

文章编号: 1005-0523(2004)02-0038-03

钢丝绳隔震器的迟滞动力特性分析

张 予

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:介绍了钢丝绳隔震器在国内外工程中的应用,分析了迟滞非线性弹性元件的动力特性,其数学模型一般选用双线性模型,频幅曲线则具有软式非线性系统的特征.

关键词:钢丝绳隔震器;双线性模型;迟滞振动特征

中图分类号: TH123; O328

文献标识码: A

0 引言

70年代末,美国 Aeroflex 研制出钢丝绳隔震器,用于控制 Aeroflex 稳定平台的振动.随后在军事和商业部门陆续开始使用,如 MCDonnell Douglas 和通用动力巡航导弹发射控制中心、“三叉戟”潜艇导航控制系统、F-15 飞机主发动机的起动机、Litton CG-47 号驱逐舰上的电器开关柜和通讯设施、MMS-1 扫雷舰上的 5500 磅重的功率配电盘和 90~250 磅重的控制板、BMY 公司的弹药供给车辆、Hughes 号飞机制造公司的商标为“IOSPOD”运输箱(用于运输各种精密仪器)和石油钻井平台上的高灵敏度测试仪器、ASO 公司的万能集装箱等均采用钢丝绳隔震器进行隔震、缓冲和降低高频结构噪声.目前国际市场上生产钢丝绳隔震器的主要厂商是 Areoflex 公司和 Enidine 公司,其中 Areoflex 公司的产品从小到大,规格多、品种全,而 Enidine 公司则以螺旋形钢丝绳隔震器为主,尤其以生产微型隔震器(Compact Rope Isolator)见长,产品小到可以放在食指尖上.国内最早是八十年代初引进这种产品的,中科院力学所为此做过介绍和推广工作,之后,总参工程兵三所、上海船舶运输研究所及江南大学等单位相继进行了研究和应用.

1 钢丝绳隔震器的特点

- 1) 非线性软特性:初始刚度大,进入屈服阶段后变软;
- 2) 多向隔震、高阻尼比:在垂向、纵向和横向均有隔震作用;阻尼比可达 0.1~0.2;
- 3) 耐腐蚀、耐高低温:材料采用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢,在 -60℃~260℃ 范围内保持性能稳定;
- 4) 结构紧凑、重量轻:与同等荷载的钢弹簧隔震器相比,安装尺寸仅为 1/2~1/3,重量为 1/3~1/7;
- 5) 具备优良的抗冲击及缓冲性能和宽带隔振性能.钢丝绳弹性元件的恢复力包括钢丝绳钢丝间的摩擦、滑移及挤压力等.它具有变刚度、变阻尼和迟滞非线性特性,呈现弹塑性材料的一些性质.

斜夹式方鼓形钢丝绳隔震器由上、下两组夹板和一段多股不锈钢钢丝绳组合而成.钢丝绳穿过上、下夹板的孔洞夹紧,上夹板、钢丝绳、下夹板形成一个整体.按照钢丝绳弯曲弧线的圆心角,斜夹式方鼓形钢丝绳隔震器可分为 30°、45°、60° 三种角度,如图 1 所示.当上下夹板间受到随时间不断变化的压力而发生相对运动时,钢丝绳的各股金属丝之间产生干摩擦,以有效地消耗运动体的振动能量.

收稿日期: 2003-11-25

作者简介: 张 予(1970-),男,浙江永康人,华东交通大学土木建筑学院讲师.

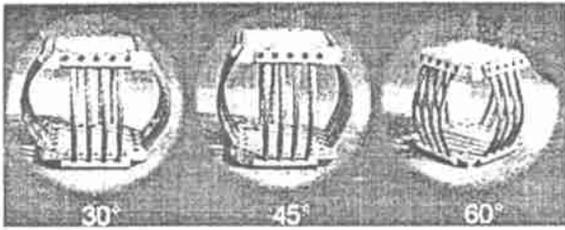


图 1 三种角度斜夹式方鼓形钢丝绳隔震器

隔震器的力学模型可看作弹簧与阻尼的并联结构, 参见图 2.

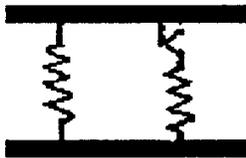


图 2 隔震器的力学模型

其中阻尼部分可视作结构阻尼, 一般, 其损耗因子 $\lambda \geq 0.3$, 具体值视钢丝绳的直径、股数、长度和缠绕方式而定; 弹性部分具有非线性性质, 其刚性系数与运动幅度的大小有关. 体现减震器阻尼与弹性的综合指标是动刚度(动态条件下产生单位位移所需要的力). 显然, 动刚度愈大, 减振效果愈好. 图 3 为减震器的垂直方向压力-变形曲线.

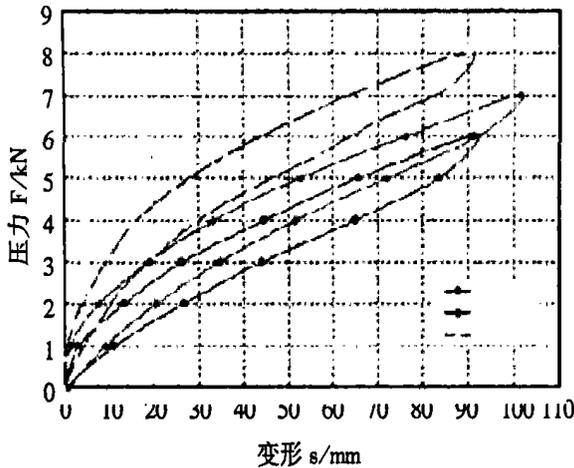


图 3 垂直方向压力-变形曲线

2 迟滞非线性弹性元件动态特性数学模型

目前具有代表性的迟滞非线性弹性元件动态特性的数学模型有: 干摩擦理想模型、双线性模型、迹法模型、一阶非线性微分方程模型等.

笔者采用双线性模型对钢丝绳隔震器的动态特征作一些分析. 双线性刚度模型比较好地描述了迟滞回线, 双线性迟滞回线(图 4(a))可以分解成两部分: 弹性部分(图 4(b))和迟滞部分(图 4(c)). 而且只有迟滞部分产生非线性特性, 其模型由两个线性刚度 K_a 和 K_b 以及临界滑移力 F_y 来描述. 图 4 中

各参数有如下关系:

$$F_y = F_a + F_f = K_a x_y + K_b x_y$$

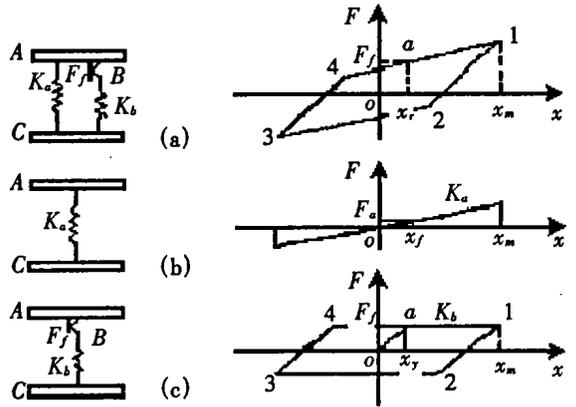


图 4 双线性迟滞模型分析

由(c)图可见, 在外力小于干摩擦力 F_y 时, AB 间干摩擦接触面之间无相对位移, A 与 C 之间发生弹性变形(沿 oa), 此时系统呈线性特性. 当在外力作用下, BC 间弹性力达到干摩擦力 F_y 时, AB 间的接触面开始产生相对滑移, 直到速度为零并改变方向(沿 $a1$). 当外力改变方向后, BC 间的弹性力由 F_f 逐渐减少至零, 再线性增到 $-F_f$ (沿 12), 这时 AB 间的接触面再次滑移, 直至速度为零并改变方向(沿 23). 如此周而复始就形成了迟滞回线.

双线性刚度模型需要识别 K_a 和 K_b 以及临界滑移力 F_y 3 个参数^[1].

钢丝绳隔震器的阻尼特性与变形有关, 当振幅足够大时, 钢丝绳各股之间发生干摩擦而消耗振动能量, 可以有效抑制共振; 当在小振幅时, 各股靠摩擦力扭在一起而不发生滑移, 所以摩擦阻尼较小, 减振效果较好, 同时弹簧本身的驻波效应也靠摩擦加以衰减^[2,3].

3 钢丝绳隔震器的动力频幅特性

根据隔震器的垂直方向压力-变形曲线(图 3), 随着振幅的加大, 交接面发生相对滑移, 而干摩擦力始终与交接面的相对速度反向. 阻尼力与刚度均为非线性的, 振幅越大, 其刚度越小, 软化刚度能够吸收大量的冲击能量, 起到缓冲和减震的作用, 钢丝绳隔震器的频幅曲线具有软式非线性系统的特征(图 5).

本文承蒙总参工程兵科研三所的周丰俊院士与李伯松研究员的部分资料并作指导, 笔者在此表示谢意!

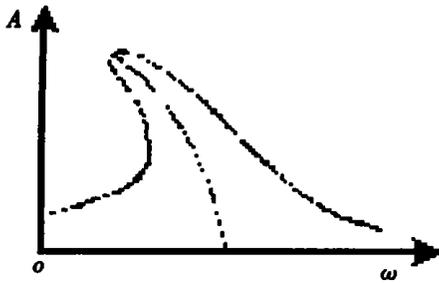


图5 软式非线性系统频幅曲线

参考文献:

- [1] 林瑞霖, 黄次浩等. 迟滞非线性弹性元件动力特征模型[J]. 海军工程大学学报, 2000, 90(1): 28~32.
- [2] 闻邦椿, 李以农, 韩清凯编著. 非线性振动理论中的解析方法及工程应用[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001, 246~250.
- [3] 周 强. 钢丝绳隔震器非线性特性及应用[J]. 噪声与振动控制, 1994, (4): 8~11.

Analysis of Hysteretic Dynamical Characteristics about Cable Wire Shock Absorber

ZHANG Yu

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: The applications of cable wire shock absorber both in home and abroad are introduced, the dynamical Characteristics of hysteretic non-linearity elastic elements are analyzed, commonly, the mathematical model of the bilinearity is chosen, the feature of amplitude and frequency curve are soft and non-linearity.

Key words: cable wire shock absorber; bilinearity model; hysteretic feature of vibration

(上接第 34 页)

- [4] Bertalanffy Von. General System Theory [M]. New York: George Breziller. Inc. 1973.
- [5] 郭方胜. 层次分析法在深基坑支护系统方案中的应用[J]. 岩土工程技术, 1999.
- [6] 陈 进. 建筑工程施工组织设计评价方法的研究[J]. 华东交通大学学报, 2000.
- [7] 崔江余, 梁仁旺. 建筑基础工程设计及施工[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1999.
- [8] 陈肇元. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [9] 中国建筑科学研究院. 建筑基坑支护技术规程(JGJ120-99)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [10] 江西省建设工程造价管理站. 全国统一建筑工程基础定额(江西省单位估价表上、下册)[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001.
- [11] 建筑用钢筋标准汇编编写组. 建筑用钢筋标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

Application of Analytical Hierarchy Process to the Selection of Foundation Pit Retaining Programmes

WANG Yong-xiang, CENG Jing, HUANG Ying

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The Analytical Hierarchy Process is applied to the selection of foundation pit retaining programmes, which renders the selection of foundation pit retaining programmes comprehensively, scientifically, impartially and accurately. The conclusion provides a new way to the bid work for foundation pit retaining structure.

Key word: foundation pit retaining; selection of programme; analytical hierarchy process