

公路桥梁结构抗震性能评估与加固研究

潘文帅

鄂尔多斯市东方路桥集团股份有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：文章深入探讨了公路桥梁结构抗震性能评估与加固研究。通过综述静力分析法、Pushover分析法及非线性时程分析法等多种评估方法，全面分析各方法的优缺点及适用范围。针对桥梁结构的薄弱环节，特别是墩柱与主梁及支座部分，提出具体的抗震加固措施，如增加截面尺寸、设置钢套箍、优化结构形式等。研究旨在提升公路桥梁在地震中的稳定性和安全性，为工程实践提供理论依据和技术支持。

关键词：公路桥梁；抗震设计；抗震加固

1 公路桥梁震害形式

公路桥梁在地震中可能遭受多种形式的震害，这些震害不仅影响桥梁的正常使用，还可能对交通安全和人们的生命财产造成重大威胁。公路桥梁在地震中常见的震害形式多种多样，主要包括以下几种：第一、上部结构震害：地震时，桥梁上部结构可能因受到水平力的作用而发生滑落，如汶川地震中的百花大桥就发生了落梁现象，上部结构还可能因地震引起的位移（包括纵向、横向及扭转）而受损，这些位移往往发生在设置伸缩缝的地方，导致结构失稳甚至倒塌。第二、桥墩震害：桥墩作为支撑上部结构的关键部分，在地震中可能因塑性铰的抗弯、抗剪强度不足而破坏，如日本阪神地震中大量墩柱受损。此外，桥墩与桩基础钢筋的连接及锚固性能不足也是导致桥墩破坏的常见原因。地震还可能引起地基沙土液化，导致桥墩基础下沉或不均匀下沉，进一步加剧桥墩的破坏。第三、支座等连接部位破坏：桥梁支座作为连接上部结构与下部结构的重要部件，在地震中容易受损。支座破坏会导致上部结构失去支撑，产生更大的位移和变形，甚至引发落梁事故。支座破坏是桥梁震害中最为常见的形式之一^[1]。第四、裂缝与变形：地震引起的地面运动会使桥梁结构应力过大，从而产生裂缝。这些裂缝不仅影响桥梁的承载力和稳定性，还可能加速结构的进一步破坏，地震还会使桥梁结构发生变形，如桥墩倾斜、桥面扭曲等，这些变形会进一步削弱桥梁的抗震能力。第五、整体倒塌：在强烈地震作用下，桥梁可能因结构整体失稳而倒塌。这种倒塌往往伴随着巨大的破坏力和冲击力，对周围环境和交通造成严重影响。

2 公路桥梁抗震设计

在自然灾害频发的今天，地震作为最具破坏力的自然灾害之一，对公路桥梁等基础设施构成了严重威胁。

为了确保公路桥梁在地震中的安全性和稳定性，抗震设计显得尤为重要。

2.1 秉承公路桥梁抗震设计原则

公路桥梁的抗震设计应遵循一系列基本原则，这些原则是确保设计有效性和实用性的基石。（1）安全性原则；安全性是抗震设计的首要原则。在设计过程中，必须充分考虑地震作用下桥梁可能遭受的各种破坏形式，通过合理的结构布置和构造措施，确保桥梁在地震中能够保持足够的承载能力和稳定性，防止发生倒塌或严重破坏，从而保障人民生命财产的安全。（2）经济性原则；经济性是抗震设计不可忽视的重要方面。在保障安全性的前提下，应尽量优化设计方案，减少材料用量和施工难度，降低建设成本。同时还应考虑桥梁的全寿命周期成本，包括维护、加固和更换等费用，以实现经济效益的最大化。（3）适用性原则；适用性是抗震设计的另一个重要原则。设计应充分考虑桥梁的使用功能、交通流量、地形地貌等因素，确保桥梁在地震后能够迅速恢复通行能力，满足灾后救援和重建的需要。此外，设计还应符合当地的法律法规和技术标准，确保设计的合法性和规范性。（4）可持续性原则；随着环保意识的增强，可持续性也成为抗震设计的重要原则之一。设计应充分考虑桥梁对环境的影响，采用环保材料和工艺，减少能源消耗和排放。还应考虑桥梁的耐久性和可维护性，确保其在长期使用过程中能够保持良好的性能和外观。

2.2 恰当选择桥位、桥型

桥位和桥型的选择对公路桥梁的抗震性能具有重要影响。桥位的选择应综合考虑地形、地质、水文、气象等因素。应避免将桥梁建在地震断裂带、滑坡、泥石流等地质灾害易发区域，还应考虑桥梁与周边环境的协调性，避免对生态环境造成破坏。在可能的情况下，应选择地质条件良好、地基承载力高的地段作为桥址，以提

高桥梁的抗震能力。桥型的选择应根据桥梁的跨径、交通量、地形地貌等因素综合确定。在抗震设计中,应优先选用具有较好抗震性能的桥型,如连续梁桥、刚构桥等。这些桥型通常具有较大的刚度和承载能力,能够在地震中保持较好的稳定性。还应考虑桥梁的构造特点和施工工艺,确保设计的可行性和经济性^[2]。

2.3 分析桥梁强弱部分,合理设计结构方案

在公路桥梁的抗震设计中,对桥梁的强弱部分进行准确分析,并据此合理设计结构方案至关重要。桥梁的强弱部分是指在地震作用下,容易发生破坏或损伤的部位。这些部位通常包括支座、墩柱、节点连接等。在设计中,应对这些部位进行重点分析和评估,确定其抗震能力是否满足要求。对于弱项部分,应采取相应的加强措施,提高其抗震能力;对于强项部分,则可适当优化其设计,以节省材料和降低成本。在明确了桥梁的强弱部分后,应根据实际情况合理设计结构方案。设计时应遵循“强柱弱梁”、“强剪弱弯”等抗震设计原则,通过合理的结构布置和构造措施,确保桥梁在地震中能够形成有效的耗能机制,减少地震能量的输入和传递,还应考虑桥梁的延性和恢复力特性,确保其在地震后能够迅速恢复通行能力。具体来说,可以采用增加墩柱截面尺寸、设置防落梁装置、采用延性好的支座等措施来提高桥梁的抗震能力。此外,还可以采用减震隔震技术,如安装减震支座、设置隔震层等,来降低地震对桥梁的影响。这些措施的综合运用将有助于提高公路桥梁的抗震性能,保障其在地震中的安全性和稳定性。

3 公路桥梁结构抗震性能评估方法

公路桥梁作为交通网络的重要组成部分,其抗震性能的评估对于确保地震发生时交通系统的稳定性和安全性至关重要。随着工程技术的进步和抗震理论的发展,多种评估方法被广泛应用于公路桥梁结构抗震性能的评估中。

3.1 静力分析法

静力分析法,也称为等效静力法,是早期用于评估结构抗震性能的一种简化方法。该方法基于静力平衡原理,将地震作用简化为一个等效的静力荷载施加在结构上,通过计算结构在该荷载作用下的响应来评估其抗震性能。静力分析法计算简单,易于理解,且能够快速给出结构在地震作用下的大致响应情况。这对于初步评估和设计阶段的快速筛选非常有用,静力分析法忽略了地震动的动力特性和结构自身的动力响应特性,无法准确反映结构在地震中的真实行为。此外,该方法对于不同频率和相位的地震动输入,给出的结果可能相差较大,

导致评估结果的不准确性。

3.2 Pushover分析法

Pushover分析法,也称为能力谱法或推覆分析法,是一种介于静力分析法和动力分析法之间的评估方法。该方法通过模拟结构在单调递增的水平荷载作用下的非线性行为,得到结构的推覆曲线(即基底剪力与结构顶点位移的关系曲线),然后将该曲线与地震需求谱进行比较,以评估结构的抗震性能^[3]。Pushover分析法考虑了结构的非线性行为,能够较为准确地反映结构在地震中的真实响应,该方法计算量适中,易于在工程实践中应用。通过调整不同的加载模式和加载路径,还可以进一步考虑结构的不同破坏模式对抗震性能的影响。尽管Pushover分析法具有诸多优点,但其评估结果仍受到一定限制。首先,该方法基于单方向加载的假设,无法全面反映地震作用下的多维效应。其次,推覆曲线的准确性依赖于所选用的加载模式和结构模型的精度。此外,对于复杂结构或特殊地形的桥梁,Pushover分析法的适用性还需进一步验证。

3.3 非线性时程分析法

非线性时程分析法是目前最为精确和全面的结构抗震性能评估方法之一。该方法通过直接输入地震加速度时程记录,对结构进行动力时程分析,得到结构在整个地震过程中的非线性响应(如位移、速度、加速度和内力等),并据此评估结构的抗震性能。非线性时程分析法能够充分考虑地震动的动力特性和结构自身的动力响应特性,以及结构的非线性行为(如材料非线性、几何非线性和连接非线性等),因此能够给出最为准确和全面的评估结果,该方法还能够模拟结构在不同地震波作用下的响应情况,为抗震设计提供更为可靠的参考依据。非线性时程分析法的计算量巨大,需要高性能的计算设备和专业的软件支持。同时该方法对地震动输入的依赖性较强,不同地震波的选择可能会对评估结果产生较大影响。此外,对于复杂结构和特殊地形的桥梁,非线性时程分析法的建模和计算难度也较大。

3.4 其他评估方法

除了上述三种主要评估方法外,还有一些其他方法也被用于公路桥梁结构抗震性能的评估中。例如,基于性能的抗震设计方法(PBSD)强调将结构的抗震性能与预定的性能目标相联系,通过设计使结构在地震中达到预定的性能水平;增量动力分析法(IDA)则通过逐步增加地震动强度来分析结构在不同强度地震作用下的响应情况,以评估结构的抗倒塌能力等。这些方法各有特点,可以根据具体工程需求和条件进行选择和应用^[4]。公

路桥梁结构抗震性能的评估方法多种多样,每种方法都有其独特的优势和局限。在实际应用中,应根据工程的具体情况 and 需求选择合适的评估方法,并结合多种方法进行综合评估,以确保评估结果的准确性和可靠性。

4 公路桥梁抗震加固对策

在面對地震等自然灾害的威胁时,公路桥梁的抗震加固显得尤为重要。通过采取有效的抗震加固措施,可以显著提升桥梁结构的抗震能力,保障其在地震中的稳定性和安全性。

4.1 墩柱结构抗震加固措施

墩柱作为支撑桥梁上部结构的关键部分,其抗震性能直接影响到整个桥梁的稳定性,对墩柱结构进行抗震加固是提升桥梁抗震能力的关键措施之一。(1)增加墩柱截面尺寸;通过增加墩柱的截面尺寸,可以有效提高其抗弯、抗剪承载能力,从而增强墩柱的抗震性能。这种加固方法简单直接,适用于多种类型的墩柱结构。然而,需要注意的是,增加截面尺寸可能会增加桥梁的自重和基础负担,因此在实际应用中需进行充分的计算和评估。(2)设置钢套箍;在墩柱外表面包裹一层钢套箍,可以显著提高墩柱的约束效应和承载能力。钢套箍通过紧密贴合墩柱表面,限制其在地震中的变形和破坏,从而增强墩柱的抗震性能,钢套箍还具有施工方便、加固效果显著等优点。(3)采用新型材料和技术;随着材料科学的进步,一些新型材料如高性能混凝土、纤维增强复合材料等被广泛应用于桥梁抗震加固中。这些材料具有优异的力学性能和耐久性,可以显著提高墩柱的抗震性能。同时一些新型技术如预应力技术、粘滞阻尼器等也被用于墩柱的抗震加固中,通过改变结构的动力特性和耗能机制来提高其抗震能力。

4.2 主梁及支座的加固措施

主梁和支座作为桥梁结构的重要组成部分,其抗震性能同样重要。针对主梁和支座的抗震加固措施主要包括几个方面:(1)增强主梁的连接强度;主梁之间的连接节点是地震中容易发生破坏的部位之一。通过增强主梁连接节点的强度和刚度,可以有效提高其抗震性能。

具体措施包括增加连接件的尺寸和数量、采用焊接或螺栓连接等高强度连接方式等^[5]。(2)加固支座;支座作为连接主梁和墩柱的关键部件,其抗震性能对桥梁的整体稳定性至关重要。对支座进行加固可以显著提高其承载能力和耗能能力,从而增强桥梁的抗震性能。具体措施包括更换为抗震性能更好的支座类型(如滑动支座、固定支座等)、增加支座的约束效应和耗能机制等。(3)优化主梁结构形式;通过优化主梁的结构形式,如采用箱形截面、增加横梁等,可以提高主梁的刚度和承载能力,从而增强其抗震性能。此外,还可以采用预应力技术等方式对主梁进行加固处理,以进一步提高其抗震能力。公路桥梁的抗震加固对策涉及多个方面和层次,在实际应用中,应根据桥梁的具体情况 and 需求选择合适的加固措施,并结合多种方法进行综合加固处理。通过科学合理的抗震加固设计和施工,可以显著提升桥梁结构的抗震能力,为人民群众的生命财产安全提供有力保障。

结束语

公路桥梁结构抗震性能评估与加固研究是保障交通基础设施安全的重要课题。通过科学评估桥梁结构的抗震性能,并采取有效的加固措施,可以显著提升桥梁在地震中的稳定性和承载能力。未来,随着抗震技术的不断发展和完善,将继续深化这一领域的研究,为构建更加安全、可靠的交通网络贡献力量。

参考文献

- [1]王志刚.孙贵清.余顺新.贾俊峰.公路桥梁装配式桥墩工业化快速建造技术[J].公路,2021,(06):145-150.
- [2]郭超.刘文会.赵启琛.刘长彬.铅芯橡胶支座对桥梁横向抗震减碰影响分析[J].四川水泥,2021,(06):276-277.
- [3]罗晨.公路桥梁设计中优化公路桥梁各项功能和抗震构造的探讨[J].黑龙江交通科技,2021,(05):106+108.
- [4]张稳.山区公路桥梁抗震设计与抗震加固措施研究[J].工程技术研究,2020,5(4):239-240.
- [5]尹永杰.山区公路桥梁抗震设计与抗震加固措施研究[J].工程建设与设计,2020(17):113-115.