



清华大学地球系统科学系
Department of Earth System Science, Tsinghua University



清华地学 研究报导



致关心清华大学地学学科建设的领导与各界朋友的感谢信

尊敬的各位领导、专家和朋友们：

值此 2020 年来临之际，恭祝大家身体健康、工作顺利、阖家幸福、万事如意！

2019 年适逢清华大学地学学科复建 10 周年。一年来，在清华大学各级领导的支持下，在以徐冠华院士为主任的科学指导委员会的指导下，在社会各界的帮助下，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）又取得了进一步发展。

首先，在师资队伍建设方面，学校批复了地学系师资队伍建设规划。彭怡然、刘利和黄文誉等 3 位教师通过了教研系列长聘资格考核。刘竹副教授荣获 2019 年度“求是杰出青年学者奖”，蔡闻佳副教授入选第四批国家“万人计划”青年拔尖人才。

第二，在教育教学方面，地学系进一步加强了全系的学风建设。2014 级研究生党支部荣获教育部首批“百个研究生样板党支部”称号，该班获清华大学毕业生启航奖集体奖；2016 级研究生班荣获清华大学先进集体称号。

第三，在科学研究方面，地学系教师共获得 68 个项目资助，包括 1 项国家自然科学基金委创新研究群体项目，6 项国家重点研发计划课题，以及 1 项科学技术研究重点项目。本年度地学系师生共发表 SCI 论文 263 篇，包括以第一作者或通讯作者单位发表 Nature 主刊论文 2 篇，子刊 2 篇，PNAS 论文 5 篇。

以下四项成果引起特别关注：

(1) 2019 年 3 月 8 日，宫鹏教授研究组与国内外多家单位合作以《有限全球样本稳定地表覆盖分类：迁移 2015 年的 30 米分辨率样本完成 2017 年的 10 米分辨率全球地表覆盖制图》为题在《科学通报》(Science Bulletin) 上在线发表了世界首幅 10 米分辨率全球地表覆盖制图方法与结果。

(2) 2019 年 3 月 28 日，喻朝庆博士等在《自然》(Nature) 发表题为《恢复中国水环境质量需全面加强氮管理》的论文，给出了中国从 1955 年到 2014 年人类活动导致的氮流失量，建立了各省淡水环境氮容量的“安全”阈值。文章为近年来全球环境容量限界研究的区域阈值定义提供了新方法，为全方位解决中国水体富营养化问题提供了量化依据。

(3) 2019 年 8 月 15 日，张强教授课题组和加州大学尔湾分校师生组成的国际联合研究团队在《自然》(Nature) 发表题为《现有能源基础设施锁定排放威胁 1.5℃ 气候目标》的论文，首次全面评估了现有和拟建能源基础设施的“碳锁定”效应，指出现存的高碳设备锁定排放严重威胁 1.5℃ 温控目标的实现，全球向低碳社会转型极为紧迫。

(4) 经过多年发展，地学系联合国内多家单位完成了公共集成地球系统模式 (Community

Integrated Earth System Model, CIESM) 1.1 版本的研发, 完成了 IPCC CMIP6 的各种模拟试验。该模式包含自主开发的多个物理参数化方案、耦合器、海洋网格和高可扩展海洋正压求解器等, 而且所有模拟试验均在国产超级计算机(神威太湖之光)上完成, 为未来中国模式的持续自主发展打下了良好基础。

第四, 在国际合作方面, 地学系申请并主办了多次高级别地学学科国际会议, 包括《柳叶刀》生态文明与健康委员会会议、城市基本土地利用类别制图会议以及 Nature 子刊宣讲会等。地学系还与世界地球联盟(Earth League)签署合作备忘录, 成为该联盟第一批单位会员。

第五, 在实验室建设方面, 2019 年 9 月 18 日教育部正式批准清华大学地学系建设“东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站”, 为更好地服务国家生态文明建设提供了新平台。

展望 2020 年, 我们将勇担职责使命, 力争在人才培养、科学研究、学科建设、行政服务和文化氛围建设等方面取得更大成绩, 扎根中国大地建设世界一流地学学科, 为发展地球系统科学和应对全球变化做出更大的贡献。

衷心感谢您给予我们的厚爱和指导! 希望继续得到您更多的关怀和支持!

清华大学地球系统科学系

二〇一九年十二月三十一日



目录

地球系统观测 6

- 完成世界唯一最高分辨率为 10 米的全球地表覆盖图 - 提出新理论 6
- 实现 1985-2018 年逐年全球不透水面动态制图 7
- 完成中国改革开放 40 年城市建成区动态监测 8
- 提出基本城市土地利用类型制图概念, 利用社会大数据结合遥感数据迅速完成 2018 年中国城市土地利用制图 9
- 发布中国 1 公里分辨率生物质资源及能源技术潜力估算结果 11

地球系统过程 14

- 生物地球化学 14
 - 首次确定中国各省水环境氮容量“安全”阈值 14
 - 农业节水对中国水资源节约的贡献 16
- 鸟类生态学 17
 - 首次提出“霜冻波假说” 17
- 气候格局与机理认识 18
- 中国居民消费与空气污染健康影响之间的不平等性 20
- 计算地球系统科学 22
 - 一种新的水平网格并行三角化算法 22
 - 一种高效自动并行的模式开发框架 OpenArray 22

地球系统模拟 23

- 公共集成地球系统模式模拟结果参加国际模式比较计划 23
- 国家重大基础设施 - 地球系统数值模拟装置建设情况 24

地球系统管理 26

全球现有能源基础设施锁定排放威胁 1.5℃温控目标	26
环境变化及其健康效应	27
2019年《柳叶刀》健康与气候变化倒计时报告发表	27
大气污染治理成效评估及健康效益	30
揭示气候变化对我国未来空气质量和人群健康的影响	31
进口农产品能够减缓中国和全球的环境压力	34
提出基于网络分析的迁徙鸟类栖息地优先保护策略	35
清华大学中国城市研究院牵头完成住房和城乡建设部第三方城市体检工作	37
机构建设与影响	38
成为地球联盟首批机构会员	38
宫鹏入选世界地球委员会	38
刘竹获得求是杰出青年学者奖	38
东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站”获教育部批准建设	40
自然科学基金委创新群体	41
成立全球制图与应用伙伴计划	42
中国基本城市土地利用类型制图委员会	43

地球系统观测

完成世界唯一最高分辨率为 10 米的全球地表覆盖图 – 提出新理论

清华大学地球系统科学系宫鹏教授研究组与国内外多家单位合作以《有限全球样本稳定地表覆盖分类：迁移 2015 年的 30 米分辨率样本完成 2017 年的 10 米分辨率全球地表覆盖制图》为题撰文介绍了世界首幅 10 米分辨率全球地表覆盖制图方法与结果（图 1）。该成果 3 月 8 日在线发表于英文版《科学通报》（Science Bulletin）期刊上。

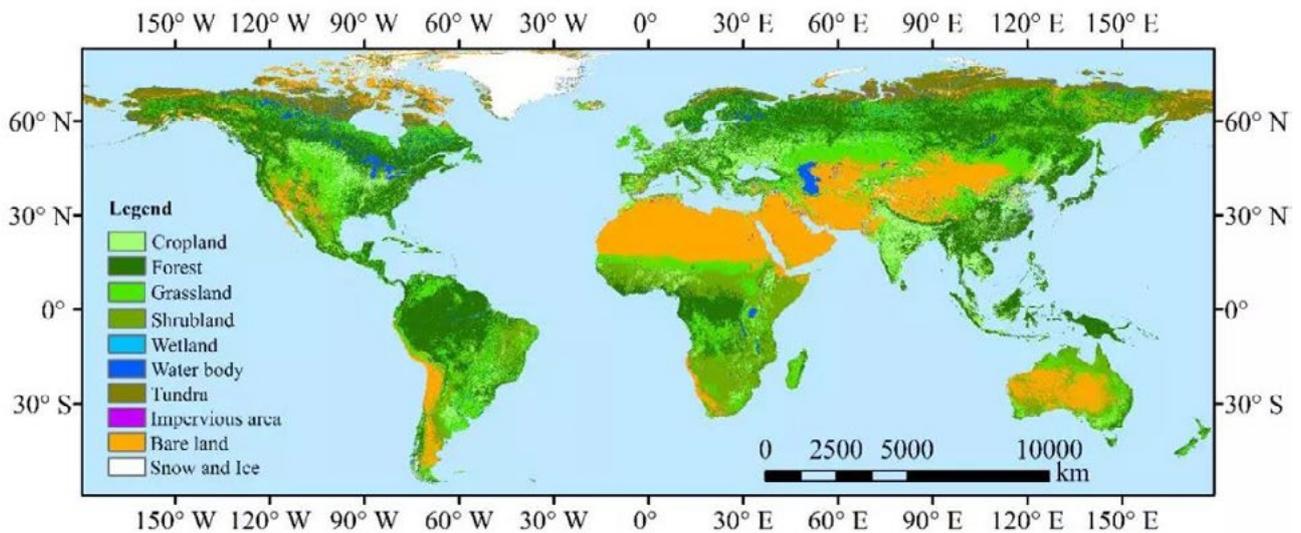


图 1 基于 10 米分辨率的 Sentinel-2 数据的 2017 年全球地表覆盖图（FROM-GLC10）

宫鹏等基于研究组 2011 年以来在全球 30 米地表覆盖制图中获得的经验和在样本库建设方面的积累，结合 10 米分辨率 Sentinel-2 全球影像的完整存储和免费获取，以及 Google Earth Engine 平台云计算能力，开发出了世界首套 10 米分辨率的全球地表覆盖产品——FROM-GLC10（清华大学的全球首套 30 米分辨率地表覆盖图称为 Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover (FROM-GLC)）。该产品基于 2017 年在《科学通报》发表的全球首套多季节样本库，涵盖从 2014 年和 2015 年 Landsat 8 影像、由专家解译得到的均匀覆盖全球的多季节样本。其中，训练集包含大约 340,000 个不同大小的样本（从 30m×30m 到 500m×500m），覆盖全球约 93,000 个样本点位；验证集包含大约 140,000 个不同季节的样本，覆盖超过 38,000 个样本点位。将该样本库应用于 2017 年获取的 Sentinel-2 影像，并基于随机森林分类器得到全球 10 米地表覆盖图。

“有限样本稳定分类”理论指出了全球训练样本迁移到其他年份或不同传感器获取的遥感数据对最少样本数量和误差限度的要求（图 2）。为了验证该理论在全球尺度的正确性，研究组设计了一系列严密的随机试验，分别测试了分类器对样本数量的敏感性，以及对因每年地表实际发生的土地覆盖变化或解译误差导致的样本错误的容忍度。结果显示，在纳入实验的样本量仅占整体的 40%，或训练样本的误差比例达到 20% 时，分类精度的损失在 1% 之内，说明稳定分类仍能得以实现，即“有限全球样本稳定地表覆盖分类”的理论是成立的。这一理论保证了对样本进行迁移的有效性。

该文对 2017 年 10 米分辨率的 FROM-GLC10 产品进行了精度检验，并将其与 2017 年 30 米分辨率的 FROM-GLC30 产品进行了比较。检验和比较结果显示，FROM-GLC10 总体精度为 72.76%，与 FROM-GLC30 精度相当，但 FROM-GLC10 的结果提供了更多的空间细节。FROM-GLC10 产品已正式面向全球公开，可以通过 <http://data.ess.tsinghua.edu.cn> 进行免费下载。

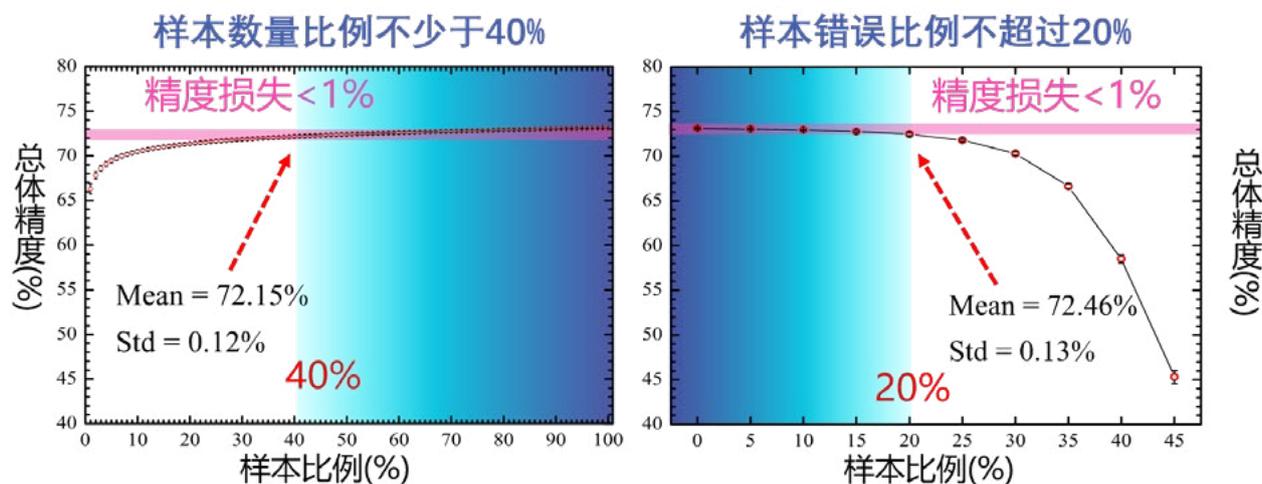


图 2 有限样本稳定分类试验。左图，当样本量增加时，精度迅速上升到相对稳定的高度。右图，随机错误的样本百分比上升，精度下降。两种情况都是分别随机取样 1000 次的实验结果，整体分类精度非常稳定，最大标准差远小于 0.5%。

原文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927319301380>

实现 1985-2018 年逐年全球不透水面动态制图

2019 年 11 月，清华大学地球系统科学系宫鹏教授研究组在《环境遥感》(Remote Sensing of Environment) 在线发表题为《全球逐年不透水面变化：1985-2018》论文。该研究首次完成了全球高空间分辨率(30 米)人造面逐年动态数据产品(1985-2018) (以下简称 GAIA)，并揭示了全球主要国家和地区的城市化速率差异，为全球城市化研究提供了重要的基础数据。

根据联合国最新的预测，到本世纪中叶，未来全球城市人口占世界总人口的比例会达到近 70%，且大部分的新增城市人口将会发生在亚洲和非洲等发展中地区。快速的全球城市化进程对城市环境和人居健康带来了重大的挑战。城市不透水面作为城市环境的重要基础要素，对于开展城市研究具有极为重要的现实意义。然而，目前全球仍没有高时空分辨率且长时序的城市数据产品来支撑全球城市化研究。

研究组基于 Google Earth Engine 云计算平台，绘制了全球 30 米分辨率逐年的城市不透水面数据(1985-2018)。研究基于长时序的 Landsat 光学影像(近 150 万景)及其他的辅助数据(夜间灯光数据及 Sentinel-1 雷达数据)，首先通过空间掩模和特征评价(Exclusion-Inclusion)算法实现了对逐年不透水面的快速制图，然后通过时间一致性检验(“Temporal Consistency Check”)算法对初始的不透水面序列进行时间域滤波和转化逻辑推理，从而保证了获取的不透水面序列在时空上的合理性。通过对典型年份的精度评价分析可知 GAIA 的平均总体精度

超过了 90%。同时对比全球主要的城市数据产品发现，GAIA 在城市面积的量级和时序特征上均更为合理。

研究揭示了全球城市化进程在主要国家和地区上的差异。北美和亚洲占据了全球近 70% 的不透水面面积。过去近 30 年，亚洲地区的不透水面在全球的占比从 34% 跃升到了 43%。中国和美国作为全球主要的城市化区域，其不透水面占比全球约 50%，且中国的城市化面积在 2015 年已超过美国。东亚和南亚地区是过去 30 年全球城市化的主要引擎。

研究得到了国家全球变化与应对重点专项、Delos 捐助和唐仲英基金会的部分支持。研究所得到的 GAIA 数据可以通过清华大学进行开放下载：<http://data.ess.tsinghua.edu.cn>。

原文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425719305292>

完成中国改革开放 40 年城市建成区动态监测

2019 年 4 月，清华大学地球系统科学系宫鹏教授研究组在期刊《Science Bulletin》上发表题为“基于遥感反演的不透水面反映中国 40 年（1978-2017）建成区变化”的论文。

自 1978 年改革开放以来，中国经历了快速的经济发展和城镇化过程。地表覆盖类型也发生了很大变化。随着社会经济的发展，大规模的城镇化带来了诸多问题与挑战。为实现城市可持续发展，国家尺度建成区长时间序列监测数据对社会经济发展和自然环境保护研究十分重要。区域城市规划与管理、大气和水污染、气候变化以及生物多样性等方面的研究也需要更高空间分辨率和时间频率的建成区数据产品。然而，目前尚缺少较高分辨率长时间序列的中国建成区制图产品。

研究组基于 Landsat 遥感影像完成了 40 年时间跨度的 1978 年、1985-2017 逐年的中国建成区制图产品。填补了较高分辨率时空一致的建成区动态监测产品这一空白。对 1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015 不同年份的结果进行了精度检验，总体精度超过 90%。另外，该数据集能够同时反映城市和周边农村居民点的时空特征。

根据该研究的结果统计，2017 年中国城市建成区面积为 146,102 km²，城市与农村建成区总面积为 209,950 km²，且城市扩张面积排名前五的省份依次是山东、江苏、广东、河北和河南。

随着城镇化进程的加快，预计未来中国建成区扩张趋势将持续到 2030 年。为了实现联合国可持续发展目标，对其进行持续监测至关重要。该产品可为城市规划与管理，美丽乡村建设与发展提供数据支持，也可应用到气候变化、环境保护以及能源节约等相关领域研究。此外，该研究方法为下一步扩展到全球尺度建成区制图奠定了良好的基础。

该产品目前已正式面向全球公开，可以通过 <http://data.ess.tsinghua.edu.cn> 进行免费下载。

原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.024>

提出基本城市土地利用类型制图概念，利用社会大数据结合遥感数据迅速完成 2018 年中国城市土地利用制图

2019年12月23日，清华大学地球系统科学系宫鹏、徐冰教授牵头在《科学通报》(Science Bulletin) 在线发表题为《中国基本城市土地利用类型制图：2018年结果》的通讯文章(图3)。该研究联合了国内30余家科研单位，70名作者，首次实现了全国范围内地块尺度的城市土地利用制图，揭示了地区和城市间的土地利用差异，为国家高质量城市建设和城市体检、健康城市研究工作提供更加详细的数据支持。

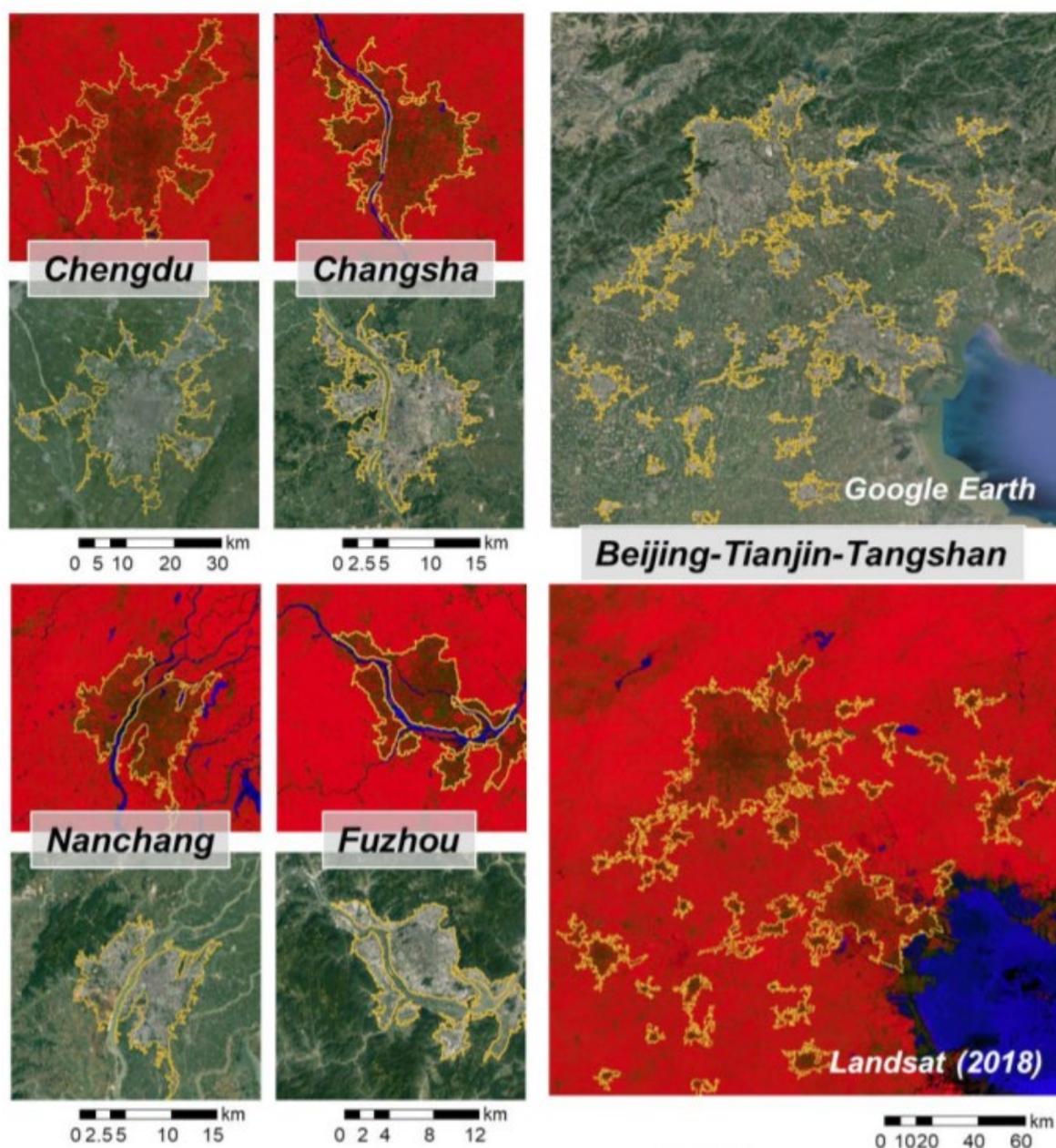


图3 由30米城市不透水层数据生成城市边界的示例图(北京、天津、唐山及其他四个城市)

土地利用是人类活动在土地空间的重要表现形式，由于人口增长和城市化进程的加速，城市土地利用正发生着迅速的变化。如何获取准确的城市土地利用动态制图，了解不同用地

类型的布局、规模和变化趋势，对于合理配置城市土地资源，为国家宏观调控提供基础性数据和决策支持具有重要的社会和经济效益。然而，由于数据和资金支持的限制，全国或全球尺度城市土地利用的遥感制图研究仍相对缺乏。

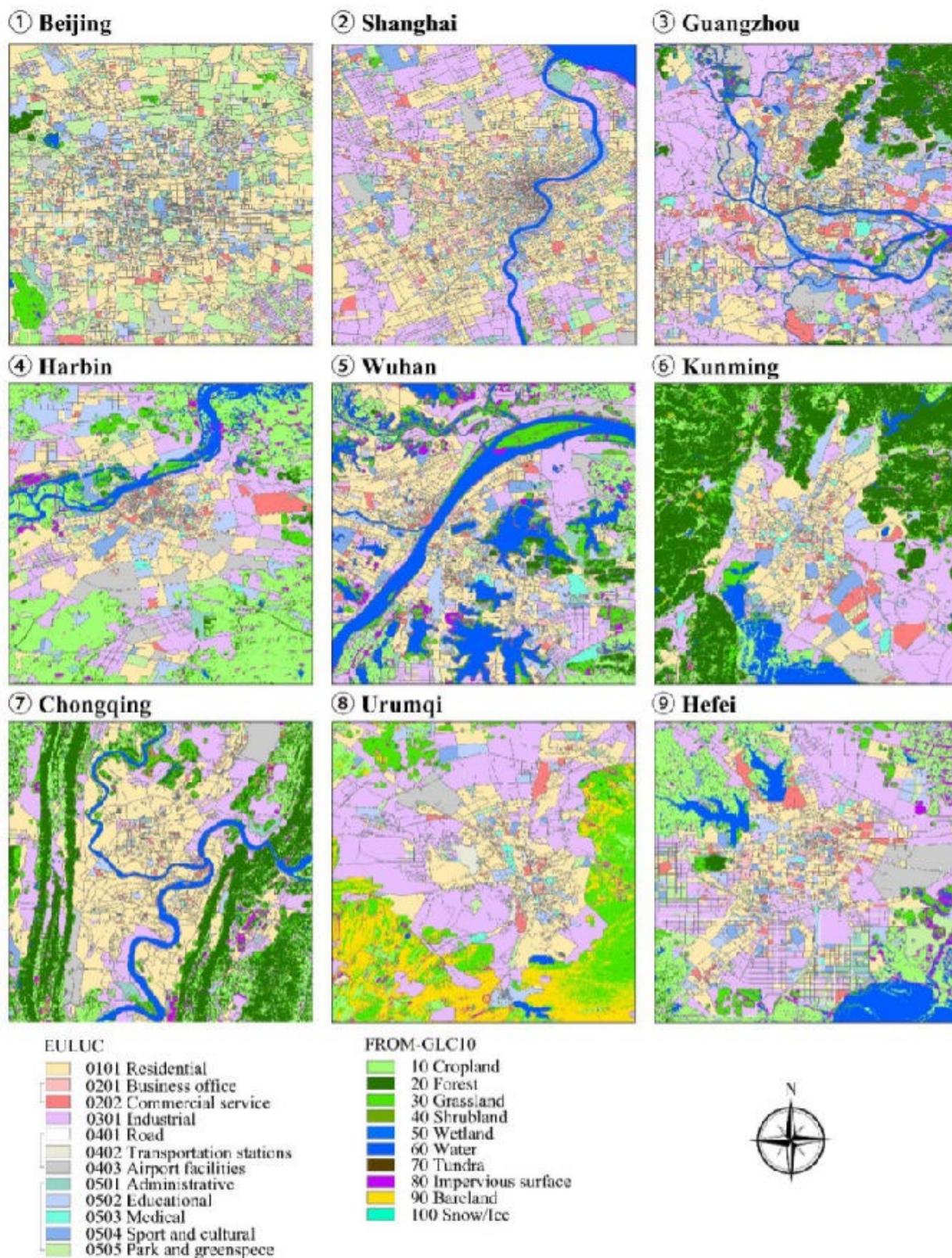


图 4 基于《土地利用现状分类》GBT 21010-2017 分类体系的基本土地利用图

本文提出了涵盖居住 - 休闲 - 交通 - 工业 - 办公五大类用地的“基本城市土地利用类型 (EULUC)”的概念, 并综合利用 2018 年的 10 米哨兵遥感数据、OpenStreetMap 数据、珞珈一号夜间灯光数据、以及腾讯移动定位和高德导航兴趣点 (POI) 等社会大数据, 首次实现了全国范围内城市土地利用制图。本文的 EULUC 制图主要包括以下四个技术步骤: (1) 利用 30 米城市轮廓数据和 OpenStreetMap 路网数据生成全国地块, 作为基本城市土地利用类型的最小分类单元; (2) 利用多源遥感和社会大数据提取地块尺度的分类特征, 包括遥感光谱特征、夜间灯光特征、POI 数量和腾讯定位人群变化特征; (3) 联合 21 个研究团队, 在全国范围内 27 个城市开展训练和验证样本的“众智”采集; (4) 利用随机森林算法生成 2018 年全国基本城市土地利用类型制图 (图 4), 并进行两级分类体系的精度评价。

第一版中国基本城市土地利用制图结果共包括 440798 个地块 (除道路用地), 一级总体分类精度为 61.2%, 二级总体分类精度为 57.5%。统计结果表明: 在 2018 年全国 166338 Km² 的城市不透水层范围内, 居住用地占比 25.0% (41576 Km²), 商业用地占比 4.4% (7317 Km²), 工业用地占比 40.6% (67588 Km²), 交通用地占比 11.2% (18576 Km²), 公共管理和服务用地占比 18.8% (31281 Km²)。

该研究得到了国内外众多科研单位和相关机构的支持和合作, 包括: 清华大学中国城市研究院、海峡研究院、中国科学院多个研究所、兰州大学、同济大学、山东科技大学、西南大学、浙江大学、南京大学、河海大学、武汉大学、华中科技大学、华中师范大学、中山大学、广州大学、福建师范大学、江西师范大学、中南林业科技大学、重庆师范大学、河南大学、吉林大学、香港大学、香港浸会大学、香港理工大学、台湾国立成功大学、深圳市数字城市工程研究中心、哈尔滨海航、美国加州大学戴维斯分校、爱荷华州立大学、肯塔基大学、谷歌公司和美国地质调查局等单位。值得一提的是作为国内外多单位快速合作的一次尝试, 该研究从想法构思到制图成文仅花了 3 个月时间, 这种新型的众智合作方式, 为城市科学研究提供了一种灵活、高效的合作模式。据悉, 在清华大学中国城市研究院宫鹏教授的倡议和召集下, 目前已有近百位土地利用专家学者加入中国基本城市土地利用制图委员会。该委员会已于 2019 年 7 月、9 月、12 月, 分别在北京、深圳、上海召开三次工作会议, 旨在推动联合开展全国城市土地利用制图工作, 全面提取中国城市基本土地利用类型, 为国家高质量城市体检、城市管理和国土空间规划等提供更加精细的数据支持, 未来将进一步致力于推进全球的城市土地利用制图研究。

该研究得到了国家全球变化与应对重点专项、Delos Asia 捐助和唐仲英基金会的部分支持。EULUC-China 数据集可通过清华大学开放下载: <http://data.ess.tsinghua.edu.cn>。

原文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927319307054>

发布中国 1 公里分辨率生物质资源及能源技术潜力估算结果

2019 年 11 月 1 日, 地学系博士生聂耀昱作为第一作者, 导师蔡闻佳作为通讯作者, 在农学知名期刊《全球变化生态学 - 生物能源》(Global Change Biology Bioenergy) 上发表题为“Spatial distribution of usable biomass feedstock and technical bioenergy potential in China”的研究论文。文章合作者还包括清华低碳能源实验室常世彦副教授、环境学院王灿教授、中科院地理所付晶莹副研究员、国家发改委能源研究所惠婧璇助理研究员、地学系俞乐副教授、

中国农业大学朱万斌副教授、加拿大阿尔伯塔大学 Amit Kumar 教授、地学系博士生黄国锐、加州大学郭伟超博士后等。文章指出：中国不同种类生物质资源在 1 公里分辨率的空间分布上差异显著：林业剩余物主要分布在东北、西南和东南地区，草地剩余物分布在内蒙古等省区，农业剩余物集中在河南和山东等省份，城市生活垃圾和城市污水集中在京津冀、长三角和珠三角等人口集中和城镇化发达区域，禽畜粪便集中在内蒙、河南等畜牧业或禽畜养殖发达的省区（图 5）。

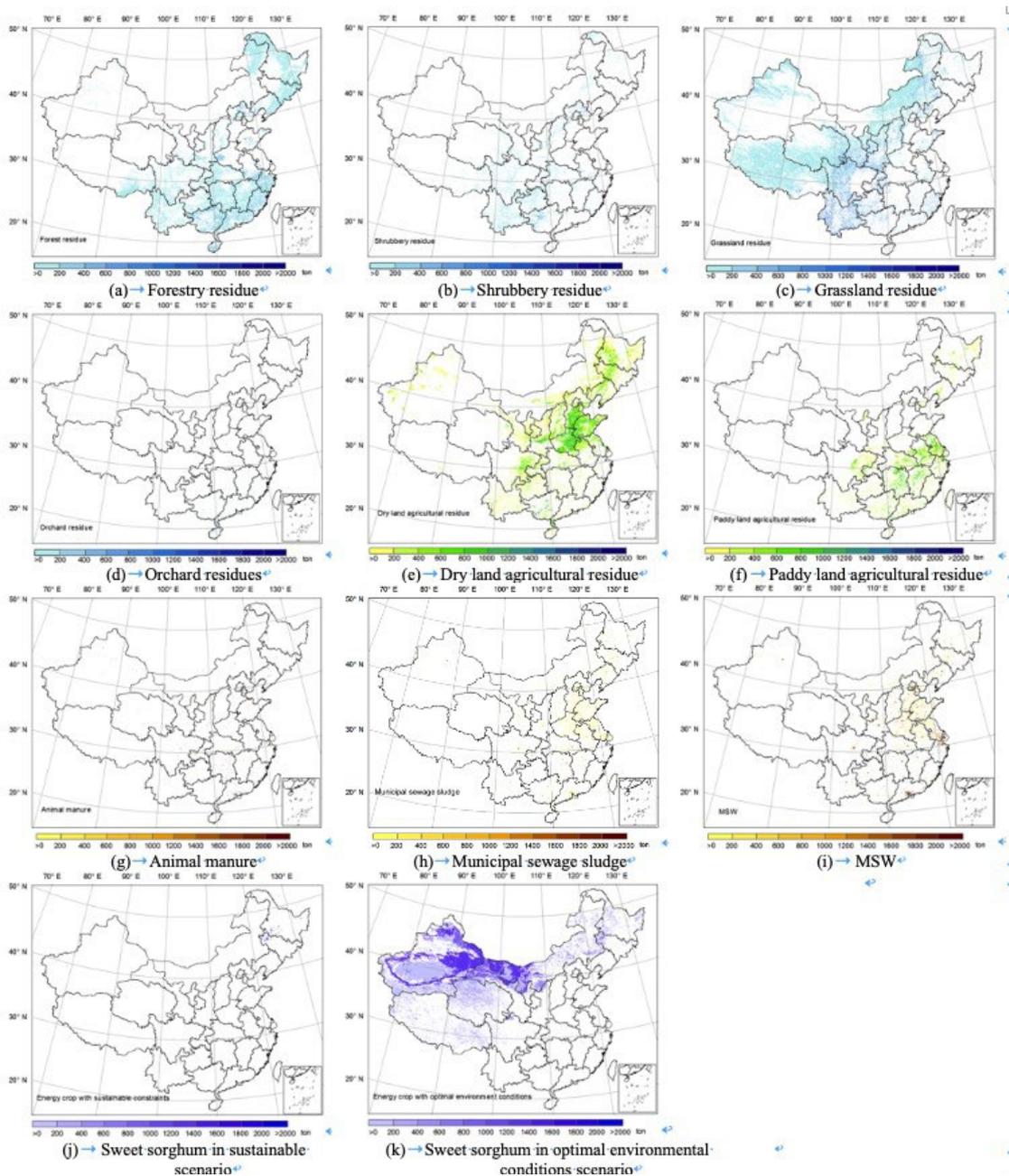


图 5 2015 年中国 1 公里分辨率可用于能源生产的生物质资源分布图

2016-2018 年，国家发改委、国家能源局等部委陆续印发《生物质能发展“十三五”规划》、《北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)》、《促进生物能源供热发展的指导意见》和《清洁能源消纳行动计划(2018-2020 年)》等一系列政策规划，提出生物质能源发展应遵循“因

地制宜”和“分布式发展”的指导原则，促进了生物质能源发展。由于生物质类型、用途（维持土壤碳库平衡、能源化生产、其他工业产业原料）和能源形式（电能、热能、液态生物燃料和气态生物燃气等）多样且空间分布不均，这些政策规划的落实实施需要高分辨率生物质资源和能源技术潜力的科学支持。

为此，本研究综合作物生长模型、统计降尺度、地理信息系统等模型方法构建了中国 1 公里分辨率生物质资源和能源技术潜力评估体系，得到 2015 年中国 1 公里分辨率生物质资源和能源技术潜力空间分布数据库，及中国“土地资源 - 生物质资源 - 生物质能源”能流图。研究发现，2015 年中国共有约 9.9 亿吨农业剩余物、3.8 亿吨草地剩余物、3.1 亿吨林业剩余物、2.2 亿吨城市生活垃圾及 16.3 亿吨禽畜粪便等生物质资源，用于能源化利用的生物质资源可产生 1.06EJ（约 1.7 亿吨标煤）的热能和 860 亿立方米生物燃气；边际土地上种植的甜高粱产生的生物乙醇可满足 2015 年 E10 乙醇汽油中 13%-312% 的生物乙醇需求。在省级尺度，新疆、内蒙、甘肃、吉林和黑龙江等省份生物乙醇产量可以满足本省生物乙醇需求，广东、江苏和浙江等省份存在生物乙醇供给短缺；甘肃、青海、黑龙江、内蒙、河南和河北等省份有较大的潜力发展生物质供暖清洁替代。

该研究工作得到了国家重点研发项目、国家自然科学基金及国家电网公司科技项目的支持。

论文链接：<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12651>

地球系统过程

生物地球化学

首次确定中国各省水环境氮容量“安全”阈值

2019年2月28日，清华大学地球系统科学系、清华海峡研究院喻朝庆博士等在国际顶尖学术期刊《自然》(Nature)发表题为《恢复中国水环境质量需全面加强氮管理》(Managing nitrogen to restore water quality in China)的文章，揭示了中国从1955年到2014年人类活动导致的氮流失量，建立了各省淡水环境氮容量的“安全”阈值。文章为近年来全球环境容量限界(Planetary boundary)研究的区域阈值定义提供了新方法，为全方位解决中国水体富营养化问题提供了量化依据。

为实现人类可持续发展，需要将对全球环境的影响维持在安全界限以内。氮素污染是其中一个重点内容，但关于氮排放安全阈值评估研究目前尚无可靠量化定义方法。瑞典科学家约翰·罗克斯特伦(Johan Rockstrom)等曾提出全球每年3500万吨氮的安全阈值。一些学者基于氮平衡模型开展全球尺度的阈值评估，但仍存在很大的不确定性。这是由于氮元素在不同区域的迁移转化受复杂的生物地球化学过程影响，难以用简单的物质平衡模型得到可靠的结果；而复杂的水文和水质演变机理模型在大尺度模拟中所需的数据十分缺乏。

本文结合中国不同区域代表性水体中历史总氮浓度的观测数据和基于DNDC作物模型及其它氮平衡模型计算的氮流失数据，重构了1955-2014年间中国氮排放与水质演变的时空关系(图6)。作者提出水体氮浓度首次达到或超过IV类水质标准(1.0mg/L)所在年份对应的氮流失量(含径流和下渗)为该区域的氮排放阈值。

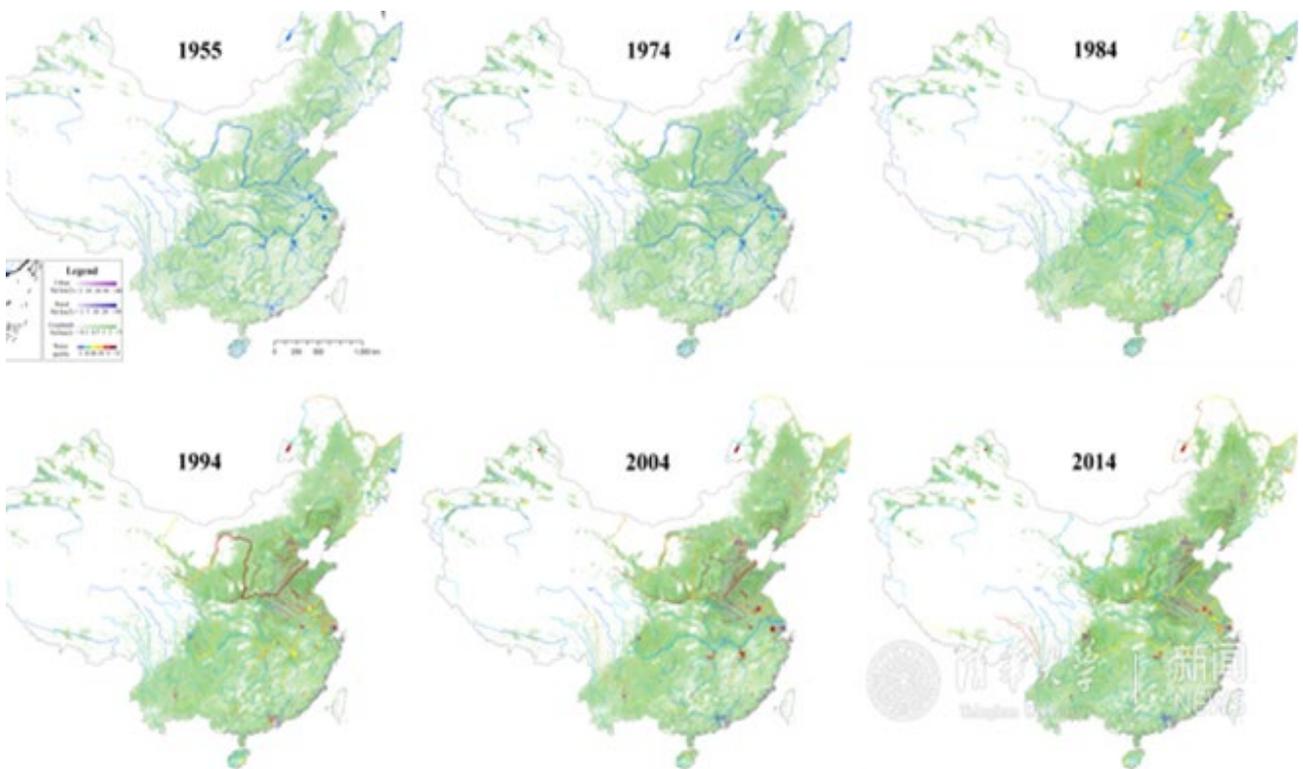


图6 1955-2014年中国氮流失(径流与土壤下渗之和)与河流水质演变

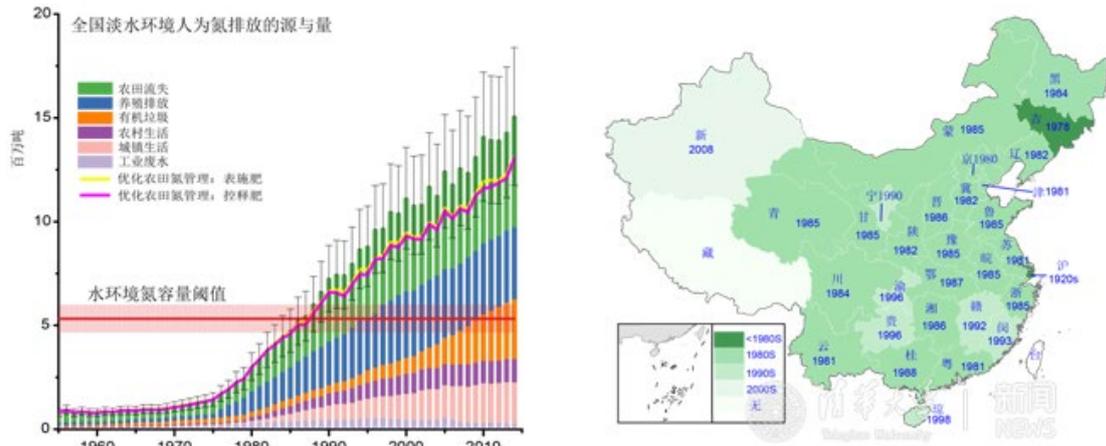


图 7 中国水环境氮安全容量阈值。(a) 全国不同氮源的流失量与水环境容量阈值；(b) 观测数据中各省水体总氮浓度首次达到或超过 IV 类水质标准 (1mg/L) 所在年份

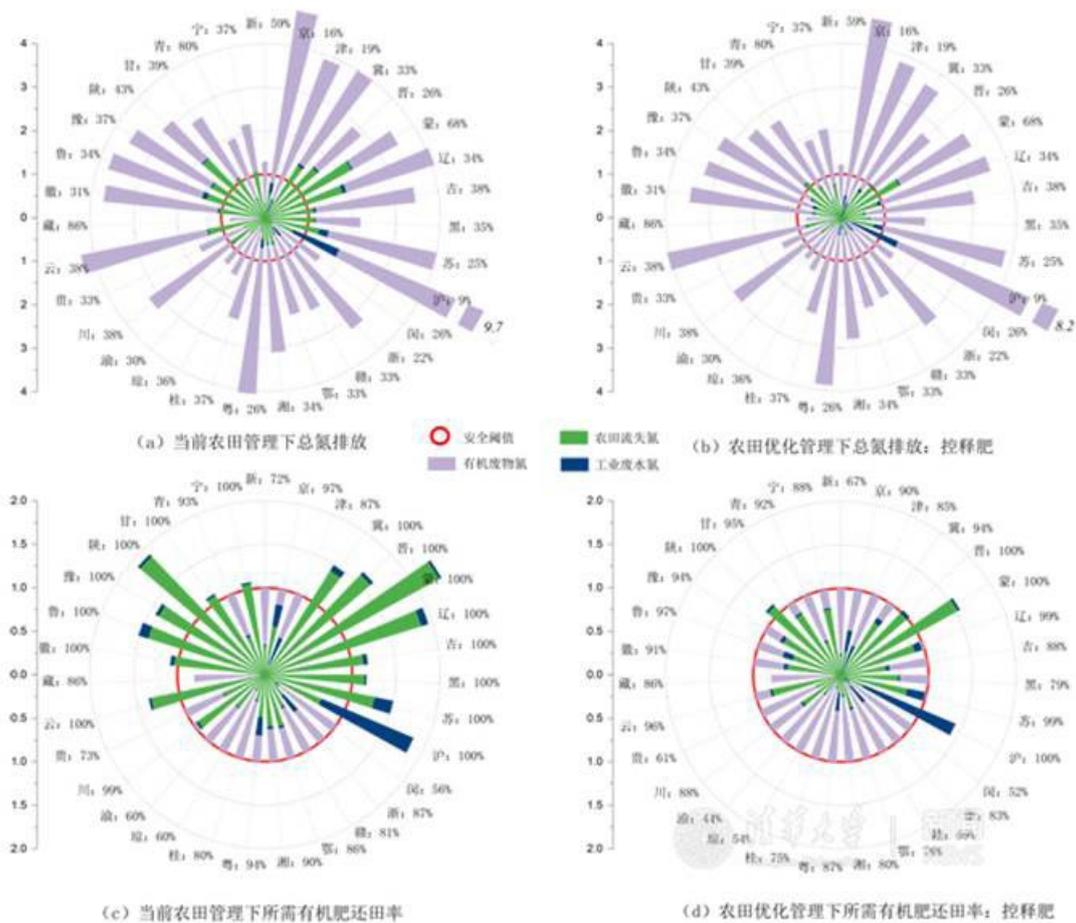


图 8 中国省级氮管理面临的挑战与解决方案。(1) 当前农田管理水平下省级氮流失总量超安全阈值的倍数，外围的百分数是当前有机废物还田率；(2) 在优化农田管理的控释肥方式下省级氮流失总量超安全阈值的倍数，外围的百分数是当前有机废物还田率；(3) 在当前农田管理水平下，欲将氮流失减至阈值内所需达到的有机废物还田率（外围百分数）；(4) 优化农田管理的控释肥方式下，将氮流失减至阈值内所需达到的有机废物还田率（外围百分数）

研究表明，中国绝大多数省份的氮排放在 1980 年代中期超过了水环境安全阈值（图 7）。全国水环境的氮容量安全阈值为每年 520 ± 70 万吨，但目前氮的实际排放量每年达到 1450 ± 310 万吨。有 14 个省仅农田氮流失量就超过自身阈值，主要分布在缺水的北方（图 8）。因此，中国当前的氮管理面临严峻的挑战。作者对不同氮管理措施的减排潜力进行了评估。结果表明，提高农田管理水平可减小 50% 左右的农田氮流失，但仅可减小全国总超排量的 1/4。2014 年全国城市生活污水处理的除氮量仅为 70 万吨左右，若进一步提高污水处理的除氮效率，其能耗会呈非线性增长。

文章认为，目前唯一可行的方法是重构传统的城乡养分循环体系。在提高农田氮肥利用效率的基础上，还需要将城乡有机废物的还田率从目前的 40% 以下提高到 86% 以上，其中 9 个省份需要将还田率提高到 95% 以上。在作者们推荐的几个方法中，其中一种是将工业废水和生活污水分流，在防止土壤污染和疾病传播的前提下将生活污水接入灌溉系统，既实现养分回收又减小农业的水资源消耗。以 2010 年价格计，基础设施所需成本近 7000 亿元。实现人畜粪便全部循环利用的年运行成本约 1200-1900 亿元，并不比 2014 年的城市生活污水处理成本的 1100 亿元高太多。这不但可彻底解决中国的水体富营养化问题，还可为农民增收提供机会。

喻朝庆博士是该论文的通讯作者兼第一作者，地学系的论文合作者还有宫鹏教授、乔纳森·莱特 (Jonathon S. Wright) 副教授、俞乐副教授、蔡闻佳副教授、付昊桓教授和黄小猛副教授，博士生黄道、陈晗、黄国锐、倪少强、张杰、乔圣超和硕士生冯钊、肖雨晨等。英国牛津大学查尔斯·戈弗雷 (Charles J. Godfray) 教授和吉姆·霍尔 (Jim Hall) 教授、中国农业大学巨晓棠教授、法国气候与环境科学实验室菲利普·西亚斯 (Philippe Ciais) 教授、挪威奥斯陆大学尼尔斯·斯滕塞思 (Nils Chr. Stenseth) 教授和达格·黑森 (Dag O. Hessen) 教授、德国莱布尼兹转型经济农业发展研究所孙战利博士、瑞典皇家理工学院张弛博士、中国农科院刘宏斌研究员和英国纽卡斯尔大学詹姆斯·泰勒 (James Taylor) 等参与了研究。这项研究工作得到国家重点研发计划 (2017YFA0603602 和 2014CB953803) 的支持。

论文链接：<https://www.nature.com/articles/s41586-019-1001-1>

农业节水对中国水资源节约的贡献

2019 年 11 月 22 日，地学系博士研究生黄国锐在《资源、保护与再利用》(Resources, Conservation & Recycling) 发表题为《农业节水可为中国输送深层次水资源》(Water-Saving Agriculture Can Deliver Deep Water Cuts for China) 的论文，探讨中国农业灌溉节水潜力的新视角。

水资源是限制中国社会经济和环境可持续发展的重要因素。面对人均水资源严重不足，南北分布差异明显的特点，中国水资源的有效利用和节水潜力探究成为关键的问题。中国农业用水作为水资源使用最大的行业，其节水空间巨大，目前仍旧处于大面积漫灌的灌溉模式。因此，探究中国农业灌溉节水潜力有助于为缓解中国水资源压力提供新思路。同时，玉米作为中国三大主粮之一，未来的需求会随着饲料需求和能源需求的增加而与日俱增。

针对这一问题，黄国锐等人利用 AquaCrop 模型构建中国现阶段 (1995-2014 年) 玉米生长和灌溉数据，科学定量不同农业管理组合下的水资源消耗和产量情况，探究中国农业玉

米节水潜力及影响。研究发现，改进灌溉方式和土壤管理模式，可以减少中国玉米 28-46% 的灌溉量，特别是在水资源供需矛盾紧张的东北和华北地区。而在未来 50 年的气候变化中，不同管理模式下的优化组合，其节水效果保持稳定，不受气候变化的影响。此外，本文探讨节水灌溉在环境可持续条件下的潜在应用，研究发现优化管理措施能够提高 7-15% 的玉米产量（图 9）。

荷兰特温特大学王冉冉助理教授为论文通讯作者，清华大学地球系统科学系、清华海峡研究院喻朝庆博士为论文合作者，还有其他来自荷兰、德国、美国等多家研究单位参与论文合作。研究得到了国家留学基金委项目支持。

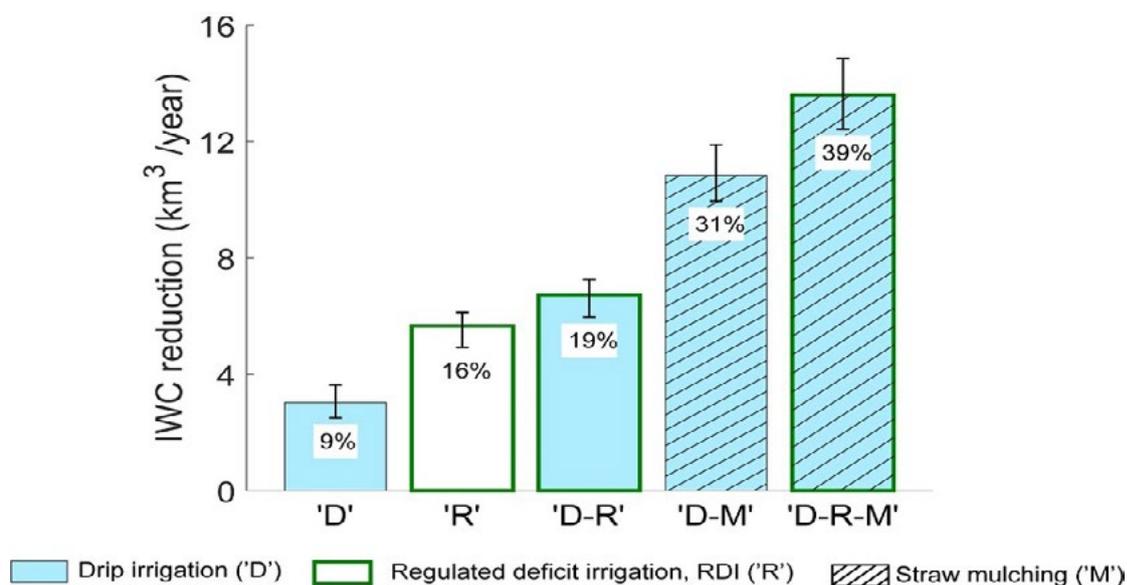


图 9 不同农业管理组合下的水消耗节省量

原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104578>

鸟类生态学

首次提出“霜冻波假说”

2019 年 2 月，地学系司亚丽副教授研究团队，在期刊《Ecological Indicators》上发表了题为“The frost wave hypothesis: How the environment drives autumn departure of migratory waterfowl”的研究论文。

迁移物候在水禽生活史中起着至关重要的作用。加深对迁徙规律及其环境机制的理解，

有助于量化全球气候变化对迁徙水禽的影响。前人研究多关注水禽春季迁徙策略，对秋季迁徙环境机制的理解仍然有限。霜冻是表征寒冷天气、食物和水的不可利用性的显著指标，前人研究发现野鸟禽流感爆发时空格局与霜冻时空变化及水鸟秋季迁徙相关，提出利用霜冻时空变化来预测水鸟秋季迁徙时空格局的可能性和重要性，但是霜冻如何推动候鸟秋季迁徙尚未被量化。

该研究首次提出了秋季迁徙过程中的“霜冻波假说”，即水禽秋季迁徙离开繁殖地和停歇地是由随纬度先后到来的霜冻气候事件主导并推动的。基于 2015-2017 年 9 只白额雁和 2017 年 27 只鸿雁秋季完整迁徙路线的卫星跟踪数据，利用广义线性混合效应模型，研究了秋季迁徙离开可能性如何受霜冻时间，积温，食物衰败，初雪日期，结冰日期，短期天气条件（即风，降水和气温），剩余迁移距离，相对停留持续时间以及中途停留地点之间的飞行距离的影响。结果表明，水禽秋季离开的概率在霜冻到来后及累积温度达到 0 °C 时迅速增加，同时受到地表顺风和较长剩余迁移距离的促进作用。然而，当霜冻到来一段时间后，水禽对顺风的选择作用消失了，即使在逆风下也会离开，由此强调霜冻对水禽秋季离开的主导作用。当水禽越远离越冬地，触发向南离开的时间限制可能会更强。通过躲避霜冻，鸟类可以逃离恶劣环境条件并最大限度地提高对停歇地的利用。研究结果推动了对水禽完整年度周期的迁徙策略的理解，为全球环境变化下水禽保护提供了科学支撑。

论文第一作者徐菲为地学系四年级直博生，研究方向为东亚水禽迁徙物候环境机制分析及预测

附原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.024>

气候格局与机理认识

2019 年 3 月，阳坤教授课题组在《Geophysical Research Letters》上发表题目为《The Formation of a Dry-Belt in the North Side of Central Himalaya Mountains》的文章。研究主要通过实地考察，降水等气象要素地面观测以及卫星遥感观测，发现了喜马拉雅山脉中段北侧有一宽度超过 100 公里的干旱带，并被区域气候模拟再现（图 10），基于区域气候模式的敏感性分析进一步揭示了该干旱带的形成机理。

利用 WRF-ARW 模式模拟，发现在喜马拉雅山脉北坡焚风特征非常明显；当北坡河谷地形被填充后，焚风特征消失。然而，两种情况下该地区的降水量差异不大，表明焚风不是控制降水量的重要因素。另一方面，不论是模拟还是 GPS 观测，均显示季风气流在沿着高大且陡峭的喜马拉雅南坡爬升过程中，大气水汽严重衰减。到达北坡时水汽通量不足原来的 30%，在没有天气尺度扰动经过这一区域时，很难将水汽转换为降水，因此形成了喜马拉雅山脉北侧的干旱带。进一步研究表明，焚风推迟了干旱带降水日变化峰值的发生。

博士后王岩为论文第一作者，阳坤教授为通讯作者，合作者包括地学系的卢麾副教授以及中科院青藏所、瑞典哥德堡大学和美国宾州州立大学的研究人员。本研究受中科院丝路专项课题（XDA2006000000）及国家自然科学基金委重点项目（91537210）资助。

文章链接：<https://doi.org/10.1029/2018GL081061>

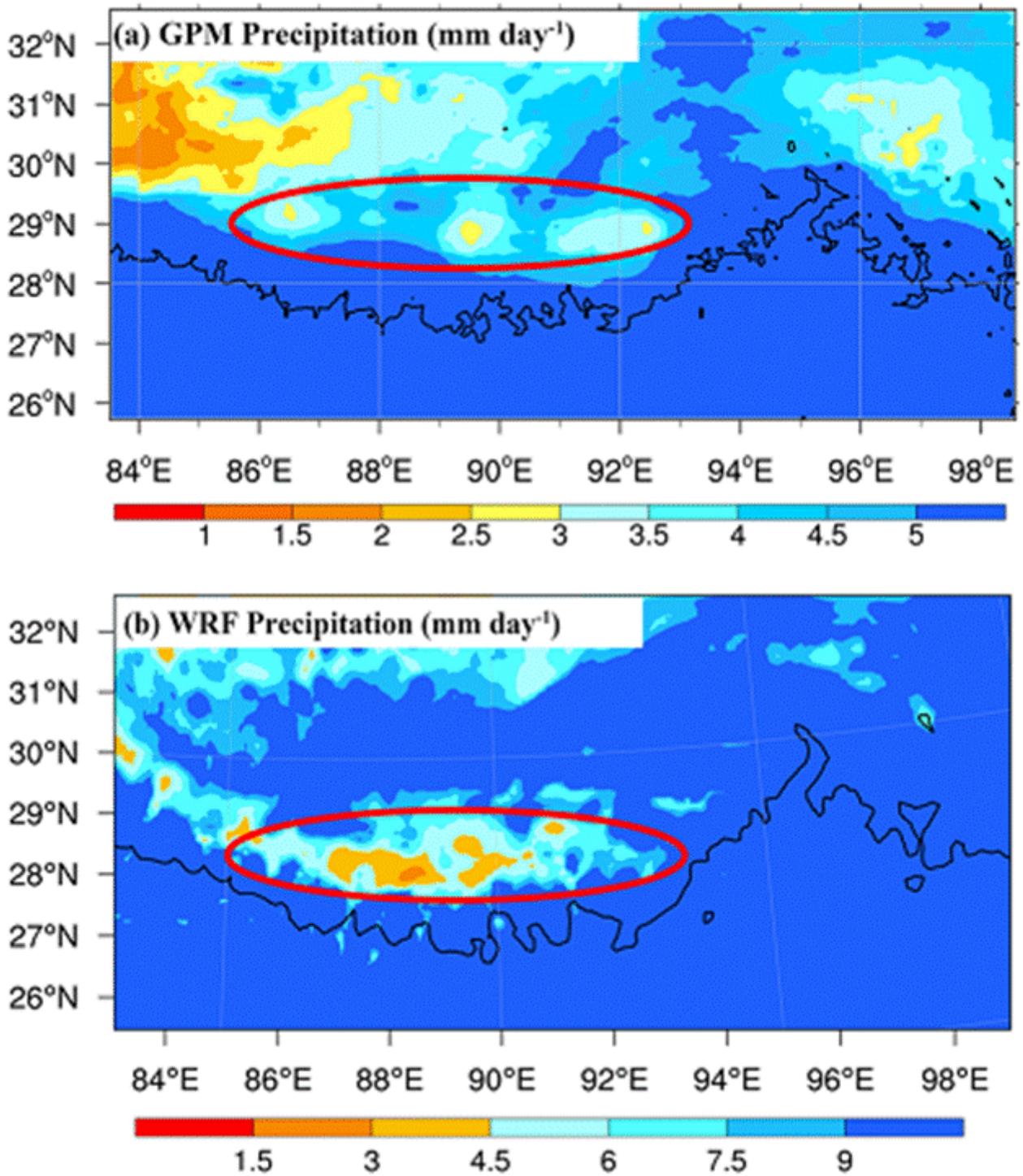


图 10 青藏高原南部 2015 年夏季 GPM 卫星观测降水和 WRF 模拟降水空间分布 (单位: mm day^{-1})

中国居民消费与空气污染健康影响之间的不平等性

2019年9月25日，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）张强教授研究团队在《自然·通讯》（Nature Communications）在线发表题为《中国居民消费与空气污染健康影响的不平等性》的论文，首次定量了我国城乡居民消费引起的PM_{2.5}污染及相应的健康损失，并揭示了居民消费与空气污染健康影响之间的内在关联。

根据世界卫生组织估计，与PM_{2.5}相关的空气污染导致中国每年过早死亡人数达到100万以上。城乡居民生活中直接消费的化石燃料（用于炊事、取暖、出行等）是我国大气污染的重要来源；而居民生活中消费的各类产品和服务中隐含的大气污染物排放（即产品生产和运输过程中产生的排放）也对空气质量和人群健康产生重要影响。由于消费水平和消费结构的差别，不同地区、不同收入水平人群消费引起的空气污染及健康损失也存在巨大差异（图11）。

针对这一问题，张强教授研究组领导的研究团队通过耦合排放清单模型、多区域投入产出模型、大气化学传输模型和健康效应模型，同时结合我国城乡居民收入和消费数据，定量评估了2012年中国城乡居民消费引起的PM_{2.5}污染健康损失。研究发现，2012年我国民用燃料消费产生的直接排放和居民消费产品及服务中隐含的间接排放分别贡献了全国PM_{2.5}污染相关过早死亡人数的20%和24%。城市居民消费引起的健康损失主要源于产品和服务消费中隐含的间接排放，且与城市居民收入水平显著正相关。城市最高收入组居民人均消费引起的健康损失是最低收入组的3.3倍。而农村居民消费引起的健康损失主要源于民用固体燃料（煤和生物质）燃烧，与收入水平无明显相关性。尽管城市居民消费水平明显高于农村居民，但农村居民消费引起的健康损失却大于城市居民消费，这主要是因为固体燃料燃烧过程产生大量污染。

研究首次核算了中国城乡居民消费对空气污染的贡献程度，揭示了居民消费水平和消费结构对空气污染的影响。研究一方面指出了减少农村居民生活排放的重要性，提出未来当大力推广清洁燃料，实现能源转型。而考虑到较高清洁能源成本和城乡经济水平的不平等性，短期内提供价格补贴是一种可行方案。另一方面，研究发现城市居民消费引起的健康损失与其收入水平直接相关，未来应当鼓励城市富裕人群建立可持续消费理念，以减少相应的环境影响。

清华大学地学系张强教授为论文通讯作者，张强教授团队博士研究生赵红艳（现为清华大学环境学院博士后）和耿冠楠（现为清华大学环境学院助理研究员）为论文共同第一作者。研究得到了国家自然科学基金委和中国博士后科学基金的支持。

原文链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-019-12254-x.pdf>

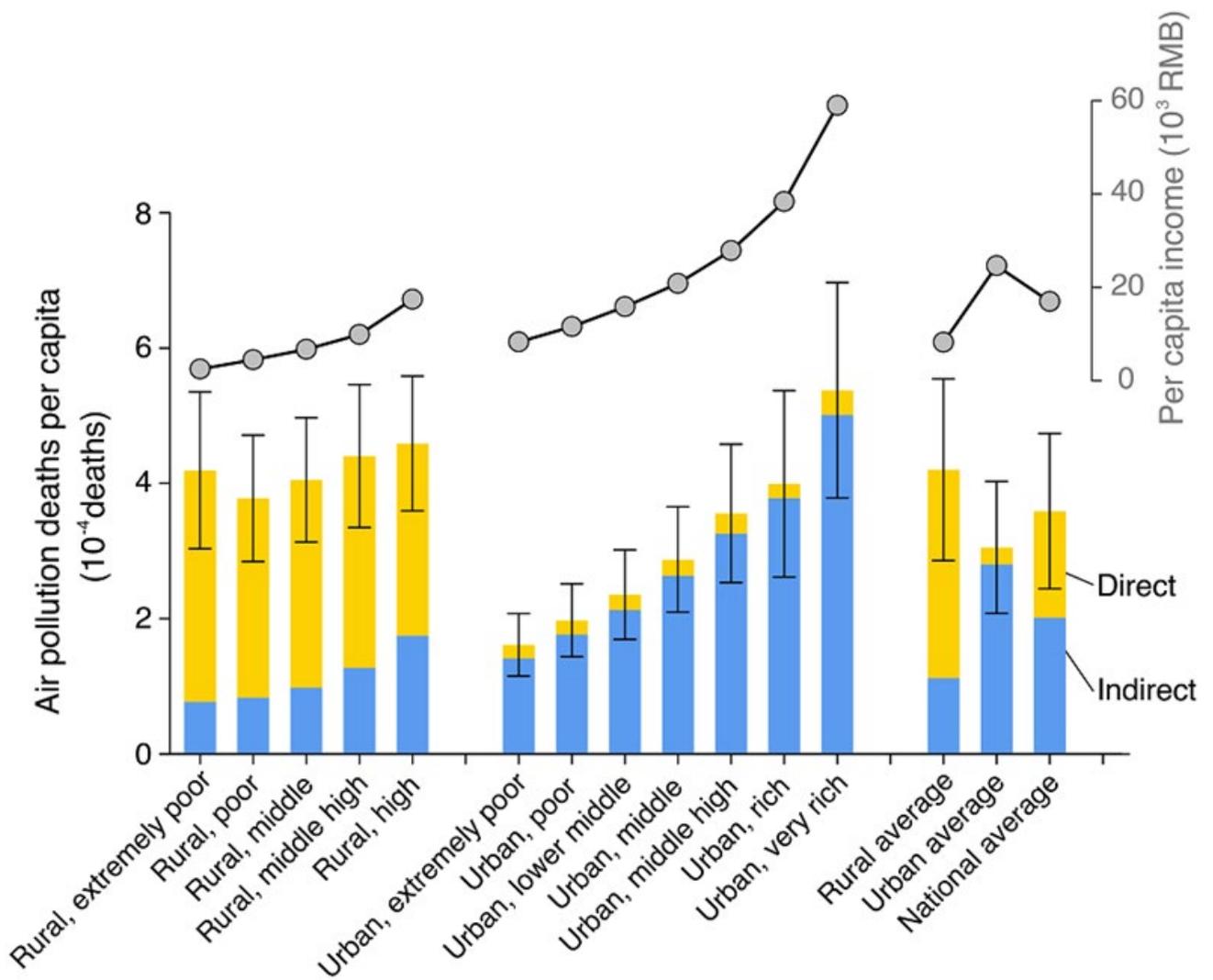


图 11 为我国城乡地区不同收入居民人均消费引起的 PM2.5 污染健康损失

计算地球系统科学

一种新的水平网格并行三角化算法

2019年7月26日，地学系耦合器组硕士毕业生杨昊禹为第一作者，在地学高影响期刊《Geoscientific Model Development》（GMD）上发表题为“PatCC1: an efficient parallel triangulation algorithm for spherical and planar grids with commonality and parallel consistency”的研究论文。地学系刘利副教授、博士后李锐喆作为该文通讯作者，文章合作者还包括地学系博士后张诚，博士生孙超、于馨竹、于灏，王斌教授和水文气象中心的张志远博士。

该论文介绍了地学系耦合器研究组最新研制的水平网格并行三角化算法 PatCC1（三角化是计算机图形学的基础算法，也经常应用于地球系统模式领域），其特色在于：不仅比国际上已有并行三角化算法运行快很多（在相同并行度下），而且同时保证了最好通用性（能处理各种水平网格）和并行一致性（在不同并行设置下的三角化结果完全相同，避免了其他并行三角化算法并行剖分边界拼接的问题）。算法源代码（可通过文中链接下载）已通过了上万个用例的严格测试，具有较大的实用意义。

地学系耦合器研究组从2010年开始专注于地球系统模式耦合器这一关键核心技术的自主研发，于2018年成功研制了国产耦合器版本 C-Coupler2（其论文也发表在 GMD 期刊上）。C-Coupler2 具有完备的功能和相对于欧美耦合器的多项优势，已应用于国家气象中心、国家海洋环境预报中心、国家气候中心、海军、自然资源部第一海洋研究所、中国科学院大气物理研究所、清华大学等科研单位，以及多个国家重点研发计划项目的耦合模式研发。C-Coupler2 被由我国 11 位著名地学科学家所组成专家组评价为“具有国际领先水平”、“使得我国模式发展打破了必须依赖于国外耦合器的不利局面，对推动我国地球系统科学和相关的业务发展具有重大意义”。PatCC1 算法将应用于 C-Coupler 未来版本的研制，进一步改进其中的网格管理和插值功能。

PatCC1 算法的论文发表在 GMD 期刊的模式框架集成与互操作性 (MI3) 专刊上。自2015年以来，该专刊已发表了 9 篇论文，其中 4 篇由地学系耦合器研究组发表。

论文链接：https://www.geosci-model-dev.net/special_issue598.html

一种高效自动并行的模式开发框架 OpenArray

2019年11月12日，地学系黄小猛副教授研究组在地学高影响期刊《Geoscientific Model Development》（GMD）上发表题为“OpenArray v1.0: a simple operator library for the decoupling of ocean modeling and parallel computing”的论文，文章提出一种高效自动并行的模式开发框架 OpenArray（图 12），基于 OpenArray 构建三维海洋模式 GOMO，实现了海洋模式和并行计算的解耦，该工作为海洋模式开发提供了一种新思路。

海洋模式研发是一项复杂的工作，需要研究人员具备扎实的领域知识、数理基础和计算机并行编程能力，而模式并行程序结构复杂，难于编写，而且模式计算平台也日益复杂，如何在多种架构平台（例如 CPU、GPU 和 Sunway）上实现高效模式的开发和应用是模式社区面临的挑战。

本文采用计算中间件的思想，开发自动并行算子库 OpenArray，为模式开发人员提供 12 个简洁且自动并行的基本算子求解偏微分方程，把繁琐的模式并行计算进行封装，达到“方程即代码”的效果。

基于 OpenArray，开发区域海洋模式 GOMO，模式 1860 行代码，支持通用 CPU 和神威平台。经计算图、融核和通信隐藏等多种方法优化后，GOMO 代码能达到与手写 MPI 同等的并行效率，并在神威平台上达到 20 万核的 68% 扩展性能。

地学系黄小猛副教授作为该文第一作者和通讯作者，文章合作者还包括地学系博士生黄兴、王冬、王明清、唐强、陈悦、方正，硕士生吴琦、陈昱文，李熠博士后，杨广文教授和海洋一所的宋振亚研究员。

论文链接：<https://www.geosci-model-dev.net/12/4729/2019/>

地球系统模拟

公共集成地球系统模式模拟结果参加国际模式比较计划



图 12 联合地球系统模式 1.1 版本构架图

清华大学地学系联合国内多家单位，经过多年的发展，于2019年顺利发布了联合地球系统模式1.1版本（Community Integrated Earth System Model, CIESM, 图1, 林岩鑫等2019）并参与第六次耦合模式比较计划。该模式包含多个自主开发或改进的物理方案，如改进的深对流参数化方案、单冰云微物理方案、统计云宏物理方案、四流短波辐射计算方案、次网格地形拖曳方案，海气通量方案、海洋混合方案、新热力学粗糙度方案、海冰侧向融化方案等，以及自主的耦合器（C-Coupler 2），新的共形映射海洋网格，高可扩展海洋正压求解器，新的土壤和土地利用数据，高效陆地碳氮循环模块等。这些工作受到广泛关注，例如C-Coupler2已被国内多家单位采用，高可扩展海洋正压求解器已被美国NCAR最新的模式CESM2.0采用。模式有效提高了热带海洋低云和热带降水的模拟性能，同时在ENSO、东亚季风模拟等方面有显著改进。同时，所有参与第六次耦合模式比较计划的试验都在国产高性能计算机“神威·太湖之光”上完成。我们还在“神威·太湖之光”上建成了支持地球系统模式发展、评估、优化、运行的综合试验平台，包括在线集成耦合和多模式多过程集成耦合平台，并首次实现了百万核规模的全球25公里分辨率全球大气数值模拟。

参考文献：

林岩鑫，黄小猛，梁逸爽，等. 清华大学CIESM模式及其参与CMIP6的方案. 气候变化研究进展, 2019, 15 (5): 545-550

国家重大基础设施 - 地球系统数值模拟装置建设情况

“地球系统数值模拟装置”是“十二五国家重大科技基础设施”之一，在该项目的建设过程中，中国科学院大气物理研究所为项目法人单位，清华大学为项目共建单位。该装置通过配套、硬件、支撑、模式四层面的组合，着力于解决地球系统前沿科学问题及国家重大需求，总体按照“应用驱动、协同设计”的思路，将模式研发及应用、硬件、支撑三者进行统筹考虑，为地球系统科学建设专用的数值模拟装置（图13）。

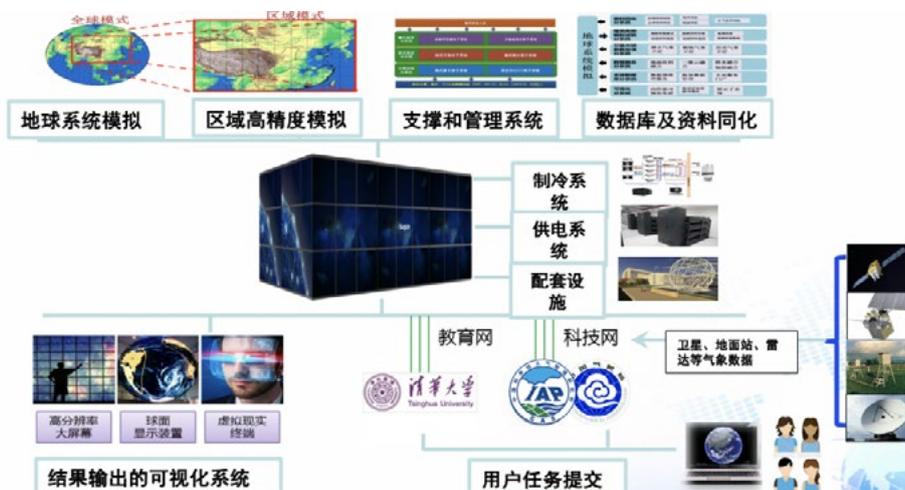


图13 地球系统数值模拟装置总体建设方案

项目建设地点位于怀柔科学城核心区，建筑面积达 2.4 万平方米。项目投资达人民币 12.5 亿元，其中，中国科学院配套 5000 万元，北京市配套 2.5 亿元，其余部分申请国家预算内资金（图 14）。

项目全称	地球系统数值模拟装置 (Earth System Science Numerical Simulator Facility)
项目简称	寰 (EARTH-LAB)
主管部门	中国科学院
共建部门	中华人民共和国教育部
法人单位	中国科学院大气物理研究所
共建单位	清华大学
项目性质	新建
建设地点	密云区西田各庄镇的云西地区
初概批复文号	发改投资〔2018〕1682号
批复规模	项目总投资125521 万元，建筑面积24309 m ²
资金来源	中央预算内投资95521万元，中国科学院建设资金5000万元，北京市建设资金25000万元
开工建设时间	2018年10月
建设周期	4年，2022年11月建成

2017 年 2 月 28 日，项目建议书取得国家发改委批复；2018 年 6 月 14 日，可行性研究取得国家发改委批复；2018 年 7 月 30 日，初步设计方案取得科学院和教育部联合批复；2018 年 11 月 16 日，初步设计概算取得国家发改委批复。

图 14 地球系统数值模拟装置项目基本情况

2019 年，工程经理部对各建设单位的建设内容和职责进行了明确划分，确保任务明确，从组织结构上保证项目的顺利实施。清华大学主要负责：

(一) “超级模拟支撑与管理系统”的建设，系统下设计算封装、模式资源、模式服务 3 个分系统，6 个子系统（图 15），共 274 个模块，建设经费 6428.00 万元；

(二) “面向地球科学的高性能计算系统网络交换分系统”的“高速互联网络子系统”的建设，建设经费 2298.18 万元；

(三) 清华大学与大气所共同负责“区域高精度环境模拟系统”的建设任务，清华大学主要承担该系统的“区域高精度长期气候变化风险模拟分系统”和“中国和全球主要农产区粮食作物旱灾模拟分系统”的建设，建设经费 2301.80 万元。

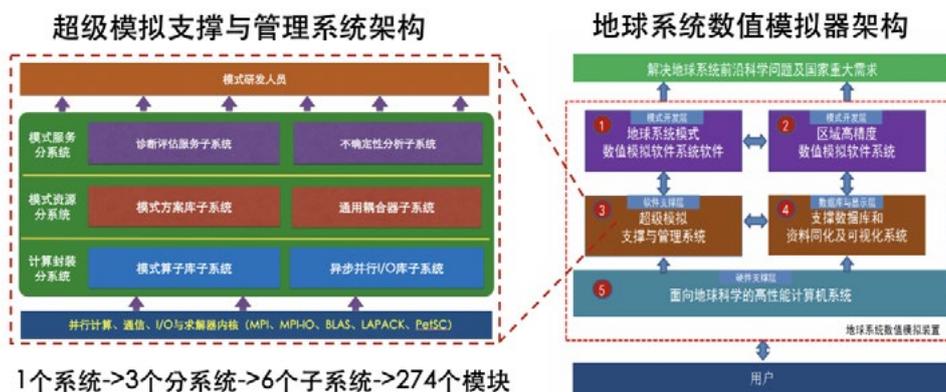


图 15 超级模拟支撑与管理系统的定位与架构

清华大学地学系建设经费共计 1.1 亿元，目前项目已进入全面开工建设阶段。2019 年地学系完成以上所有系统的招投标工作，并完成了“超级模拟支撑与管理系统”全部 6 个子系统的需求调研、功能讨论、技术选型，编制需求分析、详细设计及实施文档。“超级模拟支

撑与管理系统”在算子自动并行、异步 I/O、通用耦合器技术、不确定性分析等关键技术领域取得较大突破，模式算子库子系统、异步并行 I/O 库子系统、通用耦合器子系统模块开发完成近 60%，部分进入单元测试阶段。诊断分析服务子系统、不确定性分析子系统及模式方案库子系统进入编码实现阶段，完成度约 20%。项目的整体设计及开发工作进展顺利。

地球系统管理

全球现有能源基础设施锁定排放威胁 1.5°C 温控目标

2019 年 8 月 15 日，由清华大学地球系统科学系张强教授课题组和加州大学尔湾分校史蒂文·戴维斯 (Steven J. Davis) 副教授组成的国际联合研究团队在《自然》(Nature) 期刊发表题为《现有能源基础设施锁定排放威胁 1.5°C 气候目标》(“Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target”) 的论文，首次全面评估了现有和拟建能源基础设施的“碳锁定”效应，指出现存的高碳设备锁定排放将严重威胁 1.5°C 温控目标，以及全球向低碳社会转型的紧迫性。

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 于 2018 年 10 月 8 日发布《IPCC 全球升温 1.5°C 特别报告》(以下简称《报告》)。《报告》评估了全球地表平均温度升高 1.5°C 可能带来的影响以及实现 1.5°C 温控目标的减排路径，指出如今全球地表平均温度较工业化前水平上升约 1°C，1.5°C 温控目标下全球仅剩余 420-580 Gt CO₂ 的排放空间 (50%-66% 置信区间)，而当前我们一半以上的能源来自从地壳深处提取的化石燃料，化石燃料体系已经深深地根植于社会之中。经济发展过度依赖化石能源，现有的大量高碳排放基础设施在未来的碳排放 (即“锁定碳排放”) 对低碳能源转型构成严重的威胁，阻碍了发展低碳经济的进程。

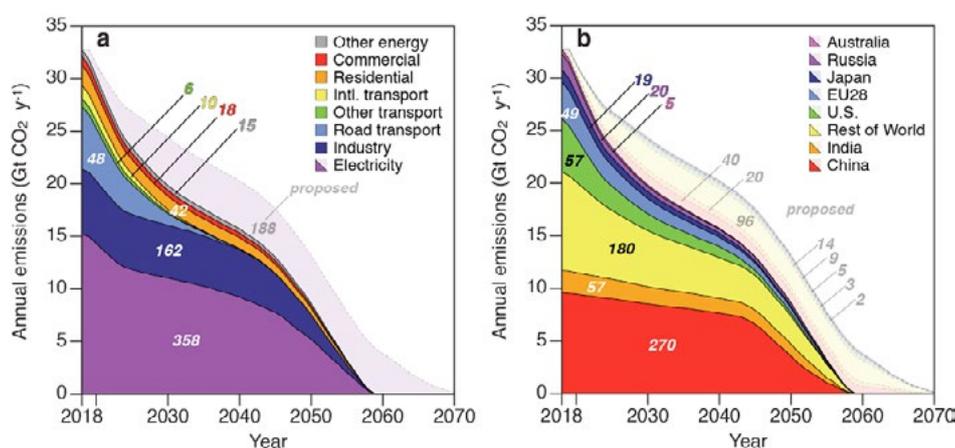


图 16 现有和拟建能源基础设施未来碳排放

针对这一问题，由清华大学和加州大学尔湾分校组成的研究团队在之前建立的全球现有能源基础设施和拟建化石燃料电厂数据库基础上，利用自下而上的排放核算方法量化了现有和拟建能源基础设施锁定的未来碳排放，分析了全球各地区各行业能源基础设施对锁定碳排

放的贡献，测算了未来服役寿命及设备利用率对锁定碳排放的影响，并依据各类设施单位碳排放所对应的资产价值提出了成本最小化的基础设施提前退役方案。

研究发现，如果现有能源基础设施按历史平均服役寿命和设备投运率运行，其在未来将产生的碳排放约为 658Gt，超过 1.5°C 温控目标下的碳排放预算（图 16）。此外，2018 年底前可获得的最优数据显示，全球拟建煤电、气电和油电产能近 1200GW（包含计划新建、已获得许可新建和正在新建的发电机组），如果全部建成并按历史平均服役寿命和设备投运率运行，拟新建机组在未来将额外产生 188Gt 的碳排放，全球现有和拟建能源基础设施合计产生的碳排放约为 846 Gt，大幅超过 1.5°C 温控目标下的碳排放预算。研究进一步量化了现有基础设施的资产价值，提出了成本最小化的基础设施提前退役方案。结果显示，电力和工业基础设施锁定了超过 75% 的碳排放，但其资产价值小于所有现有能源基础设施资产总价值的 25%。因此，如有可利用且价格具有竞争力的零排放技术供选择，成本最小化的基础设施提前退役应当发生在电力和工业领域。

本研究指出了全球应对气候变化的困难与紧迫性，未来必须通过严格限制高碳型能源投资，加快可再生能源发展，缩短现役高碳型能源设备的服役寿命或设备利用率，推广碳捕集技术，从电力、工业、交通和民用等不同行业分别着手，实现快速、深远和前所未有的改变，向绿色低碳发展和清洁能源系统转型，以实现全球温控目标。

清华大学地学系张强教授和地学系访问教授、加州大学尔湾分校副教授史蒂文·戴维斯为论文共同通讯作者，地学系博士毕业生、加州大学尔湾分校博士后同丹为论文第一作者。该研究工作得到了国家杰出青年科学基金项目的支持。

论文链接：<https://www.nature.com/articles/s41586-019-1364-3>

环境变化及其健康效应

2019 年《柳叶刀》健康与气候变化倒计时报告发表

全球顶级医学期刊《柳叶刀》于 11 月 14 日早晨发布了“柳叶刀 2030 倒计时”2019 年人类健康与气候变化报告（以下简称“倒计时报告 2019”）。此报告由清华大学地球系统科学系与全球 30 余家顶尖学术机构合作完成。此报告的北京发布会于 11 月 14 日上午在清华大学地球系统科学系举行。发布会由“倒计时报告 2019”共同主席之一、清华大学地球系统科学系宫鹏教授主持，来自住房和城乡建设部、中国疾病预防控制中心、国家气候战略中心、国家气候中心、能源基金会等单位的领导和专家受邀参加并对报告进行点评。人民日报、新华社、

“柳叶刀 2030 倒计时”是由《柳叶刀》杂志设立的一项跨学科的国际合作项目，旨在动态监测气候变化造成的健康影响，并在人类健康与气候变化领域独立评估各国对《巴黎协定》的履约情况。年度评估报告从 2017 年开始，一直持续到 2030 年。清华大学是“柳叶刀 2030 倒计时”的联合负责单位，有多位学者参与编写年度报告。本次发布的“倒计时报告 2019”由全球 35 家顶尖学术机构和联合国相关组织联合编写，更新了 5 大关键领域、41 项指标的年度数据。

光明日报等十余家媒体出席。

众所周知，人类健康深受气候变化的影响，而应对气候变化可能是 21 世纪最大的全球卫生机会和挑战。“倒计时报告 2019”给出的多个指标表明，全世界继续朝着“基准情景”的路径发展，减缓气候变化行动的成效并不显著。就此，宫鹏教授和清华地球系统科学系蔡闻佳副教授分别对报告中有关全球和中国的主要指标和发现进行了解读。

“倒计时报告 2019”的主要发现：

1. 自 1990 年以来，能源系统的碳强度一直保持不变

2018 年全球二氧化碳排放量仍在继续上升，全世界继续朝着“基准情景”的路径发展。2016 年至 2018 年，来自煤炭的一次能源供应总量增长了 1.7%，逆转了先前的下降趋势。在过去三年内，全球化石燃料消费补贴增加了 50%，2018 年达到近 4300 亿美元的最大值。

2. “基准情景”发展路径下气候变化对人群健康的影响

当下出生的儿童将可能生活在一个比工业化前热 4°C 以上的世界里，他们的婴儿期、青春期、成年期和老年期都将受到气候变化的深刻影响，主要包括粮食产量下降造成的营养不良，腹泻、登革热、弧菌等传染性疾病的传染性增加，空气污染的加剧，极端天气事件的增加以及更大的高温和热浪暴露度等（图 17）。

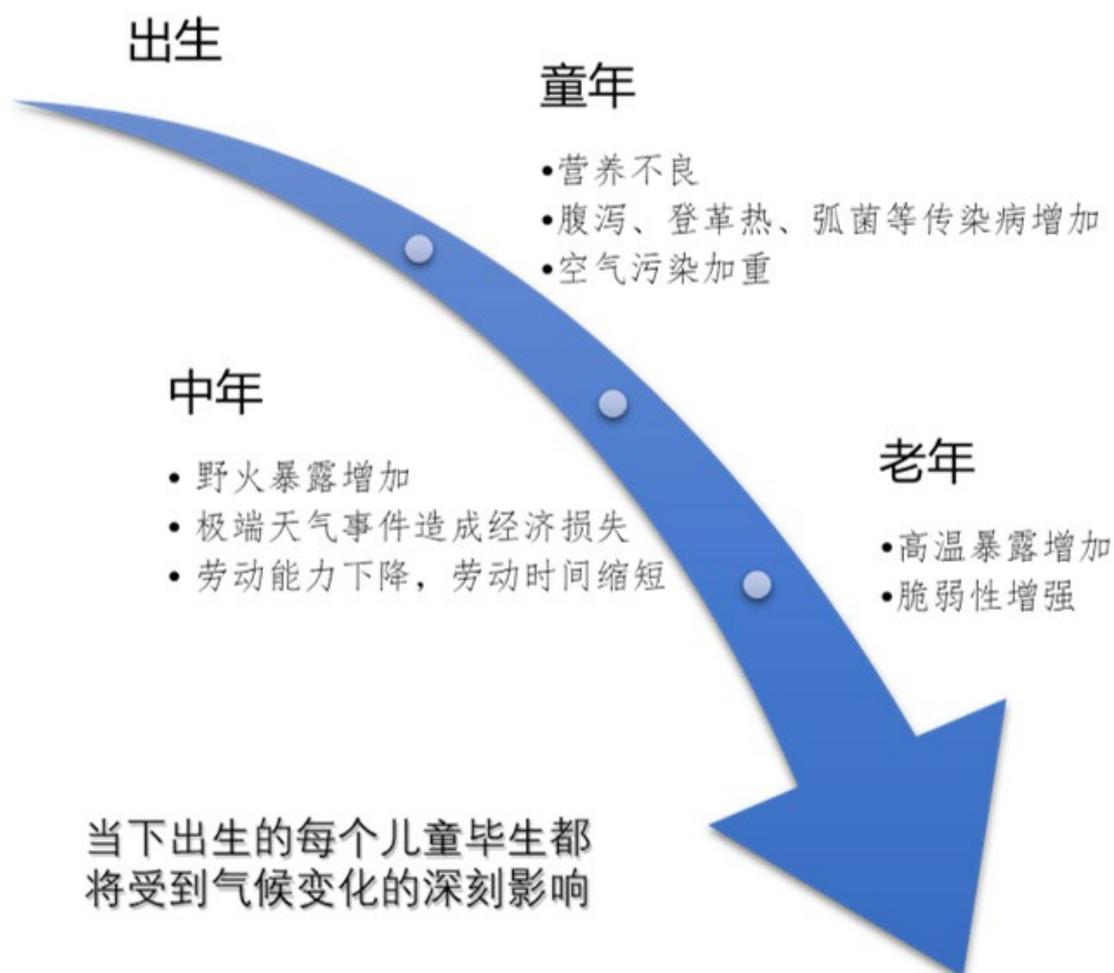


图 17 当下出生的儿童在其不同年龄段可能受到的气候变化对人群健康影响

3. 低碳发展路径下气候变化对人群健康的影响

若实现《巴黎协定》将本世纪全球平均温度上升幅度控制在 2°C 以内的目标，当下出生的儿童在 6 岁和 11 岁之前将分别看到英国和加拿大淘汰所有煤炭；在 21 岁之前看到法国禁售汽油和柴油汽车；到 2050 年他们 31 岁时，全球将实现净零排放。这一低碳发展路径可以带来更洁净的空气、更安全的城市和更多的健康食品，以及对卫生系统和重要基础设施更多的投资，从而会使当下出生的儿童终生的健康水平都比“基准情景”更高。

4. 全球的发展路径可能已经开始转型

尽管 2018 年煤炭使用量有所增加，但中国等主要国家的火力发电占发电总量的比例却持续下降。除此之外，全球可再生能源发电量、电动汽车使用量稳步增长，多地区空气质量得到改善，更多的国家开始努力制定国家卫生适应计划、开展气候变化风险评估。

数字速读：“倒计时报告 2019”的好消息和坏消息

好消息	坏消息
自 2011 年以来新增煤炭产能投资持续下降，主要得益于中印两国的努力	全球 65 岁以上人群受热浪暴露次数新增 2.2 亿人次，创下历史新高
2018 年可再生能源新增装机容量比 2017 年增加了 9%	全球煤炭消费量在前几年短暂下降以后持续反弹。
全球所有碳定价机制的加权碳价格比 2018 年提高了 13%	化石能源燃烧相关的温室气体排放重回上升轨道，相比 2016 年增长 2.6%，距离 2°C 和 1.5°C 目标的减排要求差距巨大。
2016 年交通业人均电力消费比 2015 年增加 20.6%	化石能源消费补贴比 2016 年增幅超过 50%，比 2017 年增加 1/3。

对中国意味着什么？

三个与中国国情密切相关的指标显示：

1. 中国人口对极端高温的脆弱性正在上升

相比 1986~2005 年平均值，2018 年热浪暴露事件（等于热浪天数 * 身处热浪中的人口数）增加了 5210 万人次，儿童、老年人等脆弱人群受到热暴露的威胁日益增加。2017 年在中国 65 岁以上人群中近三分之一受到高温暴露的威胁，这比 1990 年增长 25%。

2. 去煤炭进入平台期

2018 年，中国可再生能源就业人数占全球 43%，中国成为全球最主要的可再生能源就业市场。尽管 2012 年以来煤炭占能源消费的比重仍在持续下降，但中国煤炭消费总量下降的趋势在 2017 和 2018 年发生逆转，分别比上年增长 0.2% 和 1.1%。由于电力需求的快速增长，2018 年发电用煤量也显著增加。

3. 媒体关注不足

媒体报道是公众知晓气候变化带来的健康风险、了解应对措施以及认识减缓健康风险政

策必要性的重要渠道，但中国媒体对气候变化与健康相关议题的报道有待加强。以《人民日报》为例，2008~2018年平均每年关于气候变化的报道数量为2519篇，而其中关注气候变化和人群健康的不到0.6%。

据悉，2017年以来“柳叶刀2030倒计时”报告已在全球范围内获得数十亿次的关注度，被主流媒体广泛报道。此次“倒计时报告2019”发布会，除北京外，还将在柏林、伦敦、巴黎、旧金山和堪培拉等10个主要城市召开。

“柳叶刀2030倒计时”报告的官方网站：www.Lancetcountdown.org

大气污染治理成效评估及健康效益

为改善空气质量，我国政府于2013年发布了《大气污染防治行动计划》（即“大气十条”），其中要求2017年北京市年均PM_{2.5}浓度达到60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。为完成这一艰巨目标，北京市及周边地区先后实施了一系列大气污染控制政策，区域空气质量迅速改善，北京PM_{2.5}年均浓度由2013年的89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降至2017年的58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，实现了国内外普遍认为难以完成的任务。在减排之外，气象条件年际变化对PM_{2.5}浓度也产生重要影响。由于北京市2017年气象条件较2013和2016年相比更为有利，北京PM_{2.5}污染改善过程中“人努力”和“天帮忙”各自起到多大的作用，一直受到政府和公众的广泛关注。

为回答上述问题，清华大学地球系统科学系张强教授研究组、环境学院贺克斌院士研究组和北京市环境保护监测中心组成的联合研究团队在梳理总结北京五年间空气污染治理措施的基础上，耦合排放清单和大气化学传输模型，量化了气象条件变化、周边区域减排以及北京本地各类减排措施对北京市PM_{2.5}浓度改善的贡献。研究成果近日在大气科学领域著名杂志Atmospheric Chemistry and Physics发表。

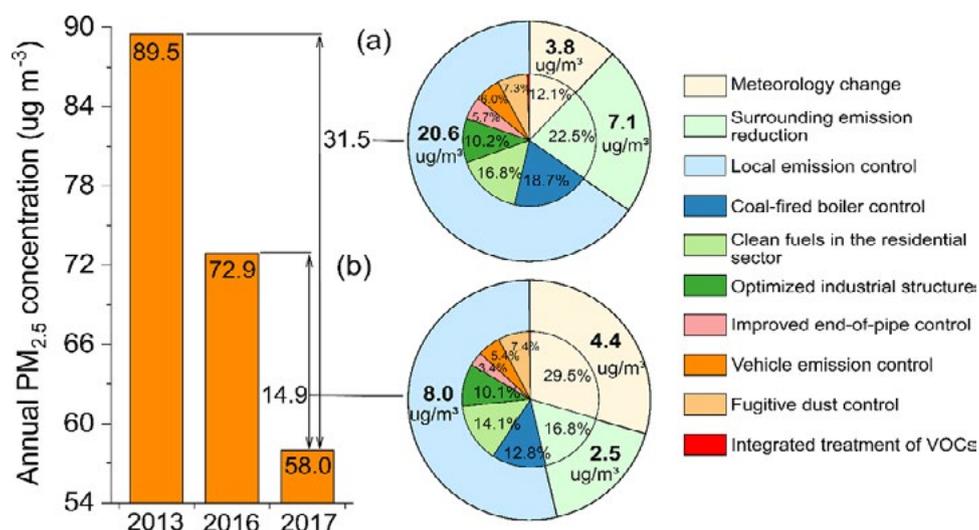


图 18 北京市 PM_{2.5} 污染改善的综合归因分析

研究发现，尽管与2017年气象条件与2013年相比更有利于污染清除，但北京本地和周边区域的减排仍然是PM_{2.5}浓度迅速下降的主导因素。本地减排、周边减排和气象条件变化对北京市2013-2017年间PM_{2.5}浓度下降的贡献分别为65.4%、22.5%和12.1%。在北

京本地各项减排措施中，燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化和产业结构调整是最为有效的三项措施（图 18）。气象条件变化对 2016-2017 年北京 PM_{2.5} 空气质量改善贡献更为显著（约 30%）。如 2017 年的气象条件与 2016 年一致，则北京 2017 年 PM_{2.5} 年均浓度将增加至 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，超过“大气十条”设定的目标值。2016-2017 年间，民用燃料清洁化、燃煤锅炉整治和产业结构调整是三项最为有效的减排措施。

研究系统分析量化了北京 2013-2017 年间空气质量改善的驱动因素，证实了“大气十条”实施带来的减排成效。研究同时指出，随着“大气十条”的实施，北京的主要大气污染源构成已经发生了较大变化，未来应采取更有针对性的减排措施并进一步加强区域协同控制，以实现北京及周边区域空气质量的持续改善。

清华大学地球系统科学系硕士生程静为文章的第一作者，地学系张强教授和北京市环境保护监测中心李金香研究员为文章的共同通讯作者。本研究工作得到了国家自然科学基金委和科技部重点研发计划项目的支持。

原文链接：<https://www.atmos-chem-phys.net/19/6125/2019/>

揭示气候变化对我国未来空气质量和人群健康的影响

2019 年 8 月 12 日，清华大学地球系统科学系张强教授研究组在《美国国家科学院院刊》(PNAS) 在线发表题为《气候变化对中国未来空气质量和人群健康的影响》(“Impacts of climate change on future air quality and human health in China”) 的论文，揭示了未来全球增温背景下气候变化对我国细颗粒物 (PM_{2.5}) 和臭氧污染的影响及相应的健康损失。

近年来我国多地出现雾霾天气，空气污染及由此造成的健康损害引起了社会各界的广泛关注。为打赢蓝天保卫战，政府实施了一系列污染治理措施，以期通过污染物减排改善空气质量。然而在大气污染物排放之外，空气质量也受到气象条件变化的影响。在气候变化背景下，未来不利气象条件出现的频率可能会增加，进而导致空气质量恶化并影响人群健康。

针对这一问题，张强教授研究组领导的国际联合研究团队通过耦合全球气候模式、区域空气质量模型和健康效应模型，定量评估了 2050 年全球气候变化对我国空气质量和人群健康的影响（图 19）。研究发现气候变化可能对我国绝大多数人口居住地区的空气质量产生不利影响，在典型浓度路径 4.5 (RCP4.5) 情景下，到本世纪中叶，气候变化将使我国 PM_{2.5} 和臭氧的人均暴露浓度增加 3%-4%。在假设我国未来排放和人口分布保持不变的情况下，气候变化引起 PM_{2.5} 和臭氧浓度升高所导致的过早死亡人数将每年增加 2 万人左右。而随着未来人口老龄化的加剧，这一过早死亡人数还将进一步上升。

研究发现极端气候事件（如静稳天气和热浪等）是气候变化影响我国空气质量尤其是重污染事件的重要机制。未来气候变化可能导致极端气候事件增多，进而加剧我国冬季重霾天气以及夏季臭氧污染事件发生的频率。空气重污染事件是公众和决策者关注的焦点，因此在气候变化背景下我国的空气质量管理将面临新的挑战。未来我国应当加强空气污染与气候变化的协同治理，实现减缓气候变化与改善空气质量的双赢局面。

清华大学地学系张强教授、德国波茨坦气候影响研究中心汉斯·约翰·尚胡贝尔 (Hans Joachim Schellnhuber) 教授为论文共同通讯作者。张强教授团队博士生洪朝鹏（现为美国加州大学欧文分校博士后）为论文第一作者，美国北卡州立大学张阳教授、美国加州大学欧

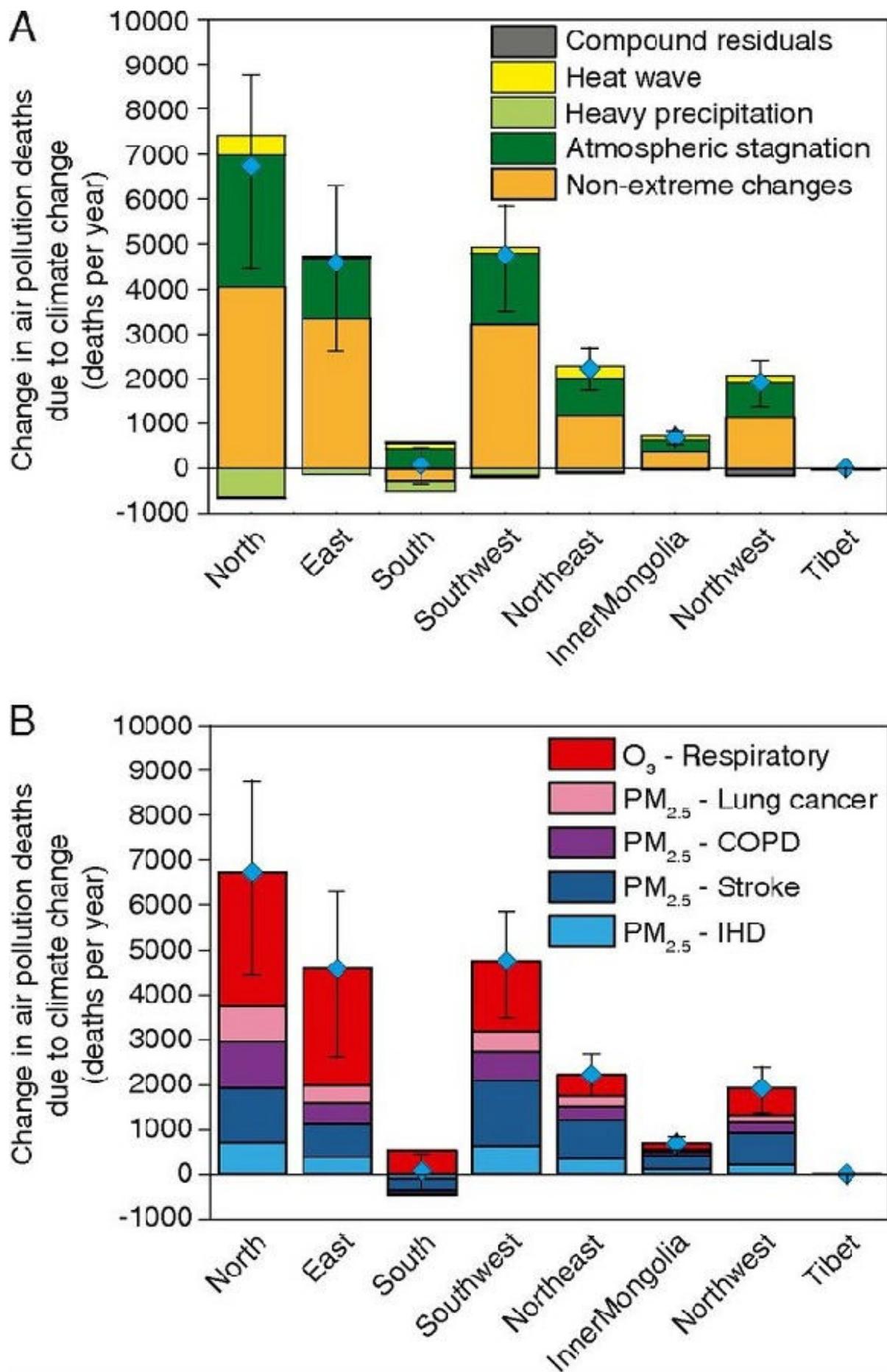


图 19 2050 年 RCP4.5 情景下气候变化引起中国地区 PM_{2.5} 和臭氧浓度升高所导致的健康影响

文分校史蒂文·戴维斯 (Steven Davis) 副教授、地学系关大博教授、刘竹副教授、环境学院贺克斌院士为论文合作者。该研究得到了国家重点研发计划项目和国家自然科学基金委的支持。

原文链接: <https://www.pnas.org/content/early/2019/08/06/1812881116>

不同地区减排相同量的二氧化碳带来的健康协同效益存在差异

2019年7月16日,地学系硕士生曹超纪作为第一作者,导师蔡闻佳作为通讯作者,在期刊《应用能源》《Applied Energy》上发表题为“*Incorporating health co-benefits into regional carbon emission reduction policy making: a case study of China's power sector*”的研究论文。文章合作者还包括地学系白玉琪副教授、崔学勤博士后、博士生邓铸。文章指出不同地区减排相同量的二氧化碳带来的健康协同效益存在差异,并给传统意义上的减排决策依据选择提出了新的建议——碳减排决策应该考虑公众健康。

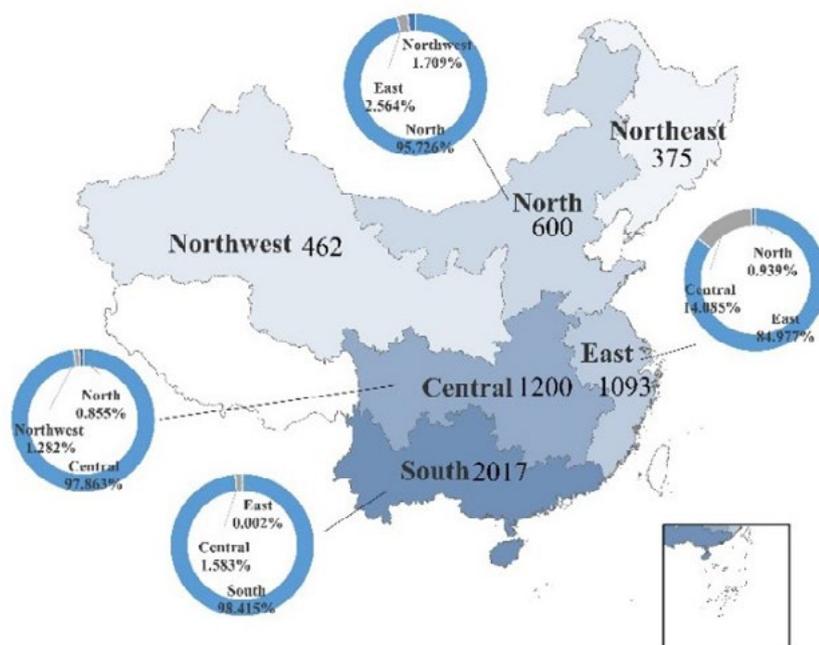


图 20 中国六大电网 CO₂ 边际运行排放因子、每千吨 CO₂ 协同减排率、每千吨 CO₂ 货币化健康协同效益及其构成

目前,虽然国家已对电网进行了区域划分,但这并不表示电网之间的运行是彼此独立的(图 20)。中国电力普遍存在跨区传输现象,且跨区输电的比例正在逐年提高,这使得电力与健康相关度的衡量变得极其复杂。另外,电网中的电是混合电,是将火力、风力、水力、潮汐能等不同发电方式产生的电能放在一个电网里,导致使用者无法区分来源。这意味着,如果一个电网采用清洁能源替代火力发电,其减排和健康影响既发生在本地,也发生在进口电的发电地,这更增加了量化健康协同效益的难度。

为此，研究利用“排放量计算——污染浓度模拟——健康物理量计算——健康货币量计算”的研究链条，在排放量计算中通过使用清洁发展机制中的电力行业“运行边际”概念，来计算一度清洁能源发电所替代的碳排放和大气污染物排放。

研究发现，不同电网减排相同量的二氧化碳，其健康效益不同，差距甚至可达 5 倍。同时，碳排放强度和污染物协同减排率最高的地区并不一定是健康效益最大的地区，比如东北电网虽然有最高的氮氧化物和 PM2.5 的协同减排率，但是健康协同效益最大的却是南方电网，主要原因是后者的人口密度更高。此外，因为电网中“混合电”的存在，研究通过分解每个地区减排相同量二氧化碳的健康效益构成证实，某个地区实施碳减排，不仅可以影响本地健康效益，还能影响其他地区的健康效益，其中华东电网的健康效益转移效应最高，达到 14%。

文章发表后，《中国科学报》主动对此研究进行报道，并邀请北京师范大学经济与资源管理研究院崔琦博士对文章发表评论。崔琦博士认为此项研究能够将分散在不同部门的决策相互关联、为制定更严谨、更全面的政策提供科学支撑，有望事半功倍地实现节能减排的最大效益。新闻稿发表在 8 月 5 日的《中国科学报》上。

该研究工作得到了国家重点研发项目、国家自然科学基金、及国家电网公司科技项目的支持。

论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113498>

进口农产品能够减缓中国和环境压力

2019 年 9 月 20 日，地学系博士生黄国锐在《环境研究通讯》(Environmental Research Letter) 发表题为《中国农业进口以满足国内饮食需求的环境和社会经济因素权衡》(The environmental and socioeconomic trade-offs of importing crops to meet domestic food demand in China) 的论文，探讨中国农业贸易在环境社会经济影响下的新视角。

随着全球人口不断增长，满足人们饮食需要是当今世界面临的重大挑战。中国拥有占世界 22% 的人口，但仅有 7% 的全球耕地面积。为提高农作物产量，很多国家广泛使用化肥，但却造成了较为严重的环境问题。随着中国经济和社会快速发展，人们的饮食结构发生巨大的变化，中国逐年增加农产品进口以满足人们日益增长的饮食需求，日益增长的农业贸易对中国和全球也产生了不同的影响。

针对这一问题，黄国锐等人通过整理和分析 1986-2015 年中国农作物消费和全球农业贸易数据 (图 21)，科学定量的评估农产品进口对于中国和全球社会经济环境的影响。研究发现农作物进口能够缓解中国和全球尺度的氮污染和土地使用压力，但却使中国农产品供应面临不稳定双边贸易的风险。研究还发现，随着中国环境破坏成本的增高，农作物进口将大大减缓国内因环境破坏造成的经济代价。

本文首次提出了“可替代”氮和土地的概念，即如果中国必须在国内生产这些进口农作物，需要付出的环境和土地的代价，旨在量化农作物进口对于中国国内生产的影响。由于中国农产品的氮利用效率和产量一般比进口国低，因此“可替代”氮和土地比进口国的实际值要高，进口农产品能够减缓中国和环境压力。另外，本文还基于当前的消费结构，探讨通过调整贸易组合减缓氮污染的潜力，结果发现通过调整国内生产与国际进口的农业品种组合能

够一定程度上减缓环境污染。

本研究得到了清华大学海外辅导员研究项目支持。

原文链接：<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab3c10>

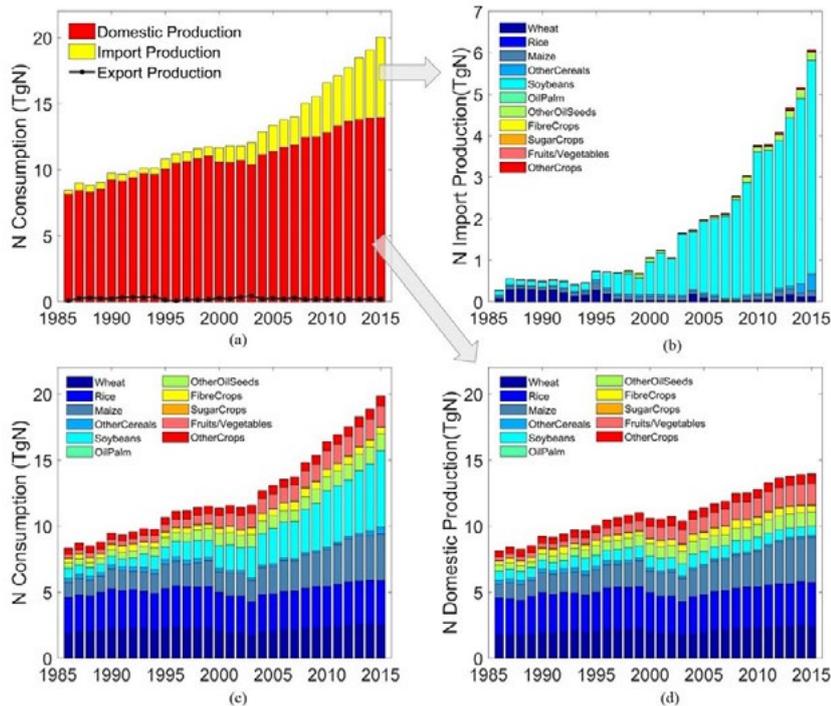


图 21 1986-2015 年中国农作物氮消费变化

提出基于网络分析的迁徙鸟类栖息地优先保护策略

2019 年 8 月，地学系宫鹏、司亚丽研究小组在保护生物学领域顶级期刊《Conservation Biology》上在线发表了题为“A network approach to prioritize conservation efforts for migratory birds”的研究论文，提出了基于网络分析的迁徙鸟类栖息地优先保护策略。

栖息地丧失导致的迁徙鸟类繁殖地和非繁殖地隔离会引发迁徙网络的瓦解。理论上，取决于该栖息地在迁徙廊道里的重要性，不同栖息地节点的丧失会对迁徙网络造成不同的影响。有的节点丧失导致种群数量下降，有的甚至导致物种灭绝。但目前对迁徙网络连通性以及栖

息地丧失对迁徙网络影响的理解还不完善，对栖息地的优先保护还停留在依据单一栖息地本身特征阶段。

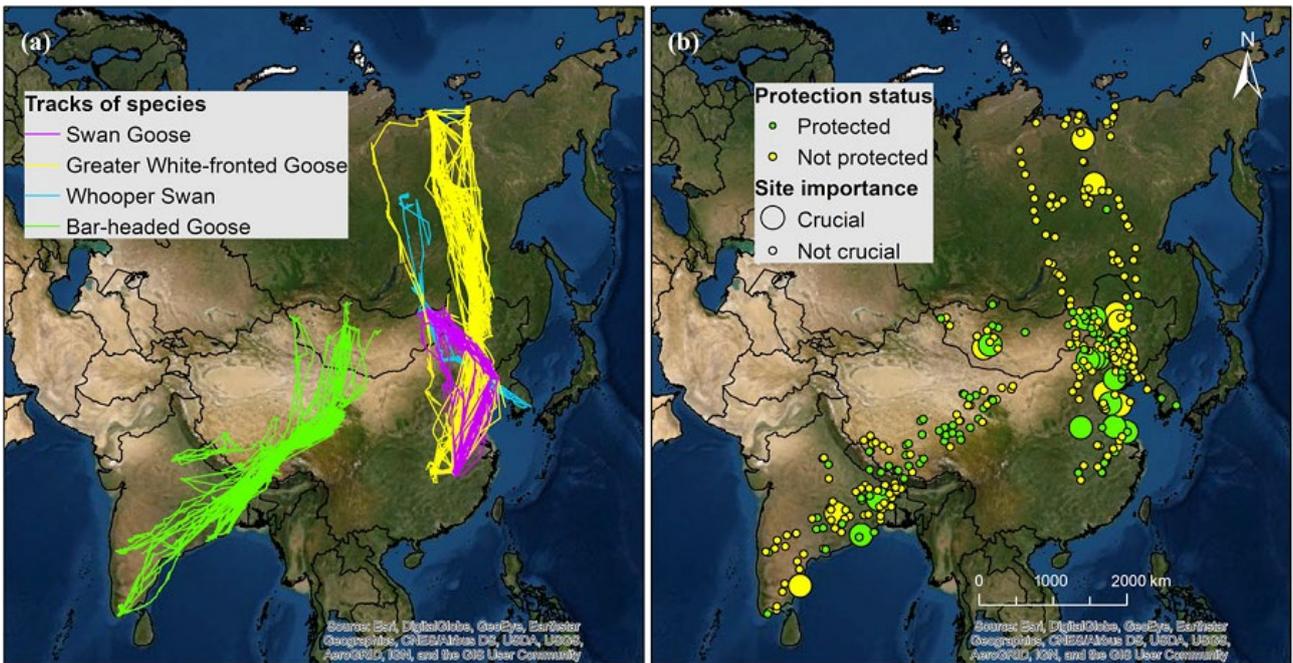


图 22 卫星追踪东亚水禽迁徙路线 (a) 及重要停歇地分布和当前保护状况 (b)

本研究基于东亚东澳大利亚和中亚迁徙路线上 4 种迁徙鸟类物种的 GPS 追踪数据，分别构建了迁徙网络，并提出了基于栖息地丧失和网络指标来衡量迁徙物种迁徙网络连通性的方法体系。研究组通过节点去除法来量化各个停歇地对迁徙网络阻力的影响，结合栖息地丧失和当前保护状况来识别需要优先保护的停歇地。

研究组发现，依据栖息地丧失程度由高到低的顺序去除栖息地，迁徙网络阻力的增加趋势与随机去除栖息地结果基本一致。而如果依据栖息地节点的中间值（表征通过该节点的最短路径数量）由高到低的顺序去除栖息地节点，迁徙阻力则呈现快速上升。具有较少停歇地的迁徙网络通常受栖息地丧失的威胁更严重。在基于栖息地节点对迁徙网络连通性的贡献和节点的脆弱性（栖息地退化程度）识别的关键栖息地中，42% 的栖息地处于非保护地状态（图 22）。研究建议设定栖息地优先保护级别时需要考虑该栖息地在迁徙网络中的位置和作用，而不是仅依据该栖息地的本身特征。本研究提出的栖息地网络连通性评价体系为迁徙物种栖息地优先保护提供了重要理论和方法依据。

本论文第一作者为清华瓦赫宁根大学联合培养博士生徐燕洁，通讯作者为清华地学系司亚丽副教授，合作者包括地学系宫鹏教授，瓦赫宁根大学 de Boer 副教授、Prins 教授和殷胜来博士，代尔夫特理工大学刘强及美国地质调查局 Takekawa 研究员和 Prosser。

原文链接：<https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cobi.13383?af=R>

清华大学中国城市研究院牵头完成住房和城乡建设部第三方城市体检工作

清华大学中国城市研究院（下简称“中国城市研究院”）是校级虚体科研机构，委托方为住房和城乡建设部，挂靠地球系统科学系，共建院系为社科学院、建筑学院、土水学院、经管学院和公管学院。

住房和城乡建设部为了加快转变城市建设方式，促进城市高质量发展，在2019年成立了城市体检专家指导委员会，中国城市研究院院长宫鹏教授担任副主任委员。沈阳、南京、福州、厦门、广州、海口、长沙、成都、景德镇、西宁、遂宁等11个城市参加了城市体检试点工作。

中国城市研究院积极协助住房和城乡建设部，制定了包含8个方面36项城市体检的指标体系。此外，按照住房和城乡建设部安排，中国城市研究院组建了城市体检第三方评估团队，包含清华海峡研究院、百度、高德、东方至远、数城未来、英视睿达、易观、龙信、智库2861、犇数科技等大数据企业。第三方评估团队经过5个月的紧密合作，围绕城市的生态、交通、舒适、包容、安全、特色、活力等评估内容，完成了第三方指标体系的制订、指标数值计算、试点城市分报告和总报告的编写工作。

住房和城乡建设部在2019年10月24日上午召开了城市体检工作总结会，通报了11个城市体检试点进展。中国城市研究院介绍的第三方评估的详细结果，有力地支撑了各个试点城市全方位认清自身的长处和短板。第三方评估团队所提出的建成区面积、人口密度、公园绿地服务半径覆盖率、节假日外地游客量、交通健康指数、高延时运行时间占比、高峰行程延时指数、高峰拥堵路段里程比、常发拥堵路段里程比等指标的测算方法和结果得到了专家指导委员会的认可。

住房和城乡建设部在2020年将扩大城市体检评估试点范围，逐步建立“一年一体检，五年一评估”的城乡建设管理新制度。中国城市研究院将发挥自身优势，继续全力支持住房和城乡建设部的城乡建设管理及信息化工作，为部CIM平台建设、城市体检第三方评估等工作贡献力量。

机构建设与影响

成为地球联盟首批机构会员

10月11日，清华大学地球系统科学系与地球联盟（Earth League）签署合作备忘录，成为该联盟第一批单位会员。地球联盟是由来自世界一流研究机构的杰出科学家自愿组成的国际联盟，旨在全球变化研究领域开展科研合作，共同努力研究应对当今人类面临的最紧迫问题，如气候变化、自然资源枯竭、土地退化以及水资源短缺等。地球联盟的研究重点是应对全球变化和可持续发展，侧重解决人类过度开发、破坏地球资源而造成的种种问题。地球联盟的目标是通过提供可靠的科学数据和各类信息，为决策者提供解决可持续性问题的多种选择。地球联盟的第一批会员单位还包括美国亚利桑那州立大学的全球变化实验室、德国赫尔姆霍尔茨-曾特鲁姆-吉萨赫特（GERICS）、日本全球环境战略研究所（IGES）、奥地利国际应用系统分析研究所（IIASA）、德国波茨坦气候影响研究所（PIK）、瑞典斯德哥尔摩可恢复力研究中心和英国埃克塞特大学全球系统研究所等。

地学系担负着围绕全球变化研究建设发展清华地学学科的任务，成为地球联盟第一批单位会员，将有益于地学系同世界顶尖地球科学研究机构开展交流合作，进而促进清华地学学科发展。

宫鹏入选世界地球委员会

2019年11月19日，世界地球委员会宣布新当选的联合主席和委员名单。委员会由来自13个国家的19名科学家组成，清华大学地学系宫鹏教授当选委员。荷兰阿姆斯特丹大学的乔耶塔·古普塔、德国波茨坦大学的约翰·罗克斯特罗姆和中国科学院秦大河院士共同担任世界地球委员会联合主席。

地球委员会是由未来地球组织（Future Earth）召集世界顶尖科学家组成学术机构。委员会的任务是综合最新科学技术，深入研究地球土壤岩石圈、水圈和生物多样性，发现调节地球稳定的生物物理过程的深层次规律，实现保护地球生命支撑系统的目标，并探讨实现这一目标而需要进行的社会改革。

地球委员会将构建并补充现有国际组织的评估系统，例如由联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）和联合国政府间生物多样性与生态系统科学政策平台（IPBES）主导进行的评估。

此前，宫鹏教授于2018年成为新组建的由世界科学理事会、联合国环境署等发起的未来地球国际组织（Future Earth）的顾问委员会成员，是14名顾问中的唯一中国学者。

刘竹获得求是杰出青年学者奖

2019年9月21日晚，“2019年度求是奖颁奖典礼”在清华大学蒙民伟音乐厅隆重举行（图23）。清华大学地球系统科学系刘竹副教授获2019年度“求是杰出青年学者奖”。

2019 年度“求是杰出青年学者奖”分别授予北京大学郭帅，南方科技大学李贵新，清华大学刘竹、彭敏、王朝，上海交通大学卢策吾，西湖大学石航，中山大学苏士成，南京大学王肖沐、袁洪涛，中国科学技术大学姚星灿，浙江大学周青共计 12 位青年科学家。每位获奖者将获得一枚金质奖章，以及连续三年、每年三万美元的支持。

“求是科技基金会”由查济民先生及家族于 1994 年在香港创立，基金会的主要目的是通过奖助在科技领域有成就的中国学者，推动中国科技研究工作的发展。1994 至 2019 年，共有 358 位在数学、物理、化学、生物医学及工程信息等科技领域中有杰出成就的中国科学家获得基金会奖励。其中“求是终身成就奖”2 位、“杰出科学家奖”31 位、“杰出青年学者奖”192 位、以及“杰出科技成就集体奖”133 位（涉及 16 个重大科研项目，如青蒿素、人工合成牛胰岛素、塔里木盆地沙漠治理、铁基超导、神舟飞船等）。

“求是终身成就奖”，授予具有“无可争议的学术成就，高山仰止的科学精神，悲天悯人的人文情怀”的科学家。

1995 至 2001 年间，基金会设立了“求是杰出青年学者奖”。为支持国内高校与海外机构竞争吸引最顶尖的人才，以及扶持刚开展独立科研事业之优秀青年学者，求是科技基金会于 2013 年启动新的“求是杰出青年学者奖”项目，致力为中国未来 20 年的科技事业发展培养领袖之才。新的求是杰出青年学者奖聚焦于自然科学或工程技术领域展现巨大潜力的青年学者，结合学校为引进人才提供的配套支持条件。在评奖机制上，新的“求是杰出青年学者奖”也引进了与国际水平一致的做法。



图 23 2019 年度求是奖颁奖典礼

刘竹简介：

刘竹，清华大学副教授，博士生导师，哈佛大学兼职研究员。2007 年本科毕业于西北大学地质学基地班，2009 年硕士毕业于中国农业大学资源与环境学院，2012 年作为联合培养博士生在剑桥大学学习，2013 年博士毕业于中国科学院大学，2013 至 2015 年在哈佛大学从事博士后研究，2015 至 2017 年在加州理工学院 / 美国航空航天局喷气推进实验室从事

博士后研究，2017年在英国丁铎尔气候变化研究中心任助理教授，同年在哈佛大学贝尔弗科学研究中心任兼职高级研究员，于2018年获得国家海外人才项目支持在清华大学地球系统科学系任副教授，博士生导师。

刘竹的研究着眼于地球系统与全球变化等交叉学科的关键问题。其研究发表为 Nature 论文 5 篇，Nature 子刊论文 13 篇，PNAS 论文 2 篇，Science Advances 论文 1 篇。20 篇论文入选 ESI 高被引论文，2 篇论文入选《中国百篇最具影响力学术论文》（2018），论文总引用次数 6000 余次。获得 2018 年科睿唯安全球高被引科学家奖，德国联邦科教部绿色精英奖、中国科学院院长特别奖、中国科学院百篇优秀博士论文，博士论文获 Springer 全球优秀博士论文奖并被出版为英文独著。

东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站”获教育部批准建设

依托清华大学地球系统科学系（以下简称地学系）申请的“东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站”，经过前期单位申报、学校推荐、可行性论证、专家评审及答辩等环节，于 9 月 18 日正式获得教育部批准建设。。



图 24 为当前野外科学观测研究站场地及设施条件

根据申报计划书，该野外科学观测研究站的主要任务和目标是：以东亚迁徙鸟类生态监测和保护为特色，构建相关的全国性地理、生态、环境、健康、经济、计算机等各领域数据

的天空地一体化生态网络监测体系；构建可共享、可视化的数据平台；提出关系到东亚迁徙鸟类种群健康发展的湿地保护、恢复、修复及禽流感病毒传播预警的新思路、新理论、新方法、新技术，成为有影响的科普平台；为我国迁徙鸟类保护、湿地保护国际履约以及生态文明建设提供重要的观测数据，以期更好地保护迁徙鸟类，减少禽流感等危害人禽健康，有效支持健康中国、美丽中国建设，支持联合国可持续发展目标。

该野外科学观测研究站目前拥有完善的鄱阳湖湖心站和湛江高桥红树林辅助站，都可进行数据远程监测、数据展示和分析（图 24）；掌握 10 余套典型连续 5 年以上观测的基础数据，404 万余条记录的中国县域鸟类分布数据库，鸟类迁徙跟踪研究在线数据库以及全球社会经济和土地利用变化数据集。研究团队已发表相关研究领域高质量论文几十篇，还建立了广泛的国内外合作研究基础（图 25）。

该野外科学观测研究站将从如下四个研究方向开展工作：鸟类观测和栖息地土地利用变化，湿地生态学，禽流感和其他鸟传疾病的流行病学以及迁徙鸟类气候学。

该野外科学观测研究站的建设和运行，将有力推动清华大学地学系生态学科有关科研和社会服务能力的提升；有利于加强与校内外生态领域相关研究团队的交流与合作，培养优秀的科研人才；提升我国生态学领域的国际影响力；并为清华大学更好地服务于国家生态文明建设提供平台。



图 25 研究站站长宫鹏在观测场接受央视“生活在 2050”节目组现场采访

自然科学基金委创新群体

地学系新立项成功基金委创新团体项目，由张强老师牵头，项目名称是《大气成分变化及气候环境影响》，项目经费 1000 万元。

本群体是伴随着清华大学地学学科的复建过程，在学科建设和合作研究中自然形成和

发展起来的。群体学术带头人为张强，学术骨干为罗勇、关大博、林岩 鑫和刘竹。群体平均年龄 43 岁，是一支以青年科学家为主体、年龄梯次结构合理的研究队伍。在学科建设过程中，群体骨干通过密集的学术交流与合作不断凝练协调研究方向，逐渐围绕大气成分排放变化及气候环境影响这一重大科学问题，形成了结构合理、方向交叉、合作密切的研究群体。群体骨干具备自然科学和社会科学深度交叉融合的学科背景，研究领域之间具备很强的互补性。群体近年来合作开展的研究则完全突破了传统的学科划分，建立了综合大气科学、环境科学、产业生态学、经济学等多学科集成的研究框架，取得了一系列创新性成果。

群体近五年共发表 SCI 论文 203 篇，其中发表在 Nature、Lancet、Nature 子刊、Science 子刊及 PNAS 的研究论文 32 篇，政策评论文章 3 篇，全部论文近五年他引 12896 次。近五年发表的论文中，30 篇入选 ESI“高引用论文”，6 篇入选 ESI“热点论文”，3 篇入选“中国百篇最具影响国际学术论文”。群体三名骨干入选科睿唯安 2018、2019 年全球高被引科学家。

成立全球制图与应用伙伴计划



图 26 成立全球制图与应用伙伴计划

全球制图与应用伙伴计划 (GMAP) 由清华大学地学系教授宫鹏、美国地质调查局陆地碳计划首席科学家朱智良博士和谷歌工程师尼古拉斯克林顿 (Nicholas Clinton) 博士联合发起，旨在吸引世界各地学者的参与工作、建立全球伙伴关系，营建全球土地覆盖图研究和应用的高级别的交流平台，逐步实现样本数据和其他数据的共享，加强与相关机构的合作，争取各类资源支持高精度全球制图及应用研究，联合发表更有影响力的科学成果。

全球制图与应用伙伴计划 (GMAP) 第一次会议于 2019 年 2 月 21 日 -22 日在美国谷歌公司总部召开 (图 26)；第二次会议于 2019 年 5 月 4 日在清华大学举行。会议的召开，进一步推进全球变化监测领域的合作交流与数据共享。

中国基本城市土地利用类型制图委员会

“中国基本城市土地利用类型制图委员会”是由清华大学城市研究院和地球系统科学系牵头、联合国内近 50 家单位共同组成。开启了清华大学中国城市研究院与各高校、科研院所联合研究的新模式，这也是在没有相关科研项目、没有专项经费支持的背景下，全国范围内多单位快速合作的一次尝试。在清华大学中国城市研究院宫鹏教授的倡议和召集下，目前已有近百位土地利用专家学者加入中国基本城市土地利用制图委员会。该委员会已于 2019 年 7 月、9 月和 12 月，分别在北京、深圳、上海召开了三次工作会议（图 27），并且计划于 2020 年 6-7 月在青岛召开第四次会议，旨在推动联合开展全国城市土地利用制图工作，全面提取中国城市基本土地利用类型，为国家高质量城市体检、城市管理和国土空间规划等提供更加精细的数据支持，未来将致力于持续深入推进全国乃至全球的城市土地利用制图研究。



图 27 中国城市土地利用制图委员会第二次会议参会委员合影



清华大学地球系统科学系

Department of Earth System Science, Tsinghua University

主办：清华大学地球系统科学系/全球变化研究院 办公室

主编：宫鹏 罗勇

编辑：白玉琪 黄小猛 林岩鑫 武海平 付美娟 李娟 刘晓婷 支剑元

电话/传真：(010) 6277 2750/ (010) 6279 7284

电子邮件：dess@mail.tsinghua.edu.cn

办公地址：北京市海淀区清华大学蒙民伟科技大楼南楼801、803、805室，邮编：100084

Department of Earth System Science / Institute for Global Change Studies Tsinghua University

Tel /fax: +8610-6277 2750 / +8610-6279 7284

Email Address: dess@mail.tsinghua.edu.cn

Office Address: Room S801, S803, S805 Mengminwei Science and Technology Building.

Tsinghua University, Haidian, Beijing, 100084, China