

桥梁抗震与抗风设计

田增顺 朱长华

山东省交通规划设计院集团有限公司

摘要:近年来,中国经济迅猛崛起,公共基础设施愈加完善。而桥梁的修缮则是这种变化的体现,它们的跨度越来越大,承载能力也越来越强。但是由于全球的强烈地震活动以及极端的天气状况,它们的耐久性仍然存在挑战。因此,必须对桥梁的抗风抗震能力进行充分的研究,以确保桥梁结构安全,避免因灾害而导致的严重后果。当前,许多专家和设计师正在努力探索如何提高桥梁的抗震性能,这些研究具有实际价值。

关键词:桥梁工程;抗震设计;抗风设计;思路分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.108

为了有效抵御地震和暴风带来的破坏,研究者需要根据当前的气候条件和地形特点,采取恰当的措施,优先考虑居民的生存安危,并且充分考虑桥梁的建造条件、结构特征、稳定性、刚度和耐久力,进而改善其总体结构,并通过有效的评估和实践,找出最佳的防护措施。在桥梁工程领域,我们需要积极吸取国际先进技术和经验,仔细研究和探索桥梁的建筑概念和技术,以便更好地指导后来的设计师,并且有助于改良和优化我们的桥梁工程结构。

一、桥梁抗风及抗震设计的必要性分析

在以往的桥梁设计工作中,部分设计人员未对其开展抗风或抗震验算,但近年来各类安全风险事故频繁发生,大家逐渐意识到风荷载与地震作用对桥梁工程的应用年限、应用安全具有直接影响,因而桥梁抗风及抗震设计越来越被重视。在多种自然灾害中,地震灾害可以说是具有最强的破坏性,且高震级地震会为桥梁带来难以弥补的损伤。而风灾害在自然灾害之中出现次数极多,会对桥梁造成持续性的风力冲击,长此以往,会对桥梁的安全应用带来巨大影响。当风载较大时,若抗风设计不规范或者是存在弊端,就会为桥梁工程造成巨大的结构性安全隐患。而桥梁抗震及抗风设计理念,是在出现大风与地震等有关自然灾害时,相关工作人员通过理论与工程经验总结归纳而出,可以有效应对风灾灾害与地震灾害的措施与方法。在此设计理念的统一指导下,对桥梁工程前期设计工作展开深入探索,紧紧把握桥梁的安全性、可靠性,从而保证桥梁工程在全寿命周期中的可靠性、安全性,为人民群众提供良好的交通出行环境,确保人民群众的人身财产不会受到任何损失。由此可见,对桥梁抗风与抗震设计思路进行深入研究,具备十分重要的现实意义。

二、国内外有关桥梁抗风与抗震的现状与研究

(一) 分析国内外有关桥梁抗风的现状

随着时间的推移,全球范围内发生风暴和地震的可能性已经大幅度提高,这一问题值得我们深入思考。尤其是针对大桥的抗风能力,由于其受到的外界条件的影响,其结构和材料的稳定性受到严格的考验,这就使得大桥的设计施工更具挑战性。当大桥出现破坏时,将会给城市交通造成巨大的影响,或许会危及旅客的生命,甚至于能够导致可怕的灾害。从1940年开始,美国华盛顿州的一座桥在低于20m/s的狂暴风力下而倒塌,这也促使了工程师开始从事更加细致的大桥防护技术的探索。

(二) 分析国内外有关桥梁抗震的现状

近几十年来,国际上出现的许多强烈的地震事件,比如中国唐山、汶川的强烈地震,美国北岭、圣费南多和洛马的强烈海啸,都给这些地方的建筑、道路和其他基础设施带来了较大的损害,不仅影响到当地交通,更造成较大的人员伤亡。因此,有必要加强桥梁的抗震能力的设计和维修。通过广泛的研究,在许多情况下,中、小型和高型桥梁通常比较坚固,在受到来自外界的地震作用时,它们很可能会产生巨大的响应。因此,我们提出了两种常见的抗震措施:首先,通过改善特征点的塑性变形来减少来自周围环境的地震能量,从而尽可能减少它们的响应。为了有效抵御地震,我们可以通过安装减振器来吸收和抑制地震波的传播,从而降低建筑物的反弹压。目前,许多学术界都在致力于探索更有效的抗震技术,比如“基于位移设计法”,它把重心放在建筑物的结构位移上。“强度研究”和“性能研究”的发展已经显著改善了大型桥梁的抗震能力,但是仍存在一些未被充分研究的挑战,比如:如何处理复杂的多点激振、易损的行波效应,以及如何更好的进行抗震研究。当跨度不断扩大时,桥梁结构挠度也会加大。为了解决这个问题,最近几年,许多Sub-I提出了使用弹性限位装置来降低位移的方法,例如在桥墩上安装挡块和减振支撑。目前,通常会使用具有较强抗拉能力的弹性限位装置来控制纵向位移。

三、地震和风的特性分析

由于地球的自转以及周围环境的变化,导致了一系列的自然灾害,这些灾害的强度通常由震级、烈度以及风的特征来反映,它们代表着自然灾害的严重性,也反映了自然灾害给人类带来的损失。1) 重现期的差异是影响地震与风的关键因素。通常来说,地震(尤其是强烈的地震)的发生频率更高,其重现期也更久,而且更有可能造成更严重的损害。然而,风的出现频率更高,其重现期更短,但其损害程度却比地震更轻。由于多种

因素的共同作用，地震和风的产生有着显著的差异。前者主要由地壳结构、地质特征所决定，而后者则主要由气候条件和地形景观所决定，而且有的地区甚至会出现两者兼具的现象。3)此外，它们的发生还有着独特的特点。因为空气中没有固定的载荷，所以当遇到地震时，它们会发生反弹或者折叠。这就导致了建筑物对地震的敏感度变高。此外，空气中的水分子可能会与建筑物产生摩擦，从而产生自我振荡。

四、桥梁震害形式

(一) 弯曲破坏

当桥梁结构承受较大水平和竖直的地震荷载时，结构将会出现严重的变形，这可能会造成混凝土保护层的剥离、钢筋的屈服和内部的混凝土破坏，从而降低其本身的抗震能力。这个过程通常会经历四个阶段：第一个是当弯矩达到一定的抗剪切强度时，会出现沿着水平方向的弯折裂缝；第二个是当裂缝继续扩张并且荷载的抗剪切能力逐渐加强时，横向的钢筋会逐渐屈服；第三个是当变形的幅值逐渐扩大时，这些裂缝会逐渐扩散，随着保护层的剥离，塑性铰的变形幅度变得更大；第四阶段，由于钢筋受到了挤压，甚至可能会出现断裂，从而使得内部的混凝土受到破坏。

(二) 梁结构震害

在梁结构的地震灾害中，主梁的坠落是最严重的情况，这通常是由于桥台和桥墩受到地震的冲击，导致倒塌或变位，以及梁体之间的碰撞和支座结构的损坏所造成的。桥梁结构中相邻桥墩位移过大时，同样会引起落梁。

(三) 剪切破坏

当结构承受水平地震荷载时，在达到剪切承载力之前会受到损坏。该破坏过程包括四个阶段：第一阶段，当截面弯曲矩处的强度达到限值时，在控制截面附近形成水平弯曲裂缝；第二阶段，随着裂缝变宽和载荷增加，在柱内沿倾斜方向产生剪切裂缝；在第三阶段，局部剪切裂缝不断发展，导致整个结构的破坏。由于箍筋屈服，第四阶段剪切裂缝变得更加明显，导致脆性剪切断裂。

五、桥梁抗震设计理念与方法

(一) 设计理念

桥梁结构抗震设计的理念主要是为了保证桥梁在地震发生时具有足够的抗震能力和足够的变形能力，以减少桥梁产生结构破坏甚至垮塌的风险。设计层次：抗震设计应根据桥梁所处的地理位置、地震活动程度和使用要求等因素确定不同的设计层次，并采用相应的设计方法和指标。抗震能力：桥梁的抗震能力应该符合设计标准要求，确保在地震发生时能够承受相应的地震作用，尽可能避免发生结构破坏或垮塌。变形能力：在抗震设计中，应注重桥梁的变形能力，即在地震作用下，桥梁可以出现一定的变形和位移，从而减小桥梁产生破坏的风险。稳定性：抗震设计应注重桥梁的稳定性，在地震

发生时能够保持稳定，避免发生剪切破坏和侧移破坏等。

(二) 桥梁抗震设计方法

1. 桥位选择

除了通过地震风险分析选择更安全的桥位外，还必须充分考虑区域范围内的选址。要做到这一点，必须遵守以下基本原则：选择稳定性较好场区，不要选择地震后产生故障的场地。在桥位稳定的基础上，还必须充分考虑桥梁结构和基础之间的振动特性，尽可能减少共振的可能影响。对于薄弱基础，在设计过程中要小心确保基础的完整性，避免地震造成差异变形现象。

2. 结构体系整体性与规则性

该桥具有良好的完整性，其上部结构必须保持连续。卓越的整体性能可以有效防止地震对结构部件造成损坏，同时也是使结构充分发挥潜力的关键。无论是平面图还是立面图，结构布局必须平衡、对称和规则，最大程度减小附加内力及变形。

3. 能力设计原则

传统的设计思想提出，良好的设计应能使结构不同构件有相近的安全度，简言之即为结构中不存在薄弱构件。然而，因结构不同构件有不同的严重程度，这种传统的设计思想不完全适用，特别是对抗震结构而言。通过对比分析，我们发现各部分的强度和安全程度的差别。因此，我们采取了一系列措施来确定哪些部分更加坚固，哪些部分更容易损坏。近年来，为了更好地抵御地质灾害，我们积极探索了一系列新的抗震设计方法，其中包括：加固支撑结构、增加剪切变形量、增加支撑结构的支撑部位，这些都反映了能力设计的理念。

4. 多道抗震防线

通过抗震设计，应能够使桥梁作为一个整体、成为一个结构系统，能够提供多车道抗震横向力，在受到强烈地震作用后，如果一道防线被刺穿，则应能够有第二道防线继续支撑整个结构，防止结构倒塌。在此基础上，超静态结构必然优于相干类型的静态结构。对于建筑结构，这方面桥梁的可用空间通常不大。

5. 抗震概念设计

在桥梁抗震设计中，概念设计是抗震强度的理论命题，而参数设计则基于实际情况，使用计算、计算等技术，制定更合理的抗震决策，以确保桥梁的安全性和可靠性。很长一段时间以来，设计师开始意识到，尽管计算精度如此之高，但在结构方案不合适或施工措施不合理之前，仍然无法达到预期的抗震水平和能力，这使得相关领域的人们开始认识到概念设计的重要性。但需要注意，概念设计与参数设计往往相辅相成，要想保证最终的抗震设计效果，必须对概念设计引起足够的重视，对抗震设计思想进行灵活运用，不可盲目计算。

6. 提高结构延性

地震中剪切造成的损坏是桥梁结构致命损坏的主要原因，桥梁结构呈现出更明显的形状，通常是脆弱的。

在此基础上,提高结构延展性对于提高桥梁结构本身的抗震性至关重要,必须引起设计师的注意。为了有效提高桥梁的惯性强度,避免结构损坏后倒塌,对于桥梁钢筋混凝土结构,可采取以下措施提高结构的延展性:提高箍筋效应,防止脆性剪切破坏,严格控制横截面损失。

7. 减隔振措施应用

减隔震技术旨在最大限度地减少地震荷载,它可以根据建筑物的振动和阻尼特征,采取不同的技术手段,如采用高阻尼叠层橡胶支撑、铅芯橡胶支撑、滑动支撑和各种阻尼装置,以及其他技术手段,从而达到抵御地震荷载的目的。目前,这一技术已被普遍采纳,并且取得了良好的成果。尤其是前两者,在很多国家的抗震设计领域都实现了广泛普及。

六、桥梁抗风设计思路与方式分析

(一) 桥梁抗风设计的理念

保证桥梁工程在全寿命周期内具有一定的可靠性、安全性,可以说是桥梁工程施工的根本要求,而桥梁挡风设计同样也是基于这一目标。因此,设计人员在展开桥梁抗风设计时,应当密切关注以下四点设计观念:第一,在桥梁设计全过程中,在当前地区最大风力条件下,桥梁结构及构件杜绝存有具备破坏性的自激发散振动现象;第二,在对桥梁进行设计过程中,雨风荷载的直接影响下,桥梁构件于强度及刚度方面,不可低于前期设计要求,同时更不可以发生晃动等一系列静力失稳情况;第三,就结构非破坏性的风致震动的幅度来看,应充分符合相关设计要求;第四,可以运用有关机械设施与特殊结构措施,来进一步提高桥梁结构构件的整体抗风效果。由于风荷载会造成桥梁出现风致震动情况,因此设计工作人员在对桥梁工程进行抗风设计时,应当充分确保桥梁设计风速远远高出桥梁临界风速,预留出充足的安全边界,借此防止出现桥梁震颤的情况,使桥梁工程可以在任何阶段都能够充分符合国家所提出的抗风要求。另外,也应当保证桥梁涡激共振与抖震所形成的最大振幅,处在一个合理、科学的范围之内,以此保证桥梁的可靠性、安全性,为人们打造一个安全的交通出行环境。

(二) 桥梁抗风设计方法

(1)在桥梁设计确定的使用年限内,桥梁主体结构不得产生在桥梁位置可能出现的最大风速条件下可能造成损坏的自发振动。(2)在桥梁设计风荷载等作用的影响下,结构应具有足够的强度和刚度,同时不产生静态不稳定现象。(3)对于结构本身的非破坏性风振动,振幅不得超过保证驾驶安全的限值,同时将结构疲劳和对驾驶舒适性的影响降至最低。(4)为了提高结构的抗风性,在设计时必须考虑机械、气动或结构措施等因素,以确保在自然风的影响下,防止可能导致风险的振动或共振。因此,在实际设计抗风性时,应确保桥

梁设计的临界风速和风速相适应,以确保结构在各个阶段都能实现良好的风稳定性。为确保结构的可靠性和稳定性,应严格控制涡流共振和震动的振幅,以免对结构造成疲劳和人体不适。如果为桥梁制定的初始方案不符合抗风要求,则有必要通过适当的设计变更或引入一系列控制措施来提高结构系统本身的抗风稳定性,同时降低风振动引起的振幅。在桥梁设计工作的不同阶段,抗风设计可与不同精度要求的实际情况相结合,或通过风洞试验确定抗风设计方案。对于普通桥梁,在初步设计期间,可根据近似公式计算抗风性分析,以确定不同情况下的空气静力内力和空气动力学稳定性,定义初始方案后,风洞试验方法用于确定技术参数,进行抗风试验和风振动分析。对于较大的桥梁,有必要在初步设计过程中使用风洞试验方法,以完成气动选择,为主梁截面形状的选择提供可靠的基础。在桥梁的工程设计过程中,对所选截面形状进行详细彻底的验证和分析,并采用模型测试方法确认最终分析结果。根据以往的设计经验,在实际抗风设计过程中,应掌握以下因素,以便更好地分析和全面理解设计:(1)风特性参数:采用调查并广泛收集当地气象资料掌握,根据收集到的信息确定合理的技术参数,以供抗风设计工作使用;(2)桥梁动力特性,这是做好风振分析的重要基础,需建立适宜的力学模型,同时注意处理边界支撑条件;(3)颤振临界风速,即桥梁产生发散性颤振现象的起始风速;(4)抖振响应,抖振是受到紊流风持续作用后产生的随机振动,属于强迫振动范畴。

七、结束语

作为桥梁工程设计人员,我们应该特别重视桥梁结构抗震设计和总体抗震设计以及风荷载对桥梁的可靠性和安全性的影响,以便在实际工作中,为桥梁荷载计算提供有效和全面的理论支持,从而提高桥梁抗震和抗风设计的整体性能。

参考文献

- [1]刘亭玉,谢永康,钟鸣.大跨度桥梁抗震特点及施工技术分析[J].大众标准化,2022(09):48-50.
- [2]刘楚,文琰.桥梁抗震与抗风设计理念及设计方法研究[J].工程建设与设计,2022(07):76-78.
- [3]王克海,张秉哲,郭威佐.中小跨径桥梁抗震的概念设计与构造措施[J].建筑科学与工程学报,2022,39(02):30-35.
- [4]李保木.大跨度桥梁抗震与抗风分析的随机振动时域显式方法研究[D].华南理工大学,2019.
- [5]陈浩.桥梁抗震、抗风设计理念及设计方法研究[J].建设科技,2016,(17):113-114.
- [6]王英伟.桥梁抗震、抗风设计理念及方法研究[J].工程与建设,2016,30(4):492-495.