

# 桥梁工程抗震设计要点

郭福潮 任思霖

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250000

**摘要：**本文围绕桥梁工程抗震设计，系统阐述其基础理论、设计原则与设防标准，重点分析桥位选择、结构选型、抗震计算及构造措施等核心要点，结合西南某高烈度区桥梁实例，展现设计要点的实际应用效果，提出设计、施工、运维层面的优化建议。旨在规范桥梁抗震设计流程，提升结构抗震韧性，实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的目标，为各类桥梁抗震设计提供理论与实践参考。

**关键词：**桥梁工程；抗震；设计要点

引言：桥梁作为交通网络的关键枢纽，其抗震性能直接关系到震后应急救援与灾后重建效率，关乎人民生命财产安全。我国地震活动频繁，部分区域地质条件复杂，桥梁在地震作用下易出现墩柱破损、梁体错位等破坏，传统设计面临诸多挑战。基于《公路桥梁抗震设计规范》，结合工程实践，系统梳理桥梁抗震设计核心要点，对提升桥梁抗震能力、保障交通生命线畅通具有重要的现实意义与工程价值。

## 1 桥梁工程抗震设计基础理论与原则

### 1.1 桥梁抗震设计基础理论

(1) 地震动特性：地震波主要分为体波（纵波、横波）和面波，体波传播速度快、影响深度大，面波破坏作用最强且传播范围广，其传播规律受场地地质条件影响显著。地震动三大核心参数中，加速度决定地震作用力大小，速度影响结构振动幅度，位移控制结构变形限值，三者协同作用，直接关系桥梁结构的承载能力与抗震稳定性，是抗震设计的核心依据。(2) 桥梁结构地震响应：地震作用下，桥梁呈现整体振动、构件受力不均的特点，易发生墩柱弯曲、支座滑移、梁体错位等变形。不同结构形式响应差异明显，连续梁桥整体性强但中间墩受力集中，简支梁桥依赖支座传力易发生落梁，拱桥受力复杂需重点控制拱脚应力，需针对性优化设计。(3) 抗震设计相关规范依据：以《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T2231-01—2020）为核心准则，结合相关通用规范，明确地震动参数取值、结构响应分析方法、抗震构造要求等，统一设计标准，规范设计流程，为桥梁抗震设计提供科学、可靠的技术支撑。

### 1.2 桥梁抗震设计基本原则

(1) 安全性原则：坚守“小震不坏、中震可修、大震不倒”核心目标，确保多遇地震下结构无损伤、正常使用；设防地震下结构轻微受损，可通过维修快速恢复

功能；罕遇地震下结构不发生整体坍塌，保障震后交通畅通与人员安全。(2) 经济性与适用性原则：在满足抗震安全的前提下，兼顾设计经济性，避免过度设计造成成本浪费。结合桥梁使用功能、地域地质条件、交通流量等因素，优化结构形式与材料选择，实现安全、经济与适用的有机统一。(3) 整体性与延性原则：强化梁体、墩柱、基础等构件的连接整体性，避免节点失效引发结构破坏。通过合理配筋、设置塑性铰等延性设计，引导结构产生可控塑性变形，消耗地震能量，杜绝构件脆性破坏，提升结构抗震韧性<sup>[1]</sup>。

### 1.3 桥梁抗震设防标准与分类

(1) 抗震设防标准：根据桥梁重要性、所在地区地震烈度，明确多遇地震、设防地震、罕遇地震的设防要求，对应不同超越概率的地震动参数，确保不同等级地震作用下，结构均能达到预设的安全目标。(2) 桥梁抗震设防分类：按其在交通网络中的地位，划分为甲、乙、丙、丁四类，甲类为重点交通枢纽桥梁，乙类为主干道桥梁，丙类为一般公路桥梁，丁类为支路桥梁，各类别对应不同的抗震设计等级与技术要求。(3) 设防目标的实现路径：结合设防标准与分类，制定针对性设计策略，甲类桥梁提高设防标准，丁类桥梁适度优化，通过合理的结构设计、严格的构造措施和科学的验算方法，确保各等级设防目标落地见效。

## 2 桥梁工程抗震设计核心要点

### 2.1 桥位选择与场地勘察要点

(1) 桥位选择：桥位选择是桥梁抗震设计的首要环节，直接决定后续抗震设计的难度与效果，需优先选择抗震有利地段，如地势平坦、土层均匀密实、无不良地质的区域。严格避开地震断层破碎带、可液化土层、软弱地基、泥石流多发区等不利区域，若受路线规划限制无法避开，需通过合理调整桥位布局、增加跨径等方式，

降低地震对桥梁结构的影响,确保桥位整体抗震稳定性。(2)场地勘察要求:场地勘察需全面、细致,为抗震设计提供精准的地质参数支撑。重点勘察场地土类型及分布、覆盖层厚度、地下水位埋深、土层剪切波速等核心参数,通过现场测试与室内试验结合的方式,评估场地地震反应,确定场地类别和地震动参数放大系数,明确场地对抗震设计的不利影响因素,为桥位优化、基础设计及不利场地处理提供科学依据<sup>[2]</sup>。(3)不利场地的处理措施:针对可液化地基,可采用换填非液化土、振冲加密、挤密碎石桩等方法,提高地基承载力和抗液化能力;对于软弱地基,可通过堆载预压、深层搅拌桩加固等措施,改善地基变形特性,增强地基整体性。当场地抗震条件较差时,可设置隔震层,隔离地震能量传递,减少桥梁结构的地震响应,确保地基与基础协同工作,避免地基失效引发桥梁整体破坏。

## 2.2 桥梁结构选型与抗震优化设计

(1)上部结构选型:上部结构选型需优先选用抗震性能优良、整体性强、变形能力好的结构形式,如连续梁桥、无铰拱桥、刚构桥等,此类结构受力均匀、抗侧移能力强,能有效分散地震作用力。避免采用抗震薄弱的结构布置,如大跨径柔性结构、简支梁桥的不合理联长布置等,若需采用简支梁桥,需加强支座连接与约束,防止地震作用下发生落梁事故。(2)下部结构抗震设计:下部结构是桥梁抗震的关键受力构件,需重点优化桥墩、桥台形式。桥墩优先选用圆形、矩形等规则截面,合理确定截面尺寸与配筋率,在桥墩塑性铰区域加密箍筋,强化桥墩的延性与抗剪能力,避免桥墩发生脆性剪切破坏。桥台需优化台身结构,加强台后填土压实,设置台后排水设施,防止地震作用下台身开裂、填土滑移导致桥台失稳。(3)基础抗震设计:基础作为桥梁的根基,需确保其与地基的协同工作能力,防止地基失效引发桥梁破坏。桩基础优先选用端承桩或摩擦端承桩,合理确定桩长、桩径及桩距,加强桩与承台的连接锚固,提高基础的抗拔、抗剪能力;扩大基础需优化基底尺寸,增强基底承载力,设置垫层减少不均匀沉降,同时考虑地震作用下基础的水平位移,确保基础整体稳定性<sup>[3]</sup>。

## 2.3 抗震计算分析要点

(1)地震作用计算方法:需熟练掌握两种核心计算方法的适用场景与计算要点,反应谱法适用于大多数中小跨径桥梁,计算简便、效率高,需合理选取地震影响系数曲线、阻尼比等参数,确保计算结果贴合实际;时程分析法适用于大跨径、复杂结构桥梁,需选取与场地条件匹配的实际地震波或人工地震波,通过动态分析模拟桥梁

在地震作用下的响应过程,提高计算准确性。(2)结构抗震验算:抗震验算需全面覆盖桥梁各关键构件,对桥墩、桥台、基础、支座等构件的强度、刚度、延性进行逐一验算,确保各构件满足规范规定的抗震要求。重点验算塑性铰区域的配筋合理性、构件的抗剪承载力,防止局部构件破坏引发桥梁整体坍塌,同时验算结构的整体稳定性,避免地震作用下结构发生侧移、倾覆等事故<sup>[4]</sup>。(3)计算模型优化:建立贴合实际的桥梁抗震计算模型是确保计算结果可靠的关键。模型需准确反映桥梁结构的几何尺寸、材料特性、构件连接方式,充分考虑结构非线性、构件刚度退化、支座滑移等因素,合理模拟地基与基础的相互作用,通过模型校准与调整,减少计算误差,提高抗震计算的准确性和可靠性,为设计优化提供科学依据。

## 2.4 抗震构造措施要点

(1)构件连接构造:构件连接是确保桥梁结构整体性的核心,需强化梁与墩、墩与基础、梁与梁之间的连接,设置可靠的锚固装置、连接钢筋和灌浆措施,确保连接部位的强度与刚度满足抗震要求。重点加强支座与梁体、墩顶的连接,防止地震作用下出现连接脱开、滑移,避免梁体错位、落梁等严重破坏。(2)延性构造设计:延性构造设计的核心是通过合理构造,提高构件的塑性变形能力,消耗地震能量。在桥墩塑性铰区域加强箍筋约束,采用密排箍筋或复合箍筋,限制纵向钢筋屈服后的屈曲,优化截面形式,避免采用薄壁、高宽比过大的截面,确保桥墩在地震作用下能产生塑性变形而不发生脆性破坏,提升结构的抗震韧性。(3)防落梁与减震措施:为防止地震作用下梁体发生过大位移而落梁,需在桥墩顶部设置纵向、横向挡块,合理确定挡块尺寸与强度,限制梁体位移范围。同时选用抗震型支座,如铅芯橡胶支座、摩擦摆支座等,此类支座既能满足梁体正常伸缩变形需求,又能有效隔离地震能量传递,减少梁体与桥墩的地震响应,降低结构破坏风险<sup>[5]</sup>。

## 3 桥梁抗震设计实例分析与优化建议

### 3.1 工程实例概况

(1)工程背景:选取我国西南某地震设防区一级公路桥梁作为典型实例,该桥梁为多跨连续梁桥,跨度布置为 $3 \times 30\text{m}$ ,上部采用预应力混凝土连续箱梁,下部为钢筋混凝土圆柱式桥墩、扩大基础。桥位所在区域地震设防烈度为8度,设计基本地震加速度值为 $0.20\text{g}$ ,设防类别为乙类,对应多遇、设防、罕遇地震的抗震要求。场地土层以粉质黏土为主,局部存在软弱夹层,地下水位埋深较浅,地质条件复杂,对桥梁抗震不利。(2)设计

难点：该桥梁抗震设计面临两大关键问题，一是场地存在软弱夹层，地基承载力不足且易发生不均匀沉降，地震作用下易引发基础失稳；二是桥梁虽为中小跨径，但地处高烈度设防区，需兼顾结构抗震性能与经济性，同时需避免连续梁桥中间墩受力集中、延性不足的问题，确保“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设防目标落地。

### 3.2 实例抗震设计要点应用

(1) 场地处理与结构选型：结合实例地质条件，桥位避开软弱夹层集中区域，对局部软弱地基采用换填级配砂石+深层搅拌桩加固处理，提高地基承载力和抗液化能力。结构选型上，优先选用抗震性能优良的预应力混凝土连续箱梁，优化跨度布置减少桥墩受力，下部采用圆形桥墩，降低地震作用下的水平冲击力，基础选用扩大基础并增设垫层，减少不均匀沉降。(2) 抗震计算与构造设计：该工程采用反应谱法进行地震作用计算，选取与场地条件匹配的地震影响系数曲线，验算桥墩、基础及支座的强度、刚度和延性，重点验算桥墩塑性铰区域的抗剪能力。构造上，在桥墩塑性铰区域加密箍筋约束，强化梁与墩、墩与基础的连接锚固，选用铅芯橡胶抗震支座，设置纵向、横向挡块防止落梁，确保各构件满足规范抗震要求。(3) 设计效果评估：通过抗震计算分析与地震模拟验证，该桥梁在多遇地震作用下无结构损伤，满足正常使用要求；在设防地震作用下，桥墩塑性铰区域产生轻微塑性变形，经维修可恢复使用；在罕遇地震作用下，结构未发生整体坍塌，仅局部构件出现轻微损坏。评估结果表明，该桥梁抗震设计贴合工程实际，核心要点应用合理，抗震性能达标。

### 3.3 桥梁抗震设计优化建议

(1) 设计层面优化：结合实例经验，结构选型可优先考虑刚构桥等整体性更强的形式，提升结构抗侧移能力；抗震计算可采用反应谱法与时程分析法结合的方式，提高计算准确性；构造上可在桥墩顶部增设消能装置，进一步消耗地震能量，优化箍筋布置，提升构件延性，兼顾抗震性能与经济性。(2) 施工层面建议：强化

抗震构造施工质量控制，重点把控桥墩塑性铰区域箍筋绑扎密度、钢筋锚固长度，严格按照设计图纸施工，杜绝箍筋间距过大、锚固不足等问题；确保混凝土浇筑密实，加强振捣与养护，避免出现蜂窝、麻面、裂缝等缺陷。严格控制软弱地基处理各道工序，加强施工过程中的地质监测，实时掌握地基变形及处理效果，及时调整施工方案，防止因地基处理不到位、施工质量不达标，影响桥梁整体抗震性能。(3) 运维层面建议：建立桥梁抗震常态化检测机制，定期对桥墩、支座、构件连接部位等关键构件进行全面检测，运用专业设备排查隐蔽损伤，及时发现问题并开展维修。震后需及时开展全面检测评估，明确构件损伤程度，制定针对性加固方案；优化日常维护方案，定期检查抗震支座的密封、阻尼性能，及时更换老化、损坏部件，做好防腐处理，切实延长桥梁抗震使用寿命。

### 结束语

桥梁工程抗震设计是一项系统性工程，需兼顾安全性、经济性与适用性，贯穿设计、施工、运维全过程。本文总结的设计要点与实例经验，为工程实践提供了可行指引，而抗震技术的优化与创新仍是未来发展方向。唯有严格遵循规范要求，强化各环节质量管控，不断完善设计与运维体系，才能持续提升桥梁抗震性能，筑牢交通生命线的抗震安全防线，保障桥梁长期稳定运行。

### 参考文献

- [1]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,2021,21(10):123-126.
- [2]许见超.铁路桥梁抗震规范与新版公路桥梁抗震规范比较[J].世界地震工程,2024,37(04):189-196.
- [3]王志贤.桥梁工程抗震设计要点[J].建筑技术开发,2023,48(15):27-29.
- [4]魏周博.桥梁抗震设计要点和减隔震技术的应用[J].砖瓦,2023,6(08):111-116.
- [5]张慧.桥梁结构抗震设计与设防措施[J].四川水泥,2024,36(05):262-265.