

（一）附录：地方工业绿色发展的衡量

绿色全要素生产率是从生产率视角衡量工业绿色发展较为理想的指标，而基于 SBM 方向性距离函数的 ML 指数测算绿色全要素生产率具有明显的优势（陈超凡，2016；李斌等，2016；原毅军和谢荣辉，2016；葛鹏飞等，2018；李江龙和徐斌，2018）。因而，这里选用非径向非角度 SBM 方向距离函数测算地级市绿色全要素生产率变化率，以衡量地方工业绿色发展。这里将中国每个地级市工业部门作为一个决策单元生产前沿（DMU）。假定每一个 DMU 均有投入向量、期望产出向量及非期望产出向量， N 种投入 $x = (x_1, \dots, x_n) \in R_N^+$ ，生产出 M 种期望产出 $y = (y_1, \dots, y_m) \in R_M^+$ ，以及排放 I 种非期望产出 $b = (b_1, \dots, b_i) \in R_I^+$ ，每个横截面的观测值权重为 λ_k^t ，运用数据包络分析可以将环境技术进行模型化：

$$p^t(x^t) \{ (p^t, b^t) : \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t \geq y_{km}^t, \forall m; \sum_{k=1}^K \alpha_{km}^t b_{km}^t, \forall i; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t = x_{kn}^t, \forall n; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t = 1, \lambda_k^t \geq 0, \forall k \} \quad (1)$$

根据 Tone (2003)，设定考虑能源环境的 SBM 方向性距离函数，具体表达式为：

$$S_v^t(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'}, g^x, g^y, g^b) = \max_{s^x, s^y, s^b} \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N \frac{s_n^x}{g_n^x} + \frac{1}{M+1} \left[\sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{g_m^y} + \sum_{t=1}^t \frac{s_i^b}{g_i^b} \right]}{2}$$

$$s. t. \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t + s_n^x = x_{kn}^t, \forall n; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{km}^t, \forall m;$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{ki}^t, \forall i; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t = 1, \lambda_k^t \geq 0, \forall k; s_n^x \geq 0, \forall n; s_n^y \geq 0, \forall i \quad (2)$$

上式中， S_v^t 表示的是 VRS 下的方向性距离函数，如果去掉权重变量和为 1 的约束，则使用 CRS 下的方向性距离函数。 $(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'})$ 、 (g^x, g^y, g^b) 分别为投入产出变量、方向变量， (s_n^x, s_m^y, s_i^b) 是松弛变量，反映了工业部门投入冗余与期望产出不足、非期望产出过剩的程度，还可以测量距观察点的最佳距离的偏差。松弛变量的值总是大于等于零，值越大，就表明投入过剩的情况越严重，工业期望产出越多，同时非期望产出也会越多。因此，当松弛变量中每个元素都为 0 时，观测值为最优。根据 Chung 等 (1997) 的测算方法，可得到 t 期和 $t+1$ 期绿色全要素生产率变化率 (GTFP) 的 ML 指数：

$$ML_t^{t+1} = GTFP = \left[\frac{\{1+D_0^t(x^t, y^t, b^t, g^t)\} \{1+D_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t, g^t)\}}{\{1+D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, g^{t+1})\} \{1+D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, g^{t+1})\}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式 (3) 中， x 表示工业部门的投入变量，包括资本、劳动和能源，工业期望产出变量 y 用工业总产值来度量，工业非期望产出包括工业废水排放量、工业烟尘排放量和工业废气排放量， g 为方向向量。

按照上述方法，这里选取 2009-2017 年我国 284 个地级市的相关数据，拉萨等城市由于数据缺失，未纳入研究样本。要素投入、期望产出和非期望产出的数据来源于国务院发展研究中心信息网和《中国城市统计年鉴》，描述性统计结果如表 1 所示。具体说明如下：①资本投入。参考董敏杰等 (2012)、李斌等 (2013)、原毅军和谢荣辉 (2016) 的做法，采用了规模以上工业企业固定资产净值年平均作为资本存量的估计值。②劳动投入。选取第二产业就业人数作为替代变量。③能源投入。借鉴王伟和孙芳城 (2018) 等文献的做法，选取城市工业用电量作为替代变量。④期望产出。选取城市工业总产值作为替代变量。由于能源的消费和环境的污染产生在工业的整个生产过程，既包括工业增加值的部分，包括中间投入的部分（董敏杰等，2012）。⑤非期望产出。选取工业废水排放量、工业烟尘排放量及工业二氧化硫排放量作为非期望产出进行考虑。

（二）附表

附表1 地级市工业投入与产出变量的描述统计结果

变量名称		均值	标准差	最小值	1/4分位数	中位数	3/4分位数	最大值
资本投入	固定资产价值（万元）	938.92	1,137.04	4.53	290.86	580.96	1,072.59	9,191.81
劳动投入	工业从业人员（万人）	25.84	36.75	0.43	7.92	14.21	26.72	429.13
能源投入	工业用电（万千瓦时）	58.34	90.389	0.05	11.05	29.38	61.99	805.76
期望产出	工业总产值（万元）	3,037.62	4,245.23	0.00	752.19	1,578.07	3,275.53	32,445.20
非期望产出	工业废水排放量（万吨）	7,257.7	8,713.84	7.00	2,456.00	4,782.00	8,620.50	86,804.00
	工业烟尘排放量（万吨）	3.58	15.00	0.00	0.99	1.95	3.68	520.00
	工业二氧化硫排放量（万吨）	5.12	5.37	2.00	2.04	4.21	7.48	62.70

附表2 主要变量的描述性分析

变量名称	变量名称	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
核心变量	工业绿色全要素生产率 <i>GTFP</i>	1.125	0.376	0.631	1.321	1.866
	环境规制执法程度 <i>ER</i>	0.397	0.198	0.045	0.356	0.974
	政府科技投入（万元） <i>FE</i>	23.096	54.753	0.015	9.827	280.126
控制变量	人力资本水平（年/人） <i>HR</i>	8.731	0.945	7.372	8.487	11.931
	外商直接投资（%） <i>FDI</i>	18.126	75.321	1.571	33.137	84.843
	资本深化（万元/人） <i>CS</i>	0.441	0.221	0.121	0.453	1.249
	财政自主权（%） <i>FA</i>	48.062	22.669	5.647	44.709	154.125
	信息化水平（万户） <i>IL</i>	75.478	151.76	0.002	40.00	5174.00

注：为了更好地反映变量的初始值，表中的结果是变量未取自然对数时的描述性统计值。

附表3 工具变量估计的控制变量结果（正文表2）

解释变量	模型1	模型2	模型3	模型4
<i>lnHR</i>		0.224*** (3.67)		0.192** (2.40)
<i>lnFDI</i>		0.091*** (3.50)		0.105*** (5.11)
<i>lnCS</i>		0.145** (2.18)		0.143*** (3.11)
<i>lnFA</i>		-0.227*** (-4.89)		-0.169*** (-2.66)
<i>lnIL</i>		0.126 (1.23)		0.108*** (4.18)
Number of id	284	284	284	284

附表4 长期效应估计的控制变量结果（正文表3）

解释变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5
	滞后1期	滞后2期	滞后3期	滞后4期	滞后5期
<i>lnHR</i>	0.018 (1.32)	0.005* (1.91)	0.016* (1.81)	0.131 (0.74)	0.173 (1.24)
<i>lnFDI</i>	0.117 (0.16)	0.051** (2.85)	0.063 (1.24)	0.009 (1.26)	0.069 (1.22)
<i>lnCS</i>	0.075 (0.86)	0.118*** (2.74)	0.085* (1.91)	0.179*** (4.93)	0.051 (0.32)
<i>lnFA</i>	-0.024 (-0.96)	-0.145 (-0.86)	-0.044 (-0.95)	-0.074 (-0.31)	-0.081 (-0.59)

<i>lnIL</i>	0.097*** (2.84)	0.094*** (2.88)	0.118*** (4.05)	0.126*** (6.47)	0.011 (0.15)
Number of id	284	284	284	284	284

附表5 协同效应的机制控制变量结果（正文表4）

	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7
被解释变量	<i>lnGTFP</i>	<i>lnEE</i>	<i>lnGTFP</i>	<i>lnPD</i>	<i>lnGTFP</i>	<i>lnPTC</i>	<i>lnGTFP</i>
中介效应	基准估计	节能效应		减排效应		产品技术含量提高效应	
估计步骤	第一步	第二步	第三步	第二步	第三步	第二步	第三步
<i>lnHR</i>	0.009 (0.64)	-0.036 (-0.95)	0.065** (2.19)	0.144 (0.26)	0.077 (0.89)	0.083* (1.77)	0.105** (2.23)
<i>lnFDI</i>	0.071*** (4.75)	-0.044** (-2.91)	0.016 (1.43)	0.181 (1.07)	0.012*** (3.71)	0.138 (0.66)	0.143*** (2.80)
<i>lnCS</i>	0.048*** (2.88)	-0.014*** (-2.79)	0.135*** (4.02)	-0.127*** (-3.07)	0.142*** (3.53)	0.039 (1.45)	0.032 (1.18)
<i>lnFA</i>	-0.118*** (-5.13)	0.021*** (3.15)	-0.059 (-0.97)	-0.081 (-0.93)	-0.051*** (-4.66)	-0.083*** (-4.14)	-0.059** (-2.19)
<i>lnIL</i>	0.039*** (2.77)	-0.138* (-1.79)	0.110 (2.79)	0.130 (0.47)	0.158** (2.05)	0.091*** (3.66)	0.061* (1.86)
Number of id	284	284	284	284	284	284	284

附表6 异质性估计的控制变量结果（正文表5）

解释变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5
	沿海城市虚拟变量	省会城市虚拟变量	资源型城市虚拟变量	时间虚拟变量 t_1	虚拟变量 t_2
<i>lnHR</i>	0.009 (0.64)	0.011 (0.77)	0.008 (0.57)	0.003 (0.22)	0.014 (1.05)
<i>lnFDI</i>	0.068*** (4.58)	0.062*** (4.64)	0.065*** (4.69)	0.069*** (4.73)	0.061 (0.55)
<i>lnCS</i>	0.051*** (3.18)	0.051*** (3.20)	0.051*** (3.19)	0.044*** (2.80)	0.036* (1.96)
<i>lnFA</i>	-0.089*** (-4.42)	-0.089*** (-4.39)	-0.093*** (-4.53)	-0.090*** (-4.59)	-0.082* (-1.88)
<i>lnIL</i>	0.040*** (2.82)	0.042*** (3.02)	0.041*** (3.42)	0.042*** (3.03)	0.035** (2.41)
Number of id	284	284	284	284	284