

汽车ABS系统故障诊断与容错控制研究

刘攀 曹忠

湖北航特科技有限责任公司 湖北 荆门 448000

摘要：汽车ABS系统故障诊断与容错控制研究旨在提升车辆行驶安全性与制动性能。本文深入探讨了ABS系统故障诊断技术，包括基于传感器、执行器及ECU的故障检测方法，并提出一系列容错控制策略。通过冗余设计、故障检测与诊断模块、信号融合技术及智能控制算法的应用，有效提高了ABS系统在故障情况下的可靠性和稳定性。实验结果表明，所设计的故障诊断与容错控制策略能够准确识别故障并迅速采取措施，确保车辆在紧急制动时保持稳定，减少了交通事故的风险。

关键词：汽车ABS系统；故障诊断；容错控制

1 汽车ABS系统基本原理与结构

1.1 ABS系统概述

ABS系统，即汽车电控制动防抱死系统，是一种具有防滑、防锁死等优点的汽车安全控制系统。它能够在紧急制动情况下，通过防止车轮抱死，保持车辆的转向能力，从而提高制动稳定性和行驶安全性。ABS系统是现代汽车安全系统的关键部分，能够在多种驾驶场景下提供更加稳定和可靠的制动性能。

1.2 ABS系统基本组成

ABS系统主要由以下几个部分组成：车轮转速传感器：负责监测各个车轮的转速，并将信号传输给电控单元。电控单元（ECU）：接收来自车轮转速传感器的信号，进行分析运算，并根据需要向制动压力调节器发出指令。制动压力调节器：根据电控单元的指令，调节制动系统的压力，从而实现车轮制动力的精确控制。ABS系统还可能包括制动主缸等其他辅助部件，共同协作以实现防抱死制动功能。

1.3 ABS系统工作原理

ABS系统的工作原理基于实时监测车轮转速并与车辆的行驶速度做对比。当系统检测到某个车轮即将锁死（即转速急剧降低或停滞）时，会通过制动压力调节器减轻或释放制动力，使车轮恢复转动。这一过程是连续的，通过不断增压、保压、减压控制，使车轮滑移率始终处于最佳范围内（通常为15%~20%），从而确保制动力最大且方向可以控制^[1]。具体来说，ABS系统的工作过程包括以下几个步骤：（1）轮速监测。车轮转速传感器实时监测车轮转速，并将信号输入电控单元；（2）信号分析。电控单元接收信号后，进行分析运算，判断车轮是否趋于抱死；（3）指令发出。当电控单元检测到车轮趋于抱死时，向制动压力调节器发出指令，调节制动

压力；（4）压力调节。制动压力调节器根据指令，对制动系统的压力进行增压、保压或减压控制，使车轮恢复转动；（5）实时监控。电控单元持续监控车轮的运动状态，不断重复上述过程，直至制动结束。

2 汽车ABS系统故障诊断方法

2.1 ABS目测法

ABS目测法是一种基础而直接的故障诊断手段，它主要依赖于维修技术人员对ABS系统各部件的视觉检查。这种方法的核心在于通过肉眼观察ABS控制模块、轮速传感器、制动压力调节器以及其他相关电气元件的外观状况，以发现任何可能存在的物理损伤或异常。维修技术人员会仔细检查这些部件是否有裂纹、腐蚀、磨损或松动等迹象，这些都是可能导致ABS系统出现故障的常见原因。此外，目测法还包括对ABS系统线路的详细检查，确保线路没有破损、断裂或接触不良等问题。插接件的牢固性也是检查的重点，因为松动的插接件可能导致信号传输不畅，从而影响ABS系统的正常工作。

2.2 ABS故障自诊断方法

ABS故障自诊断方法是利用ABS系统内置的故障诊断功能来检测和定位故障的一种高效手段。现代ABS系统通常配备有先进的电子控制单元（ECU），该单元能够实时监控ABS系统的运行状态，并在检测到任何异常时自动记录故障码。这些故障码是ECU根据预设的算法和逻辑生成的，它们包含了关于故障类型、位置以及可能原因的详细信息。维修技术人员通过使用专业的诊断工具与ABS系统的ECU进行通信，可以轻松地读取这些存储的故障码。通过对故障码的分析和解读，技术人员可以快速缩小故障范围，定位到具体的部件或电路。这种方法不仅提高了诊断的准确性和效率，还减少了因误判或漏判而导致的维修成本和时间浪费。因此ABS故障自

诊断方法已成为现代汽车维修中不可或缺的一部分。

2.3 快速检查法

快速检查法是一种结合了目测法和故障自诊断方法的综合诊断手段,旨在以最快的速度对ABS系统进行全面检查。快速检查法通常包括几个步骤:首先,使用诊断工具读取ABS系统的故障码,了解当前存在的故障类型和可能的故障点;其次,根据故障码提供的线索,对相关的部件和电路进行外观检查,确认是否存在明显的物理损伤或异常;最后,对可能存在的故障点进行进一步的测试或测量,以验证故障的存在并确定具体的故障原因。这种方法结合了目测法的直观性和故障自诊断方法的准确性,能够在短时间内快速定位并排除ABS系统的故障,提高了维修工作的效率和质量^[2]。

2.4 故障警告灯诊断法

故障警告灯诊断法是通过观察ABS故障警告灯的点亮状态来判断ABS系统是否存在故障的一种直观方法。当ABS系统出现故障时,故障警告灯通常会在仪表盘上点亮,以提醒驾驶员注意系统的异常情况。维修技术人员可以通过观察故障警告灯的点亮状态,结合车辆的行驶情况和ABS系统的其他表现,来初步判断故障的类型和可能的原因。通过观察故障警告灯的点亮状态,维修技术人员可以更快地定位故障点,为后续的诊断和维修工作提供方向。同时,这种方法还可以帮助驾驶员及时发现ABS系统的异常情况,避免在紧急制动时因系统失效而引发安全事故。

2.5 综合诊断案例分析

某车型ABS系统故障诊断与修复;故障现象:一辆某品牌轿车在行驶过程中,ABS故障警告灯突然点亮,并且车辆的制动性能出现明显下降,制动距离延长,制动时车辆出现明显的跑偏现象。诊断过程:维修技术人员首先使用专业的诊断工具读取ABS系统的故障码,发现存在左前轮轮速传感器信号异常的故障码。这提示技术人员可能的故障点在左前轮的轮速传感器上。根据故障码提供的线索,技术人员对左前轮的轮速传感器进行了详细的外观检查。他们发现传感器的插头处存在明显的腐蚀和氧化现象,这可能导致传感器信号传输不畅或完全失效。为了进一步确认故障点,技术人员对左前轮的轮速传感器进行进一步的测试。他们使用示波器测量传感器的输出信号,发现信号波形异常,证实传感器因腐蚀而失效的猜想。确定故障点后,技术人员采取相应的修复措施。他们首先清理传感器插头处的腐蚀物,并重新连接传感器。然后,他们使用诊断工具对ABS系统进行了全面的测试,确保故障已完全排除。修复完成

后,技术人员对该车进行了为期一周的跟踪观察。他们发现ABS故障警告灯没有再次点亮,且车辆的制动性能恢复正常,制动距离和制动稳定性均达到预期的标准。这证明修复措施的有效性。本案例通过综合运用目测法、故障自诊断方法和快速检查法等多种诊断手段,成功地定位并修复了ABS系统的故障。通过详细的分析和测试,技术人员准确地找到故障点,并采取有效的修复措施。这不仅恢复车辆的制动性能,还提高驾驶员的安全感和信任度。

3 汽车 ABS 系统容错控制策略设计

3.1 基于轮速传感器故障的容错控制策略

在汽车ABS(防抱死制动系统)中,轮速传感器扮演着至关重要的角色,它们负责实时监测车轮的转速,为ABS控制单元(ECU)提供关键数据,以便在紧急制动时调整制动力,防止车轮抱死。轮速传感器由于工作环境恶劣、线路老化或外部干扰等因素,可能会出现故障,导致ABS系统无法准确获取车轮转速信息,进而影响制动性能^[3]。设计基于轮速传感器故障的容错控制策略显得尤为重要。首先,针对轮速传感器故障,ABS系统应采用冗余设计原则。这意味着在每个车轮上安装至少两个独立的轮速传感器,并在ECU中设置相应的算法,以便在任一传感器出现故障时,能够自动切换到备用传感器,确保数据的连续性和准确性。这种冗余设计可以显著提高系统的可靠性和容错能力。其次,为了及时发现并处理轮速传感器故障,ABS系统应集成故障检测与诊断(FDD)模块。该模块通过实时监测传感器信号的幅值、频率和相位等特征参数,与预设的正常值进行比较,一旦检测到异常,立即触发报警机制,并启动相应的容错控制策略。针对轮速传感器故障,还可以采用信号融合技术来提高系统的容错性,信号融合技术通过将多个传感器的数据进行加权、滤波和融合处理,得到更加准确、可靠的车轮转速信息。这种方法不仅可以降低单一传感器故障对系统的影响,还可以提高整个ABS系统的鲁棒性和适应性。最后,基于轮速传感器故障的容错控制策略还应考虑故障恢复机制,一旦故障传感器被隔离或替换,系统应能够自动重新校准和配置,确保新的传感器能够正确接入并正常工作。为了预防未来类似故障的发生,系统还应记录故障历史数据,以便进行故障分析和预防性维护。

3.2 基于ABS泵故障的容错控制策略

ABS泵是ABS系统中的关键执行元件,负责根据ECU的指令调节制动压力,实现车轮的防滑控制。ABS泵由于长期工作在高负荷、高压力的环境下,可能会出现泄

漏、堵塞或损坏等故障,导致制动压力无法准确调节,进而影响ABS系统的性能。因此设计基于ABS泵故障的容错控制策略同样至关重要。针对ABS泵故障,系统应采用备用泵设计,这意味着在ABS系统中安装一个或多个备用泵,当主泵出现故障时,备用泵能够立即启动并接管工作,确保制动压力的连续调节。这种设计可以显著提高系统的可靠性和安全性。为了及时发现并处理ABS泵故障,系统应集成泵状态监测模块。该模块通过实时监测泵的工作压力、流量和温度等参数,与预设的正常值进行比较,一旦检测到异常,立即触发报警机制,并启动相应的容错控制策略。针对ABS泵故障,还可以采用智能控制算法来提高系统的容错性,智能控制算法能够根据泵的工作状态和故障类型,动态调整制动压力控制策略,以适应不同的故障情况。这种方法不仅可以降低故障对系统的影响,还可以提高整个ABS系统的智能化水平和自适应能力。基于ABS泵故障的容错控制策略还应考虑故障隔离和恢复机制,一旦检测到ABS泵故障,系统应能够迅速隔离故障泵,并启动备用泵或采取其他措施来恢复制动压力控制。为了预防未来类似故障的发生,系统还应记录故障历史数据,以便进行故障分析和预防性维护。

3.3 基于ECU故障的容错控制策略

ECU(电子控制单元)是ABS系统的核心部件,负责接收传感器信号、处理数据并发出控制指令。ECU由于硬件故障、软件错误或外部干扰等因素,可能会出现故障,导致ABS系统无法正常工作。设计基于ECU故障的容错控制策略对于保障ABS系统的可靠性和安全性具有重要意义。首先,针对ECU故障,系统应采用冗余ECU设计,这意味着在ABS系统中安装一个或多个备用ECU,当主ECU出现故障时,备用ECU能够立即接管工作,确保ABS系统的正常运行。这种设计可以显著提高系统的可靠性和容错能力^[4]。其次,为了及时发现并处理ECU故障,系统应集成ECU健康监测模块,该模块通过实时监测ECU的工作状态、处理器负载和内存使用情况等参数,与预设的正常值进行比较,一旦检测到异常,

立即触发报警机制,并启动相应的容错控制策略。针对ECU故障,还可以采用软件容错技术来提高系统的容错性。软件容错技术包括错误检测、错误恢复和错误隔离等功能,能够在ECU出现故障时,自动检测并修复错误,或者将错误隔离在局部范围内,防止其扩散到整个系统。这种方法不仅可以降低ECU故障对系统的影响,还可以提高整个ABS系统的可靠性和稳定性。最后,基于ECU故障的容错控制策略还应考虑故障恢复和重构机制,一旦检测到ECU故障,系统应能够迅速隔离故障ECU,并启动备用ECU或采取其他措施来恢复ABS系统的功能。为了预防未来类似故障的发生,系统还应记录故障历史数据,进行故障分析和预防性维护。系统还应具备自我学习和优化能力,能够根据历史数据和当前状态,动态调整控制策略,以适应不同的故障情况和运行环境。

结束语

综上所述,汽车ABS系统故障诊断与容错控制研究对于提高车辆行驶安全性和制动性能具有重要意义。通过本文的研究,不仅深入理解了ABS系统的工作原理和故障模式,还提出一系列有效的故障诊断与容错控制策略。这些研究成果为ABS系统的优化设计、故障诊断与维护提供重要的理论依据和技术支持。未来,将继续探索更加先进的故障诊断与容错控制方法,以进一步提升车辆的安全性和可靠性。

参考文献

- [1]卞庆祝.新能源汽车常见故障诊断与维修技术研究[J].专用汽车,2022(06):97-99.
- [2]简斌.新能源汽车常见故障诊断及维修技术分析[J].汽车与新动力,2022,5(02):80-82.
- [3]张良发.浅谈汽车ABS系统故障诊断与排除[J].汽车博览,2021(11):68-69.
- [4]张飞虎,黄龙,曹建成.汽车ABS系统故障诊断与维修[J].重型汽车,2020(4):45-46.DOI:10.3969/j.issn.1007-211X.2020.04.022.