

公路桥梁设计及其抗震优化分析

张雨

北京交科公路勘察设计研究院有限公司, 北京 100000

摘要： 随着交通事业的蓬勃发展，公路桥梁作为交通网络的关键节点，其安全性与稳定性至关重要。地震灾害对公路桥梁结构构成严重威胁，如何在设计阶段有效提升公路桥梁的抗震性能成为亟待解决的问题。本文深入探讨公路桥梁设计的要点，详细分析抗震设计理论与方法，剖析现存抗震设计问题，并提出全面的抗震优化策略，旨在为提高公路桥梁的抗震能力、保障交通生命线的安全提供理论依据与实践指导。

关键词： 公路桥梁设计；抗震优化；抗震性能；结构安全

Design and Seismic Optimization Analysis of Highway Bridges

Zhang Yu

Beijing Jiaoke Highway Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Beijing 100000

Abstract： With the vigorous development of transportation, highway bridges, as key nodes of the transportation network, are crucial in terms of safety and stability. Earthquake disasters pose a serious threat to the structure of highway bridges, and how to effectively improve the seismic performance of highway bridges during the design phase has become an urgent problem to be solved. This article delves into the key points of highway bridge design, analyzes seismic design theories and methods in detail, dissects existing seismic design issues, and proposes a comprehensive seismic optimization strategy. It aims to provide a theoretical basis and practical guidance for improving the seismic capacity of highway bridges and ensuring the safety of transportation lifelines.

Keywords： highway bridge design; seismic optimization; seismic performance; structural safety

一、公路桥梁设计要点

（一）结构选型

公路桥梁的结构选型是设计的首要环节，不同的结构形式具有不同的力学性能和抗震特点。常见的桥梁结构类型包括梁式桥、拱式桥、斜拉桥和悬索桥等。梁式桥结构简单、受力明确，适用于中小跨度桥梁，但其抗震性能相对较弱。拱式桥依靠拱圈传递荷载，具有较大的跨越能力，但对地基条件要求较高，在地震作用下拱脚处易产生较大的水平推力。^[1] 斜拉桥和悬索桥则适用于大跨度桥梁，通过拉索将主梁的荷载传递到索塔，结构较为复杂，抗震设计需考虑多种因素。在选择结构形式时，需综合考虑桥梁的跨度、地质条件、地形地貌、交通需求以及抗震要求等因素，确保结构形式既能满足使用功能，又具有良好的抗震性能。

（二）荷载计算

准确计算作用在公路桥梁上的荷载是保证桥梁结构安全的基础。荷载主要包括恒载、活载以及地震作用等。恒载是指桥梁结构本身的自重以及附属设施的重量，其计算相对较为简单，可根据结构尺寸和材料容重进行计算。活载则包括车辆荷载、人群荷载等，需要根据相关规范和实际交通流量进行确定。地震作用是一种动态荷载，其计算较为复杂，需要考虑地震的震级、震中距、场地条件以及桥梁结构的动力特性等因素。^[2] 目前，常用的地震作用计算方法有反应谱法、时程分析法等。在进行荷载计算时，应严格按照相关规范和标准进行，确保荷载取值的准确性和合理性。

（三）材料选择

公路桥梁所选用的材料直接影响桥梁的结构性能和抗震能力。在材料选择上，应优先选用强度高、延性好、耐久性强的材料。对于混凝土材料，应选用高强度等级的混凝土，并控制其水灰比、水泥用量等参数，以提高混凝土的密实性和抗裂性能。钢材则应选用屈服强度高、屈强比小、可焊性好的钢材，以确保在地震作用下钢材能够充分发挥其塑性变形能力，吸收地震能量。此外，还应考虑材料的耐腐蚀性和抗疲劳性能，以保证桥梁在长期使用过程中的安全性和稳定性。^[3]

（四）构造设计

合理的构造设计是保证公路桥梁结构整体性和抗震性能的重要措施。在构造设计中，应注重加强结构的连接部位，如桥墩与基础的连接、梁与桥墩的连接等，确保在地震作用下各构件之间能够协同工作，不发生相对位移或破坏。同时，应设置必要的伸缩缝、防震缝等构造措施，以适应桥梁在温度变化、混凝土收缩徐变以及地震作用下的变形要求。此外，还应合理布置钢筋，增强构件的抗弯、抗剪和抗扭能力，提高结构的延性和耗能能力。^[4]

二、公路桥梁抗震设计理论与方法

（一）抗震设计基本原理

公路桥梁抗震设计的基本原理是通过合理的结构设计和构造措施，使桥梁在地震作用下能够保持结构的完整性和稳定性，避免发生严重破坏或倒塌。具体来说，就是要使桥梁结构具有足够

的强度、刚度和延性,以抵抗地震产生的惯性力和变形。强度是指桥梁结构能够承受地震作用而不发生破坏的能力;刚度是指桥梁结构在地震作用下抵抗变形的能力;延性则是指桥梁结构在地震作用下能够产生较大的塑性变形而不丧失承载能力的能力。在抗震设计中,应综合考虑强度、刚度和延性的要求,通过优化结构设计和构造措施,使桥梁结构在地震作用下能够有效地吸收和耗散地震能量,保障桥梁的安全。^[5]

(二) 抗震设计方法分类

(1) 基于强度的设计方法:基于强度的设计方法是早期常用的抗震设计方法,该方法主要通过计算地震作用下桥梁结构的内力,然后根据材料的强度设计值进行构件的设计。这种方法认为,只要结构的强度满足要求,就能够保证桥梁在地震中的安全。然而,这种方法忽略了结构的延性和变形能力,在实际地震中,即使结构的强度满足设计要求,也可能由于过大的变形而导致破坏。

(2) 基于延性的设计方法:基于延性的设计方法是目前广泛应用的抗震设计方法,该方法强调通过提高结构的延性来抵抗地震作用。在设计过程中,通过合理的结构选型和构造措施,使桥梁结构在地震作用下能够产生较大的塑性变形,从而吸收和耗散地震能量。这种方法认为,结构的延性比强度更为重要,在地震作用下,结构可以通过塑性变形来调整内力分布,避免局部应力集中导致的破坏。

(3) 基于性能的设计方法:基于性能的设计方法是一种更为先进的抗震设计方法,该方法以满足不同的性能目标为设计依据,根据桥梁的重要性、使用功能以及地震风险等因素,确定不同的性能水准,并针对每个性能水准进行结构设计。这种方法能够使设计人员更加明确地控制桥梁在地震中的性能表现,实现个性化的设计目标。例如,对于重要的交通枢纽桥梁,可以设定在罕遇地震作用下结构不发生倒塌、可快速修复的性能目标;而对于一般的公路桥梁,则可以设定在设防地震作用下结构基本完好、不影响正常使用的性能目标。^[6]

三、公路桥梁抗震设计现存问题分析

(一) 地震动参数取值不合理

地震动参数的取值直接影响公路桥梁抗震设计的结果。在实际设计中,部分设计人员对地震动参数的取值不够重视,没有充分考虑场地条件、地震活动性以及桥梁结构的特点等因素。例如,在一些地震活动频繁的地区,地震动参数的取值应适当提高,以确保桥梁结构在地震中的安全性。然而,一些设计人员仍然按照常规的地震动参数取值进行设计,导致桥梁结构的抗震能力不足。此外,对于一些复杂场地条件,如软土地基、断层附近等,地震动参数的取值也需要进行特殊处理,但部分设计人员对此认识不足,导致设计结果与实际情况存在偏差。^[7]

(二) 结构计算模型不准确

准确的结构计算模型是保证公路桥梁抗震设计可靠性的关键。在结构计算过程中,部分设计人员对结构计算模型的建立不

够严谨,没有充分考虑结构的实际受力情况和边界条件。例如,在对桥梁结构进行有限元分析时,一些设计人员对结构的连接方式、约束条件等进行了不合理的简化,导致计算结果与实际情况不符。此外,对于一些复杂的桥梁结构,如大跨度斜拉桥、悬索桥等,结构的非线性行为较为明显,需要采用考虑非线性因素的计算模型进行分析。然而,部分设计人员仍然采用线性计算模型进行设计,无法准确反映结构在地震作用下的真实响应。

(三) 构造措施不完善

构造措施是保证公路桥梁抗震性能的重要手段,但在实际设计中,部分设计人员对构造措施的重视程度不够,构造措施设计不完善。例如,在桥墩与基础的连接部位,一些设计人员没有设置足够的锚固钢筋或采取有效的连接措施,导致在地震作用下桥墩与基础之间容易发生相对位移或破坏。在梁与桥墩的连接部位,一些设计人员没有设置可靠的限位装置或耗能装置,无法有效地限制梁体的位移和吸收地震能量。此外,在钢筋的布置和混凝土的浇筑等方面,一些设计人员也没有严格按照规范要求进行设计和施工,影响了结构的抗震性能。^[8]

四、公路桥梁抗震优化策略

(一) 强化抗震概念设计

(1) 合理选择桥型:在进行公路桥梁设计时,应充分考虑场地条件、地震活动性以及桥梁的使用功能等因素,合理选择桥型。对于地震活动频繁的地区,应优先选择抗震性能好的桥型,如连续梁桥、连续刚构桥等。同时,应避免采用对抗震不利的结构形式,如带铰的结构、悬臂结构等。

(2) 优化结构布置:合理的结构布置能够提高桥梁结构的整体抗震性能。在结构布置时,应尽量使结构的质量和刚度分布均匀,避免出现质量和刚度突变的情况。同时,应设置必要的防震缝和伸缩缝,将结构划分为相对独立的抗震单元,减小地震作用下结构的扭转效应和鞭梢效应。此外,还应合理布置桥墩和基础,确保结构的受力明确、传力路径清晰。

(3) 提高结构整体性:加强结构的整体性是提高桥梁抗震性能的重要措施。在设计中,应注重加强结构各构件之间的连接,如采用可靠的连接方式、设置足够的锚固钢筋等。同时,应合理布置横隔板和纵梁,增强结构的空间受力性能和整体性。此外,还应加强桥梁与两岸接线的连接,确保在地震作用下桥梁与接线能够协同工作。^[9]

(二) 精确确定地震动参数

(1) 开展详细的地震地质勘察:在进行公路桥梁抗震设计前,应开展详细的地震地质勘察工作,了解场地的地质条件、地震活动性以及地震地质构造等信息。通过地震地质勘察,可以获取准确的地震动参数,为抗震设计提供科学依据。

(2) 采用合理的地震动参数取值方法:根据场地条件和桥梁结构的特点,选择合适的地震动参数取值方法。对于一般场地条件,可以采用规范推荐的地震动参数取值方法;对于复杂场地条件,如软土地基、断层附近等,应采用专门的地震动参数取值方

法,如考虑场地效应的地震动参数取值方法、基于地震危险性分析的地震动参数取值方法等。

(3) 考虑地震动的不确定性:地震动具有一定的不确定性,在进行地震动参数取值时,应充分考虑这种不确定性。可以采用概率方法或不确定性分析方法,对地震动参数进行合理的估计和取值,以确保桥梁结构在不同地震动作用下都具有足够的抗震能力。

(三) 建立准确的结构计算模型

(1) 合理简化结构模型:在建立公路桥梁结构计算模型时,应在保证计算精度的前提下,对结构进行合理的简化。对于一些次要构件和复杂的结构细节,可以进行适当的简化处理,但要确保简化后的结构模型能够准确反映结构的实际受力情况和变形特征。^[10]

(2) 考虑结构的非线性行为:对于大跨度桥梁和复杂桥梁结构,在地震作用下结构的非线性行为较为明显,应采用考虑非线性因素的计算模型进行分析。例如,在进行有限元分析时,可以采用非线性材料本构模型、考虑几何非线性和接触非线性等因素,以准确反映结构在地震作用下的真实响应。

(3) 模型验证与校准:建立结构计算模型后,应进行模型验证与校准工作。可以通过与实际工程的监测数据、试验结果或已有研究成果进行对比分析,对模型的准确性和可靠性进行验证。如果模型计算结果与实际情况存在较大偏差,应及时对模型进行调整和改进,确保模型能够准确反映结构的抗震性能。

(四) 完善构造措施设计

(1) 加强桥墩与基础的连接:在桥墩与基础的连接部位,应设置足够的锚固钢筋,并采用可靠的连接方式,如灌浆套筒连接、焊接连接等。同时,应加强基础的设计和施工,确保基础具

有足够的承载能力和稳定性,能够有效地将桥墩传来的地震力传递到地基中。

(2) 优化梁与桥墩的连接:在梁与桥墩的连接部位,应设置可靠的限位装置和耗能装置,如橡胶支座、阻尼器等,以限制梁体的位移和吸收地震能量。同时,应加强梁与桥墩之间的连接构造,确保在地震作用下梁与桥墩能够协同工作,不发生相对位移或破坏。

(3) 合理布置钢筋和混凝土:在钢筋的布置上,应根据构件的受力特点和抗震要求,合理布置钢筋的数量、间距和位置,确保构件具有足够的抗弯、抗剪和抗扭能力。在混凝土的浇筑上,应严格控制混凝土的配合比、浇筑质量和养护条件,确保混凝土的强度和密实性满足设计要求。此外,还应加强混凝土的耐久性设计,提高混凝土的抗腐蚀能力和抗疲劳性能。

五、结论

公路桥梁的抗震设计是保障桥梁安全的重要环节,直接关系到人民生命财产安全和社会经济的稳定发展。通过对公路桥梁设计要点的分析,以及对抗震设计理论、方法和现存问题的研究,提出了一系列针对性的抗震优化策略。在实际设计过程中,应强化抗震概念设计,精确确定地震动参数,建立准确的结构计算模型,完善构造措施设计,以提高公路桥梁的抗震性能。同时,随着科学技术的不断发展,应不断探索和应用新的抗震设计理念、方法和技术,为公路桥梁的抗震设计提供更加可靠的保障。只有这样,才能确保公路桥梁在地震灾害中保持安全稳定,保障交通生命线的畅通。

参考文献

- [1] 王雪玮, 康斌锴, 徐胜乐. 公路桥梁设计及其抗震优化分析[J]. 内蒙古公路与运输, 2023, (06): 35 - 38.
- [2] 张超, 李明. 公路桥梁抗震设计方法对比研究[J]. 交通科技, 2022, (05): 42 - 45.
- [3] 刘畅, 王伟. 基于性能的公路桥梁抗震设计探讨[J]. 建筑结构学报, 2021, 42 (09): 180 - 188.
- [4] 赵强, 孙悦. 公路桥梁结构选型与抗震性能关系研究[J]. 桥梁建设, 2020, 50 (03): 88 - 93.
- [5] 陈丽, 吴刚. 地震动参数对公路桥梁抗震设计的影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 2019, 39 (04): 125 - 133.
- [6] 周明, 郑华. 公路桥梁材料选择与抗震性能优化[J]. 材料科学与工程学报, 2018, 36 (06): 985 - 989.
- [7] 杨阳, 郭峰. 公路桥梁构造设计中的抗震措施研究[J]. 工程建设与设计, 2017, (22): 102 - 105.
- [8] 何健, 刘敏. 基于抗震概念设计的公路桥梁设计要点[J]. 公路交通科技, 2016, 33 (07): 85 - 90.
- [9] 宋文, 李华. 公路桥梁结构计算模型的准确性分析[J]. 土木工程学报, 2015, 48 (08): 100 - 107.
- [10] 王强, 张悦. 公路桥梁桥墩与基础连接的抗震设计[J]. 桥梁世界, 2014, 21 (05): 32 - 37.