

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.11.019

半地半轨双层立式停车装置的结构设计与有限元分析*

沈仙法¹, 张月², 郁锦涛¹

(1. 三江学院 机械与电气工程学院, 江苏 南京 210012;

2. 南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 211816)

摘要:针对城市老旧小区现有双层立式停车装置的空间利用不完全、上下两层车辆的停取有干涉的问题,设计了一种具有升降和横移功能的双层立式停车装置。框架横移系统和下载车板横移系统采用了半地半轨结构,上载车板升降系统采用了链传动和绳轮结构;利用 ANSYS Workbench 软件对停车装置的关键部件上载车板、框架导轨座和升降长轴进行了有限元分析,对风载荷作用下的停车装置稳定性进行了研究;制作了缩小比例为 1:10 的停车装置实物样机并进行了功能测试。研究表明:停车装置关键部件的强度和刚度以及风载荷作用下的稳定性均满足安全要求,停车装置结构紧凑,能够轻松实现上、下两层车辆的无干涉停取。

关键词:半地半轨;停车装置;结构设计;有限元分析;ANSYS Workbench

中图分类号:TH122;U491.71

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)11-1366-06

Structural design and finite element analysis of the double-layer vertical parking device with semi-ground and semi-rail

SHEN Xian-fa¹, ZHANG Yue², YU Jin-tao¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Sanjiang University, Nanjing 210012, China;

2. School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Technology University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Aiming at the problems of incomplete space utilization of the existing double-layer vertical parking device in the old urban area and interference between the parking and taking of the upper and lower two-layer vehicles, a double-layer vertical parking device with the functions of lifting and moving horizontally was designed, in which the semi-ground and semi-rail structure was adopted by the frame and the download plate lateral moving systems, and the chain drive and rope-wheel structure was adopted by the upload plate system. The key components of the parking device, such as the loading plate, the frame guide rail seat and the lifting long axis were analyzed by ANSYS Workbench. The stability of the parking device under the wind load was studied. The prototype of the parking device with a reduced ratio of 1:10 was made and its function was tested. The results indicate that the strength and rigidity of the key components of the parking device and the stability under the wind load can meet the safety requirements. The designed parking device has a compact structure, and can easily realize the non-interference parking and taking of the upper and lower vehicles.

Key words: semi-ground and semi-rail; parking device; structural design; finite element analysis; ANSYS Workbench

收稿日期:2020-03-14

基金项目:江苏省高校自然科学研究资助项目(14KJB460022);三江学院科研资助项目(2019SJY005)

作者简介:沈仙法(1974-),男,江苏扬州人,博士,副教授,主要从事机械系统动态设计及优化方面的研究。E-mail:jsgynjsxf@126.com

0 引言

随着轿车正逐步走入家庭,购车与停车的矛盾正在逐渐变大^[1-3]。居民小区的每个停车位只能满足一辆轿车停放,而已有的停车装置又主要是大型立体车库,对于家庭停车需求往往无法满足。小型双层立式停车装置可以弥补这方面的不足。

目前,关于小型双层立式停车装置的研究主要有:文献[4]设计了一种家用液压微型立体车库,这种车库的上、下两车位的车辆必须要按照顺序停放,而且上、下两层车辆的存取有相互干涉;文献[5]设计了一种无避让式双层立式停车库,但其结构复杂,占地面积大。已有的双层立式停车装置^[6-9]大多要求底层必须预留至少一个用于避让的空车位,同时具有升降和横移功能的停车装置也不适合在一个车位面积的地方上使用。

针对现有双层立式停车装置的空间利用不完全、上下两层车辆的停取有干涉等问题,本文设计一种具有升降和横移功能的半地半轨双层立式停车装置。

1 停车装置总体方案设计

笔者设计一种半地半轨双层立式停车装置。由于家用轿车质量一般小于 1 700 kg,考虑到装置传动过程中的摩擦、润滑不良、室外的风、雪、雨以及装置本身部件自重等因素,取安全系数为 1.5,并将车重乘以安全系数作为额定载重量^[10-12]。

该装置设计可停放车辆参数如表 1 所示。

表 1 可停车辆参数

车辆参数	最大长度 $L_{\max}/\text{m}$	最大宽度 $B_{\max}/\text{m}$	最大高度 $H_{\max}/\text{m}$	重量 G/kg
上层	5.0	2.1	1.7	2 550
下层	4.5	2.1	2.0	2 550

停车装置主要包括 5 部分,如图 1 所示。

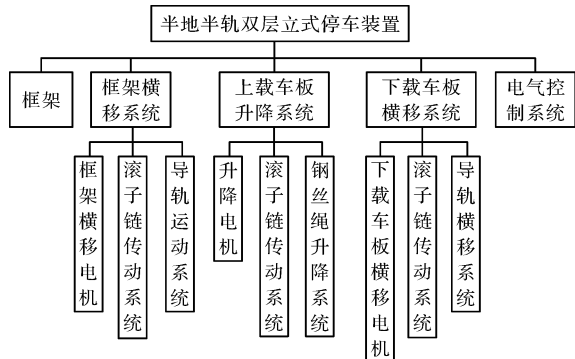


图 1 停车装置整体方案设计

2 停车装置机械结构设计

2.1 框架设计

主体框架是安装框架横移系统和上载车板升降系统的支撑件,框架型材选择是否合适直接关系到框架的整体稳定性,因此,根据框架各个部位受力特性,框架 4 根立柱选用 200 mm × 200 mm × 3 mm 方管,框架纵梁和横梁以及其支撑件选用 200 mm × 100 mm × 3 mm 方管,材料均为 Q235A。

2.2 框架横移系统设计

框架横移系统主要由框架横移电机、滚子链传动系统和导轨运动系统组成;框架横移电机选用 YVF315L1-4 型三相交流异步电动机,其具有抱刹装置和断电自锁的功能,防止突然停电使汽车下坠而造成危险;链传动选用 28A 滚子链。框架横移系统的作用是将上载车板横移至待放区,实现上层汽车的无障碍升降,框架的 4 根立柱底部一侧装有从动滚轮,一侧装有驱动滚轮。其中从动滚轮在地面上行驶,驱动滚轮安装在导轨上,沿着导轨行驶。

具体结构示意图如图 2 所示。

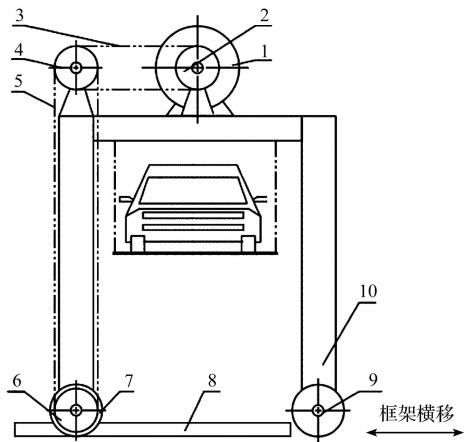


图 2 框架横移结构示意图

1—框架横移电机;2—主动链轮;3—水平传动链条;4—从动链轮与二阶主动链轮;5—垂直传动链条;6—二阶从动链轮;7—驱动滚轮;8—框架横移导轨;9—框架从动滚轮;10—框架

2.3 上载车板升降系统设计

上载车板升降系统主要包括升降电机、滚子链传动系统、钢丝绳升降系统和上载车板。通过计算和分析,升降电机选用了 YVF315M-4 型三相交流电动机,链传动选用 28A 滚子链。

该系统的作用是实现上载车板的升降,完成上层

车辆的停取,具体结构示意图如图 3 所示。

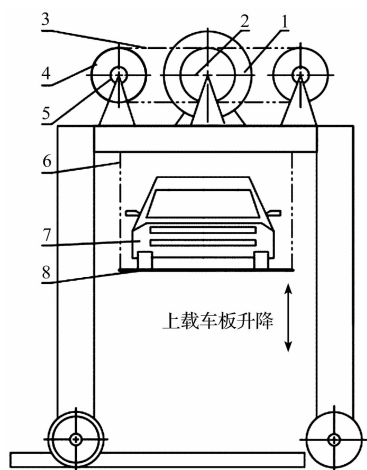


图 3 上载车板升降结构示意图

1—上载车板升降电机;2—升降主动链轮;3—升降链条;4—升降从动链轮;5—卷扬轮;6—卷扬绳;7—上层汽车;8—上载车板

2.4 下载车板横移系统

下载车板横移系统主要由下载车板横移电机、滚子链传动系统、导轨横移系统和下载车板组成。笔者通过计算和分析,升降电机选用 YVF315M-4 型三相交流电动机,链传动选用 28A 滚子链。该系统的作用是将下载车板移动到待放区,以便下层汽车驶入或驶出。下载车板底部一侧装有从动滚轮,一侧装有驱动滚轮。从动滚轮在地面上行驶,驱动滚轮安装在导轨上,沿着导轨行驶。

具体结构示意图如图 4 所示。

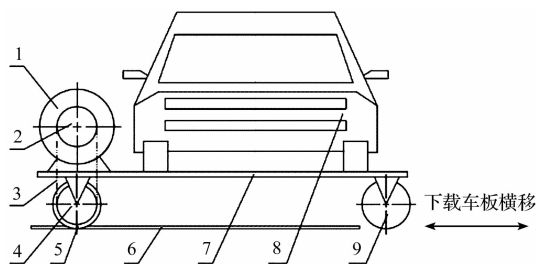


图 4 下载车板横移原理示意图

1—下载车板横移电机;2—下载车板主动链轮;3—传动链条;4—下载车板从动链轮;5—驱动滚轮;6—导轨;7—下载车板;8—下层汽车;9—下载车板从动滚轮

2.5 停车装置整机机械结构

综合上述设计,半地半轨双层立式停车装置的整机三维机械结构如图 5 所示。

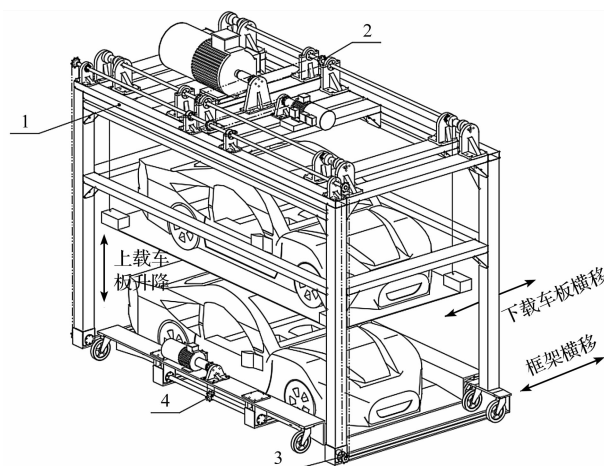


图 5 停车装置整机结构图

1—框架;2—上载车板升降系统;3—框架横移系统;4—下载车板横移系统

3 关键部件结构有限元分析

上载车板、框架导轨座和升降长轴是停车装置的关键部件,承受着整个框架、上层汽车和其他零部件的重量。因此,有必要对这些构件进行强度和刚度分析。

3.1 有限元模型的建立

首先,本文在 UG NX 中建立停车装置主要构件的三维模型并进行简化^[13-14],再利用 UG 接口程序直接转换成 ANSYS Workbench 可识别的 x_t 文件格式,导入到 ANSYS Workbench 中,然后进入 Static Structural-Mechanical 静态结构分析环境界面。

3.2 材料参数

停车装置的框架导轨座和升降长轴的材料为 45 号钢,上载车板的材料为 Q235A,其材料力学性能如表 2 所示。

表 2 材料力学参数

材料牌号	弹性模量 E/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
45	2.1×10^5	355	7 850
Q235A	2.0×10^5	235	7 850

3.3 网格划分

ANSYS Workbench 中提供了自动划分法、四面体划分法、笛卡尔法等多种网格划分方法^[15-19]。本文分析模型均采用六面体主体法划分网格。

3.4 有限元分析结果与讨论

笔者在关键构件相应位置添加约束和载荷,分析计算出应力值,验证其是否满足强度和刚度的要求。通过 ANSYS Workbench 模拟分析,分别得到了上载车

板、框架导轨座和升降长轴的应力和变形云图。

上载车板有限元分析结果如图 6 所示。

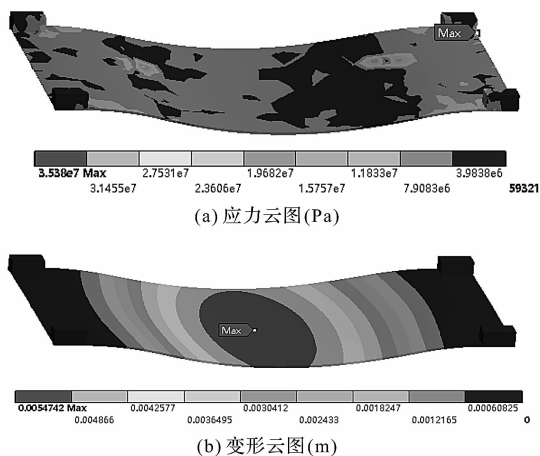


图 6 上载车板有限元分析结果

导轨座有限元分析结果如图 7 所示。

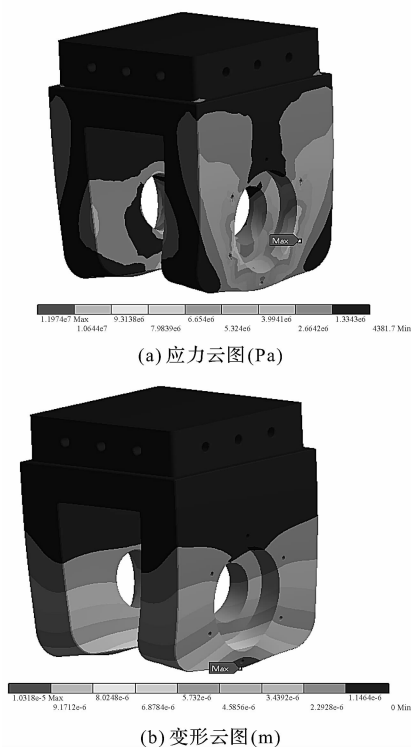


图 7 导轨座有限元分析结果

升降长轴有限元分析结果如图 8 所示。

由图 6(a) 可知,上载车板的最大等效应力出现在上载车板四个固定支架的外侧,大小为 35.38 MPa;从图 7(a) 和图 8(a) 可知,框架导轨座的最大等效应力为 11.974 MPa,出现在轴承座孔下侧约 45° 的两侧,升降长轴的最大等效应力为 25.049 MPa,出现在驱动链轮的辅助支撑处。通过比较发现,上载车板的最大等效应力远小于 Q235A 钢的屈服强度 235 MPa。导轨座和升降长轴的最大应力也远远小于 45 号钢的屈服强

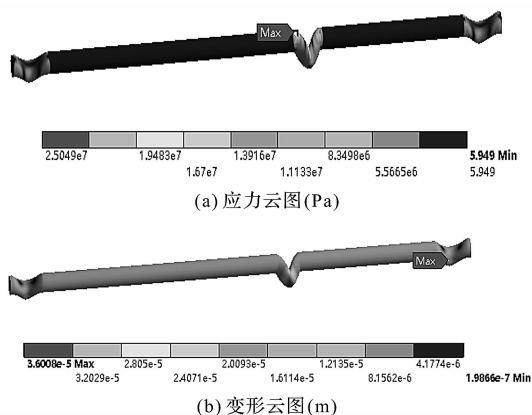


图 8 升降长轴有限元分析结果

度 355 MPa。由此可见,上载车板、框架导轨座和升降长轴的强度均可满足安全要求。

从图 6(b) 可知,上载车板的最大总变形出现在上载板的中间位置,为 5.474 mm;从图 7(b) 和图 8(b) 可看出,框架导轨座的最大总变形位置在轴承座孔的底侧,为 0.001 mm,升降长轴的最大总变形出现在两端从动链轮的安装支撑处,为 0.036 mm。3 个关键构件的变形均小于其许用挠度 ($[\omega] = 1/200$)。由此可见,上载板、框架导轨座和升降长轴变形均满足安全要求。

4 风载荷对停车装置稳定性的影响

4.1 风载荷计算

由于停车装置安装在室外,根据建筑结构荷载规范的要求,风压和风速的关系为:

$$\varpi = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (1)$$

式中: ϖ — 基本风压, N/m^2 ; ρ — 空气密度,一般为 1.25 kg/m^3 ; v_0 — 平均风速, m/s 。

按照最不利工况分析停车装置的稳定性,即最大风力 12 级,上层停有汽车。由于下层汽车位于下载车板上,与其他系统没有关联,分析时不作考虑。经计算,风力 12 级时,最大风压为 851 N/m^2 。

停车装置相应部件的迎风受力计算式^[20]为:

$$F = \psi \varpi \cdot S \quad (2)$$

式中: F — 停车装置所受风力值, N ; S — 停车装置部件的迎风面积, m^2 ; ψ — 充满系数,型钢或钢板桁架或空腹结构时 $\psi = 0.2 \sim 0.6$,管子桁架结构时 $\psi = 0.2 \sim 0.4$,实体板结构时 $\psi = 1$,机构时 $\psi = 0.8 \sim 1$ 。

4.2 风载荷作用下的稳定性分析

经分析计算,停车装置所受最大风载荷为 6 959.47 N,

具体如表 3 所示。

表 3 停车装置风载荷

部件名称	迎风面积 S/m^2	充满系数 ψ	风力值 F/N
整体框架	2.99	0.6	1 526.69
电机和轴座等	0.98	0.8	667.18
轿车	5.6	1	4 765.6

在风载荷的作用下,停车装置产生的最大倾覆力矩为 $12\,527.05\text{ N}\cdot\text{m}$,停车装置整体框架和上载车板系统与地面的摩擦力矩为 $69\,293.13\text{ N}\cdot\text{m}$,最大倾覆力矩小于停车装置与地面摩擦力矩。由此可见,该停车装置能够保证在风载荷作用下的稳定性安全要求。

5 模型样机制作与调试

为验证停车装置结构的合理性以及能否实现预定功能,笔者制作了模型样机,模型样机的尺寸与实际尺寸之比为 1:10,如图 9 所示。

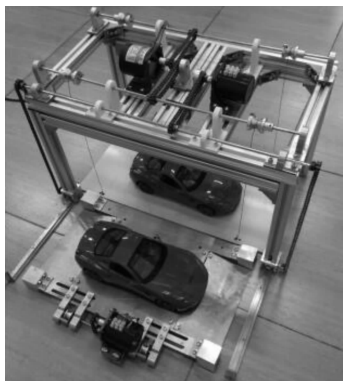


图 9 模型样机

试验过程中,上载车板出现了随着框架的横移而晃动的现象。笔者通过在框架立柱上铺设垂直移动轨道,使上载车板在垂直轨道内上下移动,避免了上载车板的晃动;

框架横移长轴和升降长轴因受力而产生了较大变形。笔者通过增加轴承座,起到辅助支撑的作用,减小了长轴的挠曲变形;

上、下载车板两端的缓坡板与地面的角度大于汽车接近角,导致汽车无法驶入载车板;角度小于汽车接近角,又会引起汽车所占车位过长。笔者通过采用准确设计载车板两端缓坡板的角度,避免了上述两个问题。

综上所述,经过笔者调试和修正,停车装置测试的全部功能均可以满足使用要求。

6 结束语

(1)针对现有小型立式停车装置的不足,笔者设

计了一种适用于家用轿车的半地半轨双层立式停车装置,装置框架和下载车板横移系统采用了半地半轨结构,上载车板升降系统采用了链传动和绳轮结构,可以实现两辆家用轿车的快速停放和取用,并且上层车辆的取放不受下层有无车辆的影响,停车装置结构紧凑,只占用一个车位的面积;

(2)利用 ANSYS Workbench 对停车装置的关键构件上载车板、框架导轨座和升降长轴进行了有限元分析,得到了最大应力和最大变形值;研究了风载荷作用下的停车装置稳定性,证明了其能够满足强度、刚度和稳定性的安全要求;

(3)完成了停车装置模型样机的制作与调试,结果证明设计的停车装置可以实现预期功能和目标。

参考文献 (References):

- [1] 王 瑞,姚 望,刘昌贵,等. 老旧社区非机动车停车设施创新设计[J]. 工业设计,2017(4):81-83.
- [2] 秦 涛,吴 坤,靳 财,等. 一种小型柱式立体停车库的设计与实现[J]. 机电工程,2019,36(10):1094-1098.
- [3] 郭家盛,胡 杰,洪宇靖. 弧形链式双层立体停车装置的研制[J]. 宁波工程学院学报,2019,31(3):32-37.
- [4] 梁嘉麟. 独立使用的家用液压微型立体车库的结构形式:[P]. 中国:201210191555.X,2012-06-06.
- [5] 张红涛. 一种无避让双层立体停车库[P]. 中国:201220364964.0,2012-07-26.
- [6] National Parking Association. Automated parking takes its place in the united states [J]. **Parking**, 2003(2):22-25.
- [7] MAZA S, CASTAGNA P. Robust conflict-free routing of bi-directional automated guided vehicles system[J]. **IEEE International Conference on Man and Cybernetics**, 2002(8):6-12.
- [8] 李红双,戴园园,王 宁,等. 基于 SolidWorks 双层立体旋转式停车装置的研究[J]. 机械设计,2019,36(S1):141-144.
- [9] 秦 涛,吴 坤,靳 财,等. 一种小型柱式立体停车库的设计与实现[J]. 机电工程,2019,36(10):1094-1098.
- [10] GB50009-2012. 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [11] 张功学,张光伟,陈继生,等. 工程力学[M]. 北京:高等教育出版社,2013.
- [12] 濮良贵,陈国定,吴立言. 机械设计(第九版)[M]. 北京:高等教育出版社,2013.
- [13] 胡仁喜. UG NX 9.0 中文版数控加工从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [14] 买买提明·艾尼,陈华磊. ANSYS Workbench18.0 工程应用与实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [15] 沈仙法,崔小龙. 机电产品木质包装箱的有限元分析与

- 研究[J]. 包装工程,2019,40(19):103-108.
- [16] 袁志林,高翠芝,江海蛟. 基于 ABAQUS 的 PET 切片包装机钢结构有限元分析[J]. 包装与食品机械,2018(6):51-55.
- [17] 徐立伟,宗 姝,周 宏. 对辊式全自动面条机的结构设计[J]. 包装与食品机械,2018(4):75-77.
- [18] 沈仙法,王海巧. 基于 ANSYS 的履带喷雾车车架结构优化分析[J]. 现代制造工程,2017(8):48-52.
- [19] 刘梦安,谭发程,颜建田. 基于 ANSYS 的高速动车组牵引风机的设计研究[J]. 流体机械,2018,46(3):34-36, 6.
- [20] 张相庭. 工程抗风设计计算手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

沈仙法,张 月,郁锦涛. 半地半轨双层立式停车装置的结构设计与有限元分析[J]. 机电工程,2020,37(11):1366-1371.

SHEN Xian-fa, ZHANG Yue, YU Jin-tao. Structural design and finite element analysis of the double-layer vertical parking device with semi-ground and semi-rail[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020,37(11):1366-1371.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1355 页)

参考文献(References):

- [1] WANG B T, CHENG D K. Modal analysis of mdof system by using free vibration response data only[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 2008,31(1):737-755.
- [2] 袁兆成,方 华,李盛成. 降低车用柴油机振动噪声的设计方法[J]. 农业机械学报,2004,35(6):26-29.
- [3] 苗伟驰,陈黎俊,张华兵等. 基于有限元仿真的船用单缸柴油机排气管开裂分析及改进[J]. 柴油机,2018,40(1):24-26.
- [4] 郭常立,张保成,赵丕欢,等. 柴油机整机结构有限元模态分析[J]. 车用发动机,2008(6):37-40.
- [5] 梁艳成,程泊静,黄锦成等. 柴油机体结构有限元模态分析和模态测试[J]. 装备制造技术,2014(5):1-3.
- [6] 杨晓俊. 四缸柴油机机体有限元模态分析及测试[J]. 林业机械与木工设备,2010,38(4):30-32.
- [7] 成军强,祝 航. 某型地铁齿轮箱有限元模态分析及试验研究[J]. 铁道机车与动车,2018,(6):32-33.
- [8] 鲍林晓,孙黎明,王志鹏,等. 某拖拉机驾驶室计算模态仿真分析与测试[J]. 拖拉机与农用运输车,2016,43(4):25-27.
- [9] 康桂东,黄映云,李鹏飞,等. 基于有限元和实验模态的螺栓连接板分析[J]. 船海工程,2010,39(5):14-17.
- [10] 白建勇. 非道路柴油机油底壳振动优化研究[D]. 昆明:昆明理工大学交通工程学院,2017.
- [11] 张远深,蔺相伟,范超超. 基于 Fluent 的静压轴承结构优化及温度特性研究[J]. 液压气动与密封,2019(1):26-29.
- [12] 黄志强,李 刚,陶知非,等. 可控震源振动器有限元模态分析与试验验证[J]. 工程设计学报,2017,24(5):530-535.
- [13] 宋智文,张艳岗,马富康,等. 基于 ABAQUS 的油底壳模态分析及结构优化[J]. 内燃机,2018(5):35-40.
- [14] 沃德·海伦,斯蒂芬·拉门兹,波尔·萨斯. 模态分析理论与实验[M]. 白化同,郭继忠译. 北京:北京理工大学出版社,2001.
- [15] MOHANTY P, RIXEN D J. Modified SSTD method to account for harmonic excitations during operational modal analysis[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2004,39(12):1247-1255.
- [16] 谭祥军. 从这里学 NVH 噪声、振动、模态分析的入门与进阶[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [17] 廖长武,郭文勇. 柴油机低频排气噪声规律分析[J]. 噪声与振动控制,2002(2):37-38.

[编辑:冯黎雅]