

doi:10.12068/j.issn.1005-3026.2025.20230287

我国建筑业绿色发展效率的评价与优化

齐锡晶, 张梦星, 张升进

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 基于建筑业绿色发展及其效率, 建立评价指标体系, 运用超效率SBM-ML(slacks-based measure-Malmquist Luenberger)模型测算2008~2021年全国层面、省、市、自治区层面的建筑业绿色发展静态效率和动态效率。测算结果显示, 我国建筑业绿色发展静态效率整体呈波动上升态势, 有9年的效率值大于1, 表明建筑业绿色发展相对有效; 建筑业绿色发展效率平均每年提升1.7%, 但不同年份动态效率的稳定性有待提高。各省、市、自治区建筑业绿色发展静态效率呈现“东南高、西北低”分布, 且其效率水平呈明显的“高、中、低”分化; 动态效率差异性较大, 但未见明显的空间分布特征。通过分析测算结果, 为优化建筑业绿色发展效率、促进建筑业高质量发展, 从政策、企业两方面提出因地制宜的建议。

关键词: 建筑业; 绿色发展效率; 超效率SBM-ML模型; 评价; 优化

中图分类号: F 1 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2025)04-0115-09

Evaluation and Optimization of Green Development Efficiency of Construction Industry in China

QI Xi-jing, ZHANG Meng-xing, ZHANG Sheng-jin

(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: ZHANG Meng-xing, E-mail: 15265343600@163.com)

Abstract: An evaluation index system was established based on the green development and its efficiency in the construction industry. The static and dynamic efficiencies of green development in the construction industry at the national and provincial levels were estimated using the super efficiency SBM-ML model from 2008 to 2021. The results demonstrate that the static efficiency of green development in the construction industry in China is fluctuant rising. The efficiency value is greater than 1 for nine years. This implies that the green development in the construction industry is relatively effective. The green development efficiency in the construction industry has increased by an average of 1.7% annually, but the stability of dynamic efficiency in different years needs to be improved. The static efficiency of green development in the construction industry in each province shows a distribution of "high in the southeast and low in the northwest", and the efficiency value in each province shows an obvious differentiation of "high, medium and low". While there are fluctuations in the dynamic efficiency levels of green development in the construction industry in each province, there is no obvious manifestation of specific geographical distribution patterns. Through analyzing the calculation results, relevant suggestions are put forward from the aspects of policies and enterprises to optimize the green development efficiency and promote the high-quality development in the construction industry.

Key words: construction industry; green development efficiency; super efficiency SBM-ML model; evaluation; optimization

我国建筑业曾经高度依赖人力资源和生产资料的不投入, 呈现出劳动密集型、科技含量低的特点。2008~2011年, 在国家4万亿刺激政策的推动下, 建筑业业务激增, 迎来快速发展, 建筑

收稿日期: 2023-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1602232, 51474050); 辽宁省重点科技计划项目(2019JH2-10100035)。

作者简介: 齐锡晶(1963—), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授。

业 CO₂ 排放量随之增加.2012~2021 年,建筑业 CO₂ 排放量增速放缓,逐年趋稳,但仍保持在较高水平,“大量消耗、大量排放”等问题较为显著.

经济新常态以来,建筑业增速放缓,发展要求提高,低端产能过剩,进入了结构优化、转型升级的“存量时代”,建筑业绿色发展是其重要方向.

我国于 2020 年 9 月 22 日正式提出“2030 年碳达峰”以及“2060 年碳中和”的目标.资料显示,2020 年,我国建筑业的碳排放量已超过了社会二氧化碳总排放量的一半.2021 年 10 月 21 日,中央办公厅和国务院办公厅印发了《关于推动城乡建设绿色发展的意见》.建筑业绿色发展对于促进建设行业的节能减排,进而促进“双碳目标”的实现具有重要意义.在城乡建设绿色发展和双碳目标的背景下,建筑业作为国民经济的支柱产业及碳排放的重点领域,其绿色效率值得关注和研究.

现有文献多数通过测算生产效率反映系统的发展水平.静态研究方法多为数据包络分析^[1-3](DEA)及其演变模型,如 SBM(slacks-based measure)模型^[4]、超效率 SBM 模型^[5]等.Malmquist 指数可反映生产效率的变化,Caves 等^[6]将 Malmquist 指数运用于测算生产效率变化,之后被广泛应用于金融、工业、建筑等部门的动态生产效率研究.随着生产效率测量研究的持续精进,Chung 等^[7]成功创建了 Malmquist-Luenberger 指数,并在 Malmquist 模型中巧妙地引入了包含非期望产出的方向距离函数.建筑业常通过测算全要素生产率来反映建筑业发展水平.谭丹等^[8]采用基于 DEA 的 Malmquist 生产率指数,分析 1993~2012 年我国建筑业全要素生产率的增长特征及其影响因素.为了解决不断升级的地区分歧对建筑生产力造成的破坏问题,Lou 等^[9-10]应用 DEA 模型测算我国区域建筑业生产效率,并确定低效率省、市、自治区的最佳发展路径.

然而,传统的建筑业生产效率研究忽视了建设活动对环境的负面影响.越来越多的专家学者融入环境约束,构建更全面的建筑业发展效率评价体系.Zhou 等^[11]应用超效率 SBM 模型对 2003~2016 年建筑业全要素碳排放效率进行了测度,通过分析建筑业全要素碳排放效率的变化趋势和影响因素,提出了提高建筑业全要素碳排放效率的对策.基于 DEA 模型,张普伟等^[12]对 2005~2016 年中国各省的建筑业单一要素和全要素的碳生产率进行了测算,同时通过相关性检测确认

了两者具有正相关关系.

文献分析发现,现有研究在评价建筑业绿色生产效率时指标的选取相对单一,难以有效反映建筑业绿色发展的实际水平.本文基于已有研究,结合城乡建设绿色发展的背景,界定建筑业绿色发展及其效率,并依据定义建立评价指标,利用超效率 SBM-ML 模型,测算全国层面,省、市、自治区层面的建筑业绿色发展效率及其时空演化规律,从政策、企业两方面提出优化建议,以促进建筑业绿色发展、高质量发展.

1 建筑业绿色发展效率评价模型设计

1.1 建筑业绿色发展及其效率的定义

建筑业绿色发展是以绿色建筑、绿色施工、绿色建造、城乡建设绿色发展等理念为基础,以实现经济增长为前提,融合智能化、产业化、信息化等手段,减少建设活动对环境的破坏、降低自然资源的消耗、提高建筑业发展的可持续性.

本文界定的建筑业绿色发展效率,即:建筑业以城乡建设绿色发展为整体目标进行资源投入(人力、材料、机械、资金、技术)与综合产出(期望产出+非期望产出)之间转化的相对有效程度.其中,当产出对环境越有利、决策者有希望获得更多时,视为期望产出;反之,则为非期望产出.

1.2 评价的目的和原则

面对“存量时代”,本文对建筑业绿色发展效率进行评价,以提升建筑业绿色发展效率,推动建筑业的绿色转型和高质量发展.对于建筑业绿色发展效率的评估,应坚持客观、真实和可行的原则.

1.3 评价模型的建立

1) 超效率 SBM 模型.学术界对于生产效率的测算主要有 DEA 和随机前沿分析^[13].DEA 更加简单灵活,更加符合绿色发展效率多投入、多产出的计算特点.经典的 DEA 模型以径向模型为主,但在实际运用中要素输入的比率变动更符合非径向特征,这可能会导致效率估计出现偏差.因此,Tone^[4]提出了基于松弛度量的非径向 SBM 模型来解决这个问题.在此基础上,Tone^[5]还提出了效率区分度更高的超效率 SBM 模型.

假设有 n 个地区,地区 i 在年份 t 上的投入集为 x ,期望产出集为 y_1 ,非期望产出集为 y_2 ,可以使用包含非期望产出的超效率 SBM 模型来定义:

$$\left. \begin{aligned} \theta = \min & \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ik}}{\frac{1}{y_1+y_2} \left(\sum_{r=1}^{y_1} y_{rk}^d + \sum_{s=1}^{y_2} y_{sk}^u \right)}, \\ \text{s.t. } x &= \sum_{j=1, j \neq j_0}^n x_{ij} \lambda_j + s_1^-; \\ y^d &= y_{rj}^d + s_2^+; \\ y^u &= y_{sj}^u + s_3^-; \\ \lambda_j &\geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; r=1, 2, \dots, y_1; s=1, 2, \dots, y_2; y^d$ 表示期望产出矩阵的元素; y^u 则用于标记非期望产出矩阵的元素; 地区和年份的编号由 k 和 m 标记; 期望产出编号和非期望产出编号分别用 r 和 s 表示; λ_j 表示被评估单元的权重系数; s_1^-, s_2^+, s_3^- 分别表示投入、期望产出和非期望产出的松弛变量; 绿色发展效率值称为 θ , θ 值的提升意味着相应地区建筑业的绿色发展效率在增长。

2) Malmquist-Luenberger 生产率指数. 超效率 SBM 的计算结果无法反映效率值的变化, 而 Malmquist-Luenberger (ML) 指数^[7]能够解决这个问题。

假设在 t 时期第 k 个决策单元的投入产出为 $(x_{kt}, y_{kt}, z_{kt}; g_{kt})$, 基于 ML 指数的线性规划方程为

$$\left. \begin{aligned} \dot{D}_t(x_{kt}, y_{kt}, z_{kt}; g_{kt}) &= \max \beta, \\ \text{s.t. } \sum_{k=1}^K a_k^t x_{km}^t &\leq (1 - \beta)x_{kh}^t, h = 1, 2, \dots, H; \\ \sum_{k=1}^K a_k^t y_{km}^t &\geq (1 + \beta)y_{km}^t, m = 1, 2, \dots, M; \\ \sum_{k=1}^K a_k^t z_{kn}^t &= (1 - \beta)z_{kn}^t, n = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, a_k 表示生产规模报酬, $\sum_{k=1}^K a_k^t = 1$ 表示规模报酬可变。

以第 k 个决策单元在 t 时期至 $t+1$ 时期的绿色发展效率值 θ 作为该时期的 ML 指数, 使用 Fare 等^[14]构建的距离函数模型, 具体公式为

$$\begin{aligned} \text{ML}_t^{t+1} &= \left[\frac{1 + \ddot{D}_t^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + \ddot{D}_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \times \right. \\ &\quad \left. \frac{1 + \ddot{D}_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + \ddot{D}_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &\quad \frac{1 + \ddot{D}_t^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + \ddot{D}_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \times \\ &\quad \left[\frac{1 + \ddot{D}_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + \ddot{D}_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \times \right. \\ &\quad \left. \frac{1 + \ddot{D}_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)}{1 + \ddot{D}_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &\quad \text{EC} \times \text{TC}. \end{aligned} \quad (3)$$

式中: TC 指技术的进步度; EC 指决策单位对现行技术的利用程度. 若 TC 超过 1, 意味着生产过程中出现了技术的提升, 否则没有技术提升发生. 若 EC 超过 1, 说明现行技术的应用状况优秀, 反之则不理想. 两者的乘积为 ML 指数, 即绿色发展效率的动态值. ML 指数大于 1, 说明绿色发展水平提升; 反之, 绿色发展水平降低。

1.4 评价指标的选取

通过文献分析, 归纳出建筑业发展效率的评价指标, 并将其划分为一级、二级指标, 如表 1 所示。

表 1 评价指标初选表

Table 1 Preliminary selection of evaluation indicators

指标类型	一级指标	二级指标
投入	人员投入	建筑业从业人员数
	材料投入	建筑业钢材、水泥、木材、玻璃、铝材消耗量等
	机械投入	年末自有施工机械设备总功率、年末自有施工机械设备台数等
期望产出	实物产出	房屋竣工面积、房屋施工面积、房屋新开工面积等
	经济效益	建筑业总产值、建筑业利税总额、建筑业利润总额、建筑业税金总额等
非期望产出	污染强度	建筑业 CO ₂ 排放量

本文参照 1.1 节建筑业绿色发展效率的定义及 1.2 节指标选取原则, 挑选了评价指标. 所选定的评价指标结果如表 2 所示。

人力、材料、机械是建设活动最基本的要素投入. 本文选取建筑业从业人员数作为人员投

入. 钢材和水泥是建筑业最主要的两种建材, 选取钢材和水泥消耗总量作为材料投入. 年末自有施工机械设备总功率比年末自有施工机械设备台数更能科学地反映建筑业的机械设备水平, 选取其作为施工机械投入. 技术是绿色发展的主要

动力,加入科学技术支出占公共预算支出的比重 纳入资金投入指标.
作为技术投入.本文也将建筑业固定资产投资额

表 2 评价指标的选取及解释
Table 2 Selection and interpretation of evaluation indicators

指标类型	一级指标	二级指标
投入	人员投入	X_1 建筑业从业人员数
	材料投入	X_2 建筑业钢材和水泥消耗总量
	机械投入	X_3 年末自有施工机械设备总功率
	资金投入	X_4 建筑业固定资产投资额
	技术投入	X_5 科学技术支出占公共预算支出的比重
期望产出	实物产出	Y_1 房屋竣工面积
	经济效益	Y_2 建筑业总产值
	社会效益	Y_3 常住人口城镇化率
非期望产出	污染强度	Z_1 建筑业 CO_2 排放量

本文将产出界定为综合效益,具体划分为期望产出(实物产出、经济效益和社会效益)和非期望产出(污染强度).对于实物产出,建筑业的主要劳动产品为房屋,房屋竣工面积相对于施工面积和新开工面积更能反映劳动成果,所以选取其作为实物产出.建筑业总产值在一定程度上包含了建筑业企业利润和税金等指标,具有综合性,因此选其作为经济效益.由于建设项目对于就业岗位的提升和人口引入具有积极影响,可推动城市化发展.因此,为了准确反映这种社会效益,本文将城镇地域上的常住人口占该地区全部常住

人口的比重作为城镇化率纳入社会效益指标.由于建筑业碳排放量占全社会总碳排放量一半以上,其节能减排对“双碳”目标的实现具有重要意义.因此,本文以建筑业 CO_2 排放量作为污染强度,纳入非期望产出指标.

在理论辨析的基础上,还需采取数学方法对投入、产出指标进行同向性检验,来满足模型的适用要求.本文采取 Pearson 相关性检验方法,相关性系数是 $[-1, 1]$ 之间的实数,大于 0 为正相关,反之则为负相关.投入指标与产出指标的 Pearson 相关性系数计算结果如表 3 所示.

表 3 投入指标与产出指标的 Pearson 相关性系数
Table 3 Correlation coefficient of Pearson between input and output variables

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	Z_1
X_1	1	0.578*	0.795**	0.924**	0.591*	0.887**	0.969**	0.957**	0.932**
X_2	0.578*	1	0.668*	0.544*	0.543*	0.696*	0.614*	0.557*	0.723*
X_3	0.795**	0.668*	1	0.617*	0.352	0.905**	0.789**	0.687**	0.812**
X_4	0.924**	0.544*	0.617*	1	0.658*	0.749**	0.940**	0.985**	0.917*
X_5	0.591*	0.543*	0.352	0.658*	1	0.576*	0.535*	0.610*	0.554*
Y_1	0.887**	0.696*	0.905**	0.749**	0.576*	1	0.902**	0.816**	0.913**
Y_2	0.969**	0.614*	0.789**	0.940**	0.535*	0.902**	1	0.967**	0.924**
Y_3	0.957**	0.557*	0.687**	0.985**	0.610*	0.816**	0.967**	1	0.917*
Z_1	0.932**	0.723*	0.812**	0.917*	0.554*	0.913**	0.924**	0.917*	1

注:**表示在 1% 的水平(双侧)上显著相关;*表示在 5% 的水平(双侧)上显著相关.

由表 3 可见,除 X_3 和 X_5 的关联度稍低外,其他投入和产出指标的相关性均在 5% 的显著性水平下的双向测试中得到了确认,这符合模型的预设条件,说明指标选择较为合理.

2 建筑业绿色发展效率评价

由于《2023 年中国建筑业统计年鉴》尚未公布,本研究选取了 2008~2021 年间除港澳台、西藏

外的30个省、市、自治区的数据.数据来源于《中国建筑业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和中国碳核算数据库(CEADs).依据上文建立的评价指标体系,收集、整理相关数据,运用MATLAB软件测算建筑业绿色发展的静态、动态效率.

2.1 超效率SBM模型静态测算

1) 全国层面.我国建筑业绿色发展效率整体呈现波动上升的态势,14年间有8年建筑业绿色发展效率大于1,平均值为0.998,表明绿色发展仍有较大的提升空间.2008~2011年,建筑业绿色发展效率小于1,处于相对无效状态.然而,2012~2016年我国建筑业绿色发展效率逐年增加,效率值均大于1,这说明建筑业绿色发展逐渐显现成效.2017~2021年,绿色发展效率历经降低、反弹、回升,除2017,2019年外,其余年份绿色发展相对有效.我国建筑业绿色发展效率的静态值,如图1

所示.

2) 省、市、自治区层面.省、市、自治区层面建筑业绿色发展效率的静态值,如图2所示.

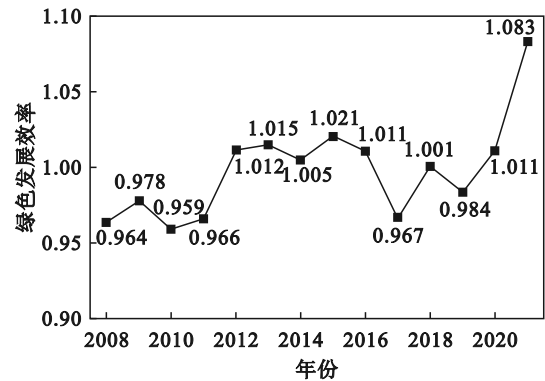


图1 我国建筑业绿色发展效率静态测算结果
Fig. 1 Static measurement results of green development efficiency in Chinese construction industry

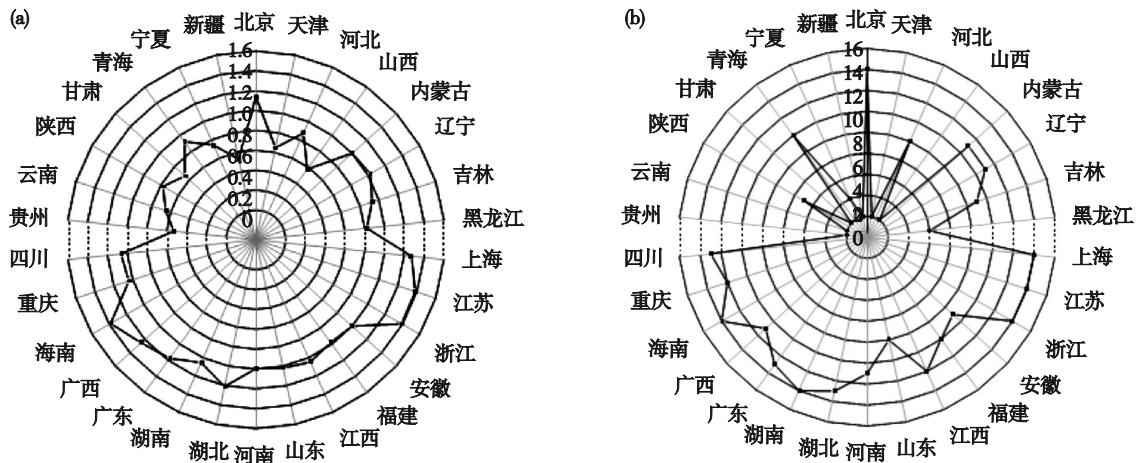


图2 各省、市、自治区建筑业绿色发展效率的测算结果

Fig. 2 Calculation results of green development efficiency of the construction industry in provinces and autonomous regions

(a)—绿色发展效率值均值;(b)—绿色发展效率值大于1的年份.

由图2可见,2008~2021年,绿色发展效率均值大于1的省、市、自治区共15个,小于0.7的省、市、自治区共7个;连续10年以上绿色发展效率值大于1的省、市、自治区有17个;5年以下效率值大于1的省、市、自治区有9个.说明在许多省、市、自治区建筑业绿色发展相对有效、水平较高的同时,有不少省、市、自治区建筑业绿色发展效率极低、相对无效,不同省、市、自治区建筑业绿色发展水平存在不均衡性.

为明晰各省、市、自治区建筑业绿色发展效率的不均衡特征,本文运用四分位数法将30个省、市、自治区划分为4个效率等级.其中,效率值 ≤ 0.681 判定为低效率水平; $0.681 < \text{效率值} \leq 1.008$ 判定为中等效率水平; $1.008 < \text{效率值} \leq 1.142$ 判定

为较高效率水平;效率值 > 1.142 判定为高效率水平.2008~2021年各省、市、自治区建筑业绿色发展效率的变化趋势,如图3所示.

由图3可见,建筑业绿色发展效率较高的省、市、自治区有:浙江、江苏、海南、上海、广西、湖北,多为东部、南部地区.其效率值呈现逐年波动上升的态势.除广西外,其余地区的经济发达、政策支持力度大、人才流入较多,建筑业绿色发展基础较好.广西早期建筑业规模有限,经济实力相对薄弱,故前期效率不高,2008年仅为0.630,近年来积极响应国家号召,利用水利优势,积极发展水力发电实现绿色发展,至2021年效率值已达1.269,建筑业绿色发展水平明显提升.

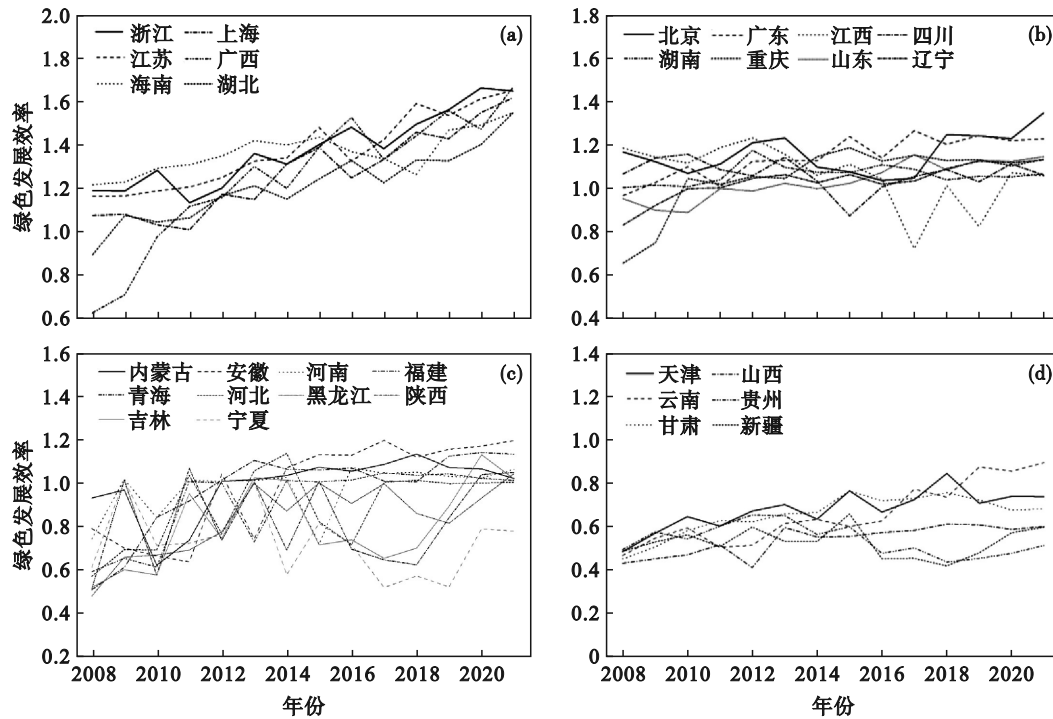


图3 2008~2021年各省、市、自治区建筑业绿色发展效率变化趋势

Fig.3 Trends of the green development efficiency of the construction industry in provinces and autonomous regions from 2008 to 2021

- (a)—绿色发展效率高的省、市、自治区；(b)—绿色发展效率较高的省、市、自治区；
(c)—绿色发展效率中等的省、市、自治区；(d)—绿色发展效率低的省、市、自治区。

建筑业绿色发展效率较高的省、市有：北京、广东、江西、四川、湖南、重庆、山东、辽宁。除江西外，其他地区的建筑业绿色发展效率波动与总体分析结果一致。江西矿产资源丰富，前期带动形成一定规模的建筑业，2008年其效率值位于较高效率省、市、自治区的第一名，但2017年后发展效率有所下滑且波动幅度较大，发展后劲有待加强。江西加快传统经济增长方式向绿色发展方式转变尤为重要。

建筑业绿色发展效率中等的省、市、自治区有：内蒙古、安徽、河南、福建、青海、河北、黑龙江、陕西、吉林、宁夏。效率值的整体特点是波动性极强，呈微弱的上升趋势。陕西、吉林、宁夏与其他地区不同，2016~2021年呈先急剧下降后逐年增长的趋势。以上三省、自治区位于我国东北、西北地区，经济发展水平不高、产业结构单一、面临人口流失，在建筑业转型升级、绿色发展的背景下，建筑业综合发展动能相对不足。

建筑业绿色发展效率较低的省、市、自治区有：天津、云南、甘肃、山西、贵州、新疆。这些省、市、自治区的建筑业绿色低碳发展效率呈低位平稳状态。其中，山西、天津、安徽是低效率省、市、自治区中的东部城市，其能源消费以传统的化石

能源为主，产业结构中第二产业占比较高，建筑业绿色发展水平提升受到阻碍。新疆、云南、甘肃、贵州均位于西部地区，经济发展水平较低，建筑业体量不大、发展相对滞后，贫困问题与生态问题相互交织。

2.2 Malmquist-Luenberger 生产率指数动态测算

在静态测算之后，运用 Malmquist-Luenberger 生产率指数对全国层面、省、市、自治区层面的建筑业绿色发展效率进行动态测算与分解，分析其动态变化趋势。

1) 全国层面。全国层面建筑业绿色发展效率动态测算结果，如表4所示。

我国建筑业绿色发展的 ML 指数均值为 1.017，说明 2008~2021 年建筑业绿色发展效率平均提高了 1.7%；但从历年测算结果来看，ML 指数的变化存在波动，建筑业发展稳定性有待提高。ML 指数分析结果显示，TC 变化指数大于 1，说明促进我国建筑业绿色发展的主要原因是绿色技术的进步。

2) 省、市、自治区层面。省、市、自治区层面建筑业绿色发展效率的动态测算结果，如表5所示。

由表5可见，我国各省、市、自治区动态效率

表4 建筑业平均绿色全要素生产率时间序列测算结果
Table 4 Time series calculation results of average green total factor development efficiency in the construction industry

年份	ML	EC	TC
2008~2009	1.014	1.000	1.014
2009~2010	1.006	1.000	1.006
2010~2011	0.987	1.000	0.987
2011~2012	1.023	1.000	1.023
2012~2013	1.075	1.000	1.075
2013~2014	0.981	1.000	0.981
2014~2015	1.081	1.000	1.081
2015~2016	0.981	1.000	0.981
2016~2017	1.015	1.000	1.015
2017~2018	0.976	1.000	0.976
2018~2019	1.003	1.000	1.003
2019~2020	1.035	1.000	1.035
2020~2021	1.046	1.000	1.046
均值	1.017	1.000	1.017

差异较大,并存在空间不均衡的特点,但未见明显的分布规律.其中,上海、湖北的建筑业ML指数分别为1.248,1.21,排名前两位,EC,TC值均大于1,表明两者的建筑业绿色发展正处于良好的上升态势,绿色技术使用效率高、创新能力强,发展动能充足.其次,虽然吉林、甘肃在静态效率测算中效率值不高,但其ML指数排在前列,EC,TC值均大于1,绿色技术进步且使用效率高,建筑业绿色发展水平与高效率省、市、自治区的差距正在缩小.湖南、浙江虽然在静态效率测算中发展相对有效,但其ML指数小于1,说明建筑业绿色发展后续乏力.浙江的EC,TC值均小于1,说明其绿色技术的使用效率不高、创新能力不足,拖后了建筑业的绿色发展.湖南的EC值大于1,TC值小于1,说明绿色技术的使用效率提高,但绿色技术进步缓慢,阻碍建筑业的绿色发展.新疆和黑龙江静态效率值和ML指数均较低,EC,TC值均小于1,绿色技术的使用效率不高、创新能力不足,建筑业发展动力不足,拖后了原本不够发达的建筑业.

表5 各省、市、自治区建筑业的平均绿色全要素生产率测算结果

Table 5 Calculation results of average green total factor development efficiency of the construction industry in provinces and autonomous regions

地区	ML	EC	TC	地区	ML	EC	TC
上海	1.248	1.066	1.170	四川	1.073	1.008	1.065
湖北	1.213	1.095	1.107	甘肃	1.072	1.085	0.988
安徽	1.209	1.085	1.114	云南	1.066	1.070	0.997
天津	1.206	1.122	1.075	江苏	1.063	1.085	0.980
吉林	1.190	1.091	1.092	山东	1.045	1.039	1.005
陕西	1.187	1.083	1.096	福建	1.038	0.992	1.047
广东	1.178	1.141	1.032	辽宁	1.036	1.044	0.992
北京	1.134	1.089	1.041	山西	1.025	1.031	0.995
广西	1.115	1.102	1.012	贵州	1.025	1.045	0.980
青海	1.111	1.081	1.027	内蒙古	1.022	1.037	0.986
海南	1.099	1.018	1.080	江西	0.989	1.019	0.971
河南	1.093	1.051	1.041	黑龙江	0.961	0.936	1.027
宁夏	1.091	1.062	1.028	湖南	0.954	1.052	0.907
重庆	1.084	1.054	1.028	浙江	0.946	0.996	0.951
河北	1.077	1.041	1.035	新疆	0.902	0.968	0.932

3 结 论

1) 我国建筑业绿色发展效率静态值呈现波动上升的整体态势,绿色发展相对有效.2008~2021年建筑业绿色发展效率有所提升,主要受益于绿色技术的进步,但ML指数的变化存在波动,

建筑业绿色发展的稳定性有待提高.

2) 我国各省、市、自治区建筑业绿色发展效率静态值大体呈波动上升的态势,但各省、市、自治区间效率差异较大,呈现明显的“高、中、低”等级分化,效率值总体分布呈现“东南高、西北低”的特点.其中,东南部地区建筑业绿色发展水平较高,发展动能充足;东北、西部、中部等地区建

筑业的绿色发展水平较低,具备相对充足的发展势能。

3) 我国各省、市、自治区建筑业绿色发展动态效率值差异较大,存在空间差异性,但未见明显的空间分布规律。上海、湖北的静态效率值和 ML 指数均位于全国前列,建筑业绿色发展水平较高且发展呈现较好的上升态势,绿色技术创新能力强、绿色技术使用效率高。安徽、天津、吉林、陕西静态效率值不高,但 ML 指数大于 1,建筑业绿色发展水平正在稳步提升。湖南、浙江虽然静态效率值较高,但 ML 指数小于 1,建筑业绿色发展后续乏力。新疆、黑龙江的静态效率值和 ML 指数均较低,绿色发展水平不高且进步趋势不强,若不及时加大建筑业绿色发展的力度,将会逐渐拉大和其他省、市、自治区的差距。

4) 建筑业绿色发展是建筑业高质量发展的重要方向之一,也是实现“双碳目标”的重要阵地。从我国建筑业绿色发展评价结果可见,近年来我国建筑业在兼顾经济增长和环境保护的同时,绿色创新能力有所提升,稳步推进了建筑节能减排工作,高质量发展水平逐年提高,有利于“双碳目标”的实现。

4 优化建筑业绿色发展效率的建议

为优化建筑业绿色发展效率、促进建筑业高质量发展,本文从政策、企业两个层面出发,提出相关建议。首先,在完善政策设计方面:

1) 加强统筹规划,因地制宜发展。我国的建筑业在走向绿色化的过程中展现了“东南区域优于西北区域”的空间差异特征。在东南部,凭借地理位置的优越性、产业结构的合理性、经济基础的稳实和创新能力的强大,应持续进行政策创新,吸引国内外的资金、技术与人才投入,推动先进技术的接受和吸纳以及自我创新,同时发挥引领作用,加速创新成果对周围地区的影响。中西部和东北地区应把握“西部大开发”、“中部崛起”、“东北振兴”等政策机遇,利用其丰富的资源优势,进行产业结构优化,改变经济增长方式,积极向诸如上海、湖北等效率高的省、市、自治区学习发展模式,推动建筑业的绿色化进程。

2) 培育优质企业,优化行业结构。深化建筑业企业资质及信用管理,促进建筑业企业转型、升级,培育能够承担战略性新兴产业、基础设施建设、海外交流项目等的大型总包企业;能够对

接关键技术领域的专业型企业;汇集劳动力资源的灵活型劳务企业。同时,培育特级、一级建筑业企业,调控不同类型企业的比例,使大、中、小型企业数量结构呈“金字塔型”分布,提高产业集中度,促成行业结构的良性发展。

各区域建筑业企业应因地制宜制定企业发展战略。地域表现良好的公司应该利用自身所处地区的优势来吸引人才和投资,进一步发展科技,优化对绿色发展的优先考量,承担行业责任,引领建筑行业的绿色转型。在那些发展较慢的地区,企业具备良好的成长空间,应以政策优势为依托,找寻区域优势,在“智能化、产业化、信息化”的大趋势下,树立自身的核心竞争力,实现弯道超车。同时,在鼓励企业的投入产出方面:

1) 积累人力资源,发挥人才红利。在建筑业从业人员数量逐年递减的背景下,未来人力资源是推动建筑业企业发展的最关键要素。建筑业企业应建立相对稳定的劳务用工队伍,强化技术培训,提高工人素质;同时,根据企业战略制定人才培养制度体系,培养与企业发展战略相匹配的人力资源优势,最大限度地释放人才红利。

2) 使用绿色建材,促进建筑垃圾资源循环利用。企业应减少天然石材等不可再生资源的消耗,使用绿色循环建材。加强施工组织和管理,推广环保意识,减少因施工质量、建材运输与储存不当等原因造成的建材浪费,建立建筑垃圾资源化利用中心,促进工程遗址、建筑垃圾资源的有效、循环利用。

3) 加大机械投入,提升机械化、自动化水平。争取减少对一次性建筑设备的依赖,增强循环设备的使用,并努力提升建筑机器人技术的研发和实现。坚定推动智能建造和预制建筑的发展,降低实地施工比例,提升建筑行业的工业化程度,提升建筑产业化水平,“像造汽车一样造房子”。

4) 优化固定资产投资,拓宽融资渠道。避免盲目扩大建筑业固定资产投资,规范固定资产投资的程序和制度,提升综合效益。丰富融资渠道、稳步推进金融创新,完善企业资金管理制度,结合绿色金融等手段,建设更高星级的绿色建筑。

5) 坚持创新驱动,提升技术含量。绿色技术进步与建筑业绿色发展效率正相关。为推动建筑业企业改变劳动密集型特点,建筑业需要增加科技投入,并借鉴智能建造和绿色发展等前沿理念,探索新的技术、材料、方法和设备,提升自动化和集约化水平,实现向技术密集型企业转型。

参考文献:

- [1] Cook W D, Seiford L M. Data envelopment analysis (DEA)-thirty years on[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 192(1): 1-17.
- [2] 齐锡晶, 张晶钰, 季红男. 沈阳房地产开发行业发展效率评价与优化[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(6): 893-899.
(Qi Xi-jing, Zhang Jing-yu, Ji Hong-nan. Development efficiency evaluation and optimization of Shenyang real estate industry [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2021, 42(6): 893-899.)
- [3] 齐锡晶, 戴子龙, 邓李杰, 等. 沈阳城市土地供应效率的评价与优化[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(31): 1657-1661.
(Qi Xi-jing, Dai Zi-long, Deng Li-jie, et al. Evaluation and optimization of urban land supply efficiency in Shenyang [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2009, 30(31): 1657-1661.)
- [4] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [5] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [6] Caves D, Christensen L, Diewert D. The economic theory of Index numbers and the measurement of input, output and productivity[J]. *Econometrica*. 1982, 50:1393-1414.
- [7] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach [J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 229-240.
- [8] 谭丹, 王广斌, 曹冬平. 建筑业全要素生产率的增长特征及其影响因素[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(12): 1901-1907.
(Tan Dan, Wang Guang-bin, Cao Dong-ping. Growth characteristics and influencing factors of Total factor productivity of construction industry [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2015, 43(12): 1901-1907.)
- [9] Luo M, Fan H Q, Liu G W. Measuring regional differences of construction productive efficiency in China [J]. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020, 27(4): 952-974.
- [10] Luo M, Fan H Q, Liu G W. A target-oriented DEA model for regional construction productive efficiency improvement in China[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2021, 47: 101208.
- [11] Zhou Y X, Liu W L, Lyu X Y, et al. Investigating interior driving factors and cross-industrial linkages of carbon emission efficiency in China's construction industry: Based on Super-SBM DEA and GVAR model [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 241: 118322.
- [12] 张普伟, 贾广社, 吴陆锋, 等. 考虑材料投入的建筑业碳生产率及其敛散性[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(1): 149-158.
(Zhang Pu-wei, Jia Guang-she, Wu Lu-feng, et al. Carbon productivity and its convergence in construction industry by incorporating construction materials as input factors [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2019, 47(1): 149-158.)
- [13] Kumbhakar S C, Lien G, Hardaker J B. Technical efficiency in competing panel data models: a study of Norwegian grain farming [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2014, 41(2): 321-337.
- [14] Färe R, Grosskopf S, Norris M. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: reply [J]. *The American Economic Review*, 1997, 87(5): 1040-1044.