

附录. 以消费者效用最大化为目标的最优动态模型求解

$$\begin{aligned} & \max \int_0^{\infty} \left(\frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - \frac{P^{1+\varpi} + 1}{1+\varpi} \right) e^{-\rho' t} dt \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \dot{K} = Y - C \\ \dot{P} = \theta R - \vartheta P \\ Y = \left[\beta G^{\rho} + (1-\beta)M^{\rho} \right]^{\frac{\omega}{\rho}}, G = AK_G^{\alpha_1}, M = \mu AK_M^{\alpha_2} R^{\gamma} \end{cases} \end{aligned} \quad \text{附式 (1)}$$

其中, ρ' 为时间偏好率, 表示消费者现在消费和未来消费的边际替代率。

对上述问题构造现值哈密尔顿函数:

$$J = \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - \frac{P^{1+\varpi} + 1}{1+\varpi} + \lambda_1(Y - C) + \lambda_2(\theta R - \vartheta P) \quad \text{附式 (2)}$$

其中, 控制变量为 C 、 R , 协态变量为 K 、 P 。

该问题的一阶条件:

$$C^{-\sigma} = \lambda_1 \quad \text{附式 (3)}$$

$$\lambda_1 \frac{\partial Y}{\partial R} = -\lambda_2 \theta \quad \text{附式 (4)}$$

$$\dot{\lambda}_1 = \rho \lambda_1 - \lambda_1 \frac{\partial Y}{\partial K} \quad \text{附式 (5)}$$

$$\dot{\lambda}_2 = \rho \lambda_2 + P^{\omega} + \lambda_2 \vartheta \quad \text{附式 (6)}$$

解得消费的欧拉方程:

$$g_c = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\partial Y}{\partial K} - \rho' \right) \quad \text{附式 (7)}$$

附式 (6) 对时间求导

$$g_{\lambda_2} = \omega g_P \quad \text{附式 (8)}$$

附表 1 Tapio 脱钩指数及含义

		ΔX	ΔY	Tapio 脱钩指数	含义
负脱钩	增长负脱钩	+	+	>1.2	Y 增长且 X 增加，但 X 的增长率大于 Y 增长率
	强负脱钩	+	—	<0	Y 衰退，但 X 增加
	弱负脱钩	—	—	$0 < \text{Tapio} < 0.8$	Y 衰退且 X 降低，但 Y 的衰退率大于 X 衰退率
脱钩	弱脱钩	+	+	$0 < \text{Tapio} < 0.8$	Y 增长且 X 增加，但 Y 的增长率大于 X 增长率
	强脱钩	—	+	<0	Y 增长且 X 下降
	衰退脱钩	—	—	>1.2	Y 衰退且 X 降低，但 Y 的衰退率小于 X 衰退率
连接	增长连接	+	+	$0.8 < \text{Tapio} < 1.2$	Y 增长与 X 处于不脱钩状态
	衰退连接	—	—	$0.8 < \text{Tapio} < 1.2$	主要防止过度解释轻微变化

附表 2 我国各省份 2016—2020 年 Tapio 脱钩指数

省份	ΔCO_2	$\Delta ENERGY$	ΔGDP	TCO_2	$TENERGY$
贵州* ☒	+	+	+	0.5703(弱脱钩)	0.3701(弱脱钩)
河北* ☒	+	+	+	0.5202(弱脱钩)	0.5378(弱脱钩)
河南* ☒	+	+	+	0.2881(弱脱钩)	0.2613(弱脱钩)
黑龙江* ☒	+	+	+	0.4312(弱脱钩)	0.5106(弱脱钩)
辽宁 ☒	+	+	+	0.4732(弱脱钩)	0.4656(弱脱钩)
内蒙古* ☒	+	+	+	0.7821(弱脱钩)	0.8703(增长链接)
宁夏*	+	+	+	0.9520(增长链接)	1.0132(增长链接)
山东* ☒	+	+	+	0.3123(弱脱钩)	0.2103(弱脱钩)
山西* ☒	+	+	+	0.7839(弱脱钩)	0.9123(增长链接)
陕西* ☒	+	+	+	0.9016(增长链接)	0.8904(增长链接)
新疆* ☒	+	+	+	0.8029(增长链接)	1.4948(增长链接)
安徽	+	+	+	0.4612(弱脱钩)	0.3908(弱脱钩)
北京	—	—	+	—0.1756(强脱钩)	—0.0706(强脱钩)
福建	+	+	+	0.1303(弱脱钩)	0.2105(弱脱钩)
甘肃	+	+	+	0.0429(弱脱钩)	0.0813(弱脱钩)
广东	+	+	+	0.3142(弱脱钩)	0.1912(弱脱钩)
广西	—	—	+	—0.0809(强脱钩)	—0.0308(强脱钩)
海南	+	+	+	0.1171(弱脱钩)	0.1423(弱脱钩)
湖北	+	+	+	0.0802(弱脱钩)	0.1357(弱脱钩)
湖南	+	+	+	0.2753(弱脱钩)	0.1629(弱脱钩)
吉林	—	—	+	—0.4971(强脱钩)	—0.2601(强脱钩)
江苏	+	+	+	0.2347(弱脱钩)	0.1105(弱脱钩)
江西	+	+	+	0.3402(弱脱钩)	0.2805(弱脱钩)
青海	+	+	+	0.1958(弱脱钩)	0.3405(弱脱钩)
上海	—	—	+	—0.0643(强脱钩)	—0.0409(强脱钩)

四川	—	—	+	−0.4431(强脱钩)	−0.0319(强脱钩)
天津	—	—	+	−0.0923(强脱钩)	−0.0424(强脱钩)
云南	+	+	+	0.1516(弱脱钩)	0.0828(弱脱钩)
重庆	—	—	+	−0.0327(强脱钩)	−0.1101(强脱钩)

注：带*省份表示 2020 年原煤、原油和天然气产量总和排在前十位的省份，带☐省份表示 2020 年资源依赖度排前十位的省份。

附表 3 变量的内生性检验

原假设	H_0 ：变量是外生的							
变量	ζ_{it}	$LPGDP_{it}$	$INSTR_{it}$	$LRENEW_{it}$	$LGTI_{it}$	LPD_{it}	$INNRD_{it}$	$URBAN_{it}$
工具变量	ζ_{it-1}	$LPGDP_{it-1}$	$INSTR_{it-1}$	$LRENEW_{it-1}$	$LGTI_{it-1}$	LPD_{it-1}	$INNRD_{it-1}$	$URBAN_{it-1}$
P 值(被解释变量为碳脱钩指数)	0.0041	0.0054	0.1988	0.5961	0.7236	0.0001	0.0001	0.0000
P 值(被解释变量为能源脱钩指数)	0.0052	0.0039	0.1991	0.4007	0.9443	0.0043	0.0043	0.0092

注：表中的 P 值为 Durbin—Wu—Hausman 检验中 F 统计量对应的 P 值。

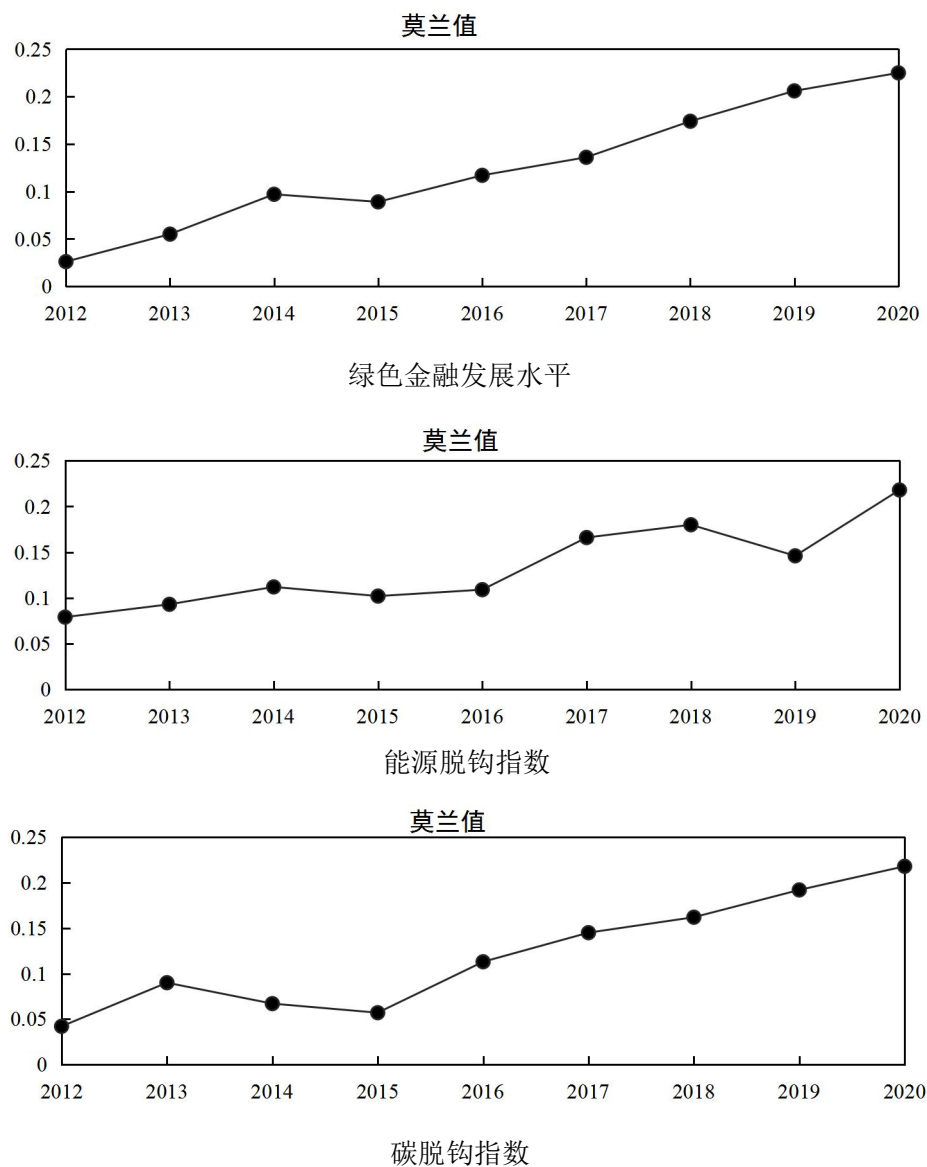
附表 4 变量的 LLC 检验

	TCO_2	$TENERGY$	ζ	CDF	$LPGDP$
Statistic	−1.6453	−2.6199	−10.5757	−2.3311	−5.5792
P 值	0.0499	0.0044	0.0000	0.0094	0.0000

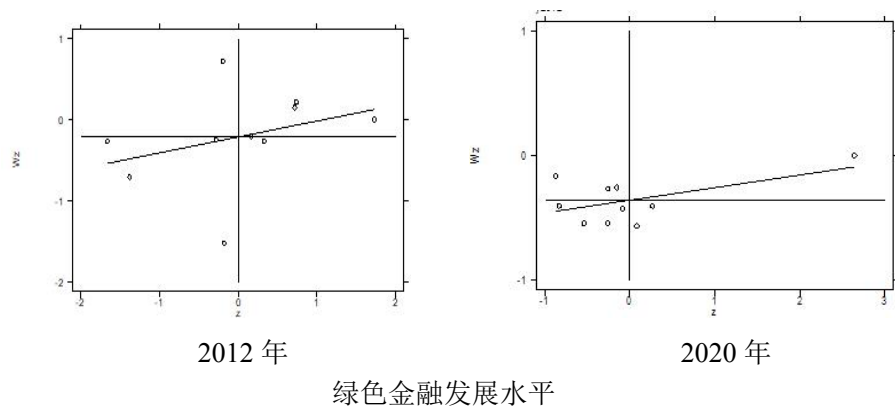
$INSTR$	$LRENEWEN$	$LGTI$	LPD	$INNRD$	$URBAN$
−7.0094	−3.3418	−5.5721	−6.6497	−3.9961	−4.9477
0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

附表 5 稳健性检验

	TCO_2		$TENERGY$	
	(1)	(2)	(3)	(4)
ζ_1	−0.0137** (−2.0400)	−0.0131** (−2.1300)		
ζ_2			−0.0184** (−2.0100)	−0.0109** (−2.1100)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
$Within-R^2$	0.1765	0.2321	0.1637	0.2190
N	90	90	90	90



附图 1 变量的 Moran 指数趋势图



绿色金融发展水平

