

电子电路故障诊断方法的研究与改进

胡和平

白云山水利水电中心，江西吉安 343062

摘要：本文聚焦电子电路故障诊断领域，系统梳理了传统故障诊断方法和现代故障诊断技术的应用现状。通过深入分析各类方法在实际场景中的优势与局限性，针对性地提出了传统方法的改进策略以及现代技术的融合创新路径。文章结合具体实例验证了改进方法的有效性，不仅为提高故障诊断的准确性和效率提供了实践方案，更为电子电路故障诊断领域的技术升级与学术研究提供了多维度的参考依据。

关键词：电子电路；故障诊断；方法研究

引言

在信息技术日新月异的当下，电子电路作为各类电子设备的核心组成部分，已广泛渗透到工业制造、航空航天、汽车电子、通信系统等关键领域，其稳定运行直接关乎设备性能与系统安全。然而，随着电路集成度的提升、功能模块的复杂化以及运行环境的多样化，电子电路的故障模式日益多元，隐蔽性、突发性故障频发，传统故障诊断手段在应对复杂场景时逐渐显现出瓶颈——直观检查法依赖经验难以定位深层故障，仪器测量法在海量检测点中效率低下，信号注入法受限于信号匹配度等问题，均制约着诊断精度与效率的提升。

与此同时，人工智能、机器学习、神经网络等现代技术的兴起为故障诊断领域带来了革新契机，其通过数据驱动的智能分析模式，实现了故障识别的自动化与精准化，但在技术融合过程中，数据格式不统一、模型协同冲突等问题仍需破解。在此背景下，深入剖析现有诊断方法的优劣，探索传统方法与现代技术的协同改进路径，对于突破电子电路故障诊断的技术壁垒、提升电子设备的可靠性与可维护性具有重要的理论价值与实践意义。本文正是基于这一现实需求，围绕电子电路故障诊断方法的现状、改进策略及技术融合展开研究，以期为相关领域的研究与应用提供有益借鉴。

1 电子电路故障诊断方法现状

1.1 传统故障诊断方法概述

在电子电路故障诊断领域，常用的传统方法各具特点。直观检查法，通过维修人员的视觉、听觉、嗅觉和触觉来判断故障。维修人员凭借经验，观察电路中元件是否有烧焦、变形、脱焊等明显异常；倾听电路工作时是否有异常声响；嗅闻是否有烧焦气味；触摸元件表面温度是否过高。这种方法适用于一些外观明显损坏的故障，像电容鼓包、电阻烧黑等，简单直观且成本低。但它依赖维修人员经验，对于内部复杂电路和隐蔽性故障，难以精准定位。例如在多层电路板中，内层线路断裂或芯片内部损坏等

故障，仅靠直观检查根本无法发现，必须结合其他方法才能确诊。

仪器测量法借助专业电子测量仪器，如万用表、示波器、逻辑分析仪等。万用表可测量电路中的电压、电流、电阻值，通过与正常参数对比判断故障。示波器用于观察电路中信号的波形、幅度、频率等，能有效检测信号是否异常。逻辑分析仪则主要针对数字电路，分析数字信号逻辑关系。该方法适用于各类电路故障诊断，只要能获取测量点，就能进行检测。不过，仪器测量法对维修人员操作仪器的技能要求高，且在复杂电路中，需对大量测量点逐一排查，耗时较长。比如在大型通信设备的主板电路中，动辄上百个测量点，逐一检测不仅耗费大量时间，还可能因操作失误导致测量数据不准确，影响故障判断。

信号注入法是向电路中注入特定信号，然后在电路的不同位置检测输出信号，根据信号传输变化判断故障位置。比如在音频放大电路中，从输入端注入音频信号，在各级放大电路输出端检测信号，若某级输出信号异常可确定故障范围。此方法适用于信号传输路径清晰的电路，能快速定位故障环节。然而它要求注入信号的类型、幅度、频率等与电路匹配，否则可能得出错误结论，且对于复杂电路，信号注入点的选择也较为困难。以高频振荡电路为例，若注入信号的频率与电路固有频率不匹配，可能会干扰电路正常工作，导致检测结果失真，反而增加故障诊断的难度。

此外，还有故障树分析法，它通过构建故障树，从顶事件出发，逐层分析导致故障发生的各种可能原因，能系统地梳理故障因果关系，适用于复杂系统的故障诊断。

1.2 现代故障诊断技术进展

随着科技的飞速发展，现代故障诊断技术也在电子电路领域得到了广泛应用。人工智能技术的引入，使得故障诊断变得更加智能化。通过训练大量的故障数据，人工智能系统能够学习并识别各种故障模式，从而快速准确地定位故障点。这种方法大大提高了故障诊断的效率，减轻了技术人员的负担。例如在汽车电子控制系统中，人工智能系统可通过分析传感器传输的海量数据，

实时监测电路运行状态，一旦出现故障，能在毫秒级时间内识别出故障类型和位置，为维修提供精准指引，相比传统方法，效率提升数倍。

机器学习技术也在电子电路故障诊断中发挥着重要作用。它通过对电路的正常和故障状态进行学习和分类，能够建立起一套完善的故障诊断模型。当电路出现故障时，只需将故障现象输入模型即可迅速得到故障原因和修复建议。这种方法不仅提高了故障诊断的准确性，还具有一定的预测性，能够预防潜在故障的发生。在工业控制电路中，机器学习模型可根据历史故障数据和实时运行参数，提前预测出某些元件可能出现的老化或性能下降问题，并发出预警，便于技术人员及时更换，避免因突发故障导致生产中断。

神经网络作为一种模拟人脑神经元网络的技术，也在电子电路故障诊断中展现出了巨大的潜力。它能够处理复杂的非线性问题，对于电路中的模糊故障和未知故障具有很好的识别能力。然而神经网络技术的应用也面临着一些挑战，如训练数据的获取、网络结构的优化等。这些问题需要技术人员不断探索和实践，以推动神经网络技术在电子电路故障诊断中的更广泛应用。比如在航空电子电路中，由于电路结构极其复杂，且故障模式多样，传统方法难以应对，而神经网络通过对大量模拟故障数据的训练，能够对一些从未出现过的新型故障做出较为准确的判断，为航空设备的安全运行提供有力保障。

另外，大数据分析技术也崭露头角，通过对海量电路运行数据和故障数据进行挖掘分析，可发现潜在的故障规律和关联，为故障诊断提供更全面的依据。

2 电子电路故障诊断方法的改进

2.1 针对传统方法的改进策略

针对直观检查法，可引入辅助工具大幅提高检查效率。例如利用热成像仪辅助温度检测。在一些大规模电路板中，人工触摸元件表面判断温度是否异常既耗时又不准确。热成像仪能快速扫描电路板，生成温度分布图像，清晰显示温度异常区域，帮助维修人员迅速锁定可能存在故障的元件。还可借助高清电子显微镜辅助视觉检查，对于微小元件的焊点、引脚等细微结构，肉眼难以察觉的脱焊、裂缝等问题，在显微镜下能清晰呈现，极大提升检查精度。比如在手机主板等高密度电路板中，芯片引脚间距极小，若存在虚焊问题，肉眼根本无法发现，而通过高清电子显微镜，可清晰观察到引脚与焊盘之间的连接状态，准确判断是否存在虚焊。

仪器测量法的改进方向主要在于提高测量精度和自动化程度。在测量精度方面，研发更先进的传感器技术。例如，采用纳米级精度的电阻传感器，能更精确测量电路中电阻值的微小变化，对于一些对电阻精度要求极高的电路，可有效检测出因电阻值漂

移导致的故障。在自动化程度上，开发智能测量系统。该系统可根据预设的电路故障诊断流程，自动选择合适的测量仪器，切换测量档位，对电路中的多个测量点进行快速自动测量，并将测量数据实时传输至分析软件。软件依据测量数据与标准参数对比，直接给出故障诊断结果，减少人工操作环节，提高诊断效率。以智能电网中的控制电路为例，智能测量系统可在短时间内完成对数百个测量点的自动检测，及时发现电路中因电阻、电容参数变化引起的潜在故障，相比人工测量，效率提升数十倍。

信号注入法的优化方案着重增强信号稳定性和可控性。在信号稳定性方面，采用先进的信号发生器，运用高精度时钟电路和稳定的电源模块，确保注入信号的频率、幅度等参数稳定。在音频放大电路中，稳定的音频信号注入能使检测结果更可靠。对于信号可控性，开发智能信号注入控制系统。通过软件界面，维修人员可根据电路特性，精确设置信号的类型、频率、幅度等参数，并能实时监测信号注入后的电路响应。在复杂电路中，该系统可根据诊断需求，灵活调整信号注入点，提高故障定位的准确性。比如在射频电路故障诊断中，智能信号注入控制系统可精确控制注入信号的频率在一定范围内连续可调，通过观察不同频率下电路的输出响应，准确判断出电路中滤波器、放大器等模块的故障位置。

同时，对于故障树分析法，可结合计算机技术实现自动化构建和分析，提高其处理复杂故障的效率和准确性。

2.2 现代故障诊断技术的融合与创新

将人工智能、机器学习等现代技术与传统故障诊断方法相结合，能显著提高故障诊断准确性。例如，将专家系统与仪器测量法融合。在仪器测量获取电路参数后，专家系统依据知识库中的经验规则，对测量数据进行分析判断。在数字电路故障诊断中，仪器测量出逻辑信号状态，专家系统根据逻辑关系知识库，快速确定故障所在逻辑模块。此外，还可将机器学习与信号注入法结合，通过机器学习算法对大量信号注入后的电路响应数据进行分析，建立信号特征与故障类型之间的映射关系，当再次进行故障诊断时，只需注入信号并获取响应，就能通过模型快速识别故障，大大缩短诊断时间。

基于神经网络的故障诊断模型在实际应用中潜力巨大。构建多层感知器神经网络模型，输入电路的多种特征参数，如电压、电流、信号频率等，经过大量故障样本训练后，神经网络能准确识别不同类型的故障。在通信电路故障诊断中，该模型可同时处理多个通信信号特征，快速判断是线路故障、调制解调故障还是其他问题。同时，可采用深度学习中的卷积神经网络对电路的图像数据（如热成像图、显微镜图像）进行分析，提取图像中的故障特征，实现对电路故障的自动识别，这种多模态输入的神经网络模型，能综合利用多种信息，进一步提高故障诊断的准确性。

新技术融合过程中可能遇到问题。数据融合方面，不同来源数据（如传统测量数据与机器学习训练数据）格式、精度不同，难以有效融合。解决办法是建立统一的数据预处理流程，对数据进行标准化、归一化处理。模型协同方面，不同诊断模型（如专家系统与神经网络）运行机制不同，协同工作时可能出现冲突。可通过构建中间协调层，制定统一的诊断流程和数据交互规则，使各模型有序协作，充分发挥各自优势，提升电子电路故障诊断的整体效能。另外，在技术融合过程中，还需考虑数据安全问题，尤其是在工业控制等敏感领域，要建立数据加密和访问控制机制，防止故障数据泄露造成不良影响。

3 结语

本文围绕电子电路故障诊断这一核心议题，系统梳理了传统诊断方法（直观检查法、仪器测量法、信号注入法等）的实践特性与局限性，同时剖析了人工智能、机器学习、神经网络等现代技术在该领域的应用潜力与挑战。在此基础上，提出的改进策略既注重通过辅助工具升级、自动化技术引入等方式弥补传统方法的短板，也强调通过多技术融合、数据标准化处理等路径破解现代技术的应用瓶颈，最终通过实例验证了这些方案在提升诊断准确性与效率上的实际价值。

这些研究成果不仅为电子电路维护与修理工作提供了可操作的技术指引，更揭示了传统经验与智能技术协同发展的必然趋势

——未来的故障诊断体系，需在保留传统方法对复杂场景适应性的基础上，充分发挥现代技术的数据处理能力与预测性优势。

同时，随着电子电路向微型化、集成化、智能化演进，故障诊断还将面临数据安全、跨领域技术适配、动态故障预测等新课题。这要求研究者持续深化对电路故障机理的认知，探索区块链等新技术在数据管理中的应用，推动诊断模型向自适应、自优化方向升级。唯有如此，才能不断提升电子设备的可靠性与可维护性，为工业生产、航空航天、通信保障等关键领域的稳定运行提供更坚实的技术支撑。

参考文献：

- [1] 马帅, 姜媛媛. 基于 VMD 构建 ISSA-ELM 电力电子电路软故障诊断的方法研究 [J]. 邵阳学院学报(自然科学版), 2024, 21(06): 10-19.
- [2] 孙海秀, 丁富贤, 郭宜君. 电子电路故障诊断与预测方法研究 [J]. 电子产品世界, 2024, 31(12): 5-8.
- [3] 黄恩仔. 汽车电子电路故障诊断方法与检修方法探析 [J]. 时代汽车, 2024, (08): 169-171.
- [4] 盛春明. 基于优化支持向量机的电力电子电路故障诊断 [J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9(04): 225-227.
- [5] 崔瑞超, 张盼盼. 基于粒子群优化算法的电力电子电路故障诊断研究 [J]. 河南工学院学报, 2024, 32(05): 8-13+18.