

混合动力汽车动力耦合机构振动噪声分析与优化

宋鲁涛¹, 李帅², 关长明³

1. 山东睿德声景工程科技有限公司 山东淄博 255022
2. 中车南京浦镇车辆有限公司 江苏南京 210000
3. 浙江飞碟汽车制造有限公司 浙江杭州 310000

摘要: 动力耦合机构是混合动力汽车的核心组件之一, 其负责将内燃机和电动机的动力传递到车辆的驱动系统。尽管动力耦合机构在混合动力汽车中发挥着关键作用, 但其在工作过程中产生的振动和噪声问题却给车辆性能和乘车舒适性带来挑战, 这些振动噪声不仅影响驾驶体验, 还会对车辆的寿命和可靠性产生不利影响。因此, 深入研究混合动力汽车动力耦合机构的振动噪声特性, 并通过优化措施来降低噪声和振动, 是提高混合动力汽车整体性能和舒适性的关键, 这一研究不仅对混合动力汽车的设计和生產有重要意义, 也为未来更高效、更环保的汽车技术的发展提供参考。

关键词: 混合动力汽车; 动力耦合机构; 振动噪声分析; 优化
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.09.004

混合动力汽车通过结合内燃机和电动机来实现动力输出, 这种组合设计旨在充分利用两种动力源的优点, 以提高燃油效率并减少排放。混合动力汽车的工作方式主要包括三种模式: 纯电动模式、内燃机模式和混合动力模式。其中, 纯电动模式车辆完全依靠电动机驱动, 这种模式适用于短途和低速行驶, 例如在城市交通中行驶, 电动机的安静、无排放特性有助于减少对环境的影响, 同时提供平稳的驾驶体验。内燃机模式是内燃机提供动力, 适用于高速和长途行驶,

例如, 在高速公路上行驶时, 内燃机可以提供足够的动力, 满足车辆的高速度需求, 同时维持车辆的燃油效率。混合动力模式是内燃机和电动机同时工作, 根据驾驶条件动态调整动力输出提高整体效率, 这种模式结合了两种动力源的优点, 可以在不同的驾驶环境下进行最佳动力管理。例如, 在起步加速时, 电动机提供瞬时动力, 而在巡航时内燃机可以保持车辆的持续动力。通过灵活切换不同模式, 混合动力汽车能够在各种行驶条件下实现最佳动力输出, 显著提高燃油

经济性并减少对环境的影响。

混合动力汽车动力耦合机构

1. 动力耦合机构的种类和结构

动力耦合机构是混合动力汽车中的关键组件，负责连接内燃机和电动机，并将它们的动力传递到车辆的驱动系统。动力耦合机构的类型多样，根据其工作原理和结构，常见的种类包括机械耦合机构、液力耦合机构和电力耦合机构。

机械耦合机构通常采用齿轮、离合器、变速器等机械装置，将内燃机和电动机的动力组合起来，其主要作用是根据不同的工况需求，选择合适的动力源或同时使用内燃机和电动机。这类机构的优点是可靠性高响应迅速，但存在机械磨损等问题需要定期维护。

液力耦合机构通过液压传动的方式，将内燃机和电动机的输出进行组合和分配。它利用液压流体传递动力，能够平滑地调整动力输出，减少冲击。液力耦合机构在提供稳定的动力分配和转速控制方面表现出色，但会增加系统的复杂性。

电力耦合机构通过电能传输和控制，实现内燃机和电动机的协调工作，该机构主要使用电力电子设备如逆变器和整流器，将电动机的输出转换为电能，并根据需求调整内燃机和电动机的运行状态。这种方式具有快速响应和灵活控制的优点，能够实现精确的动力分配和能量管理。

2. 动力耦合机构在混合动力汽车中的作用

动力耦合机构在混合动力汽车中发挥着至关重要的作用，其负责将内燃机和电动机的动力有效组合，确保车辆在不同驾驶条件下的最佳性能。动力耦合机构根据车辆的行驶状态和驾驶需求，合理分配内燃机和电动机的动力输出。通过动态调整动力来源的比重，可以提高整体能源利用效率。例如，在低速行驶或拥堵的城市交通中，动力耦合机构更倾向于使用电动机驱动，而在高速或长途行驶时则更多地使用内燃机提供动力。

动力耦合机构在制动或减速过程中，可以将动能转化为电能储存起来，这种能量回收功能提高了混合动力汽车的能源利用效率，延长了电池的使用寿命。

通过储存并再次利用回收的能量，动力耦合机构有助于降低整体油耗。动力耦合机构通过在不同驾驶条件下有效协调内燃机和电动机的动力输出，提高了混合动力汽车的整体性能和能源效率，这对混合动力汽车的舒适性、燃油经济性和环境友好性都有着积极的影响。

动力耦合机构振动噪声特性

1. 振动噪声的来源和特征

动力耦合机构的振动和噪声主要来源于内燃机和电动机在工作过程中的机械和电磁效应。

动力耦合机构中的机械部件如齿轮、轴承、离合器等在运转过程中会产生摩擦、冲击和共振，机械部件的相互作用和摩擦会产生机械振动，通过车辆的结构传播，最终导致整个车辆的振动和噪声。

电动机在工作过程中会产生电磁噪声，这种噪声通常源自电流和电磁场的快速变化，会影响电动机的正常运行，并对周围的电子设备造成干扰。同时，电磁噪声还可以通过声波形式在空气中传播，影响车辆和周围环境的噪声水平。

动力耦合机构的设计或安装不平衡会导致运行中的振动和噪声，例如，动力源之间不同步的运行或结构的不对称都会加剧振动噪声的产生，耦合机构的机械部件之间不协调的运动也会产生不稳定的振动。

2. 不同工作条件下的振动噪声表现

动力耦合机构在不同的工作条件下表现出不同的振动噪声特性。在加速或减速过程中，动力耦合机构面临较大的动力变化，导致较大的机械振动和电磁噪声。

加速过程中，动力源的快速调整会导致较高的振动和噪声，通常表现为较高的频率和幅度，而在减速过程中，由于动能转化为电能或摩擦制动会产生低频的振动和噪声。在恒速行驶时，动力耦合机构通常处于相对稳定的工作状态，振动噪声较为平稳，车辆在这一阶段的动力输出相对均匀，减小了动力源之间的不协调性。

然而，如果动力耦合机构设计不佳或安装不当，仍会产生持续的振动噪声如齿轮啸叫、轴承噪声等。

在怠速状态下，动力耦合机构的工作较为轻松振动和噪声相对较低，然而，内燃机的机械振动和电动机的电磁噪声仍会对车辆的整体噪声水平产生影响。在这种状态下，车辆的噪声表现会更加明显，因为怠速时驾驶员和乘客的听觉敏感度较高。

振动噪声对车辆性能和舒适性的影响

1. 对车辆性能的影响

动力耦合机构的振动和噪声对车辆性能有显著的负面影响。会使动力传递效率下降，动力耦合机构的振动和噪声反映出内部存在不平衡或故障，这些问题导致动力传递效率下降，从而降低车辆的整体性能。例如，齿轮和其他传动部件的磨损或配合不良会导致动力传递损失，使车辆无法充分利用动力源。

动力耦合机构的振动和噪声会加剧磨损和故障增加，振动和噪声是动力耦合机构内机械部件产生磨损的迹象，如果不及时解决，会导致零部件过早老化、损坏，甚至导致整个系统故障。长期存在的机械振动会加速零部件的疲劳和断裂，从而增加维修和更换成本。同时，振动和噪声会对车辆的电子控制系统造成干扰，影响车辆的动力管理和传动控制，这种干扰会导致传感器、控制器等电子元件的读数不准确，造成动力系统运行的不稳定或异常，不仅会影响车辆的驾驶体验，还会危及驾驶员和乘客的安全。

2. 对驾驶员和乘客舒适性的影响

动力耦合机构产生的振动和噪声对驾驶人和乘客的舒适性有显著影响。

动力耦合机构产生的噪声会通过车辆的车厢传播，对驾驶人和乘客的听觉舒适度产生负面影响。持续的噪声会导致乘客感到疲劳、焦虑，甚至造成听力损伤，噪声干扰还会分散驾驶人的注意力，降低驾驶专注度和驾驶体验。

动力耦合机构的振动通过车辆结构传递到驾驶员和乘客的座位、方向盘、踏板等部位导致身体不适，持续的振动对驾驶员和乘客的身体健康产生负面影响，引起疲劳、肌肉紧张、关节疼痛等问题。过多的振动和噪声会影响驾驶员的操作体验和对车辆的操控信心，降低驾驶乐趣，振动和噪声的存在会让驾驶员

对车辆的性能产生质疑，影响对车辆的操控和控制精度。长时间驾驶时，驾驶员会因振动和噪声感到疲劳，不利于安全驾驶。

动力耦合机构振动噪声的优化策略

1. 减振材料和结构设计的优化

减振材料和结构设计的优化是降低混合动力汽车动力耦合机构振动和噪声的重要策略，通过选择合适的减振材料和优化结构设计，可以有效减少振动的传播和噪声的产生，从而提高驾驶员和乘客的舒适性。在动力耦合机构的关键部件和接触点上使用高质量的减振材料如橡胶、弹性体、复合材料等，这些材料能够吸收和衰减振动和噪声，减少它们的传播。在动力耦合机构的关键部位如齿轮、轴承、离合器使用减振组件，如减振垫、减振套等，可以有效降低振动和噪声。

通过优化齿轮的齿形和材料选择，减少齿轮间的摩擦和冲击，降低齿轮啮合时的振动和噪声。优化离合器的设计可以减少离合器接合和分离时的冲击和振动，选择低噪声、高耐用的轴承，优化轴承的尺寸和材料减少轴承的振动和噪声。在车厢内采用隔音材料如隔音棉、隔音垫等，减少动力耦合机构的噪声通过车厢传播，提高驾驶员和乘客的舒适性。在车厢内关键部位使用吸音材料如吸音泡沫、吸音毯等，能够吸收噪声，降低噪声的反射和传播。

2. 控制策略的调整和优化

动力耦合机构的控制策略调整和优化是降低混合动力汽车振动和噪声的重要手段，通过对动力分配、电子控制系统和实时监测与反馈的优化，可以有效改善动力耦合机构的运行稳定性，减少振动和噪声。根据车辆的工况和驾驶需求，合理切换内燃机、混合动力和电动机模式实现最佳动力输出，优化动力分配策略有助于提高效率，减少不必要的动力转换降低振动和噪声。

根据实时监测数据动态调整内燃机和电动机的动力输出，实现平稳的动力过渡和切换，降低动力耦合机构在转换过程中的振动和噪声。调整电子控制系统中的参数如扭矩控制、转速控制、齿轮传动比等，以

确保动力耦合机构在最佳状态下运行以减少振动和噪声。

通过软件优化动力耦合机构的控制策略如优化控制算法和逻辑,提高动力输出的稳定性和一致性。在动力耦合机构的关键部位安装传感器,实时监测其工作状态包括振动、温度、扭矩等数据。利用监测数据实时调整控制策略如优化动力分配、改变转速或扭矩设置等,以保持动力耦合机构在最佳状态下运行,降低振动和噪声。通过实时监测,及时发现动力耦合机构的异常状态,预防潜在故障的发生,从而减少因故障导致的振动和噪声。

3.基于仿真的优化方法

基于仿真的优化方法是通过计算机模拟和分析动力耦合机构的工作状态和结构,以预测和优化其振动和噪声特性,这些方法可以提前发现潜在问题,并为设计和控制策略提供指导。

通过计算机模拟动力耦合机构在不同工况下的工作状态,包括加速、减速、恒速行驶和怠速等,模拟过程中的振动和噪声特性可以帮助识别潜在问题。利用动力学仿真分析动力耦合机构在不同工况下的振动和噪声特性,确定问题的来源和严重程度。根据仿真结果优化动力耦合机构的设计如改进齿轮、轴承、离合器等部件的结构和材料选择,以减少振动和噪声。

通过结构仿真分析动力耦合机构的关键部件如齿轮、轴承等的振动特性,预测潜在的振动问题。根据结构仿真的结果,优化动力耦合机构的结构设计如调整结构布局、改进材料选择和设计参数等。将仿真结果与实际测试数据进行对比验证,根据验证结果进一步优化设计,确保动力耦合机构的稳定性和可靠性。利用先进的优化算法如遗传算法、粒子群优化等,结合仿真数据寻找最优的设计和控制策略。在优化过程中考虑多方面因素如振动、噪声、性能及成本等,通过多目标优化算法找到最佳的平衡方案。通过迭代过程不断优化设计和控制策略,逐步降低动力耦合机构的振动和噪声,提高其整体性能。

结语

综上所述,通过对混合动力汽车动力耦合机构振

动噪声的分析与优化,深入研究了其对车辆性能、驾驶体验和舒适性造成的负面影响,并提出了一系列解决方案和优化策略。合理运用优化策略可以有效降低动力耦合机构的振动和噪声,提升混合动力汽车的整体性能和舒适度,为混合动力汽车动力耦合机构的振动噪声问题提供了切实可行的解决方案。未来的研究和设计工作可以基于这些策略进一步改善混合动力汽车的性能和舒适性,推动汽车行业的发展。

参考文献:

- [1] 田丰旭.混合动力汽车动力耦合装置研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2023.
- [2] 高俊珂.混合动力汽车链传动动力耦合器设计与分析[D].长春:吉林大学,2023.
- [3] 康小平,武志伟,杨淇,等.混合动力汽车关键技术[J].内蒙古科技与经济,2023(6):121-123.
- [4] 杨健.机电液动力耦合电动汽车多模式切换控制策略研究[D].青岛:青岛大学,2022.
- [5] 秦鹏飞,颜长征,王若璜,等.混合动力汽车耦合系统工作模式分析与动态特性研究[J].客车技术与研究,2021,43(1):12-15,29.
- [6] 张立庆,李旭,于镒隆,等.混合动力汽车动力分配结构及耦合模式分析[J].小型内燃机与车辆技术,2020,49(2):91-96.
- [7] 张志刚.混合动力汽车动力耦合技术研究综述[J].冶金管理,2020(1):132,134.
- [8] 徐凯,高惠东,吕金贺,等.混合动力汽车动力耦合系统与能量控制策略研究概述[J].小型内燃机与车辆技术,2019,48(4):83-88.
- [9] 吴飞.基于功率流的混合动力汽车双行星排动力耦合机构分析研究[J].汽车实用技术,2019(8):25-27. **AUTO1950**