



# CHINA PROJECT NEWSLETTER

哈佛大学中国项目新闻通讯

## 本期内容

- 2 中国的负碳技术研究**  
国际科研团队分析了中国转向负碳发电的技术和经济可行性。
- 3 近期出版文献**
- 4 哈佛与中国的交流**  
Larry Bacow校长访问亚洲。
- 4 印度风能**  
气候变化引起的印度洋变暖可能导致印度风能潜力的下降。
- 5 本期人物**  
研究专员陈新宇致力于整合中国不同类型的能源系统。
- 6 春季学期活动回顾**

## 关注我们

哈佛大学中国项目现已加入以下社交媒体平台：



@HarvardChinaProject



@Harvard\_CN



[www.chinaproject.harvard.edu](http://www.chinaproject.harvard.edu)  
(英文网站)



[www.cn.chinaproject.harvard.edu](http://www.cn.chinaproject.harvard.edu)  
(中文网站)

哈佛大学中国项目位于哈佛大学John A. Paulson工程与应用科学学院，我们的“中国2030年/2050年：未来的能源与环境挑战”课题项目获得了哈佛全球研究基金的鼎力赞助支持。



## 研究亮点

### 中国的负碳发电： 降低二氧化碳浓度、减轻大气污染

如果想要实现《巴黎气候协定》的目标将全球气温升幅控制在前工业水平以上2摄氏度以内，那么仅仅依靠诸如风能和太阳能这种碳中和能源是远远不够的，使用负碳技术包括负碳能源来切实减少大气中的二氧化碳水平将必不可少。

尽管大部分气候研究者和倡导者一致认为负碳解决方案对达成《巴黎气候协定》的目标必不可少，然而目前大部分的负碳解决方案无法在近期投入实际应用，尤其是在中国这种高度依赖燃煤发电的大国。

如今，哈佛大学John A. Paulson工程与应用科学学院和哈佛大学中国能源、经济与环境项目的科学家们同来自北京清华大学及中国、澳大利亚和美国其他高校机构的同仁们通力合作，对中国运用负碳发电的技术和经济可行性进行了分析。

该研究论文发表于Proceedings of the National Academy of Sciences。哈佛大学环境研究学教授Michael McElroy，同时也是该论文的共同通讯作者，评价道：“这篇论文提出了一个大胆的建议：中国不仅可以转化为负碳发电模式，而且可以以高经济效益的方式去做。”

清华大学环境学院副教授、论文第一通讯作者鲁玺表示：“我们设计的这套系统不仅能够用来进行长期的负碳发电，而且还能在短期内降低中国的空气污染程度。”鲁玺教授过去曾是哈佛大学工程与应用科学学院的博士生和博士后研究员。

论文中提出的策略必须结合两种形式的绿色能源：碳生物能源的气化，以及碳捕捉和碳储存。

**“这篇论文提出了一个大胆的建议：中国不仅可以转化为负碳发电模式，而且可以以高经济效益的方式去做。”**

生物能源是负碳发电最为重要的工具。生物能源来自于地球上最佳的二氧化碳吸收器——植物。我们小学就学过，植物通过光合作用将二氧化碳转化为有机碳和氧气；植物里储存的碳可以通过

火的燃烧再变回能源，或者通过发酵制成乙醇，或者通过气化，将富碳物质转化成一氧化碳、氢气和二氧化碳来作为燃料和工业原料。

将生物原料转化成能源后捕捉和储存二氧化碳废料的过程是负碳发电讨论度最高的策略之一，简称“BECCS”（伴随碳捕捉和碳储存的生物能源）。但问题是，大部分情况下，BECCS效益不高，需要大片土地来种植发电所需的植物，这会造成全球食物和水资源的短缺。但是，如果有办法能将这一过程变得更务实高效呢？

研究团队转而提出了一个对绿色能源而言看似不可能的方案：煤炭。McElroy教授解释道：“单单用生物燃料的话，效果并不明显。但如果添加了煤炭就能提供一个非常重要的能源，将生物燃料和煤炭掺在一起并将混合物气化，就能释放出高纯度的氢气。”

模拟了各种不同比例的生物燃料和煤炭的混合物后，研究者发现只要混合物中生物燃料的比例不低于35%而且碳废料被成功捕捉到，生产出的电就能减少大气中二氧化碳的含量；该混合比例下，均摊电费成本每千瓦小时不

到9.2美分。假设碳定价每吨约52美元，那么这套系统跟中国目前的燃煤火力发电厂相比成本上是很具有竞争力的。

这项策略的关键是使用农作物残余物——即农田收割后农作物的残余部分——作为生物燃料。

一般情况下，农民会在收割农作物后放火烧净农田里的残留作物，这种季节性烧田是中国空气污染的一个主要污染源。回收残留农作物并将其用作生物燃料不仅能降低空气中二氧化碳的含量，而且能大大改善全国的空气质量，气化也将大大简化从废气中剔除空气污染物的过程。研究者们承认开发出一套收集和运送生物质到发电厂的系统还需要时间，但是这套系统并不需要一步

到位，可以一点点推进。

哈佛中国项目执行总监、论文共同通讯作者Chris P. Nielsen说：“我们通过研究整个煤炭/生物质比例的范围，明确了中国逐步向负碳能源转化的路径：首先，使用少量生物燃料来减少碳排放净值；然后，逐渐走向碳中和并最终形成负碳系统。层层推进，无需一步到位。”

鲁玺教授认为：“这项研究为期望在中国实行负碳能源的决策者们提供了关键信息。”

该研究论文的其他合作作者包括澳大利亚昆士兰大学曹亮博士、中国南京大学王海鲲教授、美国宾夕法尼亚州立大学彭暉助理教授、哈佛大学中国项目执行总监

Chris Nielsen、中国华中科技大学杨晴副教授、美国加州伯克利大学沈波研究员、中国清华大学环境学院邢佳副教授、王书肖教授和蔡思翌博士；第一通讯作者鲁玺副教授与其他三位中国高校的共同作者均为哈佛中国项目校友；哈佛大学全球研究基金提供部分资金支持。

引文: Xi Lu, Liang Cao, Haikun Wang, Wei Peng, Jia Xing, Shuxiao Wang, Siyi Cai, Bo Shen, Qing Yang, Chris P. Nielsen, and Michael B. McElroy. 2019. “Gasification of coal and biomass: a net carbon-negative power source for environmental-friendly electricity generation in China.” *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

英文原文由Leah Burrows撰写。

## 近期出版文献

Xi Lu, Liang Cao, Haikun Wang, Wei Peng, Jia Xing, Shuxiao Wang, Siyi Cai, Bo Shen, Qing Yang, Chris P. Nielsen, and Michael B. McElroy. 2019. “Gasification of coal and biomass as a net carbon-negative power source for environment-friendly electricity generation in China.” *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

S.J. Song, M. Gao, W.Q. Xu, Y.L. Sun, D.R. Worsnop, J.T. Jayne, Y.Z. Zhang, L. Zhu, M. Li, Z. Zhou, C.L. Cheng, Y.B. Lv, Y. Wang, W. Peng, X.B. Xu, N. Lin, Y.X. Wang, S.X. Wang, J. W. Munger, D. Jacob, and M.B. McElroy. 2019. “Possible heterogeneous hydroxymethanesulfonate (HMS) chemistry in northern China winter haze and implications for rapid sulfate formation.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, Pp. 1357-1371.

Yan Zhang, Xin Bo, Yu Zhao, and Chris P. Nielsen. 2019. “Benefits of current and future policies on emissions of China's coal-fired power sector indicated by continuous emission monitoring.” *Environmental Pollution*, 251, Pp. 415-424.

Xingning Han, Xinyu Chen, Michael B. McElroy, Shiwu Liao, Chris P. Nielsen, and Jinyu Wen. 2019. “Modeling Formulation and Validation for Accelerated Simulation and Flexibility Assessment on Large Scale Power Systems under Higher Renewable Penetrations.” *Applied Energy*, 237, Pp. 145-154.

Chenghe Guan, Sumeeta Srinivasan, and Chris P. Nielsen. 2019.

“Does neighborhood form influence low-carbon transportation in China?” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, Pp. 406-420.

Mengyao Han, Bo Zhang, Yuqing Zhang, and Chenghe Guan. 2019. “Agricultural CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions of major economies: Consumption-vs. production-based perspectives.” *Journal of Cleaner Production*, 210, Pp. 276-286.

Peng Jiang, Hongyan Liu, Shilong Piao, Philippe Ciais, Xiuchen Wu, Yi Yin, and Hongya Wang. 2019. “Enhanced growth after extreme wetness compensates for post-drought carbon loss in dry forests.” *Nature Communications*, 10, 195.

Lin Zhou, Jianglong Li, Yangqing Dan, Chunping Xie, Houyin Long, and Hongxun Liu. 2019. “Entering and exiting: Productivity evolution of energy supply in China.” *Sustainability*, 11, 983.

Hongxun Liu, Kerui Du, and Jianglong Li. 2019. “An improved approach to estimate direct rebound effect by incorporating energy efficiency: A revisit of China's industrial energy demand.” *Energy Economics*.

Jianglong Li, Chang Chen, and Hongxun Liu. 2019. “Transition from non-commercial to commercial energy in rural China: Insights from the accessibility and affordability.” *Energy Policy*, 127, Pp. 392-403.

SUIT OF TRUTH A

哈佛大学校长  
Harvard University Presi



## 哈佛大学校长 Bacow访问中国

哈佛大学校长Larry Bacow于2019年3月访问中国，这是自他上任以来首次出国访问。他在北京大学发表演讲，追溯了哈佛大学与中国的历史渊源与现实纽带，并强调中美学术合作关系在“严峻的经济政治社会条件下(仍然)可以成为力量的源泉”。《哈佛志》封面头条报道了Bacow校长的北京之行，哈佛中国项目在1993年就开始了与中国学者的合作，正是Bacow校长所倡导的中美学术交流的典范。

由哈佛中心上海执行董事王颐供图。

## 研究亮点

### 印度的风能和气候变化：

#### 印度洋变暖导致季风环流减弱、风速减慢

哈佛大学工程与应用科学学院和哈佛中国项目的一项最新研究表明，全球气候变化引起的印度洋变暖可能正在逐渐降低印度的风能潜力。

者高蒙认为：“尽管印度为了应对气候变化和空气污染问题对风力发电投入巨大，但是投资带来的效益却很容易受气候变化的影响。”

作为仅次于中国和美国的世界第三大温室气体排放国，印度投入数十亿建设风能系统，并雄心勃勃地计划在未来五年内将风能体量翻一番。印度夏季季风是南亚次大陆的一种季节性气候，带来大风和大量降雨，为了最大程度利用印度夏季季风，大部分的风力发电机组安装在印度南部和西部地区。

论文发表于学术期刊Science Advances，研究计算了印度过去四十多年的风能潜力，发现风能的趋势与印度夏季季风的强弱紧密相关。实际上，印度每年63%的风能发电产量来自于春夏季的季风。过去四十年来，印度风能潜力已经下降了约13%，意味着随着季风的减弱，那段时间风能系统的产量也减少了。

然而，研究人员发现伴随着印度洋变暖，印度季风逐渐减弱，从而导致风力发电逐步下降。哈佛工程学院与哈佛中国项目博士后暨研究论文第一作

包括拉贾斯坦邦和马哈拉施特拉邦在内的印度西部地区风能系统建设投资最大，在过去四十年产量减少得也最厉害，但是印度东部等其他地区的风能

图片：印度投资数十亿安装风力发电机组，希望在未来五年内将风能体量翻一番。图片来源 Wikicommons。



产量减少幅度则较小，甚至没有减产。

哈佛大学环境学教授暨论文高级作者Michael B. McElroy说：“我们的研究结论可以为新建风力发电机的最佳选址提供建议，将气候变化造成的负面影响减到最小。”

科学家们下一步计划利用气候模型来预测印度未来风能潜力的趋势。

**“我们的研究结论可以为新建风力发电机的最佳选址提供建议，将气候变化造成的负面影响减到最小。”**

论文的联合作者还包括丁一汇、宋少洁、鲁骁、陈新宇，研究获得了哈佛全球研究基金的支持。

引文: Meng Gao, Yihui Ding, Shaojie Song, Xiao Lu, Xinyu Chen, and Michael B. McElroy. 2018. “Secular decrease of wind power potential in India associated with warming in the Indian Ocean.” *Science Advances*, 4, 12.

英文原文由Leah Burrows撰写。

## 本期人物

### 陈新宇, 研究专员

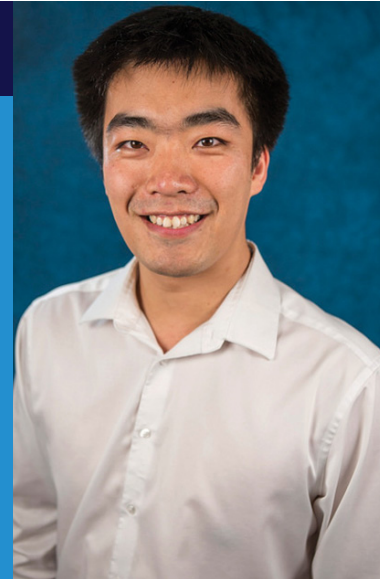
还在清华大学读博士的时候，陈新宇就花了一年时间参与了中国国家发展和改革委员会的科研项目，当时中国发改委正处于设计容纳更多可再生能源的现代“智能电网”计划的攻坚阶段。“我们发现问题不是出在电力系统本身，而是出在电力和供暖等不同类型能源系统的交互与整合上。”譬如，中国华北地区有充沛的风能资源，但是如何将风能系统与该地区普遍应用的热电联产机组结合则是个不小的挑战。“我博士论文的题目就是讨论如何设计出能更好地与风能系统交互的电力和供暖系统。”

新宇在博士毕业后继续探究建立智能电网进程中可能会遇到的问题。最近，新宇作为联合作者之一与哈佛中国项目执行总监Chris Nielsen和项目主席Michael McElroy教授在学术期刊Nature Energy上共同发表文章，探讨了中国电动车充电的课题，他们发现相关排放收益取决于车辆充电的方式。“在非高峰时段给车辆慢速充电确

实能带来环保效益，而如果经常用高速充电站则会排放出更多的二氧化碳和其他污染物。”另外一个关乎排放收益的核心因素是充电车辆的类型。“尽

管数量上大型客车远远少于轻型车辆，但大型客车的电气化事实上却比轻型车辆电气化在减少空气污染上效益更高。”

新宇对科学和数学的热情可以追溯到他在内蒙古上高中时期，当时他在全中国物理竞赛中获奖。“所以大学时我选择了工程专业，因为觉得和物理相关。”在清华大学读博士期间，他作为交换学生开始参与到哈佛中国项目当中，毕业之后又回到哈佛中国项目作博士后，目前担任项目研究专员和讲师。新宇目前兼顾着数个研究项目：包括探索如何将中国能源系统数字化以促进理解不同能源政策设计带来的影响、



将市场机制引入电力系统在实际操作中会产生哪些影响、确定能源类型的最优组合以缓和可再生能源的不稳定性等一系列课题。从2017年开始的每个秋季学期，新宇同McElroy教授共同教授一门“发展中国家能源经济”的课程，2017年的教学主要侧重介绍了中国的情况，“而2018年我们进一步拓展了课程内容，涵盖了印度和非洲。我们认为未来几十年里印度和非洲的能源需求可能会以两位数速度继续增长。”他指出，中国在能源上的经验教训对其他国家也具有借鉴意义。

英文原文由Dan Morrell撰写。

## 活动亮点

### 2019年春季学期回顾

本学期哈佛中国项目协办并参与了一系列跨学院、跨学科的活动。2019年2月，东亚法律研究中心在哈佛法学院举办了自然资源保护协会（NRDC）亚洲高级战略总监 Barbara Finamore 的新书研讨会，探讨了中国在清洁能源发展方面的全球领导力，哈佛中国项目联合赞助了该活动。

本学期哈佛中国项目还与哈佛亚洲中心联合举办了两场活动。一场是面向普通大众的专家讨论会，主题是气候变化对亚洲的潜在影响，讨论会由哈佛中国项目主席 Michael McElroy 教授主持，专家组成员包括来自哈佛大学工程与应用科学学院、公共卫生学院、地球行星系和哈佛肯尼迪学院的 Elsie Sunderland、Peter Huybers、Steve Wofsy 和 John Holdren 教授。第二场活动是日本爱知大学李春利教授的讲座，他比较了中日两国机动车政策的社会成本。

此外，中国项目的科学家们还参加了由哈佛燕京学院主办的研讨会，主题为“感官、认知和政策干预：中国及世界其他地区空气污染的历史与现状”，清华大学的洪伟教授组织并主持了研讨会，来自人类学、历史学、政治学、城市学、地理学和环境科学等领域的顶尖学者与会。哈佛中国项目执行总监



Chris Nielsen 领衔中国与印度空气污染治理专家讨论组，开篇评论了大气与环境健康科学的不确定性及其对政策实践与社会分析的影响。

除了这些大型活动之外，哈佛中国项目在本学期继续举办了一系列研讨会，议题包括：中国东北地区针叶林如何适应气候变化（哈佛中国项目暨哈佛大学 Wofsy-Munger 大气生物圈交换研究团队刘家霖博士）、中国 PM2.5 对先兆气体排放的敏感度（麻省理工学院李明威博士）、中国跨省电力市场如

何适应可再生能源应用的增长（西安交通大学暨哈佛中国项目李江龙博士）。

图片（从上图开始顺时针方向）：教授专家组在亚洲中心举办的“气候变化下的中国与亚洲：大众科普”讨论会上；学者们参加由清华大学洪伟教授组织的哈佛燕京学院主题为“感官、认知和政策干预：中国及世界其他地区空气污染的历史与现状”的跨学科研讨会；自然资源保护协会的 Barbara Finamore 在哈佛法学院举行新书研讨会。