

新能源汽车用传动齿轮NVH特性优化及噪声控制研究

周华峰 周丽丽

杭州麦安传动科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着新能源汽车的迅速发展,传动系统的NVH(噪声、振动、粗糙度)特性逐渐成为影响整车舒适性和性能的重要因素。传动齿轮作为关键部件,其噪声与振动问题较为突出,影响了车辆的整体驾驶体验。基于此,文章针对传动齿轮的噪声与振动机理、优化方法以及噪声控制技术展开分析,提出了通过优化齿轮设计、材料选择、表面处理以及结构设计来降低NVH特性,旨在为新能源汽车提供更加安静、平稳的驾驶环境,提升其市场竞争力。

关键词: 新能源汽车; 传动齿轮; NVH特性

1 引言

随着新能源汽车技术的迅猛发展,传动系统作为核心组成部分,其NVH(噪声、振动、粗糙度)性能对车辆的舒适性与用户体验具有重要影响。传动齿轮作为新能源汽车传动系统中的关键元件,其噪声与振动特性不仅影响动力系统的运行效率,还直接影响到驾驶过程中的噪音污染与振动感知。由于新能源汽车通常依赖电动驱动系统,其传动系统的噪声特性与传统燃油车存在显著差异,因此在设计和制造过程中必须特别关注传动齿轮的NVH特性。如何有效地优化传动齿轮的NVH性能,减少噪声与振动,成为当前新能源汽车领域亟待解决的技术难题。针对这一挑战,文章将从传动齿轮的噪声与振动机理出发,探讨NVH特性优化的理论基础、设计方法与控制技术,旨在为新能源汽车传动系统的噪声控制与性能提升提供科学依据。

2 新能源汽车传动齿轮的 NVH 特性与影响因素

2.1 传动齿轮在新能源汽车中的作用

传动齿轮在新能源汽车的驱动系统中负责将电动机的转矩和转速传递至车轮。相比传统燃油车,新能源汽车的驱动系统更安静,但电动机的高转速使得齿轮系统的NVH特性(噪声、振动、粗糙度)更加重要,优化这些特性对于提升车辆性能和市场竞争力至关重要。

2.2 NVH特性对车辆性能的影响

新能源汽车的NVH特性直接影响车辆的舒适性和驾驶体验。齿轮传动产生的噪声是车辆内舱噪声的主要来源,而振动则影响车辆的稳定性和操控感。过高的振动可能导致驾驶员的不适感和疲劳,同时还会影响整车的可靠性,优化和控制NVH特性对于提升车辆整体性能非常关键。

2.3 影响NVH特性的主要因素

影响传动齿轮NVH特性的主要因素包括齿形、啮合

误差和负载条件。齿形不良会导致啮合不均匀,产生噪声和振动;啮合误差则会导致齿轮啮合力波动,进而引发周期性或随机的噪声与振动;在高负载条件下,啮合力增大,也会导致更大的噪声和振动,合理设计齿形、减少啮合误差以及优化负载条件是改善NVH性能的关键。

3 传动齿轮噪声与振动机理分析

3.1 齿轮啮合过程中的噪声与振动产生机制

齿轮的噪声与振动主要来源于其啮合过程中的力学作用。传动齿轮在工作时,齿面之间发生接触与分离,力的传递是通过齿面啮合来实现的。当两个齿轮在高转速下啮合时,齿面之间的接触会导致瞬间的力学冲击,这种冲击会在齿轮系统中传播并转化为噪声与振动。齿轮的啮合过程本身具有周期性,在齿轮齿数、齿轮轮廓和啮合误差等因素的作用下,啮合力的波动性较强。这种周期性的接触和分离会引发不同频率的振动波,并最终以声波的形式传递出去,产生噪声。齿轮的啮合也可能引起局部振动,特别是在高负载或高速情况下,这些振动会引发更高频的噪声并传播至整个车身系统。

3.2 影响噪声与振动的关键因素

传动齿轮的噪声与振动特性受到多种因素的共同影响,主要包括齿形设计、啮合误差、负载与转速等因素。

齿形是影响齿轮啮合过程中力学传递的一个重要因素。理想的齿形应确保齿面接触平稳,避免突发性撞击和应力集中。齿形不规则或齿面加工精度不足时,会导致齿轮啮合不均匀,产生较大的接触力波动,进而产生强烈的噪声与振动。常见的齿形不良包括齿轮模数不匹配、齿形角度不合理等,这些缺陷会加剧啮合过程中的冲击和摩擦,产生较为明显的噪音。

啮合误差指的是由于制造工艺、齿轮安装等因素造成的齿面接触不良现象。这些误差会引起齿轮啮合时的周期性变化,使得齿面在接触与分离过程中产生较大的

力波动,进而引发振动和噪声。啮合误差不仅增加了齿轮的噪声,也降低了齿轮的传动效率,造成额外的能量损失。精确的制造和装配工艺能有效减少啮合误差,进而降低噪声与振动。

齿轮的负载和转速对其噪声与振动特性具有重要影响。在高负载条件下,齿轮啮合过程中的接触力增大,导致齿轮啮合产生的噪声和振动显著增大。尤其是在新能源汽车中,电动机的高转速特性使得齿轮在高速下的噪声更加明显。高转速下的齿轮容易出现更高频率的振动,这些高频振动往往更难被消除,并会通过传动系统传播,影响整车的舒适性。合理的负载分布和转速控制对于降低噪声与振动至关重要。

齿轮材料的刚性、弹性及其表面光洁度都会直接影响其噪声与振动性能。硬度较高的齿轮材料通常具有较强的抗磨损能力,但也可能会增加噪声。齿轮表面的光洁度和加工精度对噪声也有显著影响,表面粗糙度过大可能导致更强的摩擦和接触不均,从而产生更大幅度的噪声与振动。采用先进的表面处理技术,如涂层或光滑处理,可以显著降低表面粗糙度,减少噪声源的产生。

4 传动齿轮 NVH 特性优化的理论基础

4.1 齿轮啮合过程中的噪声与振动产生机制

传动齿轮的噪声与振动主要来源于啮合过程中的力学冲击和周期性接触分离。当齿轮在高转速下啮合时,齿面接触引发瞬时冲击,导致噪声与振动。啮合力波动和局部振动,特别是在高负载或高速情况下,会产生更高频的噪声并传播至车身系统。

4.2 影响噪声与振动的关键因素

齿形设计、啮合误差、负载与转速等因素会影响齿轮的噪声与振动。齿形不良和啮合误差会导致接触力波动,从而增加噪声与振动。高负载和高转速会加剧噪声和振动,特别是在新能源汽车中。齿轮材料的刚性、弹性和表面光洁度也直接影响噪声与振动,表面粗糙度较大时噪声会增加。

5 传动齿轮材料与表面处理对 NVH 特性的影响

5.1 传动齿轮NVH优化的基本方法

传动齿轮的NVH特性优化主要通过设计改进、材料优化和制造工艺改进来降低噪声和振动。优化齿形设计可以使啮合过程更加平稳,减少噪声与振动。选择合适的材料和表面处理技术,如高强度合金和表面光滑处理,有助于提高齿轮的刚性和耐用性,减少噪声。通过优化装配和负载分布,可以减少因装配误差和不均匀负载引起的噪声和振动。

5.2 齿轮设计中的噪声与振动控制策略

提高齿轮啮合精度是降低噪声和振动的关键,精密加工和高精度装配可以减少啮合误差。振动隔离技术通过使用吸振材料和弹性连接件,可以减少振动向车身传播,降低车内噪声。齿形和齿面优化也是控制噪声和振动的重要方法,通过改善齿轮的接触状态和采用适合的齿形,如渐开线齿形,能够减少突发冲击力,减少噪声与振动。

6 传动齿轮结构优化与 NVH 控制方法

6.1 齿轮几何参数与啮合精度优化

齿轮的几何参数与啮合精度直接影响其NVH特性,因此优化齿轮几何参数和提高啮合精度是减少噪声和振动的关键措施。齿轮的几何参数如齿距、压力角、齿高等会影响啮合过程中力的分布。如果这些参数设计不合理,会导致齿轮啮合时的接触力波动较大,产生较高的噪声与振动。例如,齿距不均或压力角过大时,啮合过程中齿面接触不平稳,会加剧噪声和振动的产生。通过合理选择齿轮的几何参数,使齿轮啮合力分布均匀,从而实现更平稳的啮合过程,是有效降低噪声和振动的基础。

啮合精度是影响齿轮NVH特性的重要因素。啮合精度的提高可以减少由于齿面不均匀接触导致的突发性冲击,从而降低噪声和振动。为了提高啮合精度,齿轮制造过程中需要采用更高精度的加工工艺,如精密铣齿、磨齿等,并严格控制装配误差。通过齿面修整技术,如齿面微修整、渐开线优化等,可以进一步提高齿轮的啮合质量,减少不均匀接触带来的负面影响,从而达到优化NVH性能的目的。

6.2 振动隔离与结构优化设计

振动隔离技术和结构优化设计是控制齿轮系统噪声与振动的另一个重要方向。在传动系统中,齿轮产生的振动不仅会影响齿轮本身,还会通过其他部件如轴承、车身等传播,引发整体的噪声污染。为了减少振动的传播,振动隔离技术成为一种有效手段。通过在齿轮与其他传动部件之间加入弹性材料,如橡胶垫片、弹性支撑等,可以有效隔离振动源,减少振动传递路径,降低车身内的噪声水平。这种技术广泛应用于电动汽车等新能源汽车中,能够有效提高车辆的舒适性。

结构优化设计同样是减少齿轮噪声与振动的重要手段。通过优化齿轮系统的整体结构,例如调整齿轮的安装位置、改变齿轮组的排列方式等,可以减小齿轮系统在工作过程中的振动响应。合理的结构设计不仅可以降低因齿轮自身振动而产生的噪声,还能通过优化振动传递路径,减少振动在整个传动系统中的传播。例如,采用轻量化设计、增强结构刚性和减小零部件的质量,可

以有效地减少结构振动,进而降低系统的噪声水平。

通过结合振动隔离技术与结构优化设计,不仅能够有效抑制齿轮系统的噪声和振动,还能进一步提高系统的整体运行效率与可靠性。

7 基于仿真与实验的 NVH 性能评估与优化

7.1 NVH特性的仿真分析与验证

仿真分析在传动齿轮的NVH优化中发挥着至关重要的作用。通过仿真方法,可以在设计阶段对齿轮系统的噪声与振动特性进行全面预测与分析,从而提前发现潜在问题并进行优化。有限元分析(FEA)和多体动力学(MBD)是常用的仿真工具,通过对齿轮啮合过程的模拟,可以精确预测啮合力、振动响应以及噪声源的分布。仿真模型不仅能够考虑齿形、啮合误差、负载等复杂因素,还能模拟齿轮在不同工作工况下的动态响应,帮助工程师理解噪声与振动的产生机制。

噪声与振动的频谱分析是仿真过程中的重要环节。通过对齿轮系统的振动进行频谱分析,可以明确噪声的频率特征,进而识别主要噪声源及其产生的频率范围。仿真分析为优化齿轮设计提供了详细的数值依据,使得噪声与振动的控制更为精准。在仿真过程中,采用不同的设计方案进行对比,能够为齿轮的几何优化、材料选择和制造工艺改进提供有力支持。通过不断调整仿真参数,优化齿轮系统的设计,最终实现对NVH特性的有效控制。

7.2 实验方法与优化效果评估

尽管仿真分析能够提供大量理论依据,但实际的NVH优化效果仍需要通过实验来验证与评估。实验方法可以帮助工程师对仿真结果进行验证,并进一步发现仿真模型中可能忽视的实际因素。在齿轮NVH特性测试中,常用的实验方法包括噪声测量、振动加速度测量和应力分析等。通过安装传感器对齿轮系统进行动态监测,可以实时获取噪声、振动等数据,并与仿真结果进行对比,从而验证优化设计的有效性。

在实验过程中,通过对不同工况下的齿轮噪声与振动进行多次测量,可以评估优化措施的实际效果。噪声测量通常通过分贝计或声学传感器进行,而振动测量

则通过加速度计和振动传感器实现。将实验数据与目标噪声标准进行比较,可以判断设计优化是否满足所需的NVH性能要求。实验还可以帮助识别在实际使用条件下出现的潜在问题,如材料疲劳、齿轮磨损等,从而为进一步的设计优化提供指导。

通过仿真与实验相结合,能够形成一个闭环的优化过程。仿真分析提供了优化方向与理论支持,而实验则验证了优化措施的效果,并反馈了实际工况下可能存在的问题。两者相辅相成,使得传动齿轮的NVH特性优化更加精准与有效,最终提升了新能源汽车的舒适性和性能。

结语

通过对新能源汽车传动齿轮NVH特性优化与噪声控制的深入研究,可以看出,齿轮设计的几何参数、啮合精度、材料选择及表面处理等因素在优化NVH性能中发挥着关键作用。合理的齿形设计和精密的制造工艺有助于提高齿轮的啮合质量,减少噪声和振动。采用先进的材料和表面处理技术可以显著改善齿面质量,降低摩擦和磨损,从而减少噪声源。结合振动隔离与结构优化设计,能够有效抑制齿轮系统的振动传播,进一步提升整车的舒适性。仿真分析与实验验证相结合的优化方法,为NVH性能的提升提供了科学依据和实践支持。综合运用这些技术,不仅能够改善传动齿轮的噪声与振动特性,还能为新能源汽车的性能提升与市场竞争力提供有力保障。

参考文献

- [1]李继康.高速列车齿轮传动系统动态特性分析及参数优化[D].大连交通大学,2023.
- [2]赵庆鑫.热弹耦合作用下多级渐开线斜齿轮传动系统动力学特性及修形优化研究[D].东北大学,2022.
- [3]靳会超,常玮,邢献芳.多目标优化的掘进机截割减速器齿轮传动系统动态特性分析[J].煤炭技术,2021,40(06):173-175.
- [4]黄孝慈.基于目标参数优化的双模式多级齿轮传动机构受迫振动特性分析[J].机械传动,2020,44(11):145-151.
- [5]钱晓立.齿轮传动分扭均载特性研究与优化[D].重庆大学,2020.