

既有桥梁抗震性能提升技术概述

吕士军

天津城建设计院有限公司第六分公司, 安徽 合肥 231600

[摘要] 简要概述既有桥梁抗震性能提升的必要性, 并从结构加固、上部结构轻量化、减隔震化、防落梁措施等方面, 说明既有桥梁抗震性能提升的途径, 针对各种方法的适用条件进行了论述。最后指出, 桥梁管理者应综合各方面因素, 做好既有桥梁的抗震性能提升规划, 并根据经费情况逐年落实。

[关键词] 既有桥梁; 抗震性能提升; 减隔震; 轻量化; 加固

DOI: 10.33142/sca.v4i2.3808

中图分类号: U442.5+5

文献标识码: A

Overview of Seismic Performance Improvement Technology for Existing Bridges

LYU Shijun

The Sixth Branch of Tianjin Urban Construction Design Institute Co., Ltd., Hefei, Anhui, 231600, China

Abstract: This paper briefly summarizes the necessity of improving the seismic performance of existing bridges, illustrates the ways to improve the seismic performance of existing bridges from the aspects of structural reinforcement, upper structure lightweight, seismic isolation, anti falling beam measures and discusses the applicable conditions of various methods. Finally, it is pointed out that bridge managers should integrate various factors, make a good plan for improving the seismic performance of existing bridges and implement it year by year according to the funding situation.

Keywords: existing bridge; seismic performance improvement; seismic isolation; lightweight; reinforce

1 背景

国内外历次大地震震害调查表明, 地震时, 作为城市生命线工程的桥梁的破坏而带来的人员伤亡和财产损失十分巨大。随着工程技术水平的发展, 并总结历次抗震救灾工作的经验教训, 我国于 2008 年、2012 年、2020 年相继颁布实施了《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)、《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166-2011)、《公路桥梁抗震设计规范》(JTGT 2231-01-2020), 并于 2016 年 6 月开始实施我国第五代《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)。新颁布实施的桥梁抗震设计规范, 采用两级抗震设防水准, 并规定了较详细的延性构造细节、支座连接、防落梁构造以及节点区域钢筋构造等内容, 来提高新建桥梁的抗震性能。但迄今为止, 我国约 70% 以上的既有桥梁是在现行桥梁抗震设计规范实施前建造, 受制于当时我国的经济和技术发展水平, 数量众多的老旧桥梁, 依据两部现行抗震设计规范的设计标准, 均存在不同程度的抗震能力不足的现象。

同时, 最新的《中国地震动参数区划图》在场地震动峰值加速度、反应谱特征周期等方面进行了多项调整, 全国大部分地区的抗震设防水平均有了不同程度的提高, 加剧了抗震性能现状和需求之间的矛盾。本文从桥梁结构加固、桥梁上部结构轻量化、桥梁减隔震化、防落梁措施等方面详述提高既有桥梁抗震性能的方法。

2 桥梁结构加固

提高老桥的抗震性能, 最直接的方法就是对桥梁构件, 尤其桥梁下部结构(桥墩、柱、盖梁和基础)进行加固。薄弱构件抗震能力加固是使加固后的结构具备足够的强度以抵抗地震力, 针对的构件主要有桥墩柱、盖梁、桥台和基础等。

2.1 桥墩柱加固

钢筋混凝土桥墩的抗弯强度、延性变形能力和抗剪强度可通过增大截面法、外包钢板加固法和粘贴纤维复合材料加固等。当加固桥墩的弯曲强度、剪切强度后, 应评价和加固承台和基础的承载力, 使其能承担增加的剪力和弯矩。

2.1.1 增大截面加固工法

加大截面法是常用的墩柱加固方法, 在原有墩柱的表面增加一层混凝土及纵向钢筋和横向钢筋, 增加的横向钢筋能提高墩柱的剪切强度及延性能力, 而纵向钢筋能否提高墩柱的弯曲强度则取决于纵筋是否锚固在承台中, 承台也必

须加固以便承受增加的剪力及倾覆弯矩。

加大截面加固方法通常采用的截面形式有圆形、矩形等，加固方式可分为全截面加固和部分加固方法。为提高加固后墩柱的延性能力，必须保证加大截面对原有墩柱截面的约束作用，对圆形墩柱而言比较容易实现，可采用密布箍筋或螺旋式箍筋，而对于矩形或方形墩柱截面，则采用添加辅助箍筋，同时凿去原有墩柱转角处的混凝土，并采用多角形箍筋，可获得较好的约束效果。根据加固材料和加固技术的不同，增大截面加固法可分为外包混凝土加固法（见下图）和喷射砂浆加固法。加固厚度则取决于延性加固、抗剪加固等因素。

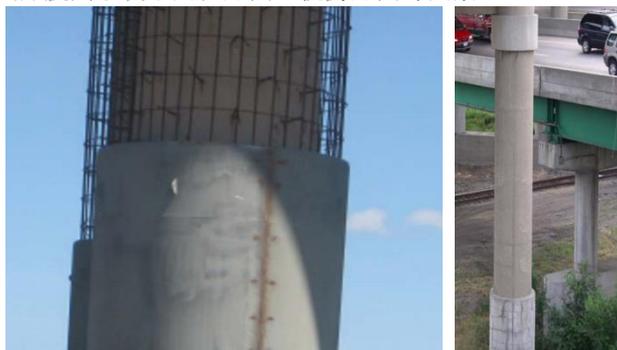


图1 圆形墩外包混凝土加固

2.1.2 外包钢板加固法

外包钢板加固法通常采用两块半圆形的钢管现场沿竖向接缝焊接，钢管内径比桥墩直径略大，空隙中灌注添加微膨胀剂的水泥砂浆，钢管的下端与承台顶面有3~5cm的间隙，防止桥墩在地震作用下弯曲时因钢管的受压而增加截面的弯曲强度。对于钢筋混凝土桥墩，柱底在地震作用下会产生塑性铰，如其延性能力不足，可采用外包钢板法进行加固，即：用胶粘剂将钢板粘贴在结构表面，利用粘贴钢板与原结构体共同作用的机理提高构件的受剪、受扭、受弯、受压性能。粘贴钢板加固技术能有效地提高受损桥墩的承载力、延性及刚度，增强原结构强度，改善墩柱的变形能力，使其具有良好的抗震性能。相比外包钢筋混凝土加固工法，外包钢板加固工法所使用的钢板和水泥砂浆的加固厚度总计只有40mm左右，对于建筑限界受到严格限制的地方是很适合的抗震加固工法。下图为钢套筒加固的框架墩及钢板加固的矩形墩。



钢套筒加固圆形墩



钢板加固矩形墩

图2 外包钢板加固法

2.2 盖梁加固

盖梁在横桥向地震作用下，当墩柱顶与墩柱底形成塑性铰，会导致盖梁的内力需求较大，计算表明盖梁弯矩强度不足、抗剪强度不足或钢筋的锚固长度不足等，无法在墩柱产生塑性铰时不发生破坏，因此需要对盖梁进行抗震加固。盖梁抗震加固的方法基本上有两种，其一为降低盖梁内力需求的加固方法，其二为直接增加盖梁强度的加固方法。

2.2.1 降低盖梁内力需求加固方法

为降低盖梁在横桥向地震作用下的内力需求，可在墩柱中部偏上位置设置连梁（见下图），从而降低盖梁处墩顶的弯矩，达到降低盖梁内力需求的目的，此时应校核下层墩柱两端产生塑性铰后盖梁的内力，确保现有盖梁不发生任何破坏。



图3 增设连梁加固盖梁

对框架墩，可以在桥墩的不同高度设置连系梁，以达到减小位移、减小盖梁受力、减小基础受力等不同的目标。

2.2.2 增加盖梁强度加固方法

(1) 盖梁弯曲强度加固

盖梁弯曲强度加固，可在原盖梁两侧增设深窄的梁，原盖梁表面宜粗糙化，并配置穿过原盖梁的拉筋以形成新的整体作用盖梁。

(2) 盖梁抗剪强度加固

增设深窄梁，并配置抗剪钢筋，深窄梁混凝土和箍筋提供的抗剪强度可计入加固盖梁的抗剪强度。深窄梁中如果设置预应力筋，还可计入预应力筋通过预压力提供的抗剪强度。盖梁抗剪强度加固，应确保墩柱端部产生塑性铰，而不发生剪切破坏。

2.2.3 盖梁与墩柱接点区域抗震加固

对框架盖梁型桥墩，盖梁与墩柱节点区域在横桥向地震作用下，可能因抗剪能力不足，致使在柱端节点区域过早发生剪切破坏，为提高节点区域的抗剪能力，可采用混凝土外包节点区域的加固方法。

2.3 桥台加固

桥台最常见的破坏就是台背填土区沉陷、桥台搭板陷落及背墙破坏，这类破坏对于桥台结构而言，属于可修复轻微破坏。然而，对于土壤液化、桥台基础冲刷裸露或因为考虑体系加固，则需要同时考虑桥台加固的可行性。

当桥台结构抗震强度不足、稳定性不足、搭接长度不足、基础承载力不足、台背填土区沉陷等，需对桥台进行抗震加固。

常用桥台抗震加固方法有：加厚墙身尺寸、增加扶壁或翼墙、桥台前趾加桩、台背填土区增设密排桩、设置地锚、背墙伸缩缝填充耗能材料等。

加厚墙身尺寸是通过增加墙身尺寸以提高墙身的抗剪和抗弯强度以抵抗台背填土区的土压力；

当桥台无法抵抗台背填土区的土压力并有倾覆可能时，可在台身处增设扶壁或翼墙，或在台身两侧加厚翼墙，达到大幅增加其抗弯强度，提高抵抗地震力的目的；桥台前趾加桩方法是在桥台前趾桩无法抵抗倾覆力矩时，通过补桩来增加其稳定性，当桥台处净高受到限制时，基桩需要采用多段续接方式；台背填土区增设密排桩方法是透过增设密排桩以增加土壤抗剪强度，达到防止土壤滑动面破坏，但须考虑施工时对行车使用功能的影响；设置地锚方法是在桥台墙身向台背填土区设置地锚，以防止桥台向河床侧位移，地锚的固定端必须深入台背填土区土壤相当距离，以便发挥功用。另一种方式为系杆锚碇方法，桥台后设置锚碇支柱，再用系杆连接锚碇支柱与桥台；桥台背墙伸缩缝填充耗能材料方法是在桥台背墙与主梁间填充耗能材料，将顺桥向部分地震力传至桥台，从而达到降低桥墩地震力的目的；当桥台基础底面土壤承载力不足并需要加固时，且桥台基础加固施工不易，可采用土壤改良方法来增加土壤的承载力。

2.4 基础抗震加固方法

基础抗震加固方法的选择需考虑施工安全性、经济性及快速性。常用基础加固方法有：扩大基础加固方法、基础增加厚度方法、增补桩基方法、增设连梁方法、增设预应力筋方法、地基改良方法、托底/换底方法与外包钢板方法等。

(1) 扩大基础加固方法：是因地震需求的增加，或其它因素导致基础承载力不足时，在基础四周增大基础截面，从而达到增加基础承载力的目的。

(2) 基础增加厚度方法：当承台的抗剪能力不足以承受桩的反力、或承台正弯矩钢筋量（底层受力钢筋）不足时，

通过增加承台有效深度并配合设置抗剪钢筋以提升其抗剪强度和抗弯强度。

(3) 增补桩基方法：当既有桩基础抗震承载力不足时，在原基础外缘增设桩数，从而提升基础整体承载力，承台平面尺寸会因补桩而增加，或增设墩底加固混凝土厚度来扩大墩柱的有效宽度。

(4) 增设连梁方法：通过地梁连结各基础，以分散地震力，提高基础整体性能。

(5) 增设预应力筋方法：既有基础的正弯矩钢筋（底层受力钢筋）不足时，且上覆土深度无法提供基础增加厚度的需求时，则可考虑施加偏心预应力筋以增加基础的抗弯能力，且预应力筋应尽量通过墩柱宽度范围，但穿过承台较困难时，可以考虑在扩大基础的新设承台内设置预应力筋，但此时预应力筋提供的效果需要适度的打折。

(6) 地基改良方法：用水泥基材料等改良基础周围的场地，达到提升地基承载力或水平耐力的目的，同时也可以作为防止地基液化的对策。

(7) 托底/换底方法：经评估已无法通过上述方法改善基础承载力时，或需提高基础抗震要求时，在考虑通车的状况下，通过临时支撑系统来对下部结构进行替换。

(8) 外包钢板方法：对于裸露的基础（桩基础、沉箱基础），可通过外包钢板提高约束效果，提高其水平抗力。

3 桥梁减隔震化

桥梁减隔震化加固方法是在桥梁上部结构和下部结构（或基础）之间设置隔震支座，或者在上部结构、下部结构中增设阻尼装置，以增大原结构体系周期和阻尼，减小输入到上部结构的能量，达到改善桥梁结构体系的抗震性能，满足预期抗震性能目标。例如，当桥梁所处场地较坚硬，下部结构基本振动周期较短，且上部结构为连续梁或多跨桥面连续筒支梁（或通过上部主梁连续化加固）时，可将原支座全部更换为隔震支座，以实现桥墩和基础无需加固，并达到从体系角度全面提升桥梁结构抗震能力的目的（见下图4）。

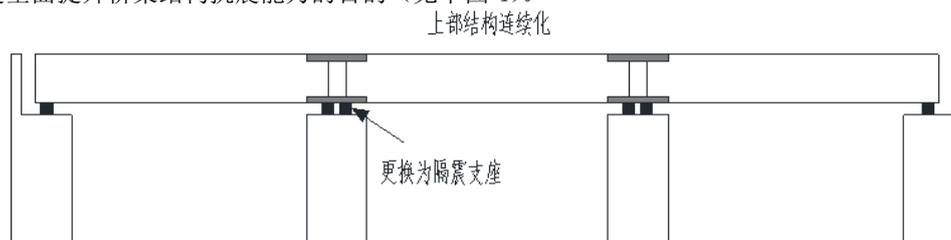


图4 减隔震技术加固示意

对场地存在液化可能性、下部结构振动周期较长、支座可能受拉、场地软弱可能导致共振等条件下，不宜采用隔震方案，但可通过增设阻尼装置进行减震加固。

4 防落梁措施

为防止桥梁上部结构掉落，在构造措施上通过足够的防落梁长度、防落梁装置、位移限制装置等如下多重组合设置加以实现：

对于设置有确保 E2 地震设防水准下支承性能的桥梁，墩台的防落梁长度应满足主梁和桥墩（桥台）最小搭接长度要求，同时，宜设置防落梁装置；如果桥梁所设支座仅考虑抵抗 E1 地震设防水准，则桥墩（台）上需在满足梁、墩（台）最小搭接长度的条件下同时设置位移限制装置和防落梁装置。

对于既有桥梁的防落梁加固，需结合上述要求和桥梁状况采取相应措施：

(1) 当既有桥梁的防落梁长度不足时，可于混凝土桥墩侧面采用混凝土扩座或设置钢托架等方式增加搭接长度。

(2) 防落梁装置类型有混凝土挡块、钢挡块、拉杆、钢索、锁链等，其作用是保证当下部结构或支座遭受破坏，以及上下部结构间发生无法预期的巨大相对变位的情况下，于相对变位在达到梁端搭接长度之前发挥防落梁的功能，避免落梁震害。

(3) 位移限制装置是为了抵抗 E2 地震作用下的惯性力，以满足即使在支座受损的情况下，上部结构和下部结构之间产生的相对位移也不会很大而设置的装置，其形式一般可分为与支座结合的构造、混凝土或钢挡块、剪力钢棒或剪力钢箱等装置。



增加搭接长度



设置拉索



设置挡块

图5 位移限值装置

5 结语

既有桥梁占据了交通网络的绝大多数，其抗震性能的提升对于震时生命线工程的畅通具有重要意义，桥梁科技工作者应做好前瞻性研究工作，桥梁管理者应综合既有桥梁在路网中的作用、震时破坏对生命线工程的影响、抗震性能提升难易程度以及修复的难易程度等因素，做好既有桥梁的抗震性能提升规划，并根据经费情况逐年落实。

[参考文献]

- [1]唐煜. 预制装配技术提升既有桥梁水下墩柱抗震性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [2]唐光武, 刘亮, 谢皓宇, 刘鑫. 既有桥梁抗震加固设防标准研究[J]. 公路交通技术, 2020, 36(6): 49-53.
- [3]徐清清, 徐秀丽, 李雪红, 李枝军. 既有公路桥梁抗震性能需求研究[J]. 公路工程, 2015, 40(4): 233-237.

作者简介: 吕士军 (1973.11-), 男, 天津城建设计院有限公司第六分公司, 高级工程师。