

DOI:10.19473/j.cnki.1008-4940.2020.02.002

# 我国制造业绿色转型及其影响因素研究

吴维香, 林寿富

(福建师范大学 经济学院, 福建 福州, 350117)

**[摘要]** 现阶段我国制造业主要面临产能过剩、创新不足、产业结构不合理等问题, 急需加快制造业绿色转型升级。利用基于理想窗宽的 DEA-BCC 视窗模型测算出制造业绿色转型效率, 判断我国制造业绿色转型的经济发展质量, 分析制造业绿色转型的影响因素和作用机理。将 28 个制造业行业分成高端、中端和低端技术产业, 分析环境规制、创新投入、创新产出、人才支撑、行业平均规模、市场需求等 6 个因素对整体制造业、各个不同组别绿色转型效率的作用方向及大小。研究表明, 在考虑能源消费与污染排放后, 不同种产业间的绿色转型效率具有一定差异性, 中、高端技术产业绿色转型效率接近, 而低端技术产业效率最低; 环境规制对中高端技术产业绿色转型起负向作用; 创新投入、创新产出、人才支撑、行业平均规模与市场需求等对制造业绿色转型起正向促进作用。

**[关键词]** 制造业; 绿色转型; 理想窗宽; DEA 视窗; 异质性

**[中图分类号]** F427 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-3300 (2020) 02-0001-11

制造业是一个国家重要的经济支柱, 能够较为客观地反映国家整体的生产力水平, 制造业的竞争是未来大国竞争的关键。2008 年全球金融危机之后, 许多发达国家为了重新建立制造业竞争优势, 实施“再工业化”国家战略, 以促进经济稳定发展。现阶段, 我国制造业主要面临高端制造业向发达国家回流、低端制造业市场流失的“双向挤压”, 制造业大而不强, 需要进一步加快制造业转型升级的步伐。我国制造业仍存在环境污染严重、资源利用率低、废弃污染物排放高等问题, 粗放型发展模式长期依赖于过度消耗能源、资源, 排放了大量污染物, 影响了经济的可持续发展。相关研究数据表明, 造成全球环境污染的排放物中有 70% 源于制造

业, 制造业每年大约产生 55 亿  $t$  无害废物和 7 亿  $t$  有害废物。为进一步促进经济的绿色可持续发展, 制造业绿色转型刻不容缓。“十九大报告”指出, 要把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国, 发展目标突出以“美丽”为主, 特别强调生态文明建设。《中国制造 2025》提出要全面推行绿色制造加快制造业绿色转型改造, 通过加大节能环保技术等研发力度, 降低制造业能耗, 建设并严密监控产品全生命周期和绿色制造体系, 以此形成制造业绿色转型的重要支撑和保障。

我国制造业绿色转型是大势所趋。制造业绿色转型是一种考虑环境和资源双效益的现代化制造新模式建立过程, 能促使产品从最初的采购、设计直

收稿日期: 2019-11-09

基金项目: 国家社会科学基金项目“绿色创新驱动我国制造业绿色转型的作用机理与模式研究”(16CJL020); 福建省高校新世纪优秀人才支持计划“基于创新价值链的福建省制造业绿色技术创新效率提升研究”(闽教科[2017]52号); 福建省科技厅创新战略研究项目“福建省‘十四五’与2020-2035科技发展指标预测研究”(2019R0122)。

作者简介: 吴维香(1993-), 女, 福建莆田人, 硕士研究生, 研究方向: 环境经济与管理;

林寿富(1981-), 男, 福建连城人, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向: 环境经济, 创新管理。

到最终的报废回收处理,实现最小化环境负面影响与高效化资源利用,从而兼顾环境与资源效益<sup>[1]</sup>。总体而言,制造业绿色转型就是指制造业由原来的粗放式经济发展模式转变为对资源环境友好、经济社会协调的新型发展模式,达到经济和环境效率的双赢。

### 一、文献综述

有关制造业绿色转型的研究尚少,以“制造业”“绿色转型”为主题词在中国知网上对SCI来源期刊、EI来源期刊、核心期刊、CSSCI进行搜索,结果只有13篇。以相关的主题词“工业绿色转型”搜索,有51篇,成果涉及绿色转型效率及其影响因素。因此本文从工业绿色全要素生产率、工业绿色转型效率来探索制造业的绿色转型效率及其影响因素。

关于工业绿色全要素生产率和工业绿色转型效率的研究较为丰富。周五七等<sup>[2]</sup>使用全局DEA方法和Malmquist-Luenberger生产率指数,计算出1998-2010年低碳导向的工业行业绿色TFP增长与TFP来源构成,在推动工业绿色全要素增长过程中,技术效率过低,整体上降低了工业绿色TFP,而制造业绿色TFP总体则呈现不断提升趋势,与重工业相比,轻工业绿色TFP增速较快。关于工业绿色转型的研究,张江雪等<sup>[3]</sup>运用DEA-BCC模型计算得到工业绿色增长指数,并运用随机效应的面板Tobit模型回归分析工业绿色增长指数的影响因素;彭星等<sup>[4]</sup>提出工业绿色转型的衡量指标是全局ML指数测度的工业绿色全要素生产率占工业经济增长的比重或称对工业经济增长的贡献率,并采用组间FMOLS和DOLS、动态面板门限模型对贸易开放和FDI影响工业绿色转型的机制进行实证检验;傅为忠等<sup>[5]</sup><sup>112-113</sup>以DEA-SBM模型测度的工业环境效率与DEA-CCR模型测度的经济效率的比值作为工业绿色转型效率,再用TOBIT模型回归检验工业污染治理等影响因素。

关于影响制造业绿色转型的因素的研究较少。韩晶等<sup>[6]</sup>研究了制度软约束对制造业绿色转型的影响,认为地方政府的制度软约束显著抑制了制造业绿色转型,其中制度软约束阻碍了中度、轻度污染行业的绿色转型,对重度污染行业起到促进作用。

高萍等<sup>[7]</sup>研究了税收绿色化对制造业绿色转型的影响,通过构建制造业绿色化评价指标体系实证分析,提出要加大税收绿色化程度,促进制造业绿色转型。

关于工业绿色转型影响因素的研究较为丰富。傅为忠等<sup>[5]</sup><sup>113</sup>认为地方经济发展水平、科技创新能力明显促进工业绿色转型,而工业资本深化、工业比重明显阻碍工业绿色。岳鸿飞等<sup>[8]</sup>认为环境规制在不同类型工业中表现不同的作用,即环境规制在劳动密集型工业中还没激发创新的补偿效应,在资源密集型工业起明显促进作用,在技术密集型工业中不起显著作用;行业平均规模显著促进三类工业行业的绿色转型。张江雪等<sup>[9]</sup>将工业行业按绿色程度分为高中低三类,认为自主创新、技术引进对三类工业的绿色转型都起促进作用,其中自主创新的影响最大;环境规制对高绿色工业的系数为负,对中、低绿色工业的系数为正。

总之,制造业绿色转型的研究尚不丰富,而专门针对制造业绿色转型效率及其影响机制实证分析的文章很少。借鉴国内的研究成果,对制造业绿色转型的研究分为两个部分。第一部分,用熵值法将工业废水、废气、固废产生量综合成环境污染指数作为非期望产出,再用基于理想窗框的DEA视窗分析方法计算出制造业绿色转型效率;将28个制造业行业划分为高端技术产业、中端技术产业、低端技术产业并寻找绿色转型效率的变化规律。第二部分,鉴于行业异质性,针对高端、中端、低端三类绿色行业,分别构建面板数据模型,对制造业绿色转型效率的影响因素进行回归分析,确定各因素对绿色转型效率的影响程度,提出政策建议。

### 二、研究方法与模型

制造业绿色转型效率是制造业发展的绿色程度,是综合考虑了能源消费和环境污染后的制造业发展的质量。当前很多学者采取DEA的方法计算效率,避免利用构建指标体系并赋予其权重计算综合得分这一方法的主观性。但是大部分学者选择的是传统的DEA方法,得到的是静态效率,即投入和产出发生在同一个时间段里。这可能存在问题,因为某时期看上去是超额使用了某种资源,但是这些资源在未来是可以产生收益的,即投入和产出可能发生在不同时期。传统DEA方法不能解决这一问题,而

DEA 视窗分析方法可以分析面板数据, 得出更为准确的实际效率。

(一) DEA 视窗分析

查纳斯等最初提出 DEA-CCR 模型 (假设规模报酬不变 CRS), 随后班克等提出 DEA-BCC 模型 (假设规模报酬可变 VRS)。传统的 DEA 方法是利用横截面数据, 通过求解线性规划计算出不同决策单元 (DMU) 在同一时期的相对效率, 只能对同一时期的不同决策单元进行比较, 而忽略了时间的作用。绿色转型涵盖的时间跨度是几个时间段, 即某种投入对产出的影响分散在几个时间段, 例如环境污染不应只关注污染产生的时间段, 还应该关注生产工业品所导致环境变化的整个过程, 所以不应该采用截面数据。因此学者们对面板数据采用 DEA 视窗分析方法计算效率, 但这种方法尤为强调窗宽的选择, 不同的窗宽会导致不同的结论和不同的对策建议。以往学者确定窗宽大多是基于经验的带有主观性的选择, 例如袁华萍等<sup>[10]</sup>。本文采用 DEA-BCC 视窗方法计算制造业绿色发展效率, 并借鉴陈浩等<sup>[11]</sup>提出的确定理想窗宽的方法, 即先求出各种窗宽下的各年份的平均效率值, 再比较各个决策单元和平均效率值的差异, 差异最小的为最优窗宽。

DEA 视窗模型基本思想是将不同时期的同一决策单元当成不同的决策单元计算效率。假设有  $T$  个时期,  $N$  个决策单元, 每个决策单元有  $m$  种投入和  $s$  种产出, 分别以  $x_{ij}, y_{ij}$  表示第  $j$  个行业的投入和产出, 某时期  $t$  ( $1 \leq t \leq T$ ) 的投入向量表示为  $Xt_j = (xt_{1j}, xt_{2j}, \dots, xt_{mj})'$ , 产出向量表示为  $Yt_j = (yt_{1j}, yt_{2j}, \dots, yt_{sj})'$ ,  $i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, N$ 。假设这  $T$  时期按窗宽  $w$  分为一系列重叠的视窗 ( $1 \leq w \leq T-t$ ), 那么总共有  $T-w+1$  个视窗, 第一个视窗为从 1 到  $w$  期的  $N$  个决策单元的投入产出数据, 第二个视窗为从 2 到  $w+1$  期的  $N$  个决策单元的投入产出数据, 以此类推到第  $T-w+1$  个视窗为从  $T-w+1$  到  $T$  期的数据。假设第  $k$  个视窗 ( $1 \leq k \leq T-w+1$ ) 应是从  $k$  到  $k+w-1$  期的数据, 其投入向量为  $Uk, t_j = (Xk, t_j, Xk, t+1_j, \dots, Xk, t+w-1_j)'$ , 产出向量为  $Vk, t_j = (Yk, t_j, Yk, t+1_j, \dots, Yk, t+w-1_j)'$ 。将投入向量  $Uk, t_j$  和产出向量  $Vk, t_j$  代入 DEA-BCC 模型中即可得到

DEA 视窗模型分析结果。对于第  $k$  个视窗的第  $t$  个时期  $DMUk, t_j$ , 纯技术效率 (绿色转型效率) 通过以下线性规划求出 (采取可变规模报酬假设):

$$\text{Min} \theta_0 = \theta_0^{k,t} (U_{j_0}^{k,t}, V_{j_0}^{k,t}) \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j^{k,t} U_j^{k,t} \leq \theta_0 U_{j_0}^{k,t} \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j^{k,t} V_j^{k,t} \geq V_{j_0}^{k,t} \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j^{k,t} = 1 \tag{4}$$

$$\lambda_j^{k,t} \geq 0 \tag{5}$$

其中  $\theta_0$  是第  $j$  个行业的绿色转型效率, 当  $\theta_0 = 1$  时称该行业处于绿色转型前沿,  $\lambda_j^{k,t}$  为权重向量。以资本存量、劳动投入、能源消费量作为投入, 平减后的规模以上工业企业主营业务收入作为期望产出, 将工业废水、废气、固废综合成环境污染指数后作为非期望产出, 这样算出来的是制造业绿色转型后经济发展的效率, 反映的是单位收入增长后所耗费的资源和对环境的污染。借鉴张江雪等<sup>[4]168-170</sup>的做法, 类似于技术效率前沿的概念, 构建一个制造业绿色转型前沿, 如果一个行业处于绿色转型前沿, 绿色转型后经济发展效率很高, 该行业的绿色转型效率为 1, 离绿色转型前沿越远, 该行业的绿色转型效率越低。

(二) 理想窗宽的 DEA 视窗分析

根据陈浩<sup>[6]</sup>的研究, 假设有  $N$  个 DMU,  $T$  个时期, 根据上述 (1)~(5) 式计算得到每个时期的绿色转型效率值求平均值, 将得到的数据转换成窗宽为列时期为行的表格, 记  $M_{ij}$  为第  $i$  个时期窗宽为  $j$  的效率平均值,  $Mean_i$  为第  $i$  个时期的效率平均值,  $v_{ij}$  为  $M_{ij}$  和  $Mean_i$  的偏差比重:

$$v_{ij} = \frac{M_{ij} - Mean_i}{Mean_i} * 100\%$$

第一步先选择第  $i$  行的最小值  $v_{ij_0}$ ,  $v_{j_0} = \min_{1 \leq j \leq T} (|v_{ij}|)$ ; 第二步用新矩阵  $u_{T \times T}$  标记  $v_{ij_0}$  的位置  $u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当 } |v_{ij}| = v_{ij_0} \\ 0, & \text{当 } |v_{ij}| \neq v_{ij_0} \end{cases}$ ; 第三步计算  $u_{T \times T}$  每一列的和  $c_j, c_j = \sum_{i=1}^T u_{ij}, 1 \leq j \leq T, C = (c_1, c_2, \dots, c_T)_{1 \times T}$ ; 第四步在  $C_{1 \times T}$  中寻找  $c_{j_0}, c_{j_0} = \max_{1 \leq j \leq T} (c_j), c_{j_0}$  所在的窗宽  $j_0$  就是理想窗宽。如果只有一个最大值  $c_{j_0}$ , 那么  $j_0$  就是理想窗宽; 如果  $c_j$  存在两个及以上相同最大值, 那么最大值对应的最小窗宽是理想窗宽; 如果

$c_j$ 不存在最大值,本方法不能确定理想窗宽,按照前人的经验研究,可以选择3为窗宽或者用别的方法确定。

### (三) 制造业绿色转型效率的影响因素面板数据模型

在构建绿色转型效率(GTE)的基础上,以GTE为被解释变量,以环境规制(Environmental Regulation, ER)、创新投入(Innovation Investment, II)、创新产出(Innovation Output, IO)、人才支撑(Talent Support, TS)、行业平均规模(Industry Average Scale, IAS)、市场需求(Market demand, MD)作为自变量。因此,第*i*个行业第*t*期的制造业绿色转型效率影响因素面板模型构建如下:

$$GTE_{it} = \alpha_i + \beta_{1i} ER_{it} + \beta_{2i} PII_{it} + \beta_{3i} IO_{it} + \beta_{4i} PTS_{it} + \beta_{5i} IAS_{it} + \beta_{6i} MD_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

本文重点研究行业的异质性,所以假设模型满足时间一致性即参数不随时间变化。根据截距与斜率本模型有两种假设:

假设一:斜率相同,截距不同,此时模型为:

$$GTE_{it} = \alpha_i + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 PII_{it} + \beta_3 PIO_{it} + \beta_4 PTS_{it} + \beta_5 IAS_{it} + \beta_6 MD_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中不同行业的 $\beta' = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6)$ 是相同的,各行业间的差异体现在不同的 $\alpha_i$ 中,包括环境规制、创新投入、创新产出、人才支撑等因素的初始水平的不同。

假设二:斜率相同,截距相同,此时模型为:

$$GTE_{it} = \alpha + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 PII_{it} + \beta_3 PIO_{it} + \beta_4 PTS_{it} + \beta_5 IAS_{it} + \beta_6 MD_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

各个行业不存在显著差异,可将样本数据看作是由多个时期的截面数据构成。

具体选用上述哪种模型要通过两个*F*统计量的协方差分析判断。分别构造假设一的*F*统计量为:

$$F_1 = \frac{(S_2 - S_1) [(N-1)K]}{S_1 / [NT - N(K+1)]} \text{和假设二的统计量为: } F_2 = \frac{(S_3 - S_1) [(N-1)(K+1)]}{S_1 / [NT - N(K+1)]}, \text{其中 } S_1, S_2, S_3 \text{ 是模型 (6) (7) (8) 的残差平方和。 } F_1, F_2 \text{ 服从特定自由度的 } F \text{ 分布。如果 } F_2 \text{ 小于某置信度下的同分布临界值,接受假设二,即确定模型形式为 (8); 如果 } F_2 \text{ 大于等于某置信度下的同分布临界值,拒绝假}$$

设二,继续检验 $F_1$ ,当 $F_1$ 小于某置信度下的同分布临界值,接受假设一,即确定模型形式为(7);如果 $F_1$ 大于等于某置信度下的同分布临界值,确定模型形式为(6)。如果模型形式为(6),各行业间环境规制等因素对制造业绿色转型效率的影响不同,不能用统一的系数 $\beta' = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6)$ 来表示,如果模型形式为(7)或(8),每个行业都可以用同一个 $\beta' = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6)$ 来表示,它也是制造业绿色转型效率的影响系数。

### 三、制造业绿色转型效率测度结果及分析

#### (一) 数据来源

以2006-2015年全国按行业分规模以上工业企业为样本。由于数据的可得性,金属制品、机械和设备修理业缺少PPI,无法得到期望产出,故而剔除。因为2006-2015年间使用的国民经济行业分类标准发生过变化,为了数据的连续性和可得性,将“汽车制造业”和“铁路、船舶、航空、航天和其他设备运输制造业”合并为“交通运输制造业”,“橡胶制造业”和“塑料制造业”合并为“橡胶塑料制造业”。因为废弃资源综合利用业R&D数据没有统计,所以也舍弃了废弃资源综合利用业。因此研究范围是28个制造业行业。各项基础数据来源于历年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国工业统计年鉴》。

#### (二) 变量说明

制造业绿色转型效率的测度指标选取如下: 1. 劳动投入: 借鉴傅为忠<sup>[5]112</sup>的做法,采用行业从业年平均人数指标。2. 资本存量: 采用制造业各行业规模以上企业历年的资本存量作为指标。通常根据固定资产价值采用永续盘存法估算。参考李斌<sup>[12]58-62</sup>研究方法,以固定资产净值年平均余额对资本存量进行近似估计。3. 能源消费量: 采用制造业各行业规模以上工业企业能源消费量(万吨)指标。4. 期望产出: 以制造业各行业工业总产值表示。由于数据的可得性,借鉴岳鸿飞<sup>[8]198-202</sup>的做法,选择考虑中间投入成本的规模以上工业企业主营业收入为代理变量,并用规模以上工业行业生产者出厂价格指数(PPI)进行平减。相关数据源自历年《中国工业统计年鉴》。5. 非期望产出: 以环境污染综合指数作为指标,利用熵值法将工业“三

废”——废水、废气、固体废弃物排放量综合成环境污染综合指数;鉴于数据的可获得性,参考张江雪等<sup>[3]93-94</sup>做法,采用废水排放量、废气排放量、固体废弃物产生量。

### (三) 测算结果及评价

参考傅元海等<sup>[13]</sup>的研究,将制造业按照技术水平高低分成高端、中端和低端技术产业。第一组是高端技术产业组:化学原料与化学制品制造业、医药制造业、化学纤维制造业、通用设备制造业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、计算机及其他电子设备制造业、仪器仪表制造业;第二组是中端技术产业组:石油加工、炼焦及核燃料加工业、

橡胶、塑料、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼、有色金属冶炼压延加工业和金属制品业;第三组是低端技术产业组:食品加工制造、饮料、烟草、纺织、服装、皮革、木材、家具、造纸、印刷和文体用品及其他制造业。基于投入方向的理想窗宽的DEA视窗方法,运用DEA solver 5.0,计算出窗宽1到10的制造业绿色转型效率,再根据上文所述的选择最优窗宽的方法,计算出偏差比例,如表1所示。可以看出,窗宽为5时效率在2006年、2011-2015年都达到最小偏差比例,所以应该选择窗宽5是最优窗宽。

表1 2006-2015年不同窗宽下制造业绿色转型效率与均值的偏差比

Tab. 1 Deviation ratio between green transformation efficiency and mean value of manufacturing industry under different window width in 2006-2015

%

年份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	min
2006	16.86	16.74	16.73	16.65	10.96	11.00	11.25	11.25	11.25	11.27	10.96
2007	45.61	30.38	28.40	0.47	9.97	15.29	18.65	19.10	20.20	21.66	0.47
2008	44.13	41.06	18.35	0.14	10.09	14.67	17.85	18.75	20.41	21.91	0.14
2009	42.26	23.20	14.15	2.84	5.94	10.80	14.44	15.35	17.13	18.78	2.84
2010	0.93	0.83	0.65	0.55	0.12	0.01	0.22	0.39	0.73	1.74	0.01
2011	26.42	12.34	6.36	2.77	0.19	4.60	8.51	9.58	11.52	13.49	0.19
2012	9.07	8.54	4.60	1.58	0.55	2.65	2.76	3.77	5.76	8.30	0.55
2013	12.40	8.93	6.36	2.62	0.98	4.34	4.46	4.65	6.69	9.19	0.98
2014	9.97	5.89	3.76	3.31	0.31	3.78	3.82	3.94	4.20	6.88	0.31
2015	5.90	5.49	2.69	2.13	1.83	3.47	3.48	3.50	3.69	3.89	1.83

数据来源:经作者计算整理得。

当窗宽为5时,计算出28个制造业行业的绿色转型效率,结果如表2、3、4所示。

考虑了能源消费和环境污染指数后的绿色转型效率明显表现出行业异质性。从高、中、低端技术产业三组总体来看,高端技术产业因其更加智能、绿色,2006-2015年的绿色转型效率总体均值达到0.64110,略高于中端技术产业总体均值的0.62191,明显高于低端技术产业的0.55736。28个制造业行业10年的总体均值水平是0.5981,相比之下,只有低端技术产业组较为明显地低于总体平均水平,说明低端技术产业绿色转型的程度较低,生产技术相对落后,制造业经济发展质量较低。虽然2006年时三个组别的绿色转型效率都是0.46左右,但是中高

端技术产业很快绿色转型效率就达到了0.7,从2012年起就稳定在0.7以上。

从各组组长行业内行业间绿色转型效率差异来看。第一组:高端技术产业有9个行业,平均水平为0.64110,但是医药制造业、化学纤维制造业、通用设备制造业、专用设备制造业四个行业效率低于本组平均水平,甚至低于28个制造业行业绿色转型效率平均水平。医药制造业、化学纤维制造业可能是由于生产过程中有化学品的排放和污染,使绿色转型效率仅为0.39和0.44,即绿色转型后的经济发展质量仍然很低,这些行业还存在绿色清洁生产和节约能耗提高生产效率的问题。与其相对的是本组的交通运输设备制造业、计算机及其他电子设备制

制造业较为接近“绿色转型前沿”，经济发展质量较高，交通运输设备制造业在2012年效率已经达到了0.9755，计算机及其他电子设备制造业在2012年达到0.98，他们的10年平均效率分别达0.83、0.89。第二组：中端技术产业有6个行业，平均水平为0.62191，但是有3个行业大幅拉低本组平均水平，分别是橡胶、塑料、非金属矿物制品业，效率仅有0.399、0.356、0.453。这三个行业还存在能耗大、投入多、但是产出相对少、造成污染多等问题，绿色转型效率低，经济发展质量差。第三组：低端技术产业有13个行业，平均水平仅为0.55，低于全部28个制造业行业的整体10年平均水平0.59。其中仅有5个行业平均水平高于0.59，分别是农副食品加工业、烟草制品业、皮革毛皮羽毛制品业、家具制品业、文教行业。特别是烟草、家具、文教等制品业绿色转型效率高，有0.998、0.892、0.852，因为这些行业有轻资产、资源能源回报率

高、污染排放少等特点。

从时间上看，10年之前绿色转型效率都是缓步上升，但是到2010年时绿色转型效率提高的幅度变大。高端技术产业2006-2009年效率由0.467小幅度提高到0.55，但是到2010年效率大幅提高至0.72489；中端技术产业2006-2009年效率由0.461小幅度提高到0.55，但是到2010年效率大幅提高至0.71711；低端技术产业2006-2009年效率由0.461小幅度提高到0.485，但是到2010年效率相对大幅提高至0.56。可见2010年是个关键时点，究其原因，可能是金融危机使政府和公众意识到实体经济的重要性，而实体经济会产生污染高、回报不高的问题，所以政府重视可持续发展和生态文明建设，并采取了一系列政策和举措促进我国经济绿色发展，直至后来提出制造业绿色转型。我国在“十一五”“十二五”采取了很多措施促使制造业绿色减排，降低能耗，所以制造业绿色转型效率才不断提高。

表2 高端技术产业2006-2015年绿色转型效率

Tab. 2 Green transformation efficiency of high-end technology industry in 2006-2015

行业	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
化学原料和化学制品制造业	0.3685	0.4320	0.4226	0.5244	0.7937	0.6435	0.8820	0.8001	0.8900	0.9576	0.6714
医药制造业	0.1925	0.2039	0.2178	0.2799	0.4420	0.4309	0.5737	0.5119	0.5322	0.5531	0.3938
化学纤维制造业	0.4376	0.4182	0.4270	0.4719	0.4771	0.4507	0.4465	0.4359	0.4366	0.4814	0.4483
通用设备制造业	0.3046	0.3784	0.4176	0.4599	0.6328	0.6283	0.6974	0.6364	0.6638	0.6660	0.5485
专用设备制造业	0.2378	0.3020	0.3557	0.4080	0.5957	0.5850	0.6904	0.5925	0.6249	0.6304	0.5022
交通运输设备制造业	0.5294	0.6352	0.6376	0.7280	1.0000	0.8684	0.9755	0.9627	0.9735	1.0000	0.8310
电气机械和器材制造业	0.5513	0.5789	0.5935	0.6374	0.8231	0.7487	0.8478	0.7890	0.8373	0.8576	0.7265
计算机、通信和其他电子设备制造业	0.7833	0.7883	0.7550	0.7714	1.0000	0.9036	0.9836	0.9508	0.9852	1.0000	0.8921
仪器仪表制造业	0.7955	0.7575	0.7364	0.7202	0.7597	0.7955	0.7553	0.7268	0.7620	0.7516	0.7561
均值	0.46671	0.49937	0.50702	0.55568	0.72489	0.67274	0.76136	0.71181	0.74504	0.7664	0.6411

数据来源：经作者计算整理得。

表3 中端技术产业2006-2015年绿色转型效率

Tab. 3 Green transformation efficiency of middle end technology industry in 2006-2015

行业	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
石油加工、炼焦和核燃料加工业	0.823	0.873	0.841	0.828	1.000	0.904	0.943	0.953	0.958	1.000	0.9123
橡胶和塑料制品业	0.207	0.251	0.265	0.299	0.418	0.432	0.540	0.499	0.528	0.551	0.3990
非金属矿物制品业	0.161	0.213	0.237	0.274	0.389	0.387	0.490	0.446	0.471	0.495	0.3563
黑色金属冶炼和压延加工业	0.476	0.643	0.639	0.698	1.000	0.771	0.913	0.921	0.953	1.000	0.8014
有色金属冶炼和压延加工业	0.549	0.582	0.591	0.733	0.976	0.782	0.960	0.937	0.982	1.000	0.8092
金属制品业	0.210	0.281	0.302	0.336	0.469	0.513	0.628	0.580	0.587	0.626	0.4532
均值	0.4043	0.4739	0.4792	0.5279	0.7087	0.6313	0.7456	0.7228	0.7466	0.778	0.6218

数据来源: 经作者计算整理得。

表4 低端技术产业2006-2015年绿色转型效率

Tab. 4 Green transformation efficiency of low-end technology industry in 2006-2015

均值	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
农副食品加工业	0.425	0.463	0.466	0.536	0.699	0.645	0.825	0.682	0.684	0.707	0.6132
食品制造业	0.180	0.178	0.197	0.245	0.383	0.383	0.480	0.425	0.439	0.435	0.3345
酒、饮料和精制茶制造业	0.240	0.230	0.208	0.253	0.415	0.387	0.477	0.421	0.432	0.432	0.3495
烟草制品业	1.000	1.000	0.991	0.999	1.000	0.999	1.000	1.000	0.991	1.000	0.9980
纺织业	0.206	0.247	0.263	0.304	0.381	0.392	0.486	0.489	0.502	0.540	0.3810
纺织服装、服饰业	0.393	0.439	0.461	0.503	0.613	0.597	0.639	0.602	0.647	0.676	0.5570
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	0.554	0.563	0.573	0.614	0.742	0.751	0.674	0.637	0.694	0.792	0.6594
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	0.289	0.265	0.224	0.213	0.264	0.367	0.477	0.471	0.503	0.598	0.3671
家具制造业	1.000	1.000	0.925	0.961	0.985	0.985	1.000	0.828	0.623	0.618	0.8925
造纸和纸制品业	0.153	0.168	0.185	0.217	0.393	0.327	0.176	0.387	0.385	0.400	0.2791
印刷和记录媒介复制业	0.662	0.614	0.577	0.573	0.558	0.594	0.567	0.507	0.493	0.505	0.5650
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	0.726	0.778	0.780	0.821	0.950	0.859	1.000	0.812	0.888	0.907	0.8521
其他制造业	0.174	0.175	0.162	0.161	0.152	0.307	0.575	0.666	0.700	0.902	0.3974
均值	0.4616	0.4708	0.4625	0.4923	0.5796	0.5840	0.6443	0.6097	0.6138	0.654	0.5573

数据来源: 经作者计算整理得。

#### 四、影响制造业绿色转型效率的因素

制造业绿色转型受到环境规制、行业平均规模等因素的影响，以上文所构建的制造业绿色转型效率 (GTE) 为因变量，以环境规制 (ER)、创新投入 (II)、创新产出 (IO)、人才支撑 (TS)、行业平均规模 (IAS)、市场需求 (MD) 为自变量去考察各变量对实施绿色转型后的经济发展质量即绿色转型效率的影响。构建面板模型，同时为了保持数据的一致性，并结合数据可得性，实证研究 2006—2015 年我国 28 个制造业行业。具体变量选取和说明如下：

1. 环境规制 (ER)：根据“波特假说”，目前多数学者认为环境规制是推动绿色转型的一大因素。选取各行业工业废水治理设施本年运行经费、工业废气治理设施本年运行费用、工业固废综合利用率为指标构建 ER 强度。

第一步，标准化： $S_{it}^j = (EI_{it}^j - \min_i EI_{it}^j) / (\max_i EI_{it}^j - \min_i EI_{it}^j)$ ， $S_{it}^j$  是  $i$  行业在  $t$  时期的第  $j$  种污染物的无量纲化标准值， $EI_{it}^j$  是选取的变量的原始数据， $\max_i EI_{it}^j$  和  $\min_i EI_{it}^j$  是  $i$  行业在  $t$  时期的第  $j$  种污染物的最大值和最小值。第二步，根据  $i$  行业  $t$  时期  $j$  污染物的排放量（工业固废由于数据可得性故选取了产生量）计算得出权重系数： $W_{it}^j = (E_{it}^j / \sum_{i=1}^{28} E_{it}^j) / (IV_{it} / \sum_{i=1}^{28} IV_{it})$ ， $E_{it}^j$  是  $i$  行业在  $t$  时期的第  $j$  种污染物的排放量， $IV_{it}$  是  $i$  行业在  $t$  时期的平减后的主营业务收入（选取规模以上工业企业）。第三步，为保持各年间数据的稳定性，对权重系数取均值： $\overline{W}_i^j = \frac{1}{10} \sum_{t=1}^{10} W_{it}^j$ ；第四步，计算 ER： $ER_{it} = \sum_{j=1}^3 (S_{it}^j * \overline{W}_i^j)$ 。

2. 创新投入 (II)：创新能力决定了绿色增长的效率，通常，科技创新能力越高，产业对环境的污染程度越小，制造业经济发展的质量越高，绿色转型效率越高，采用 R&D 经费占主营业务收入的比重来表示——PII。

3. 创新产出 (IO)：制造业企业提高创新能力、加大创新投入，其根本目的是追求利润最大化，也就是能产出新产品获得更多收入，选取新产品销售

收入占主营业务收入的比重——PIO 表示。

4. 人才支撑 (TS)：人才是影响企业技术创新及运营的重要因素，也是影响制造业绿色转型的重要因素，选取 R&D 人员全时当量占从业人员比例——PTS 来表示。

5. 行业平均规模 (IAS)：行业平均规模是市场结构的衡量因素之一，通常能带来规模经济和范围经济效应，降低生产成本提高资源的利用度，甚至产生技术创新的外溢，促进行业的绿色转型，提高经济发展的质量。选取用平减后规模以上工业行业主营业务收入与该行业企业单位的个数比值——IAS 来表示。

6. 市场需求 (MD)：粗制滥造的制造业产品逐渐失去市场，市场需要的是能够符合在严格的环境检测下能达到环保要求的低碳、绿色的产品。绿色转型效率越高的行业，创造出来的产品市场需求越大，该行业的利润就越高。因此市场需求可以利用行业的平均利润率来衡量，也是影响绿色转型效率重要因素，以行业平均利润率 = 行业利润总额 / 固定资产净值来表示。

根据上述绿色转型效率影响因素面板构建方法，将 28 个制造业行业分为高端、中端、低端三个组，通过稳健豪斯曼检验（如表 5），判断出应该设定为固定效应模型。再通过  $F$  检验， $p$  值 = 0，强烈拒绝原假设，认为截距发生了变化，即采取上文的模型（7）。

基于高端技术产业、中端技术产业、低端技术产业的异质性，对 ER 等几个影响因素进行行业面板分析，实证结果如表 6。结果表明不同组别的行业绿色转型效率的影响因素存在差异。

环境规制对制造业的影响整体来说是负向的，其中它对高端技术产业和低端技术产业影响都是负的，而对中端技术产业是正向影响。说明环境规制对中端技术产业起到促进作用，而对高端和低端技术产业的绿色发展是抑制作用。究其原因，可能是高端技术产业以高技术行业为主，行业原本的绿色发展水平就高，企业在环境方面的投入增加会挤压生产性投资成本，反而使环境规制越强，越降低绿色转型的经济发展质量；而低端技术产业基本上以轻资产、高回报、低能耗的行业为主，所以情况类似高端技术产业，环境投入越高，反而会降低行业



的绿色经济发展质量。

表5 借用辅助回归的豪斯曼检验

Tab.5 Hausmann test with the aid of regression

全部行业	高端技术产业	中端技术产业	低端技术产业
(1) mder = 0	(1) mder = 0	(1) mder = 0	(1) mder = 0
(2) mdpii = 0	(2) mdpii = 0	(2) mdpii = 0	(2) mdpii = 0
(3) mdpio = 0	(3) mdpio = 0	(3) mdpio = 0	(3) mdpio = 0
(4) mdpts = 0	(4) mdpts = 0	(4) mdpts = 0	(4) mdpts = 0
(5) mdias = 0	(5) mdias = 0	(5) mdias = 0	(5) mdias = 0
(6) mdmd = 0	(6) mdmd = 0	(6) mdmd = 0	(6) mdmd = 0
chi <sup>2</sup> (6) = 38.22	chi <sup>2</sup> (6) = 156.70	chi <sup>2</sup> (5) = 690.99	chi <sup>2</sup> (6) = 95.65
Prob>chi <sup>2</sup> = 0.0000	Prob>chi <sup>2</sup> = 0.0000	Prob>chi <sup>2</sup> = 0.0000	Prob>chi <sup>2</sup> = 0.0000

表6 制造业绿色转型效率GTE影响因素面板数据模型估计结果

Tab.6 Panel data model estimation results of influencing factors of GTE in green transformation efficiency of manufacturing industry

变量	全部行业	高端技术产业	中端技术产业	低端技术产业
ER	-0.01356 (0.01481)	-0.0857** (0.03779)	0.0006946 (0.008756)	-0.0200772*** (0.00941)
PII	0.00726** (0.0028583)	0.00433 (0.006303)	0.001885 (0.0275182)	0.0101705* (0.0027537)
PIO	0.016836* (0.0024481)	0.006357** (0.0028591)	0.0303765* (0.0064068)	0.012715*** (0.0070474)
PTS	0.1038476** (0.0415936)	0.016083 (0.01551)	0.2597023* (0.0332247)	0.1551184 (0.1187616)
IAS	0.000000 0.000000	0.000000 0.000000	0.000000 0.000000	0.000000 0.000000
MD	0.0011974 (0.0015183)	0.002677*** (0.00136)	0.000174 (0.0008722)	0.0015559 (0.0030116)
C	0.56639* (0.0948059)	0.51124* (0.0879302)	0.3974068* (0.0701425)	0.4687285* (0.0940406)

注: \*、\*\*、\*\*\*、\*\*\*\*分别表示估计系数在1%、5%、10%和20%水平上显著;回归系数下方括号内数值表示其稳健性标准差。

创新投入对制造业绿色转型整体来说是正向影响的,这表明制造业行业通过增加创新投入可以促进自身绿色转型的经济发展质量。创新投入对低端技术产业的系数最大,意味着加大低端技术产业的创新投入可以较大幅度地提高绿色转型效率,大幅

提高行业经济发展质量。创新产出对制造业整体和各组的绿色转型效率的系数均为正,意味着提高增加创新投入,采取更绿色更节能的生产技术,生产更多符合人民要求的新产品,增加新产品销售收入,从而促使行业绿色转型效率更高,更接近绿色制造

业前沿。人才支撑对制造业整体和各组的绿色转型效率的系数均为正,说明增加企业中人才的数量有助于行业绿色转型效率,因为增加运营、生产等各方面的人才有助于企业提高技术创新水平、生产经营管理能力等。人才支撑对中端技术产业的系数最大,原因在于中端技术产业以资源型产业为主,过去这些行业能耗大、产出大、污染多,如果这些产业人才增加,能更突出地发挥人才的优势,使企业实施绿色转型后的经济发展质量更高。行业平均规模对制造业整体和各组的绿色转型效率的系数均为正,特别是在高端技术产业和中端技术产业更显著,其中以技术密集型产业为主的高端技术产业与以资源型产业为主的中端技术产业对行业规模更为敏感。行业平均规模越大,规模经济和范围经济效应越明显,集中生产使得资源利用更高,更能降低生产成本。因此行业平均规模高有利于制造业绿色转型。市场需求对制造业整体和各组的绿色转型效率的系数均为正,说明粗制滥造的制造业产品逐渐失去市场,人民需要的是在严格的环境检测下能达到环保要求的低碳、绿色的产品。绿色转型效率越高的行业,创造出来的产品市场需求越大,该行业的利润就越高。而高端技术产业最为“绿色”,生产出的产品也更符合当前的需求,所以该组系数最大。

#### 五、我国制造业绿色转型的对策建议

基于对制造业所处转型水平、面临的现实情况和对制造业绿色转型的影响因素及作用机制的分析,从以下几个方面提出相应的对策建议。

环境规制政策的制定要根据行业异质性有所区别。环境规制是影响制造业绿色转型的重要因素之一,它对制造业整体、高端技术产业和低端技术产业起抑制作用,而对中端技术产业起促进作用。因此一方面应该对高、低端技术产业实施宽松的环境规制,以减少对制造业绿色发展的负面影响;另一方面,对中端技术产业实施约束较强的环境规制政策,继续提高环境规制强度和标准,灵活应用环境税、排污权交易、清洁生产等环境规制工具。

加大创新投入力度。创新投入是促进制造业绿色转型的重要因素之一,它对低端技术产业的系数最大,意味着加大低端技术产业的创新投入可以较

大幅度地提高绿色转型效率,大幅提高行业经济发展质量。一方面构建以企业为主体、市场为导向、政策为依托、产学研结合的产业技术创新体系,引导、支持加大企业创新投入力度,增强自主创新能力;另一方面,继续加强政策支持力度,落实要素保障和资金等扶持政策。

强化人才支撑。人才支撑是促进制造业绿色转型的重要因素之一。高技术制造业整体的 R&D 经费投入强度和研发人员比例仍然很低,严重阻碍我国创新投入和创新能力的提高。目前我国制造业行业整体发展质量不高,要提升我国制造业在全球价值链中的低位,应该引进和加大资金投入,培养绿色转型方面的人才。

提高行业平均规模,充分发挥规模经济效应。行业平均规模是促进制造业绿色转型的重要因素之一,其中以技术密集型产业为主的高端技术产业与以资源型产业为主的中端技术产业对行业规模更为敏感。规模经济和范围经济效应越明显,集中生产使得资源利用更高,更能减低生产成本。因此在高端技术产业和中端技术产业,应鼓励企业合并和资产重组,以扩大行业平均规模。

促进公众形成环境友好型的消费方式。建立环境友好型消费方式是促进制造业绿色发展的内在动力和重要因素之一。积极推动低碳环保的消费方式,宣传绿色产品的优点,提高公众对绿色产品的辨别能力,以资源节约和环境友好为特征的低碳绿色产品的消费选择向生产领域发出需求和价值激励信号,即由市场需求拉动制造业的绿色转型。

#### 参考文献:

- [1]张翔,赵群. 低碳经济引领下的我国制造业绿色化发展综述[J]. 机械制造 2013 51(10):1-6.
- [2]周五七,聂鸣. 低碳转型视角的中国工业全要素生产率增长——基于 1998—2010 年行业数据的实证分析[J]. 财经科学 2012(10):73-83.
- [3]张江雪,王溪薇. 中国区域工业绿色增长指数及其影响因素研究[J]. 软科学 2013 27(10):92-96.
- [4]彭星,李斌. 贸易开放、FDI 与中国工业绿色转型——基于动态面板门限模型的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2015(1):166-176.

- [5] 傅为忠, 黄小康. 基于 DEA-Tobit 模型的工业绿色转型测评及其影响因素研究——以长三角地区为例[J]. 管理现代化 2016, 36(1): 112-114.
- [6] 韩晶, 蓝庆新. 中国工业绿化度测算及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境 2012, 22(5): 101-107.
- [7] 高萍, 高蒙. 税收绿色化对制造业绿色转型的影响研究[J]. 生态经济 2017, 33(5): 133-137.
- [8] 岳鸿飞, 徐颖, 吴璘. 技术创新方式选择与中国工业绿色转型的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境 2017, 27(12): 196-206.
- [9] 张江雪, 蔡宁, 毛建素, 等. 自主创新、技术引进与中国工业绿色增长——基于行业异质性的实证研究[J]. 科学学研究 2015, 33(2): 185-194+271.
- [10] 袁华萍. 基于 DEA 视窗分析的中国环境治理投资效率研究[J]. 生态经济 2016, 32(4): 154-157.
- [11] 陈浩, 王晓红, 张宝生. 基于视窗分析模型的我国高校科研效率评价[J]. 科研管理 2013(7): 101-111.
- [12] 李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变——基于 36 个工业行业数据的实证研究[J]. 中国工业经济 2013(4): 56-68.
- [13] 傅元海, 叶祥松, 王展祥. 制造业结构优化的技术进步路径选择——基于动态面板的经验分析[J]. 中国工业经济 2014(9): 78-90.

## A Study on Green Transition of Manufacturing Industry and Its Influencing Factors in China

WU Weixiang, LIN Shoufu

(School of Economics, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

**Abstract:** At this stage, China's manufacturing industry is mainly faced with problems such as overcapacity, insufficient innovation, and unreasonable industrial structure. It is urgent to accelerate the green transformation and upgrading of the manufacturing industry. In order to effectively analyze the mechanism of the influencing factors of China's manufacturing green transformation, this paper uses the DEA-BCC window model based on the ideal window width to measure the green transformation efficiency of manufacturing industry to judge the economic development quality of manufacturing green transformation. By dividing 28 manufacturing industries into high-end, mid-range and low-end technology industries, and analyzing them from the overall factors of environmental regulation, innovation investment, innovation output, talent support, industry average size and market demand, the direction and size of the green transformation efficiency of different groups, the research shows that after considering energy consumption and pollution emissions, the green transformation efficiency among different industries has certain differences. The medium and high-end technology industries have similar green transformation efficiency, while the low-end technology industry has the lowest efficiency; environmental regulation plays a negative role in the green transformation of medium and high-end technology industries; innovation investment, innovation output, talent support, industry average size and market demand play a positive role in the green transformation of manufacturing.

**Key words:** manufacturing industry; green transition; ideal window width; DEA Window; heterogeneity

(责任编辑: 杨成平)