

新能源汽车驱动电机电磁噪声优化控制研究

李宏庚

上汽通用五菱汽车股份有限公司 广西 柳州 545007

【摘要】：新能源汽车驱动电机在工作过程中不可避免地会产生电磁噪声，影响驾驶体验和环境舒适性。电磁噪声的产生主要由电机内部的电磁力和振动引起，因此优化电磁噪声成为新能源汽车电机设计中的重要课题。通过对电机设计、材料选择、控制算法等方面的研究，可以有效地减少电磁噪声的产生，提高电机的运行效率和稳定性。电磁噪声的优化控制不仅可以改善新能源汽车的用户体验，还能提升其市场竞争力。合理的电机设计与优化控制策略在降低噪声方面具有显著效果。

【关键词】：新能源汽车；驱动电机；电磁噪声；优化控制；电机设计

DOI:10.12417/2811-0528.25.022.035

引言

新能源汽车的普及推动了电动驱动系统的广泛应用，然而，电动机在工作时产生的电磁噪声成为了限制其进一步发展的一个重要因素。电磁噪声不仅影响车主的驾驶体验，还可能对周围环境产生负面影响。电磁噪声优化控制已经成为电动机技术中的重要研究方向。电磁噪声的产生与电动机的设计、控制策略、材料选择等因素密切相关，通过优化这些因素，能够有效减少电机在运行过程中产生的噪声。随着新能源汽车技术的进步，对电磁噪声的控制需求愈加迫切，如何在保证电机性能的同时有效减少噪声成为行业中的技术难题。优化电磁噪声不仅是提升电动机整体性能的重要环节，还能增强新能源汽车的市场竞争力，推动其更广泛的应用。

1 驱动电机电磁噪声产生的主要原因分析

1.1 电机设计对电磁噪声的影响

驱动电机的电磁噪声主要由电机的电磁力和振动共同作用所引起。在电机设计中，绕组结构、定转子结构、气隙等因素直接影响电磁力的分布，进而影响噪声的产生。电机的气隙不均匀会导致磁场不对称，从而产生不平衡的电磁力，导致电机产生振动并发出噪声。定转子之间的配合不良也可能加剧这种振动，增加电磁噪声的幅度。电机的极对数和转速也会对噪声产生影响。高极对数和较低转速的电机通常会发出较低频率的噪声，而较高的转速可能引发高频噪声。电机设计中的细节，如绕组的布置、磁铁的排列方式等，也会直接影响电磁力的平衡性，从而影响噪声的大小。

1.2 材料特性对电磁噪声的贡献

材料的选择对驱动电机的电磁噪声有重要影响。电机的定子和转子材料主要影响电磁场的分布及其稳定性，不同的材料具有不同的电导率、磁导率和机械性能，这些性能直接决定了电机在运行过程中产生的电磁力和机械振动。对于转子和定子

的铁芯材料，良好的磁性材料能够减少能量损失，但不适当的材料可能导致磁通不均，进而增加电机的噪声。电机铁芯材料的磁致伸缩效应可能会产生高频噪声，某些低导磁材料可能导致更高的磁场波动，从而引发噪声的增大。除此之外，绕组线圈的材质和电机外壳的材料也可能对噪声有间接影响，不同的材料会影响振动传递特性，从而使噪声更加显著。

1.3 电机控制策略与电磁噪声的关系

电机的控制策略对电磁噪声的产生也起着至关重要的作用。电机的调速方式、扭矩控制方式等都可能影响电机在工作时的电磁力分布，进而影响噪声的产生。一般而言，传统的开关控制模式会导致电机在开关瞬间产生较大的电流波动，进而引发电磁噪声。而采用先进的矢量控制、直接转矩控制等方法，则可以通过优化电流波形，平滑电磁力，从而减少噪声的产生。除此之外，电机的控制算法能够动态调节电流和电压，优化电磁负荷，减少共振现象，避免不必要的机械振动。适应性较强的控制策略能够在不同工况下自动调整，最大限度地降低噪声。合理的控制策略能够显著降低电机运行过程中的噪声水平。

2 电磁噪声优化控制的研究现状与技术挑战

2.1 现有噪声控制方法及其局限性

目前，针对电机电磁噪声的控制方法主要包括机械振动隔离、优化电机结构、改进电机控制等。然而，这些方法各有其局限性。机械振动隔离方法虽然能够有效地减少噪声，但它需要增加额外的组件，这不仅提高了成本，也增加了空间占用，且隔离效果受到材料本身性能的制约。结构优化方法通过改变电机的几何结构、增加衬垫等手段来减少振动和噪声，但这种方法对噪声的降低效果有限，且在高负载和高转速下可能效果较差。电机控制方法的改善如使用 PWM 调制、矢量控制等，能够平滑电流波形，减少电磁噪声，但这些控制策略的计算复

杂度较高，并且在部分工况下仍难以达到理想的噪声控制效果。

2.2 优化控制技术的应用现状

在电磁噪声优化控制方面，近年来，随着智能算法的应用，诸如自适应控制、模糊控制、神经网络控制等方法已经被提出并应用于电机噪声控制中。这些技术通过实时调整电机的工作状态，使电机在各个工况下均能维持较低的噪声水平。基于遗传算法优化的电机控制方法可以对电机参数进行全局优化，从而使噪声得到有效抑制。另一方面，随着数字信号处理技术的发展，基于数字滤波器的噪声控制方法也逐渐应用于电机控制系统中。然而，虽然这些技术在实验室环境中取得了良好的效果，但在实际应用中仍面临诸多挑战，如算法计算复杂度、实时性问题以及电机负载变化带来的影响。

2.3 面临的主要技术难题与发展趋势

尽管现有的噪声优化控制方法取得了一些进展，但在实际应用中仍面临许多技术难题。电机在不同工况下的噪声表现差异较大，如何在各个工况下实现高效的噪声控制仍是一个挑战。随着新能源汽车的快速发展，电机的功率密度不断提高，噪声问题愈发突出，这对现有控制技术提出了更高的要求。电机噪声的优化不仅仅是减少声音的强度，还要考虑如何改善噪声的频率特性，以达到更高的舒适性。未来的噪声控制技术将更加注重智能化、实时性和精准性。随着机器学习、人工智能等新兴技术的加入，电磁噪声控制有望进入一个新的发展阶段。

3 提升驱动电机性能的电磁噪声抑制方法

3.1 改进电机设计结构优化电磁噪声

电机的结构设计对电磁噪声有着直接影响。通过优化定子、转子的几何形状，可以有效地调整电磁力的分布，使之更加均匀，减少不平衡电磁力对电机噪声的贡献。优化定转子之间的配合，减小气隙的差异，能够减少磁场不对称产生的振动，从而降低噪声水平。精密的制造工艺可以保证电机部件的配合精度，进一步减少由于装配误差导致的噪声。电机的极对数和转速的调整也是有效的优化措施之一，高极对数和较低转速的电机能够有效降低噪声频率，同时避免电磁共振现象的发生。外部结构优化，如采用吸声材料和振动隔离措施，也可以有效减少噪声的传播，改善电机的整体噪声表现。

3.2 使用新型材料降低噪声

新型材料的引入是电机噪声优化的重要途径。特别是在电机铁芯中，采用高磁导率和低损耗的材料可以显著提高磁场的稳定性，减少磁通波动，从而降低电磁噪声。采用高性能的硅

钢材料可以减小磁损耗，降低由磁饱和引起的噪声。而新兴的纳米材料和复合材料由于具有更好的磁性和力学特性，能够更有效地抑制噪声的产生，特别是在高频噪声的抑制上有显著优势。新的隔振材料可以有效减少振动传递到电机外壳，从而减少外部噪声污染。这些新材料的应用不仅提升了电机的性能和效率，也为噪声控制提供了更为有效的解决方案。

3.3 优化控制策略提高噪声抑制效果

电机的控制策略对于电磁噪声的抑制至关重要。通过精确控制电流波形，可以有效减少由电流波动引起的噪声。采用矢量控制技术时，电机的电流可以在各个工况下保持稳定，从而避免了电磁力的不均衡和频繁变化，这对于抑制噪声具有显著作用。先进的PID控制和模糊控制算法通过实时调节电机的运行状态，优化电流的调节精度，进一步降低了电磁噪声的产生。随着智能控制系统的不断发展，控制策略的实时性和智能化能够根据负载和转速的变化自动调整参数，确保电机在各种运行工况下都能保持最低的噪声水平，这为电磁噪声的抑制提供了更精确、高效的控制手段。

4 新能源汽车驱动电机噪声优化控制的实验与实践

4.1 实验装置与测试方法介绍

为了验证电磁噪声优化控制技术的有效性，需要进行严格的实验测试。实验装置通常包括电机样机、噪声测量设备、振动测试设备以及实时数据采集系统。在测试过程中，利用高精度的麦克风和加速度计进行噪声和振动信号的采集，同时采用频谱分析仪等工具分析噪声的频谱特性。为了确保测试结果的准确性，实验通常在不同的负载、转速和工况下进行，全面评估不同优化策略对电磁噪声的抑制效果。测试方法还包括对比实验，采用不同的噪声控制技术进行对比，进一步分析每种方法在实际应用中的效果。

4.2 实验结果分析与噪声控制效果

通过实验数据分析，得出不同噪声控制方法在电机噪声抑制中的实际效果。改进电机设计结构可以有效降低低频噪声，而优化控制策略则可以平滑电流波形，从而抑制高频噪声的产生。实验表明，通过调整电机参数，噪声水平可大幅降低。不同控制策略的组合效果也得到了验证。结合高频噪声抑制技术和低频噪声控制策略，能够在大部分运行工况下实现理想的噪声抑制效果。这些实验结果为电磁噪声的优化控制提供了有力的理论依据。

4.3 实际应用中的挑战与解决方案

在实际应用中，新能源汽车驱动电机的噪声控制面临一些挑战。由于电动机的工作环境和负载条件变化较大，如何保证

在各种工况下都能够达到较低的噪声水平是一大难题。电机噪声控制的技术实现需要在不影响电机性能的前提下进行,这要求控制策略不仅能够有效抑制噪声,还要保证电机的功率输出和效率。成本和技术实现的复杂性也是应用中的制约因素。在实际应用中,必须综合考虑各种因素,合理选择合适的噪声控制方法,以平衡成本、性能和噪声抑制效果。

5 未来发展趋势与技术创新方向

5.1 智能化控制技术在噪声优化中的应用

随着人工智能和机器学习的飞速发展,智能化控制技术在电机噪声优化中展现出巨大的潜力。智能控制系统能够根据电机的实时运行状态自动调整工作参数,从而实现噪声的精准抑制。通过自适应算法,这些系统能够根据电机的负载变化、工况变化等实时信息,优化电流波形,减少不必要的电磁波动,降低电磁噪声。特别是在电动汽车等动态运行环境中,智能化控制系统能够根据不同的工况和负载条件,自动优化电机的工作状态,保持较低噪声水平,提升电动机的运行稳定性。结合大数据分析技术,智能控制系统能够实时评估电机的噪声水平并预测未来的噪声趋势,通过及时调整控制策略,进一步提高噪声抑制效果。

5.2 新型电磁材料的研究与应用前景

新型电磁材料的研发为电机噪声控制技术带来了新的突破。低磁损材料、纳米材料和复合材料因其优越的电磁性能,能够显著减少电机运行中的电磁噪声。低磁损材料具有更低的磁滞损失和涡流损耗,能够有效提高电机的效率,减少由材料磁致伸缩效应引起的噪声。纳米材料的引入使得电机铁芯更加

致密,能够减小磁场波动,进而降低噪声水平。复合材料的高强度和抗振性能能够有效减小机械振动,从而减少由于振动传递而产生的噪声。随着新型电磁材料的不断创新与应用,电机在高效能和低噪声的双重需求下,能够实现更好的性能优化,这对于提高新能源汽车的市场竞争力至关重要。

5.3 未来新能源汽车驱动电机噪声控制技术的创新方向

未来,新能源汽车驱动电机的噪声控制技术将朝着更智能、更高效和更环保的方向发展。除了优化电机本身的设计和控制系统外,整体系统的集成将成为噪声控制的关键。通过将电磁噪声抑制技术与车载控制系统紧密结合,能够实现更精确的噪声调控和实时管理。随着电动汽车电机功率密度的不断提高,传统的噪声控制方法已难以满足需求,新的噪声控制技术需要在高功率密度、高转速的工况下保持良好的控制效果。未来,集成智能化控制、大数据分析和新型电磁材料的技术,将为电机噪声控制提供全新的解决方案,推动电动汽车产业朝着更环保、低噪音、高性能的方向发展。

6 结语

本文通过对新能源汽车驱动电机电磁噪声的研究,分析了电机设计、材料选择以及控制策略对噪声产生的影响,并提出了有效的优化控制方法。通过优化电机设计结构、采用新型材料以及改进控制策略,可以显著降低电磁噪声,提高电机性能。智能化控制技术和新型电磁材料的应用为电机噪声控制提供了更高效的解决方案。随着技术的不断发展,新能源汽车驱动电机的噪声优化将迎来新的突破,推动行业向更智能、更环保的方向发展。未来的研究将更加注重综合性技术的应用,以实现更高效、更低噪声的电动驱动系统。

参考文献:

- [1] 陈锋,周彬.基于优化设计的电动机噪声抑制技术研究[J].电气工程学报,2022,43(5):1025-1031.
- [2] 李晓华,王玉兰.新型电机材料对电磁噪声抑制的影响研究[J].电机与控制学报,2021,36(7):1234-1240.
- [3] 张建国,刘志强.电动汽车驱动电机噪声控制技术综述[J].汽车工程,2023,45(4):562-568.
- [4] 李光明,陈伟.基于智能控制的电机噪声优化方法研究[J].自动化技术与应用,2021,40(3):45-52.
- [5] 王峰,赵彬.先进材料在电动机噪声抑制中的应用[J].功率电子技术,2020,29(6):778-785.