

团体标准

T/CES XXX-XXXX

中低压配用电设备设施在线监测
第3部分：低功耗无线通信

Specification of on line monitoring for medium and low voltage distribution
and customer equipment and facilities -Part3:Low power and energy
consumption wireless communication

(征求意见稿)

(2023年08月31日)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
4 一般要求	2
4.1 微功率低功耗	2
4.2 安全可靠	2
4.3 宽窄带一体	2
5 无线网络总体设计	2
5.1 通信适配性	2
5.2 主要考虑因素	2
5.3 通信网络拓扑	2
5.4 低功耗设计	3
6 无线频段和组网协议	3
6.1 无线局域网(WLAN)	3
6.2 蓝牙(Bluetooth)	3
6.3 紫蜂(Zigbee)	3
6.4 远距离无线电(LoRa)	4
6.5 射频识别(RFID)	4
6.6 窄带物联网(NB-IoT)	4
6.7 其他	5
7 网络节点功能和性能要求	5
7.1 汇聚型通信节点	5
7.2 终端型通信节点	5
8 无线/有线混合组网	6
8.1 有线通信	6
8.2 双模通信	6
8.3 多模通信	6
附 录 A	7
附 录 B	8
附 录 C	9
附 录 D	10
参考文献	11

前 言

中低压配用电环节是服务广大用户、服务社会和经济发展的基础设施，直接关系电力能源供应的可靠性、低碳性和经济性，亟待加强数字化转型升级的标准化建设，提升海量配用电设备设施可观可测可控能力，为此开展中低压配用电设备设施状态在线监测标准化工作。

T/CES XXXX《中低压配用电设备设施在线监测》系列标准：

—第一部分：总则

—第二部分：传感器和终端

—第三部分：低功耗无线通信

—第四部分：主站侧数据处理

—第五部分：系统测试

本文件为T/CEC XXXX的第三部分

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》的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会能源互联网装备技术专业委员会提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

中低压配用电设备设施在线监测 第3部分：低功耗无线通信

1 范围

本部分对低功耗无线通信的一般要求、无线网络总体设计、无线频段和组网协议、网络节点功能、混合组网方面进行规定。

本部分适用于中低压配用电设备设施在线监测应用的本地无线通信技术选型和使用。

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；不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 15629.11（全系列） 信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 特定要求 第11部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范

GB/T 38648 信息安全技术 蓝牙安全指南

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

近场通信 near field communication, NFC

又称近距离无线通信（short-range wireless communication）。一种短距离的高频无线通信技术。使得在大约10厘米距离上两个设备之间的数据交换成为可能，它兼容智能卡接口和阅读器标准。

3.1.2

无线传感器网络 wireless sensor network, WSN

又称无线传感网，由一组无线传感器节点设备通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统。

注：该网络的目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息，并发送给观察者。

[来源：GB/T 40422,3.1.2]

3.1.3

无线局域网 wireless local area network, WLAN

不使用导线（电缆或光缆）、采用无线电波作为介质来传送数据的局域网。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CSS：线性调频扩频（Chirp Spread Spectrum）

D2D：无需经过基站的终端之间直连通信(Device-to-Device)

EIRP：等效全向辐射功率(Effective Isotropic Radiated Power)

eMTC：增强型机器类型通信（Enhanced Machine-Type Communication）

LPWAN：低功率广域网络（Low-Power Wide-Area Network）

LoRa：长距离无线电（Long Range Radio）

LoRaWAN：长距离广域网通信协议（Long Range Wide Area Network）

NB-IoT：窄带物联网（Narrow Band Internet of Things）

RFID: 射频识别 (Radio Frequency Identification)

WAPI: 无线局域网鉴别和保密基础结构 (Wireless LAN Authentication and Privacy Infrastructure)

WLAN: 无线局域网(Wireless Local Area Network)

LTE-U: 5GHZ 非授权频段的 LTE 技术(LTE Advanced in Unlicensed Spectrum)

NR-U: 工作于免许可频段的 5G 空中接口(5G New Radio in Unlicensed Spectrum)

SRRC: 国家无线电管理委员会 (State Radio Regulation Committee)

UART: 异步串行通信(universal asynchronous receiver-transmitter)

4 一般要求

4.1 微功率低功耗

4.1.1 在满足数据传输要求的前提下, 应尽量减少无线发送功率, 降低潜在的干扰;

4.1.2 优化无线通信的主控电路、无线收发电路、电源电路三个主要电路的功耗, 降低整体功耗;

4.1.3 应按照传感器节点电源来源类型, 包括电池供电方式、太阳能供电方式(包括太阳能与蓄电池点和供电)、采用外接电源供电、环境取能供电方式电源特性, 针对性设计低功耗电路和组网机制, 优化休眠模式和唤醒方式, 充分减少能量消耗。

4.2 安全可靠

4.2.1 按照应用场景的信息安全风险, 功耗要求等不同, 因地制宜采用相匹配复杂度的访问控制、身份认证、数据加密和自身监测等合适安全措施。

4.2.2 通过分帧、重传和适用的信道编码等等技术, 提升通信可靠性。

4.3 宽窄带一体

4.3.1 数据量传输要求较大的传感器应采用宽带、高速率无线接入技术, 数据量传输要求较小的传感器应采用窄带、低速率无线接入技术。

4.3.2 汇聚型节点采用宽、窄带一体化设计, 减小汇聚型节点通信设备数量, 提升网络覆盖的效率和经济性。

5 无线网络总体设计

5.1 通信适配性

5.1.1 勘察确定中低压配用电设备设施类型、数量、地理分布。

5.1.2 分析确定具体设备需要监测的信息。

5.1.3 分析确定具体设备信息的通信要求, 带宽、可靠性、安全性等。

5.2 主要考虑因素

5.2.1 从网络覆盖、网络容量、汇聚节点优化部署等方面进行分析。

5.2.2 网络覆盖设计明确室内覆盖、室外覆盖、遮挡因素、潜在环境变化和干扰等, 保障覆盖范围内信号强度达到终端和传感器分布和数据接入要求, 减少同频干扰。

5.2.3 网络容量设计保障网络带宽能满足配用电设备设施在线监测业务需求。

5.2.4 在保证网络覆盖和容量前提下, 汇聚节点布放确保在实际现场中实施中能顺利安装和施工。

5.2.5 汇聚考虑多级汇聚, 如一个低压台区有一个汇聚节点, 汇聚低压侧设备设施监测数据; 一个配电站房设置一个汇聚节点, 汇聚站房内部数据; 一个配电柜设置一个汇聚节点, 汇聚柜内数据。

5.3 通信网络拓扑

5.3.1 网络拓扑包括星型、树型、网状型, 网络拓扑的构建根据业务需求、应用系统架构、以及通信技术选型等综合考虑。

5.3.2 结合具体监测场景, 可以综合各类近场通信、无线传感器网络、无线局域网技术构建混合的网络拓扑。

5.3.3 网络中节点类型主要包括汇聚型节点和终端型节点。

5.3.4 终端型节点接入终端和传感器数据，可集成到终端中。

5.3.5 汇聚型节点汇聚所辖终端的数据，并进行相关的处理和上传主站侧，接收主站侧相关的配置等指令并中转分配下达给相关终端。

5.4 低功耗设计

5.4.1 硬件设计上，需要选用低功耗的模块或者芯片，决定功耗的主要是模块或者芯片的电流参数，主要有休眠电流，发射电流和接收电流。

5.4.2 软件设计上，由于无线模块在发射时候的电流往往比接收和休眠时候大，因此在用户在使用无线模块发射数据时，应该考虑尽可能减少发射时间，发射次数，或者每次发送的数据量，这样有助于节省电量。

5.4.3 系统设计上，优化上下行链路时隙设计，如分为单向终端、双向终端、实时性要求不高的终端、实时性要求较高的终端。

5.4.4 使用电池节点供电，需要对节点功耗进行详细分析，结合电池效率，温度影响等对节点工作时间进行分析，功耗计算方法参见附录 A。

6 无线频段和组网协议

6.1 无线局域网(WLAN)

采用无线局域网技术时，应符合以下要求：

- a) WLAN可采用2400~2483.5MHz频段或5725~5850MHz ISM频段工作；
- b) 当采用2400~2483.5MHz频段工作时发射功率应符合工信部无(2002)353号的要求，EIRP<500mW；
- c) 当采用5725~5850MHz频段工作时发射功率应符合工信部无(2019)277号的要求，EIRP<2W，WLAN设备发射功率应<100mW；
- d) 基于2400~2483.5MHz频段的13个信道，子信道划分间隔是5MHz，Wi-Fi的工作频宽是22MHz，所以相邻信道的Wi-Fi信号之间有干扰，必须至少间隔5个子信道才相互无干扰；
- e) 5725~5850MHz频段应支持5个互不干扰的子信道(149, 153, 157, 161, 165)；
- f) 无线局域网(WLAN)接入采用星型拓扑时，可支持802.11a/n/ac标准，其中802.11n应同时支持2.4GHz和5.8GHz频段；
- g) 采用网状拓扑时，应符合802.11s标准的要求，中继应符合IEEE 802.11s的要求；
- h) 在安全性要求较高的场合，宜采用WAPI技术提高安全能力。

6.2 蓝牙(Bluetooth)

采用蓝牙技术时，应符合以下要求：

- a) 蓝牙通信目前已在部分智能电表、低压智能断路器等设备上使用，可用于承载设备的运行状态监测；
- b) 蓝牙技术从4.1版本开始，针对非音频和视频的数据传输考虑了低功耗设计，增加了传输距离，配电监测应用时应考虑选择低功耗蓝牙技术；
- c) 运行频段可选择2400~2483.5MHz或5725~5850MHz ISM频段，运行在2400~2483.5MHz频段时，射频指标应符合工信部无(2002)353号的要求，EIRP<500mW；
- d) 运行在5725~5850MHz频段时，射频指标应符合工信部无(2002)277号的要求，EIRP<2W，发射功率应<100mW；
- e) 采用星型拓扑时，应符合IEEE 802.15.1的要求，可支持Bluetooth核心规范5.0；
- f) 采用网状拓扑时，应符合蓝牙Mesh 1.0规范的要求；
- g) 中继应符合蓝牙Mesh 1.0的要求；
- h) 安全按照GB/T 38648-2020要求，在可靠性要求较高的A+和A类配电区域采用蓝牙技术，应采用较高的安全配置。

6.3 紫蜂(Zigbee)

采用Zigbee技术时，应符合以下要求：

- a) Zigbee通信目前在一些配用电环节非典型气量环境监测开展了应用，可用于承载设备的运行状态监测；
- b) 频段可采用2400~2483.5MHz频段或5725~5850MHz频段工作；
- c) 射频指标应符合工信部(2019)52号的要求，当采用2400~2483.5MHz频段工作时EIRP \leq 10mW，当采用5725~5850MHz频段工作时EIRP $<$ 25mW；
- d) 无线协议还应降低自身的复杂性，以降低计算开销，避免使用大容量存储器，从而降低成本。
- e) 组网应符合IEEE 802.15.4标准的要求；
- f) 2.4 GHz 通道的工作数据速率为 250kbps，可根据传感器的数据传输需求进行选择；
- g) IEEE 802.15.4没有指定加密方式，实施中添加对称加密方法，其应用采用的安全方式进行优化；
- h) ZigBee在IEEE 802.15.4 规范之上添加了路由协议与层级网络寻址方案，可实现群集树拓扑结构以及多跳网状网络拓扑，可结合实际配用电场景监测覆盖需求选择采用ZigBee协议；
- i) 在ZigBee网络中存在协调器、路由器、终端三种逻辑设备类型，Zigbee集中式安全方法采用协调器分配安全密钥给终端节点，分布式安全方法没有协调器，由路由器节点分配安全密钥给终端节点，可结合实际配用电场景监测安全需求选择采用ZigBee协议；
- j) IEEE 802.15.4调制方式下终端型通信节点设备无线通信性能要求参见附录B中表B.1。

6.4 远距离无线电 (LoRa)

采用LoRa技术时，应符合以下要求：

- a) LoRa射频指标应符合工信部(2019)52号的要求；
- b) 采用470~510MHz频段工作时EIRP $<$ 50mW；
- c) 采用2400~2483.5MHz频段工作时，EIRP $<$ 10mW；
- d) 采用5725~5850MHz频段工作时，EIRP $<$ 25mW；
- e) 在建筑楼宇、住宅小区及村庄等小范围内组网应用；
- f) 任意时刻限单个信道发射，单次发射持续时间不超过1秒；
- g) 采用扩频调制，工作带宽 $<$ 500kHz；
- h) 应当具备“发射前搜寻”等干扰规避功能，且不能被关闭；
- i) 组网协议可采用LoRaWAN、LinkWAN、CLAA等生态较为丰富的组网协议标准的要求；
- j) CSS调制方式下，终端型通信节点设备无线通信性能要求参见附录B中表B.2。

6.5 射频识别 (RFID)

采用RFID技术时，应符合以下要求：

- a) 用于设备温度监测，在传统RFID芯片上嵌入高精度超低功耗(1微瓦)温度传感器芯片；
- b) RFID系统由读写器(Reader)、电子标签(Tag)和数据管理系统三部分组成；
- c) 低频RFID系统的工作频率为30~300 kHz，标签读取距离一般不超过10 cm，读取距离跟标签大小成正比；
- d) 高频系统的工作频率为3~30 MHz，射频识别常见的高频工作频率有6.75 MHz、13.56 MHz和27.125 MHz，读取距离距离较远（可达几m至十几m）；
- e) 主动式超高频RFID标签则工作在433 MHz，自身带有电池供电，读/写距离较远（约在100米~1500米）；
- f) 被动式超高频RFID标签工作频率为860~960 MHz，以915 MHz为主，通信距离可达15 m；
- g) 微波RFID标签的主要工作频率为2.45 GHz，有些则为5.8 GHz，被动式微波RFID标签主要使用反向散射耦合方式进行通信，传输距离较远，如果要加大传输距离还可以改为主动式。

6.6 窄带物联网 (NB-IoT)

采用NB-IoT 技术时，应符合以下要求：

- a) 需要长距离传输数据的业务适合选择低频段，而需要高速传输数据的业务适合选择高频段；
- b) FDD频段主要用于室内和城市环境下使用，频段分配在1.4GHz到2.7GHz之间，其中比较常用的FDD频段有700MHz、800MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz和2600MHz等；

c) TDD频段主要用于城市环境下使用。频段分配在1.9GHz到2.6GHz之间。其中比较常用的TDD频段有1900MHz、2300MHz和2600MHz等；

d) 单载波TD-LTE频段主要用于室外和农村环境下使用，频段分配在800MHz到900MHz之间；

e) NB-IoT射频带宽为200kHz，下行速率大于160kbps，小于250kbps，上行速率大于160kbps，小于250kbps (Multi-tone)/200kbps (Single-tone)，可结合在线监测需求选择。

6.7 其他

采用电力无线专网、公网无线通信以及其他低功耗无线通信技术时，应符合以下要求：

a) 充分利用已有230MHz电力无线专网、1.8GHz电力无线专网资源，接入配用电状态监测节点；

b) 可根据系统设计和实际需求，采用2G/3G/4G实现中低压配用电设备设施在线监测；

c) eMTC系统应在已许可使用 LTE 技术体制的 800MHz、900MHz、1800MHz、1900MHz 和2100MHz 等公众移动通信频段，以及1447-1467MHz 和1785-1805MHz 等专用通信频段进行部署，支持上下行最大1Mbps的峰值速率；

d) 免授权LTE (LTE-U) 使用5725-5850MHz频段，射频指标应符合工信部无(2002)277号的要求，EIRP<2W，应支持3GPP TS 36.201系列规范Release 9，可支持更新版本；

e) 部署NR-UC，采用5.8G免授权频段全向发射功率小于1瓦，支持高密度区域配用电设备设施监测，同时支撑高带宽要求的移动作业和智能巡检等；

f) 设备-设备通信 (D2D) 应采用国家无线电管理委员会授权使用的频率，在授权频段内在终端设备之间建立中继连接，D2D网络设备和终端应该通过SRRC认证。

7 网络节点功能和性能要求

7.1 汇聚型通信节点

汇聚型通信节点符合下列要求：

- a) 应支持本地通信网内部数据汇聚并能提供所需要的协调；
- b) 应支持将本地网络汇聚的数据传输到通信对端；
- c) 应支持后端业务平台对其进行业务相关管理；
- d) 应支持后端管理平台对其进行接入认证及日常管理等；
- e) 应支持适当的安全管理能力；
- f) 应支持业务平台对对设备和网络运行状态等信息的监测和采集；
- g) 应支持本地通信配置与组网，协议转换、地址映射和数据转发等功能；
- h) 可支持对监测节点的接入控制、认证和授权。

7.2 终端型通信节点

终端型通信节点符合下列要求：

- a) 将感知数据通过本地通信传递到汇聚型通信节点；
- b) 支持汇聚型通信节点、管理平台对自身接入认证、参数和软件配置等；
- c) 支持汇聚型通信节点、管理平台对自身及其所连接终端和传感器的状态监测；
- d) 应优化休眠、唤醒、发送等时间降低功耗，适应电池供电、环境自取能等不同的电源场景需求；
- e) 应根据具体安装场景，和相关的传感器进行集成设计，整体上降低功耗，提升可靠性；
- f) 应至少具有主动、被动这两种工作模式中的一种，主动模式时，通信模组控制整个传感器的工作，可主动唤醒、主动获取传感器数据，并通过无线方式上传数据，被动模式时，通信模组接受传感器的控制，可被唤醒、被断电，工作时用于传输传感器的数据；
- g) 独立通信模组和传感器之间采用UART等串口方式；
- h) 独立通信模组电气性能应满足：
 - 1) 工作电源：直流，标称 3.3V(2.4V~3.6 V)，纹波≤1%。
 - 2) LoRa 433/470MHz 通信模组休眠电流不大于 3.5uA，接收电流不大于 16mA，发射电流不大于 100mA。

- 3) LoRa 2.4GHz 通信模组休眠电流不大于 3.5uA, 接收电流不大于 16mA, 发射电流不大于 35mA。
 - 4) IEEE802.15.4 通信模组 2.4G 频段休眠电流不大于 3.5uA, 接收电流不大于 16mA, 发射电流不大于 35mA。
 - 5) 低功耗蓝牙模组发射电流不大于 15mA, 接收电流不大于 15mA, 休眠电流不大于 5uA。
 - 6) 低功耗 WLAN 模块(802.11b/g/n)工作电流典型范围 50~150mA, 休眠电流典型范围 20uA~15mA。
 - 7) 低功耗 NB-IoT 模块发射电流不大于 400mA, 接收电流不大于 32mA, 休眠电流不大于 5uA。
- i) 独立通信模组可靠性应满足:
- 1) 通信模组的平均无故障工作时间 (MTBF) 不低于 5 年。
 - 2) 通信模组的使用寿命不少于 8 年。
 - 3) 与汇聚终端型通信的数据丢包率小于 1%。
 - 4) 掉电后, 通信模组配置参数不丢失。
- j) 通信和传感器集成在一个设备上, 相关的电气性能、环境性能、机械性能等参照标准第二部分 T/CEC XXXX.2 执行。

8 无线/有线混合组网

8.1 有线通信

- 8.1.1 充分利用电力线一次线路, 采用电力线载波通信技术传输电力线上设备的在线监测信息。
- 8.1.2 在同一个站房内, 布线、取电和安装容易的终端和传感器节点, 通信方式可选择 RS485 或者其他现场总线类通信方式。

8.2 双模通信

- 8.2.1 电力线载波通信受阻抗匹配、线路分支、噪声等影响, 而无线通信受发送功率、建筑物遮挡等因素的影响, 可通过双模通信提升通信性能。
- 8.2.2 无线通信和电力线载波通信在速率上匹配, 高速电力线载波和高速无线结合, 低速电力线载波和低速无线结合。
- 8.2.3 因地制宜选择背靠背、混合组网或芯片级集成不同方式。

8.3 多模通信

- 8.3.1 本地通信有线包括电力线载波, RS485 等, 无线通信包括 WLAN, BLE, LoRa、Zigbee 等, 汇聚型通信节点可因地制宜采用多模多制式通信方式, 最大兼容各类终端和传感器接入。
- 8.3.2 充分利用各类无线通信技术的带宽互补特性, 近距离远距离互补特性, 汇聚型通信节点可采用多模态通信。
- 8.3.3 各种通信技术的选择除了考虑到在线监测外, 综合考虑多种业务需求适配, 参考附录 C, 各种典型场景下配用电设备设施在线监测组网模式见附录 D。

附录 A (资料性附录)

节点功耗计算方法

集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_n\}$ 表示物联网节点设备所包含 n 类硬件组件，集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_k\}$ 表示每类组件包含的 k 种工作状态，集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_k\}$ 表示组件各工作状态下对应的功率。组件在不同工作状态间切换会产生额外能耗。图 A.1 所示一类组件电流消耗图示，图 A.2 表示组件工作状态切换过程。 s_w 分别表示组件 d_j 在各个状态切换过程中产生的能耗。

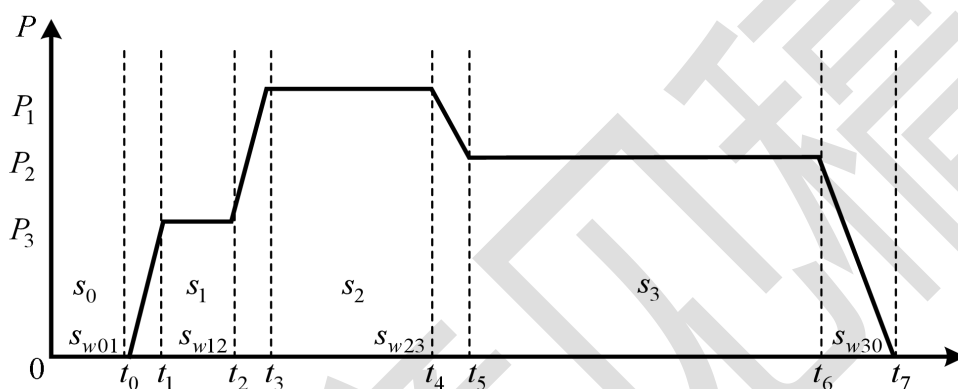


图 A.1 硬件组件电流消耗图

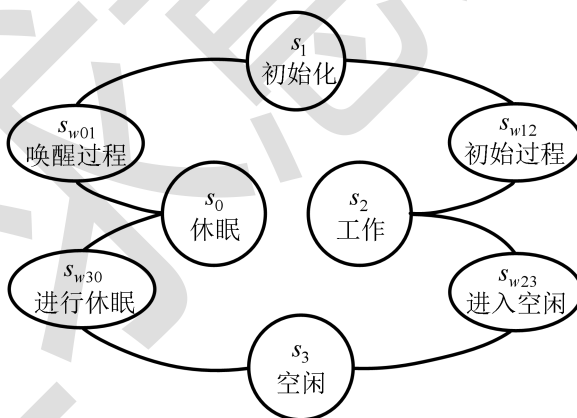


图 A.2 硬件组件的工作状态切换图

假设 d_j 硬件组件工作持续的时间为 ΔT_j ，可以得出整个系统的工作电流消耗计算如下。

$$E(t) = \sum_{j=0}^n \left[\sum_{i=0}^k p_i \times (t_{i+1} - t_i) + \sum_{i=0}^k p_i \times t_{sw} \right] + \left(t - \sum_{j=0}^n \Delta T_j \right) \times I_{\text{sleep}} \quad (4)$$

式中： I_{sleep} 为电路板休眠模式下的电流； t 为设备运行的累计时间； j 为电路上各个硬件组件的编号。

一般硬件组件的各个工作状态切换时间非常短，且电流消耗不易获取，实际计算可以将该参数省略。

对无线通信部分粗略计算步骤如：1、根据 RX 的功率和 RX 的时间计算 RX 功耗，RX 时间就是接收网关每个包的飞行时间；2、TX 的功耗；3、休眠的功耗；4、计算每秒的整体功耗。根据电池电量除以每秒的功耗即获得工作时间。

附 录 B (规范性附录)

无线通信性能要求

IEEE 802.15.4 调制方式下节点设备无线通信性能要求参见表 B.1。

表 B.1 CSS 调制下无线通信指标要求

无线通信频段	发射/接收	技术指标	要求
2400MHz~ 2483.5MHz	发射	射频输出功率	可达到 4dBm-10dBm, 功率可调
		发射带宽	默认 1MHz
		发射频率容差	$\pm 40\text{ppm}$ (1MHz)
		杂散发射	$\leq -36\text{dBm}$ (9KHz-1GHz) $\leq -42\text{dBm}$ (1GHz-15GHz)
	接收	灵敏度	可达到-98dBm (250kbps)
		接收频率容差	$\pm 60\text{ppm}$

CSS 调制方式下, 节点设备无线通信性能要求参见表 B.2。

表 B.2 IEEE802.15.4 调制下无线通信指标要求

无线通信频段	发射/接收	技术指标	要求
2400MHz~ 2483.5MHz	发射	射频输出功率	可达到 8dBm, 不超过 10dBm, 功率可调
		发射带宽	默认 812.5kHz
		发射频率容差	$\pm 30\text{ppm}$ (812.5kHz)
		杂散发射	$\leq -36\text{dBm}$ (9KHz-1GHz) $\leq -30\text{dBm}$ (1GHz-15GHz)
	接收	灵敏度	可达到-113dBm (SF=8,BW=812.5kHz)
		接收频率容差	$\pm 50\text{ppm}$
470MHz~ 510MHz	发射	射频输出功率	可达到 15dBm-17dBm, 功率可调
		发射带宽	默认 500kHz
		发射频率容差	$\pm 30\text{ppm}$ (500kHz)
		杂散发射	$\leq -36\text{dBm}$, 9KHz-1GHz $\leq -30\text{dBm}$, 1GHz-15GHz
	接收	灵敏度	可达到-109dBm (SF=5,BW=500kHz)
		接收频率容差	$\pm 50\text{ppm}$ (500kHz)

注：SF—扩频因子；BW—带宽。

附录 C
(资料性附录)

典型通信技术参数对照

光纤、HPLC、RS485 有线通信技术主要面向可靠性要求较高，易于布线施工的场所。WiFi、WAPI、5G NR-U、LTE-U 等无线宽带技术适用于接入数据量较大的传感器和终端；LoRa、Zigbee 等无线窄带技术适用于接入数据量较小的传感器和终端接入。

表 C.1 参数对照表

技术参数	本地有线通信			本地无线通信					
	光纤	RS485	HPLC	Zigbee	LoRa	WiFi	WAPI	5G NR-U	LTE-U
工作频段	/	/	0.7~3MHz	2400MHz	470MHz/2400MHz	2400MHz/5.8GHz	5.8GHz	5.8GHz	工作频段
组网方式	星形	总线	星形+多跳	星形+多跳	星形+多跳	星形	星形	星形	星形
覆盖半径	数 km	1200m	300m，多跳 1km	<100m	城区 3~5km/郊区 10~15km	50~100m	50~100m	200m	1~3km
连接数	100+	32	1000	2000	约 1 万	256	256	100	64
速率	100Mbps	数百 kbps	200kbps	120kbps	50kbps	WiFi4: 2~20Mbps, 10ms 级 WiFi5: 2~50Mbps, 10ms 级 WiFi 6: 2~100Mbps, 10ms 级		100Mbps	10Mbps
时延	10ms 级	10ms 级	10ms 级	数十 ms	数百 ms			小于 4ms	大于 8ms
安全性	较高	较高	较高	高	高	高	较高	较高	较高
覆盖经济性	适中	优	优	较优	优	较优	优	适中	适中
在线监测 应用场景 现状	可靠性，抗干扰要求较高的场合	配电室等宜布线，或者汇聚型终端附近的传感节点监测	沿低压线路安装的设备，如低压断路器、分支箱等监测	数据量较小的传感节点，如温度、湿度、振动等监测	数据量较小的传感节点，如温度、湿度、振动等监测	数据量较大的传感节点，如红外、局放等监测		少量试点，数据量较大的传感节点，如红外、局放等监测	少量试点，数据量较大的传感节点，如红外、局放等监测

附录 D
(资料性附录)

典型场景本地通信组网模式

典型场景通信组网模式参见图 D.1。

- a) 中压开关站、A⁺、A类供电区域配电房，采用低功耗无线通信为主，其中采用无线宽带局域网宜选择WAPI技术，在汇聚型终端附近且便于布线的位置的传感器可采用RS-485等通信技术，根据站点面积大小、房间布局、传感器种类、安装环境等综合考虑，一个站点可配置多个汇聚型通信设备；
- b) 环网柜、中压分支箱等采用有线通信（光纤、RS-485等）为主，涉及到母线测温等可采用无线通信，如环境自取能无线测温技术、声表面波无源无线测温技术等；
- c) 配电室等采用低功耗无线通信为主，在汇聚型终端附近且便于布线的位置的传感器可采用RS-485等通信技术，可根据站点大小配置安装多个汇聚型通信设备；
- d) 箱变、低压柜等采用有线通信（光纤、RS-485等）为主，涉及到变压器进出线、母线测温等可采用无线通信，如环境自取能无线测温技术、声表面波无源无线测温技术等；
- e) 低压线路上的低压分支箱、表箱、低压断路器等监测通信可采用电力线载波、电力线载波/无线双模通信等；
- f) 用户侧分布式光伏、储能、充电桩等监测可采用电力线载波、电力线载波/无线双模通信等；无低压电源线路的监测点可采用低功耗无线通信，距离较远时，可采用多跳中继无线通信；对于低压智能断路器等，结合上行通信连接、下行通信连接、本地通信配置等，可采用多模通信，提高通信集成度，减小设备体积。

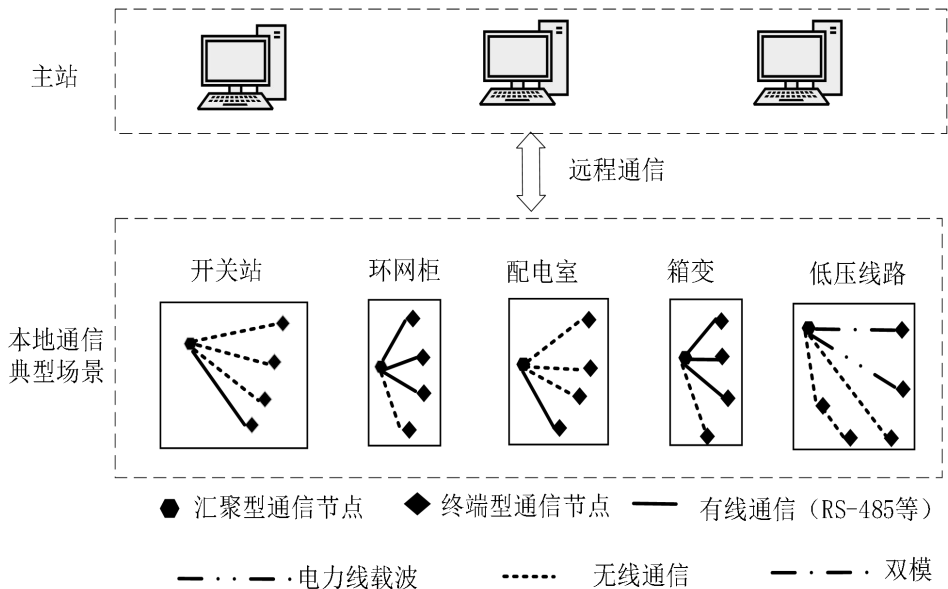


图 D.1 典型场景本地通信组网模式

参考文献

- [1] GB/T 15629.15—2010 信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 特定要求 第15部分：低速无线个域网（WPAN）媒体访问控制和物理层规范
- [2] GB/T 30269.601—2016 信息技术 传感器网络 第601部分：信息安全：通用技术规范
- [3] GB/T 40422—2021 无线传感器网络与电信网络结合的总体技术要求
- [4] GB/T 42586-2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换 时间敏感网络配置
- [5] GB/T 42561-2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换 实时以太网适配时间敏感网络技术要求
- [6] Q/GDW 12020—2019 输变电设备物联网微功率无线网通信协议
- [7] Q/GDW 12021—2019 输变电设备物联网节点设备无线组网协议
- [8] Q/GDW 12087.1—2020 双模通信互联互通技术规范 第1部分：总则
- [9] Q/GDW 12101—2021 电力物联网本地通信网技术导则
- [10] IEEE 802.15.4—2020 IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks
- [11] 工信部无(2002)277号 关于使用5.8GHz频段频率事宜的通知
- [12] 工信部无(2002)353号 关于调整2.4GHz频段发射功率限值及有关问题的通知
- [13] 国务院(2016)672号 中华人民共和国无线电管理条例
- [14] 工信部(2018)46号 中华人民共和国无线电频率划分规定
- [15] 工信部(2019)52号 微功率短距离无线电发射设备目录和技术要求
- [16] 工信部无(2021)129号 关于加强和规范2400MHz、5100MHz和5800MHz频段无线电管理有关事宜的通知
- [17] 工信部无(2021)61号《工业互联网和物联网无线电频率使用指南（2021年版）》
-