

# 建筑业绿色转型升级效果评价研究

## ——基于熵权TOPSIS法

刘亚田, 程正中

北方工业大学土木工程学院, 北京

收稿日期: 2023年3月3日; 录用日期: 2023年3月23日; 发布日期: 2023年3月31日

### 摘要

基于2005年~2020年31省及直辖市面板数据, 构建包括节材、节能减排、技术与人才投入的建筑业绿色转型升级效果评价指标体系。运用熵权TOPSIS法建立评价模型, 测算指标重要程度, 评价区域绿色发展水平, 并提出推动我国建筑业绿色转型升级的相关政策建议。

### 关键词

建筑业, 绿色转型升级, 熵权-TOPSIS法, 评价

# Study on the Effect Evaluation of Green Transformation and Upgrading of Construction Industry

## —TOPSIS Method Based on Entropy Weight

Yatian Liu, Zhengzhong Cheng

College of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2023

### Abstract

Based on the panel data of 31 provinces and municipalities from 2005 to 2020, the Evaluation Index System of green transformation and upgrading effect of construction industry is established, including material saving, energy saving and emission reduction, technology and talents investment. This paper uses entropy weight TOPSIS method to establish evaluation model, measure in-

dex importance degree, evaluate regional green development level, and put forward relevant policy suggestions to promote green transformation and upgrade of our country's construction industry.

## Keywords

Construction Industry, Green Transformation and Upgrading, Entropy Weight-Topsis Method, Evaluation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在“双碳”的国际背景下,建筑生产绿色化和转型升级成为国内外学者研究所关注的焦点。目前大量文献研究了建筑业绿色转型升级的手段,包括装配式建筑、智慧工地、数字化技术等。比如齐宝库等人[1] (2016)研究得出装配式结构体系比传统建筑体系减少了现浇施工量与耗材耗能量。冯璐瑶等[2] (2018)基于装配式住宅项目进行综合效益分析,从碳排放量以及“四节”方面对此进行量化分析,认为装配式建筑的环境效益好于传统建筑。Du等[3] (2019)的研究表明采用预制技术能显著减少CO<sub>2</sub>碳排放量。赖振彬等[4] (2018)的研究证实智能建造系统产生了较大的节能和节材效果。张彦博等[5] (2018)认为互联网和数字技术的普及拓宽了建筑业各方主体参与环境监管的途径,对建筑环境规制的实施效果具有重要促进作用,进而促进了建筑业转型升级。郭峰等[6] (2021)研究结果显示互联网发展可以通过促进技术进步来改善环境质量,可以有效减少建筑施工的污染排放量,控制临近区域的污染排放量。

近年来,中国建筑业生产经营规模不断扩大,但是由于各省市经济发展水平参差不齐,建筑业绿色转型升级效果也差别较大。因此对各地建筑业绿色转型升级效果进行评价,分出优劣,有利于发现差距,寻找原因,采取对策进而促进区域均衡发展。

## 2. 建筑业绿色转型升级内涵界定

界定建筑业绿色转型升级内涵是评价的基础,但目前转型升级内涵没有统一的共识,因而本文借助较完善的工业转型升级理论界定建筑业转型升级的内涵。工信部(2014) [7]发布《工业转型升级规划》与后者陈强(2018-硕)对其内涵界定为:转型和升级互为表里,在其实现机制上都必须依靠技术创新。结合住建部(2007)发布的《绿色施工导则》与后续学者明翠琴等[8] (2016)研究,得出建筑生产绿色化即是绿色施工,其最终目的是实现“四节一环保”。基于以上已有研究,本文进一步界定建筑业绿色转型升级概念:“绿色”是指施工过程中节材节能、低碳减排,对应建筑业绿色化生产;“转型升级”是指企业依靠技术进步实现生产过程的创新,对应建筑业技术化施工。总之,是基于“四节一环保”理念,依靠于技术创新,最终实现建筑业绿色转型升级。

## 3. 区域建筑业绿色转型升级效果评价模型构建

### 3.1. 评价指标构建及数据来源

#### 3.1.1. 指标构建

对于建筑业绿色转型升级效果评价体系而言,指标是用来衡量绿色施工效果与转型升级效果的一种

方法, 其主要涵盖以下内容: 在绿色施工过程中, 对环境保护的行为措施、对资源的高效利用、施工综合管理等; 在建筑企业转型升级中, 对高技术研发人才的充分利用、对机械设备的高效使用、企业高资质等级提升等。本文从投入产出视角, 建立全方面、多层次的评价指标体系, 指标具有内容见表 1。

**Table 1.** Evaluation index system of green transformation and upgrading effect of construction industry

**表 1.** 建筑业绿色转型升级效果评价指标体系

| 建筑业绿色转型升级效果 |         | 效果测量指标           |
|-------------|---------|------------------|
| 投入指标        | 材料与能源投入 | 单位产值钢材等五大建材消耗量   |
|             |         | 单位产值油品能源消耗量      |
|             | 技术投入    | 单位产值电力消耗量        |
|             |         | 建筑业技术装备率         |
| 产出指标        | 经济产出    | 一级总承包以上资质企业占比数量  |
|             | 创新产出    | 勘察设计机构高级职称人员占比数量 |
|             | 环境影响    | 劳动生产率            |
|             |         | 建筑业科技项目创新成果数量    |
|             |         | 碳排放量             |

### 3.1.2. 变量释义及数据来源

本文用“单位产值钢材等五大建材消耗量”来表示建筑业材耗水平, 以此作为评价指标衡量对绿色发展的贡献度。用“单位产值油品能耗量”、“单位产值电力能耗量”来表示建筑业能耗水平, 以此作为评价指标衡量对碳排放的贡献度。技术装备率是代表建筑业技术进步的指标[9]。建筑业技术进步不仅降低施工设备的使用成本, 而且又提高施工机械的装备率和保有量, 能提升施工效率[10]。基于此, 本文用“技术装备率”来表示施工装备技术水平进而代理技术进步水平。高级资质的承包企业单位数量可以反映建筑业的建造技术水平和综合实力[11], 勘察设计机构高级职称人数反映建筑业高层次人才投入。基于此定义和国内学者惯用方法, 本文用“一级以上总承包资质建筑企业占比”、“勘察设计机构高级职称人员数量占比”表示技术与人才投入水平。相关数据选自 2005~2020 年《中国建筑业统计年鉴》、《中国统计年鉴》。

## 3.2. 熵权 TOPSIS 法

熵权法根据各指标所反馈出来的信息量的大小来确定其相应权重。TOPSIS 法对于样本量的大小无要求, 不受所选参考序列干扰, 具有直观、信息失真小、运算灵活及应用领域广等优点。本文使用将两种方法结合起来的熵权 TOPSIS 法对建筑业绿色转型升级效果进行评价, 能够降低主观因素的影响, 以更加客观有效的方式对研究对象进行优劣评价。

### 1) 建立原始数据评价指标矩阵

本文数据采用的是面板数据, 各省和该年份的总和是矩阵的所有行数, 评价指标体系是矩阵的列数。假设, 第  $n$  个省年份对  $m$  项指标进行评价, 则  $X_{ij}$  为第  $i$  个某年份省市对第  $j$  项指标的评价值, 由此构成  $n \times m$  评价指标矩阵为  $X$ 。

$$X = \{X_{ij}\}_{n \times m}$$

### 2) 对原始数据进行无量纲化处理

由于各项指标的计量单位不统一, 因此在计算综合指标之前进行无量纲化处理, 把指标的绝对值转

化为相对值; 此外本文中涉及正项指标和负项指标分别进行标准化处理, 标准化处理公式如下:

$$Y_{ij} = \begin{cases} \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}, & X_j \text{ 为正向指标} \\ \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)}, & X_j \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\max(X_j)$  为同一指标原始数据在各年各省中的最大值,  $\min(X_j)$  为最小值。参照王文钊学者(2019) [10] 的研究思想, 所建立的指标体系中的建筑材料与能耗均属于资源消耗类指标, 因此均为设置为负向指标。

### 3) 熵权法确定指标权重

计算测度体系中评价指标  $Y_{ij}$  第  $j$  项指标的信息熵值  $E_j$ :

$$E_j = (1/\ln n) \sum_{i=1}^n \left[ \left( Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right) \ln \left( Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

计算测度体系中评价指标  $Y_{ij}$  第  $j$  项指标的权重  $W_j$ :

$$W_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^m (1 - E_j) \quad (3)$$

### 4) 熵权 TOPSIS 法确定综合指数

构建测度指标的加权矩阵  $R$ :

$$R = \{r_{ij}\}_{n \times m} = \{W_j Y_{ij}\}_{n \times m}; \quad (4)$$

确定最优方案和最差方案

最优方案:  $Q_j^+ = (\max r_{i1}, \max r_{i2}, \dots, \max r_{im})$

最差方案:  $Q_j^- = (\min r_{i1}, \min r_{i2}, \dots, \min r_{im})$

计算各指标与最优方案和最差方案的欧式距离:

某指标  $z_i$  到最优方案的距离为:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Q_j^+ - r_{ij})^2} \quad (5)$$

某指标  $z_i$  到最差方案的距离为:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Q_j^- - r_{ij})^2} \quad (6)$$

计算各测度指标与理想方案的相对接近度  $C_i$ :

$$C_i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+) \quad (7)$$

其中,  $C_i (0 < C_i < 1)$  值越大表明省份的建筑业绿色转型升级效果越高, 反之越差。

## 4. 区域绿色转型升级效果评价结果分析

### 4.1. 评价结果

运用熵权 TOPSIS 法公式(1)~(3)对初始数据进行计算, 得到各测算指标的熵权比重如表 2 所示。运用公式(4)~(7)对数据进行进一步处理后, 得到各年各省绿色转型升级效果的贴近度值如图 1, 此结果直观

呈现了各年各省地区绿色转型升级效果。

## 4.2. 评价结果分析

### 4.2.1. 2005~2020 年效果测算指标分析

从表 2 可以看出, 一级总承包以上资质企业占比数量  $w_{x5}$  为 0.37, 是绿色转型升级效果评价指标中最为重要的; 勘察设计机构高级职称人员占比指标权重  $w_{x6}$  与技术装备率指标权重  $w_{x4}$  依次为 0.29 和 0.21, 在效果评价中较为重要; 而钢材等五大建材材耗、油品能耗和电力能耗相对来说重要性其次, 权重以此为 0.06、0.04 和 0.03。该结果表明优质企业数量对建筑业绿色转型升级具有“领头羊”作用, 与实际情况结合, 优质企业具有完善的人才培养机制, 不断为行业输送专业性技术人才; 优质企业拥有核心技术优势, 为施工生产打造了科技“利器”; 而且优质的企业拓展业务庞大, 实现了资源利用效率最大化, 进而降低了材耗与能耗, 最终促进建筑业绿色转型升级。

**Table 2.** Calculation results of entropy weight of green transformation upgrade effect index

**表 2.** 绿色转型升级效果指标熵权计算结果

| 测算指标名称  |                  | $w_{ij}$ | 权重   | 排序 |
|---------|------------------|----------|------|----|
| 材料与能源投入 | 单位产值钢材等五大建材消耗量   | $w_{x1}$ | 0.06 | 4  |
|         | 单位产值油品能源消耗量      | $w_{x2}$ | 0.04 | 5  |
|         | 单位产值电力消耗量        | $w_{x3}$ | 0.03 | 6  |
| 技术投入    | 技术装备率            | $w_{x4}$ | 0.21 | 3  |
|         | 一级总承包以上资质企业占比数量  | $w_{x5}$ | 0.37 | 1  |
|         | 勘察设计机构高级职称人员占比数量 | $w_{x6}$ | 0.29 | 2  |

### 4.2.2. 2005~2020 年区域绿色转型升级效果分析

从图 1 可看出, 在时间维度上: 1) 建筑业绿色转型升级整体呈现波动上升趋势, 但整体上变动趋势不显著。侧面说明装配式、智慧工地等转型升级手段还未广泛实施。2) 绿色转型升级效果综合指数从 2010 年后出现显著下降, 其原因可能是由于当时的地方政府部门已开始意识到建筑行业需要进行转型, 但受到当时国民经济发展目标的不明确和技术条件的制约, 以及在经济危机过后我国建筑行业迫切需要复苏, 并以牺牲环境为代价促进经济增长; 2016 年绿色转型升级效果的回升, 从侧面说明了中国当时的节能减排政策取得了相应成效, 如: 2014 年我国住建部颁布了《关于推进建筑业发展和改革的若干意见》, 2017 年 3 月与 4 月先后颁布《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》和《建筑业发展“十三五”规划》, 推动了建筑业的绿色转型升级。

在空间维度上: 1) 河北省建筑业绿色转型升级效果水平明显优于其他地区, 侧面说明目前我国雄安新区建设非常符合绿色转型升级理念, 该地区发展建设步伐较快、产业结构调整较快, 更加注重建筑业可持续发展。2) 中国东北、西北、西南地区绿色转型升级效果水平普遍较低, 其内部结构的相对差异也较小。东北地区产业结构调整适应性不强, 且冬季严寒问题使得工期停滞; 西北地区建筑业人才积累较弱, 且钢铁等五大建材与能源物质相对匮乏; 西南地区地形崎岖加大了施工难度与施工成本, 这些在一定程度上影响了当地建筑业绿色转型升级的发展。3) 华中地区各个省份效果具有较大差异, 但总体水平较低。4) 华东地区的浙江沪、山东, 华南地区的广东, 绿色转型升级效果存在明显上升趋势, 其余各省份的绿色转型升级效果仍存在巨大发展潜力。

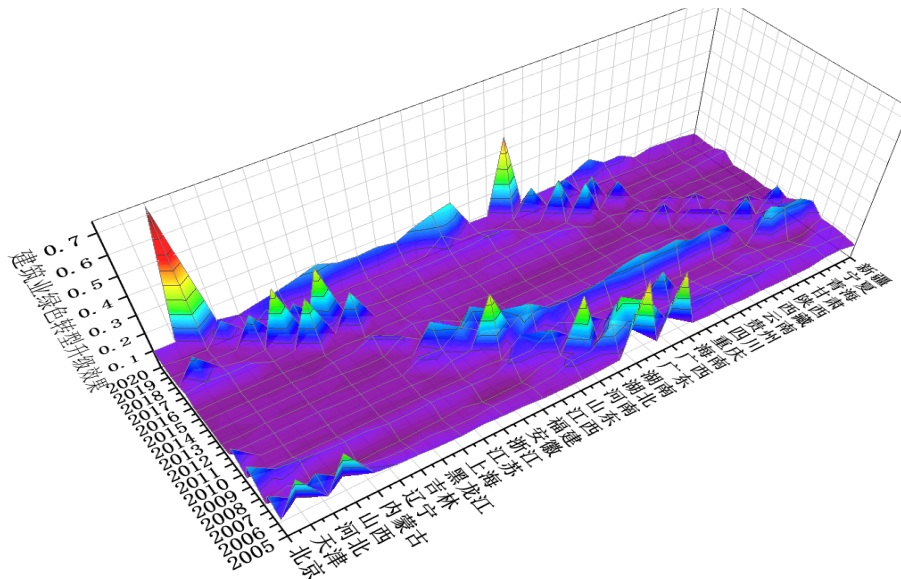


Figure 1. 2005~2020 provincial green transformation and upgrading of the construction industry map

图 1. 2005~2020 年各省建筑业绿色转型升级效果图

## 5. 建议

在我国建筑业绿色转型升级过程中, 政府主导效应显著, 绿色转型升级发展的整体效果和区域之间也有较大差异, 据此提出以下建议。

1) 从效果测算指标角度, 高资质企业对建筑业绿色转型升级的影响最大, 其次是高层次人才与技术装备率。鉴于节材节能、技术创新与人才积累对建筑业绿色转型升级的重要性, 特别是高资质企业、高层次人才积累对于推动绿色转型升级发展具有促进效果, 对于绿色转型升级尚较为落后的地区, 政府与企业应偏重于健全人才培养与留住人才的激励机制。

2) 从区域发展差异角度, 河北已进入建筑业绿色转型升级快速发展阶段, 其政府主导的建筑绿色转型升级发展由各项政策激励模式逐渐转为提高人才管理机制、技术研发投入与节能减排的促进措施。对于河北省建筑绿色转型升级效果领先的区域, 如雄安新区, 其不仅偏重于经济激励型政策的支持, 而且配合制定行业支持政策及规划和土地政策则更能够有效激发建筑企业绿色转型升级的积极性。另一方面, 绿色转型升级发展缓慢的东北、西北、西南地区, 政府部门也要有全局观, 不只局限于激励政策的制定, 还可以在其他硬件措施方面进行有力引导, 如在建筑装备更新、行业绿色施工标准规范制定以及强制性环境规制方面加强政策引导, 让建筑业绿色转型升级的手段更加丰富, 目标更加明确。

## 参考文献

- [1] 齐宝库, 朱娅, 马博. 装配式建筑综合效益分析方法研究[J]. 施工技术, 2016, 45(4): 39-43.
- [2] 冯璐瑶, 刘莉, 商阳. 装配式建筑环境效益分析[J]. 新型建筑材料, 2018, 45(12): 101-103.
- [3] Du, Q., Bao, T. and Li, Y. (2019) Impact of Prefabrication Technology on the Trade-to-Site CO<sub>2</sub> Emissions of Residential Buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **21**, 1499-1514.
- [4] 赖振彬, 王玉麟, 黄巧玲. 智能监测系统在绿色建造中的应用研究[J]. 绿色建筑, 2018, 10(3): 64-67.
- [5] 张彦博, 寇坡. 环境规制、互联网普及率与企业污染排放[J]. 产经评论, 2018, 9(6): 128-139.
- [6] 郭峰, 陈凯. 空间视域下互联网发展对城市环境质量的影响——基于空间杜宾模型和中介效应模型[J]. 经济问题探索, 2021(1): 104-112.

- 
- [7] 工信部. 《工业转型升级规划(2011-2015)》中期评估报告[EB/OL].  
[https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/zh/art/2020/art\\_791ea532e25d41368a84984a6dd41171.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/zh/art/2020/art_791ea532e25d41368a84984a6dd41171.html), 2022-11-12.
- [8] 明翠琴, 钟书华. 中国建筑业绿色增长转型的评价指标体系研究[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2016, 29(4): 582-588.
- [9] 杨承乾, 熊华平, 李木子. 湖北省建筑业高质量发展评价研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(12): 15-20.
- [10] 王文钊, 綦振法, 张立涛. 新时代建筑业高质量发展测度体系的构建及评价[J]. 建筑经济, 2019, 40(12): 21-26.
- [11] 吴翔华, 张利婷. 建筑业高质量发展综合评价研究——以江苏省为例[J]. 建筑经济, 2021, 42(12): 20-26.