

道路 / 非道路车辆电气系统的故障诊断与智能维护

付华

广西柳工机械股份有限公司, 广西 柳州 545000

摘要 : 随着汽车技术的迅速发展, 车辆的电气系统日益复杂, 导致各种故障的出现。本文对道路和非道路车辆的电气系统故障的类型和原因进行了深入研究, 包括电池问题、传感器和执行器、线路连接问题、控制器和软件故障, 以及外部因素如湿度、温度和振动等引起的问题。对于故障的诊断, 本文还介绍了包括传统的诊断工具、车载诊断系统、无线传感网络和基于数据与模型的故障检测方法。随着大数据和人工智能技术的崛起, 本文也讨论了这些技术在车辆电气系统的智能维护和预测性维护中的应用, 重点讨论了数据收集和分析在预测性维护中的重要性、实时健康监测与故障预警系统, 以及云计算与大数据的应用。通过这些先进的技术和方法, 可以实现对车辆电气系统的实时监控、故障预测和智能维护, 从而大大提高车辆的可靠性和安全性。

关键词 : 道路 / 非道路车辆; 电气系统; 故障诊断; 智能维护

Troubleshooting and Intelligent Maintenance of Electrical Systems in On-Road/Off-Road Vehicles

Fu Hua

Guangxi LiuGong Machinery Co., Ltd, Guangxi, Liuzhou 545000

Abstract : With the rapid development of automobile technology, the electrical systems of vehicles are becoming increasingly complex, leading to various faults. This paper provides an in-depth study of the types and causes of electrical system failures in road and off-road vehicles, including battery problems, sensors and actuators, wiring connection problems, controller and software failures, as well as problems caused by external factors such as humidity, temperature and vibration. For the diagnosis of faults, this paper also describes fault detection methods including traditional diagnostic tools, on-board diagnostic systems, wireless sensor networks, and data-based and model-based fault detection methods. With the rise of big data and artificial intelligence technologies, this paper also discusses the application of these technologies to intelligent and predictive maintenance of vehicle electrical systems, focusing on the importance of data collection and analysis in predictive maintenance, real-time health monitoring and fault warning systems, and the application of cloud computing and big data. Through these advanced technologies and methods, real-time monitoring, fault prediction and intelligent maintenance of vehicle electrical systems can be realized, thus greatly improving the reliability and safety of vehicles.

Key words : road/off-road vehicles; electrical system; fault diagnosis; intelligent maintenance

一、引言

随着科技的不断进步, 道路与非道路车辆的电气系统变得越来越复杂。这不仅为现代交通带来了更高的效率和便利, 但同时也带来了更多的维护挑战。电气故障已成为车辆维护中的一个重要领域, 需要高效和及时的解决方案。这些故障不仅影响车辆的性能, 还可能影响到驾驶员和乘客的安全。因此, 深入研究电气故障的诊断和智能维护显得尤为重要。本文旨在探索这些问题, 提供一套综合的方法和技术, 以应对现代车辆电气系统中所面临的挑战。

二、车辆电气系统故障的常见类型及其原因

(一) 电池故障

电池作为车辆电气系统的核心, 其故障对整体性能有着显著影响。在道路和非道路车辆中, 电池故障通常表现为电量下降、充电能

力减弱或无法启动车辆。这些问题可能源于多种原因, 如电池老化、内部短路、电解液减少或温度影响。特别是在重型工程机械中, 由于电池承受更大的负荷和更频繁的使用, 故障的发生率较高。老化是电池最常见的故障原因, 随着时间的推移, 电池的化学性能逐渐下降, 导致存储能力减弱。此外, 电池的内部短路, 通常由于物理损坏或制造缺陷引起, 会导致电池效率降低, 甚至有安全风险。在一些恶劣的环境条件下, 如极端温度或湿度, 电池的性能也会受到影响。此外, 不正确的充电和维护方式也会加速电池故障的发生。对于工程机械和重型车辆, 由于其对电池性能的依赖性更高, 因此在维护和检查时需要特别注意电池的状态。定期检查电池的电压、充电状态和外观, 可以及时发现并处理潜在的问题。同时, 合理的充电策略和适当的温度控制也是保持电池健康的关键。^[1-3]

(二) 传感器与执行器故障

传感器和执行器是车辆电气系统中不可或缺的部分, 它们负责收集信息并对车辆的各种功能进行控制。当这些部件出现故障时, 可

能导致车辆性能下降，甚至安全风险。在汽车和工程机械中，传感器通常用于监测速度、温度、压力等参数，而执行器则负责控制制动、转向和发动机等部件。传感器故障可能由多种因素引起，包括污染、物理损坏、电磁干扰或老化。例如，发动机中的温度传感器如果受到油污或灰尘的影响，可能无法准确读取温度，从而影响发动机的性能。同样，执行器的故障可能由于机械磨损、电气问题或软件故障引起。在工程机械中，由于工作环境的艰苦，传感器和执行器更容易受到损伤。因此，定期检查和维修这些部件对于确保机械的正常运行至关重要。此外，使用高质量的传感器和执行器，以及采用防护措施以减少外界因素的影响，也是预防故障的有效方法。

（三）线路与连接器问题

线路和连接器是车辆电气系统的基础，它们确保电力和数据的稳定传输。在汽车和工程机械中，线路和连接器故障可能导致电气系统的部分或全部功能失效。常见的问题包括线路断裂、腐蚀、短路以及连接器的松动或损坏。线路断裂通常是由物理损伤引起的，比如在粗糙的道路行驶或在恶劣的工作环境中操作工程机械时。此外，线路的腐蚀也是一个常见问题，尤其是在潮湿或盐分较高的环境中。这种腐蚀不仅会影响电线的传导性能，还可能导致短路，甚至触发火灾。连接器的故障通常表现为接触不良，这可能是由于连接器松动、污染或机械损伤造成的。在重型车辆和工程机械中，由于震动和频繁的使用，连接器的故障率相对较高。为了防止线路和连接器的故障，定期的检查和维修至关重要。这包括检查线路的完整性、清洁和紧固连接器，以及采取适当的防腐措施。在设计阶段，选择适合特定环境的高质量材料和构造，也可以显著降低这些问题的发生概率。

（四）控制器和软件故障

控制器和软件是现代汽车和工程机械电气系统的核心，负责处理各类信息并控制机械操作。然而，它们也容易遭遇故障，这些故障可能影响车辆的安全性和效率。控制器故障通常由硬件问题（如电路板损坏、连接故障）或外部因素（如温度极端、湿度、电磁干扰）引起。软件故障则更多与程序错误、不兼容的更新或系统冲突相关。在汽车行业，随着技术的进步和车辆系统的复杂化，软件和控制器的的重要性日益增加。这些系统负责管理发动机性能、制动系统、转向控制等关键功能。一旦出现故障，可能导致性能下降、反应迟钝甚至系统完全失效。例如，一个故障的发动机控制单元（ECU）可能导致燃油效率降低、排放增加或意外加速。对于工程机械而言，控制器和软件的可靠性对于确保作业效率和操作员安全尤为关键。这些机械通常在恶劣的环境下工作，如高温、尘土和震动等条件。这些环境对控制器硬件构成了极大的挑战，容易导致硬件故障。同时，软件必须能够处理复杂的任务，如动态地图绘制、精确位置控制等，任何软件故障都可能导致操作失误或事故。^[4]

（五）外部因素导致的故障

车辆电气系统的性能不仅受内部因素影响，外部环境因素也扮演着重要的角色。这些因素包括天气条件、物理撞击、污染、电磁干扰等，它们都可能导致系统故障或性能下降。在汽车和工程机械领域，理解和预防这些外部因素的影响至关重要。天气条件，特别是极端温度、湿度和盐雾，对电气系统组件造成的影响不容忽视。例如，低温可能导致电池效率下降，高温则可能引起电子组件过热。此外，湿度和盐雾会加速金属部件的腐蚀，影响电路的稳定性。工程机械在恶劣的环境下作业，如矿山、建筑工

地等，其电气系统必须能够抵御尘埃、泥浆和机械冲击。物理撞击和振动对车辆电气系统也是一大挑战。在日常道路使用中，汽车可能遭受交通事故的冲击，这些冲击可能损坏电气系统的敏感部件。对于工程机械来说，振动是一个常见的问题，长时间的振动会导致连接器松动、电线磨损，甚至电子组件的内部损坏。此外，电磁干扰（EMI）也是一个不容忽视的问题。随着无线通讯技术的广泛应用，车辆电气系统需要能够在复杂的电磁环境中稳定运行。EMI 可能导致信号干扰、数据丢失或控制系统失灵。

三、电气故障的诊断方法

（一）传统的诊断工具和技术

在汽车和工程机械的电气系统故障诊断中，传统的诊断工具和技术起着关键作用。这些方法有助于定位和解决各种类型的故障，确保车辆或机械设备的安全性和性能。故障码扫描工具是一种常见的传统诊断工具。它们连接到车辆或机械的 OBD-II（On-Board Diagnostics II）端口，并读取故障码，这些码指示了可能存在的问题。技术人员可以根据这些故障码的解读来确定故障的性质和位置，然后采取适当的维修措施。此外，多用途计量仪和电压表等测试设备也是不可或缺的。它们用于测量电压、电流和电阻，以确认电气系统的各个部分是否正常工作。例如，通过测量电池电压，可以确定电池是否充电正常，从而排除电池故障的可能性。另一个传统的诊断方法是电路图和线束检查。技术人员可以使用电路图来查找电路中的连接点和元件，以确定是否存在断路、短路或损坏的线束。这种方法需要经验丰富的技术人员，他们可以追踪电路并手动排除问题。

（二）车载诊断系统

车载诊断系统在现代汽车和工程机械中变得越来越重要。这些系统通过内置的传感器、控制器和软件来监测电气系统的各个方面。它们可以实时捕获数据，识别异常，并生成故障码或警报，以通知驾驶员或维修人员。例如，现代汽车配备了先进的发动机控制单元（ECU），可以监测发动机性能，并在检测到异常时记录相关信息。这些数据可以通过诊断工具或车载信息显示系统进行访问，帮助技术人员快速诊断问题。车载诊断系统还可以与云端服务集成，将数据上传到云服务器进行进一步分析。这种远程诊断功能使制造商和维修服务提供商能够远程监控车辆或机械设备的状态，并提供及时的维护建议和故障排除指导。

（三）无线传感网络与远程诊断

无线传感网络和远程诊断技术是电气系统故障诊断的创新方法。通过将传感器部署在关键部位，如发动机、变速箱和制动系统，车辆或机械设备可以实时监测各个组件的状态。这些传感器可以使用无线通讯技术将数据传输到中央控制单元或云服务器。远程诊断人员可以随时访问这些数据，并使用机器学习算法来分析模式和趋势，以检测潜在的故障迹象。远程诊断还可以通过远程访问控制单元进行远程重置或校准，以解决某些问题，从而减少维修时间和成本。这种方法尤其对大型工程机械设备来说非常有用，因为它们通常运营在偏远或难以到达的地区。

（四）数据驱动和模型驱动的故障检测方法

数据驱动和模型驱动的故障检测方法利用大数据和机器学习技术来改进电气系统的故障诊断。数据驱动的方法涉及数据的收集、存

储和分析。大量的电气系统性能数据可以用于建立模型，以识别正常操作和异常操作之间的差异。这些模型可以帮助检测潜在故障，即使它们不容易通过传统方法或车载诊断系统来检测。模型驱动的方法涉及建立数学模型来描述电气系统的行为。这些模型可以用于模拟系统的操作，并与实际数据进行比较，以检测异常。模型还可以用于预测系统的性能，从而提前发现潜在的故障。这些数据驱动和模型驱动的方法为电气系统故障诊断提供了更加精确和智能的工具，可以检测到传统方法难以察觉的问题，提高了维护的可靠性和效率。^[6-8]

四、智能维护与预测性维护

（一）引入人工智能与机器学习在维护中的作用

在现代车辆和工程机械维护中，人工智能（AI）和机器学习（ML）技术的引入具有革命性的影响。这些技术不仅改善了故障诊断的准确性，还推动了维护从预防性到预测性的转变。AI和ML可以分析大规模数据，包括传感器数据、操作记录和维修历史，以识别潜在的故障模式和趋势。通过训练算法，系统可以学习正常操作的特征，并检测异常行为。这有助于提前发现电池故障、传感器问题或控制器故障等常见的电气系统问题。AI还可以用于优化维护计划。通过预测性维护模型，系统可以根据设备的实际状况和使用情况来制定维护计划，避免不必要的维护工作，降低维护成本，并延长设备的寿命。这种方式可以减少停机时间，提高生产效率。此外，AI和ML还可以支持自主维修决策。设备可以自动检测问题并提供维修建议，甚至自动执行某些维护任务。这减轻了技术人员的工作负担，并提高了维修的效率和精确度。

（二）数据收集和分析对预测性维护的重要性

在车辆和工程机械的维护中，数据的收集和分析对于实现预测性维护至关重要。这一过程涉及采集各种数据，包括传感器数据、操作历史、环境条件等，然后使用分析工具来识别潜在的故障和性能下降。传感器数据是关键的信息来源。车辆和机械设备配备了各种传感器，用于监测温度、压力、电流、电压等参数。这些传感器实时捕捉设备的状态，允许系统检测异常行为。例如，通过监测电池电压和电流，可以识别电池健康状况，提前预测电池故障。操作历史记录提供了设备使用情况的重要信息。这包括启动和停止时间、负载变化、工作周期等。通过分析操作历史，可以确定设备的工作模式，从而更好地预测维护需求。例如，如果设备在高负载条件下运行时间较长，可能需要更频繁的维护。环境条件也是考虑因素之一，因为温度、湿度、尘埃等因素可能影响设备的性能和寿命。数据分析可以帮助确定这些外部因素对设备的影响，进而调整维护策略。最重要的是，数据分析可以识别潜在的故障模式和趋势，允许制定精确的预测性维护计划。这减少了突发故障的风险，提高了设备的可靠性和可用性。

（三）实时健康监测与故障预警系统

实时健康监测和故障预警系统是电气系统维护中的关键组成部分。这些系统通过连续监测设备和车辆的状态来提供实时反馈，以便及时采取行动，防止潜在故障或损坏。实时健康监测系统使用传感器和数据采集设备来监测各个关键组件的性能。例如，它们可以监测发动机的温度、油压、转速等参数。如果系统检测到异常或超出预设阈值的情况，它会发出警报，通知操

作员或维修人员。故障预警系统利用先进的算法和模型来分析实时数据，识别潜在的故障迹象。这些系统可以检测到故障模式的变化，例如传感器故障、线路问题或控制器异常。一旦识别出问题，系统会发出及时的警报，允许维修团队采取适当的维护措施，从而避免设备损坏或停机。此外，实时健康监测和故障预警系统还可以与车载诊断系统和远程诊断工具集成，以提供更全面的维护支持。这种集成允许维修团队通过云端服务获取更多信息，共享数据和维修历史，并获得远程支持和指导。

（四）云计算与大数据在智能维护中的应用

云计算和大数据技术在智能维护中的应用为电气系统的故障诊断和维护提供了强大的支持。云计算允许数据的集中存储和管理。大量的传感器数据、维修记录和操作历史可以在云服务器上进行存储和分析。这使得数据更容易访问和共享，不受地理位置的限制，为全球范围内的维护团队提供了协作和远程支持的能力。大数据技术可以处理海量数据，发现隐藏在其中的模式和趋势。通过分析多维数据，大数据算法可以更精确地识别潜在的故障，预测维护需求，从而降低设备停机时间和维修成本。云计算还支持实时数据传输和远程访问。维修团队可以随时访问设备的实时数据，监测健康状况，响应警报，并采取必要的行动。这种实时性和远程访问能力提高了维护的响应速度和效率。最重要的是，云计算和大数据技术可以提供维护数据的长期存储和分析，以改进维护策略和性能优化。通过历史数据的回顾，可以不断改进维护计划，提高设备的可用性和可靠性。^[10]

五、结语

现代道路与非道路车辆的电气系统故障诊断与智能维护已经成为一个不可忽视的领域。通过对故障类型的深入理解和采用先进的技术，我们可以更好地应对这些挑战。人工智能、机器学习、大数据和云计算为我们提供了强大的工具，帮助我们实现对车辆电气系统的实时监控和智能维护。未来，随着技术的进一步发展，我们有望见到更加高效、智能和自动化的车辆电气系统维护方法，为现代交通领域带来更大的安全性和可靠性。

参考文献

- [1] 张鹏. 工程机械大灯起雾的改善研究[J]. 中国机械, 2023, (15): 20-23.
- [2] 郭宇. 基建发力 工程机械行业稳中有升[N]. 中国工业报, 2022-07-07 (003).
- [3] 汽车. 工程机械电气系统全电子保险盒及电子零部件简介[J]. 汽车电器, 2022, (05): 96.
- [4] 段芳媛. 重点项目建设发力 工程机械作业迎来活跃期[N]. 中国证券报, 2022-03-21 (A06).
- [5] 裴宝浩, 邢勤, 于蓬, 周娟. 燃料电池工程机械发展现状与展望[J]. 建筑机械, 2021, (07): 10-15.
- [6] 张明军. 基于人机工程学理论的汽车起重机操纵装置改进与设计探析[J]. 现代农机, 2021, (02): 31-33.
- [7] 杨文娟. 工程机械机电一体化技术的应用与发展探索[J]. 内燃机与配件, 2021, (05): 188-189.
- [8] 时虹, 冯美龙, 张鹏飞, 杨嘉骏. 工程机械混合动力能量管理策略研究现状和发展趋势[J]. 南方农机, 2021, 52 (03): 20-22.
- [9] 申保军, 饶静, 杨立庆, 王超海. 汽车工程机械用钢表面“黑灰”原因分析与改进[J]. 河南冶金, 2020, 28 (06): 17-18+56.
- [10] 刘凯. 工程机械一键启动控制系统研究[J]. 建筑机械, 2020, (10): 44-46.