

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.028

桥梁动力测试及舒适性评价研究

王高科¹, 蔡正东²

(1.宁波市城建设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315012; 2.中铁大桥科学研究院有限公司, 湖北 武汉 430034)

摘要: 对某先简支后连续钢混组合梁进行动力测试,探讨了桥梁制动试验时明显感觉到的梁体水平晃动现象产生原因,并对桥梁舒适性评价进行了研究。结果表明:该桥顺桥向振动处于人体容易感受到的频域范围,桥梁顺桥向振幅最大值不超过 3 mm,且桥梁顺桥向阻尼比较大,刹车后桥梁纵向能够立即消能,伸缩缝工作均正常,表明该振动对桥梁安全运营影响不大。所采用的评价方法可为同类桥梁研究提供参考。

关键词: 动力测试;舒适性评价;振动研究;钢混组合梁

中图分类号: U441+.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)10-0108-03

0 引言

目前许多学者不仅关注铁路桥梁特别是高速铁路桥梁的结构安全性,同时也关注行车的舒适性,《高速铁路桥梁运营性能检定规定(试行)》(TG/GW 209—2014)对铁路桥梁的自振频率和振幅都有严格的规定和要求。对于公路桥梁而言,有关桥梁行车引起人的舒适性问题研究并不多,《公路桥梁荷载试验规程》(JTG-T-J21-01—2015)也仅是对桥梁模态的测试作了较为详细的说明,但对桥梁在车辆荷载作用下的动力响应方面描述较少。

本文以浙江省某先简支后连续钢混组合梁为工程背景,对该桥进行了动力试验。在进行桥梁制动试验时,感觉到梁体水平晃动非常厉害。通过分析该现象产生的原因,对桥梁舒适性评价进行了研究^[1-2]。

1 概述

某 4×20 m 先简支后连续钢混组合梁,横向由 4 片钢纵梁组成,梁高 1.33 m,钢纵梁上方通过剪力钉与厚为 20 cm 的混凝土形成组合梁结构。桥梁分左右 2 幅,每幅桥面净宽 11.25 m;每片钢梁底部采用 GJZF4 和 GJZ 两种类型板式橡胶支座。桥墩采用钢筋混凝土空心薄壁墩和桩柱式桥墩,其中 5#墩高 63.41 m,6#墩高 45.77 m,7#墩高 25.77 m,8#墩高 10.07 m,桥台采用座板台。

组合梁纵断面图见图 1,标准断面图见图 2。

收稿日期: 2021-12-13

作者简介: 王高科(1982—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计研究工作。

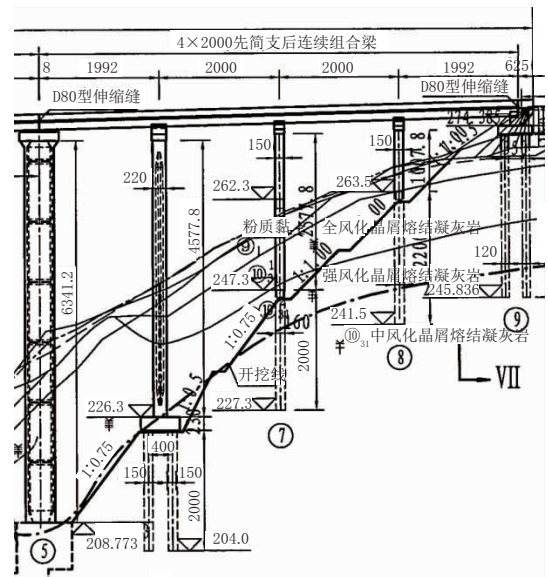


图 1 组合梁纵断面图(单位:cm)

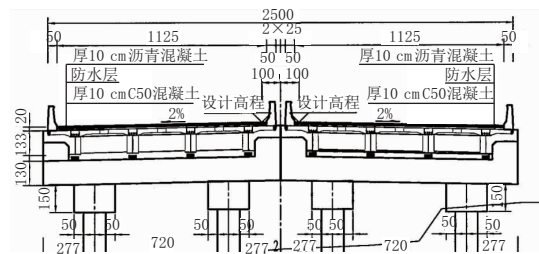
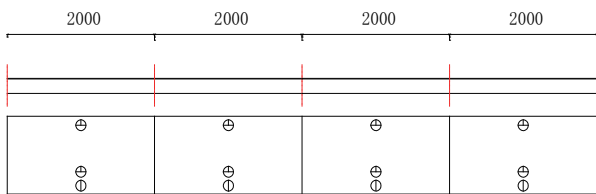


图 2 组合梁标准断面图(单位:cm)

2 动力测试方案

动力测试主要包括脉动试验和强迫振动试验。其中强迫振动试验包括跑车试验、跳车试验和刹车试验。脉动试验和跑车试验测点布置图见图 3。

对该桥进行动载试验时,发现在试验荷载(重 350 kN)下刹车时,该桥跨桥面上试验人员明显感觉



⊕表示竖向动力测点 ⊖表示横向动力测点

图3 脉动试验和跑车试验测点布置图(单位:cm)

到梁体的水平晃动,但尚在人体忍受范围内。为了分析晃动原因,对不同车速下的刹车工况进行了补充测试,测试速度包括 30 km/h、40 km/h、50 km/h、60 km/h。

刹车试验纵向测点布置图见图 4。

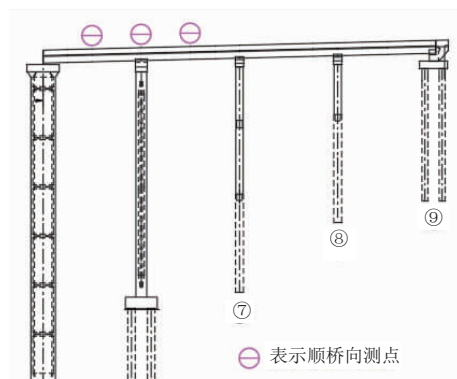


图4 刹车试验纵向测点布置图

3 测试结果分析

3.1 脉动试验测试结果分析

脉动试验测试结果见表 1。

表1 脉动试验测试结果

阶数	计算频率/Hz	实测频率/Hz	阻尼比/%
1	3.677	3.691	1.185
2	4.183	4.355	1.128
3	5.314	5.664	0.702

由表 1 可知,实测 1 阶竖向对称弯曲振动频率为 3.691 Hz,计算值为 3.677 Hz,实测值大于计算值,说明实桥的竖向动力刚度满足《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01—2015)第 6.6.8 条的要求。实测阻尼比为 0.702%~1.185%。

3.2 跑车和跳车试验测试结果分析

跑车试验时主要测点实测振幅值见表 2,跳车试验时主要测点实测振幅值见表 3。

由表 2、表 3 可知:跑车试验时主桥主梁竖向最大振幅实测值为 0.30 mm;跳车试验时边跨最大振幅实测值为 0.40 mm,中跨最大振幅实测值为 0.36 mm。所有测点实测振幅值均不大,在合理范围之内。

表2 跑车试验时主要测点实测振幅值 单位:mm

测点位置	车速/(km·h ⁻¹)					
	10	20	30	40	50	60
边跨 L/2 竖向	0.13	0.15	0.25	0.30	0.25	0.27
中跨 L/2 竖向	0.05	0.11	0.17	0.13	0.10	0.14

表3 跳车试验时主要测点实测振幅值 单位:mm

测点位置	边跨跨中		中跨跨中	
	20 km/h 跳车	原地跳车	20 km/h 跳车	原地跳车
边跨 L/2 竖向	0.40	0.07	0.18	0.05
中跨 L/2 竖向	0.36	0.05	0.36	0.08

3.3 刹车工况测试结果分析

3.3.1 动力响应曲线分析

通过分析 30~60 km/h 不同车速下各测点的时程曲线,可以发现在试验车辆刹车后,桥面纵向测点有一个较大的响应,并在较短时间内恢复正常。图 5 为 50 km/h 车速下在中跨 L/2 处刹车时各测点的时程曲线。对该时程曲线进行频域分析,可以得到各纵向测点幅值功率谱的振动频率为 1.152 Hz。图 6 为 50 km/h 车速下在中跨 L/2 处刹车时各测点的幅值功率谱。

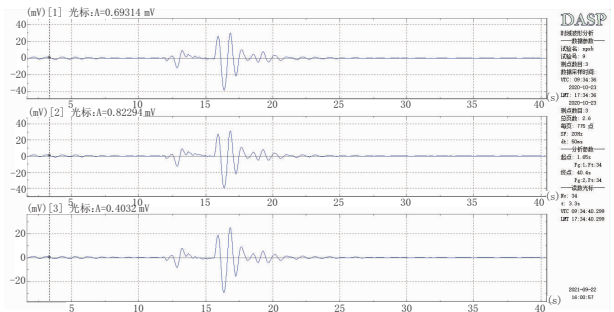


图5 50 km/h 车速下在中跨 L/2 处刹车时各测点的时程曲线

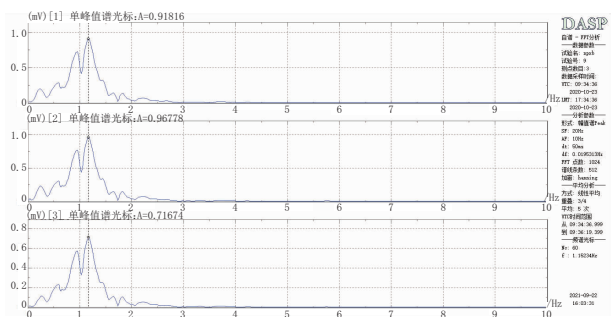


图6 50 km/h 车速下在中跨 L/2 处刹车时各测点的幅值功率谱

3.3.2 动力响应结果分析

通过分析 30~60 km/h 不同车速下的刹车工况动力响应结果,得到刹车试验时各测点的纵向振幅值为 1.95~2.92 mm(见表 4);强迫振动频率为 0.918~1.152 Hz(见表 5);刹车工况下的阻尼比为 6.766%~10.248%(见表 6)。由此可见,不同车速下刹车工况的动力响应值比较接近,动力响应频率在 1 Hz 左右,

纵向阻尼比较大,因此动力响应能量能在较短时间内衰减完毕。

表4 刹车试验时各测点纵向振幅测试值 单位:mm

测点位置	刹车车速/(km·h ⁻¹)			
	30	40	50	60
引桥中跨 L/2	2.46	2.59	2.54	2.75
引桥墩顶处	2.63	2.75	2.68	2.92
引桥边跨 L/2	1.95	2.01	1.95	2.12

表5 不同车速下刹车时各测点强迫振动频率 单位:Hz

测点位置	刹车车速/(km·h ⁻¹)			
	30	40	50	60
引桥中跨 L/2	0.957	0.957	1.152	0.918
引桥墩顶处	0.957	0.957	1.152	0.918
引桥边跨 L/2	0.957	0.957	1.152	0.918

表6 不同车速下刹车时各测点阻尼比 单位:%

测点位置	刹车车速/(km·h ⁻¹)			
	30	40	50	60
引桥中跨 L/2	10.240	6.821	7.672	8.328
引桥墩顶处	10.248	6.800	7.653	8.367
引桥边跨 L/2	10.235	6.766	7.693	8.393

3.4 舒适性评价分析

根据文献[3],实际上人在步行状态下对竖向 2 Hz 和水平 1 Hz 左右的振动较敏感,而刹车工况下动力响应频率均在 1 Hz 左右,因此会造成人对振动有较大的感觉。本文通过狄克曼指标对振动敏感度进行评价^[4-5]。狄克曼指标 K 又称振动敏感度,横向振动的狄克曼指标 K 的计算式为:

$$K = \begin{cases} 2Df^2, & f < 2 \text{ Hz} \\ 4Df^2, & 2 \text{ Hz} \leq f \leq 25 \text{ Hz} \\ 100D, & f < 25 \text{ Hz} \end{cases} \quad (1)$$

式中: D 表示振动幅值; f 表示强迫振动频率。

狄克曼指标的评价标准见表7,不同车速下刹车时顺桥向的狄克曼指标 K 值见表8。

表7 狄克曼指标评价表

$K=0.1$	$K=1.0$	$K=10.0$	$K=100.0$
人体能感受到振动的下限	人体能忍受任意长时间的振动	人体能忍受短期振动	一般人体对振动过分疲劳的上限

由表8可知,不同车速下刹车时顺桥向 K 值为 1~10 之间,表明顺桥向振动在人体可以忍受的范围,与实际情况吻合。

表8 不同车速下刹车时顺桥向狄克曼指标 K 值

测点位置	引桥刹车车速/(km·h ⁻¹)			
	30	40	50	60
引桥中跨 L/2	4.504	4.743	6.731	4.629
引桥墩顶处	4.816	5.035	7.107	4.927
引桥边跨 L/2	3.569	3.682	5.163	3.568

3.5 振动原因分析

该桥为4跨先简支后连续钢混组合梁,每片梁底均设置有矩形橡胶支座,其中5#桥墩最高超过60 m。考虑到桥墩纵向刚度较弱,刹车试验时,桥墩在纵向冲击力下会来回晃动,导致梁体纵向振动较大,使人感觉明显晃动。另外,该桥未在刚度较大的墩台上设置固定支座,是导致梁体纵向水平晃动厉害的间接原因。建议在此类桥梁刚度较大的墩台处设置固定支座,以使桥梁行车舒适性更佳。

4 结 语

(1)动力特性结果表明该桥动力刚度满足设计和规范要求。

(2)该桥顺桥向振动处于人体容易感受到的频域范围,目前桥梁顺桥向振幅最大值不超过3 mm,且桥梁顺桥向阻尼比较大,在刹车后桥梁纵向能够立即消能,伸缩缝工作均正常,表明该振动对桥梁安全运营影响不大。

(3)目前规范中关于梁桥振动研究以及评价指标较少,本文所采用的评价方法可为同类桥梁提供参考。

(4)建议高墩桥梁设计中,在刚度较大的墩台处设置固定支座。

参考文献:

[1] 李枝军,吴晓超,徐秀丽,等.大跨桥梁行车振动测试与舒适性分析[J].振动与冲击,2014(33):213-217.
 [2] 王旭军,钟明全,刘建波,等.简支桥梁上拱度对高速行车舒适性影响研究[J].重庆交通大学学报,2007,26(6):60-63.
 [3] 成厚松.车桥振动环境下的行人舒适度评价方法研究[D].武汉:华中科技大学,2016.
 [4] 王彦军,范存新.过桥车辆对行人舒适度影响的评价[J].天中学刊,2010(4):19-21.
 [5] 陈淮,章长玖,王贵春.公路简支梁桥车辆走行性及乘坐舒适性研究[J].中外公路,2015(4):102-106.