

公路桥梁抗震设计与施工技术研究

严春玉

330721*****294X

摘要: 公路桥梁是交通基础设施的核心，其抗震性能直接决定地震灾害中的通行保障能力与生命财产安全。随着地震工程理论发展和工程技术革新，传统抗震设计与施工模式已难以适应复杂地质条件和高抗震标准。本文聚焦公路桥梁抗震关键问题，梳理抗震设计核心原则与技术要点，探讨施工中影响抗震性能的关键环节，分析设计与施工协同衔接的现存矛盾。通过整合前沿技术应用经验，提出科学且实用的优化路径，为提升公路桥梁抗震韧性提供理论参考与技术支撑，助力构建安全可靠的交通基础设施体系。

关键词: 公路桥梁；抗震设计；施工技术；抗震韧性；协同优化

DOI: 10. 64216/3104-9664. 25. 02. 014

引言

地震是破坏力极强的自然灾害，对公路桥梁结构的损毁具有突发性与毁灭性。近年来，全球强震灾害频发，多座公路桥梁在地震中出现坍塌、开裂等病害，中断区域交通命脉并引发次生灾害与经济损失。我国地处环太平洋与欧亚两大地震带之间，地震活动频繁且强度大，公路桥梁抗震工作面临严峻挑战。随着交通建设向山区、高烈度地震区延伸，桥梁结构愈发复杂，抗震性能要求不断提升。因此，深入研究公路桥梁抗震设计理论与施工技术，打破设计与施工脱节壁垒，已成为交通工程领域的重要课题。

1 公路桥梁抗震设计的核心理论与原则

1.1 理论基础与发展

地震动参数是桥梁抗震设计的核心依据，其加速度、速度等指标直接决定结构受力状态与损伤程度。在抗震设计理论发展历程中，早期静力抗震设计仅将地震作用等效为静态荷载，难以反映地震动的动态特性。随着动力学理论的应用，动力抗震设计逐渐成为主流，通过建立结构动力模型模拟地震响应。性能化抗震设计理论的提出实现了设计理念的革新，它根据桥梁重要性分级确定不同性能目标，如小震不坏、中震可修、大震不倒。规范的不断更新推动理论与实践深度融合，使设计方案更贴合工程实际需求，提升了桥梁抗震设计的科学性与合理性。

1.2 设计关键参数

场地类别与地震烈度是桥梁抗震设计的基础参数，需通过详细地质勘察确定。场地类别由土层剪切波速和

覆盖层厚度划分，不同类别场地的地震动放大效应差异显著。地震烈度则反映地震对地表及工程结构的影响程度，直接决定设计地震动参数取值。桥梁刚度与质量分布的匹配性对抗震性能至关重要，刚度分布不均易导致结构局部应力集中，质量过大则会增加地震惯性力。阻尼器、隔震支座等抗震构件的参数需与主体结构精准匹配，如隔震支座的水平刚度应满足位移需求，阻尼器的阻尼系数需根据结构振动特性确定，以实现与主体结构的协同抗震效果。

1.3 桥型设计差异

梁桥结构简单、跨度灵活，但抗震薄弱环节集中在支座与墩柱连接处。设计中需强化支座抗震锚固，采用限位装置防止梁体落梁，同时优化墩柱截面形式提升延性。拱桥以拱肋为主要承重构件，拱脚承受较大水平推力，地震时易发生开裂或剪切破坏，需通过设置抗推支座和加强拱脚配筋实现协同抗震。斜拉桥属于高次超静定结构，拉索与桥塔的连接节点是抗震关键部位。拉索易因振动产生疲劳损伤，需采用阻尼器抑制振动；桥塔作为核心承重构件，应通过增大截面尺寸和配置纵向钢筋，提升其抗剪和抗弯能力，确保结构整体抗震性能均衡。

2 公路桥梁抗震设计的关键技术体系

2.1 性能化设计优化

基于性能的抗震设计优化以明确的性能目标为导向，构建“目标-性能-设计”闭环模型。在设计初期，需结合桥梁功能定位和所处地震环境，确定不同使用阶段的抗震性能指标，如正常使用极限状态和承载能力极限状态下的要求。荷载组合优化是设计的重要环节，需

综合考虑恒载、活载与地震作用的组合效应，通过合理分配荷载系数，在保证结构安全的同时降低工程造价。结构健康监测数据为设计参数调整提供依据，通过实时监测桥梁在运营期的应力、变形等数据，动态优化设计参数，使设计方案更符合结构实际工作状态，提升设计精准度。

2.2 新型材料应用

高性能混凝土具有高强度、高延性和良好的耐久性，在桥梁抗震设计中应用广泛。其抗压强度显著高于普通混凝土，能有效提升墩柱、梁体等构件的承载能力，同时良好的延性可减少地震作用下的结构损伤。纤维增强复合材料如碳纤维布、玻璃纤维布，具有轻质高强、耐腐蚀的特点，可用于加固桥梁构件，提升局部抗震性能。在设计过程中，需明确新型材料与结构的匹配要求，根据材料力学性能调整构件截面尺寸和配筋量。材料性能参数直接影响设计计算结果，需通过试验确定准确参数，建立材料-结构一体化设计流程，确保设计方案的可靠性。

2.3 隔震与消能设计

铅芯橡胶隔震支座兼具承载和隔震功能，通过铅芯的屈服耗能吸收地震能量，橡胶层则提供水平位移能力，设计选型需结合桥梁荷载和地震烈度确定支座规格。摩擦摆隔震支座利用球面滑动产生的摩擦耗能实现隔震，其水平刚度稳定，适用于高烈度地震区桥梁。粘滞阻尼器通过液体粘性阻力消耗振动能量，布置时需考虑结构振动模式，确保阻尼器在地震中充分发挥作用。金属屈服型阻尼器依靠金属构件的屈服变形耗能，设计参数需根据结构所需阻尼力确定。将隔震与消能技术协同设计，可从不同维度提升结构抗震能力，减少地震对桥梁的破坏。

3 公路桥梁抗震施工的关键控制环节

3.1 施工前期准备

施工勘察是抗震施工的基础工作，需在设计勘察基础上进一步细化场地地震地质条件，查明土层分布、地下水位及断层情况，为施工方案制定提供精准依据。抗震施工方案编制需结合桥梁结构特点和抗震设计要求，明确墩柱浇筑、支座安装等关键工序的质量控制标准，制定施工突发情况应急预案。施工设备的性能直接影响施工质量，需对设备进行全面检修和调试，确保其满足抗震施工精度要求。同时，要对施工人员开展抗震专项培训，讲解抗震施工技术要点和质量控制措施，强化施

工人员的安全意识和责任意识。

3.2 主体结构质量控制

桥梁墩柱浇筑时，振捣工艺直接影响混凝土密实度。需采用插入式振捣器分层振捣，确保振捣到位，避免出现蜂窝、麻面等缺陷。浇筑完成后，应及时覆盖养护，控制养护温度和湿度，防止混凝土因收缩产生裂缝，确保混凝土强度和延性达标。梁体吊装需精准计算吊装重量和吊点位置，选用符合要求的吊装设备，吊装过程中缓慢平稳操作，控制梁体就位精度，避免施工荷载引发结构损伤。钢筋连接应采用机械连接或焊接方式，确保连接牢固，预埋件安装需准确定位，严格控制安装偏差，保障结构传力路径可靠。

3.3 抗震构件安装

隔震支座安装前需清理支座垫石表面，确保表面平整清洁。安装过程中严格控制标高和定位精度，采用水平仪和全站仪进行实时监测，支座水平偏差应控制在规范允许范围内。阻尼器安装需遵循特定时序，待主体结构施工至一定阶段后再进行安装，确保安装时结构处于稳定状态。连接节点处理是阻尼器安装的关键，需采用高强度螺栓连接，必要时进行焊接加固，防止节点松动影响减震效果。抗震构件安装完成后，需按照验收标准进行专项检测，检查安装精度、连接质量等指标，形成施工质量闭环管理，确保抗震构件性能达标。

4 设计与施工协同的抗震性能保障机制

4.1 协同逻辑与价值

设计与施工脱节易导致桥梁抗震性能下降，如设计方案未考虑施工可行性，可能引发施工质量问题；施工过程中未严格遵循设计要求，会改变结构受力状态。因此，建立协同工作机制十分必要。“设计引导施工、施工反馈设计”是协同工作的核心逻辑，设计阶段需充分考虑施工工艺和技术水平，使设计方案具有可操作性；施工阶段发现设计问题时，及时与设计单位沟通，反馈调整建议。协同工作可有效降低施工风险，避免因设计与施工矛盾导致的工期延误和成本增加，同时确保抗震设计理念在施工中有效落实，提升桥梁抗震实效。

4.2 技术衔接要点

设计文件应明确施工抗震技术要求，详细说明抗震构件的安装精度、材料性能指标及关键工序的施工方法，增强设计方案的可操作性。施工过程中，若遇到地质条件变化、材料性能波动等情况，需及时采集相关数据，分析对结构抗震性能的影响，并将结果反馈给设计单位。

设计单位根据反馈信息调整设计参数，出具设计变更文件。设计与施工单位应定期联合开展抗震专项检查，重点检查墩柱混凝土强度、抗震构件连接质量等关键部位，及时发现并解决施工中存在的问题，确保结构抗震性能达标。

4.3 数字化技术应用

BIM 技术可构建桥梁三维模型，实现抗震设计与施工的一体化协同。设计人员将抗震设计参数融入模型，施工人员通过模型直观了解设计意图，进行施工模拟和方案优化，实现模型协同共享。物联网技术通过在桥梁构件上安装传感器，实时监测施工过程中的混凝土温度、钢筋应力等质量指标，数据实时传输至管理平台，为设计优化提供精准数据支撑。数字化模拟技术可模拟地震作用下的施工过程，预判施工中可能出现的抗震风险，如构件吊装时的振动影响、支座安装偏差对结构的危害等，提前制定规避措施，保障施工安全。

5 公路桥梁抗震技术的发展趋势与展望

5.1 设计理论创新

人工智能技术为抗震设计参数优化提供了高效新路径，通过机器学习算法深度分析大量桥梁抗震设计案例与试验数据，建立设计参数与抗震性能之间的精准映射关系，实现设计参数的智能迭代优化，大幅提升设计效率和智能化水平。极端地震场景下的抗震设计理论成为当前研究热点，该理论突破传统“小震不坏”的局限，综合考虑强震、余震叠加等复杂地震工况，通过强化结构关键部位的延性设计，显著增强结构抗灾能力。全生命周期理念深度融入抗震设计，实现从设计、施工、运营到报废的全阶段抗震考量，设计中综合评估结构老化、环境侵蚀、荷载变化等因素，制定动态长效抗震措施，有效延长桥梁使用寿命。

5.2 施工技术升级

预制拼装技术在桥梁抗震施工中的应用日益广泛，墩柱、盖梁等构件在工厂标准化生产，通过精细化管控确保质量稳定可控，现场采用专用设备进行快速拼装，可大幅减少施工周期，降低对周边交通与环境的影响，同时预制构件连接节点通过创新设计与加强处理，能显著提升抗震性能。绿色建材符合行业可持续发展要求，如再生混凝土、低碳钢材、竹纤维复合材料等，在抗震施工中推广应用，既能有效减少资源浪费与碳排放，又能满足结构抗震力学需求。智能化施工设备如无人振捣车、智能吊装机器人、激光定位仪等，可精准控制施工

工序，提高施工精度和效率，减少人为操作误差，推动桥梁抗震施工技术向工业化、智能化方向革新。

5.3 防护体系构建

构建“设计-施工-运维”全链条抗震防护体系，是系统性提升桥梁抗震能力的有效途径。设计阶段结合场地地震风险等级奠定扎实抗震基础，施工阶段通过全过程质量管控确保设计意图精准落地，运维阶段依托结构健康监测系统定期检测和维护，及时发现并处理裂缝、锈蚀等结构病害，形成闭环完整的抗震保障体系。桥梁抗震与灾后快速修复技术深度融合发展，在设计和施工中优先考虑灾后修复的便利性与高效性，采用模块化构件和快速连接技术，大幅提升地震后桥梁的应急修复能力，缩短交通中断时间。区域交通网络抗震协同防护理念强调路网内不同桥梁之间的抗震性能匹配与互补，通过优化网络布局和关键桥梁结构设计，强化整个交通网络的抗灾水平与韧性。

6 结论

公路桥梁抗震设计与施工技术的融合发展，是提升桥梁抗震韧性的核心保障。本文系统梳理了抗震设计的核心理论与原则，明确了场地参数、结构特性等对设计的重要影响，不同桥型需采取差异化设计策略。关键技术体系中，性能化设计、新型材料应用及隔震消能技术的结合，为设计提供了多元解决方案。施工阶段的前期准备、主体结构质量控制及抗震构件安装，是确保抗震性能落地的关键环节。设计与施工的协同机制，尤其是数字化技术的应用，有效打破了两者脱节的壁垒。未来，抗震技术将向智能化、绿色化方向发展，全链条防护体系的构建将成为提升区域交通网络抗灾能力的重要支撑。研究成果可为公路桥梁抗震工程实践提供参考，推动抗震技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 周钱山. 公路桥梁抗震设计关键技术研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(11): 73-76.
- [2] 张家伟. 桥梁抗震设计关键点与减隔震技术的应用探究 [J]. 交通科技与管理, 2024, 5(12): 76-78.
- [3] 邢志达. 公路桥梁抗震设计优化研究 [J]. 交通世界, 2024, (10): 150-152.
- [4] 黄飘. 防震设计措施在公路桥梁设计中的应用 [J]. 运输经理世界, 2023, (24): 134-136.
- [5] 雷亮. 桥梁抗震设计关键点与减震、隔震设计的应用 [J]. 工程建设与设计, 2022, (12): 113-115.