



T/CECS XXX-2025

中国工程建设标准化协会标准

桥梁防落梁设计标准

Standard for anti-falling beam design of bridge

(征求意见稿, 提交反馈意见时, 请将有关专利连同支持性文件一并附上)

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

桥梁防落梁设计标准

Standard for anti-falling beam design of bridge

T/CECS XXX-2025

主编单位：北京国道通公路设计研究院股份有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2025年XX月XX日

中国计划出版社

2025 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2022]13 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 9 章和 2 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、地震作用与组合、搭接长度、防落梁装置、保护支座设计、限制位移设计、防止坠落设计等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由北京国道通公路设计研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给北京国道通公路设计研究院股份有限公司（地址：北京市丰台区六里桥南里甲 9 号，邮编：100071，邮箱：yanbin@bjut.edu.cn）。

主 编 单 位：北京国道通公路设计研究院股份有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

参 编 单 位：北京工业大学

北京建筑大学

上海市政交通设计研究院有限公司

交通运输部公路科学研究院

中国铁路设计集团有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

中交二公局第七工程有限公司

北京市政路桥股份有限公司

中铁建设集团有限公司

甘肃省公路发展集团有限公司

柳州东方工程橡胶制品有限公司

成都市大通路桥机械有限公司

武汉鑫拓力工程技术有限公司

上海纬宏科技有限公司

湖南省潇振工程科技有限公司

中咨数据有限公司

北京合力振控科技有限公司

主要起草人：

主要审查人：

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

目 次

1 总则.....	(1)
2 术语和符号.....	(2)
2.1 术语.....	(2)
2.2 符号.....	(3)
3 基本规定.....	(7)
3.1 抗震设防分类与设防标准.....	(7)
3.2 桥梁防落梁设计方法.....	(8)
3.3 桥梁防落梁体系.....	(11)
4 地震作用与组合.....	(12)
4.1 一般规定.....	(12)
4.2 地震作用.....	(12)
4.3 作用效应组合.....	(13)
5 搭接长度.....	(14)
6 防落梁装置.....	(17)
6.1 一般规定.....	(17)
6.2 主要类型.....	(17)
6.3 恢复力模型.....	(19)
6.4 技术参数.....	(22)
6.5 构造细节.....	(22)
7 保护支座设计.....	(24)
7.1 一般规定.....	(24)
7.2 应用条件.....	(24)
7.3 抗震分析.....	(24)
7.4 抗震验算.....	(25)
8 限制位移设计.....	(28)
8.1 一般规定.....	(28)
8.2 应用条件.....	(28)

8.3 工作性能.....	(28)
8.4 抗震验算.....	(28)
9 防止坠落设计.....	(31)
9.1 一般规定.....	(31)
9.2 应用条件.....	(31)
9.3 工作性能.....	(31)
9.4 抗震验算.....	(31)
附录 A 防落梁装置的设置方式.....	(33)
附录 B 弹性刚度的计算方法.....	(35)
用词说明.....	(36)
引用标准名录.....	(37)
附：条文说明.....	(38)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols.....	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols.....	(3)
3	Basic requirements.....	(4)
3.1	Seismic classification and fortification criterion.....	(7)
3.2	Design method of anti-falling beam of bridge	(8)
3.3	Bridge anti-falling beam system.....	(11)
4	Earthquake action and combination.....	(12)
4.1	General requirements	(12)
4.2	Earthquake action.....	(12)
4.3	Combination of actions	(13)
5	Lap length	(14)
6	Anti-falling beam devices	(17)
6.1	General requirements	(17)
6.2	Main types.....	(17)
6.3	Restoring force models.....	(19)
6.4	Technical parameters.....	(22)
6.5	Structure details.....	(22)
7	Bearing-protection design.....	(24)
7.1	General requirements	(24)
7.2	Application conditions	(24)
7.3	Seismic analysis	(24)
7.4	Seismic check.....	(25)
8	Displacement-restriction design.....	(28)
8.1	General requirements	(28)
8.2	Application conditions	(28)
8.3	Working performance.....	(28)

8.4 Seismic check.....	(28)
9 Falling-prevention design	(31)
9.1 General requirements	(31)
9.2 Application conditions	(31)
9.3 Working performance.....	(31)
9.4 Seismic check.....	(31)
Appendix A Setting modes of anti-falling beam devices.....	(33)
Appendix B Calculation method of elastic stiffness.....	(35)
Explanation of wording	(36)
List of quoted standards	(37)
Addition: Explanation of provisions.....	(38)

1 总 则

1.0.1 为规范和指导城市与公路桥梁防落梁设计，降低桥梁在地震作用下发生落梁的概率，减轻桥梁的地震破坏，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于地震基本烈度为VI、VII、VIII和IX度地区新建或改扩建梁桥的防落梁设计。拱桥、斜拉桥、悬索桥和地震基本烈度大于IX度地区的梁桥，其防落梁设计应作专门研究。

1.0.3 桥梁防落梁设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 设计地震作用 earthquake action for design

工程场地重现期符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 规定的地震作用。

2.1.2 超预期地震作用 earthquake action beyond design

工程场地重现期超过现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 规定的地震作用。

2.1.3 落梁 falling beam

地震作用下，桥梁上部结构从下部结构脱离并坠落的现象。

2.1.4 落梁历程 process of falling beam

地震作用下，桥梁上部结构与下部结构从产生相对水平位移到发生落梁的过程，分为支座正常变位阶段、上部结构自由滑移阶段，以及上部结构失稳坠落阶段。

2.1.5 防落梁设计 anti-falling beam design

通过设置搭接长度和防落梁装置，防止桥梁在地震作用下发生落梁的设计，包括保护支座设计、限制位移设计，以及防止坠落设计。

2.1.6 搭接长度 lap length

桥梁上部结构端部在顺桥向至桥墩、台帽或盖梁边缘的距离。

2.1.7 防落梁装置 anti-falling beam device

为防止桥梁在地震作用下发生落梁而采用的构件，包括线弹性防落梁装置和非线性防落梁装置。

2.1.8 线弹性防落梁装置 linear elastic anti-falling beam device

具有线弹性本构关系的防落梁装置。

2.1.9 非线性防落梁装置 nonlinear anti-falling beam device

具有非线性本构关系的防落梁装置。

2.1.10 保护支座设计 bearing-protection design

设计地震作用下，通过设置防落梁装置避免支座的水平位移或水平力超出

其容许范围，确保支座正常工作的防落梁设计。

2.1.11 限制位移设计 displacement-restriction design

超预期地震作用下，在支座的水平位移或水平力超出其容许范围后，通过设置防落梁装置将桥梁上部结构与下部结构之间的相对水平位移限制在一定范围之内的防落梁设计。

2.1.12 防止坠落设计 falling-prevention design

超预期地震作用下，当用于限制位移的防落梁装置退出工作后，通过设置防落梁装置将桥梁上部结构与下部结构之间的顺桥向相对位移限制在 75% 搭接长度之内的防落梁设计。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应：

A —— 基本地震动峰值加速度；

E_{bp} —— 用于保护支座的防落梁装置的水平力计算值；

E_{fb} —— 固定支座的水平力计算值；

E_{lb} —— 普通板式橡胶支座的水平力计算值；

E_i —— 在 i 计算方向总的设计最大地震作用效应；

E_{ix} —— X 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应；

E_{iy} —— Y 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应；

E_{iz} —— Z 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应；

F_e —— 线弹性防落梁装置的水平力；

F_{ecd} —— 电涡流阻尼器的阻尼力；

F_{fvd} —— 黏滞流体阻尼器的阻尼力；

R_b —— 上部结构重力在普通板式橡胶支座上产生的反力；

R_d —— 上部结构重力在同一列支座上产生的反力和；

R_{ds} —— 上部结构重力在边支点位置一列支座上产生的反力和；

U_{bp} —— 用于保护支座的防落梁装置的水平位移计算值；

U_e —— 线弹性防落梁装置的水平位移；

U_{lb} —— 普通板式橡胶支座的水平位移计算值；

- U_{sb} —— 滑板橡胶支座或活动支座的水平位移计算值；
 v_{ecd} —— 电涡流阻尼器的运动速度；
 v_{fvd} —— 黏滞流体阻尼器的运动速度。

2.2.2 几何特征：

- A_c —— 缆索的面积；
 D_s —— 单根弹簧的中径；
 H —— 支承一联上部结构桥墩的平均高度；
 L —— 一联上部结构总长度；
 L_c —— 缆索的长度；
 L_k —— 一联上部结构的最大单跨跨径；
 L_θ —— 一联斜桥上部结构总长度；
 L_φ —— 一联曲线桥上部结构中心线弧线长度；
 a —— 搭接长度最小值；
 b —— 上部结构总宽度；
 d_s —— 单根弹簧的线径；
 t_{lb} —— 普通板式橡胶支座的橡胶层总厚度；
 α_e —— 极限脱落转角；
 δ_e —— 上部结构端部向外侧的移动量；
 θ —— 斜桥的斜交角；
 φ —— 曲线梁的中心角。

2.2.3 设计参数：

- E_{bpd} —— 用于保护支座的防落梁装置的设计水平承载力；
 E_{drd} —— 用于限制位移的防落梁装置的设计水平承载力；
 E_{fbd} —— 固定支座的设计水平承载力；
 E_{fpd} —— 用于防止坠落的防落梁装置的设计水平承载力；
 U_{bdl} —— 支座的顺桥向设计水平位移；
 U_{bdt} —— 支座的横桥向设计水平位移；
 U_{bpa} —— 用于保护支座的防落梁装置的容许水平位移；
 U_{bpd} —— 用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移；

U_{bpl} —— 顺桥向用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移；
 U_{bpt} —— 横桥向用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移；
 U_{bp0} —— 用于保护支座的防落梁装置的初始间隙；
 U_{dra} —— 用于限制位移的防落梁装置的容许水平位移；
 U_{drd} —— 用于限制位移的防落梁装置的设计水平位移；
 U_{dr0} —— 用于限制位移的防落梁装置的初始间隙；
 U_{e0} —— 线弹性防落梁装置的初始间隙；
 U_{fpa} —— 用于防止坠落的防落梁装置的容许水平位移；
 U_{fpd} —— 用于防止坠落的防落梁装置的设计水平位移；
 U_{fp0} —— 用于防止坠落的防落梁装置的初始间隙；
 U_{sbd} —— 滑板橡胶支座或活动支座的设计水平位移；
 U_{sm} —— 榀形防落梁装置的设计位移；
 U_{s0} —— 榀形防落梁装置的初始间隙。

2.2.4 构件特性：

C_{ecd} —— 电涡流阻尼器的阻尼系数；
 C_{fvd} —— 黏滞流体阻尼器的阻尼系数；
 E_c —— 缆索的弹性模量；
 F_{max} —— 电涡流阻尼器的临界最大阻尼力；
 G_s —— 弹簧材料的切变模量；
 K_c —— 缆索式防落梁装置的弹性刚度；
 K_e —— 线弹性防落梁装置的弹性刚度；
 K_{ead} —— 弹性防落梁装置的弹性刚度；
 K_s —— 单根弹簧的压缩刚度；
 K_{seq} —— 榀形防落梁装置的等效刚度；
 K_{s1} —— 榀形防落梁装置的初始刚度；
 K_{s2} —— 榀形防落梁装置的二次刚度；
 U_{sy} —— 榀形防落梁装置的屈服位移；
 v_{cr} —— 电涡流阻尼器的临界速度；
 α —— 榀形防落梁装置的二次刚度与初始刚度之比；

- α_{fvd} —— 黏滞流体阻尼器的速度指数；
- ξ_{seq} —— 榫形防落梁装置的等效阻尼比；
- μ_{lb} —— 普通板式橡胶支座的动摩阻系数。

2.2.5 其他参数：

- N_{s} —— 弹性防落梁装置中的弹簧根数；
- g —— 重力加速度；
- n_{s} —— 单根弹簧的有效圈数；
- $\text{sign}(v_{\text{fvd}})$ —— 黏滞流体阻尼器运动速度的符号函数；
- $\tan\gamma_{\text{lb}}$ —— 普通板式橡胶支座的橡胶片剪切角正切值。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

3 基本规定

3.1 抗震设防分类与设防标准

3.1.1 桥址处地震基本烈度与现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 基本地震动峰值加速度的对应关系，应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 地震基本烈度和基本地震动峰值加速度的对应关系

地震基本烈度	VI	VII		VIII		IX
基本地震动峰值加速度 (g)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40

注： g 为重力加速度。

3.1.2 桥梁抗震设防分类应符合下列规定：

1 城市桥梁抗震设防分类应符合表 3.1.2-1 的规定。

表 3.1.2-1 城市桥梁抗震设防分类

桥梁抗震设防分类	适用范围
甲	悬索桥、斜拉桥以及大跨度拱桥
乙	除甲类桥梁以外的交通网络中枢纽位置的桥梁和城市快速路上的桥梁
丙	城市主干路和轨道交通桥梁
丁	除甲、乙和丙三类桥梁以外的其他桥梁

2 公路桥梁抗震设防分类应符合表 3.1.2-2 的规定。对抗震救灾以及在经济、国防上具有重要意义的桥梁或破坏后修复（抢修）困难的桥梁，应提高抗震设防分类。

表 3.1.2-2 公路桥梁抗震设防分类

桥梁抗震设防分类	适用范围
甲	单跨跨径超过 150m 的特大桥
乙	单跨跨径不超过 150m 的高速公路、一级公路上的桥梁； 单跨跨径不超过 150m 的二级公路上的特大桥、大桥
丙	二级公路上的中桥、小桥； 单跨跨径不超过 150m 的三、四级公路上的特大桥、大桥
丁	三、四级公路上的中桥、小桥

3.1.3 防落梁装置应与支座对应设置。

3.1.4 具有不同限位功能的防落梁装置应用于防落梁设计的不同阶段，包括保护支座设计阶段、限制位移设计阶段，以及防止坠落设计阶段。

3.1.5 支座和防落梁装置的抗震设防标准应符合表 3.1.5 的规定。

表 3.1.5 支座和防落梁装置的抗震设防标准

构件	抗震设防标准	
	设计地震作用	超预期地震作用

支座		正常工作，水平位移、水平力均在容许范围内	失效，退出工作
防落梁装置	保护支座设计阶段	正常工作，水平位移、水平力均在容许范围内	失效，退出工作
	限制位移设计阶段	不参与工作	水平位移、水平力均在容许范围内时正常工作，超出后失效并退出工作
	防止坠落设计阶段	不参与工作	在用于限制位移的防落梁装置退出工作后开始工作，不致落梁

3.2 桥梁防落梁设计方法

3.2.1 根据桥梁抗震设防分类和地震基本烈度，桥梁防落梁设计方法应分为下列三类：

- 1 1类，应进行保护支座设计、限制位移设计和防止坠落设计。
- 2 2类，应进行保护支座设计和限制位移设计。
- 3 3类，应进行限制位移设计。

3.2.2 桥梁防落梁设计方法应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 桥梁防落梁设计方法选用

桥梁抗震设防分类	地震基本烈度					
	VI	VII		VIII		IX
	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
甲	1类	1类	1类	1类	1类	1类
乙	2类(3类)	2类	2类	1类	1类	1类
丙	3类	2类	2类	2类	2类	1类
丁	3类	2类	2类	2类	2类	1类

注：括号内的内容适用于公路桥梁。

3.2.3 采用 1 类方法时，可按图 3.2.3 所示的设计流程进行。

3.2.4 采用 2 类方法时，可按图 3.2.4 所示的设计流程进行。

3.2.5 采用 3 类方法时，可按图 3.2.5 所示的设计流程进行。

3.2.6 对于结构简支、桥面连续的桥梁，中支点应按边支点进行防落梁设计。

3.2.7 桥梁的支座抗震验算应符合下列规定：

- 1 城市桥梁应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 执行。
- 2 公路桥梁应按现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01

执行。

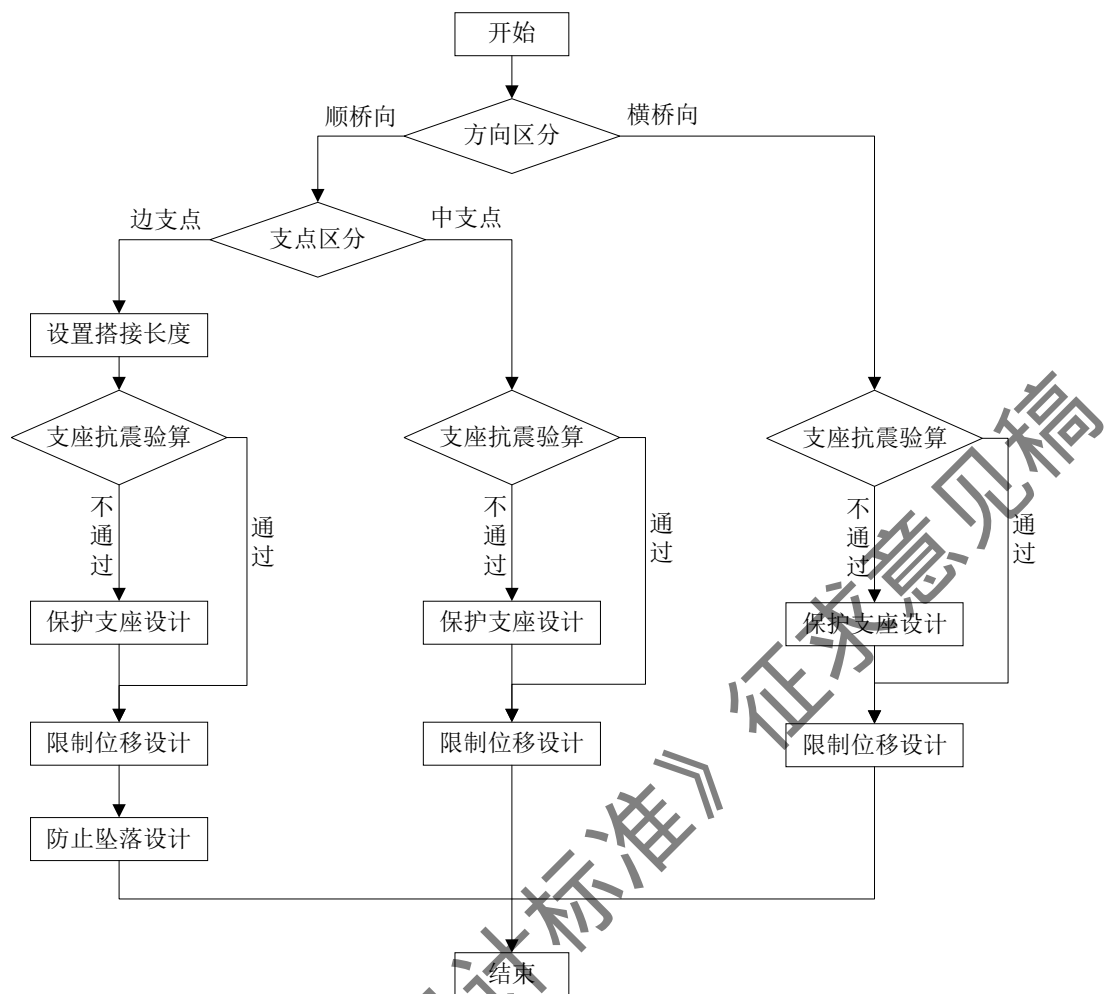


图 3.2.3 1 类方法桥梁防落梁设计流程

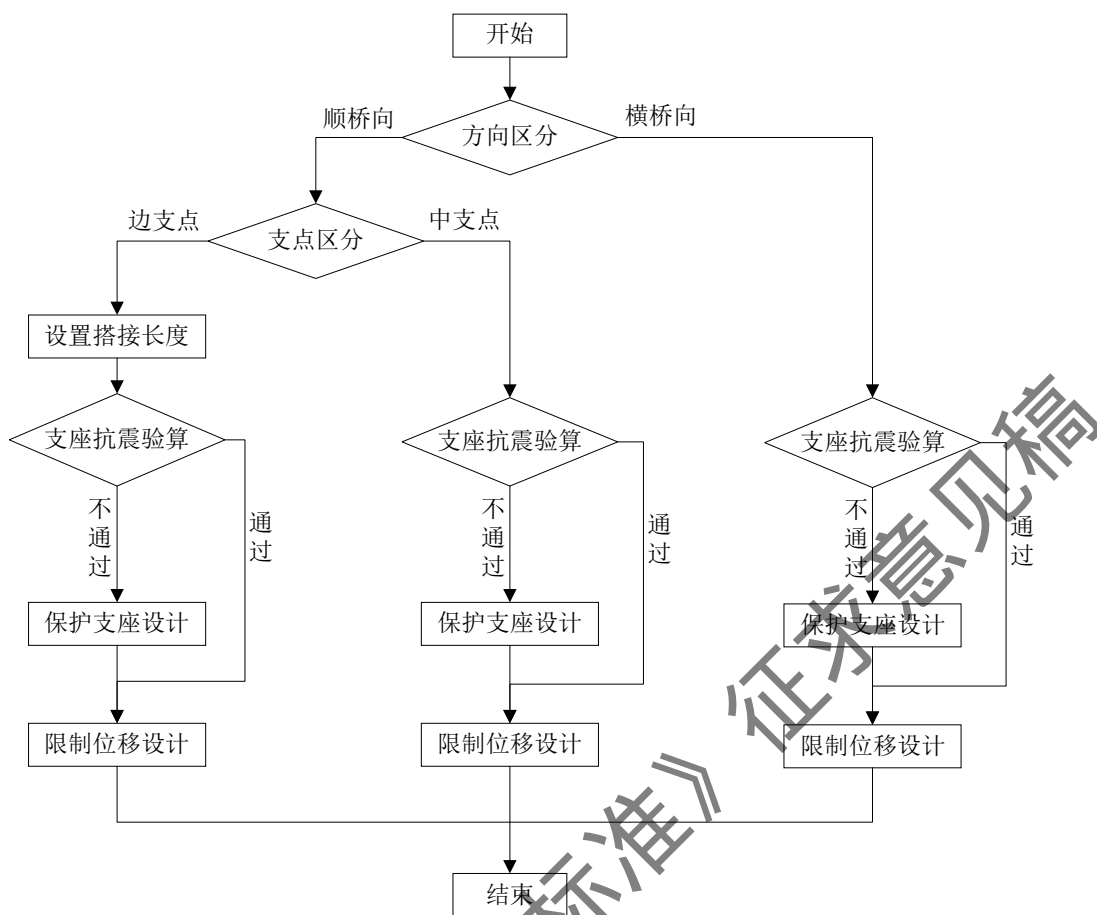


图 3.2.4 2 类方法桥梁防落梁设计流程

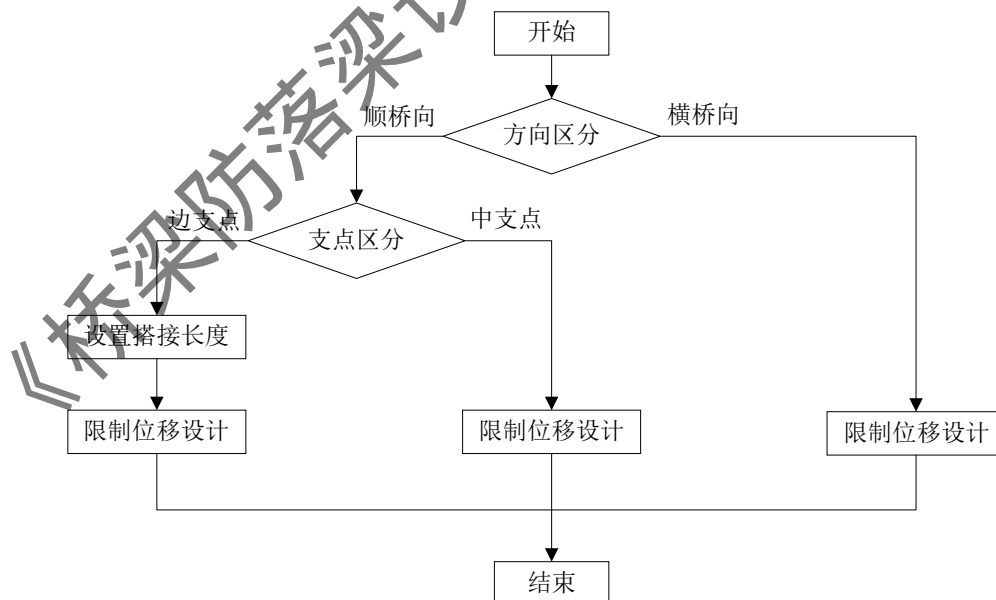


图 3.2.5 3 类方法桥梁防落梁设计流程

3.3 桥梁防落梁体系

3.3.1 桥梁防落梁体系应符合下列规定：

- 1 有可靠和稳定的传力途径。
- 2 有明确、可靠的防落梁装置，能有效控制结构地震位移，防止落梁。
- 3 桥梁下部结构与基础不应先于防落梁装置发生破坏。

3.3.2 支座与桥梁防落梁体系应协同设计。

3.3.3 在保护支座设计阶段，支座和用于保护支座的防落梁装置应正常工作，其他防落梁装置均不应参与工作。

3.3.4 在限制位移设计阶段，用于限制位移的防落梁装置应正常工作，支座应退出工作，其他防落梁装置应退出工作或不参与工作。

3.3.5 在防止坠落设计阶段，用于防止坠落的防落梁装置应正常工作，支座和其他防落梁装置均应退出工作。

3.3.6 采用 1 类方法时，应符合下列规定：

1 设置于同一边支点位置的顺桥向，分别用于保护支座、限制位移，以及防止坠落的防落梁装置，应依次发挥作用，且不应相互影响。

2 设置于同一中支点位置的顺桥向，分别用于保护支座和限制位移的防落梁装置，应依次发挥作用，且不应相互影响。

3 设置于同一支点位置的横桥向，分别用于保护支座和限制位移的防落梁装置，应依次发挥作用，且不应相互影响。

3.3.7 采用 2 类方法时，设置于同一支点位置的同一水平方向，分别用于保护支座和限制位移的防落梁装置，应依次发挥作用，且不应相互影响。

3.3.8 设置于同一支点位置的同一水平方向，分别用于不同阶段防落梁设计的防落梁装置宜独立设置。

3.3.9 设置于同一支点位置的不同水平方向，分别作用的防落梁装置不应相互影响。

3.3.10 设置于同一联桥不同支点位置的同一水平方向，分别用于同一阶段防落梁设计的防落梁装置宜采用相同的类型。

4 地震作用与组合

4.1 一般规定

4.1.1 地震作用可用设计加速度反应谱或设计地震动时程表征。

4.1.2 桥梁的地震作用应符合下列规定：

1 一般情况下，桥梁可只考虑水平向地震作用，直线桥可分别考虑顺桥向 X 和横桥向 Y 的地震作用。

2 对于城市桥梁，地震基本烈度为Ⅷ度或Ⅸ度时的长悬臂桥梁和大跨度桥梁，以及竖向地震作用引起的地震效应很重要时，应同时考虑水平向和竖向地震作用。

3 对于公路桥梁，满足下列条件之一时，应同时考虑水平向和竖向地震作用。

- 1) 甲类桥梁；
- 2) 地震基本烈度为Ⅸ度地区的桥梁；
- 3) 地震基本烈度为Ⅷ度地区且竖向地震作用引起的地震效应很显著的桥梁。

4.1.3 地震作用分量组合应符合下列规定：

1 采用反应谱法同时考虑三个正交方向（顺桥向 X 、横桥向 Y 和竖向 Z ）的地震作用时，可分别单独计算 X 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应 E_{ix} 、 Y 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应 E_{iy} ，以及 Z 向地震作用在 i 计算方向产生的最大效应 E_{iz} 。在 i 计算方向总的设计最大地震作用效应 E_i 按下式计算：

$$E_i = \sqrt{E_{ix}^2 + E_{iy}^2 + E_{iz}^2} \quad (4.1.3)$$

2 当采用时程分析法时，应同时输入两个或三个方向分量的一组地震动时程计算地震作用效应。

4.2 地震作用

4.2.1 城市桥梁的设计加速度反应谱、设计地震动时程、地震主动土压力和动水压力应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的有关规定。

4.2.2 公路桥梁的设计加速度反应谱、设计地震动时程、地震主动土压力和动

水压力应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

4.3 作用效应组合

4.3.1 桥梁防落梁设计应考虑下列作用效应：

1 永久作用，包括结构重力（含结构附加重力）、预加力、土的重力、土侧压力、水浮力。

2 可变作用，包括流水压力，以及在进行支座及防落梁装置等连接构件抗震验算时应计入 50% 的均匀温度作用。

3 地震作用，包括地震动的作用和地震主动土压力、动水压力等。

4.3.2 作用效应组合应包括本标准第 4.3.1 条规定中各种作用效应的最不利组合。作用效应的组合系数应取 1.0；当有特殊规定时，组合系数应按相关规定取值。

《桥梁防落梁设计标准》

5 搭接长度

5.1.1 桥梁搭接长度应满足最小值要求。

5.1.2 桥梁搭接长度应满足支座和防落梁装置的顺桥向变位需求。

5.1.3 桥台及过渡墩处的支座垫石顺桥向宜与台、墩最外边缘平齐。

5.1.4 简支梁桥和连续梁桥的搭接长度最小值 a (cm) (图 5.1.4) 应符合下列规定:

1 对于城市桥梁, 抗震措施设防烈度为VI度时, 应满足下式要求:

$$a \geq 40 + 0.5L_k \quad (5.1.4-1)$$

式中: L_k ——一联上部结构的最大单跨跨径 (m)。

2 对于城市桥梁, 抗震措施设防烈度为VII度时, 应满足下式要求:

$$a \geq 70 + 0.5L_k \quad (5.1.4-2)$$

3 对于公路桥梁, 应满足下式要求, 且不应小于 60cm:

$$a \geq 50 + 0.1L + 0.8H + 0.5L_k \quad (5.1.4-3)$$

式中: L ——一联上部结构总长度 (m);

H ——支承一联上部结构桥墩的平均高度 (m), 桥台的高度取值为 0。

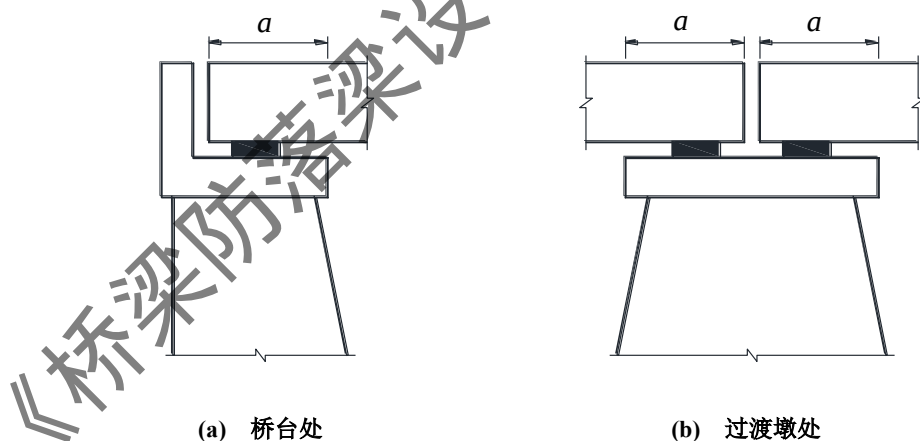


图 5.1.4 简支梁桥和连续梁桥的搭接长度最小值 a

5.1.5 斜桥的搭接长度最小值 a (cm) (图 5.1.5) 应符合下列规定:

1 对于城市桥梁, 应按式 (5.1.5-1) 和式 (5.1.4-1) 计算, 取较大值。

$$a \geq 50L_\theta [\sin\theta - \sin(\theta - \alpha_e)] \quad (5.1.5-1)$$

式中: L_θ ——一联斜桥上部结构总长度 (m);

θ ——斜桥的斜交角 ($^\circ$);

α_e ——极限脱落转角 ($^{\circ}$)，取 5° 。

2 对于公路桥梁，当满足式 (5.1.5-2) 的条件时，应按式 (5.1.5-1) 和式 (5.1.4-3) 计算，取较大值；当不满足式 (5.1.5-2) 的条件时，应按式 (5.1.4-3) 计算。对于连续斜梁桥，当梁端设置有顺桥向和横桥向防落梁装置时，可不受式 (5.1.5-1) 约束。

$$\frac{\sin 2\theta}{2} \geq \frac{b}{L_{\theta}} \quad (5.1.5-2)$$

式中： b ——上部结构总宽度 (m)。

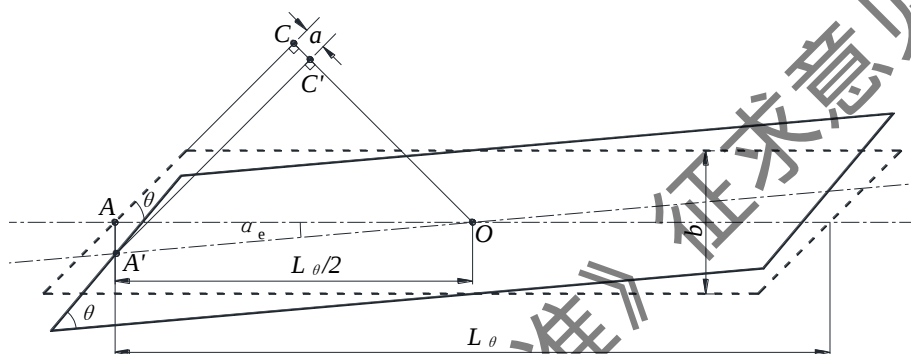


图 5.1.5 斜桥的搭接长度最小值 a

5.1.6 曲线桥的搭接长度最小值 a (cm) (图 5.1.6) 应符合下列规定：

1 对于城市桥梁，应按式 (5.1.6-1) 和式 (5.1.4-1) 计算，取较大值。

$$a \geq \delta_e \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi/2)} + 30 \quad (5.1.6-1)$$

$$\delta_e = 0.5\varphi + 70 \quad (5.1.6-2)$$

式中： δ_e ——上部结构端部向外侧的移动量 (cm)；

φ ——曲线梁的中心角 ($^{\circ}$)。

2 对于公路桥梁，当满足式 (5.1.6-3) 的条件时，应按式 (5.1.6-1) 和式 (5.1.4-3) 计算，取较大值；当不满足式 (5.1.6-3) 的条件时，应按式 (5.1.4-3) 计算。对于曲线桥梁，当梁端设置有顺桥向和横桥向防落梁装置时，可不受式 (5.1.6-1) 约束。

$$\frac{115}{\varphi} \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} > \frac{b}{L_{\varphi}} \quad (5.1.6-3)$$

式中： L_{φ} ——一联曲线桥上部结构中心线弧线长度 (m)。

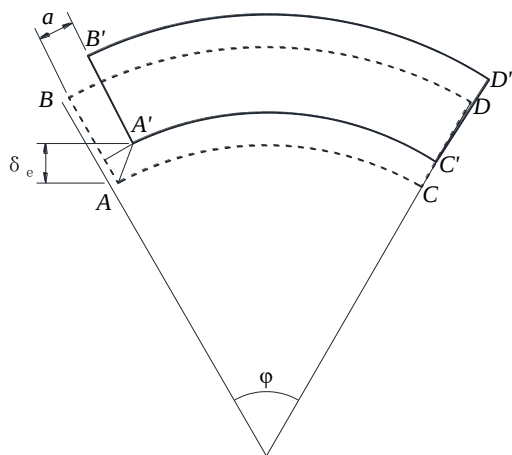


图 5.1.6 曲线桥的搭接长度最小值 a

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

6 防落梁装置

6.1 一般规定

- 6.1.1 防落梁装置应具有明确的恢复力模型。
- 6.1.2 防落梁装置应按照可到达、可检查、可维修和可更换的要求进行设计。
- 6.1.3 防落梁装置的连接件应牢固、可靠，不应先于防落梁装置本体发生破坏。

6.2 主要类型

- 6.2.1 防落梁装置可分为线弹性防落梁装置和非线性防落梁装置两类。

- 6.2.2 线弹性防落梁装置宜选用下列类型：

- 1 混凝土挡块（图 6.2.2-1）。
- 2 钢结构挡块（图 6.2.2-2）。
- 3 弹性防落梁装置（图 6.2.2-3）。
- 4 销耳式防落梁装置（图 6.2.2-4）。
- 5 缆索式防落梁装置（图 6.2.2-5）。

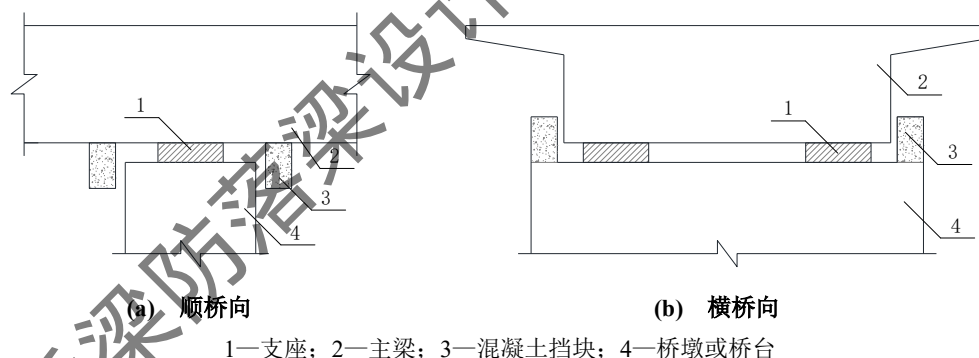


图 6.2.2-1 混凝土挡块

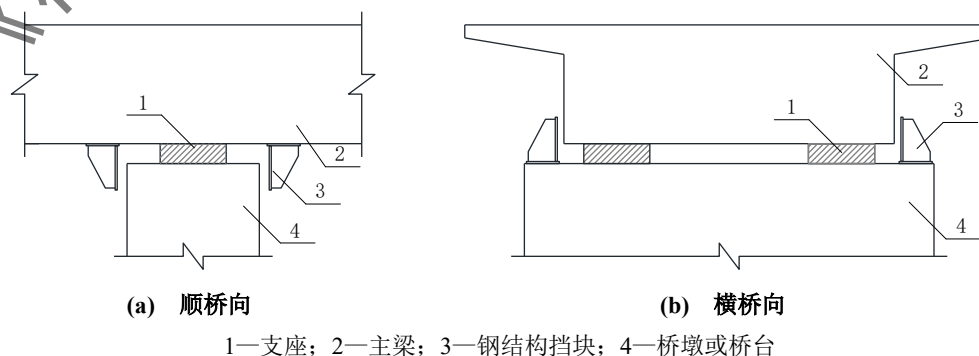
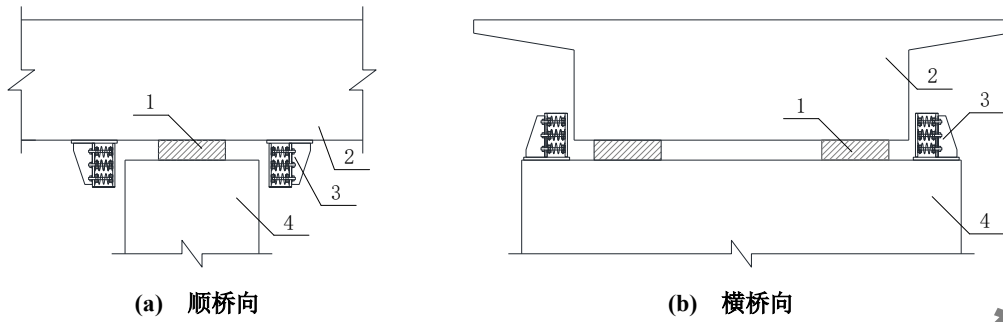
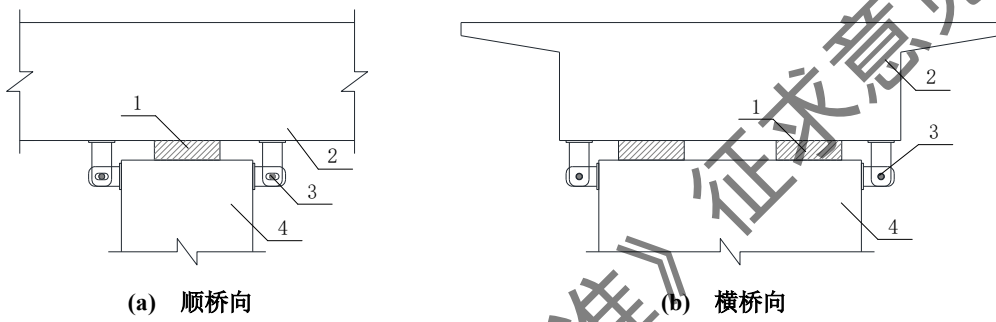


图 6.2.2-2 钢结构挡块



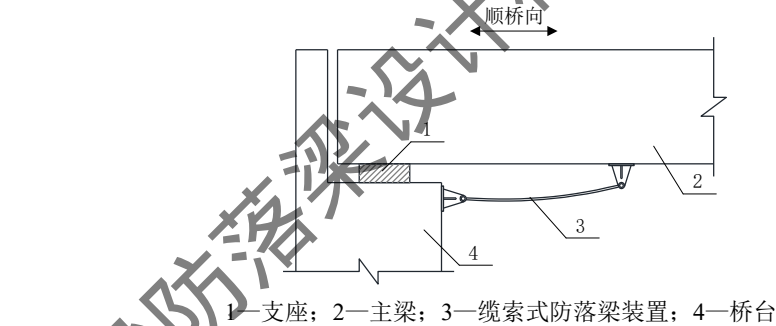
1—支座；2—主梁；3—弹性防落梁装置；4—桥墩或桥台

图 6.2.2-3 弹性防落梁装置



1—支座；2—主梁；3—销耳式防落梁装置；4—桥墩或桥台

图 6.2.2-4 销耳式防落梁装置

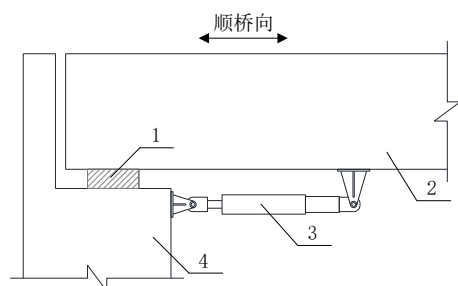


1—支座；2—主梁；3—缆索式防落梁装置；4—桥台

图 6.2.2-5 缆索式防落梁装置

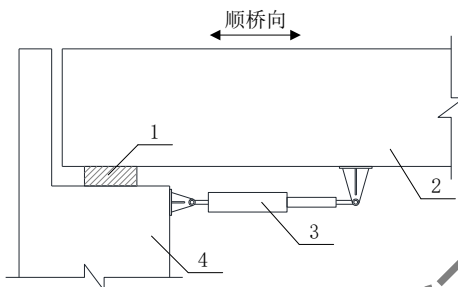
6.2.3 非线性防落梁装置宜选用下列类型：

- 1 黏滞流体阻尼器（图 6.2.3-1）。
- 2 电涡流阻尼器（图 6.2.3-2）。
- 3 榫形防落梁装置（图 6.2.3-3）。



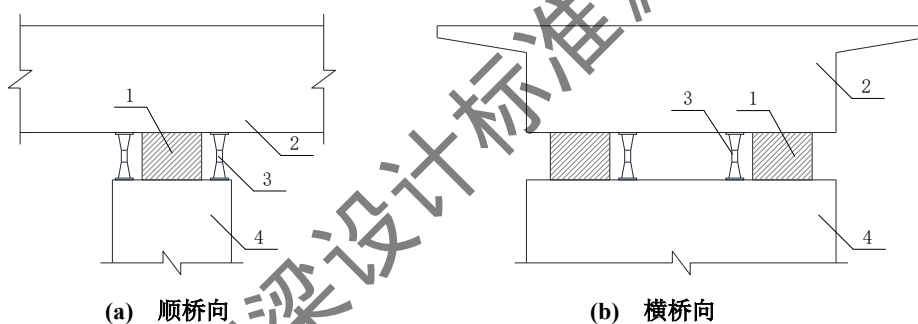
1—支座；2—主梁；3—黏滞流体阻尼器；4—桥台

图 6.2.3-1 黏滞流体阻尼器



1—支座；2—主梁；3—电涡流阻尼器；4—桥台

图 6.2.3-2 电涡流阻尼器



(a) 顺桥向

(b) 横桥向

1—支座；2—主梁；3—楔形防落梁装置；4—桥墩或桥台

图 6.2.3-3 楔形防落梁装置

6.2.4 防落梁装置的工作方式可分为单向受力和双向受力两种，其设置方式见附录 A。

6.3 恢复力模型

6.3.1 线弹性防落梁装置的恢复力模型如图 6.3.1 所示，其恢复力曲线应符合下列规定：

1 单向受力时，应满足下式要求：

$$F_e = \begin{cases} 0, & U_e \leq U_{e0} \\ K_e(U_e - U_{e0}), & U_e > U_{e0} \end{cases} \quad (6.3.1-1)$$

式中： F_e ——线弹性防落梁装置的水平力（kN）；

U_e ——线弹性防落梁装置的水平位移（m）；

U_{e0} ——线弹性防落梁装置的初始间隙（m）；

K_e ——线弹性防落梁装置的弹性刚度（kN/m），其计算方法见附录 B。

2 双向受力时，应满足下式要求：

$$F_e = \begin{cases} K_e(U_e + U_{e0}), & U_e < -U_{e0} \\ 0, & -U_{e0} \leq U_e \leq U_{e0} \\ K_e(U_e - U_{e0}), & U_e > U_{e0} \end{cases} \quad (6.3.1-2)$$

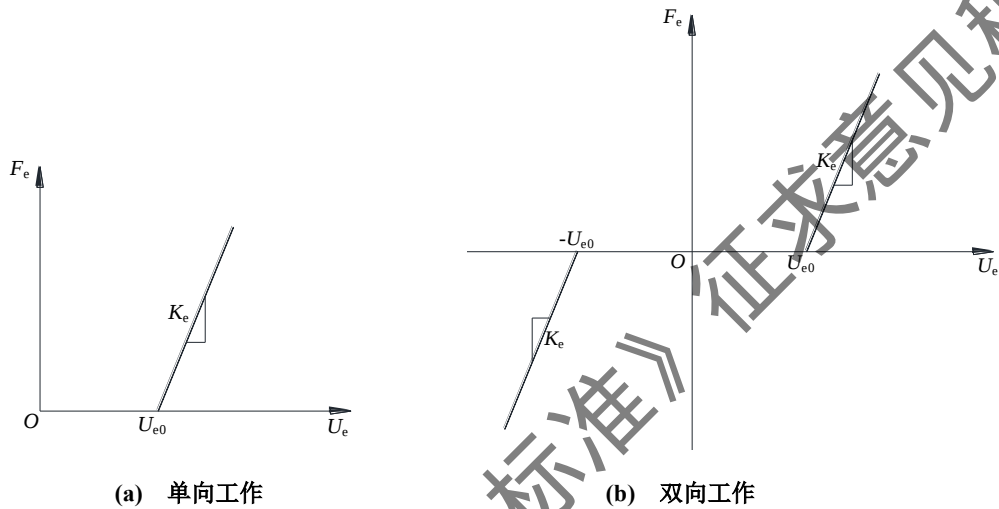


图 6.3.1 线弹性防落梁装置的恢复力模型

6.3.2 黏滞流体阻尼器的恢复力模型如图 6.3.2 所示，其恢复力曲线应满足下式要求：

$$F_{fvd} = C_{fvd} |v_{fvd}|^{\alpha_{fvd}} \text{sign}(v_{fvd}) \quad (6.3.2)$$

式中： F_{fvd} ——黏滞流体阻尼器的阻尼力（kN）；

C_{fvd} ——黏滞流体阻尼器的阻尼系数[kN/(m/s) $^{\alpha_{fvd}}$]

v_{fvd} ——黏滞流体阻尼器的运动速度（m/s）；

α_{fvd} ——黏滞流体阻尼器的速度指数；

$\text{sign}(v_{fvd})$ ——黏滞流体阻尼器运动速度的符号函数。

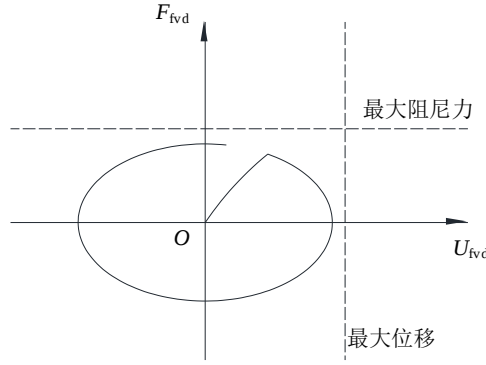


图 6.3.2 黏滞流体阻尼器的恢复力模型

6.3.3 电涡流阻尼器的恢复力模型如图 6.3.3 所示，其恢复力曲线应满足下式要求：

$$F_{ecd} = \begin{cases} C_{ecd}v_{ecd}, & v_{ecd} < v_{cr}/2 \\ F_{max}, & v_{ecd} \geq v_{cr}/2 \end{cases} \quad (6.3.3)$$

式中： F_{ecd} ——电涡流阻尼器的阻尼力（kN）；

C_{ecd} ——电涡流阻尼器的阻尼系数[kN/(m/s)]；

v_{ecd} ——电涡流阻尼器的运动速度（m/s）；

v_{cr} ——电涡流阻尼器的临界速度（m/s）；

F_{max} ——电涡流阻尼器的临界最大阻尼力（kN）。

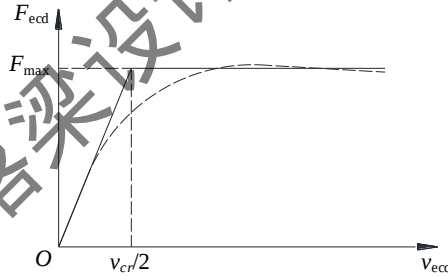


图 6.3.3 电涡流阻尼器的恢复力模型

6.3.4 榀形防落梁装置的恢复力模型如图 6.3.4 所示，其等效刚度和等效阻尼比可分别按下列公式计算：

$$K_{seq} = \frac{K_{s1}(U_{sy} - U_{s0}) + K_{s2}(U_{sm} - U_{sy})}{U_{sm}} \quad (6.3.4-1)$$

$$\xi_{seq} = \frac{2K_{s1}(U_{sy} - U_{s0})(1 - \alpha)(U_{sm} - U_{sy}) + K_{s2}(1 - \alpha)(U_{sm} - U_{sy})^2}{2\pi K_{seq} U_{sm}^2} \quad (6.3.4-2)$$

式中： K_{seq} ——榀形防落梁装置的等效刚度（kN/m）；

K_{s1} ——榀形防落梁装置的初始刚度（kN/m）；

U_{sy} ——榀形防落梁装置的屈服位移（m）；

U_{s0} ——榀形防落梁装置的初始间隙（m）；

K_{s2} ——榀形防落梁装置的二次刚度（kN/m）；

U_{sm} ——榀形防落梁装置的设计位移（m）；

ξ_{seq} ——榀形防落梁装置的等效阻尼比；

α ——榀形防落梁装置的二次刚度与初始刚度之比。

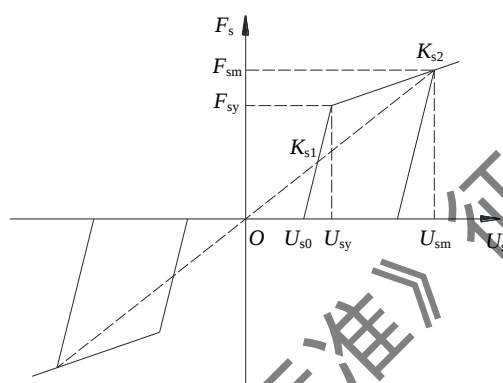


图 6.3.4 榀形防落梁装置的恢复力模型

6.4 技术参数

6.4.1 防落梁装置的设计使用年限不应低于 15 年。

6.4.2 线弹性防落梁装置、榀形防落梁装置的初始间隙应根据不同阶段防落梁设计的要求确定。

6.4.3 线弹性防落梁装置的弹性刚度实测值与设计值的允许偏差应为 $\pm 15\%$ 。

6.4.4 黏滞流体阻尼器的力学性能应符合现行行业标准《桥梁用黏滞流体阻尼器》JT/T 926 的有关规定。

6.4.5 电涡流阻尼器的临界最大阻尼力实测值与设计值的允许偏差应为 $\pm 15\%$ 。

6.4.6 榀形防落梁装置设计位移对应的水平承载力实测值与设计值的允许偏差应为 $\pm 15\%$ 。

6.5 构造细节

6.5.1 桥梁施工时应注意防落梁装置连接件的预埋。

6.5.2 防落梁装置安装时应避免对桥梁结构的破坏。

6.5.3 防落梁装置的耐久性应符合下列规定：

1 以混凝土为基材的防落梁装置应按照现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 进行耐久性设计。

2 以钢为基材的防落梁装置应按照现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722、《桥梁钢结构冷喷锌防腐技术条件》JT/T 1266 进行耐久性设计。

3 其他材料的耐久性设计应符合相关规范的规定。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

7 保护支座设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 用于保护支座的防落梁装置可采用线弹性或非线性防落梁装置。
- 7.1.2 用于保护支座的防落梁装置可独立设置，或与支座并联形成整体后设置。
- 7.1.3 用于保护支座的防落梁装置不宜影响桥梁在运营阶段的正常变位，否则，静力分析时应考虑防落梁装置的影响。
- 7.1.4 在保护支座设计阶段，防落梁装置不应改变桥梁抗震设防标准，不宜改变桥梁结构抗震体系。
- 7.1.5 设计地震作用下，防落梁装置除自身不应发生破坏外，还应避免支座发生超出其容许范围的水平位移或水平力。

7.2 应用条件

- 7.2.1 采用 1 类或 2 类方法时，当支座抗震验算不符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的规定时，应进行保护支座设计。
- 7.2.2 设计地震作用下，当普通板式橡胶支座的厚度验算或抗滑稳定性验算不通过时，应通过抗震分析设置防落梁装置，将普通板式橡胶支座的水平位移或水平力限制在容许范围之内。
- 7.2.3 设计地震作用下，当固定支座的水平承载力验算不通过时，应通过抗震分析设置防落梁装置，将固定支座的水平力限制在容许范围之内。
- 7.2.4 设计地震作用下，当滑板橡胶支座或活动支座的滑动水平位移验算不通过时，应通过抗震分析设置防落梁装置，将滑板橡胶支座或活动支座的水平位移限制在容许范围之内。
- 7.2.5 设计地震作用下，当减隔震支座的水平位移需要进行限制时，可通过抗震分析设置防落梁装置，将减隔震支座的水平位移限制在设定范围内。

7.3 抗震分析

- 7.3.1 在保护支座设计阶段，应进行设计地震作用下的桥梁抗震分析。

- 7.3.2 桥梁抗震分析时，应首先建立桥梁的动力计算模型。
- 7.3.3 桥梁的动力计算模型应能正确反映桥梁上部结构、下部结构、支座、防落梁装置和地基的刚度、质量分布及阻尼特性，并考虑相邻联的影响。
- 7.3.4 桥梁抗震分析时，应考虑支座和防落梁装置的影响。普通板式橡胶支座可采用线性弹簧单元模拟，固定支座可采用大刚度线性弹簧单元或主从连接模拟，滑板橡胶支座或活动支座可采用双线性理想弹塑性弹簧单元模拟，弹塑性和摩擦类减隔震支座可采用双线性弹塑性弹簧单元模拟，防落梁装置可按本标准第 6.3 节的有关规定进行模拟。
- 7.3.5 桥梁抗震分析宜采用非线性时程分析法。
- 7.3.6 防落梁装置的力学参数应根据桥梁抗震分析结果确定。
- 7.3.7 除防落梁装置外，其余构件的抗震分析应符合下列规定：
- 1 城市桥梁应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 执行。
 - 2 公路桥梁应按现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 执行。

7.4 抗震验算

7.4.1 对普通板式橡胶支座进行保护支座设计时，支座与防落梁装置的抗震验算应符合下列规定：

- 1 普通板式橡胶支座的厚度应满足下式要求：

$$\sum t_{lb} \geq \frac{U_{lb}}{\tan \gamma_{lb}} = U_{lb} \quad (7.4.1-1)$$

式中： t_{lb} ——普通板式橡胶支座的橡胶层总厚度（m）；

U_{lb} ——普通板式橡胶支座的水平位移计算值（m），按本标准第 4.3 节的有关规定组合，组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值；

$\tan \gamma_{lb}$ ——普通板式橡胶支座的橡胶片剪切角正切值，取 $\tan \gamma_{lb} = 1.0$ 。

- 2 普通板式橡胶支座的抗滑稳定性应满足下式要求：

$$\mu_{lb} R_b \geq E_{lb} \quad (7.4.1-2)$$

式中： μ_{lb} ——普通板式橡胶支座的动摩阻系数，支座与混凝土表面的动摩阻系

数取 0.25，与钢板的动摩阻系数取 0.20；

R_b ——上部结构重力在普通板式橡胶支座上产生的反力（kN）；

E_{lb} ——普通板式橡胶支座的水平力计算值（kN），按本标准第 4.3 节的有关规定组合，组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值。

3 防落梁装置的设计水平位移应满足下列公式要求：

$$U_{bpd} \geq U_{bp} \quad (7.4.1-3)$$

$$U_{bpd} = U_{bp0} + U_{bpa} \quad (7.4.1-4)$$

式中： U_{bpd} ——用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移（m）；

U_{bp} ——用于保护支座的防落梁装置的水平位移计算值（m），按本标准第 4.3 节的有关规定组合，组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值；

U_{bp0} ——用于保护支座的防落梁装置的初始间隙（m）；

U_{bpa} ——用于保护支座的防落梁装置的容许水平位移（m）。

4 防落梁装置的设计水平承载力应满足下式要求：

$$E_{bpd} \geq E_{bp} \quad (7.4.1-5)$$

式中： E_{bpd} ——用于保护支座的防落梁装置的设计水平承载力（kN）；

E_{bp} ——用于保护支座的防落梁装置的水平力计算值（kN），按本标准第 4.3 节的有关规定组合，组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值。

7.4.2 对固定支座进行保护支座设计时，支座与防落梁装置的抗震验算应符合下列规定：

1 固定支座的设计水平承载力应满足下式要求：

$$E_{fbd} \geq E_{fb} \quad (7.4.2)$$

式中: E_{fbd} ——固定支座的设计水平承载力 (kN);

E_{fb} ——固定支座的水平力计算值 (kN), 按本标准第 4.3 节的有关规定组合, 组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值。

2 防落梁装置的设计水平承载力按式 (7.4.1-5) 验算。

7.4.3 对滑板橡胶支座或活动支座进行保护支座设计时, 支座与防落梁装置的抗震验算应符合下列规定:

1 滑板橡胶支座或活动支座的设计水平位移应满足下式要求:

$$U_{\text{sbd}} \geq U_{\text{sb}} \quad (7.4.3)$$

式中: U_{sbd} ——滑板橡胶支座或活动支座的设计水平位移 (m);

U_{sb} ——滑板橡胶支座或活动支座的水平位移计算值 (m), 按本标准第 4.3 节的有关规定组合, 组合系数按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 取值。

2 防落梁装置的设计水平位移应按式 (7.4.1-3) 验算。

3 防落梁装置的设计水平承载力应按式 (7.4.1-5) 验算。

7.4.4 对减隔震支座进行限位设计时, 支座与防落梁装置的抗震验算应符合下列规定:

1 减隔震支座应根据具体的产品性能指标进行验算。

2 防落梁装置的设计水平位移应按式 (7.4.1-3) 验算。

3 防落梁装置的设计水平承载力应按式 (7.4.1-5) 验算。

7.4.5 桥梁其他构件的抗震验算应符合下列规定:

1 城市桥梁应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 执行。

2 公路桥梁应按现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01

执行。

8 限制位移设计

8.1 一般规定

8.1.1 用于限制位移的防落梁装置宜采用线弹性防落梁装置，也可采用非线性防落梁装置。

8.1.2 用于限制位移的防落梁装置宜独立设置。

8.1.3 用于限制位移的防落梁装置不应影响桥梁在运营阶段的正常变位。

8.2 应用条件

8.2.1 所有桥梁在顺桥向和横桥向均需进行限制位移设计。

8.2.2 超预期地震作用下，在支座的水平位移或水平力超出其容许范围后，应采用防落梁装置限制桥梁上部结构与下部结构之间的相对水平位移继续增大。

8.3 工作性能

8.3.1 在限制位移设计阶段，可不考虑支座传递水平力。

8.3.2 当支座和用于保护支座的防落梁装置退出工作后，用于限制位移的防落梁装置宜立即参与受力。

8.3.3 设置于同一联桥梁内的同一方向上用于限制位移的防落梁装置，在边支点和中支点处宜采用相同的设计水平位移。

8.3.4 采用线弹性防落梁装置进行限制位移设计时，宜选用弹性刚度较小的防落梁装置。

8.3.5 在限制位移设计阶段，桥梁下部结构与基础不应先于防落梁装置发生破坏。

8.4 抗震验算

8.4.1 用于限制位移的防落梁装置设置于顺桥向时，其设计水平位移验算应符合下列规定：

1 采用 1 类方法时，防落梁装置的设计水平位移应满足下列公式要求：

$$U_{\text{drd}} \leq U_{\text{fp0}} \quad (8.4.1-1)$$

$$U_{\text{drd}} = U_{\text{dro}} + U_{\text{dra}} \quad (8.4.1-2)$$

$$U_{\text{dro}} \geq \max(U_{\text{bdl}}, U_{\text{bpl}}) \quad (8.4.1-3)$$

式中： U_{drd} ——用于限制位移的防落梁装置的设计水平位移（m）；

U_{fp0} ——用于防止坠落的防落梁装置的初始间隙（m）；

U_{dro} ——用于限制位移的防落梁装置的初始间隙（m）；

U_{dra} ——用于限制位移的防落梁装置的容许水平位移（m）；

U_{bdl} ——支座的顺桥向设计水平位移（m），取同一联桥梁内所有支座顺桥向设计水平位移的最大值；

U_{bpl} ——顺桥向用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移（m），如有该装置，取同一联桥梁内顺桥向所有装置设计水平位移的最大值；如无，则取 0。

2 采用 2 类方法时，防落梁装置的设计水平位移应满足下式要求：

$$U_{\text{drd}} \leq 0.0075a \quad (8.4.1-4)$$

式中： a ——搭接长度最小值（cm）。

8.4.2 用于限制位移的防落梁装置设置于横桥向时，其设计水平位移应满足下列公式要求：

$$U_{\text{drd}} \geq U_{\text{dro}} + 0.05 \quad (8.4.2-1)$$

$$U_{\text{dro}} \geq \max(U_{\text{bdt}}, U_{\text{bpt}}) \quad (8.4.2-2)$$

式中： U_{bdt} ——支座的横桥向设计水平位移（m），取同一联桥梁内所有支座横桥向设计水平位移的最大值；

U_{bpt} ——横桥向用于保护支座的防落梁装置的设计水平位移（m），如有该装置，取同一联桥梁内横桥向所有装置设计水平位移的最大值；如无，则取 0。

8.4.3 用于限制位移的防落梁装置的设计水平承载力应满足下式要求：

$$E_{\text{drd}} \geq R_d A / g \quad (8.4.3)$$

式中： E_{drd} ——用于限制位移的防落梁装置的设计水平承载力（kN）；

R_d ——上部结构重力在同一列支座上产生的反力之和（kN），对于顺

桥向仅设置单向受力防落梁装置的情形，取本跨桥梁上部结构重力产生的反力之和；

A ——基本地震动峰值加速度，根据地震基本烈度按表 3.1.1 取值；

g ——重力加速度。

8.4.4 在限制位移设计阶段，桥梁下部结构与基础可采用防落梁装置的设计水平承载力，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 进行强度验算。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

9 防止坠落设计

9.1 一般规定

9.1.1 用于防止坠落的防落梁装置宜采用单向受力线弹性防落梁装置。

9.1.2 用于防止坠落的防落梁装置宜独立设置。

9.1.3 用于防止坠落的防落梁装置不应影响桥梁在运营阶段的正常变位。

9.2 应用条件

9.2.1 采用 1 类方法时，桥梁的边支点在顺桥向应进行防止坠落设计。

9.2.2 超预期地震作用下，在桥梁上部结构与下部结构之间的顺桥向相对位移超过 75% 搭接长度前，应采用防落梁装置防止桥梁上部结构从下部结构脱离而发生坠落。

9.3 工作性能

9.3.1 在防止坠落设计阶段，可不考虑支座传递水平力。

9.3.2 采用线弹性防落梁装置进行防止坠落设计时，宜选用弹性刚度较大的防落梁装置。

9.3.3 用于防止坠落的防落梁装置宜采用缓冲材料以缓和地震时的冲击。

9.3.4 设计用于防止坠落的防落梁装置时，应考虑桥梁上部结构与下部结构之间横桥向相对位移的影响。

9.3.5 在防止坠落设计阶段，桥梁下部结构与基础不应先于防落梁装置发生破坏。

9.4 抗震验算

9.4.1 用于防止坠落的防落梁装置的设计水平位移应满足下列公式要求：

$$U_{\text{fpd}} \leq 0.0075a \quad (9.4.1-1)$$

$$U_{\text{fpd}} = U_{\text{fp0}} + U_{\text{fpa}} \quad (9.4.1-2)$$

式中： U_{fpd} ——用于防止坠落的防落梁装置的设计水平位移（m）；

a ——搭接长度最小值（cm）；

U_{fp0} ——用于防止坠落的防落梁装置的初始间隙（m）；

U_{fpa} ——用于防止坠落的防落梁装置的容许水平位移（m）。

9.4.2 用于防止坠落的防落梁装置的设计水平承载力应满足下式要求：

$$E_{\text{fpd}} \geq 1.5R_{\text{ds}} \quad (9.4.2)$$

式中： E_{fpd} ——用于防止坠落的防落梁装置的设计水平承载力（kN）；

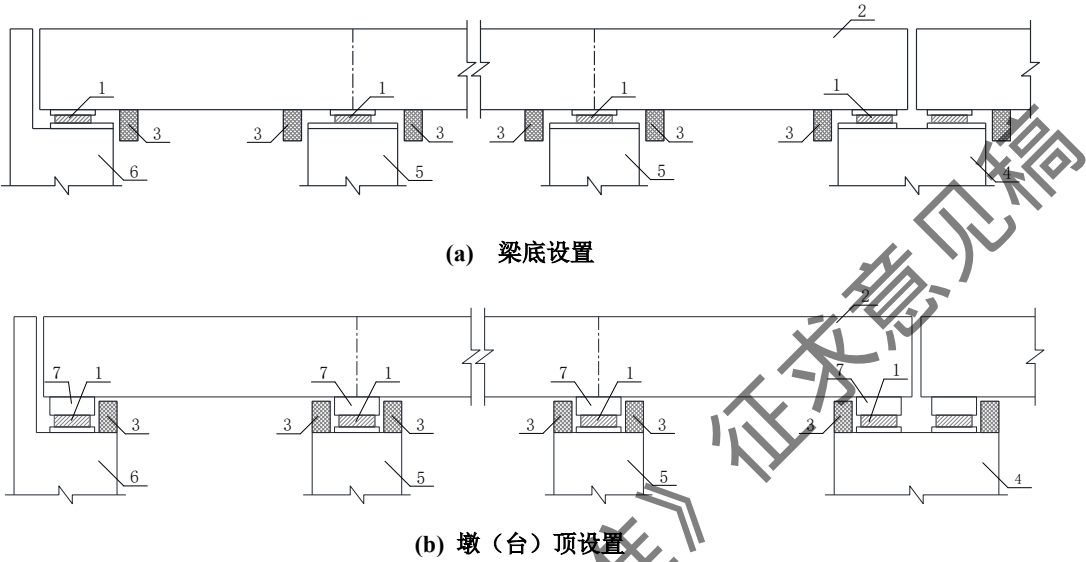
R_{ds} ——上部结构重力在边支点位置一列支座上产生的反力之和（kN）。

9.4.3 在防止坠落设计阶段，桥梁下部结构与基础可采用防落梁装置的设计水平承载力，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 进行强度验算。

附录 A 防落梁装置的设置方式

A. 0. 1 防落梁装置沿顺桥向设置时，可采用如下方式：

1 对于单向受力防落梁装置，可按图 A. 0. 1-1 设置：



1—支座；2—主梁；3—单向受力防落梁装置；4—共用墩；5—中墩；6—桥台；7—支座垫石

图 A. 0. 1-1 单向受力防落梁装置顺桥向设置方式

2 对于双向受力防落梁装置，可按图 A. 0. 1-2 设置：

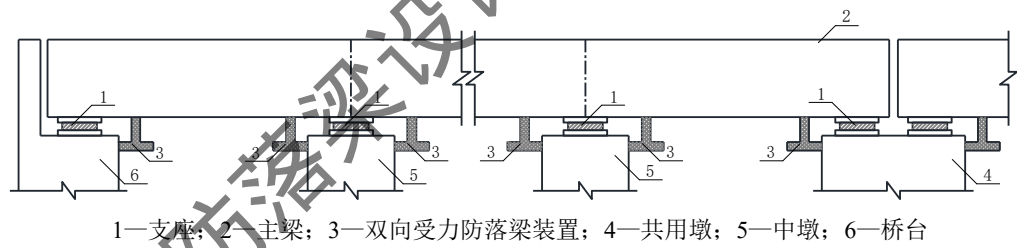
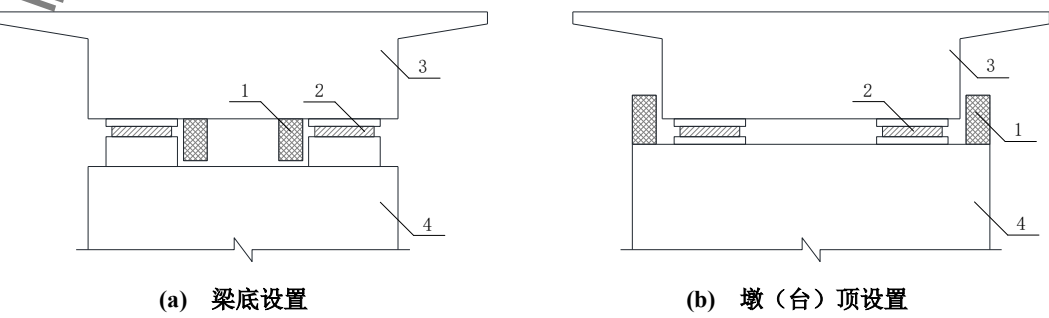


图 A. 0. 1-2 双向受力防落梁装置顺桥向设置方式

A. 0. 2 防落梁装置沿横桥向设置时，可采用如下方式：

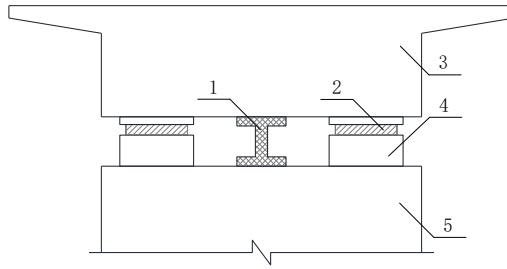
1 对于单向受力防落梁装置，可按图 A. 0. 2-1 设置：



1—单向受力防落梁装置；2—支座；3—主梁；4—桥墩或桥台

图 A. 0. 2-1 单向受力防落梁装置横桥向设置方式

2 对于双向受力防落梁装置，可按图 A. 0. 2-2 设置：



1—双向受力防落梁装置；2—支座；3—主梁；4—支座垫石；5—桥墩或桥台

图 A. 0. 2-2 双向受力防落梁装置横桥向设置方式

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

附录 B 弹性刚度的计算方法

B. 0. 1 混凝土挡块的弹性刚度宜根据原型试验确定，资料不足时可取大值。

B. 0. 2 钢结构挡块的弹性刚度宜根据原型试验确定，资料不足时可取大值。

B. 0. 3 弹性防落梁装置的弹性刚度宜根据原型试验确定，资料不足时可按下列公式计算：

$$K_{\text{ead}} = N_s K_s \quad (\text{B. 0. 3-1})$$

$$K_s = \frac{G_s d_s^4}{8 D_s^3 n_s} \quad (\text{B. 0. 3-2})$$

式中： K_{ead} ——弹性防落梁装置的弹性刚度（kN/m）；

N_s ——弹性防落梁装置中的弹簧根数；

K_s ——单根弹簧的压缩刚度（kN/m）；

G_s ——弹簧材料的切变模量（kN/m²）；

d_s ——单根弹簧的线径（m）；

D_s ——单根弹簧的中径（m）；

n_s ——单根弹簧的有效圈数。

B. 0. 4 销耳式防落梁装置的弹性刚度宜根据原型试验确定，资料不足时可取大值。

B. 0. 5 缆索式防落梁装置的弹性刚度宜根据原型试验确定，资料不足时可按下式计算：

$$K_c = \frac{E_c A_c}{L_c} \quad (\text{B. 0. 5})$$

式中： K_c ——缆索式防落梁装置的弹性刚度（kN/m）；

E_c ——缆索的弹性模量（kN/m²）；

A_c ——缆索的面积（m²）；

L_c ——缆索的长度（m）。

用词说明

为便于在执行本标准条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词用“不应”或“不得”。

- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《中国地震动参数区划图》GB 18306

《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01

《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310

《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722

《桥梁用黏滞流体阻尼器》JT/T 926

《桥梁钢结构冷喷锌防腐技术条件》JT/T 1266

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

桥梁防落梁设计标准

T/CECS XXX-2025

条文说明

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

制 定 说 明

本标准制定过程中，编制组进行了桥梁防落梁设计理论、方法及装置的调查研究，总结了我国桥梁防落梁设计的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过原型试验取得了常用防落梁装置的技术参数。

本标准以兜底线、保重点、控投资为原则进行编制。针对桥梁防落梁设防标准不明确的问题，本标准提出了支座和防落梁装置的抗震设防标准；针对桥梁防落梁设计无章可循的问题，本标准提出了分阶段防落梁设计方法；针对防落梁装置设置五花八门的问题，本标准制定了常用防落梁装置的技术要求；针对防落梁装置效果无法验证的问题，本标准提出了防落梁装置应具备明确的恢复力模型。考虑到地震的不确定性，本标准采用了定性与定量相结合的桥梁防落梁设计方法，需要随着桥梁抗震理论研究的不断深入而完善。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《桥梁防落梁设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总则.....	(42)
2 术语和符号.....	(44)
3 基本规定.....	(45)
3.1 抗震设防分类与设防标准	(45)
3.2 桥梁防落梁设计方法	(46)
3.3 桥梁防落梁体系	(48)
4 地震作用与组合.....	(50)
4.1 一般规定	(50)
4.2 地震作用	(50)
4.3 作用效应组合	(50)
5 搭接长度.....	(51)
6 防落梁装置.....	(52)
6.1 一般规定	(52)
6.2 主要类型	(52)
6.3 恢复力模型	(523)
6.4 技术参数	(53)
6.5 构造细节	(53)
7 保护支座设计.....	(54)
7.1 一般规定	(54)
7.2 应用条件	(54)
7.3 抗震分析	(55)
7.4 抗震验算	(55)
8 限制位移设计.....	(57)
8.1 一般规定	(57)
8.2 应用条件	(57)
8.3 工作性能	(57)
8.4 抗震验算	(58)

9 防止坠落设计.....	(59)
9.1 一般规定.....	(59)
9.2 应用条件.....	(57)
9.3 工作性能.....	(59)
9.4 抗震验算.....	(60)

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

1 总 则

1.0.1 我国处于世界两大地震带即环太平洋地震带和亚欧地震带之间，是一个强震多发国家。我国地震的特点是发生频率高、强度大、分布范围广、伤亡大、灾害严重。几乎所有的省、自治区、直辖市都发生过六级以上的破坏性地震。历次震害调查表明，落梁是发生频率极高、破坏性极大、修复极为困难的桥梁震害形式。作为生命线系统工程的重要组成部分，桥梁一旦发生落梁，将造成城市与公路交通中断，严重影响抗震救灾与灾后重建工作，进而引发长期的社会、政治和经济问题。

防落梁设计是避免或降低桥梁在地震作用下发生落梁的直接手段，是实现“大震不倒”抗震设防标准的有效措施。但是，现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 尚未给出具体的防落梁设计方法，仅规定通过采取抗震措施实现防落梁功能。因此，工程实践中出现了防落梁设计无章可循、防落梁装置设置五花八门、防落梁效果无法验证的情况。与此同时，随着国内外桥梁防落梁理论研究的不断深入和防落梁设计实践的不断丰富，桥梁防落梁技术取得长足发展。因此，为规范和指导城市与公路桥梁防落梁设计，在广泛吸收、消化国内外桥梁防落梁设计成熟新技术的基础上，编制本标准。

1.0.2 桥梁防落梁设计是对桥梁抗震设计的必要补充。现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 适用于新建及改扩建工程，尚未涉及加固工程。研究表明，既有桥梁抗震加固设计非常复杂，需要经过检测、评估、加固、评价等多个环节，还没有形成系统完整的设计方法。因此，从保持规范体系一致性和有效性的角度出发，规定了本标准适用的工程范围。

梁桥量大面广，是应用最为广泛的桥型。震害调查表明，梁桥是在地震作用下发生落梁的主要桥型。因此，梁桥的落梁问题具有典型性与普遍性。对于地震基本烈度为VI、VII、VIII和IX度地区的梁桥，现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 均要求采取防落梁措施，但是缺少具体的防落梁设计方法；对于拱桥、斜拉桥和悬索桥，因其自身独特性，尚未形成系统有效的防落梁设计方法，需要专门研究；对于

地震基本烈度大于IX度地区（地震安全性评价的结果中可能出现）的梁桥，其防落梁设计更是缺少成熟经验，也需要专门研究。因此，从保障多数的角度出发，同时兼顾规范体系的一致性和有效性，规定了本标准适用的桥型范围。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

2 术语和符号

本章仅将本标准出现的、工程师较为生疏的术语列出。术语的解释，其中部分是国际或国内公认的定义，但大部分是概括性的涵义。术语的英文名称不是标准化名称，仅供引用时参考。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

3 基本规定

3.1 抗震设防分类与设防标准

3.1.1 引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

3.1.2 引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。其中，城市桥梁根据结构形式、在城市交通网络中位置的重要性以及承担的交通量，分为甲、乙、丙和丁四种抗震设防分类；公路桥梁从确保重点和节约投资的角度出发，分为 A 类、B 类、C 类和 D 类四种抗震设防类别。

可以看出，城市桥梁抗震设防分类和公路桥梁抗震设防类别的划分原则基本一致，并无本质区别。本标准以城市与公路桥梁为应用对象，从统一性的角度出发，将“抗震设防分类”和“抗震设防类别”统一表述为“抗震设防分类”，将“甲、乙、丙、丁”和“A 类、B 类、C 类、D 类”统一表述为甲、乙、丙和丁四类。

3.1.3 防落梁装置是桥梁防落梁设计所采用的主要构件，其主要作用是限制桥梁上、下部结构之间的不利相对水平位移。对于梁桥，桥梁上、下部结构之间的连接方式包括固结和支座连接。其中，采用固结的桥梁在地震中往往出现下部结构强度破坏，而非落梁；震害调查揭示，采用支座连接的桥梁经常会发生落梁。因此，防落梁装置应与支座对应设置，用于限制支座位置处桥梁上、下部结构之间的不利相对水平位移。

3.1.4 落梁历程大致可分为三个阶段：支座正常变位阶段、上部结构自由滑移阶段，以及上部结构失稳坠落阶段（图 1）。对应落梁历程，桥梁防落梁设计可分为三个阶段：保护支座设计阶段、限制位移设计阶段，以及防止坠落设计阶段。在保护支座设计阶段，防落梁装置的主要功能是避免支座的水平位移或水平力超出其容许范围，确保支座正常工作；在限制位移设计阶段，防落梁装置的主要功能是在支座退出工作后，将桥梁上、下部结构之间的相对水平位移限制在一定范围之内；在防止坠落设计阶段，防落梁装置的主要功能是在上部结构出现失稳之前，通过拉拽或阻挡作用防止其发生坠落。可见，不同阶段防

落梁设计对于防落梁装置限位功能的要求是不同的，需根据各阶段特点选用。

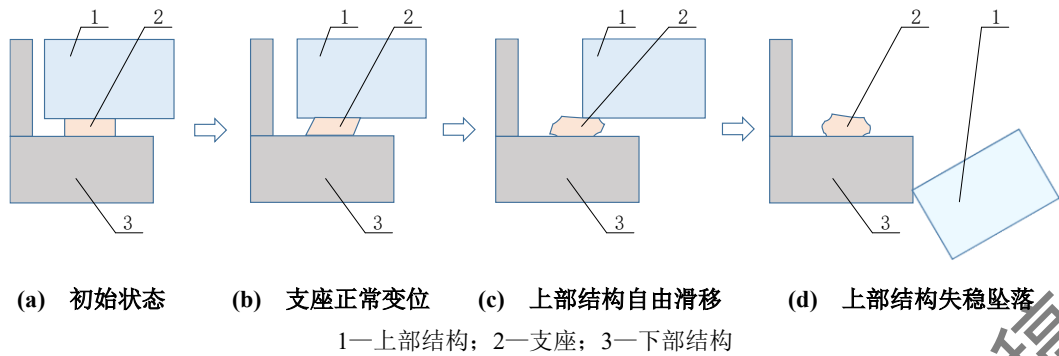


图1 落梁历程示意

3.1.5 支座和防落梁装置的抗震设防标准应根据不同阶段防落梁设计的目标确定。根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，设计地震作用下，支座不应发生破坏，如其水平位移或水平力不满足验算要求时，可由限位装置和支座共同变位或传递水平力。因此，设计地震作用下，支座和用于保护支座的防落梁装置（即限位装置）应正常工作，其主要地震效应（水平位移、水平力）应满足验算要求。此时，用于限制位移和用于防止坠落的防落梁装置均不发挥作用。

超预期地震作用下，支座和用于保护支座的防落梁装置均会因水平位移或水平力超过容许范围而退出工作，此后将由用于限制位移的防落梁装置参与工作，以限制桥梁上、下部结构之间的相对水平位移。但是，由于超预期地震作用的特征（包括强度、频谱特性、持续时间等）无法预测，理论上讲仍有可能造成用于限制位移的防落梁装置发生破坏。如一味增大该防落梁装置的设计水平承载力，将使得构造上难以实现且经济上无法接受，因此允许其发生破坏。对于部分抗震设防分类或（和）地震基本烈度较高的桥梁，从确保重点的角度出发，要求用于限制位移的防落梁装置退出工作后，由用于防止坠落的防落梁装置接续工作，确保上部结构不发生坠落。

3.2 桥梁防落梁设计方法

3.2.1 为确保城市与公路桥梁的抗震安全性，降低落梁发生的概率，同时考虑投资成本，本标准根据桥梁抗震设防分类和地震基本烈度对防落梁设计方法进行分类。总的原则是要求抗震设防分类、地震基本烈度高的桥梁开展更全面的

防落梁设计。其中，保护支座设计适用于支座抗震验算不通过的情形，并非所有桥梁都需要开展；限制位移设计是阻止桥梁上部结构失稳并坠落的必要环节，要求所有桥梁均需开展；防止坠落设计适用于抗震设防分类、地震基本烈度高的桥梁，目的在于确保重点。

需要指出的是，当支座作为能力保护构件进行设计时，支座在设计地震作用下是不会发生破坏的，理论上不需要进行限制位移设计；但是，考虑到超预期地震作用的不可预测性，支座仍存在失效的可能性。因此，从降低落梁风险的角度出发，仍要求所有桥梁均需开展限制位移设计。

3.2.2 根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166，对于地震基本烈度为Ⅵ度地区的丙、丁两类桥梁可不进行抗震分析和抗震验算；根据现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，对于地震基本烈度为Ⅵ度地区的乙、丙、丁三类桥梁可不进行抗震分析和抗震验算。可见，上述城市与公路桥梁无需进行支座抗震验算，故不用开展保护支座设计；考虑此类桥梁的地震基本烈度较低，兼顾投资成本，也不再开展防止坠落设计。综上，此类桥梁采用 3 类方法进行防落梁设计。

对于甲类桥梁、地震基本烈度为Ⅷ度和Ⅸ度地区的乙类桥梁，以及地震基本烈度为Ⅸ度地区的丙、丁两类桥梁，考虑其抗震设防分类或（和）地震基本烈度较高，从确保重点的角度出发，要求此类桥梁采用 1 类方法进行防落梁设计。

对于其他桥梁，根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，需要对其进行抗震分析和抗震验算。考虑此类桥梁有可能出现支座抗震验算不通过的情形，故要求开展保护支座设计；考虑此类桥梁抗震设防分类、地震基本烈度不高，同时兼顾投资成本，故不再开展防止坠落设计。综上，此类桥梁采用 2 类方法进行防落梁设计。

3.2.6 采用结构简支、桥面连续的桥梁，其受力模式与简支梁相同，桥面连续仅为构造措施。震害调查表明，当此类桥梁中支点处上部结构与盖梁在顺桥向发生脱离时，将会出现桥面连续破坏、上部结构落梁的现象。因此，此类桥梁的中支点应作为边支点进行防落梁设计。

3.2.7 对于采用 1 类和 2 类方法进行防落梁设计的桥梁，现行行业标准《城市

桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 均要求对其进行抗震分析和抗震验算，并规定了不同类型支座的抗震验算方法。

3.3 桥梁防落梁体系

3.3.1 桥梁防落梁体系是指各阶段防落梁设计所采取的结构体系的总称。系统传力顺畅、装置受力明确是确保桥梁防落梁体系有效运行的基础。同时，为保证各阶段防落梁装置正常工作，桥梁下部结构与基础应维持其承载功能。

3.3.2 桥梁防落梁设计与支座的变位及受力特征密切相关，而支座的变位及受力特征又受到防落梁装置的影响，因此二者应协同设计。

3.3.3 在保护支座设计阶段，支座和用于保护支座的防落梁装置并联设置、协同变位，共同承担上部结构传至下部结构的地震水平力。同时，为确保本阶段桥梁防落梁体系清晰，用于其后阶段防落梁设计的防落梁装置均应处于不工作状态。

3.3.4 在限制位移设计阶段，支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）均已失效，仅用于限制位移的防落梁装置发挥作用。同时，为确保本阶段桥梁防落梁体系清晰，用防止坠落的防落梁装置（如有）应处于不工作状态。

3.3.5 在防止坠落设计阶段，支座、用于保护支座的防落梁装置（如有）和用于限制位移的防落梁装置均已失效，仅用于防止坠落的防落梁装置发挥作用。

3.3.6 采用 1 类方法时，顺桥向边支点采用三阶段防落梁设计，分别对应落梁历程的三个阶段；顺桥向中支点和横桥向支点均采用两阶段防落梁设计，分别对应落梁历程的前两个阶段。由于落梁历程的各阶段是依次发生的，相应的用于各阶段防落梁设计的防落梁装置需要依次发挥作用。为确保各阶段桥梁防落梁体系清晰，要求分别用于各阶段防落梁设计的防落梁装置独立工作。

3.3.7 采用 2 类方法时，各支点均采用两阶段防落梁设计，分别对应落梁历程的前两个阶段。由于落梁历程的前两个阶段是依次发生的，相应的用于两阶段防落梁设计的防落梁装置需要依次发挥作用。为确保各阶段桥梁防落梁体系清晰，要求分别用于两阶段防落梁设计的防落梁装置独立工作。

3.3.8 根据本标准第 3.3.3 条~第 3.3.5 条的规定，在不同阶段防落梁设计中，仅有一种防落梁装置发挥作用；根据本标准第 3.3.6 条、第 3.3.7 条的规定，

用于不同阶段防落梁设计的防落梁装置应依次发挥作用。因此，为避免各阶段防落梁装置相互影响，建议独立设置；如设置空间有限，在确保各阶段防落梁装置依次发挥作用的前提下，可采用单个防落梁装置实现多种限位功能。

3.3.9 为确保桥梁防落梁体系清晰，要求分别设置于两个水平方向上的防落梁装置独立工作。

3.3.10 从设计统一、受力明确、施工便捷的角度出发，提出本条规定。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

4 地震作用与组合

4.1 一般规定

4.1.1 根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166，地震作用采用设计加速度反应谱和设计地震动时程表征；根据现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，地震作用采用设计加速度反应谱、设计地震动时程和设计地震动功率谱表征。在桥梁抗震设计实践中，采用功率谱方法的情形极少。因此，本标准建议采用设计加速度反应谱和设计地震动时程表征地震作用。

4.1.2 引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的有关规定，并根据本标准适用范围进行调整。

4.1.3 引自现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

4.2 地震作用

引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

4.3 作用效应组合

4.3.1 针对桥梁防落梁设计的特点，在现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 所考虑作用的基础上，更全面地考虑可能出现的作用，并根据现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 对各种作用的名称进行统一表述。

4.3.2 引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

5 搭接长度

5.1.1 搭接长度最小值是现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 考虑桥梁平面形状（直桥、斜桥、曲线桥）、桥宽、桥长、跨径、墩高等因素综合确定的，是降低顺桥向落梁风险的基本措施，需要满足。

5.1.2 搭接长度应为支座和防落梁装置提供发生顺桥向变位的空间。

5.1.3 引自现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

5.1.4~5.1.6 引自现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166，以及现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

《桥梁防落梁设计标准》

征求意见稿

6 防落梁装置

6.1 一般规定

6.1.1 防落梁装置影响桥梁在地震作用下的力学行为，如设置不当将会引起桥梁构件（如支座、下部结构与基础等）发生破坏。以往受制于桥梁抗震研究和计算手段的局限性，防落梁装置通常被作为抗震措施进行设计。工程实践中，防落梁装置存在设置混乱、恢复力模型不明确的问题，造成其防落梁效果难以验证。随着桥梁抗震研究和计算手段的不断进步，当前有条件对防落梁装置进行定量分析，从而更为准确地预测桥梁在地震作用下的力学行为。因此，本标准要求防落梁装置具有明确的恢复力模型。

6.1.2 防落梁装置属于可更换构件。根据现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60，在设计使用年限内，可更换构件在满足可到达、可检查的基础上，需要同时满足可维修、可更换的设计要求。

6.1.3 连接件安全可靠是确保防落梁装置本体正常工作的前提。震害调查表明，连接件先于防落梁装置本体发生破坏的情形屡见不鲜，造成的后果是防落梁装置过早失效、未能实现防落梁功能。

6.2 主要类型

6.2.1 根据本标准第6.1.1条的规定，基于恢复力模型将防落梁装置划分为线弹性防落梁装置与非线性防落梁装置两类。

6.2.2、6.2.3 条文列出了工程实践中应用广泛且技术成熟的防落梁装置，设计时可根据本标准给出的防落梁设计方法选用。对于其他类型的防落梁装置，在经过充分可靠的理论分析、原型试验，以及产品检验等环节的基础上，可逐步纳入本标准。

6.2.4 不同类型的防落梁装置具有不同的工作方式。其中，部分线弹性防落梁装置（如混凝土挡块、钢结构挡块、弹性防落梁装置，以及缆索式防落梁装置）的工作方式为单向受力，部分线弹性防落梁装置（如销耳式防落梁装置）和非线性防落梁装置（如黏滞流体阻尼器、电涡流阻尼器，以及棒形防落梁装置）的工作方式为双向受力。

6.3 恢复力模型

根据防落梁装置的相关规范及成熟研究成果，给出其恢复力模型。

6.4 技术参数

6.4.1 防落梁装置属于可更换部件。根据现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60，可更换部件的设计使用年限不应低于 15 年。

6.4.2 初始间隙决定着防落梁装置的工作时机，是线弹性防落梁装置、榀形防落梁装置的重要参数。不同阶段防落梁设计对于防落梁装置的工作时机有着不同要求，在保护支座设计阶段需要防落梁装置与支座共同受力，初始间隙需根据计算确定；在限制位移设计阶段需要防落梁装置在设定位移范围内工作，初始间隙需满足该位移范围的要求；在防止坠落设计阶段需要防落梁装置在上部结构失稳前工作，初始间隙需满足该工作时的要求。

6.5 构造细节

6.5.1 预埋件是防落梁装置的重要组成部分，其施工质量影响防落梁装置性能的正常发挥，施工时应予以重视。

6.5.2 以钢为基材的防落梁装置与桥梁构件采用螺栓或焊接连接，如施工控制不当将影响桥梁构件的使用性能，需要采取有效措施提高防落梁装置的安装质量。

6.5.3 耐久性制约防落梁装置正常工作的重要因素，防落梁装置的各组成部分应根据其材料特点采用不同的耐久性设计。

7 保护支座设计

7.1 一般规定

7.1.1 在保护支座设计阶段，防落梁装置与支座共同受力，需要根据桥梁抗震分析结果选用不同类型的防落梁装置。

7.1.2 当桥梁上、下部结构之间的支承空间充裕时，防落梁装置可独立设置；当上述支承空间有限时，可将防落梁装置与支座设计为整体以节约空间。但无论独立设置或整体设置，防落梁装置与支座均表现为并联关系。

7.1.3 在保护支座设计阶段，防落梁装置需在支座水平位移达到设计值之前参与工作，存在影响桥梁正常变位的可能性。因此，静力分析需考虑上述影响。

7.1.4 采用防落梁装置保护支座，是基于同一桥梁抗震设防标准下的补强设计，不应改变原抗震设防标准。现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 给出了三种桥梁结构抗震体系：延性抗震体系、减隔震抗震体系，以及强度抗震体系。保护支座设计阶段仅针对支座验算不通过的情形进行补强设计，因此不宜改变原结构抗震体系。

7.1.5 根据本标准第 3.1.5 条的规定，设计地震作用下，支座和用于保护支座的防落梁装置均应正常工作，二者的水平位移、水平力均在各自容许范围内。

7.2 应用条件

7.2.2~7.2.4 根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，对于只进行 E1 地震作用分析和抗震验算的桥梁，以及同时进行 E1 和 E2 地震作用分析和抗震验算的桥梁，当采用普通板式橡胶支座时，应进行厚度验算和抗滑稳定性验算；当采用固定支座（包括盆式固定支座、球型固定支座）时，应进行水平承载力验算；当采用滑板橡胶支座或活动支座（包括盆式活动支座、球型活动支座）时，应进行滑动水平位移验算。工程实践中存在上述验算不通过的情形，此时需要根据抗震分析结果设置防落梁装置与支座共同受力，满足支座验算要求。

7.2.5 根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，减隔震支座的抗震验算需要满足规范要求，不存

在不满足的情形。然而，由于减隔震支座的二次刚度较小，工程实践中常常出现桥梁上、下部结构之间的相对水平位移过大、但桥梁下部结构与基础的内力验算安全系数也较大的情形。此时，即便减隔震支座可以通过抗震验算，但桥梁抗震性能和工程成本仍存在优化空间。因此，可采用防落梁装置限制减隔震支座的地震水平位移，进而降低伸缩缝等构件的位移需求，充分利用桥梁下部结构与基础的抗震潜能。需要注意的是，采用防落梁装置会造成桥梁下部结构与基础内力的增大，设计时应予以考虑。

7.3 抗震分析

7.3.1 抗震分析是桥梁抗震设计的基本环节之一。保护支座设计是基于设计地震作用的防落梁设计，应符合桥梁抗震设计的基本流程。

7.3.2 设置防落梁装置的桥梁属于非规则桥梁，采用简化计算方法不能准确把握其动力响应特性，因此要求采用有限元法建立桥梁的动力计算模型。

7.3.3、7.3.4 与现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 保持一致，并增加防落梁装置的建模方法。

7.3.5 根据本标准第 6.3 节的有关规定，防落梁装置表现出强烈的非线性，采用反应谱方法无法准确预测其力学行为。因此，在保护支座设计阶段，建议采用非线性时程分析法进行抗震分析。

7.3.6 在保护支座设计阶段，防落梁装置的力学参数需要根据抗震分析结果进行比选确定。

7.4 抗震验算

7.4.1~7.4.3 根据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01，普通板式橡胶支座需要验算支座厚度和抗滑稳定性，固定支座需要验算水平承载力，滑板橡胶支座或活动支座需要验算滑动水平位移。为实现保护支座的目的，防落梁装置的水平位移和水平力也需要满足验算要求。

7.4.4 对于需要进行限位设计的减隔震支座，其部分水平力由防落梁装置承担，减隔震支座自然满足水平位移和水平力验算要求。因此，仅需对防落梁装置的

水平位移和水平力进行验算。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿

8 限制位移设计

8.1 一般规定

8.1.1 在限制位移设计阶段，防落梁装置的主要功能是阻止桥梁上、下部结构之间相对水平位移的持续增大。采用线弹性防落梁装置即可实现上述功能；同时考虑到本阶段桥梁上、下部结构之间可能出现往复的相对水平位移，因此也可以采用非线性防落梁装置进行耗能。

8.1.2 根据本标准第 3.1.5 条的规定，在限制位移设计阶段，支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）已退出工作。从受力明确的目标出发，本阶段防落梁装置不宜与支座或其他阶段防落梁装置作为整体进行设置。

8.1.3 根据本标准第 3.1.5 条的规定，用于限制位移的防落梁装置仅在超预期地震作用下参与工作。因此，要求本阶段防落梁装置在桥梁运营阶段不发挥作用。

8.2 应用条件

根据本标准第 3.2 节的有关规定和限制位移设计的定义，提出其应用条件。

8.3 工作性能

8.3.1 在限制位移设计阶段，支座虽已退出工作，但仍可能通过失效后产生的摩擦效应影响桥梁上、下部结构之间的相对水平位移。考虑到当前对支座失效后的力学行为研究较少，本标准偏保守地忽略支座失效后产生的摩擦效应。

8.3.2 支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）退出工作后，桥梁上部结构处于随遇平衡状态。此时，防落梁装置越早参与工作，对于限制桥梁上、下部结构之间相对水平位移越有利。

8.3.3 用于限制位移的防落梁装置发挥作用后，桥梁下部结构与基础的受力将会增大。为实现同一联桥梁内各下部结构与基础协同受力的目标，建议本阶段防落梁装置同时参与工作。

8.3.4 采用线弹性防落梁装置进行限制位移设计时，桥梁下部结构与基础的受力将会增大。为降低该不利影响，建议选取弹性刚度较小的防落梁装置。

8.4 抗震验算

8.4.1 采用 1 类方法时，用于限制位移的防落梁装置和用于防止坠落的防落梁装置应接续工作；采用 2 类方法时，用于限制位移的防落梁装置应在 75% 搭接长度范围内工作；无论采用 1 类或 2 类方法，用于限制位移的防落梁装置均应在支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）失效后开始工作。

8.4.2 桥梁在横桥向有较大的支撑宽度，发生落梁的概率较低。因此，在限制位移设计阶段，要求防落梁装置的设计水平位移在大于支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）的设计水平位移的基础上，考虑一定的富余量。调研工程实践中混凝土挡块与主梁的横桥向间隙设置情况可知，上述富余量可取 5cm。同时，用于限制位移的防落梁装置应在支座和用于保护支座的防落梁装置（如有）失效后开始工作。

8.4.3 不考虑支座影响的情况下，可认为桥梁上部结构在地震作用下的水平惯性力完全由防落梁装置承担，其设计水平承载力取设计地震作用下水平惯性力。现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 也有类似的设计方法。

9 防止坠落设计

9.1 一般规定

9.1.1 在防止坠落设计阶段，仅在边支点处沿顺桥向设置防落梁装置，其受力方向为远离桥梁上部结构中心方向。考虑到本阶段桥梁上、下部结构之间出现往复相对水平位移的可能性较小，采用非线性防落梁装置难以实现耗能，因此建议采用线弹性防落梁装置。

9.1.2 根据本标准第 3.1.5 条的规定，在防止坠落设计阶段，支座和其他阶段防落梁装置均已退出工作。从受力明确的角度出发，本阶段防落梁装置不宜与支座或其他阶段防落梁装置作为整体进行设置。

9.1.3 根据本标准第 3.1.5 条的规定，用于限制位移的防落梁装置仅在超预期地震作用下参与工作。因此，要求本阶段防落梁装置在桥梁运营阶段不发挥作用。

9.2 应用条件

根据本标准第 3.2 节的有关规定和防止坠落设计的定义，提出其应用条件。

9.3 工作性能

9.3.1 在防止坠落设计阶段，支座虽已退出工作，但仍可能通过失效后产生的摩擦效应影响桥梁上、下部结构之间的相对水平位移。考虑到当前对支座失效后的力学行为研究较少，本标准偏保守地忽略支座失效后产生的摩擦效应。

9.3.2 采用 1 类方法时，用于防止坠落的防落梁装置是防落梁设计的最后一道防线，要求防落梁装置快速发挥作用。因此当采用线弹性防落梁装置时，建议选取弹性刚度较大的防落梁装置，减小其变形量。

9.3.3 采用大弹性刚度的线弹性防落梁装置参与工作时，桥梁下部结构与基础的受力会明显增大。为了降低上述影响，建议采用缓冲材料延长作用时间。

9.3.4 桥梁上、下部结构之间的横桥向相对位移会影响本阶段防落梁装置的力学行为，设计时应予以考虑。

9.4 抗震验算

9.4.1 用于限制位移的防落梁装置失效后，用于防止坠落的防落梁装置开始工作，其设计水平位移不能超出 75% 搭接长度，确保桥梁上部结构不出现失稳。

9.4.2 引自现行日本规范《道路桥示方书·同解说·V 耐震设计篇》的有关规定。

《桥梁防落梁设计标准》征求意见稿