

张煜敏, 崔莹, 王凌波. 分灾措施对连续梁桥碰撞与落梁灾害的控制效应[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 48–52. [Zhang Yumin, Cui Ying and Wang lingbo. Control Effect of Damage-Reduction Measures for Collision and Collapse at Continuous Bridge Beam End[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 48–52.]

分灾措施对连续梁桥碰撞与落梁灾害的控制效应^{*}

张煜敏^{1,2}, 崔莹², 王凌波¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安石油大学 机械工程学院, 陕西 西安 710068)

摘 要: 针对桥梁结构在地震、爆炸等冲击荷载作用下产生的碰撞及落梁震害, 国内外抗震规范中建议采用构造措施对过大位移进行控制。限位装置与连梁装置分别用于补充支座与限位装置抗震能力的不足、限制桥梁结构过大位移的发生, 两者的作用范围有所不同。结合已有研究成果, 对强震下产生碰撞、有落梁危险的桥梁结构设置限位装置与连梁装置, 研究其对结构过大位移的限制效果。研究结果表明, 限位装置与连梁装置的设置能减小桥梁结构的过大位移, 增加滑动墩处的地震荷载分担比及结构的整体性, 但强震下仅采用限位装置时防碰撞及落梁的效果不甚理想, 需采用连梁装置对其限位能力加以补充。

关键词: 连续梁桥; 桥梁震害; 碰撞; 落梁; 限位装置; 连梁装置

中图分类号: U441.3; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)04–0048–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.04.010

地震及爆炸等冲击荷载作用下, 相邻桥梁在伸缩缝处产生的碰撞会导致桥梁上、下部结构相对位移过大, 从而导致落梁震害的发生。

我国在《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)^[1]中规定选用梁端伸缩缝时, 应考虑地震作用下的梁端位移, 并要求在地震烈度大于 VIII 度的区域, 桥梁应采用限制桥梁过大位移的抗震措施。桥梁结构中用于防碰撞及落梁的分灾措施均为构造措施, 通常的形式有限位装置及连梁装置。美国、日本、新西兰等国的规范中都有限位装置设计方法的规定, 通常采用的是静力分析法。Caltrans 规范中的计算方法假定支座完全失效, 整个结构的刚度仅存限位装置的刚度, 计算时采用单自由度体系进行设计^[2]。AASHTO 规范中的设计方法主要是针对新建结构, 限位装置的设计地震力为设计地震加速度与相邻两跨桥梁中较轻一侧结构重量的乘积^[3]。日本《道路桥示方书·同解说·V 耐震设计篇》中采用 1.5 倍恒载反力确定防止落梁装置的设计地震力^[4]。

国内学者也针对采用分灾措施防止桥梁落梁震害的发生进行了一些研究。王军文等针对限位装置的研究考虑了支座非线性和墩柱弹塑性及相

邻梁体间碰撞, 研究结果表明在伸缩缝处安装墩梁连接的受拉限位装置可有效减小伸缩缝处梁体间或墩梁间的相对位移, 但对伸缩缝处桥墩的位移延性需求有所增加^[5]。文献[6]中对连续梁桥纵向防落梁装置进行研究发现, 对于连续梁桥, 应采用墩梁连接的限位装置模式来设计防落梁装置, 采用连接梁体的装置不能防止落梁的发生。王常峰对限位装置的研究发现, 限位装置可有效地降低梁体的纵向位移, 防止落梁及降低其与相邻跨发生碰撞性破坏的可能; 设置限位装置后, 限位装置的特性(刚度、允许活动范围等)对活动墩的地震反应起到决定性作用^[7]。

针对罕遇地震或超预期地震下, 桥梁结构将会产生较大位移的情况, 许多桥梁设置了限位装置或连梁装置, 增设此类措施后结构在地震作用下的响应与原始结构不同。然而针对限位装置及连梁装置设计方法及应用效果的研究较少, 而国内外综合考虑两种或两种以上分灾措施的抗震分析也相对少见。本文将针对综合考虑限位装置及连梁装置的桥梁结构进行研究, 分析桥梁结构在罕遇地震下设置分灾措施对其地震响应的影响效果, 并得到限位装置与连梁装置的功能差异性。

^{*} 收稿日期: 2015–02–28 修回日期: 2015–04–08

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目(12JK0900); 西安石油大学青年科技创新基金项目(2013BS019)

作者简介: 张煜敏(1983–), 女, 甘肃平凉人, 博士(后), 讲师, 主要从事桥梁抗震及防灾减灾等研究工作。

E-mail: zhangyumincom@163.com

1 桥梁有限元模型与地震响应分析

以某 5×30 m 连续梁桥作为工程背景, 该桥主梁为由盖梁支撑的小箱梁截面, 宽 17 m, 高 1.6 m, 墩高 10 m, 墩截面 $1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ 。桥梁两侧均为桥台, 边墩采用四氟滑板支座支撑上部结构, 中墩采用板式支座, 支座平面形状为 $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$, 支座高 74 mm, 橡胶层总厚度为 53 mm, 其纵向向最大位移量及其允许剪切变形量为 79.5 mm。有限元模型中主梁、盖梁与桥墩均采用梁单元, 支座模型模拟其计算刚度, 模型不考虑桩基对结构的影响。该桥的有限元模型如图 1 所示。

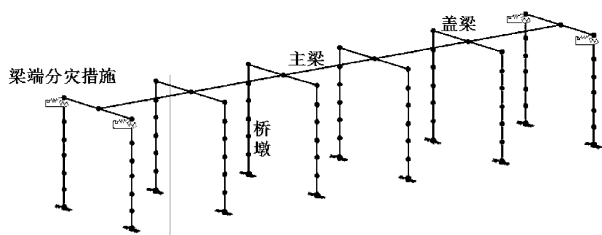


图1 桥梁结构有限元模型

桥梁端部伸缩量的选择参照《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)中关于伸缩装置的设计要求, 考虑了地震作用下的梁端位移; 同时结合 Robert Jankowski 等人指出的伸缩缝宽度越大地震对结构的影响较小的结论^[8]。桥梁末端采用伸缩量为 160 mm 的 GQF-MZL 型伸缩装置, 阻尼 $5.157\,52 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$ 。

对该桥进行非线性时程分析, 采用 1994 年美国北岭 Northridge 地震的地震波作为荷载输入, 其峰值加速度为 592.08 cm/s^2 , 持续时间达到 60 s, 该地震波时程如图 2 所示。

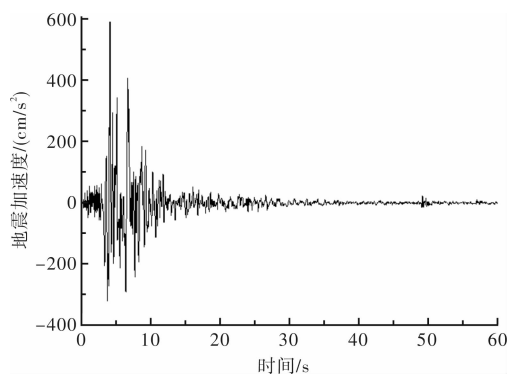


图2 Northridge 地震加速度时程

由于桥梁结构的落梁震害通常发生在纵桥向, 因此本模型中 Northridge 地震荷载的加载方向以纵桥向为主。经过非线性时程分析得到桥梁的地震响应如表 1 所示。

表 1 Northridge 地震作用下桥梁结构响应

	主梁位移/ cm	墩顶位移/ cm	上、下部结构 相对位移/cm	墩底弯矩/ ($\text{kN} \cdot \text{m}$)
边墩	24.92	1.14	23.78	7564
中墩	24.92	5.54	19.38	32594

从表 1 中的数据可以看出, 边墩上、下部结构的相对位移 23.78 cm 已远超支座的允许剪切变形量, 由于该处产生的相对位移完全由支座变形来满足, 支座因过大的变形已发生破坏, 桥梁结构可能发生落梁。

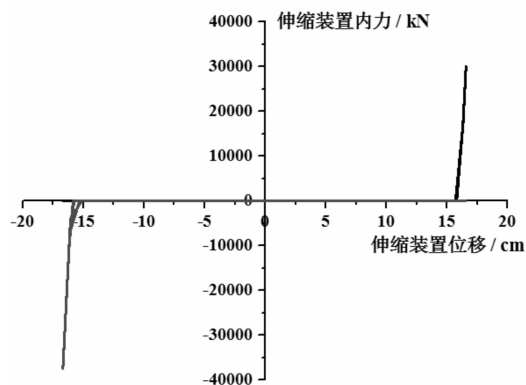


图3 伸缩装置内力与位移关系

结合表 1 及图 3 中桥梁端部(伸缩缝处)的变位可以看出, 伸缩缝处的位移达到 24.92 cm, 已超过伸缩装置的设计变形量 160 mm, 伸缩装置承受了较大的地震力, 因地震作用引起的碰撞导致破坏。

2 分灾措施的选择与模拟

鉴于以上分析结论, 需要对本桥设置防止碰撞及落梁的抗震措施。限位装置的功能是补充支座抗震能力的不足、限制支座变形超过其容许变形量, 结合文献[9]中的研究结论, 本模型选择初始间隙较小(3.2 cm)、刚度适中(10^4 kN/m)的挡块式限位装置对地震引起的大位移进行分灾。

限位装置的有限元模拟需考虑初始间隙及构件刚度等设计参数的影响, 因此选择钩或间隙单元对限位装置进行模拟, 其力学原理及刚度变化曲线如图 4 所示。

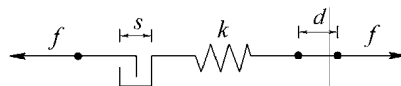


图4 限位装置及连梁装置的力学模型

图 4 中: s 为分灾措施的初始间隙, 其数值即为控制分灾措施启动的设计位移量, 以满足分灾

措施的功能为设计目标； d 为桥梁上、下部结构相对位移； k 为分灾措施的刚度； f 为分灾措施的作用力，其取值应按下式计算：

$$f = \begin{cases} k(d-s), & d-s \geq 0 \\ 0, & d-s < 0 \end{cases} \quad (1)$$

对设置限位装置的桥梁结构采用 Northridge 地震波进行非线性时程分析，其结果如表 2 所示。

表 2 设置限位装置后桥梁结构地震响应

	主梁位移/ cm	墩顶位移/ cm	上、下部结构 相对位移/cm	墩底弯矩/ (kN·m)
边墩	16.70	1.14	15.56	7 564
中墩	16.70	4.16	12.54	24 749

通过表 2 中的分析数据可见，尽管限位装置的设置可以减小主梁以及上、下部结构相对位移，但限位装置的设置对 Northridge 地震引起的大位移并不能完全限制，支座的变形仍大于其容许剪切变形量，且伸缩装置在地震中亦遭到破坏。为此，需通过增设连梁装置对分灾措施的设置进行改善。

连梁装置是桥梁结构遭遇地震作用后，当支座丧失支承功能，上、下部结构之间产生的相对位移较大，限位装置不足以起到限制结构过大位移的作用时，使位移不至于超过结构搁置长度及防止落梁震害发生的抗震措施。连梁装置作为防止落梁震害的最终保障，其启动位移量相较于限位装置更大，结合文献[10]中的研究结论在本模型中选择初始间隙较小(8 cm)、拉索长度较大(2 m)的拉索式连梁装置配合限位装置抵抗地震荷载引起的大位移、防止落梁震害的发生，该连梁装置拉索采用 PES(H)5-061 型，刚度为 227 620 kN/m。连梁装置的有限元模型与限位装置的类似，亦采用钩或间隙单元进行模拟，限位装置与连梁装置在荷载作用下的刚度变化如图 5 所示。

从该刚度变化图可见，限位装置的启动位移量为 d ，连梁装置的启动位移量为 d 与 d_1 之和，限位装置及连梁装置的刚度分别为 k_1 、 k_2 ，连梁装置相较于限位装置启动较晚，且刚度相对较大。

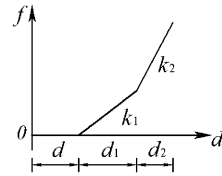


图 5 限位装置及连梁装置的刚度变化图

3 桥梁结构设置分灾措施效果分析

对采用了限位装置及连梁装置的桥梁结构重新采用 Northridge 地震荷载进行非线性时程分析，将结构的地震响应列于表 3 中。表中将未设置分灾措施的情况定义为工况 1，将设置限位装置与连梁装置的情况定义为工况 2，并对两种工况下桥梁结构的地震响应进行对比。

从表 3 中工况 2 与工况 1 结构响应的比值可以看出，当对桥梁结构设置分灾措施后，桥梁结构的主梁位移以及上、下部结构相对位移、中墩的墩顶位移及墩底弯矩均有所减小，边墩的墩顶位移及墩底弯矩有所增大。也就是说限位装置与连梁装置的有效减小桥梁上、下部结构之间的相对位移，能避免结构发生碰撞与落梁震害，并可以增加桥梁边墩对地震荷载的分担比例。边墩上、下部结构间位移及伸缩缝处的位移变化相对较大，图 6 及图 7 给出了工况 1 及工况 2 中边墩支座处及伸缩缝处在设置分灾措施前后的位移时程。

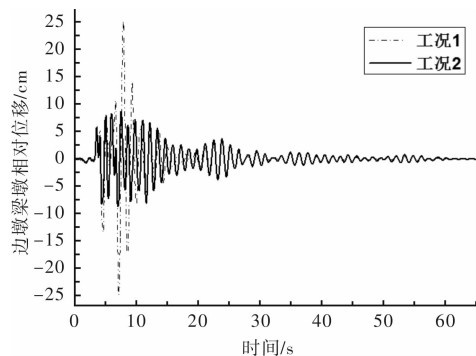


图 6 不同工况下桥梁边墩处的梁墩相对位移时程

表 3 设置限位装置与连梁装置后结构地震响应

工况		主梁位移/cm	墩顶位移/cm	上、下部结构 相对位移/cm	墩底弯矩/(kN·m)
原始结构响应	边墩	24.92	1.14	23.78	7564
(工况 1)	中墩	24.92	5.54	19.38	32 594
设置分灾措施	边墩	12.55	3.98	8.57	23 924
(工况 2)	中墩	12.55	2.96	9.59	17 592
工况 2/	边墩	0.50	3.49	0.36	3.16
工况 1	中墩	0.50	0.53	0.49	0.54

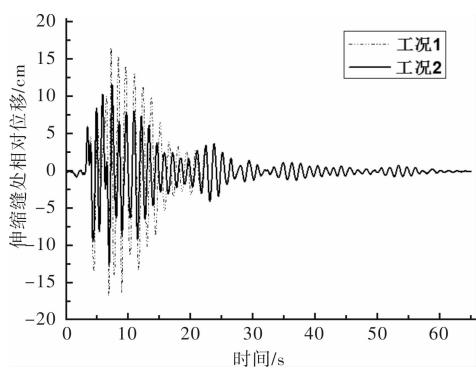


图7 不同工况下伸缩缝处的位移时程

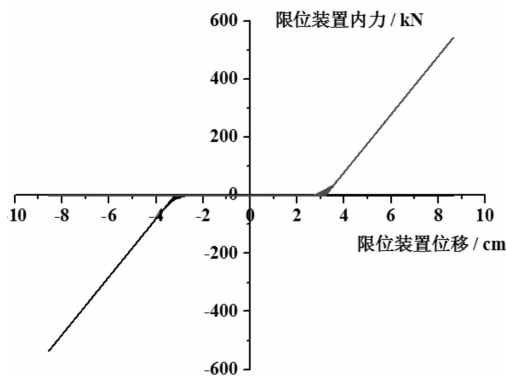


图8 限位装置内力与位移关系

由图6可以看出,桥梁结构在设置了分灾措施之后,边墩上、下部结构的相对位移有较大的减小。由表3中数据可见,该相对位移的最大值由23.78 cm降低到9.59 cm,减小比例可达到0.36。

由图7可以看出,伸缩缝处桥台与桥梁结构的相对位移也减小了近一半,最大值由24.92 cm降低到12.55 cm,在整个地震时程中分灾措施的作用可将位移限制在伸缩装置的伸缩量160 mm范围之内,保证伸缩装置不发生破坏,也就是说桥梁端部没有发生碰撞。

以上分析说明,分灾措施的应用可有效减小结构变位,起到一定的限位作用,当限位装置的分灾能力不太理想时,连梁装置可以在分灾方面有较好的补充。且当地震加速度较大时,一旦限位装置或连梁装置发挥作用,分灾措施可在梁端将桥梁上、下部结构相互连接,使结构的整体性有所增强,从而增加边墩分担地震荷载的比例,使地震荷载在边墩与中墩上较为合理的分配。

4 分灾措施在地震作用下的性能分析

模型中同时采用了限位装置及连梁装置对结构过大的位移响应进行控制。当地震荷载所引起的桥梁上、下部结构相对位移超过限位装置的初始间隙时限位装置将会发挥作用,而当地震引起的上、下部结构相对位移超过连梁装置的初始间隙时,连梁装置会协助限位装置起到限制结构过大位移的作用。在整个地震历程中限位装置与连梁装置的内力与位移都会随地震发生往复变化,其变化履历如图8、图9所示。

由图8、图9中限位装置及连梁装置的内力位移变化曲线可见,限位装置与连梁装置均是在位移量超过其设计初始间隙后开始发挥作用,限位装置的启动位移量大概为3 cm,连梁装置为8 cm。图8中限位装置的内力在位移量超过8 cm后依旧存在,说明在桥梁上、下部结构间相对位移超过连梁装置初始间隙后,限位装置与连梁装置共同发挥作用。连梁装置的最大内力为1 447 kN,未超过其设计承载力2 526.40 kN,结构在地震作用过程中连梁装置可有效发挥防落梁作用。

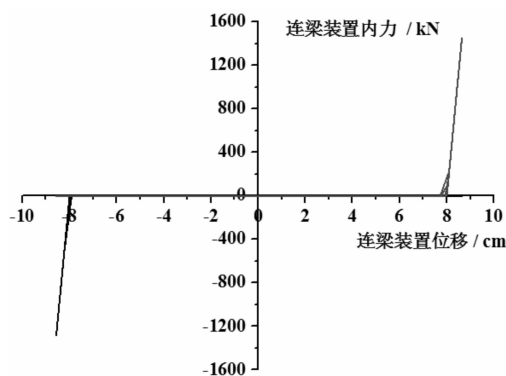


图9 连梁装置内力与位移关系

5 结论

针对桥梁在罕遇地震作用下可能发生碰撞及落梁震害的情况,提出了采用具有可控制初始间隙及构件刚度的限位装置及连梁装置等分灾措施对桥梁的过大位移进行控制,基于限位装置及连梁装置的已有研究结论,建立了限位装置及连梁装置的分析模型,分别对桥梁结构设置限位装置及连梁装置的形式进行非线性时程分析,主要得到如下结论。

(1)分灾措施的设置可以有效减小桥梁结构主梁以及上、下部结构的相对位移,对固定墩的墩顶位移及墩底弯矩也有较好的减小作用;桥梁结构的整体性因分灾措施的启动有所增大,桥梁滑动墩对地震荷载的分担比例则相应增加。

(2)限位装置在强震作用下往往不能起到较好限制桥梁过大位移的作用,甚至形式简单、剪切刚度较小的限位装置会在强震引起的桥梁结构位移较大时发生破坏。

(3)限位装置与连梁装置因功能区别具有不同的启动位移量,因此在强震作用下能较好的发挥不同的分灾效果,在地震荷载较大时能共同限制桥梁过大位移的发生。

(4)在地震荷载较大、限位装置与连梁装置发挥作用时,桥梁的整体性因分灾措施的连接而有所增大,此时活动墩的受力与未设置分灾措施时

有较大差异, 应进一步对分灾措施的各项参数进行分析, 力求找到即限制结构较大位移, 又不显著改变结构受力状态的方案。

参考文献:

- [1] 重庆交通科研设计院. JTG/T B02-01-2008 公路桥梁抗震设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [2] Panos Trochalakis, Marl O Eberhard, John F Stanton. Design of Seismic Restrainers For In-span Hinges[J]. Journal of Structural Engineering, 1997, 123(4): 115-121.
- [3] Michel Bruneau. Performance of steel bridges during the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe, Japan) earthquake-a North American perspective[J]. Engineering Structures, 1998, 20(12): 1063-1078.
- [4] 日本道路协会. 道路桥示方书·同解说·V 耐震设计编[R]. 东京: 日本道路协会, 2002.
- [5] 王军文, 李建中, 范立础. 限位装置对连续梁桥地震反应的影响[J]. 铁道学报, 2008, 30(3): 71-77.
- [6] 黄小国, 李建中, 张哲. 连续梁桥纵桥向防落梁装置结构模式对比研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 1146-1152.
- [7] 王常峰, 陈兴冲, 丁明波. 限位装置对滑动摩擦隔震桥梁地震反应的影响研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2014, 36(1): 80-85.
- [8] Jankowski R, Wilde K, Fujino Y. Reduction of pounding effects in elevated bridges during earthquakes[J]. Earthquake Eng. Stru. Dyn. 2000, 29(2): 195-212.
- [9] 张煜敏, 赵国辉, 刘健新. 地震序列下桥梁连梁装置的防落梁效果分析[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 53-56.
- [10] 张煜敏, 刘健新, 赵国辉. 公路桥梁拉索式连梁装置设计参数化研究[J]. 振动与冲击, 2011, 30(3): 195-199.

Control Effect of Damage-Reduction Measures for Collision and Collapse at Continuous Bridge Beam End

Zhang Yumin, Cui Ying and Wang lingbo

(1. School of Highways, Chang'an University, Xi'an 710064, China;
2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710061, China)

Abstract: Seismic codes of bridges at home and abroad suggest that the structural measures can be used for control large displacements, in order to avoid collision and collapse caused by earthquake and explode. The displacement limited devices and unseating prevention devices are used to increase the seismic capacity of bearings and displacement limited devices respectively as supplement, but the functional scope of them are different. Based on the existing research conclusion, the displacement limited devices and unseating prevention devices have been set on the beam end in order to avoid collision and collapse, and their control effect have been studied. The research results show that the large displacement of bridge can be decreased by setting displacement limited devices and unseating prevention devices, and the earthquake sharing percent of side piers and integrality of bridge have greatly increased. However, the control effect of avoid collision and collapse was unsatisfactory when the displacement limited devices were used without unseating prevention devices, so set the two types of devices jointly was reasonable.

Key words: continuous bridge; bridge earthquake disaster; collision; collapse; displacement limited devices; unseating prevention devices

(上接第 42 页)

The Hazard Analysis of the Pool Fire Based on the Offshore Oil and Gas Platforms Leakage

Luo Zhengshan, Zhang Ningning and Zhang Xinsheng

(School of Management, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055 China)

Abstract: Fires caused by offshore oil and gas platform Leakage can cause huge losses to personal property safety. To study the basic characteristics of pool fire hazard and the propagation of thermal radiation of flame, the parameters models based on offshore oil and gas platform are established and the thermal radiation flux calculation method proposed by Mudan is used. With a light crude oil as an example, the impact of the atmospheric transmittance and view factor on thermal radiation fluxes the target accepts are analyzed. The decline speed based on the thermal radiation flux target accepts is showed from the results has the characteristic of fast to slow, and the closer distances from the center of the liquid pool, the greater the damage to personal property. Therefore, the study based on the offshore oil and gas platform pool hazard can provide powerful guidance to reduce casualties and property losses and has practical significance to the safe operation of offshore oil and gas platform and pipeline.

Key words: offshore oil and gas platform; pool hazard; parameters models; thermal radiation flux; casualties