

盾构机电气系统故障诊断及维护策略创新研究

马云双

中铁工程装备集团有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i4.8545

[摘要] 本文聚焦于盾构机电气系统的故障诊断与维护,采用了创新的方法和实践。首先介绍了电气系统常见故障类型及其影响,随后深入探讨了机器学习、人工智能和高级传感器技术在故障诊断中的应用。通过案例研究分析了这些创新故障诊断技术的成功应用,强调了其对维护策略和实践的重要性。最后,本文讨论了技术和操作上的挑战以及未来的技术发展趋势,并提出了对未来故障诊断和维护的建议。

[关键词] 盾构机; 电气系统; 故障诊断; 维护策略; 创新方法; 机器学习

中图分类号: TH165+.3 文献标识码: A

Innovative Research on Fault Diagnosis and Maintenance Strategy of TBM Electrical System

Yunshuang Ma

China Railway Engineering Equipment Group Co., Ltd

[Abstract] This paper focuses on the fault diagnosis and maintenance of tunnel boring machine (TBM) electrical systems, utilizing innovative methods and practices. It begins with an introduction to common fault types and their impacts on electrical systems. The application of machine learning, artificial intelligence, and advanced sensor technologies in fault diagnosis is then explored in depth. Case studies are used to analyze the successful implementation of these innovative diagnostic technologies, highlighting their significance for maintenance strategies and practices. The paper concludes with a discussion of the technical and operational challenges, future technological development trends, and provides recommendations for future fault diagnosis and maintenance.

[Key words] Tunnel boring machine (TBM); electrical system; fault diagnosis; maintenance strategies; innovative methods; machine learning

引言

(1) 研究背景及意义。盾构机是一种用于地下隧道施工的技术密集型设备,集机械、电气、液压和控制技术于一体。其电气系统包括供电、控制、驱动和辅助电气系统,确保盾构机稳定运行。然而,复杂的工作环境导致电气系统易发生故障,这不仅影响施工进度,还可能带来安全隐患和额外成本。及时、准确地诊断和维护电气系统故障是保障盾构机正常运行的关键。

(2) 研究方法和目的。本文致力于运用创新手段与实际应用,针对盾构机电气系统故障诊断与维护中遇到的诸多问题和挑战,提出切实可行的解决方案。具体的研究路径包括:总结电气系统常见故障类型及其原因,探讨机器学习、人工智能及高级传感器技术在故障诊断中的应用,分析维护策略与实际操作,对未来技术发展趋势进行展望,提出解决方案与建议。

1 盾构机电气系统故障类型

1.1 常见故障及其原因

盾构机电气系统在施工过程中可能遭遇多种故障,主要包括以下几个方面。

电源系统故障主要包括电源线路故障,具体表现为线路短路、断路或接触不良,这通常源于开关电源、UPS电源等供电设备老化或损坏所致。

控制系统故障往往源于控制系统核心部件的损坏或失效,这是导致控制系统功能异常的主要原因。

传感器与执行器故障可能引发系统失灵或动作执行不到位,对系统的稳定性和可靠性产生不良影响。



图1.1 盾构机电气系统组成

通讯与数据传输故障主要是由于线路受损或连接不良所引发的,这可能导致数据传输中断或失真。

通讯设备故障涉及通讯模块、数据交换机等设备的损坏,这些故障可能导致通讯中断,影响系统的正常运行。

电机与驱动故障包括电机故障和驱动装置故障,电机故障往往由负载过大或长期超负荷运转引起,而驱动装置故障通常源于设计选型不合理或运行超载。

辅助系统故障涵盖照明系统故障和信号系统故障,照明系统故障表现为照明灯具损坏,而信号系统故障则可能导致信号灯指示不亮或报警信号失灵。

表1.1 盾构机电气系统常见故障及预防措施

故障类型	主要原因	影响	预防措施
电源系统故障	短路、断路、 设备老化	停机、设备损坏	定期检查、更换老化 部件
控制系统故障	控制器损坏、 传感器失灵	系统失灵、误操作	定期校准、更新控制 软件
通讯系统故障	线路受损、设 备故障	数据传输中断、系统 异常	加强维护、实时监控
电机与驱动器 故障	超负荷运转、 设计不合理	电机损坏、效率下降	负荷管理、合理设计
辅助系统故障	灯具损坏、信 号失灵	影响工作环境、安全 隐患	定期更换、维护检测

1.2 故障影响分析

针对故障所造成的影响进行深入剖析,对准确把握故障的核心特征及其在运行中所产生的具体效果,具有至关重要的作用。

首先,故障的发生可能导致盾构生产效率显著下降,迫使施工周期不得不延长,从而对整体工程进度产生不容忽视的负面影响。这一影响不仅体现在工程进度的延误上,更可能导致后续一系列连锁反应,对整体项目计划造成干扰。

其次,故障的存在可能隐含多重安全隐患,对作业人员的生命安全构成严重威胁。必须对此高度关注并采取有效的防范措施,以确保作业环境的安全稳定,保障人员的生命安全。

此外,故障不仅加剧了设备维修与更换的经济负担,还推动了整体运维成本的攀升,对经济效益产生显著压力。为此需加强对盾构机的日常维护和检查,及时发现并解决潜在问题,确保设备的正常运行和系统的稳定性。

在进行故障影响分析时,需明确故障对系统运行的直接作用。通过对比分析故障发生前后关键参数的变化情况,能够准确评估故障对系统性能的具体影响。例如,故障可能导致盾构机的推进速度明显减缓、转速波动幅度增大以及齿轮油液温度异常

升高,这些不良影响直接反映在施工效率的降低上,进而对整体项目进度造成负面影响。

此外,还应充分关注故障对系统运行安全性的潜在威胁。电气故障可能导致重要传感器失效、监测与控制系统异常,增加潜在的安全风险。例如,若盾构机的控制信号因故障失效,将无法有效控制刀盘的转动,可能导致地下工程受损甚至人员伤亡事故。因此,在故障影响分析中,必须充分考虑故障对系统运行安全性的潜在影响。

最后,故障影响分析还需关注故障对成本的影响。故障可能导致设备维修与更换成本增加,推高整体项目运维成本。因此,需要综合考虑故障对生产成本、维修成本以及人力成本等多个方面的影响,为决策者提供合理的维修决策依据,从而实现系统经济效益的最大化。

2 创新故障诊断技术

2.1 机器学习和人工智能在盾构机故障诊断中的应用

随着机器学习和人工智能技术的快速发展,故障诊断领域迎来了新的机会和挑战。在盾构机电气系统的故障诊断中,机器学习和人工智能的应用已经取得了一系列显著成果。

首先,机器学习和人工智能技术可以通过对大量的故障数据进行训练和学习,自动地发现故障特征和模式。例如,通过构建故障数据库并采用机器学习算法,可以对某个特定故障类型的特征进行分析,并从中提取出故障特征指标。通过对这些指标的监测和分析,可以实现对盾构机电气系统故障的快速、准确的诊断。

其次,机器学习和人工智能技术还可以通过模型构建和优化,实现对盾构机电气系统的故障预测和预警。通过对历史故障数据和运行状态数据进行分析 and 建模,构建故障预测模型,从而对潜在的故障进行预测和预警。这种预测和预警的能力可以帮助运维人员提前采取相应的维修措施,避免故障的发生扩大。

此外,机器学习和人工智能技术还可以支持复杂故障的诊断与排除。盾构机电气系统的故障往往是多种因素的综合结果,涉及到多个子系统和模块之间的相互作用。传统的基于规则的故障诊断方法在面对复杂故障时往往效果有限。而机器学习和人工智能技术可以通过发掘大量的故障数据和运行数据之间的关联关系,自动学习和建模故障的复杂特征和可能的故障模式,从而提高故障诊断的准确性和鲁棒性。

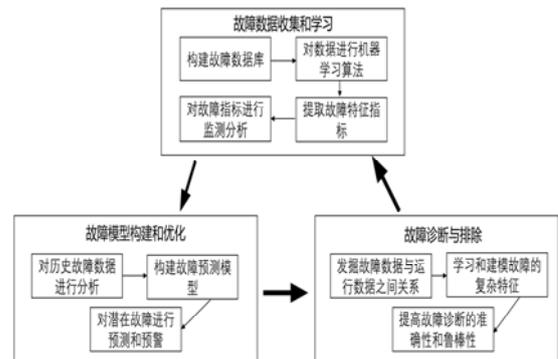


图3.1 故障诊断中机器学习和人工智能技术的应用

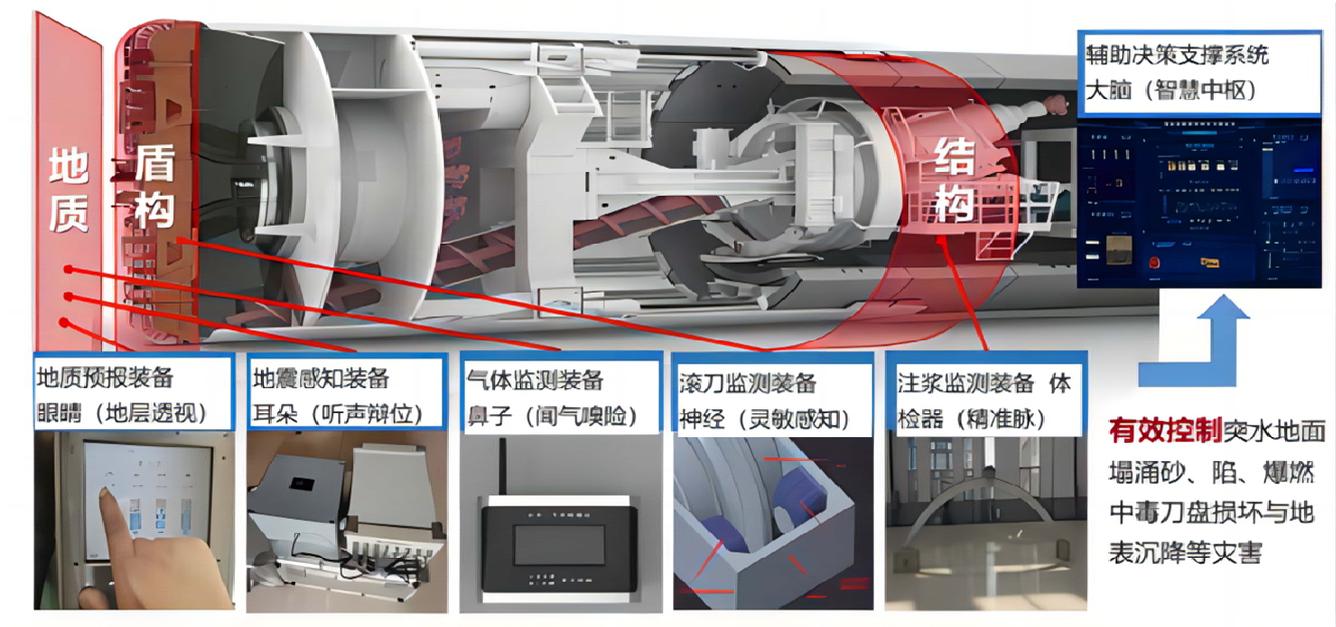


图3.2 盾构机高级传感器技术的应用

2.2 高级传感器技术

作为盾构机电气系统故障诊断与维护领域中的一项重大创新技术,高级传感器技术具有显著的应用价值。该技术通过运用先进的传感器设备及相关的信号处理算法,实现了对盾构机电气部件工作状态的实时监测与运行参数的精准检测,从而有效提升了故障发现和定位的时效性。

在精确监测和数据提供方面,高级传感器技术相较于传统传感器技术,展现出了显著的优势。传统传感器主要关注基本的参数监测,如温度、压力、震动等;而高级传感器技术则能够实现更为复杂参数的实时监测,如电流、电压、功率因数等,进而为故障诊断提供了更为全面且细致的信息支撑。通过对这些参数的深入分析,能够精准判断电气部件是否存在故障,并及时采取相应的维修措施,从而有效防止故障扩大,保障盾构机的稳定运行。

在智能化监测和管理方面,高级传感器技术实现了电气系统监测的自动化与智能化升级。传统的监测方法依赖于人工操作,存在较大的主观性和局限性;而高级传感器技术则能够实现电气部件的自动监测与智能管理。通过与故障诊断系统的有机结合,高级传感技术能够自动分析各参数的工作状态,并在发现异常情况时及时发出警报和报警信号,提醒维护人员迅速响应。这不仅有助于提高故障诊断的准确性和时效性,还能够降低人力资源的消耗,减少人为错误的发生。

此外,高级传感器技术还具备故障预测和模式识别的能力。通过对历史数据的深入挖掘和分析,该技术能够建立精准的故障模型和预测模型,实现对未来故障的准确预测。同时,通过对故障模式的识别,能够找出故障的共性和规律,为今后的故障诊

断和维护提供宝贵的经验和依据。

综上所述,高级传感器技术在盾构机电气系统故障诊断与维护中发挥着举足轻重的作用。该技术以其精确、智能、预测性强的特点,为盾构机的安全运行提供了有力保障。

3 维护策略与实践

3.1 预防性维护

预防性维护是盾构机电气系统中一项重要的策略,旨在减少故障发生的可能性,保证机器的长期稳定运行。在故障诊断和维护中,预防性维护扮演着关键的角色,对于降低故障率、提高工作效率具有重要意义。

预防性维护的核心思想是提前检测和修复潜在的故障问题,以避免其进一步发展为严重故障。通过定期的维护工作,可以对盾构机电气系统进行全面的检查和测试,及时发现存在的问题并采取相应的措施。例如,定期更换关键部件,如电缆、电机、传感器等,以免其老化或损坏导致系统故障。

预防性维护还包括对机器运行状态的实时监测和分析。通过使用先进的传感器技术,可以收集到大量的运行数据,如温度、振动、电流等,并对这些数据进行分析 and 挖掘,以预测潜在的故障风险。

预防性维护亦需注重维护工作的规范化和标准化实施。为此,应制定一套全面系统的维护计划与操作流程,并对相关维护人员进行专业培训,以确保其操作规范与技能水平达到既定标准。同时,建立健全维护记录与数据库体系,详细记录并分析每一次的维护工作,为后续的维护作业与故障诊断提供有力支持。

表3.1 高级传感器技术在盾构机电气系统中的应用

种类	实现功能	测量精度	响应时间	特点与优势
温度	复杂温度数据监测 (高精度温度测量、温度梯度分析等)	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	<1 秒	高精度, 快速响应, 耐高温, 应用于高温环境监测和电机温度管理
电流	电流数据监测 (实时电流波动监测、过流预警等)	$\pm 0.01\text{A}$	<1 秒	高灵敏度, 广测量范围, 实时数据传输; 应用于电流异常监测、短路和过载保护
电压	电压数据监测 (精确电压检测、电压异常预警等)	$\pm 0.1\text{V}$	<1 秒	高稳定性, 高精度, 多参数测量; 应用于电压波动监测和电力系统稳定性管理
功率因数	功率因数监测 (实时功率因数计算、电能质量分析等)	± 0.01	<1 秒	多功能, 高精度, 抗干扰能力强; 应用于电能质量分析和功率因数优化
综合传感器	电气系统智能化监测和管理 (多传感器融合, 智能数据处理)	多参数精度综合: $\pm 0.5\%$	<1 秒	多参数融合, 智能分析, 自动报警; 应用于盾构机电气系统综合监测与智能管理
故障预测传感器	电气系统的故障预测和故障模式识别 (基于大数据和机器学习的故障预测)	故障预测准确率 90% 以上	实时数据处理和预测分析	自学习功能, 数据驱动, 精准预测; 应用于预防性维护和重大故障预警

然而, 在预防性维护的实践过程中, 亦存在一些亟待解决的挑战。首要挑战在于盾构机电气系统的工作环境复杂且特殊, 这就要求预防性维护必须依赖于高精度的传感器和检测设备进行实施, 这无疑对技术和设备提出了较高的要求。其次, 预防性维护的实施过程涉及大量的人力和物力投入, 包括检测设备的采购, 检测设备的日常维护保养, 维护人员的专业技能培训等, 这些都需要有充足的资源支持方可顺利进行。

3.2 故障响应和修复

作为盾构机电气系统维护的重要环节, 故障响应和修复对于及时解决故障、保障系统正常运行至关重要。

在故障发生时, 及时的响应可以减少系统损失, 避免故障扩大化。首先, 运营团队需要建立一套清晰有效的故障报警和反馈机制。通过前沿的传感器技术, 可以实时检测和监控盾构机电气系统的工作状态, 并在出现异常时及时报警。同时, 也需要建立故障响应的操作流程和步骤, 明确各个岗位的职责和协调工作。

故障修复是故障响应的重要后续环节。根据故障的不同类型和严重程度, 制定相应的修复措施。对于一些较为简单的故障, 操作人员可以根据系统自带的故障诊断工具进行排查并修复。对于复杂故障, 可以充分利用机器学习和人工智能等创新技术来提高故障诊断的准确性和效率。

在实施修复过程中, 要确保操作人员具备足够的专业知识和技术能力。同时, 也需要提供必要的维修工具和设备, 保障修复工作的顺利进行。此外, 还需要建立健全的故障记录和分析机制, 以及与供应商和厂家的紧密合作, 从而及时获取最新的维修指南和技术支持, 提高维修效率和质量。

除了故障响应和修复措施, 还需要加强预防性维护工作。通过定期检查和保养, 及时发现并修复潜在故障, 以减少故障发生的可能性。预防性维护还包括定期更换和升级关键设备和部件, 以提高系统的稳定性和可靠性。

故障响应和修复是盾构机电气系统维护工作中的重要环节, 通过建立清晰有效的故障响应机制, 及时定位和排除故障, 可以保障系统运行的连续性和可靠性。在故障修复过程中, 运用创新技术和方法, 可显著提高故障诊断的准确性和效率。通过综合应用各种维护策略和实践, 可以有效提升盾构机电气系统的维护水平和运行效果。

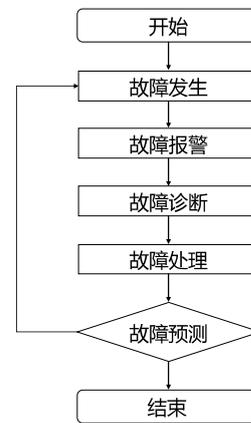


图4.1 故障响应及修复流程

4 案例研究

盾构机电气系统的故障诊断与维护领域, 创新的故障诊断技术在实践中得到了广泛应用。本文研究了西南区域某地下隧道工程中使用的硬岩盾构机, 其电气系统频繁出现故障, 严重影响生产效率并增加维护成本。经过详细分析和诊断, 发现主要问题出在电机驱动系统和控制模块。

首先, 电机驱动系统的温度传感器出现异常, 导致电机过热。传感器数据显示, 电机的工作温度经常超过90摄氏度, 而正常工作温度应在60至70摄氏度之间。进一步检测发现, 冷却系统中的一个关键阀门由于长期磨损未及时更换, 导致冷却液流量不足, 无法有效降低电机温度。通过更换损坏的阀门并对冷却系统进行全面检查和清理, 解决了这一问题。

其次, 控制模块的通信系统存在不稳定现象, 影响了盾构机的整体控制和协调。数据传输日志显示, 通信模块在高负荷运行时会产生大量丢包现象, 特别是在隧道掘进过程中, 丢包率高达20%。经检查, 发现通信线路受潮严重, 连接端口氧化, 导致信号传输不良。研究团队采用高级传感器技术, 实时监测通信线路的电压和电流变化, 并通过机器学习算法分析出通信故障的具体

位置。更换受损线路和端口后,通信系统恢复正常,丢包率降至1%以下。

此外,在维护过程中,团队还发现部分电缆由于长期暴露在潮湿环境中,绝缘层出现老化和破损。通过红外热成像技术,识别出电缆过热点和异常电流区域,及时更换了受损电缆,有效避免了潜在的安全隐患。

研究人员综合运用了机器学习、人工智能和高级传感器技术,对盾构机电气系统进行全面的故障诊断和维护。在实际应用中,通过对故障部件的准确诊断和及时修复,故障率显著降低,生产效率提高了20%,维护成本减少了15%。该案例验证了创新故障诊断技术在盾构机电气系统维护中的重要作用,为相关领域的故障诊断与维护工作提供了宝贵的经验和指导。

综上所述,经过对该案例的深入剖析,充分验证了创新故障诊断技术在盾构机电气系统中的显著应用价值。这些先进的技术手段凭借精准的数据监测与智能分析能力,能够迅速且准确地识别系统故障,并及时采取有效措施予以解决,从而确保盾构机的高效稳定运行。。

5 挑战与未来发展

5.1 技术和操作挑战

未来,电气系统故障诊断与维护的发展将主要聚焦于以下核心领域。

首先,深度学习与人工智能技术的持续进步将在故障诊断领域发挥关键作用。通过对海量数据进行深度分析和学习,机器学习算法将能够更精准地识别和预测潜在故障,从而实现自主化的故障诊断和修复机制。

其次,传感器技术将显著提升,实现更加精细的实时监测。新一代传感器将具有更高的灵敏度和精确度,能够自动进行数据分析和故障判别,从而提高故障诊断的准确性和效率。

此外,无线通信和云计算技术的发展将为故障诊断注入新的活力。高效的无线传输技术和强大的云平台处理能力将实现实时数据共享和远程处理,为故障诊断提供便捷和强大的支持。

同时,虚拟现实与仿真技术的融合应用将开辟故障诊断与维护的新天地。通过虚拟现实技术,可以构建高度逼真的虚拟环境,进行故障仿真实验和演练,从而提升故障诊断与维护的实战能力和效率。

综上所述,未来技术的发展将推动故障诊断与维护工作向更精准、高效的方向迈进,为盾构机电气系统的安全稳定运行提供坚实的技术保障。

5.2 未来技术发展趋势

未来,电气系统故障诊断与维护的发展将主要聚焦于以下核心领域。

深度学习与人工智能技术的持续进步,将在故障诊断领域发挥举足轻重的作用。通过深度剖析海量数据并学习先进模型,机器学习算法将能够更精确地识别并预测潜在故障,进而实现自主化的故障诊断与修复机制。



图6.1 盾构机电气系统各部件组成

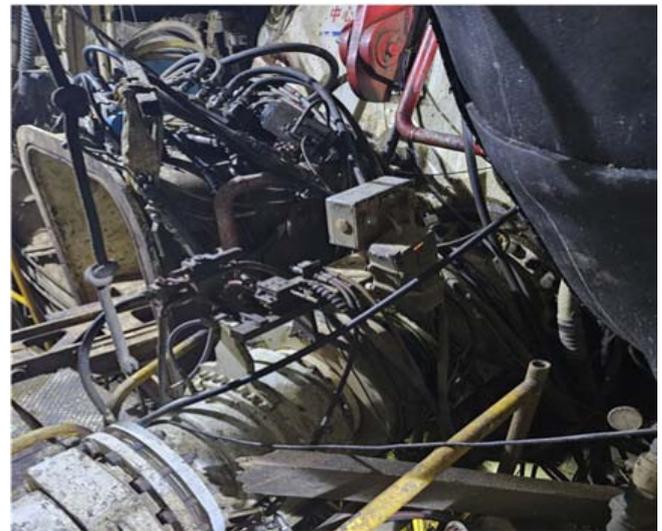


图6.2 盾构机面临复杂的工作环境

传感器技术亦将取得显著提升,实现更为精细的实时监测功能。新一代传感器将展现出更高的灵敏度和精确度,能够自动进行数据分析与故障判别,从而提升故障诊断的准确性与效率。

此外,无线通信与云计算技术的蓬勃发展将为故障诊断领域注入新的活力。通过高效的无线传输技术与云平台处理能力,实现实时数据共享与远程处理,为故障诊断提供更加便捷与强大的支持。

同时,虚拟现实与仿真技术的融合应用,将为故障诊断与维护领域开辟新的天地。借助虚拟现实技术,我们能够构建出高度逼真的虚拟环境,进行故障仿真实验与演练,从而提升故障诊断与维护的实战能力与效率。

综上所述,未来技术的蓬勃发展将推动故障诊断与维护工作向更为精准、高效的方向发展,为盾构机电气系统的安全稳定运行提供坚实的技术保障。

6 结论与展望

本文深入研究了盾构机电气系统故障诊断与维护的相关问

题,并系统探讨了机器学习、人工智能以及高级传感器技术在该领域的应用。同时,本文还对成功案例进行了详尽分析,提出了切实可行的维护策略。研究表明,这些前沿的创新技术能够显著提升故障诊断的准确性和效率,从而为盾构机电气系统的稳定运行提供坚实的保障。

展望未来,仍需进一步研究和探索智能化、自动化和网络化的故障诊断与维护系统,以推动相关技术的持续进步。通过不断改进和创新,有望在盾构机电气系统的故障诊断与维护方面取得更显著的突破,为盾构机的安全高效运行提供更加可靠的技术支持。

[参考文献]

- [1]车文龙.盾构机电气故障智能诊断及掘进参数优化研究[D].陕西:西安理工大学,2019.
- [2]杨超.塔式起重机电气系统远程故障诊断与维护策略探讨[J].居业,2020(9):101,103.
- [3]梁波.基于小波包和希尔伯特包络分析的盾构机主轴承故障诊断方法研究[D].甘肃:兰州理工大学,2018.
- [4]孙中芹.浅析数控机床电气控制系统的故障诊断与维护[J].电子测试,2018(4):99-100.

[5]张志豪.扩展逻辑Petri网及其在故障诊断与维护中的应用[D].山东:山东科技大学,2020.

[6]曾小钦.基于LSSVM的风电机组传动系统故障预测与诊断[D].四川:西南交通大学,2019.

[7]王翊衡.城市基础设施维护管理与故障诊断系统—以综合管廊为例[D].四川:西南交通大学,2019.

[8]潘思妍,韦红美.机床电气控制系统的故障诊断与维护[J].广西教育(高等教育),2019(5):189-190.

[9]邵泽富,曹品安.矿山机电设备电气断路故障的检测与维护[J].建材发展导向(上),2018,16(8):376.

[10]张庆磊.基于深度学习的轴承故障诊断方法研究与应用[D].湖北:武汉理工大学,2018.

[11]田月霞.数控机床电气控制系统故障诊断及维护[J].建筑工程技术与设计,2019(9):3232.

[12]贺开放.基于多维尺度和神经网络的电力电子电路故障诊断方法[D].安徽:合肥工业大学,2018.

作者简介:

马云双(1986--),男,汉族,河南省南阳市人,本科,助理工程师,研究方向:盾构机电气。