

新型电梯曳引机减振器结构设计及静力学分析

任志英,刘鹏飞

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

摘 要:针对传统橡胶易老化、失效等缺点,设计一种基于金属橡胶的电梯曳引机减振器结构,制备出3种不同密度的阻尼元件并对其展开静力学试验研究。通过控制单一变量的试验方法,重点研究密度、压缩变形量、预紧力等因素对元件力学性能的影响。试验结果发现:随着成型密度、压缩变形量、预紧力的不断增大,金属橡胶元件的耗能和刚度呈现不断增大的趋势,损耗因子则呈现不断减小的趋势。

关键词:电梯;金属橡胶;减振器结构;静力学试验;力学性能

中图分类号:TH703.63 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)02-0011-04

Structure Design and Statics Analysis of New Type Elevator Machine Shock Absorber

REN Zhiying, LIU Pengfei

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: To overcome the shortcomings of traditional rubber like easily aging and failing, a metal rubber-based elevator traction machine shock absorber structure was designed, and three damping elements with different densities were prepared, on which static experiments were carried out. By the test method of controlling a single variable, the influence of factors such as density, compressive deformation, and pre-tightening force on the mechanical properties of the components, is studied with emphasis. The test results show that with the continuous increase of molding density, compression deformation and pre-tightening force, the energy consumption and stiffness of metal rubber components show continuous increasing trend, while the loss factor assumes continuous decreasing trend.

Keywords: elevator; metal rubber; shock absorber structure; statics test; mechanical properties

0 引言

电梯曳引机减振器是用来减少曳引机工作时产生的振动,目前市场上采用的减振方案基本是在曳引机底部加装普通材质的橡胶减振器来实现减振目的,然而普通橡胶的耐热性、耐疲劳性均不是很好,所以使用寿命相对较短。

近些年,随着金属橡胶的发展,采用金属橡胶来代替普通橡胶作为减振器的阻尼元件成为可能。金属橡胶是一种多孔结构的功能性金属材料,由金属螺旋丝经过编织、模压等特殊工艺制备而成。由于采用了特殊的成型工艺,金属橡胶具有特殊的力学特性——高阻尼、高弹性以及刚度可设计^[1-3],同时相对于普通橡胶,金属橡胶耐高温、抗老化等环境适应性也更强^[4-5]。文献[6]中基于金属橡胶的减振机座,在有效吸收振动波的基础上,进一步提高了减振机座的刚度和强度。也有人专门针对电梯曳引机的减振设计了金属橡胶减振装置,文献[7]基于金属橡胶的减振基座及工作方法,其减振器除了有耐高温、疲

劳寿命长的优点外,还可形成多级阻尼调节系统,满足各种情况下的减振需求。本研究针对传统橡胶易老化、失效等缺点,设计出了一种基于金属橡胶的电梯曳引机结构并对其展开静力学试验分析。

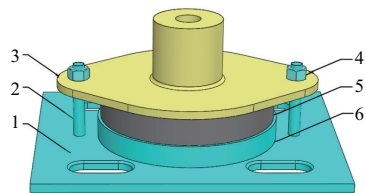
1 金属橡胶减振器的设计与制备

1.1 金属橡胶减振器的结构设计

根据现有的电梯曳引机减振器结构的实际尺寸,设计出一种基于金属橡胶为阻尼元件的减振器结构,如图1所示。该结构主要由减振器上半部、导向柱、底座、螺栓、金属橡胶、固定槽等组成。该减振器结构以空心圆柱形金属橡胶作为阻尼材料,将其放入固定槽进行固定并留有一定间隙,防止金属橡胶在受到外部载荷作用时,阻尼元件在非成型方向上产生变形导致其与固定槽过度挤压。同时在减振器两侧设有导向柱,目的是为了通过调节螺栓预紧力对金属橡胶与减振器上半部的接触程度进行调节。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51805086/51975123);福建省自然科学基金项目(2019J01210);福建省卫生教育联合攻关计划资助项目(2019-WJ-01)

第一作者简介:任志英(1980—),女,浙江温州人,教授、博士生导师,兼任中国机械工程学会摩擦学分会理事、中国机械工程学会摩擦学分会青年工作专业委员会副主任,研究方向为设备减振降噪、汽车声学故障诊断及设备零部件的耐磨性和表面表征技术。



1—底座;2—导向柱;3—减振器上半部;
4—螺栓;5—金属橡胶;6—固定槽。

图1 金属橡胶减振器

本次设计的结构优点主要有:1)选用金属橡胶材料作为阻尼耗能元件,克服了传统橡胶在实际工况环境中易老化、失效,导致其减振效果不理想的缺点;2)由于金属橡胶制备工艺的特殊性,可以根据实际工况制备不同的几何参数和力学性能的阻尼元件;3)设计的金属橡胶减振器结构简单、易于拆装,方便后期检查和更换阻尼元件。

1.2 金属橡胶元件的制备

根据实际电梯曳引机的减振需求,单个减振器所承受的载荷力比较大,同时考虑到电梯曳引机的工作环境比较恶劣,选择304(06Cr19Ni10)不锈钢丝作为原材料,丝径为0.3mm。通过选择规定质量螺旋卷、毛坯缠绕、冲压成型、后处理等工艺步骤,制备出减振器所用的3种不同密度的空心圆柱形金属橡胶元件。表1所示的是3种密度的金属橡胶工艺参数。图2所示的是3种密度金属橡胶元件成型后的实物图,阻尼元件的尺寸为内圆半径30mm,外圆半径120mm,高度44mm。

表1 金属橡胶工艺参数

编号	质量/g	压力/kN	密度/(g/cm ³)
1	763.02	30.56	1.9
2	856.14	56.23	2.1
3	967.53	78.23	2.3

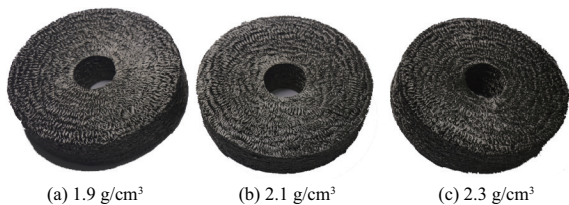


图2 金属橡胶阻尼元件

2 金属橡胶元件的准静态试验及分析

2.1 准静态试验设备和方法

为了满足准静态试验的需求,试验选取电子万能试验机(型号为WDW-T200),如图3所示,对金属橡胶试件进行静态加载和卸载试验。根据电梯曳引机实际工况下承受外部载荷的具体情况,试验选取200kN量程的力传感器,采用等速位移控制模式,加卸载速度为4mm/min。采用控

制单一变量的试验方法,研究试件密度、压缩变形量、预紧力等参数对于准静态力学性能的影响。

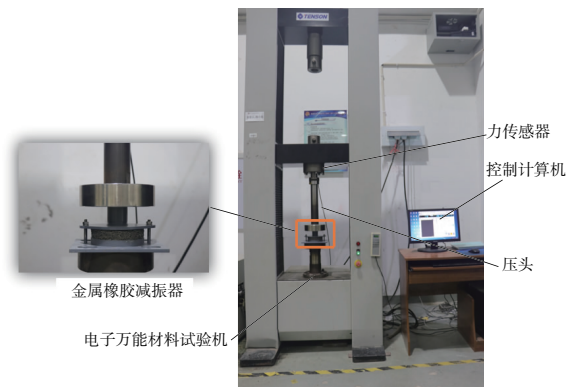


图3 电子万能试验机

2.2 准静态力学性能表征方法

金属橡胶元件的阻尼耗能特性和承载能力主要是通过静态能量损耗因子 η 和割线刚度 k 进行表征。图4为金属橡胶元件在实际加卸载试验下生成的滞回曲线。 w 是加载曲线所围的面积部分,表示试件单次加载过程中需要的能量大小。 Δw 是加载和卸载所围的阴影部分,表示试件单次加卸载周期所消耗的能量。 w 和 Δw 均可以通过积分求解得到^[8-9]。静态损耗因子 η 可由式(1)给出。

$$\eta = \frac{\Delta w}{\pi(w - \Delta w/2)} \quad (1)$$

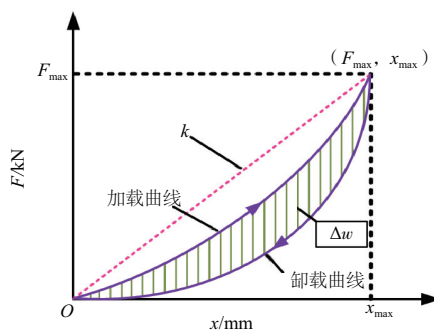


图4 金属橡胶力-位移滞回曲线

金属橡胶元件的刚度随着变形量的变化而变化,为了便于不同工艺参数金属橡胶材料承载能力的对比,以最大载荷位置的刚度作为表征金属橡胶在静态载荷下的承载能力 k 。静态试件刚度 k 可由式(2)计算得出,其中 $F_{\max}$ 和 $x_{\max}$ 分别为最大载荷和相应的最大变形量。

$$k = \frac{F_{\max}}{x_{\max}} \quad (2)$$

2.3 准静态试验结果分析

a) 密度对于静态力学性能的影响

图5为3种不同密度的金属橡胶在预紧力为100N,压缩变量形为11mm的力-位移滞回曲线。通过式(1)、式(2)计算出每个试件的静态能量损耗因子 η 和割线刚度 k 。图6为金属橡胶损耗因子 η 和割线刚度 k 关系对比图。

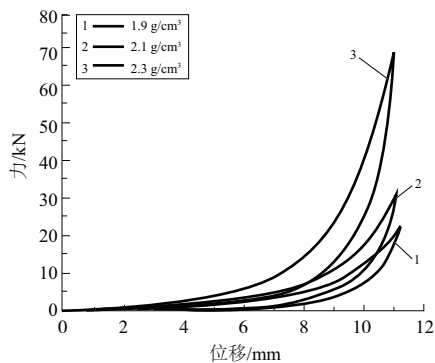


图5 金属橡胶力-位移滞回图(不同密度)

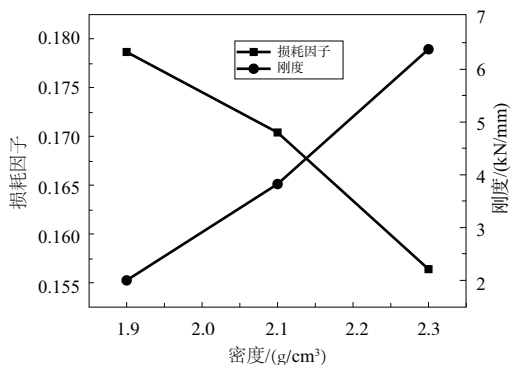


图6 损耗因子-刚度关系对比图(不同密度)

由图5和图6可知,随着金属橡胶元件密度的增大,其静态损耗因子逐渐减小,割线刚度和耗能则逐渐增大。其主要原因如下。

1)随着密度的增加,在相同的变形量下,金属橡胶材料内部线匝接触点数量变多,因内部摩擦增大、刚度增加,最大恢复力增加,从而使耗能和最大弹性势能均增大,但耗能的增速小于最大弹性势能的增速。因此,静态损耗因子随着相对密度增大而减小。

2)随着密度的增大,内部孔隙减小,单位体积内发生滑移的小曲梁受到的约束增加,限制了小曲梁的滑动,金属橡胶内部线匝接触点数量增加,使小曲梁的有效长度减小、刚度增加,导致总的刚度增加(总刚度为各小曲梁刚度叠加),即割线刚度增加,承载能力增加。

b) 压缩变形量对于静态力学性能的影响

以最大变形量作为单一控制变量,保证预紧力为100 N,利用计算机控制电子万能试验机对密度为 2.1 g/cm³ 的金属橡胶构件进行静态加卸试验,研究不同变形量(5 mm、7 mm、9 mm、11 mm) 对于其静态力学性能的影响。实验处理数据完成生成图7和图8。

由图7和图8可知,随着变形量的增加,金属橡胶的静态损耗因子在逐渐减小,而耗能和割线刚度则逐渐增大。其原因是,随着变形量增加,金属丝参与摩擦的有效单元数量增加,其内部摩擦增加、耗能增加;同时金属橡胶内部线匝接触点数量增加,接触状态由非接触状态和滑移接触状态转为挤压状态,使得刚度增加,因而最大弹性势能增大。但耗能增速低于金属橡胶的最大弹性势能增速,使其静态耗能因子随变形量增加而逐渐减小。

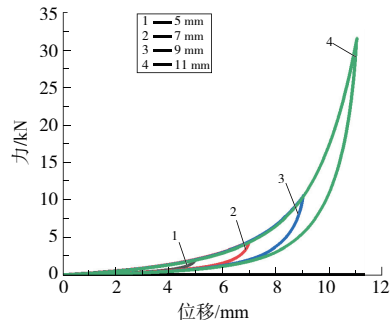


图7 金属橡胶力-位移滞回图(不同变形量)

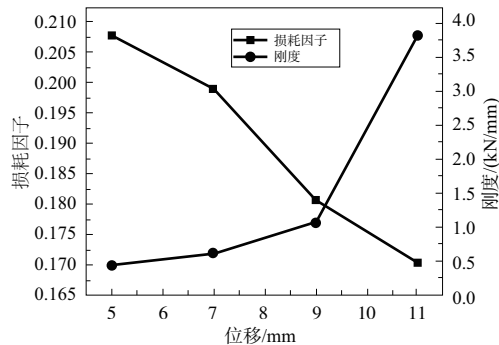


图8 损耗因子-刚度关系对比图(不同变形量)

c) 预紧力对于静态力学性能的影响

对密度为 2.1 g/cm³ 的金属橡胶构件进行加卸载试验,控制压缩变形量为 11 mm,研究不同预紧力(100 N、200 N、300 N、400 N) 对于其静态力学性能的影响。试机加载速率和卸载速率均为 4 mm/min,当加载达到目标变形量后进行卸载。实验处理数据完成生成图9和图10。

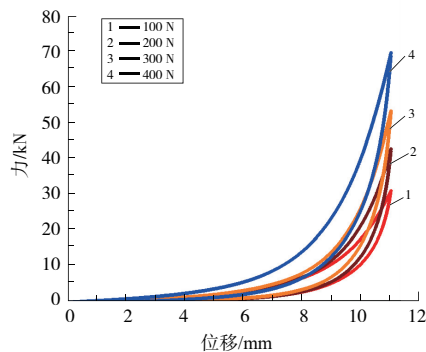


图9 金属橡胶力-位移滞回图(不同预紧力)

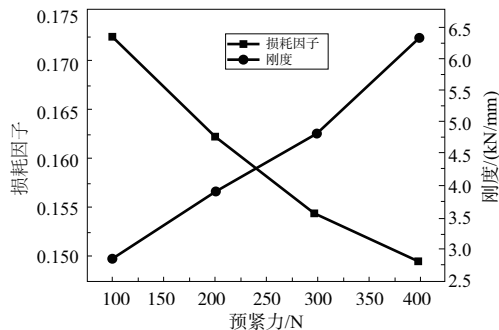


图10 损耗因子-刚度关系对比图(不同预紧力)

根据图9和图10可知,随着预紧力的不断增大,金属橡胶的静态损耗因子在逐渐减小,而耗能和割线刚度则逐渐增大。主要是因为,当预紧力不断增大时,金属橡胶内部的金属线匝的接触状态中,挤压接触状态的百分比越来越大,非接触状态和滑移接触状态的百分比越来越少,在其他影响因素相同的条件下,单次加卸载试验所需要的耗能和最大弹性势能也更大,导致刚度不断增大,同时耗能增速低于金属橡胶的最大弹性势能增速,试件的损耗因子呈现出减小的趋势。

3 结语

本文提出了一种基于金属橡胶的电梯曳引机减振器结构,克服了橡胶减振器存在的易老化、难拆装等缺点。通过金属橡胶工艺流程制备出3种不同密度的阻尼元件,考虑成型密度、压缩变形量、预紧力等因素对于阻尼元件静力学性能参数的影响而开展试验研究,得出不同的影响变化规律。后期可以根据实际电梯曳引机的减振需求,制备不同几何参数和力学性能的金属橡胶阻尼元件,从而达到更好的减振效果。

参考文献:

- [1] 张大义,夏颖,张启成,等. 金属橡胶力学性能研究进展与展望[J]. 航空动力学报,2018,33(6):1432-1445.
- [2] 曹志娟. 金属橡胶制备工艺参数对其力学性能影响研究[D]. 太原:中北大学,2021.
- [3] 白鸿柏,路纯红,曹凤利. 金属橡胶材料及工程应用[M]. 北京:科学出版社,2014:3-321.
- [4] 瞿宝,丁哲宇,吴乙万,等.金属橡胶包覆阻尼结构高温力学建模与试验[J/OL].中国机械工程;1-10.(2021-11-02)[2021-11-18]. <https://read.cnki.net/web/Journal/Article/ZGJX20211021002.html>.
- [5] 苏海洋. 金属橡胶隔振器疲劳特性试验及仿真研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [6] 吴乙万,白鸿柏,薛新,等. 基于金属橡胶的减振基座:中国,CN208069991U[P]. 2018-11-09.
- [7] 吴乙万,白鸿柏,薛新,等. 基于金属橡胶的减振基座及工作方法:中国,CN108313252A[P]. 2018-07-24.
- [8] HU J L, DU Q, GAO J H, et al. Compressive mechanical behavior of multiple wire metal rubber[J]. Materials & Design, 2018, 140:231-240.
- [9] 高笛,马艳红,洪杰. 压缩比对金属橡胶结构和压缩力学性能影响[J]. 航空动力学报,2016,31(3):575-580.

收稿日期:2021-10-20

(上接第6页)

通过下达相同的订单,对基于层次技能模型和学习曲线的人员动态调度和普通随机的人员动态调度进行了对比实验。本次共进行了50组对比实验,如图5所示。实验表明,在考虑了多技能模型和学习曲线要素的动态调度模型后,整体的订单完成时间平均减少了25.59%,提高了物联制造车间的效率。上述实验证明了多技能模型和学习曲线模型可以作为描述人员要素的关键技术理论。

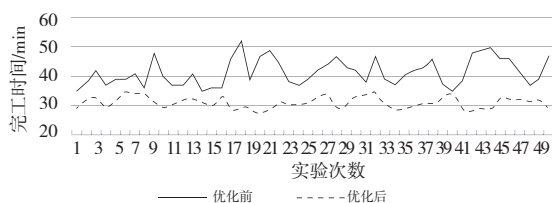


图5 实验结果数据图

4 结语

在物联制造环境下,单一机器和人员的智能都无法解决制造车间的高复杂度的事件,人机协作将成为未来物联制造的发展趋势,但人员要素难以通过数字来客观描述,进而影响整个车间的调度。

针对这些问题,本文从基于人员层次技能树模型的任务匹配度、基于学习曲线的工时预估两个方面进行了分析研究,为车间人员动态调度参数模型的客观描述提供了思路。最后,通过实验验证了本文基于层次技能模型和学习曲线对人员动态调度的有效性。

参考文献:

- [1] BOUSDEKIS A, APOSTOLOU D, MENTZAS G. A human cyber physical system framework for operator 4.0 - artificial intelligence symbiosis[J]. Manufacturing Letters, 2020, 25:10-15.
- [2] ROMERO D, BERNUS P, NORAN O, et al. The operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems[M]//IFIP Advances in Information and Communication Technology, Cham: Springer International Publishing, 2016:677-686.
- [3] ROMERO D, STAHRE J, WUEST T, et al. Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies[C]. Proceedings of the international conference on computers and industrial engineering (CIE46), Tianjin:[s.n.], 2016.
- [4] GUERIN C, RAUFFET P, CHAUVIN C, et al. Toward production operator 4.0: modelling human-machine cooperation in industry 4.0 with cognitive work analysis[J]. IFAC - Papers On Line, 2019, 52(19):73-78.
- [5] ROBINSON S, ALIFANTIS T, EDWARDS J S, et al. Knowledge-based improvement: simulation and artificial intelligence for identifying and improving human decision-making in an operations system[J]. Journal of the Operational Research Society, 2005, 56(8):912-921.
- [6] YEN M H, KIU K T, CHANG T C. Learning curve of stapled hemorrhoidopexy[J]. Asian Journal of Surgery, 2021, 44(5):786-787.

收稿日期:2021-11-10