

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.026

中美规范防落梁搭接长度比较与参数分析

李守胜

(1.华东建筑设计研究院有限公司,上海市 200041; 2.上海市水利工程设计研究院有限公司,上海市 200041)

摘要:地震作用下,桥梁落梁破坏是桥梁失效的主要形式,提供足够的搭接长度是避免落梁破坏最有效的措施之一。基于参数对比和有限元模型,对中美两国规范规定的搭接长度计算要求及其与实际桥梁地震分析结果间的差异进行研究。结果表明:对于直接支承在桥台上的简支桥,公路桥梁抗震规范对搭接长度的规定更加贴合适用、经济的设计理念;通过公路桥梁抗震规范、ASSHTO 规范计算所得的搭接长度变化趋势基本一致,但公路桥梁抗震规范规定的搭接长度更保守,ASSHTO 规范规定的搭接长度对墩高变化更敏感;公路桥梁抗震规范、ASSHTO 规范规定的搭接长度基本上可以满足多数地震作用下(峰值加速度达到 0.8g)桥梁不落梁的要求,具有广泛的适用性。

关键词:桥梁工程;防落梁措施;抗震规范;搭接长度;地震响应影响

中图分类号: U442.5+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0114-04

0 引言

受地形地貌等条件限制,西部地区修建的桥梁多为非规则桥梁,其墩高较高且相邻结构墩高差异大,纵向地震作用会导致相邻联的非规则运动,造成伸缩缝间的碰撞或落梁破坏。落梁破坏是地震作用下桥梁失效的主要形式之一,不仅会中断交通,影响震后救灾,而且掉落梁体可能撞击桥墩,导致桥梁整体倒塌^[1]。例如在 2008 年汶川地震中^[1],高树桥、龙尾桥等均发生了不同程度的落梁破坏^[2]。

2020 年发布的《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01-2020)^[3](后简称“公路桥梁抗震规范”)中对于防落梁搭接长度的规定相较于《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)^[4](后简称“08 抗震细则”)有较大的改变。同时公路桥梁抗震规范中的条文说明指出,防落梁构造参数计算公式参考了美国 ASSHTO LRFD Bridge Design Specifications 规范^[5](后简称“ASSHTO 规范”)的有关规定。对比观察上述 3 本规范关于防落梁搭接长度的规定,可以更好地理解我国抗震设计理念的转变及与美国规范的异同。

首先介绍中美两国抗震规范对防落梁计算搭接长度的规定。其次对比不同跨径布置桥梁防落梁计算参数,观察不同规范计算结果的异同。最后建立典型的多跨连续梁桥计算模型进行时程分析,判断墩

高对墩梁相对位移的影响,并将分析结果与根据规范计算的搭接长度进行对比。

1 中美规范防落梁构造规定

由于本文参数分析主要以直桥为对象,故仅给出规范中直桥的防落梁构造规定。

公路桥梁抗震规范^[3]11.2.1 条文指出,对于简支梁桥和连续梁桥上部结构梁端至墩、台帽或盖梁边缘距离的最小值 $a(\text{cm})$ 应按下式计算,且不小于 60 cm。

$$a \geq 50 + 0.1L + 0.8H + 0.5L_k \quad (1)$$

式中: L 为一联上部结构总长度, m; H 为支撑一联上部结构桥墩的平均高度, m, 桥台的高度取值为 0; L_k 为一联上部结构的最大单孔跨径。

08 抗震细则^[4]11.2.1 条文指出,简支梁梁端至墩、台帽或盖梁边缘距离的最小值 $a(\text{cm})$ 应按下列公式计算:

$$a \geq 70 + 0.5L \quad (2)$$

式中: L 为梁的计算跨径, m。

ASSHTO 规范^[5]给出的梁端最小搭接长度 $a(\text{cm})$ 取经验公式计算值与实际抗震计算分析值的较大值。其中,经验计算公式如下(已按照我国规范统一符号及单位):

$$a = n \cdot (20.3 + 0.167L + 0.667H) \quad (3)$$

式中: L 为相邻伸缩缝间的主梁跨径, m。 H 为桥台处相邻伸缩缝间支承主梁的平均柱高, 单跨桥 $H = 0$; 对于柱或桥墩, H 是柱或桥墩的高度, m。 n 是计算放大系数,对于抗震设计类别为 A 类的桥梁, $n = 0.75$ 或 1.0; 对于抗震等级为 B、C、D 类的桥梁, $n = 1.5$ 。 ASSHTO 规范中桥梁抗震设计类别根据设计加速度

收稿日期: 2022-07-30

作者简介:李守胜(1994—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

谱在周期为 1 s 时对应加速度系数 S_{D1} 的取值范围确定。本文采用 ASSHTO 计算经验支撑长度时,不考虑桥梁抗震等级的差异,偏安全的取 $n=1.5$ 。

从以上规范对防落梁搭接长度公式的规定可以看出,我国的公路桥梁抗震规范、美国 ASSHTO 规范均考虑了桥梁墩高、桥梁跨径对搭接长度的影响,而 08 抗震细则仅考虑了桥梁跨径对搭接长度的影响。为了更直观地对比中美规范搭接长度规定的差异,以下将对不同条件下搭接长度的计算结果进行对比分析。

2 中美规范防落梁参数对比分析

桥墩高度、桥梁最大单孔跨径和一联上部结构总长度等因素,均会影响搭接长度的计算结果。不同条件下中美两国规范搭接长度计算结果与墩高、跨径等因素间的变化关系见图 1。参数比较时,采用的最大单孔跨径及墩高均为 10 m、15 m、20 m、25 m、30 m、35 m、40 m。

由图 1(a)可以看出,对于直接支承在桥台上的简支桥,我国规范的相关规定明显保守于美国规范。其中,08 抗震细则计算的搭接长度最大,公路桥梁抗震规范计算的搭接长度次之,ASSHTO 规范计算所得的搭接长度最小,且计算结果基本仅为中国规范

计算值的一半。地震作用下,桥台对主梁有良好的约束效果,对于直接支承在桥台上的简支桥,基本上不会发生落梁震害。对于该类桥梁,公路桥梁抗震规范降低了对搭接长度的需求,其计算结果比 08 抗震细则小了约 15~20 cm,在保证安全的同时,公路桥梁抗震规范更加贴合适用、经济等设计理念。

由图 1(b)~图 1(d)可以看出,对于同时考虑桥梁墩高、桥梁跨径对搭接长度影响的公路桥梁抗震规范和 ASSHTO 规范,在跨径保持不变的条件下,搭接长度的变化趋势基本一致,即随着墩高的增加,需求搭接长度也线性增加,但相对于 ASSHTO 规范,公路桥梁抗震规范对搭接长度的规定更保守,当墩高较低时,计算结果差异尤为明显,最高可达 60%,但随着墩高的增加,差异逐渐缩小,且 ASSHTO 规范计算结果有超过公路桥梁抗震规范的趋势。同时可以看出,对于忽略了墩高对搭接长度的贡献的 08 抗震细则,当跨径一定时,无论墩高如何改变,搭接长度均保持不变。墩高较低时会高估搭接长度的需求,墩高较高时则会严重低估搭接长度的需求,计算结果甚至小于 ASSHTO 规范。

由以上分析可以看出,总体而言,我国规范对搭接长度的规定明显保守于美国规范,这符合我国人口密度大、地震频发及震后损失大的基本国情。高墩

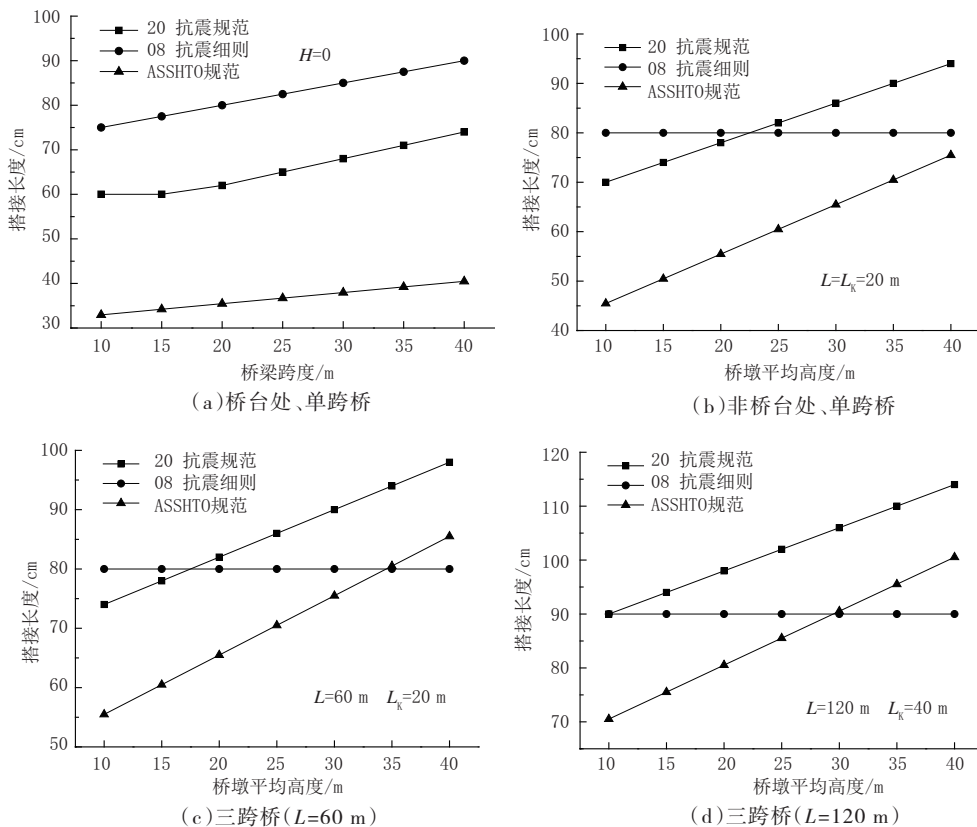


图 1 不同条件下桥梁搭接长度对比

对桥梁搭接长度的贡献在中美两国规范中均受到重视,且美国规范规定的搭接长度对墩高变化更敏感。

3 墩梁相对位移参数分析

前文已经指出,ASSHTO 规范给出的梁端最小搭接长度 a 取经验公式计算值与实际抗震计算分析值的较大值,我国公路桥梁抗震规范中仅给出了按照经验公式计算搭接长度的要求。依靠经验公式计算搭接长度与实际地震作用时墩梁相对位移之间的关系,需进一步验证。

本节以西部山区某典型多跨连续梁桥为工程背景^[6],利用 SAP2000 软件建立三联多跨连续梁桥分析模型,研究在不同地震荷载作用下墩梁相对位移,并与规范经验值进行对比,以进一步观察实际位移需求与规范经验值的差异。

连续梁桥从左至右分别为三跨一联、七跨一联和五跨一联,上部结构为单跨跨长 30 m、总宽 24 m 的 T 梁。伸缩缝布置于两端桥台以及 3 号墩、10 号墩处;伸缩缝处的支座采用滑动支座,6 号墩、7 号墩处支座采用固定支座,其余各桥墩处支座均为板式橡胶支座。板式橡胶支座的水平剪切刚度依据公路桥梁抗震规范的相关规定计算,本文中单个支座的水平剪切刚度 $k=2\ 540\text{ kN/m}$,叠加后得出模型中梁体一端支座的刚度约为 $25\ 400\text{ kN/m}$;桥墩为双柱墩,墩高见表 1。

表 1 桥墩高度统计 单位:m

墩号	1	2	3	4	5	6	7
墩高	9.4	21.9	37.9	43.8	46.8	50.9	48.9
墩号	8	9	10	11	12	13	14
墩高	39.3	31.8	23.3	17.9	10.8	7.2	6.9

以 SAP2000 建立动力分析模型。主梁和桥墩采用弹性梁单元模拟;板式橡胶支座采用摩擦摆单元模拟;基础为坚硬岩石层上的嵌岩桩,忽略桩土相互作用影响,为墩底固结。桥梁结构示意图 2。

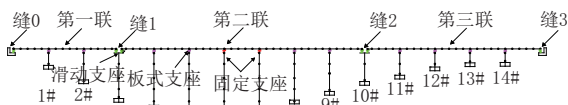
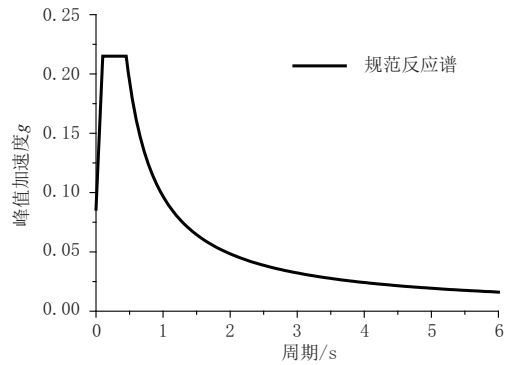
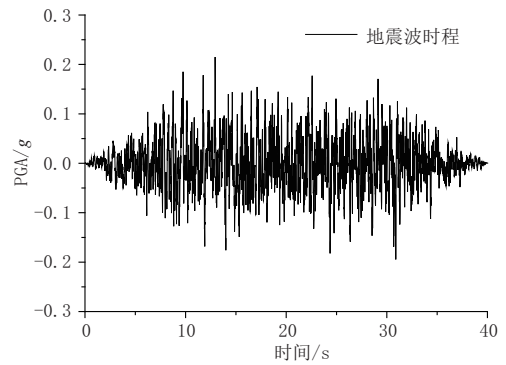


图 2 桥梁模型示意图

根据公路桥梁抗震规范规定的设计加速度反应谱,假定桥梁抗震设防类别为 B 类、工程场地类型二类场地、场地特征周期 0.45 s、抗震设防烈度 8 度绘制规范反应谱曲线,并根据该反应谱曲线生成相应的人工波(见图 3)。



(a) 规范反应谱



(b) 人工波

图 3 规范反应谱及人工波

将人工波、Elcentro 波和 Mexico 波(由于时程分析具有较大的随机性,故同时选取两条经典波进行激励。为节约篇幅,本文未示意其时程曲线)分别调幅至 0.2g、0.4g、0.6g、0.8g 及 1.0g 作为地震动激励,计算在以上不同地震荷载激励下缝 1、缝 2 处墩梁间的相对位移,并与中美两国规范中的经验值对比(按规范计算的搭接长度及参数取值见表 2),以观察实际位移需求与规范经验值的差异,结果见图 4。

表 2 各伸缩缝处搭接长度计算结果统计

位置	基本计算参数 /m			计算搭接长度 /cm	
	单联总长 L	最大单孔跨径 L_k	桥墩均高 H	公路桥梁抗震规范	ASSHTO 规范
第一联缝 1	90	30	23.1	92.5	76.1
第二联缝 1	210	30	35.6	114.5	118.7
第二联缝 2	210	30	35.6	114.5	118.7
第三联缝 2	150	30	13.2	90.6	81.2

由图 4 可以看出,墩高对墩梁相对位移的贡献显著,对于平均墩高较高的第二联桥跨,其墩梁相对位移分析结果明显大于第一联和第三联;不同地震动激励下的墩梁相对位移峰值虽有差异,但总体变化趋势基本一致,即峰值加速度越大,墩梁相对位移越大,桥跨的平均墩高越高,墩梁相对位移越大。

同时可以看出,当地震动峰值加速度不大于 0.8g 时,3 条地震动激励下各伸缩缝处墩梁相对位移

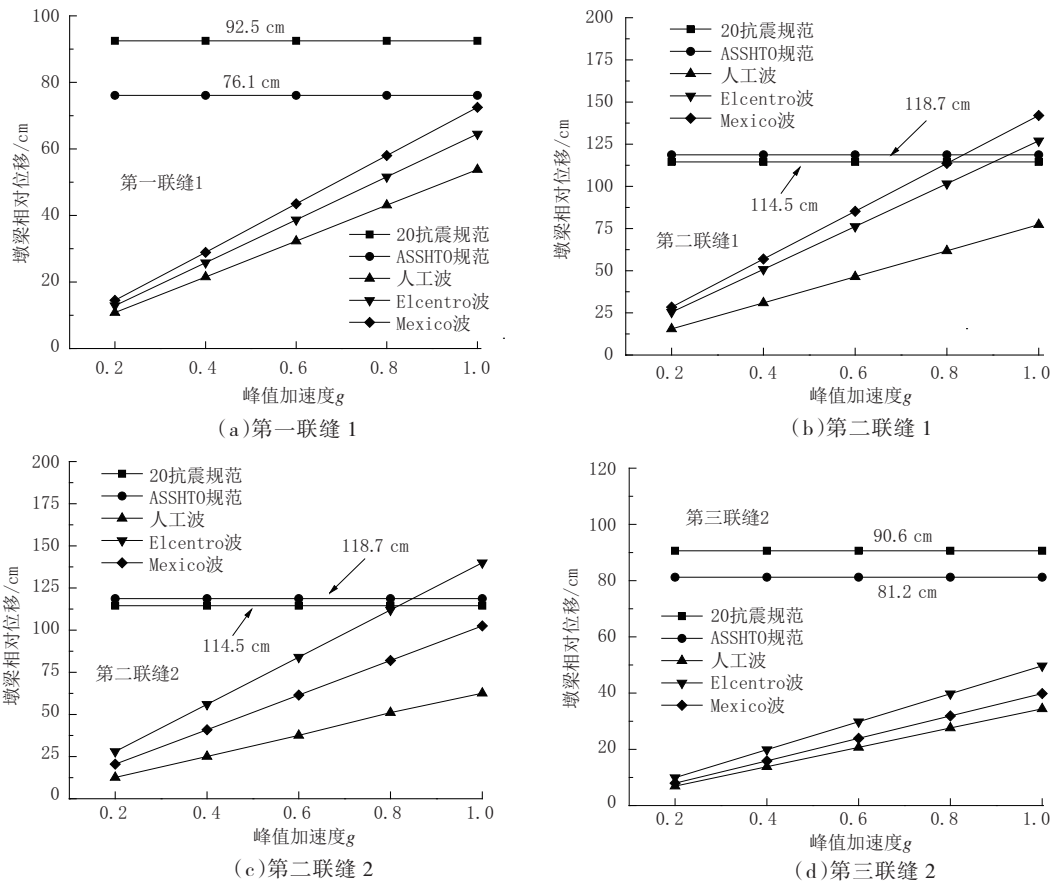


图 4 不同条件下墩梁间相对位移峰值变化

峰值均小于公路桥梁抗震规范和 ASSHTO 规范规定的经验值,即按照规范计算的搭接长度基本可以满足较大地震时桥梁不落梁的要求。当地震峰值加速度达到 1.0g 时,部分地震作用下墩梁相对位移超过了规范经验值,按照 ASSHTO 规范要求即选取较大的实际地震分析结果作为搭接长度,公路桥梁抗震规范经验值虽不满足搭接长度要求,但对于峰值加速度较大的高烈度区,规范还提出了采用合理限位装置的要求。可见,规范对于搭接长度的规定可以起到很好的防落梁效果,具有广泛的适用性。

4 结论

通过对中美两国抗震规范防落梁搭接长度的对比及多联桥梁的墩梁相对位移参数分析,得出以下主要结论:

(1)对于直接支承在桥台上的简支桥,公路桥梁抗震规范降低了对搭接长度的需求,其计算结果明显小于 08 抗震细则,更加贴合适用、经济的设计理念。

(2)公路桥梁抗震规范、ASSHTO 规范计算搭接

长度变化趋势基本一致,但公路桥梁抗震规范对搭接长度的规定更保守,ASSHTO 规范对墩高变化更敏感。墩高越低,两种规范的需求搭接长度计算结果差异越大,差异最高可达 60%。随着墩高的不断增加,两种规范计算结果的差异逐渐缩小。08 抗震细则在墩高较低时会高估搭接长度需求,而墩高较高时则会严重低估搭接长度的需求。

(3)公路桥梁抗震规范、ASSHTO 规范的防落梁规定可以起到很好的防落梁效果,具有广泛的适用性。

参考文献:

- [1] 赵清杰. 地震作用下高架桥的 SMA 限位器防落梁研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [2] 李鸿晶, 陆鸣, 温增平, 等. 汶川地震桥梁震害的特征[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 24-29.
- [3] JTG/T 2231-01—2020, 公路桥梁抗震设计规范[S].
- [4] JTG/T B02-01—2008, 公路桥梁抗震设计细则[S].
- [5] ASSHTO. 2017. LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition[S]. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [6] 李建中, 范立础. 非规则梁桥纵向地震反应及碰撞效应[J]. 土木工程学报, 2005(1): 84-90.