

市政道路桥梁抗震设计与施工中的关键技术研究

章万军

江西省河曦建设工程有限公司，江西上饶，334000；

摘要：市政道路桥梁是城市交通的核心枢纽，其抗震性能直接决定地震灾害中的人员安全与城市功能维持。随着城镇化推进与地质环境变化，传统抗震技术已难以适配现代桥梁的安全需求。本文聚焦市政道路桥梁抗震设计与施工全流程，剖析当前技术应用的核心问题，研究抗震设计的理论依据与创新方法，梳理施工环节的技术控制点。通过整合设计与施工的协同逻辑，提出符合市政工程特点的抗震技术体系，为提升桥梁抗震韧性、降低地震灾害损失提供实用技术参考，助力城市基础设施抗灾能力升级。

关键词：市政道路桥梁；抗震设计；施工技术

DOI：10.64216/3104-9664.25.02.003

引言

地震作为突发性强的自然灾害，对市政道路桥梁结构完整性威胁极大。近年全球强震引发的桥梁坍塌事故，不仅造成巨额损失，更阻断城市应急通道，加剧灾害影响。市政道路桥梁多位于人口密集、管线复杂的城市核心区，抗震设计与施工需兼顾结构安全与空间利用。当前部分既有桥梁存在抗震标准滞后、施工管控不足等问题，难以抵御高强度地震荷载。

1 市政道路桥梁抗震设计的理论基础与核心原则

1.1 抗震设计理论体系

基于性能的抗震设计理论在市政桥梁中的应用日益广泛，该理论以桥梁在不同地震水准下的性能目标为核心，打破传统“一刀切”的设计模式，使设计更具针对性与经济性。在实际应用中，需结合桥梁的功能定位、重要性等级确定合理的性能指标，如正常使用极限状态和承载能力极限状态下的抗震要求。结合城市地震风险特征的设计参数取值方法至关重要，需通过历史地震数据统计、区域地质勘察等手段，明确场地类别、地震动峰值加速度等关键参数。

1.2 设计核心约束条件

城市空间限制对桥梁抗震结构布局的影响显著，城市中心区域建筑密集、道路狭窄，桥梁往往需要采用紧凑的结构形式，这就对抗震构件的布置提出更高要求。在设计中需优化桥墩、支座等构件的尺寸与位置，在有限空间内最大化提升抗震性能。既有市政管线与桥梁抗震构造的协同要求严格，城市地下管线种类繁多，包括

给排水、燃气、电力等，桥梁基础施工及抗震结构布置需避开管线密集区域，同时考虑地震时管线与桥梁的相互作用，避免管线破坏引发次生灾害。

1.3 与城市规划协同逻辑

桥梁抗震性能与城市抗震防灾体系的匹配性是设计的重要前提，桥梁作为城市交通网络的关键节点，其抗震等级需与城市整体抗震设防标准相协调，确保在地震发生时，桥梁能与其他防灾设施共同发挥作用。基于城市发展规划的桥梁抗震等级动态调整具有现实意义，城市新区开发、旧区改造等规划会改变桥梁的功能定位与交通流量，抗震设计需预留调整空间，根据规划进展适时优化抗震参数。

2 市政道路桥梁抗震设计的关键技术创新

2.1 新型抗震结构应用

消能减震支座与桥梁主体结构的一体化设计是当前抗震技术的重要创新方向，该设计将支座的消能减震功能与桥梁结构紧密结合，通过支座内部的阻尼装置吸收地震能量，减少地震对桥梁主体的冲击。在设计过程中，需精准计算支座的刚度与阻尼参数，确保其与桥梁结构的动力特性相匹配。可恢复功能桥梁的抗震结构创新致力于地震后桥梁快速恢复使用，通过采用可更换构件、自复位装置等技术，使桥梁在地震作用下产生的变形能够自主恢复，减少修复时间与成本。

2.2 关键部位强化设计

桥墩与基础连接部位是桥梁抗震的薄弱环节，其抗震锚固设计直接影响桥梁的整体抗震性能。设计中需采用可靠的锚固形式，如增加锚固钢筋数量、优化钢筋布

置等,提高连接部位的抗剪与抗弯能力,防止地震时出现墩底剪切破坏或拔出破坏。桥梁伸缩缝的抗震密封与位移补偿设计需考虑地震时桥梁结构的位移需求,采用弹性好、耐老化的密封材料,确保伸缩缝在地震作用下能自由伸缩,同时有效阻挡雨水、杂物进入桥梁内部。桥面铺装层与主梁的抗震协同设计需保证铺装层与主梁之间的紧密结合,通过设置粘结层、剪力键等措施,使铺装层能与主梁共同承受地震荷载,避免铺装层在地震时出现剥落、推移等问题。

2.3 智能化分析技术应用

BIM 技术在桥梁抗震设计中的全流程应用实现了设计信息的可视化与协同化,通过构建三维模型,设计人员可直接查看桥梁结构的空間关系,及时发现设计中的冲突问题。在抗震分析中,BIM 模型可快速导出数据用于结构计算,提高设计效率与准确性。有限元分析软件对复杂桥梁抗震性能的精准模拟能力较强,能够模拟桥梁在不同地震波作用下的动力响应,如位移、应力分布等,为设计优化提供数据支撑。

3 市政道路桥梁抗震施工的技术控制点

3.1 施工材料性能保障

高性能抗震混凝土的搅拌与浇筑控制是保障桥梁抗震性能的基础,搅拌过程中需严格控制原材料的配合比,确保水泥、骨料、外加剂等用量精准,同时控制搅拌时间与搅拌速度,使混凝土拌合物均匀一致。浇筑时需采用分层浇筑、振捣密实的方式,避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷,浇筑完成后及时进行养护,确保混凝土强度与耐久性达标。抗震钢筋的连接工艺与质量检测方法至关重要,钢筋连接可采用焊接、机械连接等方式,连接过程中需控制焊接电流、机械连接的拧紧力矩等参数。质量检测需采用外观检查、力学性能试验等方法,确保连接部位的强度符合设计要求。新型复合材料在桥梁施工中的应用规范需明确,复合材料具有重量轻、强度高的特点,但施工工艺与传统材料不同,需制定专门的施工规范,指导材料的切割、安装等工序。

3.2 关键工序质量管控

桥墩浇筑过程中的抗震构造精准施工技术要求严格,桥墩中的抗震箍筋、纵筋布置需符合设计图纸,浇筑时需确保钢筋位置准确,避免出现位移、变形等问题。对于变截面桥墩,需控制好模板的安装精度,保证桥墩外形尺寸符合设计要求。桥梁支座安装的水平精度与抗震间隙控制直接影响支座的抗震性能,安装前需对支座

垫石进行找平处理,确保支座安装面水平。安装时需调整支座的位置与标高,保证抗震间隙符合设计规定,避免间隙过大或过小影响支座功能发挥。预应力张拉工艺对桥梁抗震性能的影响控制需重视,张拉时需按设计要求的张拉顺序、张拉应力进行操作,同时做好张拉记录,确保预应力施加精准,防止因预应力不足或超张拉影响桥梁结构稳定性。

3.3 施工环境结构保护

城市复杂施工场地的震害风险规避方法需结合场地实际情况制定,施工前需对场地周边的地质条件、建筑物分布进行详细勘察,识别潜在的震害风险源。在施工过程中,需采取支护、加固等措施,防止施工扰动引发地质灾害,同时合理布置施工机械与材料堆放区域,避免对周边环境造成破坏。施工临时结构与桥梁主体的抗震协同防护不可忽视,临时支架、模板等结构需进行抗震验算,确保其在施工期间的稳定性。临时结构与桥梁主体之间需保持合理的安全距离,避免地震时相互碰撞造成损坏。极端天气下的桥梁施工抗震质量保障需制定应急预案,在暴雨、高温等极端天气条件下,需暂停室外施工,对已施工的结构采取覆盖、养护等保护措施,防止结构因环境因素出现质量问题。

4 抗震设计与施工的协同管控机制

4.1 设计施工衔接交底

抗震设计意图的施工转化技术要点是设计与施工衔接的核心,设计人员需向施工团队详细说明抗震设计的关键理念、技术要求,将抽象的设计参数转化为具体的施工操作要点。例如,对于抗震节点的构造要求,需明确施工中的具体尺寸、连接方式等。施工过程中设计变更的抗震性能复核机制必须严格执行,当施工条件发生变化需要进行设计变更时,需组织设计、施工、监理等多方人员对变更方案的抗震性能进行复核,确保变更后桥梁的抗震性能不降低。基于 BIM 的设计与施工信息协同传递模式实现了信息的实时共享与传递,通过 BIM 平台,设计人员可将更新后的设计模型及时传递给施工团队,施工团队也可将施工过程中的问题反馈给设计人员,提高协同效率。

4.2 全流程动态监测技术

施工阶段桥梁结构的抗震性能实时监测需布置合理的监测点位,采用传感器、数据采集设备等工具,对桥梁结构的应力、应变、位移等参数进行实时监测。监测数据需及时分析处理,当出现异常数据时,需立即停

止施工,排查问题并采取整改措施。基于传感器的结构应力与位移动态追踪能够精准掌握桥梁结构的受力状态,传感器的选择需根据监测参数的类型与精度要求确定,安装位置需避开施工干扰区域,确保监测数据的准确性。竣工阶段的抗震性能综合评估方法需全面,评估内容包括结构尺寸偏差、材料性能检测、抗震构造完整性等,通过现场检测与室内试验相结合的方式,对桥梁的抗震性能进行综合评价,确保桥梁符合设计要求后方可投入使用。

4.3 运维阶段性能保障

基于施工数据的桥梁抗震运维基准建立为运维工作提供了重要依据,将施工过程中的材料性能数据、结构监测数据等整理归档,建立桥梁抗震性能基准数据库,运维人员可通过对比实际监测数据与基准数据,判断桥梁抗震性能的变化情况。日常养护中的抗震结构损伤识别技术需融入常规养护工作,养护人员需掌握基本的损伤识别方法,如外观检查、裂缝宽度测量等,及时发现桥梁结构的裂缝、剥落等损伤,并记录损伤位置、程度等信息。运维阶段的抗震性能优化与修复技术需根据损伤情况制定针对性方案,对于轻微损伤,可采用表面修补、加固等方法;对于严重损伤,需重新评估桥梁抗震性能,制定详细的修复方案,确保修复后桥梁的抗震性能得到恢复或提升。

5 市政道路桥梁抗震技术的发展趋势与挑战

5.1 绿色抗震技术发展

低碳材料在桥梁抗震设计中的应用前景广阔,低碳混凝土、再生骨料混凝土等材料不仅能降低碳排放,还具有较好的力学性能与抗震性能。在设计中推广使用这些材料,符合绿色发展理念,同时能降低工程成本。可循环利用抗震构件的研发与推广是绿色抗震技术的重要方向,通过采用标准化、模块化的设计,使抗震构件在桥梁报废后能够拆卸回收,重新加工利用,减少建筑废弃物的产生。绿色施工理念下的抗震技术创新路径需注重施工过程的环保性,如采用干法施工、减少施工扬尘与噪音污染等,同时优化施工工艺,提高施工效率,降低能源消耗,实现抗震技术与绿色施工的有机结合。

5.2 智能抗震技术融合

抗震结构与智能监测系统的一体化集成实现了桥梁抗震性能的实时感知与响应,将智能传感器嵌入抗震结构内部,实时监测结构的受力状态与变形情况,当监测到异常数据时,系统可自动发出预警信号。AI 算法

在抗震性能预测与评估中的应用提高了评估的准确性与效率,通过训练 AI 模型,利用大量的历史数据与监测数据,可快速预测桥梁在不同地震场景下的抗震性能,为设计与运维提供决策支持。数字孪生技术在桥梁抗震管理中的实践构建了桥梁的虚拟数字模型,该模型与实体桥梁实时联动,通过数字孪生模型可模拟地震作用下桥梁的响应,提前发现潜在风险,同时为桥梁的抗震设计优化、运维方案制定提供虚拟试验平台。

5.3 抗震技术现实挑战

老旧桥梁抗震改造的技术与成本平衡问题是当前面临的重要挑战,老旧桥梁普遍存在结构老化、抗震标准低等问题,改造过程中需在提升抗震性能与控制改造成本之间找到平衡点。对于部分结构损伤严重的桥梁,需进行拆除重建;对于损伤较轻的桥梁,可采用加固改造的方法。复杂地质条件下的抗震技术适配难题突出,在软土地基、岩溶地区等复杂地质环境中,桥梁基础的抗震设计与施工难度较大,需研发适配不同地质条件的抗震技术与施工工艺,确保桥梁基础的稳定性。

6 结论

本文围绕市政道路桥梁抗震设计与施工中的关键技术展开系统研究,明确了市政桥梁抗震设计与施工需兼顾结构安全、城市空间利用及功能需求的核心特点。在设计层面,基于性能的抗震设计理论与智能化分析技术的结合,为抗震设计提供了科学依据,新型抗震结构体系与关键部位强化设计技术有效提升了桥梁的抗震性能。施工环节中,材料性能保障、关键工序管控及施工环境保护等技术控制点,是确保抗震设计意图落地的重要支撑。

参考文献

- [1] 刘忠勇. 市政道路桥梁隧道软土地基处理对策分析[J]. 石材, 2025, (11): 71-73.
- [2] 李政霖. 市政道路桥梁病害成因分析及高效维修加固技术探讨[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(19): 108-110.
- [3] 冯毅. 市政道路桥梁工程中的桥梁基础处理与加固技术研究[J]. 运输经理世界, 2025, (26): 112-114.
- [4] 朱天耀. 市政道路桥梁过渡段的路基路面施工技术探讨[J]. 产品可靠性报告, 2025, (08): 183-184.
- [5] 李杰. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工技术[J]. 城市建设, 2025, (14): 29-31.