

地震对市政桥梁结构性能的影响及加固措施

缪章杰

339005*****0312

摘要: 市政桥梁是城市交通网络的关键枢纽,其结构稳定性直接影响地震灾害后的生命救援与城市功能恢复。地震作用下,地震波传导、场地条件差异等因素易导致市政桥梁出现构件损伤、连接失效等问题,进而引发结构性能衰减甚至整体垮塌。本文结合市政桥梁结构特点与地震作用机理,系统分析地震对桥梁关键结构的影响规律,梳理新型加固材料与工艺的应用要点,提出针对性加固策略与优化建议,为提升市政桥梁抗震性能、保障城市基础设施地震安全提供理论与技术参考。

关键词: 地震;市政桥梁;结构性能;影响机理;加固措施

DOI: 10.69979/3060-8767.26.02.047

引言

市政桥梁在城市基础设施体系中占据核心地位,承担着保障区域交通畅通的重要职能。地震灾害作为突发性强、破坏性大的自然灾害,往往会对市政桥梁结构造成严重损毁,进而导致交通中断,影响灾后救援工作的顺利开展与城市功能的快速恢复。当前,国内外学者已围绕地震作用下市政桥梁结构性能开展了一系列研究,但在复杂场地条件下的影响机制、新型加固技术的适用性等方面仍存在不足。本文旨在深入探究地震对市政桥梁结构性能的影响,提出科学合理的加固措施,为提升市政桥梁抗震能力提供有力支撑。

1 地震作用下市政桥梁结构的受力机理

1.1 地震荷载传递与作用形式

地震荷载的传递始于地震波与场地土的相互作用,随后通过桥梁基础传递至上部结构。地震波主要分为纵波和横波,纵波引发结构的轴向拉伸与压缩变形,横波则导致结构产生水平方向的剪切与弯曲变形。不同类型地震波的传播速度、振幅存在差异,其组合作用会使桥梁结构承受复杂的动态荷载。地震荷载的作用形式具有瞬时性、随机性和复杂性等特点,会随地震等级、震中距、场地条件等因素发生变化。明确地震荷载的传递路径与作用形式,是分析桥梁结构地震响应、开展抗震设计与加固的基础。

1.2 桥梁结构特性对地震响应的影响

市政桥梁的结构特性直接决定其地震响应的强弱程度。桥梁的跨度尺寸会影响结构的自振周期,大跨度桥梁的自振周期较长,易与长周期地震波产生共振,加剧结构损伤。桥梁的结构形式也会改变地震响应规律,

梁桥、拱桥、斜拉桥等不同类型桥梁的传力路径存在差异,对地震荷载的抵抗能力也各不相同。此外,桥梁构件的截面尺寸、材料强度、配筋率等参数,会影响构件的承载能力与变形能力,进而影响桥梁整体的地震响应。合理优化桥梁结构特性,可有效降低地震作用对结构的不利影响。

1.3 场地条件对地震受力的差异影响

不同场地条件下,市政桥梁的地震受力存在显著差异。坚硬场地的土层密实度高、刚度大,地震波传播过程中能量衰减较慢,易使桥梁承受较大的地震荷载;软弱场地的土层松散、承载力低,地震作用下易发生液化、沉降等现象,导致桥梁基础失稳,进而引发上部结构破坏。地形地貌也会影响地震受力,山地、河谷等区域的地震波易产生反射、折射,使桥梁局部承受更大的应力集中。开展场地条件对桥梁地震受力的差异分析,可为不同场地环境下的桥梁抗震设计提供针对性依据。

2 地震对市政桥梁结构性能的核心影响

2.1 主体构件损伤与性能衰减

主体构件是市政桥梁承载能力的核心保障,地震作用下易发生各类损伤并伴随性能衰减。桥梁梁体易出现裂缝、混凝土剥落等损伤,裂缝会降低梁体的整体性与抗剪能力,混凝土剥落则会导致钢筋暴露锈蚀,进一步削弱梁体承载性能。桥墩作为桥梁竖向承重与抗侧移的关键构件,地震作用下易产生弯曲裂缝、剪切裂缝,严重时会发生墩柱折断、倾斜等破坏。桥台也可能出现台身裂缝、台后填土沉降等问题,影响桥梁的整体稳定性。主体构件的损伤演化会逐步加剧结构性能衰减,威胁桥梁安全。

2.2 连接节点失效与破坏特征

连接节点是保障桥梁结构整体性的关键部位，地震作用下易发生失效并呈现特定破坏特征。梁端与桥台的连接部位易出现支座损坏、锚固失效等问题，支座损坏会导致梁体支撑不稳定，锚固失效则可能引发梁体滑移、落梁等严重破坏。桥墩与基础的连接节点易产生应力集中，出现裂缝、混凝土破碎等损伤，影响荷载的有效传递。此外，桥梁拼接部位的连接节点也可能因地震作用发生脱离、开裂，破坏桥梁的连续性。连接节点的失效往往会导致桥梁结构整体受力体系崩溃，加剧破坏程度。

2.3 附属结构损伤的连锁影响

附属结构虽不直接承担主要荷载，但地震作用下的损伤会产生连锁反应，影响桥梁整体性能。桥面铺装易因地震产生裂缝、破损，影响行车安全性，同时破损部位可能导致雨水渗透，加剧主体构件的腐蚀。伸缩缝易发生变形、堵塞，影响梁体的自由伸缩，进而在地震作用下产生额外应力。护栏、防撞墙等附属构件的损坏，不仅会失去防护功能，其散落的构件还可能撞击主体结构，造成二次损伤。附属结构损伤的连锁影响会进一步削弱桥梁结构性能，增加灾后修复难度。

3 市政桥梁抗震加固的核心原则与要求

3.1 安全与经济平衡原则

抗震加固设计需严格遵循安全与经济平衡的核心原则。安全性是加固设计的首要前提，加固后的桥梁应能有效抵抗预期地震荷载，保障结构稳定与使用安全，避免因加固不足导致地震时发生破坏。同时，需兼顾经济性，合理选择加固材料与工艺，优化加固方案，控制加固成本，避免过度加固造成资源浪费。在实际设计过程中，应通过多方案比选，在满足抗震安全要求的基础上，最大限度降低加固工程的投资与运营维护费用，实现安全性能与经济效益的协调统一。

3.2 针对性与兼容性要求

抗震加固方案需满足针对性与兼容性的双重要求。针对性要求加固设计需结合桥梁的结构类型、损伤状况、场地条件等具体情况，针对结构薄弱环节制定个性化加固措施，确保加固效果直达问题核心。兼容性要求加固措施与桥梁原有结构体系相协调，不会破坏原有结构的受力平衡，同时兼顾桥梁的使用功能与外观风貌。此外，加固方案还应考虑后期维护的便利性，确保加固后的桥梁能够长期稳定运行，降低后续维护成本。

3.3 新技术适用性与可靠性评估

在抗震加固中应用新型技术时，需重点开展适用性与可靠性评估。适用性评估需结合桥梁的实际工况，分析新型加固技术是否符合桥梁的结构特点、损伤类型及场地环境，避免因技术选型不当导致加固失效。可靠性评估需通过试验验证、数值模拟等方式，检验新型加固材料的力学性能、耐久性及新型工艺的施工质量稳定性，确保加固后的结构能够长期承受各类荷载作用。同时，还应考虑新型技术的施工难度与成本，为技术的推广应用提供科学依据。

4 市政桥梁新型加固材料与工艺

4.1 高性能复合材料应用

高性能复合材料因其优异的力学性能与耐久性，在市政桥梁加固中得到广泛应用。碳纤维复合材料具有强度高、重量轻、耐腐蚀等特点，可通过粘贴、缠绕等方式应用于梁体、桥墩等构件的加固，有效提升构件的抗弯、抗剪能力，尤其适用于对加固空间和自重有严格限制的桥梁结构。玻璃纤维复合材料成本相对较低，加工工艺简便，适用于中小跨度桥梁的加固修复，能改善构件的受力状态，延缓损伤发展，在老旧桥梁维修改造工程中应用优势显著。玄武岩纤维复合材料兼具环保性与力学性能优势，在恶劣环境下的稳定性更强，可用于特殊场地条件下的桥梁加固。合理选用高性能复合材料，结合构件损伤程度优化加固施工工艺，能显著提升加固效果与结构耐久性。

4.2 装配式加固工艺要点

装配式加固工艺凭借施工便捷、工期短、对交通影响小等优势，成为市政桥梁加固的重要发展方向。该工艺的核心要点包括预制加固构件的标准化设计、精准加工与质量控制，需严格依据桥梁原有结构参数进行定制化生产，确保预制构件能够与原有结构完美匹配。在连接环节，需采用可靠的拼接技术，如高强螺栓连接、灌浆套筒连接等，保障预制构件与原有结构的连接牢固性，避免出现连接失效问题。施工过程中，需严格控制吊装精度与施工顺序，配备专业的吊装设备与监测仪器，实时把控施工质量，减少对桥梁正常通行的干扰。装配式加固工艺可有效提升施工效率，降低施工难度，适用于城市核心区域交通繁忙路段的桥梁加固工程，能最大程度降低加固施工对城市交通的影响。

4.3 智能加固系统构建

智能加固系统结合传感技术、数据处理技术与加固技术，实现对桥梁结构的实时监测与主动加固，是桥梁

抗震加固领域的重要发展趋势。该系统的构建需整合各类高精度传感器,如应变传感器、位移传感器、加速度传感器等,对桥梁结构的应力、应变、位移等关键参数进行实时采集与传输。通过数据处理平台对监测数据进行分析,精准判断结构的受力状态与损伤发展趋势,及时预警潜在的结构安全隐患。基于监测结果,智能加固系统可通过主动控制装置自动调整加固力度,实现针对性的动态加固。智能加固系统不仅能提升加固效果的精准性,还能为桥梁的长期健康监测提供连续、可靠的数据支撑,推动桥梁加固技术向智能化、精细化方向发展。

5 不同损伤类型的加固策略优化

5.1 主体构件损伤加固策略

针对主体构件的不同损伤类型,需结合构件受力特点与损伤程度优化制定针对性的加固策略。对于梁体裂缝,需先对裂缝类型、宽度及延伸范围进行详细检测,再采用压力灌浆技术填充裂缝,恢复梁体整体性,后续通过粘贴复合材料或增设加固钢板等方式增强梁体承载能力。对于桥墩裂缝与破损,可根据损伤严重程度采用外包混凝土、外包钢或粘贴纤维复合材料等加固方式,提升桥墩的抗弯、抗剪能力,防止损伤进一步发展。对于桥台沉降与裂缝,需先处理台后填土问题,采用注浆加固、换填压实等方式提升填土密实度,再对桥台结构进行修补与加固。主体构件加固需注重施工质量控制,严格把控材料配比与施工工艺,确保加固层与原有构件紧密结合。

5.2 连接节点失效加固方案

针对连接节点失效问题,需结合节点类型与失效模式制定科学合理的加固方案,确保加固后节点性能满足抗震要求。对于支座损坏,应先拆除受损支座,及时更换高性能抗震支座,如铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座等,增强支座的承载能力与位移适应能力,优化支座锚固方式,采用高强锚固螺栓提升锚固可靠性,防止支座脱落。对于桥墩与基础连接节点损伤,需清理节点破损部位,采用外包钢加固、注浆加固等方式修复节点裂缝,增强节点的刚度与承载能力,保障荷载的有效传递。对于梁端与桥台连接部位,可增设限位挡块、防落梁装置等限位装置,限制梁体的水平位移,防止落梁破坏。连接节点加固需确保节点的传力路径清晰,提升节点的抗

震性能与整体性,保障桥梁结构的协同受力。

5.3 全桥整体性能提升措施

为提升全桥整体抗震性能,需从结构体系优化、关键部位加固、附属结构协同等多维度制定综合加固措施。可通过优化桥梁结构体系,调整结构刚度分布,增设辅助支撑构件,避免局部应力集中,提升整体受力协调性。增设消能减震装置是提升全桥抗震性能的有效手段,如在梁端、桥墩等关键部位设置金属阻尼器、摩擦阻尼器等阻尼器,通过阻尼器的塑性变形消耗地震能量,降低结构地震响应。同时,需对桥梁附属结构进行同步加固,修复破损的桥面铺装、伸缩缝、护栏等,更换老化失效的附属构件,避免附属结构损伤引发连锁反应。全桥整体加固需统筹考虑各部位的加固效果,进行整体抗震性能验算,确保加固后桥梁整体抗震能力达到设计标准,实现整体性能的协同提升。

6 结论

本文系统探究了地震作用下市政桥梁结构的受力机理,明确了地震对桥梁主体构件、连接节点及附属结构的核心影响规律。梳理了市政桥梁抗震加固的核心原则与要求,分析了高性能复合材料、装配式加固工艺及智能加固系统等新技术的应用要点。针对不同损伤类型,提出了针对性的主体构件加固策略、连接节点失效加固方案及全桥整体性能提升措施。研究表明,科学合理的加固设计与技术应用能够有效提升市政桥梁的抗震性能。未来可进一步深入研究复杂地震工况下的桥梁结构响应机制,推动新型加固技术的创新与优化,为保障城市市政桥梁地震安全提供更全面的技术支撑。

参考文献

- [1] 朱立烽,单继栋.高性能混凝土在市政桥梁抗震设计中的应用研究[J].江西建材,2025,(03):123-125.
- [2] 李永红.市政桥梁设计中减隔震设计要点分析[J].现代物业(中旬刊),2020,(07):50-51.
- [3] 赵文.市政桥梁设计中减隔震设计要点分析[J].绿色环保建材,2019,(09):99+102.
- [4] 李炼.隔震设计技术在市政桥梁设计中的应用研究[J].运输经理世界,2022,(16):86-88.
- [5] 赵晓博.市政桥梁中有关减隔震技术设计应用分析[J].建筑,2025,(07):115-118.