

# 液压被动导靴减振性能分析

高先成<sup>1</sup>, 胡东明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>安徽理工大学, 机械工程学院, 安徽 淮南

<sup>2</sup>浙大宁波理工学院, 浙江 宁波

收稿日期: 2022年10月20日; 录用日期: 2022年11月8日; 发布日期: 2022年11月21日

## 摘要

针对采用传统滚动导靴(含弹簧与橡胶阻尼)存在着振动抑制能力有限的问题、采用主动控制滚动导靴的控制复杂与高成本的问题, 提出一种液压阻尼被动控制的滚动导靴减振方法, 在满足高速电梯的减振需求的同时又能大幅度降低振动控制的成本。首先对高速电梯水平振动的原因以及振动评价标准进行分析; 通过一种液压作动器 + 液压阻尼代替传统的减振弹簧和橡胶阻尼, 形成一种新型的弹簧 - 阻尼系统, 进而起到对电梯横向振动进行减振的作用; 建立传统滚动导靴模型为对照组, 进行AMESim仿真, 探究液压被动导靴的性能。最终得到, 本文设计的液压被动导靴在减振方面已达到优等品。

## 关键词

滚动导靴, AMESim, 电梯减振

# Analysis of Vibration Damping Performance of Hydraulic Passive Guide Shoes

Xiancheng Gao<sup>1</sup>, Dongming Hu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

<sup>2</sup>NingboTech University, Ningbo Zhejiang

Received: Oct. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Nov. 8<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 21<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

Aiming at the problem of limited vibration suppression ability using traditional rolling guide shoes (including spring and rubber damping), and the complex and high cost of controlling active control rolling guide shoes, a hydraulic damping passive control rolling guide shoe damping method is proposed, which can greatly reduce the cost of vibration control while meeting the vibration absorption needs of high-speed elevators. Firstly, the causes of horizontal vibration of high-speed elevators and the vibration evaluation criteria are analyzed. Through a hydraulic actuator + hydraulic damping

文章引用: 高先成, 胡东明. 液压被动导靴减振性能分析[J]. 建模与仿真, 2022, 11(6): 1571-1577.

DOI: 10.12677/mos.2022.116148

instead of the traditional damping spring and rubber damping, a new spring-damping system is formed, which then plays a role in damping the transverse vibration of the elevator; the traditional rolling guide shoe model was established as the control group, and AMESim simulation was carried out to explore the performance of the hydraulic passive guide shoe. Finally, the hydraulic passive guide shoes designed in this paper have reached excellent products in terms of vibration absorption.

## Keywords

Rolling Guide Shoe, AMESim, Elevator Vibration Damping

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

导靴是安装于电梯上的重要部件, 安装在电梯轿架上与导轨直接接触, 其作用是确保电梯精准地沿着导轨上下运行[1], 并抑制或削弱来自导轨的振动向轿架及轿厢传递, 进而保证电梯运行的稳定性、舒适性和安全性, 导靴的性能直接决定着整个轿厢水平振动减振的好坏。导靴分为滑动导靴和滚动导靴, 根据不同工况, 电梯需要选择不同的导靴[2]。因此, 很多学者投身于开发新型的导靴。

本文对现阶段市面上已有的电梯轿厢振动控制的方法及滚动导靴产品入手, 针对高速及超高速电梯中教学振动控制存在着的两个问题: 即采用传统滚动导靴(含弹簧与橡胶阻尼)存在着振动抑制能力有限的问题、采用主动控制滚动导靴的控制复杂与高成本的问题, 提出一种液压阻尼被动控制的滚动导靴减振方法, 在满足高速电梯的减振需求的同时又能大幅度降低振动控制的成本。

针对高速及超高速电梯轿架及轿厢的水平振动问题, 先以高速电梯为切入点, 探索性地提出在电梯现用的传统滚动导靴中增加液压阻尼, 并采用被动控制的方法来实现高速电梯水平振动的控制。该方法在发挥液压阻尼优越减振性能的同时, 也可以回避了目前高速及超高速电梯中采用的主动控制滚动导靴的复杂性与高成本。

## 2. 电梯水平振动综合分析

### 2.1. 轿厢水平振动原因分析

依据高速电梯轿厢振动影响因素不同, 分为三个方面:

#### 1) 导轨设计和安装误差

电梯导轨是保证轿厢在井道里安全行驶的路轨, 在设计上, 导轨由等距的导轨支架来固定, 这就导致在支架支撑处的导轨弯曲刚度强, 而支架间导轨的弯曲刚度较弱, 使得导轨在整体上呈现周期性弯曲一种状态。除此之外, 在高层建筑中, 常常出现建筑的摇摆和沉降, 导致导轨在安装过程中往往出现直线度误差, 也会影响轿厢的水平振动。

#### 2) 电梯制动和制停时曳引绳的振动

在高速电梯运行过程中, 曳引钢丝绳在电梯制动和制停时, 承载着惯性载荷, 由于连接轿厢的钢丝绳是弹性体, 所以在钢丝绳上会与静载荷叠加为变化的振动载荷[3], 微小的失衡传递至轿厢, 从而影响了电梯轿厢的水平振动, 有学者研究表明, 激励的频率若不处在电梯系统的共振区, 那么曳引绳对轿厢水平振动的影响就很微弱。

### 3) 井道气流干扰

高速电梯在运行过程中, 会改变井道内部空气的流场, 对轿厢产生波动压力, 随之电梯运行速度的加快, 井道内空气的流场的改变对轿厢平稳运行影响越来越大, 相当于是给电梯轿厢的箱体多施加了一个水平方向上的力, 从而引起电梯轿厢的水平方向的振动[4]。

综上所述, 导轨的制造加工缺陷和支架设计, 以及安装过程中无法避免的直线度误差导致的导轨不平整是轿厢系统水平振动的主要来源。

## 2.2. 常用导靴类型

如图 1 和图 2 所示, 导靴分滑动导靴与滚动导靴, 其中滑动导靴主要应用在低速电梯中, 滑动导靴一般是由带凹形槽的靴头, 靴体和靴座组成, 在靴头部分一般均镶有耐磨的靴衬, 靴头可以固定的, 也可以活动(浮动的)[5]; 常见的滚动导靴一般都是指被动控制滚动导靴。在高速电梯运行过程中, 减振效果明显好于滑动导靴, 所以在生活中绝大多数情况下选择滚动导靴。

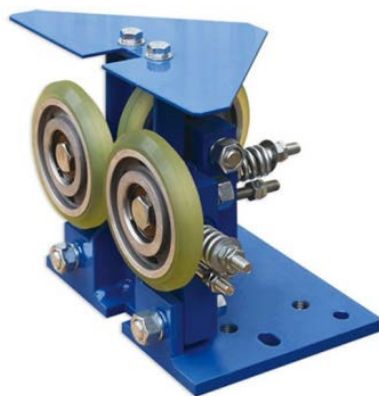


Figure 1. Rolling guide shoe

图 1. 滚动导靴



Figure 2. Sliding guide shoe

图 2. 滑动导靴

## 2.3. 电梯振动评价标准

针对电梯水平振动, 将轿厢地板加速度(水平方向)的峰值或峰-峰值, 作为衡量电梯优劣的评判标准。GB/T 10058-2009《电梯技术条件》中, 对乘客电梯轿厢期间包括垂直(Z轴)振动加速度以及水平(X轴和Y轴)有着严格的标准[6]。对运行速度在 2.5 m/s 至 6 m/s 电梯的水平振动加速度要求不大于  $0.2 \text{ m/s}^2$ , 对于速度超过 6 m/s 的电梯, 还未公示国家标准。表 1 为不同档次电梯水平加速度要求。

**Table 1.** Horizontal acceleration requirements for elevators of different grades**表 1.** 不同档次电梯水平加速度要求

品级	合格品	一等品	优等品
加速度( $m/s^2$ )	$\leq 0.20$	$\leq 0.10$	$\leq 0.07$

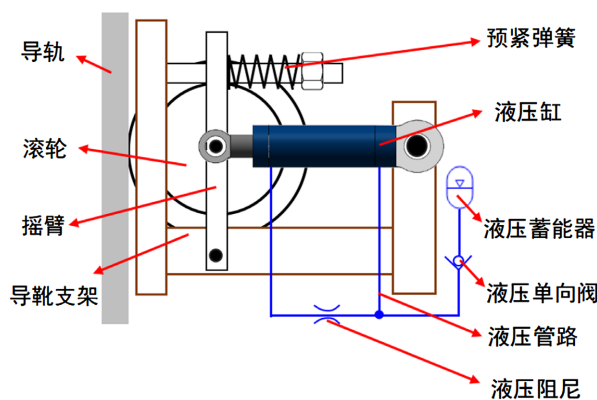
依据上述标准, 本文以轿厢地板加速度(水平方向)的峰值作为评价水平振动的指标。

### 3. 新型液压被动导靴研究

理想情况下, 当轿厢在井道运行过程中, 导靴不受力的作用。但是事实上导靴却受着轿厢偏重力以及导轨不平整所带来的作用力。导靴的刚度系数  $k_s$  和阻尼系数  $c_s$  决定着导靴减振水平的能力[6], 为了降低导轨不平整引起电梯轿厢振动的影响, 要求导靴上减振弹簧的刚度在一定限度上越低越好; 另一方面, 为了维持电梯轿厢在井道内运行的安全和平稳, 又要求导靴上减振弹簧的刚度不能低于标准。然后一个导靴它的刚度系数  $k_s$  和阻尼系数  $c_s$  是一个无法改变的固定值。所以一定程度上限制了其减振能力, 为了提高乘客的舒适度, 依靠液压被动导靴良好的减振能力显得尤为重要。

#### 液压被动导靴组成及工作原理

如图 3 所示, 为液压被动导靴的结构组成。

**Figure 3.** Hydraulic passive control of rolling guide shoe structure**图 3.** 液压被动控制滚动导靴结构

该设计通过液压作动器对导轨不平整激励导致的轿厢水平振动起到抑制作用, 具体措施为通过液压阻尼产生振动抑制力来缓解轿厢振动, 并通过连接一个液压蓄能器, 使得整体减振能力进一步得到提升。

由于被动液压导靴引入了液压阻尼技术, 便形成了区别传统导靴的新特点:

- 1) 依靠油液良好的吸振性传递压力, 减振效果更加明显;
- 2) 油液单位储能比大, 可以让减振执行器以较小的结构来吸收较多的冲击能量;
- 3) 液压阻尼减振是车辆行业中常用的一种减振降噪方法, 其基本原理是通过节流效应产生阻尼力, 进而耗散运动或振动的能量, 减振效果良好。

### 4. 基于 AMEsim 的液压导靴减振特性仿真

#### 4.1. 关键仿真参数的设置

如图 4 所示, 为了仿真的严谨性, 滚轮与导轨间的刚度系数和阻尼系数参考日立电梯导靴参数, 刚

度系数为  $1.5 \times 10^5$  N/m, 阻尼系数为 143 N/(m/s); M1 设定为 5 kg, 用来模拟滚轮的质量; M2 设定为 1 kg, 用来模拟活塞杆的质量; M3 为可以设置为不同质量, 用来模拟轿厢在空载(2000 kg)、半载(2250 kg)和满载(2500 kg)不同工况下的减振状况; 液压阻尼的孔径为 5.3 mm。

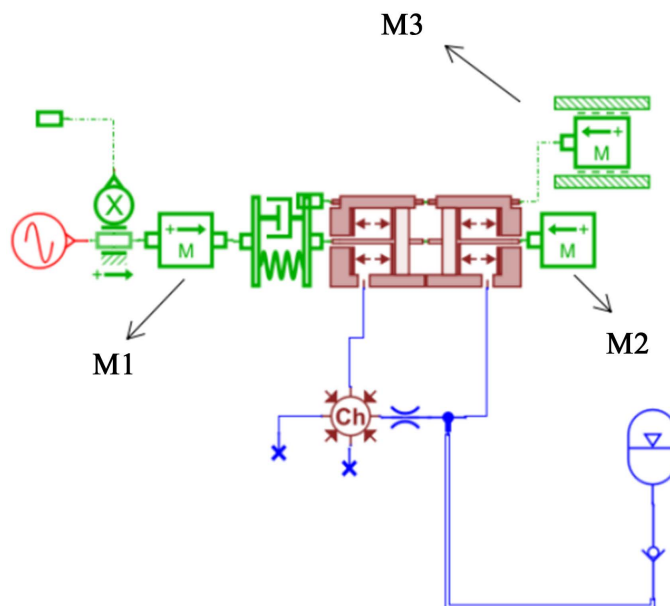


Figure 4. Hydraulic passive guide shoe simulation model  
图 4. 液压被动导靴仿真模型

#### 4.2. 不同轿厢载重下液压被动导靴性能仿真

为了使仿真结果更具真实性, 特增加一组无液压作动器的传统导靴模型, 其各参数均与液压被动导靴模型一致。以峰值为 200 N, 频率为 3 Hz (电梯运行速度为 4 m/s 时)的信号为输入源[7], 为研究不同载重下液压被动导靴性能变化, 保证其他参数不变。取轿厢在空载(2000 kg)、半载(2250 kg)和满载(2500 kg)三种情况, 三种工况下液压被动导靴和传统导靴减振性能对比如下图 5、图 6 所示。

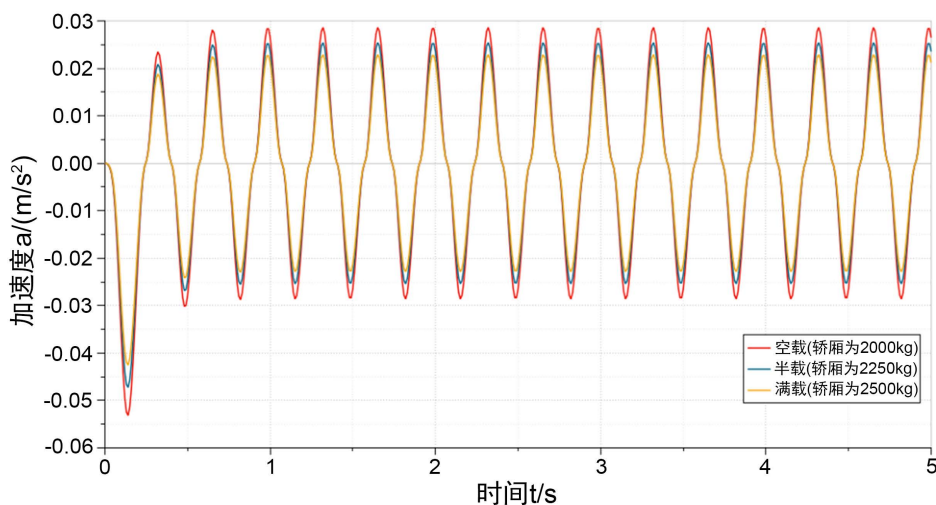
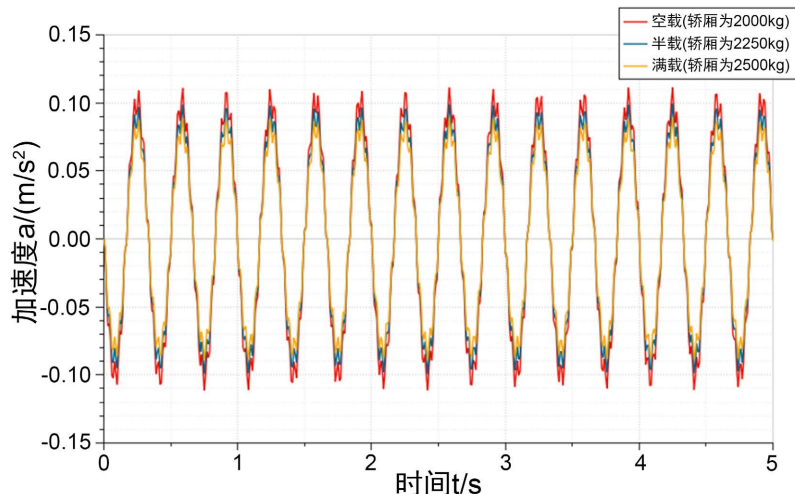


Figure 5. Comparison of vibration reduction performance of hydraulic passive guide shoe under three working conditions  
图 5. 液压被动导靴三种工况减振性能对比



**Figure 6.** Comparison of vibration reduction performance of rolling guide shoe under three working conditions  
**图 6.** 传统滚动导靴三种工况减振性能对比

不同载重工况下电梯轿厢的水平加速度峰峰值如表 2 所示。

**Table 2.** Peak-to-peak value of horizontal acceleration of elevator car under different load conditions  
**表 2.** 不同载重工况下电梯轿厢的水平加速度峰峰值

载重工况(kg)	2000 (空载)	2250 (半载)	2500 (满载)
液压被动导靴峰峰值( $m/s^2$ )	0.053	0.047	0.043
传统滚动导靴峰峰值( $m/s^2$ )	0.111	0.099	0.089

由上述结果可得:

1) 使用传统滚动导靴时, 在电梯载重为 2000 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.111 m/s^2$ , 为最大峰峰值。GB/T10058-2009《电梯技术条件》中, 要求电梯运行过程中对轿厢水平振动峰峰值要小于  $0.2 m/s^2$ , 该设计作为对照组的传统导靴的峰峰值符合行业要求, 提高了实验的说服力。并且电梯载重为 2250 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.099 m/s^2$ , 在电梯载重为 2500 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.089 m/s^2$ , 各种工况的峰峰值均符合行业要求。

2) 使用液压被动导靴时, 在电梯载重为 2000 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.053 m/s^2$ , 为最大峰峰值, 电梯载重为 2250 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.047 m/s^2$ , 在电梯载重为 2500 kg 工况下, 电梯水平加速度峰峰值达到  $0.043 m/s^2$ , 均小于  $0.2 m/s^2$ , 满足行业对导靴减振要求。同时优等品电梯对电梯运行过程中轿厢水平振动峰峰值要小于  $0.07 m/s^2$ , 由此可以得到, 本文所设计的导靴在减振方面达到了行业优等品水准。

3) 载重的不断增加, 轿厢水平振动的峰峰值随之降低。

## 5. 结论

文中以提高电梯运行平稳性与轿厢内乘客舒适度主要目标, 提出采用液压阻尼被动减振的方法来控制高速电梯的水平振动。并通过机械—液压联合仿真, 验证了方法的可行性。研究工作的主要结论如下:

- 1) 导轨不平整度是轿厢水平振动的主要来源。
- 2) 本文设立传统滚动导靴作为参考组, 轿厢水平振动峰峰值小于  $0.2 m/s^2$ , 满足行业要求, 提高了

实验的可信度。

3) 本文所设计的液压被动导靴最大水平加速度峰峰值为  $0.053 \text{ m/s}^2$ , 小于国家对电梯水平振动加速度优等品的要求, 在减振方面已达到优等品。

4) 电梯运行时, 轿厢水平振动的峰峰值会随着载重的增加而降低。

## 参考文献

- [1] 毕成. 对电梯运行振动原因分析及其减振方法[J]. 科技与创新, 2016(3): 132+134.
- [2] 陈宏意. 电梯运行振动原因及减振方法探讨[J]. 机械工程师, 2014(1): 250-252.
- [3] 尹纪财. 中高速电梯曳引系统振动问题的研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [4] 叶健. 电梯运行振动原因分析及应对方式探讨[J]. 中国设备工程, 2019(16): 81-83.
- [5] 吴慧. 高速曳引电梯的动态特性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2013.
- [6] 宋丹龙. 电梯滚动导靴横向隔振性能分析与优化[J]. 机械设计, 2021, 38(1): 34-41.
- [7] 冯永慧. 高速电梯水平振动主动控制研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2008.