

建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系构建及实证

姚远

(沈阳工程学院 经济管理与法学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘要:文章构建了一种基于建筑全生命周期视角的建筑低碳化转型评价指标体系。借鉴已有研究成果建立了包括建材生产和运输、建造和拆除、运行3个一级指标及7个二级指标的建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系,并运用熵权-TOPSIS方法对2012—2021年辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平进行了评价。结果表明:建造及拆除对辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平影响较大,运行次之,建材生产和运输影响较小;辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平呈波动式上升趋势。通过实例验证了评价指标体系及方法的可行性和科学有效性,并给出了辽宁省建筑全生命周期低碳化转型的建议。

关键词:建筑全生命周期;低碳化转型;评价指标体系;实证;辽宁省

中图分类号:F407.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1007—6921(2024)08—0036—04

党的二十大报告提出“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”,强调“积极稳妥推进碳达峰碳中和”,要求推进建筑领域清洁低碳转型。2022年住房和城乡建设部制定印发《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》《城乡建设领域碳达峰实施方案》,都聚焦于建筑领域绿色低碳转型工作。我国拥有全球最大规模的建筑市场,建筑业占GDP的比重高达7%。据《中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022年)》,2020年建筑全生命周期能耗总量为22.7亿吨标准煤,占全国能源消费总量比重为45.5%;碳排放总量为50.8亿t二氧化碳,占全国碳排放的50.9%。建筑全生命周期包含建材生产、建材运输、建造、运行、拆除5个阶段,涉及工业、交通和建筑运行3个部分。建筑全生命周期作为碳排放的主要来源,准确评价建筑全生命周期低碳化转型水平是实现“双碳”目标的重要支撑。

国外相关研究关注于完善绿色建筑评价指标体系,主要表现在不断增补低碳评价指标到原绿色评价指标体系框架中,以适应建筑业低碳转型评价的需求。目前有影响力的评价体系有:英国的BREEAM、美国的LEED、德国的DGNB、日本的CASBEE和由加拿大主导多国参与的GBTOOL等。自20世纪90年代引入绿色建筑概念,国内学者们对

绿色建筑评价标准体系建设进行了大量的探索工作,中央及各地方政府也相继出台了多项政策文件、规范和标准。随着“双碳”战略的提出,建筑业评价理论与方法和建筑业低碳发展等领域逐渐成为研究的热点,国内学者进行了探索工作。代表性研究有:①国内外绿色建筑评价体系的比较研究。王静等^[1]利用纵横对比方法去解析2018版本的变化及提升条文的内容;赵敬源等^[2]从评价指标、权重、评价性能、对象等方面比较了LEED V4与新版《绿色建筑评价标准》的异同点;赵秀秀等^[3]以绿色建筑评价体系的减碳指标为研究对象,选取LEED、BREEAM、DGNB、CASBEE、EEWH等5个具有代表性的绿色建筑评价体系,通过比较总结提出了我国绿色建筑评价标准在减碳指标方面的改进建议。②建筑业评价理论与方法。孙妍等^[4]从营商环境、科技创新、协调发展、绿色发展、开放发展、共享发展等6个方面构建建筑业高质量发展评价指标体系,采用熵权-TOPSIS综合评价法对数据指标进行评价;金媛等^[5]采用序关系分析-物元可拓对建筑业上市企业科技水平进行评价;陈德义等^[6]采用共同前沿和三阶段数据包络对中国建筑业效率评价;陆菊春等^[7]构建系统动力学模型,从区域经济发展状况、低碳产业结构、地方保护主义及低碳生产要素等方面进行

收稿日期:2023—07—07

基金项目:2023年度辽宁省科学事业公益研究基金(软科学研究计划)(2023JH4/10700010)资助。

作者简介:姚远(1981—),男,辽宁沈阳人,副教授,博士,主要研究方向:综合评价理论与方法、工程管理和项目管理。

建筑业低碳竞争力发展态势的仿真模拟。③建筑业低碳发展研究。王波等^[8]提出智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径与政策建议;尚梅等^[9]从省域建筑业在地方经济发展中的地位及低碳发展水平视角,提出其低碳发展的路径;高源等^[10]通过对影响我国建筑业低碳转型升级关键因素的深入剖析,创新性地从社会认知、低碳技术、碳交易市场和政策体系等方面提出相应的对策建议。从国内外研究成果可以看出:被评价对象主要集中在建筑建造、运行和拆除的某个阶段或某几个阶段,包括建材的生产及运行以建筑全生命周期作为被评价对象构建指标体系的研究成果较少;国内外现有成熟的和学者们积极探索的评价指标体系均是以绿色建筑为视角构建,以低碳建筑视角研究的成果较少。

综上,本文提出构建建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系及实证的研究内容,兼顾建材生产、建材运输、建造、运行和拆除全生命周期建立指标体系,完善建筑全生命周期低碳化转型评价理论;以辽宁省为例开展实证研究,运用熵权-TOPSIS方法对辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平进行评价与分析,说明评价指标体系及方法的可行性和科学有效性;最后,根据评价结果给出结论和建议。

1 研究设计

1.1 建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系构建

表 1 建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	单位	指标属性
建材生产及运输		电力占非金属矿物制品业能源消费比重(c ₁)	%	正向
		电力占黑色金属冶炼和压延加工业能源消费比重(c ₂)	%	正向
建筑全生命周期低碳化转型水平	建造及拆除	建筑业能源消费总量(c ₃)	万吨标准煤	正向
		电力占建筑业能源消费比重(c ₄)	%	正向
		建筑业 GDP 增加值(c ₅)	亿元	正向
		建筑施工企业技术装备率(c ₆)	元/人	正向
运行		电力占城乡居民生活能源消费比重(c ₇)	%	正向

以建筑全生命周期低碳化转型的内涵为基础,借鉴已有研究成果,从建材生产及运输、建造及拆除、运行 3 个维度构建指标体系,以体现建筑全生命周期低碳化转型的发展过程。指标分两阶段筛选:第一阶段,尽可能覆盖现有指标全集的初选指标;第二阶段,依据可得性和代表性原则对冗余指标进行删减。据

此,建立由 3 个一级指标,7 个二级指标组成的建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系,见表 1。

1.2 方法构建

本文采用熵权-TOPSIS 方法进行评价,具体问题描述如下:设 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 为被评价对象集,其中 s_i 表示第 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 个被评价对象, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 为指标集,各指标相互独立, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为指标权重向量,其中 w_j 为属性 c_j 的权重,且满足 $\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, x_{ij}$ 为第 i 个被评价对象第 j 个指标的取值,则评价矩阵 X 为:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

具体步骤如下:

①采用极值法标准化指标数据。

正向指标: $a_{ij} = (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j)$;

逆向指标: $a_{ij} = (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - \min x_j)$ 。

其中, $\max x_j$ 为第 j 个指标的最大值, $\min x_j$ 为第 j 个指标的最小值, a_{ij} 为标准化后的指标值, $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 为标准化后的评价矩阵。

②采用熵权法赋权, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

③构建加权评价矩阵, $Z = WA = (z_{ij})_{m \times n}$, 其中 z_{ij} 为第 i 个被评价对象第 j 个指标加权标准化后的取值。

④确定正负理想点, 正理想点 $Z^+ = \{\max z_{i1}, \max z_{i2}, \dots, \max z_{in}\}$, 负理想点 $Z^- = \{\min z_{i1}, \min z_{i2}, \dots, \min z_{in}\}$ 。

⑤计算欧式距离, 与正理想点的距离 $d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij}^+ - z_{ij})^2}$, 与负理想点的距离 $d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_{ij}^-)^2}$ 。

⑥计算相对贴近度, $Y_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, 0 \leq Y_i \leq 1$ 。

依据 Y_i 值大小排序, Y_i 值越接近 1 排序越靠前。

2 实证分析

2.1 数据来源

2021 年辽宁建筑业总产值达 4 044.90 亿元, 占全省 GDP 的 14.66%, 同比增长 6.55%, 2021 年利税总额 137.7 亿元, 实现增加值 1 646 亿元。2022 年 9 月颁布的《辽宁省碳达峰实施方案》明确提出推

动城乡建设绿色低碳转型,提升建筑能效水平,优化建筑用能结构,推进农村建设和低碳用能转型。建筑业是辽宁省的重要产业,建筑业低碳转型是辽宁省实现“双碳”目标的关键。本部分应用上文构建的评价指标体系及方法,选取 2012—2021 年的指标数据,评价辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平,为相关部门决策提供支持。各指标数据均从《辽宁省统计年鉴》《中国建筑业统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》获得。原始数据见表 2。

表 2 辽宁省建筑全生命周期低碳化转型评价指标原始数据

年份	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇
2012	8.42	4.38	178.75	25.20	1 156.6	19 223	25.66
2013	8.25	5.12	279.72	25.41	1 263.8	10 779	30.69
2014	9.99	5.25	290.24	37.56	1 297.2	13 729	27.45
2015	6.86	5.57	299.96	46.71	1 298.5	10 221	25.68
2016	12.00	6.23	295.52	49.60	1 338.0	10 637	25.59
2017	12.78	5.87	290.03	50.82	1 388.2	11 003	24.80
2018	12.78	5.87	274.82	50.82	1 433.9	9 727	24.80
2019	11.77	5.34	255.60	78.21	1 480.1	653	27.14
2020	14.56	5.54	256.29	75.36	1 528.1	877	30.04
2021	15.88	5.81	260.91	74.58	1 646.0	1 170	31.06

2.2 评价过程及结果

运用上述评价指标体系和熵权-TOPSIS 方法,对辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平进行评价。鉴于篇幅有限,笔者仅列出部分计算数据及结果。采用极值法标准化指标数据,结果见表 3。

表 3 辽宁省建筑全生命周期低碳化转型评价指标标准化后的数据

年份	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇
2012	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.14
2013	0.15	0.40	0.83	0.00	0.22	0.55	0.94
2014	0.35	0.47	0.92	0.23	0.29	0.70	0.42
2015	0.00	0.64	1.00	0.41	0.29	0.52	0.14
2016	0.57	1.00	0.96	0.46	0.37	0.54	0.13
2017	0.66	0.80	0.92	0.48	0.47	0.56	0.00
2018	0.66	0.80	0.79	0.48	0.57	0.49	0.00
2019	0.54	0.52	0.63	1.00	0.66	0.00	0.37
2020	0.85	0.63	0.64	0.95	0.76	0.01	0.84
2021	1.00	0.77	0.68	0.93	1.00	0.03	1.00

采用熵权法赋权,为避免出现 0 值,标准化后的数据加 0.01 处理,可得指标权重为 $W = (0.13, 0.08, 0.06, 0.17, 0.12, 0.19, 0.26)^T$ 。

构建加权评价矩阵,结果见表 4。

表 4 辽宁省建筑全生命周期低碳化转型加权评价矩阵

年份	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇
2012	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.04
2013	0.02	0.03	0.05	0.00	0.03	0.10	0.24
2014	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03	0.13	0.11
2015	0.00	0.05	0.06	0.07	0.03	0.10	0.04
2016	0.07	0.08	0.06	0.08	0.04	0.10	0.03
2017	0.08	0.06	0.06	0.08	0.05	0.10	0.00
2018	0.08	0.06	0.05	0.08	0.07	0.09	0.00
2019	0.07	0.04	0.04	0.17	0.08	0.00	0.10
2020	0.11	0.05	0.04	0.16	0.09	0.00	0.22
2021	0.13	0.06	0.04	0.16	0.12	0.01	0.26

确定正负理想点,计算欧式距离及贴近度,结果见表 5。

表 5 辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平评价结果

年份	正欧式距离	负欧式距离	贴近度	排序
2012	0.336 5	0.191 2	0.362 3	9
2013	0.242 3	0.272 0	0.528 9	3
2014	0.240 4	0.196 6	0.449 8	5
2015	0.302 4	0.151 9	0.334 3	10
2016	0.273 6	0.185 0	0.403 5	6
2017	0.294 7	0.187 2	0.388 4	7
2018	0.296 8	0.181 4	0.379 4	8
2019	0.260 1	0.229 3	0.468 5	4
2020	0.195 6	0.310 8	0.613 7	2
2021	0.183 8	0.356 4	0.659 8	1

从表 5 可以看出,2012—2021 年,辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平呈波动式上升趋势,2020 年 9 月我国明确提出“双碳”目标后,辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平贴近度明显提高,2021 年达到峰值 0.659 8。

3 结论与建议

笔者以建筑全生命周期低碳化转型为研究对象,构建了包括建材生产及运输、建造及拆除、运行等 3 个一级指标,7 个二级指标的建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系。基于 2012—2021 年辽宁省数据,利用熵权-TOPSIS 方法测度了辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平。研究发现:建筑全生命周期低碳化转型评价指标体系具有较强的可行性和有效性;建造及拆除一级指标对辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平影响较大,运行次之,建材生产及运输影响较小,辽宁省建筑全生命周期低碳化转型水平呈波动式上升趋势。

基于上述结论,笔者提出以下建议:①推广绿色建材研发及使用。强化建材企业绿色管理,大力推

行绿色设计,建设绿色工厂,构建绿色制造体系。提升绿色建材研发生产能力,完善绿色建材认证体系。加大资源综合利用和发展循环产业,利用化工、冶金行业的副产品发展新型绿色建材,推动绿色、新型建筑材料产业集聚发展。②推进交通运输绿色低碳转型。优化交通运输结构,发展多式联运和智能交通,强化多种运输方式有机融合。推进运输工具装备低碳转型,加快布局发展新能源汽车。加快绿色交通基础设施建设,加快推进配套电网、加注(气)站、加氢站、充电桩等基础设施建设。③全面推进绿色低碳建造。大力推广装配式建筑,推进建筑工业化。完善装配式建筑标准化设计和生产体系,推行设计选型和一体化集成设计。鼓励推动钢结构装配式住宅建设。完善建筑节能标准,鼓励绿色建筑执行更高的建筑节能和碳排放标准,降低建筑能耗,推动超低能耗建筑和低碳建筑规模化发展。④加快既有建筑节能改造。持续推进建筑用户侧能效提升改造、供热管网保温及智能调控改造。加快推进居住建筑和公共建筑节能改造。结合老旧小区改造,开展建筑节能低碳改造,与小区公共环境整治、多层加装电梯、小区市政基础设施改造等统筹推进。开展能耗信息公示及披露试点,普遍提升公共建筑节能运行水平。⑤推进绿色低碳农房建设。提升农房绿色低碳设计建造水平,引导新建农房执行《农村居住建筑节能设计标准》等相关标准,建设满足乡村生产生活实际需要的新型农房,完善水、电、气、厕配套附属设施,加强建筑节能材料向乡村推广,提高农房能效水平。鼓励乡村利用屋顶、院落等建设分布式新能源。⑥鼓励绿色建筑技术创新。推动新一代信息技术与建筑工业化技术协同发展,推进相关装备和绿色建筑建材的研发、制造和推广应用;推进工业互联网平台在建筑领域的融合应用,建设建筑产业互联网平台,开发面向建筑领域的应用场景。以各类园区及公共建筑群为对象,形成区域建筑虚拟电厂,提高建筑用电效率,降低用电成本。⑦限制建筑废弃物产生。健全建筑拆除管理制度,严格既有建筑拆除管理。除违法建筑和经鉴定为危房且无修缮保留价值的建筑外,不大规模、成片集中拆除现状建筑。⑧全面推进建筑电气化运行。推广以“光储直柔”为主要特征的新型建筑电力系统,推动开展新建公共建筑全面电气化,鼓励机关、学校、医院等公共机构建筑和办公楼以及酒店、商业综合体等大型公共建筑围绕减碳提效,实施电气化改造。加快推进居民供暖

电能替代,持续提升全社会电气化水平。⑨建筑运行积极使用绿电。加强风电光伏布局,支持陆上风光基地建设;合理利用海上风能资源,支持建设海上风电基地。安全有序发展核电;适时推广天然气分布式能源系统建设。促进氢能产业创新发展,加快形成全产业链发展格局,拓展氢能在建筑领域应用。⑩发展零碳热源供暖。积极推进城乡热网改造、热电联产供暖、工业余热供暖,因地制宜推广热泵、生物质能、地热能、太阳能等清洁供暖。充分利用沿海核电、调峰火电、冶金化工有色建材产生的余热、生产生活排放的低品位余热,解决建筑冬季供暖需求。

[参考文献]

- [1] 王静,陈东宇,刘艺蓉.德国绿色建筑评价标准DGNB-2018版本的修订与启示[J].南方建筑,2021,205(5):94-101.
- [2] 赵敬源,黄志勇.LEED V4与《绿色建筑评价标准》的对比研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2017,49(3):408-415.
- [3] 赵秀秀,袁永博,张明媛.绿色建筑评价体系减碳指标对比研究[J].建筑科学,2016,32(10):136-141.
- [4] 孙妍,刘文昌.建筑业高质量发展评价研究:以辽宁省为例[J].建筑经济,2022,43(S2):32-36.
- [5] 金媛,余宏亮,陈珂.基于序关系分析-物元可拓的建筑业上市企业科技水平评价研究[J].科技管理研究,2021,41(13):48-57.
- [6] 陈德义,王应明.共同前沿和三阶段数据包络的中国建筑业效率评价[J].福州大学学报(自然科学版),2019,47(3):307-313.
- [7] 陆菊春,沈春怡,汤雷.多因素融合下的区域建筑业低碳竞争力动态仿真研究[J].生态经济,2017,33(9):63-66,85.
- [8] 王波,陈家任,廖方伟,等.智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径与政策[J].科技导报,2023,41(5):60-68.
- [9] 尚梅,王刚刚,邹绍辉,等.省域建筑业低碳发展路径[J].科技管理研究,2018,38(13):235-242.
- [10] 高源,刘丛红.我国传统建筑业低碳转型升级的创新研究[J].科学管理研究,2014,32(4):72-75.