

基于熵权-TOPSIS法的辽宁省 低碳发展水平评价研究

李闫岩,高彤,乔炎

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁沈阳110168)

摘要:低碳城市建设是完成“双碳”目标的重要一环。基于低碳城市理念和内涵,从经济发展、社会进步、碳汇、资源利用和碳源(产业结构)5个方面,分20项指标构建了低碳评价指标体系,利用熵权法对各指标进行了赋权,运用TOPSIS模型对辽宁省2010—2020年的低碳发展水平进行了评价。结果表明:辽宁省低碳发展最大的影响因素是经济发展水平和碳源(产业结构),并从产业结构、相关政策、能源结构、营商环境角度提出了低碳减排的相关对策。

关键词:低碳发展;熵权-TOPSIS;辽宁省;碳源

中图分类号:F124;X22

文献标志码:A

第75届联合国大会上中国承诺在2030年实现碳排放达峰,在2060年前实现碳中和^[1]。城市低碳评价涉及经济、社会、环境保护等各方面,通过文献检索发现,近年来不少学者构建了城市低碳评价体系。例如李德智等^[2]从碳源(产业结构)、经济和碳汇3个维度对城市的低碳建设水平进行了评价;也有学者从压力、状态、响应3个方面入手,建立评估体系对城市的低碳发展进行了评价^[3]。尽管这个模式可以很好地阐述低碳城市的发展历程,但在选取指标时,压力指标和状态指标在选取时不易被区分;于涵等^[4]从碳减排、碳消纳和区平衡3个角度对中国城市低碳发展进行了阐述,并对现阶段低碳城市评估系统进行了归纳;Jing Z等^[5]从社会、经济、环境3个方面对城市低碳发展进行了评价,并提出了可持续发展措施;Marquez B等^[6]通过熵权法从能源的用途、系统和流

动3个方面对巴塞罗那和马拉加市进行了低碳评价。

综上所述,学者们从多个角度构建了城市低碳评价指标体系,但目前的指标体系比较零散,有些是以经济转型为重点,有些则是单纯从低碳角度出发。在确定权重时多数采用专家评分法,具有很强的主观性,无法从根本上反映出城市低碳发展过程中各子系统之间的互动关系。因此,研究将城市低碳作为一个由多个子系统、多个具体因素构成的复合大系统,利用信息熵对其进行客观的评价,并将其与TOPSIS方法相结合,对辽宁省低碳水平进行评价,并提出相关建议。

一、辽宁省低碳水平现状

从能源消费总量来看,呈现先增长后下降特点,2001—2011年辽宁省能源消费不断上升,从2001年的5376.8万J到2011年的

6 890 万 J, 年均增长率为 4.6%, 2012—2020 年一直呈下降趋势, 在 2020 年仅消费 49.8 亿 J。

从能源消费结构看, 辽宁省能源消费结构基本保持稳定, 其中煤炭占比最大, 其次为原油, 焦炭第三, 而天然气等清洁能源占比一直较低, 这也体现了辽宁省的“高碳”特征。在低碳减排大背景下, 辽宁省积极探索开发利用清洁能源, 清洁能源由最初占比不到 10% 提升至 2020 年的 19.7%。

从产业结构来看, 辽宁省的产业结构升级慢, 新兴产业占比低, 产业结构仍以第二产业为重, 缺少龙头企业带动本地企业转型。加之老龄化问题严重, 缺乏劳动力, 自主研发

能力差, 存在着技术水平与劳动率低的问题^[7]。

二、辽宁省低碳发展水平评价指标体系的构建

1. 评价指标选择依据

研究从众多的低碳城市指标中选出具有代表性的指标, 把评价指标体系分为 3 层。首先是目标层, 从整体上把控辽宁省低碳发展情况; 其次是准则层, 将从经济发展、社会发展、环境系统、资源利用系统、碳源(产业结构)系统 5 个方面进行评价; 最后是指标层, 具体细化为 20 个指标, 最终形成辽宁省低碳发展水平评价指标体系(见表 1)。

表 1 辽宁省低碳发展水平评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标含义	指标类别	权重
辽宁省低碳发展水平综合评价	经济发展水平评价	人均 GDP	国内生产总值与常住人口比值	正	0.071 49
		第三产业占地区生产总值的比例	以服务业为主导的内在动力, 衡量产业结构	正	0.071 11
		单位 GDP 能耗	一定时期内地区每生产一个单位的生产总值所消耗的能源	负	0.053 90
		R&D 投入占财政支出的比例	R&D 占 GDP 的比例, 反映一个地区的自主创新能力	正	0.048 77
		地区生产总值增长率	当前 GDP 与基期 GDP 作差与基期 GDP 的比值	正	0.045 61
		居民消费价格指数	居民生活有关的消费品及服务价格水平的变动情况	负	0.027 56
		第三产业从业人员占比	就业总人数中从事第三产业的人数占比	正	0.054 80
	社会发展水平评价	城镇化率	城市化发展水平指标	正	0.045 31
		每万人拥有公交车数量	一个城市内每一万人平均所拥有的公交车数量, 衡量城市基础设施建设情况	正	0.045 86
		恩格尔系数	居民生活消费中食品消费所占比例, 衡量城市的社会发展状况	负	0.071 60
	碳汇系统水平评价	天然气普及率	城镇居民和临时居民总数中使用天然气、人工煤气和液化石油气的人口所占比例	负	0.036 01
		森林覆盖率	一个城市的森林面积占城市用地面积的比例	正	0.085 64
		建成区绿化覆盖率	在森林密度以下的规定植被的面积占总建成面积的比例	正	0.026 41
	资源利用水平评价	人均绿地面积	城市中每个居民拥有的绿地面积	正	0.054 35
		工业固体废物综合利用率	工业生产过程中产生的一些固体废料	正	0.033 76
		城镇污水集中处理率	城市污水处理水平	正	0.032 74
能耗排放水平评价		垃圾无害化处理率	市区生活垃圾总量中无害化处理的垃圾数量的比例	正	0.034 02
		工业 SO ₂ 排放量	衡量一个地区的空气污染程度	负	0.093 72
		工业烟尘排放量		负	0.043 70
		能源消费弹性系数	能源消费与经济发	负	0.023 65

2. 数据来源

研究数据主要来自于《辽宁省统计年鉴(2011—2021)》《中国统计年鉴(2011—

2021)》。其中 2018 年、2019 年的每万人拥有公交车数量和 2015 年、2016 年的能源消费弹性系数的数据缺失, 利用插值法进行估计。

3. 指标权重的确定

研究采用熵权法确定各指标权重,克服了主观赋权的影响,计算结果如表 1 所示。

(1) 用无量纲化法去除指标的影响

用极大极小法分别对正、负指标进行无量纲化处理,得到规范化的矩阵 $X = (X_{ij})_{20 \times 10}$ 。正向指标用式(1)进行处理,负向指标用式(2)进行处理。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \tag{1}$$

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_{ij}\} - X_{ij}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \tag{2}$$

式中: X'_{ij} 为第 i 年第 j 个指标的标准化值; X_{ij} 为第 i 年第 j 个指标的原始值; $\max\{X_{ij}\}$ 为所有 i 年中第 j 项指标的最大值; $\min\{X_{ij}\}$ 为所有 i 年中第 j 项指标的最小值。

(2) 计算第 i 年第 j 个指标占比 Y_{ij}

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \tag{3}$$

(3) 计算第 j 个指标的信息熵 e_j

$$e_j = - \frac{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} \ln Y_{ij})}{\ln m} \tag{4}$$

(4) 计算第 j 个指标的信息熵冗余度 d_j

$$d_j = 1 - e_j \tag{5}$$

(5) 计算第 j 个指标的权重 w_j

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \tag{6}$$

4. TOPSIS 模型的构建

传统 TOPSIS 模型中各个指标的权重相同,会存在一定的干扰,所以研究在原来的模型基础上,结合熵权法确认指标权重^[6],采用熵权 - TOPSIS 方法,对辽宁省的低碳发展进行了评估。

(1) 通过熵权法的无量纲化处理,获得规范化矩阵,并构建加权规范矩阵 Y

$$Y = (Y_{ij})_{m \times n} \tag{7}$$

(2) 确定正负理想解的距离。

正理想解 Y^+

$$Y^+ = \{ \max Y_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \} = \{ Y_1^+,$$

$$Y_2^+, \dots, Y_m^+ \} \tag{8}$$

负理想解 Y^-

$$Y^- = \{ \min Y_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \} = \{ Y_1^-, Y_2^-, \dots, Y_m^- \} \tag{9}$$

(3) 确定不同指标到正负理想解的距离。根据规范化矩阵中各年度指标的最小值和最大值,确定正负理想解的距离 d_j^+ 、 d_j^-

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} - Y_i^+)^2} \tag{10}$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} - Y_i^-)^2} \tag{11}$$

(4) 计算各年度指标贴合度 N_j ($0 \leq N_j \leq 1$)

$$N_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-} \quad (1 \leq j \leq n) \tag{12}$$

其中, N_j 值越大,就代表该评价对象越接近正理想解,这样得到的结果就越接近最优水平;同理, N_j 的值越小,就表示结果越差。

三、辽宁省低碳发展水平评价结果分析

根据式(9)~式(11)得出准则层各指标和整体的贴合度(见图 1)。由图 1 可以看出辽宁省低碳发展可分为 3 个阶段:

2010—2012 年,辽宁省低碳发展水平大幅度下降,从 2010 年的 0.45 下降到 2012 年的 0.30,下降了 0.15。其原因是在此期间辽宁省发展仍以第二产业中的重工业为主,第三产业占比都未超过 40%,未形成低碳高产的模式。在这期间受全球金融危机影响,辽宁省经济水平也有所下降,2008—2012 年增长率仅为 12.5%。

2013—2015 年,辽宁省低碳发展水平也在小幅度下降,在 2015 年达到了最低,从 2012 的 0.30 降到 2015 年的 0.27,下降了 0.03。单项指标中只有社会发展和资源利用的贴合度不断上升,其余指标不断下降。2013—2015 年的地区生产总值增加幅度明显减少,尤其是 2015 年,增加值只有 581.12 亿元。2015 年,重工业在整个工业中所占的比例达到 79.9%,这会使地区经济随着世界重化工产业的周期性景气度下滑而出现衰退。与此同时,辽宁省第二产业的低端化问题比较突出,装备制造业、石化等产业缺乏核

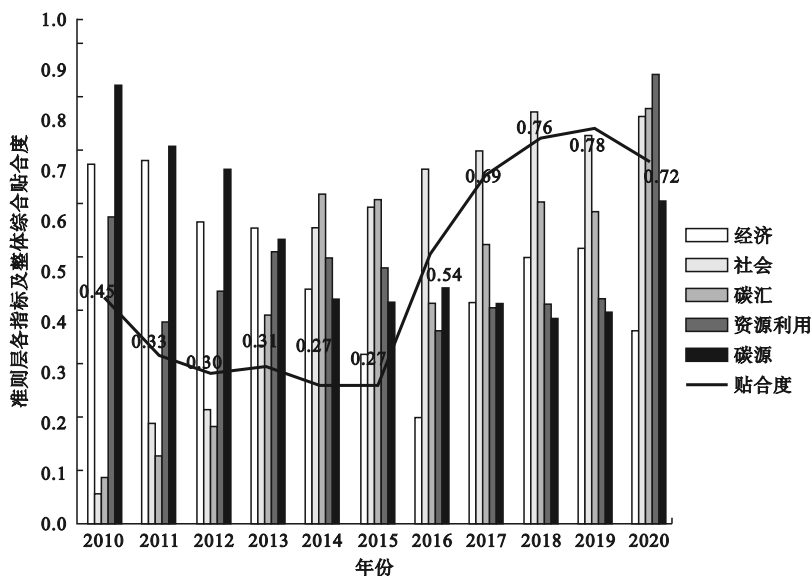


图1 2010—2020年辽宁省低碳发展水平综合及单项指标贴合度

心技术支持,处于产业链末端,某些关键技术装备,如机床控制系统、汽车发动机等发展滞后;基础零部件,如输变电设备制造中部分零部件需要进口,新兴产业发展缓慢,尚未形成竞争优势,无法成为主导力量,第二产业经济活力低于全国平均水平。辽宁省第三产业受到的冲击远低于第二产业,第三产业在经济增长中所占比例逐年递增,且主要集中在传统的服务业,到2015年,传统服务业的比例仍为40%,而现代服务业尤其是生产性服务业发展不足、竞争力弱,无法充分满足其他产业的需求,服务业发展较慢。在资源利用方面,工业固体废物综合利用率在2013—2015年呈现下降趋势,从2013年的43.82%下降到2015年的30.69%,相对于32 434.40万t的固体废物产生量,利用水平较低。

2016—2020年,辽宁省低碳发展水平出现大幅度上升,在2019年达到了顶峰,此间,辽宁省地区生产总值从20 393亿元涨到25 115亿元,实现了产值稳定上升,2020年,辽宁省地区生产总值位列全国第16位。低碳发展水平从2015年的0.27增长到2019年的0.78,被选为低碳试点省份以来低碳发展水平首次出现了明显上升,涨幅达到了162%,在2020年略有下降。从图1可以看出,碳汇和经济指标一直保持稳定上升,碳源

指标在不断下降,其他指标趋于平稳。这主要是因为辽宁省不断开展低碳建设,将低碳、环保、绿色等作为城市发展方向;辽宁省在“十三五”规划中也把节能减排作为重要内容,进行了产业结构调整,但因辽宁省的工业发展处于产业链的下游,其发展主要得益于辽宁省丰富的资源、人力和财力,辽宁省第二产业所占的比例随着生产成本的增加而下降^[9],导致第三产业占比上升,到2020年辽宁省第三产业占到了50%以上,但不能就此得出第三产业是辽宁省支柱产业的结论,其产业倾向仍是第二产业。

综上所述,影响辽宁省低碳发展的因素主要是经济发展水平和碳源(产业结构)。

四、低碳减排对策

(1) 优化产业结构

如上所述,碳源(产业结构)是辽宁省低碳发展的主要影响因素之一。因此,要实现辽宁省经济的高质量、低碳化发展,必须加速传统产业的转型,淘汰落后的高能耗、低产出产业,发展高端装备制造业、高新技术产业等国家重点发展的新兴产业,提高辽宁省的凝聚力和竞争力。培育一大批龙头企业,带动当地的传统产业进行转型和提升。充分发展各城市的优势产业,例如沈阳的机器人制

造、鞍山的钢铁、抚顺的石油加工、大连的电子、信息产业等，促进各地的企业相互沟通，形成“组合拳”，促进辽宁省实现“双碳”发展。

(2) 构建资金保障体系

“双碳”目标的实现、产业转型升级、节能减排的推进都需要大量资金的投入，如果这些仅靠政府的投入不能满足需求，需要金融体系提供投融资，完善低碳发展的投融资政策，建立多渠道、多方式的融资体系。鼓励银行机构创新针对低碳企业的金融产品和服务模式，优化对绿色低碳企业的金融服务；也可设立碳基金，为缺少资金而无法转型、起步阶段的企业提供资金扶持以及其他金融服务。

(3) 提高资源利用率

辽宁省在资源利用方面还有较大的提升空间。例如在冶金、黑色金属、化工、建筑等行业鼓励发展低碳化产业链，利用大数据，发展“互联网 +”模式，开展垃圾分类回收，对废弃化学物品加强管理，防止其污染环境。

五、结 语

将低碳城市理论和实践相结合，从经济发展、社会进步、碳汇、资源利用和碳源（产业结构）5 个方面构建了评价指标体系，对 2010—2020 年辽宁省低碳发展水平进行了评价，得出了辽宁省低碳发展的主要影响因素是经济发展水平和碳源（产业结构）。

辽宁省各地区应结合自身情况找差距、补短板，优化营商环境，逐渐改善产业结构，为起步阶段的企业提供资金支持，对取得节能、低碳成果的企业给予税收优惠。

通过“高薪、高福利、免税收”等优待政策吸引人才、留住人才。政府加大科研资金投入以及指引企业发展转型方向，鼓励科研人员走进企业，在参与企业的科研活动中，实现科研成果转化以及项目顺利落地。

利用地域优势发展新型清洁能源，例如：沈阳属于温带半湿润大陆性气候，常年有风，尤其在春秋两季风力更强，可以发展风能；大连利用其靠海优势发展潮汐能；锦州日照充足，可以大力发展太阳能等。同时，可以利用大数据等现代化信息技术，推动能源系统朝数字化、智能化方向发展，助力辽宁省早日实现“双碳”目标。

参考文献：

[1] 罗琼. 习近平关于碳达峰碳中和重要论述：逻辑理路、价值意蕴与践行路径[J]. 治理现代化研究, 2022, 38(4): 5-13.

[2] 李德智, 聂骁, 黄冠英. 我国典型低碳城市建设水平比较研究[J]. 江苏建筑, 2021(5): 6-8.

[3] 罗斯元. 低碳城市综合评价研究[J]. 合作经济与科技, 2019(11): 7-10.

[4] 于涵, 赵晓燕, 颜俊, 等. 低碳城市发展与评价研究[J]. 现代化工, 2021, 41(7): 35-40.

[5] JING Z, WANG J. Sustainable development evaluation of the society-economy-environment in a resource-based city of China: a complex network approach [J]. Journal of cleaner production, 2020(263): 121510.

[6] MARQUEZ B, MARIA J, LIORET M L, et al. Measuring urban energy sustainability and its application to two Spanish cities: Malaga and Barcelona [J]. Sustainable cities and society, 2019(45): 335-347.

[7] 笪可宁, 赵玥尧, 郭宝荣. 沈阳市营商环境竞争力提升对策建议[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2020, 22(2): 151-155.

[8] 朱志恒, 张胜良. 南京市的城市低碳发展水平评价研究[J]. 中国林业经济, 2022(1): 94-98.

[9] STERN N. The economics of climate change [J]. American economic review, 2008, 98(2): 1-37.

[10] 郭宝荣, 笪可宁, 彭一峰. 辽宁省营商环境优化对策[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2019, 21(6): 598-603.

(下转第 378 页)