

制造业碳排放和经济增长脱钩关系研究

——基于速度和数量双重视角

杨晓华¹ 胡怡文²¹

(1. 北京工商大学 数学与统计学院, 北京 100048;

2. 北京工商大学 经济学院, 北京 100048)

【摘要】: 基于速度脱钩和数量脱钩的双重视角, 利用 Tapio 脱钩模型和环境库兹涅茨曲线模型, 研究中国 1987—2017 年制造业碳排放和制造业经济发展的脱钩关系。结果表明: 我国制造业 2016—2017 年、2008—2017 年均处于弱脱钩状态, 制造业经济和碳排放呈倒“N”型关系, 2017 年制造业经济处于环境库兹涅茨曲线两拐点之间, 未发生数量脱钩。借助“环境高山”理论可知, 我国制造业处于经济增长和环境保护的“两难境地”, 因此, 政府需要做好经济和环境政策的长期攻坚准备。

【关键词】: 制造业 速度脱钩 数量脱钩 环境库兹涅茨曲线

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)04-013-06

习近平总书记在党的十九大报告中指出:“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。”这说明以往的“高投入、高消耗、高排放”的“三高”发展模式已经无法适应当今经济的发展要求。制造业是我国工业生产的重要组成部分, 是支撑我国国民经济发展的支柱, 保障着我国经济的平稳运行。当前, 我国制造业仍以煤炭、石油等化石原料的消耗为主, 据统计部门数据显示, 我国 1987 年制造业二氧化碳排放量为 125684.71 万吨, 到 2017 年已增至 612603.71 万吨, 年平均增长率达 5.24%。长期以来, 我国制造业的发展是以资源环境为代价, 化石能源燃烧产生的二氧化碳给环境带来严重的负面影响。

脱钩(decoupling)原本是一个物理学概念, 用于描述两个或多个变量之间不再存在相互影响关系的概念。Zhang^[1]首次把脱钩的概念运用到环境领域。经济合作与开发组织(OECD)^[2]把这一概念发展为一个指数。Tapio^[3]提出了脱钩弹性指数的概念。脱钩分析方法大体上可归纳为速度脱钩分析和数量脱钩分析两类。速度脱钩的研究方法主要包括 IU 曲线法、OECD 脱钩指数法以及 Tapio 弹性系数法等, 当前研究较多为 Tapio 弹性系数法。王菲等^[4]利用脱钩弹性系数分析了工业废水、固体废弃物、SO₂ 排放和经济增长之间的脱钩关系。胡渊等^[5]研究我国 1990—2013 年能源碳排放和国内生产总值(GDP)之间的脱钩关系, 发现二者呈现出较强的关联性。有学者以不同省份或城市为研究对象, 分别探究了东北地区、湖北省、江苏省、深圳市等地的资源消耗、碳排放与经济增长之间的脱钩关系。与速度脱钩的研究不同, 数量脱钩将研究落脚到两者的数量关系上, 用于解释资源环境消耗随着经济发展在数量上出现的平稳或减少的现象。数量脱钩的研究方法主要包括环境库兹涅茨曲线模型(environment Kuznets curve, EKC 模型)、可拓展的随机性环境影响评估模型(STIRPAT 模型)、环境压力模型(IPAT 模型)等方法, 其中较常用的是 EKC

作者简介: 杨晓华, 博士, 副教授, 研究方向为能源环境计量分析、金融投资组合和风险计量。E-mail:chastity_yang@163.com
基金项目: 国家社会科学基金青年项目“考虑能源回弹效应的制造业节能减排效果研究”(14CTJ013); 北京社会科学基金项目“考虑能源回弹效应的北京市节能减排效果研究: 统计测算和路径优化”(15JGC152)

模型。国内学者对碳排放库兹涅茨曲线的研究也较为丰富，多数学者认为我国碳排放与经济增长存在倒“U”型关系^[6-8]，少数学者则得出我国碳排放库兹涅茨曲线为正“U”型的结论^[9-10]。顾宁和姜萍萍^[11]的研究表明我国碳排放的环境库兹涅茨曲线为正“N”型，胡宗义等^[12]则认为我国碳排放库兹涅茨曲线为正向的线性关系，王维国和孟军^[13]则认为我国人均碳排放量与人均 GDP 的关系在不同经济环境下有所不同。

总体而言，学者们对于经济增长和碳排放之间的关系进行了大量研究，给出了众多的研究思路和方法，由于样本的不同、分析方法的不同，得到的结论有所不同，但仍然存在一定的探索空间，很少有学者关注数量脱钩和速度脱钩之间的关系，少有研究把两者结合起来分析碳排放和经济增长的问题。鉴于此，本文受到盛业旭等^[14]土地扩张和经济增长关系研究的启发，采用 Tapio 弹性系数法衡量速度脱钩关系，采用环境库兹涅茨曲线模型衡量数量脱钩关系，实证测算我国 1987—2017 年的制造业碳排放和制造业经济之间的关系，最后提出有关政策建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 制造业碳排放测算公式

目前，我国碳排放并未公布直接的核算体系和监测数据，因而国内研究大多是基于能源消耗测算得到的数据。郑长德和刘帅^[15]通过碳的化学方程式法和 Kaya 碳排放恒等式法，测算出每吨标准煤的碳排放系数分别为 2.720 和 2.277，由于考虑到标准煤的碳含量、含硫氮等元素、不完全燃烧等因素的影响，本文取两者的算数平均数作为每吨标准煤的碳排放系数，为 2.499。本文用制造业的能源消费量乘以每吨标准煤的碳排放系数即可得到制造业的碳排放量(单位：万吨)，如式(1)所示：

$$TC=C \cdot 2.499 \quad (1)$$

式中：C 为制造业能源消费总量(万吨标准煤)；TC 为制造业碳排放量(万吨)。

1.2 脱钩分析方法

1.2.1 速度脱钩分析方法

速度脱钩分析常用的模型目前有 OECD 模型和 Tapio 脱钩模型。Tapio 脱钩模型是采用弹性分析法进行分析，避免了量纲干扰，脱钩状态的划分更精细，结果也比 OECD 脱钩模型更为准确客观，因此，本文选择 Tapio 脱钩模型进行速度脱钩分析。Tapio 脱钩指数的计算模型如公式(2)：

$$\varepsilon = \frac{\% \Delta E}{\% \Delta F} \quad (2)$$

式中： ε 为脱钩弹性指数， $\% \Delta F$ 为某一领域经济增长率， $\% \Delta E$ 为资源环境投入量的变化率，具体来讲，本文分子项选取制造业碳排放量作为指标，分母项选取制造业增加值作为指标计算脱钩弹性系数，进而分析制造业碳排放与其经济增长之间的关系。由此构建的脱钩弹性系数如公式(3)：

$$\varepsilon(CO_2, Y) = \frac{\% \Delta CO_2}{\% \Delta Y} = \frac{(CO_{2,t+1} - CO_{2,t}) / CO_{2,t}}{(Y_{t+1} - Y_t) / Y_t} \quad (3)$$

式中： $\epsilon(\text{CO}_2, Y)$ 表示制造业经济对制造业碳排放的脱钩弹性指数， $\% \Delta \text{CO}_2$ 表示制造业碳排放的变化率， $\% \Delta Y$ 表示制造业经济增长的变化率。 $\text{CO}_{2,t+i}$ 和 $\text{CO}_{2,t}$ 分别表示第 $t+i$ 年末和第 t 年末的制造业碳排放， Y_{t+i} 和 Y_t 分别表示第 $t+i$ 年末和第 t 年末对应的可比较的制造业增加值。

当脱钩弹性系数 $\epsilon < 1$ 时，表明分子项小于分母项，即制造业碳排放的变化率小于制造业经济增长的变化率，说明二者已经发生脱钩。除此之外，国内学者又划分出8类不同类型的脱钩状态，具体如表1所示。

表1 脱钩分类及状态说明

脱钩状态	脱钩弹性系数	$\% \Delta E$	$\% \Delta F$
强脱钩	$(-\infty, 0)$	< 0	> 0
弱脱钩	$(0, 0.8)$	> 0	> 0
衰退脱钩	$(1.2, +\infty)$	< 0	< 0
增长连接	$(0.8, 1.2)$	> 0	> 0
衰退连接	$(0.8, 1.2)$	< 0	< 0
扩张负脱钩	$(1.2, +\infty)$	> 0	> 0
强负脱钩	$(-\infty, 0)$	> 0	< 0
弱负脱钩	$(0, 0.8)$	< 0	< 0

1.2.2 数量脱钩分析方法

EKC模型是分析资源环境与经济增长关系的重要工具，本文对制造业碳排放量和制造业增加值取自然对数后建立EKC模型，分析其数量脱钩关系，计量模型如公式(4)及(5)所示：

$$\ln TC = a_0 + a_1 \ln Y + a_2 (\ln Y)^2 + u_1 \quad (4)$$

$$\ln TC = a_0 + a_1 \ln Y + a_2 (\ln Y)^2 + a_3 (\ln Y)^3 + u_2 \quad (5)$$

式中： $\ln TC$ 为被解释变量，即制造业碳排放量的自然对数； $\ln Y$ 为解释变量，即制造业增加值的自然对数， a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 均为待估参数值； u_1 、 u_2 为随机误差干扰项。

本文还考虑了制造业能源效率、能源消费结构、政策因素对制造业碳排放的影响。

(1) 能源效率(EE)。

本文使用的单要素能源效率用制造业增加值与能源消费总量的比值取对数后表示，一般来讲，能源效率的提高会带来能源消耗的减少，但考虑到能源回弹效应，能源效率的提高可能会带来能源消耗的增加，从而导致碳排放的增加，因此预期符号待定。

(2)能源消费结构(Coal)。

能源消费结构是碳排放的重要影响因素之一，本文用制造业中煤炭资源的消费量取对数来表示，制造业能源消费结构中煤炭比重过高，会导致碳排放的增加，因此预期符号为正。

(3)政策因素(Dummy)。

我国政府在第十一个五年规划中首次提出“节能减排”战略目标，随后，各级政府和部门针对“五年内单位国内生产总值能耗降低 20%左右，主要污染物排放总量减少 10%的目标”，积极采取行动，出台政策措施，对能源消费和碳排放应当有一定的抑制作用。因此，本文设定政策因素虚拟变量，2006 年之前取值为 0，2006 年之后取值为 1。

在添加上述影响因素，建立扩展的 EKC 曲线后，制造业碳排放库兹涅茨曲线关系由公式(4)及公式(5)中 a_1 、 a_2 、 a_3 的符号决定，具体关系如表 2 所示。依据不同的曲线关系，计算出对应的临界点，进一步研究制造业碳排放和经济和之间是否发生数量脱钩。

表 2 碳排放与经济增长的几种曲线关系

类型	a_1	a_2	a_3	曲线关系
1	>0	$=0$	$=0$	正相关线性
	<0			负相关线性
2	>0	<0	$=0$	倒“U”型
	<0	>0		“U”型
3	<0	>0	<0	倒“N”型
	>0	<0	>0	“N”型

1.2.3 速度脱钩与数量脱钩之间的关系

速度脱钩和数量脱钩的关系所如图 1 所示，其中横轴表示经济增长，纵轴代表环境资源的消耗，资源环境消耗和经济增长之间的关系可用一条倒“U”型的曲线表示，这条曲线也称之为“环境高山”。从环境高山曲线的最高点 A 向横轴作垂线，“环境高山”由此被划分为两部分：在垂线的左侧，资源环境的消耗随着经济增长而提高，对于既实现经济增长又追求环境保护的政府来讲，这一区间是“两难境地”。在垂线的右侧，资源环境的消耗随着经济增长而下降，对政府制定的政策来讲，才算真正意义上达到了经济增长和环境保护的“双赢”局面，因此称这一区间为“双赢区间”。

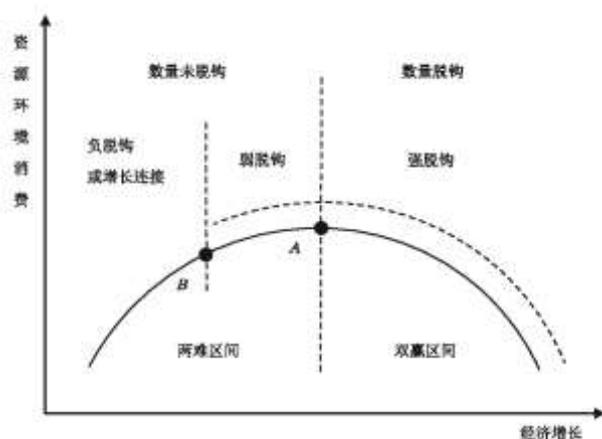


图 1 速度脱钩和数量脱钩关系图

从数量脱钩的角度来看，数量脱钩和“环境高山”中的“双赢区间”是不谋而合的，二者都是基于资源环境的消耗量在下降，而经济的增长在持续的状态。因此，数量脱钩的临界点即是图 1 的 A 点，在 A 点的左侧，数量未脱钩，右侧，数量脱钩。只要发生了数量脱钩，就表明政府当前进入了资源与环境的“双赢区间”。

从速度脱钩的角度来看，Tapio^[3]提出脱钩临界点为 0.8，如果 $e < 0.8$ ，说明资源环境和经济增长已经发生了脱钩，反之二者还没有脱钩。假设在经济增长的前提下，即 $\% \Delta F > 0$ 时，数量脱钩弹和速度脱钩的关系可以分为以下 3 种情况。

(1) 当 $\frac{\% \Delta E}{\% \Delta F} < 0$ ，且 $\% \Delta E < 0$ 时，为速度脱钩中的强脱钩状态。此时，无论从数量脱钩还是从速度脱钩来看，资源环境和经济增长都发生了脱钩。这时，政府已步入图 1 中的“双赢区间”，既能实现经济的增长，又能实现资源环境的改善。

(2) 当 $0 < \frac{\% \Delta E}{\% \Delta F} < 0.8$ ，且 $\% \Delta E > 0$ 时，为弱脱钩状态。虽然从速度脱钩来看，资源环境和经济增长已经脱钩，但是从数量上看还未脱钩，此时政府处于图 1 的“两难境地”。因此，速度脱钩不一定意味着进入了“双赢区间”，这也是图 1 中速度脱钩的临界点 B 早于 A 点的原因。

(3) 当 $\frac{\% \Delta E}{\% \Delta F} > 0.8$ ，且 $\% \Delta E > 0$ 时，为负脱钩或增长连接状态。此时无论从速度脱钩还是数量脱钩的角度来看，均处于“两难境地”。

(4) $\frac{\% \Delta E}{\% \Delta F} = 0.8$ 是图 1 中的 B 点，B 点的左侧是速度脱钩的负脱钩或增长连接状态，右侧是弱脱钩状态。在 B 点两侧均是数量未脱钩状态。

脱钩测度的意义不仅在于回答“是否脱钩”的问题，更重要的是明确我们当前是处于“两难境地”还是“双赢区间”。“两难境地”由于难以兼顾经济和环境两方面，政府在制定资源环境政策时，通常是介于宽松和严格之间的“适度管控”，这一过程比较艰难，需要权衡取舍。“双赢区间”由于能够兼顾经济和环境两方面，政府可以对资源环境实行“严格管控”政策，进而实现经济增长和环境保护的双赢。

1.3 数据来源

选取 1987—2017 年中国制造业能源消费总量(万吨标准煤)、制造业煤炭消费量(万吨标准煤)、制造业增加值(亿元)数据进行分析,数据主要取值于相关年份《国家统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。为了消除价格水平对制造业增加值的影响,本文已将 1987 年的价格水平作为基期,首先将各年度的制造业增加值换算成可比价格,之后再计算制造业增加值的增长。

2 制造业碳排放和制造业经济脱钩实证分析

2.1 制造业碳排放

经过近 30 多年的发展,我国制造业碳排放量呈现逐年增加的趋势,如图 2 所示。2003—2013 年,全国制造业碳排放增长迅速,平均增长率达 8.80%,其中,2011—2013 年碳排放增速为 9.22%,远超总体增长率 5.24%。这是因为自 2003 年开始,我国经济进入重工业化时代,需要一系列的重工业化项目的发展,制造业作为工业的主要组成部分,其能源消耗也大大增加。但是 2014 年以来,我国制造业碳排放出现负增长趋势,其主要原因是我国越来越重视环境气候问题,在碳排放问题上,我国提出节能减排措施、倡导走可持续发展道路,在降低制造业碳排放方面取得了初步成效。

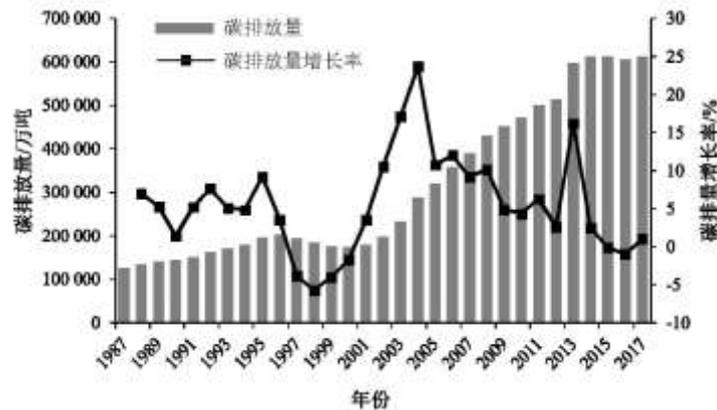


图 2 1987—2017 年全国制造业碳排放总量

2.2 制造业碳排放和制造业经济速度脱钩分析

2.2.1 逐年速度脱钩分析

根据公式(3),利用 1987—2017 年的数据资料,首先基于逐年的增长率,计算制造业碳排放和经济增长脱钩弹性系数,具体结果如表 3 所示。

表 3 逐年速度脱钩弹性系数和状态

年份	$\% \Delta Y$	$\% \Delta CO_2$	$e(CO_2, Y)$	状态
1987—1988	-0.1104	0.0701	-0.6349	强负脱钩
1988—1989	-0.1942	0.0529	-0.2725	强负脱钩

1989—1990	-0.0065	0.0139	-2.1442	强负脱钩
1990—1991	0.0909	0.0523	0.5758	弱脱钩
1991—1992	0.1109	0.0763	0.6883	弱脱钩
1992—1993	0.0489	0.0511	1.0449	增长连接
1993—1994	-0.1059	0.0487	-0.4595	强负脱钩
1994—1995	-0.0610	0.0925	-1.5163	强负脱钩
1995—1996	0.0147	0.0356	2.4292	扩张负脱钩
1996—1997	0.0603	-0.0383	-0.6340	强脱钩
1997—1998	0.0704	-0.0570	-0.8094	强脱钩
1998—1999	0.0929	-0.0392	-0.4226	强脱钩
1999—2000	0.1374	-0.0170	-0.1238	强脱钩
2000—2001	0.0896	0.0351	0.3919	弱脱钩
2001—2002	0.1131	0.1053	0.9308	增长连接
2002—2003	0.1672	0.1714	1.0250	增长连接
2003—2004	0.0860	0.2372	2.7590	扩张负脱钩
2004—2005	0.1320	0.1078	0.8166	增长连接
2005—2006	0.1555	0.1204	0.7741	弱脱钩
2006—2007	0.1290	0.0920	0.7134	弱脱钩
2007—2008	0.0454	0.1017	2.2389	扩张负脱钩
2008—2009	0.0947	0.0493	0.5211	弱脱钩
2009—2010	0.1109	0.0438	0.3944	弱脱钩
2010—2011	0.0862	0.0632	0.7329	弱脱钩
2011—2012	0.0371	0.0263	0.7073	弱脱钩
2012—2013	0.0294	0.1623	5.5135	扩张负脱钩
2013—2014	0.0441	0.0251	0.5689	弱脱钩
2014—2015	0.0196	-0.0005	-0.0275	强脱钩
2015—2016	0.0307	-0.0098	-0.3197	强脱钩
2016—2017	0.1046	0.0108	0.0133	弱脱钩

从表 3 逐年速度脱钩分析的结果来看,强负脱钩状态是制造业产出下降而碳排放增加的一种状态,其分别发生在 1987—1990 年、1993—1995 年。扩张负脱钩和增长连结状态是制造业经济在增长,碳排放也在增加的状态,但碳排放的增速大于经济增速,扩张负脱钩分别发生在 1995—1996 年、2003—2004 年、2007—2008 年、2012—2013 年。增长连结发生分别发生在 1992—1993 年、2001—2003 年、2004—2005 年。强脱钩状态分别发生在 1996—2000 年、2014—2016 年,这些年碳排放在下降,制造业的经济在增长,是一种最优状态。弱脱钩状态分别发生在 1990—1992 年、2000—2001 年、2005—2007 年、2008—2012 年、2013—2014 年、2016—2017 年,就 2016—2017 年度来看,制造业经济在增长,碳排放也在增加,但碳排放增速低于制造业经济的增速。

2.2.2 跨期速度脱钩分析

由于资源环境消耗到产生经济效益需要一定的时间,因此 Tapio 在提出这种方法时曾建议将测算的时间区间设定为 5~10 年。关于时间区间的设定,本文也曾考虑按照我国经济发展五年规划的时间段来做划分,但是 5 年规划实际上仅仅包含了 4 个发展速度,低于 5~10 年的建议,所以本文按每个区间包含 7 年环比发展速度来研究跨期速度脱钩。由于本文研究期限为 1987—2017 年,因此最后一个区间包含 9 年环比发展速度,具体计算结果如表 4 所示。

表 4 跨期速度脱钩弹性系数和状态

区间	% Δ CO ₂	% Δ Y	e(CO ₂ , Y)	状态
1987—1994	0.4263	-0.1905	-2.2378	强负脱钩
1994—2001	0.0031	0.4647	0.0067	弱脱钩
2001—2008	1.3918	1.1782	1.1813	增长连接
2008—2017	0.4243	0.9227	0.4598	弱脱钩

从表 4 跨期速度脱钩分析的结果来看,制造业碳排放和制造业经济在 1987—1994 年呈现强负脱钩状态,这一时期制造业产出下降,但是碳排放在增加。1994—2001 年呈弱脱钩状态,这一阶段制造业经济在增长,碳排放也在增加,但碳排放的增速低于产出的增速,是一种次优状态。2001—2008 年呈现增长连接状态,这一阶段制造业经济增长,碳排放也在增加,碳排放的增速大于制造业经济的增速,由于我国自 2003 年正式进入重工业化阶段,重工业快速发展,对各类能源的需求也快速增长,最终造成 2003 年之后碳排放量的快速增加。2008—2017 年呈弱脱钩状态,此时碳排放的增速小于制造业经济的增速,由此来看,自 2008 年以来,虽然我国制造业在节能减排方面取得了一定成效,但碳排放所带来的环境压力问题仍不容忽视。

2.3 制造业碳排放和制造业经济数量脱钩分析

对制造业碳排放和经济建立扩展的 EKC 模型,进行数量脱钩分析,首先需要对数据序列进行单位根检验。本文利用 Eviews6.0,使用 Augment Dickey Fuller (ADF) 检验方法对制造业碳排放量、制造业增加值、制造业能源效率、能源消费结构、政策因素进行单位根检验,滞后阶数由 AIC 最优准则确定,检验结果如表 5 所示。由表 5 可知,所有的原始变量在 10% 的显著性水平下都是不平稳的,但其一阶差分序列均在 10% 的显著性水平上平稳,符合同阶单整的关系,因此可以对原序列建立扩展的 EKC 模型进行分析。

表 5 变量平稳性检验

变量	lnTC	lny	lnEE	lnCoal	Dummy	结果
水平	-2.5438 (0.3065)	-2.6440 (0.2654)	2.4235 (0.9950)	-0.9949 (0.9293)	0.0000 (0.6745)	不平稳
一阶差分	-1.8691 (0.0597)	-2.1581 (0.0320)	-3.2266 (0.0023)	-4.7912 (0.0000)	-5.1962 (0.0000)	平稳

在公式(3)与公式(4)的基础上,逐次引入制造业能源效率、制造业能源消费结构和政策因素3个变量,各模型的参数估计和检验结果如表6所示。根据模型1~模型4的回归结果知,各模型均不存在异方差,且自相关已消除,各模型整体显著,且拟合效果较好。

根据表6的模型2~模型4可知,制造业增加值的一次项为负值,二次项为正值,三次项为负值,表明我国制造业增加值和碳排放之间的关系呈倒“N”型关系,其中,制造业的能源效率系数为正,且显著,表明制造业发生能源回弹效应,单要素能源效率的提高会导致制造业碳排放的增加。制造业能源消费结构为正,且显著,表明煤炭消费的增加会显著促进碳排放的增加。将政策因素的虚拟变量引入模型后,系数虽然为负,但在10%的显著性水平上不显著,由此说明政策因素的作用力度还不够充分,我国制造业的环境保护政策仍有待加强。

对比表6中的模型1~模型4,由于模型4不仅考虑了制造业增加值较高次项的影响,并且将制造业能源效率、能源消费结构和政策因素考虑在内,使模型结果更加完善和可靠。因此,最终选定模型4来计算制造业碳排放的两个拐点,利用数学中导数为零的点计算得到制造业碳排放的两个拐点:2012.54亿元和34060.72亿元。对比不变价制造业增加值可知,2017年的制造业不变价增加值为1.26万亿,远未达到第二个拐点,说明我国制造业2017年仍然处在倒“N”型曲线第一个拐点和第二个拐点之间,即制造业碳排放和经济增长仍处在制造业碳排放随制造业经济的增加而增加的阶段,从数量上来看,二者还没有发生脱钩。

2.4 制造业速度脱钩和数量脱钩之间的关系

脱钩分析的目的在于判断我国制造业当前是处于“两难境地”还是已经进入“双赢区间”,以便为经济发展和环境保护政策的制定提供依据。从速度脱钩的分析结果来看,我国制造业2016—2017年的逐年速度脱钩是弱脱钩状态,2008—2017年的跨期速度脱钩仍为弱脱钩状态,因此,当前我国制造业速度脱钩为弱脱钩状态。但是从数量脱钩的结果来看,我国制造业经济目前仍处在未发生脱钩的区间,即处于图1“环境高山”的左侧区间,因此数量上未发生脱钩。综合速度脱钩和数量脱钩分析,我国制造业经济增长和碳排放关系处于图1中A点和B点之间的区间,因此,我国制造业当前仍处于碳排放和经济增长的“两难境地”。

表6 环境库兹涅茨曲线及检验

模型	常数项	lny	(lny) ²	(lny) ³	lnEE	lnCoal	dummy	F 统计量	修正的 R ²	曲线图
模型 1	32.180 (0.001)	-5.370 (0.014)	0.360 (0.006)					651.530 (0.000)	0.999	“U”型
模型 2	231.620 (0.059)	-77.270 (0.078)	8.970 (0.086)	-0.340 (0.098)				562.140 (0.000)	0.999	倒“N”型
模型 3	229.940	-74.550	8.480	-0.320	1.250	0.790		1847.120	0.979	倒“N”型

	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.008)		(0.000)		
模型 4	227.880 (0.000)	-73.830 (0.000)	8.390 (0.000)	-0.310 (0.000)	1.310 (0.000)	0.780 (0.001)	-0.140 (0.269)	1563.840 (0.000)	0.979	倒“N”型

3 结论和建议

第一，从逐年速度脱钩的角度来讲，2016—2017 年我国制造业经济在增长，碳排放也在增加，但碳排放增长率低于制造业的经济增速，呈弱脱钩状态。从跨期速度脱钩的角度来讲，制造业经济和碳排放大致经历了由强负脱钩，到弱脱钩，到增长连接，再到弱脱钩的转变，2001—2008 年呈增长连接状态，2008—2017 年呈弱脱钩状态，其前后转变说明，虽然我国的节能减排政策已取得一定的成效，但碳排放问题仍不容小觑。

第二，从数量脱钩的角度来讲，我国制造业经济和碳排放之间呈倒“N”型关系。制造业碳排放和经济的环境库兹涅茨曲线的两个拐点分别为 2012.54 亿元和 34060.72 亿元，我国 2017 年不变价制造业增加值为 1.26 万亿，当前制造业经济仍处在第一个拐点和第二个拐点之间，因此，二者还没有发生脱钩。此外，单要素能源效率和制造业碳排放呈正相关，能源消费结构和制造业碳排放呈正相关，政策因素不显著，说明我国制造业的环境保护政策仍有待加强。

第三，从速度脱钩与数量脱钩综合分析结果来讲，我国制造业在未来较长时期内仍伴随碳排放量的增加，即图 1 中 A 点和 B 点之间的状态，二者当前处于“两难境地”，而非“双赢区间”，并且在短期内不会进入“双赢区间”。

根据以上结论，本文就制造业碳排放和制造业经济提出以下“适度管控”建议：

(1) 加大制造业节能减排的政策力度。虽然我国的节能减排政策已经取得一定成效，但政策的延伸性和重视程度仍然应当继续保持。政府部门应鼓励省份之间加强减排合作，各省份应考虑自身的能源消耗和经济发展情况，制定出“共同但有区别”的减排政策，实现各省份和区域间碳排放的联合治理。

(2) 优化制造业的产业结构。整合制造业内部结构，鼓励低耗能和低污染的制造企业优先发展，管控高耗能和高排放的制造企业，积极推进工业战略新兴产业的发展，尤其推进高技术制造业的升级优化，控制碳排放的存量和增量，做好经济增长和环境保护长期攻坚战准备。

(3) 逐步转变制造业的能源消费结构。转变传统以煤炭、石油为主的化石能源消费结构，重视清洁能源项目的发展，加大风能、水能、太阳能的开发和利用，提高清洁能源在制造业中的能源消耗率和能源利用率，逐步实现清洁能源替代化石能源的使用，通过转变经济的发展方式，走出一条经济增长与环境保护协调发展的道路。

参考文献：

[1]Zhang Z X.Decoupling China' s carbon emissions increase from economic growth:An economic analysis and policy implications[J].World Development,2000,28 (4):739-752.

[2]OECD.Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth[R].Paris:OECD,2002.

[3]Tapio P.Towards a theory of decoupling:Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland

between 1970 and 2001[J]. Journal of Transport Policy, 2005, 12(2):137-151.

[4]王菲, 董锁成, 毛琦梁. 中国工业结构演变及其环境效应时空分异[J]. 地理研究, 2014(10): 1793-1806.

[5]胡渊, 刘桂春, 胡伟. 中国能源碳排放与 GDP 的关系及其动态演变机制——基于脱钩与自组织理论的实证研究[J]. 资源开发与市场, 2015(11): 1358-1362.

[6]林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009(3): 27-36.

[7]李国志, 李宗植. 中国二氧化碳排放的区域差异和影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010(5): 22-27.

[8]陈德湖, 张津. 中国碳排放的环境库兹涅茨曲线分析——基于空间面板模型的实证研究[J]. 统计与信息论坛, 2012(5): 48-53.

[9]周少甫, 赵明玲, 苏龙. 中国碳排放库兹涅茨曲线实证研究——基于 Gregory-Hansen 协整分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015(9): 1471-1476.

[10]周塔尔才让. 中国二氧化碳排放环境库兹涅茨曲线的验证[J]. 经济论坛, 2014(11): 137-160.

[11]顾宁, 姜萍萍. 中国碳排放的环境库兹涅茨效应识别与低碳政策选择[J]. 经济管理, 2013(6): 153-163.

[12]胡宗义, 刘亦文, 唐李伟. 低碳经济背景下碳排放的库兹涅茨曲线研究[J]. 统计研究, 2013(2): 73-79.

[13]王维国, 孟军. 中国经济持续增长下的碳减排对策研究——基于 LSTR 模型的二氧化碳环境库兹涅茨曲线[J]. 统计与信息论坛, 2013(4): 31-37.

[14]盛业旭, 欧名豪, 刘琼. 资源环境脱钩测度方法: “速度脱钩”还是“数量脱钩”?[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(3): 99-103.

[15]郑长德, 刘帅. 基于空间计量经济学的碳排放与经济增长分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(5): 80-86.