

基于物联网的智能计量系统设计与应用研究

张建江 132132197212210018

摘要

传统计量系统依赖人工抄录，存在数据误差大、反馈滞后、管理成本高的痛点，已经难以适配现代能源管理与生产运营的精细化需求。本文以物联网技术为核心，提出一种分层架构的智能计量系统设计方案，从感知层、网络层、应用层三个维度明确系统的硬件选型与功能模块设计，分析系统在城市燃气计量、工业园区用电计量两个场景的实际应用效果，验证基于物联网的智能计量系统在数据采集实时性、计量准确性、管理效率提升方面的优势，为传统计量体系的智能化转型提供参考路径。

关键词

物联网；智能计量；系统设计；能源管理

一、引言

计量是能源分配、生产管控、民生服务领域的核心基础环节，计量数据的准确性与实时性直接影响管理决策的科学性与服务质量。长期以来，我国各类计量场景普遍采用人工抄录、定期结算的传统模式，不仅需要投入大量的人力成本，还容易出现抄录错误、数据滞后等问题，无法满足当前智慧城市建设、企业精细化生产对计量数据的实时性需求。随着物联网技术的快速发展，万物互联的技术框架为计量系统的智能化改造提供了技术支撑，依托传感器、无线通信、云平台等技术，能够实现计量数据的自动采集、远程传输、实时分析与异常预警，从根本上改变传统计量的运作模式。

二、基于物联网的智能计量系统整体架构设计

基于物联网的分层设计理念，本次设计的智能计量系统分为三个核心层级，分别是感知层、网络层与应用层，各层级之间相互独立又协同配合，实现计量数据从采集到应用的全流程智能化处理。

（一）感知层设计

感知层是智能计量系统的基础，核心功能是完成计量数据的采集与初步处理，主要由智能计量终端、传感器模块、微控制单元（MCU）三个部分组成。其中智能计量终端取代传统的机械计量表，集成了计量芯片与数据存储模块，能够完成计量数据的本地数字化存储，本次设计选用低功耗的 STM32 系列微控制器作为核心控制单元，能够适配不同计量场景的功耗需求，在燃气、水电计量等分散式场景中可以依靠电池实现 3-5 年的长效运行。针对不同的计量对象，感知层配备不同类型的传感器：针对流体计量采用高精度压力传感器与流量传感器，针对电能计量采用电流电压传感器，计量精度可以达到 0.2 级，远高于传统机械表的精度等级。此外感知层还集成了异常检测模块，能够对计量终端的运行状态进行监测，出现阀门泄漏、终端断电、人为破坏等异常情况时，会自动生成异常信息并上传至平台。

（二）网络层设计

网络层的核心功能是实现感知层数据向平台端的稳定传输，考虑到智能计量终端大多分布范围广、部署环境复杂，本次设计采用“窄带物联网+本地局域网”的混合通信架构。对于城市燃气、居民水电等分散部署的计量终端，采用 NB-IoT 窄带物联网进行通信，NB-IoT 具备广覆盖、低功耗、大连接的优势，能够穿透地下管线井、建筑墙体等信号弱的场景，且单基站可以支持超过 10 万量级的终端连接，完全满足大规模计量终端的接入需求。对于工业园区、商业综合体等计量终端集中部署的场景，采用 LoRa 局域网实现本地数据汇聚，再通过网关将汇总数据上传至云平台，能够大幅降低通信成本，提升数据传输的稳定性。

（三）应用层设计

应用层是面向用户与管理人员的功能端口，部署在云平台之上，分为基础数据管理、计量数据分析、异常预警、远程控制四个核心功能模块：第一，基础数据管理模块，负责所有终端的档案管理、数据存储与查询，支持按区域、按终端编号统计计量数据，生成日、周、月、年维度的计量报表，支持报表导出与打印；第二，计量数据分析模块，能够对计量数据进行多维度分析，针对用户可以生成用能曲线，展示用能习惯与用能结构，针对管理方可以分析区域用能负荷变化，为能源调度提供数据支撑；第三，异常预警模块，结合预设的阈值与大数据分析模型，对异常计量数据进行识别，比如出现管道泄漏导致的流量异常波动、用户偷漏计量的异常数据，系统会自动向管理人员推送预警信息，定位异常终端的位

置；第四，远程控制模块，支持管理人员远程操作计量终端，比如燃气终端可以远程关闭阀门，方便停气检修与欠费停供操作，无需工作人员上门操作，大幅提升管理效率。

三、基于物联网的智能计量系统实际应用分析

本次设计的智能计量系统已经在国内某地级市燃气公司与某省级工业园区两个场景完成试点应用，以下结合试点数据分析应用效果。

（一）城市燃气计量场景应用

该地级市燃气公司原有超过 12 万户居民与工商用户采用传统机械表计量，每年需要投入超过 200 万元的人工抄表成本，且抄表误差率超过 3%，每年因抄表误差、偷漏气产生的经济损失超过 150 万元。2022 年该公司完成 5 万户居民用户的智能计量改造，采用本文设计的基于物联网的智能燃气计量系统，试点运行 1 年的数据显示：系统数据采集成功率达到 99.7%，计量误差控制在 0.5% 以内，每年为试点区域减少人工成本投入超过 80 万元，减少偷漏气与误差损失超过 60 万元，异常预警的响应时间从原来的平均 24 小时缩短到 10 分钟以内，能够及时发现燃气泄漏等安全隐患，大幅提升了燃气供应的安全性。

（二）工业园区用电计量场景应用

某省级工业园区聚集了超过 80 家生产企业，原有供电计量采用企业总表计量的模式，无法精准统计企业内部不同生产环节的用电量，也无法为园区的能源调度提供精准数据。2023 年园区完成核心生产区域的智能计量改造，在企业总进线、各生产车间、关键生产设备侧都部署了物联网智能计量终端，实现用电数据的分级采集。

四、存在的问题与优化方向

从试点应用的情况来看，基于物联网的智能计量系统虽然具备显著的优势，但也存在一些需要优化的问题：第一，终端成本偏高，当前一块物联网智能计量终端的成本是传统机械表的 2-3 倍，大规模改造需要投入较高的前期成本，后续可以通过规模化生产与芯片技术迭代降低终端成本；第二，不同厂商的终端通信协议不统一，部分存量改造场景中存在不同系统无法兼容的问题，后续需要推动统一行业标准的建立，实现不同厂商终端的互联互通；第三，数据安全风险，智能计量系统存储了大量用户用能数据与管网运行数据，存在数据泄露的风险，后

续需要进一步优化云平台的安全防护体系，建立多级数据安全防护机制，保障数据安全。

五、结论

基于物联网的智能计量系统是计量领域未来的发展方向，相比于传统计量系统，能够实现计量数据的自动采集、实时传输与智能化分析，不仅能够降低人工管理成本，提升计量准确性，还能够为能源管理与调度提供精准的数据支撑，提升服务质量与安全性。本文提出的分层架构设计方案，适配不同计量场景的部署需求，试点应用结果验证了方案的可行性与有效性。随着物联网技术的不断成熟与成本的逐步降低，基于物联网的智能计量系统将会在能源、水务、燃气等更多领域得到推广应用，推动传统计量体系的智能化转型。

参考文献

- [1] 张宏科, 王鹏. 物联网技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [2] 李刚, 刘芳. 基于 NB-IoT 的智能燃气计量系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 187-195.
- [3] 王健, 赵磊. 工业园区智能能源计量系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(10): 168-175.