

桥梁抗震设计中新型隔震支座的应用效果分析

肖成帅

山东交通学院 硕士研究生、学生 250357

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16013

[摘要] 本文对铅芯橡胶支座(LRB)和摩擦摆支座(FPS)这两种新型隔震支座的核心特性进行概述,探讨它们在各种桥梁设计中的适应性,并详细描述如何选择合适的支座。本研究主要从位移控制、非地震荷载影响、耐久性维护等多个角度出发,深入探讨了隔震支座在应用过程中的关键设计因素和应注意的事项,旨在为桥梁抗震设计提供合理选择和有效使用新型隔震支座的参考依据。

[关键词] 桥梁抗震设计; 新型隔震支座; 应用效果

引言

铅芯橡胶支座(LRB)和摩擦摆支座(FPS)被视为具有代表性的隔震设备,它们通过各自独特的能量消耗方式,能够显著减少地震的反应。本文旨在通过对LRB、FPS基本性能、适用桥型、选型策略的分析,着重研究它们在位移控制、非地震荷载适应性、耐久性方面的一些关键设计,为桥梁抗震设计时科学地选择隔震支座提供理论依据和实际参考。

一、桥梁抗震设计中新型隔震支座简介

(一) 铅芯橡胶支座(LRB)

在桥梁抗震设计中,铅芯橡胶支座(Lead Rubber Bearing, LRB)作为一种新型的隔震支座,近年来,得到广泛应用。铅芯橡胶支座主要结构特点就是把铅芯放置在橡胶层内,利用铅体塑性变形和橡胶弹性变形共同作用,使桥梁具有超强抗震性能。地震发生时,LRB可以将桥梁结构从地面运动中有效分离开来,以降低传递到桥梁本体上的地震力及振动,增加桥梁安全性及使用寿命^[1]。铅芯橡胶支座可以通过调整固有频率来有效地降低桥梁响应频率,使得桥梁在地震波的传播过程中可以明显降低所引起的加速度与位移。LRB比传统支座在承载能力、稳定性、抗疲劳性能等方面都显示了更大优越性。另外,铅芯材料因其特有的性质,在强烈振动作用下铅芯可产生塑性变形,不会产生脆性破坏,确保支座韧性及耐久性,为桥梁长期使用安全提供保障^[2]。

(二) 摩擦摆支座(FPS)

摩擦摆支座(Friction Pendulum System, FPS)是一种利用摩擦和摆动原理进行隔震的支座系统,在桥梁抗震设计中逐渐受到青睐。支座核心结构包括滑动摩擦面、半球形等几何形状不变曲率活动盘。地震作用下,桥梁结构上下移动使摩擦摆支座在其滑动摩擦面产生相对位移,该位移既能有效

地吸收地震能量,还能够限制桥梁在地震作用下的位移,减少对其他结构部件的影响^[3]。与铅芯橡胶支座不同,FPS依赖于摩擦力的耗散,它通过设置合理的摩擦系数来调节支座的刚度和阻尼特性,从而使其能够在不同强度的地震下表现出优异的性能。摩擦摆支座的使用显示了其显著优点,如良好的自复位能力可以使桥梁在地震发生后快速恢复到正常工作。这一特点使摩擦摆支座在高速公路桥梁、重要铁路桥梁等关键基础设施设计中具有特殊的适用性。该支座设计时可使施工人员按照实际需要调整摩擦参数,从而适应不同桥梁抗震要求。

二、新型隔震支座的适用桥梁类型分析

(一) 最适用桥型

新型的隔震支座在各种桥梁类型中都有其独特的应用效果,尤其是铅芯橡胶支座(LRB)和摩擦摆支座(FPS),它们特别适合于某些特定的桥梁结构设计。在对桥梁类型进行分析时,安装新型隔震支座最合适的桥型一般有大跨径桥,复杂地质环境下的桥和重要基础设施桥。在大跨度的桥梁结构中,例如高架桥和斜拉桥,由于它们的跨度相对较大,因此在结构受力和地震响应方面具有一定的复杂性。使用隔震支座能有效地减少地震导致的振动,从而确保这些结构的稳定性和安全性^[4]。通过在主梁和墩台间设置隔震支座,可以显著减少地震波在结构上的扩散,进而减小桥梁整体运动及加速度,保证极端条件下还可以保持结构完整。对处于活跃地震带上或者受频繁地震波动作用的桥梁来说,使用新型隔震支座亦不失为明智之举。该类桥梁普遍面临着较大地震风险;LRB及FPS可采用现场动态试验及数值模拟等方法量身定做适当参数配置,使该体系在各种强度的地震作用下,仍能保持良好的抗震性能。另外,对某些重要交通枢纽上的桥,例

如铁路桥和城市主干道上的桥等, 这些桥不但承载着巨大的交通流量而且也有着重大战略价值, 采用新的隔震支座可有效地增强其抗震能力, 保证震后减少事故及道路封堵时间。

(二) 需特殊考虑的桥型

在桥梁抗震设计方面, 有些桥型因结构特性或者所处环境条件特殊, 在采用新型隔震支座时需更仔细地考虑。这种桥型一般有曲线桥、悬索桥, 也有桥墩较高、地基不稳定的桥。针对曲线桥, 因结构形式弯曲、桥梁受力、振动模式复杂性显著提高, 故引入隔震支座后需精细优化支座布置及角度, 为保证各支座能共同工作, 以免出现受力不均^[5]。另外, 在曲线桥设计中还应充分考虑车辆在运行过程中所受到的横向力作用、隔震支座在设计过程中一定要确保能承受这种荷载, 以免由于横向位移而导致结构损伤。悬索桥是大跨度、轻巧结构特征桥型之一, 在抗震设计中面临着特别的挑战。地震中悬索桥运动响应与其主梁, 悬索以及桥塔之间的相互作用密切相关, 所以, 选择隔震支座时应着重考虑它们对总体动态特性的贡献。为有效降低主梁振动, 需对隔震支座选择及配置进行细致动力学分析才能保证地震作用下悬索桥整体稳定安全。另外, 对桥墩高度比基础不稳定的桥梁抗震能力是设计时重点考虑的因素。该类桥梁在地震作用下易受较大地面位移作用而引起桥墩不规范变形。所以, 在此类桥型上, 新型隔震支座的推出需充分考虑地基的土壤特性以及其对隔震效果的作用, 以保证隔震支座能有效隔绝地面运动给桥梁带来的冲击, 防止可能发生的结构性破坏。

三、支座选型与设计策略

(一) 铅芯橡胶支座 (LRB) 的选型与应用

在桥梁抗震设计中, 铅芯橡胶支座 (Lead Rubber Bearing, LRB) 作为一种有效的隔震技术, 广泛应用于各类桥梁的抗震工程中。LRB 在选择和使用过程中需要综合考虑很多因素, 主要有桥梁设计参数、地震动特性、支座物理性能。选择阶段设计师要先依据桥梁跨径、高度、荷载等级及所处地震区划等因素来确定支座承载能力及刚度需求。一般情况下铅芯橡胶支座刚度与阻尼能力应根据桥梁动力特性合理测算, 才能保证支座能够有效地减小地震作用下桥梁振动响应。具体使用时铅芯橡胶支座需综合考虑其几何参数和材料特性。支座直径、厚度、铅芯直径是设计的重要指标。一般情况下, 大支座直径有利于提高承载能力, 减小墩台受力, 但是还需权衡工程技术与经济成本。另外, 橡胶材料弹性模量及黏弹性特性对于支座性能也有不可低估的作用, 所以,

选择优质橡胶材料来确保长期使用性能及耐久性至关重要。同时还需要对铅芯配置进行精确计算以保证铅芯在地震中塑性变形不造成支座过度磨损和疲劳破坏。在使用铅芯橡胶支座时, 设计人员要充分考虑到实际施工及维修的便利性。支座布置形式、连接工艺、现场施工是否可行等均是决定最终性能的关键因素。如合理支座间距和受力配置可以提高桥梁整体抗震效果, 简化连接设计有利于提高施工效率和减少施工风险等。

(二) 摩擦摆支座 (FPS) 的选型与应用

摩擦摆支座 (Friction Pendulum System, FPS) 作为一种新型隔震技术, 近年来, 在桥梁抗震设计中得到了广泛应用。它的选择和应用过程中涉及到很多层次的综合考虑, 主要有支座性能指标, 桥梁结构特性和地震响应分析。第一, 选择阶段设计师要根据桥梁跨度, 结构类型及使用功能等因素来决定合适的支座类型及规格。这一过程一般需通过桥梁动力分析来计算地震中支座的响应与受力, 以便选取适当的摩擦系数与摆动半径来达到抗震设计要求。摩擦摆支座最关键的特点是它能够通过摩擦力及摆动作用来有效地耗散地震能量, 所以, 设计时摩擦系数的选取非常重要。合理的摩擦系数既可保证支座在地震作用下提供充分阻尼, 又可有效地控制桥梁位移。第二, 支座摆动半径对支座位移能力及恢复能力有直接影响, 故设计时需考虑桥梁整体移动需求合理布置。设计师可通过数值模拟和实验方法对摩擦摆支座进行参数优化设置, 以保证摩擦摆支座在各种地震强度作用下的有效性。在实践中, 摩擦摆支座建设与养护也是其设计过程中要着重关注的问题。它的安装过程要简单明确, 这样才能提高施工效率和降低现场施工过程中的危险。另外, 对支座进行长期性能监测并定期进行维护是保证支座高效运行的关键。由于摩擦材料长期服役可能会发生老化或者磨损等现象, 所以, 要定期检查和评价支座的性能, 延长支座的使用寿命, 保持支座良好的隔震性能。

四、隔震支座设计关键点

(一) 位移控制要求

隔震支座设计时对位移的控制需求是保证桥梁结构能够在地震这种极端条件下保持安全和稳定的关键。有效地进行位移控制既能减小地震动向结构的传递程度, 又能减小因此而造成的结构损伤及功能失效。第一, 设计师需要依据桥梁特定使用功能和等级确定需要进行位移控制的目标。一般情况下, 由地震动分析确定最大期望地震下桥梁容许水平

位移及垂直位移约束,为隔震支座选择提供了依据。第二,隔震支座种类及参数的选取对位移控制效果有直接影响。以铅芯橡胶支座与摩擦摆支座为例,二者力学特性的区别使它们具有不同的位移控制能力。设计师需要考虑支座刚度、阻尼、摩擦特性等因素才能达到位移限制。第三,支座的布局 and 连接设计也不容忽视,通过合理的支座布置,可以有效分散地震力、减小整体位移。设计时动态模拟和非线性分析对评价位移控制效果至关重要。通过构建该桥动力学模型和模拟地震响应,可预测不同地震强度下该桥位移表现以优化和调整隔震支座设计参数。该流程既能检验设计是否科学、合理,又能对结构安全冗余进行一定优化。

(二) 非地震荷载作用下的性能

桥梁结构设计与评价中非地震荷载的表现也很关键,特别是当考虑日常使用等环境因素对隔震支座产生影响。非地震荷载通常包括恒载(如自重)、活载(如交通荷载)、风荷载、温度变化等,这些荷载的作用会影响桥梁结构的整体稳定性和服务性能。所以,隔震支座设计时应充分考虑非地震荷载作用下隔震支座的使用性能,从而保证结构安全与耐久性。第一,隔震支座要求有足够大的承载能力来处理桥梁在日常运营过程中恒载与活载问题。设计阶段必须详细地分析该桥的用途,综合考虑多种可能出现的载荷组合,根据这些载荷选择和设计支座。这样既有利于保证支座日常运行时不发生过大的变形和损坏,又能增强桥梁对极端条件的反应。另外,还需要综合考虑支座材料及结构形式在各种载荷作用下的受力及变形特点,避免材料发生疲劳破坏。第二,温度变化等环境因素也会显著影响隔震支座性能。温度波动可使支座材料发生伸缩,进而对桥梁整体几何形状及运动性能产生影响。针对这一问题,在设计中应考虑给支座留出合适的温度变形空间以保证支座在温度变化时可以自由移动且不受约束。另外还需要对支座的阻尼特性进行评价,才能保证支座在多种荷载作用下有较好控制能力。第三,风荷载对桥梁的影响在桥梁设计时也是不容忽视的。特别是高架桥及大跨径桥梁,风会产生显著的横向位移和震动,从而影响到桥梁稳定性。基于这种情况,隔震支座设计要具有一定抗风能力并能有效降低风荷载作用于桥梁。

(三) 耐久性与维护管理

现代桥梁工程隔震支座耐久性及维护管理对保证桥梁的长期安全稳定运营至关重要。隔震支座是桥梁抗震设计中的

关键部位、支座的材料、结构特性对桥梁整体性能及使用寿命有着直接影响。耐久性既包括材料在多种环境条件下抗腐蚀性能,也涉及了材料在长期加载过程中疲劳性能。所以选用优质的材料及科学合理的设计方案有利于增强支座耐久性,例如使用防水涂层、耐腐蚀材料、合适的保护措施等措施来优化支座在恶劣气候中的性能。服役期间隔震支座受很多因素影响,主要有温度变化、湿度、化学介质腐蚀。定期维护管理对保证支座性能具有重要意义。建立系统维护管理制度可实现支座状态连续监控和相应维护计划。这些方案应该包括定期检查支座、清洗 maintenance、采取必要措施进行修补。尤其对于高风险区域,或经受强震作用的桥梁来说,对其进行及时排查和维修显得尤为关键,以便及时发现可能出现的问题,及时处理,避免造成更大破坏。另外,在智能监测技术不断发展的背景下,桥梁健康监测系统可以实时获取支座状态数据,并对这些数据进行分析判断,从而可以实现隔震支座健康状态的动态控制。

结语

LRB、FPS 等新型隔震支座在桥梁抗震方面表现出明显的技术优势,可有效降低结构地震响应,提高抗震可靠性。在实际运用中需要考虑桥梁的类型、位移控制的要求、长期养护的情况,对支座的形式进行合理的选取和细节的优化设计。今后要对其耐久性和多灾害耦合作用时的表现进行更加深入的研究,促进隔震技术在桥梁工程上得到更加广泛和可靠的应用。

[参考文献]

- [1] 缪庆华, 宋晓东, 谢海清. 双曲面球型减隔震支座与普通支座在成昆铁路典型桥梁上的抗震性能对比分析[J]. 力学与实践, 2024, 46(2): 393-400.
- [2] 徐容. 桥梁工程抗震设计中弹塑性钢减隔震支座应用分析[J]. 西部交通科技, 2021, 000(010): 94-96.
- [3] 胡思聪, 黄正, 郭川, 等. 一种柱齿型自复位耗能桥梁隔震支座: CN201921417136.7[P]. CN211228070U[2025-08-27].
- [4] 马力雄. 设置摩擦摆隔震支座的中小跨径桥梁抗震计算研究[J]. 工程建设与设计, 2024(19): 85-88.
- [5] 孙建鹏, 主父高林, 赵健, 等. 钢板-板式橡胶复合式减隔震支座性能分析及工程应用[J]. 桥梁建设, 2022, 52(1): 80-87.