

智能建造背景下新质生产力评价指标体系搭建

于光旭¹ 张皓妍¹ 葛天昊² 夏 爽³ 金占勇^{1*}

1. 北京建筑大学 城市经济与管理学院 北京 100044

2. 长安大学 汽车学院车辆工程专业 陕西西安 710064

3. 中国建筑科学研究院有限公司 北京 100013

摘 要：传统生产力评价体系包含的指标难以全面反映智能建造背景下多元化生产要素的贡献，与此同时新生产要素的作用日益凸显，现有评价体系已难以适应这种变化。研究者旨在构建一套基于智能建造背景的新质生产力评价指标体系。首先将新质生产力细分为科创生产力、智能生产力、绿色生产力，再通过文献研究法抓取典型指标用于评价这三类准则，并通过建立AHP-EWM-TOPSIS评价模型得到最终评价指标——智能建造新生生产力发展水平。期望为智能建造背景下的新质生产力评估提供科学、系统的工具，并为行业和企业战略调整提供参考。

关键词：智能建造；新质生产力；评价指标；评价体系

引言

随着信息技术和智能技术的迅猛发展，建筑行业正在经历从传统建造模式向智能建造模式的转型。智能建造不仅能提高建造过程的自动化、数字化和信息化水平，也深刻改变了建筑企业的生产方式和生产力结构。与此同时，“新质生产力”概念逐渐引入建筑领域，建筑业正在形成智能建造过程中技术、管理、资源等多方面协同作用下新的生产力形式。

传统生产力评价体系往往基于劳动、资本和技术的投入与产出效率，但这些指标难以全面反映智能建造背景下多元化生产要素的贡献。在智能建造的复杂生态中，数据、算法、自动化设备、人机协作等新生产要素的作用日益凸显，现有评价体系已难以适应这种变化。因此，建立一套适应智能建造背景的新质生产力评价指标体系，不仅能够为行业提供科学的决策依据，还能够推动建筑业进一步提高资源利用效率、促进绿色可持续发展。

一、新质生产力与智能建造的科学内涵

1. 新质生产力的概念

2023年9月，习近平总书记在黑龙江考察调研时首次提到“新质生产力”，它是马克思主义生产力理论的发展和创新。按照马克思主义政治经济学基本原理，生产力就是人类改造自然和征服自然的能力。科学技术是第一生产力，同样生产力中也包括科学。新质生产力与

传统生产力相比，主要区别就在于“新”“质”。一方面，“新”是指新质生产力不同于传统生产力，是以新技术、新模式、新产业、新业态、新领域、新赛道、新动能、新优势为主要内涵的生产力；另一方面，“质”是指新质生产力以创新驱动的先进生产力为本质，以高效能、高效率、高质量为主要特征。

新质生产力以科技创新为主导，以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的颠覆性创新为基本内涵，以全要素生产率大幅提升为核心标志，代表着生产力的跃迁^[1]。

2. 智能建造的特点

目前学术界关于智能建造的定义尚未统一，其相关研究可追溯至1980年^[2]。为了提升建造效率和建筑质量、改善作业环境、缓解熟练劳动力短缺的问题，建筑业开始使用建造机器人辅助作业人员工作，逐步朝自动化方向发展^{[3][4]}。

智能建造的研究可分为关键技术、典型产品和产品绩效^[5]。关键技术包含智能建造可能使用的基础性技术和关键性技术。基础性技术包含传感技术、BIM技术、人机交互系统等；关键性技术包含增材制造技术、计算机视觉、神经网络等。典型产品包括适用于单一特定场景的建造机器人（如挖掘机器人、搬运机器人等）和应用集成复杂场景的自动化建造系统。产品绩效是指智能建造相关产品在成本、效率、质量、安全等方面的表现。

二、智能建造背景下新质生产力评价体系

1. 评价体系基本框架

本文借鉴了国内学者关于相关领域评价体系研究^{[6][7][8][9][10]},按照“目标层-准则层-要素层-指标层”的逻辑结构建立了智能建造背景下新质生产力评价指标体系。在该体系中,目标层为智能建造新质生产力发展水平,用于评价某地区在一定时间段内智能建造的发展水平,其大小用 I_{IC} (Intelligent Construction Index)表示。准则层按照上文对新质生产力的分析,分为科创生产力、智能生产力和绿色生产力,分别用 P_s (Science and Innovation Productivity)、 P_i (Intelligent Productivity)、 P_g (Green Productivity)表示其发展水平。每个准则层可分为两个互斥的子系统,即为要素层。指标层是各要素层下包含的不同量化指标。

2. 评价指标体系构建

目前国内关于智能建造新质生产力的研究尚处于起步阶段,相关评价指标和影响因素的研究有待进一步丰富。本文通过文献研究法综合了部分已有的相关研究后,构建了智能建造背景下新质生产力评价指标体系,如表1所示。

表1 智能建造新质生产力评价指标体系

目标层	准则层	要素层	指标层		
			编号	名称	类别
智能建造新质生产力	科创生产力	研发投入水平	T1	经费投入规模	正向
			T2	科研机构规模	正向
			T3	研究人员规模	正向
		创新产出水平	T4	专利授权数量	正向
			T5	核心论文数量	正向
			T6	创新企业数量	正向
	智能生产力	资源投入程度	D1	基础设施规模	正向
			D2	人员投入规模	正向
			D3	顶层参与程度	正向
		技术应用程度	D4	智能建造技术应用规模	正向
			D5	数据驱动应用规模	正向
			D6	智能化平台搭建规模	正向
	绿色生产力	资源节约水平	G1	万元GDP能耗水平	负向
			G2	万元工业增长值能耗水平	负向
			G3	可再生能源功能占比	正向
		环境友好水平	G4	人均绿地面积	正向
			G5	空气品质水平	正向
			G6	水污染程度	负向

三、智能建造背景下新质生产力评价方法

本文涉及多指标评价,所以采用了多指标评价方

法对目标层进行评价,以期得出符合预期的评价结果。通过对多种多指标评价方法的对比,本文选用了AHP-EWM-TOPSIS评价模型对智能建造新质生产力发展水平进行评价^{[6][11]}。

1. 基于AHP法计算主观权重

层次分析法(AHP)将一个多目标决策问题看作一个独立系统,将目标分解为多个准则以及每个准则对应的多个指标,通过求解判断矩阵的特征向量的方法得出每个层次各元素对应上个层次某元素的权重^[12]。

本文利用AHP法对评价体系的三大准则层进行主观权重计算。具体步骤如下:

(1) 构建科创生产力、智能生产力、绿色生产力三大准则层的指标判断矩阵。依据决策者和相关领域专家两两比较各指标的重要性关系后,得到各准则层的判断矩阵为:

$$\text{科创生产力判断矩阵: } T = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{61} & \cdots & t_{66} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{智能生产力判断矩阵: } D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{61} & \cdots & d_{66} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{绿色生产力判断矩阵: } G = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{61} & \cdots & g_{66} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, t_{ij} 、 d_{ij} 、 g_{ij} 分别表示科创生产力、智能生产力、绿色生产力三大准则层下第*i*个指标与第*j*个指标的相对重要程度。

(2) 计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$,并进行一致性检验。若计算出 $CR < 0.1$,则判断矩阵通过一致性检验。

(3) 采用几何平均法计算三大准则层的指标权重,计算公式为:

科创生产力指标权重:

$$\omega_{ti} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n t_{ij}} \div \sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n t_{ij}} \right) \quad (4)$$

智能生产力指标权重:

$$\omega_{di} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n d_{ij}} \div \sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n d_{ij}} \right) \quad (5)$$

绿色生产力指标权重:

$$\omega_{gi} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n g_{ij}} \div \sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n g_{ij}} \right) \quad (6)$$

2. 基于EWM计算客观权重

熵权法（EWM）基于信息熵的概念，通过计算三大准则层下各指标的熵值来判断其离散程度，进而可确定各个指标权重，是一种用于多指标综合评价的客观赋权法^[12]。具体步骤如下：

（1）对三大准则层下的各个指标进行标准化处理，以构建各准则层的评价矩阵。设有 a 个评价实体， b 个评价指标，则

正向指标：

$$s_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, 1 \leq i \leq a, 1 \leq j \leq b \quad (7)$$

负向指标：

$$s_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, 1 \leq i \leq a, 1 \leq j \leq b \quad (8)$$

其中， s_{ij} 表示各准则层标准化处理之后第 i 个评价实体的第 j 个评价指标， x_{ij} 表示对应的 s_{ij} 原始指标数值。

（2）计算不同指标的比重：

$$p_{ij} = \frac{s_{ij}}{\sum_{i=1}^a s_{ij}} (1 \leq i \leq a, 1 \leq j \leq b) \quad (9)$$

（3）计算不同指标的熵值：

$$E_j = -k \sum_{i=1}^a p_{ij} \ln p_{ij} (1 \leq i \leq a, 1 \leq j \leq b) \quad (10)$$

（4）计算不同指标的贡献权重：

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{k - \sum_{j=1}^b E_j} \quad (11)$$

3. 确定综合权重

层次分析法在确定各指标权重时主要考虑指标决策者和相关专家的主观意愿，计算出的赋权结果具有较强的主观性。熵权法运用数学理论计算各指标的客观权重，未能考虑到不同的准则层对目标层的影响程度也不同。

为了结合两种方法的优点，摒弃其缺陷，使得计算的结果更具有实际参考意义，本文通过主客观结合的方法，计算各指标的综合赋权值。计算方法如下：

$$\omega_{z\text{综合}} = \alpha \omega_{z\text{AHP}} + (1 - \alpha) \omega_{z\text{EWM}} (z \in \{t, d, g\}, \alpha \in [0, 1]) \quad (12)$$

其中， z 表示三大准则层任意一个； α 表示主观偏好系数。一般来说，要使偏差平方和最小，主客观权重比应为 1: 1，即 $\alpha = 0.5$ ^[13]。

4. 建立AHP-EWM-TOPSIS评价模型

得出结合了主客观评价的综合权重后，可利用

TOPSIS法计算三大准则层，即科创生产力 P_s 、智能生产力 P_I 和绿色生产力 P_G 的发展水平，并最终得出目标层智能建造新质生产力发展水平 I_{IC} 。具体步骤如下：

（1）构建加权矩阵：

$$B = (b_{ij})_{m \times n} = \omega_{z\text{综合}} \times sij = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1b} \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{b1} & \dots & m_{ab} \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中， m_{ij} 为 s_{ij} 赋权后的指标值。

（2）计算理想解和负理想解：

$$\text{理想解: } V^+ = \left\{ \max_i m_{ij} \mid 1 \leq i \leq a \right\} \quad (14)$$

$$\text{负理想解: } V^- = \left\{ \min_i m_{ij} \mid 1 \leq i \leq a \right\} \quad (15)$$

（3）计算：

$$\text{到理想解的距离: } S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^b (m_{ij} - m_j^+)^2} \quad (16)$$

$$\text{到负理想解的距离: } S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^b (m_{ij} - m_j^-)^2} \quad (17)$$

（4）计算各准则层的新质生产力发展水平：

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, P_i \in [0, 1] \quad (18)$$

其中， $i=1, 2, 3$ 时，分别表示科创生产力、智能生产力、绿色生产力。

（5）采用多准则集成计算方法^[14]，对三大准则层分别赋予一定权重 β ，计算目标层智能建造新质生产力发展水平：

$$I_{IC} = \beta_1 P_s + \beta_2 P_I + \beta_3 P_G \quad (19)$$

其中， $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$ 。

结论

最终目标层智能建造新质生产力的评价指标 IIC 的取值范围为 $[0, 1]$ 。为了便于表述，本文将评价标准划分为 1-5 级，1 级最优，5 级最差。由于智能建造背景下新质生产力的发展水平是相对的，所以 5 级水平不代表觉得的“差”，1 级水平也不代表绝对的“优”。具体标准如表 2 所示。

表 2 智能建造新质生产力评价指标分级标准

等级	5 级 (差)	4 级 (较差)	3 级 (中等)	2 级 (较优)	1 级 (优)
评价范围	$[0, 0.2)$	$[0.2, 0.4)$	$[0.4, 0.6)$	$[0.6, 0.8)$	$[0.8, 1]$

本文重心在于构建智能建造背景下新质生产力的评

价标准体系,在后续研究中应当进一步完善各指标,并针对不同地区的特点搭建更具针对性的评价体系。为保证本文评价方法和结果的合理可靠,为今后的研究提出如下建议:

(1) 建议完善部分指标对应的数据,如智能建筑领域研究人员规模、领域创新企业数量等。便于后续各类准则层权重的计算,增加结果的可靠性和实用性;

(2) 建议住建部及各地住建局开展智能建造新质生产力试点评估工作。评估结果较好的地区可总结相关经验和技术,记录在册,便于其他地区查阅使用。

参考文献

- [1] 周文,许凌云.论新质生产力:内涵特征与重要着力点[J].改革,2023,(10):1-13.
- [2] Skibniewski M J. Robotics in civil engineering[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.
- [3] Bradley D A, Seward D W. Robots and automated systems for the civil and construction industries[J]. Civil Engineering Systems, 1990,7(3):135-139.
- [4] Boles W W, Wang J. Construction automation and robotics in civil engineering education programs[J]. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 1996, 122(1):12-16.
- [5] 马羚.智能建造背景下人机交互安全管理方法研究[D].清华大学,2021.
- [6] 苑东亮,王治,任连伟,等.基于组合赋权-云模型的智能建造应用成熟度的评价[J].科学技术与工程,2024,24(19):8239-8247.
- [7] 吕刚,王同军,刘建友,等.铁路盾构隧道智能建造技术及其分级评价方法研究[J/OL].铁道标准设计,1-8[2024-09-30].
- [8] 吴凤平,宋妍,黄蕊.新发展理念下水利新质生产力评价指标体系构建[J/OL].水资源保护,1-11[2024-09-30].
- [9] 肖瑶,张兵,仲敏,等.基于GIS的我国绿色建筑发展耦合水平评价研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2024,55(04):487-494.
- [10] 郭振伟,王新雨,罗晓予,等.绿色公共建筑全寿命期碳排放影响因素研究——以夏热冬冷地区为例[J].建筑科学,2024,40(02):12-18+29.DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2024.02.02.
- [11] 杨卓媛,黄宇云,夏函,等.水利新质生产力评价体系及其应用[J/OL].水资源保护,1-12[2024-09-30].
- [12] 杨保安,张科静.多目标决策分析理论、方法与应用研究[M].上海:东华大学出版社,2008.
- [13] 舒欢,刘文娜.基于组合赋权-TOPSIS模型的水利工程建设方案优选决策方法[J].工程管理学报,2013,27(04):83-86.
- [14] 左其亭,郝明辉,姜龙,等.幸福河评价体系及其应用[J].水科学进展,2021,32(01):45-58.