

文章编号:1673-2049(2015)05-0032-07

车辆横移过程中高层立体停车结构动力响应分析

贺拥军¹, 刘小华¹, 周绪红^{1,2}

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400044)

摘要:采用大型通用有限元软件 ANSYS 中的 APDL 语言编程建立了高层立体停车结构的多尺度三维有限元模型, 利用生死单元技术实现了移动质量沿梁匀速移动以模拟车辆沿梁的水平横移过程; 对横梁动力特性进行了详细分析, 得到了正常运行状态下横梁的动力响应放大系数, 并进一步考察了移动质量与横梁间相互作用刚度、移动质量及移动速度等参数变化对横梁动态响应的影响规律, 最后探讨了车辆横移情况下整体结构动力响应特性。结果表明: 车辆横移过程引起的结构整体振动响应很小, 可忽略不计; 横梁的动力放大系数在 1.4~1.7 之间, 应重点关注。

关键词:高层立体停车结构; 水平横移; 动力响应; 动力放大系数

中图分类号: TU248.3

文献标志码: A

Dynamic Response Analysis of High-rise Tridimensional Parking Structure During Horizontal Transfer Process of Vehicle

HE Yong-jun¹, LIU Xiao-hua¹, ZHOU Xu-hong^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China;

2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The multi-scale three-dimensional finite element model of the high-rise tridimensional parking structure was established using APDL language programming in general finite element software ANSYS, and the technique of birth and death element was adopted in the model to simulate the horizontal transfer process of vehicle on the vehicle-carrying board along the beams. The dynamic response characteristic of beams was analyzed in detail and the dynamic amplification factors of beams under normal operating condition were obtained. Then the influences of contact stiffness between moving mass and beam, moving mass and the moving velocity on the dynamic response of beams were investigated. Finally, the dynamic response characteristic of the whole structure during the horizontal transfer process of vehicle was also discussed. The results show that the vibration response of whole structure during the horizontal transfer process of vehicle is tiny and can be ignored. The dynamic amplification factors of beam are between 1.4 and 1.7 and should be paid attention to.

Key words: high-rise tridimensional parking structure; horizontal transfer; dynamic response; dynamic amplification factor

收稿日期: 2015-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178176); 湖南省高校科技创新团队支持计划项目(湘财教指[2012]80号);

湖南省自然科学基金项目(13JJ6022); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(531107040539)

作者简介: 贺拥军(1970-), 男, 湖南宁乡人, 教授, 博士研究生导师, 工学博士, E-mail: hyj0087@163.com.

0 引言

在垂直升降型立体停车结构中^[1-6],存取车辆时横移过程的驱动控制可采用变频调速技术,横移机构在正常横移段(占整个运行段的绝大部分)常以较高速度匀速移动,在启动和定位时通过程序控制变速慢行,确保整个过程运行高效和定位准确。因此,在忽略启动和定位阶段后,车辆存取的水平横移过程实质上是匀速移动质量作用于前后支承载车板的横梁,必将引起梁的横向振动。立体停车结构没有普通房屋钢框架结构中的填充墙和楼板^[7-8],横梁振动受到的约束作用相对较少,振动响应将更加剧烈。目前,对于高层钢结构立体车库因车辆横移引起的横梁振动响应特征与设计理论方面的研究成果非常有限,虽然实际工程中已有所应用,但对于这类钢结构的设计基本上是参照中国高层民用钢结构技术规程进行的^[9]。因此,针对垂直升降型立体车库这一新型特种结构进行移动质量作用下动力响应特性分析,是进行合理设计以及确保结构安全运行的前提。

本文拟采用 ANSYS 中的 APDL 语言编程建立高层立体停车结构的多尺度三维有限元模型,利用生死单元技术实现移动质量沿梁匀速移动以模拟车辆沿梁的水平横移过程,对结构动力响应特性进行分析,得到正常运行状态下横梁的动力响应放大系数,并进一步考察移动质量与横梁间相互作用刚度、移动质量以及移动速度等重要参数变化对横梁动态响应的影响规律,为结构设计和抑制梁的振动提供理论依据。

1 移动质量沿梁匀速移动的系统动力方程

移动荷载作用下弹性体的振动模型主要有 3 种^[10]:移动力模型、移动质量模型,以及移动振动模型,即移动质量-弹簧-阻尼系统模型,如图 1 所示,其中 P 为移动力。图 1(b)所示长度为 l 的梁,其上有一质量为 M 的物体以匀速 v_0 向前运动,梁的单位长度质量为 ρ ,抗弯刚度为 E ,梁 x 处在瞬时 t 的挠度为 $u(x, t)$,其值设为小量。梁的柯氏力、向心力以及阻尼影响很小,均可以忽略^[11-12],从而可得出梁的振动方程为^[13]

$$E \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + \rho \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = f(x, t) \quad (1)$$

$$f(x, t) = \delta(x - v_0 t) [Mg - M \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2}] \quad (2)$$

式中: Mg 与 $M \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2}$ 分别为移动质量的重力项与

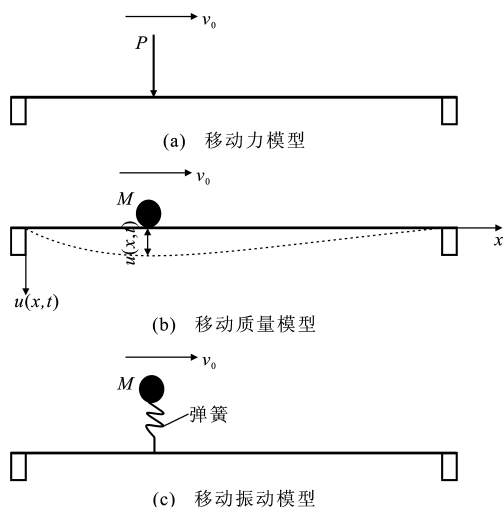


图 1 移动荷载作用下梁振动模型

Fig. 1 Vibration Models of Beam Under Moving Load

惯性荷载项, g 为重力加速度; δ 为狄克拉函数。

当梁为两端固支时,其初始条件和边界条件分别为

$$u(x, 0) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$$

$$u(0, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = u(l, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0$$

如果不考虑惯性荷载项,即将移动质量简化为移动力 P ,如图 1(a)所示,则以上方程很容易求得解析解和数值解^[14-15]。然而,移动力模型忽略了移动荷载的质量,适用于移动质量比结构质量小很多时的情况,如大跨度公路桥梁在行驶小型车辆作用下的振动分析等。当移动质量与结构质量相当或不能忽略时,就必须考虑移动质量惯性力的影响。目前,移动质量系统作用下求解弹性体结构动力学问题主要采用有限元、模态分析和格林函数等计算方法^[10]。

2 移动质量沿横梁匀速移动的有限元建模

移动质量作用在简单系统(如简支梁、悬臂梁等)时容易建立弹性系统的动力学方程,相应地能够采用理论方法求解。然而,对于立体车库这类体系复杂、构件数量多的结构中移动质量沿横梁匀速移动的动力学问题采用理论方法建立完整系统动力学方程并求解十分困难。

因此,本文在大型通用有限元软件 ANSYS 中采用 APDL 语言编程,建立了移动质量沿立体停车结构中指定某层横梁匀速移动的完整三维有限元模型,以对车辆在存放过程中沿停车间横梁水平移动

过程进行仿真分析。为提高计算与分析效率,考虑到不同结构部位计算精度要求不同,建立了多尺度有限元模型,见图 2。梁、柱均采用梁单元 Beam188 模拟,支撑选用 Link8 单元模拟。经大量试算确定,移动质量作用的横梁划分为 24 个单元,其他梁、柱均划分为 3 个单元,精度和计算效率都满足要求。梁上移动质量选用质量单元 Mass21 模拟,梁与移动质量间的相互作用关系选取弹簧单元 Combin14 来模拟,通过设置弹簧刚度可以模拟载车板滑轮与横梁的接触刚度。例如当弹簧刚度较大(滑轮为钢制滚轮)时,即表示移动质量沿横梁移动;当弹簧刚度较小(滑轮为橡皮制滚轮)时,则为移动振动模型。

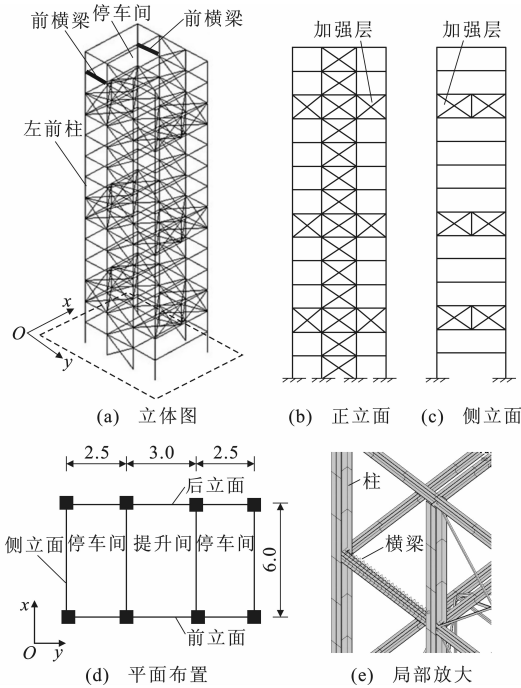


图 2 高层立体停车结构(单位:m)
Fig. 2 High-rise Tridimensional Parking Structure (Unit:m)

质量沿横梁的匀速移动采用有限元软件中的生死单元技术实现^[16],其核心思想为:将横梁划分为若干个单元并在每个单元节点上方建立质量单元且全部“杀死”(“杀死”即表示设置为无效),随后建立弹簧单元连接对应的质量单元节点与横梁单元节点,根据质量移动的速度计算确定其到达横梁某位置的时间,此时激活该处对应的质量单元并进行一次求解,运动到下一个单元时激活该单元,同时“杀死”上一个单元,直到运动到梁端。

3 横梁动力响应特性分析

取图 2 所示 14 层立体停车结构为例^[17],结构

层高 2.2 m,平面布置及尺寸如图 2(d)所示。梁、柱截面型号分别为 H125×125×6.5×9 与 H250×300×8×10,侧立面与前后立面支撑杆分别采用 $\phi 152\times 5$ 与 $\phi 121\times 4$ 空心圆钢管。停车间宽度为 2.5 m,考虑到两边留有一定空间,载车板实际运行距离为 2.3 m。某型号水平横移设备参数如下:载车板水平横移速度为 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,额定车辆荷载按 6:4 分配到前后横梁,其中前梁承担较大荷载 10 kN(假定车辆发动机前置且离前梁近)。假定载车板与横梁间为钢制滚轮,即为移动质量模型,接触刚度取某极大值($1\times 10^{10}\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$),利用生死单元技术实现移动质量沿梁匀速移动以模拟车辆存放时沿梁的水平横移过程,对车库结构横梁动态响应特性进行分析。图 3~5 分别为横梁振动位移、速度与加速度响应时程曲线。

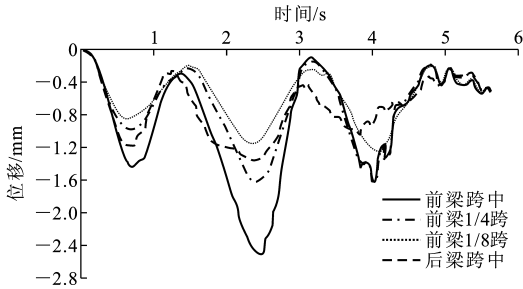


图 3 横梁不同点处振动位移时程曲线
Fig. 3 Time-history Curves of Vibration Displacement at Different Locations on Beam

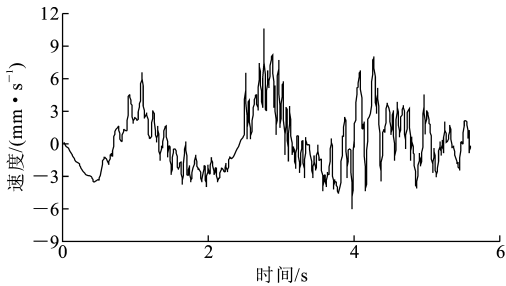


图 4 横梁跨中振动速度时程曲线
Fig. 4 Time-history Curve of Vibration Velocity at Midspan of Beam

从图 3 可见,车辆移动到横梁跨中时,横梁各点均达到其在整个振动过程中所能达到的最大位移,其中跨中此时的位移是横梁在整个过程中的最大值,前后横梁振动位移分别为 2.50 mm 和 1.35 mm。

横梁不同位置处振动形态相似,呈现中间大两边小的 3 个波谷;前后梁跨中振动波形相似,后梁波幅偏小,这是由于后梁承担的荷载比前梁小,相应的位移响应也小。对同样的模型,在前后横梁跨中分

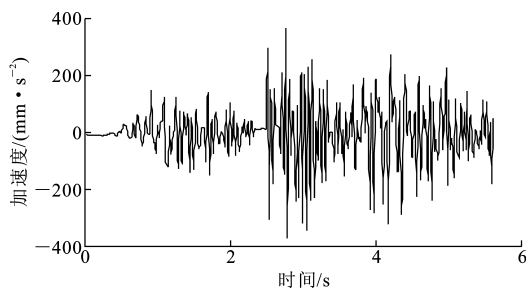


图5 横梁跨中振动加速度时程曲线

Fig. 5 Time-history Curve of Vibration

Acceleration at Midspan of Beam

别施加对应静力荷载 10 kN 和 6.7 kN,对结构进行静力求解得到前后横梁跨中最大位移分别为 1.52 mm 和 0.98 mm。由此可知,载车板在额定荷载及额定水平横移速度下前后横梁的动力放大系数分别为 1.64 与 1.38。

从静力分析结果可知,结构变形与施加的荷载几乎呈线性关系,而动力分析结果并非明显呈线性关系,可见动力过程及其潜在的规律要复杂得多,下文将进一步探讨其动力响应特征及规律。

《电梯技术条件》(GB/T 10058—1997)^[18]规定乘客电梯轿厢运行时垂直方向的振动加速度不得大于 $250 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。由图 5 可见,横梁在垂直方向的振动加速度绝大部分在 $250 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 范围内,且垂直升降型立体车库中无人活动,对舒适性要求较低,对加速度的限制会提高,故能满足要求。

4 横梁动力响应参数分析

4.1 接触刚度的影响

实际工程中,载车板下的滑轮可用钢制滚轮、橡皮滚轮或其他材质滚轮,在载车板横向移动过程中能有效减小摩擦阻力,但不同材质的滚轮在移动过程中与横梁的接触刚度不同。当滚轮材质足够坚硬时,可视作质量在横梁上移动,而当滚轮材质较松软时,严格意义上横梁上移动的不是质量,而是移动质量与弹簧的组合物。以图 2 所示的结构为例,在额定运行速度 ($0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 和荷载 (10 kN) 下,调整弹簧刚度系数分别为 $1 \times 10^6, 1 \times 10^7, 2 \times 10^7, 1 \times 10^8, 1 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,对整体结构进行动力响应分析。

图 6 为不同接触刚度下横梁跨中位移时程曲线。由图 6 可见,接触刚度的变化对横梁的振动响应影响较大。当接触刚度 k 为 $1 \times 10^8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 和 $1 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时,2 条振动位移曲线几乎完全重合,说明当接触刚度达到 $1 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时足以模

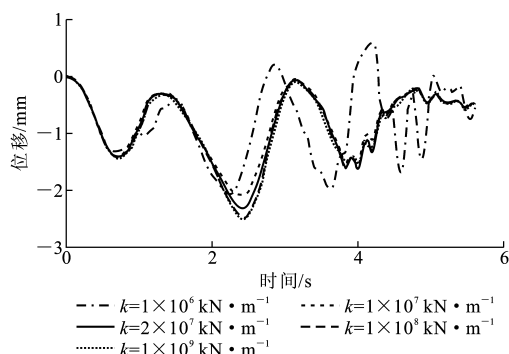


图6 不同接触刚度下横梁跨中位移时程曲线

Fig. 6 Time-history Curves of Displacement at Midspan of Beam Under Different Contact Stiffnesses

拟移动质量模型,而不是移动质量-弹簧模型,同时也验证了前文取 $k = 1 \times 10^{10} \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 来模拟移动质量模型的正确性。另外,由接触刚度分别为 $1 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 和 $1 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时对应的 2 条振动曲线可知,当接触刚度小到一定程度时,再减小已无法降低横梁振动响应峰值。从接触刚度减小幅度来看,接触刚度为 $1 \times 10^8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 与 $1 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时对应的最大位移值分别为 2.47 mm 和 2.01 mm,降幅近 20%,横梁动力响应对接触刚度变化的敏感区段在 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 之间。综上所述,减小滚轮与横梁的接触刚度能有效降低横梁的振幅,但并不是越小越有效,存在最佳取值范围。就此结构而言,滚轮与横梁接触刚度接近 $1 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时即可达到较好的减振效果。

4.2 移动质量的影响

考虑到停放车辆的大小、型号以及是否装载其他物品等因素的影响,车辆荷载是随机的而不是一成不变的。以存放常规车辆时分配到前横梁的荷载 10 kN 为额定荷载(后横梁上移动质量为前者的 $2/3$),分别考察横梁上作用 $1/2, 3/4, 1$ (标准), $5/4, 3/2$ 倍额定荷载情况下(结构其他参数同第 3 节中模型)结构横梁的振动响应特性。图 7 为不同移动质量作用下横梁跨中位移时程曲线。

从图 7 可见,不同移动质量作用下横梁跨中的位移时程曲线整体形态相似,而随着移动质量的增加,梁的振动位移增大。值得注意的是,位移到达最大值的时间并不是质量移动到跨中时刻,而是略有滞后,移动质量越大,时间滞后越明显,究其原因是在作用在横梁上的移动质量越大,产生的惯性越大,进而产生的滞后效应越显著。这契合了在第 1 节中提到的当移动荷载质量与结构质量相当或足够大时,移动质量惯性力的影响不能忽略,系统动力方程中

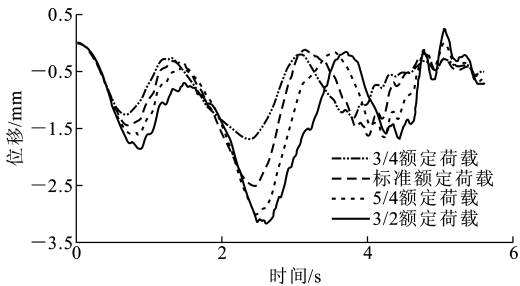


图 7 不同移动质量作用下横梁跨中位移时程曲线

Fig.7 Time-history Curves of Displacement at Midspan of Beam Under Different Moving Masses

必须保留移动质量惯性荷载项的理论论断,也验证了本文所建有限元模型的正确性。表 1 为不同移动质量作用下横梁的动力响应。由表 1 可知,梁振动的最大横向位移、速度、加速度及最大杆件应力总体趋势均为随着移动质量的增大而增大,故实际工程中应尽量避免超载运行。

4.3 移动速度的影响

目前垂直升降式立体车库横移机构一般运行速度在 $18\sim30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 之间。假定支承载车板在横梁上的移动滑轮为钢制滚轮,接触刚度为 $1\times10^{10}\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$,即移动质量模型,其他参数同第 3 节中模型的,在额定荷载下,分别考察横移机构运行速度

表 2 不同横移速度下横梁的动力响应

Tab.2 Dynamic Response of Beam Under Different Traverse Moving Velocities				
横移速度/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大横向位移/mm	最大横向速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大横向加速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$)	最大杆件应力/MPa
0.3	-2.09	6.42	-164.22	46.01
0.4	-2.15	7.28	-231.21	47.39
0.5	-2.50	10.17	-360.09	49.87
0.6	-2.56	11.30	-629.53	51.78
0.7	-2.78	21.25	-1 071.50	55.94

由图 8 可以看出,横梁跨中位移响应随着横移机构运行速度的增大而增大,故仅从结构安全角度考虑,应尽量低速运行以减小横梁振动幅度。显然,不同运行速度下横梁跨中振动的整体形态差异很大。当横移速度为 $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,曲线呈现出 5 个完整的波谷,而当横移速度为 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,仅有 3 个完整的波谷出现。另外,横梁振幅达到最大值的时间随着横移速度的减小而延后,这是由于横移速度减小时质量移动到跨中所需的时间相应变长。从表 2 可以看出,横梁的最大横向位移、速度、加速度以及最大杆件应力都与横移速度呈正相关关系,进一步表明过大的横移速度对结构振动和内力均有不利的影响,在保证工作效率的前提下应尽量降低横移速度。

表 1 不同移动质量作用下横梁的动力响应

Tab.1 Dynamic Response of Beam Under Different Moving Masses				
工况	最大横向位移/mm	最大横向速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大横向加速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$)	最大杆件应力/MPa
3/4 额定荷载	-1.68	6.27	-230.38	30.80
标准额定荷载	-2.50	10.17	-360.09	49.87
5/4 额定荷载	-3.04	11.13	-489.67	74.48
3/2 额定荷载	-3.16	17.10	-540.77	84.33

v 为 $0.3,0.4,0.5,0.6,0.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 情况下横梁的动力响应特性,结果如图 8 和表 2 所示。

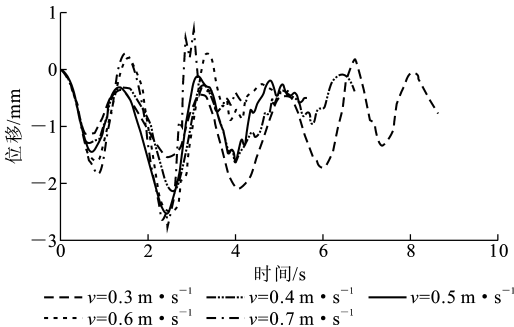


图 8 不同横移速度下横梁跨中位移时程曲线

Fig.8 Time-history Curves of Displacement at Midspan of Beam Under Different Traverse Moving Velocities

5 整体结构动力响应特性分析

车辆存取时的水平横移过程不仅会对支承载车板的横梁产生动力放大效应,而且会引起整体结构的振动。仍以第 3 节中的模型为例,不考虑结构阻尼,对结构进行计算,考察整体结构的动力响应特征,选取位移响应最大的左前柱(图 2)为代表,图 9 给出了结构顶部(14 层)、中部(7 层)以及底部(1 层)柱的位移响应曲线。结构顶层柱的振动速度及加速度时程曲线分别如图 10,11 所示。

从图 9 可以看出,在车辆存取水平横移过程中,结构顶部位移响应明显比结构中部和底部的大,但整体结构水平位移响应的最大值不到 1 mm,远小于规范^[1]中车库结构外框架尺寸的精度要求。另

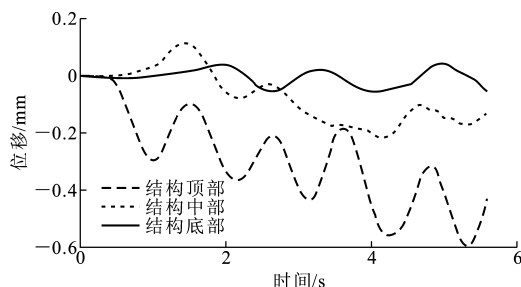


图9 整体结构不同高度处振动位移时程曲线

Fig. 9 Time-history Curves of Vibration Displacement at Different Heights of Whole Structure

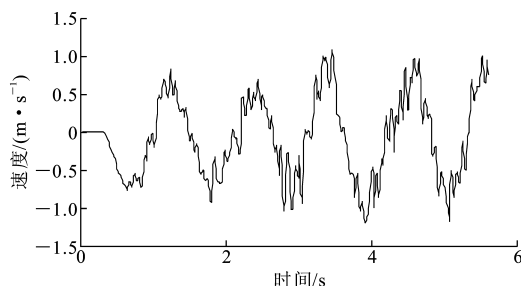


图10 结构顶层柱的振动速度时程曲线

Fig. 10 Time-history Curve of Vibration Velocity at Top of Column of Structure

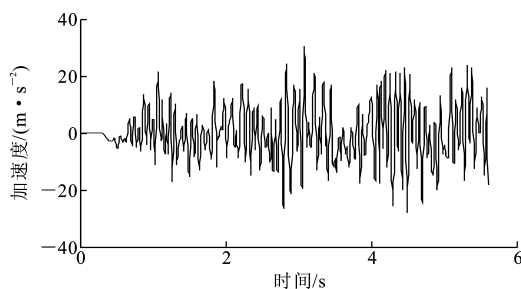


图11 结构顶层柱的振动加速度时程曲线

Fig. 11 Time-history Curve of Vibration Acceleration at Top of Column of Structure

外,将图10,11分别与图4,5比较可知,结构顶层柱的速度和加速度响应峰值不足载车板作用的横梁相应响应峰值的1/10。由此可见,在额定荷载及正常运行状态下车辆存取水平横移过程引起的整体结构振动响应很小,可以忽略不计,而受移动质量直接作用的横梁局部振动响应显著,设计时应重点考虑。

6 结语

(1)质量移动到横梁跨中时,横梁各点均达到其在整个振动过程中所能达到的最大位移,此时跨中位移是横梁在整个过程中的最大值。

(2)载车板在标准额定荷载及水平横移速度下横梁的动力放大系数在1.4~1.7之间。

(3)在一定范围内减小滚轮与横梁的接触刚度能有效降低横梁振幅,但并不是越小越有效,存在最佳取值范围,反映到实际工程中橡胶材质的滚轮比钢制滚轮的减振效果要好。

(4)不同移动质量作用下横梁跨中的振动位移曲线形态相似,但随着移动质量的增加,梁振动位移增大。位移到达最大值的时间并不是质量移动到跨中的时刻而是略有滞后,移动质量越大,滞后效应越显著。

(5)横梁振动的最大横向位移、速度、加速度以及最大杆件应力都与运行速度成正相关,过大的横移速度对结构振动和内力均有不利影响,在保证车库工作效率前提下,应尽量降低运行速度。

(6)在额定荷载及正常运行状态下,车辆存取水平横移过程引起的结构整体振动响应很小,可忽略不计,应重点关注横梁局部振动响应。

参考文献:

References:

- [1] 贺拥军,周绪红,唐家云. 四边形筒式钢构架立体停车结构的横隔设置研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2014, 31(3): 25-31.
HE Yong-jun, ZHOU Xu-hong, TANG Jia-yun. Research on Diaphragm Arrangement of Quadrangular Tube-type Steel Frame Tridimensional Parking Structure[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2014, 31(3): 25-31.
- [2] 贺拥军,杨承超,周绪红,等. 立体车库的结构形式及应用与发展[J]. 建筑科学与工程学报, 2009, 26(4): 30-34.
HE Yong-jun, YANG Cheng-chao, ZHOU Xu-hong, et al. Structural Forms, Application and Development of Three-dimensional Garages[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2009, 26(4): 30-34.
- [3] 刘丽娜. 浅谈立体车库的特点及其应用[J]. 智能建筑与城市信息, 2007(12): 96-99.
LIU Li-na. Discuss About Characteristics and Application of the Three-dimensional Garages[J]. Intelligent Building & City Information, 2007(12): 96-99.
- [4] 汪浩,余华. 自动化立体停车库的类型、特点和应用[J]. 苏州职业大学学报, 2004, 15(4): 90-92.
WANG Hao, YU Hua. Classification, Peculiarity and Application of the Automatic Three-dimension Parking Systems[J]. Journal of Suzhou Vocational University, 2004, 15(4): 90-92.
- [5] 张启君. 立体车库的主要型式及技术特点[J]. 机电产品开发与创新, 1999(2): 7-9.

- ZHANG Qi-jun. Classification and Peculiarity of the Three-dimensional Garages[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 1999(2): 7-9.
- [6] HE Y Y, ZHOU X H. Approximate Analytical Method of Multi-storey or High-rise Steel Three-dimensional Parking Structures[J]. International Journal of Advanced Steel Construction, 2012, 8(2): 112-123.
- [7] KWAK H G, SONG J Y. Live Load Design Moments for Parking Garage Slabs Considering Support Deflection Effect[J]. Computers & Structures, 2001, 79(19): 1735-1751.
- [8] KWAK H G, SONG J Y. Live Load Factors for Parking Garage Members[J]. Structural Safety, 2000, 22(3): 251-279.
- [9] JB/T 10475—2004, 垂直升降类机械式停车设备[S]. JB/T 10475—2004, Vertical Lifting Mechanical Parking System[S].
- [10] 胡红生, 钱苏翔. 移动质量激励下梁动态响应分析与试验研究[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(2): 153-157, 209.
HU Hong-sheng, QIAN Su-xiang. Test and Dynamic Response Analysis of Beam Under a Moving Mass[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(2): 153-157, 209.
- [11] MICHALTSOS G T, KOUNADIS A N. The Effects of Centripetal and Coriolis Forces on the Dynamic Response of Light Bridges Under Moving Loads[J]. Journal of Vibration and Control, 2001, 7(3): 315-326.
- [12] MICHALTSOS G T. Dynamic Behavior of a Single-span Beam Subjected to Loads Moving with Variable Speeds[J]. Journal of Sound and Vibration, 2002, 258(2): 359-372.
- [13] 王金福, 杨国来, 葛建立. 移动质量-梁振动的时空有限元法数值分析[J]. 动力学与控制学报, 2012, 10(1): 58-61.
WANG Jin-fu, YANG Guo-lai, GE Jian-li. Numerical Analysis of Moving Mass-beam Vibration with Space Time Finite Element Method[J]. Journal of Dynamics and Control, 2012, 10(1): 58-61.
- [14] 彭 献, 刘子建, 洪家旺. 匀变速移动质量与简支梁耦合系统的振动分析[J]. 工程力学, 2006, 23(6): 25-29.
PENG Xian, LIU Zi-jian, HONG Jia-wang. Vibration Analysis of a Simply Supported Beam Under Moving Mass with Uniformly Variable Speeds[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(6): 25-29.
- [15] WIDJAJA B R. Path-following Technique Based on Residual Energy Suppression for Nonlinear Finite Element Analysis[J]. Computer & Structures, 1998, 66(2): 201-209.
- [16] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
WANG Xin-min. ANSYS Numerical Analysis of Engineering Structures[M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [17] HE Y J, LIU X H, ZHOU X H. Research on Static Properties and Stability of High-rise Tubular 3D Parking Structure with Hoop Stories[J]. International Journal of Advanced Steel Construction, 2014, 10(4): 426-441.
- [18] GB/T 10058—1997, 电梯技术条件[S].
GB/T 10058—1997, Specification for Lifts[S].

《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2014 版

2015 年 7 月,《中文核心期刊要目总览》2014 年版编委会公布了中文核心期刊名单,《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2014 年版之建筑科学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2014 年版的期刊评价仍采用定量评价和定性评价相结合的方法,根据被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、他引影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量、论文被引指数、互引指数等 12 个评价指标进行定量评价,经过筛选和专家定性评审,从 14 728 种期刊中评选出 1 983 种中文核心期刊。

《建筑科学与工程学报》连续入选北大核心期刊,说明《建筑科学与工程学报》的学术水平和学术影响力保持在行业期刊前列。

希望大家继续支持我刊,并欢迎大家踊跃投稿!