

论建筑桥梁工程地震伤害的成因及防震方案

向星宇¹ 张力文²

1. 重庆建筑工程职业学院, 重庆 400074

2. 重庆市弘禹水利咨询有限公司, 重庆 401120

[摘要]桥梁是现代交通系统中不可或缺的重要组成部分, 它承载着连接不同地区、支撑运输网络的重大责任。随着地震灾害频繁发生, 桥梁的抗震能力已成为建设工程中的关键研究领域。地震造成的损失不仅限于人员伤亡, 还会严重影响社会经济活动, 尤其是交通中断造成的影响。为了有效降低桥梁在地震中的破坏程度, 提高桥梁的抗震能力, 相关设计和技术得到了迅速发展。如今, 随着抗震理论及技术的不断革新, 桥梁的抗震设计已不再仅仅依赖传统的被动防御, 而是融入了更多主动防护手段。近年来, 诸如减震支座、冗余设计等技术的应用, 显著增强了桥梁的抗震性能。本研究旨在探讨不同桥梁类型及施工环境下的抗震设计方案, 分析相关技术对提升桥梁抗震能力的具体作用, 为桥梁工程的抗震设计提供理论依据与实践指导。

[关键词]桥梁震害; 抗震设计; 减隔震技术; 能量耗散; 地基稳定性

DOI: 10.33142/ect.v3i4.16095

中图分类号: TU352

文献标识码: A

Discussion on the Causes of Earthquake Damage in Building and Bridge Engineering and Seismic Prevention Plans

XIANG Xingyu¹, ZHANG Liwen²

1. Chongqing Jianzhu College, Chongqing, 400074, China

2. Chongqing Hongyu Water Conservancy Consulting Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: Bridges are an indispensable and important component of modern transportation systems, carrying the significant responsibility of connecting different regions and supporting transportation networks. With the frequent occurrence of earthquake disasters, the seismic resistance of bridges has become a key research area in construction projects. The losses caused by earthquakes are not limited to casualties, but also seriously affect social and economic activities, especially the impact caused by traffic interruptions. In order to effectively reduce the degree of damage to bridges during earthquakes and improve their seismic resistance, relevant designs and technologies have been rapidly developed. Nowadays, with the continuous innovation of seismic theory and technology, the seismic design of bridges no longer relies solely on traditional passive defense, but incorporates more active protection measures. In recent years, the application of technologies such as shock-absorbing bearings and redundant design has significantly enhanced the seismic performance of bridges. The purpose of this study is to explore seismic design schemes for different types of bridges and construction environments, analyze the specific role of relevant technologies in improving the seismic resistance of bridges, and provide theoretical basis and practical guidance for seismic design of bridge engineering.

Keywords: bridge damage; seismic design; seismic isolation technology; energy dissipation; foundation stability

引言

随着社会经济不断发展, 交通基础设施规模持续扩大, 桥梁工程建设呈现出大跨、高墩的特点。我国地震灾害频发, 地震烈度存在局地高值情况, 这给桥梁安全运行带来了严峻考验。桥梁是交通网络中的关键节点, 其抗震性能对区域经济以及应急救援能力有着直接影响。传统桥梁抗震设计往往依靠强化构件强度与刚度, 但忽略了结构体系的延性以及能量耗散能力, 难以应对强震带来的影响。近些年来, 减隔震技术、耗能装置以及高性能材料等新技术层出不穷, 为提升桥梁抗震性能开拓了新的思路。与此国家相关抗震规范也在不断修订, 设计理念逐渐从构件层面拓展到结构整体, 使得桥梁抗震设计步入多元化发展时期, 桥梁全寿命周期管理以及运营维护的抗震安全性也日益

受到重视。特别是跨海大桥的抗震需求更为紧迫。

1 桥梁被地震震害的原因分析

由于地壳的不断移动, 梁式桥梁的盖梁的宽度偏窄引起上部分桥梁的活动节点与落梁不断的摩擦、碰撞导致损坏, 而拱式桥梁却是拱上与拱腹的部分受到了破坏, 拱脚与拱顶处产生了裂缝, 更可能使整个拱变形。在建筑桥梁时没有考虑到抗震级别的要求, 可能使支座受到损害。当与强大的地震力相互作用时, 对支座的要求较高, 由于支座的连接部位或者支座用材的不足等缺陷, 可能会使支座发生较为巨大的变化, 从而使螺丝弹出、压断或是使支座的部位脱落, 进而导致桥梁在地震力的传递过程中发生损坏。有时可能是桥梁下部发生损坏, 该情况是因为桥梁的底部结构存在缺陷而使得难以承受自身的重量和支

座传递的地震力发生形状的变化与裂纹,使得整个桥梁受到损坏。在松软的河边土地上建造桥梁,地基不稳,受到地震力时向河岸滑动,桥台朝着河心移动。

2 桥梁震害的主要表现形式

2.1 上部结构损毁

在地震的作用之下,桥梁的上部结构因为惯性方面的作用,是有可能出现横向位移的情况的,甚至还可能出现扭转变形这样的状况,更有甚者,甚至会出现整体坠落的严重情形。尤其在连续梁桥以及悬索桥这两种类型的桥梁当中,这种现象就显得更为普遍一些。像桥面板、主梁、拱圈等等这些构件,在受到动力激励之后,就会出现裂缝、破碎或者变形等诸多问题,这些问题的存在,无疑会对桥梁的整体刚度以及承载能力产生一定的影响。

2.2 支座系统失效

桥梁支座处在连接上部结构和下部墩台的重要位置,它有着传力以及变形协调方面的作用。当发生地震的时候,因地震波所引发的水平震动远远超出正常的工况载荷情况,这就使得支座出现滑移、脱落或者遭受剪切破坏等状况^[1]。特别是传统的刚性支座,在遭遇强震的作用之下,通常难以吸收足够的能量,非常容易出现失效的情况,最终致使上部结构产生滑移或者掉落的现象,进而引发桥梁的整体功能出现失效的状况。

2.3 下部结构断裂

墩柱、桥台等下部结构会直接承受地震波的作用以及上部结构所传递下来的动力负荷,在地震作用之下,桥墩有可能出现剪切破坏、弯曲屈服乃至断裂倒塌等情况,而高墩或者薄壁桥墩因为其柔度较大,所以更易于发生失稳的现象,另外当墩台与地基之间的连接较为薄弱的时候,同样也会引发基础脱离或者是整体倾覆等问题。

3 桥梁震害的原因分析

3.1 桥梁结构设计缺陷

部分桥梁在设计的时候没有充分考虑到地震的情况,把构造细节和整体抗震性能之间的协同给忽略了。结构刚度分布得不均匀、质量有偏心、节点连接也不合理等等这些问题,会让桥梁在地震当中形成一些薄弱的地方,然后这些薄弱的地方就容易诱发桥梁出现破坏的情况^[2]。另外还有一部分旧桥是按照早期的标准来设计的,它的抗震性能没办法满足当下地震设防的要求,在地震当中特别容易失效。

3.2 抗震设计不足

抗震设计理念存在滞后情况,且规范执行方面也做得不够到位,这无疑成为了桥梁震害频频发生的关键原因之一。部分负责设计的单位仅仅把目光聚焦在竖向承载能力这然而却对水平地震力可能产生的影响给忽略了,如此一来便致使桥梁缺少了本应具备的必要横向抵抗能力。与此就抗震计算而言,其并没有将极限状态分析包含进去,也没有去设置合理的延性设计以及留出相应的变形能力余地,进而使

得桥梁在遭遇大震的时候很难维持住自身的结构整体性。

3.3 桥梁下部结构缺陷

下部结构属于承载基础,若其抗震方面存在薄弱环节,那么这将会径直对桥梁的安全状况产生影响。部分桥墩在设计的时候,其尺寸呈现出偏小的态势,而且配筋的情况也显得不足,如此一来便很难去承受地震荷载,尤其是在高烈度区域,出现剪切或者弯曲破坏的可能性颇高。要是桥台结构的处理不够妥当,像是回填土的压密程度不足,又或者是防冲刷的相关措施落实不到位,那么在地震发生之后,就极有可能会失稳或者塌陷这类情况。

4 桥梁抗震设计的基本原则

4.1 整体抗震体系的协同作用

在整体的抗震体系当中,要借助地震响应分析以及模态分析这两项手段,清楚地弄明白各个部位的主导振型还有剪切力分布情况,并且运用有限元法针对梁、墩以及基础所构成的系统展开联立方面的计算,从而保证设计出来的刚度以及质量分布能够和预期的地震波频谱达成匹配的状态。与此在节点的位置应当设置起缓冲区域或者具备可调刚度特性的构造,就好比在支座下方额外加装能够调节刚度的垫块,以此让上部的结构在不一样的地震工况之下都能够以一种较为协调的方式去发生变形,防止出现因为“硬点效应”而引发的局部破坏状况。

4.2 延性设计及能量消耗机制

延性设计需和容量设计理念相结合起来,针对塑性铰的位置、配筋截面以及构造加固区域予以精确把控,务必要让破坏率先出现在便于监测且易于修复的耗能构件之上,而不是出现在那些容易发生脆性破坏的薄弱部位。除了常规的钢筋混凝土塑性铰之外,还能够在关键截面引入诸如形状记忆合金或者高阻尼橡胶这类耗能元件,以此给结构赋予一条能够持续且稳定地进行能量耗散的途径,并且要留有足够的承载能力以及变形能力,从而能够抵御多次地震动所带来的累积损伤情况。

4.3 多重抗震防护措施

抗震防护需体现出“材料—构造—设备”多层次组合的特点:在初期阶段,要选用高韧性混凝土以及抗拉性能经过优化的钢筋;到了中期阶段,借助弹性限位器、减震阻尼器等构造设备来强化能量耗散效果;在高级阶段,可以于重点桥段采用隔震支座或者滑动装置,达成上部结构和地震基岩的动力脱钩状态。针对关键节点开展冗余设计,在主承力构件以外预留次承力通道,以此提升抗震容错性。

5 桥梁工程防震技术方案

5.1 结构优化与冗余设计

结构优化算得上是提升桥梁抗震性能的关键环节。就不同桥型来讲,得借助恰当分配刚度以及质量的方式,减少结构固有频率和地震冲击出现共振的风险。多跨连续梁桥能够运用预应力连续布置或者斜撑结构体系,以此来增

强桥梁在横向以及纵向的刚度。而在简支梁桥当中,合理安排吊杆又或者是附加箱梁,进而让各跨的承载趋于平衡。在优化设计的过程里,还得运用参数化分析以及多目标优化算法,针对截面尺寸、配筋率还有节点构造展开联合优化,力求最大程度地提升抗震储能的能力。冗余设计会借助在关键受力部位设置备用受力路径的方式,以此来增强结构的容错能力。其具体举措包含:于主梁和支座之间额外增设双向限位器,从而保证当单一构件发生失效情况之后,荷载可以实现及时的转移;在墩台与基础的连接之处安排备用锚杆或者铺设钢板加强环,借此避免连接板出现脱落状况;针对重要的桥塔以及刚架增添内部钢桁,进而构建起多重重力层次,让桥梁在遭遇地震作用而出现局部破坏的时候,依旧能够维持其整体功能。

5.2 减隔震技术应用

减隔震技术会在结构和支座之间引入耗能或者隔震装置,以此来有效减弱地震波的传播。粘滞阻尼器由于其具备阻尼特性,能够把结构动能转变成热能,所以在主梁和桥墩之间或者是斜拉索节点处得到了广泛应用,进而可大幅减少位移响应。屈服型耗能器则是凭借金属塑性屈服机制,给出稳定的滞回能量耗散成效,适合用在桥梁中跨与支座连接的区域。隔震技术主要运用铅芯橡胶支座以及滑动摩擦支座^[3]。其中,LRB是由高阻尼橡胶层加上铅芯构成的,在正常工况之下能够确保一定的刚度,并且在遭遇地震作用时还能够给出可控的位移以及实现能量耗散;FPS则是凭借不锈钢板或者陶瓷涂层所具有的摩擦特性,让上部结构能够在地面运动之外实现滑动隔离,它比较适用于那种地震烈度特别高或者对于桥梁震后可用性要求极为苛刻的场景。在实际开展工程建设的过程中,可以把减震装置和隔震装置组合起来加以应用,进而构建起多层次的防护网络。

5.3 下部结构加固与基础处理

下部结构可以说是桥梁抗震的根基所在,其加固工作需要从整体性和延性这两个方面来展开。就新建的高墩桥而言,可以在设计阶段选用大截面且低纵横比的墩柱,同时在柱端安置MPA装置,以此来提升屈曲承载力。而对于那些既有的老旧桥墩来讲,纤维增强聚合物包裹技术因其施工较为简单并且附加荷载比较小,所以被广泛应用于墩柱的外部包裹操作上,经过加固之后能够大幅度提高抗弯以及抗剪的性能。除此之外,采用钢套筒包裹加上高强细石混凝土的双重加固方式,能够在关键截面形成高强薄壁环,进而增强延性。就基础处理来讲,依照地基所具备的承载力以及场地出现液化风险的情况,可以优先考虑选用预应力管桩、灌注桩或者沉井基础,如此便能够保证深层土体去承担绝大部分的地震荷载,在软弱土所在的区域,借助静压、振动夯实亦或是高压喷射注浆等方式,让地基的密实度以及抗剪强度得以提高。而对于填土或者淤泥质地基而言,可以采用换填砂砾或者是夯实灰土桩的技术手

段,并且要和土钉墙或者锚索支护相互结合起来,以此来提升整体的抗震稳定性。

5.4 高性能材料与智能监测系统

高性能材料的运用给桥梁抗震开拓了全新的可能性。高性能混凝土具备高强度的特点,还有较低的渗透性以及不错的粘结性能,能够大幅提高结构的耐久性以及抗裂性。自密实混凝土在复杂的节点位置施工起来表现优异,确保了构造细节的完整无缺。形状记忆合金有着超弹性的特性,并且有自恢复的能力,能够在拉索、缆索或者铰支座等部位达成自愈式的耗能以及变形恢复的效果。智能监测系统会在主梁、桥墩以及地基处布置加速度计、应变片还有位移传感器,以此来实时采集桥梁的响应数据,同时结合无线通信以及云平台技术,去构建在线监测与预警模型。借助大数据以及机器学习算法,可以对地震动数据展开分析,从而预测出结构可能存在的潜在损伤,在地震发生之后,还能快速完成安全评估,以此来指导应急维修以及风险管控工作。依据数字孪生所打造的全寿命周期管理系统,是能够达成桥梁设计、建设、运营以及维护方面的闭环反馈的,进而持续对抗震性能加以优化。

6 结语

随着桥梁结构变得越来越复杂,使用环境也呈现出多样化的态势,在这样的情况下,地震灾害给桥梁带来的威胁一天比一天明显起来。本文从桥梁遭受地震灾害之后所呈现出来的表现形式以及产生这些表现的原因着手,全面且细致地对抗震设计应当遵循的基本原则以及当下较为前沿的技术路径展开了探讨。通过相关研究可以发现,倘若想要构建起一个在科学层面以及合理性方面都经得起推敲的桥梁抗震体系,那么就必须把结构方面的优化举措、注重延性的设计思路、能够起到减隔震作用的相关措施还有针对地基所采取的加固办法有机地结合起来才行。与此智能材料和信息技术相互融合之后所产生的成果,很可能会在未来桥梁抗震领域的发展过程当中成为一个极为重要的指向标。

【参考文献】

- [1] 匡文飞. 门式墩—桥梁—轨道—接触网系统地震易损性分析[D]. 长沙: 中南大学, 2023.
 - [2] 冯佳. 桥梁工程中地震韧性的评估和优化[J]. 工程技术研究, 2023, 8(22): 187-189.
 - [3] 罗承轶. 桥梁工程中隔震支座对地震响应影响的实验研究[J]. 交通建设与管理, 2024(4): 84-86.
- 作者简介: 向星宇(1997.2—), 毕业院校: 中南大学, 所学专业: 土木工程, 就单位职务: 专任教师, 当前就单位名称: 重庆建筑工程职业学院; 张力文(1997.7—), 毕业院校: 大连理工大学, 所学专业: 土木建筑, 当前就单位名称: 重庆市弘禹水利咨询有限公司, 就单位职务: 纪检委员, 职称级别: 助理工程师。