

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.001

# 关于能源互联网层次架构的思考

华贲

(华南理工大学天然气利用研究中心, 广州 510640)

**摘要:** 能源利用系统包括一次能源通过载能介质的转换传输最终在工业、建筑物、交通运输三个领域以电、热和运输驱动力三种方式得以终端利用, 是能源利用全过程的普遍规律。未来以可再生能源为主时代, 能源互联网 EI 以智能电网、智能天然气管网为骨架, 联结千万个基本单元—分布式供能系统 DES, 在高、低端储能辅助下实现高效转换和供需平衡。EI 中的所有网络和单元都须先明晰其物理架构、流结构和功能层次结构等, 才能建立表现为计算机软件模型, 并借助于互联网、大数据、云计算和人工智能实现规划、调度、管理和交易的优化, 实现实时平衡和安全保障。

**关键词:** 能源互联网; 智能电网; 分布式供能; 层次架构; 系统建模优化

中图分类号: TK01

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)04-0001-07

## Cogitating About the Hierarchy of Energy Internet

HUA Ben

(Natural Gas Research Center, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Energy Utilization System includes energy transformation & transportation subsystem via certain media; energy utilization subsystem, which includes three areas: industry, architecture & transportation. The three energy finally terminal use forms are: electricity, heat and movement driving force. This is the general law of total energy utilization process. At the renewable energy era, the Smart Grid (SG) & Smart Natural Gas Grid (SNG), as the core bone structure of Energy Internet (EI), will connect thousands of basic units—Distributed Energy Systems (DES), realizing high-efficient transformation and the balance between supplying and demanding aspects, by means of Energy Storage Infrastructures on both top and bottom sides. It is necessary to clearly describe the Physical Hierarchy, Flux Structure and Function/Hierarchy Structure of all sub networks and units inside EI at first. Then it is possible to model and optimize them at all the level of planning, operating, controlling, management and marketing; realizing time-reliant balance and security guarantee by means of Internet, Big Data, Cloud Computation, and Artificial Intelligent.

**Key words:** energy internet; smart grid; distributed energy; hierarch structure; system modeling & optimization

近年来对于“互联网+智慧能源”即“能源互联网”建模优化的研究很活跃。能源互联网的内涵到底是什么? 能源互联网与智能电网之间的关系如何? 能源互联网“联”的基本单元是所有用户吗? 越

来越多的“能源互联互通”、“即插即用”、“多能互补”、“多能协同”, 乃至“全球能源互联网”等概念的严谨涵义是什么? 迄今均缺乏科学的共识。对于能源互联网这样复杂的大系统的建模优化, 为了避免停留在抽象描述上或以偏盖全, 需要首先澄清基于物理模型和层次架构而界定的拓扑结构。本文是基于作者 40 年来对工业和建筑物优化用能的研究和大量工程实践, 从能源利用全过程和具体规律的角度对上述问题和能源互联网层次架构的探讨和展望, 以期与业界同行切磋, 为深入建模和优化研究奠立科学基础。

收稿日期: 2017-09-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51437006)

作者简介: 华贲(1937), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 主要从事能源系统工程研究和工程开发, 包括能量系统优化、天然气利用, 分布式冷热电联供区域能源系统、低碳能源战略等(e-mail) cehuaben@scut.edu.cn。

# 1 能源利用大系统的构成和表述

在 2000—2005 年完成的 973 项目“高效节能的关键科学问题”对于能量系统集成建模优化的研究中认识到：要想为极其复杂的大系统的模拟优化而建立能够通过软件运行而实现的模型，需要首先建立物理模型、功能层次模型和流结构模型(包括物质流、能量流、信息流、工件流、资金流和人件流)。对不同类型的系统，侧重点各有不同<sup>[1-4]</sup>。

## 1.1 能源利用全过程的能流结构和能源互联网在其中的地位

对于能源利用大系统，能流结构模型与物理模型的拓扑结构大致类似，但细部和参数不同。现代能源利用系统由一次能源经由载能介质的转换传输、终端利用和能量回收三个子系统或环节构成。过程工业和建筑物的能量流模型的建立和用能优化的“三环节理论”方法，已用于数百个实际工程项目中<sup>[5-10]</sup>。现代社会能源的终端利用分为工业、建筑物、交通运输三个领域。正处于工业化阶段的中国工业用能约占 60%，建筑物不到 30%，交通 10% 多一点；未来则与目前 OECD 国家(世界)的比率趋同，即三者各约占 1/3 左右<sup>[11]</sup>。图 1 给出了按照这个理论画出的能源利用大系统的能流概念图。由图可以看出，“能源互联网”其实是能源利用大系统

的一部分，即转换传输子系统。

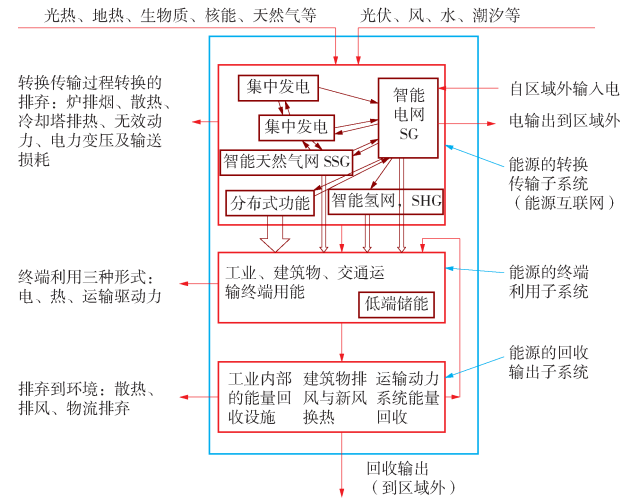


图 1 能源利用大系统的能流概念图

Fig. 1 Energy flux conceptual chart of the total energy utilization system

## 1.2 能源系统的功能层次结构举例——智能电网

所谓“功能层次结构”是过程系统模拟优化研究中开发建立的复杂系统技术和管理两个侧面实际运行中由不同时间尺度所形成的三个层次的结构，详见文献[12-14]。对于能源互联网系统中最大的子系统——智能电网，按照这个概念画出的功能层次模型概念图如图 2 所示。

以运行营销为核心的智能电网功能层次模型

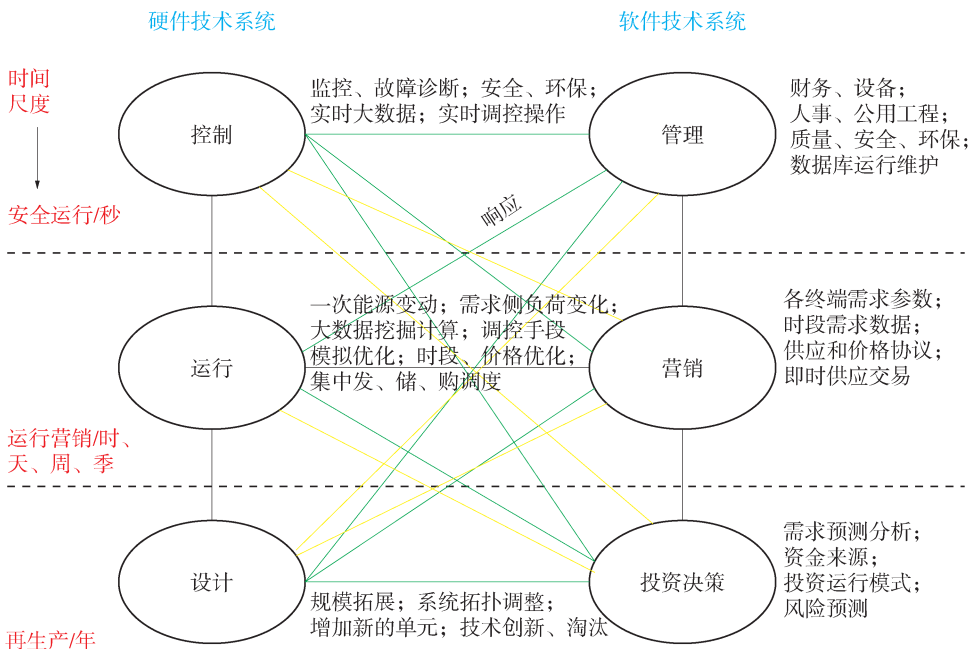


图 2 智能电网的功能层次模型概念图

Fig. 2 The function/hierarchy model of smart grid

### 1.3 对于能源利用系统集成建模策略的思考

在研究极其复杂的过程工业能量系统时发现，不仅各环节、而且各个设备的优化目标、决策变量和关键参数之间大多数并不存在规律性的关联。建立包揽全系统的一揽子纯数学模型进行全局模拟优化是不可能的；或者会简化到根本没有实际意义。上述“三环节理论”方法主要的成功策略和经验是，分别按照三个环节和每个环节中的各个单元设备，逐级实行分解协调优化。虽然能源互联网的空间范围和体量大多，但却只局限于能量转换和传输环节。上述复杂系统的建模策略和优化策略方法和思路应有借鉴意义<sup>[15-16]</sup>。

## 2 未来可再生能源和互联网时代能源系统的变化趋势

气候变化和可持续发展所决定的未来能源利用系统是什么样子？绝不仅仅是“一次能源以可再生能源为主”这样简单。从社会发展规律和迄今能够展望的科技进展来看，应当有以下几个方面。

### 2.1 终端用能领域和用能形式的走势

未来在工、建、交三个终端用能领域的能源利用形式仍可以归纳为电、热（包括冷、暖、蒸汽）、运输驱动力三种，但占比略有变化。在冶金、化工、医药、食品等过程工业，电/热比大约为 2/8，“热”包括高、中温工业炉、蒸汽和冷。在机械、电子、轻工等离散制造业，电/热比大约为 8/2，“热”主要为厂房供冷暖。建筑物耗电、冷暖和热水，电/热比将由目前 1.5/8.5 转向未来 3/7<sup>[11]</sup>。未来交通终端用能的运输驱动力可能变局是：乘用车可能由 EV（蓄电池）和 HFCV（氢燃料电池）替代汽油，大型运输车、船、飞机可能由 LNG、部分蓄电池或核燃料替代柴油和航煤。未来可再生能源为主的时期包括三个领域的三种终端用能形式分布大致是：电力（包括蓄电驱动运输）占一半，非电运输驱动力（氢气、LNG、核能）约占一成多，其余的 3 成多为冷、暖、热、蒸汽等<sup>[17-19]</sup>。

### 2.2 未来一次能源构成的走势分析

未来各种可再生能源占比和增速由其科技突破形成的经济竞争力所决定。本世纪中后期，太阳能热发电、地热、生物质等可通过热力循环基于热电联产（Combined Heat and Power, CHP）和分布式冷热电联供（Distributed Energy System / Combined

Cooling, Heating and Power, DES/CCHP）高效利用的可能近半。水力、风、光伏、潮汐等直接发电利用的稍过半<sup>[20]</sup>。化石能源中的煤和石油将逐步退出能源领域而被用作有机化工原料。天然气则会长期构成一次能源和载能介质的重要部分。理由有四：一是经济性；等热值天然气的碳排放是煤的 59%，加上 DES/CCHP 系统能效加倍的因素，碳排放可比煤减少 70%；即使通过 CCS 消除碳足迹，对于耗热量大的工业等用户也将具有经济竞争力；二是 LNG 将长期作为大型运输工具燃料的重要部分，三是作为除电之外的第二大载能介质，天然气（甲烷）可由生物质生产，并可藉电/气转换成为系统调峰储存的途径；四是包括水合物、页岩气等的天然气资源极其丰富并有经济竞争力。预计本世纪中后期天然气仍将占一次能源的近二成<sup>[21-22]</sup>。

### 2.3 能源转换传输（供能）系统未来分散还是集中的走势

历史上伴随着工业化的进展，能源转换传输系统是从小到大、从分散到集中的。伴随着第三次工业革命，也将由集中走向分散。理由有二，一是占终端需求三成多的冷暖热汽是分散的而且经济输送距离有限，为高效用能而将普及的 DES/CCHP 必然是分布式的。二是大部分可再生能源是低空间能量密度的。科技进步会使分布式发电成本越来越低，绝大多数地方都将可以就地取用而满足需要<sup>[23]</sup>。当然也可以利用偏远、荒漠地区大面积风、光和水力资源大规模集中发电作为补充，如果加上输变电投资折旧和损耗成本仍有竞争力的话<sup>[23-24]</sup>。

### 2.4 决定能源系统的三个判据——能效、碳减排和经济性

能源科技进步的第一潜力是提高能效。热力学规律决定的科学用能原理是“高能高用、低能低用，温度对口、梯级利用”。迄今在能源转换子系统的体现就是 CHP 和 DES/CCHP，是使能源利用效率由 50% 左右提高到 80% 以上的关键。丹麦 CHP/CCHP 发电已占 50% 以上，使全国能源利用效率已达 70%<sup>[25]</sup>。未来可再生能源为主时代，针对不同终端需求的用户采用什么样的一次能源、系统结构和参数实现 DES 优化，必须同时以三个判据为目标。

### 3 未来能源互联网 EI 的层次架构

#### 3.1 为什么说 DES/CCHP 子系统是 EI 的基本单元

目前的集中发电、冷热蒸汽分产分用模式能效很低。按照上述走向分散的趋势和能效、碳减排和经济性三个目标,未来必将普遍采用 DES/CCHP 的能源终端供应系统。针对不同类用户 DES 可分为两类。

大型或区域型 DES/CCHP 适应于工业园区和包括商业、公共设施建筑和住宅的大型社区,按经济输送距离的限制其范围最大几十平方公里。装机容量从几十兆瓦级到百兆瓦级。当前一次能源以天然气为主,未来还有太阳能热发电、地热、“干热岩”、四代小型核电等。与集中供暖和区域供冷相结合,并与“区域能源”相得益彰<sup>[26-27]</sup>。小型 DES 用于独立的工厂、医院、学校、商厦、酒店等。一次能源包括太阳能、天然气、地热、生物质能、潮汐能、海洋能,风能等等。装机容量从小于 1 MW 到 10 MW 级。光伏等为主的小 DES 没有基于热力循环的 CCHP;可用热泵或太阳能光热等方式制冷、热,如图 3 所示。

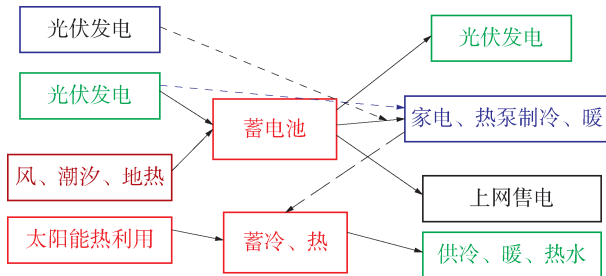


图 3 以可再生能源为主要一次能源的、带储能的小型 DES/CCHP 示意图<sup>[27]</sup>

Fig. 3 The small DES/CCHP chart based on renewable energy with energy storage infrastructure

无论大小 DES,除了按照图 2 所表述的技术和管理 6 个方面的运作外,还有两个要点。一是需设立冷热电汽等各类面向用户的低端储能设施作为市场机制的辅助举措,保障供需平衡。二是与冷暖热汽等内部输配管网不同,必须构建与外电网 SG 双向联通的智能微电网(Smart Micro Grid, SMG)。这既是 DES 内部电力供需实时平衡的需要,也是协同大电网 SG 调峰的需要。

提高能效的约束将使未来千万个大小 DES/

CCHP 逐步覆盖大部分工业、建筑物终端供能。少数未能覆盖的终端用户仍可由电网和天然气管网供电和燃料气,用太阳能或热泵自产/供冷暖热电汽。美国能源部规划 2020 年达到发电量的 29%。正在工业化和城镇化的中国同步建设 DES/CCHP 是“弯道超车”的历史机遇。世界终端供能向高效、分布式 DES/CCHP 演化是与一次能源低碳化齐头并进的两个相互配合的历史进程<sup>[29]</sup>。

#### 3.2 智能电网 Smart Grid, SG 是 EI 的核心架构

电网智能化是大趋势。未来将有半数以上电力由 DES 产生并向用户直供,但还会有集中风光发电和大型水电通过大电网输配;以及面向 SG 的调峰气电和抽水蓄能等等“高端储能”设施。SG 主要功能将是藉下列四种手段成为所有电力的集散、交易的平台和智能控制中枢,和保障电力实时供需平衡。

1) 上述带储电的 DES 在分时电价下为追求最大经济效益而通过微电网 SMG 在向 SG 售电还是用电两种模式之间切换的行为,是左右供需平衡的主要手段。这已被德国目前的实践所证实。包括在 2015 年日全食期间光伏发电快速启停导致电网负荷剧烈变动的平稳度过;很少人为的调度和干预<sup>[30]</sup>。

2) 除了 24 h/d 连续运行的过程工业之外的大部分区域型 DES/CCHP 发电主机一般在白天运行 16 h/d、夜间 24:00—08:00 停机;夜间需要用电和制冷时采用低谷网电,这使它们成为协同电网双向昼夜调峰的主力。

3) 借助于上述各种高端储能设施和快速启停的气电,包括天然气、生物质制气,和用富余的电制气。这可使电网与天然气管网之间相互协同。

4) 与本区域 EI 之外邻近的 EI/SG 的分时段电力互换。例如丹麦与德国和挪威、瑞典电网的互联主要是以随机性强的风电换取可调控的非径流水电等。对外输电能力 6.28 GW 的丹麦,2012 年受人电量 12.866 TWh,送出电量 11.413 TWh,净进口电量仅为 1.453 TWh,仅占全国总耗电量的 4.3%<sup>[31]</sup>。

因此,SG 是实现电力实时供需平衡的物理平台,和整个 EI 优化运行的核心骨架。主管这个 SG 的机构将不是一个以盈利为目的垄断公司,而是一个实现社会功能的半政府机构。它还肩负规划 SG 的发展,监管输变电公司投资运营,全局的调度以



及紧急状况下的处理等重大职责。

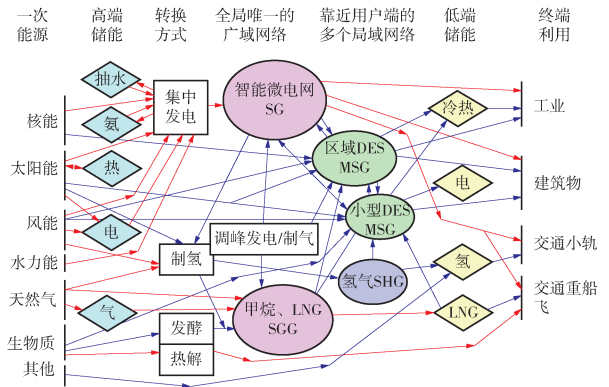
### 3.3 天然气管网和 LNG 及氢物联网

前已述及天然气是除了电力之外的第二大载能介质和终端燃料，来源丰富多样。通过一个全局性网络供给所有 DES/CCHP 和工业、建筑物终端用户的智能天然气管网 Smart Gas Grid, SGG 是仅次于 SG 的 EI 的骨架和中枢<sup>[32]</sup>。美国和欧洲已有数十万公里，中国也已近十万公里；智能化是大势所趋。替代中间馏份燃料用作大型车船燃料的 LNG 物联网，将逐渐成为供应千万个加注站和城市燃气调峰站的与 SGG 并行不悖的 EI 骨架。北欧国家目前已有数百亿  $\text{m}^3/\text{a}$  生物质制天然气用于公共交通。中国已是世界 LNG 车船最多的国家，并将引领这一世界性潮流、创立便捷和经济的 LNG 物联网<sup>[33]</sup>。此外，氢气燃料电池汽车很有可能占据乘用车市场的半壁江山。分散的制氢设施和成千上万氢燃料的加注站可能要求形成局部的氢气输送管网和瓶装氢物联网(SHG)。

### 3.4 能源互联网 EI 的物理架构和建模优化

预计到本世纪中后期 EI 的物理架构如图 4 所示。白色方框表示相对集中的能源转换子系统。SG、SGG 两个网络只有传输、没有转换的功能。大小 DES/CCHP 是 EI 的基本供能单元，既有转换、也有传输功能。所谓“多能互补”、“多能协同”的主要科学含义就是各种一次能源在 DES 子系统中通过 CCHP 或者热泵等等途径高效满足冷热电汽等各种终端用能需求。而各种一次能源集中发电、协同 SG 保持实时平衡则应是间接的、第二位的。图 4 中线条和箭头表示能流传输及其方向；红色表示集中、蓝色线表示分散。图中的每一个单元框、每一条联结线都代表特定能量转换或传输过程，有明确的物理内涵；都必须通过上述分步骤的建模、模拟和优化来规划建设、调度管理和控制，以达到效率最高、碳排放最少、经济效益最好的目标。整个 EI 的建模优化，可以通过逐级分解协调来实现。每一个 DES/CCHP 及其内部的供电、供热等子系统，直到各个辅助集中发电的主机组都可以逐级分解协调建模优化。同样，高、低端储能子系统，集中发电设施以及 SG、SGG 基本骨架也都可以分别建模优化。在此基础上的全局优化是以 SG 为核心的。特别是电力的实时平衡，必须建立在图 2 中 SG 在控制和管理层面的优化、和其余子系统实时优化大数

据的基础上。能源互联网的建模优化研究开发是可以而且应该与建设的同时稳步推进的。



注：红色线表示集中传输，蓝色线表示分散传输

图 4 预计本世纪中后期能源互联网的物理架构

Fig. 4 The physical structure chart of energy internet, prospected at the middle/late 21 century

作为 EI 基本单元的大、小分布式冷热电联供子系统 DES/CCHP——智能微电网 SMG 的物理架构和能流结构，及其分解协调优化策略的初步研究，已在另文给出。千万个 DES/SMG 基本上覆盖了图 4 右半部分供应所有终端用能和半数以上电力的 EI 的建模优化<sup>[32]</sup>，如图 5 所示。每个 EI 覆盖的范围由其所在的行政/经济区域具体的能源状况决定。在可再生能源就地分布式利用为主要的未来，借鉴 OECD 国家的经验，在我国大致上可以一个城市集群经济带或一个省（直辖市）范围为宜。“互联互通”首先是电力在一个 EI 内 SG 与各个 DES 之间、其次是不同的 SG 之间的双向流动，借以实现资源的优化配置。图 6 是欧洲可再生能源通过电网联接概念图。“全球能源互联网”应是这一概念的引伸。

## 4 关于名词术语的讨论

借助于互联网、云计算、大数据以及人工智能而实现的技术和管理两类操作功能，赋予了能源互联网 EI 相当程度的智能 Intelligence。在各种外部条件和内部需求的变化下实现全局层面上的最高效率的规划、运行和实时控制，并不断吸收最新的科技成果进行自我更新和发展。所以能够称为“基于互联网的智慧能源网络”，简称为“智慧能源网络” Intelligent Energy Network, IEN。或“互联网+智慧能源”或“能源互联网”。Energy Inter-

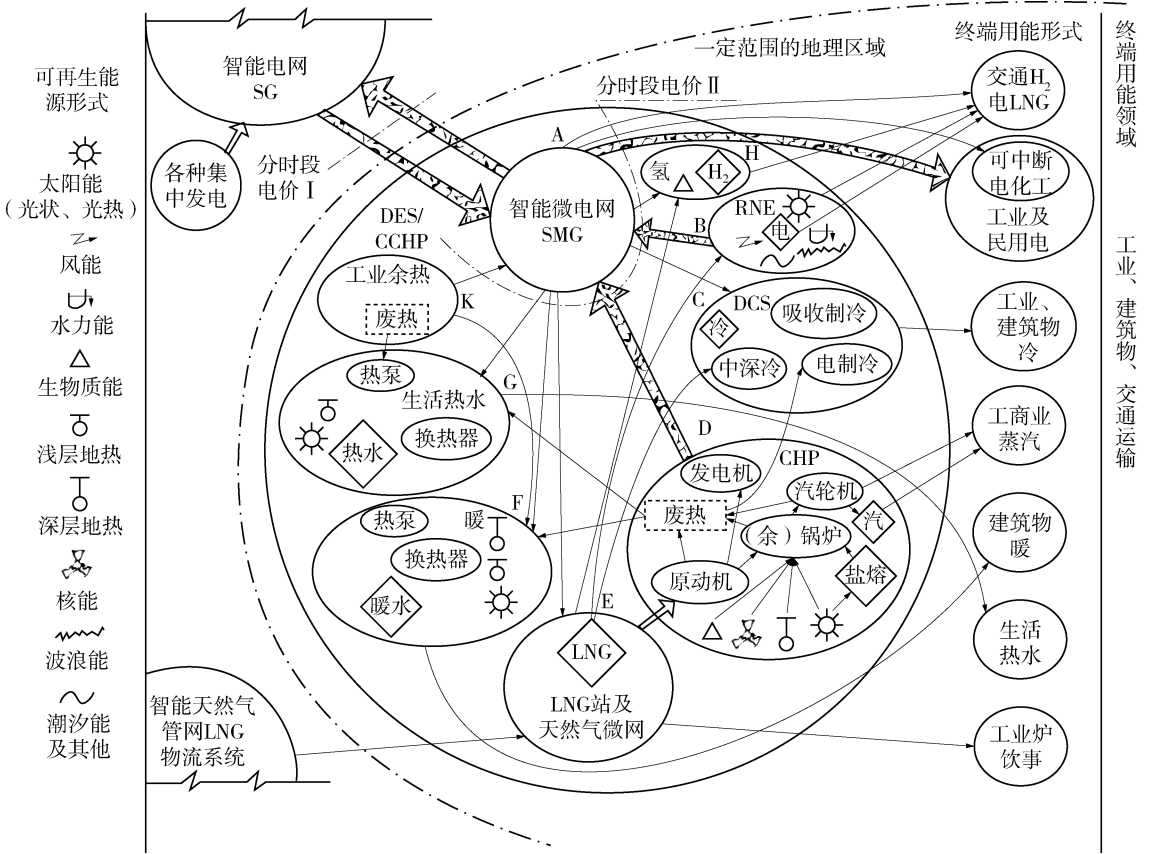


图 5 可再生能源时代分布式供能系统建模优化能流逻辑思维图

Fig. 5 The logic modeling/optimizing energy flux chart of DES/CCHP in low carbon era

net 似有把能流和信息流混同之嫌，不够严密。但英文造新词也是简单为上，既然 Internet of Things 译成“物联网”，把 Energy Internet 译成“能源互联网”也未尝不可。

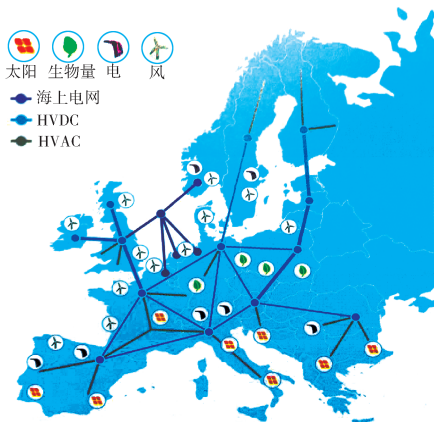


图 6 欧洲联接可再生能源的电网概念图

Fig. 6 The conceptual chart of Europe grid connecting renewable energy

参考文献:

- [1] HUA B. Energy optimization through energy-economic evaluation [J]. Journal of Energy Resources Technology, 1989, 111 (3): 148-153.
- [2] 李谦, 华贲, 彭远森. 过程企业信息建模与集成研究 [J]. 计算机与应用化学, 2004, 21(1): 111-114.
- [3] 李萍, 周章玉, 华贲. 过程工业供应链流结构及其管理研究 [J]. 计算机与应用化学, 2004, 21(1): 88-92.
- [4] HUA B, ZHOU Z Y, CHENG S W. A hierarchical model architecture for enterprise integration in chemical industries [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2001, 9 (4): 395-401.
- [5] 华贲. 工艺过程用能分析及综合 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989.
- [6] 沈剑峰, 华贲. 以模拟为基础的简单塔火用经济优化 [J]. 炼油技术与工程, 1992(3): 54-58.
- [7] 华贲. 炼油厂能量系统优化技术研究与应用 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2010.
- [8] HUA B. Advances in integrated design & process technology of energy systems [C]//IDPT. Proceedings of the 8<sup>th</sup> World Conference on Integrated Design & Process Technology, Beijing,

China, Jun. 13, 2005. Beijing: IDPT, 2005.

- [9] 罗向龙, 华贲, 张冰剑. 基于管网模拟的蒸汽动力系统多周期运行优化 [J]. 石油学报(石油加工), 2006, 22(5): 56-62.
- [10] 华贲. 中国炼油企业节能降耗——从装置到全局能量系统优化 [J]. 石油学报(石油加工), 2009, 25(4): 463-471.
- [11] 华贲. 第4章 中国工业和建筑物能源革命的主战场——分布式冷热电联供: 第1节 分布式供能的沿革、现实发展和未来趋势 [M]//华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [12] 胡文斌. 建筑物复合能量系统综合集成的策略研究及其在设计层面的实现 [D]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [13] 杨少华, 周章玉, 华贲. 依靠过程系统技术与管理的综合集成, 推动过程工业企业集约化 [J]. 现代化工, 2000, 20(2): 38-41.
- [14] 周章玉, 杨少华, 成思危, 等. 过程工业企业模型系统及战略建模 [J]. 化工进展, 2000, 19(5): 1-4.
- [15] 华贲. 过程系统的能量综合和优化 [J]. 化工进展, 1994(3): 6-15.
- [16] 华贲, 沈剑峰. 分馏塔网络能量综合的? 经济优化方法 [J]. 石油化工, 1992(6): 392-399.
- [17] 华贲, 熊标. 加速开发中国 LNG 汽车产业链 [J]. 中外能源, 2007, 12(1): 12-15.
- [18] 华贲, 李亚军. 从战略高度认识和推进天然气交通运输燃料替代 [J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 83-85.
- [19] 华贲. 第6章 天然气在中国交通运输燃料低碳转型中的历史性作用 [M]//华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [20] 华贲. 第2章 中国如何应对新一轮能源和产业革命的机遇和挑战: 第5节 到21世纪中叶中国能源低碳转型目标约束和情景分析 [M]//华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [21] 华贲. 第3章 中国天然气产业链发展战略: 第1节 对中国天然气资源状况认识的演变和现状, 第2节 世界天然气资源、国际贸易价格及与中国市场的关系 [M]//华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [22] 美国能源情报署. 世界能源展望 2016 [R]. 美国: 美国能源情报署, 2016.
- [23] 吴安平. 构建特高压全球能源互联网需要深入论证的几个问题 [J]. 电力决策与舆论参考, 2016(3): 61-66.
- [24] 何勇键. 电从远方来, 还是从身边来? [N/OL]. 新浪财经“能见派”, 2016-01-21(1).
- [25] 焦旭. 丹麦的区域供暖和热电联产为何这么成功 [EB/OL]. 2015-07-09. <http://news.bjx.com.cn/html/20150710/640270.shtml>.
- [26] 朱学蕊. 核电企业小堆布局提速 [N]. 中国能源报, 2014-12-05(1).
- [27] 华贲. 分布式供能系统协同电网调峰是历史的必然 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 1-6.
- [28] 华贲. 第4章 中国工业和建筑物能源革命的主战场——分布式冷热电联供: 第1节 分布式供能的沿革、现实发展和未来趋势, 第2节 分布式冷热电联供能源系统经济分析 [M]//华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [29] 佚名. 令人惊叹的德国的能源转型(能源列国志之一) [N/OL]. 财经十一人, [2015-10-13]. <http://chuansong.me/n/1806206>.
- [30] 政乾方. 丹麦何以实现高比例风电运行 [OL]. 能源观察网. [2015-02-25]. <http://www.chinaero.com.cn/zxdt/djxx/ycwz/2015/03/147503.shtml>.
- [31] 华贲. 中国天然气管网发展前瞻和对策 [J]. 天然气技术与经济, 2015(8): 1-6.
- [32] 华贲. 中国 LNG 产业发展策略刍议 [J]. 天然气工业, 2014, 34(8): 141-146.
- [33] 华贲. 分布式供能系统建模优化能流逻辑思维图详解, 南方能源建设, 2017, 4(2): 17-23.

(责任编辑 郑文棠)

## 中荷海上风电产业与政策解读会在中国能建广东院召开

2017年10月19日, 由中国能建广东院和荷兰驻广州总领事馆联合承办的海上风电产业与政策解读会在中国能建广东院学术报告厅召开。本次会议是为推进2017年6月荷兰国家经济事务部部长坎普访华时, 与中国国家能源局达成的关于进一步加强海上风电领域多层次合作的共识而举办的。荷兰驻广州总领事馆宋贺焱女士任大会主席并主持会议, 广东省发展和改革委员会、荷兰经济事务部、荷兰风能协会, 以及中荷两国海上风电行业相关企事业单位50余名代表出席了会议。

(中国能建广东院)