

道路与桥梁抗震设计的现状与发展趋势分析

周为恺

352228*****1510

摘要: 地震灾害对土木工程结构的破坏性极强,道路与桥梁作为交通生命线的核心组成,其抗震性能直接关乎灾后救援通道的畅通与否,更与人民生命财产安全紧密相连。在我国地震活动较为频繁的背景下,道路与桥梁抗震设计已成为工程建设领域的重点研究方向。本文围绕该领域展开分析,系统梳理当前抗震设计的发展现状,深入剖析设计实践中存在的技术瓶颈与应用问题。结合近年来抗震理论的创新成果及工程实践经验,探讨设计理念、核心技术及材料应用等方面的发展方向,为提升道路与桥梁工程的抗震防灾能力提供实用参考,助力构建安全稳固的交通基础设施体系。

关键词: 道路与桥梁; 抗震设计; 现状分析; 发展趋势; 抗震性能

DOI: 10.69979/3060-8767.25.12.088

引言

地震作为一种突发性自然灾害,对道路与桥梁这类大型土木工程结构的破坏往往是毁灭性的。道路与桥梁承担着区域交通联络的重要功能,地震发生后,其结构损伤或功能失效不仅会造成直接经济损失,还会阻断救援物资运输和人员转移通道,引发更为严重的次生灾害。近年来,我国交通基础设施建设步伐不断加快,道路与桥梁的建设规模和覆盖范围持续扩大,而部分地区地震活动的不确定性,对工程抗震设计提出了更为严苛的要求。传统抗震设计模式已难以满足现代复杂工程的需求,因此,深入分析抗震设计现状、把握发展趋势,对推动技术革新、保障交通工程安全具有重要现实意义。

1 道路与桥梁抗震设计的核心理论基础

1.1 基本原理与准则

抗震设计以结构动力学、材料力学等基础学科理论为核心支撑,其本质是通过科学的结构布置、合理的参数设计以及优化的构造措施,减轻地震能量对工程结构的冲击和破坏。在实际设计工作中,“小震不坏、中震可修、大震不倒”是必须遵循的基本准则,这一准则明确了结构在不同强度地震作用下的性能目标,确保结构能够呈现出相应的受力状态和变形能力。工程技术人员需要结合项目所在地的地震烈度区划结果、场地类别、地质勘察资料等基础信息,对地震动参数进行精准确定,从而使抗震设计既符合规范要求,又具备针对性和科学性,为结构安全提供基础保障。

1.2 结构受力特性

地震荷载属于典型的动力荷载,在其作用下,道路

与桥梁结构会产生复杂的动力响应,不同结构部位因受力机制和构造特点的差异,呈现出明显不同的受力特性。对于桥梁结构而言,墩柱、支座、盖梁等关键受力构件是抗震薄弱环节,在地震作用下易出现剪切破坏、弯曲破坏或延性不足等问题。道路路面则常因地基不均匀沉降、结构整体位移以及接缝处的相对变形,出现裂缝、错台、沉陷等损伤。此外,结构的整体刚度分布、质量大小及分布情况、构件间的连接方式和节点构造等因素,都会直接影响地震能量的传递路径和结构的整体抗震性能,这些都是设计过程中需要重点分析和考量的内容。

1.3 与结构安全的关联

抗震设计是道路与桥梁工程建设中保障结构安全的核心环节,其设计质量直接决定了结构在地震灾害中的抵御能力和安全性能。合理完善的抗震设计,能够通过优化结构选型、改进构造措施、选用优质抗震材料等多种途径,有效提升结构的延性、耗能能力和整体稳定性,从而减少地震作用引发的结构损伤程度。反之,若抗震设计存在缺陷,如结构布置不合理、抗震验算不全面、材料选用不符合要求等,会导致结构在地震作用下迅速丧失承载能力,引发桥梁坍塌、道路中断等严重安全事故。

2 道路与桥梁抗震设计的发展现状

2.1 规范与标准体系

经过多年的发展与完善,我国已建立起一套相对完整的道路与桥梁抗震设计规范和标准体系,其中《公路工程抗震规范》是该体系的核心文件,对道路与桥梁工程的抗震设计起到了主导性指导作用。该规范明确规定

了不同区域、不同类型道路与桥梁工程的抗震设防烈度、地震动参数确定方法、结构抗震验算要求以及构造措施等关键内容，为工程设计提供了统一、明确的技术依据。随着抗震技术的不断发展和工程实践经验的积累，相关规范和标准也在持续修订和完善，逐步吸收国际先进理念和技术成果，与国际先进标准接轨，进一步增强了设计标准的科学性、合理性和适用性，更好地满足工程建设需求。

2.2 技术与方法应用

在当前的道路与桥梁抗震设计实践中，已经形成了一系列常用的抗震技术和设计方法，并在工程中得到了广泛应用。其中，隔震技术和减震技术是应用较为成熟的两种核心技术。隔震技术主要通过在桥梁支座、道路基层等关键部位设置隔震装置，如橡胶隔震支座、摩擦摆隔震支座等，有效阻隔或减少地震能量向上部结构的传递，降低结构所承受的地震作用。减震技术则通过在结构中设置消能构件，如阻尼器、软钢消能器等，利用构件的弹塑性变形消耗地震能量，从而降低结构的地震响应。此外，抗震加固技术在老旧道路与桥梁改造中应用广泛，但这些技术在复杂地质条件、大跨度结构等特殊工程场景下的应用，仍存在技术难度大、效果不稳定等局限性。

2.3 实践中的突出问题

尽管我国道路与桥梁抗震设计取得了一定的进展和成绩，但在实际设计和工程实践过程中，仍然面临着诸多突出问题。部分工程设计过程中，存在设计方案与工程所在地实际地质条件、地形地貌以及地震环境脱节的情况，导致所采用的抗震措施缺乏针对性，难以有效发挥抗震作用。大量老旧道路与桥梁工程由于建设年代久远，当时的抗震设计标准较低，结构性能老化，进行抗震改造时面临着技术难度大、施工复杂、改造成本高的问题，部分结构甚至因损伤严重难以达到现行设计标准。此外，设计人员队伍的技术水平参差不齐，部分设计人员对新型抗震技术和设计理念的掌握不够深入，也影响了抗震设计质量的整体提升。

3 道路与桥梁抗震设计的创新方向

3.1 设计理念更新

随着抗震理论研究的深入和工程实践的发展，道路与桥梁抗震设计理念正在发生重要转变，传统以“被动防御”为主的设计理念，正逐步向“主动控制”与“性能化设计”相结合的方向发展。性能化抗震设计以结构

在不同强度地震场景下的预期性能目标为核心，根据工程的重要性、使用功能要求等因素，制定个性化的抗震设计方案，实现设计的精细化和针对性。

3.2 新型材料应用

新型抗震材料的研发与应用，为道路与桥梁抗震设计的创新发展提供了重要支撑，成为提升结构抗震性能的有效途径。高性能混凝土材料凭借其高强度、高延性、高耐久性的特点，在桥梁墩柱、箱梁等关键构件中应用越来越广泛，能够显著提升构件的抗震承载能力和抗损伤能力。纤维增强复合材料，如碳纤维布、玻璃纤维布等，具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优势，在结构加固和新建工程中均有良好表现，可有效改善结构的抗震性能。

3.3 数字化技术融合

数字化技术与道路与桥梁抗震设计的深度融合，是当前该领域发展的重要趋势，显著提升了设计的效率和科学性。BIM技术（建筑信息模型）作为一种先进的数字化设计工具，能够构建道路与桥梁的三维可视化模型，实现抗震设计参数的精准建模、模拟分析和优化调整，直观呈现结构在地震作用下的变形过程和受力状态。有限元分析软件则能够对结构进行精细化的抗震数值模拟，准确计算结构的地震响应，为设计方案的优化提供数据支撑。

4 影响道路与桥梁抗震设计发展的关键因素

4.1 区域环境差异

我国地域辽阔，地质构造复杂多样，不同区域的地震活动强度、频率以及地质条件存在显著差异，这些差异成为影响道路与桥梁抗震设计的重要因素。在地震高发区域，如西南、西北等部分地区，地震活动频繁且强度大，对道路与桥梁的抗震设防等级要求更高，设计标准更为严格。而在地质条件复杂的区域，如软土地基分布广泛的沿海地区、岩溶地貌发育的西南地区，道路与桥梁结构的抗震设计面临更大挑战。软土地基的承载力低、地震响应明显，易导致结构出现过大沉降和位移；岩溶地貌则可能因溶洞发育引发地基失稳。这种区域差异决定了抗震设计必须坚持因地制宜的原则，避免采用单一的设计模式。

4.2 政策与标准引导

政策法规与行业标准是推动道路与桥梁抗震设计技术发展和质量提升的重要保障，对设计实践起到明确的引导和规范作用。近年来，国家高度重视交通基础设

施的抗震安全，相继出台了一系列相关政策文件，强调提升道路与桥梁工程的抗震防灾能力，为行业发展指明方向。同时，相关行业主管部门不断组织专家对现行抗震设计规范和标准进行修订完善，吸收最新的科研成果和工程实践经验，使标准内容更加科学合理，更能适应实际工程需求。行业监管力度的持续加强，确保了抗震设计标准在工程实践中得到有效落实，避免了因追求经济利益而降低设计标准、忽视抗震安全的情况发生。

4.3 成本与经济性平衡

在道路与桥梁抗震设计过程中，工程建设成本与技术经济性的平衡是必须重点考虑的现实问题，直接关系到设计方案的可行性和工程的实际效益。新型抗震技术和高性能抗震材料的应用，虽然能够显著提升结构的抗震性能，但往往伴随着建设成本的增加，给工程投资带来一定压力。如何在保证结构抗震安全、满足规范要求的前提下，通过优化设计方案、合理选用技术和材料、改进施工工艺等方式控制建设成本，实现技术效果与经济成本的有机平衡，成为设计人员面临的重要课题。

5 道路与桥梁抗震设计的未来发展趋势

5.1 智能化技术普及

随着人工智能、物联网等新一代信息技术的快速发展，智能化将成为道路与桥梁抗震设计未来的重要发展趋势，其应用范围和深度将不断拓展。智能算法能够对大量的设计参数进行快速分析和优化，实现抗震设计方案的自动生成和迭代改进，大幅提升设计效率和质量。基于物联网技术的结构健康监测系统，能够实时采集结构在运营过程中的受力、变形等数据，结合智能算法对结构的抗震性能进行动态评估和预测，为设计优化和运维决策提供依据。智能减震控制系统则能够根据地震作用的实时强度和特点，自动调整控制参数，改变结构的动力特性，提升结构的自适应抗震能力，确保结构在不同地震场景下的安全。

5.2 绿色设计融入

在国家“双碳”目标的引领下，绿色环保理念正深度融入道路与桥梁抗震设计领域，绿色抗震设计将成为未来的重要发展方向。绿色抗震设计强调在保证结构抗震性能的前提下，最大限度地减少对环境的影响，实现工程建设与生态保护的协同发展。在材料选用方面，优先选用节能环保、可循环利用的抗震材料，减少高能耗、高污染材料的使用。在结构设计方面，通过优化结构形

式和尺寸，减少材料消耗，提高材料利用效率。在抗震改造工程中，积极采用绿色施工技术，如模块化施工、预制装配技术等，减少施工过程中的扬尘、噪音和废弃物排放，降低对周边生态环境的影响，推动交通工程实现可持续发展。

5.3 跨学科协同模式

道路与桥梁抗震设计是一项复杂的系统工程，涉及多个学科领域的知识和技术，未来将打破传统学科壁垒，形成多学科协同的设计模式。结构工程学科为抗震设计提供核心的结构理论和技术支撑；地质工程学科帮助准确把握工程所在地的地质条件和地震风险；计算机科学为数字化设计、智能分析提供技术手段；材料科学为新型抗震材料的研发和应用提供保障。多学科专业人员将组建协同设计团队，实现从地震风险评估、地质勘察、方案设计到施工建设的一体化推进，充分发挥各学科的优势，解决复杂工程中的抗震设计难题，全面提升抗震设计的整体水平和工程质量。

6 结论

本文通过系统分析发现，我国已建立起以核心规范为引领的抗震设计标准体系，传统隔震、减震技术在工程中广泛应用，但仍存在设计与实际脱节、老旧工程改造困难等问题。当前，抗震设计正朝着理念更新、材料创新、技术融合的方向发展，性能化设计、全生命周期设计理念逐步普及，新型材料与数字化技术的应用显著提升了设计科学性。未来，智能化、绿色化及跨学科协同将成为主流趋势。提升抗震设计水平，需持续完善标准体系、推动技术创新、加强人才培养，实现抗震安全与经济环保的平衡，为交通基础设施安全提供坚实保障。

参考文献

- [1] 王成江. 浅析预制装配式桥梁抗震设计及抗震措施[J]. 价值工程, 2022, 41(13): 44-46.
- [2] 刘其卓. 公路兼城市道路桥梁抗震设计对比分析[J]. 福建交通科技, 2021, (06): 66-71.
- [3] 刘善晴. 公路桥梁设计及其抗震优化分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (35): 154-156.
- [4] 张慧. 桥梁结构抗震设计与设防措施[J]. 四川水泥, 2021, (05): 262-263.
- [5] 刘尊稳. 基于线桥一体化模型的高速铁路桥梁抗震性能及设计方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(05): 1080.