

新能源汽车三电系统功能安全技术分析

张 顺 郭春飞

山东五征集团有限公司 山东 日照 276800

摘 要：新能源汽车的三电系统，包括电池、电机和电控，是车辆动力性能与安全性的关键。电池管理系统（BMS）负责监控电池状态，预防过充、过放等风险，确保电池长寿命和安全性。整车控制器（VCU）和电机控制器（MCU）分别协调整车状态和电机工作，实现高效能源利用和安全操控。功能安全技术通过动力电池碰撞断电保护、充放电安全管理及高压电安全防护等措施，全面提升了新能源汽车的安全性和可靠性。

关键词：新能源汽车；三电系统；功能安全技术

引言：随着全球对环境保护和可持续发展的日益重视，新能源汽车作为减少碳排放、推动绿色出行的重要力量，正得到快速发展。新能源汽车的三电系统，即电池系统、电机系统和电控系统，是其动力性能与安全性的核心。然而，三电系统的高度集成与复杂性也带来了诸多安全挑战。因此，对新能源汽车三电系统的功能安全技术进行深入分析，不仅有助于提升车辆的安全性，还能为新能源汽车产业的健康发展提供有力支撑。

1 新能源汽车三电系统概述

1.1 新能源汽车三电系统的定义与构成

（1）电池系统，电池系统是新能源汽车的能量储存和供应装置，是新能源汽车的心脏。它负责将充电桩输入的电能转化为化学能储存起来，并在需要时为电动机提供电能。新能源汽车的电池系统通常由多个电池模块组成，每个电池模块又包含多个电池单体。目前，市场上主流的新能源汽车电池类型有锂离子电池、磷酸铁锂电池等。这些电池具有高能量密度、长寿命和低自放电率等优点，为新能源汽车提供了充足的续航里程。（2）电机系统，电机系统是新能源汽车的动力输出装置，负责将电池系统提供的电能转化为机械能，从而驱动车辆行驶。新能源汽车的电机系统通常包括电动机、减速器和控制器等部件。电动机的类型主要有永磁同步电机、交流异步电机和直流电机等。这些电动机具有高效率、低噪音、低维护成本等特点，能够满足新能源汽车对动力性能的需求。（3）电控系统，电控系统是新能源汽车的大脑，负责协调和控制电池系统、电机系统以及车辆其他辅助系统的工作。它接收来自驾驶员的操作指令，并根据车辆的实时状态对电池、电机等进行精确控制，以实现最佳的驾驶性能和安全性。电控系统通常包括整车控制器、电池管理系统、电机控制器等部件，这些部件通过复杂的算法和传感器技术，实现对新能源汽车的

智能化控制。

1.2 三电系统在新能源汽车中的作用与功能

（1）动力性能，三电系统决定了新能源汽车的动力性能。电池系统提供的电能充足与否，直接影响新能源汽车的续航里程；电机系统的效率和性能，决定了新能源汽车的加速性能和最高速度；电控系统通过对电池和电机的精确控制，优化了动力输出，提高了新能源汽车的驾驶体验和乘坐舒适性。（2）经济性，三电系统还决定了新能源汽车的经济性。高效的电池系统和电机系统能够降低新能源汽车的能耗，延长续航里程，减少充电次数和充电时间，从而降低使用成本。同时，电控系统通过对动力的智能调度，提高了新能源汽车的能效，减少了不必要的能源浪费。（3）可靠性和安全性，三电系统的可靠性和安全性是新能源汽车的重要保障。电池系统具有高强度、高稳定性的特点，能够经受住极端工况的考验；电机系统具有低故障率、高耐久性的特点，能够确保新能源汽车在各种工况下稳定工作；电控系统具有完善的故障保护和预警机制，能够及时发现并处理潜在的安全隐患，确保新能源汽车的安全行驶。

2 新能源汽车三电系统功能安全技术分析

2.1 电池系统安全技术

2.1.1 电池管理系统（BMS）的功能与关键技术

电池管理系统（BMS）是电池系统的核心组件，它负责监控、管理电池组的运行状态，确保电池的高效、安全使用。（1）SOC精准估算，BMS通过复杂的算法准确估算电池的剩余电量（SOC），这对于保障汽车的行驶范围和避免电池过充、过放具有重要意义。SOC估算的精确度直接影响到电池的使用效率和安全性。（2）电池均衡控制，电池组由多个单体电池组成，由于制造和使用过程中的差异，单体电池之间的性能会存在偏差。BMS通过均衡控制，调整单体电池之间的充放电状态，

确保电池组的整体性能和稳定性^[1]。(3)热管理,电池在工作过程中会产生热量,过高的温度会影响电池的性能和安全性。BMS通过热管理系统,实时监控电池的温度,采取冷却或加热措施,确保电池工作在适宜的温度范围内。

2.1.2 动力电池的安全防护措施

(1)碰撞断电保护,新能源汽车在发生碰撞时,电池系统可能会受到损坏,导致短路、起火等危险。因此,电池系统在设计时通常采用碰撞断电保护装置,一旦检测到碰撞信号,立即切断电池电源,防止事故扩大。(2)充放电安全管理,BMS通过监控电池的电压、电流和温度等参数,确保电池的充放电过程在安全范围内进行。当检测到异常情况时,BMS会采取保护措施,如切断充放电回路,防止电池受损或引发安全事故。

(3)高压电安全防护,动力电池的输出电压较高,可能对人体构成威胁。因此,电池系统在设计时通常采用绝缘设计和高压电安全防护措施,确保操作人员和乘客的安全。

2.2 电机系统安全技术

2.2.1 电机控制器(MCU)的关键技术与作用

电机控制器(MCU)是电机系统的核心部件,它负责将电池的直流电转换为交流电,驱动电机运转。MCU的关键技术包括:(1)高效电力转换技术,MCU采用高效的电力转换技术,确保电能从电池到电机的传输过程中损失最小,提高能源利用效率。(2)精准控制算法,MCU通过精准的控制算法,实现对电机的精确控制,确保电机的转速、扭矩等参数符合驾驶需求,同时保证车辆的稳定性和安全性。(3)先进热管理技术,电机在工作过程中会产生大量的热量,MCU通过先进的热管理技术,如采用液冷散热、风冷散热或热管技术等,确保电机控制器在正常温度范围内工作,防止过热导致的性能下降和故障。

2.2.2 电机系统的冗余技术与稳定性分析

为了增强电机系统的可靠性和安全性,通常采用以下冗余技术和稳定性分析方法:(1)CAN通信的CRC校验码,电机系统内部的各个组件通过CAN总线进行通信,为了确保通信数据的准确性和可靠性,采用了CRC(循环冗余校验)码进行校验。如果数据在传输过程中出现错误,CRC校验码能够检测并纠正这些错误,防止因通信故障导致的电机失控^[2]。(2)电压、电流采样技术,电机系统的工作状态需要通过电压和电流传感器进行监测。这些传感器能够实时采集电机控制器的输入和输出电压、电流数据,并将这些数据发送给BMS和MCU

进行分析和处理。如果检测到异常数据,系统会立即采取措施进行保护,如切断电源或调整电机控制策略。

(3)解码芯片与软件计算,电机系统通常配备了专用的解码芯片和复杂的控制算法,用于解析和处理来自传感器和CAN总线的的数据。这些芯片和算法能够高效地处理数据,确保电机系统的稳定性和安全性。同时,通过软件计算和模拟,可以对电机系统进行仿真分析和优化设计,进一步提高系统的可靠性和性能。

2.3 电控系统安全技术

2.3.1 整车控制器(VCU)的功能与关键技术

整车控制器(VCU)是新能源汽车电控系统的核心部件,它负责协调和管理各个子系统的运行,确保整车的高效、安全和稳定。VCU的关键技术包括:(1)扭矩控制管理,VCU根据驾驶员的输入和车辆的当前状态,计算出所需的扭矩,并将这个扭矩分配给电机系统。同时,VCU还负责监控电机的实际扭矩输出,确保它与期望的扭矩相匹配。(2)整车的能量、充电及热管理,VCU负责整车的能量管理,包括电池的充电策略、电机的能耗管理等。同时,VCU还参与整车的热管理,确保各个系统的工作温度在正常范围内^[3]。(3)故障诊断与处理,VCU具备故障诊断和处理功能,能够实时检测整车各个系统的运行状态,一旦检测到故障,立即采取相应的保护措施,并将故障信息发送给驾驶员和维修人员。

2.3.2 电控系统的集成化与智能化趋势

随着新能源汽车技术的不断发展,电控系统正朝着集成化和智能化的方向发展。(1)多域融合,电控系统正逐渐实现多域融合,即将原本独立的各个子系统(如电池管理、电机控制、车身控制等)集成到一个统一的平台上。这种集成化的设计不仅简化了系统的结构,降低了成本,还提高了系统的可靠性和性能。(2)高效能量管理,电控系统通过优化能量管理策略,提高了新能源汽车的能源利用效率。例如,VCU可以根据车辆的行驶需求和当前的环境条件,调整电机的功率输出和电池的充放电策略,以实现最佳的能源利用效果。(3)新功能集成,随着技术的进步和消费者需求的不断变化,电控系统正在不断集成新的功能。例如,AC/DC充电功能允许新能源汽车在不同的充电设施上进行充电;电动四驱控制功能则提高了车辆在复杂路况下的行驶稳定性和安全性。这些新功能的集成不仅提高了新能源汽车的实用性和舒适性,还进一步推动了新能源汽车技术的发展和普及。

3 新能源汽车三电系统安全技术发展趋势与展望

3.1 技术发展趋势

(1) 电池技术的革新, 当前, 新能源汽车电池技术主要朝着高能量密度、快速充电、长寿命以及高安全性方向发展。固态电池和石墨烯电池是当前研究的热点。固态电池采用固态电解质, 能够有效提升电池的能量密度和安全性, 降低短路风险。此外, 其循环寿命也优于传统的液态锂电池, 行驶50万公里后的衰减度保持在5%以内。尽管固态电池技术尚需进一步突破, 但其已展现出替代传统锂电池的巨大潜力。石墨烯电池则以其支持超级快充功能而受到关注。50KWH容量的石墨烯电池可在10分钟内充满, 续航能力可达1000公里, 且安全性极高。然而, 石墨烯电池的成本较高, 但随着技术进步, 其大规模应用前景广阔。(2) 电机系统的优化与集成, 电机系统负责将电能转化为机械能, 驱动汽车前进。未来, 电机系统的优化与集成将是重要趋势。电机控制器正朝着高效率、高功率密度和低成本的方向持续进步。同时, 电机与电控、变速器等部件的集成, 可实现更高效的动力传输和更灵活的控制。这种集成化设计不仅减少了零件数量和重量, 还提升了整体性能和可靠性^[4]。

(3) 电控系统的智能化与网络化, 电控系统是新能源汽车的“大脑”, 对整车进行智能管理和控制。随着智能网联技术的发展, 电控系统将更加智能化和网络化。它不仅能根据驾驶员的习惯和路况进行智能调节, 还能与车辆的其他智能系统(如感知系统、决策系统等)深度协同工作, 确保车辆的安全和高效运行。未来, 电控系统将进一步集成更多功能, 如充电控制、电池管理等, 提升产品的综合性能和便捷性。

3.2 安全技术展望

(1) 提高新能源汽车三电系统的整体安全性, 新能源汽车三电系统的整体安全性是保障用户行车安全的关键。在电池方面, 通过采用防爆阀、短路保护、绝缘膜、铝制壳体等安全防护设计, 以及经过火烧、针刺、浸水、机械冲击等严苛安全试验, 可以大幅提升电芯的安全性。电机系统方面, 通过高性能的MCU芯片和绝缘自我检测、高压互锁、碰撞高压电自动断开等功能,

确保电机的安全稳定运行。电控系统方面, 通过可媲美飞机的BMS硬件安全系统和全方位高压安全系统, 具备多项绝缘保护措施, 在紧急情况下能够切断高压电流。

(2) 推动新能源汽车产业的可持续发展, 新能源汽车产业的可持续发展需要三电系统安全技术的持续创新和支持。未来, 随着电池技术的革新、电机系统的优化与集成以及电控系统的智能化与网络化发展, 新能源汽车的续航里程、动力性能和安全可靠性将得到显著提升。这将推动新能源汽车市场的不断扩大和消费者对新能源汽车的接受度提高。同时, 新能源汽车产业的可持续发展还需要政策的支持和引导。政府应加大对新能源汽车技术研发和创新的支持力度, 制定和完善相关法规和标准, 为新能源汽车的安全使用和普及提供有力保障。此外, 政府还应加强与国际社会的合作与交流, 共同推动新能源汽车产业的全球化发展。

结束语

新能源汽车三电系统的功能安全技术, 是确保车辆安全、稳定运行的核心。通过深入研究, 我们见证了电池管理、电机驱动与电控系统如何协同工作, 共同提升车辆动力与安全性能。未来, 随着技术迭代与需求升级, 三电系统的安全技术仍需持续优化与创新。唯有如此, 我们才能确保新能源汽车在复杂多变的驾驶环境中, 始终为用户带来安心、可靠的出行体验, 推动新能源汽车产业迈向更加辉煌的未来。

参考文献

- [1] 彭忆强, 芦文峰, 邓鹏毅, 等. 新能源汽车“三电”系统功能安全技术现状分析[J]. 西华大学学报, 2020, (05): 54-55.
- [2] 刘会胜, 郁晓斐, 翟忠林. 高温干热气候下的传统车及新能源车试验方法浅析[J]. 上海汽车, 2022, (06): 57-58.
- [3] 吴飞, 宋文艳, 王佳俊. 新能源汽车“三电”系统功能安全技术分析[J]. 汽车周刊, 2022, (11): 119-120.
- [4] 陈丽春. 关于新能源汽车“三电”系统功能的安全技术探讨[J]. 大科技, 2020, (09): 101-102.