

ICS 33.060

CCS M 36

T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXX—2025

智慧能源数字网关装置轻量化设计与评价方法

Lightweight design and evaluation method for smart energy digital gateway device

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国中小商业企业协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	1
5 设计方法	2
6 轻量化性能验证	3
7 轻量化评价	4

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国网江苏省电力有限公司南京供电分公司提出。

本文件由中国中小商业企业协会归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司南京供电分公司……

本文件主要起草人：唐建清……

智慧能源数字网关装置轻量化设计与评价方法

1 范围

本文件规定了智慧能源数字网关装置（以下简称智慧网关）轻量化设计与评价的技术要求、设计方法、轻量化性能验证、轻量化评价。

本文件适用于智慧能源数字网关装置的轻量化设计与评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423. 7 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ec：粗率操作造成的冲击（主要用于设备型样品）

GB/T 2423. 10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 2423. 52 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验77：结构强度与撞击

DL/T 645 多功能电能表通信协议

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

智慧能源数字网关装置 smart energy digital gateway device

集成多协议数据采集、边缘计算、AI决策与高效传输功能，可实现台区级源-网-荷-储多元异构数据协同融合，支撑区域级智慧能源系统轻量化边缘自治的终端设备。

3. 2

轻量化设计 lightweight design

在满足智慧网关结构强度、可靠性、采集精度、处理效率等核心性能指标的前提下，通过优化材料、结构或系统实现减重的工程方法。

4 技术要求

4. 1 基本功能

轻量化设计后的智慧网关应满足以下基本功能，且不低于轻量化设计前的基准水平：

- a) 数据采集：支持至少 8 路模拟量（电流、电压等）、16 路数字量采集，采集精度误差 $\leq \pm 0.5\%$ ；
协议兼容：兼容 Modbus、DL/T 645、MQTT、CoAP 等主流能源通信协议；
- b) 边缘计算：支持数据滤波、异常报警阈值判断等边缘计算功能，单次计算响应时间 $\leq 100 \text{ ms}$ ；
- c) 数据传输：支持以太网、4G/5G、LoRa 等传输方式，传输速率 $\geq 1 \text{ Mbps}$ （以太网）。

4. 2 重量

相较于同功能基准智慧网关，轻量化后重量降低比例 $\geq 15\%$ 。

4.3 体积

相较于同功能基准智慧网关，轻量化后体积缩减比例 $\geq 20\%$ 。

4.4 结构强度与撞击

按GB/T 2423. 52的规定进行结构强度与撞击试验后，轻量化设计后的智慧网关外观应无明显变化，基本功能应符合4. 1的规定。

4.5 正弦振动

按GB/T 2423. 10及表1的规定进行正弦振动试验后，轻量化设计后的智慧网关外观应无明显变化，基本功能应符合4. 1的规定。

4.6 自由跌落

按GB/T 2423. 7及表1的规定进行自由跌落试验后，轻量化设计后的智慧网关外观应无明显变化，基本功能应符合4. 1的规定。

表1 正弦振动及自由跌落试验条件

试验类型	试验条件		状态
正弦振动	频率循环范围	10 Hz~55 Hz	非工作状态
	振幅	0.35 mm	
	扫描频率	1倍频程/min	
	振动方向	X、Y、Z三个方向，每个方向上扫频循环次数为10次	
自由跌落	跌落高度	1 000 mm	
	跌落次数	在水泥地面上，正面、侧面、底面各自由跌落一次	

注：自由跌落试验时，允许智慧网关配用出厂包装盒。

5 设计方法

5.1 材料选择设计

5.1.1 外壳材料

优先选用轻量化、高强度、耐候性的材料，具体选择要求如下：

- 工业级智慧网关：推荐选用6061铝合金（密度 2.7 g/cm^3 ）或玻璃纤维增强聚丙烯（PP+30%GF，密度 1.15 g/cm^3 ），其中铝合金材料应经阳极氧化处理，表面硬度 $\geq \text{HV50}$ ；
- 园区级智慧网关：推荐选用ABS+20%PC合金（密度 1.18 g/cm^3 ）或改性聚碳酸酯（PC，密度 1.2 g/cm^3 ），材料冲击强度（缺口） $\geq 20 \text{ kJ/m}^2$ 。

5.1.2 内部结构件材料

内部结构件的材料选用符合以下要求：

- 主板支撑件：选用尼龙66+30%GF（密度 1.3 g/cm^3 ），弯曲强度 $\geq 180 \text{ MPa}$ ；

- b) 连接器固定件: 选用聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT+30%GF, 密度 1.45 g/cm^3), 热变形温度 (1.82 MPa) $\geq 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

5.2 结构优化设计

5.2.1 一体化结构设计

智慧网关的一体化结构设计应符合以下要求:

- a) 外壳与内部支撑结构一体化: 采用注塑或压铸工艺, 减少连接件 (如螺丝、卡扣) 数量, 连接件减少比例 $\geq 30\%$;
- b) 接口集成设计: 将电源接口、通信接口 (以太网、4G 等) 集成到同一面板, 面板面积缩减比例 $\geq 25\%$ 。

5.2.2 镂空与拓扑优化

智慧网关的镂空与拓扑优化设计应符合以下要求:

- a) 外壳镂空设计: 在不影响防护等级的前提下, 对非受力区域采用镂空结构, 镂空面积占比 $\leq 15\%$;
- b) 内部支架拓扑优化: 通过有限元分析, 对支架进行拓扑重构, 去除冗余材料, 支架重量降低比例 $\geq 20\%$, 且结构强度满足: 在 100 N 轴向力作用下, 最大变形量 $\leq 0.5 \text{ mm}$ 。

5.2.3 模块化设计

将智慧网关分为“数据采集模块”“协议转换模块”“边缘计算模块”, 模块间采用标准化接口, 单个模块重量 $\leq 0.3 \text{ kg}$, 体积 $\leq 80 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, 便于单独维护与升级, 同时减少整体结构冗余。

5.3 硬件集成设计

5.3.1 芯片集成选型

选用集成度高的主控芯片, 优先选择“CPU+FPGA+通信模块”一体化芯片, 替代传统多芯片组合方案, 芯片数量减少比例 $\geq 40\%$, 主板面积缩减比例 $\geq 30\%$ 。

5.3.2 电源模块精简

采用高效率、小型化的开关电源模块, 电源模块体积 $\leq 50 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$, 重量 $\leq 20 \text{ g}$, 转换效率 $\geq 90\%$ (在50%负载下), 替代传统分立元件电源方案, 电源部分重量降低比例 $\geq 25\%$ 。

5.4 软件精简设计

5.4.1 操作系统裁剪

基于Linux系统进行裁剪, 去除图形界面、无用驱动等冗余功能, 系统镜像大小缩减至 $\leq 200 \text{ MB}$, 启动时间 $\leq 30 \text{ s}$, 内存占用量降低比例 $\geq 30\%$ 。

5.4.2 算法优化

对数据采集、协议转换算法进行精简, 采用“轻量化数据滤波算法”替代传统复杂算法, 算法运行时间缩短 $\geq 20\%$, CPU占用率降低 $\geq 15\%$, 减少硬件资源消耗。

6 轻量化性能验证

6.1 验证样品选取

从同一批次轻量化设计的智慧网关中随机选取3台作为验证样品，样品应经过外观检查，且基本功能测试合格。

6.2 基本功能

6.2.1 数据采集精度通过采用标准信号源输入 0%、25%、50%、75%、100%额定量程信号进行测量，每个点重复测量 3 次，计算绝对误差与相对误差。

6.2.2 协议兼容性通过搭建协议测试平台，对 Modbus、DL/T 645 等协议的帧格式、数据交互流程进行验证，每种协议测试用例覆盖率 $\geq 95\%$ 。

6.2.3 边缘计算响应时间通过示波器采集算法启动信号与结果输出信号的时间差，连续测试 10 次，取平均值。

6.2.4 数据传输速率采用网络测试仪生成数据流，记录 1 min 内平均传输速率。

6.3 重量与体积

6.3.1 重量

使用精度为 0.1 g 的电子天平，分别测量 3 台样品的净重（去除包装、连接线），记录每台样品重量，计算平均值；与同功能基准智慧网关重量对比，验证重量降低比例是否符合 4.2 的要求。

6.3.2 体积

使用精度为 0.1 mm 的游标卡尺，测量样品的长、宽、高（取最大尺寸），计算体积（长 \times 宽 \times 高），记录 3 台样品体积平均值；与同功能基准智慧网关体积对比，验证体积缩减比例是否符合 4.3 的要求。

6.4 结构强度与撞击

按 GB/T 2423. 52 的规定进行。

6.5 正弦振动

按 GB/T 2423. 10 的规定进行。

6.6 自由跌落

按 GB/T 2423. 7 的规定进行。

7 轻量化评价

7.1 评价指标体系

应建立“轻量化效果-性能保持-可靠性-经济性”四维评价指标体系，具体指标及权重表 2 所示。

表2 评价指标体系

评价维度	评价指标	指标要求	权重
轻量化效果	重量	重量降低比例 $\geq 15\%$	25%
	体积	体积缩减比例 $\geq 20\%$	20%

表2 评价指标体系（续）

评价维度	评价指标	指标要求	权重
性能保持	基本功能	符合4.1的规定	15%
可靠性	结构强度与撞击	符合4.4的规定	10%
	正弦振动	符合4.5的规定	15%
	自由跌落	符合4.6的规定	10%
经济性	单位功能成本 ^a	降低比例 $\geq 5\%$	5%

^a 单位功能成本=总成本/数据处理能力, 与基准智慧网关对比。

7.2 评价流程

7.2.1 评价准备

应成立由设计、测试、质量管理等人员组成的人数大于3人的评价小组，并收集以下资料：

- a) 智慧网关轻量化设计方案（材料选型、结构图纸、硬件清单、软件裁剪说明）；
- b) 轻量化性能验证报告（符合第6章的要求）；
- c) 基准智慧网关参数（重量、体积、成本等）；
- d) 材料与加工成本明细。

7.2.2 指标计算与评分

7.2.2.1 根据轻量化性能验证报告及基准智慧网关参数，计算“重量降低比例”“体积缩减比例”等定量指标的实际值。

7.2.2.2 实际值达到指标要求得满分，未达到则按“实际值/指标要求×权重分”计算得分；定性指标按“达标得满分，不达标得0分”计算。

7.2.3 综合评价计算

综合评价得分为各项评价指标实际得分值的总和，综合评价得分划分为以下几个等级：

- a) 优秀： ≥ 90 分；
- b) 良好：80分~90分；
- c) 合格：70分~80分；
- d) 不合格： < 70 分。

7.2.4 评价报告编制

评价小组根据评价过程与结果，编制《智慧网关轻量化评价报告》，并由评价小组签字确认，报告应包括：

- a) 评价目的；
- b) 评价范围；
- c) 评价小组组成；
- d) 评价指标与流程；
- e) 指标计算过程；
- f) 综合评价得分与等级；
- g) 存在问题及改进建议等。