



面向可持续 ICT 的互联网化能量管控和运营

刘宝昌¹, 慈松²

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080; 2. 清华大学, 北京 100084)

摘要: 讲述了 ICT 领域的能耗问题不应只停留在 ICT 领域自身寻求答案, 研究了 ICT 能耗问题的换位思考和机制模式创新, 阐述了单向潮流树状结构的电网必然无法支撑摩尔定律驱动的 ICT 信息系统负载及能耗需求, 提出了能量的信息化和互联网化将有效支撑未来 ICT 产业的健康持续发展, 通过应用实例说明了互联网化能量管控的核心是软件定义数字能量交换系统和基于云的能量和信息一体化管控平台, 总结了实现 ICT 系统内部能量和信息双向转换互动的关键。

关键词: 可持续 ICT; 能耗; 软件定义; 能量交换

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018102

Management and operation of internet oriented energy for sustainable ICT

LIU Baochang¹, CI Song²

1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

2. Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: To overcome the challenges posed by energy consumption on ICT, it is necessary to think more out of the box instead of merely focusing on issues in ICT itself. The unidirectional energy flow in the traditional power grid was introduced that could not fulfill the ever-increasing load requirement which had been inspired by the Moore's law in last decades. The seamlessly integration of energy flow and information flow was proposed to support the sustainability of future ICT. The result shows where software-defined digital energy system and its seamlessly integration with the internet are essential.

Key words: sustainable ICT, energy consumption, software definition, energy exchange

1 ICT 产业可持续发展的背景

随着“宽带中国”“信息消费”“智慧产业”“云计算与大数据”“三网融合”以及“第四代(4G)移动通信”等重大信息通信技术(ICT)

产业发展政策的出台, 我国的 ICT 产业规模已迅速扩大到近 4 000 亿美元。信息服务业和大数据的快速兴起导致数据量的井喷式增长, IBM 的报告显示, 人类所有数据的 90% 是过去二三年间产生的, 2020 年的数据规模将是现在规模的

44倍。与此同时,ICT产业快速发展带来了能耗的急剧上升,据统计,我国2011年数据中心的耗电量相当于三峡水电站的全年发电量,而全球数据中心的耗电量约为30座核电站的全年发电量。环境保护和应对气候变化是可持续发展中被屡屡提及的两大话题。最新发布的《GeSI SMARTer 2020》预测,到2020年,ICT行业自身的二氧化碳减排量将达到13亿吨,占全球温室气体排放量的1.3%。IT产业已成为化工、钢铁之后的第五大能耗产业。

因此,能耗将成为未来ICT发展的终极障碍,必须开展支撑ICT健康持续发展的有效方法和技术。

2 ICT产业可持续发展的核心问题

根据谷歌的分析报告,每两天产生500亿亿(10^{18})字节的数据,相当于从人类文明社会起源至2003年人类产生的数据的总和,以2010—2015年为例,全球移动互联网数据业务将增长26倍;根据摩尔定律芯片晶体管数量(处理能力)每18个月增长一倍;ICT设备的能耗受到模拟器件技术、芯片光刻技术等发展速度的限制,其降低速度低于前两者的发展速度。从这些数据可以看到数据量增长速度蚕食了芯片计算能力增长速度,未来ICT产业发展仍然需要大量额外的ICT设备,而ICT物理设备能耗下降速度相对较慢,提升ICT系统本身能效、解决ICT产业能耗问题的方法最终会受到三者速度差的限制。

通过对ICT产业能耗追本溯源的分析,目前ICT信息领域的各个主要组成部分均已实现硬件离散化、软件分布化和服务云化(如刀片式服务器和存储、分布式云操作系统、云服务等),系统结构呈现为扁平化的网状拓扑结构。但是,ICT信息系统的供电结构依然是被动单向供电模式,系统结构呈现为单向树状结构。换言之,ICT信息系统的供电方式只是被动的受电模式,即电源模块,电网和ICT信息系统呈现出烟囱式的系

统集成方式,而且,ICT信息系统对电网(包括目前的智能电网和智能微电网)而言都是负载。因此,单向潮流树状结构的电网必然无法支撑呈指数速率增长的ICT信息系统负载。此外,作为目前能源供给体系中主要来源的化石能源面临着资源枯竭和环境污染等重大挑战。

因此,现有的ICT产业能量供给方式无法支撑未来可持续的发展。

3 ICT可持续发展的方法——能量信息化与互联网化能量管控

目前世界各国和各大ICT厂商都非常关注能耗的问题,把能效技术视为ICT最核心的技术之一。值得注意的是,是ICT厂商而非电网运营商在关注ICT的能效问题。目前,世界各大ICT厂商都在不同的领域做出了新的尝试,例如,苹果公司正在美国北卡罗来纳州建设100%分布式可再生能源供电的大型数据中心;谷歌(Google)公司和脸书(Facebook)公司于2011年率先发起数据中心机房供电革命,将传统的集中式UPS和铅酸电池完全去除;特斯拉(Tesla)公司采用8000多节笔记本电脑的18650电池做出了世界上最快的电动跑车;Solarcity采用互联网手段实现户用分布式光伏发电和管控。上述厂商的动作意味着传统能源领域的众多变革已经从供给侧发起转移到需求侧驱动,尤其在分布式能源的利用和ICT能量供给体系的变革中格外明显,为互联网思维变革传统能源领域提供了思路和案例。上述例子也说明,ICT领域的能耗问题不能只停留在ICT自身寻求答案,还需要换位思考和机制创新。

人们在信息领域内深入研究和挖掘信息和能量之间的关系,引入数字化能量管控机制,构建信息和能量紧密耦合交互指引的能量信息化和互联网化平台,支撑ICT产业的可持续发展。具体说来,信息的能量属性是显而易见的,信息本身



就是能量的调制（如调幅、调相和调频），所以能量是信息的使能技术。然而，信息领域之前一直忽略了能量的信息属性，人们通常只强调能量的物理属性（如开 / 关、电流、电压和功率等）而忽略了能量的动态时空可变粒度调配。为了支撑可持续 ICT 的发展，必须把能量（传统能源和可再生能源）和能量进行解耦，把传统模拟能量流以先进电力电子技术进行离散化和数字化（比特化），进而将能量信息化和互联网化，使能量和计算资源、带宽资源、存储资源等 ICT 领域的其他资源一样，能够通过信息手段和模式进行网络化管理、调控和运营。此外，只有将能量信息化并使之进行网络化管控才能真正提高能量利用效率，实现分布式可再生能源在 ICT 领域里的有效利用，以支撑未来 ICT 的健康持续发展。

目前能量从信息领域的角度看还只是一个模拟变量，为了实现能量信息化，首先要在物理上把能量进行离散化和数字化（类比：AD 转换），这就需要研发一个基于信息化的可变控制粒度的数字能量交换系统；然后，需要把分布式数字能量交换系统进一步网络化，并同信息系统紧密耦合在一起，实现能量、计算、带宽和存储的一体化调度，实现 ICT 系统内部的能量和信息双向流动^[1]。

4 互联网化能量管控和运营平台

互联网化的分布式能量管理是以互联网思维，基于先进的信息通信技术实现能量的信息化与网络化，从而支撑可持续 ICT 的发展。具体而言，包括两项核心技术及对应模块：能量交换系统和基于云的能量和信息的一体化管控平台。

“存储”与“转发”是互联网的两大特征，是实现互联共享的基本要素。在能量的信息化与互联网化过程中，分布式电池能量交换系统提供了能量“存储”和能量“转发”的关键设备^[2-4]。分布式数字储能系统提供的信息化的能量管控接口

和 ICT 系统紧密耦合，为实现能量信息化与互联网化的未来能源网络提供能量的就近采集、就近存储、就近使用、余电共享等重要功能。在互联网催生下的生产分布式、信息碎片化的趋势下，从集中式发电到以分布式可再生能源发电为代表的大规模分布式发电将成为能量信息化和互联网化过程中能量产生的必然转变形式。然而，可再生能源分布式发电的能量波动性以及用户驱动的能量需求的时空随机性，导致能量互联网化过程中能量流本身具有先天的不确定性与无秩序性。因此，分布式储能技术由于可以有效消除能量流在产生和使用过程中的不确定性，并使能量的时空转移和能量流的有序流动成为可能，成为实现能量的数字化处理与互联网化管控的重要基础支撑。事实上分布式储能系统在 ICT 的应用历史很悠久，体现在海量备用电池存在于各种 ICT 设备和系统中。

数字电池能量交换系统研究与实现对能量的信息化与互联网化的发展具有重要意义。从承载功能的角度来看，数字电池能量交换系统是一种集功率电力电子半导体技术、先进电池技术和先进 ICT 技术等为一体的跨学科、综合型智能化的网络设备，其设计与实现对多个领域提出了相关技术需求，包括以下方面。

（1）宽禁带功率电力电子半导体技术

数字能量交换系统需要通过先进的高速功率半导体技术实现能量的数字化处理。

（2）ICT 技术

数字能量交换系统需要实时感知能量网络的大量信息，并在整个网络中实现信息的交互，这对能量交换系统中的 ICT 技术提出了多种需求，其中包括以下 3 种。

- 低时延：能量交换系统中的 ICT 技术必须能提供足够快的信息处理速度以及足够大的通信容量，以保证低时延的信息采集与交互。

- 高可靠性：能量交换系统的设计与实现必须以最小化通信失败概率为目标，同时必须具备通信失败检测以及快速重传能力。
- 高安全性：能量交换系统感知与交互的信息包含了能源网络的重要运行参数，这些参数的泄露以及恶意修改将会对能源网络的运行造成严重后果。

(3) 分布式智能处理

分布在能源网络中的大量的能量交换系统，在各自管理自己的能量微网的同时，还须具备根据感知与交互的信息，综合考虑整网运行状态与需求，通过协作实现能量互联网化的优化管理的分布式智能处理能力。

在分布式数字能量交换系统的基础上，分布式能量和信息的一体化管控技术及平台是基于云计算、物联网、大数据挖掘以及智能计算等，深度挖掘信息和能量的互换关系，在信息物理系统(CPS)的技术框架下实现信息流和能量流在ICT系统内部进行双向流动，从而对用户呈现出一个可管、可控、安全可靠的业务平台。CPS是一个在环境感知的基础上，深度融合了计算、通信和控制能力的可控、可信、可扩展的网络化物理设备系统，通过计算进程和物理进程相互影响的反馈循环实现深度融合和实时交互来增加或扩展新的功能，以安全、可靠、高效和实时的方式监测或者控制一个物理实体。CPS的最终目标是实现信息世界和物理世界的完全融合，构建一个可控、可信、可扩展并且安全高效的CPS网络，并最终从根本上改变人类构建工程物理系统的方式。其基本组件包括传感器、执行器和决策控制单元。

基于物联网实现面向多元化物理量的多空间、时间尺度感知，获取ICT系统能量、环境等相关信息以及ICT系统设备信息通信状态，为深度挖掘信息和能量的互换关系以及能量与信息的智能管控提供有效的感知数据。能量与信息的执行器和决策控制控制是互联网化能量管控的大

脑，其存在形态可以是基于嵌入式计算设备的近端分布式管控系统，也可以是基于云服务的平台管控系统。整个互联网化能量管控和运营平台架构将控制层面与能量的存储、分配分离，易于更好地实现智能化能量虚拟化资源管理。

5 实践成果

随着云计算、大数据业务的蓬勃发展，中国数据中心迎来了一次大的建设高潮。据咨询机构ICTResearch统计，2015年我国数据中心能耗高达1 000亿千瓦时，相当于三峡水电站一年的发电量。因此，实现数据中心的节能降耗成为数据中心建设和维护过程中不可忽视的重要问题。

目前，典型的IDC供电系统方案有并联/串联冗余、热连接、热同步和多路总线的方式保证供电系统的可靠性，但是这种形式的供电方案存在建设成本高、建设周期长等问题，其可用性、可扩展性和可维护性不尽如人意。就其能量效率而言，据统计，目前我国数据中心PUE平均值仍大于2.2，而欧美地区数据中心PUE平均值普遍在1.8以下。进一步剖析，计算通信设备通常有92%左右的时间处于空闲状态，加之，从UPS到服务器电源要经过3次交直流变换，其损耗占总能耗的50%左右，这部分损耗还将以热量形式散发造成二次能耗损失。因此，目前我国数据中心真正有效的服务所占能量比重低，能量利用率低。此外，目前我国在数据中心使用可再生能源方面已经大大落后于国外，尚未有国内运营商或互联网公司为其数据中心引入可再生能源的报道。然而，从国外的经验来看，发展可再生能源数据中心是大势所趋。从另一方面看，目前国内数据中心总数已超过45万个，增速远大于欧美地区，并且其中90%是面积小于100 m²的微小型数据中心，微小型数据中心在使用可再生能源方面比大型数据中心更具优势。

为解决目前数据中心能耗高的问题，研制了

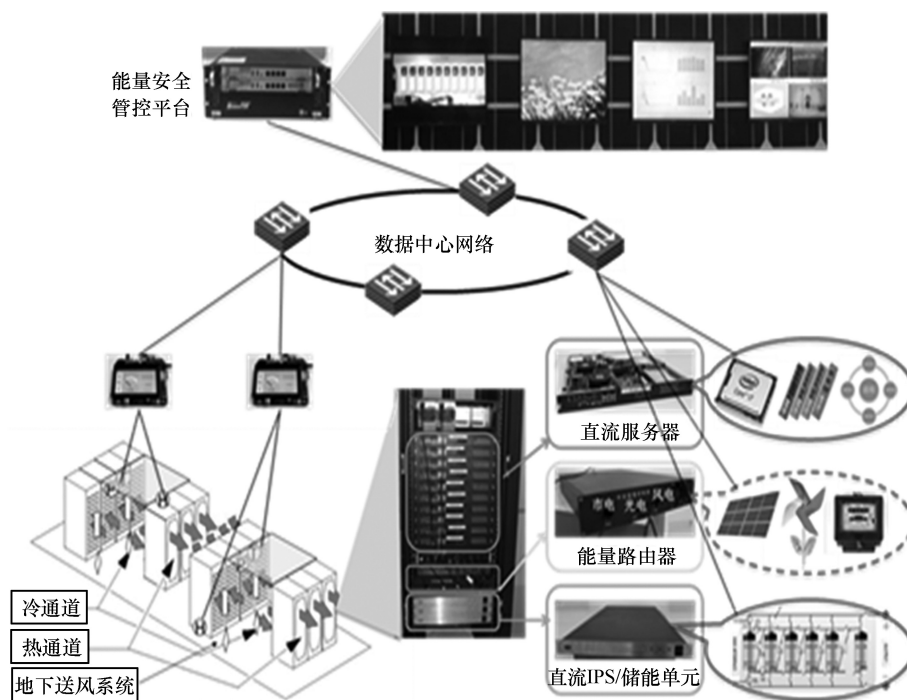


图1 互联网化能量管控和运营示意

基于能量信息化的机架式分布式数字 UPS 储能系统和分布式能量和信息一体化能量管控平台，并在数据中心机房规模应用，如图 1 所示，力争达到数据中心机房的总能耗降低 30%、总运营成本降低 20% 的目标。具体来说，数字能源 ICT 机柜可有效克服传统供电系统的如下问题。

- 不支持弹性部署，前期投入大。对于数据中心的服务器通常不按最终容量一次性部署的，考虑到成长计划时，传统供电方案前期成本较大。此外，为保证系统的稳定性和可靠性，一般 $N+M$ 冗余并机的方式，增加了一次性投入。
- 机房面积利用效率低。传统供电的方式采取集中式的装备方式，占用较大空间，空间利用率低，传统供电方案 PUE 较高，能效低，用电成本较高。
- 设备采购成本高。现有数据中心直流供电方案通常采取定制化设施制造，设计实施成本较高，且只为企业定向制造。

采用基于数字电池能量交换系统的 12 V 低压

直流供电方案具有高度扩展性，大量资本开支可延缓到未来几年再支出或完全避免；电源分布于各个机柜中部署节省了空间，并提高了空间利用率；该方案无需全部采购定制化设备，设备成本低。同时，该方案安装简单，后期维护方便，无需投入过多人力维护成本；该方案中能量利用率高于传统高压直流方案，节省了电力成本。尤其值得指出的是，采用数字电池能量交换系统后，备用电池容量已经数字化和虚拟化为新型网络资源（类比为带宽和流量），因此可以作为数字资产进行运营。例如，传统数据中心供电方案中，备用电容量是无法对用户定制服务。采用数字电池能量交换系统后，如同用户可以定制带宽、存储和计算服务，用户也可以定制备用电服务，从而实现了互联网化能量运营的新模式^[1,4]。

6 结束语

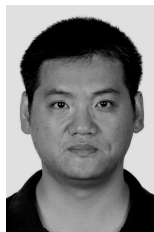
能量信息化是对信息和能量关系的深刻认识的体现和要求，是 ICT 产业降低能耗和分布式可再生能源在 ICT 领域里地有效利用的使能技术，

将对可持续 ICT 发展起到战略性的支撑保障作用。另一方面,针对我国目前新能源产业的信息化水平低、产业链不贯通(如光伏、锂电池、电动汽车、充电桩等产业目前是各自为政、互不感知)、成本高效率低等问题,能量信息化管控起到了贯穿新能源产业链的抓手的作用,能有效消除新能源产业的烟囱式发展模式。因此,能量信息化对于完成十八大提出的建设生态文明,完成能源改革,保障国家能源安全,推动能源生产和消费革命,践行和实现新产业革命和能源互联网^[6]的宏伟愿景有着巨大的推动促进作用。

参考文献:

- [1] 慈松. 能量信息化和互联网化管控技术及其在分布式电池储能系统中的应用[J]. 中国电机学报, 2015, 35(14): 3643-3648.
CI S. Energy informatization and internet-based management and its applications in distributed energy storage system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3643-3648.
- [2] 慈松, 李宏佳, 陈鑫, 等. 能源互联网重要基础支撑: 分布式储能技术的探索与实践[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(6): 762-773.
CI S, LI J H, CHEN X, et al. The cornerstone of energy internet: research and practice of distributed energy storage technology[J]. Scientia Sinica, 2014, 44(6): 762-773.
- [3] ZHANG J, CI S, SHARIF H, et al. Modeling discharge behavior of multicell battery[J]. IEEE Trans Energy Conversion, 2010, 25(4): 1133-1141.
- [4] HUANG A Q, CROW M L, HEYDT G T, et al. The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(1): 133-148.
- [5] 慈松. 能源互联网中的分布式储能[J]. 高科技与产业化, 2016(4): 59-62.
CI S. Distributed energy storage in energy internet[J]. High-technology & industrialization, 2016(4): 59-62.
- [6] 慈松. 抓住能源互联网发展机遇加快中国经济和产业发展的战略转型[N]. 科技日报, 2012-10-08.
CI S. Catch the opportunity for the development of energy internet and accelerate the strategic transformation of China's economic and industrial development[N]. Technology Daily, 2012-10-08.

[作者简介]



刘宝昌(1977-), 男, 中国移动通信集团设计院电源所副所长、高级工程师, 主要从事通信电源专业设计咨询、通信电源新技术新产品应用研究、通信(局)站及数据中心动力方面的规范编制、科研规划及课题研究、能源互联网在通信领域应用研究等方面的工作。

慈松(1970-), 男, 博士, 清华大学能源互联网创新研究院主任研究员、能源虚拟化及应用技术研究中心主任, 国家能源局中国能源互联网发展战略研究课题组首席科学家, 国家能源局能源互联网行动计划预研课题组负责人, 入选中国科学院百人计划。主要研究方向为大规模复杂系统建模与优化理论及其在能源互联网、绿色通信与计算和移动互联网的应用。