

现阶段公路桥梁抗震设计及其优化研究

徐 剑

安徽建工路港建设集团有限公司 安徽 合肥 230000

摘要: 本研究聚焦现阶段公路桥梁抗震设计及其优化问题。首先剖析地震作用机理与桥梁震害类型,阐述了现阶段桥梁抗震主要设计原则及方法。进而分析公路桥梁设计现状,指出规范执行、结构选型、地质勘察等方面存在的不足。针对这些问题,提出抗震优化策略,涵盖结构体系优化、构造细节强化、减隔震技术应用及地基基础改进等措施,并介绍各类措施的技术要点和优势。本文旨在提升公路桥梁抗震性能,为其设计与建设提供科学指导,保障交通网络在地震中的安全性和稳定性,推动公路桥梁建设向更安全、可靠的方向发展。

关键词: 公路桥梁; 抗震设计; 桥梁震害; 抗震优化

引言: 公路桥梁作为交通基础设施的关键组成部分,其抗震性能直接关系到震后救援与经济恢复。近年来地震频发,桥梁震害严重,引发社会对其抗震能力的高度关注。在桥梁设计中,准确把握地震作用机理和震害形式是基础,这涉及纵波(P波)、横波(S波)(纵波和横波均属于体波)和面波(L波)三种类型地震波的传播特性及对桥梁结构的影响,以及桥墩破坏、梁体坠落等常见震害的成因剖析,同时抗震设计原则和方法的合理运用至关重要。

1 公路桥梁抗震设计基础理论

1.1 地震作用机理与桥梁震害类型

1.1.1 地震波传播特性

地震波按传播方式可分为纵波、横波和面波三种类型。纵波是一种推进波,其质点振动方向与传播方向一致,在地壳中的传播速度较快,一般为5.5-7千米/秒,最先到达震中,又称P波,它使地面发生上下振动,频率较高,但振幅相对较小。横波是剪切波,质点振动方向与传播方向垂直,传播速度约为3.2-4.0千米/秒,第二个到达震中,又称S波,它使地面发生前后、左右抖动,其破坏性较P波强,且频率较低,振幅相对较大。面波又称L波,是由纵波与横波在地表相遇后激发产生的混合波,波长长、振幅强,只能沿地表面传播,是造成建筑物强烈破坏的主要因素,其传播速度比体波慢,在不同地质介质中,地震波的传播速度、频率和振幅都会发生变化。这些变化会使桥梁结构受到不同程度的动态作用,如纵波的快速到达可能使桥梁结构产生初步的振动响应,随后横波和面波的作用则可能导致更大的变形和破坏。

1.1.2 桥梁震害形式

(1) 桥墩破坏: 桥墩作为桥梁的主要竖向承重构

件,在地震作用下承受巨大的水平力和弯矩,容易发生弯曲破坏和剪切破坏。墩柱弯曲破坏是延性的,多表现为开裂、混凝土剥落压溃、钢筋裸露和弯曲等,并产生很大的塑性变形。墩柱剪切破坏是脆性破坏,往往会造墩柱及上部结构的倒塌,震害较为严重^[1]。(2) 基础沉降或滑移: 桥梁基础若位于软弱土层或地质条件复杂的区域,地震时可能会因土层的不均匀沉降或剪切变形而发生沉降或滑移。(3) 梁体坠落: 梁体与支座之间的连接在地震中可能会遭到破坏,或者支座本身损坏,导致梁体失去支撑而坠落。此外,桥墩的过大变形也可能使梁体发生位移,超出支座的承载范围,造成梁体坠落,这将直接导致交通中断,且修复难度较大。(4) 支座破坏: 支座在桥梁结构中起着传递荷载和适应变形的重要作用。地震时,支座会受到较大的水平力和竖向力,容易发生剪切破坏、位移过大或脱空等现象。如板式橡胶支座可能因水平剪力超过其极限抗剪强度而破坏,从而影响梁体的正常受力和位移传递。(5) 伸缩缝损坏: 地震作用下,桥梁结构会产生较大的位移和变形,伸缩缝作为适应这种变形的构造,容易受到损坏。伸缩缝的填缝材料可能被挤出、撕裂,伸缩装置的构件可能发生变形、断裂,进而影响桥梁的伸缩功能,导致梁体之间的碰撞和损坏。

1.2 抗震设计基本原则与方法

1.2.1 抗震设计原则

首先,依据地质勘察结果,避开活动断层、地质破碎带等危险场地,选择稳定区域建桥,因活动断层附近的桥梁在地震时易受断层错动的严重破坏,即便自身抗震性能好也难以抵御。其次,应选用连续梁桥、刚架桥等抗震性能优越的结构体系,避免采用简支梁桥等抗震性能差的形式,以降低落梁风险^[2]。再者,合理配置结

构构件,形成多层次抗震能力,如在桥墩设计中,除保证墩柱强度和延性外,设置防落梁装置、耗能减震装置等,当墩柱损伤时,后续防线可继续发挥作用吸收和耗散地震能量。第四,注重桥梁结构各部分间的连接与协同工作能力,确保梁体与桥墩、桥墩与基础、基础与地基连接牢固,可采用加强型支座、合理设置连接钢筋等措施,减少构件相对位移和破坏。最后,根据桥梁重要性和预期地震作用,合理确定各构件抗震能力,关键构件如桥墩关键部位应提高抗震设计标准,确保强震下有足够承载能力和变形能力,避免脆性破坏。

1.2.2 抗震设计方法

现阶段抗震设计方法主要有:反应谱法、时程分析法、Pushover分析法

(1) 反应谱法:反应谱法是基于大量地震记录统计得出结构加速度响应谱。它假设结构为线性,将地震动的频谱特性与结构的动力特性相结合,从而确定结构在地震作用下的响应。适用于结构相对规则、线性特性明显的公路桥梁设计。在初步设计阶段,能够快速估算结构的地震响应,为结构选型和初步尺寸确定提供依据。优点是简便实用,不需要复杂的计算过程,设计人员容易掌握;缺点是难以考虑结构的非线性特性,对于复杂结构或者在强震作用下可能出现较大非线性变形的结构,其计算结果可能存在偏差。

(2) 时程分析法:时程分析法则通过输入地震波直接求解结构动力响应。它考虑了地震动的时程特性以及结构的动力特性,能够较为精确地模拟结构在地震作用下的响应过程。适用于复杂结构,如大跨度桥梁、不规则桥梁结构或者对地震响应精度要求较高的桥梁。尤其在分析结构在强震下的非线性行为时,时程分析法具有独特的优势。优点是能精准模拟非线性行为,结果较为精确;缺点是计算复杂,需要大量的计算资源和时间,并且地震波的选择对结果影响较大,需要进行合理的地震波选取和分析。

(3) Pushover分析法:Pushover分析法通过逐步施加侧向力评估结构的极限承载能力和变形性能。它将结构简化为等效单自由度体系,通过施加侧向力使结构逐步进入塑性状态,从而得到结构的承载能力和变形能力曲线。适用于评估结构整体抗震能力,尤其是在对结构进行抗震性能评估和加固设计时较为常用^[3]。优点是能够直观地反映结构的整体抗震性能,对结构的薄弱环节有良好的识别能力;缺点是它是一种静态分析方法,不能完全准确地反映结构在地震作用下的动态响应,并且对于结构的局部响应分析可能不够精确。

2 现阶段公路桥梁设计现状与问题分析

2.1 设计规范与标准执行情况

目前,我国公路桥梁设计规范与标准不断更新完善,如《公路桥梁抗震设计规范》等,为设计工作提供了明确的指导。然而,在实际执行中仍存在一些问題。部分设计人员对新规范的学习和理解不够深入,导致在设计过程中未能准确贯彻其要求,影响设计质量。一些小型项目或偏远地区的桥梁设计,由于设计单位和人员水平参差不齐,对规范标准的执行不够严格,存在简化设计流程、降低设计标准的现象。

2.2 常见设计缺陷与不足

在公路桥梁设计中,常见的设计缺陷与不足较为突出。结构设计方面,部分桥梁的结构选型不够合理,未充分考虑当地的地形、地质、气候等条件以及桥梁的使用功能和承载要求,导致结构在使用过程中出现适应性问题。例如,在高烈度地震区,一些桥梁未采用抗震性能更好的结构形式。细节设计上,对桥梁的连接部位、支座、伸缩缝等细节处理不够精细,这些部位在车辆荷载和环境因素作用下容易出现损坏,影响桥梁的使用寿命和安全性。另外,耐久性设计不足也是一个常见问题,对混凝土的耐久性、钢筋的锈蚀防护等考虑不够周全,导致桥梁在使用一段时间后出现结构性能下降的情况。

2.3 地质勘察与场地效应考虑不充分

地质勘察是公路桥梁设计的重要基础工作,但在实际操作中,存在对地质勘察重视程度不够的问题。一些设计单位为了节省成本和时间,地质勘察工作不够细致深入,未能准确获取地质条件的详细信息,如土层分布、地质构造、地下水位等,从而影响了设计的准确性。在考虑场地效应方面,部分设计师对地震、风、洪水等自然灾害的场地效应认识不足,未能充分考虑这些因素对桥梁结构的影响。

3 公路桥梁抗震优化策略与技术措施

3.1 结构体系优化

(1) 在不同条件下,桥梁结构形式的选择及结构参数的调整对其抗震性能至关重要。高烈度地震区,连续刚构桥和矮塔斜拉桥为优选^[4]。连续刚构桥主梁与桥墩刚性连接,整体性强,协同受力好,可减少地震相对位移及落梁风险,结构冗余度高。矮塔斜拉桥兼具斜拉桥与连续梁桥优点,刚度大、地震变形小、抗震及承载能力强。跨越断层时,可分离式结构或自适应变形结构适宜,前者可在地震时部分分离避损,后者能依地震变形自动调整降险。(2) 调整桥梁结构参数可改善其性能。采用等跨径布置,能使结构受力均匀,防跨径差异致刚

度突变及地震应力集中。适当增加桥墩横向间距,可增强结构横向稳定性,提升抵抗横向地震力的能力。优化梁体截面形式,如采用箱形截面梁,既能增强抗弯和抗扭能力,又可减轻结构自重,降低地震作用效应,从而提升桥梁抗震性能,保障桥梁在地震中的安全性和稳定性。

3.2 抗震构造细节强化

在抗震构造细节强化方面,合理配置箍筋至关重要,螺旋箍、复合箍等能增强对混凝土的约束,使桥墩在地震时受力更优,提高其延性和耗能能力。同时增大桥墩截面纵向钢筋配筋率,可确保桥墩在地震作用下具备足够的抗弯和抗压强度,避免过早屈服与破坏。在桥墩底部设置并合理设计塑性铰区域,能引导结构形成塑性耗能机制,消耗地震能量,保障结构安全。此外,选用高阻尼特性的橡胶支座、铅芯橡胶支座或摩擦摆支座等减隔震支座,可有效降低结构地震响应,而加强支座与梁体、墩台的锚固连接,则能防止支座在地震中出现脱落、滑移等问题。优化梁体间及梁端与桥台的连接构造,设置可靠的伸缩缝装置和防碰撞设施,可确保桥梁在地震变形时的连续性和稳定性,防止落梁事故,保障震后桥梁的可通行性和结构完整性。

3.3 减隔震技术应用

减隔震技术应用可有效提升桥梁抗震性能,先通过设置隔震层或耗能装置,延长结构自振周期以避开地震卓越周期,并消耗地震输入能量,从而降低结构地震响应。常见的减隔震装置如橡胶隔震支座弹性好、阻尼佳、耐老化,适用于多种桥梁;滑动隔震支座构造简单、成本低,但安装精度和维护要求高;粘滞阻尼器稳定性好,可抑制结构振动;金属屈服阻尼器耗能能力强,但大变形后可能需更换。再根据桥梁结构特点和地震需求选定装置类型和布置方案,再建立分析模型,模拟结构在地震下的响应^[9]。关键在于合理选择隔震支座的刚度、阻尼参数及阻尼器的阻尼系数、屈服力等关键参数,经大量计算分析和试验研究确定最优组合,实现最佳性能,确保桥梁在不同水准地震作用下的安全与功能。

3.4 地基基础抗震设计改进

(1) 针对软土地基和液化地基等不良地质条件,应采用适宜的地基处理方法。强夯法可提高地基土密实度和强度,但对环境影响大;深层搅拌桩法能形成水泥土桩体,增强地基承载力和稳定性;振冲碎石桩法可置换软弱地基土,提高密实度和抗液化能力。实际工程中要依地质条件和桥梁类型选择,如深层搅拌桩法可提升地基整体抗震性能,振冲碎石桩法可改善排水条件。(2) 不同基础形式的抗震性能不同。桩基础承载能力高,能有效传递荷载和抵抗地基变形及侧向力,设计时要合理确定桩径、桩长和桩间距,并加强桩身与承台连接;扩大基础稳定性和经济性好,适用于地质条件较好地区,在地震区需加大尺寸和埋深;沉井基础刚度大、稳定性强,但施工难度大、成本高。地震区应根据场地地质条件、桥梁结构形式和荷载大小选择基础形式,并优化其尺寸、埋深、配筋等设计参数,从而提高基础抗震性能。

结束语: 本文通过对地震作用机理、震害类型、设计现状及问题的深入研究,明确了抗震优化的方向和重点。结构体系优化可提升桥梁整体抗震性能,抗震构造细节强化能增强关键部位的抗震能力,减隔震技术应用有效降低地震响应,地基基础抗震设计改进为桥梁提供稳固支撑。这些措施相互配合,形成完整的抗震优化体系。

参考文献

- [1]王雪玮,康斌镨,徐胜乐.公路桥梁设计及其抗震优化分析[J].内蒙古公路与运输,2023(6):35-38.
- [2]邢志达.公路桥梁抗震设计优化研究[J].交通世界,2024(10):150-152.
- [3]徐坤,梁群.现时期公路桥梁设计及其抗震优化分析[J].建筑与装饰,2024(4):86-88.
- [4]霍闻见.城市桥梁结构抗震性能设计优化研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(11):172-175.
- [5]刘耀川.现阶段公路桥梁设计及其抗震优化[J].交通科技与管理,2021(34):79-80.