汽车变速器壳体关键技术研究综述

郑容元[1] 张飘飘[1,2] 孙真真[1,2] 冀荣丽[1] 韩涛[1,2]

(1.郑州财经学院,郑州 450000; 2.河南省智能冷链物流装备制造工程技术研究中心,郑州 450000)

摘要: 变速器是汽车传动系统的核心部件之一,壳体是变速器的重要组成原件,其性能直接影响汽车的动力传递效率、可靠性和舒适性。对变速器壳体轻量化设计、可靠性分析、铸造工艺以及振动噪声控制方面的研究成果进行综述。优化变速器壳体的结构可以降低质量、提高耐久性,增加壳体刚度可以抑制辐射噪声。通过仿真技术优化加强筋、变截面设计、改变壳体厚度,可大幅降低设计难度,对新材料的探索也将成为研究热点。优化铸造工艺参数可缩短生产周期,提高铸造质量。但最佳工艺参数仍需探索,未来铸造工艺与智能制造技术的结合值得深入研究。

关键词: 变速器壳体 轻量化设计 疲劳分析 铸造工艺 振动噪声

中图分类号: U463.212 **文献标志码:** B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20250258

Review on Key Technologies of Automotive Transmission Housing

Zheng Rongyuan[1], Zhang Piaopiao[1,2], Sun Zhenzhen[1,2], Ji Rongli[1], Han Tao[1,2]

(1. Zhengzhou College of Finance and Economics, Zhengzhou 450000; 2. Henan Engineering Technology Research Center of Intelligent Cold Chain Logistics Equipment Manufacturing, Zhengzhou 450000)

Abstract: The transmission is one of the core components of the automotive powertrain system, and the housing serves as a critical structural element. Its performance directly impacts power transmission efficiency, reliability, and driving comfort. This paper reviews research advancements in lightweight design, reliability analysis, casting processes, and vibration-noise control of transmission housings. The optimization of transmission housing structure can reduce weight and enhance durability, while increasing stiffness effectively suppresses radiation noise. Optimizing the stiffener, changing the cross-section design and changing the shell thickness with the help of simulation technology can greatly reduce the design difficulty, and the exploration of new materials will also become a research hotspot. Additionally, optimizing casting process parameters can shorten production cycle and improve casting quality. However, the best process parameters need to be further explored, and the combination of casting process and intelligent manufacturing technology in the future is worthy of in-depth study, which provides reference for improving the comprehensive performance of transmission housing.

Key words: Transmission housing, Lightweight design, Fatigue analysis, Casting process, Vibration noise

1 前言

随着对环境保护的日益关注,汽车主机厂越来越注重汽车轻量化设计,以降低油耗和废气排放量。文献[1]研究显示,汽车质量每减轻100 kg,每百公里可节油约0.3 L,质量每减轻10%,可减少10%的二氧化碳排放量。但减轻变速器壳体质量可能会提高噪声、振动以及声振粗糙度(Noise、Vibration、Harshness,NVH)水平,并降低汽车整体舒适度[2]。其中,振动是引起辐射噪声的关键因素,严重的振动会大幅缩短变速器的使用寿命[3-4]。提高变速器壳体的质量及可靠性可降低振动从而抑

作者简介:郑容元(2000—),男,学士学位,研究方向为车辆设计与仿真。

通信作者:韩涛(1992—),男,讲师,硕士学位,研究方向为车辆设计与仿真、硬脆材料精密加工技术,han_tao2016@163.com。

基金项目:2025年河南省民办高校特色发展项目(车辆工程专业);河南省科技攻关项目(252102220045)。

参考文献引用格式:

郑容元, 张飘飘, 孙真真, 等. 汽车变速器壳体关键技术研究综述[J]. 汽车工艺与材料, 2026(4): 1-7.

ZHENG R Y, ZHANG P P, SUN Z Z, et al. Review on Key Technologies of Automotive Transmission Housing[J]. Automobile Technology & Material, 2026(4): 1-7.

制噪声，因此，对壳体的铸造工艺提出了较高的要求。

近年来，针对变速器壳体的研究逐渐增多，本文针对汽车变速器壳体轻量化设计、可靠性分析、铸造工艺以及振动噪声控制方面的研究现状进行梳理，总结和归纳亟需解决的问题并提出相应的优化措施，展望未来发展方向。

2 变速器壳体轻量化设计

2.1 变速器壳体拓扑优化

在变速器壳体结构轻量化研究领域，诸多学者通过拓扑优化方法取得了显著成果。采用变密度的拓扑优化分析方法对壳体进行分析，优化筋板的尺寸和布置数量，优化后的壳体静强度和模态频率均高于设计指标[5]。将有限元法与变密度法相结合，以位移和应力为约束，调整加强筋分布，使箱体质量减轻了9.98%[6]。Steffen Jäger等[7]采用密度基材料插值惩罚方案，设计出X形筋结构，结合激光金属沉积（Laser Metal Deposition，LMD）与预制车削件的混合制造方案，在旋转变形轻微增加的情况下，实现了约21%的仿真减重。借助Hyperworks软件，运用折衷规划拓扑优化方法，优化壳体应力、固有频率及其轴承孔处形变参数，实现了壳体刚度最大化[8]。沈保山等[9]针对汽车传动效率低、换挡动力传递中断且冲击大等问题，建立了箱体结构的拓扑优化分析流程（图1）。结合有限元与多体分析，设计了一种双驱动三挡电控机械式自动变速器（Automated Mechanical Transmission，AMT），使箱体质量减轻3.3 kg，轻量化率达10.6%。

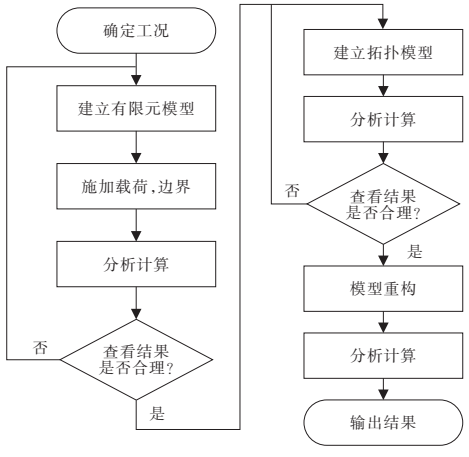


图1 拓扑优化流程[8]

2.2 变速器壳体结构优化

针对汽车变速器壳体轻量化问题，诸多学者基于壳体结构及材料进行了研究。陈亮等[1]建立壳体力学数学模型，通过三维建模、有限元分析与台架试验相结合的方法，研究了不同壳体截面形状结构及表面加强筋分布方案，采用铸铝材料并将壳体截面形状改进为波浪形并进行台架试验。结果表明，变速器总成质量减轻24.3%。利用ABAQUS对壳体进行强度分析，确定薄弱环节后，通过改变壳体厚度和加强筋数量，壳体强度提升且质量减轻3.9%[10]。鲍马飞等[11]针对箱体结构复杂化的问题，对箱体及关键零部件建立理论力学模型，将箱座凸缘厚度优化为15 mm、箱盖凸缘厚度优化为17 mm、地脚板厚度优化为37 mm等，并用ANSYS Workbench进行有限元分析。结果表明，优化后的箱体质量减轻5.3%（12.518 kg）。

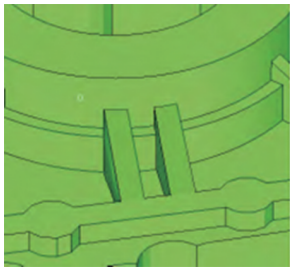
拓扑优化具有更多的设计自由度，是一种高效的结构优化方法，在提升其静强度和模态特性的同时，能够有效降低箱体结构的质量，缩短设计周期，降低研发成本，为汽车变速器壳体轻量化设计提供参考。

3 变速器壳体可靠性分析

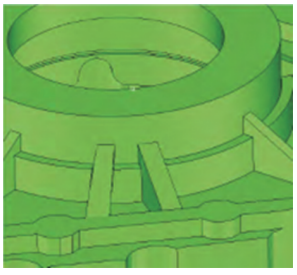
3.1 变速器壳体疲劳强度分析

邓国红等[12]考虑传动系非稳定工况下的动载荷效应，运用静力学和Miner线性积累疲劳损伤理论进行分析，优化2种局部结构（图2）并进行了有限元分析。结果表明，优化后壳体的最大损伤值大幅降低。范伶松等[13]采用有限元法对壳体进行强度分析，发现倒车工况下强度不足，增加表面加强筋后，最大应力降低51.17%。宗邦飞等[14]采用Hyperworks建立有限元模型，对壳体进行振动分析，发现在500~750 Hz频率范围内，壳体动刚度低于对标值，添加T型加强筋可提高刚度。Son G等[15]运用有限元模型对壳体刚度进行评估，通过模态分析和模型更新，确定肋条设计方向，发现增加肋条长度和高度可有效提升壳体刚度。谭辉等[16]借助Radioss软件，运用关键点动态刚度方法，分析模态位移云图找出壳体的薄弱结构，改变其结构曲率或者增加加强筋以减小激振力引起的振

动,提高了壳体刚度,为优化设计提供了依据。



(a)方案1



(b)方案2

图2　应力集中处优化模型[12]

3.2　变速器壳体动态特性分析

诸多学者针对变速器壳体动态特性进行了研究。采用模态叠加法对壳体进行动态特性求解分析,构建齿轮系统动力学模型,求解多种激励下的动态力响应,发现壳体中间板类零件因刚度不足易产生较大变形[17]。采用机械结构有限元分析技术与试验模态分析技术相结合的方法,表明了前6阶模态振型变化趋势相似,验证了壳体模态仿真分析结果的可靠性,为壳体结构动态优化奠定基础[18]。在施加载荷的情况下分析壳体模态特性,采用KISSsoft进行静力分析,利用ANSYS Workbench获得了20个最低固有频率,发现振荡主要发生在法兰区域[19]。通过结构动力学优化将第9阶固有频率提升662 Hz,有效规避了共振风险[20]。Ashwani Kumar等[21]使用失谐原理和响应曲面法(Response Surface Methodology,RSM)优化技术确定连接螺栓的优化数量,采用有限元分析(Finite Element Analysis,FEA)计算模态频率和振型。结果表明,连接螺栓的数量直接影响频率,约束连接螺栓与频率响应之间存在线性关系。徐海港等[22]利用ANSYS进行强度与模态分析,并填补了输出轴轴承座和中间轴轴承座之间的凹槽造型。结果表明,优化结构使最大形变减小0.057 mm,最大应力减小20 MPa,且其固有频率能够避开常见转速范围内的齿轮啮合冲击频率,可通过优化加强筋的尺寸、位置及数量、调整变速器壳体厚度,改变壳体的固有频率等方法规避共振频率区间,提升壳体的性能。

3.3　变速器壳体裂纹分析

针对壳体局部应力过大导致的壳体裂纹问题,通过线弹性、弹塑性有限元分析和断裂伸长率预测壳体断裂极限扭矩,并经台架试验验证,极限扭矩预测值和试验值均满足静强度要求,预测精度达86.9%[23]。通过原因排查、有限元分析和结构优化,增加喇叭口将立面过度改为斜面过度并改变螺栓连接数量,优化后的壳体强度和耐久性达标[24]。结合显微组织、化学成分、硬度等分析,得出局部Si元素偏析是疲劳开裂的根本原因,并提出提高裂纹部位冷速、细化晶粒、控制Si元素偏析现象的措施[25]。陈海燕等[26]为提升壳体材料镁合金的性能,在Mg-3Zn-0.8Er合金中添加Sr元素、Y元素,并进行了性能测试。结果表明,与商用AZ31镁合金相比,添加Sr元素、Y元素的汽车用镁合金Mg-Zn-Er-X性能大幅提高。壳体断裂极限工况预测为传动系统的匹配及日常使用提供指导,通过结构优化避免应力局部集中,可提升耐久性。同时添加特定元素,改善材料的力学性能也是避免壳体过早疲劳开裂的重要举措。

4　变速器壳体铸造工艺

4.1　变速器壳体铸造工艺优化

诸多学者对壳体铸造工艺进行了优化。白云[27]运用Procast分析其低压铸造过程中的浇注温度、加压压力和模具初始温度对成型质量的影响。结果表明,改进后铸件损伤部位明显缩小(图3),浇注温度720 ℃、加压压力0.018 MPa、模具初始温度354 ℃为最佳的工艺参数。范寅生等[28]对壳体的压铸成形过程进行充型仿真,分析了不同压射高低速切换点对金属液流动和充型的影响。结果表明,当压射低速值为0.2 m/s,高速值为3.5 m/s,高低速切换点为560 mm时,铸件组织致密,力学性能较好。范寅生[29]利用UG软件设计了浇注与排溢系统,借助有限差分模拟软件对壳体压铸充型和凝固过程进行模拟分析,经正交试验确定优化工艺参数:浇注温度为700 ℃、

压射速度为3 m/s、模具预热温度为220 ℃。结果表明，优化后无明显浇注不足、起皮、气孔和缩孔等问题。Mingyu Huang等[30]采用UG软件设计分型面与浇注系统，采用Magmasoft软件仿真，结合正交试验确定最优工艺参数为：定模温度为200 ℃、动模温度为220 ℃、浇注温度为670 ℃、慢射速度为0.18 m/s、快射速度为4.5 m/s，模具保压时间为30 s。结果表明，该参数下铸件成型质量较好且满足技术要求。调整浇注温度、加压压力、模具初始温度和压射速度可降低壳体损伤，提高壳体铸造质量。

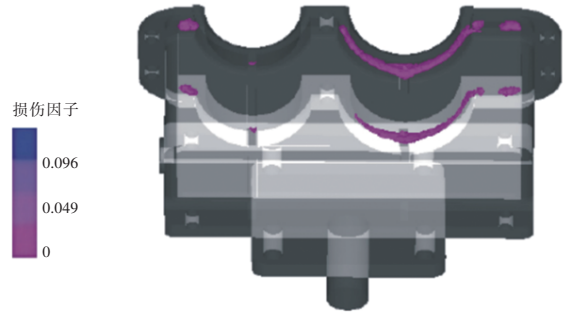


图3 改进后下箱体低压铸造损伤[27]

4.2 变速器壳体压铸缺陷

诸多学者基于压铸过程进行了研究。采用多点联动局部挤压技术对缩孔部位加压，改善了孔隙度及泄漏问题[31]。Mingyu Huang等[30]提出了模具改进方案，在侧滑块与下滑块上分别设置高压点冷却镶块，加速局部位置冷却速度，有效遏制了泄漏现象。通过CAE模拟结合浇注系统调整，提出了壁厚大于20 mm的铸件需采用底注式浇注系统[32]。利用Magma软件优化浇注尺寸并增设冷却系统，改善了充型不平稳和缩松、缩孔缺陷[33]。结合模流分析、局部挤压及真空压铸技术，解决了高压油道和U形凹槽内部缩孔和缩松以及铸件易产生气孔的铸造缺陷问题[34]。通过AnyCasting模拟局部挤压结构，在厚壁处增设挤压凸台，显著减少缩孔和渗漏问题[35]。徐卫权等[36]针对壳体加工端面波纹度问题，基于LabVIEW平台，采用加速度传感器与PCI采集卡进行振动信号采集，结合有限元模态与谐响应分析优化装夹定位方式。改进后振动强度降低89%，加工表面无显著振纹，壳体压铸质量显著提升。压铸过程中壳体产生的缺陷及解决措施如表1所示。

表1 压铸过程中壳体产生的缺陷及解决措施

缺陷问题	对策
孔隙度和泄漏	多点联动局部挤压、增设挤压凸台
缩松缩孔缺陷	优化浇注尺寸、增设冷却系统
铸件内气孔	采用局部挤压及真空压铸
端面波纹度	调整装夹定位方式

4.3 变速器壳体铸件生产效率

为提高变速器壳体的生产效率，可对铸件工艺进行优化。通过改进铸件浇注系统、采用多滑块内嵌式抽芯结构以及优化模具冷却系统设计，将压铸模分型面正面浅腔设计在定模上，背面深腔设计在动模上，并设计循环冷却系统，降低了成本，提高了生产效率[37]。通过分析铸件结构特点、MAGMA模拟温度场及模具结构，设计仿形喷涂装置，并利用UX工程软件优化装置模型，使壳体铸件单件生产周期缩短32.8%[38]。通过改进铸件参数及凸台位置、增加加强肋，使铸件废品率下降，提高了生产效率[39]。基于STM32微控制器，提出齿轮箱壳体干燥装置的设计方案，实现变速器壳体的智能烘干。结果表明，该装置可提高加工质量和生产效率[40]。优化喷涂装置和壳体干燥装置，可缩短壳体生产周期；通过浇注系统和模具冷却系统提高生产效率。

5 壳体振动特性与噪声控制

5.1 壳体振动特性分析

诸多学者针对变速器壳体振动特性问题进行研究，构建刚柔耦合动力学模型，采用模态叠加法计算壳体的动态响应。结果表明，壳体振动加速度幅值与转速正相关[41]。通过仿真计算和试验相结合的方法，建立变速器传动系统动力学模型，以轴承动态力为边界条件，进行多工况的振动加速度仿真和试验测试。结果表明，2DCT壳体固有频率有所提高，固有频率的仿真结果与试验相比误差均在4%以内，壳体有限元模型准确性得到验证[42]。通过附加质量模态试验揭示了变速器壳体固有频率变化规律，发现壳体厚度、附加质量大小及分布方式均对固有频率有显著影响。较厚区域频率较高，而质量越大或分布越均匀则频率越

低[43]。宗邦飞等利用振动传递分析方法,运用Hyperworks对后壳体悬置点进行振动传递函数分析,发现动刚度频响曲线能够比传统加速度频响曲线更直观地反映壳体表面振动变形情况,实现了直观表达变速器壳体振动特性的目标[44]。通过增强法兰径向刚度、优化加强筋布局及变截面设计,有效抑制了齿轮阶次激励引发的壳体共振问题[45]。建立有限元和边界元的仿真模型,搭建壳体振动与辐射噪声测试平台,对不同区域加强筋延长并加厚,对部分端面加厚,使壳体振动幅值及辐射噪声均得到较好抑制[46]。优化变速器壳体结构,提高壳体整体刚度,可有效抑制变速壳振动减少辐射噪声。

5.2　壳体噪声分析

在对变速器壳体振动特性深入探究的基础上,诸多学者进一步研究噪声控制,针对壳体结构提出了有效分析方法与优化策略。运用声学边界元法对壳体辐射噪声进行模态声学贡献量分析,通过识别峰值频率下的高贡献区域并施加T形加强筋,成功降低声压峰值[47]。通过将拓扑优化与声学贡献分析相结合,根据优化结果添加新的加强筋可显著降低齿轮箱声场中的最高声压区域中的声压[48]。

Beom-Soo Kim[49]等建立了变速器壳体的动力学及结构-声学耦合分析模型,以壳体周围的声压为拓扑优化目标函数,获得辐射噪声最低的壳体材料分布情况。试验验证显示,振动误差≤0.1 dB(A),噪声误差≤0.2 dB(A),辐射噪声改善约2.43 dB(A)。余磊等基于直接边界元法建立噪声传递模型,验证了箱体特定测点声压峰值与模态频率的关联性,并识别出超标声压区域[50]。Okda等设计并测试了一种紧凑型压电惯性质量作动器,在振动频率为1 000~1 500 Hz的范围内平均降低约8.5 dB(A),在1 500~2 000 Hz范围内平均降低约14 dB(A),在2 500~5 000 Hz范围内平均降低10.8 dB(A)[51]。Amaral[1]等基于COMSOL对变速器壳体进行优化,结果表明,应用局域共振超材料(Locally Resonant Metamaterials,LRM)可在预测的带隙(Band Gap,BG)范围内有效减弱噪声,同时在全频谱范围内(50~5 000 Hz)实现显著的平均衰减,试验结果与数值模拟趋势吻合。

本文通过分析振动特性,对壳体辐射噪声进行优化,如图4所示。动刚度频响曲线为抑制壳体噪声提供了重要参考,在此基础上,可安装压电惯性质量作动器,并优化加强筋尺寸及布局、增强法兰径向刚度和加厚部分端面,降低壳体辐射噪声。

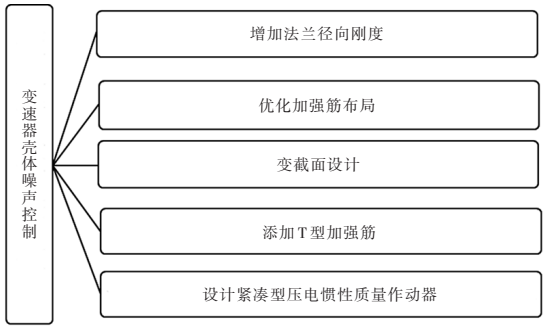


图4　壳体噪声控制优化措施

6　结束语

本文针对变速器壳体技术进行综述。通过优化加强筋尺寸、数量及分布可有效减轻壳体质量,降低损伤值,提升强度,改善可靠性。优化壳体局部结构、调整螺栓连接数量及壳体元素占比可有效提升壳体的动态特性和抗裂性能。目前,铝合金和铸铁材料在变速器壳体应用广泛,镁合金密度小,铸造性能好且散热性能好,但硬度较低,不易切削加工,未来可对镁合金进行深入研究。

优化铸造工艺参数可提高工艺的可靠性和稳定性。高真空压铸技术可提升铸件致密性,耐久性好,加工余量少,适合薄壁件成型。同时面临成本高以及生产效率较低的问题。同时,真空压铸工艺复杂,最佳工艺参数需进一步探索,也可与智能制造技术融合,提升生产效率和铸造质量。优化壳体结构,如增强法兰径向刚度、优化加强筋及变截面设计均可提高壳体强度,有效抑制振动,但加强筋优化难度较大且空间布局受限。

数字化设计和仿真技术的应用为壳体轻量化及结构优化提供了强有力的支撑,可大幅缩短设计周期,降低研发成本。

参考文献:

[1] 陈亮, 吴仕赋. 壳体截面形状结构对变速器轻量化影响的研究[J]. 机械设计与制造, 2025(5): 182-185+193.

[2] AMARAL D R, ICHCHOU M N, KOŁAKOWSKI P, et al.

Lightweight Gearbox Housing with Enhanced Vibro-Acoustic Behavior through the Use of Locally Resonant Metamaterials[J]. Applied Acoustics, 2023, 210(2023): 109435-109459.

[3] HE B, MA M Y, LIU L, et al. Variable Stiffness-Based Vibration Prediction for Full Coupling Model of Gearbox[J]. Journal of Sound and Vibration, 2023, 566.

[4] 郑阳阳. 纯电动汽车变速器壳体辐射噪声预测与优化研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2020.

[5] 张庆, 李洪彪, 周洽, 等. 电动车变速器箱体拓扑优化设计[J]. 机械传动, 2017, 41(6): 75-79.

[6] 张楠, 孙章栋, 任爱华, 等. 基于拓扑优化的电动汽车变速器箱体轻量化设计[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2020, 34(4): 16-19.

[7] JÄGER S, LINDE T. Design and Cost Evaluation of Additively Manufactured Electric Vehicle Gearbox Housings[J]. World Electric Vehicle Journal, 2025, 16(10): 552-567.

[8] 梅超, 褚超美, 缪国. 基于折衷规划的汽车变速器壳体拓扑优化方法研究[J]. 机械设计与制造, 2016(8): 58-60+64.

[9] 沈保山, 张美娟, 钟兵, 等. 电动汽车用新型AMT变速器箱体轻量化设计[J]. 机械设计与研究, 2023, 39(6): 240-244.

[10] 周云山, 吴云兵, 傅兵. 纯电动汽车两挡变速器壳体强度分析与改进[J]. 计算机仿真, 2015, 32(1): 179-183.

[11] 鲍马飞, 杜力. 基于ANSYS脉动式无级变速器箱体结构优化设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(6): 66-72.

[12] 邓国红, 李玉, 杨鄂川, 等. 重型汽车变速器箱体结构强度及疲劳分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(2): 12-16.

[13] 范伶松, 任爱华, 戢玉莹, 等. 某新能源汽车变速器箱体强度分析[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2019, 33(3): 21-23.

[14] 宗邦飞, 褚超美, 黄永辉, 等. 汽车变速器壳体振动频率响应特性方法研究[J]. 机械强度, 2019, 41(1): 244-249.

[15] SON G H, CHO S J, PARK Y J. Rib Design for Improving the Local Stiffness of Gearbox Housing for Agricultural Electric Vehicles[J]. Applied Sciences, 2019, 9(21): 4571-4584.

[16] 谭辉, 褚超美, 梅超, 等. 汽车变速器壳体频率响应特性仿真分析研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2016, 54(12): 51-54.

[17] 周云山, 金红光. 多种动载荷激励下变速器箱体的动态响应分析[J]. 机械传动, 2015, 39(8): 122-125.

[18] 孟凡龙, 马维金, 张纪平, 等. 汽车变速器壳体动态特性分析研究[J]. 机械传动, 2016, 40(3): 98-101.

[19] WEIS P, KUČERA Ľ, PECHÁČ P, et al. Modal Analysis of Gearbox Housing with Applied Load[J]. Procedia Engineering, 2017, 192: 953-958.

[20] 杨啟梁, 任波, 李瑾宁, 等. 某重型变速器壳体的结构动力学优化[J]. 机械设计与制造, 2020(11): 90-93.

[21] KUMAR A, PATIL P P. FEA Simulation and RSM Based Parametric Optimisation of Vibrating Transmission Gearbox Housing[J]. Perspectives in Science, 2016, 8(C): 388-391.

[22] 徐海港, 张建武, 林连华, 等. 基于ANSYS的电动汽车2AMT壳体强度与模态分析[J]. 山东科学, 2021, 34(1): 72-81.

[23] 朱学武, 康一坡, 闫博, 等. 基于断裂伸长率的变速器壳体断裂极限扭矩预测[J]. 汽车技术, 2022(12): 29-34.

[24] 郑松林, 屈金茜, 石文山, 等. 电动车变速器壳体结构优化[J]. 机械强度, 2015, 37(6): 1168-1172.

[25] 王其荣, 李克. 发动机变速器壳体裂纹失效分析[J]. 金属加工(热加工), 2017(9): 44-45.

[26] 陈海燕, 谷鹏, 邱放. 汽车变速器壳体镁合金Mg-Zn-Er-X的铸态组织与性能研究[J]. 热加工工艺, 2015, 44(16): 59-61.

[27] 白云. 工艺参数对汽车变速器箱体低压铸造质量的影响[J]. 热加工工艺, 2019, 48(15): 69-71+77.

[28] 范寅生, 李亨, 鲁超, 等. 变速器主壳体高压铸造工艺中压射高低速切换点优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44(1): 130-134.

[29] 范寅生. 9AT铝合金变速器主壳体压铸工艺设计及优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2023.

[30] HUANG M Y, ZHOU Q, WANG J Y, et al. Die Casting Die Design and Process Optimization of Aluminum Alloy Gearbox Shell[J]. Materials, 2021, 14(14).

[31] 朱洪军, 侯丽彬. 局部挤压技术在MQ200变速器壳体上的应用[J]. 铸造, 2020, 69(6): 602-605.

[32] 刘高峰, 张维江, 杨波. 客车变速器壳体消失模铝合金铸造工艺研究[J]. 铸造技术, 2020, 41(8): 761-763.

[33] 吴跃翔, 苏小平. 铝合金变速器壳体压铸工艺设计及优化[J]. 铸造, 2021, 70(3): 311-315.

[34] 柯春松, 唐杰, 庄舰, 等. 八挡自动变速器主壳体压铸工艺优化[J]. 铸造, 2022, 71(8): 997-1004.

[35] 崔少朋, 李朝兴, 苏文平. 局部挤压在压铸铝合金变速器壳体上的应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(10): 1312-1314.

[36] 徐卫权, 张露青, 李永祥, 等. 改善汽车变速器壳体端面波纹度的优化路径分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(1): 258-264.

[37] 万晓萌, 张笑, 王晔, 等. 大型复杂铝合金变速箱壳体压铸模设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(8): 854-856.

[38] 郝鹏磊, 王飞, 马洪, 等. 变速器和离合器壳体压铸喷涂工艺研究[J]. 热处理技术与装备, 2023, 44(3): 19-23.

[39] 陈瑛. PHD-26变速器壳体铸件结构的改进[J]. 铸造技术, 2016, 37(1): 183-185.

[40] YANG X Y, HOU X J, WANG Y Y, et al. Design of the Blow-Drying Device for Gearbox Housing Based on Stm32 Microcomputer[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1885(5).

[41] 臧孟炎, 孟宁, 褚淑敏, 等. 变速工况下某变速器壳体的动态响应分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2017, 45(8): 1-6.

[42] 王毅, 陈勇, 代青林, 等. 纯电动汽车两挡自动变速器壳体振动特性研究[J]. 机械传动, 2023, 47(9): 81-88.

[43] 时松青, 徐传燕, 慈长凯, 等. 附加质量对变速器壳体模态的影响[J]. 山东交通学院学报, 2024, 32(1): 1-6.

[44] 宗邦飞, 褚超美, 缪国. 基于振动传递函数的变速器壳体振动特性分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2017, 55(4): 43-46+52.

[45] 郑光泽, 刘子谦, 冯楠. 变速器壳体模态识别与优化研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(1): 15-19.

[46] 高超, 赵志专, 舒元林, 等. 电动汽车变速器壳体振动与辐射噪声的研究[J]. 机械传动, 2017, 41(9): 155-158+193.

[47] 宗邦飞, 褚超美, 黄晨, 等. 汽车变速器壳体声学贡献量分析方法研究[J]. 机械强度, 2019, 41(2): 493-498.

[48] QI L, ZHOU J X, JIN P C, et al. Low Noise Optimization of Two-Stage Gearbox Housing Structure Based on Acoustic Contribution Analysis and Topology Optimization[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2023, 37(9): 4533-4544.

[49] KIM B S, HAN H W, CHUNG W J, et al.Optimization of Gearbox Housing Shape for Agricultural UTV Using Structural-Acoustic Coupled Analysis[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 4145-4161.

[50] 余磊, 孙章栋, 张楠, 等. 某变速器箱体噪声传递函数分析[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2022, 36(3): 5-8.

[51] OKDA S, NAMPALLY S R, FONTANA M, et al. Active Vibration Control of Gearbox Housing Using Inertial Mass Actuators[J]. Smart Materials and Structures, 2024, 33(9).

AT&M