

桥梁设计中的抗震能力不足问题及技术对策

张天宇

(合肥市公路桥梁工程有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为提升桥梁在地震作用下的结构安全性能, 本文探讨了桥梁设计中的抗震能力相关问题, 通过分析当前桥梁设计状况发现其存在抗震设计标准滞后、计算不精确、材料和结构选择不合理、对地震动输入方向考虑不足以及缺乏有效减震隔震措施等问题, 并针对这些问题提出可采取更新抗震设计标准、精确进行抗震计算、合理选择抗震材料与结构体系、全面考虑地震动输入方向以及引入减震与隔震技术等对策, 以期能够为有效解决桥梁设计中抗震能力不足的问题提供借鉴, 进而提高桥梁结构的抗震性能, 保障桥梁在地震发生时的安全性和稳定性。

关键词 桥梁设计; 抗震能力; 地震作用; 结构安全

中图分类号: U442

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.040

0 引言

在全球地震活动频繁的当下, 地震灾害对人类生命财产安全构成了巨大威胁。桥梁作为交通基础设施的关键节点, 其在地震中的安全状况直接影响着震后救援、重建及社会经济的稳定运行。过往众多地震灾害实例表明, 若桥梁设计的抗震能力不足, 地震发生时桥梁极易遭受严重损坏, 如桥梁坍塌、墩柱开裂等, 不仅阻断交通, 还会导致救援行动受阻, 进一步加重灾害损失。然而, 受限于设计标准、计算方法、材料与结构选择以及对地震特性认知等因素, 部分桥梁在抗震设计方面仍存在诸多缺陷。因此, 深入探究桥梁设计中的抗震能力不足问题, 并寻求有效的技术对策具有重要的现实意义。

1 桥梁设计中抗震能力不足的主要问题

1.1 桥梁抗震设计标准滞后

随着地震研究的深入和施工技术的进步, 人们逐渐认识到地震活动的规律和特征, 新的抗震理论和技术不断涌现。但是, 在一些地区, 桥梁抗震规范没有及时更新, 仍沿用旧规范。这一滞后指标可能不能充分考虑地震多发区复杂断层分布、软土层等特殊地质条件, 导致桥梁设计中的地震力预估偏低^[1]。同时, 旧规范对新桥型的适应性较差, 无法满足大跨径桥梁、跨海大桥等特殊结构的抗震设计规范, 难以保证强震区桥梁的稳定。面对日趋频繁、强度日益增加的强震, 按照旧标准设计的桥梁抗震能力明显不足, 容易发生严重损伤, 威胁城市交通生命线的畅通。

1.2 抗震设计计算不精确

桥梁抗震设计计算涉及众多复杂参数, 如地震波特性、桥梁结构动力特性等。一方面, 当前使用的一些计算模型过于简化, 未能精准模拟地震作用下桥梁的实际力学响应。例如: 在计算桥梁结构的内力和位移时, 忽略了结构构件之间的非线性相互作用, 导致计算结果与实际情况偏差较大。另一方面, 输入数据的准确性难以保证, 地震动参数的选取往往依赖于有限的地震监测数据, 且不同地区的地质条件差异使得数据的代表性受限。同时, 桥梁结构材料的力学性能参数在实际使用中可能因环境因素等发生变化, 但计算过程中却常采用理论标准值, 未考虑这些不确定性。这种不精确的计算, 使得桥梁在设计阶段对地震力的抵抗能力评估出现偏差, 可能导致桥梁实际抗震能力远低于预期, 在地震来临时无法承受地震荷载而发生破坏。

1.3 材料和结构选择不合理

在桥梁设计领域, 材料与结构体系的合理选型对其抗震性能有着决定性影响。部分桥梁设计过度关注成本效益, 选用强度欠佳、延性较差的建筑材料。例如: 某些小型桥梁采用低标号混凝土, 这类材料在地震作用下, 抗压与抗拉性能难以满足要求, 极易出现开裂、破碎等状况, 极大地削弱了桥梁结构的承载能力。与此同时, 结构体系的选择存在不合理性, 部分桥梁采用不利于抗震的静定结构, 一旦某一部位在地震中受损, 结构整体稳定性便会瞬间丧失, 无法有效抵御地震持续作用。此外, 结构布置层面, 构件刚度分布不

均匀问题突出,地震发生时,刚度突变处易形成薄弱环节,引发应力集中现象,致使结构过早被破坏。这些不合理的材料与结构选择,不仅难以充分挖掘桥梁结构的抗震潜力,反而在地震时放大破坏程度,大幅增加桥梁损毁风险,严重阻碍震后交通的快速恢复。

1.4 地震动输入方向考虑不足

地震作为一种极为复杂的空间运动形式,以多维震动的方式对桥梁结构施加影响。在当前的桥梁结构抗震设计实践中,存在一个较为普遍的问题,即设计过程往往仅考虑单向或双向地震作用,而对其余方向的地震作用缺乏充分考量。实际上,竖向地震动在特定工程场景下,尤其是大跨桥梁中,影响不容小觑。竖向地震动会激发结构产生过大的竖向位移与内力,致使支座发生剪切破坏、构件出现拉压失效等状况^[2]。同时,部分桥梁在地震中会因各向激励差异而发生扭转,而扭转问题在众多桥梁设计中未得到充分考量。扭转会使桥梁结构受力不均,产生附加应力,进而引发局部损伤,严重削弱桥梁整体抗震能力,给地震安全埋下巨大隐患,亟待在设计环节予以重视和改进。

1.5 缺乏有效的减震和隔震措施

减震和隔震技术是提升桥梁抗震性能的重要手段,但在实际桥梁设计中,部分项目未能充分应用这些技术。一些传统桥梁仍采用刚性连接方式,地震发生时,地震能量直接传递至桥梁结构,导致结构承受巨大的地震力。而在一些新建桥梁中,虽然考虑了减震隔震设计,但由于选用的减震隔震装置性能不佳或设计参数不合理,无法有效发挥作用^[3]。例如:部分桥梁安装的橡胶隔震支座,其在长期使用过程中因老化、变形等问题,隔震效果大打折扣。此外,减震措施的布置缺乏系统性,未根据桥梁结构的特点和地震作用的特性进行合理规划,导致在地震作用下无法实现预期的减震效果,使得桥梁在地震中的破坏程度加剧,难以保障桥梁结构在地震中的安全与稳定。

2 提升桥梁抗震能力的技术对策

2.1 更新抗震设计标准

及时更新抗震设计标准是提升桥梁抗震能力的基础。相关部门应密切关注地震研究的前沿成果,依据最新的地震活动数据、地质勘察资料以及建筑技术发展情况,修订现有的桥梁抗震设计规范。针对地震频发且地质条件复杂的区域,如板块交界处、断裂带附近,标准中应明确特殊的抗震设计要求,提高对地震力的

预估精度,充分考虑断层活动、软土地基等因素对桥梁结构的影响。对于新型桥梁结构,如大跨度斜拉桥、跨海桥梁等,需制定专门的抗震设计指南,明确不同结构形式在地震作用下的力学模型与设计参数。此外,还应定期对标准进行审查与更新,确保其与实际工程需求和科学认知保持同步。通过更新抗震设计标准,为桥梁设计提供科学、准确的依据,使新建桥梁从设计源头具备更强的抗震能力,也为既有桥梁的抗震加固改造提供合理参考,保障交通基础设施在地震灾害中的安全。

2.2 精确的抗震计算

精确的抗震计算是保障桥梁抗震性能的关键环节。在计算模型方面,应摒弃过于简化的模型,采用先进的非线性动力学模型,充分考虑桥梁结构在地震作用下构件之间复杂的非线性相互作用,如材料的非线性本构关系、结构的几何非线性等,以更真实地模拟桥梁的实际力学响应。同时,提高输入数据的准确性,借助广泛分布的地震监测台网,收集大量且全面的地震动数据,并运用先进的数据处理技术,结合桥梁所在地的地质条件,精确选取合适的地震波参数^[4]。对于桥梁结构材料的力学性能参数,不能仅依赖理论标准值,应通过现场抽样检测、长期性能监测等方式,获取实际使用状态下材料性能的变化数据,将其纳入计算过程。此外,运用可靠的计算软件与高性能计算设备,进行多工况、多参数的模拟分析,确保计算结果的可靠性与准确性。通过精确的抗震计算,能够在设计阶段准确评估桥梁的抗震能力,为合理的结构设计 with 抗震措施制定提供有力支撑。

2.3 合理选择抗震材料与结构体系

合理选择抗震材料与结构体系对提升桥梁抗震性能至关重要。在材料选择上,优先选用强度高、延性好、耐久性强的建筑材料,如高标号混凝土、高强度钢材等,以增强桥梁结构在地震作用下的承载能力与变形能力^[5]。对于一些重要桥梁,可采用新型复合材料,如纤维增强复合材料,其具有轻质、高强、耐腐蚀等优点,能有效减轻桥梁自重,同时提高结构的抗震性能。在结构体系方面,应避免采用不利于抗震的静定结构,优先选用超静定结构,当结构某一部位遭受地震破坏时,其他部位仍能通过内力重分布维持整体稳定性。此外,注重结构布置的合理性,确保构件刚度分布均匀,避免出现薄弱环节。例如:在桥墩设计中,合理调整桥墩的截面尺寸与配筋,使各桥墩在地震作用下受力

均匀。通过合理选择抗震材料与结构体系,充分发挥桥梁结构的抗震潜力,降低地震破坏风险,保障桥梁在地震中的安全运营。

2.4 全面考虑地震动输入方向

在桥梁抗震设计中,全面考量地震动输入方向是提升抗震能力的关键策略。

首先,要构建多维度地震动输入模型,借助先进的地震监测数据与模拟技术,精准捕捉地震动在水平、竖向以及扭转等多方向的特征参数,为设计提供全面且准确的基础数据。

其次,在结构设计阶段,运用精细化有限元分析软件,对桥梁结构在不同方向地震动组合作用下的力学行为进行深入模拟。针对大跨度桥梁,着重强化竖向承载与抗扭设计,合理增加竖向支撑构件,优化桥墩与支座的连接方式,提升结构竖向刚度与稳定性,有效抵御竖向地震动影响。对于各类桥梁,均需合理布置抗扭构件,例如在关键节点设置抗扭筋,增强结构的抗扭性能,均衡不同方向地震力作用下的受力情况^[6]。

同时,在设计过程中充分考虑地震动的不确定性,进行多工况模拟分析,制定相应的设计冗余方案,确保桥梁在复杂地震环境下,能通过结构自身的合理设计,有效应对来自各个方向的地震动,切实提升整体抗震性能。

2.5 引入减震与隔震技术

在众多提高桥梁抗震性能的技术措施中,采用减震隔震技术是一项十分重要的工作。减震技术是指在桥梁结构中合理地设置消能器,可以有效地耗散地震输入能量,减少结构的振动反应。目前常用的粘滞阻尼器等阻尼器是利用流体粘滞阻力将地震能转换成热能散去,在地震作用下,可以有效地降低桥梁的位移、加速度,减轻结构的震害。隔震技术是指利用橡胶隔震支座、摩擦摆隔震支座等特种隔震设备,实现对上部结构和下部结构的隔离^[7]。这种隔震装置可以有效地延长结构自振周期,避开地震动的显著周期,有效地降低了地震作用向上部结构的传递。如橡胶隔震支座,由于其良好的弹性、耗能能力,可以有效地缓冲、吸收地震作用,从而减小地震对桥梁的影响。在实际应用中,需要根据桥梁的结构类型、尺度、地震环境等因素,合理地设计、选择合适的隔震装置,以及合理的布置方式和参数,才能保证减震和隔震技术发挥最大的作用^[8]。同时,要建立健全的维修机制,定期检查和维修减震装置,确保其长时间处于良好状态。

科学引入减震隔震技术,可显著提高桥梁抗震安全性,有效降低结构损伤程度,提高震后可修复性,保证交通顺畅,降低地震灾害损失。

3 结束语

桥梁设计中的抗震能力不足问题严峻,主要体现在设计标准滞后、计算不精确、材料与结构选择不当、对地震动输入方向考虑欠缺以及减震隔震措施缺乏等方面。这些问题严重威胁桥梁在地震中的安全。而更新抗震设计标准、精确抗震计算、合理选用材料与结构体系、全面考量地震动输入方向以及引入减震隔震技术等对策,能有效提升桥梁抗震性能。通过实施这些技术对策,可从设计源头增强桥梁抗震能力,降低地震破坏风险,保障桥梁在地震灾害中的安全与稳定,维护交通生命线的畅通,为震后救援及社会经济恢复提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 杨璇,刘庆,唐站站,等.速度锁定器在斜拉桥抗震设计中应用研究[C]//中国力学学会结构工程专业委员会,广西大学,中国力学学会《工程力学》编委会,清华大学土木工程系,水沙科学与水利水电工程国家重点实验室(清华大学).第31届全国结构工程学术会议论文集(第II册).扬州大学建筑科学与工程学院,浙江科技学院土木与建筑工程学院,2022.
- [2] 曾永平,陈克坚,庞林,等.近断层高速铁路典型桥梁抗震优化设计研究[J].铁道工程学报,2020,37(08):51-58.
- [3] 李腾.桥梁工程设计中的隔震设计分析[J].运输经理世界,2021(06):113-114.
- [4] 廖资大.桥梁设计中隔震设计技术的方法研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):133-134.
- [5] 肖阳,张亮,张宿峰,等.大跨径桥梁抗震性能模拟因素的影响作用分析[C]//中冶建筑研究总院有限公司.2022年工业建筑学术交流会论文集(下册).黑龙江省公路建设中心,吉黑高速山河(吉黑省界)至哈尔滨(永源镇)段工程建设项目办,2022.
- [6] 陈永祁,郑成成,马良喆,等.重庆桥梁结构抗震阻尼器的应用与发展[C]//中冶建筑研究总院有限公司.2021年工业建筑学术交流会论文集(下册).北京奇太振控科技发展有限公司;燕山大学建筑工程与力学学院,2021.
- [7] 颜晓伟.钢筋混凝土桥墩与圬工桥墩在轨道交通桥梁设计中的对比分析[C]//江苏省综合交通运输学会公路分会.2019年泛长三角公路发展论坛论文集.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2019.
- [8] 袁慧玉,徐佳.桥梁立柱与盖梁节点的抗震设计方法研究[J].城市道桥与防洪,2024(12):104-108,17.