

公路桥梁抗震性能分析与加固技术研究

李文海 胡鹏涛

陕西省宝鸡公路管理局麟游公路管理段 陕西 宝鸡 721500

摘要: 公路桥梁作为交通网络的重要组成部分,其抗震性能直接关系到抗震救灾的效率和效果。本文将从桥梁抗震性能分析和加固设计两个方面展开探讨,旨在提高桥梁在地震等自然灾害中的抵抗能力,减少地震灾害带来的损失。

关键词: 公路桥梁;抗震性能;加固技术;抗震设计

引言

地震是一种破坏性极强的自然灾害,对桥梁等交通工程构成严重威胁。近年来,国内外地震灾害频发,公路桥梁在地震中遭受了不同程度的破坏。为了提高桥梁的抗震能力,减少地震灾害对桥梁的破坏,有必要对桥梁的抗震性能进行深入分析和加固技术研究。

1 公路桥梁抗震性能分析

1.1 桥梁震害原因分析

桥梁在地震中受到的破坏主要源于以下几个方面:

(1) 桥台震害:主要表现为桥台与路基一起滑动并移向河心,导致桥头、重力式桥台的胸腔及桩柱式桥台的桩

柱不同程度沉降、开裂、倾斜和折断等。(2) 桥墩震害:在地震力作用下桥墩会不同程度的倾斜、沉降、滑移、开裂、剪断和钢筋裸露扭曲^[1]。(3) 支座震害:某些桥梁的支座设计并未充分考虑抗震的需求,导致支座在地震力作用下发生较大的变形和位移。(4) 地基与基础震害:地震力作用下地基中的砂土会被液化,以致地基失效,基础沉降或不均匀沉降,从而导致地面较大变形,地层发生水平滑移、下层、断裂等。(5) 梁的震害:主要由桥台震害、桥墩震害、支座震害等引起,主要表现为主梁坠落。

1.2 公路桥梁抗震性能评价指标

表一 评价指标

公路桥梁抗震性能评价指标	描述
结构的内力和位移响应	内力:包括弯矩、剪力、轴力等,反映结构在地震作用下的力学状态。 位移:水平位移、竖向位移、扭转等,表示结构在地震中的变形情况。
结构的能量耗散能力	衡量桥梁通过材料变形、阻尼机制等消耗地震能量的能力,反映结构的抗震韧性。
结构的峰值加速度和加速度时程	峰值加速度:地震过程中桥梁达到的最大加速度,影响结构的惯性力。 加速度时程:加速度随时间的变化曲线,反映桥梁的动态响应特性。
动区控制效果	通过减震、隔震装置或设计措施有效控制桥梁动力响应的效果,降低地震对桥梁的影响。
结构的稳定性	桥梁在地震作用下保持整体稳定,不发生倾覆、滑移或严重变形的能力,确保桥梁的安全性和可靠性。

1.3 抗震性能分析方法

1.3.1 静力弹性法

静力弹性法,作为一种简化的分析手段,其核心在于将地震动简化为一个静态的、等效的载荷作用在桥梁结构上。这种方法忽略了地震动的动态效应,而仅聚焦于地震力的最大值对结构产生的静力影响。此方法特别适用于初步设计阶段,或当桥梁结构相对简单、规则,且地震反应主要由第一振型主导时。首先,根据地震烈度和桥梁结构的重要性,确定一个合适的地震系数;接着,利用这个地震系数将地震动转化为静态载荷;最后,通过静力分析计算结构在此载荷下的内力与变形。

1.3.2 响应谱法

响应谱法利用地震反应谱来描绘地震动的特性,并通过计算结构的加速度、速度和位移反应来评估桥梁的抗震性能。地震反应谱展示了地震动加速度、速度或位移与频率之间的关系,从而反映了地震动的频谱特性和能量分布。此方法适用于中等复杂程度的桥梁结构,能够考虑地震动的频谱特性以及结构不同振型对地震反应的影响。首先,根据地震记录和桥梁场地的特性,选择合适的地震反应谱;接着,利用反应谱计算结构在不同频率下的响应;最后,通过组合这些响应得到结构在地震中的总响应。

1.3.3 时程分析法

时程分析法是一种基于离散化模型的数值模拟方法。它能够全面考虑结构的非线性行为以及复杂的地震动输入。通过将地震动时程划分为若干个时间步长,并逐步计算结构在每个时间步长的响应,从而得到结构在整个地震过程中的动态反应。此方法特别适用于复杂结构、非线性分析以及需要深入考虑地震动时和非平稳特性的情况^[2]。首先,选择合适的地震动时程记录;接着,建立桥梁结构的离散化模型,并确定模型的初始条件和边界条件;然后,利用数值积分方法逐步计算结构在每个时间步长的响应;最后,分析并处理得到的响应数据,以评估桥梁的抗震性能。

1.3.4 有限元分析法

有限元分析法是一种将结构离散化为有限个单元,并通过建立每个单元的力学模型进行数值模拟的方法。通过将桥梁结构划分为若干个有限元单元,并建立每个单元的刚度矩阵、质量矩阵和阻尼矩阵,可以求解结构在地震作用下的动态反应。此方法特别适用于复杂结构、大型桥梁以及需要考虑结构细节和局部效应的情况。首先,对桥梁结构进行离散化处理,划分为若干个有限元单元;接着,为每个单元建立力学模型,并确定单元的刚度矩阵、质量矩阵和阻尼矩阵;然后,组装所有单元的矩阵形成整体结构的系统矩阵;最后,利用数值方法求解系统矩阵,得到结构在地震作用下的动态反应。

2 公路桥梁加固技术研究

2.1 加固设计目标

2.1.1 提高桥梁的强度和刚度

通过加固措施,显著增加桥梁结构各部件的承载能力,确保其在设计荷载及可能的超载情况下均能保持安全。提高桥梁的整体刚度,减少在荷载作用下的变形,从而改善桥梁的行车舒适性和使用寿命。

2.1.2 加强桥梁与地基之间的联系

对桥梁基础进行加固处理,如增大基础底面积、采用桩基或地下连续墙等,以提高基础的承载力和稳定性。加强桥梁上部结构与基础之间的连接,确保荷载能够顺畅地传递到地基,减少因连接失效而导致的结构破坏。

2.1.3 增强桥梁的整体稳定性:

通过调整桥梁的结构形式、增加横向联系或设置稳定构件等方式,提高桥梁的整体稳定性,防止其在地震、风载等外部作用下发生倾覆或滑移。采用高性能材料替换原有材料,如使用高强度钢材、高性能混凝土等,以进一步提升桥梁的稳定性和耐久性。

2.2 加固措施

2.2.1 砼混凝土加固

增加混凝土层:在桥梁加固中,增加混凝土层是一种直接且有效的加固方式。实施前,首先需对桥梁的现有结构进行全面评估,确定关键受力区域,如梁底、墩台顶部及桥面等。随后,对这些区域进行精确的测量与设计,以确保新增混凝土层的厚度、形状与原有结构完美契合。在浇筑新混凝土之前,必须对原有结构表面进行彻底清洁,去除油污、松散物及旧混凝土表面的劣质层,以保证新旧混凝土之间良好粘结。清洁后,可涂抹界面剂,进一步增强粘结力。浇筑过程中,应严格控制混凝土的配合比、浇筑速度及振捣方式,确保新混凝土层的质量与密实度。

喷射混凝土:对于形状复杂或难以接近的桥梁部位,如拱圈、墩柱侧面等,喷射混凝土成为理想的加固选择。此方法利用高速喷射设备,将混凝土浆料均匀喷射至桥梁表面,形成一层致密且牢固的保护层。喷射混凝土前,同样需对桥梁表面进行清洁处理,并检查喷射设备的性能与状态。喷射过程中,应控制喷射压力、距离及角度,确保混凝土浆料能够均匀覆盖桥梁表面,形成连续且无空洞的保护层。此外,还需注意控制喷射厚度,避免过厚导致结构自重增加过多。喷射混凝土加固后,不仅可显著提高桥梁的耐久性与承载力,还能有效修补裂缝,增强局部区域的稳定性。此方法的施工速度快、适应性强,特别适用于紧急加固或局部修补工程。

2.2.2 钢板加固

刚性钢板加强:在桥梁加固中,刚性钢板加强是一种直接增强结构承载力的方法。针对桥梁的主要受力构件,如梁体底部、墩柱等关键部位,通过加设刚性钢板进行加强。钢板的选择需考虑其强度、韧性及耐腐蚀性,以确保加固效果持久。钢板与原有结构的连接方式至关重要,可采用焊接、螺栓连接或粘贴等方式^[3]。焊接连接需确保焊缝质量,避免裂纹及未熔合等缺陷;螺栓连接则需精确控制螺栓的预紧力及布置方式,以保证连接的可靠性;粘贴连接则通常使用环氧树脂等高性能粘合剂,确保钢板与原有结构之间的紧密粘结。

钢板-混凝土组合结构:钢板-混凝土组合结构是一种充分利用钢板与混凝土各自优势的加固方法。在此组合结构中,钢板通常作为受力骨架,承受拉力及弯矩,而混凝土则提供抗压支撑,共同承担桥梁的荷载。该组合结构的施工需精确控制钢板的定位与混凝土的浇筑。钢板应准确放置在预定位置,并通过焊接或螺栓连接与原有结构紧密相连。混凝土浇筑前,需对钢板表面进行清

洁处理,并涂抹界面剂,以增强混凝土与钢板之间的粘结力。浇筑过程中,应严格控制混凝土的配合比及浇筑速度,确保组合结构的质量与密实度。

2.2.3 纤维增强材料加固

碳纤维布加固:碳纤维布以其高强度、轻质及优异的力学性能,在桥梁加固中发挥着重要作用。加固前,需对桥梁的受力表面进行细致清洁,去除油污、灰尘及松散物,确保碳纤维布与结构之间的良好粘结。清洁后,可涂抹专用的底涂材料,进一步增强粘结效果。碳纤维布的粘贴应严格按照设计要求进行,确保布料的平整与紧密。粘贴过程中,可采用专用的滚筒或刮板,将碳纤维布均匀压实在桥梁表面,排出气泡,保证粘结质量。加固后,碳纤维布能够显著提高桥梁的抗拉强度和抗弯刚度,同时保持结构的轻质和美观。

玻璃纤维布加固:玻璃纤维布具有优异的耐腐蚀性和耐疲劳性能,特别适用于潮湿或腐蚀性环境下的桥梁加固。加固前,同样需对桥梁表面进行清洁处理,确保玻璃纤维布与结构之间的良好粘结。粘贴玻璃纤维布时,可采用环氧树脂等高性能粘合剂,以增强加固效果。粘合剂的选择应考虑其与玻璃纤维布及桥梁结构的相容性,确保粘结的牢固与持久。粘贴过程中,应控制粘合剂的涂抹量及粘贴速度,避免粘合剂过多或过少导致的粘结不牢或气泡问题。

2.2.4 预应力加固

体外预应力加固:体外预应力加固是在桥梁的受拉部位,如梁体下缘或墩柱侧面,设置预应力筋(如钢绞线、钢丝束等)。这些预应力筋通过特定的锚具和张拉设备被张拉至设计应力水平,从而对桥梁结构施加预应力。此过程能够显著增强桥梁的整体受力和稳定性,特别是对于那些大跨度或需要显著提高承载力的桥梁而言。在实施体外预应力加固时,需精确计算预应力筋的张拉力,并合理布置锚具和张拉设备,以确保预应力的有效传递和结构的受力均衡^[4]。此外,体外预应力加固能够保持桥梁结构的整体性和美观性,因为预应力筋通常被设置在结构外部,不会对桥梁的外观造成显著影响。

体内预应力加固:体内预应力加固则是在桥梁结构内部设置预应力筋,并通过张拉和锚固等方式将其与结构紧密连接。这种方法在桥梁施工过程中进行,通常需要在混凝土浇筑前将预应力筋放置在预定位置,并通过张拉和锚固设备将其张拉至设计应力水平。体内预应力加固能够显著提高桥梁的抗裂性能和承载力,因为预

应力筋的存在使得结构在受到荷载作用时能够更好地抵抗拉应力和弯矩。同时,由于预应力筋被埋置在结构内部,因此能够保持桥梁结构的整体性和外观的完整性。在实施体内预应力加固时,需要精确控制预应力筋的张拉力和锚固位置,以确保加固效果达到预期。

3 公路桥梁抗震加固的原则

公路桥梁抗震加固应遵循以下核心原则,以确保加固效果达到最佳:安全性原则方面,加固后的桥梁必须能够抵抗地震产生的巨大冲击力,确保结构在地震发生时保持稳定,避免发生严重破坏或倒塌。这要求加固设计应充分考虑地震动参数、桥梁结构特点以及可能的破坏模式,确保加固措施的有效性。可行性原则强调加固方案的可实施性。在制定加固方案时,需综合考虑施工条件、现有技术水平以及经济成本等多方面因素,确保加固措施能够在实际工程中得以顺利实施。持久性原则要求加固后的桥梁具有较长的使用寿命,能够承受多次地震的考验。这需要在加固设计中充分考虑材料的耐久性、结构的疲劳性能以及可能的维护需求,确保加固效果能够长期保持。经济性原则要求在确保安全性和持久性的前提下,尽可能降低加固成本。这需要在加固方案的比选、材料的选择以及施工方法的优化等方面下功夫,以实现经济上的合理性。

结语

公路桥梁的抗震性能分析和加固技术研究是提高桥梁抗震能力的关键。通过深入分析桥梁震害原因,采用合理的抗震性能评价指标和分析方法,可以准确评估桥梁的抗震性能。同时,结合实际情况选择合适的加固措施和设计原则,可以有效提高桥梁的抗震能力,减少地震灾害带来的损失。未来,应继续加强桥梁抗震的基础性研究,开展必要的试验和理论分析,推动桥梁抗震加固技术的不断进步。

参考文献

- [1]赵辉.公路桥梁抗震设计与抗震加固措施刍议[J].四川建材,2021,47(03):170-171.
- [2]任佳贝.分析公路桥梁抗震能力的措施[J].黑龙江交通科技,2020,43(08):90+92.
- [3]胡克林.公路桥梁养护与维修加固施工技术探讨[J].科技与创新,2024,(15):138-140.
- [4]李志强.高速公路桥梁的日常养护与维修加固施工探析[J].中国设备工程,2024,(12):41-44.