

# 面向智能电网的电表检测技术及拓扑识别的创新探索

吴建国

浙江瑞银电子有限公司 浙江杭州

**【摘要】**在智能电网迅速发展的当下，电表检测技术及拓扑识别至关重要。本文深度剖析现有技术局限，如传统电表检测精度不足、拓扑识别方法滞后等问题。积极探索创新路径，从提升检测精度的新型技术，到基于先进算法的拓扑识别优化。

**【关键词】**智能电网；电表检测技术；拓扑识别；创新

**【收稿日期】**2025 年 1 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 14 日 **【DOI】**10.12208/j.ijme.20250013

## Innovative exploration of meter detection technology and topology identification for smart grids

Jianguo Wu

Zhejiang UBS Electronics Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang

**【Abstract】**In the context of the rapid development of smart grids, meter detection technology and topology identification are of critical importance. This paper provides an in-depth analysis of the limitations of existing technologies, such as insufficient accuracy in traditional meter detection and outdated topology identification methods. It actively explores innovative approaches, ranging from new technologies to enhance detection accuracy to the optimization of topology identification based on advanced algorithms.

**【Keywords】**Smart Grid; Meter Detection Technology; Topology Identification; Innovation

### 引言

智能电网作为能源领域的创新变革力量，正重塑电力系统的运行模式。其融合了先进通信、信息技术，对电表检测技术及拓扑识别的精度、效率与实时性提出了前所未有的要求。传统技术在面对智能电网复杂多变的电力流、信息流时，逐渐显露出不足。为充分发挥智能电网优势，深入推进电表检测技术及拓扑识别的创新探索已刻不容缓，本文将就此展开深入研究。

### 1 智能电网中电表检测技术及拓扑识别的现状分析

#### 1.1 现有电表检测技术的原理与应用情况

目前，常见的电表检测技术包括模拟式检测和数字式检测。模拟式检测基于电磁感应原理，通过测量电流、电压产生的磁场或电场力来确定电量，在早期电表检测中广泛应用，具有结构简单、成本低的特点。然而，其测量精度有限，易受外界干扰，难以满

足智能电网对高精度计量的需求。数字式检测技术则借助 A/D 转换器将模拟信号转化为数字信号，运用微处理器进行数据处理和分析，测量精度较高，可实现多功能检测，如测量有功功率、无功功率等。在智能电表检测中，数字式检测技术得到大量应用，但在复杂电磁环境下，其抗干扰能力仍有待提升。

#### 1.2 传统拓扑识别方法及其局限性

传统拓扑识别方法主要有基于开关状态信息的方法和基于电气量测量的方法。基于开关状态信息的方法通过获取电网中开关的开合状态来推断电网拓扑结构，简单直观，但依赖于准确的开关状态信息，当开关状态传输出现错误或缺失时，拓扑识别结果会产生偏差。基于电气量测量的方法利用电网中电压、电流等电气量的关系来识别拓扑结构，如潮流计算法。

#### 1.3 智能电网对电表检测及拓扑识别的新需求

智能电网具有分布式电源接入、双向电力流、实

时监控与控制等特点，对电表检测及拓扑识别提出了新需求。在电表检测方面，要求更高的测量精度，以实现电力交易的公平结算和电力系统的精细化管理。同时，需要电表检测技术具备更强的抗干扰能力和实时性，能够在复杂电磁环境下准确、快速地检测电量变化。在拓扑识别方面，智能电网要求能够实时、准确地识别电网拓扑结构，以支持电网的优化调度、故障诊断和自愈控制。

## 2 电表检测技术的创新路径探索

### 2.1 提升检测精度的新型技术研究

为提升电表检测精度，研究人员探索了多种新型技术。基于量子测量原理的检测技术，借助量子态独特的稳定性与可精确操控性，利用约瑟夫森结等量子元件构建测量电路，对电流、电压进行超高精度测量。理论上，其测量精度可突破传统限制，达到皮安级电流和微伏级电压的测量水平，这对于智能电网中分布式能源微小电量的精准计量意义重大。在传感器技术方面，基于纳米材料的传感器采用碳纳米管、纳米线等新型材料，其特殊的微观结构赋予传感器高灵敏度，能捕捉到极其微弱的电量变化，同时低噪声特性有效降低了测量误差。

### 2.2 检测效率优化的创新策略探讨

优化电表检测效率的创新策略主要包括并行检测技术和智能化检测流程。并行检测技术通过构建多通道检测架构，采用多通道 A/D 转换器，能以纳秒级同步精度同时对电流、电压、功率因数等多个参数进行高速采样和转换。例如，在智能电表批量检测场景中，可将检测时间从传统的逐个检测的数分钟缩短至数秒，极大提高检测效率。智能化检测流程借助机器学习算法，如深度神经网络，对海量电表历史检测数据进行学习，建立电表运行状态与故障特征的关联模型。依据实时采集的电表运行数据，模型可自动判断电表是否正常运行，提前预测潜在故障类型。

### 2.3 适应复杂环境的检测技术改进方向

针对复杂环境下电表检测面临的挑战，研究人员致力于改进检测技术。在抗电磁干扰方面，多层屏蔽技术采用内层金属箔屏蔽电场、外层磁性材料屏蔽磁场的复合结构，配合电磁兼容设计，从电路布局、接地方式等多方面入手，有效衰减外界高强度电磁干扰信号，确保电表检测信号稳定。基于光纤通信

的检测技术，利用光纤的全反射原理和绝缘特性，将检测数据以光信号形式传输，完全不受电磁干扰影响，保障数据传输的准确性与可靠性。在高温、高湿等恶劣环境下，选用耐高温的聚酰亚胺材料制作电路板，采用防潮涂层工艺对电子元件进行防护，同时优化电表散热结构。

## 3 拓扑识别技术的创新突破

### 3.1 基于先进算法的拓扑识别方法创新

基于先进算法的拓扑识别方法不断创新。深度学习算法在拓扑识别中得到广泛应用，通过构建深度神经网络，对大量电网拓扑结构数据进行学习和训练，能够自动提取拓扑结构特征，实现对电网拓扑的快速准确识别。例如，利用卷积神经网络对电网的电气量数据进行特征提取和分类，识别准确率可达 95% 以上。另外，图论算法也被用于拓扑识别，通过将电网抽象为图模型，利用图的连通性、路径等特性来识别拓扑结构，具有计算效率高、适应性强的优点。

### 3.2 融合多源数据的拓扑识别优化途径

融合多源数据是优化拓扑识别的有效途径。将电网中的电气量数据、开关状态信息、地理信息等多种数据进行融合分析，能够提高拓扑识别的准确性和可靠性。例如，结合电气量数据和地理信息，可更准确地判断电力线路的连接关系和走向，避免因地理环境复杂导致的拓扑识别错误。同时，利用物联网技术，获取电网中设备的运行状态、位置信息等数据，与传统拓扑识别数据相结合，进一步完善拓扑识别模型。在智能电网的实际运行中，多源数据融合的拓扑识别方法能够更全面、准确地反映电网的真实拓扑结构，为电网的安全稳定运行提供有力支持。

### 3.3 实时动态拓扑识别技术的发展方向

实时动态拓扑识别技术是未来的发展方向。随着智能电网中分布式电源、储能设备的不断接入和电网运行状态的快速变化，需要能够实时跟踪电网拓扑结构变化的技术。研究人员通过开发实时监测系统，利用高速通信网络和分布式计算技术，实现对电网拓扑结构的实时采集和分析。例如，采用分布式传感器网络，实时监测电网中各节点的电气量和设备状态变化，通过边缘计算技术在本地对数据进行初步处理，再将关键信息上传至云端进行综合分析，快速识别电网拓扑结构的动态变化，为电网的实时

调度和故障处理提供及时准确的拓扑信息。

#### 4 创新技术在智能电网中的应用成效分析

##### 4.1 提高电表检测准确性的实际效果

创新的电表检测技术显著提高了检测准确性。基于量子测量原理的检测技术在实验室严苛测试环境下,将电流测量精度从传统的毫安级一举提升至皮安级,精度跃升两个数量级,这一突破在实际电力交易场景中成效显著,有效减少因测量误差引发的贸易结算纠纷,保障电力市场公平交易。采用纳米材料传感器和自适应滤波算法的电表,在如城市核心区域复杂电磁环境下,检测误差相较于传统电表降低超 80%。以某智能电网试点项目为例,该项目涵盖大量分布式光伏电站,应用创新检测技术的电表精准计量每一块光伏板发电量,为新能源补贴结算提供可靠依据,助力清洁能源产业健康发展,确保补贴资金精准发放,推动能源结构优化转型。

##### 4.2 优化拓扑识别对电网运行的积极影响

优化后的拓扑识别技术对电网运行产生了积极影响。基于深度学习算法的拓扑识别方法,凭借强大的计算能力与高效的数据处理速度,能在 1 秒内精准识别电网拓扑结构细微变化,为电网故障诊断和自愈控制提供及时准确信息。在电网突发故障时,快速准确的拓扑识别助力调度员迅速锁定故障位置,如在一次城市配电网因雷击导致线路短路故障中,运用创新拓扑识别技术,故障定位时间从传统方法的 10 分钟大幅缩短至 2 分钟,使抢修人员能快速奔赴现场,制定合理故障处理方案,迅速恢复供电,极大提高电网供电可靠性,减少因停电给工业生产、居民生活带来的经济损失与不便。

##### 4.3 创新技术对智能电网管理效率的提升作用

创新技术提升了智能电网的管理效率。智能化检测流程和并行检测技术协同应用,使电表检测效率相较于传统模式提高 5 倍有余。以往人工检测大量电表需耗费数天时间,如今借助新技术,仅需短短数小时即可完成,大幅减少人力投入与时间成本。融合多源数据的拓扑识别方法,整合电网电气量、地理信息、设备状态等数据,为电网规划和运行管理提供全面、精准信息。

#### 5 创新探索面临的挑战与未来展望

##### 5.1 技术研发与应用中的难题及应对策略

在技术研发与应用中,面临着诸多难题。新型检

测技术和拓扑识别算法的计算复杂度高,对硬件设备要求高,导致成本增加。同时,技术的可靠性和稳定性在实际应用中还需进一步验证。应对策略包括研发高效的硬件架构和算法优化技术,降低计算复杂度和硬件成本。加强技术的实验测试和实际应用验证,建立完善的技术评估体系,提高技术的可靠性和稳定性。

##### 5.2 标准规范缺失与统一的问题探讨

目前,智能电网中电表检测技术及拓扑识别的标准规范尚不完善,不同厂家的设备和技术之间存在兼容性问题。为解决这一问题,需要行业协会、科研机构和企业共同合作,制定统一的技术标准和规范。明确电表检测技术的精度要求、抗干扰能力标准,以及拓扑识别技术的准确性、实时性指标等,促进技术的规范化发展,提高设备的兼容性和互换性。

##### 5.3 面向未来智能电网发展的技术创新趋势预测

面向未来,智能电网将朝着更高效、更可靠、更绿色的方向发展,电表检测技术及拓扑识别也将不断创新。在检测技术方面,将向更高精度、更低功耗、更强抗干扰能力的方向发展,结合量子技术、生物技术等前沿科技,开发新型检测原理和方法。在拓扑识别方面,随着人工智能、区块链等技术的发展,将实现更智能、更安全、更实时的拓扑识别,为智能电网的发展提供坚实的技术保障。

#### 6 结论

综上所述,面向智能电网的电表检测技术及拓扑识别的创新探索具有重要意义。通过对现有技术的深入分析,积极探索创新路径,取得了显著的应用成效。尽管面临诸多挑战,但随着技术的不断进步和标准规范的逐步完善,未来电表检测技术及拓扑识别将持续创新发展,为智能电网的高效稳定运行注入强大动力。

#### 参考文献

- [1] 高海燕.智能计量电表检测工作故障特征及处理技术[J].中国质量监管,2024,(03):151-152.
- [2] 屠培林,陈小梅.基于图像识别技术的智能电表显示缺陷自动检测方法[J].科学技术创新,2024,(23):25-28.
- [3] 周灏.泛在电力物联网中智能电表的部署问题研究[D].东南大学,2022.

- [4] 胡志.基于 ELM 的智能电网 AMI 安全策略研究[D].电子科技大学,2020.
- [5] 王胜.智能电表显示缺陷质量检测系统设计与实现[D].电子科技大学,2019.
- [6] 杨静,黄丰磊,陈光威.交流电参数测量仪校准系统及不确定度评定[J].工业计量,2020,30(03):62-63.
- [7] GB/T 17215.303-2022,交流电测量设备特殊要求第 3 部

分:数字化电能表[S].

- [8] 袁芳,赵蕾,张博,等.高精度交流电参数测试仪的研制[J].工业计量,2024,34(S1):58-61.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**