

能源技术创新政策研究组

哈佛中国碳排放 报告 2015

刘竹



HARVARD Kennedy School

BELFER CENTER for Science and International Affairs

2015年5月



能源技术创新政策研究组

哈佛中国碳排放 报告 2015

刘竹



HARVARD Kennedy School

BELFER CENTER for Science and International Affairs

2015年5月



Belfer Center for Science and International Affairs

Harvard Kennedy School

79 JFK Street

Cambridge, MA 02138

Fax: (617) 495-8963

Email: belfer_center@harvard.edu

Website: <http://belfercenter.org>

Design & Layout by Andrew Facini

Cover photo: Houses and high-rise buildings are vaguely seen in heavy smog in Taizhou city, east China's Zhejiang province, 11 January 2015. (AP Images)

Copyright 2015, President and Fellows of Harvard College

Printed in the United States of America

能源技术创新政策研究组

能源技术创新政策研究组（ETIP）隶属于哈佛大学肯尼迪学院贝尔弗中心下属的科学、技术及公共政策研究项目（STPP）和环境与自然资源研究项目（ENRP）。

能源技术创新政策研究组致力于推进清洁、高效的能源技术以应对人类环境问题与可持续发展挑战。能源技术创新研究组的工作覆盖全球多个国家和地区，包括美国、中国、印度、欧洲、中东地区、北非以及巴西等。

详细内容可见网站 www.belfercenter.org/energy

或联系项目管理员 Karin Vander Schaaf (karin_vander_schaaf@hks.harvard.edu)

地址为 ETIP, Harvard Kennedy School, 79 JFK Street, Cambridge, MA 02138 USA.

可持续科学项目

哈佛可持科学项目（SSP）致力于促进人类可持续发展的科学理论与实践。可持续科学项目覆盖全球的绿色科技创新、能源与水资源利用、可持续农业、应对气候变化等一系列重要议题。

详细内容可见网站<http://www.hks.harvard.edu/centers/mrcbg/programs/sustsci/about-us>

或联系项目联合主任 Nancy Dickson (nancy_dickson@harvard.edu)

地址为Sustainability Science Program, Harvard Kennedy School, 79 JFK Street, Cambridge, MA 02138 USA.

本报告可在下列机构获得：

哈佛可持科学项目（SSP） <http://www.hks.harvard.edu/centers/mrcbg/programs/sustsci/documents/papers/2015-02>

能源技术创新研究组（ETIP） <http://belfercenter.org/publication/25417>

报告作者欢迎您提出宝贵意见，请联系：

zhu_liu@hks.harvard.edu 或 liuzhu@iae.ac.cn

作者信息

刘竹博士是哈佛大学Giorgio Ruffolo学者，隶属于哈佛大学肯尼迪学院可持续科学项目和能源技术创新政策研究组。刘竹的研究关注于人类系统的碳排放及环境影响，尤其是国家和区域的碳排放核算。刘竹本科毕业于西北大学（中国）地质系，硕士毕业于中国农业大学资源与环境学院，在中国科学院（CAS）与英国剑桥大学攻读博士，并获得中国科学院博士学位。刘竹是中国科学院院长特别奖与百篇优秀博士论文获得者，在《自然-气候变化》、《美国科学院院刊》等学术杂志发表多篇论文，曾受邀《自然》杂志发表专题评论《中国低碳发展路线图》。

致谢

本研究工作获得哈佛大学肯尼迪学院可持续科学项目和能源技术创新研究组的支持，特别感谢意大利环保部为研究提供经费支持。

报告作者感谢Laura Diaz Anadon教授和Patricia McLaughlin女士为本报告提供建议与编辑。

本报告中的观点仅代表作者本人。报告中的资料数据可公开下载并用于非商业目的使用，使用本报告的数据或内容请著明引用出处。

目录

1. 中国1950年至2012年的碳排放.....	2
2. 人均碳排放及碳排放强度.....	5
3. 中国碳排放的区域差异.....	9
4. 国际贸易中的碳排放转移.....	12
5. 碳排放核算方法.....	14
参考文献.....	15

报告原文为英文，引用本报告请注明来自：

Zhu Liu. 2015. “China’s Carbon Emissions Report 2015.” Sustainability Science Program and Energy Technology Innovation Policy research group, Belfer Center Discussion Paper #2015-02. Harvard Kennedy School of Government, Cambridge, MA.



兴业银行

贡献林

华泰

摘要

中国是目前世界上碳排放量最大的国家。2012年中国的碳排放量达85亿吨二氧化碳，占全球总量的25%，从1950年至2012年，中国累计排放了1300亿吨二氧化碳。中国碳排放的规模及快速增长使中国成为全球碳减排和低碳发展的热点地区。本报告基于独立数据分析中国1950至2012年期间的碳排放，为中国碳减排与低碳发展提供理论支持。

本研究表明：

1. 中国在2012年的碳排放总量已接近美国与欧洲碳排放总量的总和，中国的人均排放量已接近欧洲国家平均水平，但仍然远低于美国。从体量和增长趋势上中国的碳排放将对全球碳排放趋势产生关键影响，因此，中国也是全球开展碳减排和低碳发展的最主要区域。
2. 工业生产和火力发电是中国最主要的碳排放部门，两者一共贡献了中国85%的碳排放。燃煤是中国碳排放最主要的燃料来源，占中国排放总量的70%。制造业聚集和以煤为主的能源结构是中国碳排放量较高的最主要原因。
3. 中国碳排在区域分布上呈现显著的区域差异，例如，以碳排放强度（单位GDP碳排放）作为指标，中国中西部较不发达地区部分产业的碳排放强度与东部沿海发达地区相比高数十倍。城市贡献了中国80%的碳排放，而中国的农村地区人均排放较低。
4. 中国四分之一的碳排放是由于生产被西方发达国家消费的产品所造成，这一类由于生产国际贸易商品而产生的“隐含碳”，造成发达国家向发展中国家的碳排放转移。而中国是世界上被转移隐含碳排放最多的国家，中国生产供其他国家消费的产品所产生的碳排放（出口中的隐含碳）8倍于中国进口其他国家产品的隐含碳排放。
5. 由于中国碳排放的规模和增长速率，精确量化中国碳排放至关重要，然而目前中国碳排放核算方法仍然基于西方核算体系，国际机构的碳排放核算数据具有相当高的不确定性。

关键词：中国，碳排放，碳足迹，低碳发展。

1. 中国1950年至2012年的碳排放

中国在2012年由化石能源消费和水泥生产造成的碳排放*¹达85亿吨，是当前全球年二氧化碳排放总量最高的国家。中国在1950年的碳排放总量仅有546万吨，在1950年至2012年这60年期间中国的碳排放总量增长超过100倍，其同期增长速率远高于世界其他主要经济体（图1）。2007年中国碳排放总量超过美国跃居全球第一，至2012年中国碳排放总量已经相当于美国和欧洲排放的加总¹。在中国30余年强劲经济增长的推动下碳排放快速增长，进入21世纪后中国的碳排在十余年时间内增长了3倍。在2010年至2012年间，全球有73%的碳排放增长来源于中国。

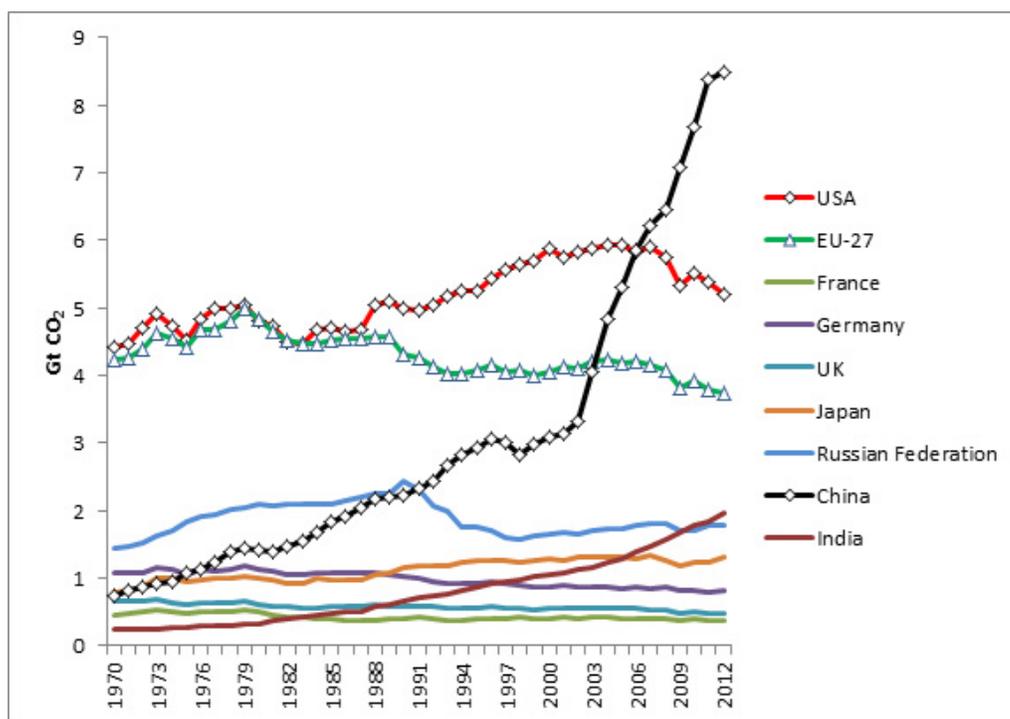


图1：主要国家 1970年至2012年的碳排放。中国碳排放数据来源于作者计算，其他国家数据来源于国际数据库CDIAC² 和 EDGAR³。

中国的碳排放主要来自于化石燃料燃烧（90%）和水泥生产（10%）。以2012年为例（图2）ss，中国90%的碳排放来自于化石燃料燃烧，其中68%来自于燃煤，13%来自于油品使用，7%来自于燃气。2012年中国生产了35亿吨煤，占全球总产量的一半⁴；生产了23亿吨水泥，占全球总产量的60%，中国在2010年至2012年间生产的水泥总量超过了美国在整个20世纪的水泥总产量。巨量的煤炭使用和水泥生产是中国碳排放的主要来源。

*¹ 在本文中均指二氧化碳或以二氧化碳当量表示的温室气体排放。

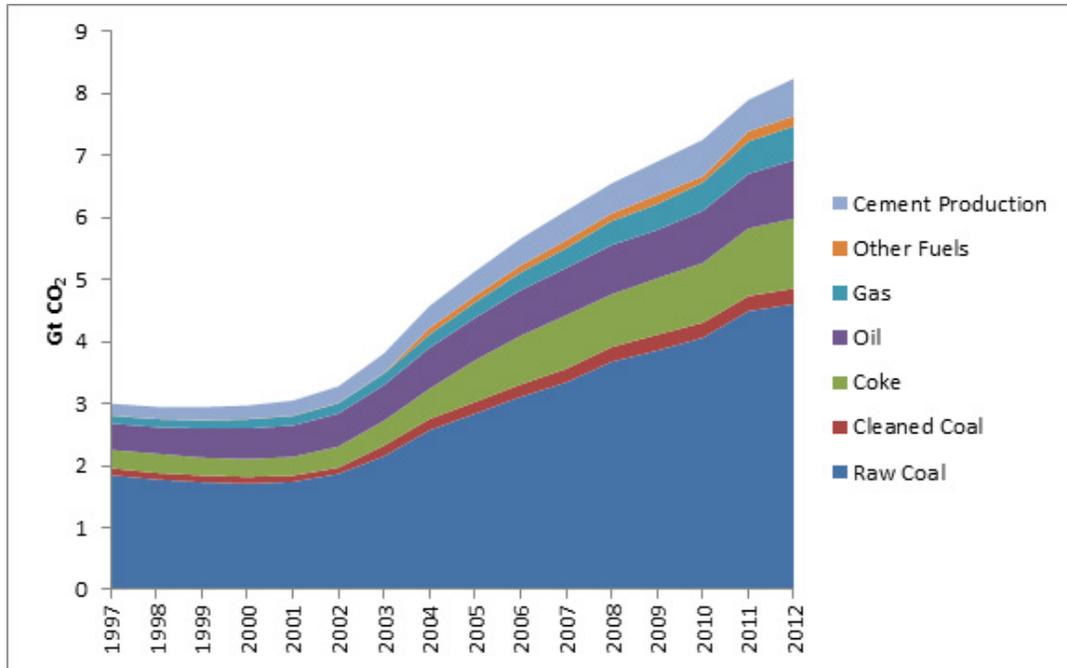


图2: 中国1997年至2012年分能源类型的碳排放, 数据由作者计算。

在各产业部门中, 制造业和火力发电业是碳排放最主要的贡献部门 (图3)。2012年, 制造业碳排放占全国碳排放总量的47%, 火力发电行业碳排放占全国碳排放总量的32%, 而交通部门排放仅占全国碳排放总量的6%。中国碳排放的产业部门分布与西方发达国家相比具有显著差异, 例如, 在美国, 32%的碳排放来源于交通部门, 而制造业仅占17%。这种差异体现了中国全球制造业中心和“世界工厂”的地位: 中国聚集了全球主要的制造业活动, 例如, 中国煤、焦炭、钢铁、水泥和玻璃的产量均超过全球总产量的一半以上。

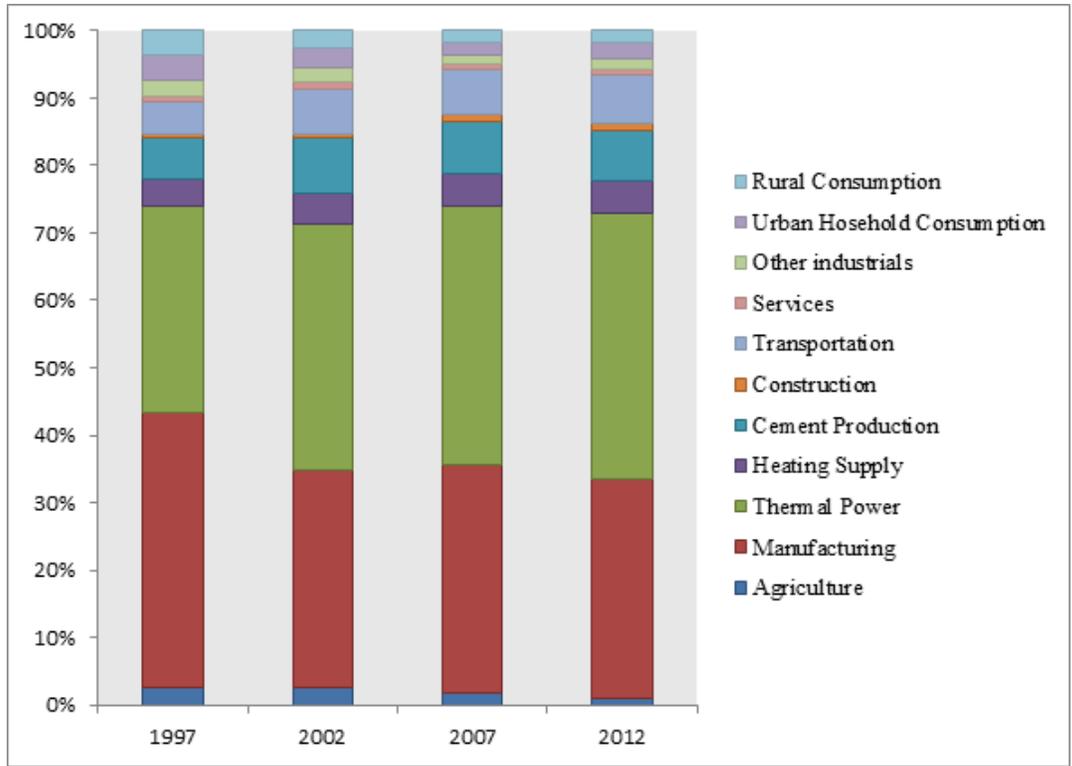


图3: 中国碳排放的部门分类。

2. 人均碳排放及碳排放强度

人均碳排放和碳排放强度（单位国内生产总值“GDP”碳排放）是被广泛使用的衡量国家碳排放水平的重要指标^{5,6}。中国是目前世界上人口最多的国家和第二大经济体，虽然中国的碳排放总量已居于世界第一，然而中国的人均碳排放量仍然远低于世界上主要的发达国家（图4）。2012年中国的人均碳排放量为6.26吨二氧化碳，接近欧洲国家的平均水平，但不到美国人均碳排放量（17吨二氧化碳）的二分之一。

根据环境库兹涅茨曲线理论，人均二氧化碳排放量会在人均富裕程度（以人均GDP表示）达到一定程度后呈现下降趋势，出现人均二氧化碳增长的拐点。目前主要的西方发达国家均已达到人均二氧化碳增长的拐点，其人均二氧化碳排放已逐步降低。而中国当前的人均GDP仅为美国的八分之一（6807美元），预示着中国的人均碳排放还有较大的增长空间，以中国当前的人口计算，人均碳排放量达到美国平均水平将为中国自身造成巨大的环境和资源压力，以中国国内煤储量尚不能满足中国在美国人均碳排放水平上20年的能源消费（由笔者根据中国2012年能源可采储量估算，以当前的能源结构，如果中国人均碳排放达到美国当前人均水平，中国本国煤等主要化石能源储量将在20年内耗尽）。这一结果表明中国低碳发展既有外部的国际压力，亦是中国自身国家可持续发展战略的必然选择。

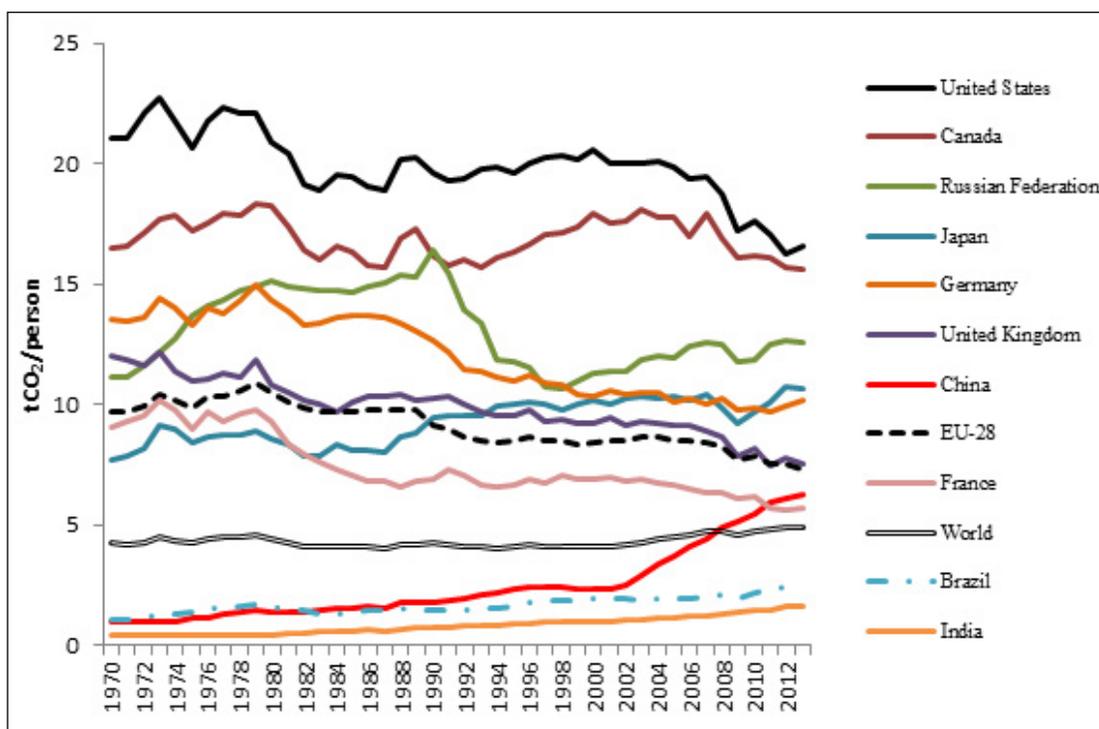


图4： 主要国家 1970年至2012年的人均碳排放。中国碳排放数据来源于作者计算，其他国家数据来源于国际数据库EDGAR³。

碳排放强度（单位GDP碳排放）是衡量区域经济效率和技术水平的重要指标⁷。2012年，中国的碳排放相当于美国排放总量的150%，然而中国的经济规模（以GDP计算）仅为美国的55%，因此中国的碳排放强度数倍于美国。中国碳排放强度也高于世界上其他发达国家以及印度等主要发展中国家。较高的碳排放强度也使得提升经济效率和降低单位GDP碳排放成为中国节能减排的主要措施。2009年哥本哈根气候变化大会前夕中国公布了在2020年碳排放强度相对于2005年降低40%-45%的减排目标⁸，并将该目标作为约束性指标通过国民经济发展的五年计划予以实施。

其中，能源消费强度（单位GDP能源消费量）作为一个与碳排放强度紧密相关的指标已经被广泛的用作国民经济发展的宏观调控指标。在过去30多年时间内，降低能源消费强度一直是国民经济发展的五年计划中的重要内容。可以预计的是，未来随着国际关注度的增加和中国自身低碳发展的需求，在国民经济中长期规划中碳排放强度指标将逐步代替能源消费强度指标。在中国第十二个国民经济和社会发展五年计划中（2010年至2015年），碳排放强度指标已经作为重要的环境指标使用并且分解到30个省和直辖市。表1显示了十二五期间中国各省区节能减排目标和完成情况⁹。

通过宏观调控措施和国民经济中长期规划进行节能减排是中国当前控制碳排放的主要措施。中国在2009年公布了到2020年碳排放强度相较于2005年下降40%-45%的目标，这一目标将分配到各级政府予以实施。在中国第十一个国民经济和社会发展五年计划中（2005年至2010年），中央政府制定了能源消费强度降低20%和二氧化硫排放总量降低10%的目标。在之后的十二五规划中，政府制定了能源消费强度降低16%和碳排放强度降低17%的目标并将子目标分解到各省市。其中沿海发达地区分配了较为严格的节能减排指标，而中西部地区的节能减排指标其减排程度相对宽松（以碳排放强度降低幅度衡量）。在十一五期间，为保证减排达标，中国政府强制关停了大量产能落后和低效的工厂，一共有1亿吨钢产能，5500万吨铁产能，2.5亿吨水泥产能和70兆瓦的电力产能被关停，相当于节约了7.5亿吨煤炭及减少15亿吨二氧化碳排放（相当于2010年全球总排放量的5%）⁸，为全球碳减排做出了显著的贡献。

需注意的是，中国当前以碳排放强度为主体的碳减排指标是相对减排指标而非绝对量的减排指标。伴随着中国经济的高速增长，中国在碳排放强度下降的情况下其碳排放总量仍将进一步增加。

2014年《中美气候变化联合声明》发布¹⁰，中国首次从官方层面上承诺将在2030年左右实现碳排放总量的降低。作为碳排放总量控制的必要条件，中国提出在2030年左右实现可再生能源使用占全国能源使用的20%，并且提出年煤炭消费量不超过40亿吨。其他一系列进一步的减排措施包括推行全国范围的碳排放交易市场，大力发展新能源技术促进节能减排，推行工业生产中原材料与工业副产品的循环利用以及产业结构调整和技术创新等⁸。

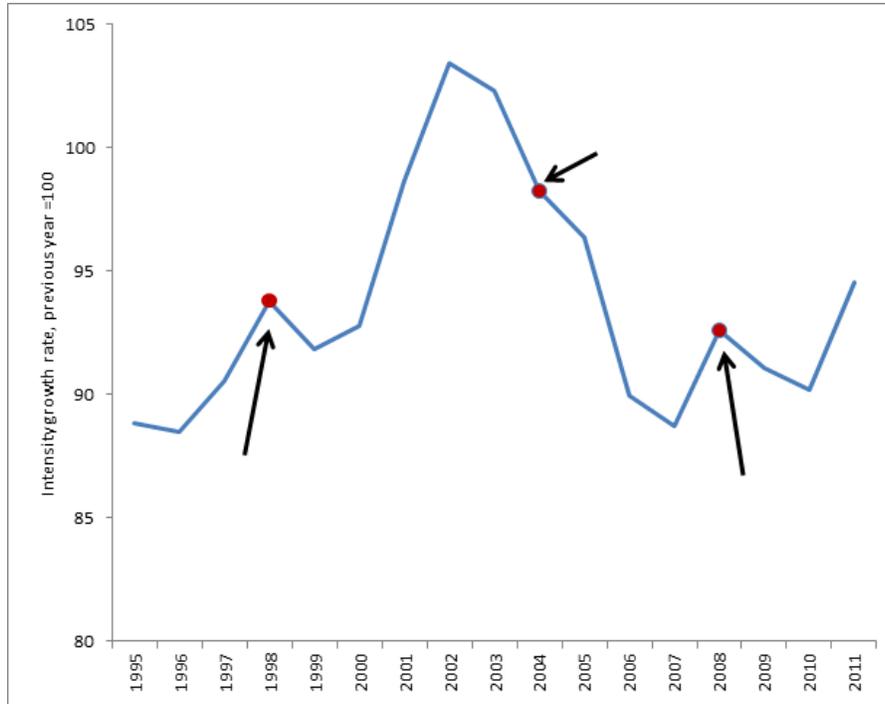


图5: 中国1995年至2011年碳排放强度增长率(以前一年为基准的增长率), 由图中可知中国一系列的宏观减排措施大幅度降低了碳排放强度。其中1997年左右的国有企业改革以及2009年的落后产能关停措施都直接造成了碳排放强度降低的拐点。

表1: 十一五和十二五期间的区域碳排放强度目标与达标情况

Region	Province	Energy intensity goal (2006–2010)	Energy intensity goal achievement (2006–2010)	Energy intensity in 2010 (ton/104RMB)	Energy intensity goal (2011–2015)
North China	Beijing	-20%	-26.59%	0.582	-17%
	Tianjin	-20%	-21.00%	0.826	-18%
	Hebei	-20%	-20.11%	1.583	-17%
	Shanxi	-22%	-20.66%	2.235	-16%
	Inner Mongolia	-22%	-22.62%	1.915	-15%
Northeastern China	Liaoning	-20%	-20.01%	1.38	-17%
	Jilin	-22%	-22.04%	1.145	-16%
	Heilongjiang	-20%	-20.79%	1.156	-16%
Eastern China	Shanghai	-20%	-20.00%	0.712	-18%
	Jiangsu	-20%	-20.45%	0.734	-18%
	Zhejiang	-20%	-20.01%	0.717	-18%
	Anhui	-20%	-20.36%	0.969	-16%
	Fujian	-16%	-16.45%	0.783	-16%
	Jiangxi	-20%	-20.04%	0.845	-16%
	Shandong	-22%	-22.09%	1.025	-17%
Central and South China	Henan	-20%	-20.12%	1.115	-16%
	Hubei	-20%	-21.67%	1.183	-16%
	Hunan	-20%	-20.43%	1.17	-16%
	Guangdong	-16%	-16.42%	0.664	-18%
	Guangxi	-15%	-15.22%	1.036	-15%
	Hainan	-12%	-12.14%	0.808	-10%
Southwestern China	Chongqing	-20%	-20.95%	1.127	-16%
	Sichuan	-20%	-20.31%	1.275	-16%
	Guizhou	-20%	-20.06%	2.248	-15%
	Yunnan	-17%	-17.41%	1.438	-15%
Northwestern China	Tibet	-12%	-12.00%	1.276	-10%
	Shannxi	-20%	-20.25%	1.129	-16%
	Gansu	-20%	-20.26%	1.801	-15%
	Qinghai	-17%	-17.04%	2.55	-10%
	Ningxia	-20%	-20.09%	3.308	-15%

Source: National Development and Reform Commission (NDRC), see also the paper from Liu et al.⁹

3. 中国碳排放的区域差异

中国各区域在资源禀赋、技术水平和经济发展状况上存在显著差异¹¹。碳排放的区域差异也十分明显，以2012年为例，碳排放主要集中在沿海制造业密集的山东、浙江等地区以及作为能源生产基地的内蒙古和山西省等地区。这些地区在进入2000年以后碳排放快速增长，例如内蒙古的碳排放从2000年至2009年间增长了7倍⁹。中国主要省份的碳排放总量已接近或超过一些西方的发达国家，如山东省每年的排放超过8亿吨二氧化碳，相当于全世界排名第五位的国家。

区域碳排放总量较高的原因部分源自于这些地区高的人口密度和逐渐提高的国民生活水平。然而，部分地区的人均碳排放已经接近或者超过发达国家的水平，例如，宁夏自治区的人均排放量在2012年高达20吨二氧化碳，甚至高于美国平均水平。内蒙古自治区和山西省的人均二氧化碳值也相当于发达国家平均水平。

宁夏等这些不发达地区的人均二氧化碳值较高的原因在于，首先，这些地区作为能源输出省份，其大量的能源消费用于火力发电或者原料生产并输送到外地，例如，内蒙古三分之一的火力发电用于供给省外的电力需求，而内蒙古由于出口原材料及电力等贡献的产值占到自身GDP的50%^{8,12}。与之相对应，发达地区大量进口外来电力，从而避免了本地的直接排放，例如，北京市三分之一的电力消费需要从外地进口。其次，较不发达地区的技术水平及劳动报酬均远低于发达地区，造成了区域整体性的碳排放强度较高，内蒙古、山西、宁夏等地的碳排放强度为北京等发达地区的五倍以上。

城市化过程被认为是过去几十年内中国经济增长的主要驱动力。城市是中国主要的碳排放区域，中国85%的直接碳排放来源于城市¹³。本研究发现有数据支持的中国150个主要城市的碳排放总量达到60亿吨，相当于美国全国的碳排放总量或中国70%的碳排放量。部分重工业密集城市或资源依赖型城市的人均碳排放量已经接近或者超过发达国家城市水平，例如，河北省的唐山市、江苏省的苏州市、内蒙古自治区包头市和山东省淄博市的人均碳排放已超过20吨二氧化碳。与区域碳排放格局类似，这些城市是中国主要的重工业聚集地或能源基地。平均而言，中国城市的人均碳排放（约7.5吨二氧化碳）仍然远低于发达国家主要城市。同时，由于较低的生活水平和缺乏基础设施建设，中国的广大农村地区人均碳排放量较城市地区更低。

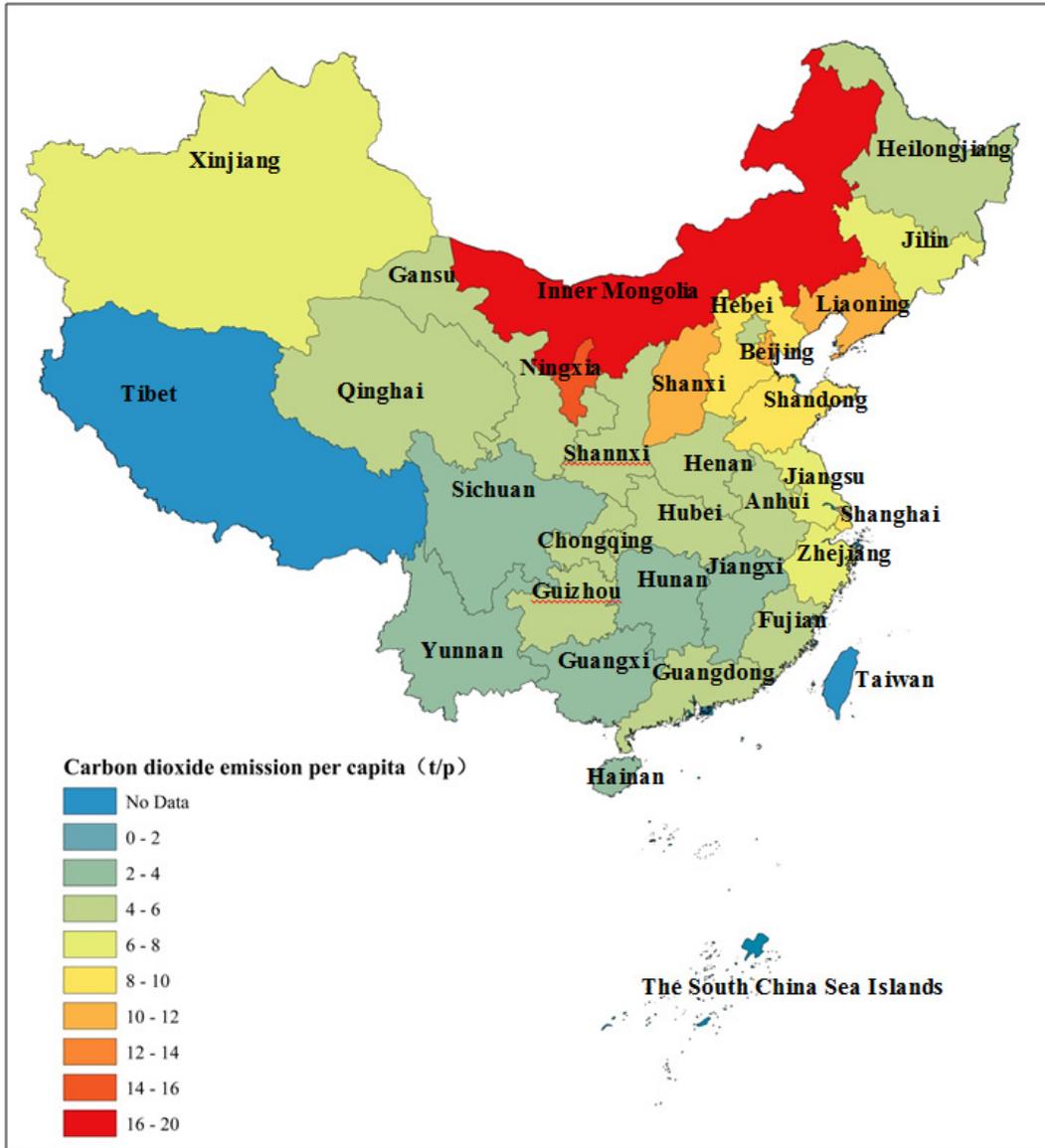


图6: 2012年中国各省市人均二氧化碳值

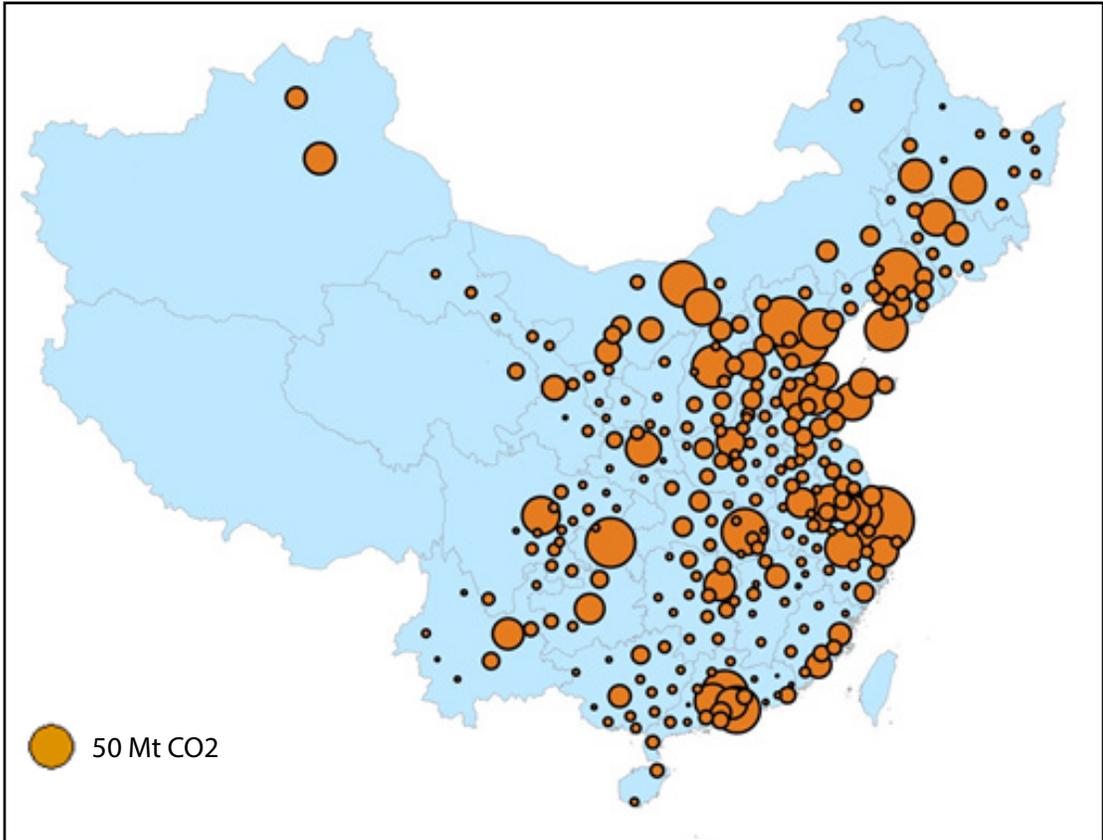


图7：中国2012年150个主要城市的碳排放量

4. 国际贸易中的碳排放转移

碳排放产生于各种工业活动的生产环节（化石燃料燃烧和水泥生产），然而工业活动所生产的产品最终将用于建筑、机械以及居民消费等各类终端消费环节，通常消费环节与生产环境具有跨区域甚至跨国别的差异。将生产环节的直接碳排放分配到消费端，这种消费视角的碳排放又称为“消费视角排放”¹⁴或“碳足迹”¹⁵。对于单个产品，采用生命周期核算方法可计算产品生产过程中整个产业链的碳足迹，对区域和国家而言，利用多区域投入产出方法可计算区域和国家由于国际贸易产生的碳足迹，从而把由用于别国消费而产生的碳排放量化。

在国际贸易中，广泛存在制造业集中于发展中国家，而最终消费位于发达国家的情况。由于发达国家消费发展中国家生产的产品，而造成的在发展中国家的碳排放，可看作是发达国家通过产业链生产端的外包而形成的对发展中国家的碳排放转移，这一“隐含碳排放”由于涉及到碳减排的国际责任而备受关注。

由于具有较低的劳动力成本，中国作为“世界工厂”是全球制造业集中的区域。因此中国生产了大量用于其他国家消费的产品。本研究表明，中国进出口贸易中的隐含碳排放于2007年（有多区域国际贸易数据的最近年份）高达19亿吨二氧化碳，相当于全球碳排放第四大国印度一年的碳排放总量。其中，进口产品的隐含排放（2亿吨二氧化碳）远小于出口产品的隐含排放（17亿吨二氧化碳），说明其他国家尤其是西方发达国家通过国际贸易向中国转移了大量的二氧化碳。

在中国的出口贸易中，西方发达国家是主要消费国，其中美国消费占中国出口贸易隐含碳排放的24%，其他主要的消费国包括日本(9%)，德国(5%)，韩国(4%)，英国(4%)和俄罗斯(3%)。欧盟国家和其他亚洲国家分别消费了中国贸易隐含排放总量的25%和15%。与之相对应，中国是这些国家进口贸易的主要进口国，进口自中国的产品的隐含碳排放占日本贸易隐含排放的48%，占美国贸易隐含排放的44%，占俄罗斯贸易隐含排放的42%。换言之，这些发达国家通过贸易转移的隐含排放中，有近一半转移至中国。

2013年中国由于国际贸易造成的隐含碳排放总量大于日本全年的碳排放总量，相对于全球排放量第五位的国家。中国贸易隐含碳的减排责任分配成为气候变化谈判的重要议题：西方发达国家是否应该就自身消费所造成的在发展中国家的碳排放负责？如果减排责任属于消费国，那么如何采用跨国际的减排措施帮助发展中国家减排？开展这些讨论需要首先进行详细的消费视角排放核算，量化国家的消费视角碳排放及国际贸易间的碳排放转移¹⁶。

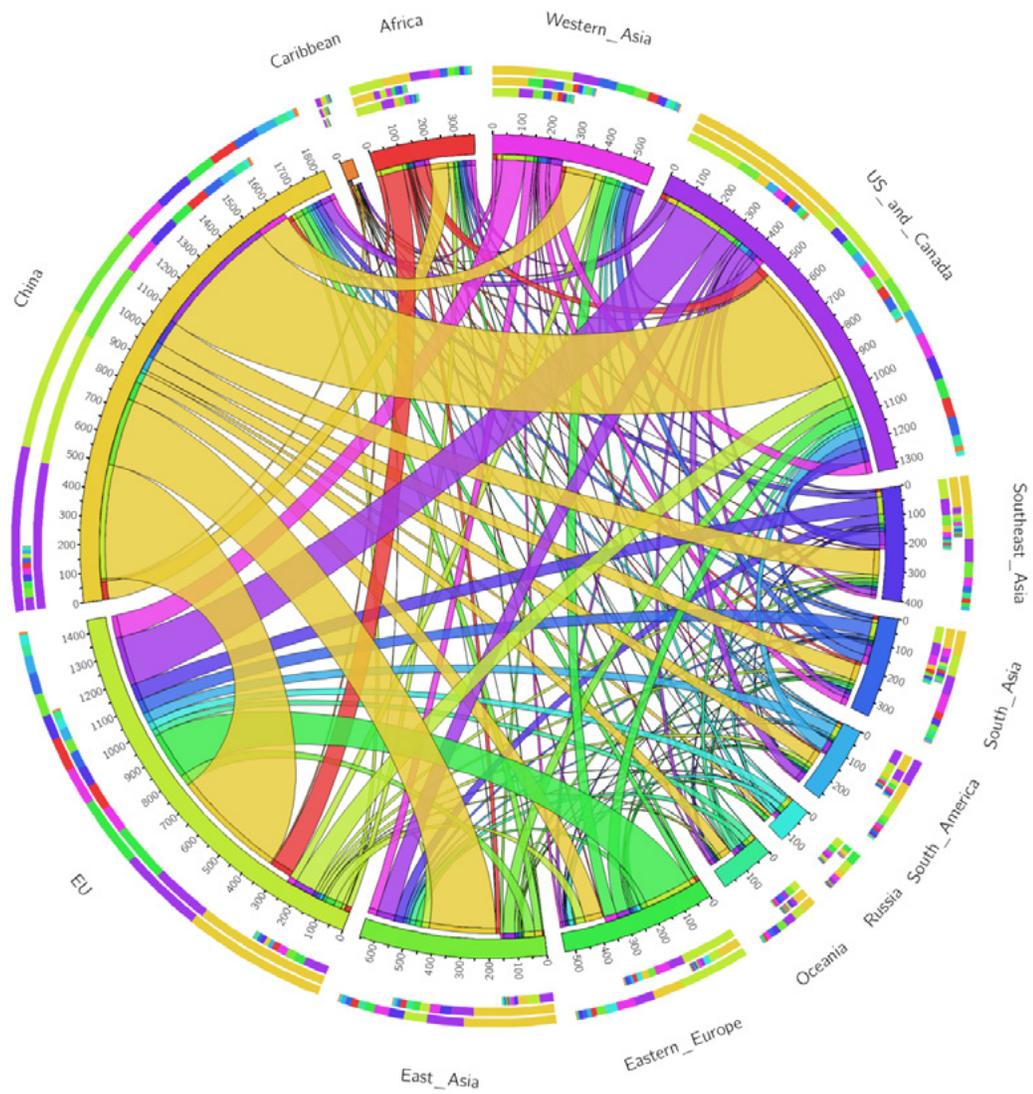


图8: 国际贸易中的隐含碳转移, 其线条的粗细表示隐含碳数量, 线条的颜色表示贸易产品的生产国, 如黄色线条表示中国出口到其他国家的产品的隐含碳。

5. 碳排放核算方法

化石能源消费和水泥生产是人类活动碳排放的主要来源，由于化石燃料主要为含碳物质构成，而其中的碳在燃烧后几乎完全转化为气态性质的二氧化碳，因此通过估计化石燃料消费量和排放因子可以较为准确的计算国家或区域在一定时间内的碳排放量。即：碳排放量=能源消费量×排放因子。而核算的不确定性源自于对能源消费量的估计和对排放因子的估计。

中国国家统计局发布的统计年鉴是中国能源消费量的官方统计来源，国家能源统计年鉴中的能源消费量也被联合国、世界银行等机构所采用。然而，先前的研究表明，中国能源统计中的能源消费量存在较大的误差，具体表现为省一级的能源消费量加总比国家尺度能源消费量高近20%¹⁷。由于省级统计中的重复计算以及国家一级统计中的宏观调整等因素，国家统计数据较省级统计数据高的现象在中国国民经济统计中广泛存在，例如省级GDP加总比全国统计的GDP数据高近10%左右。能源统计的误差高于GDP统计误差，从一定程度上反映了能源审计更为复杂、核算困难且不确定性更大。

为获得较为精确的能源消费量估计，本研究采用表观能源消费量的计算方法，从能源生产量、进出口量和库存量来估计最终的能源消费量。具体原理是假设当年生产的能源除去用作出口和库存之外，其剩余能源完全用作当年消费。由此，能源消费量=生产量+进口量-出口量-库存量。表观能源消费核算方法的优点在于，相对于终端能源消费量数十种终端能源（如原煤、洗煤、型煤、焦炭等），此方法仅计算三种一次能源消费（原煤、原油、天然气），从而避免了能源加工转化过程中的重复计算。此外，90%的能源生产来源于国有企业，其统计数据相对稳定。最后，在用表观消费量计算碳排放总量时，可以通过对生产煤的质量的统计较为准确的估算单位煤产量的排放因子。

在排放因子的使用上，政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC）推荐的燃料默认排放因子被广泛用于国家排放清单的编制，包括美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心（Carbon Dioxide Information Analysis Center-CDIAC），国际能源署（International Energy Agency-IEA），联合国，全球大气排放数据库（Emissions Database for Global Atmospheric Research - EDGAR）在内的一系列国际机构均使用IPCC推荐的排放因子对中国碳排放进行估算。

然而，由于IPCC排放因子是基于发达国家水平估计，特别是燃煤的排放因子主要根据发达国家煤质和煤使用技术，其煤质本身热值较高、洗煤充分且燃烧效率高，因而排放因子较高。而中国的煤质普遍热值低、灰分大、很多地区用煤时没有充分洗选，造

成中国煤燃烧的实际排放因子数值远低于IPCC推荐排放因子。因此用IPCC排放因子估算中国碳排放有可能高估中国的碳排放。

本研究所采用的排放因子估算来源于中国4000余个煤矿的煤质报告，其加权后的中国全国平均排放因子较IPCC排放因子低15%左右，因此本研究的中国碳排放总量比国际同类报告低（在95%的置信区间下不确定性为10%）。以2012年为例，本研究估计中国碳排放总量为85亿吨二氧化碳，而EDGAR估计为95亿吨二氧化碳。因此，国际机构对中国的碳排放估算具有相当大的误差，将可能成为未来国际谈判中的争议焦点和构建跨国减排体系的不确定性因素。

参考文献

1. Guan, D., Peters, G. P., Weber, C. L. & Hubacek, K. Journey to world top emitter: An analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge. *Geophysical Research Letters* 36, L04709 (2009).
2. Boden, T. A., Marland, G., and Andres, R. J. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. (Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2013).
3. Olivier, J. G., Janssens-Maenhout, G. & Peters, J. A. Trends in global CO₂ emissions: 2014 report. (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014).
4. National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook 2014. (China Statistics Press, 2014).
5. Raupach, M. R. et al. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, 10288-10293, doi:10.1073/pnas.0700609104 (2007).
6. Bettencourt, L. M. A., Lobo, J., Helbing, D., Kuhnert, C. & West, G. B. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, 7301-7306, doi:10.1073/pnas.0610172104 (2007).
7. Raupach, M. R. et al. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 10288-10293 (2007).
8. Liu, Z. et al. Energy policy: A low-carbon road map for China. *Nature* 500, 143-145 (2013).
9. Liu, Z., Geng, Y., Lindner, S. & Guan, D. Uncovering China's greenhouse gas emission from regional and sectoral perspectives. *Energy* 45, 1059-1068, doi:10.1016/j.energy.2012.06.007 (2012).
10. The White House: U.S.-China Joint Announcement on Climate Change. (2014).
11. Feng, K. et al. Outsourcing CO₂ within China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 110, 11654-11659 (2013).
12. Liu, Z. et al. Embodied energy use in China's industrial sectors. *Energy Policy* 49, 751-758, doi:10.1016/j.enpol.2012.07.016 (2012).
13. Dhakal, S. Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy Policy* 37, 4208-4219, (2009).
14. Davis, S. J. & Caldeira, K. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 5687-5692 (2010).
15. Wiedmann, T. & Minx, J. A definition of 'carbon footprint'. *CC Pertsova, Ecological Economics Research Trends* 2, 55-65 (2007).
16. Liu, Z., Xi, F. & Guan, D. Climate negotiations: Tie carbon emissions to consumers. *Nature* 493, 304-305 (2013).
17. Guan, D., Liu, Z., Geng, Y., Lindner, S. & Hubacek, K. The gigatonne gap in China's carbon dioxide inventories. *Nature Climate Change*, 672-675 (2012).
18. Liu, Z. et al. Four system boundaries for carbon accounts. *Ecological Modelling*, (2015, coming soon, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.02.001).



Belfer Center for Science and International Affairs

Harvard Kennedy School

79 JFK Street

Cambridge, MA 02138

Fax: (617) 495-8963

Email: belfer_center@hks.harvard.edu

Website: <http://belfercenter.org>

Copyright 2015 President and Fellows of Harvard College