

市政桥梁抗震加固技术创新及在高烈度区的实践应用

宋光荣

江西翔瑞建设工程有限公司, 江西 宜春 346000

摘要: 本文聚焦市政桥梁抗震加固技术创新及其在高烈度区的实践应用。首先阐述市政桥梁抗震加固的重要性,接着分析当前高烈度区市政桥梁抗震面临的突出问题,如抗震设计标准滞后、既有桥梁结构缺陷及监测预警体系不完善等。随后详细介绍新型抗震加固技术,包括体外预应力技术、碳纤维增强复合材料加固技术、隔震与减震技术。最后通过具体工程案例,探讨这些技术在高烈度区市政桥梁抗震加固中的实践应用效果。研究表明,创新抗震加固技术可有效提升高烈度区市政桥梁抗震性能,保障桥梁安全运行,为同类工程提供参考。

关键词: 市政桥梁; 抗震加固技术; 高烈度区; 实践应用

随着我国城市化进程的加速,市政桥梁作为城市交通网络的关键节点,其安全性和稳定性至关重要。然而,我国部分地区处于高烈度地震带,地震活动频繁,对市政桥梁的抗震性能构成了严重威胁。近年来,地震灾害频发,许多市政桥梁在地震中遭受不同程度的破坏,不仅影响了城市交通的正常运行,还造成了巨大的经济损失和人员伤亡。因此,加强市政桥梁抗震加固技术创新,并将其应用于高烈度区,已成为当前桥梁工程领域亟待解决的重要课题。深入研究市政桥梁抗震加固技术创新及在高烈度区的实践应用,对于提高城市桥梁的抗震能力、保障城市生命线工程的安全、促进城市的可持续发展具有重要的现实意义。

一、高烈度区市政桥梁抗震面临的挑战

(一) 抗震设计标准滞后

当前部分高烈度区市政桥梁所依据的抗震设计标准未能及时跟上时代步伐。随着地震工程学的不断深入,人们对地震动特性、结构地震响应规律有了更深刻的认识,同时新型建筑材料和结构体系不断涌现。然而,一些

旧有的抗震设计标准在地震作用计算方法、结构抗震性能目标设定等方面存在局限性。例如,对于一些复杂地质条件下的桥梁工程,旧标准难以准确评估地震对桥梁的影响,导致桥梁在地震发生时可能无法达到预期的抗震性能要求,增加了桥梁在地震中受损甚至倒塌的风险。

此外,由于设计标准更新滞后,新建桥梁在抗震设计上也可能受到制约。设计师在进行桥梁抗震设计时,若依然遵循过时的标准,可能会忽视最新的科研成果和技术进展,从而影响到桥梁整体的抗震性能。因此,迫切需要对现有的抗震设计标准进行修订和完善,以确保市政桥梁在高烈度地震带具备足够的抗震能力,减少地震灾害对桥梁的破坏,保障城市交通的安全与顺畅。

(二) 既有桥梁结构缺陷

高烈度区许多既有市政桥梁由于建设年代久远,在设计、施工和材料使用等方面存在诸多缺陷。在设计上,早期桥梁设计对地震作用的考虑不够充分,结构体系不够合理,抗震构造措施不完善。施工方面,受当时施工技术和管理水平限制,施工质量难以保证,如混凝土强度不足、钢筋连接不牢固等问题较为常见。

材料上,部分老旧桥梁使用的材料性能已无法满足现代抗震要求,如钢材的韧性下降、混凝土的耐久性变差等^[1]。这些结构缺陷使得既有市政桥梁在地震作用下更容易发生破坏,严重威胁桥梁的使用安全。

(三) 监测预警体系不完善

高烈度区市政桥梁缺乏完善的监测预警体系是抗震工作面临的又一挑战。目前,大部分桥梁仅依靠定期的人工巡检来发现结构损伤和安全隐患,这种方式不仅效率低下,而且难以及时发现潜在的严重问题。同时,缺乏实时、准确的桥梁健康监测系统,无法对桥梁在地震作用下的响应进行实时监测和分析。此外,地震预警系统与桥梁监测系统的联动不足,不能在地震发生前及时为桥梁管理部门提供预警信息,以便采取相应的应急措施,从而增加了桥梁在地震中的受损概率^[2]。

二、市政桥梁抗震加固技术创新

(一) 体外预应力技术

体外预应力技术作为一种创新的抗震加固手段,为市政桥梁抗震性能提升提供了新思路。该技术通过在桥梁结构外部设置预应力筋,并施加预应力,使桥梁结构在地震发生前处于受压状态。在地震作用下,体外预应力筋能够为桥梁结构提供额外的抗力,有效抵抗地震产生的水平力和竖向力。与传统的体内预应力技术相比,体外预应力技术施工更加便捷,无需对桥梁内部结构进行大规模破坏,减少了对桥梁正常使用的影响。同时,体外预应力筋易于检查和更换,便于后期的维护和管理,可显著提高桥梁的抗震延性和承载能力^[3]。

(二) 碳纤维增强复合材料加固技术

碳纤维增强复合材料(CFRP)加固技术凭借其独特的优势在市政桥梁抗震加固中得到广泛应用。CFRP具有高强度、高模量、重量轻、耐腐蚀等优良性能。将其粘贴在桥梁结构表面,能够显著提高结构的抗弯、抗剪承载能

力,增强结构的整体性和刚度。在地震作用下,CFRP可以与桥梁结构共同受力,分担地震荷载,有效限制结构的裂缝开展和变形,防止结构发生脆性破坏。此外,CFRP加固施工工艺简单,施工周期短,对桥梁外观影响小,能够在不影响桥梁正常运营的情况下完成加固工程,为高烈度区市政桥梁抗震加固提供了一种高效、经济的解决方案。

(三) 隔震与减震技术

隔震与减震技术是市政桥梁抗震加固领域的重大创新。隔震技术通过在桥梁基础与上部结构之间设置隔震支座,如橡胶隔震支座、滑动隔震支座等,将地震能量与上部结构隔离,延长结构的自振周期,从而减少地震作用对上部结构的影响。减震技术则通过在桥梁结构中设置减震装置,如阻尼器等,消耗地震输入的能量,降低结构的振动响应。隔震与减震技术相结合,能够有效地减轻桥梁在地震中的动力响应,保护桥梁结构免受严重破坏,提高桥梁的抗震安全性和可靠性,为高烈度区市政桥梁抗震加固开辟了新的途径^[4]。

(四) 形状记忆合金智能减震技术

形状记忆合金(SMA)智能减震技术是市政桥梁抗震加固领域极具创新性的前沿技术。SMA具有独特的形状记忆效应和超弹性,在地震作用下,当桥梁结构发生变形时,SMA材料能够通过自身相变吸收和耗散大量地震能量。将其应用于桥梁减震装置中,如设置在梁体与桥墩连接处或桥墩底部,当桥梁受到地震力作用产生相对位移时,SMA装置可迅速响应,产生恢复力,限制结构变形。与传统的减震装置相比,SMA智能减震装置具有自适应能力强、无需外部能源输入、耐久性好等优点。它能够根据地震强度自动调整其减震性能,有效减轻地震对桥梁的破坏,为高烈度区市政桥梁抗震加固提供了一种智能、高效的解决方案^[5]。

三、市政桥梁抗震加固技术在高烈度区的实践应用

（一）某高烈度区大型城市桥梁体外预应力加固实践

某高烈度区一座大型城市桥梁，因建设年代久远，其抗震设计理念和施工标准已无法满足现行规范要求。这座桥梁作为城市交通的关键枢纽，每日承载着巨大的交通流量，一旦在地震中受损，将对城市的正常运转造成严重影响。为提升其抗震能力，技术人员决定采用体外预应力加固技术。在加固前，专业团队运用先进的无损检测技术，对桥梁的混凝土强度、钢筋锈蚀程度以及结构裂缝分布等进行了全面细致的检测，并结合有限元分析软件对桥梁的抗震性能进行了精准评估。基于评估结果，确定了合理的预应力筋布置方案，该方案充分考虑了桥梁的受力特点和地震作用方向。通过精确的力学计算，确定了预应力筋的张拉力和张拉顺序，确保在加固过程中不会对桥梁结构造成二次损伤。在施工过程中，施工人员严格遵循施工规范，对预应力筋的锚固端进行了特殊处理，采用高强度的锚具和可靠的锚固方式，保证锚固牢固。同时，利用智能张拉设备精确控制张拉力，确保每根预应力筋都能达到设计要求。加固完成后，对该桥梁进行了振动台试验和实际地震响应监测。

（二）某历史风貌桥梁碳纤维增强复合材料加固实践

某高烈度区一座具有深厚历史文化价值的桥梁，其独特的建筑风格和悠久的历史底蕴是城市文化的重要象征。然而，由于建设年代较早，该桥梁的抗震性能已无法满足现行规范要求，面临着地震破坏的严重威胁。为保护其历史价值，同时提高抗震性能，采用了碳纤维增强复合材料（CFRP）加固技术。在加固前，文物保护专家与桥梁工程师共同对该桥梁的历史文化价值进行了全面调研，详细记录了桥

梁的建筑特色、历史变迁等信息，并制定了严格的文物保护方案。针对桥梁的薄弱部位，如梁体、拱肋等，技术人员根据桥梁的受力情况和结构特点，制定了详细的CFRP粘贴方案。在粘贴过程中，施工人员严格遵循施工工艺要求，对桥梁结构表面进行了精细的打磨和清洁处理，确保CFRP与桥梁结构表面紧密贴合，无气泡和空鼓现象。同时，采用了特殊的粘结剂，提高了CFRP与桥梁结构的粘结强度。加固完成后，对该桥梁进行了荷载试验和抗震性能评估。荷载试验模拟了桥梁在实际使用过程中的各种荷载情况，评估结果显示，CFRP加固有效提高了桥梁结构的抗弯、抗剪承载能力，增强了结构的整体性和刚度。

（三）某跨江大桥隔震与减震技术综合应用实践

某高烈度区一座跨江大桥，地处复杂地质条件区域，桥址处地质构造活跃，地震风险较高。该大桥作为连接两岸的重要交通设施，一旦在地震中受损，将对区域经济和社会发展造成巨大影响。为确保大桥在地震中的安全，采用了隔震与减震技术综合应用方案。在大桥基础与上部结构之间设置了橡胶隔震支座，这种支座具有良好的弹性和阻尼特性，能够在地震作用下有效隔离地震能量，减少地震对上部结构的影响。同时，在上部结构中安装了粘滞流体阻尼器，该阻尼器通过粘滞流体的阻尼作用消耗地震输入的能量，降低结构的振动响应。在设计和施工过程中，充分考虑了桥梁的结构特点和地震作用特性，对隔震支座和阻尼器的参数进行了优化设计。通过大量的数值模拟和试验研究，确定了隔震支座的刚度、阻尼比以及阻尼器的阻尼系数等关键参数。工程竣工后，对该大桥进行了多次地震模拟振动台试验和实际地震监测。振动台试验模拟了不同地震波的输入，监测数据表明，隔震与减震技术的综合应用显著降低了地震对大桥的影响。隔震支座有效地隔离了地震能量，上部结构的加速度

响应大幅减小；阻尼器及时消耗了地震输入的能量，结构的位移响应得到了有效控制。

（四）某山区高速公路桥梁抗震加固多技术协同实践

某高烈度区一座山区高速公路桥梁，地形复杂，地势起伏大，地质条件差，存在断层、软弱夹层等不良地质现象。原桥梁抗震性能薄弱，在地震作用下极易发生破坏，严重影响高速公路的通行安全。为提高其抗震能力，采用了体外预应力、碳纤维增强复合材料和隔震技术多技术协同的加固方案。在加固过程中，技术人员根据桥梁不同部位的特点和受力情况，合理选择加固技术。对主梁采用体外预应力技术提高承载能力，通过在主梁外部设置预应力筋并施加预应力，使主梁在地震作用下能够承受更大的荷载，减少变形。对桥墩采用碳纤维增强复合材料加固增强抗剪性能，在桥墩表面粘贴 CFRP，提高桥墩的抗剪强度和延性，防止桥墩在地震中发生剪切破坏。在桥台处设置隔震支座减少地震作用传递，隔震支座能够有效地隔离地震能量，降低地震对桥台和上部结构的影响。通过多技术的协同作用，充分发挥了各种加固技术的优势。体外预应力技术提高了结构的整体承载能力，碳纤维增强复合材料增强了结构的局部抗剪性能，隔震技术减少了

地震能量的输入。加固完成后，对该桥梁进行了全面的抗震性能检测和评估。采用动力特性测试、静载试验和地震模拟振动台试验等多种方法，对加固后的桥梁进行了综合评估。结果显示，多技术协同加固显著提升了桥梁的整体抗震性能，桥梁在地震作用下的稳定性得到了极大改善。

结束语

市政桥梁抗震加固技术创新及在高烈度区的实践应用对于保障城市交通安全、减少地震灾害损失具有重要意义。面对高烈度区市政桥梁抗震面临的诸多挑战，体外预应力技术、碳纤维增强复合材料加固技术、隔震与减震技术等创新技术为桥梁抗震加固提供了有效的解决方案。通过多个实际工程案例的实践应用，这些技术展现出了显著的加固效果，有效提升了市政桥梁的抗震性能。未来，随着科技的不断进步，应进一步加强对市政桥梁抗震加固技术的研究和创新，不断完善相关技术标准和规范，推动抗震加固技术在更广泛领域的应用，为城市的安全稳定发展提供更加坚实的保障。同时，要加强对桥梁抗震加固工程的监测和维护，确保加固后的桥梁长期处于良好的抗震性能状态，为城市的经济社会发展创造安全可靠的环境。

参考文献

- [1] 蒲强, 杨猛, 羊洋, 韦永登, 顾呈卓. 高烈度地区高层建筑铝模深化设计关键技术研究[J]. 住宅与房地产, 2021, (22): 135-136.
- [2] 吴莉. 高烈度地区大底盘多塔层间隔震高层建筑结构方案选型与设计[J]. 工程技术研究, 2021, 6(14): 213-214.
- [3] 李晓玮, 施卫星, 王建峰, 等. 某框架结构减、隔震方案对比[J]. 结构工程师, 2018, 34(4): 1-7.
- [4] 刘蒙, 王伟明, 彭扬. 高烈度地区层间隔震在地铁上盖开发的应用[C]//中冶建筑研究总院有限公司. 2021 年工业建筑学术交流会论文集(上册). 中铁四院集团西南勘察设计有限公司; , 2021: 115-118.
- [5] 户东阳, 李聪林, 陈克坚, 等. 减震樵在高烈度地震区高速铁路连续梁桥中的应用研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(09): 55-63.