

中国“新常态”：
经济结构性调整、提高发展质量
与排放量峰值

弗格斯·格林 尼古拉斯·斯特恩
伦敦政治经济学院

2015 年 12 月

弗格斯·格林，伦敦政治经济学院格兰瑟姆气候变化与环境研究院及气候变化经济学与政策中心斯特恩教授的政策分析师兼研究顾问。弗格斯主要从事的项目涉及国际气候合作、中国气候政策以及各种与气候变化减缓之伦理学及政治学相关的理论问题。他曾在英国伦敦大学亚非学院国际关系与外交研究中心任教，教授硕士课程“全球能源与气候政策”。在那之前，他是一名澳大利亚律师，专长为：气候变化、能源、水资源及环境保护领域法规。他的学术研究主要涉及：政治学、法律、应用哲学和中国普通话。

尼古拉斯·斯特恩，伦敦政治经济学院经济学与政府管理帕特尔（IG Patel）教授，同时担任印度研究所所长、格兰瑟姆气候变化与环境研究院所长、气候变化经济学与政策中心主任。他任英国学术院院长（自 2013 年 7 月起），是英国皇家学会会员（2014 年 6 月入选）。他曾就任于多所英国及国外大学。1994 年至 1999 年，担任欧洲银行首席经济学家。2000 年至 2003 年，任世界银行首席经济学家。2003 年至 2007 年，斯特恩男爵担任英国政府首席经济顾问，撰写了具有里程碑意义的《气候变化经济学斯特恩报告》。2004 年，他因经济学领域的贡献被封为爵士，2007 年获得终身独立贵族称号——布伦特福德斯特恩男爵。他最新的著作是《我们为何还在等待？应对气候变化的逻辑、紧迫性和承诺》（Why are We Waiting? The Logic, Urgency and Promise of Tackling Climate Change.）。

目 录

执行摘要.....	1
简介.....	5
第一部分 结构调整，提高发展质量.....	7
1. 中国“新常态”之序曲	7
2. 中国经济“新常态”：结构调整，提高发展质量	9
第二部分 排放量峰值.....	13
1. 中国新气候经济研究：结果和影响.....	14
2. 中国较早的达到温室气体排放量峰值且峰值较低的前景.....	20
第三部分 实现峰后迅速减排.....	38
1. 城市.....	38
2. 能源系统转型.....	39
3. 关键政策.....	46
4. 结论	49
附录一：中国新气候经济研究（研究成果摘要）	51
附录二：发电量数据.....	58
附录三：到 2020 年之前中国能源领域的二氧化碳排放量达到峰值的说明性情景	60
参考文献.....	62
致谢.....	76
编者说明.....	78

执行摘要

30 多年来，中国遵循高投资、以强劲的出口增长为导向、发展能源密集型制造业的战略，令经济增速基本维持在两位数的高位。这使得成千上万人脱离了贫困，但同时也导致不平等（包括人与人之间、地区间、城乡间不平等的）、污染、交通拥堵、温室气体（GHG）排放等问题加剧。

中国意识到了这些困难，且随着经济日趋成熟——这点从技能、生产率和不断增加的薪酬，以及某些传统出口市场增长放缓的趋势中，都可见一斑。这种情况下，中国的经济发展战略已经改变。现在，中国已进入经济发展新阶段——“新常态”，即强调提升经济增长质量。从调整经济结构到就效率、大气污染和清洁能源等制定明确政策，中国的新发展模式在持续促进经济增长的同时，也注重减少温室气体排放。

这一新战略正在中国经济发展中发挥作用。例如，中国煤炭消费量在 2014 年出现下降，2015 年第一季度继续降低。通过分析主要排放领域数据的趋势，我们得出结论：中国的温室气体排放量不会在 2030 年那么晚达到峰值（这是习近平主席于 2014 年 11 月设定的上限），更有可能在 2025 年之前达峰，甚至可能比这更早。通过实施综合改革措施，温室气体排放量可能会在达到顶峰后迅速下降。中国的转变对全球经济具有深远影响，极大地增加了将全球温室气体排放量保持在相对安全界限内的几率。

中国正坚定地迈入“新常态”——一个基于提高经济增长质量理念的经济发展模式。

中国的新发展模式——“新常态”强调进行结构改革，以实现仍然有力、相对放缓的经济增长（未来 5 年每年增长 7% 左右），使体现在社会分配、经济增长对自然环境影响等方面的经济增长质量得以提升。新模式强调，将发展的天平由重工业投资向发展国内消费尤其是服务业倾斜；依靠创新提高生产率，并在全球价值链中攀升；减少不平等，尤其是城乡间和地区间不平等；环境可持续性，强调减少大气污染及其他形式的地区性环境破坏，降低温室气体排放。

在新发展模式下，中国的温室气体排放量可能将在 2025 年达到峰值，且很有可能早于该时间点达到峰值。

本世纪头十年里，中国的煤炭消费量以每年大约 9-10% 的速度增长，但根据

中国最近发布的初步统计数据，其煤炭消费量在 2014 年下降了近 3%，在 2015 年第一季度进一步降低。根据对电力和工业产业部门的结构性周期性趋势分析，我们得出结论：中国的煤炭消费量已经达到结构性最大值，且可能在未来 5 年里保持稳定。尽管这期间煤炭消费量存在增长的结构性风险，但也可能持续降低；在我们看来，后者的可能性更大。未来 5-10 年，这些产业部门的天然气使用量将从一个低起点开始迅速增加。

在交通运输领域，未来至少 10 年里，中国的石油消耗量和二氧化碳排放量可能会从目前相对较低的起点持续增长。但是，相较于过去 10 年里很多研究普遍给出的预测而言，中国现存的和正在规划中的政策措施可能会使这一增长速度更加温和，未来减排工作具有巨大潜力。

考虑到中国的经济发展和政策趋势对发电、工业和交通运输业的经济结构及化石燃料（特别是煤炭）的影响，我们可以得出结论：中国能源领域的二氧化碳排放量和温室气体排放总量不会在 2030 年那么晚达到峰值，而更有可能在 2025 年达峰，甚至比这更早。

这表明中国对国际社会做出的“在 2030 年左右”使二氧化碳排放量达峰的承诺是一个倾向于少承诺、多办事的政府所给出的保守“上限”。重要的是中国各地的政府、商界、民众应该理解这种深刻的变化，思考他们在气候变化方面的目标，和提高关于全球市场对低碳环保商品服务的潜在需求的预期。

如果中国的排放峰值真的出现在 2020 年至 2025 年，那么对中国排放峰值的合理预测是大约 125-140 亿吨二氧化碳当量。这即有可能使全球温室气体排放量符合将全球变暖控制在 2℃ 以内的国际目标的要求。世界能否在未来 10 年或者 2020 年以后踏上这一通途很大程度上取决于中国峰后快速减排（而不是长期平缓排放）的能力、未来二十年其他国家的努力，以及全球在之后数十年的行动。

为了峰后快速减排，中国需要深入推进规划中的城市和能源系统改革，同时采取清洁能源创新、绿色金融和财政改革等综合性辅助措施。

中国可实施下列重大结构性和政策性措施以实现高效减排：

- 按照紧凑、高密度、公共交通连接的模式开展城市规划。
- 通过以下方法改善能源系统：完善政策措施以提高能源使用效率；加速推广建设非煤炭能源发电；避免启动新的（或未经削弱的）用煤计划，如建设煤转气工厂和西部煤炭基地；逐步消除燃煤发电厂（除非装有碳捕捉装置）；客运交通电气化（及其他工艺方法）；和继续努力管理日益

复杂的能源网。

- 加大对清洁能源创新的制度与政策支持——尤其应该更加关注试点、大规模应用具有巨大减排和降低成本潜力的清洁能源关键技术。
- 实施相关措施将中国的金融部门转变为绿色金融体系，使其能够以较低的资本成本为低污染、低碳、资源节约型的基础设施建设项目提供资金。
- 引入煤炭税，使其能够更好地反映煤炭消费的地区环境代价、其对全球气候的影响及其他因素。煤炭税可作为涉及财政、能源定价、公共治理等广泛领域的综合性改革措施之一。煤炭税的税收会较为客观，部分可用于清洁能源创新（其在刺激经济增长方面具有巨大潜力），部分可用于取消低效税目，辅助经济结构调整，为低收入人群提供保障。

要实现高质量的强劲的经济增长，同时降低污染、交通拥堵和浪费水平，建设具有吸引力的宜居城市和清洁安全的能源系统，都要求中国的“新常态”模式努力地将结构调整和政策改革作为一个持续的、充满活力的进程加以推进。在这一过程中，中国一定能就如何同时实现这些重要目标为世界树立榜样。

简介

如今，中国经济结构正在发生深刻变化，朝着一种新的发展模式转变，其目的是提高经济增长质量，促进经济和环境可持续发展、增进人民福祉。本文旨在探究这种新经济增长模式的起因并阐明其内涵，同时研究其可能会对中国温室气体排放趋势产生的影响。因此，我们希望本文能够对中国研讨未来经济发展方向及其在应对全球气候变化中的作用等方面的重大决策有所帮助。

本文分为三个部分，每一部分包括二或三章。第一部分阐述了中国新发展模式的内涵，并探究了这种新模式的起因。这一新模式是为了应对旧发展模式带来的不可持续的负面的影响应运而生的。在分析中国经济结构发展、政策改革和温室气体排放趋势时，有必要了解这些背景情况。

第二部分的内容更具预见性，通过分析中国温室气体排放的中期趋势来推断其排放量可能达到峰值的时间。其中第三章（和附录一）剖析了全球气候与经济委员会所做的开创性研究报告——《中国与新气候经济》的内容，这份报告通过模型研究了中国在 2030 年达峰会二氧化碳排放量、大气污染、能源安全以及经济成本带来的影响。2014 年 11 月，习主席宣布，“中国二氧化碳排放量要在 2030 年前后达到峰值”，而这份模拟报告正是中国做出此承诺的重要参考信息。然而中国经济和政策的发展日新月异，委员会做出模拟研究和中国宣布 2030 年承诺之后的统计和政策趋势显示，中国的二氧化碳排放量很可能会远远早于 2030 年达到峰值。相应地，第四章构成了本文的核心部分，从点到面地、彻底地分析了排放量最高的行业（电力、工业和交通运输业）的排放趋势，进而研究中国温室气体排放量可以更早达峰、峰值更低的可能性。

第三部分更具前瞻性，其内容更加规范具体。这部分列举了一些政策与结构改革方面的关键领域，都是中国要在达峰后实现高速减排可能需要关注的内容。

本文的核心论点是：在新的发展模式条件下，中国温室气体排放量可能于 2025 年之前达到峰值，甚至更早。借助我们在第三部分阐述的策略，中国的温室气体排放量可能会在达到峰值后迅速下降。这些成果不仅是完全可以实现的，而且，如果中国能够妥善管控其结构调整过程，这些发展成果还能使中国在包括减轻气候变化的长期风险在内的诸多方面大受裨益。

关于中国在全球气候政策（包括将于 2015 年末在巴黎举行的联合国气候变化大会所涉及的国际谈判）中所起的作用，本文在结论部分简要阐明了文中分析

具有何种意义。我们在本文的姊妹篇，即名为《通往巴黎和远方的路：国际气候合作及中国的作用（博依德、格林和斯特恩，2015）》的政策报告中对这一主题进行了更详细的阐述。

第一部分 结构调整，提高发展质量

20 世纪的最后 20 年中，中国自实施改革开放政策以来，一直走在几番全球性经济浪潮的前列，如经济活动中心从西方向东方转移、经济快速增长、城镇化和人口结构改变等。这些发展成果使成千上万的中国人摆脱了贫困。中国在这段时期的发展是一种持续性进程，但在这一长期性的发展趋势之中，有几次重大结构性调整，以它们为标志，中国的发展可划分为若干阶段。其中之一发生在世纪之交，中国的能源密集型重工业部门迅速发展。下面我们将简述这一发展阶段的主要特征，这也是我们理解中国现在为什么突然开始推进结构调整来实现“更好的经济增长”模式所必需的背景情况。

1. 中国“新常态”之序曲

中国经济始终保持快速增长，30 多年来，其经济增长速度经常为两位数。中国经济发展战略的核心是高投资、以强劲出口增长为导向、重点发展制造业和建筑业。尤其在 2000 年至 2011 年这一阶段，中国的经济增长战略可概括为（伽诺特及其他人，2014 年；中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）：

- 保持两位数的 GDP 增速（平均水平）；
- 财政支出中投资占比极高，国内消费和服务业方面的占比非常低；
- 大量投资于钢铁、水泥等重工业部门，这些部门需要消耗大量能源，通常由煤电厂为其提供所需电能；
- 收入中用于利润分享的额度占比较高；
- 高度依赖于对外部市场出口

中国领导人和民众逐渐意识到，从传统经济部门发展、社会发展、本地区环境和全球气候等方面看，这种增长模式是不可持续和不可取的（伽诺特及其他人，2013 年）。正如习近平主席在 2013 年年末所指出的，中国现在的增长模式是“不平衡、不协调、不可持续的”（引自阿农，2013 年）。¹

首先，中国的增长模式对环境而言是不可持续的。特别是，中国发展中对煤电、重工业、城市地区汽车使用量增长的依赖导致了大气污染、雾霾等问题。而且随着城镇化进程的推进，越来越多的城镇居民遭遇到了这些问题（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；世界银行与国务院发展研究中心，2014 年）。就

¹ 习主席在 2013 年 11 月三中全会上对中国共产党中央委员会的发言。

这种增长模式对公共健康的影响而言，其代价是高昂的。2010 年，123 万例过早死亡的情况都与中国的颗粒物（PM2.5）污染问题有关（中值无偏估计）。按货币成本计算，其损失相当于中国 GDP 的 9.7%-13.2%。（全球经济与气候委员会，2014a；汉密尔顿，2015 年）

其他环境问题也在增加，包括水污染、水资源短缺、土壤污染、固体废物污染和其他形式的生态环境恶化（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；世界银行与国务院发展研究中心，2014 年）。这些问题进而构成了中国面临的经济社会发展挑战的某些方面。

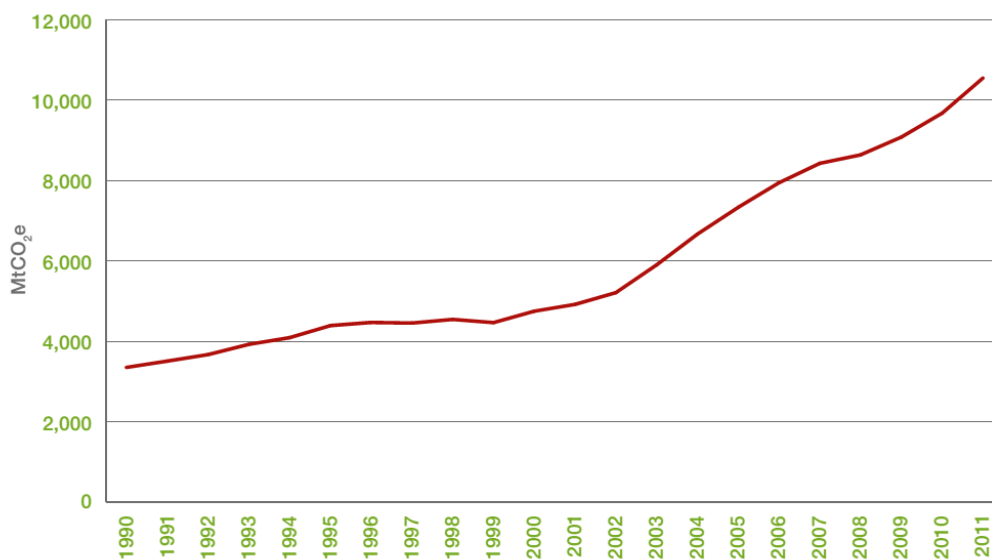
从传统经济发展方面看，这种旧增长模式是不可持续的，原因至少有以下三点。第一，它导致了严重的过度投资，减少了资本回报，并使中国的能源密集型产业面临大面积产能过剩，削弱了其竞争力（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；世界银行与国务院发展研究中心，2014 年）²。第二，中国的劳动力队伍正在发生改变。中国的劳动年龄人口（即 16 岁至 60 岁人口）比例在过去 3 年里连续下降，预计将持续降低，这反映了中国独生子女政策的长期影响。（法恩，2015 年）同时，劳动力薪酬也在增加，这意味着中国未来的竞争力将取决于能否向薪酬更高的高附加值产业（尤其是服务业）进行结构调整（德赖斯代尔，2015 年，伽诺特及其他人，2013 年）。第三，自然资源瓶颈。环境恶化、对进口能源不断上升的依赖程度都日益影响着中国的经济发展水平，导致直接和间接经济成本上涨（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；世界银行与国务院发展研究中心，2014 年）。

旧增长模式在使成千上万的中国人摆脱贫困的同时也带来了各种负面的社会影响，增加了改革压力。更为明显的是，这种模式致使多种不平等问题增加。快速城镇化和城镇地区经济增长，加上阻碍国内劳动力流动的限制性的户口制度，导致城乡间不平等加剧，城市中有户口和无户口居民分化日渐严重（世界银行与国务院发展研究中心，2014 年）。地区间不平等问题也在加剧。尽管这些年经济发展重心逐渐转向中部地区，但经济增长还是不成比例的集中在东部沿海城市（阿农，2015 年）。另外，旧增长模式低薪酬、高利润额的分配结构和相对较低的公共服务支出使得人与人之间的不平等日益加深（伽诺特及其他人，2013 年）。此外，污染、环境恶化对健康的影响也使改革面临巨大的、不断上升的社

² 在评论过度投资、产能过剩与中国产业竞争力之间的联系时，中国环境与发展国际合作委员会（2014 年）指出：“截止到 2012 年底，钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃和造船这些行业的设备利用率是 72%到 75%不等——明显低于国际平均水平。在这种情况下，许多企业由于生产能力大量空闲而无法从投资中获得合理的回报，同时日益面临着承受损失和经营困难的困境。”

会压力。

最后，中国这一阶段的发展也导致温室气体排放量大幅增加（见图 1，下）。第三章谈到了温室气体排放的不可持续性。



温室气体排放总量

来源：数据来源于世界资源研究所（2014 年）

注释：在有关中国温室气体排放量的数据中，世界资源研究所的数据数值相对较低——对比世界能源署的数据（2015a），并请参考文后注脚 66 中关于上调 2013 年之前的 5 年中中国煤炭消耗量统计数据的注释。

图 1 中国温室气体排放量(1990–2011 年)

2. 中国经济“新常态”：结构调整，提高发展质量

旧增长模式取得了成就，但随之带来的压力不断累积。这两方面因素使中国经济结构和政策正发生深刻而广泛的变革，而“这种全面且深入的改变促成了中国经济的新发展模式”（伽诺特等人著，2013 年 1 月）。过去两年间，中国最高级别政府部门阐明新模式的力度和清晰度不断增加（中国共产党中央委员会，2013 年；国务院，2013 年；张，2014 年；阿农（音），2015b）。简而言之，中国领导阶层和政策精英对中国经济“新常态”的理解是：以更高质量的增长为核心，以服务业、创新、消除不平等和环境的可持续发展四方面为基础。³

³ 这份摘要里“新常态”概念的定义是基于斯特恩与中国领导人和决策者在 2015 年 3 月中国发展高层论坛上的讨论内容所做出的，而本文的母本正是为这个论坛所准备的。这四个方面在过去两年间经常出现在中

要理解这四个方面的意义及其与提高增长质量、降低温室气体排放量的关系，可将增长分解为以下要素：增长率；方式；能耗强度和碳排放强度（第六章方框二将对后两项及其与增长的关系做出更加系统和正式的说明）。

- **增长率：**中国经济增长模式转变的第一个方面体现为 GDP 增长率放缓，从 2000 年至 2010 年间的平均 10.5%到 2012 年至 2014 年间的 7-8%(世界银行，2015a；国际货币基金组织，2015 年)。⁴根据国际货币基金组织（2015 年）的最新预测，2015 年，中国经济增长率将放缓至 6.8%，2016 年为 6.3%。对 2020 年至 2030 年平均增长率的合理预测是 4-6%，这取决于中国结构改革的实施情况。⁵中国经济增速逐渐放缓到接近发达国家的标准是其经济成熟的结果，这也表明中国正在从一个不可持续的、追求总量的增长模式转向以提高质量为中心的增长模式。
- **增长方式：**中国经济增长率放缓与中国经济结构调整密切相关。现在普遍认为，以减少投资、增加消费（包括私营部门消费和公共部门消费）为方向逐渐调整、平衡经济增长对经济、社会和环境等各方面都是比较理想的（中国环境与发展国际合作委员会 2014 年；世界银行和国务院发展研究中心，2013 年）。在社会保障和公共服务，特别是医疗卫生和教育方面，数量更多、更具包容性的政府开支将有助于减少不平等现象（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。同时，中国正逐渐采取一些措施，例如，降低投资总量在 GDP 中所占的比重，并将更多的资金配额从重工业部门（特别是低产品附加值行业，如钢铁和水泥行业）转移到服务业和高附加值制造业。这些措施能够在传统产业衰落之时提高生产率（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。对于中国这样一个有志于在全球价值链中攀升的国家而言，成为一个更具创新性的制造者具有重要意义。得益于不断提高的技术和研发能力，中国正开始在包括清洁能源行业在内的许多创新领域发挥引领作用。
- **经济增长的能耗强度：**降低经济增长的能耗强度是中国经济新发展模式的基础。通过提高生产率（沃德等人著，2012 年）、发展（创新型和就

国新一届领导集体所制定的重要文件中，例如这段所引用的语句。

⁴ 世界银行的数据（2015a）显示，中国 GDP 增长率（以 2010 年美元市值计算）从 2011 年的 9.3%降至 2012 年的 7.7%、2013 年的 7.7%以及 2014 年的 7.4%（世界银行的估值）。国际货币基金组织（2015 年）推断，中国 2014 年的实际 GDP 增长率确定为 7.4%。

⁵ 参见，例如：中国新气候经济研究预测的增长情况（全球变化与生态复杂性，2014b），亦见于下面附录 1 表格 A1.1 中。

业密集型) 节能商品与服务来服务业来提高能源使用效率有益于中国经济增长。通过降低能源总体需求量还可以减少大气污染和温室气体排放(格林和斯特恩, 2014 年)。

- **能源的碳排放强度和低污染的能源供应:** 最后, 用温室气体排放、本地大气污染物排放极低甚至为零的能源取代煤炭, 对中国经济增长模式的可持续性具有根本性意义。同时, 这也能提高能源安全并促进创新型增长行业的发展。

这些结构调整措施的出台, 部分是迫于国内国际经济形势的变化(这些变化中有些是旧发展模式所导致的), 部分是因为政府制定了明确的政策(伽诺特等人著, 2013 年)。迄今为止, 政府政策已经在涉及能源使用效率和能源供应的后两项结构调整中起到了非常重要的作用。

中国至少从第十一个五年计划(2006 年至 2010 年)时期就开始将降低经济增长的能耗强度作为政策重点, 最初主要是通过用规模更大、效率更高的工厂取代效率低下的小厂来提高工业能源的使用效率。通过采取上述举措, 加上其他领域的一些措施,⁶中国的能耗强度在 21 世纪初达到峰值之后在过去的 10 年里稳步下降(格林和斯特恩, 2014 年)。

此外, 中国政策在能源结构调整方面已经凸显成效, 特别是在电力部门。首先, 中国通过关闭许多效率最为低下、污染最严重的工厂, 代之以规模更大、效率更高的工厂, 提高了燃煤发电的能源使用效率。其次, 在过去的 18 个月里, 中国通过《大气污染防治行动计划》(国务院 2013 年)推行了一系列有关煤炭消耗的新的严厉的限制措施, 特别是在一些关键的经济部门。⁷第三, 中国已经为低排放、零排放能源的开发、制造和应用提供了强大的资金和政策支持。⁸中国在可再生能源方面的投资(包括公共部门和私营部门投资)数额尤为巨大, 从 2004 年的 30 亿美元增长到 2014 年(法兰克福学校-联合国环境规划署中心和彭博新能源财经, 2015 年)的 833 亿美元, 这几乎占到全球总额的三分之一。⁹另外, 中国在 2014 年的非煤炭发电量超过了 70 千兆瓦, 包括发电量逾 53 千兆瓦的水

⁶ 查询中国能源利用效率政策措施的清单及内容, 请到国际能源署的“能源利用效率政策与措施”数据库搜索“China”: <http://www.iea.org/policiesandmeasures/energyefficiency/>。

⁷ 《大气污染防治行动计划》对煤炭和重工业施加了各种限制。它在全国范围内对煤炭消耗设置中期和长期限额, 目的是在 2017 年以前将煤炭消耗在总能源消耗中的比例降至 65%。《计划》禁止在受大气污染严重的重点经济区域——京津冀、长江三角洲和珠江三角洲地区——建设新的燃煤发电厂, 确保到 2017 年煤炭消耗显著降低。这份计划的目的是还包括将部分重工业从这些地区转移出去。见斯莱特(2014 年)。

⁸ 中国的清洁能源技术发展也是以出口为导向的。详细论述, 请见: 博依德, 格林和斯特恩(2015 年)和伽诺特(2014 年)。而目前我们所聚焦的是中国国内的能源供应趋势。

⁹ 这些数字不包括对高于 50 兆瓦的大型水电项目的投资。

力发电、风力发电和太阳能发电（见附录二），这是目前世界上最大的非煤炭发电量。

以上对中国新发展模式及与该模式相关的经济结构性调整的概述，为我们分析中国温室气体排放趋势提供了依据，而这正是本文下一部分的主题。可以清楚地看到：中国经济“新常态”的每个要素，从增长率放缓到能源供应结构改变，都起到了降低中国温室气体排放的作用，不管是有意抑或无意的。因此，全面实施新模式带来的积累减排效应可能蕴含巨大潜力。

在探讨中国的温室气体排放问题前，我们要指出，中国的改革议程目标远大，且蕴含风险：结构调整通常涉及改革成本、社会混乱，这都需要谨慎应对；与实施其他所有政策一样，现存既得利益者会抵制改革。短期挑战可能会引发政治压力从而使改革放缓并回归旧的增长模式。但搁置改革给中国带来的风险远超推进改革（同见伽诺特，2014年；阿农，2015a），中国的领导人对此事实有着十分同统一的认识。另外，我们在第七章里会进一步谈到，以低碳模式为目标的结构改革可采用一种公平有序的方式加以实施，这样应对由此引发的社会混乱会相对轻松。

第二部分 排放量峰值

本文的第二部分关注中国未来的温室气体排放,尤其是在实施新发展模式的背景下。

做前瞻研究除了已有的结构调整和已实施的政策,还需要考虑到中国未来温室气体排放和清洁能源应用制定的官方目标。包括:

- 2020 年之前使经济增长中的温室气体排放强度较 2005 年排放水平降低 40%-45%。(已写入 2009 年《哥本哈根协议》和 2010 年《坎昆协议》)。
- 在 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值,并希望能早于此达到峰值。(此目标制定于 2014 年 11 月,是习近平主席和奥巴马总统签署的中美气候变化联合声明当中的一部分。新华社,2014a; 白宫,2014 年)。
- 2030 年之前,将初级能源中的非化石燃料比例提高到 20%左右(新华社,2014a),2020 年前提至 15%左右(国务院,2014 年),2013 年提至 10%左右。(2030 年的目标同样是习—奥声明中的一部分)。

这些都是具有全球意义的发展成果,与中国新发展模式相关联的结构调整,以及气候变化具体目标,至少意味着,在本世纪头十年里,许多人担心的中国 2030 年之前温室气体排放量会非常高的这种情形不会出现。¹⁰

然而,中国温室气体排放的具体数值、达到峰值的年份,以及峰后的排放轨迹(平稳或急剧下降)仍然是不确定的。目前,就中国新发展模式和官方应对气候变化目标而言,形势向好、恶化的可能性并存。本文余下章节将研究这些可能发生的情况。

做此类研究可以采用不同方法。很多研究运用了种类、复杂程度各异的模型。有些以总体趋势为假设条件,运用一系列主流参数,如: GDP、能耗强度、碳排放强度(如: 何, 2014 年; 滕和卓佐, 2014 年),由此预测排放量,或者基于人均收入增长、人均排放量增长与人口增长之间的关系(如, 吴 2015 年)。还有的项目采用一般均衡模型,详细分析能源行业。

第三章分析总结了全球经济与气候委员会(GCEC)2014 年一项研究结果,¹¹这项研究通过使用宏观经济学、能源部门和大气污染模型详细阐述了中国温室气体排放将在 2030 年达到峰值的假想情况,及相关的协同效益和成本。我们将这

¹⁰ 参考,如希利与多利安(2010 年)关于煤炭消耗的研究。近期,直到 2013 年,一些学者和研究机构(参考,如美国能源信息署 2013a,参考案例)的预测仍然表明,中国煤炭消耗量将持续高企(>60 亿吨/每年到 2030 年)。

¹¹ 斯特恩是全球经济与气候委员会共同主席及其经济顾问团主席。

一关于中国温室气体排放的研究成果与更为广泛的全球减排任务联系起来加以分析。这也为第四章的主题——分析未来五至十年间可能出现的中国温室气体排放趋势提供了重要的背景信息。不同于自上而下的模拟研究方法，我们在分析中采用了自下而上的方法，关注三个重点领域的化石燃料使用情况、排放趋势及趋势背后的驱动力，由此我们可以对可能出现的排放峰值做出合理预测。

1. 中国新气候经济研究：结果和影响

全球经济与气候委员会（GCEC）通过其新气候经济（NCE）项目研究了中国温室气体排放轨迹和峰值的一些可能性，并相应地提出了一些可供参考的政策和规划。表一列出了 GCEC 的开创性研究——《中国与新气候经济》（中国新气候经济研究 the NCE China Study）（全球经济与气候委员会，2014b）的主要研究数据，详情见附录一。¹²

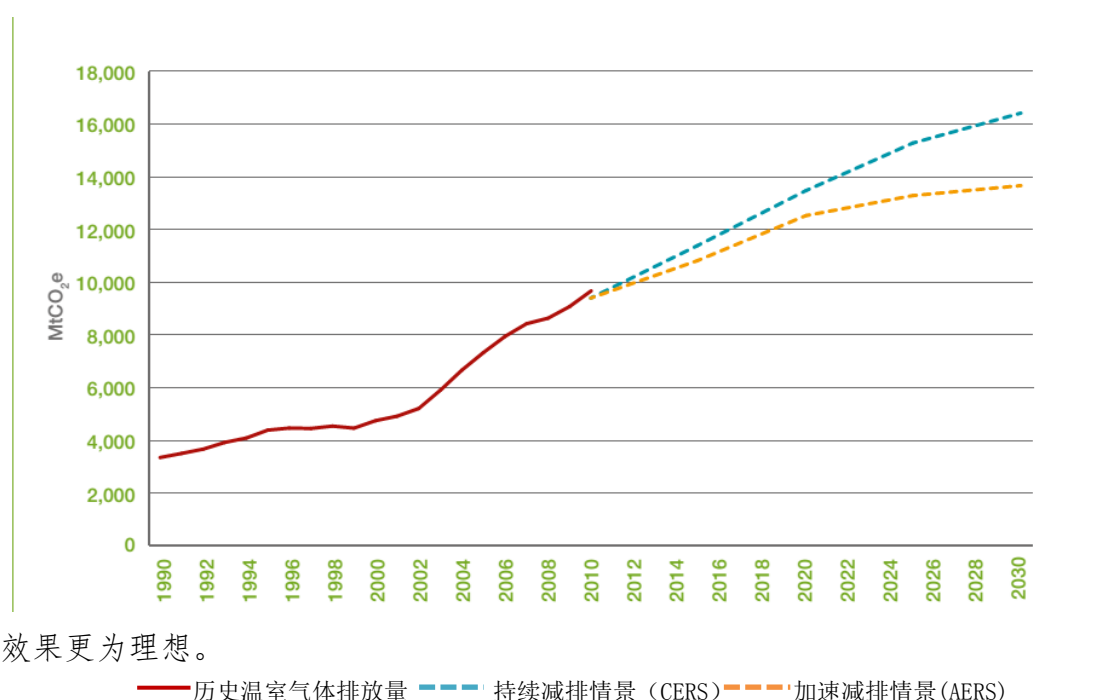
**表 1：中国新气候经济研究能源模型“持续”和“加速”减排情景下的
重要项目数据对比**

项目	2010（实际）	持续减排情景		加速减排情景	
		2020	2030	2020	2030
总能源消耗（吨煤炭等价物）	32.5	49.2	62.5	47.5	59
GDP 能耗强度（2010=100）	100	73.4	54.6	70.6	51.6
自能源领域的 CO ₂ 排放（亿吨）	72.5	104	127	96.8	106
GDP 的 CO ₂ 强度（能源） （2010=100）	100	69.6	51.1	64.8	41.5
非化石能源的比例（%）	8.6	14.5	20	15	23
温室气体排放总量 （亿吨 CO₂e）*	94	135	165	126	138
来源： 全球经济与气候委员会（2014b, 第 82 页，表 4.4；不包括温室气体排放总量结果）					
注释： 基于中国新气候经济研究的“中等速度”经济增长情景，所有项目均假设 2010–2020 年平均经济增长速度为 7.31%，2020–2030 年为 4.77%。					
*温室气体排放总量的计算结果是作者根据世界资源研究所（2014 年）公布的 2010 年数据，假设 CO ₂ 排放量与温室气体排放总量（包括土地利用变化和林业）的比率是固定的 1:1.3 ¹³					

¹² 在同类研究中，中国新气候经济研究是首个考察中国主要的温室气体排放限制措施对其经济、能源安全和大气污染产生的有利影响的研究。因此，在中国经济发展不同路径的优势对比研究领域，该研究在资料整理和政策研讨方面都具有十分重要的意义。

¹³ 这种温室气体排放总量的预测方法可能会使对未来温室气体排放量的预测结果稍微偏高，原因是，非 CO₂ 排放量增长速度（尤其是来自农业部门的 CH₄ 和 N₂O，工业部门的 HFC 和 N₂O）可能不会像 CO₂ 排放量增长速度那么快。另一方面，对比世界能源署的数据（2015a），在有关中国温室气体排放量的数据中，世界资源研究所的数据数值相对较低。此外，鉴于 2014 年进行了五年一度的经济普查，根据最新的中国能源统计数据变动，这个研究模型正在加以更新，而这可能会提高排放量预测值（见下方，脚注 66）。

根据中国新气候经济研究给出的能源领域温室气体排放量预测数据可得出下方图 2，即到 2030 年温室气体排放总量路线图。由该研究可得到一个重要结论，即在“加速减排情景”下，2030 年中国的温室气体（二氧化碳当量(CO₂e)）¹⁴排放将会以低于 140 亿吨的总量达到峰值（人均排放量低于 10 吨¹⁵），同时保持强劲的经济增长（2010-2030 年的平均增长率为每年 6%左右¹⁶），令能源安全更有保障，大气污染得到控制（全球经济与气候委员会，2014b）。在“持续减排情景”下，预计 2030 年仅二氧化碳（自能源领域）排放量就将达到 127 亿吨，温室气体排放总量约为 165 亿吨，即人均约 11 吨¹⁷。与此相比，“加速减排情景”



效果更为理想。

— 历史温室气体排放量 — 持续减排情景 (CERS) — 加速减排情景 (AERS)

注释： MtCO₂e 为百万吨二氧化碳当量

来源： 历史温室气体排放量数据来自世界资源研究所（2014 年）；图中两段延伸部分的数据来自全球经济与气候委员会（2014 年），CERS 即“持续减排情景”，AERS 即“加速减排情景”。作者根据 CO₂排放量与温室气体排放总量的比值分别调整了 CERS 和 AERS。——见表 1 注释部分。

图 2: 中国新气候经济研究能耗模拟预测的中国温室气体排放量

¹⁴ 二氧化碳当量 (CO₂e) 是一种计量包括 CO₂但又不限于 CO₂的所有温室气体辐射强度的单位（根据《京都议定书》的定义）。

¹⁵ 假设中国在 2030 年的人口数量为 14.7 亿，与研究里的“中等 GDP 增长速度情景”所预测的人口数量相一致（全球经济与气候委员会 2014b，52 页，表 3.5），中国温室气体排放量会达到人均 9.5 吨 CO₂e。

¹⁶ 根据研究里的“中等 GDP 增长速度情景”。请参考后面的附录一，表 A1.1。

¹⁷ 假设中国在 2030 年的人口数量为 14.7 亿，与研究里的“中等 GDP 增长速度情景”所预测的人口数量相一致（全球经济与气候委员会 2014b，52 页，表 3.5）。

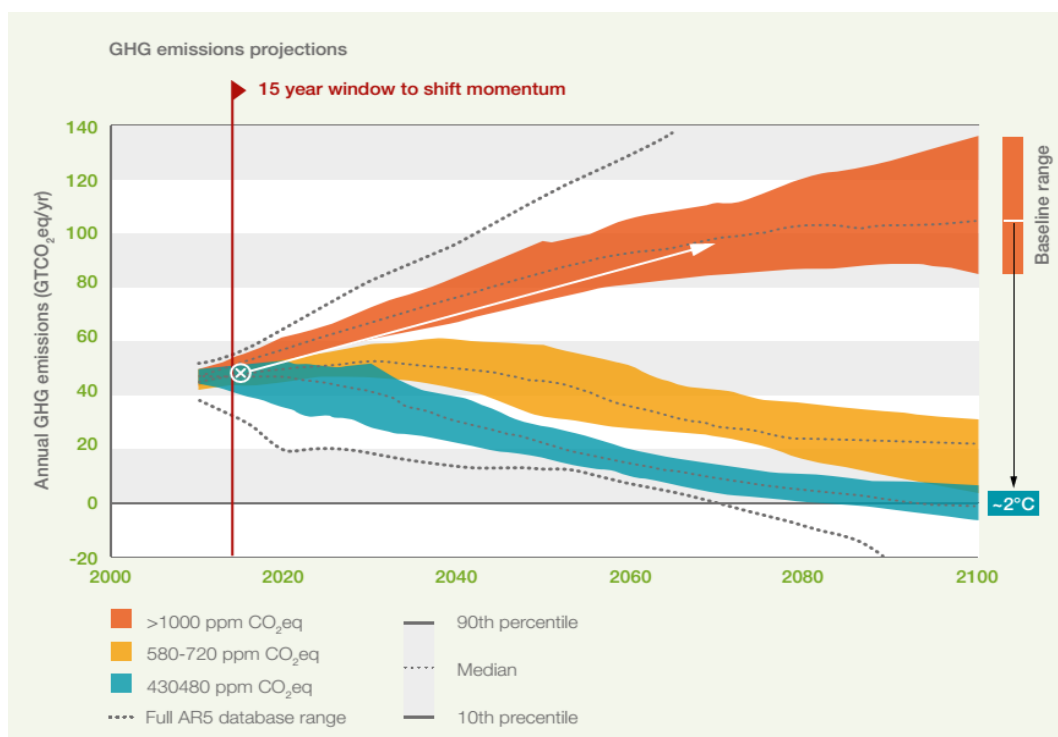
然而，即使中国的温室气体排放量于 2030 年达到稍低于 140 亿吨二氧化碳排放当量的峰值，根据“加速减排情景”来看，要将全球温室气体排放控制在使全球温度上升幅度低于 2 度也是较为困难的（其可能性也是存在的）。比较合理的 2030 年全球温室气体排放量基准值为 350 亿吨二氧化碳当量（见下方方框 1）。假设中国在 2030 年温室气体排放量为 140 亿吨二氧化碳当量，且其人口占世界总人口 20%，那么届时中国将在年度排放流动量上占据全球碳空间的 40% 左右。（如果排放量为 165 亿吨二氧化碳当量，即与“持续减排情景”一致，中国将占据近一半的可用碳空间）。¹⁸

方框 1：2030 年全球温室气体排放量合理基准值

为将全球气温的升幅控制在 2 度以内（这也是国际公认的政策方向）具备较大可能性（可能性超过 66%），需要将全球温室气体排放量由目前的每年逾 500 亿吨二氧化碳当量减至 2050 年的少于 200 亿吨，即在 2010 年至 2050 年期间将排放量减少 2.5 倍（政府间气候变化专门委员会 2014 年；图 3，下）¹⁹。这意味着，假设全球人口由目前的约 70 亿增至 2030 年的 80 亿、2050 年的 95 亿，那么全球人均排放量需要从当前的每年大约 7 吨二氧化碳当量减至 2050 年的每年大约 2 吨。

¹⁸ 如果将 2030 年全球温室气体排放量基准值设定为较高的 420 亿吨（2 度的可能性）二氧化碳当量（这样仍有可能将全球气温的升高幅度控制在 2 度以内），中国在 2030 年的排放量为 140 亿吨，那么中国占可利用碳空间的比例为三分之一（如果中国在 2030 年的排放量为 165 亿吨，则其占可利用碳空间的比率为 39%）。如果将 2030 年全球温室气体排放量基准值设定为较低的 280 亿吨（政府间气候变化专门委员会的第 10 百分位数）二氧化碳当量，中国在 2030 年的排放量为 140 亿吨，那么中国占可利用碳空间的比率为 50%（如果中国在 2030 年的排放量为 165 亿吨，那么中国占可利用碳空间的比率为 59%）。

¹⁹ 使全球平均气温升幅控制在 2 度以内具备较大可能性（可能性大于 66%），政府间气候变化委员会（IPCC）提出的排放方案将 2050 年全球温室气体排放量基准值的中间值设定为约 200 亿吨二氧化碳当量（政府间气候变化专门委员会 2014 年，图表 SPM. 4）



注释: Annual GHG emissions: 温室气体年排放量 (十亿吨二氧化碳当量/年)

GHG emissions projections: 温室气体排放量预测

15 year window to shift momentum: 转变减排形势的 15 年窗口期

Baseline range: 基准范围

ppm: 百万分之

Full AR5 database range: 全 AR5 数据范围

90th percentile, Median, 10th percentile: 百分位第 90 位、中间值、百分位第 10 位

来源: 全球经济与气候委员会 (2014a) 基于政府间气候变化专门委员会的信息 (2014 年, 图表 SPM. 4)

图 3 不同减排情景的排放路径图

既然本文主要探讨从现在到 2030 年左右这段时间内的经济转型和减排问题, 那么为 2030 年全球温室气体排放量设置一个合适的基准值则具有重要意义。IPCC 认为, 要使全球升温幅度不超过 2 度这一目标具备实现的较大可能性 (可能性超过 66%), 则 2030 年排放量基准值的中间值应为 420 亿吨二氧化碳当量²⁰, 前提是能源和工业部门能在本世纪下半叶大幅减少温室气体排放。鉴于减排技术应用可行性尚不明确、以及设置 420 亿吨二氧化碳当量这一较高的 2030 年排放量基准值所蕴含的风险, 我们认为在 IPCC 给出的能够实现“2 度”目标的 2030 年排放量基准值范围内, 280 亿吨二氧化碳当量²¹这一相对较低的基准值应该是更

²⁰ 相应地, 全球经济与气候委员会 (GCEC) 的分析研究将 2030 年全球温室气体排放量基准值设定为 420 亿吨二氧化碳当量 (2014a; 2015 年)。

²¹ 使全球平均气温升幅控制在 2 度以内具备较大可能性 (可能性大于 66%), 政府间气候变化委员会提出的 2030 年全球温室气体排放量百分位列第十位的数量值是约 280 亿吨二氧化碳当量 (政府间气候变化专门委员会 2014 年, 图表 SPM. 4)。

为理想的。为保证本文数据的一致性和清晰性，我们将 2030 年全球温室气体排放量基准值设为 350 亿吨二氧化碳当量（取 280 亿吨和 420 亿吨的中间值）²²，并会在注释中注明本文结论与将 2030 年排放量基准值设为 280 亿吨、420 亿吨之间的偏差范围。

无论如何，持续性减排才是最重要的，所以不管采用什么样的年度排放流量临时基准，我们都可以在力所能及的范围内（包括技术、经济、社会等相关领域）不间断地开展减排工作，现在少些，以后多些。

当然，上述对比研究未将历史排放责任、各国不同的发展水平和技术水平等因素考虑在内。所以，将中国与其他国家联系起来加以比较研究是十分必要的。现在，如果抛开中国、美国、欧盟（三个最大的排放体）的排放量不算，且其他国家都能按照国际能源署的“450 情景”（国际能源署，2014a）调高减排目标，到 2030 年²³排放量为~230 亿吨二氧化碳当量²⁴，而全球温室气体排放量又要保持在 2030 年 350 亿吨二氧化碳当量的基准值以下，那么留给中国、美国、欧盟的排放总量为 120 亿吨二氧化碳当量（博伊德、斯特恩、沃德，2015 年）。²⁵这样的话，即使美国和欧盟到 2030 年将排放量减为零（这显然是非常不可能的），²⁶留给中国的排放额度最多也只有 120 亿吨二氧化碳当量。²⁷由此看来，全球温室气体排放量到 2030 年将远远高于将全球气温升高幅度控制在 2 度以内所需的排放量基准值。

既然 2030 年全球温室气体排放量可能超过控制全球气温升幅在 2 度以内所需的 350 亿吨二氧化碳当量这一基准值，那么我们就需要在很多方面急起直追。目前，我们面临的挑战是减轻这些工作负担，强化 2030 年后快速减排形势。由

²² 亦见联合国环境规划署（UNEP 2014 年）对一些模拟预测性研究的分析，这些研究也是以使全球气温升幅控制在 2 度以内（可能性为 50%-66%），但不以本世纪内能源和工业部门实现二氧化碳净负排放为假设前提。这些排放方案设定的 2030 年全球温室气体排放量基准值的中间值为 360 亿吨二氧化碳当量，非常接近本文所取的 2030 年 350 亿吨二氧化碳当量这一数值。

²³ 包括全球船用燃料排放量。

²⁴ 世界能源署“新 450 情景”是“世界能源展望”里的一种情景，它限制大气中的温室气体二氧化碳浓度在 450ppm（百万分之 450）左右，从而达到限制全球升温幅度不超过 2 度的目标。见 <http://www.iea.org/publications/scenariosandprojections/>。注意世界能源署在这种情景下的 2030 年总排放值为~380 亿吨（对比我们的 350 亿吨）；所以，如果世界能源署采用 350 亿吨作为基准，它就会为所有其他国家（除了美国—欧盟—中国）设定一个接近 210 亿吨的排放总量（假设将数据按照 35/38 的比例进行调整）。

²⁵ 到 2030 年前，如果我们以 420 亿吨为基准，留给中国—美国—欧盟的额度就是 190 亿吨。如果我们以 280 亿吨为基准，那么留给中国—美国—欧盟的额度就只有 5 亿吨。

²⁶ 按当前趋势，根据最近公布的政策（欧盟的目标是到 2030 年前较 1990 年排放水平减排 40%；美国的目标是到 2025 年前较 2005 年排放水平减排 26%—28%），预计欧盟在 2030 年温室气体排放量达到 32 亿吨，美国 39 亿吨（博伊德、斯特恩、沃德，2015 年）。与此相比，国际能源署（2014a），在其“450 情景”中，将 2030 年的 131 亿吨配额分配给美国—欧盟—中国：欧盟 26 亿吨、美国 33 亿吨、中国 72 亿吨。

²⁷ 范围是 50-190 亿吨二氧化碳当量，以符合 2030 年全球温室气体排放量基准值为 280-420 亿吨二氧化碳当量的标准（见上页注 25，方框 3.1）。

此，本文可做出一个较为合理的推断，即若要使全球气温升幅控制在 2 度以内，2030 年中国温室气体排放量上限应为 120 亿吨二氧化碳当量。从全球气候变化问题角度看，如果中国能将 2030 年排放量限制 100 亿吨二氧化碳当量以内（人均 7 吨以内）则是更为理想的。即使这一目标真的得以实现，在 2030 年之后我们也需要持续、有力地推进减排工作，并且近期就应着手进行妥善规划。

不管累计排放量这一苛刻的计算概念在计算历史排放量方面多么不公平，中国的领导人还是对其有着清楚的认识。²⁸自中国与新经济气候研究有关工作开展以来，中国在过去的 12 个月中加速出台限制排放量政策、加大对该领域投资、全面落实新发展模式，部分也是因为中国领导人对累计排放量概念的深刻认识。中国的改革节奏非常之快，就政策制定和数据统计趋势而言，中国已经远远超出了中国与新经济气候的“加速减排情景”模拟的预期目标。

由此看来，可以研究一下中国近期的发展成果是否意味着中国能早于 2030 年达到温室气体排放量峰值，且峰值远低于中国新气候经济研究的模拟预期。

²⁸ 托德·斯特恩引自美国国务院（2009 年）。

2. 中国较早的达到温室气体排放量峰值且峰值较低的前景

本章通过考察三个排放量最大的部门——电力、工业和交通业的排放趋势，分析了中国温室气体排放量相对较早的达到较低峰值的前景，随后又分析了化石燃料消耗产生的温室气体排放量的变化趋势。

2.1 电力部门

中国电力部门的煤炭使用量在去年出现了下降，这表明电力部门的温室气体排放量——大约占中国温室气体排放总量的 40%——可能已经达到峰值。我们推断：在 2013 和 2014 年，中国电力部门的温室气体排放量可能已至少达到了结构性最大值，并可能保持平稳（可能在当前水平出现周期性轻微波动）。中国电力部门在未来十年里的温室气体排放量平均值将小幅下降。²⁹下面我们将解释并证明这种推断。

在本世纪头十年里，中国的电力消耗增长强劲，煤炭在中国电力结构中占主导地位，在二者的推动下，中国电力部门的温室气体排放量创历史高位（2011 年达 40 亿吨 CO₂（世界资源研究所，2014 年））。³⁰在此期间，发电量经历了两位数的增长（能源情报署，2013b），电煤使用量的年增长率超过 11%（伽诺特，2014 年），这使很多专家、研究机构都预测中国的煤炭消费量和随之而来的电力部门的温室气体排放量会持续大幅增加（参考，如能源情报署，2013a）。在 2012 年和 2013 年，关于电力消耗和电煤消耗的统计数字呈现出更为复杂的局面，有些数据表明电力消耗和电煤消耗增长速度是中等适度的，有些则显示二者持续高速增长。³¹在解读这些数据时，专家们对电力需求和煤炭消耗趋势的变化程度提出了不同观点。国际能源署最新的“新政策情景”³²预测，中国 2012 至 2020 年期间的电力需求增长率为每年 4.8%（国际能源署 2014a），并且至少到 2040 年发电用煤炭使用量将持续增长。³³相比之下，伽诺特（2014 年）则分析指出，中国新发展模式逐渐得到落实，这可能会给中国的电能需求和生产结构带来更多

²⁹ 结构性最大值，意思是最大限度地控制：（1）水力发电输出量的周期性变化，（2）对五年计划中扩大非煤能源使用政策做反向调整。后文会讨论这两方面。

³⁰ 世界资源研究所的统计数字（42.7 亿吨 CO₂），包括电力和供热部门的温室气体排放量。

³¹ 对比 2014 年国家统计局的数据（报道者，马，2014 年）、伽诺特的数据（2014 年，第 9 页，表一）和国家统计局的最新数据（国家统计局，2015a）。参考脚注 66 和米里维塔（2015a）关于 2014 年之前煤炭数据低报的论述。

³² 世界能源署的“新政策情景”是其在“国际能源展望”中提出的一种情景，涉及各国已公布的广泛领域的政策目标和计划，包括温室气体减排承诺和逐步取消化石能源补贴计划，即使这些政策计划的实施措施尚未被制定或公布。它被广泛用作世界能源署的基础情景。见

<http://www.iea.org/publications/scenariosandprojections/>。

³³ “新政策情景”将在 2015 年期的“世界能源展望”中得以更新，后者在作者撰写本文时尚未出版发行。

根本性变革，由此他预测，2013 至 2020 年期间，中国发电量的增长率为每年 4%，电煤的绝对用量会出现轻微下降（平均每年 0.1%，他认为这些都是较保守、数值较高的预测）。伽诺特的结论——电煤的使用量已达到峰值并会在当前十年余下的年份里（略微）下降——反映了他的观点，即这是“一个具有历史和全球意义的转折”。

中国公布的 2014 年和 2015 年第一季度（Q1）初步统计数据印证了伽诺特的观点，而且表明电煤消耗量的这个转折点的意义可能比他预测的还要深远。³⁴

- **发电量和电力需求：**根据中国电力企业联合会（CEC）的数据，2014 年的发电量增长了 3.6%（中国电力企业联合会，2015b）——这甚至比伽诺特预测的更低³⁵——电力需求仅增长了 3.8%（中国电力企业联合会，2015b；国家能源局，2015a），比国际能源署所预测的低整整一个百分点。与 2014 年同期相比，2015 年第一季度发电量的绝对值略微下降（减少了 0.1%，国家统计局，2015b）——这种转变比近年来那些大胆的低增长预测更为明显。
- **燃煤发电：**在发电领域内，燃煤发电量在 2014 年出现了 1.4%左右的下降，这反映了电力需求增长放缓和非煤发电在发电结构中比例提高。³⁶这个趋势在第一季度加速：火力发电量下降了 3.7%（国家统计局，2015b），鉴于非煤型火力发电量（特别是天然气）在这个时期有所增加，我们可以推断煤炭发电量的下降幅度会更大——同比下降幅度可能会超过 4%。³⁷
- **电煤使用量：**中国煤炭工业协会的数据显示，2014 年前 11 个月里，可统计的电煤使用量下降了 3%（阿农，2015c），这表明燃煤发电效率得以提高（包括我们上面提到的因素）。2015 年第一季度，每千瓦时发电

³⁴ 一些观察者认为 2014 年中国煤炭消耗量的是不可靠的（威尔逊，2015 年；永利，2015 年）。我们将在本章 4.4 中讨论煤炭相关数据，以打消这些疑虑。我们不认为 2014 年的电力数据是异常的，因为电力数据在中国是最可靠的数据之一。并且，电力数据是与经济和政策的结构趋势相一致的。我们没发现任何证据可以证明 2014 年的电力数据是异常的。

³⁵ 据中国国家统计局的数据（2015a）显示，发电量增加了 4%。这一数据与伽诺特的所预测的一致。我们始终采用中国电力企业联合会（2015b）的数据，因为在这些数据发布时，它们是最新最全面的（火力发电能力增加包括燃煤和天然气发电）。

³⁶ 见附录二，表 A2.2 是基于中国电力企业联合会（2015b）数据的计算。对比米里维塔（2015b）的数据，他发现燃煤发电量在 2014 年下降 1.6%。

³⁷ 在附录二，表 A2.2 中，我们估算出，2014 年的非煤火力发电量相较于 2013 年增加了 15%。为了起到说明的目的，我们做了粗略的假设，即非煤火力发电量在 2014 年各季度保持平稳且以同一增长率在 2015 年第一季度保持增长，我们推断煤炭发电量会下降 4.7%。

耗煤量同比下降幅度可能会超过 2%，³⁸意味着电力部门的煤炭使用量同比下降幅度超过 6%。³⁹

我们认为，2014 年和 2015 年第一季度的这些数据主要反映了中央政府的政策和中国经济的结构性变化趋势，这种变化趋势在前文第一部分已有简述，包括：零碳能源发电（发电能力和发电量）比例大幅提高和天然气在发电领域内用量增加（见附录二，表 A2）；《大气污染防治行动计划》（国务院，2013 年）等关于煤炭消耗，特别是在关键经济区域的新限制规定；重工业产量增速放缓（2014 年）、下滑（2015 年第一季度），与之对应的，工业用电量减少。（见下文本章 4.2 关于工业排放的论述）；电煤利用率提高，这与中国在工业用能源节约方面的努力密不可分。随着中国逐步推行新发展模式，重工业部门（占中国电力消耗的 60%：中国电力企业联合会，2015a）产能过剩预示着将更多地削减产能，投资占 GDP 的比重总体来看进一步降低（中国环境与发展国际合作委员会，2015 年；伽诺特，2014 年；阿农，2015a），这些结构性调整趋势将进一步保持下去。

2014 年和 2015 年第一季度的数据，就其本身而言，并不能证明电煤消耗量在 2013 年达到了峰值。下面我们将分析电煤消耗量会在未来再次增长的 4 个可能原因，然后给出我们的最终结论。

2.1.1 水文条件及水力发电量的周期性变化

水力发电量的周期性变化是电煤消耗量未来可能出现增长的原因之一。水力发电量的高低部分取决于常年变化的水文条件。因为水力发电能力的使用往往优先于燃煤发电，所以水力发电量的变化很大程度上会传导至火力（包括燃煤）发电量中（伽诺特，2014 年）。

已装机的水电站年平均运行时间为 3 405 小时。⁴⁰2014 年的水文条件较为有利，水电站运行时间达到 3 653 小时——比平均运行时间多出 248 小时——这就是说，从水力资源发电这一块额外多得到的发电量估计是 72 太瓦时（TWh）。⁴¹

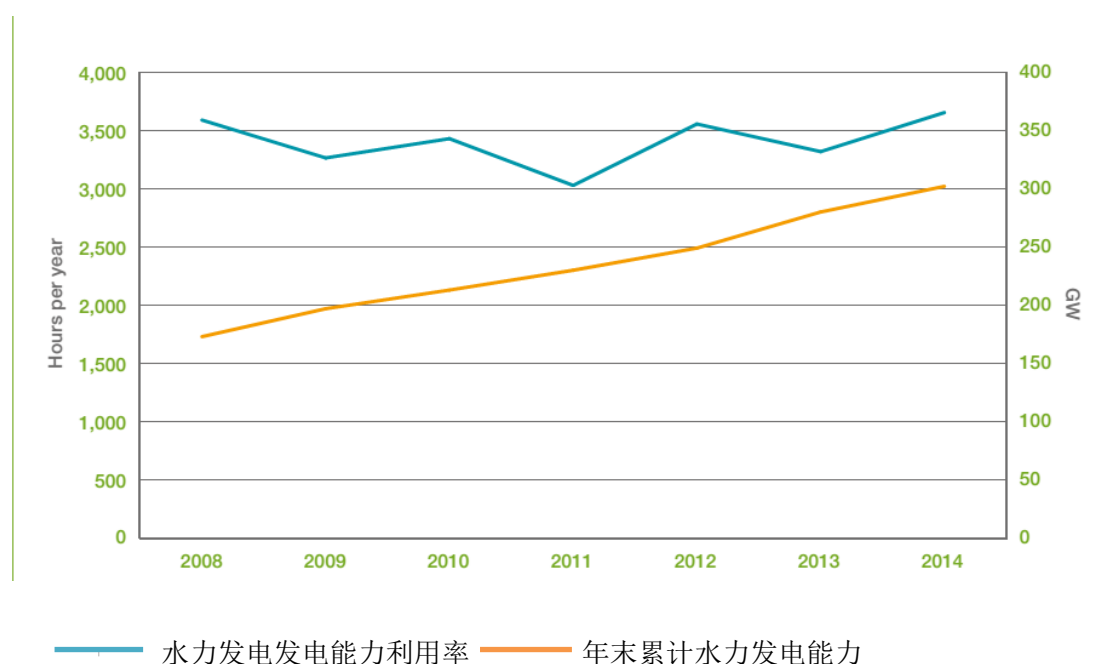
³⁸ 根据国家能源局的数据，电煤消耗强度与去年同期相比（见，国家能源局，2014 年；国家能源局，2015b），从 315 克煤当量每千瓦时下降至 308 克煤当量每千瓦时（gce/kWh）。

³⁹ 假设煤炭发电量下降 4.7%（脚注 37 中的说明性数据）（对比 2014 年第一季度的数据，见脚注 37），并且假设发电效率提高 2%，电煤消耗量可能下降了近 7%。

⁴⁰ 平均运行小时数是根据过去 7 年（2008 年至 2014 年，含 2014 年）的年度平均运行小时数算出的，数据由中央政府相关部门公布。见附录二，表 A2.3。

⁴¹ 2013 年水电发电能力为 2800 亿瓦，2014 年增加了 218.5 亿瓦（中国电力企业联合会，2015a）。我们将“高出平均水平”的运行小时数，即 248 小时分别乘以（i）2800 亿瓦——2013 年末的总发电能力，（ii）109.25 亿瓦（这是 2014 年 6 月末的发电能力，我们假设发电能力在全年是平均增加的，从而得出 2014 年全年的累计装机容量），即 248 小时 ×（2800 亿瓦 + 109.25 亿瓦）= 721490 亿瓦时（取整为 72 太瓦时），得出 2014 年“高出平均”值的水力发电量。

实际上燃煤发电量在 2014 年下降了 57 太瓦时⁴²；这表明，假设水文条件不变，2014 年燃煤发电量仅比 2013 年增加了 15 太瓦时，即不到 2014 年燃煤发电总量的 0.5%。⁴³鉴于燃煤发电效率在 2014 年（中国电力企业联合会，2015b）提高了大约 0.6%至 1.5%，⁴⁴我们推断，假设水文条件不变，2014 年电煤消耗量很可能出现了轻微下降。由于这些数据存在一定程度的不确定性，更为谨慎地说，我们的结论是：电煤消耗量在 2013 年或 2014 年达到了最大值。考虑到水电的可变性，这一结论用我们的措辞可表述为“电煤消耗量在 2013 或 2014 年达到结构性最大值”。



注释： Hours per year 每年小时数 Gw 十亿瓦特
来源： 中国政府机构数据（见附录二，表 A2.3 数据及其来源）

图 4 中国水力发电—发电能力利用率和发电能力扩大

2.1.2 五年计划对非煤发电能力的“反向调整”

中国的五年计划规划的目标之一是提高非煤发电能力，但其在五年计划各个

⁴² 见附录二，表 A2.2。

⁴³ 根据中国电力企业联合会（2015b）的数据，15 太瓦时的额外燃煤发电量（控制水文变化前提下）相当于 2014 年燃煤发电量 3957 太瓦时的 0.4%（附录二，表 A2.2）。

⁴⁴ 中国第十二个五年计划提出，每兆瓦时燃煤发电的煤炭用量将继续以每年平均 0.6% 的幅度下降；麦（音）和冯（2013 年）提出每年下降 1.5%；伽诺特（2014 年）假设每年下降 1%。这归因于淘汰旧的、效率低下的产能，代之以新的、更加高效的产能（见，如中国电力企业联合会，2015b）。

年份里的实际实施情况呈现出不均衡的趋势，这可能也会成为导致未来几年中国电煤用量再度上升的原因之一。通常来说，在一个五年计划末尾的年份里，非煤发电能力会不成比例地增加，以争取实现计划目标——这一现象有时被称作“反向调整”。例如，2014 年可再生能源用量就比此前 3 年高出很多，2015 年可能也会相对较高（这是十二五计划最后一年）。相反，在十三五计划的头几年里，如果其他因素不变，我们将发现，非煤发电能力增速放缓（但在计划末的年份里又会加快）。因此，在计划的头几年里，燃煤发电量（及相关煤炭用量）就需要增加，以填补电力需求增长带来的空白。

但是，其他因素并不会一成不变：现在出现了很多推动非煤能源用量增加、燃煤发电量减少的结构性因素，而这些因素在十二五计划的头几年里还不存在。这意味着，在未来几年，非煤能源发电能力会继续高速增长，我们也很难将非煤发电能力的结构性增长与周期性增长区分开来。

不管怎样，我们认为，十三五规划头几年里，由“反向调整”引起的煤炭用量增加本质上还是周期性的，而非结构性的。

2.1.3 燃煤发电能力持续提高，包括“煤基地”

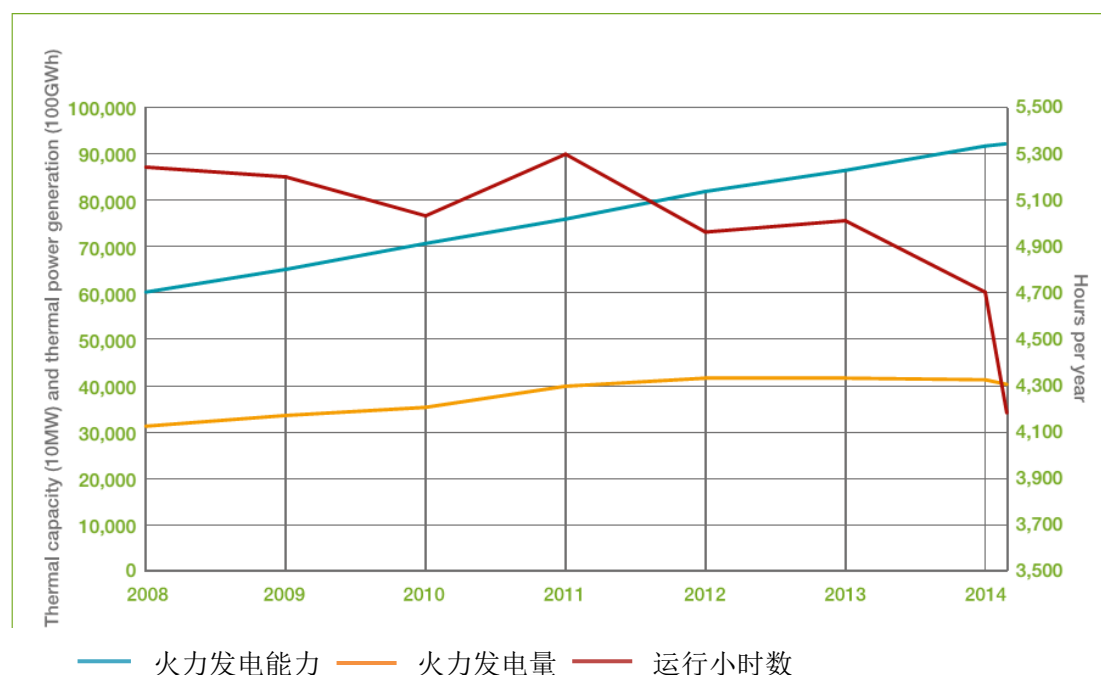
2014 年，中国电网新增加约 360 亿瓦燃煤发电能力（中国电力企业联合会，2015b）。⁴⁵一些分析人士认为，中国燃煤发电厂持续增多表明中国电煤用量未来还会增加，或至少在较长一段时间内保持平缓（科恩、刘，2013 年；科恩 2015 年；特伦巴斯，2014 年）。但电煤用量会随着发电能力的增加而增加的论断仍需谨慎考量。

较为明显的是，在中国的体系内，很多新增发电能力可能得不到利用。大部分中国燃煤发电能力已经处于低利用的状态。2011 年以来，燃煤发电能力增速已经超过燃煤发电量增速。燃煤发电能力利用率自 2011 年开始下降，2014 年利用率为 54%，创年度利用率最低水平（米里维塔，2015b），2015 年度进一步降低（见下方图 5，火力发电能力利用率）。对大气污染、能源安全、气候变化等问题的高度关注促使减少煤炭消耗、扩大非煤能源使用的目标和政策出台，这又驱使燃煤发电量走低。关于燃煤发电量将持续上升的论断背离了中国官方政策和中国经济结构调整的明确方向。如果燃煤发电量继续下降而燃煤发电能力不断扩大，那么燃煤发电能力利用率将持续降低，这意味着，燃煤发电的经济价值越来越多地“受到限制”。⁴⁶（这必然会成为一个严重的经济问题——回报率低的资本

⁴⁵ 2014 年，中国削减了一些燃煤发电能力，大约 20 亿瓦，下文会进一步讨论这点。

⁴⁶ 正如米里维塔（2015b）所注，即使存在产能过剩问题，建设一座新燃煤电厂依然可以发电并获得收益。

投入会拖累中国经济增长——但此处应指出，这不会带来环境/气候问题）。



注释： Thermal capacity(10MW) and thermal power generation(100GWh) 火力发电能力（10 兆瓦）和火力发电量（100 吉瓦时） Hours per year 每年小时数

来源： 参见米里维塔（2015b），已根据中国电力企业联合会公布的 2015 年第一季度数据对其加以更新。

注： 图中所示为所有种类的火力发电量，不仅仅指燃煤发电量（其他非煤能源（尤其是天然气）火力发电量已经在增加，而燃煤发电量已在下降）。

图 5 中国火力发电

2008 年至 2015 年第 1 季度：发电能力上升+发电量趋缓=发电能力利用率下降

那么如何解释燃煤发电厂产能的持续扩张？为什么要在发电能力已经过剩的情况下继续投资？我们给出三个合理原因。而且我们认为前两个原因可能是对大多数最近进行的和正在进行的产能扩张行为的最好解释，它们表明这些新增产能的多数将得不到利用。但是，今后西部地区（所谓“煤基地”）扩大的产能存在被利用的可能性。

i) 导致低效率产能扩张的前期决策的历史遗留效应

首先，近期的产能扩张说明中国中央政府政策和市场条件的变化对电力行业

较低的发电能力利用率在整个燃煤电厂系统和电站运营部门内普遍存在。

规划、审批、投资和建设决策的影响存在无法避免的滞后性。中国的燃煤发电站从规划审批（通过国家发展和改革委员会）到装机投产的平均用时为 4 至 5 年。因此，2014 年的产能扩张行为反映出来的是在 2009 年至 2011 年期间通过的审批、投资和施工决策，而这些决策是在旧发展模式占主导之时、产能过剩问题显现之前通过的，更是在新发展模式得到全面落实、旨在控制大气污染的大量重要的限制煤炭使用的法规颁布之前通过的。中国人民银行金融研究所和创绿中心（一个非政府组织）的最新研究进一步证实了这种解释。其作者发现煤炭业（即不仅包括燃煤发电厂）的银行贷款从 2012 年开始激增并于 2013 年增加了一倍多，这源于中国居高不下的能源需求增长和煤炭公司的迅速发展（陈、斯坦威，2015 年）。因此我们可以预见未来 2 至 4 年内将有大量新增煤电产能上线，其原因是在不同的经济和政策环境占主导之时，至 2013 年左右，新项目得以扎堆上马。

此外，2014 年的产能扩张一定程度上可能表明了中国的投资决策是低效的（4 至 5 年前来看就是低效的），导致低效投资的原因是对重工业投资的补贴或其他激励措施造成了国有企业、地方政府以及国有银行的过度投资（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；米里维塔，2015b；陈、斯坦威，2015 年）。这些激励措施是十二五计划下的旧发展模式的特征性产物，一直持续至今，这也是过去几年新增产能仍在不断得到规划和投资的原因。

综合这些因素来看，产能在这十年内余下的大多时间里大量地（低效率）扩张就不足为奇了。我们需要给出明确的信号和政策，使企业、银行以及政府部门改变预期和行为，从而减少这种低效率的资本分配（陈、斯坦威，2015 年；中国人民银行/联合国环境规划署），我们将在第三部分对这个话题进行进一步论述。现在的关键点是：那些“燃煤发电能力总体持续扩张”的解释似乎比“产能正在扩张，为的是提高燃煤发电总量”这种解释更加可信。

ii) 以提高效率为目的的装置升级

部分产能扩张显示：以高效率（超临界和超超临界）低单位发电煤耗量的发电厂取代旧的、低效率的发电厂（这些发电厂正在被关闭），使得总体发电装置的效率得到提高，也因此降低了煤炭使用量（以相同的利用率使用替代产能）。⁴⁷

iii) 西部“煤基地”

如果中国执行在西部地区建设燃煤发电站、通过超高压输电线从西部向东部

⁴⁷ 根据国家电网公司 2014 年的目标（中国电力企业联合会，2015b；同见，伽诺特，2014 年），2014 年中国大概关闭了 20 亿瓦左右的燃煤发电产能。过去十年里，中国煤炭装置的热效率得到显著提高。热效率大概在 25—30%（20 世纪 70 年代）的旧煤炭发电装置正在被热效率为 35—45% 的新装置取代（花旗集团，2013 年）。

城市输电——即所谓的“煤基地”（斯莱特，2014 年）战略，那么今后其燃煤发电能力和发电量都将增长（上文所提到的因素也会是发电能力和发电量增长的原因）。这是中国《大气污染防治行动计划》（国务院，2013 年）中减轻东部大气污染三项措施中的一项。⁴⁸

这种大规模的开发并非不可避免。这种开发会带来加剧西部大气污染的不良后果。鉴于中国在发展东部地区获得的经验教训，中国需要弃用旧的发展模式来发展较为贫困落后的西部地区，而且现在这些地区可以选择走更清洁的发展道路。此外，西部地区的太阳能条件更好，很多中国最具创新性的可再生能源公司都起源于新疆，⁴⁹这说明更多地以可再生能源为基础（特别是太阳能，包括聚光太阳能热发电和太阳能光伏发电（光伏（PV））（请同时参考，国家发展和改革委员会能源研究所，2015a）的西部能源战略是极具潜力的。发展超高压输电技术使得将可再生能源高效地从西部地区传送到东部城市的机会大大增加，因此，可以努力争取采用这种方法，而非开发煤基地。

重要的是，开发煤基地意味着今后燃煤发电及其煤炭消耗增加的结构性风险。我们做结论时会将这个因素连同之前提出的与此相反的结构性趋势一同考虑进去。

2.1.4 对其他发电源电力需求的增长

随着中国将其经济重心从重工业转向家庭消费、高附加值产业和商业活动，我们预料这些领域的电力需求将出现增长。然而，这些领域的耗电量是相对较小的；从近期和中期看，这些领域电力需求的增长量将远低于重工业（占中国电力需求的 70%）电力需求的减少量（从长期看，家庭能源利用效率的提高和紧凑的城市规划将会是这些领域降低用电量的重要因素——见下面第三部分。）

不断发展的客运电气化（和取暖、部分工业等）进程是能够增加未来电力需求增长率的结构性趋势。交通电气化在未来十年里可能会不断发展（见本章 2.3，下），但是要到 2020 年以后才会实现交通电气化的大量普及（伽诺特，2014 年）。如果交通部门和其他行业的电气化得以实现，电力需求便会增加，假设非煤资源利用情况不变，这又会引起燃煤发电量的增加（或降低其下降速度）。但在可预

⁴⁸ 其他的是指增加天然气用量和增加非化石能源的使用。西部“煤基地”战略是 2014 年 6 月习主席在一个有关中国能源安全策略的会议（其他中央领导人也有参加）上提出的，并且得到诸如国家电网公司董事长刘振亚这样的重要人物的推动（斯莱特，2014 年）。早前，根据厦门大学能源经济中心的牟敦国透露：“用于在这些基地和东部负荷中心之间传输电能的两条交流和四条直流超高压输电线已经建好。”（引用 斯莱特，2014）

⁴⁹ 感谢罗斯·伽诺特提供的这一观点，我们已经注意到。

见的未来里，这不会成为电力需求增长的主要压力来源。电气化有一个明显的好处，就是可以提高效率（如，交通电气化对比内燃机），还可以对温室气体排放造成下行压力，尽管净排放效应还取决于电力供应端的排放强度。随着时间的推移，电力供应去碳化程度越高，电气化带来的温室气体减排量越大（见，如国际能源署，2011；豪斯法泽（音），2009）。⁵⁰

2.1.5 关于电力部门温室气体排放问题的结论

总而言之，我们的结论是，未来几年的发展进程可能会证明，电煤用量在2013/14年到达结构性最大值。周期性因素（水文条件变化及五年计划里非煤发电量不均衡性增长）会导致电煤使用量在未来几年里围绕这一结构性最大值波动（这些波动应受到控制，正如我们在前文讨论中提到的那样）。我们列举出的经济、政策结构性调整也会使电煤用量持续（结构性）减少，我们已经在2014年、2015年第一季度见证了这一现象。另一方面，增加电煤用量的结构性压力（煤基地建设、交通电气化及其他领域）可能会上升。总体来看，我们认为，到2025年之前的这一段时间，煤炭用量下行压力占主导地位的可能性更大。

迄今为止，煤炭是电力部门最大的二氧化碳排放源。所以，整个电力部门的排放趋势会大体跟随煤炭用量的趋势而变化。但是，要计算电力部门全部排放量，就必须考虑到天然气发电量的增长（其二氧化碳排放量大约是燃煤发电二氧化碳排放量的一半）。我们会在下面章节2.2中关于化石燃料用量趋势和排放峰值的总体结论中论述天然气的作用。

2.2 工业部门

在中国的工业部门里类似的情景正在上演。和排放密集型的发电行业一样，2000年至2013年，排放密集型的工业生产也在迅速增长。⁵¹到2013年，中国生产着世界一半的钢铁和近60%的水泥（世界钢铁协会，2015年；欧洲水泥协会，2015年）。但是，正如我们在下文所解释的那样，这两个工业部门的生产量在2014年强势放缓，现正在下降。我们的结论是，这是一个结构性的趋势，加上现在用煤密集型工业生产方法得以替换，将会导致这些领域的用煤量在2015年及以后下降。因此，工业用煤总量能否下降很大程度上取决于煤转气（以及较小规模的煤转化工品）工业规模在未来几年得以扩大的程度。

⁵⁰ 在此，我们不考虑二级效应（对零排放源更有利）。例如，电动汽车使用的增加可以增强电网碳捕集能力，有益于零排放电力资源利用。

⁵¹ 例如，在此时期，中国钢铁产量从2000年1.285亿吨到2013年8.22亿吨（世界钢铁协会2015）。见宋和刘（2013年）的论述。

2.2.1 钢铁和水泥工业：达到发展顶峰、产量和煤炭消耗量减少

正如第一部分所论述的，中国 GDP 的很大一部分是由中国对重工业投资构成的。而这一部门面临着严重的产能过剩问题（中国环境与发展国际合作委员会，2014）。中国政府部门和钢铁、水泥行业普遍认识到，钢铁和水泥行业（最大的工业排放源）面临着产能过剩，需要进行结构性调整。例如，中国钢铁工业协会主席就在 2014 年表示，“中国钢铁工业部门已进入顶峰时期，发展逐渐趋缓”（路透社，2015a）。该协会 2015 年第一季度报告强调，钢铁消费和生产均已达到峰值，正在下降（中国钢铁工业协会，2015）。

诚然，2014 年，中国粗钢生产量的增长速度是本世纪内的最低水平，为 1.2%，水泥只增长了 2.3%（国家统计局，2015a）。2015 年第一季度，水泥生产量下降 3.4%，粗钢生产量下降 1.7%，平板玻璃生产量下降 6%（国家统计局，2015b）。导致生产量下降的直接原因是中国建筑业和重型制造业需求减少（中国钢铁工业协会，2015），这与中国“新常态”经济形势是一致的。相应地，正如近些年来一些作者所预测的那样（见，如伽诺特，2014 年），在中国新发展模式下，这些行业投资减少、发展理性化，生产量下降的趋势确实是强劲的。2015 年及以后，可预测的钢铁水泥行业的减产将减少对工业用炼焦用煤、热能煤的需求量。

有些人认为，全球钢铁产量增加有助于未来中国钢铁产量增长，但这一观点误读了中国国内市场和钢铁行业转变的规模和意义。中国是目前世界上最大的钢铁消费国，其钢铁需求量现占全球需求量的近一半。过去 15 年里，中国钢铁产出的大部分供应给了中国这一规模巨大且（直到今年）还在增长的国内需求市场（阿农，2015b）。2014 年中国国内消费量趋缓，中国钢铁生产商们迅速扩大出口加以应对。但显然，出口扩张也是有限的：它打压了全球钢铁价格，在欧洲和美国引发了贸易摩擦。欧洲和美国的钢铁生产商控诉中国倾销廉价钢铁，向他们的政府施压以做出贸易保护主义回应（阿农，2015b）。相应地，中国钢铁行业本身也预料到，2014 年达到顶峰之后，未来钢铁出口会下降（中国钢铁工业协会，2015 年），并认为，出口市场的钢铁消费量增长不可能抵消中国国内市场的衰退（亦见，阿农，2015d）。

水泥、钢铁行业淘汰排放密集型生产工艺的趋势加大了由钢铁、水泥产量下降引发的工业直接用煤量的下行压力。例如，由（使用炼焦煤的）高炉生产的钢铁产量占比降低，而且这些高炉正越来越多地被使用回炉废钢的生产方式（不使

用煤)所替代。这一趋势,加上钢铁产量保持平缓,导致钢铁行业用煤量降低,根据中国煤炭工业协会的数据(阿农,2015c),2014年前11个月钢铁行业用煤量下降了1.5%,建筑材料行业(包括水泥)用煤量减少了0.2%。行业领袖们预计,不仅中国钢铁生产量会在2015年大幅下跌(2015年第一季度钢铁产量下降1.7%)(塞拉皮,2015年),而且越来越多的钢铁是以回炉废料的方式生产出来的,这可能会使中国炼焦煤的需求量在2015年大幅减少,甚至2015年以后可能会进入每年下降至少几个百分点的时期。⁵²在水泥行业,类似的产量趋缓、下降,将落后产能替代为排放量较低的生产工艺这样的趋势也在发展进行中。⁵³

钢铁水泥生产占了中国工业排放量的70%左右,这意味着这些行业用煤量的下降将会对中国用煤引发的工业(及总体)排放量带来较大的下行压力。

2.2.2 煤化工和煤制天然气:扩张的风险

与此相反,其他一些重工业部门的煤炭消耗量正不断增长,或在未来几年内可能出现增长。化工行业就是其中之一,其煤炭消耗量正在迅速增长,尽管是从相对较低的基础之上开始的(阿农,2015c)。据麦格理2月份的预测,到2020年之前化工行业的煤炭消耗量将增长1.3亿吨(130MT)(麦格理研究公司,2015年),这将抵消掉钢铁和水泥行业预计能减少的煤炭使用量中的很大一部分。

中国正在考虑第二种开发工业用煤的方法,即在中部和西部的产煤地区建设大型煤制天然气生产厂,将其所生产的合成天然气(SNG)输送到东部城市用于燃气发电、供暖或工业生产(斯莱特,2014年)。这将以低污染的天然气取代污染大气的燃煤发电站,但是合成天然气工厂将会极大地增加煤炭消耗量和耗水量,以及整体消耗能源所产生的生命周期温室气体排放量,因为煤制合成天然气的工艺过程是极其耗能和耗水的,并伴有大量温室气体的产生。⁵⁴

目前正在运行的合成天然气生产厂有两座,截至2014年7月,有48个此类项目正在规划中(奥特里,2014年)。根据绿色和平组织的分析,如果到2020年这50个项目全部投产运行,它们每年将会产出2250亿立方米的合成天然气(SNG)和10.87亿吨二氧化碳(奥特里,2014年)。这会显著增加中国工业用煤量和碳排放量,并且与温室气体排放更早达到峰值以及峰后迅速减排的宗旨背

⁵² 罗斯·伽诺特(私人通讯,2015年3月)。

⁵³ 罗斯·伽诺特(私人通讯,2015年3月)。

⁵⁴ 杜克大学研究人员已发表于《自然》的一项最新研究表明,用于发电的合成天然气的生命周期温室气体排放量比粉末燃煤发电站高出~36—82%(杨、杰克逊,2013年)。该研究还发现,合成天然气生产(即不包括下游消耗)的生命周期温室气体排放量比页岩气生产高出7倍,合成天然气生产的耗水量比页岩气生产高50—100倍(杨、杰克逊,2013年)。请同时参考丁等人(2013年)。

道而驰。考虑到该产业的经济状况、对耗水量和温室气体排放的影响、中国政策的可能趋势，我们认为，这个产业不可能发展到上述那种规模。尽管之前国家能源局为这个产业设定的合成天然气（SNG）目标产量是每年 500 亿立方米（到 2020 年之前），可是随之产生的每年 2.42 亿吨左右的二氧化碳（奥特里，2014 年）依然会让中国工业排放量在那时之前达到峰值的可能性大大降低。

2014 年 12 月，据中国媒体报道，政府正考虑在十三五计划中对新煤制合成天然气生产厂采取拒绝审批的政策，从而在当下这个十年的结尾之时将以煤炭为基础的合成天然气（SNG）生产能力限制在 150 亿立方米（刘，2014 年）。这也会将排放量限制至每年 0.675 亿吨二氧化碳（刘，2014 年）。我们认为，暂缓这个产业（煤制天然气）的发展更加符合使工业用煤量和温室气体排放量早些达到峰值、并迅速下降的宗旨，同时从减缓气候变化（还有水资源安全）的角度看也是可取的。这同样会向国际社会发出一个明确信号，即中国把减缓气候变化作为不同于减轻本地大气污染的一个独立问题摆在重要位置。

不过，出于研究分析的需要，在温室气体排放预测中依然要考虑到该产业扩张这一风险性因素。

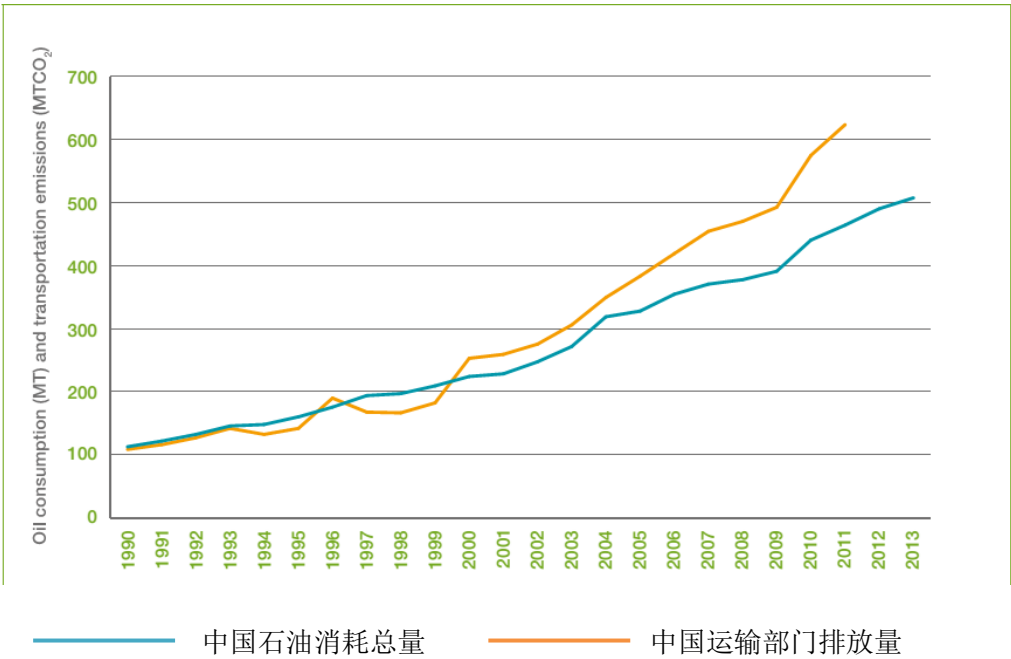
2.2.3 关于工业温室气体排放的结论

我们并没有详细分析所有工业过程的温室气体排放数据，但分析了那些占中国工业煤炭消耗量和相关温室气体排放量主体的行业的重要发展趋势，并发现这些行业的产量和煤炭消耗量都已经达到峰值并进入结构性下降通道。对此形势不利的是，未来五年内，这些下降量的大部分可能会被化工行业煤炭消耗的增量所抵消。再加上合成天然气（SNG）产量的温和增长（我们认为温和增长比大幅增长更具可能性），我们可以预料未来五年工业温室气体排量将是总体平稳的，排放量在此之后能否下降很大程度上则取决于政策。合成天然气（SNG）产量的大幅增长会极大地增加中国工业煤炭消耗量和温室气体排放量，尽管这一情况不太可能出现，但是现阶段也不能完全排除这种可能。我们的总结是：就像电力用煤量那样，工业用煤量正保持平稳，未来五至十年工业用煤量下降的可能性高于增长的可能性。

2.3 运输部门

今后至少十年内，运输业温室气体排放量可能会从现在相对较低的起点持续增长。但是已有的和正在规划中的政策措施可能会使这一增长速度较过去十年里很多研究普遍预测的那样更为温和。

在过去的四分之一世纪里（图 6，下方），受道路运输车辆保有量增加（这又是受到人口和人均财富增长的推动）的强力推动，运输领域石油消耗总量（其中大多数来自运输领域）和二氧化碳排放量的迅速增长（甘比尔等人，2015 年，下文 2）。⁵⁵在 2000 年至 2011 年这段时间内，石油消耗量年均增长率接近 8%，但是在 2012 年至 2013 年似乎在某种程度上趋于缓和（英国石油公司（BP）2014 年；下图 4.3）。2011 年运输领域二氧化碳排放量大约为 6.2 亿吨，或者说是中国温室气体排放总量的约 6%（根据世界资源研究所（WRI）的气候分析指标工具（CAIT）数据库（世界资源研究所，2014 年））。⁵⁶



注释： Oil consumption (MT) and transportation emissions (MTCO₂) 石油消耗量（百万吨）和运输部门排放量（百万吨二氧化碳）
来源： 英国石油公司（2014）（石油消耗量数据）世界资源研究所（2014）（运输领域 CO₂ 排放量数据）

图 6 中国石油消耗总量（所有部门）及运输部门二氧化碳排放量

⁵⁵ 根据国际能源署 2012 年数据（国际能源署，2014b），道路运输二氧化碳排放量占中国国内运输业二氧化碳排放量的约 80%，或者说占中国运输业二氧化碳排放总量（包括国际航运和航空领域二氧化碳排放量）的约四分之三。
⁵⁶ 实际数值应该会稍高：对比国际能源署（2014b）的数据，数据表明 2012 年中国所有运输行业（包括国际航运船用燃料油）的二氧化碳排放量为 7.46 亿吨二氧化碳（2011 年国际能源署数据和 2012 年世界资源研究所数据无法获取来做同年数据对比）。

表 2 中国车辆保有量和相关能耗及二氧化碳排放量

年份	车辆保有量 (百万, 不包括摩托车) ^a	能耗 (皮焦耳) ^b	CO ₂ 排放量 (百万吨二氧化碳) ^b
2002	20.1	2636	186
2003	23.3	2876	303
2004	26.3	3149	222
2005	30.9	3395	240
2006	36.1	3613	255
2007	42.4	4032	284
2008	49.6	4773	336
2009	62.8	5485	387
来源: 从甘比尔(音)等人处复制(2015年)			
注: a 来源于: 霍、王(2012年); b 来源于: 欧, 等人(2010年)			

未来中国交通部门的发展趋势和体量以及相关的二氧化碳排放量具有相当大的不确定性, 因为这些取决于各种因素, 包括经济的、技术的、社会的和政策的, 这些因素都会影响供给和需求。产生于中国旧发展模式下的一些研究预测未来汽车保有量和油耗将出现高增长(这将导致二氧化碳排放量显著增加)。⁵⁷

然而, 中国的决策者们已经意识到持续强劲增长的汽车使用量和油耗带来的风险——能源风险、交通拥堵、大气污染、温室气体排放量上升——制定政策来应对这一领域出现的问题正成为他们研究对策、采取措施时的重点工作。中国的十二五计划出台了一些严厉政策, 这些政策旨在减少道路运输业的能量消耗和温室气体排放量, 特别是通过提升内燃机汽车的能耗效率来实现该目标(霍等人, 2012年; 甘比尔等人, 2015年)。现行政策是要在下一个十年里逐渐提高乘用车的燃油经济性标准, 到2020年接近世界先进水平——欧盟和日本, 同时刺激新能源汽车的生产与消费, 包括电动汽车, 后者可能会在十三五计划中得到更多关注(甘比尔等人, 2015年; 中国科学院, 2009年)。

考虑到现有政策, 世界能源署在其“新政策情景”中预测: 中国的石油消耗量将会以平均每年1.6%的速度增长到2040年, 以每年2.4%左右的速度增长到2030年, 在接下来的十年里以每年0.4%的速度下滑并于2040年前后保持平稳

⁵⁷ 参考, 如, 霍、王(2012年)(预测2050年机动车总保有量为5.3亿-6.23亿); 郝等人(2011年)(6.07亿台机动车, 到2050年); 王等人(2011年)(4.5亿-5.5亿台机动车, 2030年)。但是欧等人(2010年)和姜(音)等人(2010年), 他们都在相似时间参与了各自所属的研究, 与上述其他人对比, 他们预测了相对较低的汽车保有量增长率——道路车辆到2050年达到5亿台左右。本脚注涉及的所有预测均不包括摩托车。欧等人(2010年)和姜(音)等人(2010年)都预测, 到2050年摩托车数量将达到大约1.15亿-1.2亿。

(2014a, 100,654)。⁵⁸但是考虑到新发展模式下政策环境的迅速改变, 这些预测可以被认为是过高的。⁵⁹

鉴于中国汽车技术的发展趋势、城市规划(影响交通需求)和关于大气污染、交通拥堵、创新三方面的政策, 学者们正在为运输部门研究深度脱碳的情景(甘比尔等人, 2013 年; 甘比尔等人, 2015 年; 霍恩比等人, 2012 年)。⁶⁰例如甘比尔等人(2013 年)预测: 在假设“一切照常”(business as usual BAU)的情景下, 2050 年运输部门的二氧化碳排放量将增至 19 亿吨, 但是通过新政策措施, 到 2050 年这一数字则可减半至不到 10 亿吨。⁶¹

然而对运输部门排放趋势进行确切的预测是有难度的, 根据前面几段里所讨论的, 同时考虑到当前政策与创新的趋势, 我们认为未来十年里运输部门的温室气体排放量将有可能更加温和地增长。不过, 尽管交通部门排放量停止了增长, 之后到达峰值并下降, 其在接下来的十年左右对于中国减少其温室气体排放总量的能力还是至关重要的。如上所述, 运输电气化是大多数运输行业去碳化的关键。

2.4 结论: 排放量峰值

计算出中国温室气体排放总量的可能峰值的方法之一是研究(各行业)化石燃料消耗量的趋势。煤炭占中国一次能源消耗的三分之二,⁶²也是中国温室气体排放的最大来源。根据中国官方的初步统计(国家统计局, 2015a), 2014 年中国煤炭消耗量下降 2.9%至低于 40 亿吨(同时煤炭进口量降低 10.9%)。⁶³根据中国煤炭工业协会的数据(新华社, 2015c), 2015 年第一季度中国煤炭消耗量同

⁵⁸ 国际能源署(2014a)评述道:“在中国, 石油供给安全是一个重要的战略问题, 包括运输政策——尤其是燃油经济性标准、工业产量以及人口的持续降低(后者将于 21 世纪 30 年代达到峰值)三方面在内的综合因素对中国石油消耗量增长率有很大影响。石油需求百分之九十的增长将会发生在 2030 年之前, 之后的平均增长率会达到每年 0.4%。

⁵⁹ 由于对燃料油的价格管制, 近期的全球石油价格下跌会明显影响中国石油消耗的可能性不大。近期石油价格下跌导致石油进口量激增, 而增加石油进口量主要是为了丰富战略储备。同时, 因为消费者需求量趋缓, 中国已开始扩大其精制产品的出口(霍恩比等人, 2015 年)。

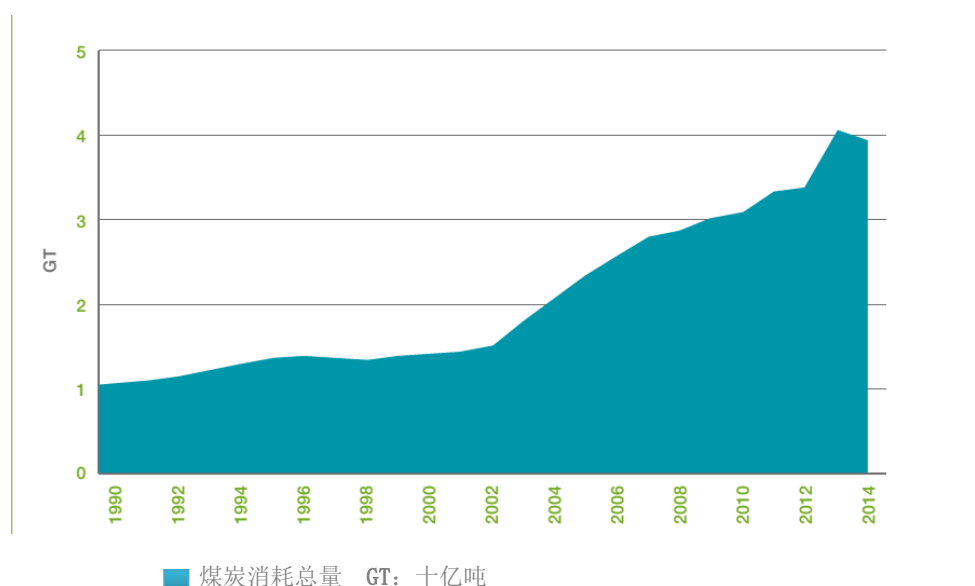
⁶⁰ 甘比尔等人(2013 年)在其“基准情景”和“低碳情景”中假设, 到 2050 年, 中国轿车和货车会达到约 2.7 亿辆(包括摩托车在内的道路车辆是 4.4 亿辆), 这明显低于之前的相关预测(见前文脚注 57)。这是因为他们假设这种增长更趋近日本模式, 即具有混合利用区域和大容量公共交通基础设施的高城市化水平(6.2 亿)。他们对运输部门排放结果做了敏感性分析, 即与 2050 年道路车辆数量为 5 亿辆(不包括摩托车)这一情况相比, 他们发现“低碳情景”(6.22 亿-6.24 亿)将于 2050 年前产生额外 3 亿吨二氧化碳排放量。与此对比, 甘比尔等人(2015 年)不管是在“一切照常”(BAU)情景下, 还是做敏感性分析时都使用了更高的道路车辆数量数值。

⁶¹ 甘比尔等人(2015 年)只对道路运输业做全面的模拟。在那项研究中, 他们假设了比甘比尔等人(2013 年)更高的道路运输增长率。在 2015 年的研究中, “一切照常情景”预测: 2050 年左右道路运输排放量将以稍高于 20 亿吨的数值达到峰值, “低碳情景”预测: 到 2050 年道路运输业排放量将以大约 17 亿吨数值达到峰值并且下降至 12 亿吨左右。

⁶² 根据中国官方的数据, 2014 年煤炭在能源消耗中的占比为 66%(国家统计局, 2015a)。

⁶³ 请同时参考中国煤炭工业协会和国家能源局的数字, 这些数字记录了中国煤炭消耗量、产量和净进口量的下滑(新华社 2015a; 新华社 2015b; 中国电力新闻网 2015 年, 米里维塔 2015c)。

比下降 3.5%，进口量下降 45%，表明⁶⁴煤炭消耗总量明显下降——可能是同比 4-5%左右——这与前文论述过的这一时期电力和工业部门的煤炭消耗量数据是一致的。



来源：国家统计局（2015a）

注：见下文脚注 66。脚注 66 解释了为何煤炭用量在 2013 年似乎大幅上升；事实上，2009 年至 2012 年煤炭用量可能比图中所示的要高，这样的话，这段时间到 2013 年煤炭用量的增长是较为平衡的。

图 7 中国煤炭消耗总量(1990 年-2014 年)

一些观察家提出，2014 年煤炭用量数据可能存在异常（威尔逊，2015 年；永利，2015 年）。但是，从上文我们对电力和工业部门用煤量的分析看，而且考虑到电力、工业两个行业分别占到中国用煤量的 50%左右，我们认为，中国的用煤量在 2014 年确实下降了（下降幅度为 1.5%的可能性更大）。我们得出结论，电力和工业两个部门的煤炭用量已达到结构性最大值，而且我们预计煤炭用量会趋于平缓（今后五年可能会围绕这一最大值出现周期性波动），但是在未来几年，煤炭用量出现下降趋势的可能性更大。⁶⁵虽然，从理论上来看，2014 年数据可能会像上文提到的作者所说的——比较异常，但是我们认为，考虑到中国经济、政策的结构性趋势，这一情况事实上不太可能发生，而且多份独立数据也有力地证明了电力和工业两部门煤炭用量达到结构性峰值，且会趋于平缓或降低，这与我

⁶⁴ 在无法获得中国煤炭库存量变化数据的情况下，尚不可能计算出消耗量下降的准确值。

⁶⁵ 我们作出的这一预测也是因为受到了上文中关于电力和工业部门用煤量阐述的影响。

们的结论也是一致的。⁶⁶更为全面的统计（其数据应是 2015 年早些时候发布）会提供更为权威、准确的数据。但是，如果这些数据能推翻我们所作出的定性式结论，我们将会感到非常惊讶。

在过去几年里，对中国煤炭用量达到峰值的时间的预测已经提前了。五年或十年以前，预计 2020 年达到峰值的这种说法听起来似乎是非常有悖于常理的。甚至就在 12 个月之前，当我们提出中国用煤量可能会在 2020 年之前达到峰值（格林和斯特恩，2014 年），这还被认为是一种小众观点。中国煤炭用量可能已经达到峰值（在我们看来，至少已经达到结构性最大值且趋于平缓）。这一现象反映了中国变革的巨大步伐和我们已经论述过的经济、政策方面的诸多结构性调整。

此外，煤炭消耗量峰值被认为是衡量温室气体排放量（或者说至少是二氧化碳）的首要指标。问题是，它能衡量多长时间的排放量呢？要对此给出准确答案是不可能的，只能作出预测。我们预计，随着能源消耗总量继续增长，运输行业扩张，并且在能源生产中天然气作为煤炭替代品得以推广，天然气和石油消耗产生的二氧化碳会在下一个十年甚至更长时间里继续增长（虽然增长速率会放缓）。目前煤炭消耗是中国能源领域（所有领域）温室气体排放的一个极大的推动力，而石油、天然气消耗产生的排放量只占较少的一部分。因此，煤炭用量即使只是较为温和地下降一些也会使排放量绝对值极大地减少。而石油、天然气用量大幅增长产生的排放量绝对值相对较少，但也是不断增加的。中国新气候经济研究发现，达到煤炭用量峰值和达到二氧化碳排放量峰值两个时间点之间存在着十年的时间差。如果这个十年时间差的假设合理的话，那么我们预计中国排放量峰值可能会出现在 21 世纪 20 年代中期。⁶⁷

根据对中国新发展模式和（上文所述的）关键领域的发展趋势的分析，我们认为，中国极不可能在 2030 年那么迟的时间点达到排放量峰值。排放量达到峰值的时间更有可能在 2025 年之前。早先论述过的 2015 年第一季度煤炭用量、电力部门和工业部门的数据进一步证明了这一预测的合理性。中国也极有可能早于 2025 年到达排放量峰值。在附录三中，我们会阐述一种中国能源领域二氧化碳

⁶⁶ 但是，我们也注意到，中国最新发布的统计数据（国家统计局，2015a）大幅上调了 2013 年煤炭消耗总量的数据——从大约 35 亿吨调至超过 40 亿吨。这一调整是根据 2014 年进行的经济普查（五年一次）的结果做出的。这也使 2013 年数据变得更为准确（见米里维塔，2015a 的论述）。本文发表之时，中国统计机构还未发布对 2013 年之前几年数据的调整情况。我们预计，如果调整的话，将会上调那些年的煤炭用量数据，上调幅度与 2013 年数据调整比例趋同。这也就解释了上图 7 中 2013 年煤炭用量上涨幅度为何看起来如此反常。事实上，2013 年的增长速度可能是比较低的，因为 2012 年煤炭用量的数据实际上比图 7 所示的要高。

⁶⁷ 我们认为，煤炭用量已经处于趋于平缓的过程之中，所以没有一个清晰、准确的达到峰值的时间点。

排放量在 2020 年之前达到峰值的假设性情景，并会解释导致这一情况发生的一些暗含假设条件。⁶⁸

中国土地利用领域二氧化碳排放及中国（所有领域）非二氧化碳排放的趋势和水平就没有这么清楚了。目前我们尚未对这些情况作出分析。⁶⁹这些只是中国排放总量当中较少的一部分（大约占 25%）。⁷⁰因此，我们认为，能源消耗领域的二氧化碳排放量峰值很大程度上能够决定排放总量峰值。

如果中国的排放量果真在 2020 年至 2025 年左右达到峰值，那么对其排放量峰值的合理预测值应该是 125 亿-140 亿吨左右（假设 2014 年排放量是 120 亿-130 亿吨左右，且排放量增长速度放缓（如果尚未出现负增长的话））。⁷¹

未来 5 至 10 年之后，能源领域排放趋势很大程度上取决于政策及其执行情况，尤其是在以下几个方面：采取措施大幅减少煤炭用量/煤炭消耗产生的排放量；采取措施使运输领域排放量增长速度趋缓，使排放量达到峰值；采取措施，使中期（5 至 10 年）之后天然气消耗量增长放缓。第三部分将主要论述这些和其他方面的措施。

⁶⁸ 在附录三里，我们还会论述关于 GDP 增长和能耗强度降低的假设。

⁶⁹ 中国新气候经济研究认为非二氧化碳排放（尤其是农业领域的甲烷和一氧化二氮、工业领域的氢氟烃和一氧化二氮）增长速度比二氧化碳要慢。

⁷⁰ 中国的土地利用部门已经成为排放气体吸收汇集体，中国现在也在实施能扩大这种吸收汇集能力的政策措施（见国家发展和改革委员会，2013 年），这也会使排放总量达到峰值的时间进一步提前。

⁷¹ 目前尚无关于中国排放量的准确计算数值。较为先进的数据库，世界资源研究所（2014 年）和国际能源署的排放量数据库（国际能源署，2015a）对 2010 年排放量的估算值相差 10 亿多吨，前者的数值相对较低（为 94 亿吨二氧化碳当量，包括土地利用和林业的排放量），后者的数值相对较高（为 108 亿吨二氧化碳当量，包括土地利用和林业的排放量）。两个数据更近期数据的直接对比情况尚未得知。对 2014 年排放量为 120-130 亿吨的估算是根据多个数据来源做出的，包括对二氧化碳排放量做出的（例如“全球碳项目”组织，2014 年）更新（2013 年）估算、以及根据往年二氧化碳对非二氧化碳排放排放量比率而做出的非二氧化碳排放量这种情况的假设。鉴于中国上调了到 2014 年为止的几年里煤炭用量统计数据，数值较高的估算值更为准确（见上文脚注 66）。

第三部分 实现峰后迅速减排

在中国温室气体排放量达到峰值后迅速减排对全球减排任务是至关重要的，这也符合中国的长期发展利益。实现空气质量、水安全、能源安全程度的大幅提升，从生产率提高中取得经济效益、清洁创新和在国际清洁产品和服务市场取得领先——这些都是中国在今后几年内应该努力做到的，以实现峰后的迅速减排——这对中国的中期经济利益来说也是十分重要的（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；全球经济与气候委员会，2014b；格林和斯特恩，2014；滕和卓佐，2014 年）。

然而，实现峰后的迅速减排对仍将持续发展且不断城市化的中国来说会是一个巨大挑战。要实现这一目标，在采取其他措施时，还需要采取清洁创新、绿色金融和财政改革等方面的综合性措施，对城市和能源系统进行全面深入的改革。也就是说，中国“新常态”需要形成一个结构转型的动态过程，在这个转型过程中，可持续发展、能源安全、清洁的环境、温室气体排放量急剧下降等因素是相辅相成的。中国十三五计划的不断修改制定为转型奠定基础提供了良好的机遇。

1. 城市

城市形态和城市交通基础设施都是耐久度特别高的资产，它们会对土地使用、交通运输系统、资源利用和温室气体排放产生长期路径依赖（罗德和弗洛特（音），2013 年；麦肯锡全球研究院，2009 年）。考虑到中国在未来 10 到 15 年内城市化水平会非常高，⁷²中国在目前和未来十年内所做的城市规划决策和相关政策以及投资选择都会产生持久的影响，他们将决定中国城市是否宜居、有吸引力、有竞争力和节能性。⁷³

中国城市规划能否基于一种空间紧凑、中/高密度城市形态、被公共交通系统紧密连接的模式，这将是至关重要的（罗德和弗洛特（音），2013 年；全球经济与气候委员会，2014a）。⁷⁴这种模式的优势通过对比亚特兰大和巴塞罗那的情

⁷² 中国城市人口数量预计将从 2013 年的 7 亿左右增加到 2020 年的 8.5 亿左右，并将在 21 世纪 20 年代末达到接近 10 亿。世界银行（2015b；2015c）的数据显示，2013 年中国城市人口占总人口（13.6 亿）的比例是 53%。中国城市化进程的计划目标是到 2020 年城市人口比例达到 60%（新华社，2014b），这意味着假设有 8.5 亿城市居民那么届时中国人口总数将达到 14 亿。

⁷³ 因为气候变化日益明显，造成本来就匮乏的资源（如淡水）更加紧张、食品产量受到影响、海平面上升和自然灾害加剧，因此中国的城市建设也需要对这些影响具有适应性，这一点至关重要。

⁷⁴ 要使中国城市可以“以人为本”需要更多的规划元素（参考陈等人，2008；城市中国计划，2013 年）。对于中国，这种表述（以人为本）意味着强调提供基本的公共服务，特别是教育和医疗以及户籍改革（新华社，2014b；中共中央委员会，2013）。

况即可一目了然，这两座城市具有大致相等的人口和经济规模：亚特兰大私人和公共交通的二氧化碳排放量是每人 7.5 吨，而巴塞罗那仅为每人 0.7 吨（全球经济与气候委员会，2014a）。走紧凑型城市化道路将会对中国控制其机动车保有量以及运输排放量具有重要意义，因为运输排放同样会成为中国温室气体排放量增长的一个风险性因素（见上文本章 4.3）。

这种方式的城市化将使得市级财政及（治理）制度安排改革成为必要，这样就会有恰当的激励措施和（财政）收入结构，从而为这种城市发展模式和与之相应的社会服务提供支持（参考，阿哈默德与王，2013；世界银行，国务院发展研究中心 2014；格林与斯特恩，2014 年）。

2. 能源系统转型

中国能源系统的能源效率和能源结构将成为中国实现峰后高效率减排的另一决定因素。能源供给、能源效率和经济产值三者之间的关系可以体现为能源消耗的排放强度和经济产值的能源效率这两个概念（见下文方框 2.1）。我们首先考虑能源效率（能耗强度），然后是能源供给（排放强度）。

方框 2. 经济增长、能源和排放量——一些关键关系

一个经济体的经济产值、能源消耗量和二氧化碳排放量（自能源部门）三者之间的关系可用数学方法表示如下：

$$(1) E_m = (E_m/E_n \times E_n/y) \times y$$

字母分别代表：

E_m = 产生于能源消耗的 CO₂ 排放量

E_n = 能源消耗

y = 经济产值

如果 E_m/y 下降 $b\%$ 并且产值增长 $c\%$ ，(1)说明：

(2) E_m 增长率 = $(c-b)\%$ 。因此，如果 $b > c$ 排放量下降，如果 $c > b$ 排放量上升

这可以表示为： E_m 增长率 = $(-b)+c$

另外， E_m 的下降率是 E_m/E_n 和 E_n/y 二者下降率之和：

$$(3) -b = -(f+g)$$

字母分别代表：

$f = E_m/E_n$ 的增长率；

$g = E_n/y$ 的增长率

还有一个问题是： b 是否取决于 c （或者反过来）。举例来说，一个充满活力且具有高投资额和高增长率的经济体会给发明创造提供更多机会。相反， b 小幅度下降可能表明该经济体缺少创造力/发明才能，预示着增长放缓。

2.1 能源效率

自（改革）开放以来，中国经济的能耗强度已于过去三十年间大幅下降。这种良好的下降趋势曾在 21 世纪初出现过短暂回弹，但是能耗强度在 2013 年前的十年里继续平稳下降，这在很大程度上归功于这一时期实施的节能措施。2014 年能耗强度急剧下降，较前一年下降了 4.8%——远超政府制定的 3.9% 和 2013 年下降 3.7% 的目标（国家统计局，2015a；路透社，2015b）。电力需求和一次能源消耗总量增速放缓可能是能耗强度下降的主要原因，因为过去两年间经济总量似乎已经相当稳定（世界银行，2015a；中国电力企业联合会，2015a）。这说明今后进一步降低能耗强度是有可能的，从中我们可以预见新发展模式和结构性调整所能带来的影响。

然而，中国经济的能耗强度仍远高于那些能源效率最高的发达经济体，并且持续的城市化进程将给能源需求带来压力（格林与斯特恩，2014 年；滕与卓佐，2014 年）。能源效率大幅、持续提高将对中国峰后减排工作来说具有核心意义，近期内实施的改革措施将为今后的发展奠定基础。不断提高并执行（建筑、家电和车辆的）强制性能效标准、鼓励能源服务业的发展、放开能源价格（下文会进一步论述）——这些都将会非常重要。⁷⁵

2.2 能源供给结构调整

能源供给结构调整也许是影响中国未来排放路径最重要的因素。鉴于煤炭对中国“新常态”各方面构成的巨大威胁（空气质量和健康、能源和水资源安全、工业现代化以及气候变化），中国有充分理由来扩大非煤炭能源规模，限制新增以煤炭为基础的能源、工业项目，同时尽快淘汰现有的煤炭能源消耗项目。我们将在下面逐一论述这些举措。电力部门低碳化将为其他各个行业通过电气化来大幅降低排放量创造条件，下面我们将以运输行业为例。⁷⁶

⁷⁵ 参考格林与斯特恩（2014 年）和其中涉及的对每一种措施的更进一步论述以及显著提高能源效率带来的减排潜力。

⁷⁶ 电气化是其他行业减排的关键途径，尤其是交通运输、住宅供暖、和部分工业（范克豪泽，2012 年；巴黎政治学院/联合国可持续发展解决方案网络，2014 年）。

2.2.1 扩大非煤能源规模

能源多样化是中国扩大非煤能源规模的重中之重。拥有多样化的非煤能源很重要，这是因为它：能够激发新能源技术和新能源经济发展潜能；有利于能源安全；并且反映出不同资源和技术在一个综合能源系统里所起的不同作用。能源来源多样化对中国来说是很有价值的，它不仅取代煤炭在增加发电量中的作用，也会淘汰现有的煤炭利用方式。

在目前的非煤能源组合中，一些资源例如天然气和水电可能在中期内作用比较大，但是从长期来看，它们的作用还是有限的。如果煤炭被逐步淘汰，则需要加快开发其他可再生能源与核能的步伐。

天然气：中国计划到 2020 年之前将天然气在一次能源消耗中的占比提高到 10%，并计划将大部分天然气供应直接用于家庭、工业和运输部门，并将大力发展天然气在发电领域的应用（国务院，2014 年）。尽管这一时期天然气发展前景广阔，但也存在很多来自国内和国外的不确定因素，它们会影响中国未来 5 至 10 年后扩大天然气使用量的能力。

为了满足这一时期天然气消耗的增长，中国可能会通过输气管道从俄罗斯和中亚进口天然气，同时以海运的方式从各个国家进口液化天然气(LNG)。虽然天然气进口和相关基础设施增长势头强劲（美国能源情报署，2014 年），对国外资源的依赖和随之而来的能源安全风险会限制中国在这一时期之后扩大天然气进口量的意愿和能力。

国内的情况也很复杂。一方面，中国在扩大其国内页岩气产业规模时面临诸多挑战（例如地质的、工艺的、监管的和环境的）（高，2013 年；甘宁汉姆，2014 年；史蒂文斯，2014 年）。中国政府于 2012 年设定了 2020 年页岩气产量为 600 亿至 1000 亿立方米的目标，不过由于技术原因这一产量目标于去年降低了一多半，调整至 300 亿立方米（普拉茨，2014 年）。这些阻碍和情况表明未来 5 至 10 年内页岩气也许不能在中国的能源结构中占据显著位置。另一方面，近期中国在开采致密气方面的成功（陈，2013 年）表明，致密气和成熟度略逊一筹的煤层气有望在 2020 年之前将中国非常规天然气的总产量提高到至少 600 亿-1000 亿立方米（这也是最初仅为页岩气一项制定的目标产量）（格兰诺夫等人，2015 年）。

中国的天然气开发（尤其在 2020 年之后）面临诸多不确定因素，这也凸显了中国将天然气开发放在更广泛的能源和气候战略之下统筹考虑的重要性。如果把天然气用作煤炭的替代能源并且天然气开发不会对零碳能源开发造成不利影

响（如果甲烷泄漏问题能够得到适当管控）⁷⁷，那么预期的天然气产能扩张就应该会对中国未来 5 至 10 年内温室气体减排有所帮助（格兰诺夫等人，2015）。⁷⁸但是如果中国计划在峰后大力减排，那么持续扩大天然气产能将会与这一目标渐行渐远。因此，在未来 5 至 10 年后，需要对天然气产能扩张采取政策性控制措施，从而将天然气产能扩张的作用限制在支持以可再生能源为主体的能源体系的范围之内，将天然气作为备用能源或“加强型”能源来使用（格兰诺夫等人，2015 年）。

水力发电：在接下来的五年里，水力发电也可能在非煤电发电能力增长中起到重要作用，但在那之后其作用会比较有限，因为中国新建大坝时会遇到选址方面的困难，适合的地点有限，而那些最合适的地点即将耗尽。尽管水力发电能力还在持续强劲增长，但近年来对新建大坝项目的审批和投资力度都已经减弱，这也降低了大家对今后水电扩张速度的预期。中国在其最新的战略能源计划中调低了 2020 年水电的目标产能，即从 4.2 亿千瓦降至 3.5 亿千瓦（国务院，2014 年；路透社 2014 年）。

其他可再生能源：开发以风能和太阳能为主的其他可再生能源将会是非煤电发电产能扩张的主要动力，⁷⁹同时还可以开发地热、生物能和海洋能。近年来，中国太阳能和风力发电能力以惊人的速度增长，体现出中国在技术发展和成本降低方面取得了巨大进步（见斯特恩，2015 年）。⁸⁰非常重要的一点是，这些以及其他可再生能源技术有潜力在未来数十年内迅速发展并越来越多地取代中国能源结构中现存的煤炭量，当然条件是能源效率提高的强劲势头（见上文）会继续将电力需求增长速度保持在较低水平。中国的能源规划机构不断上调风力和太阳能光伏发电的目标产能：2006 年，中国计划到 2020 年之前实现 0.3 亿千瓦风力发电产能和 200 万千瓦太阳能光伏发电产能；由于这些目标已经过时，中国最新发布的新技术发电 2020 年目标产能为：到 2020 年之前实现 2-3 亿千瓦风力发电产

⁷⁷ 从生命周期温室气体排放量角度看，由非常规天然气（尤其是页岩气）产生的电力是否有益主要取决于生产过程中甲烷泄漏程度，而这方面的数据几乎没有（参考甘宁汉姆，2014 年）。至少，我们需要用一个强有力的监管制度（包括制定最低标准、严格监管、新闻报道、检查执法）来控制甲烷泄漏水平，从而能够保留天然气相对于煤炭而言所具备的气候友好属性（见格兰诺夫等人，2015 年）。

⁷⁸ 这需要制定政策，防止储存或出口煤炭以供今后或别国使用，也要防止可再生能源受到燃烧天然气项目的中短期竞争（格兰诺夫等人，2015 年）。

⁷⁹ 例如，国际能源署（2014a）在其新政策情境中预测，到 2040 年中国以可再生能源为主的发电装机容量将超过 9.6 亿千瓦，并且大量新增发电能力和发电量将来自非水力可再生能源（2014a，243-235, 654）。

⁸⁰ 中国仅在 2013 年的太阳能发电装机容量为创纪录的 1300 万千瓦（斯坦威，2015 年），又在 2014 年进一步增加 1060 万千瓦（中国电力企业联合会 2015b），并且 2015 年的目标是再增加 1780 万千瓦，超过现有太阳能发电能力的一半（彭博，2015 年）。

能和 1 亿千瓦太阳能光伏发电产能（姜，2014 年；国务院，2014 年）⁸¹——这与八年前的目标相比分别提高到 7-10 倍左右和 50 倍。因为有强有力的需求方政策（如上网电价）来支持产能大规模扩张和持续创新，我们可以预料到，成本会进一步降低并且目标产能将持续调高（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。

最新的一项由中国国家发改委能源研究所联合其他多家合作机构共同完成的研究论述了技术发展可能性，以及官方制定的能源系统转型目标的水平和方向（国家发展和改革委员会能源研究所，2015b）。研究得出的结论是：

“2050 年实现高比例可再生能源应用情景在技术上是可行的，在经济上是可承受的，在高比例情景中可再生能源占中国能源消耗总量的 60%以上、电力消耗总量的 85%以上——这预示着一场真正的能源生产和消费革命。

风力发电和太阳能发电将在未来的电力供应中起到支柱性作用。通过实现技术突破、成本下降以及全面深化电力部门改革，预计在 2020 年至 2040 年间，风力发电和太阳能发电将迅速发展，平均年度新增装机容量接近 1 亿千瓦。2050 年将实现 24 亿千瓦风电和 27 亿千瓦太阳能发电，年发电量合计 9.66 万亿千瓦时，这将占中国发电总量的 64%并且成为未来绿色电力系统的主要电力供应来源。”

核能：另一个极具扩张潜力的重要非煤能源是核能。中国计划到 2020 年之前将运行发电能力提高到 5800 万千瓦，届时将另有 3000 万千瓦的发电能力处于在建状态（国务院，2014 年）。⁸²目前中国运行核能发电能力是 2100 万千瓦（国家能源局，2015b），并且有近 2300 万千瓦在建（国际原子能机构，2015 年），这意味着，虽然核电发电能力扩张规模仍将非常大，但是上述 2020 年目标可能无法实现。一些最新的预测表明，2030 年中国的核能发电能力将达到 1.14-1.75 亿千瓦。⁸³按照这些预测，到 2030 年前的 15 年间，中国需要增加 1-1.5 亿千瓦的发电能力。在 1980 年至 1987 年的七年间，法国增加了 4200 万千瓦的核电发电能力，美国先后于两个 3-4 年的时间里大规模增加核电发电能力（3000 万千瓦以上）（叶，2014 年）。⁸⁴与二十世纪八十年代的美国和法国相比，中国现在是在更大经济和工业规模的基础上进行核电发电能力扩张，并且已有 20 年的核电站

⁸¹ 中国工程院推断：中国电网可以在短期内吸收这些可再生能源的发电能力（姜，2014 年）。

⁸² 目前中国有 27 个核反应堆正在运行，23 个在建，并且有更多即将开建（国际原子能机构，2015 年）。

⁸³ 这一数字包含的 2030 年对中国核电发电能力的预测有：国际能源署（2014a，新政策情景）——1.14 亿千瓦；世界核能协会（2015 年）——1.5 亿千瓦；伍德·麦肯齐（2014 年）——1.75 亿千瓦。

⁸⁴ 1957 年至 1996 年，美国建成使用的核电发电能力总计为 1.12 亿千瓦，但这些发电能力是分批部署的：1972 年至 1976 年 3800 万千瓦；1984 年至 1987 年 3300 万千瓦；1972 年至 1987 年总共为 9300 万千瓦（叶，2014 年）。

建设经验（叶，2014 年），因此，中国的抱负看起来完全可以实现。

电网/系统管理：在这些能源迅速扩张的过程中，中国面临的最大挑战是对日益复杂的能源系统的管理（国际能源署，2014c）。尤其是，比例不断提高的间歇式（风电和太阳能发电）和无变化（核电）的电力来源带来的电力输送、能量储存和电网稳定性方面的挑战。伽诺特积极评价了中国处理这些问题的能力，他（2014 年）表示：

“对于许多地区而言，可在短期调节的大型水力发电能力的存在可以并将继续促进电网的平稳。近几年，相比于体量巨大的发电领域投资额，用于电网升级改造中的投资更多，其中大部分是为了促进吸收间歇性和无变化电能……（包括）中国许多大城市周边的大型抽水蓄能储存设施（到 2015 年之前有 3000 万千瓦总容量待装机）。电网的改造和储能设施的增加使得低排放发电能力得到更加全面的利用（中华人民共和国，2011）。 ”

未来，储能电池可用性的提高和成本的下降将会为电力存储带来更多机会，尤其是当中国大量发展电动汽车计划成功之时。如果可再生能源的发展须达到能够较快淘汰燃煤的水平，这将是非常重要的。同时，电动汽车的增加将会增加管理电网的难度。因此这应成为中国持续关注的重点，同时也是世界需要关注的重点。

2.2.2 限制新建煤炭项目

中国进行能源结构调整摆脱对煤炭依赖的第二个关键因素是要通过明确的政策、规划信号和监管措施来管控今后以煤炭为主的开发建设项目。

中国已经对煤炭消费量和在重要经济区域建设新发电厂实施限制（见斯莱特，2014 年），但是在第四章我们也论述了三种中国正在建设或规划中的煤炭开发利用项目：由于早先规划决策导致目前正在建设、投产中的燃煤发电项目，导致低效率扩张的错误的刺激措施也对这些项目起到了推波助澜的作用；在中国西部地区建设“煤基地”，并通过高压输电线路将其与东部城市连接；煤制天然气工厂建设项目。

关于第一种项目，中国需要严格控制新建燃煤电厂项目的审批和投资（除非是用于替代老旧、效率较低产能而特别需要的项目），以控制此类经济效率低下的产能扩张（陈和斯坦威，2015 年）。出于经济、财政方面的考虑，这种限制措施是非常恰当且必要的，其对环境、公共健康以及气候方面的益处自不必提。关于煤炭基地和煤制天然气项目，十三五规划中所体现的战略决策，即不优先发展、

不支持此类项目,以及较为具体的管控措施,都符合中国新发展模式核心理念,即实现结构调整、提高增长质量、争取早日达到温室气体排放量峰值。

2.2.3 淘汰未经减排处理的燃煤项目

逐步淘汰燃煤的必要性使中国面临着如何管理好其现存的数量巨大的燃煤发电厂这一挑战(正如上文所述,这些发电厂的发电能力已处于利用率低下的状态)。

时间上从中期来看,一个可供选择的措施是利用碳捕捉与存储技术减少燃煤发电厂的二氧化碳排放量。中国对碳捕捉与存储技术的试验与应用很大程度上将决定其在大规模应用及成本削减方面的潜力与前景。(起码出于减缓气候变化的原因)只有这一技术获得成功之时,才有理由继续使用煤炭。碳捕捉与存储技术的使用会带来能源损耗,不同的碳捕捉技术能源损耗率在 10-25%之间不等(欧洲环境局,2011 年)。这意味着,装备有碳捕捉与存储技术的燃煤电厂比传统燃煤电厂需要消耗的煤炭资源、水资源更多,这就需要在气候变化、能源安全和水资源安全等几方面目标之间做出权衡(格林与斯特恩,2014 年)。

除了这些,碳捕捉与存储技术还存在其他潜在的局限性。这也意味着,即使显著增加该技术的使用度,中国仍可能面临着其大量燃煤发电厂变为重大搁浅资产⁸⁵这一极具挑战性的问题。⁸⁶因此,非常重要的一点是,中国所有相关的利益攸关者——中央和省级地方政府,金融监管机构、金融机构(以及其他中国煤炭资产投资者)、煤炭企业、燃煤发电企业、有关工作人员和社区——都能进行认真的分析和规划、采取合适的政策和措施,逐步有序淘汰势头不减的燃煤发电厂,减少金融风险和社会影响(卡德柯特和罗宾斯,2014 年)。能否妥善管控这一调整进程将会是影响中国峰后迅速减排能力的一个重要政治经济因素,这也是一个值得我们即刻进行认真研究的问题。

2.2.4 运输部门

在第二部分章节 2.3 中,我们强调了一点,即未来中国车辆保有量和运输部门排放总量的发展趋势具有不确定性。虽然现行政策(包括以世界领先水平为目标制定更为严格的机动车排放标准)已经能够表明,中国有潜力使运输部门排放量增长速度放缓,但是要达到使运输部门去碳化的目标,则还需要在十三五规划

⁸⁵ “搁浅资产”可定义为“受预料之外或提前的资产减记、货币贬值、负债转换影响的资产”(卡德柯特,2015 年)。

⁸⁶ 在某种程度上,燃煤电厂的热电部件可被重新应用于聚光式太阳能热电厂,这样也可以减少搁浅资产损失。

之时乃至以后制定出针对运输领域的更为周全和深入的政策措施。就运输部门而言，需求方措施尤为重要，包括紧凑型城市规划、能耗效率标准制定、以及采取能改变通勤者交通行为的措施，其中一些措施我们已在上文论述过。

从供给角度看，也有很多政策杠杆可供使用。其中最重要的一项措施是，推动运输系统大面积电气化，而且所用电力由不断去碳化的发电系统提供。甘比尔等人（2013 年）做的情景分析表明，中国铁路运输系统完全电气化能够带来的二氧化碳减排效应具有巨大潜力（电器铁路运输系统所用电力为去碳化电力）。要实现道路运输部门去碳化，电动车、混合电力车、燃料电池车都是重要工具（甘比尔等人，2015 年；霍等人，2012 年）。要减少空运、海运和重型道路运输方面的排放量，增加低碳生物燃料的使用则是非常必要的（甘比尔等人，2013 年）。支持创新对供给方和需求方施压对各种低碳机动车和燃料的开发、推广（以及随之而来的成本下降）都将是非常重要的，其重要性不亚于道路基础设施建设。

3. 关键政策

这里我们将重点论述其他的一些政策，这些政策将会帮助中国实现其所设想的结构转变（见上文）。

3.1 征收煤炭税和更加广泛的价格改革

提高资源税，特别是煤炭税，将直接或间接的促进中国经济转型的方方面面。目前中国对煤炭的征税是非常轻的，因此中国也未能以一个合理的价格对煤炭资源租赁行为征税，目前的煤炭税更不能反映煤炭对人体健康、当地环境和气候的影响（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。⁸⁷除了正常的以财政收入为目的的征税（如增值税、公司税等），还要实施明智的税收政策，即精简目前为煤炭专设的地方性收费，并提高由中央政府管理的煤炭税，以此至少在某种程度上反映：（a）对资源租赁行为的合理收税；（b）采矿、运输和煤炭燃烧对当地环境和健康的影响；（c）对全球气候的影响（艾哈默德与王，2013 年；中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。

以这种方式征收煤炭税有很多明显的优势。比起按个体征税或建立碳交易制度，它的复杂性以及管理成本更低，尤其是，对政府来说，获取煤炭消耗量数据比获取企业排放量数据更容易（艾哈默德与王，2013 年）。如此，这种税收方式将可以快速实施并且易于管理，减少“政府失灵”的可能性。⁸⁸此外，政府更易

⁸⁷ 中国环境与发展国际合作委员会的“中国绿色转型工作组”（2014 年）发现焦炭的单位煤炭税费设定在每吨 8-20 元（1.29-3.22 美元），而其他类型的煤炭只有 0.3-5 元（0.05-0.81 美元）。

⁸⁸ 这并不是否认实施这项税收时会有重大的政治挑战。

获得征税相关信息，而且煤炭税由中央政府征收，这都会使煤炭税逃税行为变得非常困难。论及对非正规部门煤炭消耗征税问题时，征收煤炭税在财政方面的益处就更为显著了。（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年；本托等人，2012 年）

对煤炭征收仅 25 美元/吨 CO₂ 的碳税仅会使每吨（公吨）煤炭价格增加不到 50 美元。我们之前（格林与斯特恩，2014 年）阐述过税收的潜在激励效应以及其在提高财政收入方面的作用。⁸⁹当前中国的低煤炭价格和煤炭产业未来发展方向的不确定性意味着现在正是实施这项措施的有利时间。为了以公平、有序的方式实现这种结构性调整，改善其分配效应，这种税收开始可以以相对较低的水平实行并随时间的推移而提高，并且可将一部分税收用于资助那些受到征税负面影响的低收入人群（格林与斯特恩，2014 年）。与地方政府分享税收收入对于提高地方信息透明度、地方对中央的服从度都很重要，最重要的是，这可以使地方支持改革。特别是在那些低效地方性税收被取缔的地区，这一点显得更为重要。

90

这种性质的煤炭税将会是中国政府实施更广泛的能源和资源价格改革的重要一步（中共中央委员会，2013 年）。的确，随着今后能源价格进一步放开，这种需求端税收的行为效应才会全部显现。综合起来，这些措施将在减排方面发挥显著作用（中国环境与发展国际合作委员会，2014 年）。并且，这些措施也有助于中国能源市场和管理系统为今后实施更为复杂的碳定价措施（例如规划中的全国排放交易市场）做好准备。⁹¹

3.2 绿色金融

在未来十年及更长时期，随着经济增长和人口城市化，中国将需要对城市基础设施和能源系统（及土地使用系统）进行大规模投资。向低碳型、资源节约型和环境友好型的基础设施投资——从高污染、低效率、危害环境的基础设施转移资金——这对于中国可持续经济发展计划以及减缓全球气候变化都是必要的。最新的一项由中国人民银行和联合国环境规划署共同完成的研究表明：要实现迈向绿色经济发展（模式）和建设生态文明的目标需要在未来五年向环保部门每年至

⁸⁹ 国际货币基金组织后来独立完成的分析显示：它的结论是，对煤炭征收 15 美元/千兆焦耳的税费将减少三分之二的由污染造成的死亡数，显著降低二氧化碳排放量，可提高的财政收入数额几乎相当于中国 2010 年 GDP 的 7%。

⁹⁰ 十分感激埃蒂沙姆·艾哈默德关于中国税收改革理想方案的有益探讨，包括政治经济和管理方面的改革。详见：艾哈默德与王（2013 年）及艾哈默德等人（2013 年）。

⁹¹ 将中国已经实施或计划实施的多个碳排放及相关政策工具以一种有效的、高效的、公平的方式进行整合将会是一个极大的挑战，在欧洲和其他地方同样如此。这需要仔细规划和进一步的研究与分析。

少投资 2 万亿元（3200 亿美元，或多于 GDP 的 3%）（中国人民银行/联合国环境规划署，2015 年 5 月）。

能否将资金从高碳型基础设施吸引到绿色基础设施建设上来的一个决定因素将是资本成本。资本成本对于可再生能源基础设施尤为重要：尽管可再生能源发电的平准化电能成本通常比化石燃料发电的平准化电能成本低，但它需要更多的资本投入（资本密集型）（化石燃料发电的前期成本较低，但是由于需要购买化石燃料，运行成本更高）。对更新、更具创新性的绿色基础设施项目来说，尤其是那些取决于政府政策的项目，资本成本也往往更高，因为投资者会感知到更大的政策风险并且可能鲜有这方面的投资经验。

中国的国家开发金融机构已经在全球低资本成本可再生能源融资领域起到重要作用（全球经济与气候委员会，2014a）。的确，这些机构在促进绿色金融资金流动方面起到至关重要的作用，因为它们可以降低感知到的风险，分担并集中风险，并在绿色基础设施建设项目方面积累专业技能。

然而，未来十年里，在为中国的可持续发展提供资金支持时，将需要制定一个更深入、更全面的绿色金融战略和体制架构。上文提到的中国人民银行/联合国环境规划署的研究为中国构建绿色金融系统提出了 14 条详细建议，涵盖四大主题：专业投资机构；财政和金融政策支持；金融基础设施；法律基础设施。这些建议对中国建立其提高经济增长质量、进行结构性调整所需的财政金融监管-体制环境将是大有裨益的。

3.3 清洁创新

中国要实现峰后迅速减排，需在零碳能源创新方面付出巨大努力。中国需要对整个创新链提供政策和资金支持（格林与斯特恩，2014 年）。

正如我们在别处所论述的，⁹² 中国创新链中端（即对减排和成本降低潜力较大的技术进行试点和早期应用工作）发挥的作用尤为重要。中国国内市场的规模意味着其在培养这些技术的成熟度方面拥有独特的规模优势。将煤炭税（和其他环境税）的税收收入部分用于为绿色创新提供资金支持可能会是一套既能减排又能推动经济发展的有力的政策组合拳。⁹³ 此外，中国希望能成为零碳能源研发领域的领军者，⁹⁴ 很多专家认为，要实现这一目标，需要培育这种创新所需的战

⁹² 参考格林与斯特恩（2014 年）和博依德、格林与斯特恩（2015 年）。请同时参考全球经济与气候委员会（2014a）对全球低碳/零碳创新的进一步论述。

⁹³ 参考格林与斯特恩（2014 年）和其中所引用的内容。

⁹⁴ 中国已公开的战略目标是通过实现“重大技术突破”和“产业升级”，成为核技术生产和出口领域的“世界领军者”（陈，2014 年），这也体现了中国对先进能源技术创新的需求越来越大。

略、制度、金融、管理和文化条件（曹等人，2009 年；曹等人，2013 年；西格尔，2011 年；韦森和姬莉，2007 年；陟（音）等人，2013 年）。⁹⁵同时，不该忽视那些规模较小的技术，还有那些自下而上进行的、社会驱动型的绿色创新方式都不该被忽视，特别是考虑到这些创新形式在其他发展中国家环境下的发展潜力，就更不该小看它们，电动车和太阳能热水器在中国的迅速发展就能很好地说明这一点（泰菲尔德等人，2015 年）。

4. 结论

中国“新常态”发展模式为确保中国的经济增长不仅具有强劲性和可持续性，也具有低碳性、更具能源安全性和低污染性提供了良好机遇。

由中国近年来的政策部署所带来的经济增长水平、速度、结构和能源效率以及能源供应结构等方面的发展趋势，已经使中国温室气体排放路径发生了非凡且迅速的转变。由此，现在可以自信地说：中国的煤炭使用量可能已经达到结构性最大值并开始进入稳定状态。这一转变意义重大，国际能源署称其为使全球二氧化碳排放量在 2014 年停止增长的关键因素。40 年里，这是第一次由非经济衰退原因所致的全球二氧化碳排放量停滞或下降（国际能源署，2015b）。

我们还推断：中国的排放量不大可能晚至 2030 年达到峰值，更有可能在 2025 年达到峰值，甚至会更早。这说明中国做出的“于 2030 年左右”使排放量达到峰值的国际承诺应被视为由一个倾向于少承诺、多办事的政府设定的保守上限。务必记住的是：中国在做出上述承诺时还许诺将“尽最大努力争取在 2030 年之前达到峰值”；我们发现中国这种“最大努力”已经开始开花结果。

虽然本文主要关注的是中国国内向可持续发展经济模式转变的情况，但是这种转变将会在全世界引起重要反响。⁹⁶如果各国政府能够理解中国转变的程度、这种转变对全球排放量的影响，以及中国清洁产业领域的发展、投资和创新性计划对全球清洁产品和服务市场可能产生的积极影响，那么今年晚些时候在巴黎举办的联合国气候变化大会将会更加成功（这对煤炭和其他原材料出口商而言则是不利影响）。

中国对全球减排以及影响排放量的发展和经济道路选择方面的重大影响力至少能够体现在以下四点：

⁹⁵ 这在格林与斯特恩（2014 年）那里得到进一步论述。

⁹⁶ 在随同发表的一篇论文中，作者（博依德、格林与斯特恩（2015 年））对中国转变的国际影响进行了论述。

- 第一、它在地理、人口、经济以及能源消耗和温室气体排放方面的宏大规模——意味着中国将始终是一个全球应对气候变化的重要参与者。
- 第二、中国被许多发展中国家视作经济增长和发展结构的榜样以及世界经济事务的领导者。正因为如此，中国影响着许多发展中国家的发展路径。如果能够更早地认识到由使用煤炭和规划低效率城市而产生的问题，那么中国可能会选择不同的发展方式。现在，中国有机会向其他国家传授和展示她在去碳化和减少本地污染的同时发展强大经济的这一过程中积累的经验教训。
- 第三、中国影响发达国家的政治事务。发达国家对中国在温室气体排放方面采取的措施和长远计划缺乏了解。发达国家的评论家和官员经常夸大指责中国的温室气体排放，以此掩盖他们的不作为。如果中国能清晰地将其进行持续有效的减排工作这一方面的信息传递给其他国家，就可以消除这种指责的声音，并减少发达国家内部的政治障碍，促其采取更有效的应对气候变化的行动。
- 第四、中国的减排策略可以为所有国家树立榜样。中国正将立法措施、节能措施、支持低碳能源（包括国家开发银行系统的大量投资）措施等结合起来，并逐步引入碳定价机制。此外，中国还在全球低碳科技产品供应链中发挥重要作用，包括太阳能光伏和风力技术。中国低碳技术产品创新的规模和生产能力将使其在全球清洁经济发展领域日益占据领先地位。

凭借各个方面的影响力，相对于其他国家而言，中国应对气候变化的措施更具有将全球预期、市场和政策引向发展低碳经济的潜力。这样，中国在各个方面采取的措施会形成一种相辅相成的关系。中国在减缓气候变化和发展低碳技术方面做出了越来越多的努力，这也会激发其他国家进一步开展行动、进行投资，从而降低清洁技术成本并将市场拓展到其他国家，这样一来，又能提高中国经济转型的效益并降低其成本（格林与斯特恩，2014年）。最后，这种日益强大的势头可能会引发一场大规模的清洁能源投资、创新和增长的浪潮——一场新能源产业革命（斯特恩，2015年）。

这将是中长期内国内和全球经济可持续增长的唯一引擎——而关键在中国。

附录一：中国新气候经济研究（研究成果摘要）⁹⁷

本文第三章提到，全球经济与气候委员会曾做过一份开创性的研究，即《中国与新气候经济》（全球经济与气候委员会，2014b）（简称 NCE China Study，中国新气候经济研究）。该附录陈述了这份研究的主要研究成果。

中国新气候经济研究之背景

全球经济与气候委员会曾发布过一份主要的全球报告，即《提高增长质量、应对气候变化：新气候经济研究》（全球经济与气候委员会，2014a）（简称《新气候经济全球报告》，the NCE Global Report）。中国新气候经济研究是《新气候经济全球报告》的国别案例研究之一，旨在补充并深化《新气候经济全球报告》的内容。中国新气候经济研究由清华大学的研究人员完成，清华大学的相关研究机构也是为《新气候经济全球报告》做出重要贡献的八家大学附属研究中心之一。⁹⁸清华大学研究团队的参与对全球经济和气候委员会的工作而言具有重大价值，也是表明中国参与全球气候变化工作日渐增多的事例。

《新气候经济全球报告》提供的独立、权威证据揭示了增强经济绩效的措施与减少危险的气候变化风险的措施之间的关系。该报告将焦点放在未来二十年，指出在此期间，世界经济在进行结构转型的同时可以综合采取减缓气候变化的措施。这样，一方面可确保经济实现更高质量的强劲增长，另一方面，又可积极推进应对气候变化的行动。

对“提高增长质量、应对气候变化”这一概念而言，这份与中国有关的报告是一项非常重要的国别案例研究。之所以这样说，不仅是因为中国的体量和中国在应对气候变化方面的重要性，也是因为其他那些在经济结构调整方面不如中国的国家将会尝试学习中国经验。如果中国的政策制定者能早些全面理解以煤炭为基础的重工业发展模式的影响，也许中国会更具可持续性，选择可持续发展道路的时间也会较现在提前很多。所以，对欠发达国家和其他新兴经济体来说，《新气候经济全球报告》和中国新气候经济研究提供了很多重要经验。

中国新气候经济研究展示了，中国如何通过实施正确的政策来发展现代化经济（进行必要的结构性调整以克服“中等收入陷阱”，从而加入高收入国家之列），

⁹⁷ 本文作者对中国新气候经济研究的清华大学撰写团队表达感谢，该团队由何建坤教授、齐晔教授带领。也感谢滕飞对本文附录一的指导。

⁹⁸ 见 <http://newclimateeconomy.net/content/research-partners>。

并在经济增长与气候变化的互动之中取得了能源安全、本地区大气污染、温室气体排放等方面工作的巨大进步。该研究于 2013 年至 2014 年进行，于 2014 年 11 月发布。正如我们在上文第二部分中提到的，即使是自该研究开始进行之时起到现在这一小段时间内，中国的改革步伐也是巨大的。

研究成功

温室气体排放

中国新气候经济研究涉及到情景模拟，涵盖因素包括 GDP 增长，能源部门（例如能源消耗和能源结构）、能源部门二氧化碳排放量、本地区城市大气污染情况（污染物如二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、颗粒物（PM）——包括一次颗粒物和二次颗粒物）等。

该研究模拟了在经济增长和经济增长排放强度假设条件下的未来的排放量水平，而不是一开头就先给出二氧化碳排放量限额和排放量峰值。经济增长和经济增长排放强度水平均取决于能源生产和消费模式。该研究则考察了能够使二氧化碳排放量在 2030 年达到峰值的经济和能源条件。换句话说，该研究表明，基于上述原因，必须重视经济增长、经济增长的能耗强度、及能源消耗的排放强度三者之间的关系（见前文方框 2）。该研究模拟了中国未来 GDP 增长的三种情景（“高速”、“中速”和“低速”）（见表 A1.1，下方）。

时期	低速增长情景 (%)	中速增长情景 (%)	高速增长情景 (%)
2010-2020	6.11	7.31	7.87
2020-2030	3.28	4.77	6.02
2030-2050	2.33	3.15	4.60
2010-2050 平均	3.51	4.60	5.78
来源：全球经济和气候委员会（2014b）			

表 A1.1 中国未来经济增长的三种情景（GDP 变化的百分比表示）

然后，将这三种 GDP 增长情景的研究结果加入到该研究的能源模型里，来

分析能源消耗和二氧化碳排放情况。此能源模型又分析了两种经济去碳化情景。

- 持续减排情景（CERS），这种情景假设中国在现已规划政策之外，还实施其他政策，进行温和的政策干预，来持续推进节能减排战略、提高能源效率、开发非化石燃料能源（即比“一切照常”模式多一些政策措施）。
- 加速减排情景（AERS），这种情景比持续减排情景额外增添了很多政策措施。

很重要的一点是，须记得，“加速”情景应该放在该研究正在进行，即 2013 年至 2014 年之时来理解，自那时以后的政策发展和结构性调整情况已经超越了加速情景所记述的内容。

该研究发现，中国能否于 2030 年达到排放量峰值与中国未来 15 年里的经济增长速度高度相关。该研究的情景模拟表明，即使是在“加速”减排情景之下，如果中国在 2020 年至 2030 年期间平均 GDP 增速仍为 5% 多一点，那么中国也不可能在 2030 年达到排放量峰值。⁹⁹（但是，必须记住，这只是在假设排放量与经济产值二者关系情况下所做的一种模拟预测，不一定是真实结果；2020 年至 2030 年，可能在经济增长速度高于 5% 的情况下达到排放量峰值——见前文方框 2）。

在“中速”经济增长情景下——2010 年至 2020 年，政治经济 GDP 平均增速为 7.31%，2020 年至 2030 年为 4.77%——能源模型模拟的“加速”减排情景能够使二氧化碳排放量在 2030 年达到峰值。根据 2011 年至 2015 年的经济增长情况、世界银行（2015a，54）和国际货币基金组织（2015，54-54）近期做出的预测，“中速”经济增长情景应该是可实现的。因此，该研究在分析能源、二氧化碳排放和大气污染等问题时，主要是把中速增长情景作为最重要的情景来加以研究。下文简述的研究结果即反映了这一点。

上文第三章表 1 列举了该研究的能源模拟研究结果，以及 2020 年、2030 年“持续”减排情景、“加速”减排情景下能源消耗总量、GDP 能耗强度、GDP 增长的二氧化碳排放强度（能源消耗）、能源结构中非化石能源比例的模拟数据（2010 年实际数据亦在表中）。所有部门温室气体排放总量做出预测，假设气候分析指标工具数据库（世界资源研究所，2014 年）中记载的 2010 年能源消耗带来的二氧化碳排放总量之比（1:1.3）在相关一段时间内保持不变。气候分析指标工具数据库中记录，中国的温室气体排放总量包括了所有主要温室气体排放量¹⁰⁰

⁹⁹ 假设 2010 年至 2020 年平均经济增长率高于 7%。

¹⁰⁰ 二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和含氟气体。

以及主要排放源的排放量。这些排放源包括能源领域、工业生产、农业、废物排放、土地用途变更和林业（2010 年这一项将成为中国的碳净吸收体）以及船用燃料油（世界资源研究所，2014）。但是我们也注意到，这种计算方式可能会在某种程度上过高地预测未来的温室气体排放量，因为非二氧化碳物排放量（尤其是农业领域的甲烷和一氧化二氮，以及工业领域的氢氟烃和一氧化二氮）可能不会像二氧化碳排放量那样增长得那么快。¹⁰¹

在持续减排情景下，预测结果是：2010 年至 2030 年期间，中国 GDP 增长的能耗强度累计将下降 45.4%，到 2030 年之前，中国的能源消耗总量将上升至 62.5 亿吨煤当量且非化石能源占能源总量比率将达到 20%。2010 年至 2030 年期间，中国经济的二氧化碳排放强度累计将下降 48.9%，¹⁰²届时能源消耗带来的二氧化碳排放量将达到 127 亿吨，并会在 2040 年达到峰值之前保持上涨。在此情景下，2030 年中国纯温室气体排放总量将为 165 亿吨左右。

对比一下，该研究提出的“加速”减排情景（AERS）之下，中国的能源消耗量和减排量均低于持续减排情景。特别是，2010 年至 2030 年，中国 GDP 增长的能耗强度累计将下降 48.4%，到 2030 年之前，中国的能源消耗总量将上升至 59 亿吨煤当量且非化石能源占能源总量比率将达到 23%。2010 年至 2030 年期间，中国经济的二氧化碳排放强度累计将下降（或者说，“碳生产率”将上升）58.5%，届时能源消耗带来的二氧化碳排放量将达到 106 吨的峰值，意味着，2030 年中国纯温室气体排放总量将为 138 亿吨。

¹⁰¹ 感谢滕飞让我们注意到这一点。

¹⁰² 换做更为正面的说法的话，这一点可以阐述为在相关时期内中国经济的碳生产率提高了这些数量。

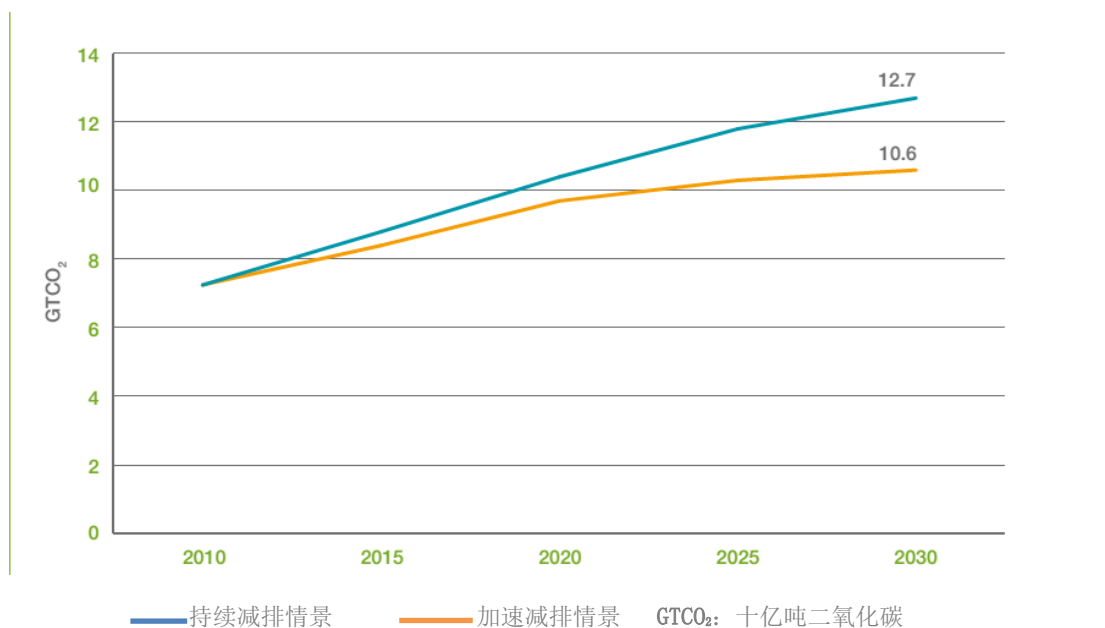


图 A1.1: 中国新气候经济研究能源模拟预测出的中国能源消耗带来的二氧化碳排放量

随后,该研究分析了加速减排情景在能源安全和减缓大气污染方面能给中国经济、社会带来的益处,并评估了加速减排情景的经济成本。

能源安全

该研究发现,在此(加速减排)情景下中国经济对国产和进口化石燃料的依赖度下降了,面对外部能源价格波动和冲击时其经济的脆弱性也显著下降。而在持续减排情景下,2030年,中国对进口石油的依赖度将为75%,煤炭消耗量将超出科学预测国内生产能力。对比而言,在加速减排情景下,到2030年之前,能源能耗总量将低于持续减排情景下的能耗总量5%。

大气污染

在大气污染方面,该研究使用了一个空气质量模拟模型,来模拟严格实行“末端治理”技术方法(即假设这些技术方法通过立法行为能够得以实施)与上述两个能源/排放情景其中之一结合起来产生的综合效应,主要研究三个关键经济生产活动区域,即京津冀地区、珠江三角洲地区和长江三角洲地区。这里“严格实

行”指的是既要通过立法设定标准，又要实施/执行那些标准（必须记住，即使是像德国这样拥有发达经济和技术国家在实施末端治理技术时也面临着巨大挑战）。

该研究发现，如果按照加速减排情景（在此情景中，2030 年二氧化碳排放量达到峰值）的做法，即使实施最严格的末端治理技术，这些地区也只能达到二级空气质量标准。如果不采取（与 2030 年二氧化碳排放量达到峰值目标相一致的）加速减排情景式的措施，中国大约 50%的大城市的空气质量将无法达标（即便实施了最为严格的末端治理技术）。因此，2030 年达到峰值的目标与中国打赢治理污染这场仗的国内利益点是一致的。以此，该研究强调了能源结构调整、摆脱对煤炭依赖在改善空气质量方面的重要性。

加速减排情景的经济成本

该研究运用可计算的一般均衡（Computable general equilibrium,(GE)）模型模拟了加速减排情景的经济成本。在模拟研究中，假设（为方便研究起见）加速减排情景中采取的政策措施是简易的碳税政策，且从碳税中所得税收收入会被同等数额的减税量（减掉那些现存的、较为扭曲的税收）“回收”（即抵消）掉（就是说这一政策是“税收中性”的）。¹⁰³该模拟研究预测，如果按传统的 GDP 计算方式来计算，加速减排情景带来的经济成本是非常低的（到 2030 年，经济成本占 GDP 比率会低于 1%）。

在此，我们需要强调，这一数字，就像所有模拟研究的结果一样，都应被看作是一种研究结果的表述方式，而且具有很多局限性。最重要的是，可计算的一般均衡模型假设引入碳税的是一个高效经济体，其中不存在扭曲现象或市场失误现象。正因为如此，加速减排情景能带来的好处，如提升能源安全、降低健康和环境代价（上文已论述过），就没有代入到模型之中。这些益处也可抵消一大部分预测的 GDP 成本。可计算的一般均衡模型还排除了加速减排情景中的排放量限制措施对长期性减少气候变化风险的影响及其他相关的经济收益。

就像其他可计算的一般均衡模型一样，该模型另外的一个局限性是，它无法抓住、表达应对气候变化政策所具备的激发绿色科技创新的潜能，这些科技创新成果外溢到其他领域，可能会促进 GDP 以更快的速度增长（阿吉翁等人，2014 年），因此将碳税所得部分收入用于清洁技术（更广泛地说，用于创新）研发可

¹⁰³ 关于中国更广泛的税收改革，见艾哈默德等人（2013 年）。

能会比用于税收增效改革带来更大的经济收益。

另一方面，为实现 2030 年排放量达到峰值而采取的政策必然会包括多种政策工具和计划（可能会包括但又不仅是碳税），它们并不一定都像碳税这样具有经济高效性。另外，并不是所有以市场为基础的政策工具产生的收入都能以一种提高效能的方式加以回收。所以，就该研究建议的政策变革而言，由其造成的经济成本事实上可能会高于该研究的预测值。但是，这种论述其实也是做出了一个错误的假设，即市场工具和税收增效改革一定比其他政策措施具有更高的效能。事实上，在很多情况和领域中，制度法规比市场工具能更快地引导创新（因此也更有效率）——包括为建筑、家电、机动车设立能耗标准（戴利和艾迪斯，2011 年）。

最后，重点是，如果政策设计恰当、落实到位，那么实现该研究提出的 2030 年达到排放量峰值目标的 GDP 成本就应该比较适中，而且鉴于这些政策对能源生产力、基础设施投资、创新、能源安全和公共健康等方面的有益影响难以模拟，事实上其对 GDP 的影响可能是纯正面的。当然，考虑到上文及新气候经济全球报告（全球气候和经济委员会，2014a）已论述过的原因，它们也会有利于改善经济效率和人民福祉，其益处远远超出 GDP 数字所能体现的内容。

政策措施

该研究的结论是，中国应对煤炭消耗量加以限制，使煤炭消耗量在 2020 年左右尽快实现绝对下降。根据该研究的模拟结果，石油和天然气消耗量上升可能会一直持续到 2030 年。所以如果排放总量要在 2030 年以前达到峰值，那么煤炭消耗量就需要提前大约 10 年达到峰值（请见第二部分章节 2.4 论述）。

另外，该研究还提倡逐步引入排放绝对值上限和碳定价机制。该研究认为，产能过剩的或位于中国东部经济较发达地区的能源密集型工业应率先引入排放量绝对值上限，然后逐渐扩大至所有行业和地区，最后变成一个经济领域全覆盖的减排目标。在碳定价方面，该研究建议采用稳步上升的碳价信号（2030 年以前每年上升 7%-8%），来引领投资走上低碳绿色发展之路。

附录二：发电量数据

表 A2.1：中国各类发电能源的发电能力——2014 年新增发电能力和 2014 年末总发电能力

发电能源	2014 年新增发电能力 (十亿瓦/吉瓦)	2014 年末发电总量 (十亿瓦/吉瓦)
火力	47.29	920
——煤炭	35.55	830
——天然气	8.86	55.67
——其他火力 ¹⁰⁴	2.88	34.33
水电 ¹⁰⁵	21.85	301.83
核能	5.47	19.88
风能	20.72	95.81
太阳能（大多为光伏发电）	10.64	26.52
总计 ¹⁰⁶	105.97	1360
来源：除非特别标注，数据均来自中国电力企业联合会（2015b）		

表 A2.2：火力发电发电量，2013–2014

发电能源	2013 年发电量 (太瓦时)	2014 年发电量 (太瓦时)	2013–14 变化量 (太瓦时)	2013–14 变化量 百分比 (%)
火力发电总量	4199.4	4170	-29.4	-0.7
非煤火力 ¹⁰⁷	185.1	212.87	27.77	15
煤炭 ¹⁰⁸	4014.3	3957.13	-57.17	-1.4
来源：中国电力企业联合会（2015b）				

¹⁰⁴ 包括生物质发电、废热发电、生活垃圾发电，由火力发电能力总量减去燃煤、天然气发电能力计算得出。

¹⁰⁵ 中国电力企业联合会（2015a）的水电总装机容量是 3018.3 亿瓦，比中国电力企业联合会（2015b）3000 亿瓦数据稍高。我们认为，后一个数据是四舍五入得来的（两份文件中，新增发电能力都是 218.5 亿瓦，早先发布的 2013 年数据显示，2013 年年末水电总发电能力为 2800 亿瓦），所以表中我们采用的是稍高的那个数值。

¹⁰⁶ 2014 年新增发电能力总量是每个发电能源新增发电能力的总和和发电能力总量是将每个发电能源的发电能力数四舍五入取三位有效数字后的总和，这也符合中国电力企业联合会（2015b）公布的发电能力总量数据（1.36 太瓦/1360 吉瓦）。

¹⁰⁷ 2014 年，非煤炭火力发电能力总量为 900 亿瓦，比 2013 年增加 117.4 亿瓦（见上文表 A2.1；中国电力企业联合会，2015b）。假设 2013 年、2014 年非燃煤火力发电容量系数为 27%（这与国际能源署 2012 年非燃煤火力发电容量系数计算值一致：国际能源署，2014a），也就是说，2014 年非燃煤火力发电量是 212.87 太瓦时，较 2013 年增加 27.77 太瓦时（国家统计局数据未计算火力发电无效的情况）。

¹⁰⁸ 以相减得差的方法计算。

表 A2. 3：水力发电能力利用率和发电能力

年份	水力发电运行时间	水力发电能力利用	年末累计水力发电
2008 ¹⁰⁹	3589	41	173
2009 ¹¹⁰	3264	37	197
2010 ¹¹¹	3429	39	213
2011 ¹¹²	3028	35	230
2012 ¹¹³	3555	41	249
2013 ¹¹⁴	3318	38	280
2014 ¹¹⁵	3653	42	302
平均	3405	39	
来源依据每一年份的对应脚注			

¹⁰⁹ http://www.gov.cn/gzdt/2010-01/06/content_1504129.htm

¹¹⁰ http://www.gov.cn/gzdt/2010-01/06/content_1504129.htm

¹¹¹ http://www.nea.gov.cn/2011-01/28/c_131054979.htm

¹¹² http://www.nea.gov.cn/2012-01/14/c_131360365.htm

¹¹³ http://www.nea.gov.cn/2013-01/14/c_132100340.htm

¹¹⁴ http://www.nea.gov.cn/2014-01/14/c_133043689.htm

¹¹⁵ 中国电力企业联合会（2015a）。

附录三：到 2020 年之前中国能源领域的二氧化碳排放量达到峰值的说明性情景

在第二部分章节 2.4 我们曾推断中国温室气体排放量可能会在 2025 年之前或者更早达到峰值。下面，我们将陈述一个能使中国能源领域的二氧化碳排放量在 2020 年之前达到峰值的说明性情景，阐述其中包含的假设条件，以便说明该情景如何实现其效果。表 A3.1 展示了 2014-2020 年间中国能源消耗量变化的说明性情景。表 A3.2 显示了该情景使能源领域相关的二氧化碳排放量在 2020 年之前达到峰值。

在表 A3.1 中我们假设（2014-2020 年期间）：

- 一次能源消耗（PEC）总量以 1.8% 的平均年复合增长率增长。最新趋势显示，2013 至 2014 年中国能源需求量增长 2.2%（国家统计局，2015a），在 2015 年第一季度仅增长 1%，反映出结构和政策转变可能还将继续。如果中国经济在 2014-2020 年期间能以 6% 的平均年复合增长率增长（考虑到当前的结构性调整以及国际货币基金组织的最新预测—2015 年放缓至 6.8%，2016 年为 6.3%—我们的预期是合理的）¹¹⁶，如果 GDP 能耗强度每年下降 4%，那么我们假设的 1.8% 的能源需求增长率将得以实现。¹¹⁷
- 到 2020 年之前，非化石能源在一次能源消耗中的占比增加至 18%。这高于中国公布的 2020 年目标，但我们预测能源需求总量增速会放缓，并且到 2020 年之前风力和太阳能发电产能目标可能会上调，所以我们预测的 18% 的目标更有可能实现。
- 石油消耗量的平均年复合增长率为 2.5%。这是国际能源署对这一时期的增长率的预测（2014a）。¹¹⁸

¹¹⁶ 当把 2011 至 2013 年的实际数据考虑进去之后，2011 至 2020 年期间的平均年复合增长率将因此达到 6.81%（世界银行，2015a，54；世界货币基金组织，2015，54），这将恰好介于中国新气候经济研究的“低速增长”情景和“中速增长”情景之间（见附录一，表 A1.1）。同时对比滕和卓佐（2014），他们假设 2014 至 2020 年的 GDP 增长率为 7.4%。考虑到实际增长率比做这些研究时下降得更快，和国际货币基金组织最近对 2015 年至 2016 年所做的预测，我们认为在这十年的剩余时间里 6% 的增长率是合理的（无论如何，这本质上不是一种预测，因为这仅是为了证明能源领域的二氧化碳排放量能够在 2020 年之前达到峰值的说明性情景）。

¹¹⁷ GDP 能耗强度下降 4% 是合理的：2013 年至 2014 年期间能耗强度平均下降 4.25%（见章节 6.1，上）；并且能耗强度每年提高 4% 也是其他著名学者普遍假设的情况（如滕和卓佐，2014）。然而我们这里所假设的更低的增长水平（对比上文脚注 116 里所引用的研究）将会使实现能源强度降低的目标更加困难，另一方面，尽管增长率更低，这一时期投资在 GDP 中的比重的改变和经济结构改变都将可能加速，这可以有助于维持~4% 能耗强度下降率。

¹¹⁸ 我们对国际能源署预测的 2012 年至 2020 年石油和天然气消费量的平均年复合增长率做出推断，并且假设 2014 至 2020 年为相同的增长率，以国家统计局（2015a）的数据即 2014 年每一种燃料的能源消耗量为

- 天然气消耗量的平均年复合增长率为 10%。这将使天然气在一次能源消耗中的占比达到近 9%（根据我们对一次能源消耗量增长的假设），这略低于政府 10% 的目标。

表 A3.1：化石燃料能源消耗量的预计变化（兆吨 MT 标准煤当量）

年份	一次能源消耗总量	非化石	总化石	石油	天然气	煤炭
2014	4260	48	3779	731	236	2812
2020	4727	851	3876	847	419	2610
2014-20	467	370	98	117	182	-201
2014-20	1.8%	10%	0%	2.5%	10%	-1.2%
注释： 由于四舍五入，数值相加未必等于总和。						

按国家统计局（2015a）的方法，当 2014 年每一种能源的基础值都采用这些假设的数值时，2014 至 2020 年煤炭使用量的年均下降率将达到 1.2%。尽管需要假设，我们提出的煤炭消耗量增长结构性风险情况（煤基地建设、以及煤化工和煤制天然气产业的强劲增长）最终不会变为现实，并且煤炭使用量的下行压力占主导地位，这（1.2% 的年均下降率）依然与我们对工业和电力部门煤炭使用量的分析结果大致相符。因此，这也可以被视为是一种合理而可行的“低煤”情景。从表 A3.2 中可以看出，采用政府间气候变化专门委员会（IPCC）的排放因素时，所有能源的二氧化碳排放量在 2020 年将达到负值，表明到 2020 年之前排放量会出现一个峰值。¹¹⁹

表 A3.2：化石能源消耗的二氧化碳排放量的预计变化（兆吨二氧化碳 MTCO₂）

	石油	天然气	煤炭	总和
2104	1570	388	7794	9752
2020	1821	688	7236	9745
2014-20 增量	251	300	-558	-7
注释： 这些数值是表 A3.1 与适用的排放因子（γ tCO ₂ /每吨标准煤当量，煤炭的 γ 值为 2.772、石油 2.149、天然气 1.644）。由于四舍五入，数值相加未必等于总和。				

基础。但是回忆我们的结论所提到的：交通运输业的排放量增长率可能比国际能源署的新政策情境预测的更低，因为大家预期十三五规划将对政策进行进一步发展完善，因此我们有理由说，这一时期石油消耗量增长率为 2.5% 是一种较高的预测值。

¹¹⁹ 假设每年增长率相同（就煤炭而言则是下降率），能源领域二氧化碳排放量已经达到峰值，但事实上，煤炭用量下降速度可能加快。而石油和天然气用量上升速度可能减慢，这意味着，峰值仍可能在 2020 年近前到来。

¹²⁰ 关于政府间气候变化专门委员会排放因子可查阅：<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

参考文献

[1]阿吉翁、菲利普、卡梅伦·赫伯恩、亚历克斯·特意特博姆和迪米特里·曾格利斯, 2014 年。路径依赖, 创新与气候变化经济学。(可移植文档格式) 政策论文。气候变化经济与政策中心、格兰瑟姆气候变化与环境研究院、新气候经济。参见:

<http://static.newclimateeconomy.report/wp-content/uploads/2014/11/Path-dependence-and-econ-of-change.pdf>.

[2]艾哈默德、埃蒂沙姆、詹姆斯·瑞杰斯和尼古拉斯·斯特恩, 2013 年。结构转变驱动税制改革驱动结构变化。中国发展论坛论文。2013 年 3 月。

[3]艾哈默德、埃蒂沙姆和王志凯, 2013 年。中华人民共和国:《可持续结构转变的财政改革》。未发表的著作。

[4]匿名, 2013 年。党的新计划蓝图。《经济学人》,(在线)。2013 年 11 月 16 日。

参见: <http://www.economist.com/blogs/analects/2013/11/reform-china>

[5]匿名, 2015a。回到现实。《经济学人》,(在线) 2015 年 5 月 18 日。参见: <http://www.economist.com/news/briefing/21648567-chinese-growth-losing-altitude-will-it-be-soft-or-hard-landing-coming-down-earth>

[6]匿名, 2015b。中国总理李克强设定经济目标。英国广播公司新闻(在线)。2015 年 3 月 5 日。参见: <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-china-31743598>

[7]匿名, 2015c。煤炭联盟: 预计 2014 年煤炭消费量会负增长。中国证券报官方网站(在线)。2015 年 1 月 16 日。

参见: http://www.cs.com.cn/xwzx/cj/201501/t20150116_4620557.html [in mandarin]

[8]匿名, 2015d。双峰: 中国钢铁产量和消费量可能会很快开始下降。《经济学人》(在线)。2015 年 5 月 4 日。参见:

<http://www.economist.com/news/business/21647617-chinas-steel-production-and-consumption-may-soon-start-falling-twin-peaks>

[9]彭博, 2015 年。为战胜污染中国调高 2015 太阳能目标。彭博资讯(在线)。2015 年 3 月 18 日。参见:

<http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-03-18/china-increases-solar-target-for-2015-as-it-fights-air-pollution>

[10]博伊德、罗德尼、尼古拉斯·斯特恩和鲍勃·沃德, 2015 年。2030 年的温室气体年排放量将是怎样的, 能否使全球变暖不超过 2 度?(可移植文档格式)

政策论文。格兰瑟姆气候变化与环境研究院及气候变化经济学与政策中心。参见：
http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/05/Boyd_et_al_policy_paper_May_2015.pdf

[11]博伊德、罗德尼、弗格斯·格林和尼古拉斯·斯特恩，2015年。通往巴黎和远方的路：国际气候合作及中国的作用。政策论文。格兰瑟姆气候变化与环境研究院及气候变化经济学与政策中心。2015年5月。

[12]英国石油公司，2014年，2014世界能源统计年鉴：石油消费。(在线)参见：
<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/review-by-energy-type/oil/oil-consumption.html>

[13]考尔德科特、本，受困资产项目：介绍。(在线)英国剑桥史密斯企业与环境研究院。

参见：<http://www.smithschool.ox.ac.uk/research-programmes/stranded-assets/>

[14]考尔德科特、本和尼克·罗宾斯，2015年。中国金融市场：受困资产的风险与机会。简报。英国剑桥史密斯企业与环境研究院。

[15]曹、丛、丹尼斯·弗莱德·西蒙、理查德·皮·斯特米尔，2009年。中国的创新挑战。创新：管理、政策与实践、11(2)第253-259页。

[16]曹、丛、宁力（音）、夏利（音）和李流（音），2013年。改革中国的科技体制。科学杂志，341(6145)，第460-462页。

[17]欧洲水泥协会（CEMBUREAU），2015年。关键事实和数据。图表2:2013地区和主要国家世界水泥产量。

（在线）参见：<http://www.cembureau.be/about-cement/key-factsfigures>

[18]中国共产党中央委员会（CCCPC），2013年。有关全面深化改革的重大问题的论述。(在线)2013年11月15日。

参见：<http://english.people.com.cn/90785/8525422.html>

[19]陈爱珠（音），2013年。致密地层气：默默无闻的中国非常规能源。路透社（在线）。2013年7月。参见：

<http://www.reuters.com/article/2013/07/08/china-tightgas-idUSL3N0EG2BF20130708>

[20]陈海燕（音）、贾蓓思（音）和刘（音），2008年。中国紧凑型城市的可持续城市形态：迅速城市化经济的挑战。国际城乡居住杂志,32,第28-40页。

[21]陈，凯西，大卫·斯坦威，2015年。中国的银行必须削减煤炭贷款，并转向

清洁事业：研究。路透社（在线）。2015 年 4 月 23 日。参见：

<http://www.reuters.com/article/2015/04/23/china-coal-environmentidUSL4N0XK3RL20150423>

[22]陈、史蒂芬，2014 年。中国计划到 2020 年成为核电世界领导者。南华早报（在线）。2014 年 9 月 14 日。参见：

<http://www.scmp.com/news/china/article/1591984/china-plans-beworld-leader-nuclear-power-2020?page=all>

[23]中国环境与发展国际合作委员会（CCICED），2015 年。中国绿色转变过程的评估与前景。（可移植文档格式）中国环境与发展国际合作委员会工作组报告。参见：

<http://www.cciced.net/encciced/policyresearch/report/201504/P020150413497198320874.pdf>

[24]中国电力企业联合会（CEC），2015a.2014 年电力工业运行简况。（在线）2015 年 2 月 2 日

<http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/gongxufenxi/dianliyunxingjiankuang/2015-02-02/133565.html> [in mandarin]

[25]中国电力企业联合会（CEC），2015b。中国电力工业现状与展望。（在线）2015 年 3 月 10 日。参见：<http://www.cec.org.cn/yaowenkuaide/2015-03-10/134972.html> [in mandarin]

[26]中国钢铁工业协会（CISA），2015 年。中国钢铁工业协会 2015 年第二次信息发布会新闻稿。（在线）2015 年 4 月 29 日。参见：

<http://www.chinaisa.org.cn/gxportal/DispatchAction.do?efFormEname=ECTM40&key=C2gKNV41AGEEZQE2VDMEZQJmVzcBZQQyVWMGNwBmATMFFglGARoAMAcWUBcDFABi>

[27]中国科学院，2009 年。中国能源科技：至 2050 的路线图。北京：施普林格科学出版社。

[28]花旗，2013 年。难以置信：中国煤炭峰值。（在线）花旗研究（商品）。参见：<https://ir.citi.com/z5yk080HEXZtoIax1EnHssv%2Bzm4Pc8GALpLbF2Ysb%2Fl21vGjprPCVQ%3D%3D>

[29]科恩、阿蒙德，2015 年。无法望见的中国煤炭峰值；碳捕捉将成为本世纪减排的必要。清洁空气工作组博客（在线）2015 年 2 月 18 日。参见：

<http://www.catf.us/blogs/ahead/2015/02/18/no-china-coal-peak-in-sight-carbon-capture-will-be-necessary-to-tame-emissions-in-this-century/>

[30]科恩、阿蒙德和刘可欣（音），2013 年。中国煤炭达到峰值——还是长期、高位平稳状态？清洁空气工作组博客。2013 年 10 月 7 日。参见：

<http://www.catf.us/blogs/ahead/2013/10/07/peak-coal-in-china-or-long-high-plateau/>

[31]中国电力新闻网，2015 年。2014 年全国能源消费总量仅增 2.2%，单位产值能耗大降 4.8%。CPNN(中国电力新闻网)(在线)。

2015 年 1 月 21 日 http://www.cpn.cn/zdzgt/201501/t20150121_778878.html

[32]戴利、约翰和特里斯坦·艾迪斯，2011 年。艰难的变革之路：澳大利亚减排政策。(可移植文档格式)格拉斯坦研究所报告 2011-2.11, 2011.4 墨尔本：格拉斯坦研究所。参见：

http://grattan.edu.au/wpcontent/uploads/2014/05/077_report_energy_learning_the_hard_way.pdf

[33]丁艳君（音）、韩伟健（音）、柴琴湖（音）、杨淑红（音）和沈伟（音），2013 年。煤基合成天然气（SNG）：中国能源安全和二氧化碳排放的解决方案？能源政策，55，第 445-453 页。

[34]德赖斯代尔、彼得，2015 年。生产力不再产生中国经济增长新驱动力。东亚论坛（在线）。2015 年 4 月 13 日

<http://www.eastasiaforum.org/2015/04/13/productivity-not-reproductivity-the-new-driver-of-chinese-growth/>

[35]能源情报署（美国）（EIA），2014 年。中国。(在线)参见：

<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=ch>

[36]能源情报署（美国）（EIA），2013a。2013 年国际能源展望。华盛顿特区：美国能源情报署。

[37]能源情报署（美国）（EIA），2013b。中国（发电）。

(在线)参见：<http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=CH#elec>

[38]国家发展和改革委员会能源研究所(ERI)，能源基金会及其合作伙伴，2015a。中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨途经研究——执行摘要。(可移植文档格式)2015 年 5 月。参见：

<http://www.efchina.org/Reports-en/china-2050-high-renewable-energy-penetration-scenario-and-roadmap-study-en>

[39]国家发展和改革委员会能源研究所(ERI), 能源基金会及其合作伙伴, 2015b。中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨途经研究——背景资料。(可移植文档格式)2015 年 5 月。参见:

<http://www.efchina.org/Reports-en/china-2050-high-renewable-energy-penetration-scenario-and-roadmap-study-en>

[40]欧洲环境署 (EEA), 2011 年。碳捕捉及存储对大气污染的影响 (CCS)。(在线)欧洲环境署科技报告 2011 年 11 月 14 日哥本哈根: 欧洲环境署。参见:

<http://www.eea.europa.eu/publications/carbon-capture-and-storage>

[41]安永 (EY), 2014 年。世界钢铁 2014。在机遇中获利: 为未来需求做准备。(可移植文档格式)参见:

[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Global_steel_2014/\\$FILE/EY-Global-steel-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Global_steel_2014/$FILE/EY-Global-steel-2014.pdf)

[42]范安琪 (音), 2015。中国劳动力人数萎缩。China.org.cn(在线)2015 年 1 月 22 日。参见: http://www.china.org.cn/china/2015-01/22/content_34625754.htm [in mandarin]

[43]范克豪泽、萨姆, 2012 年。低碳经济指南: 英国的教训。政策论文。格兰瑟姆气候变化与环境研究院及气候变化经济学与政策中心。2012 年 1 月。

[44]法兰克福学校-联合国环境规划署中心和彭博新能源财经(BNEF), 2015 年。2015 全球可再生能源投资趋势。法兰克福: 法兰克福财经管理大学。

[45]甘比尔、阿杰伊、尼尔斯·舒尔茨、塔马尔恩·那巴、童丹璐 (音)、路易斯·穆努埃拉、马克·菲斯特、亚基云·里亚西, 2013 年。中国到 2050 年的二氧化碳排放量发展情景的混合建模方法。能源政策, 59, 第 614-632 页。

[46]甘比尔、阿杰伊、劳伦斯谢奎全 (音)、童丹璐 (音)、里卡多·马丁内斯·波塔斯, 2015 (即将出版)。降低中国道路运输业二氧化碳排放量至 2050 年: 技术、成本和解构分析。应用能源。

[47]高、范, 2012 年。中国到 2020 年之前会不会出现页岩气革命? (在线)论文。牛津能源研究所。参见:

<http://www.oxfordenergy.org/2012/04/will-there-be-a-shale-gas-revolution-in-china-by-2020/>

[48]伽诺特、罗斯, 2014 年。中国在全球减缓气候变化中的作用。中国和世界经济, 22 (5), 第 2-18 页。

[49]伽诺特、罗斯、宋立刚（音）、蔡方（音），2014 年。改革及中国经济长期增长和发展。编者：宋立刚（音）、罗斯·伽诺特和蔡方（音）。2013 年。中国：新增长与发展模式。堪培拉：澳大利亚国立大学电子新闻报。第 1-16 页。

[50]全球碳项目，2014 年。2014 全球碳预算。（可移植文档格式）2014 年 9 月。参见：

http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/14/files/GCP_budget_2014_v1.0_lowres.pdf

[51]全球经济与气候委员会（GCEC），2015 年，新气候经济技术说明：减排潜力。（在线）参见：<http://newclimateeconomy.report/misc/working-papers/>

[52]全球经济与气候委员会（GCEC），2014a。更好的增长更好的气候：新气候经济全球报告。华盛顿特区：世界资源研究所。

[53]全球经济与气候委员会（GCEC），2014b。中国与新气候经济。北京：清华大学。

[54]格兰诺夫、伊尔米、萨姆·帕卡德、朱利安·达克其、罗杰·卡罗、侯振波（音）、瓦内萨·德阿朗松，2015 年。液压破碎法能否让中国的发展更加环保？中国非常规天然气在环境治理中机遇、风险和建议。报告。2015 年 4 月。伦敦：海外发展研究所。

[55]格林、弗格斯和尼古拉斯·斯特恩，2014 年。中国创新及可持续发展增长路径：关键十年。（在线）政策论文。格兰瑟姆气候变化与环境研究院及气候变化经济学与政策中心。2014 年 5 月。参见：[http://www.lse.ac.uk/](http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/an-innovative-and-sustainable-growth-path-for-china-a-critical-decade/)

[GranthamInstitute/publication/an-innovative-and-sustainable-growth-path-for-china-a-critical-decade/](http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/an-innovative-and-sustainable-growth-path-for-china-a-critical-decade/)

[56]甘宁汉姆、尼尔，2014 年。中国的页岩气革命？气候政策,14(2),第 302-320 页。

[57]汉密尔顿、柯克，2015（即将出版）。计算二氧化碳排放量主要排放国家的百分比 GDP 产生的 PM2.5 损害：技术说明。新气候经济论文。

[58]郝函（音）、王贺武（音）、易冉（音），2011 年。2050 年中国汽车保有量及预测的混合模拟。能源,36,第 1351-1361 页。

[59]豪斯法泽、齐克，2009 年。混合动力车？或是纯电动车？它们都耗能，如何选择？耶鲁气候连接（在线）。2009 年 9 月 28 日。参见：

<http://www.yaleclimateconnections.org/2009/09/hybrid-all-electric-vehicles/>

- [60]何建坤, 2014 年。二氧化碳排放峰值的研究: 中国的目标及策略。中国人口资源与环境,12,第 189-198 页。
- [61]霍恩比、露西、安吉利·拉瓦尔和尼尔·休姆, 2015 年。中国石油进口量第一次攀升至每天 7 百万桶。金融时报 (在线)。2015 年 1 月 13 日。参见: <http://www.ft.com/cms/s/0/78f88222-9aff-11e4-882d-00144feabdc0.html#axzz3SvaiJuAm>
- [62]霍红 (音) 和迈克尔王 (音)、张喜亮 (音)、贺克斌 (音)、龚惠明 (音)、蒋克军 (音)、金月福 (音)、石耀东 (音)、于欣 (音), 2012 年。中国机动车能源使用保护及温室气体排放: 政策选择及影响。能源政策, 43,37-48.
- [63]可持续发展与国际关系研究院(IDDRI)/可持续发展解决方案网络 (SDSN), 2014 年。深度去碳化途径: 2014 报告。2014 年 9 月。
- [64]政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 2014 年。决策者摘要。编者: 爱登霍费尔、皮克斯·马德鲁加、索科纳、法拉哈尼、卡迪纳尔等人。2014 年。2014 年气候变化: 缓解气候变化。第三工作组对政府间气候变化专门委员会第五次评估报告的贡献。剑桥: 剑桥大学出版社。
- [65]国际原子能机构 (IAEA), 2015 年。电厂反应堆的系统信息数据库。(在线) 参见: <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN> (as last updated on 23 April 2015)
- [66]国际原子能机构 (IAEA), 2015a。排放量数据库。(在线) 参见: <http://data.iaea.org/>
- [67]国际原子能机构 (IAEA), 2015b。全球二氧化碳的能源相关排放量在 2014 年增长停滞。(在线) 新闻稿。2015 年 3 月 13 日。参见: <http://www.iaea.org/newsroomandevents/news/2015/march/global-energy-related-emissions-of-carbon-dioxide-stalled-in-2014.html>
- [68]国际原子能机构 (IAEA), 2015a。2014 年世界能源展望。巴黎: 经济合作与发展组织/世界能源署。
- [69]国际原子能机构 (IAEA), 2015b。燃料燃烧的二氧化碳排放——要点。巴黎: 经济合作与发展组织/世界能源署。
- [70]国际原子能机构 (IAEA), 2015c。2020 前可再生能源市场分析及预测: 2014 年中期市场报告。巴黎: 巴黎经济合作与发展组织/世界能源署。
- [71]国际能源署 (IEA), 2011 年。技术路线图: 电动汽车和插电式混合动力汽车。巴黎: 巴黎经济合作与发展组织/世界能源署。

- [72]世界货币基金组织（IMF），2015 年。世界经济展望。（在线）2015 年 5 月。华盛顿特区：世界货币基金组织。参见：
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/index.htm>
- [73]蒋克军（音）。向 2 度全球目标的中国二氧化碳排放情景。（在线）维多利亚大学中国能源路径的突变会议介绍：对中国、澳大利亚及全球气候的影响。参见：
http://www.vu.edu.au/sites/default/files/cses/pdfs/Kejun_2014_China's_CO2_emission_scenario.pdf
- [74]蒋克军（音）、刘强（音）、庄星（音）、胡秀莲（音），2010 年。中国低碳社会科技路线图。可再生与可持续能源期刊，2:031008（第 1-12 页）。
- [75]刘、科科（音），2014 年。中国计划大幅放缓煤制天然气项目以降低排放量。气候变化在线（在线）。2014 年 10 月 17 日。参见：
<http://www.eenews.net/climatewire/stories/1060010694>
- [76]马、韦恩，2014 年。中国用电的增长内容：中国实时报，华尔街日报（在线）。2014 年 1 月 20 日。参见：
<http://blogs.wsj.com/chinarealtime/2014/01/20/what-chinas-electricityusage-says-about-growth/>
- [77]麦格理证券研究所，2015 年。中国煤化工：回到现实，赢家和输家。2015 年 2 月 9 日。
- [78]麦、殷华（音）和冯胜浩（音），2013 年。提高中国燃煤发电效率：对 2020 年前碳强度和更广泛的中国经济的影响。向国家信息中心和国家发展和改革委员会工作组提交的论文，北京。
- [79]麦肯锡全球研究院（MGI），2009 年。迎接中国大规模城市化。麦肯锡公司。
- [80]米里维塔、劳里，2015a。2013 年中国如何生产出比其所想象的还要多的煤？——为什么这意味着可以更快地减排。能源部。（在线）2015 年 5 月 5 日。参见：
<http://energydesk.greenpeace.org/2015/05/05/how-china-produced-more-coal-than-it-thought-in-2013-and-why-that-means-it-may-cut-emissions-faster/>
- [81]米里维塔、劳里，2015b。评论：中国新燃煤发电厂——一个（碳）泡沫即将撑破。能源部（在线）。2015 年 2 月 23 日。参见：
<http://energydesk.greenpeace.org/2015/02/23/comment-new-coal-power-plants-china-carbon-bubble-waiting-burst/>
- [82]米里维塔、劳里，2015c。2014 年中国煤炭消耗量下降。能源部（在线）。2015

年 1 月 26 日。参见：

<http://energydesk.greenpeace.org/2015/01/26/official-chinas-coal-consumption-fell-2014/>

[83]国家统计局（中国），2015a。中华人民共和国国家统计局发布的 2014 年国民经济和社会发展公报。（在线）参见：

http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/201502/t20150228_687439.html

[84]国家统计局（中国），2015b。2015 年 3 月工业生产操作。（在线）参见：

http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/201504/t20150415_712755.html

[85]国家发展和改革委员会（NDRC），2013 年。中国为应对气候变化的政策和行动。北京：国家发展和改革委员会。

[86]国家能源局（NEA），2015a。国家能源局发布 2014 年电力消耗数据。（在线）2015 年 1 月 16 日。参见：http://www.nea.gov.cn/2015-01/16/c_133923477.htm[in mandarin]

[87]国家能源局（NEA），2015b。国家能源局发布 3 月份全社会用电量。（在线）2015 年 5 月 16 日。参见：http://www.nea.gov.cn/2015-04/16/c_134155763.htm [in mandarin]

[88]国家能源局（NEA），2014 年。国家能源局发布 3 月份全社会用电量。（在线）2014 年 5 月 15 日。参见：http://www.nea.gov.cn/2014-04/15/c_133264788.htm [in mandarin]

[89]奥特里、克里斯汀，2014 年。中国规划的煤制天然气生产厂将产生 10 亿多吨二氧化碳。能源部（在线）2014 年 7 月 23 日。参见：<http://energydesk.greenpeace.org/2014/07/23/chinas-planned-coal-gasplants-emit-one-billion-tons-co2/>

[90]欧迅敏（音）、张喜亮（音）、常世岩（音），2010 年。用于未来道路交通的替代燃料汽车的情景分析：生命周期能源需求和温室气体排放量。能源政策，38，第 3943-3956 页。

[91]帕里、伊恩、德克·海尼、伊丽莎·利斯、单俊利（音），2014 年。合理化能源价格：从理论到实际。华盛顿特区：国际货币基金组织。决策者摘要（可移植文档格式）参见：<http://www.imf.org/external/np/fad/envIRON/pdf/c1.pdf>

[92]中国人民银行和联合国环境规划署（PBC/UNEP），建立中国绿色金融系统。（在线）绿色金融工作组总结报告。2015 年 5 月。参见：

<http://www.unep.org/inquiry/PBC/tabid/1060068/Default.aspx>

[93]中华人民共和国，2011 年。第十二个五年规划。（在线）参见：

http://news.xinhuanet.com/politics/2011-03/16/c_121193916.htm [in mandarin]

[94]普拉茨，2014 年。挑战依然存在，中国降低 2020 年页岩气目标产量。普拉茨能源咨询（在线）。2014 年 9 月 18 日。参见：

<http://www.platts.com/latest-news/natural-gas/singapore/china-cuts-2020-shale-gas-output-target-as-challenges-27641138>

[95]路透社，2015a。中国钢铁业需要重组，产量正处峰值——协会。路透社（在线）。2015 年 1 月 14 日。参见：

<https://uk.news.yahoo.com/chinas-steel-sector-needs-restructuring-output-peaking-association-055011748--business.html#VRDZ4rO>

[96]路透社，2015b。2014 年中国能源强度降低近百分之五。悉尼先驱晨报（在线）。2015 年 1 月 21 日。参见：

<http://www.smh.com.au/environment/climate-change/china-cuts-energy-intensity-almost-5-per-cent-in-2014-20150120-12ummu.html>

[97]路透社，2014 年。中国因总理敦促新大坝建设而落后于 2020 年水电目标。路透社（在线）。2014 年 3 月 10 日。参见：

<http://www.reuters.com/article/2014/03/10/china-parliament-hydropower-idUSL3N0M70VN20140310>

[98]罗德、菲利普、格拉哈姆·弗洛特（音），2013 年。走向绿色：城市如何引领未来经济。伦敦：伦敦政治经济学院图书馆服务，伦敦政治经济学院。

[99]西格尔、亚当，2011 年。优势：美国创新如何战胜亚洲的挑战。纽约：WW 诺顿公司。

[100]赛拉皮、马诺洛，2015 年。今年中国钢铁消费可能下滑百分之六——中国钢铁工业协会。路透社（在线）。2015 年 5 月 14 日。参见：

<http://uk.reuters.com/article/2015/05/14/uk-china-steel-demand-idUKKBN0NZ05Y20150514>

[101]希利、马尔科姆和詹姆斯·道林（音），2010 年。中国不断增长的煤炭使用量：资源环境的巨大影响。能源政策，38，第 2116-2122 页。

[102]希利、休，2014 年。视野：中国的“向污染宣战”和其在缓解气候变化方面的影响。（可移植文档格式）中国碳论坛。参见：

http://www.chinacarbon.info/wp-content/uploads/2014/11/CCF-Insights_September-2014.pdf

[103]宋立刚（音）和刘海民（音），编者。2012 年。中国钢铁业的转变：结构转变、性能和对资源的需求。切尔滕纳姆、格罗斯，英国：爱德华·埃尔加

[104]斯坦威、大卫，2015 年。2014 年中国太阳能发电生产能力增长 60%至 2800 万千瓦。路透社（在线）。2015 年 2 月 16 日。参见：

<http://af.reuters.com/article/commoditiesNews/idAFL4N0VQ1XS20150216>

[105]中华人民共和国国务院，2013，大气污染防治行动计划。

[106]斯特恩、尼古拉斯，2015 年。我们为何还在等待？应对气候变化的逻辑、紧迫性和承诺。伦敦：麻省理工学院出版社。

[107]史蒂文斯、保罗，2014 年。中国页岩气技术革命及其对能源的影响。给能源研究所的报告，北京，中国，2014 年 9 月 9 日。

[108]滕飞和弗兰克·卓佐，2014 年。中国收获去碳化经济效益。中国和世界经济。22（5），37-54。

[109]特伦巴斯、亚历克斯，2014 年。煤炭真的在中国达到峰值了吗？重大进展。（在线）。2014 年 8 月 28 日。参见：

<http://thebreakthrough.org/index.php/voices/energetics/is-coal-really-peaking-in-china>

[110]泰菲尔德、大卫、艾德里安·伊利和萨姆·吉尔，2015（即将出版）。中国低碳创新：从被忽视的机遇和挑战到电力关系和实践的转变。可持续性发展。

[111]城市中国计划（UCI），2013 年。中国需要更以人为本的紧凑型城市。（在线）参见：

<http://www.urbanchinainitiative.org/china-needs-more-people-centered-compact-cities/>

[112]美国国务院，2009 年。中美关于清洁能源合作伙伴关系对话。（在线）美国国务卿，希腊斯·罗德海姆·克林顿的讲话，以及气候变化特使托德·斯特恩和通用电气能源集团中国总裁杰克温（音）。太阳宫热电厂，中国北京。2009 年 2 月 21 日。参见：

<http://www.state.gov/secretary/20092013clinton/rm/2009a/02/119433.htm>

[113]王云石（音）、雅各布·泰特、丹尼尔·斯柏林，2011 年。中国猛增的汽车保有量：甚至比预测的更多？能源政策，39，第 3296-3306 页。

[114]沃德、约翰、卡梅伦·赫伯恩、大卫·安托弗、西蒙·巴珀提斯特（音），

菲利普·格拉德威尔、克里斯·奥普和马克思·克拉，2012 年。巴西、中国和印度的利己主义的低碳增长。全球新兴市场经济体杂志，4，第 291-318 页。

[115] 白宫，美国，2014 年。情况说明：美中关于气候变化和清洁能源合作的联合声明。（在线）新闻秘书办公室。参见：

<http://www.whitehouse.gov/the-pressoffice/2014/11/11/fact-sheet-us-china-joint-announcement-climate-change-and-clean-energy-c>

[116] 韦森、詹姆斯·詹姆斯·姬莉，2007 年。中国：下一个超级科技大国？伦敦：狄莫斯。

[117] 韦森、罗伯特，2015 年。中国煤炭达到峰值？没这么快。卡本·康特博客（在线）。2015 年 2 月 27 日。参见：

<https://carboncounter.wordpress.com/2015/02/27/peak-coal-in-china-not-so-fast/>

[118] 伍德·麦肯齐，2014 年。中国达不到 2030 年核电目标。（在线）新闻发布稿。

2014 年 5 月 27 日。参见：<http://www.woodmac.com/public/media-centre/12058383>

[119] 世界银行，2015a。全球经济前景：有财政空间并利用它。（可移植文档格式）华盛顿特区：世界银行。参见：

http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEP2015a/pdfs/GEP15a_web_full.pdf

[120] 世界银行，2015b。世界发展指标（城市人口（%总人口数））。（在线）参见：

<http://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

[121] 世界银行，2015c。世界发展指标（中国）。（在线）参见：

<http://data.worldbank.org/country/china>

[122] 世界银行和中华人民共和国国务院发展研究中心（DRC），2014 年。中国城市：走向有效率的、包容性强的、可持续发展的城市化。华盛顿特区：世界银行。

[123] 世界银行和中华人民共和国国务院发展研究中心（DRC），2013 年。中国 2030：建立一个现代、和谐和有创造力的社会。华盛顿特区：世界银行。

[124] 世界核协会（WNA），2015 年。中国的核电。（在线）参见：

<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/>

[125] 世界资源研究所（WRI），2014 年。气候分析指标工具（CAIT）2.0（在线）参见：<http://cait2.wri.org/>

[126] 世界钢铁协会（WSA），2015 年。粗钢年产量达成。1980-2013 年粗钢产量。

（在线）参见：

<http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/annual-steel-archive.html>

[127]吴立波（音），2015 年。中国的排放：达到峰值的曙光。国际地圈生物圈计划（在线）。2015 年 3 月 2 日。参见：

<http://www.igbp.net/news/features/features/chinasemissionsglimpsingthepeak.5.950c2fa1495db7081ecaa.html>（首次出版于国际地圈生物圈计划的全球变化杂志，83 期，2014 年 11 月）

[128]永利、杰勒德，2015 年。中国碳排放量：真的在 2014 年下降了吗？应对气候变化（在线）。2015 年 2 月 16 日。参见：

<http://www.rtcc.org/2015/02/16/chinas-carbon-emissions-did-theyreally-fall-in-2014/#sthash.eIHJOsEd.dpuf>

[129]新华网，2015a。新闻分析：中国煤炭工业步入寒冬。新华英语新闻（在线）。2015 年 1 月 25 日。参见：

http://news.xinhuanet.com/english/indepth/2015-01/25/c_133945656.htm

[130]新华网，2015b。中国煤炭产量出现 2000 年以来首次同比下降。新华（在线）。2015 年 1 月 23 日。参见：

http://news.xinhuanet.com/fortune/2015-01/23/c_1114112421.htm [in mandarin]

[131]新华网，2015c。中国第一季度煤炭产量下降 3.5%。新华（在线）2015 年 5 月 13 日。参见：http://news.xinhuanet.com/english/2015-04/13/c_134147463.htm

[132]新华网，2014a。中美宣布了雄心勃勃的气候变化目标。新华（在线）。2014 年 11 月 12 日。参见：

http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-11/12/c_133785099.htm

[133]新华网,2014b 年。中国推出具有里程碑意义的城市化计划。新华英语系（在线）。2014 年 3 月 16 日。参见：

http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-03/16/c_133190495.htm

[134]杨、希·珍（音）和罗伯特·杰克逊，2013 年。中国合成天然气革命。自然气候变化,3,第 852-854 页。

[135]叶、亚瑟，2014 年。美中气候交易强调大量能源创新的需求。突破研究所（在线）2014 年 9 月 9 日。参见：

<http://thebreakthrough.org/index.php/issues/decarbonization/us-china-climate-deal-under-scores-need-for-substantial-energy-innovation>

[136]张高丽，2014 年。全面深化改革、推动经济社会持续健康发展，张高丽在第十五届中国发展高层论坛上的讲话。2014 年 3 月 23 日。参见：

<http://cpc.people.com.cn/n/2014/0324/c64094-24714056.html> [in mandarin]

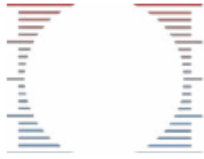
[137]张喜亮（音）、瓦莱丽·J·卡普拉斯、齐天宇（音）、张达（音）和何建坤，2014 年。中国的碳排放量：新措施能使排放曲线弯曲多远？麻省理工学院气候变化科学与政策联合项目——麻省理工学院中国能源与气候变化研究项目。报告 267,2014 年 10 月。

[138]陟（音）、强（音）、俊苏（音）、彭如（音）、劳拉·迪亚兹·阿纳多（音），2013 年。中国国家能源研发和示范项目革命：科学家在科技决策的作用。能源政策，61,第 1568-1585 页。

致 谢

特此感谢埃蒂沙姆·艾哈默德（音）、罗斯·伽诺特（音）、卡尔·霍丁（音）和弗兰科·卓佐（音）对本文的指导和审阅。同样感谢罗德尼·博伊德（音）、本·考尔德科特（音）、冯盛浩、阿杰伊·甘比尔（音）、山姆·吉尔（音）、希曼舒·古普塔（音）、韩郭毅、何建坤、尼尔·赫斯特（音）、柳利·米里维塔（音）、菲利克斯·普勒斯顿（音）、叶琪、莫腾·罗斯（音）、费腾、谢恩·汤普林斯（音）、王建良、赵任峰以及格兰瑟姆研究所政策小组对本文各方面进行的有益探讨。任何错误或遗漏归咎于作者本人。

这份政策简介专为公共部门、私营部门及第三方部门的决策者所写。我们之前为“中国发展高层论坛 2015”发表过论文，其于 2015 年 3 月刊发于《中国发展高层论坛杂志》，同时得到格兰瑟姆研究所的出版，而这份政策简介就是之前这篇论文的增订版。增订的目的在于使其能够反映论坛中讨论的问题及后续分析。本文中的观点仅为作者言论，不一定代表主办机构和资助者的观点。



气候变化经济学与政策中心

气候变化经济学与政策中心（CCCEP）成立于 2008 年，其宗旨是通过严谨、创新的研究促进公共部门和私营部门在应对气候变化问题上采取行动。本中心是由利兹大学和伦敦政治经济学院（LSE）联合主办并由英国经济与社会研究理事会（ESRC）资助的。如需了解更多关于气候变化经济学与政策中心的信息，可查阅：<http://www.cccep.ac.uk>



格兰瑟姆气候变化与环境研究所

格兰瑟姆气候变化与环境研究所于 2008 年在伦敦政治经济学院成立。研究所汇聚了经济、金融、地理、环境、国际发展和政治经济学科领域的国际专家，以共同建设一个世界领先的气候变化和环境方面的政策研究、教学与培训中心。本研究所和帝国理工学院格兰瑟姆气候变化研究所都是由格兰瑟姆环境保护基金会资助的。如需了解更多有关格兰瑟姆研究所的信息，可查阅：<http://www.lse.ac.uk/grantham/>

编 者 说 明

中国发展研究基金会由国务院发展研究中心发起成立，其宗旨是支持政策研究，促进科学决策，服务中国发展。中国发展研究基金会报告是基金会围绕宗旨资助或组织的研究活动的成果。本报告为不定期内部刊物，请读者指正。