

# 高速公路多联连续梁桥隔震研究

朱 敏

陕西交控集团绥定分公司 陕西 榆林 719000

**摘 要：**高速公路多联连续梁桥作为现代交通网络的重要组成部分，其抗震性能直接关系到交通线的安全与稳定。本研究聚焦于多联连续梁桥的隔震设计，通过理论分析、数值模拟与实验验证相结合的方法，深入探讨了交界墩的地震响应特性、隔震支座的优化布置及隔震效果评估。研究表明，合理的隔震设计能显著降低桥梁结构的地震响应，提高抗震韧性。本研究为高速公路多联连续梁桥的隔震设计与应用提供了科学依据和技术支撑。

**关键词：**高速公路；多联连续梁桥；隔震；地震响应

## 1 高速公路多联连续梁桥简述

### 1.1 桥梁结构特点

高速公路多联连续梁桥的结构特点：第一，内力状态均匀合理。在恒活载作用下，连续梁桥产生的支点负弯矩对跨中正弯矩有卸载的作用，使得内力状态比较均匀合理。这种内力分布有助于减小梁高，增大桥下净空，节省材料。第二，整体性好。连续梁桥的主梁连续支承在多个桥墩上，形成一个整体结构，具有较好的刚度和稳定性。这种整体性使得连续梁桥能够承受较大的荷载和变形，提高了桥梁的安全性和耐久性。第三，行车平顺舒适。由于连续梁桥没有桥面接缝，行车时车辆可以平稳通过，减少了跳跃和颠簸，提高了行车的舒适性和安全性。第四，适应性强。连续梁桥适用于多种跨度，特别是在大跨度桥梁建设中，凭借其出色的稳定性和承载能力成为首选方案。其良好的抗震抗风性能也使其在复杂地貌和恶劣气候条件下具有显著优势。

### 1.2 地震响应分析

高速公路多联连续梁桥的地震响应分析是确保其抗震性能的关键环节。通过建立桥梁的三维有限元模型，分析桥梁的自振频率、振型等动力特性。这些动力特性是评估桥梁抗震性能的基础。根据桥梁所在地区的地震烈度、频谱特征等参数，选择合适的地震波进行输入。地震波的输入方式包括顺桥向和横桥向同时输入，以模拟真实地震对桥梁的作用。采用时程分析方法对桥梁在地震作用下的响应进行分析，时程分析方法能够考虑桥梁的非线性特性，如支座的非线性、塑性铰的形成等，从而更准确地评估桥梁的抗震性能<sup>[1]</sup>。根据分析结果，对桥梁的抗震性能进行验算，验算内容包括支座的承载力、墩柱的抗剪强度、塑性铰的转角延性等。验算结果应满足相关抗震设计规范的要求。

## 2 高速公路隔震支座类型及其性能分析

### 2.1 铅芯橡胶支座

铅芯橡胶支座（LRB）作为高速公路桥梁中一种重要的隔震装置，其设计和应用已经得到了广泛的认可。铅芯橡胶支座结合了天然橡胶的弹性和铅芯的能量吸收能力，实现了对地震等外力的有效吸收和分散。铅芯橡胶支座主要由橡胶层、铅芯和约束钢板等部件组成。橡胶层提供了良好的弹性和变形能力，使得支座能够在地震等外力作用下发生适度的变形，从而吸收和分散能量。铅芯被压入橡胶支座的中心，与橡胶层紧密结合，形成一体。铅芯的加入不仅增强了支座的阻尼性能，还使得支座在变形过程中能够吸收更多的能量，进一步提高减震效果。约束钢板则用于限制橡胶层的竖向变形，同时不影响其水平变形，从而保证了支座的稳定性和可靠性。性能分析：铅芯橡胶支座具有较高的竖向承载力，能够稳定地支撑上部结构，确保桥梁在正常使用条件下的安全性和稳定性。在地震等外力作用下，铅芯橡胶支座能够通过橡胶层的弹性恢复力迅速复位，减小结构的残余变形，有利于桥梁在震后的快速恢复和使用。铅芯的加入显著提高了支座的阻尼比，使得支座在变形过程中能够吸收并消耗大量的能量，有效降低结构的地震响应。铅芯橡胶支座具有良好的耐久性和抗疲劳性能，能够在长期使用过程中保持稳定的性能，减少维护和更换的成本。铅芯橡胶支座适用于各种需要较高抗震性能的建筑结构，特别是在高速公路桥梁中，其隔震效果尤为显著。

### 2.2 摩擦摆支座

摩擦摆支座是一种利用滑动摩擦耗散地震能量的隔震装置，其结构相对简单且性能稳定可靠。摩擦摆支座由带球面的上、下连接板与内部球冠体滑块构成。上部结构通过上连接板支撑在滑块上，当地震发生时，支

座克服自身的摩擦力,产生水平位移,达到延长振动周期的目的。这种结构特点使得摩擦摆支座能够在震作用下保持结构的整体稳定性,减少损伤。性能分析:摩擦摆支座通过延长结构周期和提供较高的隔震层阻尼比来实现减小地震作用的目的。其隔震效果显著,能够有效降低结构的地震响应。由于摩擦摆支座采用金属材料加工而成,加工质量容易保证,具有更高的可靠性。在大震作用下,支座不会发生损伤,减少了更换的风险。摩擦摆支座适用于多种类型的桥梁结构,特别是在大跨度、大吨位的桥梁中,其隔震效果更为突出。

### 2.3 其他类型支座简介

除了铅芯橡胶支座和摩擦摆支座外,高速公路桥梁中还有其他多种类型的隔震支座,如天然橡胶支座、高阻尼橡胶支座、板式橡胶支座等。(1)天然橡胶支座以天然橡胶为主要原材料制成,具有优异的耐久性和抗老化性能。其抗低周期疲劳性能、抗热空气老化、抗臭氧老化、耐酸性、耐水性均表现突出,使用寿命可达80~100年之久。天然橡胶支座适用于一般结构以及对隔震性能有较高要求的重要结构和仪器设备中<sup>[2]</sup>。(2)高阻尼橡胶支座是在橡胶母材中添加碳或其他元素,使叠层橡胶具有良好的阻尼性质。这种支座通过提高橡胶的阻尼性能,实现了竖向承载力、水平恢复力和阻尼(吸能)的三位一体。HDR支座具有滞回特点饱满、耗能显著的优势,且经过改进的橡胶配方,其等效阻尼比可达12%以上。HDR支座适用于高层建筑、大跨度桥梁等重要工程中。(3)板式橡胶支座由多层天然橡胶与薄钢板镶嵌、粘合、硫化而成,具有良好的隔震性能。它能够适应梁部结构的变形,如水平位移和转角。板式橡胶支座分为矩形、圆形和球形三种,适用于不同跨度和位移要求的桥梁。其结构简单、安装方便、成本低廉,是小型桥梁中常用的隔震装置。

## 3 高速公路多联连续梁桥隔震方案研究

### 3.1 有限元模型建立

在高速公路多联连续梁桥的隔震方案研究中,有限元模型的建立是至关重要的一步。有限元模型能够模拟桥梁的实际结构,为后续的地震波选取、隔震方案设计与对比分析提供基础。根据桥梁的设计图纸和实际情况,确定桥梁的结构节段划分位置。这一步骤的目的是从全局角度确定整个桥梁结构的节点数和单元划分情况,为后续的建模工作奠定基础。在确定了节段划分后,我们需要统计各节段设计图纸的重量,以确保桥梁结构的恒载占比准确。恒载重量的准确性决定了整个计算的真实性,因此这一步骤不容忽视。对于高速公路多

联连续梁桥,常用的模型类型包括单梁-杆系模型、梁格-杆系模型等。在选择模型时,需要结合计算分析的目的和桥梁结构的实际情况进行合理选择。而如果需要更详细地分析桥梁结构的局部受力情况,那么梁格-杆系模型可能更为合适。在确定了模型类型后,就可以开始建立有限元模型了,在建模过程中,需要根据桥梁的实际结构,建立单元和节点,并赋予单元相应的材料属性,如弹性模量、泊松比、容重等。还需要添加节点相应的力学约束边界条件,以确保模型能够真实地反映桥梁结构的实际情况。在建模完成后,我们还需要对模型进行校验和验证,以确保其准确性和可靠性。

### 3.2 地震波选取与输入

在高速公路多联连续梁桥的隔震方案研究中,地震波的选取与输入是另一个关键步骤。地震波的选取直接影响到后续隔震方案的设计与对比分析结果的准确性。首先,要根据桥梁所在地区的地震烈度和地质条件,选择合适的地震波,在选择地震波时,我们需要考虑地震波的频谱特性、峰值加速度等因素,以确保其能够真实地反映该地区可能发生的地震情况。还需要考虑地震波的数量和持续时间,以确保后续分析结果的稳定性和可靠性。在确定了地震波后,就需要将其输入到有限元模型中。在输入地震波时,需要确保地震波的施加位置和大小与实际情况相符。还需要考虑地震波的方向和分量,以确保其能够全面地反映地震对桥梁结构的影响。在输入地震波后,要对模型进行动力时程分析,以获取桥梁结构在地震作用下的动力响应。

### 3.3 隔震方案设计与对比分析

在高速公路多联连续梁桥的隔震方案研究中,隔震方案的设计与对比分析是最终的目标。根据桥梁的实际情况和抗震需求,设计不同的隔震方案。常见的隔震方案包括铅芯橡胶支座隔震、摩擦摆支座隔震等。在设计隔震方案时,需要考虑支座的布置位置、数量、类型等因素,以确保其能够有效降低桥梁结构的地震响应。要将不同的隔震方案应用到有限元模型中,并进行动力时程分析,通过分析结果,我们可以比较不同隔震方案对桥梁结构地震响应的影响。在对比分析过程中,还需要考虑隔震方案的经济性和可行性。例如,我们需要比较不同隔震方案的成本、施工难度、维护要求等因素,以确定最具经济性和可行性的隔震方案。还需要考虑隔震方案对桥梁结构整体性能的影响,以确保其不会对桥梁的正常使用造成不利影响<sup>[3]</sup>。

## 4 高速公路多联连续梁桥交界墩的隔震设计

### 4.1 交界墩的地震响应特点

高速公路多联连续梁桥的交界墩,作为连接不同梁段的关键结构,在地震作用下表现出独特的地震响应特点。这些特点不仅影响着桥梁的整体抗震性能,也是进行隔震设计时必须考虑的重要因素。交界墩的地震响应特点主要体现在以下几个方面:一是由于交界墩位于不同梁段的连接处,其受力状态相对复杂,不仅要承受来自本梁段的荷载,还要承受相邻梁段传递过来的地震力。这种复杂的受力状态导致交界墩在地震作用下容易产生较大的应力和变形。二是交界墩的地震响应往往具有显著的动态特性,即地震波的传播和反射会导致交界墩处的振动加速度和位移随时间变化,这种动态响应增加了交界墩受损的风险。三是交界墩的地震响应还受到桥梁整体结构特性的影响,如桥梁的跨度、梁高、材料属性等,这些因素共同决定了交界墩在地震作用下的具体表现。在实际工程中,交界墩的地震响应特点往往通过动力时程分析等方法进行量化评估。通过模拟地震波的传播和反射过程,可以计算出交界墩在地震作用下的位移、加速度、应力等响应指标,为后续的隔震设计提供科学依据。

#### 4.2 交界墩隔震支座布置优化

针对交界墩的地震响应特点,合理的隔震支座布置是提高桥梁抗震性能的关键。隔震支座作为一种有效的减震装置,能够通过吸收和分散地震能量,降低桥梁结构的地震响应,从而保护交界墩等关键结构免受损伤。在交界墩隔震支座的布置优化方面,根据交界墩的受力特点和地震响应特性,选择合适的隔震支座类型,如铅芯橡胶支座、摩擦摆支座等。这些支座类型具有不同的减震机理和适用范围,需要根据实际情况进行合理选择。交界墩的隔震支座应布置在能够最大限度发挥减震效果的位置,如梁端、墩顶等。还需要考虑支座的间距和数量,以确保整个桥梁结构的稳定性和安全性。根据桥梁的抗震需求和交界墩的具体受力情况,合理设计支座的刚度、阻尼等参数,以达到最佳的减震效果。在实际工程中,交界墩隔震支座的布置优化往往需要通过多次迭代和验证来实现。通过模拟不同支座布置方案下的地震响应,比较其减震效果和稳定性,最终确定最优的支座布置方案。还需要考虑支座与桥梁其他结构的协同

工作,确保整个桥梁结构在地震作用下的整体性能和安全性。

#### 4.3 交界墩隔震效果评估

交界墩隔震效果的评估是验证隔震设计有效性的重要环节。在交界墩隔震效果评估方面,通过比较隔震前后交界墩的位移变化,可以评估隔震支座对桥梁变形能力的改善程度<sup>[4]</sup>。加速度是衡量地震作用强烈程度的重要指标,通过比较隔震前后交界墩的加速度变化,可以评估隔震支座对地震冲击的吸收和分散能力。应力是衡量结构受力状态的重要指标,通过比较隔震前后交界墩的应力变化,可以评估隔震支座对结构安全性的提升程度。在实际工程中,交界墩隔震效果的评估往往需要结合动力时程分析、静力弹性分析等多种方法进行。通过模拟不同地震波作用下的桥梁响应,比较隔震前后的差异,可以全面评估隔震设计的有效性和可靠性。

#### 结束语

本研究通过对高速公路多联连续梁桥隔震设计的全面探讨,不仅深化了对桥梁结构地震响应机制的理解,还为提升桥梁抗震性能提供了切实可行的解决方案。未来,随着隔震技术的不断进步和新型材料的开发,高速公路多联连续梁桥的隔震设计将更加智能化、精细化。期待通过持续的研究与创新,为构建更加安全、可靠的交通网络贡献力量。

#### 参考文献

- [1]李超,牟江亭,张宇,等.高速公路多联连续梁桥隔震研究[J].哈尔滨工程大学学报,2024,45(4):682-690.DOI:10.11990/jheu.202210001.
- [2]台玉吉,孙呈凯,许贺淇.地震作用下大跨连续梁桥隔震支座研究[J].工程抗震与加固改造.2021,43(5).DOI:10.16226/j.issn.1002-8412.2021.05.013.
- [3]张新中,何宇森,唐克东.基于摩擦摆支座的都市高架桥梁隔震性能研究[J].工程抗震与加固改造,2020,42(1):90-96.
- [4]于仁宝,闫宏伟,张文吉.多跨长联连续梁桥减隔震体系设计与地震响应分析[J].大众科技,2024,26(5):54-57. DOI:10.3969/j.issn.1008-1151.2024.05.013.