

油温对抗蛇行减振器特性和动力学性能的影响^{*}

徐腾养^{1,2}, 池茂儒², 朱海燕^{2,3}, 郭兆团², 程贤栋²

(1. 浙江盾安轨道交通设备有限公司 绍兴, 311800) (2. 西南交通大学牵引动力国家重点实验室 成都, 610031)

(3. 华东交通大学机电与车辆工程学院 南昌, 330013)

摘要 为了研究抗蛇行减振器油液温度对其动态特性和整车动力学性能的影响,对我国某高速动车组抗蛇行减振器进行了试验和动力学仿真分析。试验结果表明,在油液正常工作温度范围内,减振器吸收的能量、减振器动态阻尼及动态刚度随油液温度的降低而增加;而当油液温度超出抗蛇行减振器油液正常工作范围时,减振器吸收的能量、减振器动态阻尼及动态刚度随油液温度降低而降低。仿真结果表明,在油液正常工作温度范围内,蛇行临界速度随油液温度的降低而增大,而当油液温度超出正常工作温度范围时,蛇行临界速度随温度降低而降低,油液温度对车辆平稳性、安全性影响并不明显。

关键词 抗蛇行减振器; 油液温度; 动态特性; 整车动力学性能

中图分类号 TH703.63; U292.91⁺4

引言

抗蛇行减振器内部油液有一个正常工作温度范围,当油液温度不在正常工作温度范围内时,抗蛇行减振器则无法正常工作。在某些高寒地区,外界温度可能会低于油液正常工作温度范围,由此会带来一系列问题。例如:油液温度大致为多少时减振器才无法正常工作;减振器处于非正常工作状态时动态特性是如何变化的;减振器工作多长时间才能恢复正常工作状态;油液温度又是如何影响车辆动力学性能的。这些问题具有重要的实际工程应用价值,也是俄罗斯高铁非常关注的问题之一。目前,国内外还缺乏对高速列车抗蛇行减振器温变特性的研究。文献[1]综述了温升对液压减振器的危害,并提出了相关解决措施。文献[2]结合 Matlab 仿真分析了铁道车辆油压减振器温升对车体及转向架构架垂向的影响。文献[3]对温升对减振器动态特性的影响进行了研究。文献[4]对高温时的油液温度对减振器阻尼特性的影响进行了研究。但是以上研究均未详细分析油液温度对整车动力学性能的影响。文献[5-9]对汽车液压减振器黏温特性进行了研究与

展望。笔者研究了油液温度对抗蛇行减振器动态特性和车辆动力学性能的影响,不仅对高温和低温情况分别进行分析,还分析了超出油液正常工作温度的情况。首先,基于台架试验对我国某高速动车组抗蛇行减振器(卸荷力为 7 500 N,卸荷速度为 0.01 m/s,阻尼系数为 750(kN·s)/m)进行了高低温试验;其次,对比分析了减振器在不同温度下吸收的能量、动态刚度及动态阻尼,从而得到了油液温度对抗蛇行减振器动态特性影响结果;最后,基于动力学软件 SIMPACK 建立了该高速列车的动力学计算模型,分析了油液温度对该高速列车蛇行稳定性、平稳性及安全性能的影响。

1 油液温度对抗蛇行减振器阻尼特性的影响

为研究高速列车抗蛇行减振器温变特性,在西南交通大学轨道交通国家实验室减振器试验台上对我国某高速列车抗蛇行减振器进行了试验。根据标准 TB/T1491—2004 机车车辆油压减振器技术条件^[10]。为了使油液温度与环境温度一致,试验所用减振器应置于与试验环境相同的温度中至少 24 h。

^{*} 科技支撑计划资助项目(2015BAG12B01-17);国家自然科学基金资助项目(51475388,51665015);江西省自然科学基金资助项目(20161BAB206161);牵引动力国家重点实验室开放课题资助项目(TPL1611);山东省科技重大专项资助项目(2015ZDXX0102A01)

收稿日期:2016-11-07;修回日期:2016-12-19

本次试验主要研究不同油液温度对减振器阻尼特性影响,每次试验前,均已将减振器放置高低温变温箱中搁置 36 h。在进行高低温试验时,为避免变温箱以外环境温度对减振器的影响,整个试验均在变温箱中进行。减振器高低温试验台三维图如图 1 所示,其中,该试验台水平方向进行抗蛇行减振器及二系横向减振器试验,垂向方向进行一系垂向和二系垂向减振器试验。

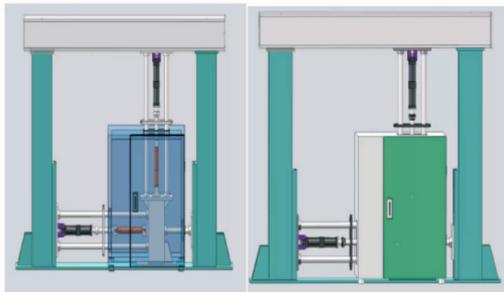


图 1 减振器高低温试验台

Fig. 1 Damper heterothermic test bed

根据试验结果,得到同幅值同频率不同温度下示功图面积,如图 2、图 3 表示。由图可知:在一定温度范围内,随着温度的降低,示功图围成的面积(减振器吸收的能量)越大;当温度超过一定范围,示功图面积开始减小。这是因为环境温度已超出减振器油液正常工作温度范围,若温度过低,减振器油液被“冻结”,油液黏性增大。减振器受拉伸时,需要油液对压缩腔进行补油,但由于低温导致油液黏性过大,油液通过单向阀向压缩腔补油的时间延长,无法及时补充压缩腔油液,导致压缩腔油液局部不足。减振器受压缩时,由于油液不足,就会出现示功图中的异常状态。从图中还可以发现,随着幅值与频率

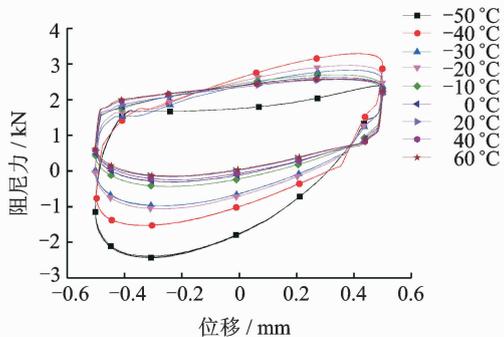


图 2 幅值为 0.5 mm、频率为 1 Hz、不同温度下减振器示功图对比

Fig. 2 The comparison of indicator diagram of various temperature as amplitude is 0.5 mm and frequency is 1 Hz

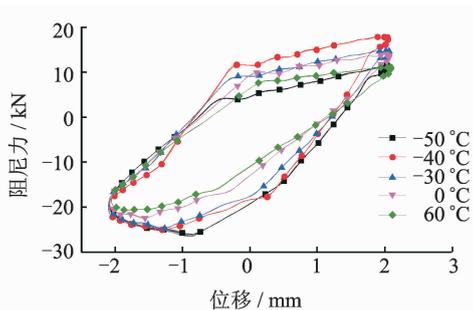


图 3 幅值为 2 mm、频率为 10 Hz、不同温度下减振器示功图对比

Fig. 3 The comparison of indicator diagram of various temperature as amplitude is 2 mm and frequency is 10 Hz

的增加,不同温度的示功图面积差会越来越小,即油液温度对减振器阻尼特性影响会越来越小。

低温对减振器阻尼特性影响明显大于高温,如图 4 所示。高温时,减振器示功图面积变化相对不明显,这是由油液的动力黏度决定的;低温时,温度对油液动力黏度影响远大于高温。因此,若温度变化幅度相同,低温时的示功图相比高温时的示功图面积相差更大,即低温对减振器阻尼特性影响大于高温。

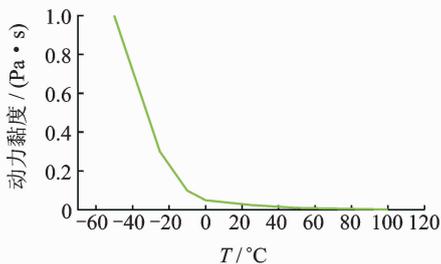


图 4 温度与油液动力黏度关系

Fig. 4 The relationship between temperature and dynamic viscosity

2 油温对减振器动态特性的影响

减振器激励幅值为 0.5 mm 时,动态刚度在不同温度下随频率变化的情况如图 5 所示。由图可知,减振器动态刚度均随频率增加呈现先增加后保持不变的趋势。这是因为频率较低时,振动速度小于卸荷速度,减振器未发生卸荷,动态刚度随着频率增加而增加;而频率较高时,卸荷阀开启,动态刚度增长缓慢,逐渐趋于不变。减振器激励幅值分别为 2 和 1 mm 时,动态阻尼在不同温度下随频率变化的情况如图 6、图 7 所示。由图 6 可知,减振器动态

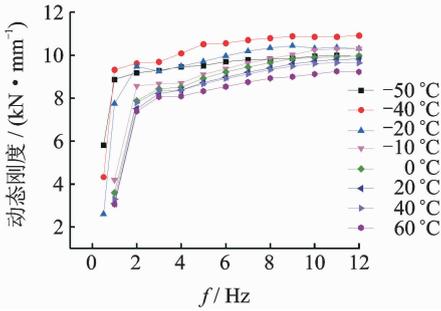


图5 不同温度下频率与动态刚度的关系(幅值为0.5 mm)

Fig. 5 The relationship between frequency and dynamic stiffness as various temperature (amplitude is 0.5 mm)

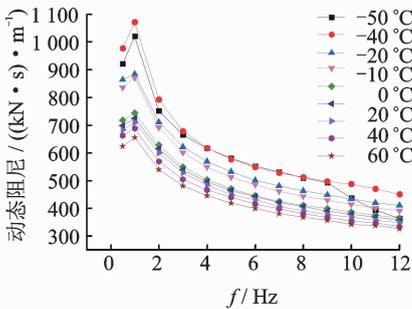


图6 不同温度下频率与动态阻尼的关系(幅值为1.5 mm)

Fig. 6 The relationship between frequency and dynamic damping as various temperature (amplitude is 1.5 mm)

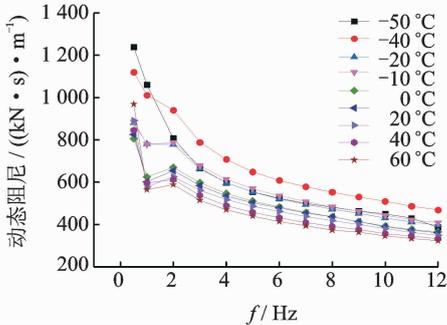


图7 不同温度下,频率与动态阻尼关系(幅值为1 mm)

Fig. 7 The relationship between frequency and dynamic damping as various temperature (amplitude is 1mm)

阻尼随频率增加呈先增加后减小趋势,这也是因为频率较低时,减振器未发生卸荷,动态阻尼随着频率增加而增加;频率较高时,卸荷阀开启,动态阻尼随着频率增加而逐渐减小。由图7可知,频率较低时(小于1 Hz),减振器动态阻尼有一小段先减小的趋势,这是因为减振器动态阻尼的计算是按照欧标

EN 13802:2013 铁路应用-悬挂元件-油压减振器^[11]来进行的。根据相位角计算公式,相位角随活塞位移幅值的减小而减小。当振动频率和激励幅值均较小时,由于试验误差会导致活塞激励位移幅值偏小,从而使得相位角也偏小。根据动态阻尼的计算公式,动态阻尼与相位角的正切值成反比,相位角减小,会导致动态阻尼偏大,所以在低幅低频时,会出现开始一小段下降的趋势,此时应该对试验计算方法以及试验台进行改善。另外,从图5中还可以发现,在油液正常工作温度范围内,温度越高,动态刚度幅值对应的频率越大,即在油液正常工作温度范围内,温度越低,减振器越快达到卸荷速度,越早出现卸荷情况。对比图6和图7,图6中频率为1 Hz时,动态阻尼就开始呈下降趋势;而图7中频率为2 Hz时,动态阻尼才开始下降。这是因为减振器激励幅值越大,卸荷阀越早开启,减振器越早达到卸荷状态。

减振器激励幅值为1 mm时,油液温度在不同频率下对动态刚度和动态阻尼的影响如图8、图9

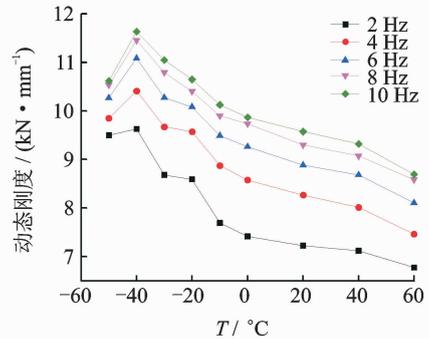


图8 不同频率下温度与动态刚度的关系(幅值为1 mm)

Fig. 8 The relationship between temperature and dynamic stiffness as various frequency (amplitude is 1 mm)

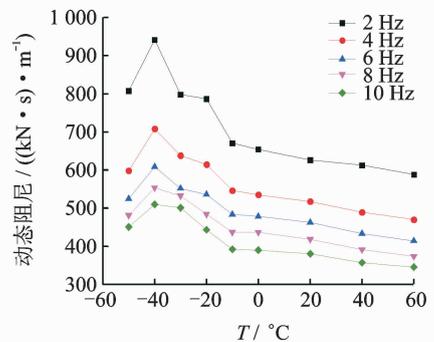


图9 不同频率下温度与动态阻尼的关系(幅值为1 mm)

Fig. 9 The relationship between temperature and dynamic damping as various frequency (amplitude is 1 mm)

所示。从图 8 和图 9 中可以发现,在油液正常工作温度范围内,随着温度升高,减振器的动态刚度、动态阻尼反而减小;当油液温度低于正常工作温度范围,动态刚度、动态阻尼随着温度升高有所升高。从图中还可以发现,在油液正常工作温度范围内,动态刚度和动态阻尼均随着温度的升高而总体呈斜率减小式非线性降低。这说明低温时温度对减振器动态特性影响要大于高温时的影响,这也是由于低温时温度对油液动力黏度影响大于高温时温度对动力黏度影响引起的。

3 油温对整车动力学性能的影响

为研究油液温度对车辆动力学性能的影响,笔者采用动力学软件 SIMPACK 建立我国某高速列车整车动力学模型,如图 10 所示。该高速列车车轮半径为 0.46 m,名义滚动圆间距之半为 0.746 5 m,钢轨轨面为 China60,轨底坡为 1/40。使用的车轮踏面名义等效锥度为 0.25,轨道激励为武广线,计算安全性时曲线半径为 7 000 m,直线长度为 300 m,缓和曲线长度为 500 m,圆曲线长度为 500 m,超高为 0.18 m。

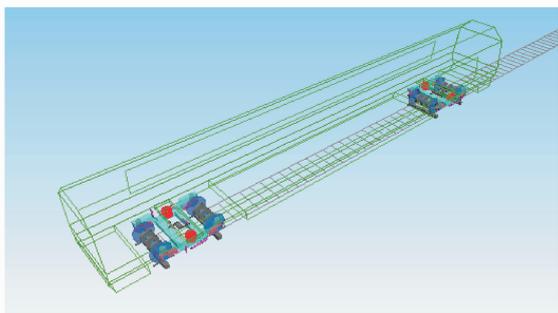


图 10 高速列车动力学模型

Fig. 10 Dynamic model of high-speed vehicle

3.1 油液温度对车辆蛇行稳定性的影响

油液温度对车辆蛇行稳定性影响如图 11 所示。由图可知,在油液正常工作温度范围内,温度越高,蛇行临界速度越低,−40℃的临界速度远大于 60℃的临界速度,这说明油液温度对车辆蛇形稳定性影响非常大。若油液温度超过正常工作温度范围,油液的蛇行临界速度将急剧下降。低温时温度对临界速度的影响远大于高温时。

3.2 油液温度对车辆平稳性的影响

笔者采用 3 级线路轨道谱对车辆系统运行平稳

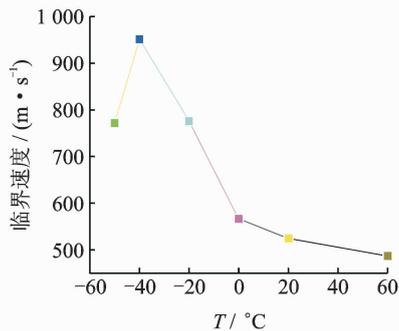


图 11 温度与临界速度的关系

Fig. 11 The relationship between temperature and critical speed

性进行计算,轨道具有 4 个方向的不平顺。为了较为完全地反映车辆的实际动态响应,计算时先让车辆在一段无扰动直线轨道上运行,然后在一段足够长的不平顺轨道上运行,车体加速度响应数据的采样从车辆运行一段距离后开始进行。图 12~图 15 表示油液温度对车辆平稳性的影响。将各温度下的横向平稳性与常温 20℃下的横向平稳性进行对比:低速时(小于 200 km/h),不同温度对车辆横向平稳性及车体横向振动最大加速度影响与常温时相差并不明显;高速时(大于 200 km/h、小于 500 km/h),低温时的横向平稳性能略优于常温时的横向平稳性;而高温时的横向平稳性能略差于常温时的横向平稳性。根据国标 GB5599—85 和《高速动车组整车试验规范》,不同温度下的横向平稳性均在合格范围内。油液温度对车辆横向平稳性影响相对于其对蛇行稳定性来说是非常小的,油液温度对车辆垂向平稳性以及车体垂向振动最大加速度几乎没有影响。

综上,低温时的平稳性总体要优于高温时的平稳性,但均在合格范围内,且相对于油液温度对蛇行稳定性影响来说非常小。

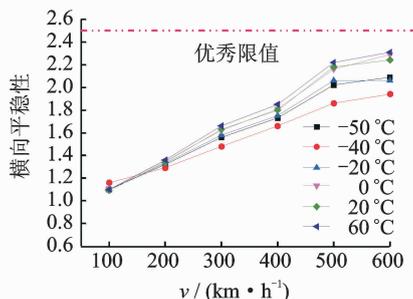


图 12 不同温度下横向平稳性对比

Fig. 12 The comparison of lateral stability as various temperature

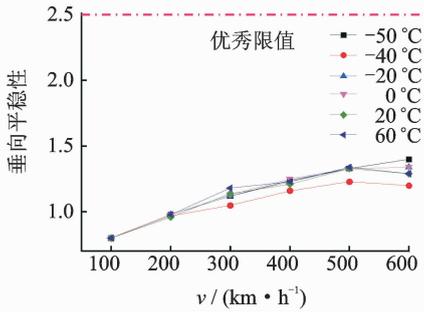


图 13 不同温度下垂向平稳性对比

Fig. 13 The comparison of vertical stability as various temperature

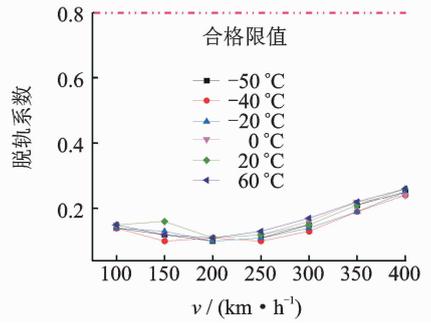


图 16 不同温度下脱轨系数对比

Fig. 16 The comparison of derailment coefficient as various temperature

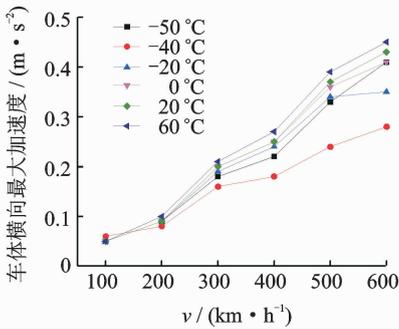


图 14 不同温度下车体横向最大加速度对比

Fig. 14 The comparison of lateral maximum accelerate as various temperature

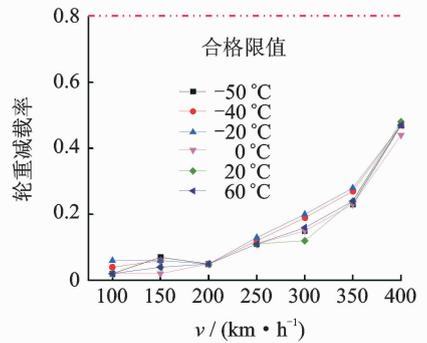


图 17 不同温度下轮重减载率对比

Fig. 17 The comparison of wheel unloading rate as various temperature

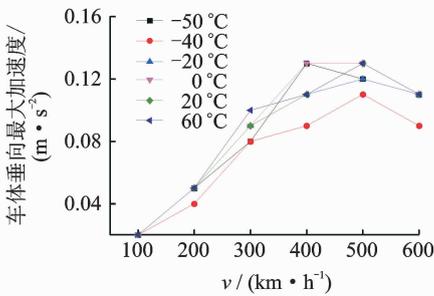


图 15 不同温度下车体垂向最大加速度对比

Fig. 15 The comparison of vertical maximum accelerate as various temperature

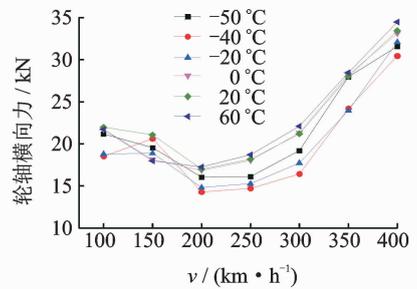


图 18 不同温度下轮轴横向力对比

Fig. 18 The comparison of lateral wheelset force as various temperature

3.3 油液温度对车辆安全性的影响

笔者计算了该动车组以不同速度通过不同曲线的安全性指标,计算中考虑轨道的随机不平顺激励(3级线路轨道谱)。图 16~图 18 表示油液温度对车辆安全性影响,从图中大致可以看出,脱轨系数、轮重减载率及轮轴横向力随着温度变化有轻微的变化,表明油液温度对车辆安全性影响整体不是很明显,低温时安全性能稍微优于高温时安全性能。

4 结论

1) 在减振器油液正常工作温度范围内,温度越低,油液动力黏度越大,减振器吸收的能量、动态刚度及动态阻尼越大。当外界温度超过油液正常工作温度范围时,温度越低,减振器吸收的能量、动态刚度及动态阻尼越少。

2) 低温时油液温度对减振器动态特性影响大于高温时油液温度对减振器动态特性影响。

3) 随着减振器频率、幅值的增加,油液温度对减振器动态特性影响有所下降。

4) 油液温度越低,越早达到卸荷状态。

5) 油液温度对车辆蛇行稳定性影响远远大于对车辆平稳性以及安全性影响,且低温时临界速度远大于高温时临界速度,低温时温度对临界速度的影响也远大于高温时温度对临界速度的影响。

6) 低速时,油液温度对横向平稳性影响不是很明显。高速情况下,低温时横向平稳性要优于高温时横向平稳性能。总体来说,油液温度对车辆平稳性能影响不是很大。

7) 在油液正常工作温度范围内,低温时安全性能稍微优于高温时安全性能,但不是很明显。

参 考 文 献

- [1] 郭孔辉,张玉新,章新杰,等. 液压减振器热-机耦合研究现状与展望[J]. 机械设计与研究,2014,30(3):108-112.
Guo Konghui, Zhang Yuxing, Zhang Xinjie, et al. Thermal-mechanical coupling of shock absorber-current research state and future directions[J]. Machine Design and Research, 2014, 30(3): 108-112. (in Chinese)
- [2] 吴国祥. 铁道车辆用油压减振器粘温特性的研究[J]. 兰州交通大学学报,2010,29(1):82-86.
Wu Guoxiang. Study of viscosity and temperature characteristics of oil pressure damper of rail vehicle [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2010, 29(1): 82-86. (in Chinese)
- [3] 徐腾养,池茂儒,田向阳,等. 抗蛇行减振器内部油液温度对其动态特性影响研究[J]. 机车电传动,2016(6): 1-4.
Xu Tengyang, Chi Maoru, Tian Xiangyang, et al. The research on influence of oil temperature of yaw damper on dynamic performance[J]. Electric Drive for Locomotives, 2016(6): 1-4. (in Chinese)
- [4] 徐腾养,池茂儒,李涛,等. 抗蛇行减振器动态性能研究[J]. 机械,2016,8(43):1-6.
Xu Tengyang, Chi Maoru, Li Tao, et al. The analysis on dynamic performance of yaw damper[J]. Machinery, 2016, 8(43): 1-6. (in Chinese)
- [5] 何青玮,张国贤,林青,等. 温度变化对液压减振器阻尼力及其受温度的影响[J]. 机床与液压,2002(2):108-110.
He Qingwei, Zhang Guoxian, Lin Qing, et al. Influence of temperature variation on the performance of hydraulic shock absorber[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2002(2): 108-110. (in Chinese)
- [6] 张立军,余卓平,阳鹏. 汽车液压减振器耦合特性试验研究[J]. 汽车技术,2005(4):28-31.
Zhang Lijun, Yu Zhuoping, Yang Peng. Study on thermal-mechanical coupling characteristic of automotive hydraulic dampers[J]. Automobile Technology, 2005(4): 28-31. (in Chinese)
- [7] 崔红亮. 计及温度补偿的阻尼可调减振器特性研究[D]. 长春:吉林大学,2014.
- [8] 黄恒. 汽车减振器的数学建模及其外特性与温度变化关系的理论与试验研究[D]. 武昌:武汉理工大学,2005.
- [9] 梁良,田靓,覃刚,等. 车用双筒液压减振器的热力学模型与试验研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2012,40(8):7-11.
Liang Liang, Tian Liang, Qin Gang, et al. Thermodynamic model and experimental study of twin tube hydraulic damper[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2012, 40(8): 7-11. (in Chinese)
- [10] 中国铁路总公司. TB/T1491—2015 机车车辆油压减振器技术条件[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.
- [11] CEN/TC. BS EN 13802—2013 Railway application-suspension components-hydraulic dampers [S]. UK: British Standard Institution, 2013.



第一作者简介:徐腾养,男,1992年10月生,硕士生。主要研究方向为车辆系统动力学。曾发表《抗蛇行减振器内部油液温度对其动态特性影响研究》《机车电传动》2016年第6期等论文。
E-mail: 1149915784@qq.com