2021年10月

HARVARD-CHINA PROJECT
on Energy, Economy and Environment
哈佛大学中国能源经济环境项目

电网集成新构想

大规模可再生能源扩张以实现中国及其他地区碳中和

《*Joule*》最新研究解读简报

完整的英文研究简报:
www.chinaproject.harvard.edu/news/rethinking-grid-integration

华中科技大学
中国 武汉 电气与电子工程学院

哈佛大学
美国, 马萨诸塞州剑桥, 哈佛大学约翰·A·保尔森工程与应用科学学院, 哈佛-中国能源、经济和环境项目

清华大学
电气工程系, 北京, 中国

关键要点：

- 中国和其他主要二氧化碳排放国家在本世纪中叶前实现碳中和的转型路径尚存有许多不确定因素，但有一个确定的基本观点是碳中和转型将需要扩建大量光伏发电和风力发电，以取代火力发电的主体地位。
- 从地球物理、技术和经济角度来看，大规模建设风力发电和光伏发电具备可行性。但由于可再生能源发电内在的实时变化特性，且目前以火电为主体的电力系统灵活性较弱，如何在电力系统中消纳大量的可再生能源电力、保障电力系统稳定可靠性运行已成为巨大的挑战。
- 研究2050年碳中和情景下如何经济高效地实现可再生能源并网，需要将研究范围从电力系统扩大到能源系统。能源系统中的一些关键产业对未来电力需求的时间分布和电力系统的灵活性产生很大影响，例如电气化交通和电解水制氢。
- 传统可再生能源并网方案是只扩建可再生能源和相应的电力储能系统，缺乏大规模输电扩展。然而，传统策略忽略了各省电力系统互联对可再生能源消纳的巨大作用。若采用传统规划策略实现我国电力能源系统2050减排80%二氧化碳，则单位二氧化碳减排成本高达190元/每吨，相较于以火力发电为主体的参考情景（BAU）经济性极差。然而，传统策略忽略了各省电力系统互联对可再生能源消纳的巨大作用。若采用传统规划策略实现我国电力能源系统2050减排80%二氧化碳，则单位二氧化碳减排成本高达190元/每吨，相较于以火力发电为主体的参考情景（BAU）经济性极差。
- 本研究提出的全面规划方案包含扩建特高压输电线、全国电力系统互联、绿色制氢和慢充电动汽车组充电优化。采用全面的优化策略实现2050电力能源系统80%减排的目标可将碳减排成本降低至-175元/吨
  - 大力发展海上风电可以有效降低实现电力能源系统碳中和的成本。我国沿海地区海上风电资源丰富，且靠近东部电力需求中心，为海上风电的发展提供了有利条件。大规模的海上风电并网使得我国输电网络整体格局由以往“西电东送”转变为“四周向中部地区送”的全新模式。
  - 相较于各省独立制定减排方案，“全国一盘棋”的统筹规划可有效降低储能系统的投资规模和可再生能源弃电水平，引导可再生能源投资向优质资源地区倾斜，大幅降低全国整体减排成本。
  - 除了优化电力系统外，碳中和电力能源系统还需要考虑慢充电动汽车和绿色制氢等其他部门或行业的用电需求。慢充电动汽车和电解水制氢装置都是灵活性负荷，有助于电力系统实时能量平衡并进一步降低碳减排成本。
- 在全国网荷储优化布局的基础上，引入造价昂贵的碳捕集与封存技术出力剩余20%碳排放，我国电力能源系统可以在2050年左右实现碳中和的目标，其总成本与只扩建火力发电的基础场景相当。
- 随着海上风电和储能技术的成熟，结合全国规模的输电网络规划和新形式的电力需求，其他主要碳排放国家，例如美国，也能极大降低实现电力能源系统碳中和的成本。

来源文章: Xinyu Chen, Yaxing Liu, Qin Wang, Jiajun Lv, Jinyu Wen, Xia Chen, Chongqing Kang, Shijie Cheng, and Michael B. McElroy, 2021, “Pathway towards Carbon-Neutral Electrical Systems in China by Mid-Century with Negative CO_2 Abatement Costs Informed by High Resolution Modeling,” *Joule*, 5, 10 (20 October), 2715-2741. https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.10.006.

该研究得到了哈佛全球研究院、中国能源基金会、华科-国家电网未来电网研究院和中国国家科学基金会的支持。

本研究简报由中国能源基金会赞助。