

# 面向断电状态下通信的电能计量装置研制

李迪星, 陈月, 姜滨

(哈尔滨电工仪表研究所有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150028)

**摘要:** 当前许多仪器设备的能量来源主要为电池或市电, 一旦断电面临着数据无法读取的困境, 特别是安装在现场的电能计量装置, 拆回实验室耗时费力, 且法制计量的权威性难以保障。采用射频识别技术, 在电能计量装置中内置射频识别芯片, 电能计量装置将关键数据实时存储在芯片中, 即使断电也可通过射频通信的方式获取数据。试验表明, 该装置完全满足国家标准中电磁兼容方面要求, 5m 内通信综合成功率为 99.38%。此外, 此项技术同样适用于现场仪器设备的查找, 以及急需数据或不方便接线的其他仪器设备数据读取的情形。

**关键词:** 电能计量装置; 断电状态; 射频识别; 数据存储; 数据采集

## The Development of Electric Energy Metering Device for Communication in Power-off State

Li Dixing, Chen Yue, Jiang Bin

( Harbin Institute of Electrical Instruments Co., Ltd, Harbin, Heilongjiang, China )

**Abstract:** At present, the energy source of many instruments and equipment is mainly batteries or mains electricity. Once the power is cut off, the data cannot be read, especially the electric energy metering devices installed on site, it is time-consuming and laborious to remove it back to the laboratory, and the authority of legal measurement is difficult to guarantee. Using radio frequency identification technology, a radio frequency identification chip is built in the electric energy metering device. It stores key data for real time in the chip. Even if the power is cut off, the data can be obtained by radio frequency communication. The test shows that the device fully meets the requirements of electromagnetic compatibility in national standards, and the comprehensive success rate of communication within 5m is 99.38%. In addition, this technology is also suitable for the search of on-site instruments and equipment, as well as the data reading of other instruments and equipment that are in urgent need of data or inconvenient for wiring.

**Keywords:** electric energy metering devices, power-off state, radio frequency identification, data storage, data collection

# 1 引言

我国仪器设备种类繁多，其中以电能作为驱动能源的仪器设备占据很大比例，此类设备一旦因为自身电源模块损坏或外界因素造成断电，在无法正常工作的同时，也无法将已保存的数据导出。

我国在运电能计量装置超过 6 亿台，在各类仪器设备中，是数量最多的仪器之一，包括交流电能表、直流电能表、集中器、采集终端等多种类型<sup>[1]</sup>，其工作时也面临着断电数据无法读取的情况，只能等待重新上电或拆回实验室读取数据。特别是交流电能表与直流电能表，作为国家法制计量器具，若拆回实验室读取数据，客户往往质疑数据的真实性，造成不良的社会影响。

当前电能计量装置的通信方式主要有电力线载波（HPLC）、红外、RS-485 等<sup>[2,3]</sup>。此外，文献[4]和文献[5]提出了电力线载波通信的改进方法，文献[6]提出了基于 NB-IoT 的无线通信方案，文献[7]提出了电力线载波与 5G 通信融合的方法，文献[8]与文献[9]提出了基于红外聚集等技术的红外通信改进方案，增大了红外通信的距离，提高了数据采集效率。文献[10]提出了一种基于 ZigBee 技术的通信方法，利用自组网的优势，提高了数据采集的可靠性。上述研究均是在传统通信方式上的改进，虽然提高了数据的传输效率和可靠性，但并没有解决断电后数据无法读取的问题。

文中将射频识别技术与实时存储技术应用在电能计量装置中，电能计量装置中的关键数据实时存储在射频识别芯片中，通过专用读写器可远距离读取数据，不受电能计量装置工作状态的影响，显著提高了数据采集效率。

## 2 总体架构

射频识别技术是一种基于无线通信的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据，识别工作无需人工干预，可识别高速运动物体并可同时识别多个标签<sup>[11]</sup>。其原理如图 1 所示，射频识别读写器芯片发出数据采集指令，通过射频导线传送到射频识别读写器天线，以一定频率的电磁波形式向空间辐射。射频识别标签天线通过特定形状，能够对该频率的电磁波信号进行耦合转换为电信号，并传递到射频识别标签芯片中。射频识别标签芯片能够以极低的功耗工作，一方面解读接收到的电信号含义，另一方面利用该信号的能量将需要返回的数据发送出去。射频识别读写器接收到返回的数据后进行处理，即可得到需要采集的信息。

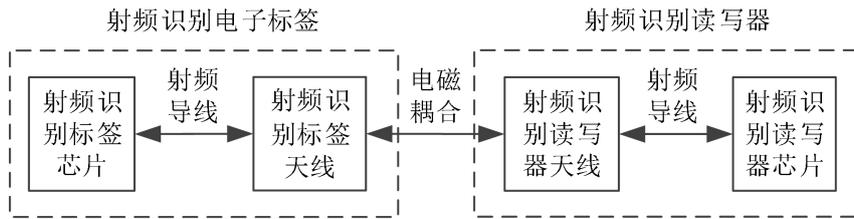


图1 射频识别通信原理图

新型电能计量装置由传统电能计量装置与射频识别通信单元组成，如图2所示。

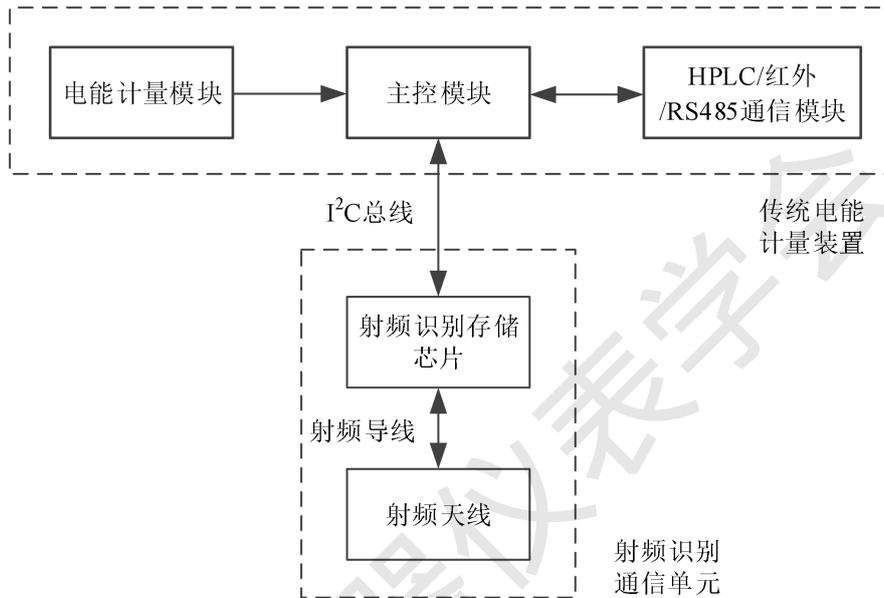


图2 新型电能计量装置总体架构图

不同于传统无源结构的射频识别电子标签，该装置采用半有源射频识别存储芯片具有无源和有源两种工作模式。主控模块将接收到的电能数据和其他关键数据通过 I<sup>2</sup>C 总线实时存储到射频识别存储芯片中，这里的“实时”可根据需要设定为毫秒级、秒级、分钟级或小时级。一旦因为各种原因断电，射频识别存储芯片中的关键数据可通过射频天线进行发送。

此外，在设备未断电时，也可通过射频识别通信的方式与电能计量装置进行远距离、无接触式的信息交互，包括数据读取、参数配置、状态查询、运维管理等等。

### 3 硬件及软件设计

#### 3.1 硬件设计

电能计量装置硬件设计的关键在于射频识别存储芯片的选择与射频天线的设计。

射频识别存储芯片要求具备有源和无源两种工作模式，读取灵敏度不高于-18 dBm，符合 EPC global 和 ISO 18000-63 等国际标准。频率范围覆盖我国相关标准要求的 920MHz-

925MHz 频段，且具备良好的数据读写性能。在国际上应用较多的三种射频识别存储芯片的技术参数对比如表 1 所示。

表 1 三种射频识别存储芯片参数对比

技术指标	Impinj	Impinj	NXP	NXP
	X-2K	X-8K	SL3S4011	SL3S1014
无源状态下的读取灵敏度 (dBm)	-19	-19	-18	-19
无源状态下的写入灵敏度 (dBm)	-14	-14	-11	-12
有源状态下的读写灵敏度 (dBm)	-26	-26	-23	N/A
存储空间 (bits)	2176	8192	3328	2048

综合上述指标，按照灵敏度高、存储空间大的原则，选用 X-8K 型射频识别存储芯片，该芯片同时具备两路天线接口，若使用偶极子天线，无源读取灵敏度可达-21.6 dBm<sup>[12]</sup>。同时封装尺寸仅为 2.0×2.0×0.35 mm，适合小型化安装。

射频天线基于偶极子天线理论，设计了一种非对称结构的偶极子天线，如图 3 所示。

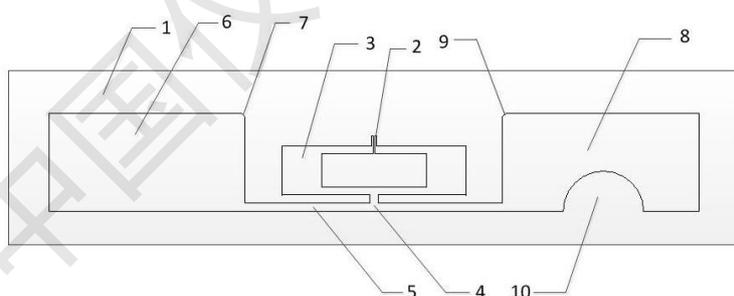


图 3 射频天线结构图

射频天线整体包括：基板（1），芯片引脚导线（2），短路环（3），馈点（4），天线臂（5），第一天线面（6）和第二天线面（8）。天线整体结构为长方形，本体中间偏上位置为芯片引脚导线（2），导线向下引出到天线电感圈形成闭环的短路环（3），短路环下方设有一馈点（4），天线臂（5）由馈点向两侧延伸，连接到左侧第一天线面（6）和右侧第二天线面（8）。第一天线面（6）为长方体，右上角有一切角（7）；第二天线面（8）为长方体，左上角有一切角（9），中间下方位置有半圆切口（10）。

该天线以 PCB 普通基材为基板，以金属铜箔为天线主要结构，按印制电路板普通工艺直接印制在电路板表面，降低了制造成本。通过设计非对称的电流分布，降低了天线与其它器件相互之间的影响。通过调节天线长度和宽度、增大辐射臂间的距离，达到了良好的阻抗匹配，提高了天线增益。经测试，实验室环境下通信距离在 12.1 m 至 14.5 m 之间。

将射频识别通信单元放置在传统电能计量装置右侧空闲区域，且处于外壳内部，如图 4 所示。



图 4 电能计量装置实物图

### 3.2 软件设计

射频识别存储芯片中的存储空间根据实际需要分为指令区和数据区。指令区用来存储外部读写器向电能计量装置发送的指令，包括参数配置、状态查询等等。数据区用来存储电能计量装置向外部发送的数据，包括计量关键数据、状态关键数据和采集人员想要获取的其他数据等等。

主控模块与射频识别通信单元互动流程如图 5 所示，其中扫描定时可根据实际需要配置毫秒级到小时级的时间间隔，用来保证主控模块与射频识别通信单元通信实时性的同时，降低设备功耗，节约系统资源。

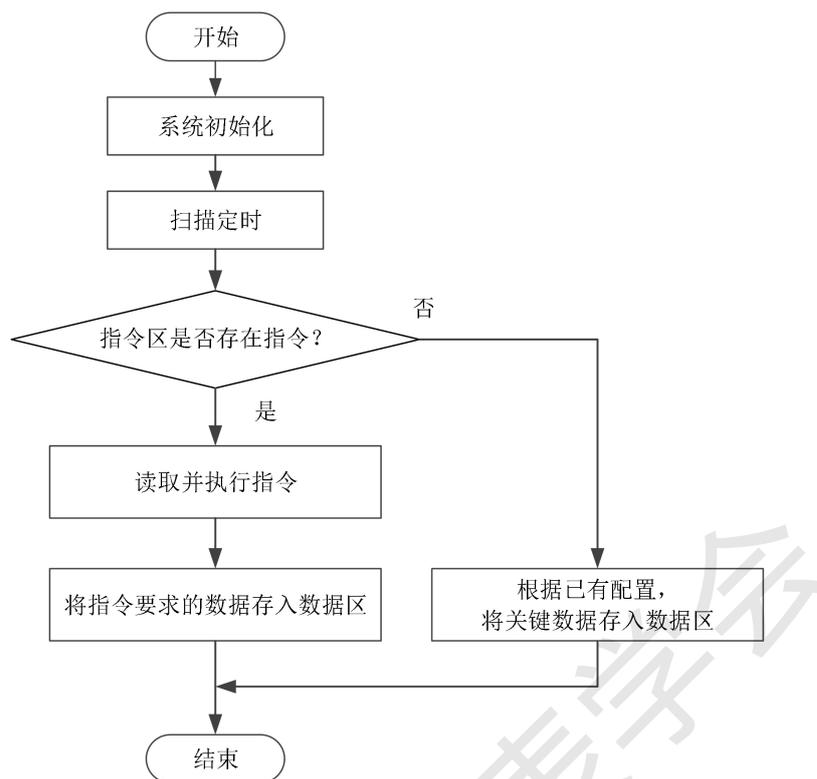


图5 主控模块与射频识别通信单元互动流程

需要特别说明的是，存储在 X-8K 芯片中的数据可以进行加密配置，使用过程中无需担心无线传递数据时造成泄密风险，只有经过授权的读写器解密，数据才会被显示，从而保证了信息安全。

## 4 实验测试

由于新型电能计量装置是在传统装置的基础上添加射频识别通信单元改造的，因此对该装置进行电磁兼容性测试是必要的，同时也需要对其进行功能性测试。

### 4.1 电磁兼容性测试

参照国家标准 GB/T 17215.211 和 GB/T17215.321 对电能计量装置（A 级）进行电磁兼容试验，主要是进行射频电磁场抗干扰试验<sup>[13,14]</sup>。试验环境温度 21°C~25°C，相对湿度 45%~75%，施加 10V/m 的电场，扫描频率范围 80MHz~6000MHz，试验结果曲线如图 6 所示。误差偏移在 -0.2%~0.3% 之间，远远小于 GB/T17215.321 中对准确度等级为 A 级的电能计量装置误差偏移极限  $\pm 3\%$  的要求，该指标甚至小于 E 级要求的  $\pm 0.5\%$  限值，说明添加射频识别通信单元并未对电能计量装置自身的计量准确度造成影响。

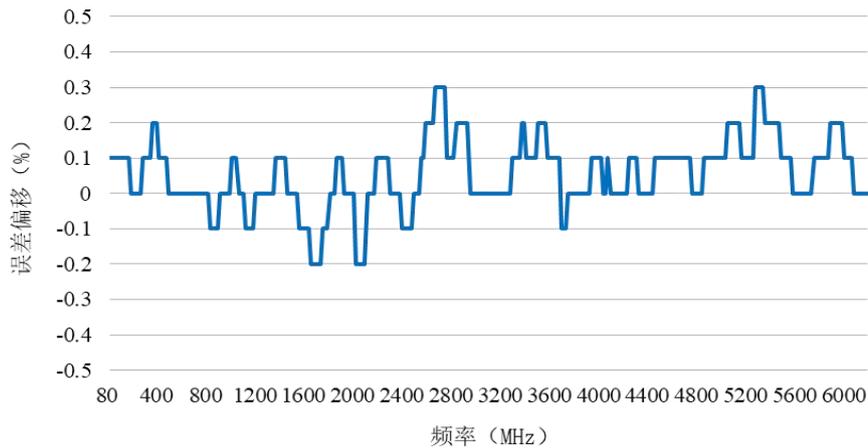


图6 不同频率电场下的误差偏移曲线

除按照国家标准进行电磁兼容试验外，在电能计量装置中的射频识别通信单元工作时，可能引发的对计量准确度的影响也进行了测试。由于射频识别通信单元在没有与外部读写器通信时，射频天线并不工作，所以只需检测外部读写器与电能计量装置在不同通信距离时，对电能计量装置误差的影响，已知待测试的电能计量装置（A级）基本误差为0.069%，将外部读写器放置于电能计量装置的0.1m~5.0m处，每间隔0.1m测试一次，测试结果如图7所示。

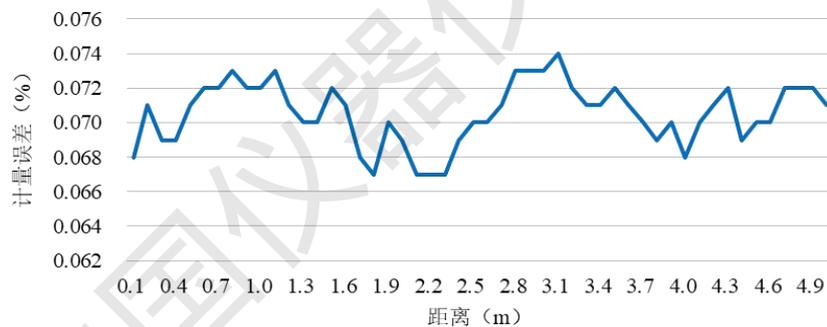


图7 不同频率电场下的误差偏移曲线

在测试过程中，电能计量装置的误差处于0.067%~0.074%之间，与测试之前已知的该装置的误差相差不大，不随与外部读写器放置距离改变而变化，且该误差远远小于A级装置误差2.0%的要求，因此电能计量装置中的射频识别通信单元工作时，不会对计量准确度造成影响。

## 4.2 功能性测试

对电能计量装置进行射频识别通信距离与数据读取成功率试验，即在1m~5m的范围内的不同距离不同角度上，分别进行1000次的数据读取，记录读取成功的次数，如表2所示。

表 2 数据读取成功率试验

试验条件	角度为-45°时	角度为0°时	角度为45°时
	读取成功次数	读取成功次数	读取成功次数
1m~2m	1000	1000	1000
2m~3m	1000	1000	1000
3m~4m	1000	1000	1000
4m~5m	962	986	978

通过以上数据可以得到，在 4m 范围内，通信成功率为 100%；在 5m 范围内通信成功 11926 次，综合成功率为 99.38%。考虑到电能计量装置的安装位置，5m 的通信距离完全满足现场要求。

## 5 结论与展望

针对现有仪器设备存在的断电无法读取数据的实际情况，以电能计量装置为例，通过添加射频识别通信单元，将关键数据实时备份存储，并通过无线的方式读取。经测试 5m 内通信综合成功率为 99.38%，满足了意外断电后读取数据的需要，同时，还可无接触一次性获取多台设备的数据。此外，对于一些放置于户外查找困难，以及急需数据或不方便接线的其他仪器设备改造，具有一定的借鉴意义。

### 参考文献：

- [1] 吕国华. 电能计量装置在线监测系统研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [2] 姚岗. 智能电表远程数据采集系统设计[J]. 电力与能源, 2022, 43(03): 244-246+259.
- [3] 任帅. 基于嵌入式的电能信息采集系统研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2022.
- [4] 王艳, 陈浩, 赵洪山, 等. 基于网络传输增益-匹配经济指数的配电网载波通信匹配优化方法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(28): 11612-11619.
- [5] 陈浩. 配电网电力线载波通信网络匹配优化与组网方法[D]. 北京: 华北电力大学, 2021.
- [6] 祝恩国, 邹和平, 巫钟兴. 一种应用NB-IoT的智能电能计量装置设计[J]. 电气传动, 2019, 49(03): 92-96.
- [7] 张明栋, 王蔚, 李明洋, 等. 基于5G+PLC技术的电力线载波信号脉冲干扰抑制方法[J]. 测试技术学报, 2022, 36(05): 443-448.
- [8] 杜艳, 王者龙, 杨杰, 等. 点对点红外通讯装置的设计[J]. 电测与仪表, 2015(7): 97-100.

- [9] 叶硕, 余新平. 基于STM32的智能抄表采集系统设计[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(01): 18-22+5.
- [10] 冯明卿, 陈亚琨, 王一妹. 基于ZigBee的智能用电管理系统设计[J]. 电子测试, 2022, 36(08): 29-31.
- [11] 王楚豫, 谢磊, 赵彦超, 等. 基于RFID的无源感知机制研究综述[J]. 软件学报, 2022, 33(01): 297-323.
- [12] Impinj, Inc. Monza X-8K Dura Datasheet[R]. USA: Seattle, 2021: 32.
- [13] 全国电工仪器仪表标准化技术委员会. 电测量设备(交流) 通用要求、试验和试验条件 第11部分: 测量设备: GB/T 17215.211-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [14] 全国电工仪器仪表标准化技术委员会. 电测量设备(交流) 特殊要求 第21部分: 静止式有功电能表(A级、B级、C级、D级和E级) : GB/T 17215.321-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.