

气候关税措施对一国经济和贸易影响：基于投入产出表的测算

田慧芳^①

（中国社会科学院世界经济与政治研究所，北京）

一、关税类贸易措施对征收国经济和贸易影响

分析碳边境调节税的经济效应时，要区分不同的利益集团不同的利害关系。本节我们区分贸易大国和贸易小国，具体讨论贸易措施对大国经济和贸易福利的影响。这里的贸易大国主要是指贸易规模较大，一旦进出口商品数量发生变化，会引发国际市场需求和生产的变化，从而改变国际市场的价格。贸易小国则是指贸易规模相对偏小，他们进出口数量的变动除了影响本国国内的市场价格外，对国际市场的需求和供给不会产生大的影响，因此国际市场价格保持不变^②。

（一）贸易小国采取碳关税类贸易措施的经济效应分析

如果贸易小国对进口商品征收金额为 t 的边境调节税，它对小国经济的影响有以下几方面：

1、价格效应

由于贸易小国对世界市场价格（ P_w ）没有任何影响力。一旦针对某种商品征收进口边境调节税，首先会使该国进口产品的价格上升，从而引发小国国内市场需求价格的上涨部分就等于所征收的边境调节税，即 $P_t = P_w + t$

2、生产效应

实施碳边境调节措施，进口国该种商品的价格从 P_w 上升到 P_t 。国内进口替代部门看到国内价格上涨，于是扩大生产规模（ Q_1 扩大到 Q_3 ），生产者剩余增加了面积 a 。

图中的面积 b 也称为生产扭曲损失。生产扭曲损失的主要原因是进口边境调节税的征收导致国内的价格上升（至 P_t ），该国许多生产效率低下、成本高的生产者进入该替代品生产行业获取利润，造成资源浪费损失。但碳关税的实施，使得他们不但能堂而皇之进入，还能获利。进口调节税越高，生产资源浪费所造成的生产扭曲损失越大。

3、消费效应

在国内需求弹性大于零的情况下，商品国内价格的提高必然导致消费量的减少，使得该国的消费者需求从 Q_2 变为 Q_4 ，消费者剩余减少了面积（ $a+b+c+d$ ）。其中，面积 d 的含义是：针对进口品的征税导致该商品在小国的价格上升，抑制了消费者的需求，从而消费者剩余下降（狄琳娜，2013）。

4、贸易效应

^① 【作者简介】田慧芳，中国社会科学院世界经济与政治研究所。

^② 狄琳娜(导师：刘恩专)，碳边境调节措施与替代政策研究，《天津财经大学博士学位论文》- 2013-05-01

实施碳边境调节措施，进口国该种商品的价格从 P_w 上升到 P_t ，导致进口数量从 Q_1Q_2 下降至 Q_3Q_4 。即碳边境调节税将抑制进口。

5、财政效应

实行碳边境调节措施，进口国的进口数量为 Q_4Q_3 ，碳关税收入=为 $t \cdot Q_4Q_3$ ，即政府获得的财政收入增加，即图中的 c 。

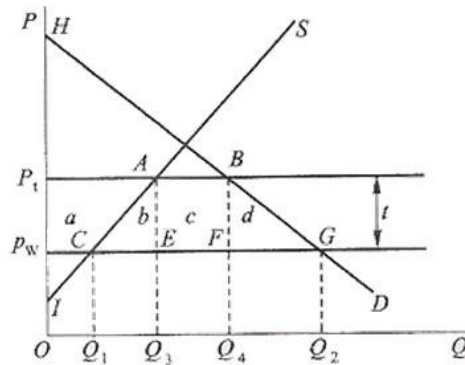


图 1： 贸易小国征收进口调节税后的经济效应分析

6、贸易小国的社会总福利水平的变动

通过上述福利效应分析可知，碳边境调节措施造成的社会福利净值即各利益集团的所得相加，表现为图中的阴影部分：消费者剩余+生产者剩余+财政盈余 = $a+c-(a+b+c+d) = -(b+d)$ ，即贸易小国实施碳关税不仅不会增加社会福利，反而导致本国福利受损。其中的原因在于，碳边境调节措施往往阻碍该国消费者购买相对生产效率更高的外国商品，也带来资源的浪费和消效率损失（陈楠，2014）^①。

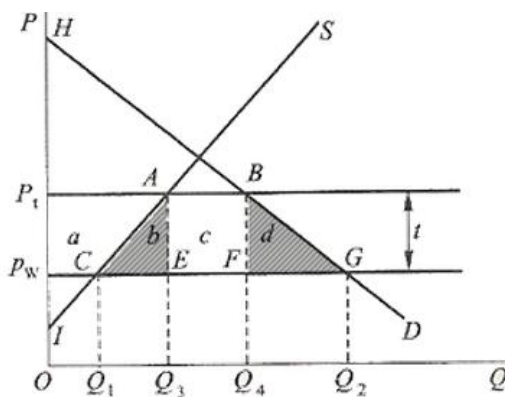


图 2： 贸易小国实施碳边境调节税的净福利效应

(二) 贸易大国实施碳关税措施的经济效应分析

贸易大国在国际贸易中占有较大比重，其进出口变动往往会改变国际市场的价格。因此贸易大国实施碳边境调节税（同样对进口商品征收金额为 t 的边境调节税）对经济和贸

^① 陈楠;刘学敏,“贸易隐含碳”研究进展与评述;《经济研究参考》2014-07-21

易的影响与小国不同：

1、价格效应

贸易大国的进口边境调节税的实施首先导致该品生产价格上升，从而需求下降。由于该国商品在世界市场上的份额较大，导致该商品国际市场价格出现下降。在图中，我们用 $P_w^* < P_w$ 来反应这种情况。在 P_w^* 这个进口价格水平上，贸易大国在征收税率为 t 的边境调节税后，国内市场价格为 $P_t = P_w^* + t$ 。

2、生产效应

实施碳边境调节措施，贸易大国该种商品的价格从 P_w 上升到 P_t 。国内进口替代部门面对上升的国内市场价格，将国内生产规模从 Q_1 扩大到 Q_3 ，生产者剩余增加了面积 a 。

图中的面积 b 也称之为生产扭曲损失。它的含义是：由于进口边境调节税导致进口国市场价格 $P_t > P_w$ ，碳关税的实施，使得他们绕过了市场准入门槛，获得收益。

3、消费效应

在国内需求弹性大于零的情况下，贸易大国国内价格的提高也必然导致消费量的减少，使得该国的消费者需求从 Q_2 变为 Q_4 ，消费者剩余减少了面积 $(a+b+c+d)$ 。面积 d 是由于价格提高，国内消费者需求下降，从而消费者剩余减少。

4、贸易效应

贸易大国实施碳边境调节措施后，进口国该种商品的价格从 P_w 上升到 P_t ，导致进口数量从 Q_1Q_2 下降至 Q_3Q_4 。碳边境调节税的实施伴随进口的下降。

5、财政效应

与贸易小国不同，实行碳边境调节措施，贸易大国进口数量为 Q_3Q_4 ，碳关税收入 = 为 $Q_3Q_4 * (P_t - P_t^*)$ ，政府获得的财政收入 = $c + e$ ，比贸易小国增加了面积 e 。这块增加值源于关税措施的贸易条件效应。

6、贸易条件效应

若碳边境调节税征收国是大国，关税还会产生贸易条件效应。大国进口价格降低，若出口价格不变，则本国贸易条件得到改善，图中 e 即为贸易条件改善效应。

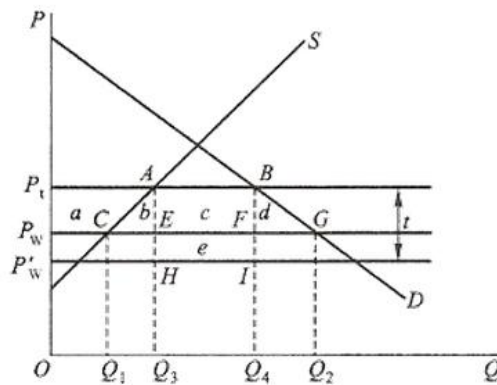


图 3：贸易小国实施碳边境调节税的净福利效应

6、贸易大国的社会福利水平净值

贸易大国采取边境调节措施后，引起国内生产和消费的变动，其社会福利仍然是各利益集团的所得相加，表现为：消费者剩余+生产者剩余+财政盈余 = $a+c+e-(a+b+c+d) = e-(b+d)$ 。那么净社会福利是否为正取决于贸易条件改善是否足够弥补高关税带来的资源和效率损失。由于在征收过程中，部分关税由贸易大国国内消费者承担（表现为他们为进口商品支付了更高的价格），部分则由外国厂商承担（表现为他们从商品上得到的价格收入更低）。因此，对于征收碳关税的大国而言，进口商品的需求和供给曲线越有弹性或越平缓，国内消费者的关税负担就越小，外国厂商的负担越大，大国就越有可能从关税中得到净福利增加的好处。

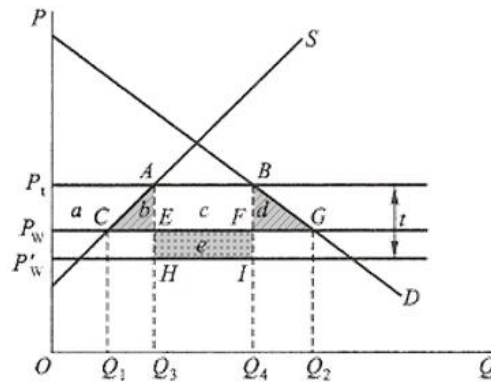


图 4： 贸易大国实施碳边境调节税的净福利效应

二、贸易大国碳关税措施实施对出口国的经济影响：基于中美贸易大国的分析

（一）对中美贸易结构的分析

1、中美贸易额

中美两国的商品贸易在近近年来得到了很快的发展，中美商品贸易总额在 2002 年到 2008 年间快速增加并且持续保持增加的状态。中美两国互相成为贸易进出口合作大国。美国是我国最大的贸易伙伴国，我国与美国的商品贸易结构在一定程度上反映了我国贸易结构所处的层次、竞争力状况以及同发达国家国际分工中的地位。

表 1： 我国同美国进出口贸易总额（单位： 万美元）

年份	进出口总额	出口总额	进口总额
1994	3535460	2146103	1389357
1995	4082956	2471133	1611823
1996	4283798	2668310	1615488
1997	4901640	3271506	1630134
1998	5493699	3797587	1696112
1999	6142519	4194691	1947828
2000	7446237	5209922	2236315
2001	8047945	5427951	2619994
2002	9718343	6994579	2723764
2003	12633286	9246677	3386609
2004	16959858	12494203	4465655
2005	21151252	16289075	4862177
2006	26265946	20344842	5921104
2007	30206716	23267655	6939061
2008	33374348	25238355	8135993
2009	29826260	22080222	7746038
2010	38538529	28328655	10209874
2011	44658227	32445336	12212891
2012	48467425	35177679	13289746
2013	56245000	44043000	12202000

数据来源：中国统计年鉴 <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>

1994 年中美贸易额为 353. 5 亿万美元，到 2003 年中美进出口贸易额达到了 1263. 3 亿万美元，2005 年的中美商品贸易额达到了 2115. 13 亿万美元，首次突破两千亿美元，两年之间中美贸易额翻了一番。近年来，世界经济危机导致中美贸易额下降，但危机没有对中美两国的贸易产生长久的抑制影响，2011 年的时候，中美贸易额突破了四千亿美元，直到 2013 年中美贸易额不断地在增长，并且突破了五千亿万美元。我国对美国一直处于贸易顺差地位，并且我国的出口额增加量明显快于我国进口额的增加量。尽管美国在我国贸易中所占份额趋于下降（图 5 ），但美国一直是中国最重要的进出口市场，2013 年为止，两国互为第二大贸易伙伴关系。

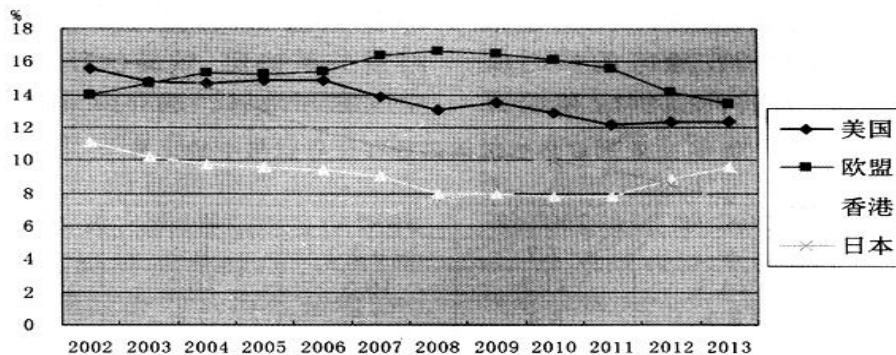


图 5： 2002-2013 年我国主要贸易伙伴占场中的份额变动

资料来源：中国海关统计

2、中美贸易的产品结构

从出口的产品结构看，机电产品的比重相对较大（50%左右），而且比例在不断上升；其次为纺织品，但比例在下降（刘红，2014）^①。表明中国的出口结构在发生变化，产品附加值增加。从进口结构看，中国从美国进口产品多是高技术含量的产品，中美贸易结构互补。

表 2 2002—2012 年中国对美出口五位的产品比例(%)

商品类别 年份	16. 机电产品	11. 纺织原料及纺织制品	20. 杂项	15. 贱金属及其制品	12. 鞋、帽、伞、杖、鞭及其零件；已加工的羽毛及其制品；人造花；人发制品
2002	37.47	7.75	14.96	6.31	8.44
2003	42.53	7.77	13.00	5.88	6.82
2004	45.31	7.25	11.77	7.00	5.66
2005	44.62	10.22	10.98	6.94	4.93
2006	45.42	9.76	10.43	8.02	4.47
2007	46.28	9.82	11.01	7.67	4.27
2008	44.94	9.22	11.17	8.17	4.40
2009	47.36	11.13	10.74	5.42	4.79
2010	46.86	11.09	10.26	5.31	4.70
2011	46.19	10.80	9.77	5.51	4.62
2012	46.40	10.27	10.06	5.42	4.66

数据来源：联合国 US COMTRADE

表 3 2002—2012 年美国出口中国前五位的产品的比例(%)

商品类别 年份	16. 机电产品	2. 植物产品	17. 运输设备	6. 化工及其产品	18. 光学仪器	7. 塑料、橡胶及其制品
2002	41.02	4.03	9.56	12.09	7.81	5.15
2003	33.80	7.09	8.30	13.11	8.29	5.50
2004	35.20	9.37	7.08	11.71	7.78	6.01
2005	34.55	7.10	8.79	11.39	7.84	6.64
2006	36.10	5.05	11.98	10.25	7.37	6.23
2007	33.46	6.46	10.74	10.68	7.04	7.43
2008	32.05	10.75	8.29	10.73	6.91	7.02
2009	28.73	12.71	11.01	10.28	7.35	7.65
2010	27.99	12.05	10.15	10.94	6.82	7.19
2011	23.96	11.54	10.06	10.76	6.78	6.51
2012	21.70	13.67	11.93	9.74	7.54	5.73

^① 刘红；中美贸易商品结构的变化及原因分析，《对外经贸》- 2014-09-25

（二）中美贸易依存度

从图6 可以看出：2008金融危机后，我国对外贸易依存度有所下降，但总体维持在50%上下，对外贸易依存度远高于美国。过高，说明我国经济对世界经济有很大的依赖性，我国经济增长的贡献主要来自于对外贸易而不是国内消费。与世界主要经济大国比较，我国的贸易依存度主要有以下两点特征：世界主要经济强国比如美国和日本，贸易依存度在近些年里的变化比较小，变动相对平稳，而我国的贸易依存度逐渐上升，这与其他经济大国的变化趋势大相径庭。发展中国家印度，贸易依存度的变化也在20%左右徘徊，类似的情况也出现在南美洲的巴西。然而，与这些国家不同的是：中国的贸易依存度呈现逐年上升的趋势，尤其是近二十年期间，贸易依存度从1990年的30%左右到2006年的峰值约为76%，这种将近50个百分点的提升幅度很明显。

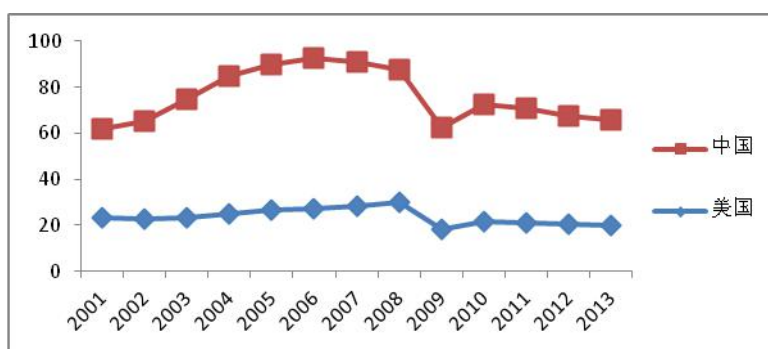


图 6： 2001-2013 年中国与美国贸易依存度的变化

图7 是中美两国1990年到2010年双边贸易依存度的图表，1994年两国高层互访，进行友好贸易的开端，随后两国之间的贸易进口依存度一直保持在20%左右。但中国对美国的出口依存度则很高，2006年更是达到76%。2006年之后，出口依存度下降，主要是由于我国增加了其他贸易伙伴关系，我国加大了和其他经济体的贸易往来，可以看到2008年的时候两国贸易依存度下降的特别明显。

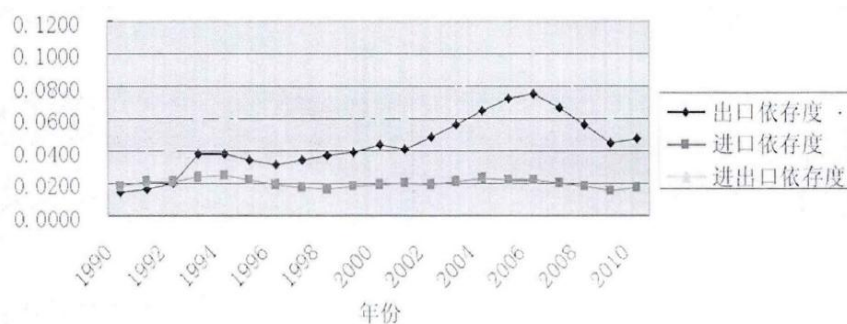


图 7： 国对美国的进口和出口贸易依存度

1、中国出口商品中的隐含碳排放

产业部门的隐含碳排放是碳关税的课税基础。要反映生产全过程的 CO₂ 排放，即生产单位最终产品的隐含碳，一般常用的方法有两种：一种方法基于产品生命周期进行测算，该

方法对数据的要求很高；一种主要通过使用投入产出方法进行测算，是常用的方法。本节采取投入产出的方法。

现有利用投入产出法计算碳内涵，再研究碳关税对贸易影响的研究已经颇具规模^①，但本人在进行文献梳理后发现：大多数文献是就某个部门的投入产出计算了商品里的隐含碳，没有关注部门间的相互联系。这种联系主要表现为：第一，本部门产出变化对其他部门的影响（后向联系）；第二，其他部门产出变动（前项联系），导致的本部门的产出变动。事实上，在产业经济学中，对后项和前项关联的应用已经非常普遍，反映部门间后向联系的为影响力系数；反映前项联系的为感应度系数。影响力系数反映某部门对其他部门的拉动程度，即该部门每每增加一单位产出，对国民经济其他部门产出的需求及程度。影响力系数越大，表明该部门在国民经济中越重要。感应度系数是指国民经济各部门每增加一个单位最终需求，对某部门需求的影响，或者称为该部门对其他部门产出变动的感应程度。感应度越大，表明这一部门越容易受其他部门影响。

传统计算两个系数的方法存在一个重大缺陷：在计算过程中没有考虑对不同产业部门的最终需求结构，而假定需求无差异。使得指数的指导作用降低。刘起运通过添加部门最终产品构成系数的办法，重新对两个系数进行完善，后经中国投入产出学会进一步拓展，形成新的更有意义的影响力和感应度系数（陈越，2013）^②。本文也根据这两个系数，计算了碳影响力系数和碳感应度系数。

2、编制 2010 年投入产出表

为了方便计算，可以先编制一份含能源实物流量的价值型能源投入产出表，基本表式见表 1。

表 4：含能源实物流量的价值型能源投入产出表基本表式

投入 \ 产出	中间使用		最终使用	总产出
	能源部门（产品）	非能源部门		
中间投入	能源部门（产品）	$X_{ij} (E_{ij}, E_{ijc})$	$Y_i (E_{iy})$	$X_i (F_i, F_{ic})$
	非能源部门	X_{ij}	Y_i	X_i
增加值				
总投入		X_j		

该模型中，直接能耗系数计算公式为 $d_{ij}=E_{ij}/X_i$ ，表示第 j 部门单位产出对第 i 中能源的消耗。完全能耗系数等于直接能耗系数加间接能耗系数，矩阵表示为 $T=D (I+A+A^2+A^3+\dots)$
 $=D (I-A)^{-1}$ 。

得到完全能耗系数后即可乘以相应的二氧化碳排放系数得到完全二氧化碳排放系数，再乘以相应的出口额即可得到各行业的对美内涵二氧化碳的量。

具体计算步骤如下：

3、测量隐含碳的方法和数据需求

^① 陈楠；刘学敏；“贸易隐含碳”研究进展与评述，《经济研究参考》2014-07-21

^② 陈越；陈红敏；改进的产业碳关联系数及应用——以上海为例，《中国环境科学》2013-08-20

计算 2007 年中国对美国出口隐含碳的基本思路和数据需求如下：

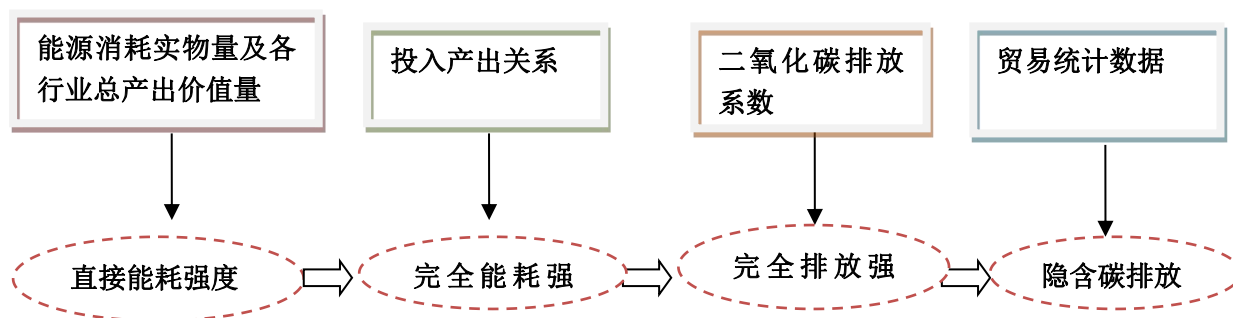


图 8：计算思路及数据需求

1) 扣除进口的单区域投入产出模型 (Single-region Input-Output Model)

投入产出主要用于研究内系统进行某项活动过程中的消耗与结果的平衡关系，其在国民经济系统中的基本模型形式为：

$$X = AX + Y \quad (1)$$

其中， X 表示总产出矩阵； A 为直接消耗系数矩阵； Y 是最终需求矩阵。其中， AX 代表中间投入， A 由 a_{ij} 构成的 $n \times n$ 的矩阵。 a_{ij} 表示 j 部门单位产出消耗 i 部门产品或服务的数量，在 0-1 之间。

2) 计算直接能耗系数矩阵

公式为：

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad (2)$$

即用 j 部门生产过程中直接消耗的第 i 部门的货物或服务的价值量 x_{ij} 除以 j 部门生产 X 产品的总投入 X_j ，单位：万元/万元。

3) 计算完全需求系数矩阵 (列昂惕夫逆矩阵)

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (3)$$

其中， $\bar{B} = (I - A)^{-1}$ 被称为列昂惕夫逆矩阵，其元素 \bar{b}_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, n$) 为列昂惕夫逆系数，它表明获得 j 部门一个单位最终产品，需要消耗本部门 1 单位产品和其他部门提供的中间产品之和，即直接和全部间接消耗之和 (马翠萍, 2012) ^①。也被称为完全需要系数矩阵。根据上式，求 $b_{kj} (k=1, 2, \dots, k)$ ， k 代表一次能源部门， $b_{kj} (k=1, 2, \dots, k)$ 的含义为： j 部门每产出 1 单位产品，对各能源行业的完全消耗系数。 Y 是最终产品产量。 I 是单位矩阵。(单位：万元/万元)

4) 计算直接能耗系数矩阵。

^① 马翠萍，产业关联视角下的碳关税征收对我国产业经济的影响，《科技进步与对策》- 2012-04-10

计算公式为:

$$D_{ij} = \frac{E_{ij}}{X_i} \quad (4)$$

表示第 j 部门单位产出对第 i 种能源的消耗。 E_{ij} 为 j 部门对 i 能源的消耗量， X_i 为 i 行业总产出（单位：万吨标准煤/万元）

5) 计算完全能耗系数矩阵

将直接能耗系数矩阵 D_{ij} 与列昂惕夫逆矩阵 $(I - A)^{-1}$ 相乘得到完全能耗系数矩阵。（单位：万吨标准煤/万元）

6) 计算完全排放系数

$$\theta_j = \sum_{k=1}^n b_{kj} \times CEC_k^v \quad (5)$$

$b_{kj} (k = 1, 2, \dots, k)$ 为完全消耗系数； CEC_k^v 为 k 能源产品碳排放系数，公吨 CO_2 /千美元

7) 计算隐含碳

$$C = \sum_{j=1}^n E_j \times \theta_j \quad (6)$$

$$C = \sum_{j=1}^n I_j \times \theta_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

其中， C 即贸易品种的隐含碳，单位：公吨二氧化碳； E 表示进口、 I 代表出口（千美元）； θ 为 1 单位 j 商品的完全碳排放系数（公吨 CO_2 /千美元）

各行业对美出口的隐含碳为出口额与各行业的单位价值完全碳排放系数的乘积，然后将各行业二氧化碳出口额加总得到隐含碳总出口额。

8) 计算碳影响力系数和碳感应度系数

碳影响力系数是从节能减排视角来反映了给定的技术经济关联和能源技术水平下部门减排贡献，与传统影响力系数表述不同。传统影响力系数大于 1，表明部门发展对其他部门有较大拉动作用。而碳影响力系数大于 1 时，需要予以限制，才能实现其他部门少排放；碳影响力系数小于 1，表示鼓励某部门发展可以带动其他部门少排放。因此有较明确的政策含义。它对能源结构和技术

碳感应度系数也是从节能减排视角反映那些部门对经济增长的感应度更强，因此可主要辅助节能减排政策的制定。碳感应度系数大于 1 的部门，以较小的力度推行节能减排，就可以取得使得该部门减少更多二氧化碳排放，取得显著减排效果。对系数值远小于 1 甚至接近 0 的部门，意味着可能得以高昂代价才能取得一些减排成效。

影响力系数和感应度系数都是在列昂惕夫逆矩阵 $\bar{B} = (I - A)^{-1}$ 基础上计算的。与碳排放的结合思想就是用 $\bar{B} = (I - A)^{-1}$ 乘以碳排放强度矩阵 $\hat{\gamma}$ ，然后求得碳排放完全需求矩阵 \bar{T} 公

式为:

$$\bar{T} = \hat{\gamma} \bar{B} \quad (8)$$

其中, $\bar{\gamma} = \begin{bmatrix} \gamma_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & \cdots & \gamma_n \end{bmatrix}$ 为各部门单位价值量的碳排放,即碳排放强度。 \bar{T} 中的元素 \bar{t}_{ij} 表

示 1 单位 j 部门产出增加的 i 部门的碳排放完全需求量 (陈越, 2013), 即 \bar{b}_{ij} 与 γ_i 的乘积。

传统的碳影响力系数 δ_j 和碳感应度系数 $\gamma_i = c_i / x_i$ 的公式为:

$$\delta_j = \frac{\sum_i \bar{t}_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j \bar{t}_{ij}} \quad (9)$$

$$\hat{\theta}_i = \frac{\sum_j \bar{t}_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j \bar{t}_{ij}}$$

(10)

碳影响力系数 δ_j 越大, 表明 j 部门节能减排对其他部门的示范效应越大。 $\hat{\theta}_i$ 越大, 则表明 i 部门受到的节能政策影响越大。

随后, 为了克服传统系数中的不足, 陈越等 (2013) 将刘起运 (2002) ^① 的研究成果引入到公式, 在公式中补充了最终产品构成系数。

本文也应用陈越和刘起运等的成果, 修正后的碳影响力系数 δ_j 和碳感应度系数 $\hat{\theta}_i$ 的公式为:

$$\delta_j = \frac{\sum_i \bar{t}_{ij}}{\sum_j (\sum_i \sum_{ij}) \alpha_j} \quad (11)$$

$$\hat{\theta}_i = \frac{\sum_j (\bar{t}_{ij} \alpha_j)}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j (\bar{t}_{ij} \alpha_j)} \quad (12)$$

计算碳排放强度矩阵 γ_i

矩阵是碳排放强度向量对角化的结果

^① 刘起运. 关于投入产出系数结构分析方法的研究 [J]. 统计研究, 2002,(2):40-42.

$$\gamma_i = \frac{C_i}{x_i}$$

C_i 是 i 部门的总碳排放量, x_i 是 i 个部门的总产出。

4、数据及处理

1) 数据来源

本文根据 2007 年投入产出表计算 2001-2007 年间的隐含碳排。所涉及的数据及来源分别如下：采用了 2002、2005、2007 年三年投入产出表，分别来自《2002 年中国投入产出表》、《2005 年中国投入产出延长表》、《2007 年中国投入产出表》；各类能源碳排放系数来自联合国政府间气候变化专门委员会公布的《国家温室气体排放清单指南》(IPCC, 2006)；各部门能源消耗数据来自历年《中国统计年鉴》；估算进口国碳排放系数还需用到主要进口国的进口数据和单位 GDP 能耗数据，分别源于历年《中国统计年鉴》、美国能源信息署 (EIA) 网站。

中国对美国出口的海关数据来源于中经网统计数据库中的 2007 年的对美出口按 HS 分类的总值累计的月份数据。海关的 HS 分类体系将产品分为 19 类，这于投入产出表中的按行业分类不同。因此，需要根据《2007 年中国投入产出表》中的“海关统计商品分类与投入产出部门分类对照表”将 2007 年中对美出口的海关数据与能源投入产出表分类对应起来。对于某些不能细致对应的数据参照投入产出表中的对外总出口额的行业比例进行调整。单位“千美元”转换为“万元”，汇率取 2007 年平均汇率 7.5215。

2) 能源二氧化碳排放系数

表 5: 不同能源折标煤系数、碳排放转化系数

能源	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
低位发热量(kj/kg)	20 706	28 435	41 816	43 070	43 070	42 652	41 816	38 931
折标煤系数(kg 标准煤/kg)	0.71	0.97	1.43	1.47	1.47	1.46	1.43	1.33
中国 CO ₂ 排放系数 (kg/kg 标准煤)	2.763			2.145			1.642	

数据：《中国能源统计年鉴 2008》；陈诗一（2009）。

(3) 行业合并

我国投入产出表中的部门划分与行业能源消费中的部门划分不一致，为了解决行业分类统一和数据匹配问题，我们参考对美出口按 HS 分类标准，将投入产出表中的 42 个部门和《中国统计年鉴》分行业能源消耗数据涉及的 45 个产业部门统一合并为 21 个部门（见表）。

(三) 碳关税对中国和美国经济及贸易影响的测算

1、各部门碳完全排放系数测算

根据公式 (5)，我们首先计算了各部门的碳完全排放系数，见表 ()。从表中可以看

出，金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、金属制品业等单位价值量的内涵二氧化碳含量最高，均超过了 0.003 万元/万吨。

表 6：各部门碳完全排放系数表

序号	行业	碳完全排放系数 (万吨/万元)
1	金属冶炼及压延加工业	0.0003331
2	非金属矿物制品业	0.0003196
3	金属制品业	0.0001895
4	农林牧渔业	0.0001871
5	化学工业	0.0001804
6	电气机械及器材制造业	0.0001794
7	通用、专用设备制造业	0.0001638
8	工艺品及其他制造业	0.0001457
9	交通运输设备制造业	0.0001442
10	纺织业	0.0001384
11	食品制造及烟草加工业	0.000138
12	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.0001349
13	木材加工及家具制造业	0.0001224
14	非金属矿及其他矿采选业	0.0001206
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.0001186
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.0001087
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.0001084
18	金属矿采选业	9.70E-05
19	石油加工业	3.13E-05

2、各部门隐含碳总量数测算

根据上面得到的各部门完全碳排放系数计算我国出口商品隐含碳，发现占贸易隐含碳最高的几个部门是设备制造、金属冶炼、化学工业、电气机械及器材制造业等。

表 7：各部门碳完全排放系数表

序号	行业	碳完全排放系数 (万吨/万元)	对美出口商品内 涵二氧化碳碳总 量(万吨)	占总隐含碳 的比重
7	通用、专用设备制造业	0.0001638	6387.839	23.95%
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.0001087	3471.922	13.02%
1	金属冶炼及压延加工业	0.0003331	2835.384	10.63%
5	化学工业	0.0001804	2112.631	7.92%
6	电气机械及器材制造业	0.0001794	1829.164	6.86%
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.0001084	1780.389	6.67%
13	木材加工及家具制造业	0.0001224	1528.694	5.73%
10	纺织业	0.0001384	1401	5.25%

12	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.0001349	1307.643	4.90%
3	金属制品业	0.0001895	1113.67	4.17%
9	交通运输设备制造业	0.0001442	968.9053	3.63%
2	非金属矿物制品业	0.0003196	684.7	2.57%
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.0001186	442.3648	1.66%
11	食品制造及烟草加工业	0.000138	378.4625	1.42%
8	工艺品及其他制造业	0.0001457	265.5647	1.00%
4	农林牧渔业	0.0001871	94.34203	0.35%
14	非金属矿及其他矿采选业	0.0001206	43.67753	0.16%
19	石油加工业	3.13E-05	29.48086	0.11%
18	金属矿采选业	9.70E-05	0.426399	0.00%

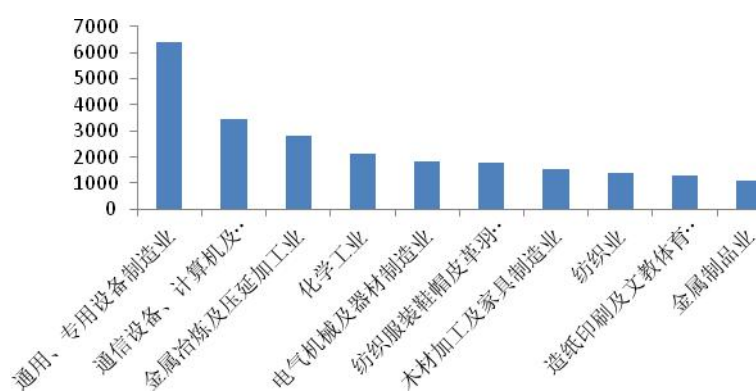


图 10： 中国出口美国部门隐含碳最高的 10 大行业排名

3、各部门碳影响力系数和碳感应度系数碳测算

算出 γ 和 \bar{B} 后，可以计算 \bar{T} 矩阵，分别计算碳影响力系数 δ_j 和碳感应度系数 $\hat{\theta}_i$ 。从碳影响力系数表 可以看出，这 19 个部门中，有 13 个部门的影响力系数大于 1，特别是以电气机械及器材、交通运输设备、金属制品、纺织业、化学工业等为代表的高耗能重化工业对其它产业部门的碳排放的的拉动能力最强。

表 8： 各部门碳影响力系数及程度表

序号	行业	碳完全排放系数	碳影响力系数
14	食品制造及烟草加工业	0.000138	0.65
7	木材加工及家具制造业	0.0001224	0.72
13	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.0001186	0.82
2	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.0001087	0.85
6	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.0001084	0.89
16	农林牧渔业	0.0001871	0.87
19	金属矿采选业	9.70E-05	1.04
18	石油加工业	3.13E-05	1.06

12	非金属矿物制品业	0.0003196	1.09
17	非金属矿及其他矿采选业	0.0001206	1.05
15	工艺品及其他制造业	0.0001457	1.14
9	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.0001349	1.16
3	金属冶炼及压延加工业	0.0003331	1.19
4	化学工业	0.0001804	1.20
8	纺织业	0.0001384	1.21
1	通用、专用设备制造业	0.0001638	1.23
10	金属制品业	0.0001895	1.25
11	交通运输设备制造业	0.0001442	1.33
5	电气机械及器材制造业	0.0001794	1.35

从碳感应度系数表可以看出，这 19 个部门中，有 9 个部门的感应度系数大于 1。其中化工、金属冶炼及压延加工业、石油加工业、通信设备等设备制造业的感应度最大。以化学工业感应度最高。

表 9：各部门碳感应度系数及程度表

序号	行业	碳完全排放系数	碳感应度系数
13	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.0001186	0.032
7	木材加工及家具制造业	0.0001224	0.064
6	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.0001084	0.072
14	食品制造及烟草加工业	0.000138	0.096
15	工艺品及其他制造业	0.000148	0.23
2	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.0001087	0.62
16	农林牧渔业	0.0001871	0.69
12	非金属矿物制品业	0.0003196	0.87
19	金属矿采选业	9.70E-05	0.82
17	非金属矿及其他矿采选业	0.0001206	0.88
10	金属制品业	0.0001895	1.02
9	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.0001349	1.12
8	纺织业	0.0001384	1.14
11	交通运输设备制造业	0.0001442	1.17
5	电气机械及器材制造业	0.0001794	1.18
1	通用、专用设备制造业	0.0001638	1.55
18	石油加工业	3.13E-05	1.58
3	金属冶炼及压延加工业	0.0003331	2.94
4	化学工业	0.0001804	3.68

序号	行业	碳影响力系数	碳感应度系数
14	食品制造及烟草加工业	0.65	0.072
7	木材加工及家具制造业	0.72	0.95
13	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.82	0.015
2	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.85	2.21
6	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.89	0.06
16	农林牧渔业	0.87	2.41
19	金属矿采选业	1.04	2.48
18	石油加工业	1.06	4.67
12	非金属矿物制品业	1.09	2.54
17	非金属矿及其他矿采选业	1.05	2.56
15	工艺品及其他制造业	1.14	0.62
9	造纸印刷及文教体育用品制造业	1.16	3.28
3	金属冶炼及压延加工业	1.19	8.77
4	化学工业	1.20	10.76
8	纺织业	1.21	3.34
1	通用、专用设备制造业	1.23	4.62
10	金属制品业	1.25	2.98
11	交通运输设备制造业	1.33	3.48
5	电气机械及器材制造业	1.35	3.5

从中美出口隐含碳的部门结构和这些部门的碳影响力系数及碳感应度系数看，是通用专用设备制造业、金属冶炼及压延加工业、化学工业和电气机械及器材制造业，这4大部门出口的隐含碳排放占到总排放的50%左右，并且都具有较高的碳排放和碳感应度系数。一旦对这些部门征税，将极大影响这些部门竞争力，出口下降，并通过影响力系数，带动其他部门出口也下降。

表 10：对美出口部门隐含碳较多部门的碳影响力系数和碳感应系数

序号	行业	隐含碳排放	影响力系数	感应度系数
7	通用专用设备制造业	6387.839	1.23	1.55
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	3471.922	0.85	0.62
1	金属冶炼及压延加工业	2835.384	1.19	2.94
5	化学工业	2112.631	1.2	3.68
6	电气机械及器材制造业	1829.164	1.35	1.18
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	1780.389	0.89	0.072
13	木材加工及家具制造业	1528.694	0.72	0.064
10	纺织业	1401	1.21	1.14
12	造纸印刷及文教体育用品制造业	1307.643	1.16	1.12
3	金属制品业	1113.67	1.25	1.02
9	交通运输设备制造业	968.9053	1.33	1.17

2	非金属矿物制品业	684.7	1.09	0.87
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	442.3648	0.82	0.032
11	食品制造及烟草加工业	378.4625	0.65	0.096
8	工艺品及其他制造业	265.5647	1.14	0.23
4	农林牧渔业	94.34203	0.87	0.69
14	非金属矿及其他矿采选业	43.67753	1.05	0.88
19	石油加工业	29.48086	1.06	1.58
18	金属矿采选业	0.426399	1.04	0.82

4、碳关税对中国贸易、产业结构和经济的影响

1) 碳关税对贸易结构的影响

美欧预案种涉及的关税税率基本在 10—70 美元/每吨碳，本文选择低中高三种征收情景来模拟，分别是 10 美元/吨、30 美元/吨和 60 美元/吨。计算方式如下：碳关税总额 = 隐含碳排放量 × 征收标准。

不同征收标准下，各行业需要面临的碳关税为下表。可以看出，含碳最高的行业是金属冶炼及压延加工业和非金属矿物制品业均超过了 0.0003 万元/万吨。即使根据《美国清洁能源安全法案》中所规定的最低碳价 10 美元/吨来计算，上述两行业每价值为 1 万元的产品分别需要缴纳 226 和 217 元的边境碳调节税，相当于每出口万元产值加征 22.6%和 21.7%的关税。另外，金属制品业、农林牧渔业、化学工业、交通运输、电气机械及器材单位产值将加征的边境碳调节税率也会比较高，集中在 12.2%-12.9%之间。边境碳调节税的征收将对电气机械及器材制造业、金属冶炼及压延加工业、化学工业、通用专用设备制造业的厂商及行业产生相当大的影响。损失最大的行业将是通用、专用设备制造业，按 10 美元/吨征收，其损失就将高达 43 亿人民币，而通信设备、计算机及其他电子设备制造业的损失也超过 12 亿元。如果按 30 或者更高的价格征收，损失更大。而对于诸如纺织业、通信设备、计算机及其他制造业行业，尽管属于非能源密集型行业，但由于对美出口量较大，行业总体也会受到较大影响。

表 11：不同征收标准下，中国出口美国的主要行业需要缴纳的关税总额

序号	行业	出口隐含碳排放(万吨)	各部门面临的碳关税额 (亿元)		
			10 美元/吨	30 美元/吨	60 美元/吨
7	通用、专用设备制造业	6387.839	43.43731	130.3119	260.6238
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	3471.922	23.60907	70.82721	141.6544
1	金属冶炼及压延加工业	2835.384	19.28061	57.84183	115.6837
5	化学工业	2112.631	14.36589	43.09767	86.19534
6	电气机械及器材制造业	1829.164	12.43832	37.31495	74.62989
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	1780.389	12.10665	36.31994	72.63987
13	木材加工及家具制造业	1528.694	10.39512	31.18536	62.37072
10	纺织业	1401	9.5268	28.5804	57.1608
12	造纸印刷及文教体育用品制造业	1307.643	8.891972	26.67592	53.35183
3	金属制品业	1113.67	7.572956	22.71887	45.43774

9	交通运输设备制造业	968.9053	6.588556	19.76567	39.53134
2	非金属矿物制品业	684.7	4.65596	13.96788	27.93576
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	442.3648	3.008081	9.024242	18.04848
11	食品制造及烟草加工业	378.4625	2.573545	7.720635	15.44127
8	工艺品及其他制造业	265.5647	1.80584	5.41752	10.83504
4	农林牧渔业	94.34203	0.641526	1.924577	3.849155
14	非金属矿及其他矿采选业	43.67753	0.297007	0.891022	1.782043
19	石油加工业	29.48086	0.20047	0.60141	1.202819
18	金属矿采选业	0.426399	0.0029	0.008699	0.017397

如果以上 19 类行业在国际市场上遭遇更大范围的碳关税措施，我们参考沈可挺等（2010）的一些成果，会发现在 30 美元和 60 美元的征收标准下，工业行业的出口形势将非常严峻，面临非常大的下行压力。尤其是石油加工业和非金属矿及其他矿采选业等的资源型产业贸易额在 30 美元的征收标准下将分别下跌 12.3%和 6.27%；如果碳税进一步提高，则贸易额跌幅将超过 20%和 10%。金属冶炼、金属制品业、化学工业、电气机械及器材制造业等产业也将遭遇严寒。如果考虑到部门间的产业关联，则碳关税对我国产业部门的影响将随着贸易的变化而更大幅度的变动。

表 12：碳关税征收对主要工业部门的影响

序号	行业	隐含碳排放 (万吨)	部门贸易下降比例	
			30 \$/t	60\$/t
7	通用、专用设备制造业	6387.839	3.33%	6.56%
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	3471.922	2.54%	5.04%
1	金属冶炼及压延加工业	2835.384	5.93%	11.58%
5	化学工业	2112.631	4.83%	9.51%
6	电气机械及器材制造业	1829.164	3.97%	7.79%
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	1780.389	2.72%	5.36%
13	木材加工及家具制造业	1528.694	2.85%	5.62%
10	纺织业	1401	3.40%	6.70%
12	造纸印刷及文教体育用品制造业	1307.643	2.89%	5.71%
3	金属制品业	1113.67	4.6%	9.0%
9	交通运输设备制造业	968.9053	3.18%	6.25%
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	442.3648	3.85%	7.66%
11	食品制造及烟草加工业	378.4625	2.04%	4.04%
14	非金属矿及其他矿采选业	43.67753	6.27%	12.24%
19	石油加工业	29.48086	12.39%	23.7%

表 13： 产业关联情况下碳关税征收对主要工业部门的影响

序号	行业	不考虑产业关联 部门下降比例		考虑影响力系数情况下 部门下降比例	
		30 \$/t	60\$/t	30 \$/t	60\$/t
19	石油加工业	12.39%	23.70%	30.36%	58.07%
1	金属冶炼及压延加工业	5.93%	11.58%	23.13%	45.16%
14	非金属矿及其他矿采选业	6.27%	12.24%	19.44%	37.94%
5	化学工业	4.83%	9.51%	18.89%	37.18%
3	金属制品业	4.60%	9.00%	16.33%	31.95%
6	电气机械及器材制造业	3.97%	7.79%	14.61%	28.67%
7	通用、专用设备制造业	3.33%	6.56%	13.82%	27.22%
15	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	3.85%	7.66%	12.97%	25.81%
10	纺织业	3.40%	6.70%	12.17%	23.99%
9	交通运输设备制造业	3.18%	6.25%	10.75%	21.13%
12	造纸印刷及文教体育用品制造业	2.89%	5.71%	10.23%	20.21%
13	木材加工及家具制造业	2.85%	5.62%	10.09%	19.89%
16	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	2.54%	5.04%	9.91%	19.66%
17	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	2.72%	5.36%	9.68%	19.08%
11	食品制造及烟草加工业	2.04%	4.04%	6.63%	13.13%

5) 碳关税对社会福利及经济增长的影响

碳关税实施对一国经济福利的影响估算需要借助一般均衡的方法，国内外已经有一些研究。这里我们借用主要的研究成果，来反映大国实施碳关税后引发的价格、福利、贸易条件等方面的影响趋势。陈红蕾和纪远营（2015）利用 GTAP 模型，估算了碳关税对中美间五个主要部门：金属制造、非金属矿物、化学工业、其他制造业、机械设备制造业在三个方案 20、30、60 美元/吨的影响。发现：

首先，碳关税的实施将导致被征收国产业产出下降。对于贸易大国，碳关税将导致出口下降，而产出或需求的改变都会影响国际市场价格变动。美国一旦对中国的高碳出口部门征收调节税，将大大限制这些部门的出口。由于这些部门的产业关联度比较高，将引发国内产业的连锁反应。碳关税率越高，对中国对外贸易和整体经济的影响就越大。

表 14： 行业产出及销售价格的变化(%)

			金属产品 制造业	化学 工业	非金属矿 物制品业	其他制 造业	机械设 备 制造业
各行业 产出	方案一	中国	-0.06	-0.53	-0.51	-0.98	0.61
		美国	0.03	0.15	0.52	0.58	-0.23
	方案二	中国	0.46	-1.04	-0.84	-1.42	0.8
		美国	-0.09	0.31	0.9	0.88	-0.29
	方案三	中国	-0.47	-1.32	-1.04	-1.44	1.17
		美国	0.16	0.39	1.13	0.97	-0.41
销售 价格	方案一	中国	-0.23	-0.21	-0.23	-0.21	-0.19
		美国	0.06	0.06	0.06	0.16	0.07
	方案二	中国	-0.32	-0.29	-0.33	-0.3	-0.27
		美国	0.06	0.09	0.09	0.22	0.1
	方案三	中国	-0.48	-0.42	-0.47	-0.42	-0.39
		美国	0.12	0.14	0.13	0.28	0.14

其次，碳关税的征收的确有利于征收国贸易条件的改善和竞争力的提高。碳关税的征收短期内改善了美国的贸易条件，政府税收增加。但由于中国是美国最大的贸易伙伴国，美国对中国产品的消费需求结构不可能在短期内发生急剧变化，直接增加他国进口满足国内需求的可能性也不大，那么短缺内美国国内市场价格将上升，直接影响消费者的消费水平，引发消费者福利下降。

表 15： 碳关税征收导致的贸易平衡及条件的变化

征收标准		20 美元/吨	30 美元/吨	60 美元/吨
贸易条件 (%)	中国	-0.21	-0.30	-0.44
	美国	0.07	0.09	0.12

第三，从 GDP 及社会福利的变化看，作为贸易大国，征收碳关税，往往导致“双输”结果。碳关税将对两国经济均产生较为严重的负面冲击，双方的 GDP 损失都在 0.30% — 0.61% 不等。如果考虑到部门间的影响力系数和感应度系数，那么对两国 GDP 和社会福利的负面效应还会倍增。显然，在当前的贸易格局下，气候关税类贸易措施往往会导致贸易大国之间的贸易战，甚至对全球贸易产生负面影响。

表 16： 碳关税征收带来的 GDP 及社会福利变化

征收标准		20 美元/吨	30 美元/吨	60 美元/吨
GDP 变化%	中国	-0.3	-0.42	-0.61
	美国	0.04	0.04	0.07
社会福利变化 (亿美元)	中国	-31.8	-45.62	-64.73
	美国	4.23	-5.96	-11.45

资料来源：陈红蕾（2015）^①

此外，征收碳关税还将对两国就业、劳动报酬以及居民福利造成负面效应。短期看，由于结构刚性，中国出口部门无法在短期内实现企业转型，碳关税的征收必然导致中国出口企

^① 陈红蕾;纪远营, 美国征收碳关税对中美贸易的经济效应影响研究,《经济与管理评论》2015-05-22

业成本急剧上升。由于市场收缩，来自美国的订单下降，企业必然减少生产。中国出口部门大多是拉动密集型，所以碳关税的征收对就业的影响巨大。中美贸中国外贸额的比重非常大，也必然对中国整体经济形成恶劣影响。

表 17： 60 美元税率下中国主要出口部门就业下滑情况

	仪器仪表办公机械	通信电子设备	电气机械器材	纺织业	服装皮革羽绒制品
就业	-12.14%	-6.14%	-5.41%	-5.48%	-5.10%

资料来源：社科院金融所 2010

三、小结

作为价格的接受者，贸易小国征收碳边境调节税，往往会导致其经济福利受损。而作为贸易大国，碳边境调节税征收到本国经济的影响含有不确定性，依赖于出口方的贸易规模和经济影响力。如果出口方是贸易小国，对国际市场价格的能力相对较低，那么贸易大国征收碳边境调节不仅有利于改善本国的贸易条件，提高本国的收入，也能达到防止“碳泄漏”的目的。但如果出口方是贸易大国，且存在较高贸易依存度，比如中美贸易，那么碳边境调节税的征收对于双方来是一个“双输”策略。碳关税将对大国经济均产生较为严重的负面冲击，如果考虑到部门间的影响力系数和感应度系数，那么对两国就业、GDP 和社会福利的负面效应还会倍增。显然，在当前的贸易格局下，气候关税类贸易措施往往会导致贸易大国之间的贸易战，甚至对全球贸易产生负面影响。

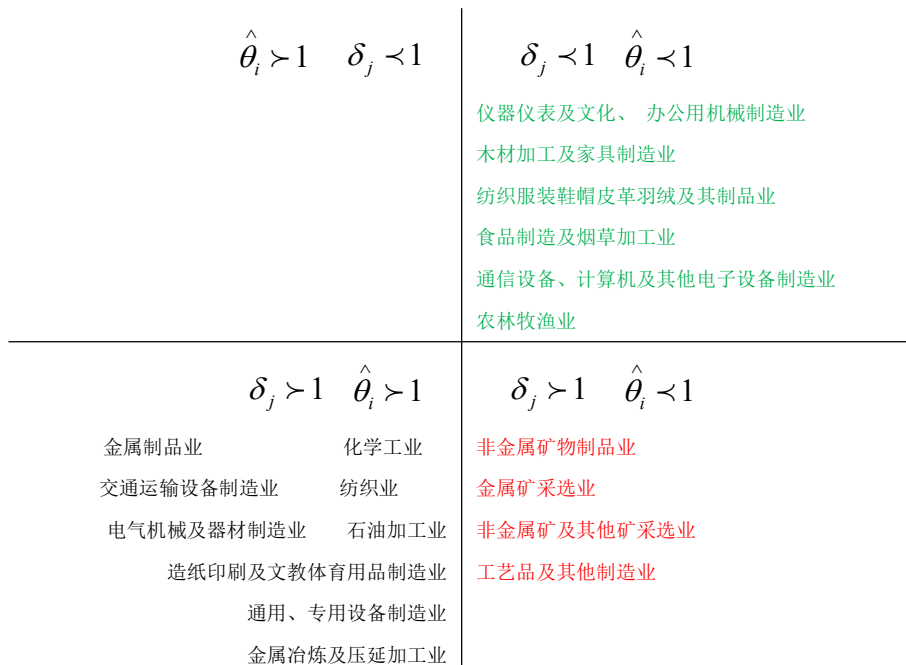


图 11： 出口部门影响力系数及感应度系数象限分布

但从节能减排的角度讲，即使不发生被征收碳边境调节税的行为，中国的外贸也需要绿色转型。从影响力系数和感应度系数看，首先培养那些产业碳影响力小、碳感应度也小的行

业。第一象限 ($\delta_j < 1$ $\hat{\theta}_i < 1$) 的 8 个部门仪器仪表及文化、办公用机械制造业、木材加工及家具制造业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、食品制造及烟草加工业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、农林牧渔业的影响力和感应度系数均低于平均水平, 是最理想的低碳产业, 尤其值得发展的是仪器仪表及文化、办公用机械制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业 是高技术、高附加值的先进制造业, 也是我国“十二五”规划当中明确扶持的战略性新兴产业, 具有带动产业升级和实现低碳化的双重效应。纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业和食品制造及烟草加工业可以通过提升质量和绿色转型实现效益和低碳双赢。

第三象限 ($\delta_j > 1$ $\hat{\theta}_i > 1$) 有 8 个部门, 金属制品业、金属冶炼及压延加工业、石油加工业、化学工业基本都属于钢铁、石化等典型的高耗能行业, 造纸印刷及文教体育用品制造业但因为它们的影响力和感应度系数都高, 对行业产生的影响比较大, 需要在经济发展的适当阶段降低其比例, 并加大节能减排力度, 提高资源节约和利用效率, 同时通过淘汰落后产能, 推动产业升级。交通运输业的两个系数虽然都比较高, 但由于这类部门对国民经济的影响较大, 段时间内很难实现结构调整, 短期内不宜过度限制其发展。

第四象限 ($\delta_j > 1$ $\hat{\theta}_i < 1$) 的 4 个部门非金属矿物制品业、金属矿采选业、非金属矿及其他矿采选业、工艺品及其他制造业属于传统的低端制造业, 这些部门的自身的排放不高, 但作为中间产品, 通过中间使用产生了大量的间接碳排放。一般来说, 不宜推动此类行业的出口, 需要逐步予以淘汰。