

物联网对能源转型的支撑

薛禹胜^{1,2}, 朱洪波^{3,4,5}, 王琴^{3,4,5}, 赵海涛^{3,4,5}

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106;

2. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏 南京 211106; 3. 南京邮电大学物联网研究院, 江苏 南京 210003;

4. 江苏省无线通信重点实验室, 江苏 南京 210003; 5. 教育部泛在网络健康服务系统工程研究中心, 江苏 南京 210003)

摘要: 能源转型的趋势是将智能电网融入综合能源中, 其研究方法是建立能源的信息、物理以及社会系统研究框架。电力转型的主动支撑是能源转型成功的保证, 所提方案强调了社会因素在实际工程和研究中的重要性, 作为新的研究方法论, 兼容数据、模型和行为的混合仿真, 把工程领域广泛应用的方法扩展到经济学和社会学中, 将基于主观经验的决策方法变得更科学。另外, 对物联网的定义中, 提出把因特网的限制去掉的观点, 用统一框架来反映因特网/专用网和其他技术结合的影响。

关键词: 能源网; 能源转型; 电力系统; 物联网; 协同融合

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00084

Support of the Internet of things for energy transformation

XUE Yusheng^{1,2}, ZHU Hongbo^{3,4,5}, WANG Qin^{3,4,5}, ZHAO Haitao^{3,4,5}

1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China

2. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211106, China

3. Institute of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

4. Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing 210003, China

5. Engineering Research Center of Health Service System based on Ubiquitous Wireless Networks, Nanjing 210003, China

Abstract: The trend of energy transformation is to integrate smart grid into comprehensive energy. The research method is to establish the framework of energy information, physics and social system research. The active support of power transformation is the guarantee of the success of energy transformation. The proposed scheme emphasized the importance of social factors in practical engineering and research. As a new research methodology, it was compatible with mixed simulation of data, model and behavior. The widely used method in engineering was extended to economics and sociology, and the decision-making method based on subjective experience was made more scientific. In addition, in the definition of the Internet of things, the idea of removing the limitations of the Internet was proposed, and a unified framework was used to reflect the impact of the combination of the Internet/private network and other technologies.

Key words: energy grid, energy transformation, electrical power system, Internet of things, coordination and integration

1 引言

当前, 我国的煤炭资源在一次能源消费中占比很高, 远远超过世界平均水平, 给环境和化石类能源带来了巨大压力^[1-2]。事实上, 不论是碳排放总量还是人均碳排放量, 我国都已超过欧盟国家, 碳排放总量甚至是美国的 1.8 倍。考虑发展的累计值, 目前, 中国

的碳排放累计量已超过欧美国家。如此严峻的形势, 如果不能充分重视, 将来会造成灾难性的后果。

能源转型迫在眉睫, 一次能源的结构需要大幅度调整, 如用可再生能源代替化石类能源。在现阶段, 以 2050 年为目标, 应该考虑设立何种目标、为了实现此目标如何进行优化才能实现路径和目标的双重优化。如果对优化过程限制过于严格, 必然会对经济

发展造成影响；相反地，就无法完成国家对世界的承诺。所以，优化能源的转型问题形势严峻。

2 能源转型路径的描述

本文将探索能源转型的路径描述和研究方法，讨论如何利用电力系统、物联网（IoT, Internet of things）以及社会因素对能源转型进行有力支撑。

中国工程院在 2016 年设立了“碳约束下，我国能源转型目标与路径的联合优化”重大咨询项目，以期通过能源转型的优化，把过去决策过程中的主观决策变为基于定量的科学化寻优决策。在目标优化中，一般会涉及如 2050 年的目标问题以及一次能源的组成结构问题等，更重要的是要研究如何达到这个目标、如何优化达到这一目标的路径，过去的规划过程往往忽略了此问题。

2015 年，非化石能源发电量占比为 30%，能源转移路径示意图如图 1 所示，显示了可再生能源在一次能源中占比的变化曲线。在 2050 年非化石能源发电量占比将达 80% 的目标下，可以有不同路径达到此目标，选择路径不同则对国民经济的影响也不同。如何规划能源转移路径才能兼顾协调经济发展和碳排放的约束，值得进行深入研究。

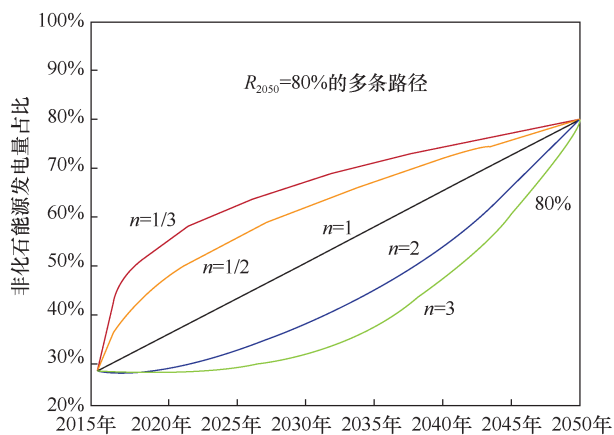


图 1 能源转移路径示意图

在众多路径中，可以用线性方法把转型的任务分配到每一年；也可以尽快增加可再生能源的量，以便尽早得到碳排放收益，并且可以节省资源，但是因为技术不成熟等原因，会使得投入增大。或者使用相反的方法，在开始时积累经验，当技术成熟时加快转型的步伐。因此，在众多路径中，如何找到一个可行的方法来比较不同路径和选择最优路径成为急需解决的问题。

本文首先采用聚类方法，通过较少的典型路径

代替无穷尽的路径，最后根据优化目标，在有限路径中找到最优路径。

此外，最优路径的选择和优化目标密切相关。如果目标改变，则选择的最优路径也会改变，所以下一个要解决的问题是如何选择一个较好的目标，最终问题则转换为在不同目标下对应的最优路径之间的比较。

采用非化石能源发电量占比作为能源转型的特征量，如图 1 所示，用典型的幂函数标注不同的转型曲线时序轨迹，转型曲线的幂用 n 表示，线性转型曲线是幂等于 1 的特殊情况， n 表示转型曲线的幂。 R_0 表示非化石能源发电量的初始占比， R_f 表示目标占比， t_0 和 t_f 分别表示起始年份和目标年份，在第 t 年非化石能源的占比可以表示为

$$R(t) = R_0 + (R_f - R_0) \left(\frac{t - t_0}{t_f - t_0} \right)^n \quad (1)$$

能源转型的路径规划问题即求得式(1)中最优目标占比 R_f 和最优路径参数 n ，即最优转移路径，用参数 $[R_f, n]$ 表示。

3 能源转型的研究方法

上述能源转型路径规划问题的求解过程可归纳为对目标占比 R_f 和路径参数 n 的两层搜索。在研究每一条路径动态变化的基础上，首先在确定的目标值下选择最优路径，用此最优路径选择下一个目标点，以这个目标点代表新的性能指标；然后找到新目标点情况下的最优路径；最后对性能进行比较。为完成以上两层搜索，需要分析我国在不同转型目标及转型路径下，可以获得的环境与发展效果以及付出的代价。

问题解决过程的复杂性反映在时间尺度相差较大的不同物理问题和社会问题的相互耦合上，包括以月为尺度到以天为尺度，一直到以毫秒为尺度的过程。此过程包含物理、经济和博弈行为，多领域问题的交互、离散以及连续方程、微分和代数方程的并存。另外还存在大量不确定性因素，特别是周围环境、国际环境和国家政策等。如何分析不确定性因素并且合理兼顾可行性和计算力，是研究新方法面临的挑战。

目前，国际上还没有求解多领域中复杂问题的优化算法，需要新的方法论和求解框架，在各领域建模、采集并整合现有发展过程中的参数，从而突破传统的研究方法。因此，需要创建一个多领域的

动态混合仿真技术和平台，能够支撑不同的驱动方法，包括数学模型驱动、数据驱动、AI 驱动、多代理驱动以及真实人驱动，即不同的数据结构和分析方法都应得到平台的支撑。在平台上进行仿真后得到特定场景下的时间响应曲线，根据能源系统的时间响应曲线提取目标函数值，再进行性能比较和灵敏度分析寻优，提供决策支持。

为此，首先研究不同能源企业的发展方式和其如何面对各种电力市场之间的竞争，把博弈行为反映在发展路径中。重要的是，在社会发展的问题上，社会学和政府行为等充满不确定性，如何把不确定性反映在对发展路径的影响上值得进一步研究。

为此，国家电网研究院在其国家重点实验室中打造 SGEPRI/NARI 决策平台（数学模型—真实参与者—多代理的混合仿真平台），综合能源系统动态仿真平台功能架构如图 2 所示。该平台考虑人的行为、政策的变化以及各种物理模型的影响。在现阶段的仿真发展过程中，还没有能够支撑多领域交叉的复杂问题的建模与参数设置、深层次知识提取和决策行为的方法。目前，在线系统一般根据现有数据直接进行决策，本文提出了一个代替在线系统的镜像系统，通过在镜像系统中反复推演，选择一个最佳决策再进行博弈，降低了行为的盲目性。为研究综合能源系统，使不同的一次能源和二次能源得到发展，从而协调碳排放的约束和经济的发展，本文所提的能源转移模型在此平台得到了实现。

4 物理、信息和社会元素对能源转型的影响

在现阶段，智能电网应融入智慧能源，能源要从电网发展到全能源链，并且要结合物理元素、信息元素和社会元素。其中，物理元素包含电力系统

和能源系统，此外，系统还包含能源系统之外的元素，涉及人的动态行为和社会元素。电力系统以前的研究对象仅是电力系统中的生产设备，当把对象系统扩展到一次能源、用户时，要求研究对象包含以前在工业控制方面不关心的问题。

4.1 电力系统对能源转型的支撑

电能是主要的二次能源，负责进行实时调配的电力系统是能源链的核心环节。在上述研究中，把电力系统二次能源转换环节作为理想的、无阻塞环节处理过于理想化。可以看到，在化石类能源作为主要发电能源时，其灵活性和可控性较好，所以在安定环境下研究电力系统的经济性和安全性。但是当可再生能源代替了大部分化石类能源时，非化石类能源的被动性和可控性较差。并且用电模式的变化如电动汽车的充电/放电带来的冲击性，是迄今为止没有出现过的，这使得原来的电力系统不能再依靠一次能源的可调性来满足负荷和发电量之间的平衡。

电力系统作为主要的能源转换桥梁，不能依靠外部条件来保证其安全运行，它要满足推动可再生能源发展和满足负荷剧烈变化的要求。二次能源的电网、电力系统环节非常重要，电力系统要紧密配合能源转型，是能源转型的主动支撑。

如果能源的中间转换环节不能被有效支撑，那么就无法有效利用可再生能源，但是打造二次能源的代价若太大，也是任何国家承担不起的。所以在此矛盾中，优化问题变成一个非常现实的问题。原国家电网有限公司董事长舒印彪提出针对我国能源发展面临的挑战，研究电力转型如何在能源转型中起主动支撑作用。该项目以我国光伏能源最丰富的地区青海省为例进行研究，探索如何能够实现青海省能源的最优利用效果。

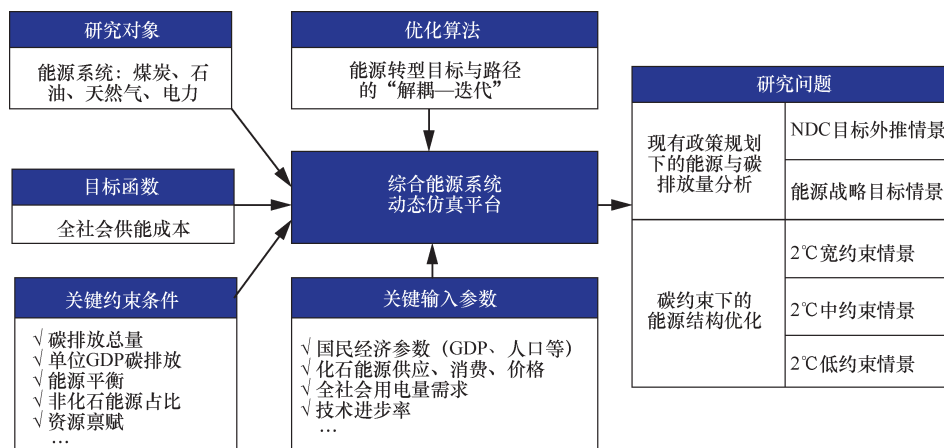


图 2 综合能源系统动态仿真平台功能架构

4.2 非能源因素对能源转型的影响

能量系统面临日趋严峻的外部挑战，物理电力系统是一次能源和终端能源的枢纽，和社会环境、自然灾害、投资以及市场等因素紧密耦合。除了考虑能源的扩展，即从电能源扩展到非电类型能源，还要考虑非能源因素。

电力系统与自然环境的交互如图3所示，以此为例，人类活动产生了污染物排放，增加了自然界的污染物负载，在污染物中电力系统排放的温室气体占人类活动排放的总温室气体的一半以上。如果污染源不能限制在安全状态，当自然界的负载超过其所能恢复的负载时，大自然就会用各种自然灾害惩罚人类，如停电风险。该问题是客观存在的，如何使该问题变得科学且可仿真，是目前需要解决的。

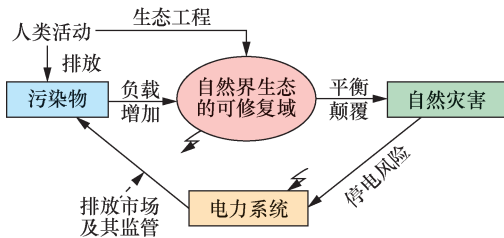


图3 电力系统与自然环境的交互

能源转型不能仅作为一个物理问题进行研究，它和各种变化以及参与者的行为也是紧密耦合的，不同基础网络间的相互依赖关系如图4所示。

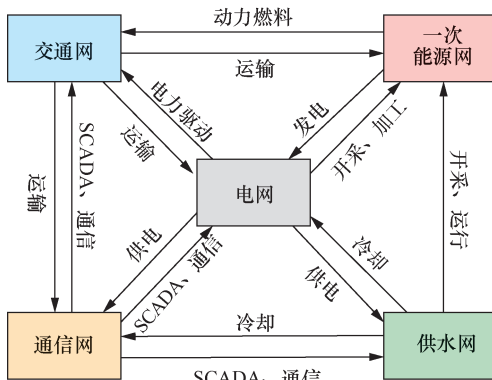


图4 不同基础网络间的相互依赖关系

能源转型离不开政策与参与者的行为，监管影响社会责任、电力市场的稳定性以及电力安全的稳定性，因此，监管必须在保证市场稳定的前提下越小越好，因为监管行为对于市场来说可能是一种扰动，但是在不完全理想的社会中，监管是必需的。

综上所述，要将能源转型研究放在“社会—物理—经济—政策—行为”框架中，相关研究参考文

献[3]和文献[4]。能源转型在电力系统约束下的优化框架尚在研究中，电力系统对广义物理环境的自适应能力已逐步实施工程，完成了与数据采集、风险分析和预报、环境控制决策的融合。

5 IoT与信息物理社会系统的协同与融合

IoT是将互联网扩展到物品的互联应用，2005年IoT定义为：通过各种传感设备和互联网，连接物体与物体的全自动、智能化采集的网络。电网是国民经济的关键基础设施，使用不允许外部设备和物体接入的专有网络，如果定义IoT是以互联网为基础的网络，则把电网的生产调度系统和调度管理系统排斥在IoT之外了。

IoT的概念和与信息物理社会系统（CPSS, cyber-physical-social system）的概念一致，强调网络、物体和人的融合^[5]。但是两个相似的理念在研究、应用过程中又有各自的发展路线，使得IoT应用受到限制。

IoT扩大了智慧能源网的信息感知及终端调控范围，IoT在SCADA/EMS系统末梢的延伸如图5所示。在分布发电及储能环节，可实现REG监控、电池监控、备用状态和启动能力；在配电/变电环节，可实现电能质量、作业管理、安全防护、故障诊断以及恢复控制；在用电环节，涉及的应用包括电动汽车充电/放电、智能抄表、智能家居、需求响应以及运营互动；形成需求和情境的感知、理解、响应、反馈以及全寿命管理闭环，提供定制化的高效服务；用于气象观测、设备环境监测等环境监测环节，身份识别、维护人员定位以及状态相关的人员管理环节，在救灾和抢险过程中对抢修队伍及物资进行智能调度。

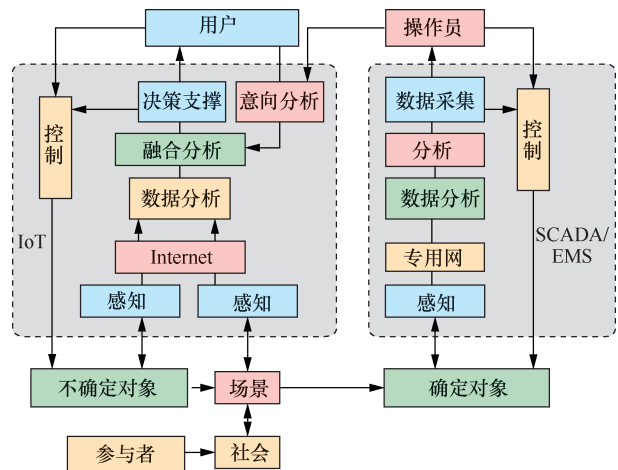


图5 IoT在SCADA/EMS系统末梢的延伸

IoT 数据的融入对 CPSS 的影响如图 6 所示。当 IoT 数据融入 CPSS 后,可以挖掘深层知识,理解参与者行为,为不同用户优化不同用能方案,提供定制的电力和能源决策,在需求侧进行精准控制,支撑能源网从信息化发展为智能化。

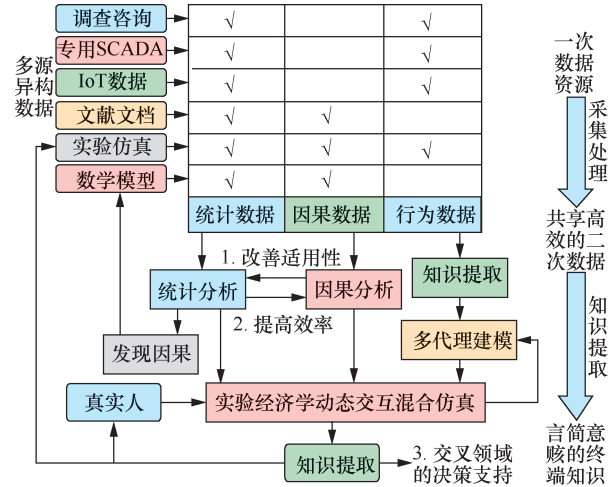


图 6 IoT 数据的融入对 CPSS 的影响

IoT 和关键基础设施专用网的融合在概念上吻合,由于专用网不能以完全开放的形式直接利用因特网,所以需要在开放性、参与灵活性和安全性之间折中。本文提出 3 种 IoT 与专用网的融合方法:方法一为定义兼容两者或者有条件交互的新术语。方法二为扩展 IoT,松化因特网为网络基础的约束,把专用网看作它的案例。但是在不同案例中, IoT 不受因特网的严格限制,现有的专用网在很多技术方面可以统一。不同网络的应用对象对于保密性有不同要求,因此特性也不相同。方法三为按照 CPSS 概念统一描述两者。

6 IoT 与互联网/SCADA/EMS/CPS/CPSS 的区别与联系

6.1 基础概念

互联网实现人—人—数据相连,向高可用性与可信性、宽带、移动、物联以及泛在方向发展。IoT 将互联网向下延伸到物—物相连,涉及感知与标识技术(物体识别、位置识别和地理识别),与社会的上/下文共享信息,使产业集群更柔性、更智能,实现对物理世界的实时控制及管理,但需要上升为 CPSS 才能实现生产过程的精准控制和智能服务。

在 IoT 和能量管理系统或生产管理系统的关系中,工业 SCADA/EMS 是 IoT/CPS (cyber physical system) 的特例,联网物品(如物理基础设施)之间有相对固定的拓扑关系,在开放性与安全性之间存在矛盾,需要采用专用网代替公用网以保证安全性。CPS 强调系统在感知物理世界后对物理世界的反馈,而 CPSS 则计入社会行为对物理世界的影响。另外,可以把 IoT 看作 EMS 和 PMS 在终端的延伸与扩展,因为它们都可形成需求和情境的感知、分析、理解、响应、反馈以及全寿命管理的闭环。

6.2 数据采集

IoT 与 SCADA、互联网在数据采集上的不同如表 1 所示。专用网中研究的物体位置确定,传感器可以在物体的外面,采用专用网则对安全性和信息实时性要求较高。IoT 中物体的不确定性大,数量、拓扑可变,传感器一般附着在物体表面,对灵活性要求高,而对安全性要求相对较低。生产管理系统监控企业内各种物体的准动态,处于 IoT 和专用网之间,其功能类似于 IoT,但是未考虑 IoT 中的射频识别等技术。

表 1 IoT 与 SCADA、互联网在数据采集上的不同

数据来源	SCADA	PMU	互联网	物联网中的传感器		仿真器
				站点内	物体上	
感知对象	物理状态	物理动态	二次数据	物理状态/博弈行为		数学模型
对象的空间位置		固定	网站地址	不定		模型中
传感器的空间位置		固定	隐藏在二次数据的后面	固定	不定	模型输出
时间特性	静态、不同步	动态、同步	静态、不同步	静态/动态;不同步/同步		同步的静态/动态
描述内容	对象状态	过程动态	统计信息	对象及过程		大数据
实时性要求	在线级别	实时级别	离线级别	在线级别		离线级别
可靠性	极高	极高	较低	高		依赖类型

7 以安全性为例探讨 IoT 技术对电网的支撑

从全局来看, 电网和其他公用网络联系紧密, 若要研究能源转型, 则需要研究电力系统的安全性。而电力系统的安全性受这些网络之间的约束和影响, 扩展了电力系统的监控对象到一个海量的多领域物体。若要保证电力系统的安全性, 需要把信息感知渗透到周边环境; 若要探测自然现象, 如转换灾难, 则要把感测点从电力系统内部扩展到气候预报中, 从而留出更长时间供电力系统进行预案准备。在引入 IoT 概念后, 系统的安全性能得到更好的支撑。

上述思维在我国已经被应用于工程中, 如把停电防御体系扩展到对火灾等灾难的实时预测和决策支撑中。首先电力系统在采集数据后, 进行分析评估, 然后进行决策支撑, 最后通过人员控制电力系统。此环节已在全国电力系统中实现闭环控制, 并且远远走在世界前列。

融合 IoT 技术后, 研究对象不再是电力系统内部固定的变压器、发电机以及开关, 而是包括移动的人以及物体在内的人、机、物。建立 IoT 的移动物体、不确定物体的拓扑结构和确定性拓扑的电力系统之间的逻辑关系。

IoT 也可以作为能源控制系统的数据来源, 提供统计数据 and 行为数据, 则该大数据中增加的数据来源未改变系统有效性和安全性的基本概念。

结合 IoT 技术, 当把感知、控制在末梢上扩展出来时, 需要加深对广义的外部环境的数据监测、分析和控制决策。当然, 数据融合、分析融合以及决策融合必然存在, 把没有理论指导情况下的工作纳入研究框架中, 对理论和实践会有较好支撑。

8 开放 IoT 定义——加速 IoT 与电网的融合

从理论上证明因特网、IoT、CSADA、EMS、CPS 和 CPSS 的关系后, 才能使研究在发展中形成呼应。如果能解决定义障碍, 那么 IoT 和能源系统概念可以较好地合成。

因此, 本文提出开放 IoT 的定义, IoT 应该是各种网络按照具体应用要求而集成的网络。前者被集成的网络中包含互联网, 但不一定是互联网, 也应包含内网和专用网; 后面的网络是指网络本身, 其内部既可能有一种网络, 也可能包含经过隔离限制的、有条件的多种网络集成。通过用户端、因特网进一步延伸到所有参与者, 如电器设备如何感知

系统、系统感知用户内部的重要性以及对电能可靠性的要求。通过智能感知、智能通信、知识提取和决策支撑等实现智能应用。

以电动汽车应用 V2G 为例, 对停在充电厂的电动汽车而言, 当系统本身有足够能量时, 充电厂为汽车充电; 当系统没有可再生能源或者可再生能源不够时, 电动汽车的电池可以向系统充电/放电, 称为备用辅助服务。电池充电/放电存在电池损失、寿命缩短以及车主出行不确定等影响, 只有当车主得到一定补偿后才会加入。在现有研究中, 假设人员可以调度充电/放电汽车中的电池, 此研究不能落地, 因为在实践中无法实现。因此, 在电动汽车的购买、出行、充电和参与辅助服务市场行为中应以人的行为为主导。需要在购买、出行、充电和参与辅助服务市场 4 个环节中建立人的行为模型, 目前一些作者已在国际上发表了相关论文, 具体参考文献[6]至文献[10]。这是首次把人的行为考虑在分析仿真系统中, 以分析人的行为和决策如何影响物理性能的结构。

综上所述, 城市的宜居程度及创新活力依赖于能源、交通、物流、制造、生态、治安和医疗等 CPSS 的协同, IoT 是物流领域的 CPSS (CPSS in things)。能源研究的发展趋势是将智能电网的研究融入综合能源的研究, 建立能源的信息—物理—社会系统 (CPSS in energy) 研究框架。电力转型的主动支撑是能源转型成功的必要保证, 强调社会因素在实际工程研究中的重要性, 包括数据驱动、模型驱动和行为驱动的融合。通过混合仿真帮助实现宏观决策, 将工程领域中广泛应用的方法扩展到经济学与社会学中, 将基于主观经验的决策方法提升到更科学的水平, 形成新的方法论。

9 结束语

能源网与 IoT 的融合发展, 大力推进了信息化与工业化深度融合, 融合能源的信息、物理和社会系统, 建立兼容数据、模型和行为的混合仿真平台, 交叉研究经济学和社会学, 进行科学的行为决策, 对推动我国能源转型、重塑国际竞争新优势具有重大战略意义。开放 IoT 定义, 积极探索能源网与互联网融合的关键技术和应用场景, 为新时代下能源网的发展转型提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 电力规划设计总院. 中国能源发展报告[Z]. 2017.

- General Institute of Electric Power Planning and Design. China Energy Development Report[Z]. 2017.
- [2] 智研咨询集团. 2019—2025 年中国能源行业市场竞争格局及投资前景预测报告[Z]. 2018.
- Grail Insights. Forecast report on market competition pattern and investment prospect of china's energy industry in 2019-2025[Z]. 2018.
- [3] XUE Y, YU X. Beyond smart grid—cyber-physical-social system in energy future[J]. Proceedings of the IEEE, 2017, 105(12): 2290-2292.
- [4] YU X, XUE Y. Smart grids: a cyber-physical systems perspective[J]. Proceedings of the IEEE, 2016, 104(5): 1058-1070.
- [5] 薛禹胜, 李满礼, 罗剑波, 等. 基于关联特性矩阵的电网信息物理系统耦合建模方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(2): 11-19.
- XUE Y S, LI M L, LUO J B, et al. Modeling method for coupling relations in cyber physical power systems based on correlation characteristic matrix[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(2): 11-19.
- [6] ZHAO J H, WEN F, DONG Z Y, et al. Optimal dispatch of electric vehicles and wind power using enhanced particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(4): 889-899.
- [7] LIU Z, WEN F, XUE Y, et al. Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(3): 54-59.
- [8] CAI Q, WEN F, XUE Y, et al. An SCUC-based optimization approach for power system dispatching with plug-in hybrid electric vehicles[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(1): 38-46.
- [9] YAO W, ZHAO J, WEN F, et al. A charging and discharging dispatching strategy for electric vehicles based on bi-level optimization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(11): 30-37.
- [10] 刘伟佳, 吴秋伟, 文福拴, 等. 电动汽车和可控负荷参与配电系统阻塞管理的市场机制[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(24): 26-33.
- LIU W J, WU Q W, WEN F S, et al. A market mechanism for participation of electric vehicles and dispatchable loads in distribution system congestion management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(24): 26-33.

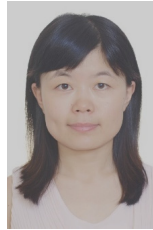
[作者简介]



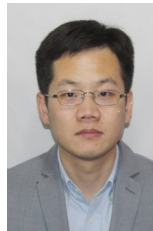
薛禹胜 (1941—)，男，江苏无锡人，中国工程院院士、国网电力科学研究院名誉院长、稳定性理论及电力系统自动化专家，主要研究方向为非自治非线性动力系统稳定性、电力系统动态分析与控制、实验经济学在电力市场中的应用等。



朱洪波 (1956—)，男，江苏扬州人，博士，南京邮电大学教授、博士生导师，南京邮电大学原副校长、物联网研究院院长，江苏省“泛在无线通信与物联网”科技创新团队带头人，主要研究方向为物联网、移动通信网络。



王琴 (1988—)，女，河南周口人，博士，南京邮电大学讲师、博士后，主要研究方向为物联网、多媒体通信资源分配。



赵海涛 (1983—)，男，山东潍坊人，博士，南京邮电大学副教授、硕士生导师，主要研究方向为下一代网络技术、车联网及智能交通技术。