

电力监控系统防漏监体系建设的關鍵技术与实现方法

宁怡雯 李汉君 何龙 李东霖

国网昌吉供电公司，新疆昌吉，831100；

摘要：电力监控系统的漏监问题是影响电网安全运行的重要隐患。本文针对电力监控系统防漏监体系建设展开深入研究，提出了基于多源信息融合的防漏监技术架构，重点研究了智能感知、数据校验、异常检测和协同预警等关键技术。通过构建电力监控系统实验平台，对提出的防漏监算法进行了实验验证。实验结果表明，基于深度学习的异常检测模型准确率达到 98.2%，多源信息融合算法将漏监率从传统方法的 5.3% 降低至 0.8%，平均故障识别时间缩短至 2.3 秒。研究成果为提升电力监控系统的可靠性和安全性提供了有效的技术支撑。

关键词：电力监控；防漏监；多源信息融合；异常检测；深度学习

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.010

引言

电力监控系统是保障电网安全稳定运行的重要技术手段，其监控范围的完整性和监控数据的准确性直接关系到电力系统的可靠运行。近年来，随着电网规模不断扩大和设备复杂度持续增加，监控系统漏监现象时有发生，给电网安全带来严重隐患。据统计，2023 年我国电网因监控系统漏监导致的故障事件达 127 起，造成直接经济损失超过千万元^[1]。

电力监控系统漏监问题主要表现为三个方面：一是监测盲区导致的设备状态缺失，二是数据传输过程中的信息丢失，三是监控终端故障引起的监测中断。传统防漏监方法主要依靠增加监测点密度和人工巡检，存在成本高、效率低的问题。因此，构建智能化的防漏监体系，实现监控系统的自我完善和自我修复，成为当前电力监控领域亟待解决的关键问题^[2]。

本文从技术体系架构、关键算法研究和实验验证三个层面展开研究，提出了一套完整的电力监控系统防漏监解决方案。通过多源信息融合、智能异常检测和协同预警等技术创新，显著提升了监控系统的完整性和可靠性。

1 电力监控系统防漏监体系架构

1.1 总体架构设计

本文提出的防漏监体系采用“感知-传输-分析-决策”的四层架构^[3]，以实现全面的防漏监控和风险预警。在智能感知层，通过部署多种传感器，包括电气量传感器、状态监测传感器和环境传感器等，可以全面感知设

备状态，为后续的监控和决策提供基础数据。在可靠传输层，采用电力光纤网、5G 无线通信、电力线载波等多种通信方式，确保数据传输的稳定性和实时性，以支持整个系统的正常运行。在智能分析层，利用云计算和边缘计算的协同，对收集到的数据进行分析 and 处理，实现对潜在问题的智能检测和异常预警。最后，在协同决策层，通过多源信息的融合和智能决策，对监测到的风险进行快速预警，并提出相应的处置方案，从而实现防漏监的风险控制和损失降低。这一体系架构的设计和应用，为防漏监体系提供了全面、高效和智能的解决方案，对于提高防漏监工作的效率和质量具有重要意义^[4-5]。

1.2 技术体系组成

防漏监技术体系的核心模块包括状态感知模块、数据校验模块、异常检测模块、风险评估模块和自愈控制模块。状态感知模块负责实时监测设备运行状态并进行数据采集，为后续分析提供基础数据。数据校验模块对采集的数据进行完整性、准确性和一致性校验，确保数据的可靠性。异常检测模块基于机器学习算法实现异常状态的智能识别，及时发现潜在问题。风险评估模块根据检测到的异常情况，评估漏监风险等级，并制定相应的预警策略。最后，自愈控制模块能够在监控系统出现故障时，实现自动修复和功能恢复，保证系统的稳定运行。这些核心模块协同工作，共同构成了一个高效的防漏监技术体系，能够有效预防和控制漏监风险。

2 防漏监关键技术研究

2.1 多源信息融合技术

(1) 数据层融合：对同一监测点的多传感器数据进行时空配准和特征提取。

(2) 特征层融合：提取各监测数据的时域、频域特征，构建联合特征向量。

(3) 决策层融合：基于改进的 D-S 证据理论，实现多源信息的协同决策。

2.2 智能异常检测技术

(1) 时空特征提取：使用 CNN 提取空间特征，LSTM 提取时间特征。

(2) 注意力机制：引入双重注意力机制，关注关键时间和关键节点。

(3) 异常识别：基于重构误差和预测偏差实现异常检测。

2.3 数据完整性校验技术

设计基于区块链的数据完整性验证机制：

(1) 数据哈希上链：将监测数据的哈希值存储至区块链。

(2) 完整性验证：通过比对哈希值验证数据完整性。

(3) 防篡改保护：利用区块链的不可篡改性确保数据可信。

2.4 自适应监测技术

提出基于 Q 学习的自适应监测策略：

(1) 状态空间：定义设备状态、网络状态、监测质量等状态变量。

(2) 动作空间：包括调整采样频率、切换通信路径、启用备用监测等动作。

(3) 奖励函数：综合考虑监测质量、资源消耗和

系统稳定性。

3 实验设计与分析

3.1 实验平台搭建

(1) 硬件平台：RTDS 实时仿真系统、监控终端、通信设备、传感器网络。

(2) 软件平台：SCADA 系统、数据管理平台、算法测试环境。

(3) 测试场景：模拟变电站、配电线路、分布式电源等典型场景。

3.2 实验方案设计

3.2.1 多源信息融合实验

在模拟变电站场景中部署多种传感器，包括电流互感器、电压互感器、温度传感器、振动传感器等。设置正常、异常和故障三种运行状态，对比传统单一监测与多源融合监测的效果。

3.2.2 异常检测实验

采集 3 个月的历史监控数据，包含正常数据和各类异常数据。使用 70% 数据训练 ST-ADM 模型，30% 数据测试模型性能，与传统检测方法进行对比。

3.2.3 系统可靠性实验

模拟通信中断、传感器故障、数据异常等典型漏监场景，测试防漏监体系的应对能力。

3.3 实验结果分析

3.3.1 多源信息融合效果分析

实验结果显示，多源信息融合显著提升了监测的准确性和可靠性。在模拟的 127 次异常事件中，传统单一监测方法漏监 17 次，漏监率 13.4%；而多源融合方法仅漏监 1 次，漏监率降至 0.8%。具体数据见表 1。

表 1 多源信息融合效果对比

监测方法	检测次数	漏监次数	漏监率	平均响应时间
单一监测	127	17	13.40%	5.6s
多源融合	127	1	0.80%	2.3s
改善幅度	-	-	-94.00%	-58.90%

多源融合方法在故障识别、误报率降低和监测覆盖率提升等方面表现突出。具体来说，采用多源融合技术后，故障识别时间从 5.6 秒缩短至 2.3 秒，有效提高了故障诊断的效率；误报率从 8.7% 降低至 1.2%，显著减少了误报带来的影响；监测覆盖率从 91.3% 提升至 99.2%，确保了更全面的系统监控。这些数据表明，多源融合方

法在提升系统性能和准确性方面具有重要意义。

3.3.2 异常检测性能分析

ST-ADM 模型在测试集上表现出优异的性能，准确率达到了 98.2%，召回率 97.5%，F1 分数 97.8%。与传统方法相比，各项指标均有显著提升。详细结果见表 2。

表 2 异常检测性能对比

检测方法	准确率	召回率	精确率	F1 分数	训练时间
阈值检测	85.30%	82.70%	83.50%	83.10%	-
孤立森林	91.20%	89.50%	90.80%	90.10%	45min
自编码器	94.70%	93.20%	94.10%	93.60%	120min
ST-ADM	98.20%	97.50%	98.10%	97.80%	180min

该模型在暂态异常、渐变异常和间歇异常三种类型的检测中表现尤为出色，其中暂态异常的检测准确率高达 99.1%，渐变异常的检测准确率为 96.8%，间歇异常的检测准确率为 97.5%。这表明模型在这三种异常类型上能够有效地识别和检测异常情况，为相关领域提供了强大的技术支持。

3.3.3 系统可靠性验证

在模拟的故障场景中，防漏监体系展现出良好的鲁棒性。具体表现在通信中断时，系统能够在 3.2 秒内切换到备用通道，保证通信的连续性；传感器故障时，系统能够在 5.1 秒内完成监测重构，确保监测的准确性；数据异常时，系统能够在 2.8 秒内完成数据修复和补偿，保障数据的完整性。这些性能指标表明，防漏监体系具有较强的应对突发故障的能力，能够有效保障系统稳定运行。

4 工程实施建议

4.1 实施路径规划

(1) 第一阶段：在这一阶段，防漏监系统被部署在重点变电站中，目的是验证该技术的可行性和实际应用效果。试点建设有助于发现潜在的问题和不足，并为后续的推广提供实际操作经验和数据支持。

(2) 第二阶段：在第一阶段的基础上，防漏监系统开始在区域电网范围内推广实施。这一阶段的重点是扩大系统的覆盖范围，并在实践中不断完善和细化技术标准，确保系统的稳定性和可靠性。

(3) 第三阶段：最终目标是实现全网覆盖，即防漏监系统覆盖到整个电网。在这一阶段，将建立起常态化的运行机制，包括系统的日常维护、数据分析、故障处理等，确保防漏监系统能够长期、稳定地运行，并为电网的安全和高效运行提供持续的支持。

4.2 关键技术部署

系统通过采用支持自诊断和自适应功能的智能传感器，构成了高效的传感器网络。这些智能传感器能够

实时监测并自行评估其工作状态，从而保证了数据采集的准确性和可靠性。为了确保数据传输的稳定性和安全性，系统建设了一个多路由、多模式的可靠通信网络。这种设计提供了备用的通信路径，并允许系统适应不同的通信需求和环境条件。在数据分析方面，系统构建了一个云边协同的智能分析平台，该平台利用云计算和边缘计算技术对传感器网络采集的大量数据进行实时分析和处理。最后，系统建立了分级分类的预警处置机制，根据预警的严重程度和类型，采取相应的处置措施，以确保对潜在的安全风险做出快速而有效的响应。这种全面而多层次的设计，确保了系统在各种情况下都能够稳定、高效地运行。

4.3 运维管理优化

为了确保系统的有效运行和维护，采取了一系列措施。首先，建立了一个全面的防漏监指标体系，其中包括监测覆盖率、数据完整率和异常发现率等关键指标。这些指标有助于评估系统性能和监控效果，确保能够全面、准确地监测目标对象，及时发现并处理异常情况。制定了标准化运维流程，涵盖了日常巡检、定期校验和应急处理等方面。日常巡检有助于及时发现系统中的潜在问题，定期校验可以确保设备的准确性和可靠性，而应急处理流程则在系统发生故障时提供快速响应和解决方案。建设了专业的运维团队，并通过开展技术培训和应急演练来提升团队的专业技能和应对突发事件的能力。这样的团队能够有效地执行运维流程，确保系统的稳定运行。

5 结论

本文对电力监控系统防漏监体系建设的关键技术和实现方法进行了深入研究，得出了一系列有价值的结论。首先，提出了一种多源信息融合方法，该方法能够将漏监率从传统方法的 13.4% 显著降低至 0.8%，从而极大地提升了监测系统的可靠性。此外，还基于时空注意力机制开发了一种异常检测模型 ST-ADM，该模型实现了 98.2% 的检测准确率，相较于传统方法提升了 12.9%，进

一步提高了系统的异常检测能力。

还构建了一个防漏监体系，该体系能够在通信中断、传感器故障等异常情况下，在 5.1 秒内完成系统自愈，展现了出色的鲁棒性。这意味着即使在面对突发事件时，系统也能够迅速恢复正常运行，确保电力监控的连续性和稳定性。

展望未来，将继续探索防漏监技术的发展方向。首先，将研究基于数字孪生的防漏监技术，旨在实现监控系统的虚拟映射和预测性维护，从而更准确地预测潜在问题并提前采取措施。其次，将探索量子通信在监控数据传输中的应用，以提升数据传输的安全性和可靠性。最后，将研究跨域协同的防漏监机制，实现输配用电各环节监控系统的协同联动，从而提高整个电力监控系统的效率和响应速度。

本文的研究成果已经在试点工程中取得了成功应用，为电力监控系统的可靠性提升提供了有效的技术解决方案。这些成果对于保障电网安全运行具有重要意义，并为电力监控系统的未来发展指明了方向。

参考文献

[1] 国家电网公司. 电力监控系统网络安全防护规范

[S]. 北京：中国电力出版社，2023.

[2] 李建岐，王鹏，毕建刚，等. 电力监控系统智能运维技术研究综述[J]. 电力系统自动化，2023，47(5)：1-15.

[3] WangH, ZhangC, LiuY, et al. A novel data integrity verification scheme for power monitoring systems[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2023, 14(2): 1256-1268.

[4] 张明，李华，王强. 基于多源信息融合的电力设备状态监测方法[J]. 中国电机工程学报，2023，43(8)：2856-2868.

[5] ChenK, WangQ, LiZ, et al. Anomaly detection in power monitoring systems using spatiotemporal attention mechanism[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2024, 39(1): 1-13.

作者简介：宁怡雯，出生年月：1995 年 12 月，性别：女，籍贯到市：山东省宁阳县，民族：汉族，学历：本科，职称：中级职称，研究方向：电力监控系统防漏监技术防范。