

碳密度减排目标与经济增长 ——从国际比较视角对中国的分析

冯俊新

内容摘要：在即将召开的哥本哈根全球气候会议上，中国政府可能采取的一个谈判目标就是实现发展路径上的减排，即碳密度降低目标。我们首先分析了发展中国家所面对的减排承诺压力，比较了不同的减排目标对中国的影响；然后通过跨国长时间的面板数据对人均二氧化碳排放量和碳密度随着经济发展的变化规律进行了分析，得到如下结论：（1）中国在 2000 年以前实现的非常优秀的碳效率改善绩效很大程度上是从计划经济向市场经济过渡所带来的一种制度红利，到了现在要继续通过资源配置来提高碳排放效率的空间已经有限；而中国已经进入了工业化和城市化的高速发展阶段，在短期内中国的人均碳排放量仍将有较大的增长，碳密度在短期内也不会有明显下降。（2）碳密度和经济发展水平之间存在一个倒 U 型关系，我国大约在 2008 年达到这一曲线的顶点，这意味着按照其他国家的平均历史经验，我国目前正处于碳密度最高的发展阶段，而且在短期内不会有太大的下降，这也意味着按照这一碳排放发展路径，我国关于碳密度的承诺期不能过短，而应该选择一个较长的承诺达标时间。根据我们设定的经济增长场景，中国到了 2020 年的碳密度将有望比 2005 年下降 18.5%。这可以作为中国政府制定政策目标时的一个参考。（3）和大部分发达国家的相同发展阶段相比，中国处于一条更优的碳密度变化路径上，明显优于美国的碳密度变化路径，这意味着中国实际上在已有发展路径上的减排效果就已经非常巨大了。

一、研究背景

在 2009 年第 4 季度，在全球政治经济领域将有一个非常重要的事件发生，即哥本哈根全球气候会议。在这次会议中，中国等发展中国家面临着二氧化碳减排政策的一个必然调整，那就是可能会被要求承担减排义务（尽管减排的方式和责任还不确定），这必然意味着我国在未来一段时期内环境和产业政策的一个重大转型。我国政府目前以碳密度（即单位 GDP 的二氧化碳排放量）降低作为减排路线图的目标，以实现在发展中实现减排的目标。

2009 年 12 月 7 日起，联合国气候会议将在哥本哈根召开，商讨《京都议定书》一期承诺 2012 年到期后的后续方案，就未来应对气候变化的全球行动签署新的协议。在 1997 年签订的《京都议定书》中尽管呼吁发展中国家采取行动来控制温室气体排放，但是只要求发达国家缔约方率先采取行动应对气候变化及其不利影响，而发展中国家则暂时不承担减排的义务。《京都议定书》的框架认为对发展中国家来说，经济发展仍是其主要目标，温室气体减排问题的重要性仍低于经济问题，其主要目标是在尽可能地通过与发达国家在技术与资金方面合作，在不降低经济发展的速度的情况下尽可能减少二氧化碳的排放。

但是，在《京都议定书》签订后的这 10 多年里，随着发展中国家经济的迅速发展和碳排放总量的增多（尽管其人均排放量和历史排放量依然远远低于发达国家），对于发展中国家需要承担责任的呼声越来越多。由于近年来中国、印度和巴西等发展中国家增长迅速，再加上发达国家碳密集型产品生产的转移，这些发展中国家的温室气体排放量与日俱增，导致温室气体排放总量远超计划，而且美国等发达国家也一度将发展中国家尚未参与全球减排义务分担作为一项重要理由拒绝签署该协议。联合国气候变化框架公约 (UNFCCC) 第 13 次缔约方大会制定的“巴厘岛路线图”已经将发展中国家承担具体减排义务正式纳入后京都谈判进程（李丽平，任勇，田春秀，2008）。在即将到来的这次哥本哈根谈判中，依照巴厘岛路线图，各方合作的基础和谈判的原则是“共同但有区别的责任”原则，而这次会议中最值得我们关注的就是像中国、印度这样的主要发展中国家应如何控制温室气体的排放已经成为了谈判的重要议题之一。

这也意味着像中国这样的发展中国家，在这次谈判中将很有可能从过去的无排放责任者变成了减排义务承担者（当然，减排的具体衡量和承担方法并不确定，这也正是谈判的焦点所在）。下面我们首先回顾各国目前已经提出来的一些减排目标，并分析一下这些观点和中国的关系，以及中国政府目前倾向于采取的态度。

二、各种减排目标的对比和观点产生的原因

不同的国家由于其所处的经济发展阶段、地理位置及能源结构等特点，会有不同的温室气体减排政策立场。我们首先可以关注一下各国二氧化碳排放的现状。

表 1 2005 年最大的 10 个二氧化碳排放国的排放总量和人均排放量

国家	二氧化碳排放总量(亿吨)	人均排放量(吨)
美国	57.76	19.54
中国	55.48	4.26
俄罗斯	15.03	10.50
印度	14.02	1.28
日本	12.30	9.63
德国	7.84	9.51
英国	5.46	9.07
加拿大	5.38	16.64
韩国	4.52	9.39
意大利	4.52	7.71

数据来源：世界发展指标 2009 (WDI2009) 数据库。

我们首先来看看各国 2005 年的二氧化碳排放总量及人均排放量。在 2005 年的时候，美国和中国是世界上第一和第二大的二氧化碳排放国（根据一些机构的说法，中国在这两年已经超过了美国成为了世界最大的二氧化碳排放国）；尽管这两个国家的排放总量比较接近，但是中国的人均排放实际上还没到美国的 1/4。事实上，在全世界最大的 10 个二氧化碳排放国中，中国的人均二氧化碳排放量仅高于印度，而远低于其他 8 个国家。

现在以欧盟为首的一批国家倡导“碳帽”（Carbon Cap）这样一个减排目标，即限定各国的排放总量上限，但这是一种完全不考虑历史义务的目标，因此不可能获得大多数发展中国家的同意。如 Stern(2008)认为在温室气体排放问题上，因为排放所涉及的最终政策目标——气候变化——存在太多不确定性和道德伦理的考虑，而价格对于这些因素是非常敏感

的，所以建议采用限制总量的政策来进行控制；他进而主张到 2050 年各国人均排放上限定为 2 吨。（当然，关于具体的数字也存在很多争议，如 Nordhaus (2007)和 Weitzman (2007)就都提出了不同的意见。）但是我们知道，全球大气中的二氧化碳绝大多数都是发达国家在他们的工业化进程和享受工业化成果中所排放的，这些国家应该对全球气候变化承担最主要的责任。（从 1775—1950 年，发达国家排放二氧化碳占总二氧化碳排放的 95%，而从 1950 年到 2000 年，发达国家排放了 77%的二氧化碳。）而发展中国家仍处于工业化和城市化的进程之中，他们的首要任务仍是发展经济、消除贫困和改善民生，因此如果对中国、印度这样的后发型发展中国家提出苛刻的总量控制要求，那就是一种淡化历史责任的歧视，是发展中国家所不可接受的。更合理的方法应该是让发展中国家根据本国国情，在发达国家资金和技术转让支持下，努力适应气候变化，尽可能减缓温室气体排放。

另一方面，印度等发展中国家强烈提倡采用“人均累计排放指标”作为谈判目标，但这是一种完全不考虑现状的理想谈判目标，不利于达成谈判结果。而且，如果真的实施这一方案，那就意味着控制全球排放总量的激励将会受到严重扭曲，那些人口增长迅速的发展中国家由此可以享受更为宽松的碳排放环境，可以躺在海滩上享受其他国家带来的福利，而不用从自己的角度出发来努力控制排放；而那些人口增长控制得较好，因此实际上对于全球减排做出了重大贡献的发展中国家如中国却因此而背上沉重的包袱，其努力没有得到回报。这种场面的出现将是对全球控制二氧化碳排放努力的一大讽刺。

在其他国家中，巴西提出根据发达国家的历史排放来确定其减排义务分担，美国则提出减排义务分担应以能源强度为核心，而且兼顾经济规模（潘家华，郑艳，2008）

随着中国二氧化碳排放总量的增加，中国政府也日益关注减排这一问题，开始主动做出行动。作为履行《联合国气候公约》的一项重要义务，中国已经制定和开始实施《应对气候变化国家方案》（发改委, 2007），明确提出 2005 年到 2010 年降低单位国内生产总值能耗和主要污染物排放、提高森林覆盖率和可再生能源比重等有约束力的国家指标。如果这一方案实现，仅通过降低能耗一项，中国 5 年内可以节省能源 6.2 亿吨标准煤，

相当于少排放 15 亿吨二氧化碳。另外，在方案中还提出争取到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年有显著下降，并包括了大力发展可再生能源和核能，通过植树造林来增加森林碳汇等具体举措。与此呼应，在 2009 年 9 月召开的联合国气候峰会上，中国国家主席胡锦涛(2009)也进一步强调了中国的上述立场。

这些文件和讲话的出台，意味着我国开始倾向于采用“碳密度标准”作为我国控制二氧化碳排放的重要谈判依据。碳密度，即单位经济产出的二氧化碳排放量。这一减排标准体现了中国“在发展中控制碳排放”的理念，也符合“共同但有区别的国际义务”的这一谈判大原则，是一个将国际责任同发展权利相结合的一种办法，也是拉近谈判各方立场的一个好办法。

下面我们将通过国际比较分析一下碳密度和经济发展之间的关系，并基于实证研究的结果来对中国的历史减排路径和碳密度减排潜力进行评价。

三、二氧化碳排放和碳密度变化规律：简单文献回顾

在关于二氧化碳排放的研究中，有一部分文章来自环境相关方面的研究。在这一类研究中，环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve)则经常被提到。也说是说，一种污染物的人均排放量会随着经济的发展上升到一个最高值，之后则会随着经济的发展而下降。

一般认为，随着一个国家的发展，在工业化的过程中，包括能源在内的各种资源的消耗也随之增加，在经济初级发展阶段人们首先考虑的是生产更多的产品，与经济发展相伴随的环境污染等问题也随之而来，这时环境污染以及各种有害物质的排放量也会随之增加。随着经济进一步发展成熟，民众对环境的要求也随之提高，社会对环境质量更加重视，对环境保护的投资也随之增长，各种污染及有害物的排放会随着经济进一步的发展而减少，所以观察环境污染与经济发展的关系就会出现一条倒 U 型曲线，这就是环境库兹涅茨曲线。这一理论被称为环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve)理论。(最先发现这一现象的是 Grossman 和 Krueger[1991])

尽管环境库兹涅茨曲线在一些污染物的排放规律上得到了验证，但是

在二氧化碳排放上是不是也存在这样的现象还未可知，因为二氧化碳的性质跟其他污染物不一样，他不会造成直接污染，直接导致本地生活质量的下降，因此其排放规律跟其他污染物是否一样并不可以早下结论。如 World Bank(1992)和 Shafik (1994)的文章就认为二氧化碳的排放随收入的增长是单调增加的，认为并没有证据表明二氧化碳的排放会出现拐点。在国内，韩玉军和陆旸(2009)把世界各国分成四类，发现在不同类别的国家中人均二氧化碳排放量和经济发展水平之间存在不同的发展规律。

在一篇关于能源消费规律的研究中，李稻葵、汪进和冯俊新(2009)从理论和实证的角度分别证明了能源消费和经济发展之间存在一个 S 型关系，即当经济发展到中等收入水平的时候，会存在一个能源消费加速增长的阶段，这是由于在这一阶段人们对于能源密集型产品的偏好导致的（这种偏好很大程度上是因为这一阶段正处于高速工业化和城市化过程中，对于重化工业产品的需求较大带来的）。我们知道，在现代经济中，二氧化碳的排放主要来自于化石燃料的燃烧，因此二氧化碳的排放规律也应该类似于能源消费的增长规律。基于这个想法，汪进(2009)也利用主要大国 1980-2005 年的二氧化碳排放数据进行了实证研究，发现二氧化碳排放和经济发展水平之间存在一个 S 型关系。另外，如果二氧化碳排放和经济发展水平之间存在一个 S 型关系，那也间接意味着碳密度和经济发展水平之间可能存在一个倒 U 型关系，即碳密度在经济发展的中期会达到最高，此后缓慢下降。这也意味着我们在预测一个国家的碳密度变化前景的时候，必须结合这个国家所处的经济发展阶段来分析。

下面，我们将使用长时间序列的跨国面板数据来对上述两个规律进行检验，并在此基础上在对中国人均二氧化碳排放和碳密度的变化路径进行分析。

四、变量选取、数据来源及回归方程

主要变量

在下面的实证分析中，我们分别使用人均二氧化碳排放量和碳密度（碳密度即单位 GDP 的二氧化碳排放量，并且需要注意的是我们这里所使用的 GDP 数据为购买力平价 GDP 数据，因为在国际比较中不同国家之间的价格差异往往导致我们无法对不同国家的数据进行直接比较，而购买力平

价法得到的 GDP 数据正好可以解决这个问题) 作为被解释变量; 而在解释变量方面, 主要的解释变量——经济发展水平——上, 我们也是选取购买力平价的人均 GDP 来衡量不同国家的经济发展水平。

控制变量选取

我们知道, 一个国家的能源消耗水平除了跟经济发展水平直接相关外, 还会受到其它因素的影响。这些因素包括:

(1) 产业结构差异。即使两个国家的经济发展水平相同, 但是如果他们的产业结构存在差异, 他们的能源消耗水平也肯定不一样。比如一般都认为服务业对于碳排放的需求将对较小, 而工业的发展则是相对碳排放密集型的, 所以我们需要考虑不同经济体之间的三产结构差异。在这里, 我们选取了两个代表产业结构的变量: 非农产业比重和服务业比重。一般认为, 非农产业比重代表了产业结构第一次变迁(工业化)的程度, 而服务业比重而代表了产业结构第二次变迁(后工业化)的程度。

(2) 政府支出规模。政府的投资往往用于基础设施等公共品的建设, 而这些建设项目都是碳排放密集型的; 因此, 政府支出规模的大小也可能影响碳排放。

(3) 贸易。由于贸易品的生产过程可能会产生大量碳排放(内涵排放), 因此贸易也可能会对一个国家的碳排放产生影响。一个国家贸易顺差很多往往也意味着这个国家的碳排放也越多。如陈迎, 潘家华, 谢来辉(2008)利用投入产出表研究发现, 随着中国近几年贸易顺差的扩大, 中国内涵能源净出口也在不断增加, 到了 2006 年这个数字更是达到了 6.3 亿吨标准煤。Shui 和 Harriss(2006)建立了贸易额与排放的投入产出关系, 估计了中美两国的贸易排放, 发现 1997-2003 年中国约有 7%-14%的排放是由出口到美国的商品导致的。Peters 和 Hertwich(2008)进行了最为系统的研究, 利用 GTAP 数据计算了 2001 年 87 个国家和地区的贸易排放, 发现贸易排放量已占到世界总排放的四分之一强, 其中中国的出口排放占其国内实际排放的 24%, 进口排放则占 7%; Weber 等(2008)则利用该方法系统研究了中国的贸易排放, 发现中国的出口产品的排放占国内排放的比重已从 1978 年的 12%增加到 2005 年的三分之一强。我们预期贸易顺差应该跟碳排放量和碳密度成正向关系。

(4) 固定资产投资水平。固定资产投资涉及到钢铁、水泥等排放密

度大的产品，因此，固定资产投资比例越高，我们就可以预期二氧化碳的排放数量也越大。

(5) 城市化水平。由于建筑和交通用能等因素的影响，城镇居民的人均能源消耗要高于农村居民，所以城市化水平的高低会影响能源消耗。

除了上面这些宏观经济方面的变量以外，还有一些国家个体特征将会影响到能源消耗的水平。这些特点一般来说不随时间而发生变化或者随时间所发生的变化较小，我们统称为国家的个体特征。这些个体特征可能包括自然条件、能源政策等其他相对较为稳定的因素。

数据来源及处理

数据来源：温室气体排放数据来自世界资源署(WRI, 2007)，其中，温室气体中包括了二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、甲烷(CH₄)以及其他温室气体的排放，并按照这些气体的温室效应折算成二氧化碳当量。部分发达国家的数据可以追溯到1850年，而大部分国家的数据可以追溯到20世纪初。购买力平价GDP数据来自Maddison(2008)，所有独立国家的数据均可追溯到1820年。其他控制变量数据均来源于WDI2009数据库，只能追溯到1960年。

样本选择

在研究中，我们使用的是既有横截面差异又有时间序列差异的面板数据。在跨国比较的实证研究中，只利用截面数据，我们只能分析不同国家特征对能源消耗及二氧化碳排放的影响；如果只利用时间序列数据，我们只能分析不同国家的能源消耗及二氧化碳排放随经济增长的路径规律，无法分析不同的国家特征的影响。而利用平行数据模型，在不同的时间点上可以选择不同的国家数据作为样本观测值，则可以同时分析国家特征及经济增长对一个国家的能源消耗及二氧化碳排放的影响。下面我们分别对横截面和时间序列的样本处理分别进行分析。

横截面样本处理——国家选择。一般来说，大国和小国之间在经济发展规律上存在一定的差异。大国往往都建立了相对完善的工业体系，因此彼此之间的经济发展规律相似性比较大，具有比较强的可比性；而对于小国来说，因为在经济上依赖性比较强，因此经济发展很容易受到外界的各种干扰而产生剧烈波动，而且相互之间在发展模式上也存在较大的差别。因此，在这里我们只选择具有长时间序列完整数据的大国作为研究对象。

我们定义的大国是指那些在 1960 年人口超过 1000 万国家，这样的国家一共有 41 个；而在这些国家中，朝鲜因为数据缺乏被删掉，最后剩下 40 个国家。（这些国家的具体情况详见附录表 1。）

时间序列样本选择——样本年份选择：由于转轨国家（前计划经济国家）在计划经济时代都片面强调重工业的优先发展，而且在实际经济运行中更多的是政府的规划而不是自然的经济力量起作用，使得这些国家在计划经济时代的经济表现跟其他大国之间的可比性不强，因此，我们把这些国家计划经济时代的数据删去。另外，我们还注意到，战争期间的能源消耗和二氧化碳排放状况也跟平时时期有很大的不同，因此，我们把两次世界大战时期的数据删去。另外，由于中国 1997 年以后的能源使用量大幅下降，而同期经济则保持高速增长，这一现象引起了很多人的质疑，认为期间数据可能存在问题（关于这个问题的讨论见施发启[2005]），因此为了顾及这一问题，我们还对中国数据设置了一个后 1997 年哑变量（1997 年以后的年份取 1），如果这一变量的回归系数显著即认为 1997 年前后的数据之间可能存在不一致性。

表 2 变量的统计性质

变量	样本数	均值	标准差	最大值	最小值
人均 CO ₂ 排放量(吨/人年)	3722	3.59	4.55	22.47	-0.33
碳密度(千克 CO ₂ /GDP)	3488	0.70	0.66	3.06	-0.19
人均 GDP(1990G-K 美元)	3996	4002	4809	31049	206
非农产业比重(%)	1476	80.59	16.03	99.15	28.24
第三产业比重(%)	1476	49.36	12.13	77.29	20.07
政府消费占 GDP 比重(%)	1597	13.93	4.98	28.22	2.98
净出口占 GDP 比重(%)	1694	-1.52	5.65	34.61	-29.72
资本形成总额占 GDP 比重(%)	1634	22.21	7.06	52.22	1.76
城镇人口比重(%)	1999	49.17	23.25	92.00	3.50

从上表和附录表 1 我们可以看出，样本国家存在很大的差异。我们所包括的样本国家既包括美、日、德等世界上最发达的一批发达国家，也包括像埃塞俄比亚、孟加拉国等到今天依然是世界上最贫穷的国家，当然也包括了像韩国、土耳其和西班牙这样的在几十年中迅速的完成了工业化的国家。可以说，我们的样本国家具有足够的代表性，代表了处于不同发展阶段的国家，这也使得我们可以充分发挥面板数据优势，利用处于不同发展阶段的国家来探寻一条具有相对普遍性的发展规律。

回归公式

在前面我们已经知道，经济发展水平和人均二氧化碳排放量之间可能会存在某种非线性关系，在回归中，为了检验是否这种非线性关系，我们使用了经济发展水平的一到三次幂作为控制变量。此外，我们还控制了其他诸如产业结构、政府支出、贸易结构、城市化水平等变量。回归方程见式（1）。

$$\ln(\text{人均CO}_2\text{排放量})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^3 \beta_j [\ln(\text{人均GDP})_{it}]^j + \sum_{k=1}^M \gamma_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad \text{回归式 (1)}$$

在前面我们已经知道，经济发展水平和人均二氧化碳排放量之间可能会存在倒U型关系，在回归中，为了检验是否这种非线性关系，我们使用了经济发展水平的一次项和平方项作为控制变量。其他控制变量在实际回归过程中也会依次加入。回归方程见式（2）。

$$\ln(\text{碳密度})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^2 \beta_j [\ln(\text{人均GDP})_{it}]^j + \sum_{k=1}^M \gamma_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad \text{回归式 (2)}$$

在上面的这两个回归方程中， α_i 为某个国家的固定效应项，即在控制了其他变量以后，因为这个国家固有的某些特征而使之与其他国家不同的因素。我们使用 $\ln(\text{人均GDP})$ 来代表经济发展水平， X_k 为除经济发展水平以外的其他控制变量， ε_{it} 代表除固定效应以外的其他残差。

五、实证分析 I：人均二氧化碳排放量和经济发展水平关系

使用回归式（1）对人均二氧化碳排放量和经济发展水平之间的关系进行固定效应回归，回归结果见表 3。

表 3 人均温室气体排放量的发展规律回归结果

	Ln(人均温室气体排放量)				
	回归(1)	回归(2)	回归(3)	回归(4)	回归(5)
Ln(人均 GDP)	-10.621 (1.695)***	-9.336 (0.976)***	-9.540 (0.959)***	-5.018 (1.003)***	-6.199 (0.997)***
[Ln(人均 GDP)] ²	1.904 (0.211)***	1.402 (0.126)***	1.468 (0.124)***	0.902 (0.129)***	1.067 (0.128)***
[Ln(人均	-0.094	-0.063	-0.067	-0.044	-0.052

GDP)] ³	(0.009)***	(0.005)***	(0.005)***	(0.005)***	(0.005)***
非农产业比重 (%)		0.015	0.009	0.005	0.003
		(0.002)***	(0.002)***	(0.002)**	(0.002)*
服务业比重(%)		-0.003	-0.002	-0.004	-0.003
		(0.001)**	(0.001)	(0.002)***	(0.002)*
政府消费比重 (%)			-0.001	0.001	0.000
			(0.002)	(0.002)	(0.002)
净出口比重(%)			0.001	0.001	0.001
			(0.001)	(0.002)	(0.002)
资本形成总额 比重(%)				0.003	0.003
				(0.002)**	(0.002)*
城市化率(%)				0.014	0.014
				(0.001)***	(0.001)***
中国后 97 年哑 变量					-0.562
					(0.079)***
常数项	11.859	16.646	16.500	4.748	7.448
	(4.515)***	(2.500)***	(2.471)***	(2.589)*	(2.566)***
样本总数	3053	1310	1236	1231	1231
国家数	41	39	37	37	37
组内 R-sq	0.74	0.77	0.78	0.79	0.80

注：(1) 括号内的为估计系数的标准差；*代表在 10%下显著，**代表在 5%下显著，***代表在 1%下显著。

(2) 关于样本数变化的说明。WRI(2007)和 Maddison(2008)提供的数据均可以上溯到 1850 年；而 WDI2009 中的数据只能上溯到 1960 年，这使得加入了其他控制变量后回归样本数大为减少。此外，因为某些国家的数据缺失，在加入一些控制变量后样本国家数量也会有所变化，这些变化情况如下：在 WDI2009 数据库中，澳大利亚没有产业结构相关变量，使得回归(2)中的样本国家数量变成 39 个；缅甸、尼日利亚没有政府支出和进出口变量，这使得回归(3)-(5)中的样本国家进一步减少为 37 个。

各主要变量的方向与我们预期相同。经济发展水平和人均二氧化碳排放量之间存在一个明显的非线性关系(具体的曲线形状见图 1-1 和图 1-2)。

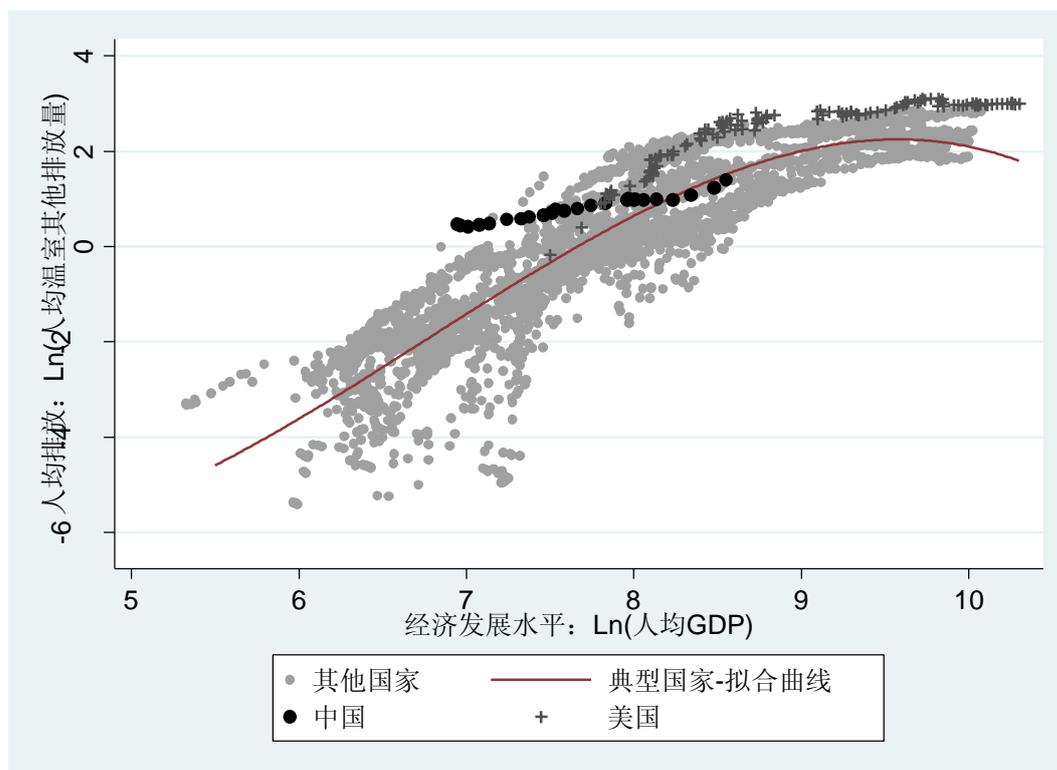
在其他控制变量方面，非农产业比重越高，人均排放越多；而服务业比重越低，人均排放越少；政府消费的比重并没有显著影响；而净出口比重的系数尽管在方向上是正的，和前面很多文献的预期一致，但是在统计上并不显著，这可能跟那些同样拥有顺差的不同国家的出口产品结构不同有关；资本形成总额和城市化率越高，人均排放也就越多，这也是跟我们的预期相一致的。最后，我们还发现，中国后 1997 年哑变量在统计上非常显著，这意味着 1997 年前后的中国排放服从的规律可能存在显著不同。

下面我们对中国的情况进行比较分析。首先，我们假设有这样一个国家，这个国家在回归方程(1)和(2)中的个体特征项均为 0，于是，这个国家在回归中就代表了全部样本国家的平均水平，我们这样一个国家称之为典型国家。然后我们就拿中国和典型国家之间的排放路径进行对比。

图 1-1 同时列举了中国、美国 and 典型国家的人均二氧化碳排放路径。我们发现在 2000 年以前，中国的曲线一直高于典型国家，而到了 2000 年左右，中国到达了典型国家的路径上，以后的几年中，中国开始沿着典型国家的路径上升。而美国的路径则一直稳定的位于典型国家路径之上，并没有明显地向这条路径靠拢。通过上面的分析，我们认为，从 1978 年到 2000 年，中国从远高于样本国家平均水平的路径上一路改善碳效率，到了 2000 年左右已经达到了平均碳效率水平；中国目前正处于一条比美国更优的碳排放路径上，中国的碳排放效率基本上已经达到了样本国家的平均水平，而美国则要远高于这个平均水平。

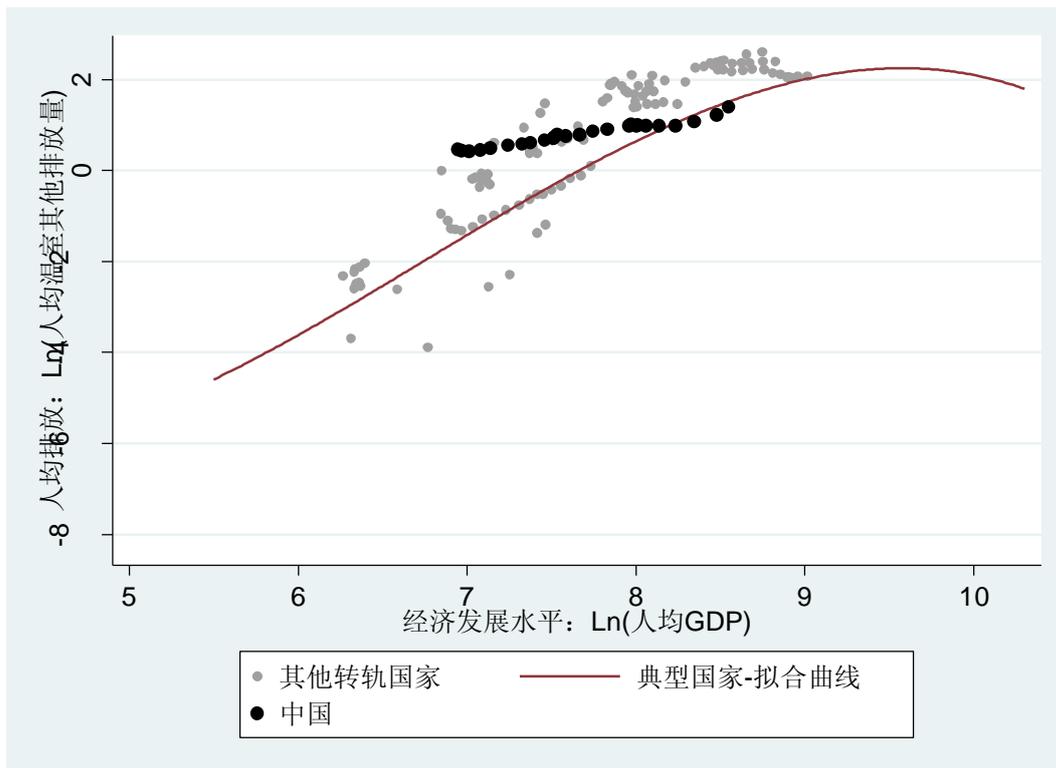
我们知道，自从改革开放以来，中国实现了从强调重工业优先发展的计划经济体制向市场经济体制的转变，在这个过程中，中国的资源配置方式发生了很大的改变，这很可能是导致中国碳效率提高的重要原因，为了验证这一猜测，我们还比较了中国和其他转轨国家的情况，结果见图 1-2。我们发现，跟中国的情况类似，这些国家在从计划经济向市场经济过渡的过程中，都在开始的时间里向典型国家的碳排放路径靠近，碳排放效率得到了提高，而在靠近这条路径以后，意味着这些国家通过资源优化配置进一步降低碳效率的空间已经缩小，这些国家的人均碳排放量则都开始跟着这条排放路径变化。

图 1-1 中、美与典型国家的碳排放路径对比



注：上图中的拟合曲线为根据回归结果(1)作出，数据更新至 2004 年。

图 1-2 中国及其他转轨国家排放路径与典型国家对比



注：上图中的拟合曲线为根据回归结果(1)作出，数据更新至 2004 年。

本节的回归结果具有如下政策含义：

(1) 中国在 2000 年以前实现的非常优秀的碳效率改善绩效（从 1978 年到 2000 年人均 GDP 获得了长足发展而人均二氧化碳排放量并没有同步大幅上升）很大程度上是因为我们正处于一个经济转轨阶段所带来的，从计划经济向市场经济的过渡很大程度上提高了资源的配置效率，从而使得碳排放效率得到了很大的提高，属于一种制度红利；而从 2000 年以来，中国的市场经济体系已经比较完善，通过资源配置来提高碳排放效率的空间已经有限，而随着经济的自然发展，中国进入了工业化和城市化的高速发展阶段，这一阶段对于碳密度较高的产品会有更强的偏好，因此中国跟其他处于相同发展阶段的国家一样开始了较快的人均碳排放量的增长。

(2) 在中国跟美国的对比方面，中国处于一条比美国更优的碳排放路径上，在相同的发展阶段，中国具有更高的碳排放效率（用更少的人均排放达到了同样的人均收入水平）。

(3) 我们预期在其他条件（能源政策和能源技术）等不变的情况下，中国的人均碳排放量还将沿着典型国家的碳排放路径有一段较长时间的增长，而（相对于典型国家）碳利用效率继续提高的空间有限；当然，如

果在能源政策和能源技术方面出现了某种大发展，中国还是有可能处于一条更优的碳排放路径上的。

六、实证分析 II：碳密度和经济发展水平关系

使用回归式（2）对碳密度和经济发展水平之间的关系进行固定效应回归，回归结果见表 4。

表 4 碳密度和经济发展水平关系回归结果

	Ln(碳密度)				
	回归(6)	回归(7)	回归(8)	回归(9)	回归(10)
Ln(人均 GDP)	6.641 (0.201)***	0.922 (0.179)***	1.378 (0.207)***	2.001 (0.197)***	2.103 (0.195)***
[Ln(人均 GDP)] ²	-0.377 (0.012)***	-0.071 (0.011)***	-0.094 (0.012)***	-0.142 (0.012)***	-0.147 (0.011)***
非农产业比重 (%)		0.021 (0.002)***	0.016 (0.002)***	0.007 (0.002)***	0.006 (0.002)***
服务业比重 (%)		-0.010 (0.001)***	-0.010 (0.001)***	-0.010 (0.002)***	-0.009 (0.002)***
政府消费比重 (%)			-0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	0.000 (0.002)
净出口比重 (%)			0.000 (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)
资本形成总额比重 (%)				0.004 (0.002)**	0.004 (0.002)**
城市化率 (%)				0.018 (0.001)***	0.018 (0.001)***
中国后 97 年哑变量					-0.419 (0.081)***
常数项	-29.416 (0.833)***	-4.666 (0.703)***	-6.403 (0.816)***	-8.523 (0.769)***	-8.983 (0.766)***
样本总数	3053	1310	1236	1231	1231
国家数	40	39	37	37	37
组内 R-sq	0.33	0.22	0.21	0.33	0.35

注：（1）括号内的为估计系数的标准差；*代表在 10%下显著，**代表在 5%下显著，***代表在 1%下显著。

(2)关于样本数变化的说明。WRI(2007)和 Maddison(2008)提供的数据均可以上溯到 1850 年;而 WDI2009 中的数据只能上溯到 1960 年,这使得加入了其他控制变量后回归样本数大为减少。此外,因为某些国家的数据缺失,在加入一些控制变量后样本国家数量也会有所变化,这些变化情况如下:在 WDI2009 数据库中,澳大利亚没有产业结构相关变量,使得回归(2)中的样本国家数量变成 39 个;缅甸、尼日利亚没有政府支出和进出口变量,这使得回归(3)-(5)中的样本国家进一步减少为 37 个。

各主要变量的方向与我们预期相同。经济发展水平和人均二氧化碳排放量之间存在一个明显的倒 U 型关系(具体的曲线形状见图 2-1)。

在其他控制变量方面,非农产业比重越高,碳密度越高;而服务业比重越低,碳密度就越低;政府消费的比重并没有显著影响碳密度;而净出口比重的系数尽管在方向上是正的,和前面很多文献的预期一致,但是在统计上并不显著;资本形成总额和城市化率越高,碳密度就越高,这也是跟我们的预期相一致的。最后,我们还发现,中国后 1997 年哑变量在统计上非常显著,这也意味着 1997 年前后的中国碳密度的变化规律可能存在显著不同。

碳密度拐点的计算:

既然我们从前面已经知道了随着经济发展,碳密度的变化将会存在一个拐点,那么我们首先要看一下这个拐点在什么地方,中国是否已经达到了这个拐点。

根据回归结果(6),碳密度的拐点在人均 GDP 为 6700 美元(Maddison 口径)左右时达到,按照 Maddison(2008)的购买力平价 GDP 统计口径,我国大约在 2008 年达到这一顶点。这意味着按照其他国家的平均历史经验,我国目前正处于碳密度最高的发展阶段,从 2005 年到 2008 年,碳密度甚至出现了提高,此后才开始缓慢下降。这也意味着按照这一碳排放发展路径,我国关于碳密度的承诺期不能过短,而应该选择一个较长的承诺达标时间。根据我们设定的经济增长场景,在我国的其他条件(能源政策和能源技术)等不变的情况下,中国到了 2020 年的碳密度将有望从 2005 年的 0.81 kg CO₂/pppGDP 下降为 0.66 kg CO₂/pppGDP,下降幅度为 18.5%。

表 5 预测经济发展水平和对应的碳密度水平

	人均 GDP (Maddison[2008]口径)	人均 GDP (联合国口径 2005 年国际元)	模型预测的典型国家 碳密度(kg CO ₂ /pppGDP)
2005	5500	4076	0.81
2008	6928	5135	0.83

2010	8081	5989	0.81
2015	10815	8015	0.75
2020	14472	10725	0.66

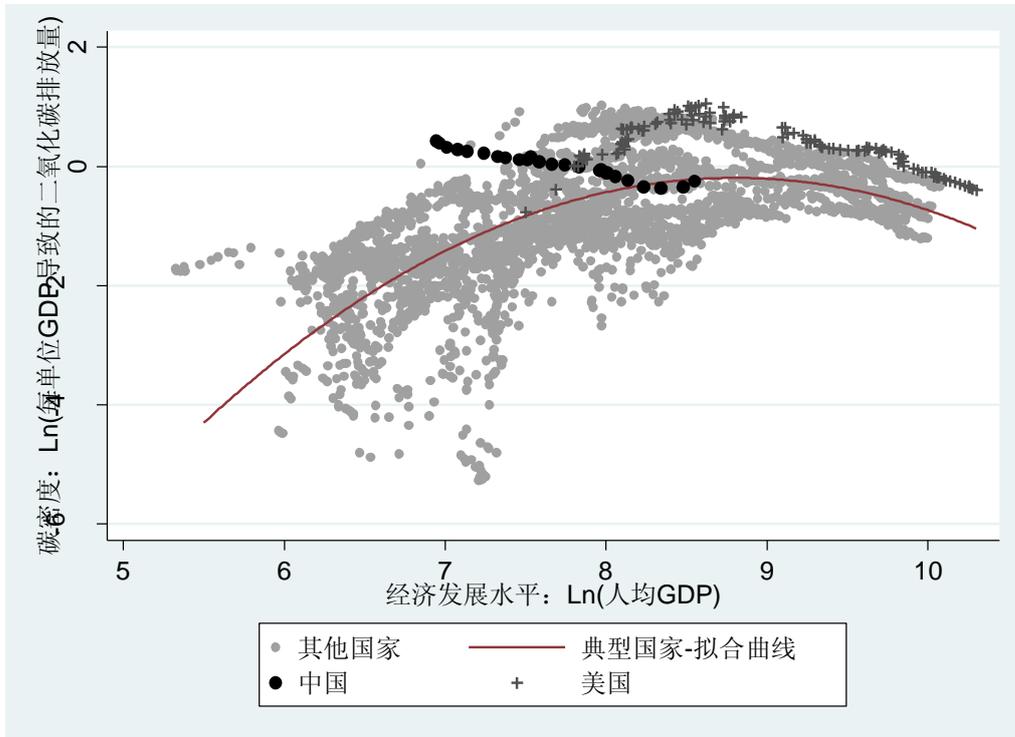
注：经济发展速度设定为 2005-2010 年人均 GDP 年均增长 8%，2010-2020 年人均 GDP 年均增长 6%。因为在 2005 年联合国对人民币的购买力进行了调整，而 Maddison(2008)没有接受这种调整，所以联合国口径和 Maddison (2008) 的口径存在差异。为了方便起见，这里把两种情况下的人均 GDP 水平列举出来。（实际上，具体数字为多少并不影响碳密度降低的幅度。）

但是我们必须看到，即使到了 2020 年，中国的城市化水平也大概只有 59%左右 (冯俊新, 2009)，只能说是处于城市化的中后期，还远远没到城市化完成的阶段，所以碳密度虽然会下降，但是下降速度仍将缓慢，所以中国政府的减排承诺必须保持一定的调整空间。

跟上一节的分析方法类似，下面我们对中国碳密度的发展路径情况进行比较分析。同样的，我们通过假设某样本的个体特征项为 0 得到一个典型国家的路径。然后我们就拿这个典型国家和中国以及其他国家的情况进行对比，结果见图 2-1 到图 2-3。在图 2-1，我们发现在 2000 年以前，中国的曲线一直高于典型国家，而到了 2000 年左右，中国到达了典型国家的路径上，以后的几年中，中国开始沿着典型国家的路径有所上升。而美国的路径则一直稳定的位于典型国家路径之上，并没有明显地向这条路径靠拢。通过上面的分析，我们认为，中国正处于一条比美国更优的碳密度变化路径上，中国的碳排放效率基本上已经达到了样本国家的平均水平，而美国则要远高于这个平均水平，这个结果跟前面的结果一样。

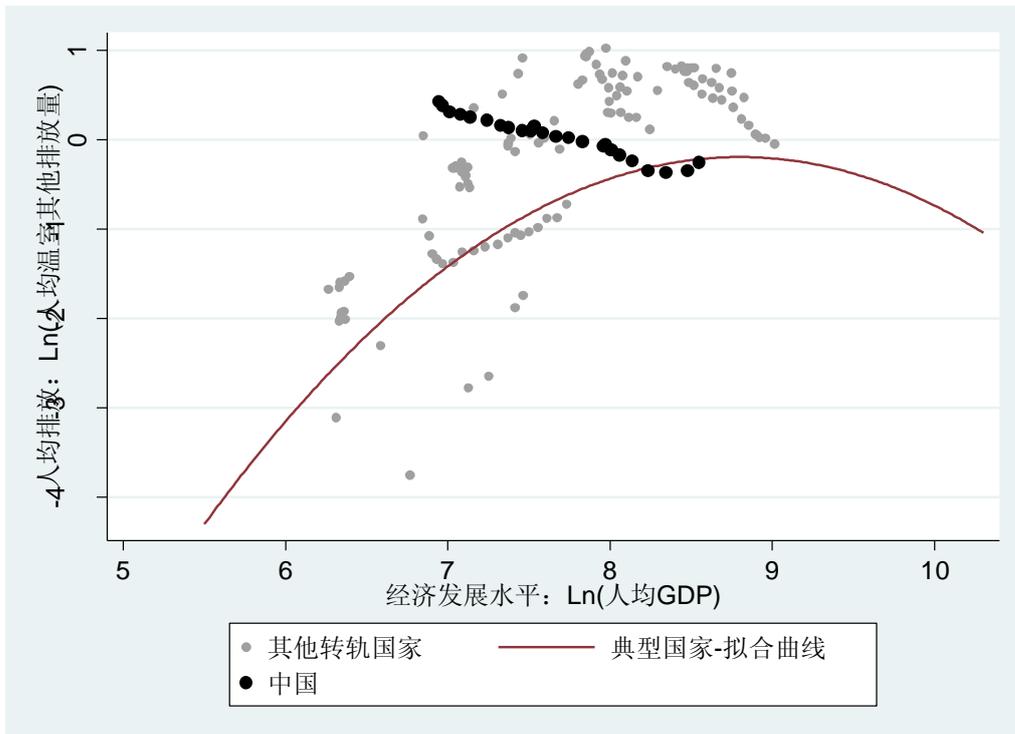
运用同样的方法，我们比较了中国和其他转轨国家以及一些发达国家之间的路径。跟前面的结论一样，这些国家在从计划经济向市场经济过渡的过程中，都在开始的时间里向典型国家的碳排放路径靠近，碳排放效率得到了提高，而在靠近这条路径以后，意味着这些国家通过资源优化配置进一步降低碳效率的空间已经缩小，这些国家的人均碳排放量开始跟随着这条排放路径变化。而跟发达国家的相同经济发展阶段相比，中国的碳密度要优于其中的大多数国家，这可能是由于中国能够采用更好的技术（如更好的火力发电技术）所带来的。

图 2-1 中、美与典型国家的碳密度变化路径对比



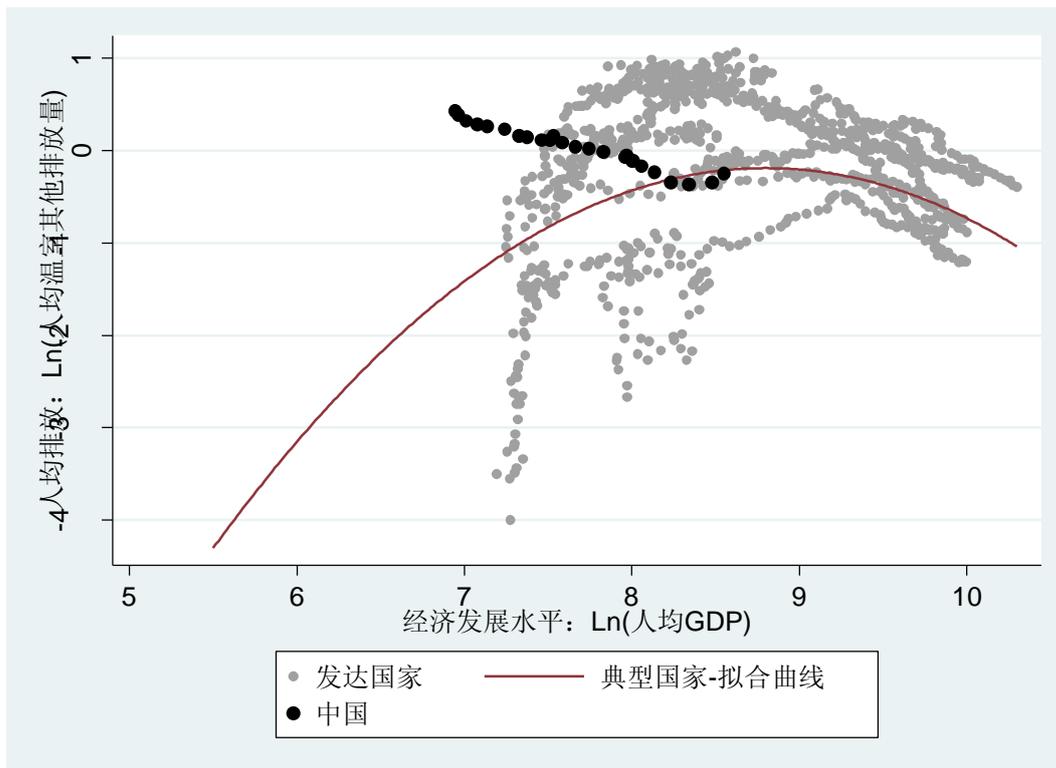
注: 上图中的拟合曲线为根据回归结果(6)作出, 数据更新至 2004 年。

图 2-2 中国及其他转轨国家碳密度变化路径与典型国家对比



注: 上图中的拟合曲线为根据回归结果(6)作出, 数据更新至 2004 年。

图 2-3 中国及发达国家的碳密度变化路径和典型国家对比



注：上图中的拟合曲线为根据回归结果(6)作出，数据更新至 2004 年。

本节回归结果的政策含义：

(1) 碳密度和经济发展水平之间存在一个倒 U 型关系，我国大约在 2008 年达到这一曲线的顶点，这意味着我国在目前阶段已经开始进入了碳密度降低的路径上。根据我们设定的经济增长场景，在我国的其他条件（能源政策和能源技术）等不变的情况下，中国到了 2020 年的碳密度将有望比 2005 年下降 18.5%。这可以作为中国政府制定政策目标时的一个参考。

(2) 即使到了 2020 年，中国的城市化水平也大概只有 59%左右，只能说是处于城市化的中后期，还远远没到城市化完成的阶段，所以碳密度虽然会下降，但是下降速度仍将缓慢，所以中国政府的减排承诺必须保持一定的调整空间。

(3) 和大部分发达国家的相同发展阶段相比，中国处于一条更优的碳密度变化路径上，明显优于美国的碳密度变化路径。这意味着中国实际上在已有发展路径上的减排效果已经非常巨大了。

七、小结

在即将召开的哥本哈根全球气候会议上，中国政府可能采取的一个谈判目标就是实现发展路径上的减排，即碳密度降低目标。通过跨国面板数据的分析，我们得到如下结论：

中国在 2000 年以前实现的非常优秀的碳效率改善绩效（从 1978 年到 2000 年人均 GDP 获得了长足发展而人均二氧化碳排放量并没有同步大幅上升）很大程度上是因为我们正处于一个经济转轨阶段所带来的，从计划经济向市场经济的过渡很大程度上提高了资源的配置效率，从而使得碳排放效率得到了很大的提高，属于一种制度红利；而从 2000 年以来，中国的市场经济体系已经比较完善，通过资源配置来提高碳排放效率的空间已经有限，而随着经济的自然发展，中国进入了工业化和城市化的高速发展阶段，这一阶段对于碳密度较高的产品会有更强的偏好，因此中国跟其他处于相同发展阶段的国家一样开始了较快的人均碳排放量的增长，在短期内中国的人均碳排放量仍将有较大的增长，碳密度在短期内也不会有明显下降。

碳密度和经济发展水平之间存在一个倒 U 型关系，我国大约在 2008 年达到这一曲线的顶点，这意味着按照其他国家的平均历史经验，我国目前正处于碳密度最高的发展阶段，从 2005 年到 2008 年，碳密度甚至出现了提高，此后才开始缓慢下降。这也意味着按照这一碳排放发展路径，我国关于碳密度的承诺期不能过短，而应该选择一个较长的承诺达标时间。根据我们设定的经济增长场景，在我国的其他条件（能源政策和能源技术）等不变的情况下，中国到了 2020 年的碳密度将有望比 2005 年下降 18.5%。这可以作为中国政府制定政策目标时的一个参考。

和大部分发达国家的相同发展阶段相比，中国处于一条更优的碳密度变化路径上，明显优于美国的碳密度变化路径。这意味着中国实际上在已有发展路径上的减排效果就已经非常巨大了。

目前已经进行的研究仍然是初步的，有待进一步的细化和加强。在未来的研究中，将进一步比较和分析是哪些因素（自然因素、政策因素、技术因素等）导致了不同国家之间在碳密度和碳效率上存在的固有差距，并以此分析什么政策有助于改善碳效率；另外，还可以分析碳密度减排目标一旦实施，将会对宏观经济和具体的产业部门产生什么影响。

参考文献:

- [1] Grossman, G M and A B Krueger. 1991. Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper, No. 3914.
- [2] Maddison A, 2008. Historical Statistics for the World Economy: 1-2006 AD. 2008.
- [3] Nordhaus W D. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature, 2007, 45(3): 686-702.
- [4] Peters, G. P. and Hertwich, E.G., 2008, "CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate policy", Environmental Science and Technology, 2008, 42: 1401-1407.
- [5] Shafik, N, 1994. Economic development and environmental quality: An econometric analysis. Oxford Economic Papers, 1994, 46: 757-773.
- [6] Shui, B. and Harriss, R. C., 2006, "The Role of CO2 Embodiment in US-China Trade". Energy Policy, 2006, 34: 4063-4068.
- [7] Stern N, 2008. Richard T. Ely Lecture: The Economics of Climate Change. American Economic Review, 2008, 98(2): 1-37.
- [8] Weber, C. L., Peters, G. P., Guan, D. and Hubacek, K., 2008, "The Contribution of Chinese Exports to Climate Change", Energy Policy, 36:3572-3577
- [9] Weitzman M L, 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature, 2007, 45(3): 703-724.
- [10] World Bank, 1992. World Bank Development Report 1992: Development and the Environment. World Bank, Washington, DC, 1992.
- [11] WRI, 2007, Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 5.0. World Resources Institute, Washington D. C.
- [12] 陈迎,潘家华,谢来辉.2008.中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义.经济研究, 2008(7), 11-25.
- [13] 冯俊新,2009. 经济发展与空间布局: 城市化、经济聚集和地区差距.清华大学博士学位论文,2009年6月.
- [14] 韩玉军,陆旸.2009.经济增长与环境的关系——基于对 CO2 环境库兹涅茨曲线的实证研究.经济理论与经济管理, 2009(3), 5-11.
- [15] 胡锦涛,2009.携手应对气候变化挑战——在联合国气候变化峰会开幕式上的讲话.美国纽约:2009年9月22日.
- [16] 李稻葵,汪进,冯俊新.2009. 中国能源消耗路径探讨: 理论模型及跨国经验研究.清华大学中国与世界经济研究中心工作论文.
- [17] 李丽平,任勇,田春秀.2008.国际贸易视角下的中国碳排放责任分析.环境保护.2008(3), 62-64.
- [18] 潘家华,郑艳.2008.碳排放与发展权益.世界环境,2008(4), 58-63.
- [19] 施发启,2005. 对我国能源消费弹性系数变化及成因的初步分析.统计研究,2005(5), 8-11.
- [20] 汪进,2009. 能源消耗及二氧化碳排放路径规律: 理论与经验研究.清华大学博士学位论文,2009年6月.
- [21] 中国国家发展与改革委员会.2007.中国应对气候变化国家方案.北京:2007年6月.

附录表 1 样本国家温室气体排放及碳密度情况

国家	人均温室气体排放量 (吨 CO ₂ /人年)		碳排放密度(千克 CO ₂ /GDP)	
	1960	2004	1960	2004
阿根廷	2.430	3.720	0.437	0.454
澳大利亚△	9.101	17.622	1.035	0.743
孟加拉国	0.048	0.265	0.087	0.271
巴西	0.685	1.880	0.293	0.326
加拿大△	10.412	16.891	1.190	0.714
中国◇	1.179	4.017	1.781	0.777
哥伦比亚	1.072	1.458	0.429	0.270
德国△	11.438	10.393	1.484	0.539
阿尔及利亚	0.614	2.851	0.294	0.876
埃及	0.637	2.000	0.642	0.641
西班牙	1.795	8.816	0.584	0.501
埃塞俄比亚	0.016	0.076	0.035	0.116
法国△	5.897	6.565	0.781	0.298
英国△	10.952	9.147	1.267	0.414
印尼	0.227	1.704	0.222	0.459
印度	0.287	1.126	0.381	0.494
伊朗	1.752	6.038	0.813	1.091
意大利△	2.197	8.306	0.371	0.430
日本△	2.943	10.242	0.738	0.474
韩国	0.516	10.470	0.421	0.628
摩洛哥	0.314	1.195	0.236	0.393
墨西哥	1.675	3.957	0.531	0.550
缅甸	0.118	0.219	0.210	0.103
尼日利亚	0.088	0.677	0.103	0.485
荷兰△	6.120	11.466	0.739	0.507
尼泊尔	0.010	0.115	0.016	0.112
巴基斯坦	0.240	0.786	0.371	0.398
菲律宾	0.308	0.931	0.209	0.351
波兰◇	6.955	7.880	2.164	0.958
罗马尼亚◇	2.983	4.299	1.618	1.127
俄罗斯◇	7.784	10.942	1.973*	1.607
苏丹	0.132	0.276	0.129	0.245
泰国	0.145	3.742	0.135	0.493
土耳其	0.645	3.327	0.287	0.459
坦桑尼亚	0.078	0.125	0.170	0.198
乌克兰◇	5.668	6.967	1.437*	1.739
美国△	15.890	20.096	1.403	0.674

越南◇	0.243	1.111	0.304	0.485
南非	5.696	9.627	1.873	2.189
刚果（金）	0.144	0.037	0.193	0.171

注：（1）△代表发达国家，◇代表转轨国家；（2）*俄罗斯和乌克兰 1960 年的碳排放密度使用了前苏联全国的人均 GDP 数据计算得到。