

基于泛在电力物联网的综合能效提升

文/中国电力科学研究院 钟 鸣



钟 鸣

中国电力科学研究院用电与能效研究所主任

能源，是人类赖以生存、社会经济不断向前发展的源动力。随着化石能源的消耗殆尽，人类正面临着能源转型、提高能效和节能减排的历史关键期。目前，以太阳能、风能及核能为代表的新能源接入规模越来越多且负荷越来越大，这些不同地区不同类型不同时点接入的负荷给能源利用带来了新的挑战。针对扑面而来的复杂性需求，在“大云物移智”技术支撑下，能源管理将采用横向多能互补、纵向源—网—荷—储互联互济协同运行的方式，达到综合能效的提升目的：充分利用本地光伏、光热等新能源可再生资源禀赋，充分考虑区域内不同负荷类型差异性、互补性，通过终端冷、热、电负荷需求和源侧

多能优化匹配，统一规划，减少初投资成本，在不同时间、空间尺度上实现能源的高效、经济和清洁利用，减少运行、维护成本，提高资产利用率，达到分布式清洁能源就地消纳、能源梯次利用、供能可靠性提升和综合能效提高效果，最终提升用户体验效果。

多能互补和供需互动 未来能源供给方式的重要特征

能源生产和供应方式，将从集中式大规模生产为主的模式，逐步向能源集中式供应与分布式能源就地利用相结合发展。间歇性可再生能源的持续规模化发展，将推动传统能源与之协调配合，不断提高能源系统的灵活性和接纳能力。由于

电能的方便性，未来能源载体将以电能为主，一次能源转换成电能的比例将逐步提高；传统能源行业分割和壁垒将在市场需求、市场推进和政府政策引导下逐渐消除，提供综合能源服务企业将成为能源企业的重要发展趋势。由此可以判断，多能互补是未来能源供给方式的重要特征。

未来我国巨大的能源需求总量和增量，将推动能源革命，创建适应供给侧承受能力和限制的新型消费模式，充分发挥需求侧在平衡供需、降低能源需求增速等方面的作用。随着间歇性可再生能源的比重不断提高，将给传统的能源供需平衡模式带来严峻的挑战，迫切要求需求侧能够适应并响应供给侧的变化和限制。能源用户日益多元化的服务需求也要求实现供给侧和需求侧的双向互动，鼓励用户主动参与需求响应，创新能源企业商业模式，有利于减少供给侧不必要的投资，提高能源系统效率和供给安全。未来能源消费中供需互动将成为新型的典型模式。

基于上述判断，政府推进了不同的政策进行引导。2016年，国家发展改革委、能源局和工信部印发的《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》中提出，建设以智能电网为基础，与热力管网、天然气管网和交通网络等多种类型网络互联互通，多种能源形态协同转化、集中式与分布式能源协调运

行的综合能源网络。同年，国家发展改革委、国家能源局发布的《关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见》中提出了两种服务模式，一是面向终端用户电、热、冷及气等多种用能需求，因地制宜、统筹开发、互补利用传统能源和新能源，优化布局建设一体化集成功能基础设施，实现多能协同供应和能源综合梯级利用；二是利用大型综合能源基地风能、太阳能、水能、煤炭和天然气等资源组合优势，推进风光水火储多能互补系统建设运行。

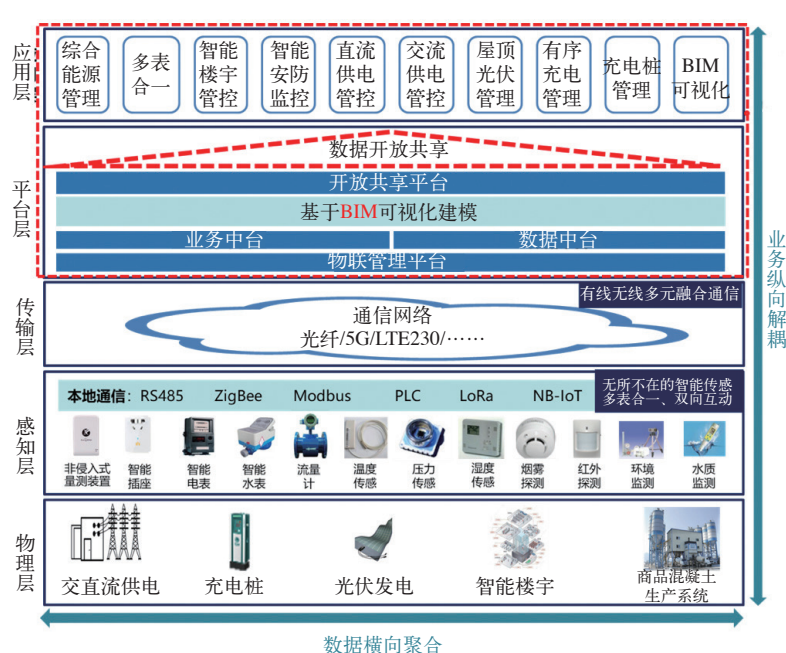
物联网是综合能效提升的重要基础

通过“泛在电力物联网+智慧能源”的建设，结合综合冷热能源优化供给、综合能源优化运行和能效服务等方面构成智慧能源体系，在此基础上可建设成实现节能环保、经济高效、安全可靠及灵活多样的智慧型物联网系统，这是整个能效提升的基础。

物联网系统采用先进的信息技术，基于泛在物联网，构建物理层、感知层、传输层、平台层和应用层的泛在物联网体系，实现智能化业务终端的统一接入和管控，整合和接入多种智能化控制子系统，对楼宇、工业园区等场景进行信息化建模实现数字化管理，并对接入的各类能源进行协调与优化，实现综合性的智能化管理、运营和服务，达到业务纵向解耦、数据横向聚合、开放数据创新应用的目的。

组成物联网系统，通过监视、调控终端用能设备，涉及的相关设备很多，在应用中常见以下几类设备：

1) 冷热能源路由器。为用户合理提供热、冷能源，解决供能、用



能能量匹配问题，保持能耗的动态跟踪，控制能量供需动态平衡，着眼于源端、供能管网系统和用能系统的能耗动态监视和与源端多类型供能自动协调控制，实现多种模式、多种场景供能模式，达到冷热能源的供需平衡和节约能源的目的。

2) 电力能源路由器。电力能源路由器主要关注电力方面的供需平衡，具备感知电力信息融合态势、平衡系统功率、控制电能品质、高效利用需求侧能源和交互控制多能源协同等高级功能；还具备分布式发电接入以及电能交换、电能质量控制等高级功能，对电力能源的高效稳定运行起着至关重要的作用。

3) 能量控制器。它可以实现包括配变监测、冷热能量管理、电动汽车有序充电和电能质量综合管理等多类型用能设备和用能系统的协调控制。

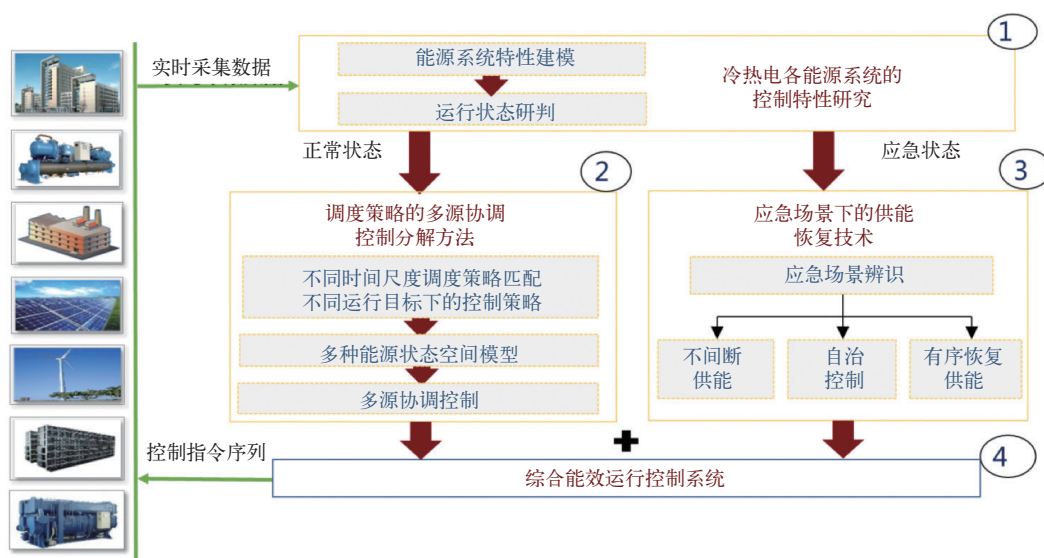
4) 就地协调控制器。通过用能系统就地化自动控制单元，实现分布式冷热电水等能源分层分级就地化控制功能。典型产品包括压差和流量控制器、电动调节阀、智能配

电终端、动态流量控制阀和温度压力控制器等。

5) 其他物联网计量、物联网终端。包括电量传感、设备状态监测传感、物理传感、气体传感和用能行为监测的大量其他物联网终端。它们通过监测网络，通过能源全景监控，实现能量数据采集、能源数据监控、实时物理感应、设备状态监控及用能行为数据采集等功能。

综合能效控制策略

在能效管理中，仅有物联网设备也是不够的，还需要智能化的控制策略，这些策略可考虑各控制单元不同特性，通过建立表征各种能源单元响应特性与调节能力等的特性模型，形成多种能源的状态空间控制模型。一般控制流程如下，首先是对各类设备信息进行实时数据采集，在能源系统内按能源系统特性进行建模，对其运行状态进行研判。正常状态下，可采用多源协调控制分解方法，包括不同时间尺度和不同运行目标下的策略生成，通过多能源状态空间建模，为达到



多源协调控制的目的，产生控制指令，对设备进行控制；在发生特殊情况下，开启应急状态的流程，利用应急场景包括不间断供电、自治控制和有序恢复供电的辨识和恢复技术，产生控制指令。

常见的控制策略如下：

1. 源—网—荷—储协调一体化管控策略

构建冷、热、电和气多能源互联集成及互补融合的源—网—荷—储协调运行控制体系，采用多能流调度控制技术，实现对多元能源的一体化协调管控，保障多能互补系统运行的安全性、可靠性以及高效性。

2. 需求侧响应策略

支持对负荷的精确控制，提高用户参与需求响应的灵活性。通过对需求侧负荷进行精细化建模，分析实施需求响应后用户用电行为的转变，监控需求响应达到的效果，实现供给和需求侧的互动，达到保持供能系统的稳定性和安全性的目的。

3. 分布式发电波动快速平抑策略

提及分布式发电，由于风光资源波动性大，所以出力波动会影响系统稳定运行。这时就需要功率

型储能快速调节，以便实时采集当前出力信息、实时预测功率波动趋势，以及实时评估储能充放电能力。要实现功率波动平抑，就要实时制定平抑控制策略，快速下发控制策略，并实现超短期功率平抑。

4. “光储充”一体化应用策略

电动汽车快速增长催生了快充站的建设步伐，但已有的配网线路、配变容量将会限制其大量建设。这时可建设含光伏、储能设备的一体化系统，在用电低谷时进行电力存储，用电高峰时储能放电以弥补过高的电动汽车充电要求。这样通过储能、分布式电源参与负荷的用电，应实现柔性负荷的有序用电。

综合能源管控系统

对于多类型供能系统来说，要通过多种能源及各类设备的组合运用，可以采用能源梯级利用方法，建设一套节能、经济、高效且安全的能源供应系统，有效的提高能源供应的可靠性并降低用户的能源费用支出。为了达到控制用能系统，达到提升综合能效的目的，在前述泛在电力物联网基础上，应用上述策略进行管理，主要通过综合能源

管理系统实施。综合能源系统分云、网、边和端四个层面，具有负荷聚合、集群优化、供需互动和互联互通等功能，具有其他类型多平台多业务接口。

综合能源管控系统具有电能生产、电能消费、电能存储、供水、供气、供热、能效分析、能耗分析、同步环比分析、最值分析、定额分析、异常分析和安全分析等一系列功能，涵盖了云计算、大数据处理、数据融合、移动应用、协调优化控制以及信息安全等多种技术。主要分为以下四个方面的功能：

1) 综合监测。利用多异质能源互补机理与源网荷协调优化技术，实现多能流协同优化调控、区域内的能量平衡与优化。综合监测采用横纵双向模式，横向包括“源网荷储”，即能源站监测、能源网监测、能源消费监测和储能设备监测等；纵向如能源生产可逐步发展至能源系统监测和能源设备监测。

2) 优化调度。在综合监测信息分析基础上，在安全稳定约束下，将调度策略精确分解至各控制单元，实现各能源协调控制，灵活实

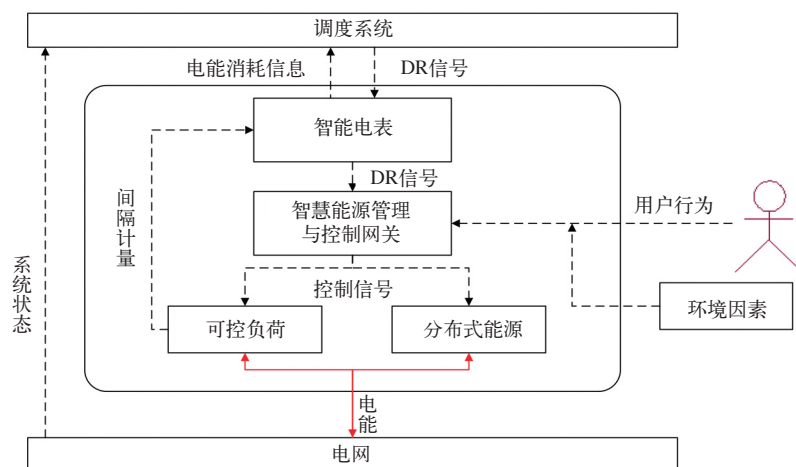
现不同用户不同场景的综合能源优化调度。

3) 能效分析。利用海量数据挖掘分析技术,实现面向不同用户的全景能源多重能效分析,具体有能耗计量、能耗分析、能耗查询、能耗警报和高级能效分析等功能。

4) 智能运维。利用采集信息,通过状态估计和故障分析,对电能设备开展专业化智能运维,基于以上信息还可以对用户用能系统实现全方面代维管理,具有资产台账、运维信息、运维分析和智能运维等功能。

智慧楼宇和智慧园区的应用

以智慧楼宇的综合能源系统为例,针对传统商业楼宇用能信息采集不全、能效不高和与电网缺乏协同互动等问题,建设综合能源系统,应用边缘计算、人工智能、大数据分析和空调群控等关键技术,通过用能控制系统、云边能源路由器和轻量级能效采集终端等设备及系统平台,推动楼宇空调等主要能



耗设备提升能效,并通过参与需求响应、电力市场交易,降低企业用能成本和电网用电负荷。

以智慧园区为例,传统园区存在能耗高、节能压力大、用能信息采集不全、各能源子系统相互独立及缺乏与电网互动等问题,通过综合能源管控系统建设可基于边缘计算的能源控制器实现多能互补协调优化控制,降低用能成本,提高用能质量,实现园区能源监测、能效分析和能效诊断等功能,充分发挥能

源供给的配置作用,实现了多种能源输入(太阳能、天然气和浅层地热能等)、多种供能方式的输出(冷、热和电等)及多种能源转换(光伏、燃气轮机和内燃机,储能系统等),由原来能源独立使用转变为集多能采集、传输、存储分配和转化的新型多能源网络系统,既可充分利用可再生能源,同时又保证系统的电能质量、运行稳定性、供电可靠性以及区域冷热的综合供应。**EA**

(上接第23页)

为直流负荷供电。

(3) 用户端

1) 用户分时电价管理。帮助电力用户实现分时段电价管理的手段,在电价较低时,对储能系统充电;在高电价时放电。

2) 容量费用管理。用户在自身用电负荷较低的时段对储能设备充电;在需要高负荷时,利用储能设备放电。

储能系统的投资热点包括:辅助火电调频;光储电站一体化;共

享储能技术;移动式储能电源车技术;岸电用储能系统;钻井用储能系统;地铁、高铁和轨道交通;动力电池梯次利用;安全消防系统;通信基站后备电源利用。

对储能系统的应用提出几点建议:

1) 在所有储能技术中,除抽水蓄能外,电化学储能是发展最快、相对成熟的储能技术,尤其是磷酸铁锂电池和铅碳电池,其技术经济性已经具备商业化拐点。

2) 长寿命、低成本、高转换效率和高安全是电池规模化应用的必要条件。

3) 储能系统辅助火电调频在三北、华北地区已经出现商机,值得关注。

4) 集装箱作为储能系统载体,小心陷阱,应加以重视。

5) 电池梯次利用以及后期回收可以考虑早作布局。

6) 储能电站作为废弃火电厂改造不失为一种有效途径。**EA**