

多挡电驱动系统换挡台架试验概述

罗瑞雪¹, 辛元强¹, 郭剑², 李尚林¹

1. 中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆

2. 三一重工股份有限公司 湖南长沙

摘要: 结合近些年驱动系统电动化发展的趋势, 介绍了驱动系统电动化及多挡化的发展。对多挡位电驱动系统的换挡结构和原理进行阐述与分析, 并介绍了电驱动系统换挡相关台架试验的流程, 为优化设计提供支持。

关键词: 多挡; 电驱动系统; 台架试验

新能源汽车的发展已经成为目前全球最关注的热门话题。随着现代人环保意识的加强, 以及化石燃料的日益枯竭, 新能源的研发和应用在全球范围内获得了前所未有的重视。因此新能源汽车的发展成为了至关重要的一个环节, 其中电动汽车的发展更是备受瞩目。

电动汽车作为新能源汽车的代表, 其核心技术在于驱动系统。电驱动系统以电动机为动力源, 不仅可

以有效减少排放, 降低环境污染, 同时也可以提供更加平稳和高效的驾驶体验。而多挡电驱动系统可以更好地适应汽车在不同车速下的驾驶需求, 提高电动机工作效率, 降低能耗, 增强电动汽车的普及和推广。

电动汽车的普及, 使得电驱动系统的多挡化成为了一种必然趋势。而电驱动系统换挡台架试验, 不仅可以推动电驱动技术的发展, 也有助于更好地理解 and 利用新能源, 为建设更加环保、高效的未来出行方式

平、产品质量和降低成本, 成为新能源汽车用永磁驱动电动机主要的发展方向。

未来, 通过提高材料利用率、驱动电动机的设计精度、装备工艺制造水平以及降低成本, 不断优化生产制造工艺, 合理安排生产线布局, 提升自动化程度, 降低生产制造成本, 提高企业的资源利用率, 以此推动永磁同步驱动电动机产业不断升级, 提升供应

链与产品集成水平, 新能源汽车永磁同步驱动电动机将会百尺竿头、更进一步。

参考文献:

- [1] 王秀和. 永磁电机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] 张亚涛, 刘庆. 永磁电动机制造关键工艺浅议[J]. 黑龙江科学, 2014, 5 (4): 153. **AUTO1950**

做出贡献。

驱动系统电动化的必然性

驱动系统电动化的必然性主要涵盖了环保需求、能源转型、技术进步、经济效益以及政策推动等多个方面。驱动系统电动化技术的发展，有利于整车向着电动化、智能化、网联化及共享化的“新四化”的方向发展。

电驱动系统（见图1）的工作状态可以通过电子控制系统进行精确控制，这不仅有助于提高汽车的行驶性能，而且还有利于实现自动驾驶等高级功能。此外，从经济角度考虑，电动汽车的运营成本低于传统燃油汽车。驱动系统电动化能够提高能源利用效率，降低运营成本，从而提升电动汽车的市场竞争力。

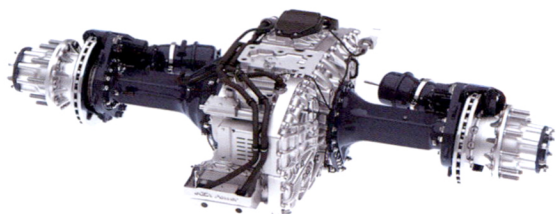


图1 某企业电驱动系统

电驱动系统多挡化发展的趋势

电动汽车的驱动电动机需要同时兼顾起步的大转矩和最高车速时的高转速。若电驱动系统为单挡位结构，则需要匹配的电动机体积及质量都会很大，成本较高；且电驱动系统在车辆高速行驶时，由于电动机转速过高，可能会引起效率下降问题。

为了降低电动机的体积和质量，降低成本，优化电动汽车的驾驶性能，提高电动机的工作效率，降低能耗，电驱动系统向多挡化发展成为了电动汽车技术发展的必然趋势（见图2）。

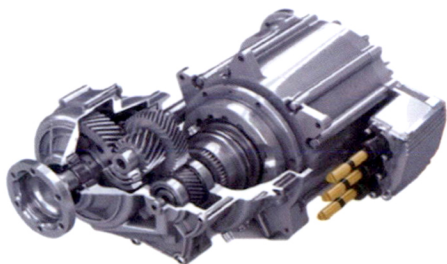


图2 某型号两挡电驱动系统

多挡电驱动系统可以更好地适应汽车在不同速度下的驾驶需求，通过改变驱动系统的挡位，可以更好地利用电动机的高效区，使电动机在最佳的工作状态下运行，从而实现更加高效、经济、舒适的驾驶体验。

然而，多挡电驱动系统的研发并非易事，其中换挡技术是极大的挑战。如何保证换挡的平稳与快速并且在整个过程中高效利用电动机能量，是科研人员必须要面临的问题。为此，电驱动系统换挡台架试验的研究成为了这个领域的重要研究方向。

多挡电驱动系统结构

多挡电驱动系统是电动汽车的关键组成部分，主要由电动机、多挡位减速器及控制系统等部分组成。

1) 电动机是电驱动桥系统的核心部分，负责将电能转换为机械能，驱动汽车行驶。在多挡电驱动系统中，电动机需要与减速器配合，以适应不同的行驶工况。

2) 多挡位减速器是多挡电驱动系统的重要特征，主要由减速器、换挡电动机、换挡执行机构和换挡拨叉等部分组成，主要负责改变从电动机输出的转矩和转速，并传递给车轮的装置。通过换挡电动机调节换挡执行机构，由换挡拨叉改变减速器的挡位，可以使电驱动系统在不同车速下都能使电动机最大可能地保持在最佳工作状态。

3) 控制系统是电驱动系统的“大脑”，负责控制电动机的工作状态，以实现汽车的平稳、高效运行。换挡TCU通过采集各种传感器和控制系统的信息，精确控制换挡时机和换挡过程，以保证换挡的平顺性，减少能量损耗。

多挡电驱动系统取消了离合器和同步器等主要摩擦元件，极大地简化了结构，并通过以上主要部件的协同工作，实现了电动汽车的多工况行驶。相比单挡位的电驱动系统，多挡电驱动系统能更好地适应不同的行驶条件，提高电动汽车的行驶性能和能源利用效率（见图3）。

多挡电驱动系统通过换挡电动机驱动换挡执行机构，带动结合套在不同的挡位之间进行切换来实现换挡，这种结构没有同步器，换挡过程依靠电动机调试来实现结合套与结合齿圈转速同步。这一过程需要精

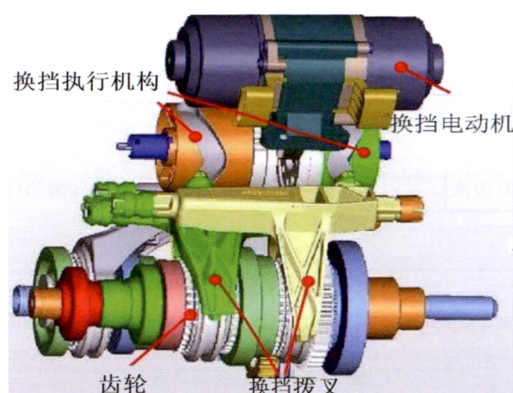


图3 某型号换挡机构示意

确控制，以保证换挡的平稳和高效。

在实际操作中，电动汽车的换挡过程包括检测阶段、决策阶段、执行阶段和稳定阶段。

首先，控制系统会持续检测电动机的工作状态和车辆的行驶条件，如电动机的转速、转矩，以及车速、加速度等。当电动机的转速或转矩达到预设的换挡值时，控制系统会决定是否进行换挡。如果需要换挡，控制系统会计算出最佳的换挡时机和电动机的目标输出。接下来，控制系统发出换挡指令后，电动机会根据指令调整其转矩和转速，同时，减速器也会根据指令调整齿轮的啮合状态，以实现换挡。换挡完成后，控制系统会持续监控电动机和减速器的状态，确保其稳定运行。如果发现异常，控制系统会及时进行调整，以保证车辆的正常行驶。

电动汽车的换挡过程如图4所示。

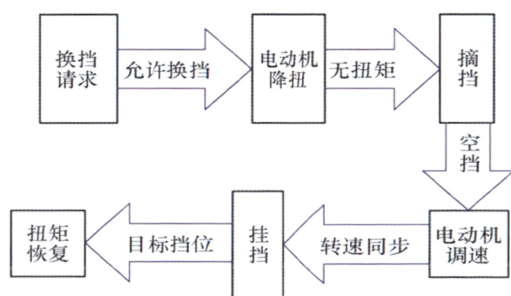


图4 换挡过程

在整个换挡过程中，各部件的精确协同工作实现了平稳、快速的换挡。这种换挡方式相比传统的机械换挡，更加平稳，几乎不会感到明显的挡位转换，提供了更好的驾驶体验。

多挡电驱动系统的优势与不足

1.优势

多挡电驱动系统的结构在电动汽车特别是商用车领域具有显著的优势。

首先，它可以根据不同的行驶条件自动调整挡位，使电动机在最佳工作状态下运行，有助于提高电动机的工作效率，从而降低能耗。

其次，多挡电驱动系统可以在不同的行驶条件下提供对应的转矩和转速，实现更加平稳、高效的驾驶体验，使得电动汽车在加速、爬坡和高速行驶等场景下均能表现出良好的性能。

此外，由于多挡电驱动系统能使电动机在最佳工作状态下运行，减少电动机长时间在极限状态下工作的可能性，从而降低电动机的磨损，延长其使用寿命。

同时，多挡电驱动系统通过精确调整挡位，使电动机始终保持在高效率工作区间，有助于降低损耗，提高续航里程。

最后，多挡电驱动系统的换挡过程相对平稳，有助于提高驾驶舒适性，使驾驶者在驾驶过程中感受更加轻松愉快。

多挡电驱动系统有助于传动系统配置的优化，提高电动汽车的工作效率、驾驶性能和舒适性，并降低能耗，延长电动机寿命，带来电驱动总成的轻量化、紧凑化，降低成本。这些优点使得多挡电驱动系统在电动汽车领域得到了广泛关注和應用。

2.不足

多挡电驱动系统具有显著的优势，但也存在不足。

首先，相较于单挡电驱动系统，其结构更为复杂，不仅增加了设计和制造的难度，也对维护提出了更高的要求。

其次，结构的复杂性也增加了制造成本。

此外，驱动电动机的调速调扭能力会影响AMT的换挡时间，可能会导致动力中断。

同时多挡电驱动系统的换挡控制策略比单挡电驱动系统更复杂，需要更高级的算法以确保换挡的平顺性和效率，这也增加了开发和调试的难度。由于多挡电驱动系统的结构和控制策略的复杂性，会存在潜在

的可靠性问题，如频繁换挡导致零部件的过早磨损，影响整车的可靠性。

随着技术的不断发展和成熟，多挡电驱动系统的设计和策略将会得到改善，这些问题也将会得到有效的解决。

多挡电驱动系统换挡台架试验

1. 换挡试验必要性

换挡试验可以评估电驱动系统在不同工况下的换挡性能及寿命，如换挡的平顺性、响应性以及电动机工作状态的影响等，这对于优化电驱动系统的换挡控制策略，提高换挡性能具有重要意义。

其次，换挡试验是验证电驱动系统设计的重要手段。通过换挡试验，可以观察到电驱动系统在不同工况下的换挡行为，如换挡时间、换挡冲击和换挡效率等，可以验证换挡机构设计的正确性和实用性，对设计中可能存在的问题进行及时发现和修正。

此外，换挡试验可以在早期阶段发现存在的异常并解决问题，提高研发效率，避免在后期因为相关异常而需要进行大范围的修改。同时，换挡试验可以评估电驱动系统在极限工况下的安全性，如在高速、高频换挡等极限工况下电驱动系统的稳定性和耐用性。

最后，在某些地区，进行换挡试验并满足相关性指标是电动汽车上路的必要条件，可以确保电驱动系统满足相关法规的要求。

总的来说，换挡试验是电驱动系统研发过程中的重要环节，对于提高电驱动系统的换挡性能及寿命、保证安全性、提高研发效率有着重要的作用。

2. 电驱动系统换挡试验台架结构

电驱动桥换挡试验台架结构主要包括电驱动系统、电池模拟器、冷却装置、轮端驱动测功机、采集系统、控制系统以及支架结构等，如图5所示。

电驱动系统是台架试验的主要测试对象。电池模拟器为整个系统提供动力电源，冷却系统可为整个电驱动系统（含电动机和减速器）提供冷却。轮端驱动测功机主要为试验提供稳定的输出转速。采集系统则用于测量电驱动系统的各种性能参数，如转速、电流、电压及位移等。而控制系统则用于控制整个换挡

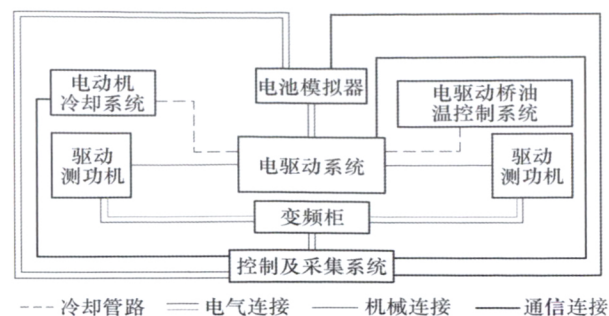


图5 换挡试验台架示意

过程。最后，支架结构用于固定和支撑上述各个部分，具有良好的稳定性和承载能力。

电驱动桥换挡试验台架结构对于换挡试验的成功执行起着关键作用。其合理的设计和配置不仅能够模拟实际的驾驶环境，还能够准确测量电驱动系统在各种工况下的性能参数，为优化电驱动系统换挡机构的设计和策略提供可靠的数据支持。

3. 换挡试验

电驱动系统换挡的核心在于换挡的时机、方法以及成功率，所以换挡试验的重点是换挡策略的控制，试验中通过控制电驱动系统的换挡电动机，实现挡位之间的切换。

换挡试验的控制需要考虑电驱动系统的工作状态、换挡时间、换挡的平顺性和车速等因素。在试验过程中，通过采集电驱动系统的工作参数，如转速、电流、换挡位移等数据来对电驱动系统的换挡性能及寿命进行评估。这些控制原理需要通过合理的控制系统和算法来实现，以达到对电驱动系统换挡试验的精确控制，保证试验的可靠性和准确性。

试验前，首先将电驱动系统与其整车实际安装等同或相近的方式牢固安装在试验台上，轮端连接测功机，并连接好相应的动力源、冷却系统、控制和采集装置等。然后，调试好电驱动桥系统与采集系统之间的通信，根据制定好的试验方案，进行试验。

试验中，由轮端测功机提供转速以保证在换挡过程中轮端转速保持稳定，电驱动桥系统的电动机同时提供对应的输入转速。在换挡时，控制系统发出指令，电驱动系统切入空挡，此时输入电动机根据自身的调速能力，在规定的时间内调整至要求的同步转速

后，再将电驱动系统进行挂挡，完成一次挡位的切换。

在整个试验过程中，采集并监控整个过程中的转速、电流、位移等需要的数据，以评估换挡的成功率和平滑性。

换挡试验流程如图6所示。

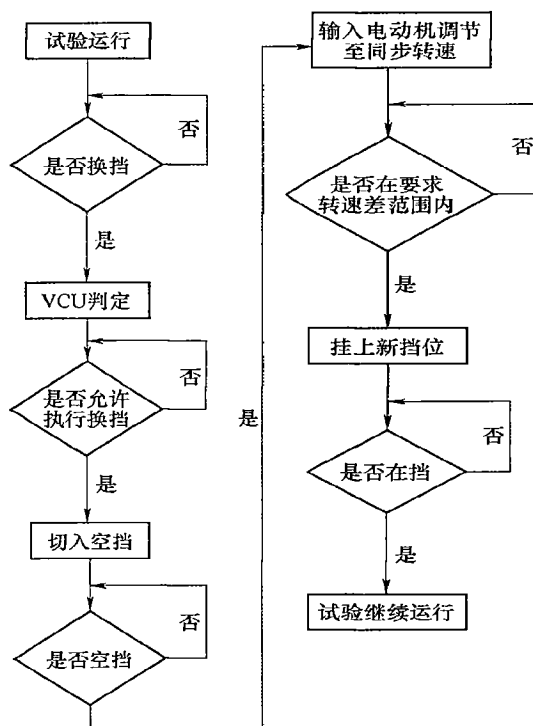


图6 换挡试验流程

试验过程中电驱动系统发生若选换挡动作不到位、换挡异响、输入轴转速异常波动、润滑油油温异常升高或其他不受控制等异常情况，则终止试验。在试验结束后进行数据分析，来评价电驱动系统的换挡寿命及性能，并为其设计和控制策略的优化提供可靠的依据。

结语

随着电动汽车技术的快速发展，多挡电驱动系统的设计和应用已成为行业研究的重点，在降低对动力电池和驱动电动机要求的同时，提高车辆的加速性、最高车速以及续航里程，提升电动汽车的驾驶性能和舒适性，满足更多的驾驶需求。

随着电驱动系统控制技术的进步，多挡化电驱动

系统未来的发展需要更高效的换挡控制策略，实现更平顺、快速的换挡过程，提高电动汽车的驾驶体验。同时也需要更复杂的多挡结构来适应复杂的驾驶环境和需求，提供更多的驾驶模式并提高能源利用率。多挡电驱动系统与电动汽车的能源管理系统紧密配合，通过智能的能源管理策略，汽车会根据驾驶条件和电池状态，自动选择匹配最合适的挡位。

电驱动系统的换挡性能及寿命直接影响到电动汽车的驾驶体验，因此换挡试验对于多挡电驱动系统挡位的开发和优化具有重要的作用。换挡试验能够有效地评估电驱动系统的换挡性能及寿命，检测换挡过程中可能出现的问题，并为设计和优化换挡控制策略提供数据支撑。换挡试验不仅可以帮理解电驱动系统的工作原理和性能特点，还可以验证和改进电驱动系统的挡位设计，以确保其能够满足使用寿命和安全性的要求。

因此，换挡试验是多挡电驱动系统研发过程中不可或缺的一个环节，对于提高电驱动系统的性能以及推动电动汽车技术的发展，都有着重要的作用。

参考文献：

- [1] 李晋严. 城市物流车多挡变速电驱动桥换挡控制策略研究[D]. 吉林大学, 2021.
- [2] 朱波, 李宇航, 张农, 等. 多挡电驱动系统经济性分析[J]. 汽车工程师, 2018 (6): 34-38.
- [3] 付尧. 多挡化电驱动系统的换挡综合控制[D]. 吉林大学, 2023.
- [4] 严才秀, 周振威, 汤伦权, 等. 电驱动换挡机构疲劳寿命试验系统设计[J]. 现代制造工程, 2022 (1): 132-136.
- [5] 李阳, 杨林, 袁静妮, 等. 电动汽车电驱动桥换挡品质控制策略研究[J]. 汽车技术, 2019 (7): 24-29. **AUTO1950**