗震设计来保证其在地震下的稳定。主梁的抗震性能则取决于其材料的延性和抗拉强度，以及与索塔和主梁的连接方式，设计时需确保其在地震中能有效传递和分散荷载。在地震响应分析中，桥梁上部结构的抗震设计通常采用计算机模拟技术，如有限元分析，以精确预测结构在地震中的动态行为。这些分析可以提供关键的性能指标，如位移、应力和应变，帮助设计者优化结构设计，确保结构在地震中具有足够的安全余量。

四、道路与桥梁工程加固技术研究

（一）道路工程加固技术

在道路工程中，混凝土加固是常见的加固方式，通过在既有结构表面添加混凝土层，以增加结构的承载能力和刚度。这种方法简单易行，但可能增加结构自重，对道路使用性能和耐久性产生一定的影响。为了减轻这种影响，有时会采用轻质混凝土或复合材料进行加固。而增设支撑系统是通过在结构内部或外部增加支撑，如钢柱、钢梁或预应力支撑，以改善结构的抗震性能。这种加固方式可以显著提高结构的抗弯和抗剪能力，尤其适用于桥梁和涵洞等关键结构。然而，增设支撑可能对道路空间造成影响，设计时需权衡加固效果与空间利用之间的关系。再者，地基加固技术主要用于改善道路路基的稳定性，如通过换土、夯实、注浆或者采用化学加固方法来提高地基的承载力和抗液化能力。地基加固不仅可以提高道路结构的整体抗震性能，还可以防止地震引起的地基沉降和滑移，从而减少对道路使用的影响。另外，新型加固技术如碳纤维增强塑料（CFRP）因其轻质、高强度和高延性的特点，在道路工程中得到广泛应用。CFRP加固可以提供高效的局部增强，特别是对于结构的受拉区，如桥梁的主梁和桥面板。由于CFRP的高抗拉强度，只需薄

层就能显著提高结构的承载能力，同时其轻质特性使得加固后的结构自重增加较小。

（二）桥梁工程加固技术

在桥梁工程中，传统加固方法主要包括混凝土加固、钢加固和地基加固。混凝土加固是通过在桥梁结构的薄弱部位增加混凝土层，以提高结构的承载能力和刚度。然而，这种方法可能导致结构自重增加，影响桥梁的使用性能。钢加固则是在结构内部或外部添加钢梁、钢柱或预应力钢束，以增强结构的抗弯和抗剪能力。地基加固是改善桥梁基础稳定性的一种手段，如通过换填、注浆或化学加固来提高地基的承载力和抗液化性。新型加固技术的引入为桥梁抗震加固带来了革命性变革。碳纤维增强塑料（CFRP）因其轻质、高强度和高延性，被广泛应用于桥梁结构的加固，特别是在桥梁的主梁、桥面板和横梁等关键部位。CFRP加固通过粘贴薄层材料，能够显著提高结构的承载力，同时减轻自重对桥梁的影响。此外，CFRP具有良好的抗疲劳性能，有利于抵抗地震引起的反复振动。另外，粘贴型钢是将型钢直接粘贴在结构表面，通过化学键合增强结构的承载能力。预应力碳纤维则是在结构中预加一定的张力，以提高结构的抗弯性能。这两种技术在不增加结构自重的前提下，显著提升了桥梁的抗震性能。再者，隔震技术通过在桥梁结构和基础之间设置隔震层，如橡胶支座或液阻尼器，来减少地震动的传递，保护桥梁主体结构。

结束语：

本文通过对道路与桥梁工程中的抗震设计与加固技术进行研究，提出了一系列有效的抗震设计方案和加固措施。这些方案和措施有助于提高工程结构的抗震性能，保障人民生命财产安全。然而，随着科技的不断发展和社会需求的不断变化，道路与桥梁工程的抗震设计与加固技术仍面临诸多挑战。未来研究应关注新材料、新技术的应用以及智能化、自动化的发展趋势，为道路与桥梁工程的抗震设计与加固提供更加科学、高效的解决方案。

参考文献：

- [1] 颜长青，简佳峰. 关于桥梁抗震设计与加固技术的探讨 [J]. 工程建设与设计，2019，（12）：95-96.
- [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，2021，（12）：54.
- [3] 郭理学. 基于大跨度桥梁抗震设计及加固技术的研究 [J]. 科技与企业，2022，（04）：155-156.