

循环经济与低碳经济的关系分析

——基于资源生产率

贺业方¹, 朱 兵^{1,2}, 洪丽云¹, 周文戟¹

(1. 清华大学 化学工程系, 北京 100084; 2. 清华大学 循环经济研究院, 北京 100084)

摘 要: 循环经济和低碳经济都是实现可持续发展的生产方式和生活方式, 发展循环经济和低碳经济的根本共同点在于均需要提高广义资源生产率(生态效率), 不同点在于实现可持续发展的途径和突破点等不同。本文基于资源产出率的理论分析、情景分析和实证研究, 探讨了通过发展循环经济促进碳减排的途径。本文认为, 通过提高资源生产率来提高碳生产率是可行的, 其效果是资源效率效应和资源结构效应的叠加, 可以此表征循环经济和低碳经济的相互关系。最后, 我国 1990—2005 年的数据进行了实证分析。

关键词: 循环经济; 低碳经济; 资源生产率; 碳减排

中图分类号: F062 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002- 980X(2010) 12- 0068- 06

1987 年, 世界环境与发展委员会第一次阐述了可持续发展(sustainable development)的概念, 以应对日益严重的经济发展与资源环境之间的矛盾。作为实现可持续发展的生产方式和生活方式, “循环经济”和“低碳经济”先后应运而生。

循环经济(circular economy)的思想是 1990 年由英国环境经济学家珀斯和特纳首次提出的。它是一种以资源的高效利用和循环利用为核心, 以“减量化、再利用、资源化”为原则, 以低消耗、低排放、高效率为特征, 符合可持续发展理念的经济增长模式^[1]。2003 年, 英国政府发表了题为《我们未来的能源: 创建低碳经济》(Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy)的“能源白皮书”, 首次提出了“低碳经济”的概念^[2]。低碳经济以低能耗、低排放、低污染为基本特征, 以减小碳基能源对于气候变暖的影响为基本要求, 以实现经济社会的可持续发展为基本目的^[3]。

1 概念界定与对比

低碳经济与循环经济在内涵上有着怎样的内在联系, 发展循环经济与发展低碳经济是否可以并举, 这些问题都值得深入地探讨。特别是, 在我国发展循环经济成为国家战略以后, 是否可以把低碳经济纳入到循环经济的框架下, 通过循环经济实现低碳

经济发展, 相关问题已经开始受到广泛的关注。国内外一些学者开始对这一问题进行了研究^[4-6], 从概念内涵上做了较深入的分析和比较, 得到了一些有意义的结论。本文在以往研究的基础上, 从资源生产率的视角进行分析, 进一步深化拓展研究二者关系。

1.1 资源生产率的概念

资源生产率是一个效率指标, 衡量生产活动使用自然资源的效率。它可以定义为每单位自然资源的投入所带来的产出, 是一个国家(地区、行业、企业等)社会经济价值的量度和资源投入的实物量之间的比值^[7]。

资源生产率的模型可以表示为:

$$\text{资源生产率} = \frac{\text{经济发展(价值量)}}{\text{资源使用(实物量)}}$$

可以看出, 资源生产率的实质是用更少的(资源)投入获得更多的产出(making more with less), 是衡量可持续发展的一个重要方面。

根据对“资源”和“环境”两个概念之间相互关系的不同理解, 资源生产率有狭义和广义之分。狭义的资源生产率(即一般意义上的“资源生产率”)中的“资源”, 仅指以实物形态存在的自然资源, 如能源、矿产资源、水等, 不包括自然环境因素, 那么如能源生产率、水生产率等就都属于狭义资源生产率。而

收稿日期: 2010- 09- 03

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2009BAC64B01)

作者简介: 贺业方(1986—), 男, 辽宁沈阳人, 清华大学化学工程系硕士研究生, 研究方向: 化工技术经济; 朱兵(1967—), 男, 四川宣汉人, 清华大学循环经济研究院副研究员, 博士, 研究方向: 化工及能源技术经济, 中国技术经济研究会会员 登记号: 1030100604S; 洪丽云(1986—), 女, 福建漳州人, 清华大学化学工程系硕士研究生, 研究方向: 化工技术经济; 周文戟(1982—), 男, 湖北黄冈人, 清华大学化学工程系博士研究生, 研究方向: 能源化工技术评价。

广义资源生产率中“资源”的概念把自然环境也包括在其中,认为自然环境也是一种资源,即环境资源,也是经济活动中的投入要素,对环境的污染可以看作作为“环境资源被投入或被消耗”。废水排放生产率、废气排放生产率等属于广义资源生产率。

1.2 循环经济与低碳经济的概念对比

从资源生产率的视角来看,发展循环经济与低碳经济的根本共同点在于提高广义资源生产率(生态效率)。可以说,二者是提高广义资源生产率的不同经济发展模式。二者的相同点和不同点如表1所示。

循环经济侧重从资源利用(经济系统输入端)的

表1 循环经济与低碳经济的对比

对比的方面	循环经济	低碳经济
实现可持续发展的角度	资源利用的角度,经济系统的输入端	环境影响的角度,经济系统的输出端
核心内涵	提高资源利用效率	减少温室气体排放
实现措施	物尽其用、变废为宝、化害为利	提高能源效率、调整能源结构
目的	缓解资源与经济增长的矛盾	缓解全球气候变暖的压力
评价指标	(狭义)资源生产率	碳生产率
相同点	①都是可持续发展理念下的生产方式和生活方式;②共同本质是提高广义资源生产率(生态效率)	

发展循环经济和低碳经济都需要“提高广义资源生产率”,这一共性并非偶然的。从循环经济和低碳经济概念的缘起来说,它们都是在可持续发展理念下提出的新的生产方式和生活方式。广义资源生产率(生态效率)正是可持续发展的一个重要量度。

2 理论分析模型

21世纪初,围绕温室气体二氧化碳的排放,日本学者茅阳一(Kaya Yoyichi)提出了著名公式的“卡亚公式”:

$$E = POP \times \frac{GDP}{POP} \times \frac{EC}{GDP} \times \frac{E}{EC} \quad (1)$$

式(1)中: E 为二氧化碳排放量; POP 为人口总量; GDP 为国内生产总值; EC 为能源消费总量。

把卡亚公式中的能源消费总量用资源消费总量(DMC)替代并整理,得到

$$\frac{GDP}{DMC} = \frac{GDP}{E} \times \frac{E}{DMC} \quad (2)$$

按照资源生产率的概念,式(2)左端的 GDP/DMC 即为资源生产率(RP ,本节中的资源生产率均为狭义概念,下同);右端的 GDP/E 为碳生产率(CP), E/DMC 为资源结构(RS ,也称单位资源含碳量、单位资源消耗的二氧化碳排放)。式(2)可以进一步表示为:

$$RP = RS \times CP \quad (3)$$

$$\text{即 } CP = \frac{RP}{RS} \quad (4)$$

角度实现可持续发展,其核心是资源的高效利用,理念是物尽其用、变废为宝、化害为利,目的是提高资源的利用效率和效益,评价指标是资源生产率。概括来说,循环经济是从资源利用的角度评价经济发展的资源成本,因此,其核心是提高狭义资源生产率。

低碳经济侧重从环境影响(经济系统输出端)的角度实现可持续发展,其核心是减少温室气体排放,理念是提高能源效率、调整能源结构,目的是缓解全球变暖的压力,评价指标是碳生产率。概括来说,低碳经济是从保护环境的角度评价经济发展的环境代价,因此,其核心是提高碳生产率。

式(3)和式(4)建立了资源生产率和碳生产率的关系,也建立了循环经济和低碳经济的联系。从中可以看出,碳生产率与资源生产率存在着正相关的关系。也就是说,通过发展循环经济、提高资源生产率,可以促进碳生产率的提高,实现碳减排的目标。

2.1 碳生产率和资源生产率的关系

设 α 为单位资源消耗碳排放的增长率, β 为资源生产率的增长率, δ 为碳生产率的增长率,则有

$$RS_t = RS_0(1 + \alpha)^{t-t_0} \quad (5)$$

$$RP_t = RP_0(1 + \beta)^{t-t_0} \quad (6)$$

$$CP_t = CP_0(1 + \delta)^{t-t_0} \quad (7)$$

由 $RS_t = RS_0(1 + \alpha)^{t-t_0} = \frac{RP_0}{CP_0}(1 + \alpha)^{t-t_0}$ 、 $RS_t = \frac{RP_t}{CP_t} = \frac{RP_0}{CP_t}(1 + \beta)^{t-t_0}$,得

$$\frac{CP_t}{CP_0} = \frac{(1 + \beta)^{t-t_0}}{(1 + \alpha)^{t-t_0}} = \left(\frac{1 + \beta}{1 + \alpha}\right)^{t-t_0} = (1 + \delta)^{t-t_0} \quad (8)$$

$$\delta = \frac{1 + \beta}{1 + \alpha} - 1 = \frac{\beta - \alpha}{1 + \alpha} \quad (9)$$

由此可知:

①当 $\beta > \alpha$,即资源生产率增长率大于单位资源消耗碳排放增长率时, $\delta > 0$,即碳生产率逐年增大,表明经济系统的碳排放效率是提高了,社会朝着低碳经济的方向发展。

②当 $\beta < \alpha$,即资源生产率增长率小于单位资源消耗碳排放增长率时, $\delta < 0$,即碳生产率逐年减小,表明经济系统的碳排放效率是降低的,社会背离

低碳经济的发展方向。

③当 $\beta = \alpha$, 即资源生产率增长率等于单位资源消耗碳排放增长率时, $\delta = 0$, 即碳生产率不变。

2.2 碳生产率与非能源资源生产率的关系

上面已经讨论资源生产率提高与碳生产率提高的关系。一般认为, 化石燃料的消耗是产生二氧化碳等温室气体的主要原因。那么, 非能源资源生产率的提高是否有利于碳减排? 为研究这一问题, 把资源分为能源和非能源两类, 即

$$DMC = EC + NEC. \quad (10)$$

式(10)中, EC 为能源消耗, NEC 为非能源的资源消耗。

由此可知,

$$RP = \frac{EP \times NEP}{EP + NEP}. \quad (11)$$

式(11)中, EP 为能源资源生产率, NEP 为非能源资源生产率。

代入到(3)式, 得

$$\frac{EP \times NEP}{EP + NEP} = CP \times RS. \quad (12)$$

假设能源生产率(EP)和资源结构(RS)保持不变, 两边对非能源资源生产率(NEP)求导, 得

$$RS(EP + NEP) \frac{\partial NEP}{\partial CP} = (EP - RP). \quad (13)$$

由 $EC < DMC$, 知 $EP > RP$ 、 $EP - RP > 0$ 。又 $RS(EP + NEP) > 0$, 整理可得:

$$\frac{\partial CP}{\partial NEP} > 0. \quad (14)$$

由此可知, 当能源生产率和单位资源消耗的二氧化碳排放均保持不变时, 碳生产率随着非能源资源生产率的提高而提高。所以, 通过发展循环经济, 提高资源生产率, 可以发展低碳经济, 促进碳减排目标的实现。

3 情景分析

由以上分析可以看出, 资源生产率可以分解为碳生产率与单位资源消耗碳排放的乘积。图 1 在坐标图上给出了三者之间的关系, 并提供了分析循环经济与低碳经济发展的有效工具。

在图 1 中, 纵轴表示经济系统的资源生产率, 横轴表示经济系统的碳生产率, 图中的每一点都表示经济系统在某一状态下的情况, 过该点和原点的直线的斜率表示经济系统的资源结构(单位资源消耗的碳排放)。假设经济系统处于 A 点, 其资源生产率为 RP_0 、碳生产率为 CP_0 、资源结构为 RS_0 。过 A 点作垂直于横轴和纵轴的直线, 把整个坐标图分成 4 个部分, 每部分各自代表了经济系统与 A 点相比

的 4 种发展情况。

I 区: $RP > RP_0$ 、 $CP > CP_0$, 循环经济和低碳经济都得到发展。

II 区: $RP > RP_0$ 、 $CP < CP_0$, 循环经济得到发展, 低碳经济未得到发展。

III 区: $RP < RP_0$ 、 $CP < CP_0$, 循环经济和低碳经济都未得到发展。

IV 区: $RP < RP_0$ 、 $CP > CP_0$, 循环经济未得到发展, 低碳经济得到发展。

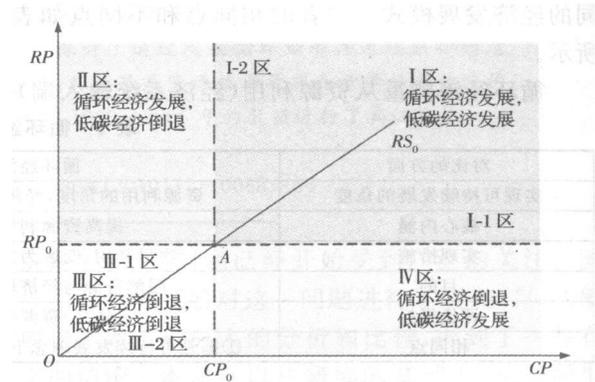


图 1 循环经济和低碳经济发展的不同情况

同时, 也可以通过直线 OA 把坐标图分成两部分, 直线 OA 右侧的点代表资源结构优化, 即单位资源消耗的碳排放降低; 直线 OA 左侧的点代表资源结构劣化, 即单位资源消耗的碳排放提高。直线 OA 又把 I 区和 III 区分成了 I-1 区和 I-2 区, III-1 区和 III-2 区。

对(3)式两边分别求导, 得

$$\Delta RP = CP \times \Delta RS + \Delta CP \times RS. \quad (15)$$

变形, 得

$$\frac{\Delta CP}{CP} = \frac{\Delta RP}{RP} - \frac{\Delta RS}{RS}. \quad (16)$$

从式(16)中可以看出, 碳生产率的变化可以分解为两个部分, 一部分是由资源生产率的变化所引起的, 与资源生产率的变化存在正相关; 另一部分是由单位资源消耗的二氧化碳排放变化所引起的, 与资源生产率的变化存在负相关。前者称为“资源效率效应”, 后者称为“资源结构效应”。“资源效率效应”和“资源结构效应”都可能为正, 也可能为负, 最终碳生产率变化的方向和大小取决于二者之和。

结合图 1 进行分析, 假设经济系统的初始状态为 A , 经过一年的时间以后, 可能出现 4 种情况:

(1) 情景 1: 终点状态落在 II 区(如图 2 中的 B 点)。

如图 2 所示, 过 A 点作横轴的平行线, 交 OB 于 B_1 点, 再过 B_1 点作横轴的垂直线, 与过 B 点的横轴平行线交于 B_2 点。图 2 中, AB_1 为资源结构效

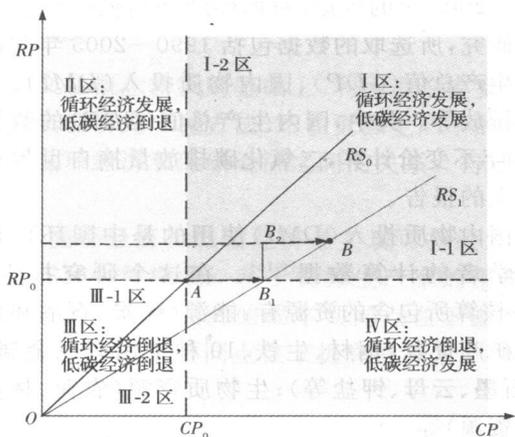


图2 终点落在I区的情景

应, B_1B_2 为资源效率效应。资源结构效应为正, 资源效率效应为正, 二者的和效应也为正, 即碳生产率增加。

以上是以 B 点落在 I-1 区为例来说明的。 B 点落在 I-2 区的情况与此相类似, 只不过此时资源结构效应为负, 资源效率效应为正, 且资源效率效应的绝对值大于资源结构效益的绝对值, 和效应仍然为正, 即碳生产率增加。

在这种情况下, 经济系统通过发展循环经济实现了碳减排, 且循环经济和低碳经济都获得了发展。

(2) 情景 2: 终点状态落在II区(如图3中的C点)。

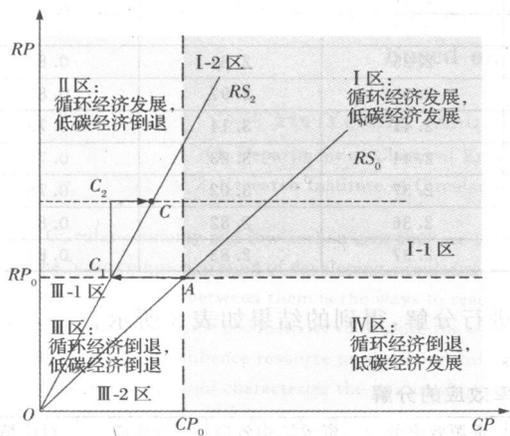


图3 终点落在II区的情景

如图3所示, 过 A 点作横轴的平行线, 交 OC 于 C_1 点, 再过 C_1 点作横轴的垂直线, 与过 C 点的横轴平行线交于 C_2 点。图3中, AC_1 为资源结构效应, C_2C 为资源效率效应。资源结构效应为负, 资源效率效应为正, 且资源效率效应的绝对值小于资源结构效应, 二者的和效应为负, 即碳生产率降低。

在这种情况下, 虽然循环经济得到了发展, 且对低碳经济有促进的作用, 但由于资源结构劣化, 因此

低碳经济没有得到发展。

(3) 情景 3: 终点状态落在III区(如图4中的D点)。

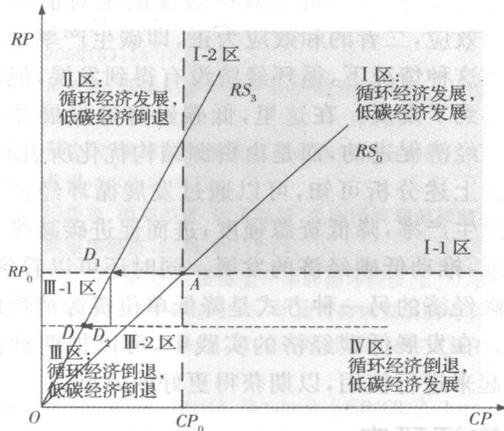


图4 终点落在III区的情景

如图4所示, 过 A 点作横轴的平行线, 交 OB 于 D_1 点, 再过 D_1 点作横轴的垂直线, 与过 D 点的横轴平行线交于 D_2 点。图4中, AD_1 为资源结构效应, D_2D 为资源效率效应。资源结构效应为负, 资源效率效应为负, 二者的和效应也为负, 即碳生产率降低。

以上是以 D 点落在 III1 区为例来说明的。 B 点落在 III2 区的情况与此相类似, 只不过此时资源结构效应为正, 资源效率效应为负, 且资源效率效应的绝对值大于资源结构效益的绝对值, 和效应为负, 即碳生产率降低。

在这种情况下, 经济系统在循环经济和低碳经济方面都发生倒退。

(4) 情景 4: 终点状态落在IV区(如图5中的E点)。

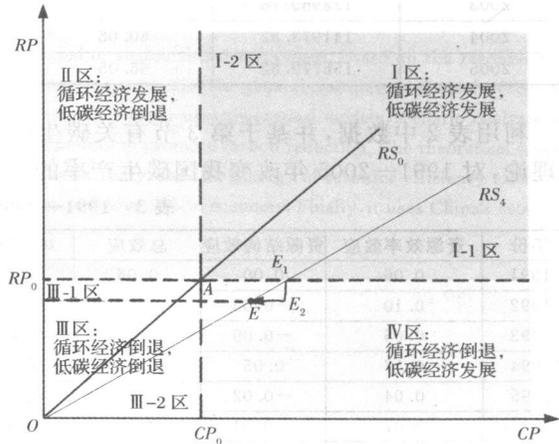


图5 终点落在IV区的情景

如图5所示, 过 A 点作横轴的平行线, 交 OC 于 E_1 点, 再过 E_1 点作横轴的垂直线, 与过 E 点的横

轴平行线交于 E_2 点。图 5 中, AE_1 为资源结构效应, E_2E 为资源效率效应。资源结构效应为正, 资源效率效应为负, 且资源效率效应的绝对值小于资源结构效应, 二者的和效应为正, 即碳生产率增加。

在这种情况下, 循环经济没有得到发展, 但低碳经济得到了发展。在这里, 低碳经济的发展并不是由循环经济促进的, 而是由资源结构优化所引起的。

由上述分析可知, 可以通过发展循环经济来提高资源生产率, 降低资源强度, 进而促进碳减排目标的实现, 推动低碳经济的发展。同时还可以看到, 推动低碳经济的另一种方式是降低单位资源消耗的碳排放。在发展低碳经济的实践中, 可以把两种措施结合起来进行使用, 以期获得更好的效果。

4 实证研究

在第 3 节理论探讨的基础上, 本文基于我国

1990—2005 年的数据, 对循环经济与低碳经济进行实证研究, 所选取的数据包括 1990—2005 年我国的国内生产总值(GDP)、国内物质投入(DMI)、二氧化碳排放等。其中, 国内生产总值(GDP)的数据按 2000 年不变价计算, 二氧化碳排放量摘自世界银行网站上的报告。

国内物质投入(DMI)使用的是中国环科院段宁等学者的计算数据^[9-10]。在这个研究报告中, DMI 核算所包含的资源有: 能源(煤炭、石油和天然气); 矿产资源(钢材、生铁、10 种常用有色金属、水泥、石墨、云母、钾盐等); 生物质资源(农业、林业和渔业资源)等。

运用这些数据, 分别求算我国 1990—2005 年的资源生产率(RP)、单位资源消耗的二氧化碳排放(RS)以及碳生产率(CP), 结果如表 2 所示。

表 2 1990—2005 年我国资源生产率、碳生产率和单位资源消耗的碳排放

年份	GDP (亿元)	DMI (亿吨)	碳排放 (亿吨)	RP (元/千克)	CP (元/千克)	RS (吨/吨)
1990	36779.50	25.76	24.00	1.43	1.53	0.93
1991	40161.07	27.12	25.19	1.48	1.59	0.93
1992	45879.71	29.24	26.43	1.57	1.74	0.90
1993	52277.28	32.3	27.87	1.62	1.88	0.86
1994	59118.77	33.51	29.58	1.76	2.00	0.88
1995	65581.62	36.52	31.98	1.80	2.05	0.88
1996	72148.92	38.88	33.40	1.86	2.16	0.86
1997	78846.78	40.08	32.89	1.97	2.40	0.82
1998	85022.39	39.7	31.07	2.14	2.74	0.78
1999	91511.36	40.64	32.56	2.25	2.81	0.80
2000	99214.55	41.56	33.37	2.39	2.97	0.80
2001	107453.06	43.44	34.20	2.47	3.14	0.79
2002	117219.14	47.96	36.26	2.44	3.23	0.76
2003	128969.78	54.53	42.68	2.37	3.02	0.78
2004	141973.82	60.06	50.37	2.36	2.82	0.84
2005	156779.62	66.05	55.47	2.37	2.83	0.84

利用表 2 中数据, 并基于第 3 节有关碳生产率的理论, 对 1991—2005 年改变我国碳生产率的两种

效应进行分解, 得到的结果如表 3 所示。

表 3 1991—2005 我国碳生产率效应的分解

年份	资源效率效应	资源结构效应	总效应	对应情景	年份	资源效率效应	资源结构效应	总效应	对应情景
1991	0.06	0.00	0.06	情景 1	1999	0.14	0.06	0.07	情景 1
1992	0.10	-0.05	0.15	情景 1	2000	0.17	0.01	0.16	情景 1
1993	0.06	-0.09	0.15	情景 1	2001	0.11	-0.06	0.17	情景 1
1994	0.17	0.05	0.12	情景 1	2002	-0.04	-0.13	0.09	情景 4
1995	0.04	-0.02	0.05	情景 1	2003	-0.10	0.10	-0.20	情景 3
1996	0.07	-0.04	0.11	情景 1	2004	0.00	0.19	-0.19	情景 2
1997	0.14	-0.11	0.25	情景 1	2005	0.01	0.00	0.01	情景 1
1998	0.22	-0.13	0.36	情景 1					

由此可以看出, 除 2002—2004 年以外, 我国循环经济和低碳经济的发展情景均为“情景 1”, 即循

环经济和低碳经济都得到了发展, 同时循环经济对低碳经济的发展有着比较好的促进作用。

5 结论

本文在概念辨析的基础上, 利用理论模型、情景分析和实证研究 3 种方法, 站在资源生产率的视角, 分析了循环经济和低碳经济之间的关系。得到如下结论:

(1) 循环经济和低碳经济是实现可持续发展的生产方式和生活方式。基于资源生产率的视角, 发展循环经济与低碳经济的根本共同点在于提高(广义)资源生产率, 其不同点在于提高资源生产率的角度和方法不同。

(2) 从理论上讲, 碳生产率与资源生产率存在着正相关的关系。发展循环经济、提高资源效率, 是实现碳减排的重要途径之一。

(3) 碳生产率的效应是资源效率效应与资源结构效应之和, 我们以此来表征循环经济和低碳经济的相互关系。

(4) 通过 1990—2005 年我国相关数据进行实证研究发现, 我国在除 2002—2004 年外的其他年份, 循环经济和低碳经济都得到了发展, 发展循环经济对实现碳减排有比较好的促进作用。

参考文献

[1] 马凯. 贯彻和落实科学发展观, 大力推进循环经济发展

[J]. 宏观经济管理, 2004(10): 4-9.
 [2] UK Government. Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy[R]. Energy White Paper, 2003.
 [3] 冯之浚, 牛文元. 低碳经济与科学发展[J]. 中国软科学, 2009(8): 13-19.
 [4] 周宏春. 低碳经济与循环经济的异同考量[J]. 前沿论坛, 2009(20): 17-22.
 [5] 郑志国. 碳排放可放在循环经济框架内解决[N]. 中国改革报, 2009-11-2(7).
 [6] 杨芙蓉. 循环经济、绿色经济、生态经济和低碳经济[J]. 中国集体经济, 2009, 30: 72-73.
 [7] 黄晓芬, 诸大建. 资源生产率和循环经济[C]// 邓楠. 2005 中国可持续发展论坛——中国可持续发展研究会 2005 年学术年会论文集(上册). 上海: 同济大学出版社, 2005: 140-144.
 [8] World Bank. World Databank [EB/OL]. <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do# ranking>.
 [9] 段宁, 柳楷玲, 孙启宏, 等. 基于 MFA 的 1995—2005 年中国物质投入与环境影响研究[J]. 中国人口资源与环境, 2008, 18(6): 105-109.
 [10] 段宁, 李艳萍, 孙启宏, 等. 中国经济系统物质流趋势成因分析[J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 68-72.

Analysis on Relationship between Circular Economy and Low-carbon Economy: Based on Resource Productivity

He Yefang¹, Zhu Bing^{1,2}, Hong Liyun¹, Zhou Wenji¹

(1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
 2. Research Institute of Circular Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Circular economy and low-carbon economy are two ways to achieve the goal of sustainable development. Based on the resource productivity, the basic common ground of developing circular economy and low-carbon economy is to raise the general resource productivity (resource efficiency), and the difference between them is the ways to reach sustainable development. This paper uses theoretical models, scenario analysis and empirical research on resource productivity to explore the ways to develop circular economy to promote carbon reduction. The theoretical models show that it is feasible to enhance resource productivity through increasing carbon productivity, and the synergy of resource efficiency effect and resource structure effect could characterize the relationship between circular economy and low-carbon economy. Finally, it uses China's economic data during 1990-2005 to verify this finding.

Key words: circular economy; low-carbon economy; resource productivity; carbon reduction