物联网技术在智能配电网中的应用

刘韶林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

物联网技术

在智能配电网中的应用

刘韶林　主编

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书依托河南鹤壁物联网应用示范工程，结合我国物联网应用最新技术和产品发展，介绍了物联网技术在智能配电网中的应用。

本书共分 6 章，第 1 章介绍了物联网的基本概念、体系架构和相关传感器，第 2 章阐述了智能配电网、主动配电网、配电自动化等相关知识，第 3 章介绍了电力物联网关键技术和工程应用情况，第 4 章介绍了新型物联网传感器技术，第 5 章阐述了面向配电网运行与降损的物联网技术，第 6 章回顾和总结了河南鹤壁物联网应用示范工程建设方案和工程建设成效。

本书可供电网企业从事配电网规划、建设以及智能化改造的工程技术人员学习借鉴，也可供大专院校广大师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

物联网技术在智能配电网中的应用 / 刘韶林主编. —北京：中国电力出版社，2019.4
ISBN 978-7-5198-0494-7

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①刘… Ⅲ. ①互联网络－应用－智能控制－配电系统 Ⅳ. ①TM727-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 295222 号

出版发行：中国电力出版社
地　　址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）
网　　址：http://www.cepp.sgcc.com.cn
责任编辑：易　攀　罗翠兰
责任校对：黄　蓓　常燕昆
装帧设计：张俊霞
责任印制：石　雷

印　　刷：三河市万龙印装有限公司
版　　次：2019 年 4 月第一版
印　　次：2019 年 4 月北京第一次印刷
开　　本：710 毫米×1000 毫米　16 开本
印　　张：8.75
字　　数：130 千字
印　　数：0001—1500 册
定　　价：42.00 元

版 权 专 有　侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

《物联网技术在智能配电网中的应用》
编 委 会

主　编　刘韶林

副主编　高东学　周凤珍

参　编　张景超　宋宁希　刘　娜　梅林常
夏传鲲　侯金华　冯沁萍　杨　帆
高梵清　孙　芊　李晓蕾　陈上吉
王忠强　王于波　庞振江　郭祥富
赵子昂　杨　霄　李　奎　陈　楷



前言

物联网技术的蓬勃发展为各个行业的状态感知和监测提供了新的技术手段。据统计，2015 年，我国物联网产业规模超过 7500 亿元。预计到 2020 年，我国物联网产业规模将超过 15000 亿元。随着《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》《关于物联网发展的十个专项行动计划》《中国制造 2025》等多项政策不断出台，物联网技术发展已经成为推动经济社会智能化和可持续发展的重要力量。

物联网技术在电力系统中的应用形成了电力物联网。电力物联网是在电力生产、输送、消费、管理各环节，广泛部署具有一定感知能力、计算能力和执行能力的各种智能感知设备，通过电力信息通信网络，可实现信息安全可靠传输、协同处理、统一服务及应用集成，从而实现电网运行及企业管理全过程的全景全息感知、互联互通及无缝整合。在输电环节，物联网技术已应用于线路状态监测、线路环境监测、雷电定位、智能巡检等场景；在变电环节，物联网技术已应用于变电环境监测、设备状态监测、变电站安全防护等场景；在配电环节，物联网技术已应用于线路状态监测、设备状态监测、线路故障定位及报警等场景。在智能用电、清洁能源接入等领域，物联网技术的应用可以实现科学用电，达到节能降耗、经济高效的目的。在“三网”融合、电动汽车等领域，物联网技术应用可以加速构建以智能电网为基础的社会公共服务平台。

本书依托河南鹤壁物联网应用示范工程，结合我国物联网应用最新技术和产品发展，介绍了物联网技术在智能配电网中的应用。本书共分 6 章，第 1 章介绍了物联网的基本概念、体系架构和相关传感器，第 2

章阐述了智能配电网、主动配电网、配电自动化等相关知识，第 3 章介绍了电力物联网关键技术和工程应用情况，第 4 章介绍了新型物联网传感器技术，第 5 章阐述了面向配电网运行与降损的物联网技术，第 6 章回顾和总结了河南鹤壁物联网应用示范工程建设方案和工程建设成效。

在本书的编制过程中，得到了许多专家和学者的大力支持和帮助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编　者

2018 年 10 月



目 录

前言

第 1 章　物联网技术基础 ····· 1

1.1　物联网概述 ····· 1

1.2　物联网体系架构 ····· 6

1.3　物联网标准体系 ····· 6

1.4　传感器 ····· 8

1.5　无线通信技术 ····· 15

1.6　安全防护 ····· 18

第 2 章　智能配电网 ····· 20

2.1　智能配电网概述 ····· 20

2.2　主动配电网 ····· 24

2.3　配电自动化 ····· 26

第 3 章　电力物联网技术 ····· 30

3.1　概述 ····· 30

3.2　电力物联网关键技术 ····· 31

3.3　物联网技术应用工程 ····· 32

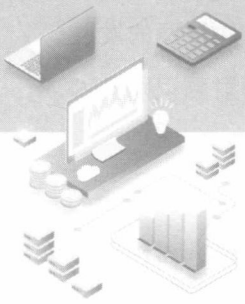
第 4 章　新型物联网传感器技术 ····· 44

4.1　基于 RFID 技术的无源无线传感器技术 ····· 44

4.2　基于热电材料的传感器取能技术 ····· 49

4.3　基于电场梯度法的智能可穿戴设备 ····· 52

4.4 基于磁传感技术的新型电流传感器 …… 58
4.5 输电线路智能间隔棒技术 …… 62
第 5 章 面向配电网运行与降损的物联网技术 …… 72
5.1 在线监测 …… 72
5.2 状态检修 …… 82
5.3 全寿命周期管理 …… 90
5.4 节能降损 …… 94
第 6 章 物联网应用示范工程建设 …… 113
6.1 建设必要性 …… 113
6.2 建设内容 …… 115
6.3 建设方案 …… 117
6.4 物联网综合应用系统 …… 123
6.5 建设成效 …… 128
参考文献 …… 130



第1章

物联网技术基础

1.1 物联网概述

1.1.1 定义

物联网（the Internet of Things，IOT）概念最早于1999年由美国麻省理工学院提出。早期的物联网是指依托射频识别（Radio Frequency IDentification，RFID）技术和设备，按约定的通信协议与互联网相结合，实现物品信息互联、可交换和共享而形成的网络。

工业和信息化部电信研究院2011年发布的《物联网白皮书》，对物联网的内涵给出了阐述：物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别，通过网络传输互联，进行计算、处理和知识挖掘，实现人与物、物与物之间的信息交互和无缝链接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

1.1.2 发展历程

国际上，物联网研究的代表国家（地区）主要有美国、欧洲、日本和韩国。2004年，日本信息通信产业的主管机关总务省（MIC）提出U-Japan战略，希望在2010年将日本建设成一个“Anytime，Anywhere，Anything，Anyone”都可以上网的环境；2005年11月17日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会（WSIS）上，国际电信联盟（ITU）发布了《ITU互联网报告2005：互联网》，提出了“物联网”的新概念；2006年，韩国提出了为期10年的U-Korea计划。

随后，一些发达国家纷纷将物联网作为新兴产业，出台战略措施予以落实。2009年1月，IBM提出“智慧地球”的概念，随即上升至为美国国家战略。同

时，美国计划全面推行电子产品编码标准体系，力图主导全球物联网的发展。在技术上，美国在物联网的很多关键技术上取得领先地位，如射频识别技术、无线传感网络、传感器开发等。

欧洲联盟（欧盟）第一个系统提出物联网发展和管理计划。2009 年 6 月，欧盟委员会向欧盟议会提交了《欧盟互联网行动计划》，以确保欧洲在构建物联网的过程中起主导作用。2007～2013 年，欧盟投入研发经费 532 亿欧元，以推动欧洲最重要的第七期欧盟科研架构（EU-FP7）研究补助计划。

在日本和韩国，物联网的发展也得到了积极地支持和推广。日本大力发展泛在网络，建立泛在识别（UID）的物联网标准体系。2009 年 7 月，日本提出 I-Japan 战略，强化了物联网在交通、医疗、教育和环境监测等领域的应用。2009 年 10 月，韩国通信委员会出台《物联网基础设施构建基本计划》，将物联网市场确定为新增长动力。发展物联网成为各国重要发展战略。

全球物联网市场规模不断扩大，联网设备高速增长。2013～2018 年全球物联网市场规模及预测如图 1-1 所示。保守估计到 2018 年年底，全球物联网市场规模将超过千亿美元，联网设备年均复合增长率将保持在 31%以上，见图 1-2。

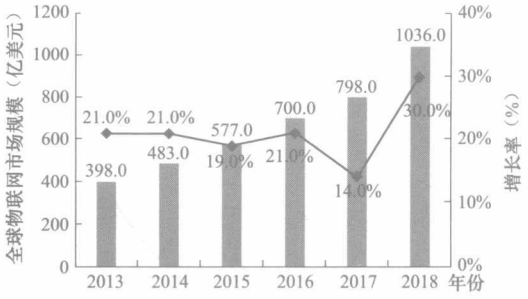


图 1-1　2013～2018 年全球物联网市场规模及预测（数据来源：IC Insights）

■ 全球物联网市场规模（亿美元）；　增长率（%）

我国就物联网发展也做出了多项国家政策及规划，推进物联网产业体系不断完善。《物联网“十二五”发展规划》《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》《关于物联网发展的十个专项行动计划》，以及《中国制造 2025》等多项

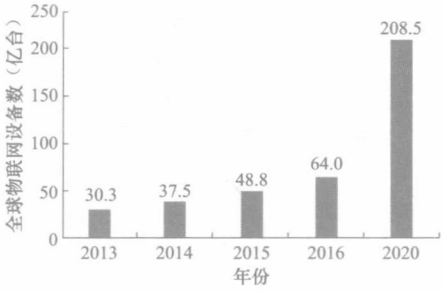


图 1-2　2013～2020 年物联网联网设备数量（数据来源：Gartner）

政策不断出台，并指出“掌握物联网关键核心技术，基本形成安全可控、具有国际竞争力的物联网产业体系，成为推动经济社会智能化和可持续发展的重要力量。”在物联网发展热潮以及相关政策推动下，我国物联网产业持续保持在23%以上的增长速度。2015 年，我国物联网产业规模已经超过 7500 亿元。预计到 2020 年，我国物联网产业规模将超过 15000 亿元。

1.1.3　国外内应用情况

1.1.3.1　国外应用情况

国外电力物联网应用主要在智能电表、电力设备管理和新能源接入等方面（见表 1-1）。

表 1-1　　国外电力物联网典型应用及其特点

国外电力物联网应用	应　用　特　点	代表国家或地区
智能电表自动计量	支持居民用电设备的分时分线统计和显示； 支持双向计费和双向交互服务； 集成智能家居控制终端功能； 大范围普及和装备	美国、英国、德国、荷兰、日本等
RFID 与电网生产	与传感器感知共同实现状态监测、身份辨识、位置定位； 基于 RFID 的资产管理	美国
新能源并网接入	小型太阳能发电支持入网双向计量； 风电可根据微气象预测发电功率； 风电机组故障可实现远程监控，并合理安排维修检查	美国、欧盟、日本等

智能电表在全球主要发达区域普及率较高。2013 年，美国 1/3 的居民使用智能电表，高峰时用电量减少了 20%～30%；平均停电时间缩短了 20%。荷兰试点以智能电表为主的能量管理系统，监测家庭内的能源消耗总量并详细记录

每个电器用电量与开关时长。住户可以通过电脑及智能手机远程查看家里所有电器及燃气设备的工作情况，调用能量消耗账单并能远程开启或关闭这些设备。

电力设备管理方面，美国得克萨斯电网公司在电网设备上加装 RFID 标签和传感器，在发生故障时根据传感器节点和 RFID 标签自动感知和汇报故障位置，并且自动路由，10s 之内就可恢复供电。通过在配电线杆上加贴 RFID 标签，使用一体化 RFID 读取器，同时获取位置和设备状态数据，制订合理检修计划，提升巡检效率。

物联网为风能、太阳能等新能源的并网接入和监控提供支撑。德国的光伏出力已经超过系统负荷的 50%。IBM 公司提出高精度清洁能源发电预测解决方案，帮助解决风电和光伏发电等新能源发电出力不稳定、预测不精确、并网运行时对电网冲击大等问题。通过安装气象监测装置，获取气象信息，建立高精度天气预测模型，对监测区域内风速、风向、气压、温度等进行快速准确统计分析，预测风能发电功率和光伏发电功率，保障安全接入。

1.1.3.2 国内应用情况

国家电网有限公司（简称国家电网公司）较早开展了物联网技术在电网中的研究和应用，在中国电力科学研究院、国网电力科学研究院等研究机构中组建了专业的物联网研究部门，从事技术研究、产品研发和产业孵化工作，承担了多项国家级重大项目和示范工程，制订了多项物联网企业标准，并积极参与国家和国际标准制定工作。2012～2013 年，国家电网公司分别在辽宁、宁夏、河南、福建等地选取变电、配电、机房管理、计量监测等业务开展物联网示范工程建设，如表 1-2 所示。

表 1-2　　国家电网公司物联网示范工程

应用场景	实施范围	建　设　内　容
变电站智能化管理	辽宁渤海 500kV 变电站	在变电站现场安装基于统一信息模型的传感设备和采集终端，并通过光纤网络，基于统一传输规约将数据汇聚至数据中心，建设统一数据服务。 主要实施内容包括：变电站现场无线微气象传感器、无线雨量传感器、无线环境温湿度传感器、无线避雷器泄漏电流传感器、智能锁具、无线水浸传感器、无线红外点阵列温度传感器的现场安装，以及变电站内部的骨干节点部署和传感网络搭建；变电站内部的汇聚网关部署；信息机房服务器部署、数据服务搭建

续表

应用场景	实施范围	建 设 内 容
变电站智能化管理	银川东±660kV换流站	在变电站现场安装基于统一信息模型的传感设备和采集终端，并通过光纤网络，基于统一传输规约将数据汇聚至数据中心，建设统一数据服务和统一应用服务。 主要实施内容包括：变电站现场金属标签、普通标签、手持设备、无线智能锁具与温湿度传感器、无线设备温度传感器、无线温湿度传感器、电容器形变与温度传感器、门式阅读器、无线水浸传感器、高清网络摄像头的安装以及变电站内部的骨干节点部署和传感网络搭建；变电站内部的汇聚网关部署；信息机房服务器部署、数据服务与应用服务搭建
配电线路状态监测与预警	玉皇阁一、二回线	在配网安装传感器，实现配网设施的状态、故障及防盗在线监测。主要监测的配网设施包括配网线路、配电变压器、环网柜、开闭所、电缆井、电缆沟等。 主要实施内容包括：安装基于统一信息模型的无线设备温度传感器、无线红外点阵温度传感器、无线水浸传感器、无线故障电流传感器、无线门磁传感器、无线温湿度传感器，并根据现场情况安装骨干节点，组成无线传感网络
绿色机房管理	辽宁省电力有限公司通信机房	在机房内部安装传感器，实现机房的能耗在线监测、设备状态监测。 主要实施内容包括：安装基于统一信息模型的无线温湿度传感器、无线红外点阵温度传感器、10A 穿芯能耗计量传感器、50A 穿芯能耗计量传感器、100A 穿芯能耗计量传感器，部署骨干节点，安装汇聚网关，搭建基于统一通信规约的通信网络

总体分析，国家电网公司的物联网应用具有以下特征：

（1）自上而下推动，由公司总部主导，协调各分子公司、各部门统筹开展物联网顶层设计，制定物联网发展规划，并以系统内的科研单位为牵头研究单位；

（2）重视物联网应用试点，领域覆盖广泛，以输电、变电、配电等生产业务为主。公司总部发布物联网应用方向指导，省公司提出试点申请，公司总部安排落实试点并在科技创新和资金方面给予支持；

（3）对物联网技术、产品和应用进行纵向贯通、统筹规划，从整体提高物联网应用水平，在“技术驱动业务创新，业务引领技术发展”方面取得成功应用实践；

（4）物联网研究和应用以智能电网为主线，为“三集五大”（大规划、大建设、大运行、大检修、大营销）体系服务；

（5）注重新概念研究探索，例如对能源互联网的研究和应用，在物联网应

用的基础上进行了延伸，从各个层次对能源互联网的新技术、新业务进行规划和研究。

1.2 物联网体系架构

1.2.1 感知层

感知层的主要功能是识别物体和采集信息，与人体结构中皮肤和五官的作用类似。通过运用智能传感器技术、身份识别以及其他信息采集技术，对物品进行基础信息采集，同时接收上层网络送来的控制信息，完成相应执行动作。感知层分为数据采集与执行、短距离无线通信两个部分。

1.2.2 网络层

网络层是物联网的神经系统，主要进行信息的传递，包括接入网和核心网。网络层借助于已有的广域网络通信系统，把感知层感知到的信息快速、可靠、安全地传送到各个地方，使物品能够进行远距离、大范围的通信。

1.2.3 应用层

应用层实现物联网的信息处理和应用。应用层面向各类应用，实现信息的存储、数据的挖掘、应用的决策等，涉及海量信息的智能处理、分布式计算、中间件、信息等多种技术。感知层和网络层将物品的信息大范围地收集起来，汇总在应用层进行统一分析、决策，用于支撑跨行业、跨应用、跨系统之间的信息协同、共享、互通，提高信息的综合利用度。

1.3 物联网标准体系

根据物联网技术与应用密切相关的特点，按照物联网技术基础标准、总体标准和共性标准，引用现有标准、裁剪现有标准或制定新规范，形成了包括体系架构和参考模型、数据采集、短距离传输和自组织组网、协同信息处理和服务支持、承载网、服务支撑、行业应用、共性技术的标准体系（如图 1-3 所示）。为今后物联网产品研发和应用开发中对标准的采用提供重要支持。

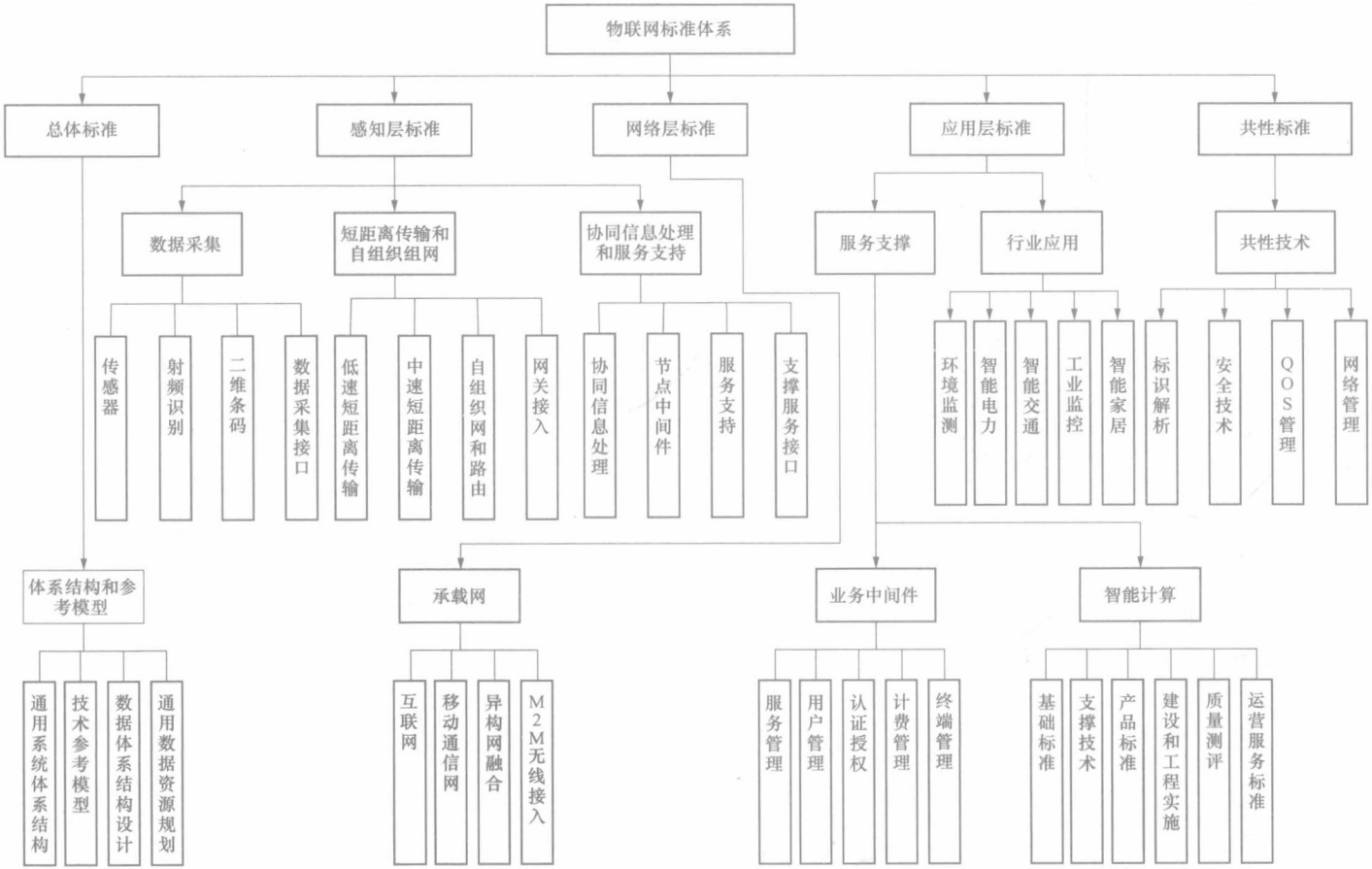


图 1-3　物联网标准体系架构

1.4 传感器

1.4.1 定义

传感器是指能感受被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置，其作用是利用物理效应、化学效应、生物效应，把被测的物理量、化学量、生物量等转换成符合需要的电量。它是实现物联网的基础。传感器技术也可以称为信息采集技术。信息采集主要采用电子标签和传感器等方式完成。在传感器技术中，电子标签用于对采集的信息进行标准化标识，数据采集和设备控制通过射频识别读写器、二维码识读器等实现。

（1）RFID 技术。

RFID 技术又称射频识别技术，可通过无线电讯号识别特定目标并读写相关数据，而无须识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。RFID 技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签，操作快捷方便，是物联网的关键技术之一。RFID 一般由标签、阅读器和天线三部分组成。

1）标签：由耦合元件及芯片组成，具有存储与计算功能，可附着或植入手机、护照、身份证、人体、动物、物品和票据等物体中，每个标签具有唯一的电子编码，用于唯一标识目标对象。根据标签的能量来源，可以分为被动式标签、半被动式标签和主动式标签。根据标签的工作频率，又可将其分为低频、高频、超高频和微波。

2）阅读器：读取（有时还可以写入）标签信息的设备，是 RFID 系统信息控制和处理中心。阅读器通常由耦合模块、收发模块、控制模块和接口单元组成。阅读器和应答器之间一般采用半双工通信方式进行信息交换，同时阅读器通过耦合给无源应答器提供能量和时序。实际应用中，可进一步通过以太网（Ethernet）或无线局域网（WLAN）等实现对物体识别信息的采集、处理及远程传送等功能。

3）天线：在标签和读取器间传递射频信号。

RFID 技术的基本工作原理：标签进入磁场后，接收解读器发出的射频信号，凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息，或者由标签

主动发送某一频率的信号，解读器读取信息并解码后，送至中央信息系统进行有关数据处理。

（2）移动终端。

移动终端是物联网中连接感知层和网络层，实现数据采集并向网络层发送数据的设备。它担负着数据采集、初步处理、加密、传输等多种功能。物联网移动终端基本由外围感知（传感）接口、中央处理模块和外部通信接口三个部分组成，通过外围感知接口与传感设备连接，如 RFID 读卡器、红外感应器、环境传感器等，将这些传感设备的数据进行读取并通过中央处理模块处理后，按照网络协议，通过外部通信接口发送到以太网的指定中心处理平台。移动终端属于物联网中的关键设备，通过终端的转换和采集，才能将各种外部感知数据汇集和处理，并将数据通过各种网络接口传输到互联网中。如果没有终端的存在，传感数据将无法送到指定位置，“物”的联网将不复存在。

（3）纳米技术。

纳米技术也称为毫微技术，是研究结构尺寸在 1～100nm 范围内材料的性质和应用的一种技术。1981 年扫描隧道显微镜发明后，诞生了一门以 1～100nm 长度为研究的分子世界，它的最终目标是直接以原子或分子来构造具有特定功能的产品。因此，纳米技术其实就是一种用单个原子、分子制造物质的技术。纳米技术在物联网技术中的应用主要体现在 RFID 设备、传感器微小化设计、加工材料和微纳米加工技术上。

1.4.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路三部分组成，有时需要加辅助电源，其组成原理如图 1-4 所示。

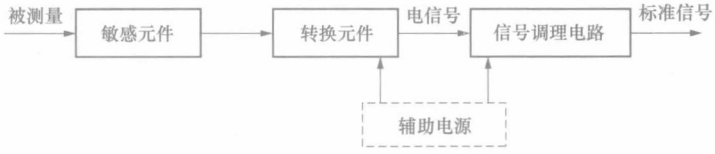


图 1-4 传感器组成示意图