



山东大学  
SHANDONG UNIVERSITY



# 中国制造业碳管制： 碳排放预测、分配及图谱 (2016-2025)

余东华 张明志

山东大学经济学院

# 报告目录



- 一、研究缘起与问题提出
- 二、文献回顾与梳理
- 三、模型构建与数据来源
- 四、制造业碳排放的协整分析
- 五、制造业碳排放变动的情景分析
- 六、**2025年制造业碳排放水平预测的动态模拟分析**
- 七、**2016-2025年制造业碳排放分配图谱**
- 八、研究结论与政策建议



# 一、研究缘起与问题提出

- 国内需求：环境保护
- 国际承诺：碳减排目标
- 中国制造**2025**
- 中国制造业碳排放管制研究相对滞后



## 二、文献回顾与梳理

- 碳排放预测分析。林伯强等（2010）、Paul(2007)、Gambhir et al（2013）等。
- 碳排放指标分配。Steenhof(2007)、Malla(2009)、侯建朝等（2014）、向其风（2013）等。
- 评述：已有分析中，影响因素的动态调整：中国人口新变化；中国经济新常态；能源结构、产业结构失衡、汇率波动等。

### 三、模型构建与数据来源



- **Kaya**恒等式及其拓展。

$$CO_2 = \frac{CO_2}{EN} \frac{EN}{GDP} \frac{GDP}{POP} POP$$

- 制造业碳排放分析函数。

$$GHG = f(Ug, Int, Agdp, Pop, Coal)$$

$$\ln GHG = f(\ln Ug, \ln Int, \ln Agdp, \ln Pop, \ln Coal)$$

# 三、模型构建与数据来源



## (二) 数据来源与处理

二氧化碳排放量的测度，本文采取的是参考方法，采用**1991-2012**年制造业生产者数据。本文考虑了制造业隐含碳，但是在测算中受投入产出表限制，数据不连续，我们用数据挖掘技术补充了个别年份的断层数据。制造业增加值数据来源于陈诗一（**2011**）的核算数据，不足者采用统计年鉴中的数据补齐，并按照**1990**年不变价格进行了处理。能源消耗、煤炭比例等数据来源于历年中国能源统计年鉴；中国人口数量来源历年中国统计年鉴。

## 四、制造业碳排放的协整分析



➤ 首先利用**ADF**（**Augmented Dickey-Fuller test**）对各变量进行平稳性检验，检验结果发现，**GHG, Ug, Int, Agdp, Coal** 均是一阶单整的，满足协整条件（见表1）。



表1 各变量ADF检验情况

	T值	1%水平	5%水平	10%水平	是否平稳
$\ln GHG$	0.01	-3.79	-3.01	-2.65	否
$D\ln GHG$	-4.48	-3.81	-3.02	-2.61	是
$\ln Ug$	-2.06	-3.79	-3.01	-2.65	否
$D\ln Ug$	-4.75	-3.81	-3.02	-2.65	是
$\ln Int$	-0.63	-3.79	-3.01	-2.65	否
$D\ln Int$	-4.41	-3.81	-3.02	-2.65	是
$D\ln Agdp$	-0.775064	-3.857386	-3.040391	-2.660551	否
$\ln Agdp$	-3.99	-3.81	-3.02	-2.65	是
$D\ln Pop$	-1.09	-3.81	-3.02	-2.65	否
$\ln Pop$	-2.19	-3.83	-3.02	-2.65	否
$\ln Coal$	-1.12	-3.86	-3.04	-2.67	否
$D\ln Coal$	-5.14	-3.86	-3.04	-2.67	是



## 四、制造业碳排放的协整分析

▶ 借助Johansen协整检验方法，本文发现在1%的显著性水平下，各变量之间有三个协整关系（见表2）。对协整系数进行标准化处理，可以得到以下协整方程（括号为标准差）：

$$\ln GHG = 1.03 \ln Agdp - 0.09 \ln coal + 1.00 \ln int - 0.12 \ln mcr + \ln ug - 6.18$$

▶  $(0.0155) \quad (0.0474) \quad (0.0231) \quad (0.0432) \quad (0.0076)$



表 2 协整检验结果 (一)

变量	系数t	标准差r	T值	P值
LNCOAL	-0.091470	0.047388	-1.930228	0.0715
LNINT	0.994630	0.023049	43.15289	0.0000
LNMCRC	-0.121385	0.043191	-2.810416	0.0126
LNUG	0.995063	0.007624	130.5205	0.0000
C	-6.179438	0.190513	-32.43573	0.0000
R <sup>2</sup>		0.999836		
调整R <sup>2</sup>		0.999785		
标准差		0.007439		



## 四、制造业碳排放的协整分析

进一步考虑制造业出口量的影响。中国在**2001**年加入**WTO**以及**2005**年开始实行汇率改革，对中国的出口造成了较大的影响。人民币升值理论上会减少出口，增加进口。利用这两个虚拟变量进行回归分析发现，加入**WTO**变量不显著，而人民币汇率改革则对制造业碳排放变动产生负向影响（见表3）。所以，协整方程可以更新为：

$$\ln GHG = 1.07 \ln Agdp + 1.02 \ln Int - 0.16 \ln Mcr - 0.02 \ln Rmb + 1.00 \ln Ug - 6.71$$



表3 协整检验结果（二）

变量	系数t	标准差r	T值	P值
LNAGDP	1.069998	0.016924	63.22227	0.0000
LNINT	1.015099	0.024172	41.99550	0.0000
LNMCRC	-0.164444	0.036841	-4.463620	0.0004
LNRMB	-0.019458	0.007940	-2.450611	0.0261
LNUG	0.999214	0.006590	151.6175	0.0000
R <sup>2</sup>		0.999853		
调整R <sup>2</sup>		0.999807		
标准差		0.007043		



## 四、制造业碳排放的协整分析

从协整方程的回归系数可以看出，制造业人均增加值每增加1个百分点，制造业碳排放量增加**1.07**个百分点。能源强度每增加1个百分点，制造业碳排放增加**1.02**个百分点，同样存在加速推动作用。需要注意的是，能源强度是指单位**GDP**的能源消耗量，其与技术水平呈现反方向变动。能源强度越高，技术水平越低，反之则反之。这说明技术水平对制造业碳减排具有加速作用，也证明了技术创新对碳减排的重要性。

## 五、制造业碳排放变动的情景分析



➤ **1、人均GDP**。根据中共中央“十三五”规划建议中提出的“经济保持中高速增长”的要求，**2020年GDP比2010年翻一番**，我们预测中国**2016-2020年GDP平均增速为6.5%**，**2020-2025年平均增速为5.5%**，十年平均增速为**6%**，**2025年GDP将达到1248535亿元（2014年不变价格）**。考虑到中国全面放开二孩政策，并结合国家卫生计生委的研究，**2029年中国人口将达到峰值，接近14.5亿人**；**2015-2025年**，中国人口年均增速在将保持在**7.8‰**左右，**2025年人口将达到144435万人**。因此，基准情景下，**2025年人均GDP为2.81亿元/万人**。消极情景和积极情景分别按浮动1个百分点进行测算。

## 五、制造业碳排放变动的情景分析



2、能源强度。《中国制造2025》提出，2025年规模以上单位工业增加值能耗比2015年下降41%。首先，根据2007-2012年期间5年能源强度平均增速推算2015年能源强度。为确保总目标实现，保证低速情景下也能达到41%的下降目标，设定制造业能源强度至2025年相比2015年44%。由此推算，2016-2025年期间能源强度年均速度下降5.63个百分点。其次，根据推算的2015年能源强度来估算2025年能源强度为0.8758万吨tce/亿元。消极情景和积极情景分别按浮动0.5个百分点进行测算。

## 五、制造业碳排放变动的情景分析



3、高碳产业比例。从图2可以看出，三大高碳产业产值占比自1991年以来维持在19%-25%之间，并且三大高碳产业产值占比存在周期性变动，10年为1周期。据此推算，2025年产值占比预计为20%；消极情景和积极情景分别浮动1个百分点进行测算。

## 五、制造业碳排放变动的情景分析



4、能源碳强度。中国政府在**2009年11月**提出，至**2020年**，碳强度比**2005年**下降**40%-45%**，同时非化石能源（清洁能源）比例上升至**15%**。林伯强（**2009**）基于国家公布的能源规划，预测**2020年**清洁能源占比达到**16%**。林伯强等（**2010**）进一步根据能源消费结构计算出能源消费碳强度指标。该指标与**2008年**指标值相比，年均增速为**-0.80%**（**2010-2015**）和**-0.60%**（**2015-2020**）。

## 五、制造业碳排放变动的情景分析



根据增长率水平预测各影响因素在**2025**年水平值，进一步利用前面协整方程对制造业二氧化碳排放量进行预测。结合各情景水平，计算出三个情景之下的制造业**2025**年预计二氧化碳排放水平以及**2016-2025**年期间制造业二氧化碳排放增速（见表4-表6）。



## 表4 中国制造业2025年碳排放水平预测

情景	增长率设定 (%)				CO <sub>2</sub> 排放年均增速 (%)	2025CO <sub>2</sub> 排放总量
	人均GDP	能源强度	高碳比例	能源碳强度		
消极情景	7.75	-5.13	——	-0.40	2.41	96.92
基准情景	6.75	-5.63	——	-0.60	0.84	80.78
积极情景	5.75	-6.13	——	-0.80	-1.05	68.42

注：CO<sub>2</sub>排放增速与本文计算的2012年制造业碳排放水平进行比较。



表5 各影响因素2025年预测水平值

方案	人均GDP (万元/人)	能源强度 (万吨tce/亿元)	高碳比例 (%)	能源碳强度 (万吨CO <sub>2</sub> /万吨tce)
消极情景	30839	0.9237	19	2.2164
基准情景	28100	0.8758	20	2.1723
积极情景	25570	0.8303	21	2.1290



表6 三种情景下制造业碳排放及增速对照图

	基准情景		积极情景		消极情景	
	CO <sub>2</sub> (亿吨)	增幅 (%)	CO <sub>2</sub> (亿吨)	增幅 (%)	CO <sub>2</sub> (亿吨)	增幅 (%)
2016	75.02	0.94	74.77	-0.80	77.87	1.52
2017	75.73	0.95	74.18	-0.78	79.46	2.05
2018	76.46	0.96	73.60	-0.77	81.42	2.46
2019	77.21	0.98	73.03	-0.75	83.43	2.47
2020	77.97	0.99	72.48	-0.73	85.50	2.49
2021	78.76	1.01	71.95	-0.72	87.64	2.50
2022	79.57	1.03	71.44	-0.70	89.85	2.52
2023	80.41	1.05	70.94	-1.67	92.13	2.54
2024	80.86	0.56	69.75	-1.82	94.49	2.56
2025	80.78	-0.09	68.49	-1.80	96.92	2.58

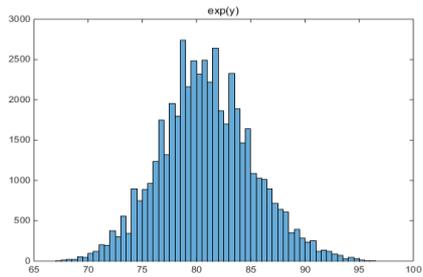
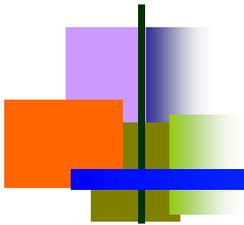
## 六、2025年制造业碳排放水平预测的动态模拟分析



►对模拟规则进行以下设定：（1）假定风险变量符合离散型分布，且相应设置5个离散取值及相应分布概率。（2）分布概率的情况与情景分析较为类似，将最高概率取值赋予中值，即基准情景。（3）概率分布设定取对称分布。



利用**Matlab R2014b**软件，进行**5万次**模拟后产生一系列的随机数值，得出**2025年制造业CO<sub>2</sub>排放数值**的直方分布图（见图3）。图3显示，在相关假设情形下，制造业在**2025年CO<sub>2</sub>排放数值**出现的最大可能区间为**78.5-81.5亿吨**。这与前面基准情景假设下的碳排放水平值较为吻合，同时这也说明，在“中国制造**2025**”绿色指标中碳排放指标实现下降的前提下，在中国经济增长速度进入“新常态”的前提下，在中国进入实施“全面二孩”政策的前提下，**2025年制造业碳排放量为78.5-81.5亿吨的概率最大**。



## 七、2016-2025年制造业碳排放分配图谱



➤根据情景分析法所得到的预测结果，我们对**2016-2025年**的碳减排图谱进行设计。设计原则为达到“**中国制造2025**”规定的减排数量，即在基准情景下所预测的碳排放数值。制造业细分行业间的碳排放分配，需要考虑新时期产业结构优化调整，制造业结构优化有利于制造业低碳化发展。所以，在研究碳排放分配时，重点考虑进制造业在**2016-2025年**期间的产业结构优化建议，进一步推测制造业细分产业碳排放的构成比例情况。



(1) 石油化工及炼焦、化学原料及化学制品业、黑色金属冶炼及压延加工业在控制发展速度的情况下保持正常速度发展。这印证了本文在研究高碳产业比例中发现的“高碳产业比例对制造业碳排放产生反向影响”的结论。由此，根据**1991-2012**年期间，依照三大产业碳排放比例平均水平确定其未来碳排放分配比例。



(2) 制造业其他17产业均处于发展不足状态，分层次、有重点刺激发展。首先，重点发展劳动密集型产业中的木材加工及竹、藤、棕、草制品业和家具制造业两类完全发展不足产业。其次，由于“中国制造2025”提出智能制造工程和工业强基工程，都将较大力度促进电子相关产业发展，所以适度提高电子产业结构比例。其他产业遵循根据剩余按照经验比例法进行确定。



表8 基准情景下制造业及细分行业碳排放图谱  
(2016-2020, 单位: 亿吨)

	比例	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
B	3.400	2.5507	2.5748	2.5996	2.6251	2.6510	2.6778	2.7054	2.7339	2.7492	2.7465
C	2.090	1.5679	1.5828	1.5980	1.6137	1.6296	1.6461	1.6630	1.6806	1.6900	1.6883
D	0.190	0.1425	0.1439	0.1453	0.1467	0.1481	0.1496	0.1512	0.1528	0.1536	0.1535
E	0.140	0.1050	0.1060	0.1070	0.1081	0.1092	0.1103	0.1114	0.1126	0.1132	0.1131
F	1.360	1.0203	1.0299	1.0399	1.0501	1.0604	1.0711	1.0822	1.0936	1.0997	1.0986
G	1.060	0.7952	0.8027	0.8105	0.8184	0.8265	0.8349	0.8434	0.8523	0.8571	0.8563
H	1.680	1.2603	1.2723	1.2845	1.2971	1.3099	1.3232	1.3368	1.3509	1.3584	1.3571
I	0.120	0.0900	0.0909	0.0918	0.0927	0.0936	0.0945	0.0955	0.0965	0.0970	0.0969
J	0.250	0.1876	0.1893	0.1912	0.1930	0.1949	0.1969	0.1989	0.2010	0.2022	0.2020
K	13.810	10.3603	10.4583	10.5591	10.6627	10.7677	10.8768	10.9886	11.1046	11.1668	11.1557
L	17.630	13.2260	13.3512	13.4799	13.6121	13.7461	13.8854	14.0282	14.1763	14.2556	14.2415
M	0.730	0.5476	0.5528	0.5582	0.5636	0.5692	0.5749	0.5809	0.5870	0.5903	0.5897
N	1.180	0.8852	0.8936	0.9022	0.9111	0.9200	0.9294	0.9389	0.9488	0.9541	0.9532
O	0.790	0.5927	0.5983	0.6040	0.6100	0.6160	0.6222	0.6286	0.6352	0.6388	0.6382
P	17.180	12.8884	13.0104	13.1358	13.2647	13.3952	13.5310	13.6701	13.8144	13.8917	13.8780
Q	29.300	21.9809	22.1889	22.4028	22.6225	22.8452	23.0767	23.3140	23.5601	23.6920	23.6685
R	1.840	1.3804	1.3934	1.4069	1.4207	1.4346	1.4492	1.4641	1.4795	1.4878	1.4864
S	0.770	0.5777	0.5831	0.5887	0.5945	0.6004	0.6065	0.6127	0.6192	0.6226	0.6220
T	5.610	4.2086	4.2485	4.2894	4.3315	4.3741	4.4184	4.4639	4.5110	4.5362	4.5318
U	0.880	0.6602	0.6664	0.6728	0.6794	0.6861	0.6931	0.7002	0.7076	0.7116	0.7109
总体	74.3215	75.0168	75.7287	76.4581	77.2060	77.9737	78.7624	79.5734	80.4085	80.8596	80.7843



## 八、研究结论

(1) 中国制造业的碳排放增长与人均增加值、能源强度、能源碳强度、高碳产业比例之间存在长期均衡关系。人均增加值和能源强度、能源碳强度对制造业碳排放变动存在正向影响，高碳产业比例和人民汇率改革产生反向影响。具体来看，当人均增加值每增加1个百分点，制造业碳排放增加**1.07**个百分点；能源强度每增加1个百分点，制造业碳排放增加**1.02**个百分点；高碳产业比例增加1个百分点，制造业碳排放减少**0.16**个百分点，人民汇率改革对制造业碳排放造成下降**0.02**个百分点，能源碳强度增加1个百分点，制造业碳排放增加1个百分点。



## 八、研究结论

(2) 在文献支持和文件指导的基础上，本文对影响制造业碳排放的解释变量进行了合理预测，分别得出在积极情景、消极情景、基准情景下制造业碳排放**2025年**预测值和**2016-2025年**的平均增速。研究发现，在积极情景、消极情景、基准情景下制造业碳排放水平在**2025年**预测值分别为**96.92亿吨**，**68.49亿吨**，**80.78亿吨**。



## 八、研究结论

(3) 利用蒙特卡洛模拟方法对制造业碳排放**2025年**碳排放的概率分布情况进行了模拟分析。研究发现，在相应假设下，中国制造业在**2025年**碳排放最大可能的取值区间为**78.5-81.5亿吨**之间。

(4) 本文利用产业结构失衡度倒推产业结构合理化发展的方法，推算制造业在未来十年的碳排放结构，并据此得出制造业**2016-2025年**的碳排放分配情况及排放图谱。研究发现，制造业在基准情境下，将保持**2.34%**的年均增长速度。其中碳排放最大比例产业为黑色金属冶炼及压延加工业，预计**2025年**为**23.67亿吨**。印刷业、记录媒介的复制最小，为**0.10亿吨**。



谢谢!

