



Topic Insights

能源科学与工程研究评论

Chris Greig

Professor, The University of Queensland

1. 引言

能源对于任何现代经济体而言都是至关重要的，其使社会所需的照明、烹饪、采暖与制冷、运输以及大部分商品的工业化生产成为可能。因此，获得可靠、经济的现代能源服务成为全世界各机构、政府及行业的当务之急。2015年，联合国[1]报道世界上最富裕的国家超过12.5亿人享受到现代能源服务普及带来的社会效益和人口健康福利。而贫困国家超过30亿人无法充分获得合理的能源服务，无法满足其最基本的需求[2]。

近来，中国实现了从能源贫乏到能源普及的转变，是其他国家的典范。2000—2016年间，中国一次能源消耗增长三倍[3]、推动国内生产总值增长近十倍即是最好的证明[4]。但是，能源转型带来的不仅是巨大的社会效益，还有一系列的环境问题。这些环境问题使这一转变的可持续性受到了质疑。

2. 能源过渡与可持续性

现代能源服务以丰富的低成本化石燃料为支撑，化石燃料属于能量密集型可运输、可储存的燃料，可随时转化成有用的能源载体（如电和燃料等），用于烹饪、采暖和运输。2016年，化石燃料占全球一次能源总消耗量的85%以上，在中国甚至更高，达到87%[3]。

化石燃料的利用导致了严重的环境问题，尤其是烟空气中颗粒产生的空气污染以及燃烧排放二氧化碳引起的气候变化。尽管严重的空气污染问题可通过现代技术得

以避免，但二氧化碳的产生和排放却对化石燃料的利用提出了更大挑战。

因此，最近有关能源的研究大多出自对能源经济脱碳的急切需求。工程师则关注如何设计出能够让日益增长的全球人口获得可靠、实惠的能源服务，而不引起气候变化的低碳能源体系。

这方面的研究可按以下四大主要类别进行划分：

- (1) 能源安全；
- (2) 减少与化石燃料利用相关的二氧化碳排放；
- (3) 零碳能源体系；以及
- (4) 能源经济体系分析。

2.1. 能源安全

能源安全是各国经济弹性的关键。资源枯竭以及对进口的依赖威胁着当前的能源安全。工程师倾向于通过不依赖于稀缺资源的替代性技术加强能源安全性。可再生能源为这一思路提供了选择。本期的几篇文章提到了能源安全，其中大部分针对的是可再生能源以及二氧化碳减排问题。

其中有两篇文章尽管并非关于可再生能源，但其特别关注加强中国能源安全的契机。王金华与黄曾华的《我国煤矿智能化采煤技术的最新发展》一文中揭示了煤矿自动化的最新动态，包括智能机器、信息技术以及实时数据处理和自动化，这些都提高了采煤的生产力和效率，对中国能源安全产生了积极的影响。刘进勋等的《费托合成催化剂的尺寸与晶相效应》一文即是受到中国对石油进口的依赖以及中国煤炭资源较石油资源丰富

的激励而做出的探讨。该研究旨在提高煤炭、天然气或生物质产生的合成气转换成运输燃料的转换效率和成本。

2.2. 减少与化石燃料利用相关的二氧化碳排放

减少化石燃料排放的方法有三种。第一种是提高一次能源资源向能源载体转换作生产性使用的生产和转换效率。这在很大程度上受私营部分推动，尤其是工程、建设和制造类企业的推动。

工程院院士的工作更侧重于不同配置的碳捕集与封存（CCS）。Cook在本期的《碳捕集和封存技术研究开发及未来清洁能源行业部署——澳大利亚在过去20年中的经验教训》一文中明确阐述了CCS所起的减排作用以及该技术满足全球减排目标、应对部署挑战、符合国际协作需求的可能性。

地质学家和石油工程师专注于研究如何确保地质油气藏中超临界二氧化碳长期储存的成本效益。化学工程师和机械工程师则倾向于把注意力放在提高从燃煤电厂、燃气电厂以及钢铁生产和水泥制造的高炉等产生的工业气体流中分离出二氧化碳的效率并降低成本。

尽管目前大部分二氧化碳捕集装置利用胺吸附作用分离二氧化碳，但膜分离技术仍然被视为降低二氧化碳捕集成本和能量消耗的新契机。Brinkman等在本期的《对二氧化碳具有选择性的聚环氧乙烷基薄膜的发展——从实验室到中试规模》一文中报道了展示柔性高分子膜后取得的鼓舞人心的成果。

2.3. 零碳能源体系

大量可再生资源以及核能提供了（几乎）零碳能源服务。风、太阳、水、地热、海洋甚至生物质提供了各种机会，尤其是在电力生产方面。

目前，水和核能对全球电力生产的贡献最大，分别为16%和10.5%，其次是风（3.8%）和太阳（1.4%），其余为生物质、地热和海洋，共计2.3%[5]。

受公众的有力支持和金融激励措施驱动，可再生能源发电（尤其是风力发电和太阳能发电）的前景似乎比核能发电更好。这些领域同样得到研究结果的有力支持。激励措施、规模化生产以及研究成果的共同作用，使风力发电和太阳能发电的成本大幅下降，因而，大部分预测均表明太阳能和风能发电会取得重大进展[5]。太阳能发电技术主要有两项——光伏和太阳热能，其中，光伏为电力部署做出了重大贡献。

风电（尤其是陆上风电应用）是一项成熟技术，目前的创新主要集中在扩大风力涡轮规模以及增强电力捕捉和必要时管理分区停电的控制方式。Yuan和Tang在本期的《风机捕集能量和降低负荷使用的先进控制方法》一文中探讨了多元控制方法的近期发展，以优化电力捕捉和降低负载，来平衡电力系统与可变风力资源。

太阳能光伏技术部署主要在基于硅晶片的太阳能电池。预计太阳能的快速吸收有可能暴露与灵活性不足和形状因子相关的局限性以及材料供应链存在的缺陷。大量研究工作专注于能够代替基于硅晶片的光伏发电的潜在方案，主要集中在将铜铟镓硒（CIGS）半导体超薄涂层应用于玻璃或高分子基材上的薄膜光伏电池。孙云等的《碱金属掺杂对CIGS薄膜及电池器件的影响》一文和Powalla等的《基于Cu(In, Ga)Se₂低成本薄膜的光伏技术的进展》一文追溯了铜铟镓硒太阳能电池的发展历史和效益，以及随着时间推移其性能的改善情况。

风能和太阳能的主要挑战是供应状况多变以及发电的间歇性，随着可再生能源占比的增加，对系统可靠性和成本造成了负面影响[6,7]。蓄能已经成为研究人员、决策人员以及电力企业致力解决间歇性问题关注最多的方面。

蓄能技术涉及以高位储水（抽水蓄能）和地下多孔水库中压缩空气的形式将电力转化成势能，以及以机械飞轮的形式转化成动能或转化成化学能。大多数蓄能研究的重心在于将电化学能储存在电池、电容器和燃料电池当中。

抽水蓄能是目前最具规模且实惠的蓄能方案[7]。左志钢和刘树红在本期的《中国水泵水轮机流动不稳定性研究》一文中归纳总结了抽水蓄能在中国的影响，并探讨了部分与水力不稳定相关的性能问题，这些对抽水蓄能装置的性能产生了不利影响。

2.4. 能源经济体系分析

能源体系分析的研究领域描述能源体系的发展和模型化并进行各体系经济竞争力分析。这些研究侧重于具体的技术机遇或从行业、区域、国别甚至全球角度综合评价能源过渡情况。

世界上一些研究小组将能源、环境趋势以及整体经济联系起来综合评价。陈进行在本期的《基于碳排放达峰约束的2030年中国能源供需模型及实证研究》一文中即以此类研究为范例。该文鉴于中国对减缓气候变化做

出的国际承诺，考虑到中国关键人口动态、经济、能源弹性以及经济结构（第一产业、第二产业、服务业和工业等）的转变，提出一次能源的技术和燃料组合方案。

3. 总结

能源服务对任何现代经济体都至关重要，它支撑着人类福祉和经济生产力。迄今为止，由化石燃料支撑的现代能源服务，造成了严重的环境后果——特别是与气候变化有关的，这是由温室气体排放造成的。

在这个问题上，我们回顾当代能源领域的相关研究，重点放在中国的研究。最近的许多工程研究集中在设计和改善低碳能源系统的性能。这些包括可再生能源技术和使用CCS的燃煤发电减少排放。一些论文还侧重

于系统级能源安全挑战及与减排承诺有关的能源结构转换的经济学评估。

References

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World population prospects: The 2015 revision. New York: United Nations; 2015.
- [2] International Energy Agency, World Bank. Sustainable energy for all 2017—Progress toward sustainable energy. Washing, DC: World Bank; 2017.
- [3] BP p.l.c. BP statistical review of world energy. London: BP p.l.c.; 2017.
- [4] World Bank data of China [Internet]. Washington, DC: The World Bank Group, c2017 [cited 2017 Aug 5]. Available from: <http://data.worldbank.org/country/china>.
- [5] International Energy Agency. World energy outlook 2016. Paris: International Energy Agency; 2016.
- [6] International Energy Agency's Energy Technology Systems Analysis Programme, International Renewable Energy Agency. Renewable energy integration in power grids: Technology brief. 2015.
- [7] International Energy Agency. The power of transformation: Wind, sun and the economics of flexible power systems. Paris: International Energy Agency; 2014.