

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.11.011

液阻橡胶隔振器在汽车隔振系统上的应用研究^{*}

廖中文¹, 王海林²

(1. 广东农工商职业技术学院 机电系, 广东 广州 510507; 2. 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:为了解决发动机扭矩激励带来的振动噪音及路面激励带来的胎噪等问题, 进而提高汽车的噪声、振动和声振粗糙度 (noise, vibration and harshness, NVH) 性能, 将隔振系统应用在汽车的动力总成系统和行驶系统之中。对隔振系统的结构性差异进行了研究, 利用仿真力学分析软件 Analysis 作为平台, 对比分析了普通橡胶隔振器与液阻橡胶隔振器的性能特点, 以振动加速度作为主要评价因子, 选择了两款常见车型进行了对比测试。结果表明, 液阻橡胶隔振器在受到不平路面激励时对衰减方向盘扭振的效果要优于普通橡胶隔振器, 两种车型的振动加速度峰值分别下降了 62% 和 28%; 液阻橡胶隔振器具有更好的动刚度特性、阻尼角特性和振动加速度特性。

关键词:液阻橡胶隔振器; NVH; 普通橡胶隔振器

中图分类号:TH113.1; U461.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)11-1349-05

Applied of hydraulic rubber isolator in the automobile vibration isolation system

LIAO Zhong-wen¹, WANG Hai-lin²

(1. Department of Mechanical and Electrical, Guangdong AIB Polytechnic College, Guangzhou 510507, China;

2. College of Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to solve the problems of the engine torque of noise and vibration road incentives of tire noise and other issues, so as to improve the Harshness (NVH) of vehicles (noise, vibration and harshness, noise, vibration and acoustic vibration roughness) performance, vibration isolation system was applied in automobile powertrain system and driving system. The vibration isolation system were investigated in structural differences, the platform of using simulation and mechanical analysis software (Analysis) was established. The performance characteristics of ordinary rubber vibration isolator and fluid resistance rubber vibration isolator has carried on the comparison and analysis, two common models were used for contrast test with vibration acceleration as the main control objectives. The results show that: hydraulic rubber isolator in the uneven road surface excitation of attenuation effect of torsional vibration of the steering wheel is superior to the general rubber isolator, two models of vibration acceleration peak value decreased by 62% and 28% respectively, better dynamic stiffness and damping features angle characteristics and vibration acceleration characteristics.

Key words: hydraulic rubber isolator; NVH; General rubber isolator

0 引言

橡胶隔振材料具有超弹性、频率相关性、振幅相关性、Mullins 效应、温度相关性等七大特点, 所以广泛应用于汽车的隔振系统之中^[1-2], 如动力总成悬置、动力

传动装置、底盘衬套、排气系统吊耳和曲轴扭转减振器等, 并在隔振系统中起着关键作用。如动力总成悬置, 除支撑动力总成重量外, 其主要功能还包括: 降低动力总成振动向车身的传递、衰减路面激励引起的动力总成振动、控制动力总成位移和转角。底盘衬套能提供

收稿日期: 2016-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10602019)

作者简介: 廖中文 (1984-), 男, 湖北武穴人, 讲师, 主要从事车辆系统动力学研究. E-mail: zwliao@gdaib.edu.cn

扭转和倾斜的柔性联接,从而较大程度改善汽车的舒适性和操纵稳定性。其他隔振装置,如:扭转减振器、动力吸振器等,它们在一定的振幅和频率范围内有效地提高了整车的 NVH 性能。国内外,比较有代表性的橡胶隔振器企业有:德国的康迪泰克 (CONTITECH)、ZF 伦福德;美国的库博标准 (COOPER STANDARD) 以及中国的宁波拓普集团股份有限公司^[3]。

国内汽车企业在新车研发过程中,缺少对底盘、车身的系统研发,大多数情况都是对国外的成熟车型进行小幅的改动甚至照搬照抄,或者直接请国外设计公司进行设计,这样就没有将精力放在橡胶隔振器的设计上面。在底盘橡胶隔振器设计方面,目前国内企业一般的做法为使用基于形状系数方法进行预测,所以只能进行悬置线性静态性能设计,而对体现橡胶隔振器的非线性力-位移曲线、动态特性缺少有效细致的研究。近年来,随着工程机械应用软件的推广,部分企业开始应用有限元分析 (finite element analysis, FEA)、流-固耦合 (fluid-solid interactive, FSI) 等综合分析手段对橡胶隔振器进行系统研究。

HONG S R 等人^[4]通过 MATLAB 对液阻橡胶隔振器进行了仿真实验研究。结果表明,液阻橡胶隔振器具有更好的隔振性能。潘公宇^[5]和 BRIGLEY M^[6]都尝试对磁流变半主动悬置的通道进行优化设计。结果表明,多个惯性通道的磁流变悬置能有效降低车身质心加速度和悬置动行程。龙岩等人^[7]通过有限元分析的方法,对液阻橡胶隔振器进行了动态性能分析,根据动态性能影响规律,拟合出了较为理想的悬置性能曲线。黄伍德等人^[8]将刚度频散效应计入隔振器阻抗计算,从而使结果更加精确。潘孝勇等人^[9]将 VEP 模型应用于变振幅激励下的液阻隔振器动态性能研究,更好的体现了液压衬套的振幅相关性和频率相关性的耦合特征。上官文斌等人^[10]针对不同类型的橡胶隔振器,通过有限元分析和实际实验测试相结合的方法,预测和优化橡胶隔振器的疲劳寿命。^[11]

本研究将隔振系统应用在汽车的动力总成系统和行驶系统之中,对隔振系统的结构性差异进行研究。

1 液阻橡胶隔振器在汽车上的应用情况

1.1 液阻橡胶隔振器在汽车上的应用

常见的汽车橡胶隔振器如图 1 所示。普通橡胶隔振器在汽车各隔振系统中扮演着非常重要的角色,但是由于橡胶隔振器存在振动阻尼偏小,在低频时不能

满足汽车动力总成悬置系统的隔振性能要求;在高频振动时会出现动态硬化现象,导致其动刚度显著增大,不能满足汽车动力总成悬置系统在高频域的隔振、降噪性能这两大要求,所以为了满足汽车行驶过程中可能遇到的不同类型工况激励、特定频段的特殊阻尼特性要求,需要对普通橡胶隔振器进行改进,以满足隔振系统对橡胶隔振器动态特性的需求。

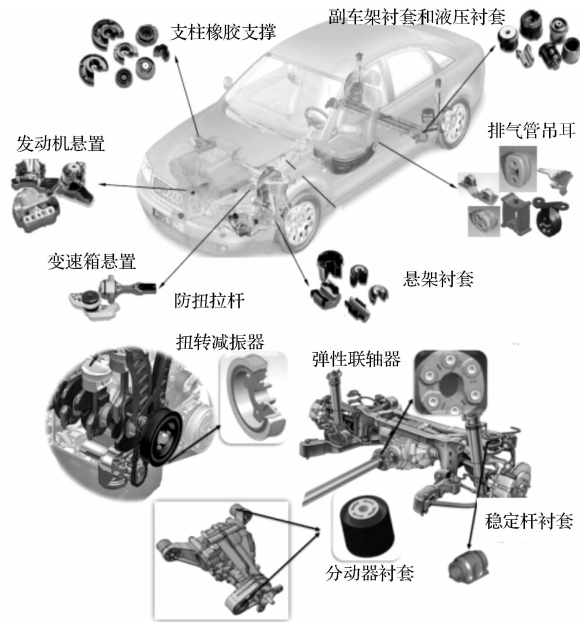


图 1 常见的汽车橡胶隔振器

上个世纪 70 年代末开始,一种新型的液体阻尼型橡胶隔振器 (或称液阻橡胶隔振器、液阻悬置) 开始在国外汽车上推广应用,它是由封闭的橡胶悬置内设液体阻尼机构组合而成,其弹性特性和阻尼特性都显著优于普通橡胶悬置,可在很大程度上弥补普通橡胶悬置的不足,从而改善汽车动力总成悬置系统的减振缓冲、隔振降噪性能。

将液阻悬置和普通橡胶悬置用于动力总成的隔振元件时,实验比较两者的隔振效果如图 2 所示。

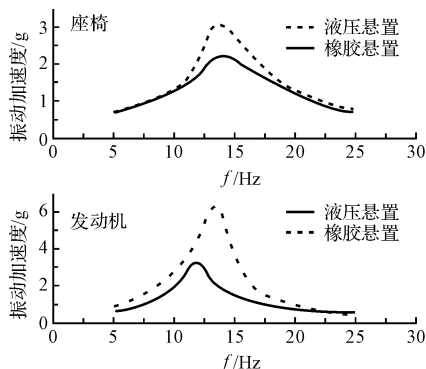


图 2 液阻悬置与橡胶悬置的隔振效果对比图

由图 2 可见,液阻悬置相比橡胶悬置,能更好地衰

减振动加速度,从而具有更好的隔振效果。

1.2 典型液阻橡胶隔振器的结构及功用

一典型液阻悬置的结构示意图如图 3 所示。

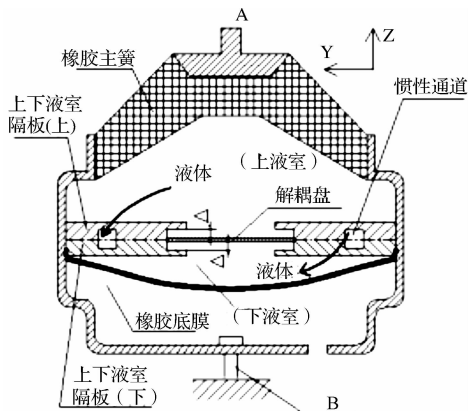


图3 惯性通道-解耦盘液阻悬置示意图

当活动的解耦盘固定时,此时液阻悬置称为惯性通道式的液阻悬置;当活动的解耦盘固定,且解耦盘用橡胶材料制成时,称解耦盘为解耦膜,此种液阻悬置称为惯性通道-解耦膜式液阻悬置。当无惯性通道,并且在解耦盘处以一个长的中心孔代替时,该类型悬置称为节流阻尼孔式液阻悬置^[12-13]。

汽车动力总成隔振系统中使用的液阻悬置,主要是为了隔离来自发动机怠速或者路面的低频、大振幅激励($1\text{ Hz} \sim 50\text{ Hz}$, $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$)而引起车架或车身的振动,因此液阻悬置在汽车上基本都是垂直安装的;当液阻悬置在两个水平方向受到激励时,液体阻尼机构(惯性通道、解耦盘和液体)不起作用,此时液阻悬置的特性与橡胶主簧的特性一致,因此,对液阻悬置非线性位移和动态特性的实验研究和仿真分析都是针对其垂直方向。

当发动机的激励为高频、小振幅正弦激励($50\text{ Hz} \sim 200\text{ Hz}$, $0.05\text{ mm} \sim 0.2\text{ mm}$)时,对解耦盘式的液阻悬置,其解耦盘仅在其自由行程(2Δ)中运动,因而惯性通道中无液体流动(对于解耦膜式的液阻悬置,由于位移小时,解耦膜的刚度很小,此时上下液室之间液体的流动仅随解耦膜的变形而流动,而惯性通道中无液体流动),与惯性通道式液阻悬置相比较,惯性通道-解耦盘式液阻悬置在此激励工况下具有小阻尼、小刚度的特点^[14]。

当发动机的激励为低频、大振幅正弦激励($1\text{ Hz} \sim 50\text{ Hz}$, $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$)时,解耦盘运动的位移会大于其自由行程,由于隔离板限制了解耦盘的运动,因而迫使液体流经惯性通道(对于解耦膜式的液阻悬置,由于解耦膜在大位移时的刚度很大,因而迫使液体流经惯

性通道),此时液阻悬置表现出大刚度、大阻尼的特性。由此可知,由于解耦盘或者解耦膜的特性,使得液阻悬置的性能与激励振幅有关,而惯性通道内液体的运动,使得液阻悬置的性能与激励频率有关。

底盘系统开发时,为了降低刚体模态引起的大振幅振动,要求橡胶衬套具有大阻尼(低频、大振幅激励);为了降低高频振动和噪声,要求橡胶衬套具有低刚度(高频、小振幅激励),这是普通橡胶隔振器(传统橡胶衬套)所不具备的特性。然而,液压衬套(液阻橡胶隔振器)可以在低频、大振幅时提供较大的刚度和阻尼;在高频、小振幅时动刚度可以一定程度地降低。这样液压衬套能更好的应用于底盘系统的隔振系统之中。

液压衬套在底盘系统中,主要应用于液压副车架衬套(径向),用于衰减副车架的侧向和纵向模态振动;当汽车行驶在粗糙路面上时,路面激励呈现低频、大振幅特点,可以用液压衬套替换后扭转梁或者后轴控制臂的橡胶衬套,这样能较好抑制由路面引起的晃动,同时还可以保证前轮前束校正,从而提升车辆的操纵稳定性;液压衬套还可以用于液压支柱上支撑,这样有效控制车轮在 $10\text{ Hz} \sim 17\text{ Hz}$ 的频率范围内跳动,并且与悬架的减震器功能相互独立,但由于价格和空间问题制约,导致目前还不能大批量得到应用^[15]。

1.3 横向阻尼液压衬套元件的结构及动态性能测试

横向阻尼液压衬套元件的结构示意图如图 4 所示。

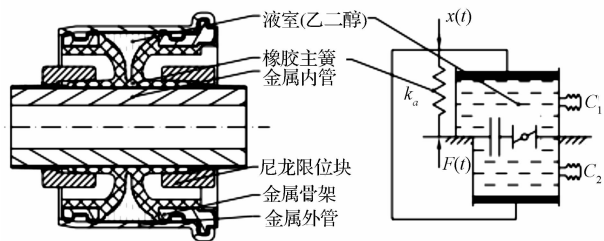


图4 横向阻尼液压衬套工作原理

由液体(乙二醇)、橡胶主簧、金属内管、尼龙限位块、金属骨架和金属外管组成。图 4 中,中间的橡胶主簧将两个充满液体(乙二醇)的腔体分成两个部分,并且通过一相对狭长的流道(惯性通道)将两个液腔相连,使用橡胶膜对轴的两端进行密封,使用密封筋对轴的侧向进行密封;液压衬套的金属骨架具有足够的刚度和强度,有利于保持运动时惯性通道的形状,并且对密封、耐久性和刚度调整具有较大作用;金属内管与连接螺栓相连。

当液压衬套受到外力加载时,金属内管相对金属外管会发生径向变形,流体将从一个液腔流到另外一个液腔,惯性通道中液体的惯性质量和液压衬套侧面将形成

一个共振系统,这个系统的共振频率可以调整到预期范围,这样整个系统具有大幅度的能量耗散功能,利用仿真力学分析软件,模拟不同振幅激励下,动刚度和阻尼角分别与频率激励的动态关系曲线如图 5 所示。

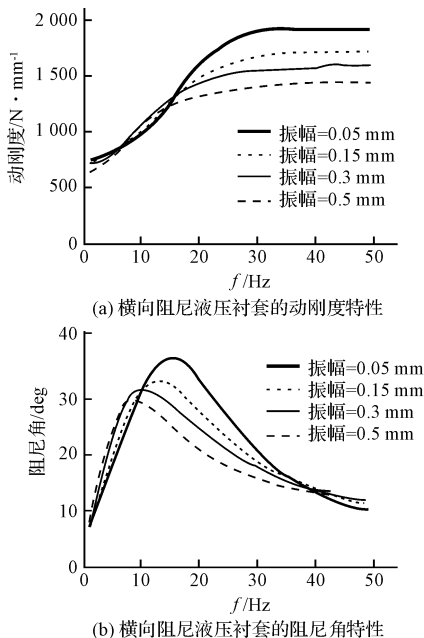


图 5 横向阻尼液压衬套的动态性能

在液压衬套中,可以使用弹性密封条设置解耦通道,作为泄流通道,这样一旦受到较大的冲击时,可以起到保护液压衬套的作用,也避免了零件的结构遭受较大的外力冲击。图 4 中的尼龙限位块起到了控制位移的作用,当衬套一旦承受较大径向冲击力时,尼龙限位块将与橡胶弹簧接触,刚度急剧上升,位移将得到有效控制,橡胶主簧也将得到一定的保护,不致被冲击力破坏。

2 液压衬套与普通橡胶衬套隔振效果实车对比

测试中,本研究选择 15 款东风雪铁龙 C4L (1.6T 自动尊贵版) 和 15 款东风标致 408 (1.2T 自动荣耀版) 作为测试对象,在两款轿车的前悬架下控制臂装入液压衬套,用于衰减由路面激励引起的方向盘扭振,测试效果图如图 6 所示。

图 6 中的振动水平已经基于最大值进行了正则化处理,其中 C4L 的液压衬套具有更强的惯性阻尼特性,而 408 的液压衬套具有更好的摩擦阻尼特性。由图 6 可见, C4L 的加速度峰值水平减小了 62%, 而 408 也减少了 28%, 说明液压衬套在不平路面激励时,对方向盘扭振具有较好的衰减作用。

液压衬套的批量生产过程中,对制造设备无过多的特殊性需求,但液压衬套却存在价格昂贵、尺寸较

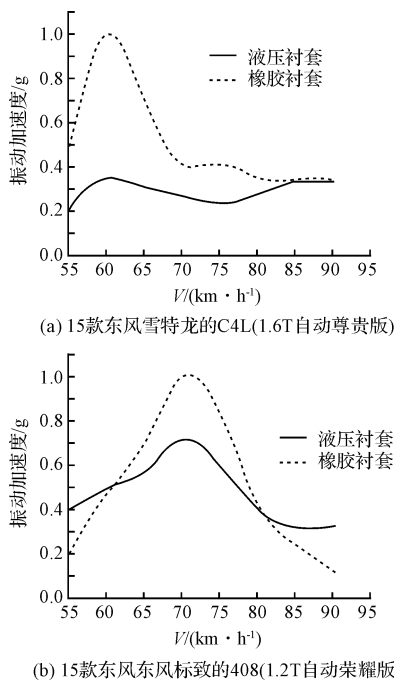


图 6 液压衬套与普通橡胶衬套隔振效果对比

大、三向静刚度较难调整、密封容易失效、机械耐久性较差等问题,这极大地制约了液压衬套的应用推广。

3 结束语

(1) 本研究介绍了液阻隔振器的基本结构及工作原理,通过动力系统仿真软件将普通橡胶隔振器与液阻橡胶隔振器的动态性能进行对比测试发现,液阻橡胶隔振器的动态性能优于普通橡胶隔振器,主要表现在动刚度特性、阻尼角特性和振动加速度特性。

(2) 通过实车测试发现,液压衬套对比橡胶衬套具有更好的隔振效果,雪铁龙 C4L 的加速度峰值水平减小了 62%, 而标志 408 也减少了 28%, 振动加速度下降较为明显,对车辆 NVH 的改善效果较为明显。实车测试结果与仿真分析结果较为一致。

(3) 本研究有助于液阻隔振器的应用推广及前期开发,具体可以考虑从液阻橡胶隔振器的结构设计、研发平台和测试调试等方面进行创新研究,以期改善液阻隔振器的动态性能。

参考文献 (References):

- [1] SJÖBERG M. On dynamic properties of rubber isolators [D]. Sweden: Kunglia Tekniska högskolan Vehicle Engineering, 2002.
- [2] 上官文斌. 液阻型橡胶隔振器液-固耦合动力学特性仿真技术研究 [D]. 北京:清华大学汽车工程系, 2003.
- [3] 潘孝勇. 橡胶隔振器动态特性计算与建模方法的研究 [D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院, 2009.

- [4] HONG S R, CHOI S B, CHOI Y T, et al. A hydro-mechanical model for hysteretic damping force prediction of ER damper: Experimental verification[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 2005, 285(4/5): 1180-1188.
- [5] 潘公宇, 王倩倩, 杨欣. 汽车发动机磁流变悬置动特性及 PID 控制研究[J]. 机电工程, 2015, 32(6): 751-755.
- [6] BRIGLEY M, CHOI Y T, WERELEY N M, et al. Magneto-rheological isolators using multiple fluid modes[J]. **Journal of Intelligent Material Systems And Structures**, 2007(18): 1143-1148.
- [7] 龙岩, 史文库, 骆联盟等. 橡胶主簧的有限元分析及对液阻悬置性能的影响[J]. 机电工程, 2008, 25(4): 48-51.
- [8] 黄伍德, 陈光冶, 车驰东. 基于橡胶刚度频散的隔振器阻抗研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(9): 164-167.
- [9] 潘孝勇, 谢新星, 上官文斌. 变振幅激励下的液阻橡胶隔振器动态特性分析[J]. 振动与冲击, 2012, 31(1): 144-149.
- [10] 上官文斌, 段小成, 刘泰凯等. 不同损伤参量对橡胶隔振器疲劳寿命预测结果影响的研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(2): 116-126.
- [11] 苏文献, 朱国梁, 周飞鸽. 基于欧美压力容器规范的开孔接管结构疲劳寿命研究[J]. 轻工机械, 2016, 34(2): 42-48.
- [12] SAUER W, GUY Y. Hydro bushings-innovative NVH solutions in chassis technology[J]. **SAE 2003 Transactions Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems**, 2003, 112(6): 1-9.
- [13] CAPUTO A, SPINA M, GUGLIELMINO E. Sensitivity of suspension system performance to Bushing stiffness variation-an evaluation methodology[J]. **SAE 2003 Transaction Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems**, 2003, 112(6): 1-12.
- [14] 余天超, 孙永厚, 刘夫云. 发动机橡胶隔振器动特性分析[J]. 机械设计与制造, 2013(12): 235-237.
- [15] ROSSI KHIN Y A, SHITIKOVA M V. A new method for solving dynamic problems of fractional derivative viscoelasticity[J]. **International Journal of Engineering Science**, 2001, 39(2): 149-176.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

廖中文, 王海林. 液阻橡胶隔振器在汽车隔振系统上的应用研究[J]. 机电工程, 2016, 33(11): 1349-1353.

LIAO Zhong-wen, WANG Hai-lin. Applied of hydraulic rubber isolator in the automobile vibration isolation system[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2016, 33(11): 1349-1353.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1333 页)

平台可以完成船型的完全参数化建模、系统性船型变换和优化算法运用。在优化算法的选择上, 构建全局最优和最速寻优的算法是提高设计质量和效率的关键。在下一步的研究中, 将进行水池试验来验证此设计优化框架的可靠性和准确性。

参考文献 (References):

- [1] MOUSAVI M., AHMADZADEHTALATAPEH M. A review on the drag reduction methods of the ship hulls for improving the hydrodynamic performance[J]. **International Journal of Maritime Technology**, 2015, 3(4): 51-64.
- [2] YUSUKE T, SUGIMOTO S, SHINYA M, et al. Development of CAD/CFD/optimizer-integrated hull-form design system[J]. **Journal of the Kansai Society of Naval Architects**, 2003, 240(1): 29-36.
- [3] PERCIVAL S, HENDIX D, NOBLESSE F. Hydrodynamic optimization of ship hull forms[J]. **Applied Ocean Research**, 2001, 23(6): 337-355.
- [4] TAHARA, Y. TOHYAMA, S KATSUI T. CFD-based multi-objective optimization method for ship design[J]. **International Journal Numerical Methods in Fluids**, 2006, 52(5): 499-527.
- [5] ZAKERDOOST H., GHASSEMI H., GHIASI M. An evolutionary optimization technique applied to resistance reduction of the ship hull form[J]. **Journal of Naval Architecture and Marine Engineering**, 2013, 10(1): 1-12.
- [6] ANG J, GOH C, LI Y. Hull form design optimization for improved efficiency and hydrodynamic performance of "ship-shaped" offshore vessels [C]//Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding. Bremen, Enlighten, 2015: 1-10.
- [7] WANG J. A NURBS-Based Computational Tool for Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms [D]. Fairfax: George Mason University, 2015.
- [8] 张宝吉, 马坤, 纪卓尚. 基于非线性规划法的最小阻力船型优化设计[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(2): 358-361.
- [9] 冯佰威. 基于多学科设计优化方法的船舶水动力性能综合优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学交通学院, 2011.
- [10] 石丽建, 肖方平, 李帅领, 等. 基于 isIGHT 平台的轴流泵叶片水力性能优化研究[J]. 液体机械, 2014, 42(8): 16-20, 45.
- [11] 邓贤辉, 方昭昭, 赵丙乾. 基于计算流体动力学的最小阻力船型自动优化[J]. 中国舰船研究, 2015, 10(3): 19-25.
- [12] 刘祖源, 冯佰威, 詹成胜. 船体型线多学科优化[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

[编辑: 李辉]