

# 无源物联网产业发展白皮书(2022)

## —— 前瞻无源物联新纪元

2022年10月

**Copyright©2022**

## 版权与免责声明

本白皮书基于公开资料以及对相关企业的调研进行编写，仅供读者参考，不构成任何投资或法律建议。

本白皮书版权归智次方（智次方（深圳）科技有限公司）所有，并受到法律保护。任何形式的转载、摘编或以其它方式利用本白皮书的任何内容，应注明“来源：智次方·挚物产业研究院”。违反上述声明者，智次方将追究相关法律责任。

研究团队：张鹏、梁张华、黄云皓、吴艺、彭昭

## 鸣谢单位

本白皮书的编写，得到以下单位支持（排名不分先后），特此感谢！

北京交通大学信息通信网络研究所  
上海交通大学 RFID 与物联网研究所  
中国移动通信研究院  
北京欧珀通信有限公司（OPPO）  
成都飞英思特科技有限公司  
深圳市铖月微电子有限公司  
深圳市每开创新科技有限公司  
广东中世发智能科技股份有限公司  
不负期待（海南）科技有限公司



## 目 录

Part 1 缘起 • 无源物联网兴起的背景.....	6
一、千亿级万物智联愿景驱动 .....	6
二、“双碳”高质量发展目标引导 .....	7
Part 2 识辨 • 无源物联网概述.....	9
一、无源物联网发展的愿景 .....	9
二、无源物联网的定义 .....	9
三、无源物联网的特点和优势 .....	10
（一）微能自供.....	10
（二）极致能效.....	10
（三）绿色环保.....	10
（四）广泛适用.....	11
Part 3 洞理 • 无源物联网的技术路线与应用场景.....	12
一、无源物联网三大底层技术 .....	12
（一）环境能量采集技术.....	12
（二）低功耗计算技术.....	19
（三）低功耗通信技术.....	20
二、无源物联网典型技术路线及对应场景 .....	21
（一）飞英思特无源物联网技术路线及应用场景.....	21
（二）中国移动无源物联网技术路线及应用场景.....	25
（三）OPPO 无源物联网技术路线及应用场景 .....	27
（四）每开创新无源物联网技术路线及应用场景.....	30
Part 4 明势 • 无源物联网产业现状及前景展望.....	32
一、无源物联网产业链分析 .....	32
二、无源物联网市场前景展望 .....	33
（一）无源物联网典型应用发展曲线.....	33
（二）无源物联网产业成熟度模型.....	36
（三）无源物联网市场规模预测.....	40

## 图表目录

图表 1：无源物联网不同采能方式的发展现状、优劣势及主要应用场景.....	13
图表 2：光能采集方式技术原理示意图.....	16
图表 3：振动能量采集方式技术原理示意图.....	17
图表 4：温差能量采集方式技术原理示意图.....	17
图表 5：无线电射频能量采集方式技术原理示意图.....	18
图表 6：各类射频能量采集技术发展概况.....	19
图表 7：AmBC 系统示意图.....	22
图表 8：飞英思特无源物联网环境微能量采集和管理解决方案.....	23
图表 9：飞英思特星云 REVOMINDS®系列模组.....	24
图表 10：飞英思特基于自供能工牌的管理系统.....	24
图表 11：中国移动推进无源物联网发展的 3 阶段规划.....	26
图表 12：无源 3.0 系统空口架构图.....	26
图表 13：无源 3.0 系统网络架构图.....	27
图表 14：基于蜂窝的零功耗通信系统主要包括的通信方式.....	28
图表 15：无源物联网产业链结构图.....	32
图表 16：无源物联网技术与相关场景的应用匹配性.....	33
图表 17：无源物联网技术及应用场景发展成熟度曲线图.....	36
图表 18：无源物联网产业成熟度评估指标表.....	39
图表 19：无源物联网产业成熟度评估张力图.....	40
图表 20：无源物联网市场规模预测.....	41

## Part 1 缘起 · 无源物联网兴起的背景

无源物联网是指连入网络的终端节点设备不接外部电源、不带电池，而是从环境中获取能量，从而支撑起数据感知、无线传输和分布式计算的物联网技术。无源物联网的兴起是物联网产业寻求发展突破和政府政策引导共同作用的结果。

### 一、千亿级万物智联愿景驱动

据智次方·挚物产业研究院测算，2022年中国物联网连接数有望接近77亿，距离百亿级连接目标仍有一定距离。从全球看，据IoT Analytics统计，2021年物联网连接数达到122亿，预计2022年有望同比增长约20%，达到146亿左右。无论从国内或国际上看，基于目前“有源”技术路线的物联网连接，其规模上限或在百亿级别，距离业界期待的千亿级万物智联尚有较大差距。

一方面，海量物品受限于成本刚性制约，难以采用有源物联网模组实现连接。以有源的NB-IoT模组为例，其价格目前介于10-20元之间，相比已较成熟的无源物联网应用UHF RFID的标签高出几十倍，大规模采用有源模组并不符合众多行业的成本控制要求。例如在物流行业，据国家邮政局数据，2021年我国快递业务量为1083亿件，基于NB-IoT、Lora等有源技术实现每个快件的连接显然并不可行，须采用更廉价的物联网技术实现。无源物联网的最大优势，就是完全不需要电池，不仅将免去电池组件成本，还将节省更换电池的成本，更为符合海量物品实现低成本连接的需求。

另一方面，众多有连接需求的物件受限于其分布广泛、需灵活移动等因素，或者应用于高温、高湿、极低温、高压、高辐射等极端场景，导致终端设备的电池更换困难或无法直接靠电池供电。当去掉电池后，终端的体积可进一步缩小，将有利于终端整体设计，同时由于免去电池更换等维护，将提升终端设备使用过程中的安全及效率水平。

因此，从物联网连接发展的趋势看，特别当面对海量物品“上线”需求时，无源物联网将是重要的支撑性技术路线。无源物联网技术有望在更广范围内，助力更大规模终端节点设备实现传感感知和传输连接，进而支持相关终端节点设备的海量数据汇聚，并结合边缘计算、云计算和人工智能等技术实现智能分析决策，最终促进形成万物智联的新业态。

## 二、“双碳”高质量发展目标引导

2020年9月，国家主席习近平在第七十五届联合国大会上宣布，中国力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，并努力争取2060年前实现碳中和目标。“双碳”目标的提出将驱动我国经济社会全面转向绿色高质量发展新时代。

在物联网领域，目前有源终端中较多采用电池供电。随着物联网产业快速发展，其耗费的电池数量将极为庞大。据IDC、Gartner等机构预测，在物联网发展成熟之际，全球或需416亿块电池来提供所有在线物联网设备收集、分析和发送数据所需的能量，将极有可能引发能源和环保挑战。因此，“双碳”背景下的物联网产业的变革迫在眉

睫，在达成千亿级万物智联目标的过程中，企业亟待加快技术创新，促进感知、计算和传输的能效大幅提升。随着无线传感网络的大规模应用，环境能量收集技术作为一种可持续、绿色环保的供电方式，有望为覆盖千亿级物联网节点提供可行解决方案。



## Part 2 识辨 · 无源物联网概述

### 一、无源物联网发展的愿景

物联网作为构建万物智联未来社会的底层技术之一，通过对物理世界的感知、连接和智能管理，促进运转效率提升、生产成本降低和资源能耗节约。未来千亿级万物智联必将建立在低碳供能和设备低功耗运转等基础上。

无源物联网主要以收集环境中的微能量，并结合设备功耗降低，来维持设备的正常运转，是物联网中以节能减碳和低功耗为主要发展方向的技术。无源物联网将致力于成为千亿级万物智联的主要技术方案，其技术及应用发展的进程，或将决定万物智联目标的实现程度和速度。

### 二、无源物联网的定义

“源”，即电源、能量源。“无源”，即不接外部电源、不带电池。因此，“无源物联网”是指接入网络的终端节点设备，在不带电源线和无内置电池的情况下，实现数据的采集、传输和分布式计算等功能。不带电源线、无内置电池，并非终端节点设备无需能量，而是换了一种获取能量的方式，变为主要从环境中获取微能量支持自身正常运转。同时，“无源化”的对象并非网络，而是终端节点设备，亦即，网络侧的功能方式未发生根本性变化。

无源物联网是终端设备连接向自供能、低功耗方向发展的一项重

要技术方案，随着无源物联网技术的突破和应用规模的扩大，无源物联网甚至有望推动新一轮能源革命。

### 三、无源物联网的特点和优势

无源物联网通过技术创新，减少对人工能源的依赖，转为从自然中获取能量，开创出一种在自供能、低功耗工作基础上的能源自给自足的物联网新运转模式。

#### （一）微能自供

微能量在环境中普遍存在，但未被有效采集和利用。无源物联网终端节点设备通过采集环境中普遍存在的微能量支持自身运转，相对有源物联网具有更高的经济效益优势，以及低碳绿色的社会效益优势。

#### （二）极致能效

实现“无源”目标，需要克服许多技术难点，其核心为“通过任何来源所获得的能量必须超过设备运行本身所需的功耗”。因此，如何尽量降低设备能耗，利用节点当前的能量来完成尽可能多的数据感知、传输、计算任务，是无源物联网解决方案的主要努力方向之一。

#### （三）绿色环保

无源物联网能从制造和消费两个层面有效控制高能耗和高污染。一方面，无需电源供电，可以节约大量电池和电能，降低电池成本投入和能耗；另一方面，将有效避免因大量电池废弃造成的环境污染。

#### （四）广泛适用

无源物联网的终端节点设备无需携带电池或连接电源，从环境采集能量的特性可以满足大量小体积和极端作业场景的要求，从而有着更广泛的适用空间。例如，RFID 技术作为目前应用最广的无源物联网技术，其产品出货量已达到每年数百亿的级别，在零售、医疗、物流、制造等行业广泛使用。



## Part 3 洞理 · 无源物联网的技术路线与应用场景

### 一、无源物联网三大底层技术

无源物联网的工作主要依赖于环境能量采集、低功耗计算和低功耗通信三大底层技术。

#### （一）环境能量采集技术

无源物联网设备不依赖电池或布线电源线供电，而是通过捕捉环境中的能量，并转化为电能支持设备工作。近年来，能量转化技术的不断升级和成熟使得环境能量捕捉和使用成为现实。目前，从环境中采集能量的方式主要包括四种，即光能采集、振动能量采集、温差转换能量采集以及无线电射频能量采集。其中无线电射频能量采集方式下根据不同的通信制式又可以再作进一步的技术路线划分。目前，无源物联网应用中较具规模、成熟度较高的环境能量采集方式主要为光能和无线电射频能量采集。

不同环境能量采集方式的特点、优劣势、主要应用场景如下：

**图表 1：无源物联网不同采能方式的发展现状、优劣势及主要应用场景**

能量采集方式	发展现状	优劣势	应用场景
光能采集	光能/太阳能采集是目前较为普遍、成熟的环境能量采集方式，其已成为清洁能源中规模最大的能量源之一。	<b>优点：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 能量密度大</li> <li>➤ 获取难度低</li> <li>➤ 产业链较成熟</li> </ul> <b>缺点：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 成本高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 交通路灯</li> <li>➤ 环境监测</li> <li>➤ 海上勘探</li> <li>➤ 通信基站</li> <li>➤ 太阳能停车场</li> <li>➤ 光伏发电等</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 尺寸大</li> <li>➢ 安装维护成本高</li> <li>➢ 受时间、天气等诸多外界条件影响</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 农业监测</li> <li>➢ 智能家居</li> </ul>
<b>振动能量采集</b>	<p>振动能量采集在工业物联网和智能家居等领域已有一定范围的应用，工厂或家居场景多项设备的振动可以产生能量供采集。</p>	<p><b>优点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 振动采集能量的 3 种转换方式都易于 MEMS 技术集成</li> <li>➢ 压电转换无需驱动电源，机电转换性能高、输出电压高、环境适应能力好、结构紧凑</li> <li>➢ 磁电转换无需额外的驱动电源与功能材料，且输出电流大</li> <li>➢ 静电转换无需功能材料且输出电压较高</li> </ul> <p><b>缺点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 磁电转换输出电压低磁体与线圈尺寸较大</li> <li>➢ 静电转换需要外部电压源，且产生电流低、电容气隙小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 智能可穿戴设备</li> <li>➢ 开关</li> <li>➢ 遥控器</li> <li>➢ 工业生产</li> </ul>
<b>温差转换采集</b>	<p>部分可穿戴及工业监测设备正探索使用温差热能收集技术，因为不断散发热量的物体可作为热的一端，环境则成为冷的一端，二者间的温差将产生能量。不过，物体体表温度较其外部环境温度的温差并不会会有较大差异，因而输出电压将较小，难以支撑大功率设备正常工作，一般只能为低功耗设备供能。</p>	<p><b>优点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能量环境适用广</li> <li>➢ 能量获取难度低</li> </ul> <p><b>缺点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能量密度低</li> <li>➢ 输出电压小</li> <li>➢ 限于低功耗设备</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 低功耗设备</li> <li>➢ 微型体积设备</li> <li>➢ 烟感防火</li> </ul>

<p><b>无线电射频采集</b></p>	<p>无线电射频采集能量的来源广泛，手机、移动通信基站、电视、电台信号基站、Wi-Fi、微波炉等设备都可以发射射频能量。目前通过射频方式可采集到的能量较少，更多应用于超低功耗传感器。射频能量采集技术如果得以进一步突破，可作为极佳的能量采集方式。</p>	<p><b>优点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 电子设备使用广泛</li> <li>➢ 射频源丰富</li> <li>➢ 可复用、小尺寸、易部署、低成本</li> </ul> <p><b>缺点：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 能量密度小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 物流包裹</li> <li>➢ 服装零售</li> <li>➢ 图书管理</li> <li>➢ 防伪追溯</li> </ul>
-----------------------	--	--	--

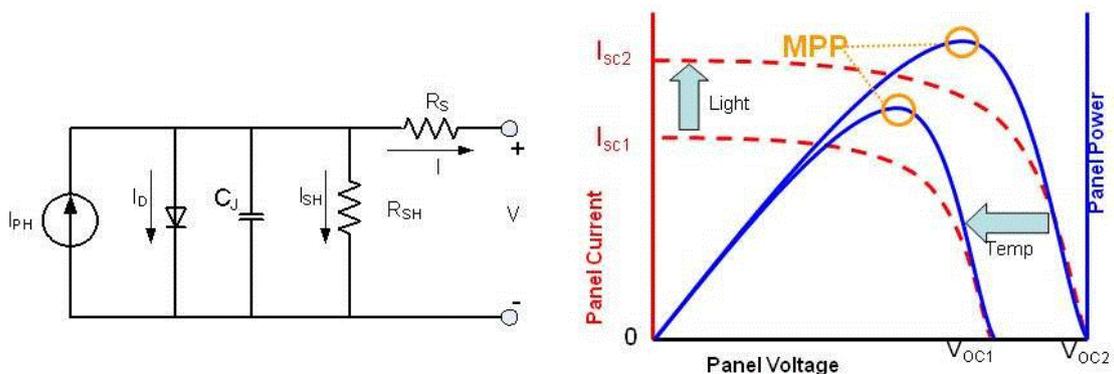
来源：公开资料，挚物产业研究院整理

不同的环境能量采集方式的技术原理如下：

### 1. 光能采集技术原理

光能采集的核心技术原理是利用半导体材料的光电效应，将光能直接转变为电能。光能采集量和利用效率，主要取决于光伏材料性质、光照强度及转换效率。随着光能采集技术发展，以及光伏材料研究的突破，光能采集和转化的效率已达到较高水平。目前，光能采集在物联网传感设备中已有若干应用，如太阳能监控摄像机等。

**图表 2：光能采集方式技术原理示意图**



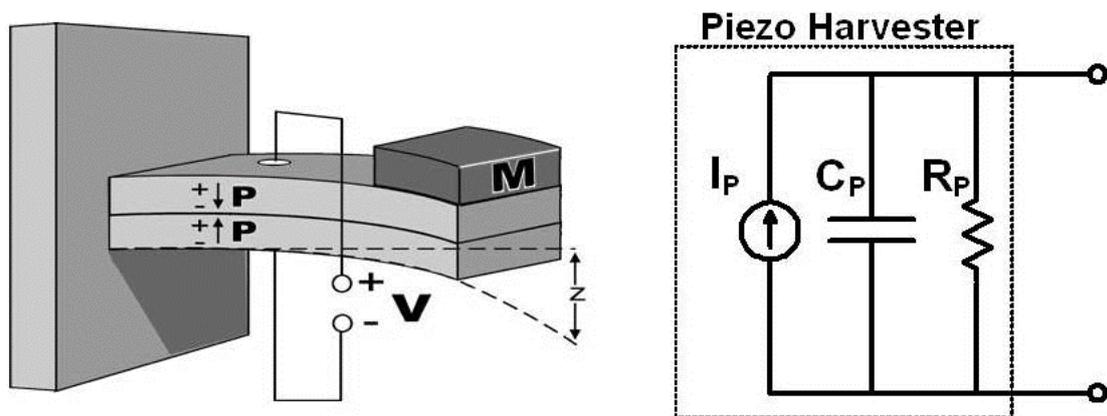
来源：公开资料，挚物产业研究院整理

## 2. 振动能量采集技术原理

通过振动收集到的能量一般可以通过压电转换、静电转换和磁电转换 3 种方式进行能量转换。其中，静电转换方式可以通过静电感应，将机械能转化成电能；压电转换方式在进行能量转换时，需要形成初始电压差才能进行设备供电的能量转换；磁电转换方式则通过振动使导体切割磁感线产生能量。目前，具有较高能量密度的压电转换和磁电转换应用较为广泛。

振动能量采集在工业和室内等场景下已有一定范围的应用。例如，工厂中的电动机、变速箱、泵等设备的工作过程中会产生轻微振动，通过压电材料可以对这些微动能量进行采集和储存，得到足以支撑低功耗传感器运行的能量；在室内场景下，自供能开关、自供能门铃等无源产品通过按压振动结构可形成电磁切割现象从而产生电能，相关能量可被实时采集和释放，实现随产随用。

图表 3：振动能量采集方式技术原理示意图

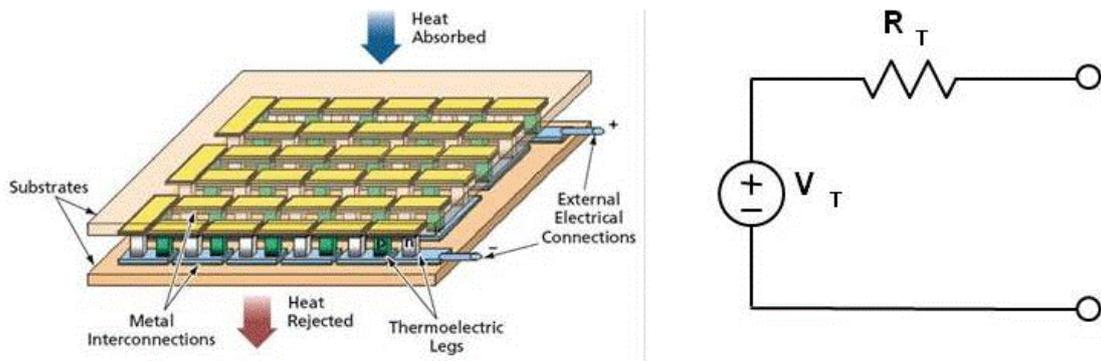


来源：公开资料，挚物产业研究院整理

### 3. 温差能量采集技术原理

温差能量采集主要是通过赛贝克效应原理把热能转换为电能，亦即，通过热电发生器中的温差产生的电势，将热源中的废热转换为电能。这种特性决定了温差能量采集须具备稳定的热源，还需要散热器来制造温差并使热量在设备中流动，从而持续产生微电流。目前，温差能量采集的方式已在可穿戴设备、工业监测等领域有若干应用。

图表 4：温差能量采集方式技术原理示意图



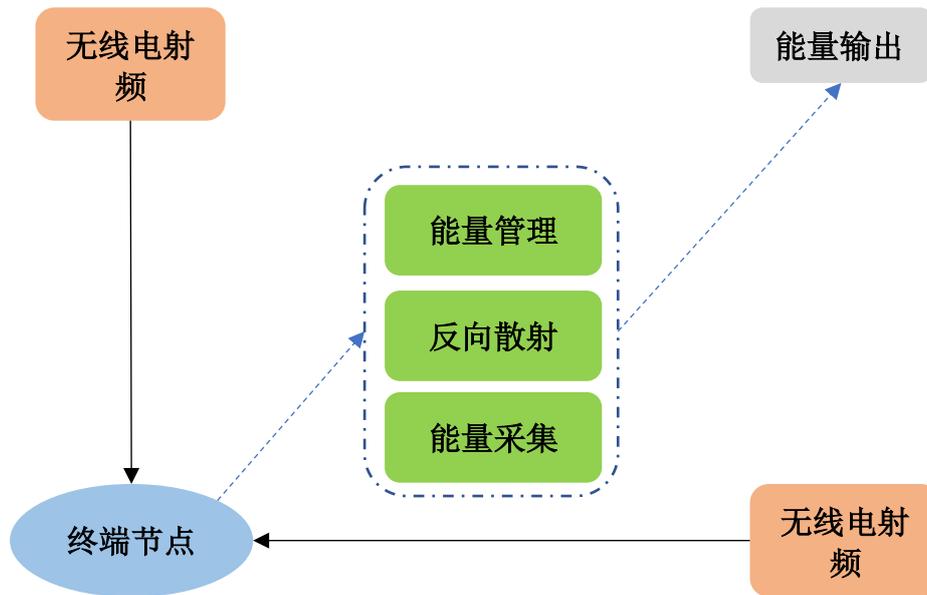
来源：公开资料，挚物产业研究院整理

### 4. 无线电射频能量采集技术原理

无线电射频又简称为射频。射频能量采集的核心是将射频能量转换为直流能量。相关能量可存储在储能单元（如电容）中，也可采集后直接用于驱动逻辑电路、数字芯片或传感器件等，完成对反向散射信号的调制和发射，以及传感信息的采集与处理等。

需要注意的是，无线发射器和能量采集器分别通过自身的天线发射/接收信号，因此，须保证二者天线的工作频率与收发信号的频率相同。同时，空间距离和采集到的能量成反比，因此，无线发射器和能量采集器的空间距离须在合乎要求的范围内。

图表 5：无线电射频能量采集方式技术原理示意图



来源：挚物产业研究院

射频能量在日常生活中广泛存在。目前，基于 RFID 和 NFC 的射频能量采集技术已在公交卡、ETC、工业设备监测、无线供电手持设备、可穿戴低功耗设备以及 RFID 标签等领域有广泛应用。基于 Wi-Fi、蓝牙以及蜂窝网络等的射频能量采集技术相对仍不成熟，还处于小批量试应用探索或理论研究阶段。

图表 6：各类射频能量采集技术发展概况

射频能量采集技术路线	射频技术简介	技术成熟度	代表企业
<b>RFID</b>	RFID 技术是应用最为最广泛和成熟的无源物联网技术。其原理为是当 RFID 标签靠近阅读器后，接收阅读器发出的射频信号，产生感应电流，获得能量。通过收集相关微弱能量，标签发送信息，实现与阅读器的通信。目前，这种方案的无源物联网产品每年的出货量已达数百亿级别。	规模应用	远望谷 微标科技 厦门信达

<p><b>NFC</b></p>	<p>NFC 作为高频 RFID 的一种,已基本成为智能手机的标配。不过, NFC 有其局限性,例如传输距离短、对专用读写器的依赖度高等,应用的场景相对有限。</p>	<p>规模应用</p>	<p>启纬智芯</p>
<p><b>蓝牙</b></p>	<p>无源蓝牙低功耗传感器标签无需供电,也可完成感知、存储和通信,该标签通过收集周围的无线射频能量来为其供电,并借助这些能量发送标签唯一标识码的数据以及传感器读数。</p>	<p>应用探索</p>	<p>Wiliot Atmosic</p>
<p><b>Wi-Fi</b></p>	<p>美国华盛顿大学电子工程学院的研究人员在 2016 年研发出一种全新的名为 Passive Wi-Fi 的技术,设计原理类似 RFID 芯片,利用射频信号的后向反射通信技术,当附近 Wi-Fi 路由器发射功率相对较高的射频信号后,无源物联网节点吸收射频信号并调制天线反射系数,将传感器信息传递出去。 Passive Wi-Fi 无源节点传输 1Mbps 和 11Mbps 所消耗的电量分别仅为 14.5<math>\mu</math>W 和 59.2<math>\mu</math>W,仅正常 Wi-Fi 节点电量消耗的万分之一。且能实现 30 米回传,并有一定的穿墙能力。</p>	<p>研究阶段</p>	<p>物联产业研究院</p>
<p><b>5G</b></p>	<p>2021 年华为提出面向 5.5G 的无源物联网设想,希望将无源物联网纳入 5G 网络体系。通过 5G 蜂窝网络支持无源物联,一个难点是无源终端节点如何获取能量,另一个难点在于如何实现长距离回传,尤其后者的难度更大。无源终端通过各种方式获得的能量非常微弱,回传路径过长,信号会快速衰减。目前在实验室阶段最先进的技术已经可以做到在 180 米范围内,收集特定频段的 5G 射频能量,采集到约 6<math>\mu</math>W 的电力。</p>	<p>研究阶段</p>	<p>华为</p>

<b>Lora</b>	2021 年日本村田公司与 Nowi 公司合作推出无电池 LoRa 方案参考平台,使用村田的 LoRa 模块和 Nowi 的能量采集电源管理 (PMIC) 芯片供给能量。这类无源方案大多由模组厂商和能源芯片企业合作,推出兼容 LoRa/NB-IoT 模组的模块,采用线性扩频技术提升回传能力,借助反射调制系统实现永久供能。	研究阶段	村田公司 Nowi 公司
-------------	---	------	-----------------

来源：公开资料，挚物产业研究院整理

## （二）低功耗计算技术

无源物联网终端运行时可利用的能量有限，这决定了驱动电路或芯片用于计算的功耗需求不能过高。因此，选择低功耗芯片，同时配合简单编码和调制，完成简化的低压驱动电路设计，以及低功耗接收机等，是实现低功耗运行的关键和挑战。

低功耗芯片一般包括 MCU 和传感器等。随着半导体技术的进步，终端芯片功耗已实现降低到  $\mu\text{W}$  级甚至更低的  $\text{nW}$  级，例如，目前应用成熟的低功耗计算 MCU 芯片的功耗即已在  $\mu\text{W}$  级别，这为无源物联网的技术发展和应用探索奠定了坚实基础。

简单编码和调制可以在很大程度降低通信的计算功耗，这要求相应的电路设计采取尽可能简化的原则。

低功耗接收机降低了相应组建/终端节点设备的复杂度，将大大有益于实现简单的调制/解码功能，从而降低功耗。

### （三）低功耗通信技术

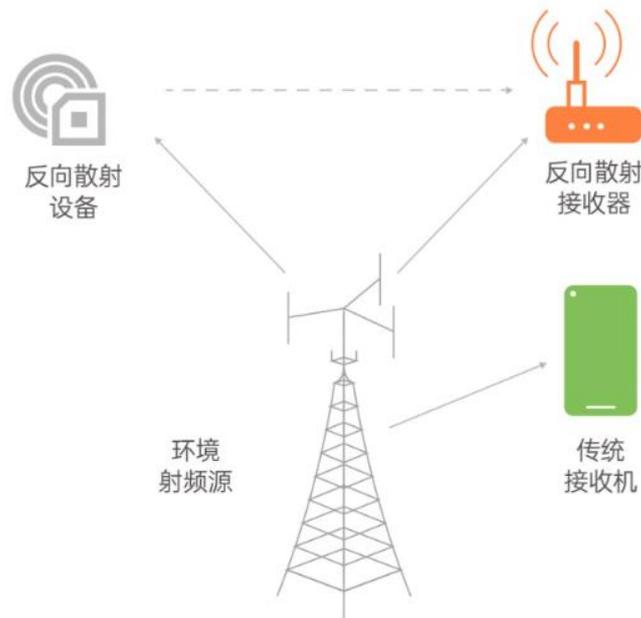
因当前能量采集技术的发展水平限制，无源物联网终端数据的传输往往以低耗能的近距离、低速率通信技术为主。在传输方式上，相比需要耗费更多能量主动生成信号，无源物联网终端更多依靠反向散射方式，对接收到的射频信号进行反射以传输数据。

反向散射技术是一种无需有源发射机而实现信号传输与编码的无线技术。类似于雷达原理，电磁波在到达物体表面时有一部分会被反射，被反射信号的强弱取决于此物体的形状、材质与距离，从雷达的角度讲，每个物体都有其雷达截面（RCS，Radar Cross-Section），标签（tag）通过改变其 RCS 实现对反射信号的调制。反向散射发射机调制接收到的射频信号以传输数据，而无须自己生成射频信号。不过，传统反向散射技术受限于传输距离短、对专用读写器依赖度高、存在较强的系统自干扰和互干扰、被动性操作导致自动化管理难等问题，目前应用较为成熟的路线仅限于 RFID 和 NFC 两类。

展望未来，环境反向散射通信（Ambient Backscatter Communication, AmBC）有望成为使能低功耗通信的一项更有前途的技术。它可以有效地解决传统反向散射通信系统中的上述局限性，从而使 AmBC 技术在实际应用中得到更广泛采用。在环境反向散射通信系统中，反向散射设备可以通过利用从环境射频源（例如电视塔、FM 塔、蜂窝基站和 Wi-Fi AP 等）发出的无线信号来相互通信。同时，进一步通过分离载波发射器和反向散射接收器，反向散射设备的射频组件数量可以被最小化，且设备可以主动运行，即反向散射发射器可

以从射频源采集到足够能量时，无需接收机启动即可发送数据。

图表 7：AmBC 系统示意图



来源：OPPO，挚物产业研究院整理

## 二、无源物联网典型技术路线及对应场景

### （一）飞英思特无源物联网技术路线及应用场景

飞英思特科技有限公司专业从事自供能传感技术的研发与应用，致力于解决物联网底层设备的供电问题，是全球最早一批将环境能量采集技术实现商业化应用的团队，也是国内该方向的引领企业之一。

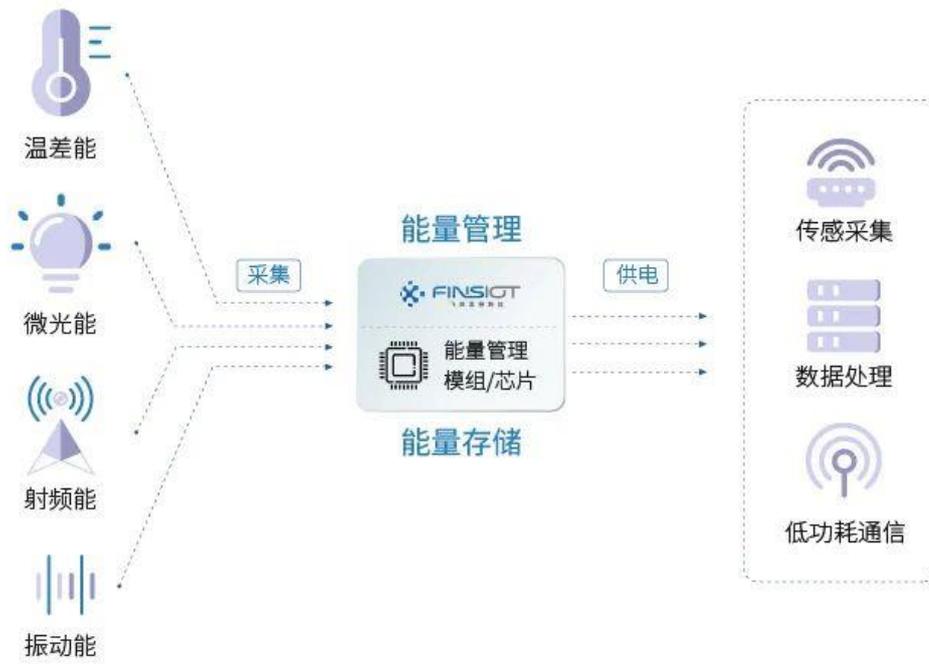
#### 1.技术路线

飞英思特集成环境能量采集技术、微能量管理技术和超低功耗技术，面向难以布线等场景解决其供电需求问题。

**环境能量采集技术：**飞英思特通过自研的温差、振动、微光能以及射频能等采集发电装置，助益物联网设备从环境中高效获取  $\mu\text{W}$  级

能量并产生电力，使低功耗设备永久在线，能持续感知、处理和传输监测数据，彻底摆脱繁琐布线及电池续航等限制，实现无源无线运行。

图表 8：飞英思特无源物联网环境微能量采集和管理解决方案



来源：飞英思特，挚物产业研究院整理

**微能量管理技术：**飞英思特推出的系列微能管理模组支持微光、温差、振动、射频多种取能模式。例如，REVOMINDS® FEH610 是专为光能设计的微光能管理模组；TEG 温差能管理模组 REVOMINDS® FEH710 可在 $\pm 2$  摄氏度温差环境下实现取能；复合环境能量管理模组 REVOMINDS® FEH620 可应用于微光能、射频能、微动能采集和管理，开发工程师可利用其轻松设计出能够采集、管理多种能量源的无源无线产品。凭借多能量采集技术，飞英思特可为 OEM 厂商提供不间断能量收集的低功耗物联网终端供电解决方案。

**图表 9：飞英思特星云 REVOMINDS®系列模组**

来源：飞英思特，挚物产业研究院整理

**超低功耗技术：**飞英思特通过运行于边缘端的超低功耗深度学习模型训练生成的超低功耗算法，在满足边缘设备正常工作的前提下，能有效降低设备自身工作能耗，大幅延长设备生命周期内的续航时长。

通过运用环境能量采集技术、微能量管理技术以及、微能量采集以及超低功耗技术，飞英思特无源物联网解决方案可以使单个节点的使用寿命保持在 10 年以上。

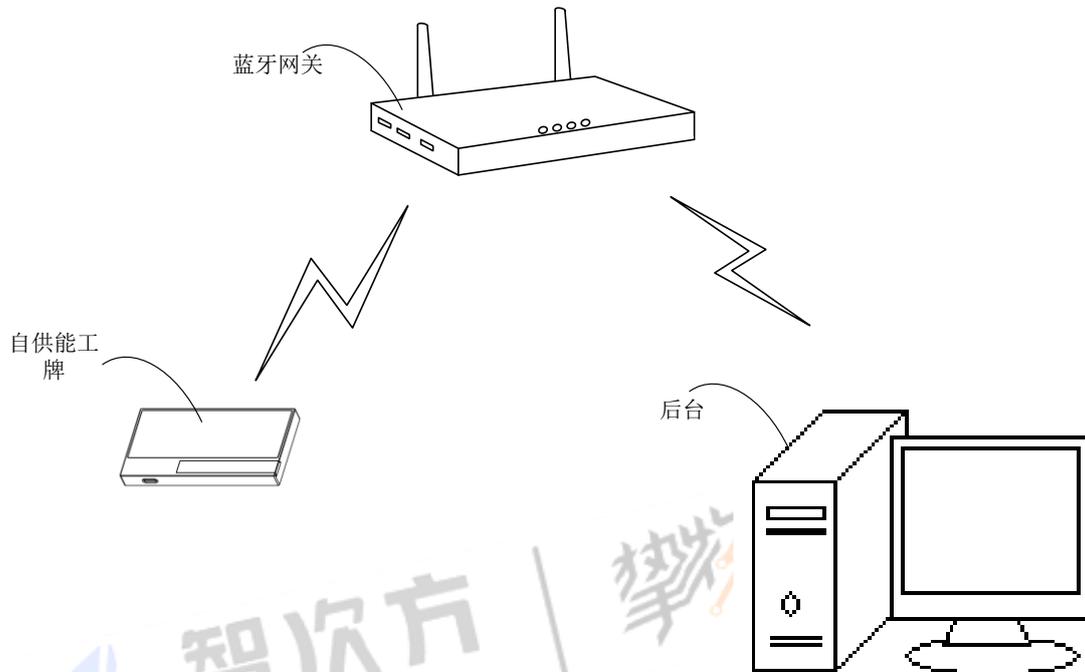
## 2.应用场景

飞英思特无源物联网技术解决方案应用场景包括移动定位、管网水表供电以及农业种植等场景。

**移动定位：**在物流仓储和大型制造工厂中，定位标签的应用非常常见，但鉴于被管理对象频繁移动等原因，定位标签需时刻在线以保障位置信息的准确性，从而大大加快了电源消耗速度。飞英思特为京东物流仓储中人员设计了基于自供能工牌的管理系统，工牌通过光伏

板将光能转换为电能维持负载运作，并通过无线通信模块将工牌的相关数据发送至蓝牙网关，进而再计算工牌的位置，把工牌的相关数据和位置信息上传至后台。

**图表 10：飞英思特基于自供能工牌的管理系统**



来源：飞英思特，擎物产业研究院整理

**自来水管网水表供电：**自来水管网作为给水系统中重要的组成部分，与之配套的管网水表目前一般采用电池或布线供电，电池供电寿命不长，而布线供电则增加成本。飞英思特为海兴电力设计管网水表供电系统，通过在 DN50 至 DN100 的自来水管中安装叶轮和发电机，以微能管理技术为核心利用管网中水流的流动发电，实现了为管网水表自取能式供电，延长了水表的电源寿命。并且不用布线供电，极大节约了成本。

**农业种植：**由于农业作业环境广袤，采用布线方式为传感设备供电十分不便且成本巨大，同时，电池短暂续航及土地污染风险对于管

理者也并不友好。飞英思特提供的无源无线传感器可实时监测农业环境中的各项数据，并发送至后台或手机 APP，协助管理人员建立农作物最优生长环境数据模型。由于无需更换电池，将避免前期繁琐的部署过程和土壤破坏风险，并实现成本节约。

## （二）中国移动无源物联网技术路线及应用场景

### 1. 技术路线

中国移动把无源物联网技术路线发展分成三个发展阶段：第一阶段是以单点式架构为主的无源 1.0 阶段，第二阶段是以组网式架构为主的无源 2.0 阶段，第三阶段是以蜂窝式架构为主的无源 3.0 阶段。

无源 1.0 是指以传统收发一体的 RFID 为代表的单点式无源物联网系统，其最大的特点为采用点对点、近距离通信，受制于系统上下行信号自干扰及读写器间互干扰问题，此类系统在实际应用中存在距离瓶颈。

无源 2.0 系统采用组网式架构，通过将前向、反向链路分别部署在接收器和激励器侧，实现链路解耦，解决自干扰问题，并实现较远距离的组网，同时支持物品定位功能。无源 2.0 系统具有可灵活扩展、支持组网部署等特点，可应用于大型仓储、资产管理等场景中，实现自动化快速盘点和定位。

无源 3.0 系统是与蜂窝网络深度融合，基站作为读写设备，对无源标签进行激励和感知，并借助蜂窝网络上下行干扰抑制、优化编码调制方式、实时资源调度等优势，为标签提供“全程全网”的连接服

务，实现中远距离、规模化连续覆盖。

图表 2：中国移动推进无源物联网发展的 3 阶段规划

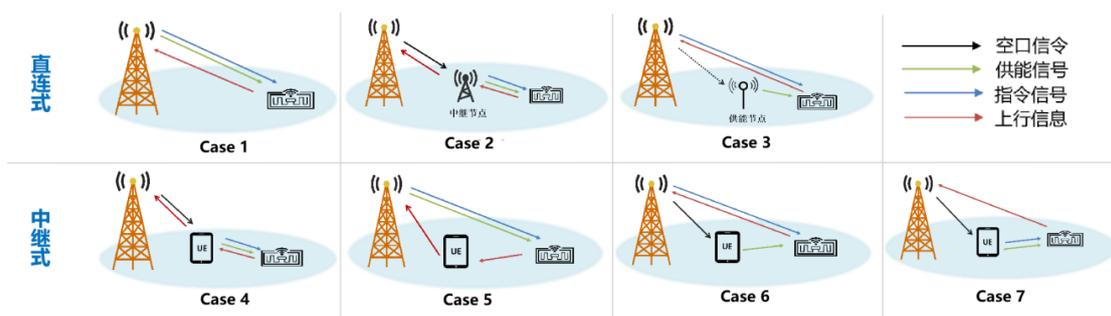


来源：中国移动，挚物产业研究院整理

蜂窝式无源 3.0 系统受到国内外产业的重点关注，国际标准化组织 3GPP 已于 2022 年 3 月启动基于环境供能的无源物联研究项目，中国移动在 CCSA 也成立了《基于蜂窝通信的无源物联网应用需求研究》项目。

根据不同的激励和接收主体，无源 3.0 系统存在两类主要的空口架构，一是蜂窝基站和标签直接通信，基站同时支持下行信号激励和上行数据接收；二是通过中继设备实现激励信号发送和/或反向散射信号接收，可满足区域标签定点激励，数据汇总、再加密、统一上报等需求。根据应用场景不同，架构可衍化出多种形式。

图表 3：无源 3.0 系统空口架构图



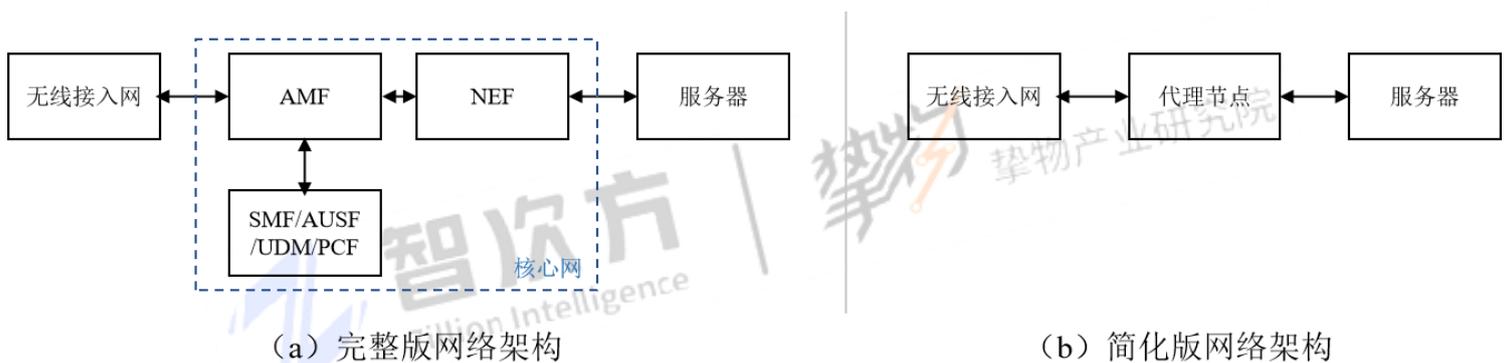
来源：中国移动，挚物产业研究院整理

## 2.应用场景

中国移动划分的无源 1.0 阶段的主要应用场景包括快消品、区域仓储盘点等；无源 2.0 阶段的主要应用场景包括规模盘存和进出库盘点等；无源 3.0 阶段的应用场景将进一步丰富，扩展到物流、医疗、粮储、畜牧、电力、石化和军工等领域。

根据应用场景和标签能力的不同，蜂窝无源物联网的端到端架构可在传统蜂窝系统的基础上进行轻量化、便捷化设计和部署，将核心网部分能力下沉至代理节点，通过应用层实现标识管理和鉴权认证等。

图表 4：无源 3.0 系统网络架构图



来源：中国移动，挚物产业研究院整理

基于蜂窝无源的全新无源物联网系统能够满足超低功耗、超低成本、“感通”一体、大规模接入、高效盘点等应用需求，拓展支持更加丰富的行业应用，未来有望在物流、仓储、制造、交通、医疗等行业发挥重要作用。

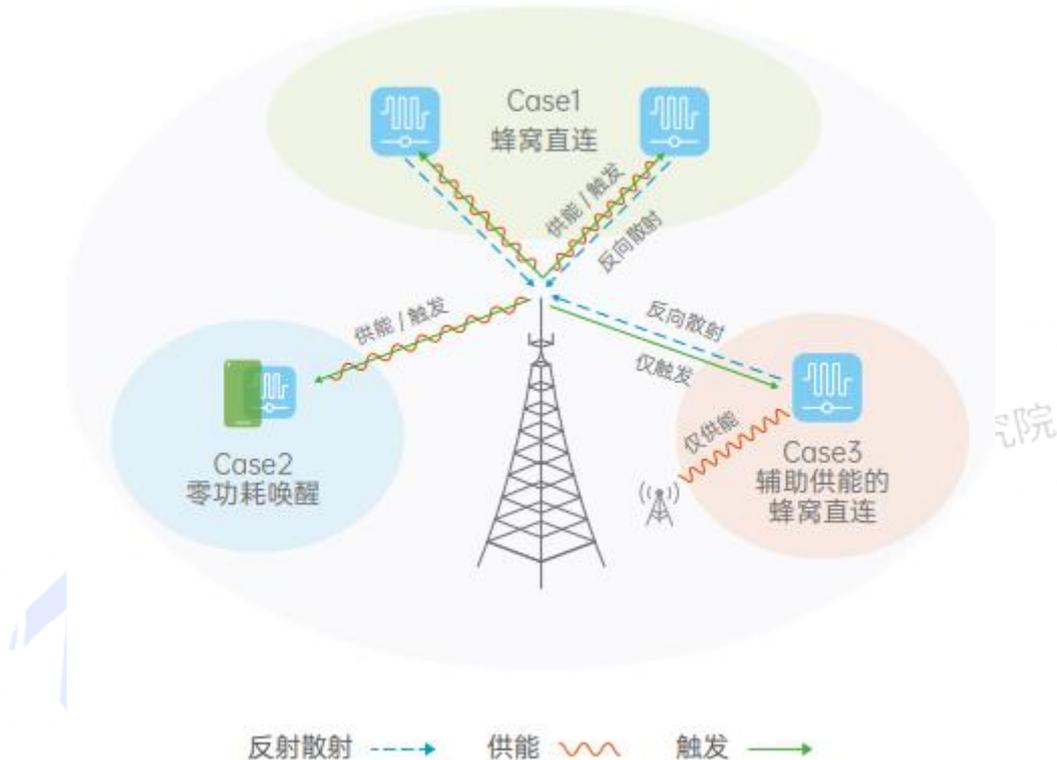
### （三）OPPO 无源物联网技术路线及应用场景

#### 1.技术路线

OPPO 倡导的零功耗物联网主要通过利用无线电波、太阳能、热

能和动能等各种环境能量，实现与 5G massive MTC 互补，使零功耗、极低成本、更小体积的终端成为可能的无源物联网技术方案。OPPO 主张的零功耗通信系统主要包括三类：基于蜂窝的、基于侧行通信的以及基于蜂窝与侧行通信混合的零功耗通信系统。

图表 5：基于蜂窝的零功耗通信系统主要包括的通信方式



来源：OPPO，挚物产业研究院整理

基于蜂窝的零功耗通信系统可以支持零功耗终端的大规模部署和集中控制，旨在解决点对点、点对多点通信需求的传统技术（如 RFID）的通信距离短、部署成本高、系统效率低等问题。得益于蜂窝网络在覆盖和资源利用上的优势，基于蜂窝的零功耗通信系统可以大范围、集中式管理网络中的零功耗终端，极大提高系统效率，节省部署成本。

## 2.应用场景

**OPPO 零功耗物联网锁定的主要应用场景**包括工业生产与检测、智能物流与仓储、智能家居等。

**工业传感网：**OPPO 构想的工业传感网主要应用在工业生产过程中，如温湿度监测、振动监测以及生产线监测等，从而实现工业自动化和智能化管理。以铁轨测量为例，通过在铁轨下部署零功耗传感设备，可以监测和采集铁轨压力、温度和其它信息。另外，相关设备还可以部署在高低温、移动或旋转部件、高振动条件以及高湿度等电池无法长久续航的极端环境中。

**物流和仓储：**随着物流行业的持续增长，企业的仓储压力和人力成本压力日益增加。对物流包裹进行数字化管理，不仅可以进一步提升物流和仓储管理效率，同时可以节约高额的人力成本。OPPO 的零功耗通信技术将通信终端标识贴在包裹或货物的包装表面，用于物流信息的获取和物流全流程的管理，让仓储作业更加简单高效。

**智能可穿戴：**智能可穿戴产品是继手机之后，最具规模化应用潜力的个人消费终端之一，目前各种可穿戴设备都已实现无线连接。根据不同产品的功能定位，可以实现健康监测、运动监测、移动感知、移动定位等多场景应用。OPPO 的零功耗通信技术的目标是最终摆脱电池限制，实现更长的续航、更加便捷的能源保障和更好的使用体验。

**医疗健康：**便携式医疗设备可以满足消费者居家健康服务需求，但鉴于医疗监控设备（尤其是人体植入型设备）的特殊性，续航及电源携带等问题在很大程度上限制了其应用场景拓展。通过零功耗物联网技术，可以实现极低功耗工作；同时，无需电池可以缩小体积，有

利于实现柔性折叠，且无需担心液体浸泡等，将助益医疗设备数据实时监测和对健康状况高效进行数字化管理。

**智能家居。**在智能家居领域应用零功耗通信技术，可以摆脱复杂的布线，使每个终端都能独立控制，并实现无需人工能源介入下的长续航在线。

#### （四）每开创新无源物联网技术路线及应用场景

##### 1.技术路线

每开创新的“无电物联网”平台服务专注于在零功耗或超低功耗环境下，提供微能量抓取及通信的整体解决方案。基于国际标准 NFC/BLE 通信协议，每开创新通过独创的射频能量算法芯片，实现无线射频取电、瞬间大功率储电和安全驱动负载。

每开创新的无源技术方案利用带电的发射端设备对不带电的接收端进行反向通信和供电。其主要特点和优势在于：产品的通用性强，适配 90%以上主流智能手机或智能设备。可进行无电改造，成本低、功耗低、绿色节能，助力企业提质增效。另外，每开创新的无源方案和产品采用国际通用标准，数据安全性强，具备支付级数据安全能力。

##### 2.应用场景

每开创新经过长期积累，目前已整合上游产业核心能力，聚焦自主技术创新，在硬件和软件层面均已完成标志性工作，已陆续拓展了能源交通、数字包装、智慧物流、企业办公、智慧家居、溯源管理等六大行业市场，为多个行业伙伴量产交付无源硬件产品和云芯一体解

决方案，助力其推进数字化升级和无电化改造。

**能源交通户外设备管理：**针对户外作业安全防控、设备开箱检修劳务履职监督等，每开创新设计了无源工业开关解决方案，可满足户外设备系统的安全性和防护管理、员工履职追溯等需求。

**智慧仓储及物流：**针对从企业到用户的高净值货品物流精细化管理要求，每开创新无源物流解决方案以 ESG 循环物流要求为标准，有效助益货运异常监督和货损降低；同时，每开创新云数字平台支持与企业云的“云云对接”，为品牌商货运保驾护航，完成 B 端到 C 端的信任交互体验。

**智慧家居和数字办公：**每开创新无源智慧家居解决方案为家庭储物、居家开关等提供零布线、零供电的智能交互选择，为未来人居提供零维护成本的交互体验，以及强延伸性和强连接性的生活体验。

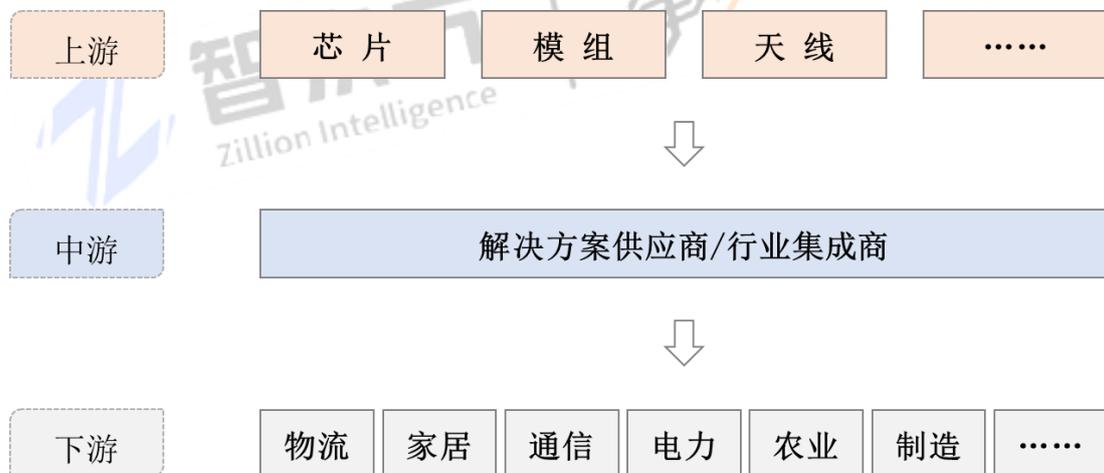
**农产品安全和资产安全管理：**每开创新无源溯源方案具备贵重资产溯源识别、仓储运输、标签化管理等功能。通过点对点数据传输，用户“碰一碰”即可了解商品详情、参与互动、追溯商品路径等，助益企业提升用户复购率。

## Part 4 明势 · 无源物联网产业现状及前景展望

### 一、无源物联网产业链分析

无源物联网产业链上游以芯片、模组、天线以及各种分立器件等硬件生产厂商为主。产业链中游以无源物联解决方案供应商/行业集成商为主，其中部分解决方案供应商有可能朝上游发展，生产硬件产品，形成产业链协同；行业集成商通过向解决方案供应商采购服务，再根据具体的行业特性和场景属性，开发出适用于不同领域的、针对性较强的定制化产品和服务。产业链下游则主要以各行业的终端客户为主。

图表 6：无源物联网产业链结构图



来源：挚物产业研究院

无源物联网产业目前处于发展初期，产业规模小，较多技术路线仍处于探索阶段。无源物联网产业链上游的硬件产品由于可以与传统物联网复用，因此目前无源物联网产业链上游的企业数量较多。在中下游，由于服务和产品的成熟度较低，应用场景还处于探索拓展阶段，

因此，相应环节的解决方案供应商/集成商和终端客户数量较少。总体上看，无源物联网产业链从上游、中游到下游各环节的企业数量呈现倒金字塔结构，这也是一个产业处于探索发展初期的典型特征。

## 二、无源物联网市场前景展望

### （一）无源物联网典型应用发展曲线

目前以光能采集、震动能采集、温差能采集以及射频能采集为主的四种无源物联网采能方式中，除了基于 RFID 和 NFC 的射频能采集技术相对成熟，已进行较大规模应用外，其余几种采能方式尚处于研究阶段，或者正在若干场景下进行小规模应用探索。展望未来，无源技术有望迎来环境能量采集的研究突破，叠加低功耗计算和通信技术优化，将不断满足更多应用场景的连接需求。

智次方·挚物产业研究院在对各种无源物联网技术特性研究分析的基础上，结合针对典型企业和科研机构的调研结果，对四种采能方式下的无源物联网技术与相关典型场景进行应用匹配性分析，得出以下结果：

**图表 7：无源物联网技术与相关场景的应用匹配性**

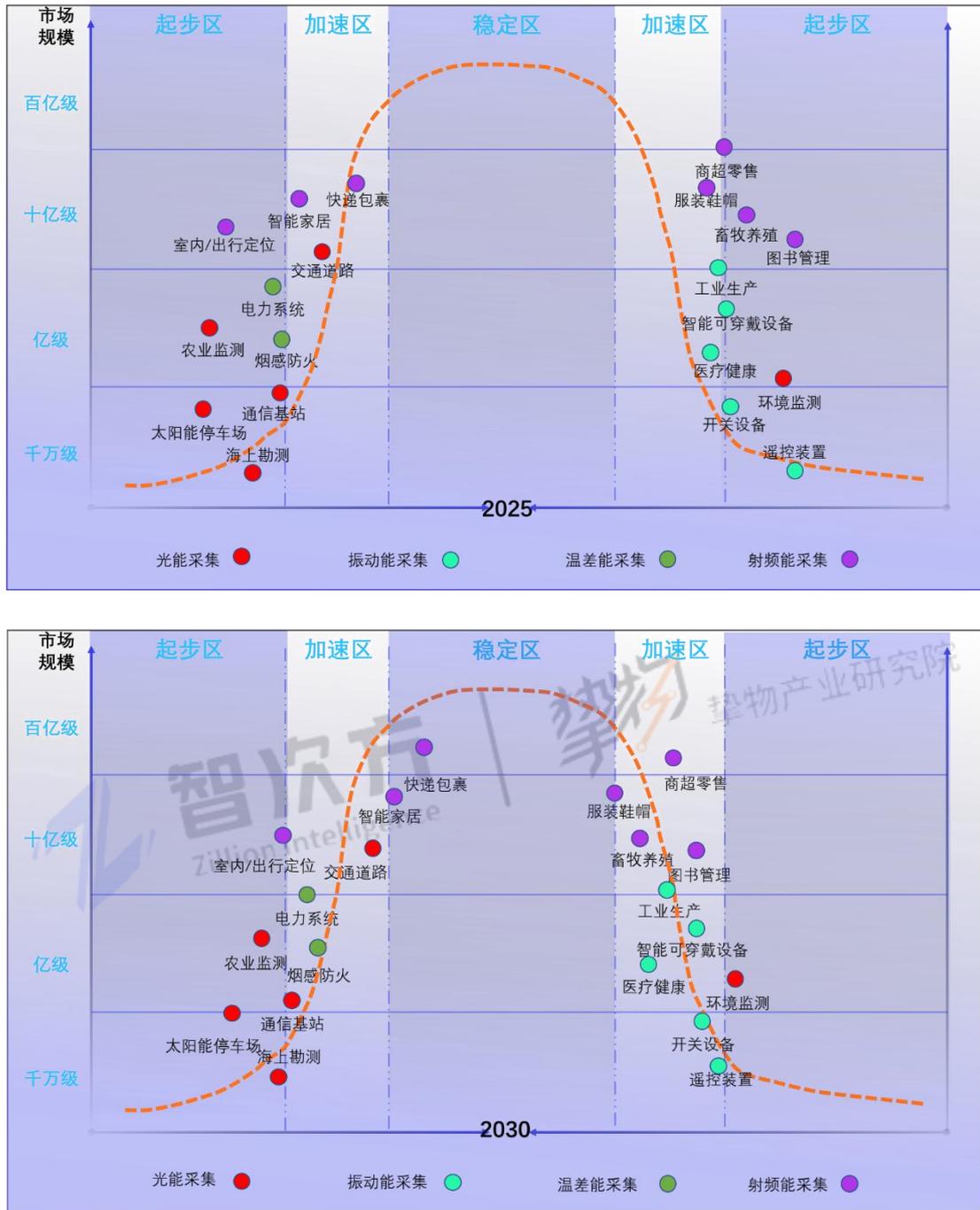
无源技术 典型场景	光能采集	振动能采集	温差能采集	射频能采集
电力系统	弱	弱	强	弱
通信基站	强	弱	弱	中
智能家居	强	中	弱	强

快递包裹	中	弱	弱	强
农业监测	强	弱	中	弱
海上勘测	强	弱	弱	弱
医疗健康	弱	中	强	弱
烟感防火	中	强	弱	弱
服装鞋帽	弱	弱	中	强
交通道路	强	弱	弱	弱
开关设备	中	强	弱	弱
畜牧养殖	中	弱	弱	强
环境监测	强	弱	中	弱
工业生产	弱	强	弱	中
商超零售	弱	弱	弱	强
遥控装置	弱	强	弱	中
图书管理	弱	弱	弱	强
太阳能停车场	强	弱	弱	弱
智能穿戴设备	弱	强	中	弱
室内/出行定位	中	弱	弱	强

来源：挚物产业研究院

根据无源物联网的不同采能方式及其差异化技术特性、相关应用场景的环境特点和需求特点，并结合对各典型企业的调研结果，智次方·挚物产业研究院对未来近十年不同的无源技术路线在各典型应用场景中的发展成熟度进行了预判，详情如下：

图表 17：无源物联网技术及应用场景发展成熟度曲线图



来源：挚物产业研究院

2022-2030 年期间，四种主要无源物联网采能技术在与其匹配度较高的场景中的应用，大致上可分别归类为处于起步阶段、加速阶段或稳定发展阶段。

具体来看，无源物联网光能采集技术、振动能采集技术和温差能

采集技术在道路交通、工业生产、智能可穿戴、医疗健康、设备开关等场景 2025 年开始进入加速发展状态。

2030 年前后，基于光能采集的无源物联网技术在农业监测、通信基站以及环境监测等场景，基于振动能采集和温差能采集的无源物联网技术在医疗健康、智能可穿戴设备、工业生产、电力系统和烟感防火等场景的应用市场规模有望达亿元级。基于无线射频能量采集和光能采集为代表的无源物联网技术在智能家居、服装鞋帽、室内/出行定位等场景的应用市场规模可望达十亿元级，在快递包裹和商超零售场景的应用市场规模达百亿元级，进入加速发展阶段。

## （二）无源物联网产业成熟度模型

为更好地展望无源物联网未来的发展趋势，预判其发展节奏，智次方·挚物产业研究院首创了无源物联网产业成熟度评估模型。

### 1. 无源物联网产业成熟度模型概述

无源物联网产业成熟度评估模型由评估指标体系和评估张力图两部分构成。

**评估指标体系。**评估指标体系主要涵盖技术成熟度、应用广度以及市场规模量级三个指标。技术成熟度指标主要考察各种技术从理论研究到市场应用的迁移过程和发展阶段，通过星级标记，从空星到实星，从 1 星到 5 星进行区别；应用广度指标主要考察每项技术的应用场景类型和数量，通过大、中、小等不同程度的描述，标识其应用场

景范围；市场规模指标是在技术成熟度指标和应用广度指标的基础上，参考同类竞品的价格，预判相关无源物联网技术可能达到的市场规模量级。

**评估张力图。**评估张力图由一线、两圈、八边构成。一线是指一条时间轴线；两圈是以两个时间节点为核心，形成的两个规模张力圈；八边是由八条主要无源物联网技术路线，合围形成的八条边线。每条技术路线又都通过技术成熟度、应用广度以及市场规模量级三项指标进行定性和定量评估，由此综合得出无源物联网八条主要技术路线在两个时间节点上分别达到的成熟度和市场规模。

## 2. 产业成熟度评估模型指标详解

### ● 技术成熟度：

- **零星：**无实五角星，或仅有空五角星，表示技术尚处于纯粹理论研究阶段；
- **一星：**技术发展初期，已脱离纯粹研究阶段，有小批量产品在单个场景投入市场，进行应用探索；
- **二星：**技术发展早期，已初步具备大批量投放多个应用场景进行较大规模应用的条件，市场规模增速加快；
- **三星：**技术发展加速期，技术迭代提速，大批量投放市场，持续出现新的应用场景；
- **四星：**技术发展进入中期，技术迭代速度放缓，有较为稳定的市场规模和具备比较优势的应用场景，增速接近峰值；

- **五星：**技术发展进入成熟期，市场规模和应用场景达到峰值，部分场景开始面临新技术的有力竞争，市场份额开始被侵蚀。

- **应用广度：**

- **小：**表示该技术应用场景数量有限甚至还没有；
- **较小：**表示应用场景的数量较少，或者没有规模较大的应用场景；
- **中：**表示应用场景数量一般，或者已经开拓具备一定规模的应用场景；
- **大：**表示应用场景数量众多，或者已经有规模大且成熟的应用场景。

### 3. 无源物联网各技术路线成熟度评估

根据三项指标进行综合评估，至 2025 年，光能采集、振动能量采集以及温差能量采集三种技术路线的市场规模均为千万元级。在无线射频能量采集技术路线下，RFID 基于其成熟的技术和广泛的应用，市场规模将稳定在百亿元级；基于 NFC 的无源物联网市场规模将在亿元级；基于蓝牙、Wi-Fi 的无源物联网技术开始从理论研究阶段迈向市场，形成十万元级市场规模；而以 5G 为代表的蜂窝无源物联网技术预计在 2030 年前后有望形成亿元级市场规模。

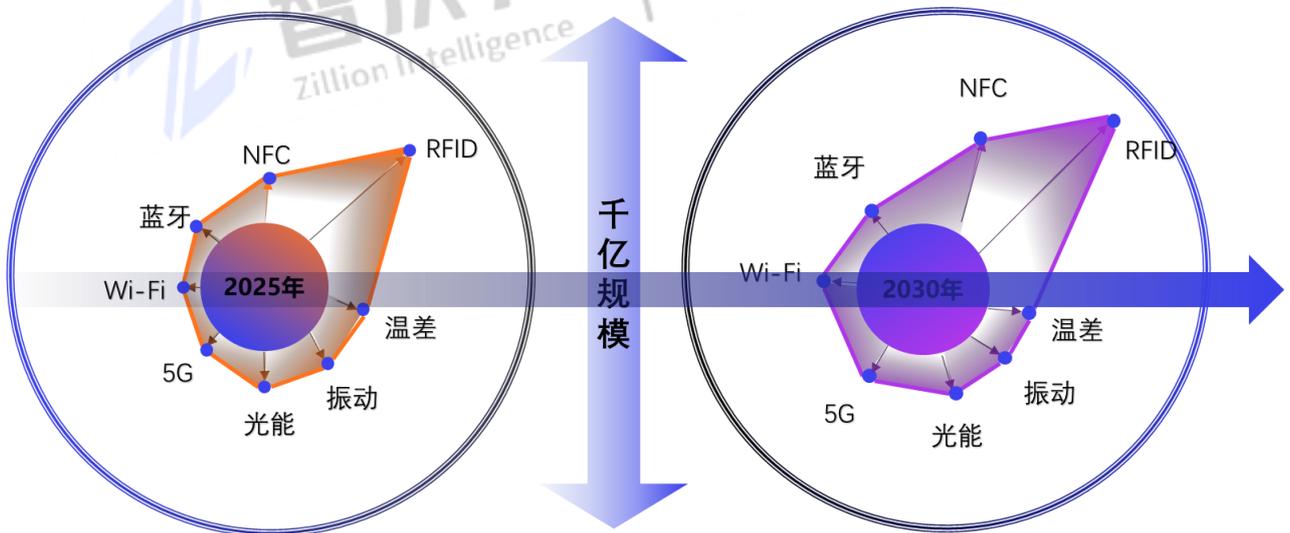
图表 18：无源物联网产业成熟度评估指标表

时间节点	技术路线 维度	光能采集	振动能量采集	温差能量采集	无线射频能量采集				
					RFID	NFC	蓝牙	Wi-Fi	5G
2025	技术成熟度	★★☆	★★☆☆	★★☆	★★★★★	★★★★☆☆	★★☆☆☆☆	★★☆☆☆☆	★★☆☆☆☆
	应用广度	较小	较小	较小	大	中	小	小	小
	市场规模	千万元级	千万元级	千万元级	百亿元级	亿元级	十万元级	十万元级	十万元级
2030	技术成熟度	★★★★☆	★★★★☆☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆☆	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆☆
	应用广度	中	中	中	大	较大	较小	中	中
	市场规模	亿元级	亿元级	亿元级	百亿元级	十亿元级	千万元级	亿元级	亿元级

来源：挚物产业研究院

评估张力图内部两圈分别是 2025 年和 2030 年两个时间节点，分布在时间轴线上；外部线圈的直径表示千亿元规模，半径代表 500 亿元规模，圈内八条技术路径箭头长度表示在每个时间节点上其市场规模的大小，以此代表其发展张力程度。

图表 19：无源物联网产业成熟度评估张力图



来源：挚物产业研究院

2025 年，预计无线射频 RFID 和 NFC 在各种采能方式中对应的市场规模最大，二者合计将超过 300 亿元；其他几种无线射频采集方式，如蓝牙、Wi-Fi 以及以 5G 为代表的蜂窝无源技术发展处于起步

阶段，规模较小，正开始从理论研究阶段逐步走向小批量、单场景的应用探索阶段。

2030年，RFID和NFC的市场规模合计有望扩张至350-450亿元之间；基于Wi-Fi和5G的采能技术路线逐步成熟，开始进入大规模应用阶段，市场规模或将近20亿元。

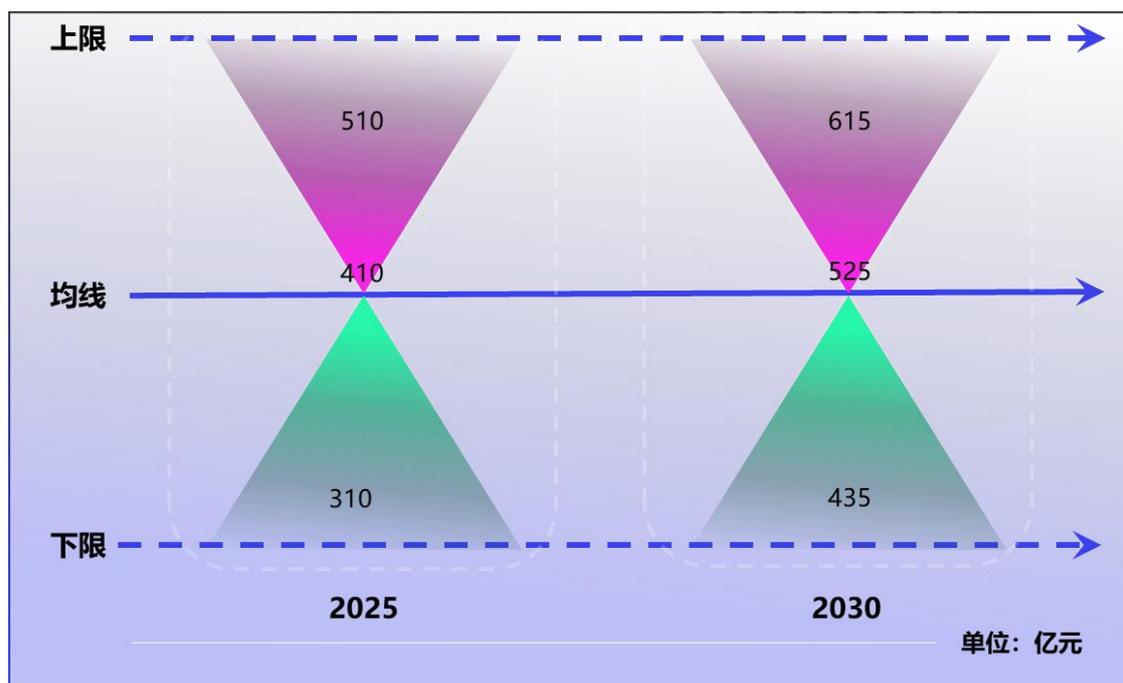
相较无线射频能量采集技术，以光能、震动能量以及温差能量采集为代表的其它无源物联网技术在2025年或将有更多应用场景落地。基于光能采集的无源物联网在农业、环境监测以及道路交通等露天场景下的应用规模将逐步铺开；基于振动能量采集的无源物联网将主要应用在工厂和智能穿戴设备上；基于温差能量采集的无源物联网将主要应用场景在低功耗微型设备上。预计这三种无源物联网能量采集技术在2025年的市场规模均在千万元级规模，至2030年达到亿元级。

### （三）无源物联网市场规模预测

未来，无源物联网依托低功耗、低成本、小体积、易部署、免维护等优势，将逐步在远距离、高速率和通用性等方面发力，广泛拓展和丰富物联网应用场景，持续扩大物联网市场规模。

智次方·挚物产业研究院根据无源物联网产业发展成熟度评估模型对各技术路线的评估预判，汇总后形成对无源物联网总体市场规模的预测。预计2025年前后，无源物联网的市场规模将在310-510亿元间，预测值中位数为410亿元；在2030年前后，市场规模预测值在435-615亿元间，中位数为525亿元。

图表 8：无源物联网市场规模预测



来源：挚物产业研究院





扫码下载报告



物联网智库公众号



物联网头条君公众号