

电动汽车驱动电机冷却结构设计及温度场分析

康燕琴

郑州郑飞特种装备有限公司 河南 郑州 450052

摘要: 随着电动汽车行业的快速发展,对驱动电机的性能要求日益提高,尤其是其散热能力。本文深入研究了电动汽车驱动电机的冷却结构设计,提出了一种创新的并联型冷却水路方案。通过三维有限元法对电机温度场进行模拟分析,该设计有效降低了电机在高负荷运行下的温度,显著提高了散热效率。研究还发现,优化冷却结构对延长电机使用寿命和提升整车能效具有积极影响,为电动汽车的持续发展提供了技术支持。

关键词: 电动汽车驱动电机;冷却结构设计;温度场分析

引言:电动汽车作为新能源汽车的重要组成部分,其驱动电机的性能和稳定性直接关系到整车的动力输出和运行效率。其中,冷却系统作为驱动电机的关键组成部分,对于保障电机在高温、高负荷工况下的正常运行至关重要。本文将从电动汽车驱动电机的冷却结构设计出发,深入探讨不同冷却结构对电机温度场的影响,旨在为电动汽车驱动电机的冷却系统优化提供理论依据和实践指导,推动电动汽车技术的持续发展。

1 电动汽车驱动电机冷却系统设计基础

1.1 电动汽车驱动电机概述

(1) 电机类型及其工作原理:常见的电动汽车驱动电机主要有直流电机、异步电机和永磁同步电机。直流电机依靠电流在磁场中受力原理工作,但因其结构复杂、维护成本高,逐渐退出主流市场。异步电机则通过定子旋转磁场与转子感应电流相互作用产生转矩,具有结构简单、维护方便的特点,但在能效上略显不足。永磁同步电机则结合了前两者的优点,利用永久磁铁作为转子,通过精确控制定子电流实现与转子磁场的同步旋转,从而达到高效、平稳的动力输出。(2) 永磁同步电机在电动汽车中的应用:永磁同步电机以其高能效、低噪音、宽广的调速范围等优势,成为电动汽车动力系统的的首选。它不仅能够满足电动汽车对高功率密度、快速响应的需求,还能有效延长电池续航,降低运行成本。在电动汽车中,永磁同步电机广泛应用于驱动轮毂、辅助系统及能量回收系统,为车辆提供稳定、可靠的动力来源。

1.2 冷却系统设计的原则和要求

(1) 冷却效率与能耗的平衡:冷却系统需确保电机在高负荷、长时间运行下不会过热,同时尽可能减少能耗,提升整车能效。因此,设计时需综合考虑冷却液的流量、流速、散热面积等因素,以达到最佳冷却效果与

能耗的平衡。(2) 材料选择与兼容性:冷却系统材料需具备良好的导热性、耐腐蚀性、机械强度及加工性能,且与电机材料兼容,避免产生化学反应或物理损伤。同时,还需考虑材料的环保性,符合可持续发展要求。

(3) 结构紧凑性与可制造性:考虑到电动汽车内部空间有限,冷却系统需设计得紧凑、轻巧,便于安装与维护。同时,设计时应考虑生产工艺的可行性,确保冷却系统能够高效、低成本地制造出来^[1]。

1.3 热传递理论简介

(1) 热传导、热对流和热辐射的基本原理:热传导是热量通过物质内部微观粒子的热运动传递;热对流是热量通过流体的宏观运动传递;热辐射则是热量以电磁波的形式传递。在电机冷却中,这三种方式共同作用于电机的散热过程。(2) 在电机冷却中的应用及影响:通过优化冷却结构,如增加散热面积、改进冷却水道设计,可以提高热传导效率;通过提高冷却液的流速和流量,可以加强热对流效果;通过采用高性能散热材料,可以增强热辐射能力。合理运用热传递理论,可以设计出高效、可靠的冷却系统,确保电动汽车驱动电机在复杂工况下稳定运行。

2 电动汽车驱动电机冷却结构设计

2.1 传统冷却结构分析

(1) 螺旋形水路结构与特点。螺旋形水路结构是早期电动汽车驱动电机冷却中常用的一种设计。该结构通过螺旋状的冷却水道,将冷却液均匀分布在电机定子周围,从而有效带走电机产生的热量。螺旋形水路结构具有结构简单、加工方便的优点。然而,其冷却效率受到一定限制,因为冷却液在螺旋水道中的流速分布不均,部分区域可能存在冷却死角,导致热量积聚。(2) 轴向“Z”字型水路结构及其局限性。为了克服螺旋形水路结构的局限性,轴向“Z”字型水路结构应运而生。该结构

通过将冷却水道设计成“Z”字形，增加了冷却液在电机内部的流动路径，从而提高了冷却效率。然而，轴向“Z”字型水路结构也存在一些局限性。一方面，由于水道弯曲较多，冷却液在流动过程中可能会产生较大的压降，增加水泵的能耗。另一方面，该结构对于电机的紧凑性要求较高，可能不利于电机的轻量化设计。

2.2 并联型冷却水路结构设计

(1) 设计理念与优势。并联型冷却水路结构的设计理念是将冷却水道分割成多个并联的分支，每个分支都可以独立地进行冷却液的循环。这种设计不仅增加了冷却液的流动面积，提高了冷却效率，还可以根据电机的实际发热情况，灵活调节各个分支的冷却液流量，实现更加精准的冷却控制。(2) 结构细节与实现方法。在并联型冷却水路结构的实现过程中，需要精确计算每个分支的水道尺寸和流量分配，以确保冷却液的均匀分布和高效流动。同时，还需要考虑水道之间的密封性和连接性，避免冷却液泄漏或混合。(3) 进出水口位置的灵活性与调节性。并联型冷却水路结构的一个显著优势是其进出水口位置的灵活性与调节性。通过改变进出水口的位置和数量，可以方便地调节冷却液的流动路径和流量分配，从而适应不同工况下电机的冷却需求^[2]。

2.3 冷却系统其他组件设计

(1) 水泵与散热器的选型与设计。水泵和散热器是冷却系统中的关键组件。水泵负责将冷却液从散热器中抽出并输送到电机内部进行冷却，其选型需要考虑流量、扬程和能耗等因素。散热器则负责将冷却液中的热量散发到空气中，其设计需要考虑散热面积、散热效率和风阻等因素。(2) 冷却液的选择与循环方式。冷却液的选择对于冷却系统的性能具有重要影响。常用的冷却液包括水和乙二醇的混合物，具有良好的热传导性和防冻性能。冷却液的循环方式可以采用强制循环或自然循环，具体取决于电机的冷却需求和车辆的整体设计。强制循环可以确保冷却液在电机内部的高效流动，但可能会增加能耗；自然循环则更加节能，但冷却效率可能受到一定限制。

3 电动汽车驱动电机温度场分析

3.1 温度场分析方法简介

(1) 三维有限元法(FEM)的原理与应用。三维有限元法是一种基于数值分析的强大工具，用于模拟和求解复杂的热传导问题。在电动汽车驱动电机的温度场分析中，FEM通过将电机划分为无数个小的三维单元，每个单元内假设温度分布函数，并通过求解热传导方程来确定这些函数的系数，从而得到整个电机的温度分布。

FEM的优点在于能够考虑材料的非线性、复杂的几何形状以及多种边界条件，提供高精度的温度场模拟结果。然而，由于其计算量大，需要高性能计算资源，且模型建立和参数设置相对复杂，因此适用于对精度要求极高的场合。(2) 热网络法(LPTN)在快速评估中的应用。热网络法是一种简化的温度场分析方法，它将电机划分为一系列的热节点和连接这些节点的热阻，通过构建热网络模型来模拟电机的热传递过程。LPTN方法计算速度快，适用于快速评估和优化设计。虽然其精度相对较低，但能够满足初步设计和快速迭代的需求。LPTN方法特别适合在概念设计阶段，对电机的热性能进行快速筛选和优化。

3.2 电机温度场模型的建立

(1) 电机三维模型的构建。建立准确的电机三维模型是温度场分析的基础。这包括电机的几何形状、内部结构、材料分布等。通常使用CAD软件或专门的有限元前处理软件来构建电机模型。模型应尽可能详细，以反映电机的真实情况，同时也要考虑计算资源的限制。

(2) 材料属性与边界条件的设定。材料属性，如导热系数、比热容等，对温度场分析至关重要。这些属性应根据电机的实际材料来确定，并输入到有限元模型中。边界条件定义了电机与外部环境的热交换方式，包括对流换热系数、辐射换热系数以及外部环境温度等。这些条件应根据电机的实际工作环境和散热方式来设定。(3) 热源分布与损耗计算。热源分布和损耗计算是温度场分析的关键步骤。电动汽车驱动电机的主要热源包括绕组损耗、铁芯损耗和机械损耗等。这些损耗可以通过理论计算或实验测量得到，并作为热源输入到有限元模型中。热源分布的准确性直接影响温度场分析的精度^[3]。

3.3 温度场仿真与分析

(1) 并联型水路结构与传统结构的温度场对比。通过仿真分析，可以对比并联型水路结构与传统结构在电机温度场上的表现。并联型水路结构由于增加了冷却液的流动路径和散热面积，通常能够更有效地降低电机的温度，特别是在高负荷运行条件下。仿真结果可以直观地展示两种结构下电机的温度分布差异，为优化设计提供依据。(2) 不同工况下的温度场变化。电动汽车在实际运行过程中会遇到各种工况，如启动、加速、匀速行驶和减速等。这些工况对电机的热负荷和温度场有显著影响。通过仿真分析，可以研究不同工况下电机的温度场变化情况，评估电机在各种条件下的热性能和可靠性。(3) 关键部件的温度分布及其影响因素。绕组和定子是电动汽车驱动电机中的关键部件，它们的温度分布

直接影响电机的性能和寿命。通过仿真分析,可以详细研究这些部件的温度分布情况,并探讨影响因素,如冷却水路设计、材料属性、损耗分布等。这些信息对于优化电机的冷却系统和提高热性能具有重要意义。同时,通过仿真还可以预测电机在极端条件下的热应力情况,为电机的结构设计和材料选择提供依据。

4 冷却结构设计优化与温度场改善

4.1 冷却结构的优化设计

(1) 基于温度场分析结果的冷却结构改进。温度场分析为冷却结构的设计提供了宝贵的数据支持。通过精确的仿真模拟,我们可以清晰地看到电机内部的温度分布情况,识别出温度过高的区域,从而指导冷却结构的优化。例如,如果发现电机定子某一部分的温度异常高,我们可以增加该区域的冷却水道数量或调整水道布局,以更有效地散去该区域的热量。此外,我们还可以根据温度梯度的大小和分布,动态调整冷却液的流速和流量,以实现更加均匀的冷却效果。(2) 散热片结构、散热风扇等附加散热措施的考虑。在优化冷却结构时,我们还应考虑采用额外的散热措施,如散热片和散热风扇。散热片可以通过增加散热面积来提高散热效率,尤其适用于那些难以通过水路直接冷却的电机部分。散热风扇则可以加速空气流动,提高散热效果,尤其适用于需要快速散热或空间受限的场合。在设计这些附加散热措施时,我们需要综合考虑它们的散热能力、能耗、噪音以及对电机整体结构的影响^[4]。

4.2 温度场改善效果评估

(1) 优化前后温度场对比。通过对比优化前后的温度场仿真结果,我们可以直观地看到冷却结构改进带来的温度变化。这包括电机整体的平均温度下降、高温区域面积的缩小以及温度梯度的减小等。这些变化不仅反映了冷却结构优化的效果,也为后续的细节调整提供了依据。(2) 电机效率与使用寿命的提升情况。冷却结构的优化不仅改善了电机的温度场,还间接提升了电机的效率和使用寿命。通过测试,我们可以发现优化后的电机在相同负荷下运行时,效率有所提高,这意味着电机能够更高效地转换电能,减少能量损耗。同时,由于

温度场的改善,电机的热应力减小,磨损和老化速度减缓,从而延长了电机的使用寿命。

4.3 智能控制技术在冷却系统中的应用

(1) 基于温度数据的智能控制策略。智能控制系统能够实时监测电机的温度数据,并根据预设的控制策略自动调整冷却系统的运行状态。例如,当电机温度超过预设阈值时,智能控制系统可以自动增加冷却液的流速或开启散热风扇以降低温度。这种自适应控制策略能够确保电机在各种工况下都能保持最佳的运行状态。(2) 智能控制系统在冷却过程中的作用与效果。智能控制系统的应用不仅提高了冷却系统的响应速度和准确性,还实现了节能降耗的目标。通过精确控制冷却液的流量和散热风扇的转速,智能控制系统能够最大限度地减少不必要的能耗。同时,智能控制系统还能够根据电机的实时运行状态动态调整冷却策略,以实现更加高效的散热效果。这些优势使得智能控制技术在电动汽车驱动电机冷却系统中具有广泛的应用前景。

结束语

综上所述,通过对电动汽车驱动电机冷却结构的创新设计与温度场的深入分析,我们得出了一系列有益的结论。优化后的冷却结构不仅显著提高了电机的散热效率,降低了温升,而且增强了电机的可靠性和耐久性。本研究不仅为电动汽车驱动电机的冷却系统设计提供了新思路,也为行业标准的制定和电动汽车技术的整体提升贡献了一份力量。未来,我们将继续深化相关领域的研究,为电动汽车的绿色、高效发展提供持续的技术支持。

参考文献

- [1]刘刚,林峰,罗晓燕.新能源汽车驱动电机冷却系统设计与仿真分析[J].汽车工程,2022,(06):71-72.
- [2]张文博,孙健,王志军.电动汽车驱动电机热管理系统结构优化研究[J].机械设计与制造,2021,(09):93-94.
- [3]李晓东,王晨,郭明.基于多物理场耦合的电机热流场仿真与实验研究[J].电机与控制学报,2023,(08):87-88.
- [4]王健,王云鹏,李武.电动汽车驱动电机冷却结构设计及温度场分析[J].电力系统及自动化,2020,(12):116-117.