

智能边缘计算在电力物联网设备标准化中的应用研究

张秋铭 杨牧川 邓楠 范佳媛 张芮嘉

国网四川省电力公司信息通信公司 四川成都 610041

摘要：在能源互联网与新型电力系统快速演进的背景下，电力物联网正日益成为推动电力行业向数字化与智能化方向发展的关键支撑体系。但当前面临的核心挑战在于，电力物联网设备类型繁杂且接口规范不统一，由此引发系统互操作性不足、数据流通受限以及应用场景拓展困难等一系列问题，使得设备标准化工作成为当前亟需突破的重点领域。边缘智能计算作为一种创新的数据处理范式，凭借其实时响应、高效运行、去中心化运算和自主决策等优势，为电力物联网设备规范化开辟了全新途径。在电力物联网框架内整合边缘计算技术，能够有效实现异构设备的标准化接入与接口统一，强化信息防护与隐私保障机制，并促进跨系统、多参与方协作的规范体系构建。

关键词：智能边缘计算；电力物联网；设备标准化；应用实践

引言

随着电力系统的发展，电力物联网终端数量急剧增加，网络传输数据量爆发式增长，传统云计算难以满足全部需求，因此边缘计算获得越来越多的关注。边缘计算旨在解决云计算遇到的数据处理、存储及传输问题，可采用边缘网关进行分布式部署，就近进行数据采集、处理、协议转换及数据分析等，极大缓解网络传输与数据中心的压力。近年来，边缘智能技术的快速发展为解决这一难题创造了条件。其核心理念是将计算和存储功能部署在靠近数据产生位置的边缘节点，有效缓解数据传输负担，增强实时响应性能，同时借助智能分析算法实现区域自主决策。

一、智能边缘计算与电力物联网标准化的理论基础

（一）智能边缘计算的技术内涵与发展特征

边缘智能计算是一种将数据处理能力下沉至网络边

缘端的新型技术架构。该模式通过在终端设备附近部署计算资源和存储单元，实现了数据处理的分布式执行。其核心理念在于将原本由云端承担的计算任务部分或全部转移至边缘节点，从而达成近场运算与即时反馈的目标。相较于集中式云计算架构，这种计算范式显著缩短了信息传输时延，分散了中心节点的运算负荷，同时增强了系统的实时响应能力与运行可靠性。

智能边缘计算的核心特性主要包含三大维度：其显著优势在于响应速度快且处理时效性高，特别适用于电网调控、异常监测等对时间敏感度较高的应用环境；该系统拥有分散式运算与动态资源调配功能，能够有效缓解大规模终端接入所产生的数据处理负担；通过融合AI技术与区域化学学习框架，边缘设备不仅可以完成基础操作，更具备特征提取与独立判断的智能化能力。

（二）电力物联网的发展逻辑与标准化需求

电力物联网是以电力设施为关键节点，借助通信技术构建的多源信息交互与智能管控的综合体系。其运行机制遵循“采集—传送—分析—执行”的循环流程。利用各类传感装置和智能终端获取运行参数，通过通信链路将数据传送至分析中心，最终由控制平台和应用系统完成指令下达与执行反馈，达成电力网络的效能优化。

当前电力物联网系统面临设备多样化的挑战，包括各类计量装置、监测终端、通信节点及控制单元等。这些硬件设备来自不同供应商，生产工艺存在差异，使得数据交互接口缺乏统一规范，传输协议难以相互匹配，最终影响了整个网络的协同工作效率。建立统一的技术标准体系是确保设备互联互通和系统可靠运行的关键基础。

作者简介：

- 张秋铭，1995年8月，女，汉族，甘肃，工程师，硕士研究生，电力物联网；
- 杨牧川，1995年12月，男，汉族，四川广元，工程师，硕士研究生，云计算；
- 邓楠，1996年12月，男，汉族，四川南充，助理工程师，大学本科，信息系统及网络；
- 范佳媛，1998年8月，女，汉族，四川成都，助理工程师，硕士研究生，电气工程与信息技术；
- 张芮嘉，1997年6月，女，汉族，重庆铜梁，助理工程师，硕士，电气工程。

标准化需求集中体现在三个关键维度：需要实现设备通信协议的兼容性，使不同品牌设备能够在共享系统中无缝对接；必须制定统一的数据处理规范与交换标准，防止数据碎片化和重复建设；要形成系统化的安全管控体系，确保信息传递与保存过程的安全稳定。这些要素共同构成了支撑电力物联网长期发展的基础框架。

（三）边缘计算赋能电力物联网标准化的理论支撑

电力物联网标准化进程中，边缘计算技术发挥着关键性支撑作用。其核心价值首先表现在设备互联层面，边缘节点具备的异构协议转换能力为各类终端设备提供了标准化的接入通道。通过部署边缘网关，不同制式的通信协议能够被统一映射到规范化的数据框架中，有效解决了设备兼容性问题。在电力系统特殊应用场景下，边缘计算特有的毫秒级响应机制完美契合了电网运行对安全可靠性的严苛标准。以配电网故障处理为例，边缘设备可实现数据就地分析与保护指令的瞬时执行，确保标准化流程在紧急情况下得到精准实施。

智能边缘计算借助AI算法实现动态标准化执行。边缘节点能够依据多样化业务需求自主优化策略，确保标准规范的高效落地。这种技术显著简化了标准体系的实施难度，同时增强了应用场景的兼容性。作为电力物联网运行的核心技术支撑，智能边缘计算为设备标准化建设提供了坚实的理论依据与工程实践保障。

二、电力物联网设备标准化实践中存在的关键困境

（一）设备类型多样化导致的接口兼容性不足

电力物联网涵盖的终端设备种类复杂多样，从居民用户端的智能计量仪表到电网节点的传感监测装置，再到新能源发电侧的并网设备，构成了一个多元化的硬件生态。不同厂商基于各自技术路线开发的设备，在数据交互接口和传输机制上呈现出明显的异构特征。既有基于RS-485等有线通信的老旧设备，也有采用LoRa等无线传输的新型装置，还存在大量使用私有通信规约的专用设备。这种接口标准的不统一性不仅增加了系统集成的技术难度，更导致了数据流通的壁垒效应。

由于接口规范尚未形成统一标准，导致跨系统数据交互与处理效能显著降低。实际应用场景中，通常需配置专用转换装置或协议桥接组件，这不仅推高了实施成本，更使系统架构趋于复杂化。终端设备的异构特性与互操作障碍，已成为制约电力物联网实现规模化部署的关键瓶颈。

（二）数据安全与隐私保护机制的不完善

电力物联网承载着海量用户用电特征、设备工况参

数及能源调配信息等关键数据。这些核心信息若遭外泄，不仅会损害个人隐私权益，更可能威胁电网运行的可靠性。当前阶段，信息安全防护体系仍存在明显缺陷。在边缘侧的数据采集与通信过程中，暴露出诸多安全隐患。加密技术标准不统一、密钥管理体系存在漏洞，使得传输中的数据面临被截获或伪造的威胁。身份验证机制缺乏规范化要求，各类终端与系统间的信任关系难以有效构建，这无疑为非法入侵和恶意攻击提供了可乘之机。

此外，在隐私信息管控层面，尚未建立科学的分级分类管理体系。从终端用户角度来看，个人用电信息通常未经任何处理就被直接获取并保存，缺乏必要的去标识化与匿名化措施。这种情况不仅增加了合规性风险，还影响了公众对电力物联网系统的接受程度。显然，信息安全与隐私保障机制的缺失，正成为阻碍电力物联网标准体系完善的关键因素。

（三）标准体系建设与实施过程中的协调难题

电力物联网的标准架构由国家标准、行业规范和企业准则三个维度构成。不同制定主体在目标定位上存在明显差异，这造成了各类标准间的兼容性问题。国家层面的标准更关注整体规划与安全管控，行业规范着重于专业领域的技术细则，而企业准则则聚焦于产品实现和场景应用。这种多层次标准并存的现象，导致设备标准化进程面临协调困境。

在推进多区域、多组织的设备配置时，各类技术规范间的差异往往形成执行壁垒。具体表现为，某些地域推行的数据传输标准在其他区域未被采用，造成硬件设备间的连接障碍。由于缺少普适性的检测与认证机制，技术标准的实际应用效果大打折扣。

（四）边缘计算应用水平与电力行业标准的适配不足

当前电力物联网领域对智能边缘计算的运用虽有一定进展，但整体实施效果与行业规范要求仍存在明显差距。具体表现在以下三个层面：

第一，计算资源存在地域性差异。部分偏远区域的边缘节点受限于硬件配置，其运算与数据存储能力难以满足标准化体系下复杂业务需求。第二，算法适配性存在明显短板。当前主流智能模型多移植自通用领域，缺乏针对电力行业特性的深度优化，造成标准实施过程中的效能损失。第三，标准化模板体系尚未健全。目前边缘计算与电力物联网的融合应用仍缺乏可复制的标准化示范案例，制约了技术方案的规模化落地。

当前边缘计算应用程度尚浅且与行业规范匹配度较低，这一现状构成了阻碍智能边缘计算促进设备统一化

进程的关键制约因素。

三、智能边缘计算推动电力物联网设备标准化的应用路径

(一) 构建基于边缘计算的统一设备接入与接口规范

针对设备间接口适配性不足的现状，建议基于分布式边缘计算架构建立标准化的接入规范体系。借助边缘节点的协议适配与数据转换能力，异构设备能够按照统一的数据标准进行接入，从而打破不同厂商与平台之间的技术壁垒。

建立标准化的接口规范能够显著减少开发和运维投入，同时增强架构的弹性扩展能力。作为接入层的关键组件，边缘计算节点在设备登记、鉴权认证、信息交互等关键流程中发挥着标准化支撑作用，这使得异构设备能够在规范化架构中实现无缝协作。

此外，建立统一规范的交互端口必须同步实施灵活调整与迭代优化方案，从而在科技持续发展的环境中，使硬件设备能够及时兼容最新技术规范与功能需求。

(二) 建立边缘智能驱动的数据安全与隐私保护框架

为解决数据安全与隐私保护存在的缺陷，可借助智能边缘计算构建规范化体系。采用分布式加密与可信计算技术在边缘节点进行部署，保障数据在获取、流转及保存过程中的安全防护。

边缘计算架构通过分布式认证机制实现权限的动态管理，使各类用户仅能获取授权范围内的数据资源。敏感信息需在本地节点完成去标识化与加密转换，防止原始数据直接传输至云平台，有效规避潜在的法律合规问题。

在规范化建设过程中，有必要确立统一的数据加密技术规范、密钥管控方案以及敏感信息分类准则，以此建立系统化的信息安全与个人隐私保障框架。

(三) 推动跨层级、多主体协同的标准体系建设

智能边缘计算技术的应用为构建跨层级、多主体协同的标准体系创造了条件。采用分层架构设计时，国家层面标准主要界定总体框架与安全边界，行业标准侧重技术细则与流程规范，而企业标准则根据具体场景需求进行定制化延伸。

针对跨区域、跨企业的业务场景，需构建标准互认与对接协调体系，保障各类标准框架之间的无缝衔接。此外，通过引入独立第三方检测评估机构，对设备标准化落实情况客观验证与持续监管，从而提升标准执

行过程的公开性与公信力。

这种复合型标准体系的构建方式，在确保整体协调性的前提下保留了足够的弹性空间，为电力物联网的规范化发展奠定了可持续的基础。

(四) 实现智能边缘计算与电力业务场景的深度融合

电力业务高效运作离不开标准化建设的持续推进。通过将智能边缘计算技术与电力应用场景有机结合，可有效实现标准规范向实际价值的转化。

在设备监测方面，边缘节点具备对电力设施进行不间断监控的能力，同时按照规范化流程完成数据加工与异常检测任务。在故障预警方面，借助边缘计算技术，智能预测模型能够评估设备运行状况，确保及时采取符合行业标准的应对措施。在能效优化方面，通过边缘计算平台，可对分散式能源的接入与调配实施统一管控，从而显著提高能源利用效率。

结语

本研究聚焦于智能边缘计算技术在电力物联网设备标准化领域的实践应用。首先从理论层面深入剖析了智能边缘计算的核心概念及其在电力物联网标准化建设中的重要作用，详细论证了边缘计算技术对标准化进程的支撑机制。随后，针对当前电力物联网设备标准化实施过程中暴露出的突出问题，包括接口协议不统一、信息安全防护薄弱、标准体系协调性不足以及实际应用匹配度偏低等关键性挑战，进行了全面系统的梳理和分析。

参考文献

- [1] 李宁, 于晓清, 陈炜, 等. 电力物联网移动边缘计算任务卸载策略[J]. 电测与仪表, 2024, 61(4): 155-160.
- [2] 王凯, 张旭, 张倩宜, 等. 电力物联网边缘计算依赖型任务卸载的低时延调度技术[J]. 电力信息与通信技术, 2024, 22(6): 73-80.
- [3] 王芮. 边缘计算在电力物联网中的应用[J]. 电气时代, 2023(3): 60-63.
- [4] 曹强, 宣吴丽娜, 陈健, 等. 面向电力物联网的边缘计算级联任务卸载策略[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(12): 100-102.
- [5] 梁舜. 面向电力物联网的户外智能维护与保养: 融合型边缘计算装置设计[J]. 互联网周刊, 2024(19): 27-29.