

中小跨径梁桥抗震加固设计指南

2023 - 12 - 04 发布

2024 - 04 - 05 实施

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

5 中小跨径梁桥抗震性能评价 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 抗震性能评价流程 2

 5.3 抗震性能评价方法 3

 5.4 桥址处场地条件评价 4

 5.5 基础抗震性能评价 5

 5.6 桥台抗震性能评价 5

 5.7 桥墩抗震性能评价 5

 5.8 防落梁性能评价 6

 5.9 支座抗震性能评价 6

6 中小跨径梁桥抗震加固 6

 6.1 一般规定 6

 6.2 场地加固 6

 6.3 基础加固 7

 6.4 桥台加固 7

 6.5 桥墩加固 7

 6.6 盖梁、节点区加固 8

 6.7 支座加固 9

 6.8 防落梁加固 9

 6.9 减隔震加固 11

 6.10 上部结构加固 11

7 中小跨径梁桥加固后抗震性能评价 11

附录 A（规范性附录） 山西省主要区县的基本地震动峰值加速度和反应谱特征周期 I

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山西省交通规划勘察设计院有限公司。

本文件主要起草人：张海君、范晓江、董建兴、王景全、辛法、李海喜、李帅、刘文进、王明东、谢立安、郭成成、王彬、邱建冬、张晋媛、寇永大。

中小跨径梁桥抗震加固设计指南

1 范围

本文件规定了中小跨径梁桥抗震加固设计的术语和定义、基本规定、抗震性能评价、抗震加固和加固后抗震性能评价。

本文件适用于山西省抗震设防类别为B类、C类和D类混凝土公路梁桥抗震加固设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范

JTG/T 2231-02 公路桥梁抗震性能评价细则

JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范

JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

能力保护构件

E2地震作用下，延性抗震设计桥梁不发生塑性变形和剪切破坏桥墩的非塑性铰区、桥梁基础、盖梁和上部结构等构件及不发生剪切破坏的桥墩的塑性铰区。

3.2

地震需求

结构地震反应，包括：墩柱、桥台、基础和支座等的弯矩、剪力、轴力设计值以及墩柱、基础及支座和伸缩缝等的位移、转角和延性值等。

3.3

抗震能力

根据构件的实际尺寸和材料特性，经计算分析或试验验证得到的结构在地震作用下承载能力和变形能力。

3.4

能力需求比

在地震作用下桥梁结构抗震能力与响应需求量的比值。

3.5

抗震性能评价

按规定的抗震设防标准要求，综合考虑结构构造、构件力学指标、变形等因素，对其在相应设防水准地震作用下的构件和体系抗震性能及安全性进行的评价。

3.6

抗震加固

对抗震安全性不足的结构采取加固措施，以满足规定的抗震设防要求。

3.7

限位装置

为限制桥梁梁体与桥墩或桥台间的相对位移而设计的构造装置。

3.8

连梁装置

放置在主梁之间，用于限制主梁之间顺桥向相对位移的装置。

4 基本规定

4.1 桥梁抗震性能评价应综合考虑结构易损性、地震危险性水平、地震地质灾害、特殊地形地貌等的影响。

4.2 桥梁的抗震加固设计以提升公路桥梁抗震性能，减轻地震破坏，保障人民生命财产安全，减少经济损失为原则。

4.3 桥梁结构应根据路线等级、场地条件、桥梁的重要性和修复（抢修）的难易程度，确定适宜的加固方案及加固优先顺序。

4.4 桥梁抗震加固按照桥梁资料收集、现场调查和检测—抗震性能评价—抗震加固设计—抗震加固施工—加固后抗震性能评价—验收等程序进行。

4.5 对既有公路桥梁进行抗震性能评价和抗震加固，其抗震设防标准参照 JTG/T 2231-01 执行。

4.6 山西省主要区县的基本地震动峰值加速度和反应谱特征周期见附录 A。

5 中小跨径梁桥抗震性能评价

5.1 一般规定

5.1.1 进行构件的抗震验算和评价时，构件的抗震性能应按能力需求比进行判定。当能力需求比大于或等于 1.0 时，表明该构件抗震性能满足要求；当能力需求比小于 1.0 时，表明该构件抗震性能不满足要求。

5.1.2 桥梁抗震性能评价主要包括桥梁使用状况、抗震措施、构造细节评价以及构件强度、变形验算。

5.1.3 桥梁抗震性能评价中各计算参数宜以实测取值；无法进行实测时，可按相关标准取值。

5.1.4 对于跨线桥梁抗震性能评价时，跨线桥梁抗震性能水平不应低于被跨越桥梁的标准。

5.1.5 对于河道冲刷条件发生变化的桥梁进行抗震性能评价时，应考虑基础因冲刷引起桥梁抗震性能的变化。

5.1.6 对于跨越深谷或建于深谷斜坡等特殊地形的桥梁，应考虑地形变化引起的地震动差动效应，宜采用多点非一致激励方法分析特殊地形地貌引起桥梁抗震性能的变化。

5.2 抗震性能评价流程

5.2.1 桥梁抗震性能评价分为两级。一级评价应以宏观控制和抗震构造要求为主进行定性评价；二级评价应在一级评价的基础上以抗震验算为主，结合抗震构造要求进行定量评价。

5.2.2 中小跨径梁桥应按以下的流程进行抗震性能评价：

- a) 收集桥梁的基本概况、勘察设计、施工和竣工验收的相关原始资料、工程地质报告、施工运维情况等，包括运营以来历次维修和改造资料、灾害事故报告、检查测试报告等；
 - b) 调查桥梁现状与原始资料相符合程度，调查地形地貌、河道冲刷、桥址处活动断层分布等现状；
 - c) 根据桥梁类别、地震危险性水平进行既有桥梁抗震性能定性评价；
 - d) 根据抗震设防分类、抗震性能目标和地震危险性水平进行桥梁各关键构件强度、变形的验算；
 - e) 编制桥梁抗震性能评价报告。
- 5.2.3 中小跨径桥梁抗震性能的一级评价应在桥梁基本情况调查的基础上，完成下列调查工作：
- a) 桥梁抗震设防标准与现行标准的比较；
 - b) 桥梁基础地质情况及冲刷深度、河床变化情况；
 - c) 实测桥墩(台)材料实际的强度等级、特性；
 - d) 桥墩(台)有无裂缝、露筋等病害情况；
 - e) 桥墩(台)、基础有无滑动、下沉、位移、倾斜等现象；
 - f) 桥梁支座、伸缩缝、限位装置、防落梁装置等构件是否完好或缺失；
 - g) 梁体是否出现裂缝、局部缺损等不良情况。
- 5.2.4 中小跨径桥梁抗震性能一级评价应包括下列内容：
- a) 桥墩(台)和节点构造措施评价；
 - b) 支座性能评价；
 - c) 墩梁支承长度评价；
 - d) 防落梁性能评价；
 - e) 梁端间或梁端与背墙间防撞措施评价；
 - f) 场地地震地质灾害评价等。
- 5.2.5 中小跨径桥梁抗震性能的二级评价应在一级评价调查的基础上，完成下列调查工作：
- a) 桥墩、台基础及地质情况不明时，可进行必要的勘探和试验，查明地基岩(土)的物理力学性质；
 - b) 在桥梁初步筛选的基础上，结合现场实测，掌握结构几何参数。
- 5.2.6 中小跨径桥梁抗震性能二级评价应包括下列内容：
- a) 桥梁地基承载能力；
 - b) 桥梁基础承载能力、稳定性；
 - c) 桥台的承载能力、稳定性；
 - d) 桥墩的抗弯、抗剪承载能力及变形能力；
 - e) 盖梁与桥墩节点的抗震性能；
 - f) 支座的连接、变形性能。
- 5.2.7 中小跨径桥梁抗震性能评价报告应包括下列内容：
- a) 桥梁结构的概况；
 - b) 桥梁使用状况与现场调查；
 - c) 桥梁抗震设防类别及设防目标判定；
 - d) 检查、分析、评定的过程和结果；
 - e) 结论与建议。

5.3 抗震性能评价方法

5.3.1 对于Ⅵ度区的B类、C类、D类桥梁仅进行一级评价，其余桥梁需在一级评价的基础上进行二级评价。桥梁抗震性能二级评价应包括结构、构件的承载能力和变形能力评价。

5.3.2 对于Ⅵ度区的B类、C类、D类桥梁需结合一级评价结果，依据JTG/T 2231-01规定采取对应加

固措施，使桥梁满足相关构造和一、二级抗震措施要求。

5.3.3 二级评价时，应依据详细调查分析的资料和数据，建立可靠的桥梁结构分析模型，采用适当的静力和动力分析方法开展构件、结构承载能力和变形性能的分析，作为结构抗震性能评价的依据，建模规则和分析方法应与现行 JTG/T 2231-02 的规定相同。二级评价的结果按表 1 进行分类。

表1 二级评价桥梁抗震性能划分及评价结果分类表

抗震性能评定等级	性能状态	桥梁抗震性能描述
1级	功能完好	E1 地震作用下结构基本无损伤，且 E2 地震作用下主要（主承力）构件与附属（非承力）构件均功能完好，无明显地震损伤，不需修理可继续使用。
2级	轻微损伤	E1 地震作用下结构基本无损伤，且 E2 地震作用下，桥台无明显移位、非承力构件发生轻微损伤、主承力构件保持弹性且未出现震后残余变形，桥墩混凝土表面出现细裂缝等轻微损伤，不影响交通通行，不需处治或稍加修复处治即可继续使用。
3级	中等损伤	E1 地震作用下结构基本无损伤，且 E2 地震作用下，桥墩保护层混凝土出现明显裂缝，局部产生非线性变形，出现塑性铰；桥台发生中等移位等中等损伤，能满足或经临时加固能满足应急车辆通行需求，需要进行加固修复后才能继续使用。
4级	严重损伤	E1 地震作用下结构出现损伤，或 E2 地震作用下，桥台发生显著永久移位；桥墩非线性行为显著，塑性铰完全形成，钢筋屈服；限位装置仍能保持工作，主梁从支座上滑落但尚未出现落梁；支座严重变形，损伤较大等严重损伤，严重影响桥梁使用功能，需要进行大修后才能继续使用；或影响承载能力，不能保证正常使用。
5级	完全破坏	E1 地震作用下结构出现损伤，或 E2 地震作用下，桥墩折断、桥台失效、支座完全失效、限位装置失效致使主梁落梁等接近破坏的损伤，不能正常使用，危及桥梁安全，桥梁处于危险状态，整个桥梁不能使用。

5.3.4 基于桥梁抗震性能评价结果，对各类桥梁采取相应的抗震加固对策，桥梁抗震性能评价等级与抗震加固对策如表 2 所示。

表2 桥梁抗震性能评价等级与抗震加固对策

技术状况等级	抗震加固对策
1级	正常养护
2级	正常养护
3级	正常养护
4级	加固或更换较大缺陷构件
5级	加固改建或重建

5.4 桥址处场地条件评价

5.4.1 场地地基液化影响评价

当场地地基需要考虑液化影响时，应符合下列规定：

- 桥址场地有潜在液化侧向扩展且距常水位水迹线 100m 范围内，应评价液化后土体滑移与开裂的风险；
- 当场地发生液化，并产生明显侧向滑移时，应评价液化侧向滑移对基础、桥台、桥墩（柱）抗震能力的影响。

5.4.2 场地活动断层影响评价

5.4.2.1 当符合下列条件时，需考虑地震断裂错动对桥梁的影响：

- a) 全新世活动断裂；
- b) 抗震设防烈度在Ⅷ度及以上场地时，前第四纪基岩隐伏断裂的土层覆盖厚度分别小于 60m 和 90m。

5.4.2.2 对于近断层效应桥梁，其抗震性能分析需考虑以下两种情形：

- a) 临近断层时（断层距小于 20km），采用时程法进行地震响应分析，地震输入选用脉冲型地震动，计算时采用的地震动参数应计入近场特性影响，如脉冲效应、方向性效应；
- b) 活动断层穿越待评价桥梁时，其抗震性能分析须进行专项研究。

5.4.3 场地地形效应影响评价

河谷场地引起地震动散射和叠加干涉，造成地震动的放大、衰减和空间变化，引起迎波侧和背波侧地震动参数显著不同。当桥梁跨越河谷场地时，应对地形效应的工程影响进行评价。

5.5 基础抗震性能评价

5.5.1 评价扩大基础、桩基础对桥梁整体抗震性能的影响。

5.5.2 桩基础应依据承台结构形式及对应的各种破坏模式（弯曲破坏、剪切破坏和滑动破坏等）计算能力需求比，并评价其对个桥梁结构整体抗震性能的影响。

5.5.3 评价基础破坏对桥梁结构整体抗震性能的影响时，结构动力分析模型中应适当考虑基础刚度及其破坏模式的影响。对于桩基础，宜依据实际土层钻探资料和现场土性试验资料，建立考虑土—桩—结构相互作用影响的合理计算模型，并采用不同的分析方法。

5.5.4 对承台和墩、柱间的节点抗震性能进行评价时，应验算其节点区域混凝土主压应力和主拉应力。

5.6 桥台抗震性能评价

5.6.1 评价桥台抗震性能时，应计算各种破坏模式对应的桥台强度及稳定性的能力需求比，并判别其对桥梁结构整体抗震性能的影响。

5.6.2 当计算桥台地震需求时，桥台台身水平地震力、作用在桥台上的主动和被动土压力参照 JTG/T 2231-01 给出公式。

5.6.3 对于场地基本地震动峰值加速度大于或等于 0.1g 的山区桥梁，需进行桥台挡土结构的稳定性评价，抗滑安全系数不应小于 1.1，抗倾覆安全系数不应小于 1.2。

5.6.4 当采用全桥动力分析模型评价桥台损伤对桥梁结构整体抗震性能的影响时，应建立依据桥台结构形式、基础形式及台后填土性质等合理反映其地震作用下弹性与非弹性力学特性的桥台分析模型。

5.7 桥墩抗震性能评价

5.7.1 评价桥墩抗震性能时，应考虑潜在破坏模式（弯曲破坏、剪切破坏、弯剪破坏）对应的桥墩、柱的能力需求比。

5.7.2 采用动力时程分析方法评价桥墩（柱）破坏对桥梁结构其它部位的累积影响及其对桥梁结构整体抗震性能的影响时，应建立准确反映其非线性力学行为和破坏模式的桥墩分析模型，每一种破坏对结构整体抗震能力的影响应考虑按其出现的先后顺序进行评价。

5.7.3 应对桥墩的抗剪强度进行评价，计算桥墩（柱）对应的抗剪能力/地震需求比值，并评价其对整个桥梁结构整体抗震性能的影响。桥墩的剪切强度计算参照 JTG/T 2231-01 给出公式。

5.7.4 墩顶盖梁与桥墩节点、主梁与桥墩固结节点抗震性能计算参照 JTG/T 2231-01 给出公式。

5.7.5 应对桥墩（柱）的延性变形能力进行评价，可参照 JTG/T 2231-01 给出公式计算潜在塑性铰区域沿顺桥向和横桥向的塑性转动能力，对于规则桥梁，可只验算桥墩墩顶位移。对于高宽比小于 2.5 的

矮墩，可不验算桥墩的变形，但应进行强度验算。

5.8 防落梁性能评价

5.8.1 评价防落梁装置的工作性能（限位装置强度、变形能力、耗能能力以及连接装置的可靠性等）以防止当结构体系伴随结构构件或地基的破坏时上部结构的坠落。

5.8.2 梁端至墩、台帽或盖梁边缘距离的实测值应不小于 JTG/T 2231-01 给出公式确定的最小支承长度，且不应小于 60cm。

5.9 支座抗震性能评价

5.9.1 评价支座的抗震性能应检查桥梁支座及锚栓连接等构件是否完好。

5.9.2 评价支座的抗震能力（剪力、剪切变形、抗滑稳定性、连接装置的强度以及竖向落差等）和其对整个桥梁结构整体抗震性能的影响。

5.9.3 板式橡胶支座抗震能力参照 JTG/T 2231-01 给出公式对其剪切变形、抗滑稳定性进行校核，计算支座各项目的能力需求比。

5.9.4 盆式支座和球形支座抗震能力应参照 JTG/T 2231-01 给出公式对其支座位移需求、地震水平承载力进行校核，计算支座各项目的能力需求比。

6 中小跨径梁桥抗震加固

6.1 一般规定

6.1.1 抗震加固需结合抗震性能评价的结果、场地强震发生的概率、结构的易损性、破坏的社会后果（交通密度、震后救援和紧急服务结构的重要性、替代线路的可行性等）、经济因素等综合考虑确定是否进行抗震加固以及抗震加固的优先顺序。

6.1.2 既有桥梁的加固类别分为以下四类：

- a) 甲：根据需求，提高桥梁设防类别，加固后桥梁抗震性能评价达到三级及以上；
- b) 乙：参照 JTG/T 2231-01 标准，加固后桥梁抗震性能评价达到三级及以上；
- c) 丙：结合需求，综合加固实施难度和经济因素，采取简易可行的加固方案，优先达到静力设计水准，确保桥梁部分构件抗震性能水平满足现行规范的要求，加固后桥梁部分构件抗震性能评价达到三级水平，充分降低地震作用下桥梁发生倒塌或严重损坏的可能性；
- d) 丁：结合需求，综合加固实施难度和经济因素，采取必要抗震措施，需加强对桥梁的养护和地震监测，以降低地震作用下桥梁发生倒塌引发的危害影响。

6.1.3 当进行桥梁加固时，应避免将过大的地震力传递给其它不容易检查和加固的构件。

6.1.4 根据桥梁抗震体系，桥梁加固技术主要分为两大类，一种是传统加固技术，是通过加固提高缺陷构件强度、抵抗变形能力的加固技术；另一种是减隔震技术，是通过整体降低地震力对结构构件的抗震需求影响，使当前构件能够承担给定的地震需求力作用。

6.2 场地加固

6.2.1 对于位于或接近不稳定斜坡的桥梁，应仔细评价斜坡的稳定性，可采取清除岸坡、减轻重量、增加边跨，将桥台设置在斜坡顶部的后边，并使用岩层锚杆或其它技术将位于岸坡的桩基承台进行锚固。

6.2.2 对于饱和砂土或饱和粉土（不含黄土）等存在液化风险并对桥梁结构有影响的地基，可采用加密法进行加固。

6.2.3 当桥址场地稳定性存在问题时，可采用以下方法进行加固：

- a) 降低地下水位;
- b) 排水竖井 (普通砂井、袋装砂井和塑料排水带);
- c) 使用渗透性强的材料增加场地的压重;
- d) 压浆。

6.3 基础加固

6.3.1 基础加固应考虑土的特性及各种可能的破坏模式。

6.3.2 对于扩大基础或承台,可在承台顶面、底面及侧面采用增大截面、增设预应力筋、增设抗拉桩、锚固到基岩等方式进行加固。加固方案应符合 JTG/T J22 的规定,如图 1 所示。

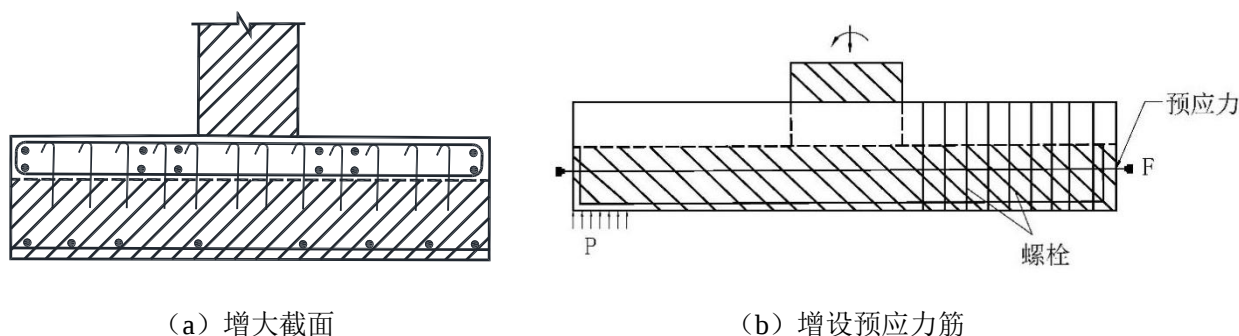


图1 承台加固示意

6.3.3 桩基础加固可采用以下方法进行:

- a) 对于桩基剥落露筋,应先对裸露钢筋进行除锈,然后采用聚合物水泥混凝土(砂浆)或改性环氧混凝土(砂浆)等材料进行修补,并采用石笼防护、板桩防护等方法进行防护。
- b) 桩基承载能力不满足要求时,可采用增补桩基方式进行加固,增补加固计算考虑两阶段受力和新、旧桩基支撑条件、桩径等方面差异。增补桩基数量及群桩沉降应参照 JTG 3363 给出公式计算确定。

6.3.4 桥墩、台及基础加固困难时,可采用减隔震支座减少上部结构产生的水平地震力。

6.4 桥台加固

6.4.1 对于由填土破坏或过度沉降而导致的桥台台后不连续,可通过设置桥台搭板进行加固,搭板长度不小于 6m,并按简支结构进行计算。

6.4.2 平行于或垂直于桥轴方向的桥台位移,可通过设置锚杆方式进行加固,锚杆应延伸到台后足够深度,以避免台后填土移动导致锚固失效。锚固极限承载能力应大于或等于地震作用下上部结构传给桥台的地震力与桥台背后土压力最不利组合效应。

6.5 桥墩加固

6.5.1 桥墩加固应充分体现能力保护思想,避免原有结构薄弱部位转移。

6.5.2 桥墩抗震加固可采用增大截面、外包钢管、粘贴纤维复合材料、超高性能混凝土(UHPC)等方法,如图 2 所示。其加固实施方案应符合 JTG/T J22 的规定。

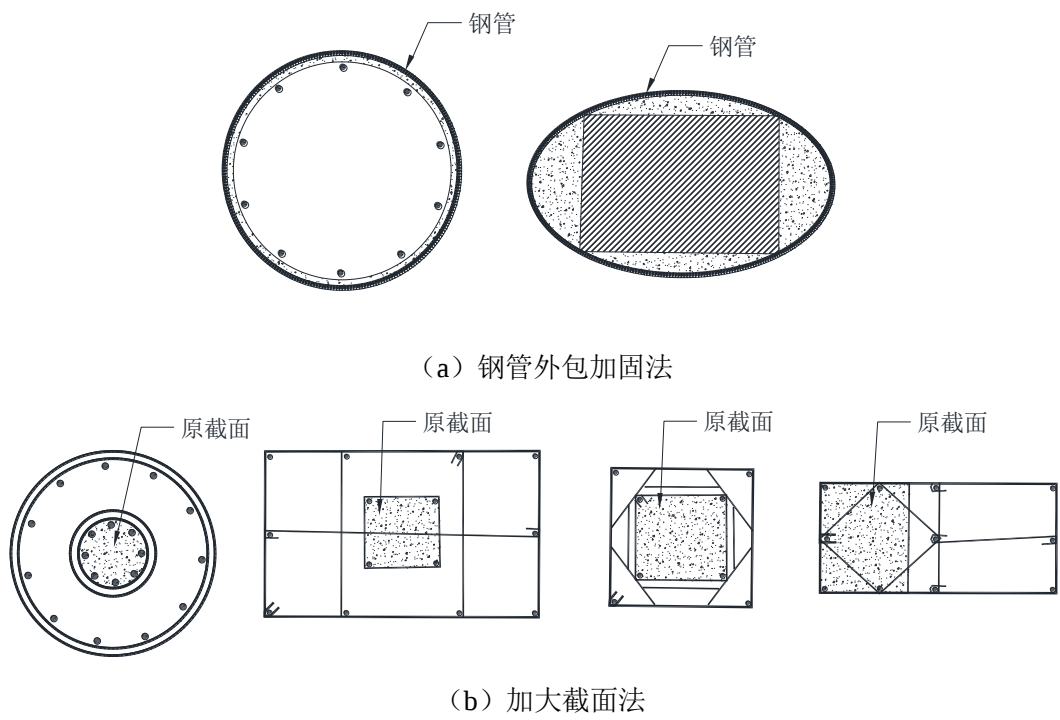


图2 墩柱加固示意

6.5.3 采用超高性能混凝土（UHPC）进行桥墩塑性铰区加固时，应凿毛墩柱表面以利于剪力传递，从而保证高性能材料与既有桥墩界面的粘结性能。

6.5.4 当桥梁穿过断层或邻近断层时，可通过对桥墩塑性铰区域增设围箍方式加固以提高其延性变形能力。

6.6 盖梁、节点区加固

6.6.1 盖梁及柱节点区加固应充分体现出能力保护思想，避免原有结构薄弱部位转移。

6.6.2 盖梁及柱节点区加固可采用增大截面（如图 3 所示）、体外预应力法、粘贴钢板法或粘贴复合材料等方法。其加固实施方案应符合 JTG/T J22 的规定。

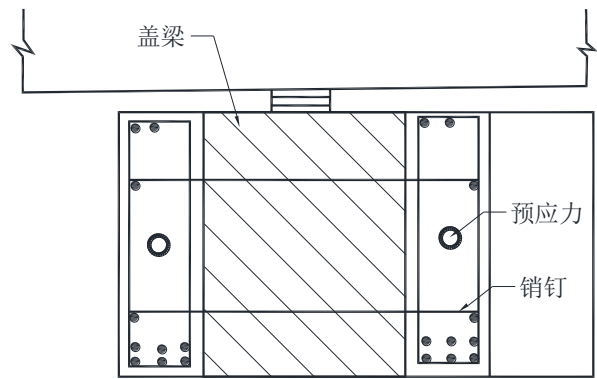


图3 盖梁增大截面加固示意

6.6.3 可通过在盖梁下部增设柱系梁方式改进盖梁的抗震性能，确保塑性铰发生在柱系梁上而非桥墩

上，如图 4 所示。

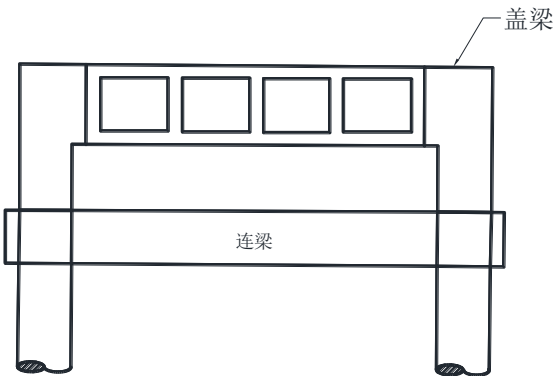


图4 连梁加固示意

6.6.4 对于柱节点区，可通过在节点区两侧面增大截面或重新浇筑节点进行加固。

6.7 支座加固

6.7.1 E1 作用下板式橡胶支座剪切应变或抗滑稳定性不满足要求时，应对其调整或更换，更换的桥梁支座应与桥梁结构体系相适应。

6.7.2 地震作用下，板式橡胶支座作为“保险丝”单元产生摩擦滑移或损伤时，使桥墩的地震力大大降低，既有板式橡胶支座桥梁可结合梁体限位装置，减小支座失效落梁的风险。

6.7.3 对于盆式支座和球形支座，当支座水平承载能力不满足要求，在地震作用下有可能失效且有落梁风险时，应考虑对梁端支承面进行加宽改造。

6.8 防落梁加固

6.8.1 防落梁措施的使用不宜导致桥梁主要构件的地震反应发生较大改变，否则，进行抗震分析时，应考虑防落梁措施的影响。

6.8.2 常用防落梁装置主要为拉杆限位装置（一般为钢链杆、钢缆索、粗钢筋）、钢板式限位装置、阻挡型纵向限位装置，如图 5 所示。

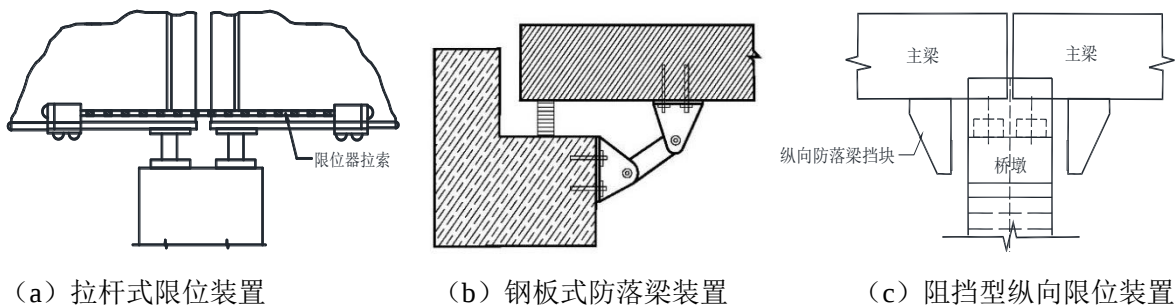


图5 纵向限位装置

6.8.3 防落梁措施应防止竖向地震作用下上部结构发生竖向脱离。当竖向地震作用超过恒载的 50%时，应采用竖向限位装置进行加固，如图 6 所示。

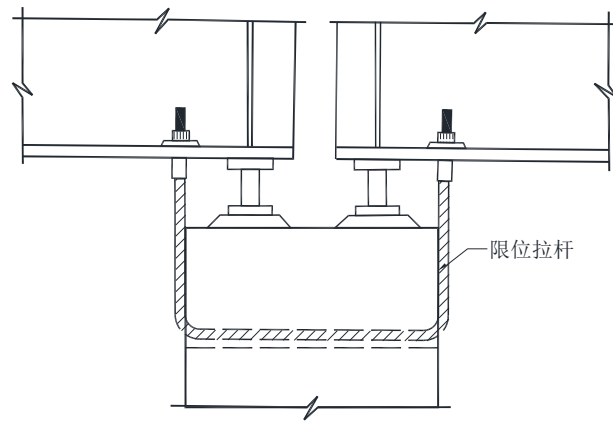


图6 竖向限位装置

6.8.4 当上部结构梁端至墩、台帽或盖梁边缘的距离不满足第 5.8.2 条规定时，可通过增大截面法（增大墩、台帽或盖梁纵桥向截面尺寸）进行加固。

6.8.5 防落梁措施加固除应符合 JTG/T 2231-01 和 JTG/T J22 的规定外，还应符合下列规定：

- a) 沿着预期移动的主方向设置；
- b) 对称设置以免引入偏心约束；
- c) 当设置伸缩缝时，还应与墩台连接，每个约束装置必须能承担两跨的地震力；
- d) 可采用反应谱法运用拉伸和压缩模型确定限位装置荷载；
- e) 纵向拉杆限位装置在 E2 作用下应保持在弹性范围内，承载能力宜按伸缩缝左右梁体较小质量乘以相应的地面加速度峰值。拉杆附属连接装置、既有结构锚固部位等应能够承担 1.25 倍的拉杆限位装置的极限承载能力。

6.8.6 对于纵桥向限位装置和防落梁措施，当同时满足下列两个条件时，可仅连接相邻跨的上部结构：

- a) 地震作用下伸缩缝处相对变形足够小而不会发生落梁；
- b) 其中一跨已与桥墩可靠连接。

6.8.7 横桥向限位装置和防落梁措施主要为挡块，必要时可设置双层挡块或内挡块来对横向位移进行限制，如图 7 和图 8 所示。当采用挡块进行加固时，其计算应考虑挡块的非线性力学特性和碰撞等因素，合理模拟挡块的限位作用。

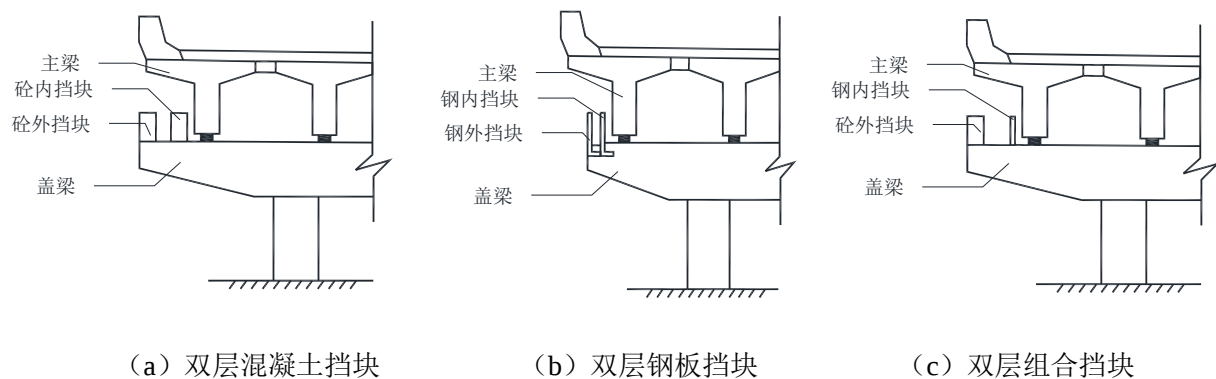


图7 双层挡块示意

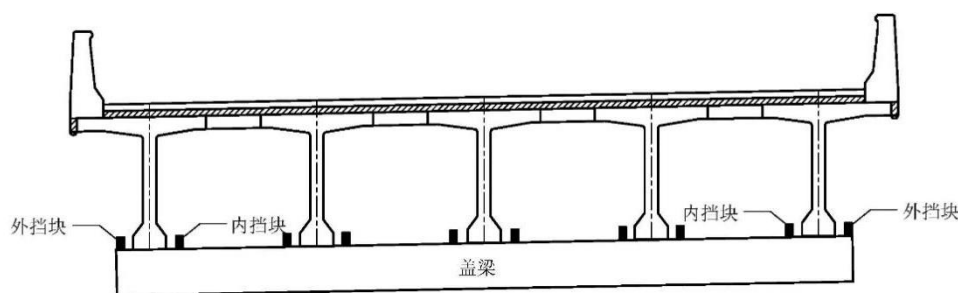


图8 内挡块示意

6.8.8 对于邻近或跨越活动断层的桥梁，宜采用具有一定耗能能力和自复位能力的限位装置和防落梁措施，包括形状记忆合金拉索和合金棒等，以适应近断层脉冲型或滑冲型地震动。

6.9 减隔震加固

6.9.1 减隔震装置应具有一定的刚度、屈服力，满足正常使用荷载下（如风，制动力等）结构不发生屈服和有害振动。由以下两部分组成，即：

- a) 柔性支承：用来延长结构周期，降低地震力；
- b) 阻尼、耗能装置：降低支承面处的相对变形，以便使位移在设计允许的范围內。

6.9.2 常用的减隔震装置分为整体型（铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、摩擦摆式减隔震支座）和分离型（橡胶支座+金属阻尼器、橡胶支座+摩擦阻尼器）两类，两类减隔震装置水平位移从 50% 的设计位移增加到设计位移时，其恢复力增量应不低于其承担的上部结构重量的 2.5%。

6.9.3 对于在桥墩和桥台处已经采用普通支座的梁桥，可采用隔震支座替换原有支座来降低桥墩台、盖梁、承台和所有节点、连接构件的地震需求。

6.9.4 对于邻近或跨越活动断层的桥梁，当采用减隔震技术进行加固时，应配合使用防落梁措施，以避免因过大位移发生落梁。

6.9.5 下列条件下，不宜采用减隔震技术进行既有桥梁的修复加固：

- a) 基础土层不稳定；
- b) 下部结构柔性大，原有结构的固有周期比较长；
- c) 位于软弱场地，延长周期可能引起共振；
- d) 支座中出现负反力。

6.10 上部结构加固

6.10.1 为防止上部结构发生纵向落梁，可通过施加纵桥向体外预应力或设置纵桥向连梁装置来改善上部结构的抗震性能。

6.10.2 为防止上部结构发生横向落梁，当上部结构采用多片梁时，各片梁间应加强横向连接，以提高上部结构的抗震性能。

6.10.3 对于近断层的桥梁，可能产生较大竖向地震动加速度，需采取加固措施以避免上部结构发生上拔现象。

7 中小跨径梁桥加固后抗震性能评价

7.1 评价加固后的桥梁结构抗震性能是否满足预期的抗震性能要求。

7.2 评价加固后的桥梁结构是否改变了原结构的响应，若桥梁构件响应发生变化，须重新计算不同地震水平下桥梁构件的能力需求比。

7.3 建立可靠的加固后桥梁结构分析模型，采用适当的静力和动力分析方法评估加固后构件、结构承载能力和变形性能。

7.4 当新、旧混凝土界面处理可保证界面间剪力传递时，数值分析模型中可不考虑界面滑移，需评价桥墩潜在塑性铰是否发生转移及其对整桥抗震性能的影响。

7.5 采用减隔震技术、限位装置修复时，需采用非线性动力分析方法评价其对整桥抗震性能的影响。

附 录 A
(规范性附录)

山西省主要区县的基本地震动峰值加速度和反应谱特征周期

表A.1 山西省主要区县的基本地震动峰值加速度和反应谱特征周期

地区	地震 加速度 g	反应谱 特征周期 s	位置
太原	0.10	0.40	娄烦县、古交市
		0.45	娄烦县
	0.15	0.40	古交市、阳曲县
	0.20	0.40	小店区、迎泽区、杏花岭区、尖草坪区、万柏林区、晋源区、清徐县、阳曲县
大同	0.10	0.40	灵丘县、天镇县、灵丘县
		0.45	天镇县、灵丘县
	0.15	0.40	矿区、南郊区、新荣区、阳高县、天镇县、广灵县、灵丘县、浑源县、左云县
		0.45	浑源县
	0.20	0.40	城区、矿区、南郊区、新荣区、阳高县、大同县、浑源县
阳泉	0.10	0.40	城区、矿区、郊区、平定县
		0.45	郊区、孟县
	0.15	0.45	孟县
长治	0.05	0.40	郊区、长治县、襄垣县、屯留县
		0.45	长治县、襄垣县、屯留县、长子县、武乡县
	0.10	0.40	城区、郊区、长治县、襄垣县、屯留镇、平顺县、黎城县、壶关县、长子县、潞城市
		0.45	长治县、襄垣县、屯留县、平顺县、壶关县、武乡县、沁县、沁源县
	0.15	0.45	沁源县
晋城	0.05	0.40	泽州县
		0.45	城区、沁水县、阳城县、陵川县、泽州县、高平市、
	0.10	0.40	陵川县

地区	地震 加速度 g	反应谱 特征周期 s	位置
		0.45	沁水县、陵川县
朔州	0.10	0.40	平鲁区、
		0.45	朔城区、平鲁区
	0.15	0.40	朔城区、平鲁区、山阴县、右玉县
		0.45	朔城区、应县
	0.20	0.40	朔城区、山阴县、应县、怀仁县
		0.45	朔城区、山阴县、应县
晋中	0.05	0.45	榆社县、左权县、和顺县
	0.10	0.40	左权县、昔阳县
		0.45	榆社县、左权县、和顺县、昔阳县、寿阳县
	0.15	0.40	榆次区、寿阳县、太谷县、灵石县
		0.45	榆次区、祁县、平遥县
	0.20	0.40	榆次区、太谷县、祁县、平遥县、灵石县、介休市
运城	0.10	0.40	垣曲县、闻喜县、夏县、平陆县
		0.45	垣曲县
	0.15	0.40	盐湖区、临猗县、万荣县、闻喜县、稷山县、新绛县、绛县、夏县、平陆县、芮城县、河津市
		0.45	盐湖区、临猗县、万荣县、闻喜县、稷山县、新绛县、绛县、永济市
	0.20	0.40	临猗县、新绛县、芮城县、永济市
		0.45	临猗县、永济市
忻州	0.05	0.45	五寨县、岢岚县、河曲县、保德县、偏关县
	0.10	0.45	五台县、宁武县、静乐县、神池县、五寨县、偏关县
	0.15	0.40	五台县、繁峙县、宁武县、静乐县
		0.45	宁武县、静乐县、原平市
	0.20	0.40	忻府区、定襄县、五台县、代县、原平市
		0.45	代县、宁武县、原平市
临汾	0.05	0.45	吉县、大宁县、隰县、永和县
	0.10	0.40	隰县
		0.45	安泽县、浮山县、吉县、乡宁县、大宁县、隰县、蒲县
	0.15	0.40	曲沃县、翼城县、古县、乡宁县、蒲县、汾西县、侯马市

地区	地震 加速度 g	反应谱 特征周期 s	位置
		0.45	翼城县、安泽县、乡宁县
	0.20	0.40	尧都区、曲沃县、翼城县、襄汾县、洪洞县、古县、浮山县、乡宁县、蒲县、汾西县、侯马市、霍州市
		0.45	古县
	0.30	0.40	尧都区、洪洞县
	吕梁	0.05	0.35
0.40			兴县
0.45			离石区、兴县、临县、柳林县、石楼县、岚县、方山县
0.10		0.40	交城县、交口县
		0.45	离石区、交城县、柳林县、石楼县、岚县、方山县、中阳县、交口县
0.15		0.40	交城县、交口县、孝义市、汾阳市
0.20		0.40	文水县、交城县、孝义市、汾阳市