

# 桥梁抗震与抗风设计理念及设计方法

李兵 孟成锦

贵州瑞晟建设工程有限公司

**摘要：**伴随着我国桥梁相关技术的持续进步，在桥梁结构设计之中运用的抗震与抗风设计技术，其进步趋势也较为明显，并且得到了广泛运用。抗震与抗风设计技术在得到应用之后，我国桥梁工程会变得更加安全和稳定，相关设计人员应当将实际情况作为基础，全面设计减隔震桥梁结构，从而使抗震与抗风设计技术在应用之后，能够真正发挥出作用，使我国的桥梁在投入使用之后，为我国的社会经济发展提供服务。

**关键词：**桥梁；抗震；抗风；设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.095

## 引言

城市化发展过程中，桥梁成为社会交通体系中的关键组成部分。但在桥梁运营过程中，常见的地质灾害会直接影响桥梁结构的稳固性，继而诱发桥台滑移、桥墩开裂等安全问题，使桥梁使用期间的安全风险增加。为此，相关人员应优化桥梁结构抗震与抗风设计，并通过采取科学、有效的设防措施增强桥梁工程的抗震与抗风性能，完善其安全性能。

### 一、桥梁结构的震害表现形式

#### （一）桥台震害

发生桥台震害后，桥台、桥梁基础结构的主要表现形式是滑移。滑移问题产生后，桩柱式桥台结构会开裂、折断，重力式桥台则会出现下沉、台体位移。另外，桥台震害还表现为翼墙受损、有裂缝，桥头引导下沉、施工缝错位，与主梁结构相撞后还会直接损坏桥梁结构，使其在受压后坍塌。

#### （二）桩墩震害

桥墩震害的主要表现为墩台开裂、结构倾斜、折断和沉降等，桥墩下部结构中的钢筋构件会呈现出“灯笼”状，混凝土结构会崩裂。部分桥梁结构的桩墩会呈“八”字形、“倒八”字形倾斜，开裂区域多集中在桩柱和横梁、桩顶和盖梁的连接处。

#### （三）支座震害

支座震害多表现为支座结构上的锚固螺栓被迫拔出、支座断裂和倾斜。但不同类型的支座的震害表现形式有所差异。比如，固定支座的震害表现为支座压碎、倾斜，简易辊轴支座则表现为滚动脱落，活动支座在面临震害时，其结构会直接被破坏。

#### （四）梁结构震害

梁结构震害中，主梁坠落是较为严重的震害表现形式，落梁的主要原因是桥台、桥墩因震害而出现倒塌或倾斜情况，以及梁体之间的碰撞、支座结构受损等。桥梁结构中相邻桥墩位移过大时，同样会引起落梁。

#### （五）地震位移

桥梁上部结构中活动节点宽度设置不当时，桥梁结构会出现位移问题，地震位移的主要表现形式是梁体碰撞，对于液化地基，桥梁结构位移后还会引起落梁风险，出现横向、纵向位移情况。

## 二、桥梁抗震设计方法

### （一）延性抗震设计方法

1) 按照桥梁结构的类型、基本特点、抗震性能要求，桥梁结构中的部分构件可选择为延性构件。2) 选定延性构件后，确定桥梁结构中塑性铰区的位置，优化该区域的结构设计，使该区域桥梁结构抗弯强度符合预期要求。3) 对于需要重点预防桥梁结构塑性变形的结构，以及抗震设计中需保护的构件，还应使其强度设计高于塑性铰区的强度设计，从而在强震作用下使桥梁结构保持弹性，避免因结构的脆性而被破坏。相较于根据强度进行抗震设计的方式，延性抗震设计方法的优势更为明显。

### （二）位移抗震设计方法

位移抗震设计方法是一种新的抗震理念，设计思路是结合桥梁抗震设计目标与设防措施进行抗震设计，具体的设计方式可分为直接设计、间接设计两种。间接设计流程是按照传统的基于桥梁结构承载力的抗震设计方法初步设计桥梁结构，然后评估桥梁结构中的变形、损伤参数，分析桥梁抗震性能，核对桥梁结构极限位移，满足位移控制目标即可。直接设计法则是以桥梁结构位移作为基础设计参数，然后根据不同地区桥梁结构的地震设防水准、抗震设计的目标位移计算桥梁结构在地震作用下的位移反应谱。同时按照已知设计参数设计桥梁结构，使桥梁结构可以在地震作用下将结构位移控制在一定范围内，降低桥梁结构的震害程度。另外，在整个设计阶段，位移是桥梁结构抗震设计的关键参数，设计人员应以桥梁结构抗震性能为前提，灵活调整位移参数，完善桥梁结构抗震设计。

### （三）静力抗震设计方法

为提升桥梁结构的抗震性能，设计过程中还应采用静力抗震设计方法，增强桥梁结构的抗震效果。基于静力法对桥梁结构进行抗震设计时，可假设桥梁结构在地震作用下的震动频率相同，且桥梁结构上的作用力为地面运动、物质质量产生的惯性力。所以，在桥梁抗震设计时，设计人员可忽视结构本身的动力性与运动特征，并根据惯性力评估桥梁结构的内力。然后以此为依据进行桥梁结构设计，使地震作用下的桥梁结构不会受损。

## 三、抗震设计的主要依据

### （一）根据建筑结构功能目标实施抗震设计

在开展结构抗震设计之前，设计人员的首要任务是确定建筑结构功能目标，这是因为不同地区发生地震的概率不同，不同的桥梁工程结构对抗震性能的要求存在差异。由于民用建筑建设规模大、建设高度高、居住人口密集，相较于工业建筑，其对建筑结构的抗震能力提出了更严格的要求。设计人员要综合考虑历年来工程地区发生的最大等级地震以及建筑内部的破坏程度，确定桥梁工程结构抗震设计中各体系结构应该具备的基本功能，并对建筑结构进行受力分析，选择合适的施工技术，从而提高桥梁工程结构抗震设计水平。

### （二）根据建筑基本构造进行抗震设计

钢筋混凝土在桥梁工程项目中的应用比较广泛，优化钢筋混凝土结构是提高桥梁工程结构抗震性能的重要思路。桥梁工程抗震设计中比较重要的工作是承重柱截面高度和框架设计，设计人员应充分做好相应的受力分析工作。首先，对于承重柱截面高度设计，设计人员应考虑承重柱对房梁的约束弯矩，并适当增加其横截面积，将其高度控制在允许范围内。这样，承重柱的抗弯能力就会更强，在地震发生时也不会轻易出现裂缝。其次，建筑框架设计分为横向设计和纵向设计两个方面，设计人员要采用标准化设计方法，对这两项设计进行协调，确保地震发生期间各建筑结构都能有效抵御地震应力，从而保证人们的生命财产安全。

### （三）根据建筑规划与场地情况进行设计

地形、地貌等因素对桥梁结构抗震设计效果有着较大的影响。调研人员在桥梁项目施工现场进行调研时，经常会发现含水量较大、土质松软的地质结构。而当地震灾害发生时，在软土地基上建造的建筑会遭到更严重的破坏。因此，设计人员必须采用合适的地基处理技术，彻底碾压夯实土地。

## 四、桥梁抗震与抗风设计措施

### （一）合理设计桥梁构件

1) 加强对桥梁结构、构件的强度控制是桥梁工程抗震设防的重要措施。相关人员应结合桥梁结构设计分析桥梁结构各个构件在地震作用下产生的振动能量，结合其抗震设防设计要求，选择构件材质。2) 应布设减震装置，采用符合当前设计状况的大尺寸网格梁结构，对桥梁结构进行防落梁处理。另外，桥梁应尽量等跨布置，用构造简单的梁部结构，减轻桥梁结构的自重，以此减少桥梁结构的损伤。

### （二）优化施工材料

材料的性能质量，以及合理使用，也影响着桥梁结构的抗震性能。因此，在设计优化中，还要注重施工材料的优化。第一，混凝土材料。根据桥梁工程项目的实际情况，进行混凝土材料强度等级的选择，且需要满足相应的抗渗等级要求。一般情况下，基础垫层、构造柱、圈梁等构件，混凝土材料的强度等级为C20；桩基承台、外墙、地下室底板与顶板、剪力墙与柱、梁板等，混凝土材料的强度等级为C30；后浇带结构，需

要使用比原来高一等级的微膨胀混凝土。第二，砌体材料。为了满足桥梁的抗震性能需求，保障桥梁工程项目的质量与安全，可以将非承重砌体材料应用其中，且仅限于填充墙。地下室内的砌块，采用加气混凝土砌块，强度等级为A3.5；室外的砌块采用多孔砖，强度等级为MU15。地下室内的砂浆材料，需要使用专用砌筑砂浆，强度等级为Mb5.0；室外的砂浆材料，需要使用专用的水泥砂浆，强度等级为M5。第三，钢筋材料。不仅要达到国家的绿色建筑标准要求，而且要满足抗震等需求。可以采用HRB400级钢筋材料，且钢筋质量需要符合国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》的规定，做好性能、参数的规范。

### （三）做好勘察选址

抗震设计时的勘察与选址，是设计的关键与要点之一。只有保障选址的合理性，才能保障后续设计的合理性。第一，先基于施工合同、桥梁工程项目的要求，进行勘察方案与计划的编制。接下来进行勘察方法的制定，以及勘察工作的布置。一般情况下，需要基于当地的岩土情况、高程、地下水等情况，进行勘察钻孔的布置。第二，在桥梁场地环境及岩土工程条件勘察调研时，需要先对于现场的地形、地貌、地质构造、环境工程地质条件等，展开详细深入的了解。接下来进行地层岩性以工程地质特征的调研分析，然后展开地表水和地下水的勘察调研，最后进行不良地质作用及地质灾害的勘察调研。此外，还要进行场地地震效应的评定，确定适宜的施工场地。第三，在选址之后，还要基于周边建筑物、地下管线及构筑物、拟建周边环境条件与工程地质条件等，做好基坑工程安全等级的评定，制定科学合理的施工方案。比如地下室抗浮设计、抗腐蚀设计、基坑支护设计、地下室设计等。

### （四）严格遵循标准

在桥梁结构抗震设计优化中，需要严格遵循相应的标准规范，才能保障设计方案的合理性、可行性。第一，设计人员要严格遵循规范。然后结合桥梁的类型与功能，采用先进的手段展开设计工作。第二，基于设计条件和参数，进行设计标准等确定。在桥梁结构设计标准确定中，需要基于桥梁工程结构破坏可能产生的后果严重性，如造成的经济损失、人员伤亡、社会影响等，进行建筑结构安全等级的确定。接下来根据工程的密集程度、使用功能、规模、地震破坏所造成的影响与损失等，进行抗震设防类别的确定。然后基于抗震设防标准、抗震等级、建筑场地类别，进行结构阻尼比、场地特征周期、周期折减系数等确定。最后基于桥梁的楼面和屋面情况，进行设计荷载的确定。如卫生间、客厅、卧室、阳台、地下车库等不同区域的活荷载标准值与组合值系数。

### （五）优化结构的延展性

长期以来，钢筋混凝土结构在桥梁工程中备受青睐，该结构的抗震性能较好，符合桥梁工程结构抗震设

计要求。然而在部分实践案例中,应用钢筋混凝土结构的桥梁工程在地震中并没有起到应有的防护作用,这是因为桥梁工程结构设计不科学,设计人员套用固定的设计模型而不做变通,使得钢筋混凝土结构没有形成有机整体,以致在外力冲击下迅速倒塌。要想提高桥梁工程结构抗震能力,设计人员可以从优化结构的延展性入手,在建筑结构中适当增加梁和柱,使整个建筑结构形成统一的整体,提高建筑的抗震等级,从而有效抵御地震灾害,保护人们的生命财产安全。

#### (六) 严格落实消能减震和隔震设计

地震是地壳运动引起的,地壳运动会产生巨大的能量,这些能量偶尔会对地表上的建筑物造成极大的破坏。而提高地基的密度,能够吸收能量,抑制地基共振,有利于减小地震灾害造成的危害。因此,在桥梁工程结构抗震设计工作中,设计人员要加强对地基的加固处理,形成地震防御层,从而减轻地震对建筑的破坏。随着桥梁工程结构抗震设计理念的不断更新,市场上出现了全新的隔震装置,即隔震支座,其可以将地基与建筑结构紧密连接在一起,抵消地震中产生的绝大部分能量,从而有效保证建筑上部结构的安全性和稳定性。常见的隔震支座有橡胶型、滑动型和复合型。另外,在应用隔震技术时,设计人员可适当降低上部结构的抗震设防烈度,以体现新技术的应用价值。

#### (七) 科学设计建筑结构体系

在建筑结构的抗震设计中,结构体系的设计是其核心,设计师应合理选择结构体系,确保建筑整体结构具有足够的承载力。针对建筑的梁柱结构、剪力墙结构以及其他关键部位,设计师应制定科学的施工策略,对其水平荷载、垂直荷载以及抗侧力等进行计算,采用合适的施工技术,对结构较为薄弱的节点处,施工方可考虑采取局部加固的方式来增强其强度,从而提高建筑结构整体的抗震能力,使其能够有效应对突发地震对建筑结构的冲击。

### 五、桥梁抗风设计理念与方法

桥梁设计根本目的在于保证结构体系的安全性与可靠性,使结构的强度和刚度符合要求,桥梁抗风设计自然也不例外,在设计抗风设计过程中,需要注重以下几方面理念和方法。

(1) 在桥梁设计确定的使用年限之内,在桥梁所在位置可能产生的最大风速条件下,桥梁主体结构不能产生可造成损毁的自激发散振动。

(2) 在桥梁设计风荷载和其他类型作用的影响下,结构必须具备足够的抵抗强度与刚度,同时不能产生静力失稳的现象。

(3) 对于结构自身的非破坏性风致振动,其振幅不能超过保证行车安全的极限值,同时还应尽量减小结构疲劳与对行车舒适性造成的影响。

(4) 结构自身抗风能力可在设计过程中采取以下措施来提高:机械、气动或结构措施。在自然风作用下

会产生风致振动,对此在实际的抗风设计过程中应确保会导致造成危险的驰振或颤振发生的临界风速和桥梁设计风速比较有充足安全度,只有这样才能保证结构在不同阶段都表现出应有的抗风稳定性。此外,还应将涡激共振与抖振均控制在允许范围之内,防止结构疲劳或人感不适。如果桥梁制定的最初方案无法满足抗风方面的要求,需要通过对设计的适当修改或引入一系列控制措施来提高结构体系自身抗风稳定性,同时降低由于风致振动产生的振幅。

在桥梁设计工作不同阶段,可结合实际情况针对不同精度要求进行抗风设计,或通过风洞试验来确定抗风设计方案。对普通大桥而言,在初步设计过程中,抗风分析可按照近似公式进行计算来确定不同方案对应的静风载内力与气动稳定性,在确定了初步方案以后,采用风洞试验的方法确定各项技术参数,完成抗风验算及风振分析。而对重要程度较高的桥梁而言,需要在初步设计过程中采用风洞试验的方法完成气动选型,以此为主梁断面形式的选择提供可靠依据。在桥梁的技术设计过程中,要对所选断面形式做详细深入的验算及分析,同时还要采用模型试验方法来确认最终分析结果。

根据以往的设计经验,在实际的抗风设计过程中,应掌握下列几项因素,从而更好地分析并把握设计全局:(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,抖振使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。

#### 结束语

综上所述,抗震与抗风设计都是桥梁设计的主要内容,对保证桥梁结构安全和可靠都有重要意义,以上对桥梁结构的抗震和抗风设计进行了初步分析与总结,提出相应的设计理念与方法,旨在为实际的桥梁设计提供技术参考,保证抗震与抗风设计效果。

#### 参考文献

- [1] 杜世森. 抗震理念在桥梁设计中的应用[J]. 河南科技, 2021, 40(29): 98-100.
- [2] 游海伦, 张平. 桥梁抗震设计关键点与减隔震技术的应用探究[J]. 江西建材, 2021(10): 123-124.
- [3] 魏晋亨. 强化公路桥梁抗震能力的措施分析[J]. 江西建材, 2021(09): 167-169.
- [4] 王志贤. 桥梁工程抗震设计要点[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(15): 27-29.
- [5] 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.
- [6] 卢振宏. 桥梁抗震设计与抗震加固措施研究[J]. 运输经理世界, 2021(03): 108-109.