

电力物联网 技术及应用

国网江苏省电力有限公司电力科学研究院 组编

张东霞 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

电力物联网通过应用现代信息技术，助力电力系统和电网企业的转型发展，在提高电网柔性 and 弹性、适应可再生化的大规模开发利用和新型用户的多元需求，激发电网企业发展活力、提高运营效率方面必将发挥重要作用。

为使广大的读者对电力物联网有全面的了解，本书从5方面进行介绍，第1章是绪论，介绍电力物联网的发展背景；第2章是电力物联网架构和技术体系，从感知层、网络层、平台层、应用层几个方面予以介绍；第3章是电力物联网关键支撑技术，概括介绍云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能和区块链的概念、技术及其主要作用；第4章是电力物联网主要应用，介绍营配贯通、配电物联网、虚拟电厂、车联网、智慧能源综合服务、智慧物联、输电线路在线监测等应用；第5章是典型案例，介绍了新能源云、智慧路灯等方面的工程实践以及一些综合性示范工程。

本书可供电力能源行业的从业人员使用，也可供电力能源和信息技术相关专业的师生参考，同时适用于任何对新技术和未来趋势感兴趣的读者。

图书在版编目（C I P）数据

电力物联网技术及应用 / 张东霞主编；国网江苏省电力有限公司电力科学研究院组编. -- 北京：中国水利水电出版社，2020.9

ISBN 978-7-5170-8824-0

I. ①电... II. ①张... ②国... III. ①电力工业—物联网—研究 IV. ①F407.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第170389号

书 名	电力物联网技术及应用 DIANLI WULIAN WANG JISHU JI YINGYONG
作 者	国网江苏省电力有限公司电力科学研究院 组编 张东霞 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京印匠彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.25印张 197千字
版 次	2020年9月第1版 2020年9月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	98.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

主 编：张东霞

副主编：孙 蓉 何泽家

编 委：郭经红 何金陵 赵训威 许勇刚 安春燕 王春新
李炳森 王连忠 张国翊 王 劲 周建勇 张 捷
郭 晶 赵新冬 唐 锦 崔 林 戴 威 蔡 奕
张 力 卢 茜（排名不分先后）

组编单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院

主编单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院
中能国研（北京）电力科学研究院

参编单位：中国电力科学研究院有限公司人工智能应用研究所
全球能源互联网研究院有限公司
国网江苏省电力有限公司信息通信分公司
国网信息通信产业集团有限公司信通研究院
国网信息通信产业集团有限公司数字化建设运营项目
推进办公室
北京智芯微电子科技有限公司
国网思极网安（北京）科技有限公司
中国南方电网电力调度控制中心
广东省电信规划设计院有限公司
深圳供电局有限公司
四川中电启明星信息技术有限公司

前言

能源革命与数字革命的融合是第四次工业革命的发展趋势和特征。电力物联网通过应用现代信息技术，助力电力系统和电网企业的转型发展，在提高电网柔性和弹性、适应可再生化的大规模开发利用和新型用户的多元需求，激发电网企业发展活力、提高运营效率方面必将发挥重要作用。

进入 2020 年，我国政府开始着手对“新基建”进行深入部署，“新基建”成为最炙手可热的概念。新基建是指以 5G、物联网、工业互联网、卫星互联网为代表的通信网络基础设施，以人工智能、云计算、区块链等为代表的新技术基础设施，以数据中心、智能计算中心为代表的算力基础设施等，用以支撑传统基础设施转型升级。电力物联网和新基建倡导的发展理念一致，我们坚信在新的国家战略推动下，电力物联网将得快速发展，有着强劲的生命力，也必将有更好的未来。

建设电力物联网，可以利用物联网技术、5G 通信技术、电力无线网，打造电力设备基础信息采集平台，全方位、多维度快速接入电力系统各环节终端采集信息，全面实现电力设备及用户的实时状态感知，更敏捷地响应业务需求。建设电力物联网，可以利用云平台技术、大数据技术，充分处理多系统、多源数据，对多源、异构数据进行建模处理，为应用服务提供统一的数据平台支撑，形成“一体化联动”的能源互联网生态圈、“一站式服务”的智慧能源综合服务平台。建设电力物联网，可以利用移动互联网技术、人工智能技术，推动新应用服务或业务的快速上线，满足客户服务多样化的要求、提升客户体验个性化

的需要，打造电力信息服务平台，满足政府、企业、居民等不同客户的差异化服务需求，在提升服务质量的同时吸引更多社会投资、更广泛的终端客户参与到能源互联网的建设中来。

为使广大的读者对电力物联网有全面的了解，受江苏电力公司委托，输配电协作网组织专家，完成了该书的编写工作。

本书分为5章，第1章是绪论，介绍电力物联网的发展背景；第2章是电力物联网架构和技术体系，从感知层、网络层、平台层、应用层几个方面予以介绍；第3章是电力物联网关键支撑技术，概括介绍云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能和区块链的概念、技术及其主要作用；第4章是电力物联网主要应用，介绍营配贯通、配电物联网、虚拟电厂、车联网、智慧能源综合服务、智慧物联、输电线路在线监测等应用；第5章是典型案例，介绍了新能源云、智慧路灯等方面的工程实践以及一些综合性示范工程。

为完成该书的编写，编者从多个渠道进行调研、收集资料，在此基础上进行了提炼和总结，以期读者能借助此书对电力物联网丰富的内涵、广泛的实践获得及时充分的了解。在本书汇编过程中，编者与参编单位在编写上不遗余力、精益求精，且来自北京国网信通埃森哲信息技术有限公司、北京中电飞华通信股份有限公司、北京国电通网络技术有限公司、安徽继远软件有限公司的李小山、贺金杭、王卫卫、姜燕、徐海青、李思维、韩永浩、李文昭等同志对本书的统编亦有积极贡献，在此一并致谢！

电力物联网的研究和建设仍处在快速发展中，书中所介绍的内容与不断演变的现实情况可能存在一定偏差，请读者谅解。

编者

2020年5月

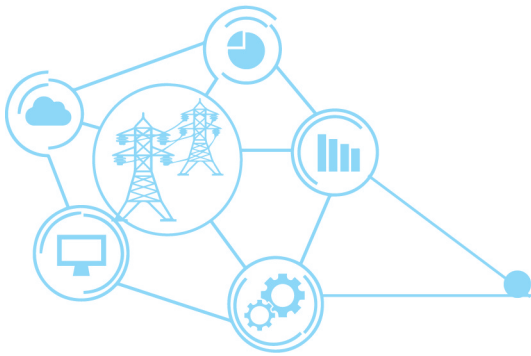


目录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 意义	5
第 2 章 电力物联网架构和技术体系	7
2.1 电力物联网架构	7
2.2 感知层	8
2.3 网络层	9
2.4 平台层	11
2.5 应用层	15
第 3 章 电力物联网关键支撑技术	22
3.1 云计算	22
3.2 大数据	26
3.3 物联网	35
3.4 移动互联	40
3.5 人工智能	44
3.6 区块链	51
第 4 章 电力物联网主要应用	57
4.1 提升客户服务水平	57
4.2 提升企业经营绩效	60
4.3 提升电力安全经济运行水平	75
4.4 促进清洁能源消纳	91
4.5 培育发展新型业务	106
第 5 章 典型案例	111
5.1 提升客户服务水平	111

5.2 提升企业经营绩效	115
5.3 提升电网安全经济运行水平	118
5.4 促进清洁能源消纳	124
5.5 培育发展新型业务	125
5.6 综合示范	132
结束语	137



绪 论

当前，数据革命与能源技术革命相融并进，数字技术成为引领能源电力技术及产业变革、实现创新驱动发展的原动力。世界各国纷纷采取措施，推动能源电力行业的数字化转型。应用先进的传感技术、大数据和人工智能技术、物联网技术，构建电力物联网，对实现电力系统智能化、推动电网公司发展转型，有重要的作用。本章将围绕电力系统和电网企业的发展需求，介绍电力物联网的背景和意义。

1.1 背景

1.1.1 电力系统的转型发展

1. 电力系统的发展历程

从电力系统一、二次系统发展及其相互的融合程度来看，电力系统已经历了两个发展阶段，正在进入第三阶段。第一阶段可用“发配电”来描述，第二阶段可用“电力系统及其自动化”描述，这两个阶段的特征从高校电力专业的名称上有所体现。第三阶段用“电力系统智能化”或“智能电网”来描述。

第一阶段（过去）的特征是：主要依靠一次系统完成发电、输配电任务，二次系统的应用程度较低，各级调度依靠电话通信实现。从电力系统的接入成分来看，发电侧仅接入火电、水电、核电等传统发电机组；从特性上看，电力系统的可观测性、可控制性均很低。

第二阶段（现在）的特征是：电力系统的自动化水平明显提升，调度自动化和配电自动化系统得到应用，发电侧传统发电占比仍很高，风电、光伏发电占比迅速增加。电力系统的可观测性、可控制性显著提高，电力电子技术，如柔性交流输电、直流输电等，获得一定程度的应用。

第三阶段（未来）的特征是：先进的信息通信技术（ICT）广泛应用，系统的

可观测性和可控制性大幅度提升，各种监测、量测、控制系统覆盖发电—输配电—用电各个环节，其中最为显著的特征是信息通信系统进入用户侧系统，通过部署智能电表和用户侧系统，实现用户系统的接入；发电侧风电、太阳能发电大规模接入电网，配用电系统中接入电动汽车充电设施；各种规模的储能系统获得应用。风电、光伏、直流系统、储能系统的大规模接入，使电力系统呈现明显的电力电子化特征。

电力系统发展的三个阶段可直观显示在图 1-1 中。

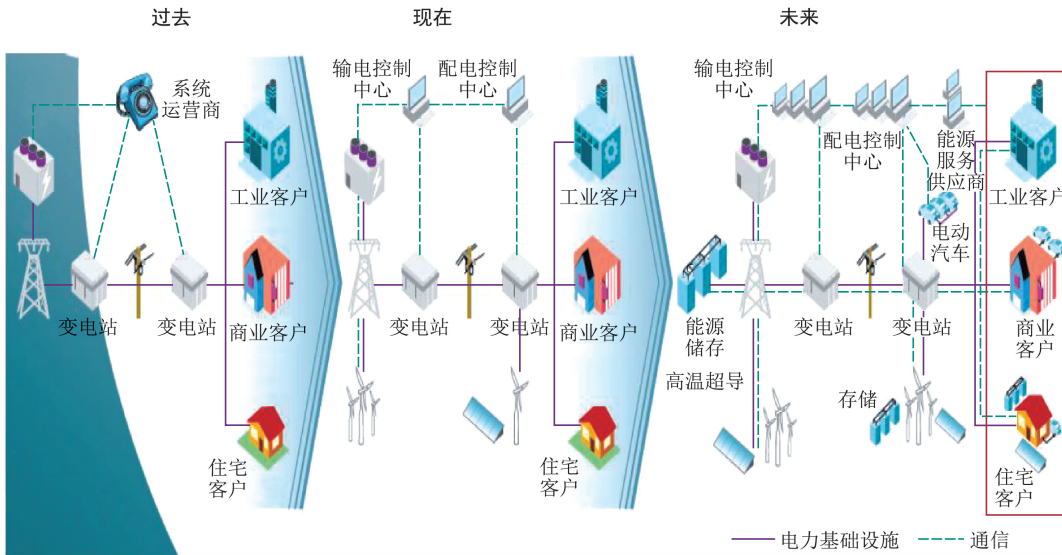


图 1-1 电力系统发展阶段

图来源：IEA smart grid roadmap. <http://www.iea.org/>

2. 电力系统面临的挑战

电力系统面临的挑战表现为对电力系统的灵活性、安全性和开放性提出了更高的要求。

灵活性是指系统功率/负荷发生较快的变化、造成较大功率不平衡时，通过调整发电或电力消费保持可靠供电的能力。传统的电力系统中，功率的不平衡主要由负荷变化引起，随着新能源的快速发展，功率的不平衡更多由风力发电、光伏发电等间歇式能源发电功率引起。传统电力系统中，主要依靠电源的调节能力，跟踪负荷的变化。而在间歇式能源大规模并网的情况下，仅仅依靠发电侧的调节能力不能满足需求，不仅需要挖掘互联电网可提供的灵活性资源，更重要也切实可行的是挖掘用户侧的灵活性资源，也就是实施需求响应，此外，还需要加快储能技术的研究使之具有技术经济竞争性、尽快进入规模应用。为了提高系统的灵活性，需要部署用户侧系统、智能电表，集成配用电系统，在一定的市场和激励机制下，实施需求响应/自动需求响应。

间歇式能源、电动汽车、储能技术的大规模接入，以及需求响应的实施，会使系统的运行状态更加复杂多变，运行不确定性加剧；同时，电力电子化特征使系统的惯性变小；由此导致电力系统的安全性面临更大安全风险。

随着电力市场化改革的不断深入和电力系统接入成分的多样化，使电力系统越来越开放。开放性既表现为电力系统和外部环境交互程度更高，气候、温度、政策、市场机制、用户喜好都对电力系统特性产生较大的影响；开放性还表现为电力系统的利益相关方增多，不同供货商提供的产品需要实现高度的集成，需要满足互操作要求，同时需考虑网络安全、隐私保护等问题。互操作是指两个或更多网络、系统、设备、应用或元件之间通信以及在不需要人工太多介入条件下有效、安全共同运行的能力。

3. 电力系统发展的必然趋势

为提高电力系统的灵活性、安全性和开放性要求，电力系统的构成和形态都将发生巨大变化。图 1-2 显示输电网和配电网接入的各种灵活源和非灵活源。灵活源用绿色表示，不可控源则用黄色表示。由图可看出，输电网和配电网连接着众多的不可控源和灵活源，通过对这些灵活源进行有效地观测和控制，才能实时跟踪不可控源的变化，以此保证电力和负荷的平衡。传统的电网不能满足上述发展需要，只有发展智能电网才能满足发展需要。智能电网是建立在集成的、高速通信网络技术上，应用先进的传感和测量技术、设备技术、控制方法以及决策支持技术，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。因而，智能电网成为电力系统发展的必然选择。

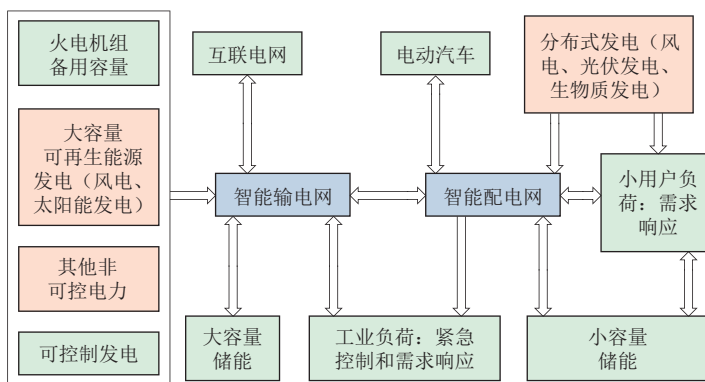


图 1-2 接入电网的灵活源和非灵活源

1.1.2 传统工业的转型发展

1. 工业化发展历程

人类已经经历了三次工业革命。每一次工业革命的发起，根本原因都是人类相对滞后的生产手段与不断扩大的生产需求之间的矛盾，每一次生产力的变革都是缓

解这一矛盾的过程。第一次工业革命中蒸汽机的发明，解决了人力的效率低下和动能的不足问题，庞大的机械设备因此得以被驱动，人力也在很大程度上得到了解放。第二次工业革命的发生是为了解决规模化和生产成本之间的矛盾，在生产流程详细划分，以及生产活动、原料、部件和产品标准化的基础上，开创了产品批量生产的新模式，劳动力的效率得以实现最大化，工业产品开始作为日常消费品走进千家万户。第三次工业革命以控制技术和信息技术为代表，促进生产效率进一步提高，自动化设备取代了人的重复性劳动，加工精度和产品质量得到了革命性提升，生产的精细化和复杂程度得到提升，人与人之间的交流更加高效，运维和管理的成本得以降低，在进一步解放人的体力劳动的同时也代替了一部分脑力劳动。

2. 传统工业面临的转型压力

经过三次工业革命后，机械化、规模化、标准化、自动化和信息化已发展了一定程度，人类对生产力的新需求与现有生产手段之间又产生了新的矛盾，主要体现在：

(1) 规模化与定制化之间的矛盾。本质上是需求的多样性和敏捷性与解决手段的单一性之间的矛盾，以及个性化服务与大众服务之间的矛盾，其核心是如何低成本地为不同的需求方提供相应的功能和服务。

(2) 个性与共性之间的矛盾。本质上是由于一方面要解决大规模生产与定制化生产间巨大成本差异导致的矛盾，另一方面要解决设备和活动的多样性造成技术的普适性与实用性难以兼顾的矛盾，其核心是如何建立一套自生长的平台体系，在应用过程中能实现不断的自我更新。

(3) 宏观与微观之间的矛盾。本质上是要让个体的活动目标与集体的活动目标相匹配，个体利益与集体利益之间实现协调统一，实现协同优化。

在这种背景下，人类迎来了第四次工业革命。简而言之，第四次工业革命是以智能化为核心的工业价值创造革命，要解决的问题包括：满足用户定制化需求的生产技术、复杂流程的管理、庞大数据的分析、决策过程的优化和行动的快速执行。

人类的三次工业革命都伴随着三次重要的能源转型，这一能源革命和工业革命又是结伴而来。低碳化、智能化、多元化的发展趋势，持续渗透到世界能源格局的每一个角落。我国大型能源企业敏锐地洞悉了能源企业变革的迫切，同时从互联网技术发展和工业互联网思潮倡导的“万物互联”和“共享共赢”理念中发现了机遇。电网企业作为传统能源企业，同样面临着转型发展的挑战和机遇。2015年前后，在国家“互联网+”战略和《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9号）文件的引导下，我国能源企业加快了转型的步伐。

1.1.3 先进信息通信技术（ICT）的发展

自20世纪80年代起，ICT发展受到了广泛关注。进入21世纪，ICT进入快速发展期，云计算、大数据、无线通信、互联网技术等爆炸式发展，对各行各业的技

术发展产生了巨大影响。ICT 的广泛应用，使工业系统积累大量历史数据，获取大规模实时数据，与此同时，工业系统本身及管理系统越来越复杂，依靠人的经验和分析，已无法满足其管理和协同优化，大数据和人工智能作为重要的工具，可发挥重要作用，具体体现在：使原本隐性的问题，通过对数据的挖掘变得显性，进而使以往不可见的风险能够被避免；将大数据与先进的分析工具相结合，利用数据挖掘产生的信息为客户提供全生命周期的增值服务；利用数据寻找用户价值的缺口，开拓新的商业模式等。互联网平台则更好地弥补供给与需求的鸿沟，服务于技术与市场的对接。区块链技术则为数据安全、公平交易等提供了保障。

在以往的工业变革中，以硬实力为代表的技术概念成为价值创造的重要源泉，而这一次工业的变革价值源泉正在向软实力倾斜。硬实力通常表现为材料、机器、方法、测量、维护和建模；软实力则表现为连接（传感器、网络、物联网）、云、虚拟网络、数据来源和价值挖掘、社群（交互、分享、协同）和定制化。

ICT 的跨界融合不仅带动传统产业的技术提升，还创造出新的管理模式和商业模式，对社会经济和人民生活产生了巨大的影响。例如，互联网行业衍生了网络经济，电子商务代替了传统的商务模式。

1.2 意义

1.2.1 电力物联网对智能电网的支撑作用

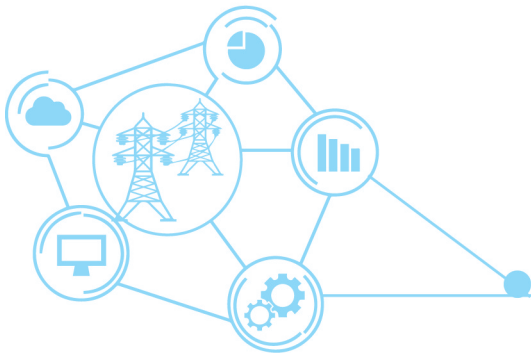
智能电网技术涵盖电力系统规划设计、建设施工、运行控制和维护管理等各个方面，各国电力工业发展重点不同，有的国家以配用电运行和控制技术为重点，有的国家以接纳可再生能源为重点，我国智能电网覆盖发电、输电、变电、配电、用电、调度、信息通信各个技术领域。

智能电网面临的最大挑战来自可再生能源发电、电动汽车的并网给电网引起的复杂性和不确定性。为此，除了加强一次系统建设、优化电网结构，提高电网输送能力外，还需要应用先进的 ICT 技术，提升电网的监测、感知、预测和调控水平。配电自动化、调度自动化、风光发电和负荷的精准预测系统、用户用电信息采集系统、配电管理系统、输变电监测系统、需求响应，都是有效提高电网感知、监测、预测和调控水平的措施，但这些技术或系统，离不开先进的信息通信技术的支撑，与此同时，这些监测、控制系统的部署，时刻产生出海量的结构化、非结构化数据，因此对云计算、大数据、人工智能等技术提出了迫切需求。电力物联网正是应用各种先进的 ICT 技术，实现对电网广泛感知，实现数据深度融合，并支撑各类智能应用的系统。发展电力物联网，推动电网向能源互联网升级。以数字技术为传统电网赋能，不断提升电网的感知能力、互动水平、运行效率，有力支撑各种能源接入和综合利用，持续提高能源效率的同时保证电网安全运行。无疑，电力物联

网可对智能电网的发展提供最全面、最强有力的支撑。

1.2.2 电力物联网赋能电网企业发展转型

集成“云大物移智”等先进 ICT 技术的电力物联网系统，为海量的数据资产支撑多样化的增值服务提供了可能。电力物联网可助力电网企业突破经营瓶颈，有利于加快技术创新和商业模式创新，改造提升传统业务，培育增长新功能和竞争新优势，为持续做强做优做大注入强劲动力。推进电力物联网建设，有利于电网企业发展，确保国有资产保值增值；也能够通过共建共享，促进关联企业、上下游企业、中小微企业共同发展，充分发挥央企引领带动作用；同时也有利于提升自主创新能力。



电力物联网架构和技术体系

2.1 电力物联网架构

电力物联网就是围绕电力系统各环节，充分应用移动互联、人工智能等现代信息技术、先进通信技术，实现电力系统各个环节万物互联、人机交互，具有状态全面感知、信息高效处理、应用便捷灵活特征的智慧服务系统。通俗的说，就是运用新一代信息技术，将电力用户及其设备、电网企业及其设备、发电企业及其设备、电工装备企业及其设备连接起来，通过信息广泛交互和充分共享，以数字化管理大幅提高能源生产、能源消费和相关装备制造的安全水平、质量水平、先进水平、效益效率水平^①。

电力物联网架构如图 2-1 所示，自下而上包括感知层、网络层、平台层和应用层^②。

(1) 感知层实现终端接入，主要包括现场采集部件、智能业务终端、本地通信接入、边缘物联代理四个方面。感知层重点任务是统一终端标准，加强跨专业统筹，推动设备数字化改造、智能化升级，提高业务终端在线率和边缘智能水平。

(2) 网络层实现网络全时空覆盖，主要包括接入网、骨干网、业务网、支撑网四个方面。网络层的重点任务是构建“空天地”协同一体化电力通信网，提高网络覆盖，增强网络带宽，提升网络资源调配能力。

(3) 平台层实现平台开放共享，主要包括一体化“国网云”平台、全业务统一数据中心、物联管理中心、企业中台四个方面。平台层的重点任务是落实“一平台、一系统、多场景、微应用”信息化核心理念，通过“云雾协同”架构，提高数

① 《泛在电力物联网白皮书 2019》，国家电网有限公司，2019 年 9 月。

② 《泛在电力物联网建设大纲》，国家电网有限公司互联网部，2019 年 3 月。

据融通和高效处理能力，支持应用灵活构建。

(4) 应用层驱动应用持续创新，主要包括对内业务、对外业务两个方面。应用层的重点是全面提升核心业务智慧化运营能力，积极打造能源互联网生态，促进管理提升和业务转型。

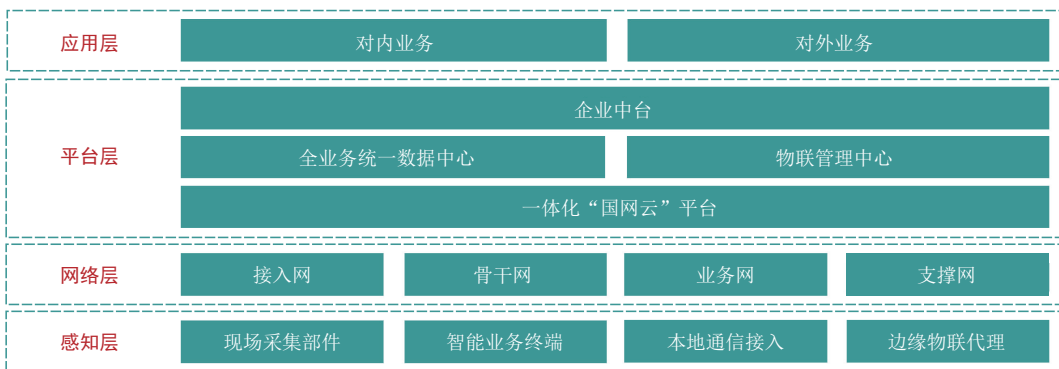


图 2-1 电力物联网架构

2.2 感知层

2.2.1 现场采集部件

现场采集部件主要为传感器。电网已应用数百种传感器及终端，涉及“电源侧—输电侧—变电侧—配电侧—用电侧—延伸侧”整个链条，采集多种环境量、状态量、电气量、行为量。目前电网中最常用的传感器大致分为三类：

(1) 电压/电流信号监测传感器，包括基于线圈绕组式变压器原理的电压互感器 (TV)/电流互感器 (TA)，以及新型的霍尔传感器、光纤和磁阻传感器等。

(2) 电气量相关传感器，包括电磁、电场、局放、全电流、油色谱、油中溶解气体、油中微水等。

(3) 非电量传感器，包括温度、湿度、压力、位移、角度、振动、加速度、舞动、称重、倾斜、微气象等。

2.2.2 智能业务终端

智能业务终端是指基于“国网芯”研发的平台化、智能化、APP化的新型业务终端，例如新一代智能电能表、能源控制器、电能计量锁具等。

新一代智能电能表采用多芯模组化设计理念，计量芯与管理芯相对独立，同时配备上下行通信模块以及各类业务应用模块，非计量芯均可独立升级，各类业务应用模块灵活配置，在确保计量功能精准、可靠的前提下为未来所需要拓展的业务需

求预留充分的空间。目前已经实现的扩展模块有居民用电负荷识别模块、电动汽车有序充电模块以及“多表集抄”模块。

能源控制器主要用于电动汽车有序充电、居民家庭智慧用能、商业楼宇等场景，基于边缘计算与云计算协同运行。能源控制器硬件上采用模块化的型式设计，软件上设计统一操作系统，实现操作系统与底层硬件和应用层软件的双向解耦。研发了高频数据采集、家庭居民智慧用能、电动汽车有序充电、停电故障主动上报等17个大类、38种功能设计。

电能计量锁具与智能、物联、安全属性与电力物联网内涵高度契合，物理设备层采用加密通信保障锁具通信及操作安全；系统平台层充分依托用电信息采集现有平台系统及硬件资源，实现智能锁具的智能操作和物联监测。电能计量锁具及其应用系统可为现场人员提供创新、便捷、智能服务，全面支撑客户侧电力物联网现场各项业务地有序开展。

2.2.3 本地通信接入

本地通信接入是指安全、可靠地实现传感器通信模块与边缘物联代理之间的通信。现有技术体制包括 LoRa、NB-IoT 等低功耗长距离无线通信技术，BLE、Zigbee 等短距离无线通信技术，以及电力线载波、微功率无线等针对营销数据采集设计的本地通信技术。

2.2.4 边缘物联代理

边缘物联代理具备终端协议解析、数据采集、监控、数据存储、边缘计算、数据统计分析等功能，就近处理物联网设备生成的数据，从而减轻了网络带宽的负荷，用于满足电力物联网大规模接入和快速响应的需求。边缘物联代理能很好地满足电力物联网对终端接入能力、多样化业务承载能力、可实现功能和性能的灵活配置，具有集成度高、接口丰富、计算能力强、成本低廉等优势，是电力物联网的核心设备之一。

2.3 网络层

2.3.1 接入网

接入网是骨干网的延伸，提供配电与用电业务站点同电力骨干通信网络的连接，实现配用电业务站点与系统间的信息交互，具有业务承载和信息传送功能。终端通信接入网分为 10kV 通信接入网和 0.4kV 通信接入网两部分。

(1) 10kV 通信接入网是指覆盖 10kV（或 20kV/6kV）配电网的开关站、配电室、环网单元、柱上开关、配电变压器、分布式能源站点、电动汽车充电站和