

桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用分析

周桂吉

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

摘要：随着都市化进程的喷薄向前般的加剧，以及交通构筑物繁荣发展的时代画卷中，桥梁作为交通网络命脉中的重要支柱，在地震的灾难面前承受着巨大压力。地震的毁灭性力量可能引起桥梁结构的瓦解和破碎，致使交通物资的输送受阻，民众生命安全遭受威胁等严重离谱事件。深学桥梁的抗震设计，精通应用震害抑制技术，成为时代的先锋声音，也急待付诸实践。本文通过对桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用进行分析，以期为相关人员提供参考。

关键词：桥梁抗震设计；减隔震技术；应用分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.11.063

引言：

桥梁的抗震加固与减震隔振技术的落实，是确保桥梁结构在地震冲击下保持稳定与完整性的至关重要举措。透过对抗震结构设计理论的深入探讨及减震隔振技术的精进运用，有力地防止桥梁遭受崩塌或重大损毁，降低地震灾难对于交通动脉及社会秩序的冲击，进而守护民众生命财产安全。随科技进程的加快，未来将涌现更多颠覆性的抗震设计理念及减震隔振新技术，为交通工程领域带来革命性的提升，营造更为稳固、流畅的交通条件。

一、桥梁抗震设计要点

（一）合理选址

优选具备地质稳定性的选址点，对桥梁工程的安全起到决定性影响。避免在断裂带、崩岗区域、弱土层等不利地质环境中施工，可大幅提升桥梁基底的承载力和结构稳固性。地震烈度的测定与评价亦属关键技术环节。借助详尽的地震地质调查及地震活跃性分析，洞察预定建设区域的地震烈度级别，为抗震设计的科学性提供坚实的数据基础。选择地质条件极佳的区域，能够有效减少桥梁面临地震灾害的风险，确保其结构的稳固及其功能的不受损。在桥梁的抗震设计之中，结构的荷载承受能力与延展性乃核心考量因素。恰当的选址对桥梁抗震性的提升起着至关重要的作用，能够缓解地震荷载对桥梁的不利影响，增强抗震韧性。选址地区地质环境的稳定性对于减少地震灾害对于桥梁造成的结构损伤具有显著效应，降低了后期的维护和修复投入。

（二）选择合适的结构形式

为了确保桥梁工程在地震作用下保持其结构的完整性和维持其功能使用，抗震设计显得尤为关键。当涉及选择适当的结构形式，必须把多种因素融入考量，包括桥梁的功能需求、所处的地质环境以及设定的抗震防御标准。简支梁桥以其结构朴素、受力明了为特点，通常适合施设在地震动较小的中小跨度区域。在对抗地震动力的战斗中，连续梁桥为展示了其优良的整体性和连续性，有效地分散和传播了地震所带来的破坏力，使其成为大跨度或地震影响较大地区的理想选择。拱桥利用其独特的受力机制和优美的外观吸引了人们的目光，频繁出现在风景区和历史悠久的城镇中，既得其利，必有所失，拱桥的抗震性能经常受到拱圈与墩台相互作用的质疑，设计时必须一丝不苟。^[1]在选取桥梁结构形式的过程中，材料的抗震特质也是需要深思的问题。举例来说，钢筋混凝土结构以其极佳的延性和韧性，能够在一定程度上承受地震引起的非线性变形，钢筋混凝土显然应被纳入桥梁的材料构想之中。而钢结构因承载了高强度和优质的弹性恢复能力，被认为适用于那些需要大变形能力且自重较轻的桥梁结构。

（三）确定合理的抗震设防标准

为保证其在地震极端环境中的稳定性及持续服务功能，抗震设计已成为桥梁构造中不容忽视的重要一环。建立抗震设防准则是确保桥梁抗震性能的基础，它直接关联到工程的结构安全、经济合理性以及实施的可行性。抗震设防准则的构建需要全面考量桥梁的使用等级，这常与其在交通网络中的关键作用、车流量承载及紧急情况下的替代性相关联。对关键节点桥梁，比如主要干线或生命线工程，其抗震设防准则应更加严苛，为灾后救援及重建赋能，保持交通流通性。针对不同类型桥梁，如高速公路桥、铁道桥梁或是市区轨道交通桥，其抗震性能的要求也互有差别。铁路桥梁因其列车运行的连贯性及高速特点，对桥梁稳固性和平缓性有更高的要求，在抗震设计中特别需要关注轨道的平整度和构筑物的动态反应性。地质环境对于抗震设计的影响不容忽视。位于频繁地震带或具有软土层的桥梁面临更为严峻的地震威胁，这就要求设计过程中采纳更严格的抗震策略。地质不均质性可能诱发地震波在地层内的折射和反射，进而影响桥梁结构的地震反应特性。^[2]细致的地质勘探与分析，对于把握精确的地震作用参数，确保抗震

设计的合理性，尤其重要。抗震设防烈度，是指在预计的地震影响下桥梁应保有的抗震承载力。确定抗震设防烈度往往依据地域的地震危险性评估和历史地震数据。在设定抗震设防烈度时，既要确保桥梁的结构安全，也需兼顾经济性和技术可实施性。过高的设防烈度可能会引致过于审慎的设计，造成不必要的工程成本上升；而设防烈度过低则有可能在地震发生时导致桥梁损毁，从而带来巨大的社会经济成本。

（四）进行详细的抗震计算分析

在桥梁抗震设计的层面上，抗震计算分析的详细性是赋予桥梁具备抵御地震的核心环节。在此过程中，需要全面而深入的计算分析桥梁在地震影响下的多个环节，包含了内力、位移以及加速度等参数的核算，并将桥梁的动力特性以及非线性效果等因素纳入考虑范围。^[3]进行抗震计算的时候，适宜的模型的构建显得尤为重要，其中融入了桥梁的几何形态、材质特性以及负荷特性等因素，同时配合地震的特性来进行计算。借助数值模拟以及计算方法，能够了解到桥梁在地震作用下的反应特性，如结构的内力状态、位移反应和加速度分布等。在抗震计算分析的过程中，桥梁的动力特性也是需要重点考虑的。因为，桥梁系统自身的固定振动频率和振型会在地震影响下被激发，出现桥梁系统的共振现象，从而增加了结构的动态反应。对桥梁的动力特性进行分析，可以确定更加精准的抗震措施，以降低结构的共振反应。因为地震负荷的非线性特性以及材料的非线性行为，桥梁结构在地震作用下可能会出现非线性效应，此处的非线性效应指的可是屈曲、开裂甚至是滑移等现象。理应运用适宜的非线性分析方法，考虑材料的本构关系以及结构的非线性特点，来获取更加精准的抗震设计结果。

（五）其他减隔震技术的应用

考虑桥梁结构的动态特征对于抗震设计至关重要，它直接影响到设计的安全性与可靠性。动态分析应模拟地震冲击下桥梁的反应，并预测可能出现的破坏模式，为抗震措施的选取提供科学支撑。非线性效应考虑对于精确评估桥梁结构在剧烈震动作用下的表现尤为关键。鉴于地震载荷的复杂性，桥梁结构的响应往往表现为非线性特性，这就要求在设计阶段采纳先进的非线性分析技术，保障所选抗震方案能够有效阻挡地震诱发的潜在破坏。采用高性能材料及创新的结构体系，例如隔震支座与减震器，能够显著提高桥梁的抗震性能。隔震技术通过提升结构系统的灵活性，有效防止地震能量传递至上部结构，减轻结构反应，从而保护桥梁免受地震破坏。而减震技术通过耗能机制，提升结构吸收及分散地

震能量的能力，增强桥梁在极端地震事件下的稳定性。此外，运用先进监控系统，如基于GIS技术的结构健康监测系统，能够实时跟踪桥梁的动态响应，为及时的评估与维护桥梁安全提供数据支持。通过这一系列综合性的抗震策略，能够有效增强桥梁结构的抗震能力，确保其在遭遇地震挑战时的稳定性与安全性。

二、桥梁减隔震技术的应用

（一）采用减隔震支座

隔震减震支座作为桥梁防震技术的常用且高效工具，其核心在于通过调整桥梁的固有振动频率加上增加系统的阻尼率，遂有效地削减桥梁在地震作用力下的动态反应。隔震减震支座主要构成为弹性元件及减震机构。弹性元件负责承重及减隔震效果，其材质多样，如高阻尼橡胶支座、钢板弹簧甚至液态弹簧等，具备较显著的纵向硬度及横向柔性，能够在地震发生期间发挥隔震作用。除此之外，隔震减震支座还搭载有如摩擦滑移机制、黏滞性阻尼器或能量消散器等减震装置，辅助吸纳及耗散地震能量，进一步降低桥梁的振动幅度。隔震减震支座通过降低桥梁固有频率与地震波输入频率间的同振可能性，显著削弱桥梁的振动反应。其优秀的能量耗散特性有助于吸收与分散地震能量，减少结构受力。具备复位功能的隔震减震支座能在地震停止后，迅速归位至初始状态，维持结构稳定，保障桥梁工程的持久运行与安全。

（二）采用耗能减震装置

通过变化桥梁的动力特性，减隔震支座显著地削弱了地震能量对桥梁构造的影响。具竣细而言，减隔震支座的设计目标在于延伸结构的自振周期，将其搬迁至远离地震主要周期的地方，以此来减少地震力的作用；提升结构的阻尼比，为消耗更多的地震能量开辟道路，以减轻桥梁构件的压力反应。在工程实践的情景下，减隔震支座的类型五花八门，包括了铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座以及滑动型支座等等。其中，铅芯橡胶支座利用了铅的塑性变形来提供阻尼，而高阻尼橡胶支座则是通过材料的内部摩擦来拓增能量消耗。^[4]滑动型支座允许在一定条件下发生相对滑移，以此来保护桥梁结构免受地震作用的摧毁。虽然这些支座的设计理念和工作机制各有差异，但共同的目标是提升桥梁的抗震能力，保证其在极端环境下的稳定性和安全性。减隔震支座的设计和选型需以详细的地震危险性分析和桥梁动力特性评估作为基准。工程师需要在桥梁的重要性、预期的地震作用强度、桥梁的动态反应特性以及支座的性能参数等因素中做出综合性的考虑。

（三）采用液体粘滞阻尼器

液态粘滞阻尼器于桥梁减隔震技术的应用中承担关键角色，此装置凭借流体的黏性特性，透过液体流动产生的阻力耗散地震能量，以此降低桥梁结构在地震动力作用下的响应。该阻尼器典型由密封缸体、活塞及粘滞液体构成，其作用机制遵从牛顿流体的粘滞律——流体受剪应力与剪切速度成正比。地震冲击之际，阻尼器内活塞相对缸体产生位移，迫使粘滞液体经过活塞孔洞流动，液体黏性导致的阻力能将动能转化为热能，从而抑制桥梁的振动幅度及加速度反应。此一能量转换过程对桥梁结构的保护功效显著。液态粘滞阻尼器的可调整性，即通过改变内部结构和液体黏度来适配不同的桥梁结构及地震动力需求，赋予其灵活多变的调节优势，为工程师提供更广阔的设计选择空间。在实践运用中，阻尼器的设计与安装基于结构精密分析及参数优化而制定。借助先进的计算模型，例如非线性动力分析和流体动力学模拟，工程师可确定阻尼器的最适工作参数和布局方案。设计过程还需允许极端环境下的性能稳定性考量，包括温度波动、长效载荷及磨损等因素。液态粘滞阻尼器以其卓越的能量耗散性和对高频震动的有效控制知名。该装置不仅适用于新桥梁的设计防震构思，亦可用作现有桥梁的加固改善之策。通过在桥梁结构要害部位如桥墩、支座或梁柱连接点适量布置液态粘滞阻尼器，可以实质性提高整体桥梁系统的抗震性能。

（四）采用摩擦耗能器

摩擦耗能器工作的基本原则是在桥梁构造的联接部分设定摩擦面，借由摩擦力的产生来吸收和消耗地震带来的能量。摩擦耗能器通常构成由摩擦片、压力板、锚固装置和液压装置等组成。当地震发生，桥梁结构会受到震动，此时摩擦面就通过产生摩擦力吸收和分散地震能量，进而降低结构的动态反应。在抗震设计中，摩擦耗能器常与支座系统并用，通过调整摩擦力的大小，有效地减少桥梁的位移和加速度反应。摩擦耗能器具有很高的耗能能力，可以承受较大的地震作用，进而减小桥梁结构的反应。^[5]摩擦耗能器具有优秀的可靠性和可控性，通过调节摩擦面之间的压力和摩擦系数，能实现对结构反应的精准控制。摩擦耗能器亦具有一定的复位性，地震过后，摩擦力能迅速恢复，持续发挥其抗震功能。

三、桥梁抗震设计实例分析

美国旧金山海湾大桥，作为世界重量级的单塔自锚式悬索桥，运用了如液态粘滞阻尼器等领先的减隔震策略以提升其耐震性。这些阻尼器将液体剪切力机制和黏滞性阻尼效应相结合，以控制桥体响应，地震来临之际，能显著吸收及分散地震能量，以此减弱振动幅度，增进结构的稳定与安全性。

日本明石海峡大桥，傲视群桥的世界级悬索桥，采纳了调谐质量阻尼器等先进减隔震技术，以优化抗震特性。这类阻尼器通过质量、弹性元件及阻尼器组成的系统调整，实现与地震波频率的协调一致，通过能量吸收和耗散机制，有效降低结构的动态反应，确保了桥梁即便在极端地震中仍能保持稳定。

中国港珠澳大桥，创纪录的海上长桥，亦采用液态粘滞阻尼器等减隔震技术以强化其耐震能力。通过调校阻尼器的设计参数——例如液体黏性及容量，实现对桥梁动态响应的有效控制，地震发生时，以其耗能特性减轻震动，保障结构安全。

意大利墨西拿海峡大桥，世界级的斜拉桥，实施的是耗能减震设备等减隔震应用，以增强抗震功能。这些设备由弹性元件和阻尼组件以及能量耗散装置构成，在地震冲击下通过吸收和耗散能量，显著减小桥梁的响应，提升整体耐震能力。

不同桥梁工程对抗震技术有着不同需求和应用策略。每个案例的分析都突显了如何根据桥梁的具体特点和地震威胁，科学选取和调整抗震技术，以实现桥梁结构的安全稳健。

结论

桥梁，作为交通干线的关键支撑，在地震等自然灾害面前，极易遭受损害，造成不可估量的生命与财产损失。鉴此，对桥梁进行细致的抗震设计，以及应用成熟的减隔震技术，显得尤为重要。减隔震技术作为加强桥梁耐震性能的有效方法，涵盖了减震支座、耗能减震器、液态粘滞阻尼器等众多方案。在具体的工程实践中，应依桥梁所处环境、结构特性等因素，慎选减隔震技术，并进行精确的设计与计算。同时，对减隔震技术的深度研究与开发亦不容疏忽，其性能与可信度的持续提升将为桥梁抗震安全构筑更坚实的保障。

参考文献

- [1] 顾海浩. 桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (29): 146-148.
- [2] 胡迎新. 桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用分析[J]. 运输经理世界, 2022, (26): 92-94.
- [3] 魏周博. 桥梁抗震设计要点和减隔震技术的应用[J]. 砖瓦, 2021, (08): 111-112.
- [4] 王兆旦, 王华, 逢鹏程. 桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用[J]. 工程建设与设计, 2020, (21): 131-132+135.
- [5] 郑文. 桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用[J]. 低碳世界, 2019, 9(06): 197-198.