

# 市政道桥施工中的桥梁抗震设计方法研究

文 / 陈跃石 安徽省新同济工程咨询集团有限公司

**摘要:** 为了提升市政道桥施工中桥梁的抗震性能,对桥梁抗震设计方法展开研究。在传统设计方面,采用静力分析法、动力分析法,并采取抗震加固措施。现代设计则运用非线性动力分析法、震后评估与恢复设计,采用抗震隔震技术、智能监测与自适应控制技术等。同时提出多层次抗震设计方案、创新应用桥梁材料、采用模块化设计与施工、加强施工质量控制等优化策略。分析认为,市政道桥施工的桥梁抗震设计需综合运用传统与现代设计方法,结合优化策略,以提高桥梁在地震作用下的安全性、耐久性和可恢复性。

**关键词:** 市政道桥; 抗震设计; 传统设计; 现代设计; 优化策略

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.067

## 引言

在城市化进程不断加速的当下,市政道桥作为城市基础设施的关键组成部分,其重要性不言而喻。然而,全球地震活动频繁,诸多城市面临地震灾害威胁。桥梁作为交通枢纽的核心,一旦在地震中受损,不仅会阻断交通,还可能引发次生灾害,严重影响城市的正常运转及民众的生命财产安全。传统桥梁抗震设计方法在面对复杂地震状况时存在一定局限性,难以满足现代市政道桥对安全性和耐久性的高要求。因此,深入研究市政道桥施工中的桥梁抗震设计方法,融合先进技术与理念,提出优化策略,对提升桥梁抗震能力、保障城市交通系统的稳定运行意义重大。

## 一、市政道桥施工中传统桥梁抗震设计方法

### (一) 静力分析法

静力分析法是市政道桥施工中传统桥梁抗震设计的基础方法之一。其原理是将地震作用等效为静态的水平力或竖向力施加于桥梁结构上,通过分析结构在这些等效静力作用下的内力与变形情况,来评估桥梁的抗震性能。在实际应用中,该方法常适用于一些地震作用相对较小、结构形式较为简单的桥梁。例如,跨径较短、结构体系不复杂的城市小型桥梁,可通过这种方法快速估算结构所受地震力,初步确定结构构件的尺寸和配筋。其优点在于计算过程相对简便,对计算资源要求不高,设计人员能够较为直观地理解和操作。然而,静力分析法也存在明显的局限性。它忽略了地震作用的动力特性,无法准确反映地震过程中结构的加速度、速度等时程变化。在面对强震时,实际地震力往往会远超静力分析所估算的值,导致按照静力分析设计的桥梁可能在地震中遭受严重破坏。因此,在现代桥梁抗震设计中,静力分析法通常仅作为初步设计或简单结构分析的辅助手段。

### (二) 动力分析法

动力分析法是考虑了地震动的动态特性,对桥梁结构在地震过程中的响应进行精确分析的方法。该方法将

地震作用视为随时间变化的动力荷载,通过求解结构动力学方程,得出桥梁在地震全过程中的位移、速度、加速度以及内力的时程变化。常见的动力分析方法有反应谱法和时程分析法。反应谱法是根据大量实际地震记录,统计分析得到不同周期结构在地震中的最大反应,以此为基础来设计桥梁。它适用于大多数常规桥梁的抗震设计,能综合考虑结构的自振特性和地震动特性。时程分析法更为精细,它直接输入实际地震波或人工模拟地震波,对桥梁结构进行逐时步的积分求解,能详细反映结构在地震作用下的非线性行为。在设计大跨径桥梁、复杂结构桥梁或处于高地震烈度区的桥梁时,动力分析法能更准确地评估桥梁的抗震性能,为设计提供更可靠的依据。不过,动力分析法计算过程复杂,需要大量的计算资源和时间,且对地震波的选取和结构模型的建立要求较高。

### (三) 抗震加固措施

在市政桥梁工程中,针对不同类型、不同工况的既有桥梁,采取的加固措施也不尽相同。对于桥墩,可以采用加大截面法,即在原桥墩上浇筑新混凝土,增加截面尺寸,增加刚度,从而改善结构的承载力与抗震性能。此外,还可通过粘贴纤维增强复合材料,发挥其高强性能,提高桥墩抗剪、抗弯性能。对于上部结构,可以增加横向连接,如设置横撑、剪力键等,以提高结构整体性,避免结构在地震作用下发生侧向位移和落梁等事故<sup>[1]</sup>。地基的加固处理也很重要,可以通过增加地基深度、扩大地基面积、增加桩基基础等措施来提高地基的稳定性和抗震能力。另外,在桥梁结构中增设阻尼器等消能减震措施(见图一),也是一种有效的抗震加固措施。当地震发生时,阻尼器可以有效地吸收、耗散地震能,降低结构的震动反应,保护桥梁结构免受破坏。因此,必须根据桥梁的具体病害、结构型式和所处地区的地震特征,选择相应的抗震加固措施,才能取得最好的加固效果。



图一：桥梁阻尼器图

## 二、市政道桥施工中现代桥梁抗震设计方法

### (一) 非线性动力分析法

非线性动力分析法是现代桥梁抗震设计中的重要手段。在地震作用下，桥梁结构会进入非线性工作状态，传统的线性分析方法难以精准反映结构真实响应，而非线性动力分析法可有效弥补这一不足。该方法考虑了结构材料非线性以及几何非线性因素，通过建立精确的非线性结构模型，求解结构在地震时变动力作用下的运动方程。在实际应用中，对于大跨度桥梁、采用新型材料或复杂结构体系的桥梁，非线性动力分析法尤为关键。例如，斜拉桥、悬索桥这类具有柔性结构的大跨桥梁，在强震作用下，其缆索、主梁等构件会产生较大变形，几何非线性效应显著。非线性动力分析法能够详细模拟结构在地震全过程中的刚度退化、材料屈服、裂缝开展等非线性行为，从而准确评估桥梁的抗震能力。借助该方法，设计人员可以深入了解结构在极端地震作用下的薄弱部位，为优化设计提供有力依据，提升桥梁在地震中的可靠性与安全性。不过，此方法对计算能力要求极高，需要耗费大量计算资源和时间，同时对结构模型参数的准确性要求也极为严格。

### (二) 震后评估与恢复设计

震后评估与恢复设计是现代桥梁抗震设计中不可或缺的环节。地震发生后，及时准确地评估桥梁的受损状况，对于保障交通尽快恢复、避免次生灾害以及后续桥梁修复与加固工作至关重要。震后评估首先通过现场勘查，对桥梁外观进行细致检查，包括桥墩、桥台、主梁等关键部位是否出现裂缝、变形、破损等明显损伤。同时，借助先进的检测技术，如无损检测手段，对结构内部缺陷进行探测，结合地震监测数据，分析桥梁在地震中的动力响应，综合判断桥梁结构的整体性能变化<sup>[2]</sup>。基于评估结果，开展恢复设计工作。对于受损较轻的桥梁，制定针对性的修复方案，如对裂缝进行修补、对松动构件进行加固等；对于受损严重的桥梁，则需考虑结构的整体加固或重建。恢复设计过程中，不仅要恢复桥梁原

有的交通功能，还需结合震后经验总结与抗震技术发展，对桥梁的抗震性能进行优化提升，确保桥梁在未来地震中具备更强的抵抗能力，提高交通基础设施的韧性。

### (三) 抗震隔震技术

抗震隔震技术是现代桥梁抗震设计的创新应用，通过在桥梁结构与基础之间设置隔震装置，有效减少地震能量向上部结构的传递。常见的隔震装置有橡胶隔震支座、摩擦摆隔震支座等。橡胶隔震支座一般由多层橡胶与钢板交替叠合而成，利用橡胶的柔性提供较大水平变形能力，延长结构自振周期，降低地震作用效应，同时依靠钢板提供竖向承载能力。摩擦摆隔震支座则基于摩擦耗能和摆的运动原理，在地震时通过滑动摩擦消耗能量，改变结构振动特性。在市政道桥施工中，抗震隔震技术适用于各类桥梁，尤其在高地震烈度地区优势明显。例如，城市中的重要交通枢纽桥梁，采用隔震技术后，能显著降低地震对桥梁结构的破坏程度，保障地震期间交通的基本畅通。这种技术能够大幅减少桥梁上部结构的地震响应，降低结构构件的抗震设计要求，从而在一定程度上节省建设成本，同时提高桥梁在地震中的安全性与可恢复性，是一种兼具经济效益与社会效益的抗震设计方法。

### (四) 智能监测与自适应控制技术

智能监测与自适应控制技术为现代桥梁抗震设计带来了新的发展方向。智能监测系统通过在桥梁关键部位布置各类传感器，如应变传感器、位移传感器、加速度传感器等，实时采集桥梁结构的应力、变形、振动等数据。利用先进的数据传输与处理技术，将采集到的数据快速传输至监控中心进行分析处理，从而实现了对桥梁结构状态的实时监测。一旦发生地震，系统能够迅速捕捉到桥梁的地震响应信息。自适应控制技术则基于智能监测数据，当监测到地震作用时，自动触发控制装置，如主动拉索系统、液压阻尼器等<sup>[3]</sup>。这些控制装置根据预先设定的控制策略，实时调整桥梁结构的刚度、阻尼等动力特性，主动抵消或减小地震作用力，使桥梁结构保持在安全的振动范围内。例如，在大跨度桥梁上应用智能监测与自适应控制技术，能够在地震发生时，根据结构不同部位的响应情况，精确调整控制装置参数，有效保护桥梁结构。该技术实现了桥梁抗震从被动防御到主动控制的转变，显著提升了桥梁在地震中的安全性与可靠性，为市政道桥的长期稳定运行提供了有力保障。

## 三、市政道桥施工抗震设计的优化策略

### (一) 多层次抗震设计方案

多层次抗震设计方案是提升市政道桥抗震性能的关键策略。在方案拟定之初，深入调研桥梁所处区域的地质状况、地震活动规律及周边环境因素，据此审慎规划结构体系。对于地震频发且地质条件复杂的地段，优先选用连续刚构桥或斜拉桥体系，利用其合理的力学结构有

效分散地震作用力,从整体布局上增强桥梁的抗震基础。引入多道防线设计理念,为桥梁抗震构筑坚实屏障。在结构中明确主次受力体系,主结构承担主要地震荷载,同时巧妙设置耗能支撑、阻尼器等作为次要防线。地震发生时,次要防线率先响应,通过自身的变形与耗能削减地震能量,减轻主结构的受力负担;当主结构进入非线性工作阶段,次防线持续协同工作,保障结构在强震下的整体稳定性。开展精细化的性能化设计,针对不同强度地震设定差异化性能目标。小震时,确保桥梁结构仅产生弹性变形,不影响正常使用;中震下,结构允许出现一定程度的可修复损伤,仍能维持基本交通功能;大震来临时,保证桥梁不发生倒塌,为人员疏散和救援争取宝贵时间。基于这些目标,运用先进计算软件精确模拟结构在地震中的力学行为,优化构件尺寸、配筋及连接方式,使桥梁在全寿命周期内始终具备可靠的抗震能力,全方位提升市政道桥在复杂地震环境中的安全性与适应性。

## (二) 桥梁材料创新应用

在市政道桥施工抗震设计中,创新应用桥梁材料对提升抗震性能意义重大。新型高性能钢材的研发与使用是一个重要方向,如低屈服点钢材,具有良好的延性和耗能能力。在地震作用下,这种钢材能够率先发生塑性变形,吸收大量地震能量,保护桥梁主体结构。将其应用于桥墩的耗能装置或桥梁节点部位,可有效提高结构的整体抗震性能。同时,纤维增强复合材料也展现出巨大优势。碳纤维、玻璃纤维等复合材料具有高强度、轻质、耐腐蚀等特点。在桥梁加固中,采用粘贴纤维复合材料的方式,可显著增强构件的抗剪和抗弯能力,且由于其质量轻,不会大幅增加桥梁自重,降低地震作用效应<sup>[4]</sup>。此外,智能材料的应用崭露头角,如形状记忆合金,在温度或应力变化时能恢复到初始形状,可用于桥梁连接部位,在地震后自动恢复结构初始状态,减少震后修复工作量。通过创新应用这些桥梁材料,从材料层面提升桥梁的强度、韧性与自恢复能力,有效改善桥梁的抗震性能。

## (三) 模块化设计与施工

模块化设计与施工在市政道桥施工抗震设计优化进程中占据重要地位。设计伊始,依据桥梁结构功能,将其巧妙拆解为标准化模块,像桥墩、桥台以及主梁,均成为独立且功能明确的个体。模块内部结构经精细优化,融入先进抗震理念,从根源上赋予模块卓越抗震性能。模块间连接设计别具匠心,采用特制连接件,确保在日常使用时,各模块紧密协同,形成稳固整体;当地震来袭,连接部位又能灵活变形,高效耗散地震能量,降低结构整体损伤风险。步入施工环节,模块化施工优势尽显。各模块于工厂内完成预制,借助先进生产设备与严格质量管控体系,预制模块精度极高,质量稳定可靠。现场施工时,减少大量湿作业,规避复杂环境因素干扰,

施工效率大幅提升<sup>[5]</sup>。更为关键的是,地震后倘若桥梁部分受损,可依据受损模块编号,迅速定位并精准更换,极大缩短修复时长,保障城市交通生命线尽快恢复畅通。从长远视角看,模块化设计让桥梁后期维护与改造变得简便易行。随着抗震技术不断迭代,可按需灵活替换或升级部分模块,持续增强桥梁抗震性能,使其更好地契合城市发展需求,延长桥梁使用寿命。

## (四) 加强施工过程中的质量控制

施工过程中的质量控制是确保市政道桥抗震设计目标实现的关键环节。首先,加强原材料质量把控,对钢筋、水泥、砂石等主要材料严格检验,确保其各项性能指标符合设计要求。例如,钢筋的屈服强度、延伸率等指标直接影响结构的承载与耗能能力,必须严格检测。在施工工艺方面,规范各工序操作流程。以混凝土浇筑为例,控制浇筑温度、振捣时间与方式,保证混凝土密实度,避免出现蜂窝、麻面等缺陷,影响结构强度。对于桥梁关键部位,如桥墩与基础连接部位、梁体拼接处,加强施工质量监督,采用先进检测技术,如超声波检测、回弹法检测等,及时发现内部缺陷并整改。同时,建立完善的质量管理体系,明确各施工人员职责,加强施工人员培训,提高其质量意识与操作技能。从原材料进场到施工各环节,进行全方位、全过程质量控制,保证桥梁施工质量符合抗震设计标准,使桥梁在地震中能够充分发挥设计的抗震性能,保障结构安全。

## 结语

综上所述,市政道桥施工中的桥梁抗震设计历经从传统到现代的发展。传统方法如静力、动力分析及加固措施奠定基础,现代方法包含非线性动力分析、隔震技术等提升抗震性能,同时多层次设计、材料创新、模块化施工与质量控制等优化策略协同发力。未来,应持续推动技术创新,结合智能科技与新型材料,完善设计规范,加强跨学科合作,全面提升市政道桥抗震能力,保障交通基础设施在地震灾害下的安全与稳定。

## 参考文献

- [1] 林捷. 加强市政道桥施工质量管理措施探讨[J]. 中华建设, 2023, (10): 67-69.
- [2] 武建飞. 市政道桥路基路面工程施工研究[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(05): 95-96.
- [3] 刘宝柱. 市政桥梁结构抗震设计与设防措施[J]. 运输经理世界, 2022, (17): 107-109.
- [4] 陆全民. 市政公路与桥梁过渡段抗震加固设计及伸缩缝施工分析[J]. 甘肃科技, 2022, 38(18): 29-31.
- [5] 牛植田. 城市匝道桥梁的抗震设计研究[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(01): 81-83+87.

作者简介: 陈跃石(1971.10-), 男, 汉族, 安徽宣城人, 工程师, 专科学历, 研究方向: 市政工程。