

# 轨道车辆液压减振器低频阻尼特性试验研究

孙海杰<sup>1</sup>, 杜嘉鑫<sup>1</sup>, 杨礼康<sup>1</sup>, 叶丽玲<sup>2</sup>, 叶万权<sup>1</sup>

(1. 浙江科技学院 机械与汽车工程学院, 杭州 310023; 2. 浙江华昌液压机械有限公司, 杭州 311305)

**摘 要:** 在轨道车辆液压减振器开发过程中, 通常会存在由于减振器泄漏等原因, 导致其在低频阶段阻尼力值过低而无法达到技术要求的情况。为了研究减振器在低频阶段泄漏产生的原因及其对阻尼力值的影响程度, 通过改变导向套与活塞杆间隙、活塞表面与阀片贴合度及支撑环形式等的试验对比, 研究其对减振器泄漏程度所造成的低频阶段阻尼力值的变化。试验结果表明, 导向套与活塞杆间隙、活塞表面与阀片贴合度对减振器低频阻尼特性有较大的影响, 而受活塞支撑环的影响相对较小, 导向套与活塞杆间隙主要作用于液压减振器的复原行程内。

**关键词:** 液压减振器; 低频泄漏; 低频阶段阻尼力值; 试验对比分析

中图分类号: U463.335.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2017)05-0371-05

## Experimental research on low frequency damping characteristics of hydraulic shock absorbers for rail vehicles

SUN Haijie<sup>1</sup>, DU Jiabin<sup>1</sup>, YANG Likang<sup>1</sup>, YE Liling<sup>2</sup>, YE Wanquan<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Huachang Hydraulic Machinery Co. Ltd, Hangzhou 311305, Zhejiang, China)

**Abstract:** In the development process of hydraulic shock absorbers for rail vehicle, there usually exists a situation that the damping force value is too low to meet the technical requirement due to the leakage of the shock absorber. In order to explore the causes of the shock absorber's leakage at the low frequency stage and their influence on the damping force values, the article proposes the experimental comparison of changing the gap between the guide sleeve and the piston rod, the fit between the piston surface and the valve plate, and the support ring form to study how different leakage levels of the shock absorber affect the damping force values at the

---

收稿日期: 2017-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51175474)

通信作者: 杨礼康(1971—), 男, 山西省闻喜人, 教授, 博士, 主要从事机电系统主、被动振动控制及车辆悬挂系统设计研究。E-mail: 104019@zust.edu.cn.

low frequency stage. The experimental results show that the gap between the guide sleeve and the piston rod, which mainly functions in the rebound stroke of the hydraulic shock absorber, the fit between the piston surface and the valve plate have great influences on low frequency damping characteristics of the shock absorber while effect of the piston support ring is dwarfed, the guide sleeve and piston rod gap.

**Keywords:** hydraulic shock absorber; leakage of low frequency; low frequency damping; experimental comparative analysis

目前,双筒式液压减振器已经广泛应用于轨道车辆转向架减振系统中,其作用主要是将从轨道上传来的随机振动能通过内部节流孔的阻尼作用消耗,转变为热能,起到减弱振动的作用,从而达到减小车辆振动、缓和轮轨作用力,提高车辆的稳定性和舒适性的作用<sup>[1-6]</sup>。

国内轨道交通引进了国外多种车辆技术,减振器也存在不同的品牌和结构类型。而减振器设计的主要技术条件包括安装倾斜角度、安装尺寸、最大拉伸长度、最小压缩长度、工作行程、阻尼特性、橡胶节点特性等参数,只有在满足以上条件的情况下,减振器才能良好地匹配其在车辆上的使用要求。其中,因减振器的阻尼特性由其内部结构决定,在外部安装条件相同时,只需根据阻尼特性要求调整内部阀系组合<sup>[7-9]</sup>,即可匹配不同车型的转向架使用要求,也就形成性能各异、内部结构相近的减振器系列,以满足不同车型的减振器国产化要求。而在实际的减振器开发过程中,经常会遇到低频阶段阻尼力值太低,导致其无法满足技术条件的情况。这是由于减振器的结构设计方面存在不合理的因素所致,其中,节流运动的过程中产生不可忽略的泄漏是常见因素。但实际泄漏产生的原因通常比较复杂,笔者选择了导向套与活塞杆间隙、活塞表面与阀片贴合度及支撑环形式这 3 个比较显著的影响因素来进行研究。通过设定不同程度的这些影响因素形成一系列对比试验<sup>[10-13]</sup>,分析其在低频阶段的阻尼特性变化情况。其目的在于,找出这些影响因素在低频阶段液压减振器阻尼特性合理范围,从而为在减振器的实际开发中解决这个常见的液压减振器低频阻尼特性偏小的难题提供参考,帮助研发人员较快地开发出匹配车辆使用要求的合格减振器。

## 1 减振器阻尼特性

### 1.1 减振器结构与工作原理

减振器的结构如图 1 所示,减振器的上吊耳与车身相连,下吊耳与车轮相连。当轨道上有随机振动传来时,使活塞和减振器缸体作相对运动,当减振器处于压缩行程时,压缩阀和流通阀开启,减振器内部油液从无杆腔向有杆腔和储油缸流动;当减振器处于复原行程时,伸张阀和补偿阀开启,油液从有杆腔和储油缸向无杆腔流动。当油液流动经过节流阀系时,发生节流作用,产生阻尼力,从而削减了车身和车轮之间的相对运动,起到了减震的作用<sup>[14-16]</sup>。本研究中的二系垂向液压减振器主要用于城市地铁轨道车辆转向架中,减震器垂直于轨道平面安装,允许倾斜角度为 $\pm 15^\circ$ 。

### 1.2 致泄漏的减振器结构组成

减振器泄漏原因比较复杂,包括液压油液及其流动、气穴、摩擦和密封圈结构等多方面。目前,对减振器泄漏的机理还不是很清楚,尚缺乏有效的方法和措施<sup>[17]</sup>。以下将通过研究减振器密封结构的几个关键因素来对减振器泄漏进行分析和讨论。

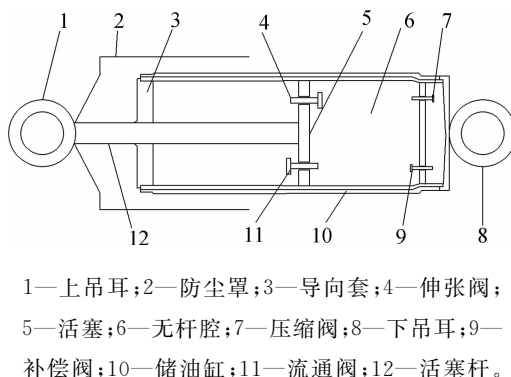


图 1 液压减振器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the hydraulic shock absorber

### 1.2.1 导向套间隙

减振器导向套和活塞杆之间的配合如图2所示,减振器泄漏分为内部泄漏和外部泄漏,减振器的外泄漏主要指流经导向套,并经过密封圈流向外部的泄漏;减振器的内泄漏主要指流经导向套,进入储油缸的泄漏。

复原行程中,在额定压力和额定温度的条件下,导向套泄漏油液量<sup>[17]</sup>为:

$$Q_d = \frac{\pi d \delta_d^3 (1 + 1.5e^2) p}{12\mu_t}$$

式中:  $d$  为活塞杆直径;  $\delta_d, e$  为导向套与活塞杆间隙以及偏心率;  $\mu_t$  为油液在一定压力  $p$  与一定温度下的动力黏度。

### 1.2.2 活塞表面与阀片贴合度

减振器活塞材料通常为粉末冶金件,它与金属阀片之间的贴合程度并不高,在活塞压缩和复原运动中,油液都可能经过活塞表面与阀片的间隙在有杆腔和无杆腔之间流动。

### 1.2.3 活塞支撑环形式

活塞支撑环的形式主要有开口与闭口2种类型,如图3所示。

## 2 对比试验及结果

试验台系统如图4所示,主要包括阻尼试验台、电液伺服控制器、PC端及控制软件三部分,被测件是为杭州地铁4号线所开发的轨道车辆二系垂向液压减振器样机,试验条件是对减振器施以振幅50 mm,频率为0.239 Hz的正弦激励。该条件为轨道车辆液压减振器的技术条件中规定的在低频阶段的测试点。

### 2.1 导向套配合间隙试验分析

试验中,使用与活塞杆间隙分别为0.03、0.05、0.08 mm的导向套,在上述试验条件下,得到不同导向套间隙的减振器工作情况,如图5所示,其阻尼特性变化情况见表1。

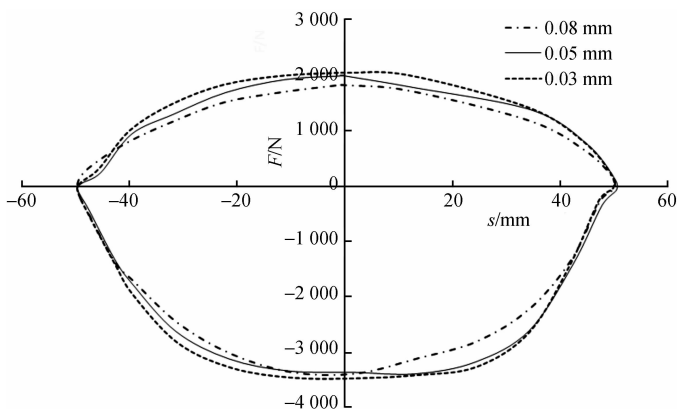
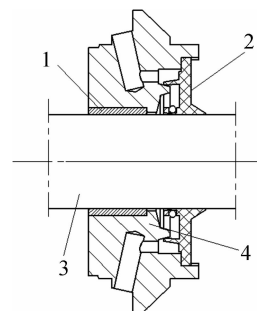


图5 不同导向套间隙的减振器示功图  
Fig. 5 Indicator diagram of shock absorber with different guide sleeve gaps



1—复合衬套;2—油封;  
3—活塞杆;4—导向座。  
图2 减振器导向套与活塞杆  
Fig. 2 Guide and piston rod  
of shock absorber



图3 开口与闭口活塞支撑环  
Fig. 3 Opened and closed piston support ring



图4 减振器试验台系统  
Fig. 4 Test bench system of shock absorber

表1 减振器低频阻尼特性变化情况  
Table 1 Damping characteristics of shock absorber in low frequency

导向套与活塞杆 间隙/mm	最大拉 伸力/N	最大压 缩力/N
0.08	1 825.7	3 432.9
0.05	1 980.9	3 420.7
0.03	2 036.6	3 489.6

由图 5 可知,随着导向套间隙减小,减振器复原力和压缩力均有增大的趋势;表 1 显示,最大拉伸力随着导向套间隙变小显著变大,而最大压缩力总体变大幅度较小。所以,减小导向套间隙可以起到优化减振器由于低频泄漏导致阻尼值偏低的情况,并且,其主要作用于减振器的复原行程内,对压缩行程内的最大压缩力影响几乎可以忽略。

## 2.2 活塞表面与阀片贴合度试验分析

试验时活塞粉末冶金件分别采用打磨面与复原阀片接触面、未打磨、活塞双面打磨 3 种类型,打磨前后的粗糙度分别为 0.8 和 0.4,在所定试验条件下,得到活塞表面光滑度不同的减振器工作情况,如图 6 所示,其阻尼特性变化情况见表 2。

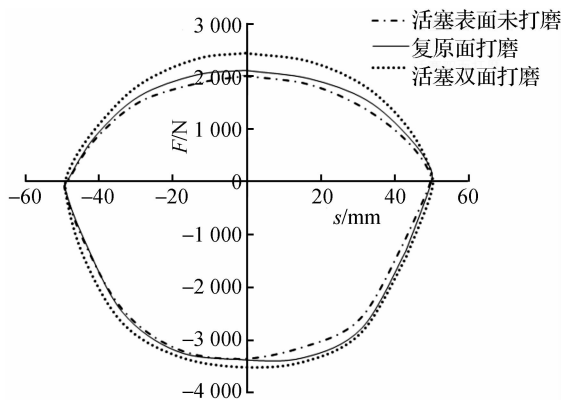


图 6 活塞表面光滑度不同的减振器示功图

Fig. 6 Indicator diagram of shock absorber with different piston surface smoothness

表 2 减振器低频阻尼特性变化情况

Table 2 Damping characteristics of shock absorber in low frequency

活塞表面类型	最大拉伸力	最大压缩力
未打磨	1 998.5	3 345.9
复原面打磨	2 100.2	3 360.1
活塞双面打磨	2 426.9	3 514.5

从图 6 对比活塞表面未打磨和双面打磨,可以明显看到减振器阻尼力的变化。从表 2 可知,复原面打磨优化了减振器的拉伸力,而压缩力没有明显的变化;双面打磨使减振器的拉伸力和压缩力均有明显的改善。所以,提高活塞表面与阀片贴合度可以有效优化减振器低频泄漏导致的阻尼力偏低的情况,并且,复原面和压缩面打磨分别影响了减振器的拉伸力和压缩力。

## 2.3 不同支撑环形式试验分析

试验时活塞支撑环分别采用开口与闭口 2 种,在标准试验条件下,得到支撑环形式不同的减振器工作情况,如图 7 所示,其阻尼特性变化情况见表 3。

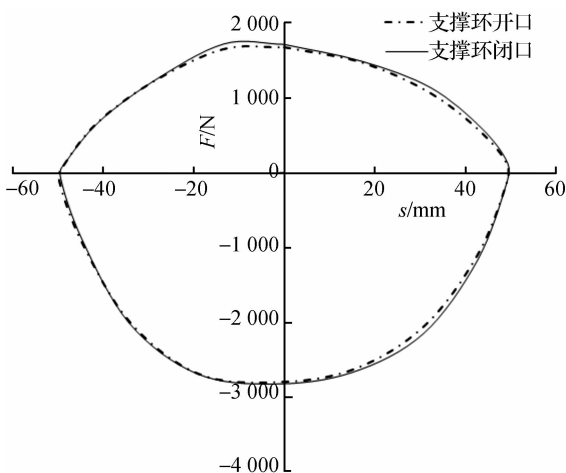


图 7 支撑环形式不同的减振器示功图

Fig. 7 Indicator diagram of shock absorber with different support rings

表 3 减振器低频阻尼特性变化情况

Table 3 Damping characteristics of shock absorber in low frequency

支撑环形式	最大拉伸力	最大压缩力
开口	1 676.6	2 797.2
闭口	1 721.2	2 821.2

图7表明选用不同形式的支撑环使得减振器低频阶段阻尼力有较小的变化,表3表明其阻尼力优化表现在复原行程和压缩行程均有50 N左右的变化。

### 3 结 论

笔者通过试验对比分析导向套与活塞杆间隙、活塞表面与阀片贴合度及活塞支撑环形式对轨道车辆液压减振器在低频阶段泄漏的影响,试验结果表明,导向套与活塞杆间隙、活塞表面与阀片贴合度对减振器低频阻尼特性有较大的影响,受活塞支撑环的影响相对较小。同时,各影响因素对液压减振器在复原行程阶段和压缩行程阶段的阻尼特性有不同的规律:1)导向套与活塞杆间隙主要作用于液压减振器的复原行程内,间隙越小,复原力越大。2)活塞粉末冶金件与复原阀片接触面打磨,可以提高液压减振器的复原力;活塞双面打磨,可以同时提高液压减振器的复原力和压缩力,并且效果相对于单面打磨更加明显。

#### 参考文献:

- [1] SZABO B, BARNES F, STURE S, et al. Effectiveness of vibrating bulldozer and plow blades on draft force reduction[J]. Transaction of the Asae, 1998, 41(41): 283.
- [2] MIKAEL W. Instability phenomena of a passenger coach, caused by internal yaw damper flexibility[J]. Vehicle System Dynamics, 1999, 33(S): 406.
- [3] 张宁, 席建中, 韩成春. 一种液压减震器的研制与开发[J]. 液压与气动, 2012(7): 1.
- [4] 冯雪梅, 刘佐民. 汽车液力减振器技术的发展与现状[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 27(3): 340.
- [5] 叶全勇, 俞德孚. 车辆悬架减振器外特性非线性的等效线性计算[J]. 兵工学报, 1994(1): 22.
- [6] 张康雷, 周志鸿, 许同乐. 液压缸活塞杆密封的泄漏量计算[J]. 润滑与密封, 2006(8): 102.
- [7] 张心俊, 苑士华, 胡纪滨. 油液粘度变化对球塞泵球塞副泄漏量的影响[C]//2005 全国博士生学术论坛: 机械工程. 北京: 教育部、国务院学位办, 2005: 135.
- [8] 李世民, 吕振华. 汽车筒式液阻减振器技术的发展[J]. 汽车技术, 2001(8): 10.
- [9] 周长城. 汽车减振器设计与特性仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [10] 唐荣强. 汽车减振器及其故障诊断[J]. 汽车与配件, 2000(19): 34.
- [11] 杨国桢, 王福天. 机车车辆液压减振器[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [12] 谭超, 俞德孚, 罗金良. 悬架双筒液压充气减振器的基本结构和工作原理[J]. 兵工学报: 坦克装甲车与发动机分册, 1997(3): 51.
- [13] 蔡明龙, 段福斌, 杨礼康, 等. 减振器外特性测试的弹/刚性夹持对比试验研究[J]. 机电工程, 2015, 32(4): 458.
- [14] VAN KASTEEL R, 钱立新, 王成国, 等. 铁道车辆液压减振器的工作原理和数值模型[J]. 铁道学报, 2005, 27(2): 28.
- [15] 马天飞, 崔泽飞, 张敏敏. 基于 AMESim 双筒叠加阀片式充气减振器建模与仿真[J]. 机械工程学报, 2013, 49(12): 123.
- [16] 孟祥伟. 提速车辆油压减振器阻力特性及示功图分析[J]. 铁道车辆, 2011, 49(5): 31.
- [17] 周长城, 徐伟. 筒式减振器油液泄漏机理的研究[J]. 农机化研究, 2007(9): 47.