

基于 ANSYS 生死单元的移动荷载作用下 桥梁结构动力响应分析*

李伟, 易壮鹏

(长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 运用 ANSYS 软件的瞬态动力分析, 考虑移动质量惯性力的影响, 利用生死单元技术, 分别从荷载编组及荷载速度两方面考察独塔斜拉桥钢箱梁跨中、砼梁跨中和主塔塔顶的动力响应。结果表明, 对于不对称的独塔斜拉桥, 荷载编组数量对桥梁关心位置的动态加速度影响较小; 荷载速度对桥梁关心位置的动态加速度影响较大, 总体成反比关系。

关键词: 桥梁; 独塔斜拉桥; 动力响应; 移动荷载; ANSYS 生死单元

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0114-04

目前对于桥梁结构动力响应的研究主要有两种分析方法: 一种是不考虑迭代方式, 采用直接积分法求解车桥耦合系统的运动方程, 得到时程结果; 另一种是采用 2 个运动方程子系统, 分别用于桥梁和车辆的振动分析, 通过车轮与桥面的竖向位移关系考虑两者的接触。对于第二种分析方法, 施颖等利用 MATLAB 建立车桥耦合振动方程, 通过 ANSYS 求解并给出了桥梁动力性能的可靠评价; 谢秉敏等利用 ANSYS 求解某公铁两用斜拉桥的动力响应, 得到的结果与国内外实测结果一致; 谢伟平等利用 ANSYS 和 FORTRAN 语言实现了车桥耦合的求解。该文采用 ANSYS 生死单元技术对结构进行动力分析, 实现桥梁结构的动力响应计算。

1 简支梁动力响应分析

以图 1 所示移动弹簧—质量作用下的简支梁为例, 采用 ANSYS 生死单元技术对桥梁结构动力响应进行计算分析。参数如下: 弹簧—质量移动速度 $v=100$ km/h, 弹簧刚度 $K_v=1\ 595\times 10^3$ N, 移动质量 $M_v=5\ 750$ kg, 梁长 25 m, 梁的弹性模量 $E=2.87$ GPa, 泊松比 $\mu=0.2$, 梁的截面惯性矩 $I=2.90$ m⁴, 梁的每延米单位质量为 2 303 kg/m。

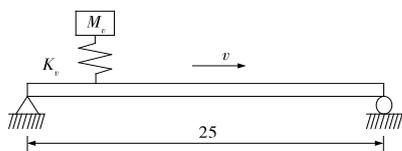


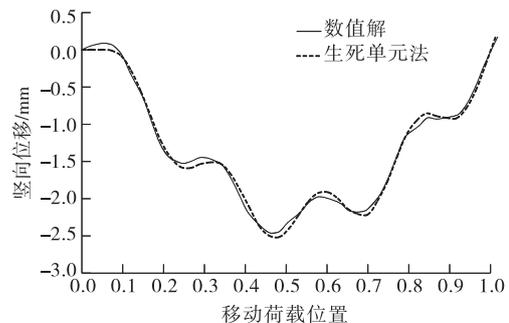
图 1 简支梁上的移动弹簧—质量(单位: m)

在解析求解时, 简支梁桥在移动荷载作用下, 可将移动荷载简化为匀速移动的弹簧—质量模块, 簧上质量动力平衡方程为:

$$\begin{cases} M_B \ddot{y}_c + c_B \dot{y}_c + k_B y_c = (M_v g + k_v \Delta) \sin \frac{\pi vt}{l} \\ M_{vs} \ddot{z} + c_v \dot{\Delta} + k_v \Delta = 0 \end{cases}$$

式中: M_B 为梁的等效质量; y_c 为桥梁跨中动力引起的挠度; c_B 、 c_v 分别为桥梁和移动体系的阻尼系数; k_B 为梁的跨中位移刚度; M_v 为车辆车体全部质量; Δ 为簧上质量 M_{vs} 相对于桥梁的位移。

设定车辆簧上质量 M_{vs} 在 $t=0$ 时的初始值 Δ_0 、 $\dot{\Delta}_0$ 和 $\ddot{\Delta}_0$, 即可计算出振动位移 z 和 y_c 的时间历程。图 2 为生死单元法计算结果与数值解的比较。可见, 采用 ANSYS 生死单元法得到的时程曲线和利用 Mathematica 理论计算得到的时程曲线大致相同, 与文献[4]得出的位移时程响应也吻合较好, 说



移动荷载位置 = vt/l 。下同。

图 2 简支梁跨中动力响应

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11002030)

明采用 ANSYS 生死单元法分析桥梁结构的动力响应可行。

2 斜拉桥动力响应分析

某高铁两用桥为独塔双索面混合梁斜拉桥,总长(35+260+51.5+66+61.5) m,桥面宽 40 m、双向六车道,主梁为分离式箱梁结构,主跨采用钢箱梁,边跨为砼箱梁。ANSYS 建模时采取双主梁模式,主体结构均以空间单元 beam44 模拟,拉索以空间杆单元 link10 模拟,并在主梁上加入弹簧—质量单元。模型划分为 1 738 节点、1 333 个单元,其中弹簧—质量单元 98 组,每个质量单元产生的荷载为 250 kN,距离为 11.23 m(见图 3)。

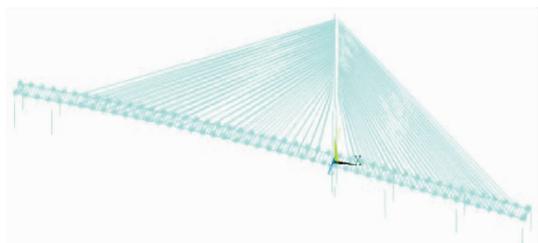


图 3 斜拉桥有限元模型

动力响应计算研究对象为斜拉桥结构,故对移动荷载的计算通过使用简化的弹簧—质量模型来考虑,移动荷载设置见图 4。结构单元考虑 Rayleigh 阻尼,通过模态计算,取质量阻尼系数 α 为 0.197 9,刚度阻尼系数 β 为 0.001 093。

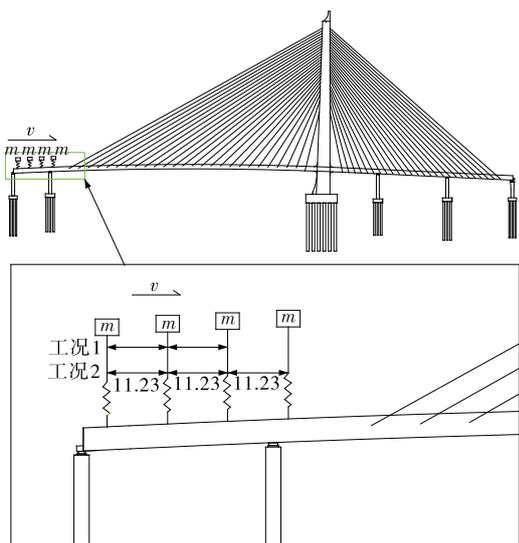


图 4 斜拉桥整体布置及移动荷载设置(单位:m)

利用 ANSYS 生死单元技术进行动力响应分析的步骤:1) 在前处理模块建立桥梁模型时,在质量

块经过的位置(主梁上)建立质量弹簧单元;2) 进行瞬态分析时,根据移动速度,杀死到达位置前的单元,激活到达位置上的单元(此时单元的特性都恢复原值),以此在时间轴上进行轮替。3) 采用按响应频率自动调整求解的时间步长并利用 Newmark 法积分,通过完全瞬态分析得到相关动力时程曲线。

2.1 车辆编组工况的影响

为考察车辆编组对该桥动力响应的影响,采取两种车辆编组工况进行分析。根据设计文件低地板列车的活载计算设置,工况 1 设计为 3 个质量单元处于激活状态(其中每两个质量单元之间的间距为 11.23 m),工况 2 设计为 4 个质量单元处于激活状态(见图 4),求解车速为 70 km/h 时两工况作用下桥梁的动力响应。桥梁关心位置的位移时程曲线见图 5~7。

从图 5~7 可以看出:1) 由于工况 2 的移动荷

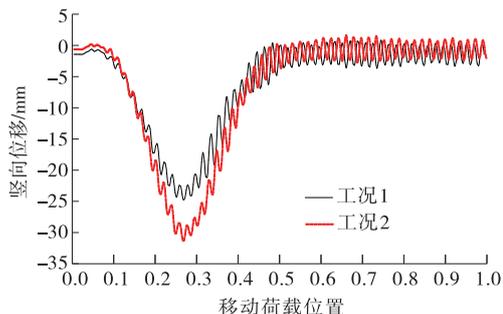


图 5 70 km/h 时钢箱梁跨中竖向位移时程

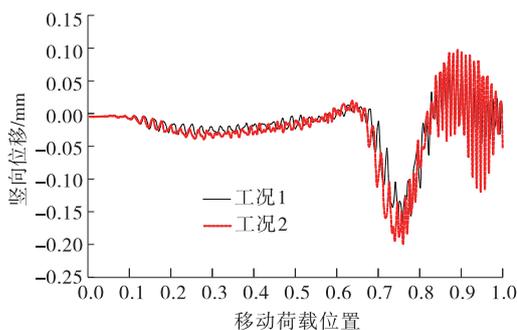


图 6 70 km/h 时砼梁跨中竖向位移时程

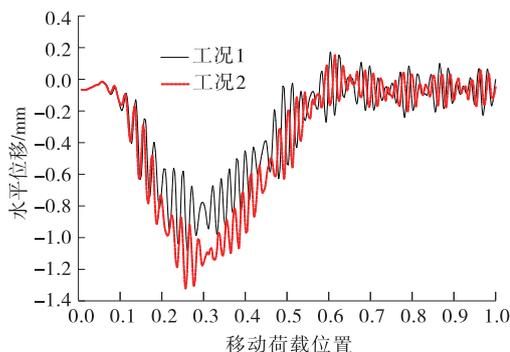


图 7 70 km/h 时主塔塔顶水平位移时程

载比工况 1 的大,该独塔斜拉桥在工况 2 作用下钢箱梁跨中、砣梁跨中及主塔塔顶的动力响应位移较大;钢箱梁跨中与砣梁跨中的最大竖向位移均产生在移动荷载经过其位置时;主塔塔顶的水平位移最大值发生在荷载经过钢箱梁跨中位置时。2) 对于钢箱梁跨中,工况 2 作用下的竖向位移振动波幅与工况 1 作用下的振动波幅相差不大;对于砣梁跨中,工况 2 作用下的竖向位移振动波幅大于工况 1 作用下的振动波幅;两种工况作用下,主塔塔顶水平位移的振动波幅大致相同,且在经过钢箱梁跨中位置后迅速变小。

2.2 车速度的影响

选取工况 2,以速度为影响因素,分析 50、70、80 km/h 速度下主跨跨中、边跨跨中和主塔塔顶的动力响应,结果见图 8、图 9。

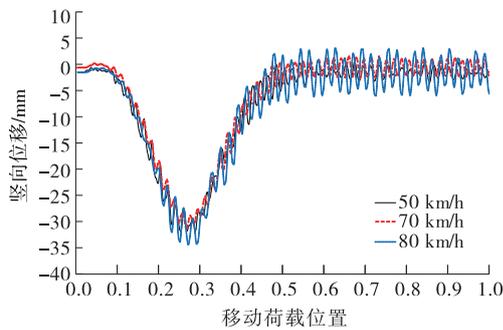


图 8 不同速度下钢箱梁跨中竖向位移时程

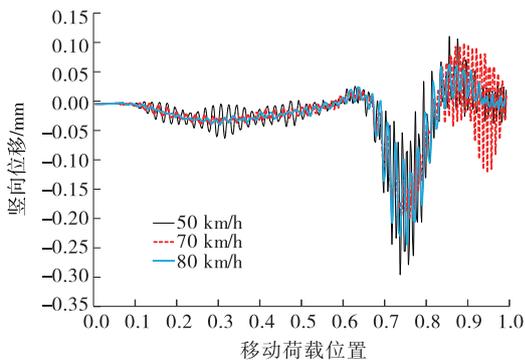


图 9 不同速度下砣梁跨中竖向位移时程

从图 8、图 9 可看出:1) 在速度为 70 km/h 的荷载作用下,钢箱梁跨中与砣梁跨中产生的最大竖向位移最小。2) 在速度为 50 km/h 的荷载作用下,钢箱梁跨中与砣梁跨中位移的动力响应最小。3) 钢箱梁跨中与砣梁跨中的竖向振动有较大差别,钢箱梁跨中的竖向加速度与移动荷载的速度成正比,砣梁跨中的竖向加速度与移动荷载的速度成反比(见图 10、图 11)。

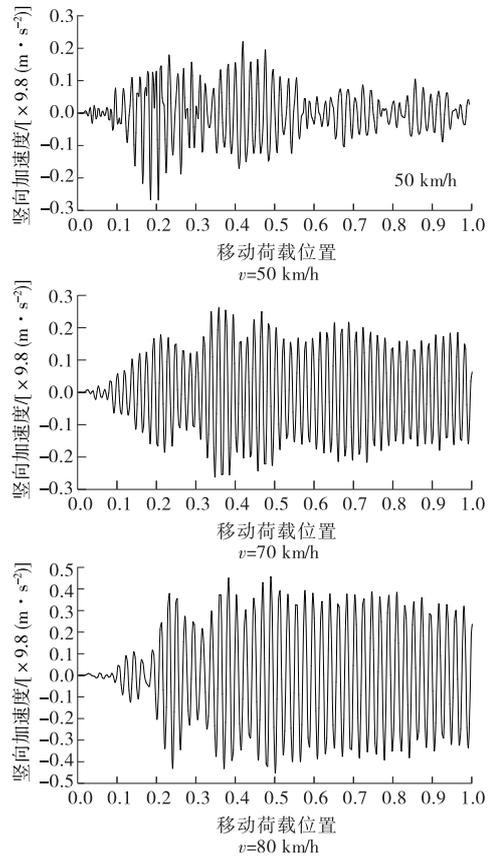


图 10 不同速度下钢箱梁跨中竖向加速度时程

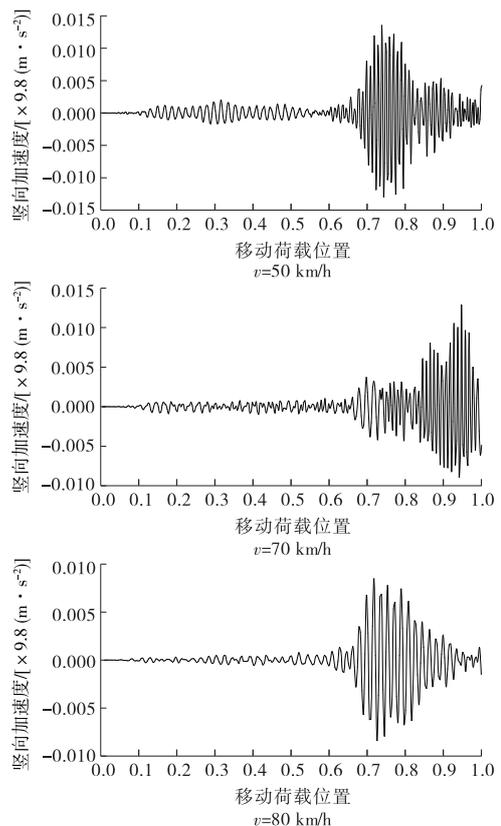


图 11 不同速度下砣梁跨中竖向加速度时程

主塔在不同速度下的动力响应见图12、图13。从中可见,随着速度的提高,主塔塔顶的水平位移振幅减弱。

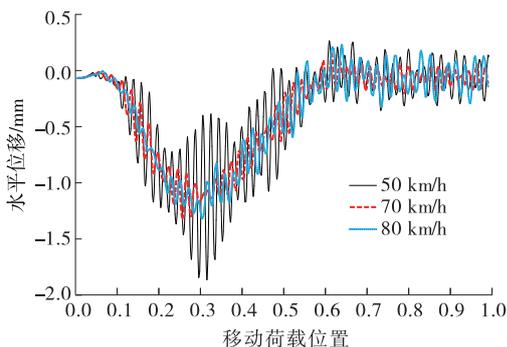


图12 不同速度下主塔塔顶水平位移时程

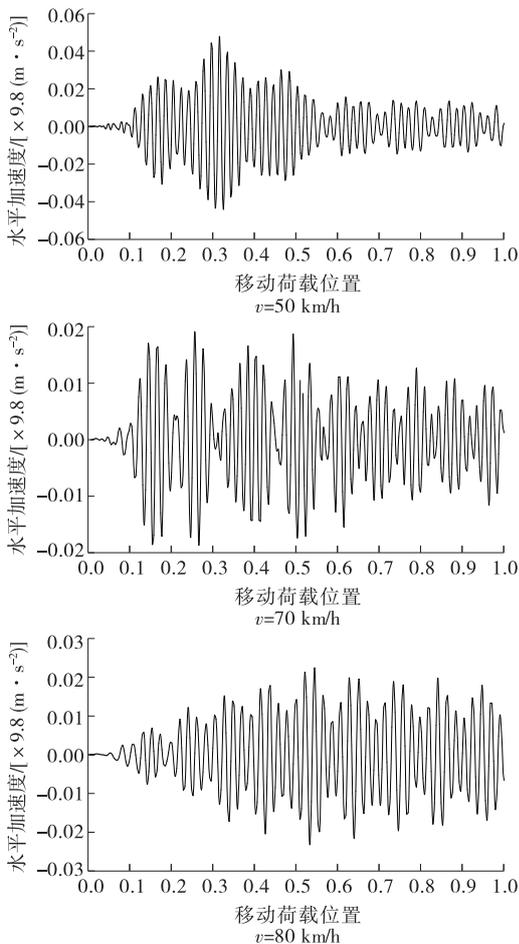


图13 不同速度下主塔塔顶水平加速度时程

3 结论

(1) 对于独塔混合梁斜拉桥,移动荷载对桥梁钢箱梁跨中位置的动力响应影响较大,对砗梁跨中及主塔塔顶位置的动力响应影响较小。

(2) 不同车辆编组对独塔混合梁斜拉桥的动力响应总体差异不大,但对于砗梁跨中,不同车辆编组产生的竖向加速度差异较大。

(3) 独塔斜拉桥钢箱梁跨中、砗梁跨中及主塔塔顶的动力加速度响应基本与速度成反比。

参考文献:

- [1] 施颖,宋一凡,孙慧,等.基于ANSYS的公路复杂桥梁车桥耦合动力分析方法[J].天津大学学报,2010,43(6).
- [2] 谢秉敏,向中富,王小松,等.公轨两用斜拉桥竖向车桥耦合振动分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013,32(4).
- [3] 谢伟平,刘亨.城市轨道交通“公轨合一”型高架桥车桥耦合振动分析[J].工程力学,2016,33(2).
- [4] 司学通.跨座式轻轨车与汽车同时作用下的公轨两用特大桥梁动力响应及行车舒适性研究[D].长沙:中南大学,2007.
- [5] Henchi K, Fafard M, Talbot M, et al. An efficient algorithm for dynamic analysis of bridge under moving vehicles using a coupled modal and physical components approach[J]. Journal of Sound and Vibration, 1998, 212(4).
- [6] 宋一凡.公路桥梁动力学[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [7] 方志,张国刚,唐盛华,等.混凝土斜拉桥动力有限元建模与模型修正[J].中国公路学报,2013,26(3).
- [8] 易晋生,顾安邦,王小松.基于MATLAB的公路桥梁车桥耦合数值计算方法[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2012,31(6).
- [9] 余华,吴定俊,项海帆.移动荷载过桥的精细计算[J].振动与冲击,2009,28(5).
- [10] 陈上有,路萍,刘高,等.列车-桥梁-汽车耦合振动仿真分析[J].振动与冲击,2014,33(20).
- [11] 王贵春,李武生.斜拉桥在多车辆作用下的动力响应分析[J].桥梁建设,2014,44(6).
- [12] GUO Wei-wei, XIA He, De Roeck Guido. Dynamic characteristics and coupling vehicle-bridge vibration analysis of the high speed railway Sesia bridge in Italy [J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(15).
- [13] 谭皓,鲁乃唯.考虑密集重载车辆的桥梁荷载效应极值分析[J].公路与汽运,2016(5).
- [14] 陶向华,黄晓明,刘萌成.车辆荷载作用下路桥段结构的动态响应分析[J].公路交通科技,2005,22(9).