

# 人居环境科学理论导向下的社区绿色低碳水平评价研究

朱雪欣,张彦洁,单法家

(青岛理工大学管理工程学院,山东青岛266520)

**摘要:**为了推进绿色城市更新行动,建设可持续发展的绿色低碳居住社区,引入人居环境科学理论对社区的绿色低碳水平进行科学评判。构建社区绿色低碳水平的评估框架,从居住者宜居视角构建社区绿色低碳水平评价指标体系,建立基于物元可拓模型的社区绿色低碳水平评估模型,将该评估模型应用于青岛市各区的典型绿色低碳社区。结果表明:青岛市各区的社区绿色低碳水平存在差异,在选取的社区中,市南区B社区、黄岛区H社区和崂山区S社区的绿色低碳水平较高,均处于优秀等级,而市北区N社区和李沧区C社区的绿色低碳等级分别为良好和中等,并且不同行政区内的社区绿色低碳水平与地方经济发展水平呈显著正相关性。进而,针对不同绿色低碳水平的社区提出相应对策建议。

**关键词:**人居环境科学理论;绿色低碳社区;AHP-CRITIC法;物元可拓模型

**中图分类号:**F293.1;TU984.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-7192(2024)01-0078-09

党的十九大以来,我国积极实施城市更新行动,贯彻落实碳达峰、碳中和目标任务,促进经济社会发展全面绿色转型。2022年,住建部等联合印发了《城乡建设领域碳达峰实施方案》,明确提出了开展绿色低碳社区建设,推进绿色低碳社区创建行动,将绿色发展理念贯穿社区规划建设管理的全过程。社区是城市治理的基本单元和城市“有机生命体”的细胞,是绿色生活创建行动的主战场之一<sup>[1]</sup>,建设绿色低碳社区对推进城市更新行动和实现我国绿色发展具有重要意义。

近年来,国内外学者对绿色低碳社区理论与实践方面的研究已取得一定成果,主要集中在绿色低碳社区评价体系的构建<sup>[2-3]</sup>、社区的宜居<sup>[4]</sup>、适老化改造<sup>[5]</sup>以及绿色低碳评价<sup>[6-7]</sup>等。此外,有学者在社区低碳治理的机制与措施方面也进行了一定的研究,石龙宇等<sup>[8]</sup>通过分析国内外绿色低碳社区建设的实践经验,在经济、社会、环境协同发展的基础上提出了可持续框架下的绿色低碳社区规划策略。

赵清<sup>[9]</sup>在分析绿色低碳社区有机更新内涵的基础上,从低碳生态更新规划、空间适应性再利用、多元协同生态治理、多维更新保障制度四个维度提出了绿色低碳社区有机更新规划策略。钱艳等<sup>[10]</sup>从项目全生命周期角度出发,分析公私合作模式下绿色低碳社区开发项目多元利益相关者的利益诉求,提出了协同权力与利益的绿色社区利益相关者共同治理机制。马一翔等<sup>[11]</sup>通过测算北方采暖区城市社区的碳排放量,识别影响社区人均碳排放的主要因素,从社区空间规划的视角提出了社区节能减碳与绿色低碳社区建设的对策。人居环境作为住区居住者最直观的感受,也成为了部分学者关注的焦点,相关研究涉及到城中村改造规划<sup>[12-13]</sup>、保障房住区<sup>[14]</sup>、乡村人居环境提升<sup>[15-16]</sup>等方面,但鲜有站在人居环境角度,从居住者宜居视角对社区的绿色低碳水平进行评估。

鉴于此,本文以人居环境科学理论为导向,结合我国实际情况,基于居住者宜居视角从社区环境

收稿日期:2023-04-24

基金项目:2022年度青岛市社会科学规划研究项目(QDSKL2201186)

作者简介:朱雪欣(1976-),女,青岛理工大学管理工程学院副教授,博士,研究方向为建设项目管理与土地利用;张彦洁(1998-),女,青岛理工大学管理工程学院硕士研究生,研究方向为工程项目管理。E-mail:524649760@qq.com

资源、居民需求与感受、社区管理与生活、社区居住物质环境以及社区服务设施五个维度构建社区绿色低碳水平评价指标体系,引入物元可拓评价模型解决指标间存在的模糊性及不相容的问题,衡量社区的绿色低碳水平,切实做到将居民宜居需求与社区绿色低碳发展的要求有机结合,为居民打造健康舒适的生活环境。

## 一、社区绿色低碳水平评估框架

绿色低碳领域的评价体系涵盖“绿色”“可持续”“低碳”等不同主题,以求在社会、经济和生态系统方面达到平衡,实现人与自然和谐发展<sup>[17]</sup>。关于绿色低碳社区的内涵,目前尚没有形成统一的说法或公认的规范,结合《绿色社区评价规范》(DB4403)和《低碳社区评价指引》(SZDB/Z)中提到的绿色社区及低碳社区定义,本文研究的绿色低碳社区是指在具备一定的符合环境保护要求的软硬件设施前提下,以居住者为中心,依据低能耗、低污染、低排放原则,通过实施管理、技术和工程等减排措施,建立起较完善的环境管理体系和公众参与机制的低碳发展模式社区。

人居环境即人类聚居生活的环境,包括但不限于劳动、游憩、居住和社交的场所。吴良镛先生将人居环境划分为五大系统,即自然、人类、社会、居住和支撑系统,人居环境的核心是“人”,人居环境研究应以满足“人类居住”需求为目的<sup>[18]38-40</sup>。在城市更新行动中考虑环境品质和居民意愿,在绿色低碳社区建设过程中引入人居环境科学理论,更符合以人为核心的居住理念。社区作为城市的基本单元,是人、街道、社区关系以及建筑所构成的空间关系,与居住区在物质环境与社会关系方面存在同构性。因此,在建设过程中不仅要关注与自然生态、经济水平、科学技术、社会文化之间的关系,更应关注对个人生活质量的关怀。

结合人居环境科学的五大系统,从社区环境资源、居民需求与感受、社区管理与生活、社区居住物质环境、社区服务设施五个维度对社区的绿色低碳水平进行评估,构建基于人居环境理论的社区绿色低碳水平评估框架,使绿色低碳社区真正做到减少

能源资源的消耗,降低对自然环境的影响,提升居民居住的舒适度、满意度和幸福感,创建可持续发展的高品质人居环境。其中社区环境资源维度包括社区中的自然环境和资源环境,根据自然环境系统不可替代的特性,社区中的自然环境指的是社区的绿化及空气质量状况等,而资源环境则是与人发生交互关系后可以利用处理的一类资源;居民需求与感受维度注重人在社区中对物质和精神的需求与感受,根据人在社区中的心理和行为活动进行综合评价;社区管理与生活维度关注于社区的低碳管理与低碳生活水平,衡量社区的碳排放管理体系和居民在日常生活中的低碳行为;社区居住物质环境维度衡量社区居住者所处的绿色低碳居住空间和物质环境;社区服务设施维度则通过评判社区内绿色交通工具的普及情况和公共设施的覆盖情况,衡量社区能否为居民提供绿色、便利的交互活动。根据人居环境科学的五大系统,选用物元可拓评价模型构建社区的绿色低碳水平评估框架(图1)。

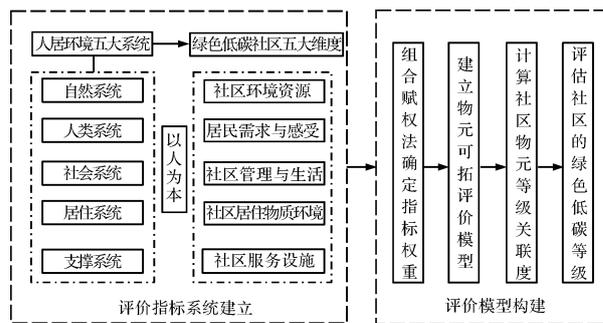


图1 社区绿色低碳水平评估框架

## 二、社区绿色低碳水平评价指标体系的构建

通过梳理总结国内外绿色低碳社区评价标准,包括《中国绿色低碳住区技术评估手册》《绿色社区评价规范》(DB4403/T147-2021)、《绿色住区标准》(T/CECS-CREA377-2018)以及《低碳社区评价指南》(SZDB/Z)等相关文件标准和美国LEED-ND体系、日本CASBEE for Urban Development等,并参照已有的相关研究成果<sup>[19-22]</sup>,按照已构建的绿色低碳社区五大维度,结合指标选取的客观性和综合性原则,综合考虑城市更新实践

专家、高校相关研究学者的意见和社区居住者的调研结果,最终筛选确定的社区绿色低碳水平评价指标体系(图2)。

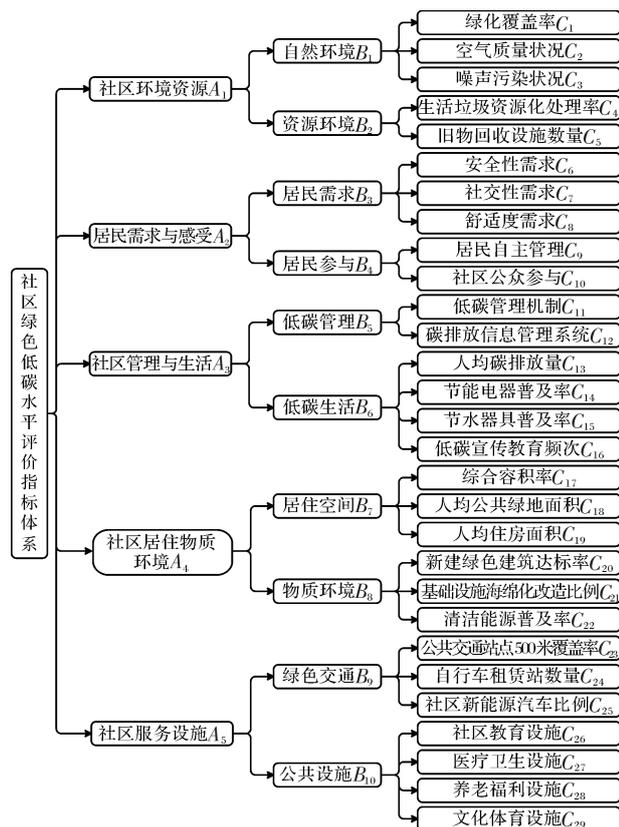


图2 社区绿色低碳水平评价指标体系

该评价指标体系包括5个一级指标、10个二级指标和29个三级指标。每个具体评价指标确定的依据可参考相关的规范和标准。其中,  $C_1$ 、 $C_5$ 、 $C_{11}$  -  $C_{13}$ 、 $C_{23}$  -  $C_{25}$  8个指标可参照《低碳社区评价指南》确定,  $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_9$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{16}$ 、 $C_{21}$  6个指标可参照《绿色社区评价规范》确定,  $C_4$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{15}$  3个指标可参照《中国绿色低碳住区技术评估手册》确定,  $C_6$  -  $C_8$  3个指标可参照“社区人居环境相关文献”确定,  $C_{17}$  和  $C_{19}$  2个指标可参照《建筑工程建筑面积计算规范》确定,  $C_{18}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{26}$  -  $C_{29}$  6个指标可参照《绿色住区标准》确定,  $C_{20}$  指标可参照《绿色建筑评价规范》确定。

### 三、社区绿色低碳水平评价模型的建立

通过AHP和CRITIC法分别确定评价指标的主观权重和客观权重,进行组合赋权后确定评价指标的综合权重,结合物元可拓模型判定社区的绿色低

碳等级,进而对社区的绿色低碳水平进行综合评价。

#### 1. 指标权重的确定

(1) AHP法确定主观权重。AHP(层次分析法)是一种结合定量分析与定性分析、关联多个影响指标的多层次系统分析方法,本文将决策目标分解为四个层次,通过定性指标模糊量化的方法确定每个影响因子之间的相对重要性并计算权重<sup>[23]</sup>。

采用AHP围绕决策目标,将同一层次内的任意两项指标以1~9标度法评判指标间的相对重要程度,构造初始判断矩阵  $T = (u_{ij})_{n \times n}$ :

$$T = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

回收整理专家评估数据后,求解所有初始判断矩阵,得出判断矩阵  $T$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$  和与之对应的特征向量,采用求和法进行归一化计算:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{u_{ij}}{\sum_{i=1}^n u_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

根据求解结果对其进行一致性检验:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中:  $CR$  为判断矩阵的一致性比例;  $CI$  为判断矩阵的一般一致性指标;  $RI$  为判断矩阵的平均随机一致性指标,当  $CR < 0.1$  时,判断矩阵通过一致性检验,反之则需要修改判断矩阵,直至通过一致性检验。

(2) CRITIC法确定客观权重。CRITIC法是由Diakoulaki等<sup>[24]</sup>在1995年提出的一种基于指标相关性与变异性的客观权重赋值法,在CRITIC法中通常用冲突性反映两个评价指标间因评价对象的改变而发生的相关性关系,以相关系数来衡量,若两个指标之间的正相关程度越大,说明冲突性越小,则指标所占权重越小;用变异性来反映在评价指标相同的情况下,不同评价对象取值大小的差异性,即指标之间的对比强度,以标准差来衡量,通过标准差的大小分析评价对象间的关系,标准差越大,说明两个指标之间的差异性越大,则指标所占

权重越大。CRITIC 法计算权重步骤如下。

假设共有  $i$  个元素,每个元素有  $j$  个指标,则可根据指标的客观数据构建初始评价矩阵  $R = (x_{ij})_{m \times n}$ 。为了消除不同指标之间的量纲影响,需要将原始指标数据进行标准化处理,由于正负向指标的指标性质不同,按照正向指标越大越优、负向指标越小越优的原则分别对两种指标进行标准化,即对初始矩阵  $R$  标准化得到矩阵  $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ ,标准化公式表示为

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$z_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中: $x_{ij}$ 为指标初始值; $\min\{x_{ij}\}$ 、 $\max\{x_{ij}\}$ 分别为指标的最小值、最大值。

各项指标的变异性  $j$  表示为

$$\lambda_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (7)$$

式中: $\bar{x}_j$ 为第  $j$  个指标的平均值。

评价指标相关系数越大,两个评价指标间的相关性越强,则冲突性越低,指标所占权重越小,标准化后各指标数据的冲突性  $E_j$  表示为

$$E_j = \sum_{h=1}^n (1 - |r_{jh}|), j \neq h, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

式中: $|r_{jh}|$ 为指标  $j$  与指标  $h$  之间相关系数的绝对值。

指标信息量  $C_j$  表示为

$$C_j = \lambda_j E_j \quad (9)$$

由 CRITIC 法原理可知,评价指标的信息量  $C_j$  越大,两个评价对象之间的差异性越大,相应指标所占权重越大,即各指标权重  $\omega_j$  表示为

$$\omega_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

(3) 确定综合权重。由层次分析法得到的主观权重虽然经过了清晰明确的量化过程,但在评价过程中可能会受到指标数量和决策者个人原因影响而导致结果主观性强,而 CRITIC 法可以尽量避免

由于决策者经验差异所带来的主观因素的干扰,因此,将由层次分析法得到的主观权重  $\alpha$ ,由 CRITIC 法得到的客观权重  $\beta$ ,采用乘法组合法相组合,在保证主观评价的同时,最大限度地考虑到客观数据的作用,即评价指标主客观组合权重  $W$  为

$$W = \frac{\alpha_j \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \beta_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

## 2. 物元可拓评价模型的建立

物元可拓模型是蔡文等学者在 20 世纪末期提出的一种量化的多元分析模型,作为一种多指标评价方法,可以将不相容的问题转为相容后进行研究,克服其他数学模型仅对数量研究的局限性<sup>[25]</sup>,通过对综合关联度的计算,判定社区的绿色低碳水平等级。

(1) 确定经典域和节域。物元是由“事物、特征、量值”组成的有序三元组,本文以  $R = (N, C, V)$  表征物元矩阵,其中绿色低碳社区等级为待评价对象,记为  $N$ ;  $C$  为待评价对象指标特征;  $V$  为待评价对象指标特征量值,即社区绿色低碳水平评价等级的经典域物元矩阵  $R_N$  可表示为

$$R_N = (N_i, C_n, V_n) = \begin{bmatrix} N_i & C_1 & V_{i1} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_n & V_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & C_1 & [a_{i1}, b_{i1}] \\ \dots & \dots & \dots \\ C_n & [a_{in}, b_{in}] \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: $R_N$  为经典域; $N_i$  为绿色低碳社区的第  $i$  个等级; $C_n$  为评价指标; $V_n$  为指标  $C_n$  对应等级  $i$  时的取值范围,即第  $i$  个等级经典域的取值范围; $a_{in}$ 、 $b_{in}$  分别为最小与最大值所对应的数值。

社区绿色低碳水平评价等级的节域物元矩阵为  $R_p$ ,表示为

$$R_p = (N_p, C_n, V_p) = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & V_{p1} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & [a_{p1}, b_{p1}] \\ \dots & \dots & \dots \\ C_n & [a_{pn}, b_{pn}] \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中: $R_p$  为节域; $N_p$  表示划分的绿色低碳社区水平的等级; $C_n$  为评价指标; $V_p$  为  $N_n$  关于第  $n$  个指标的取值范围,即节域的取值范围; $a_{pn}$ 、 $b_{pn}$  分别为最小与最大值所对应的数值。

(2)待评绿色低碳社区物元。对于待评价的绿色低碳社区,将绿色低碳社区的评价指标数据进行计算处理后,物元矩阵  $R_0$  表示为

$$R_0 = (Q_0, C_n, V_i) = \begin{bmatrix} Q_0 & C_1 & V_1 \\ & \cdots & \cdots \\ & & C_{29} & V_{29} \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中: $Q_0$  为待评绿色低碳社区; $C_n$  ( $n=1,2,\dots,29$ ) 分别为绿色低碳等级  $N_i$  的 29 个评价指标; $V_i$  ( $i=1,2,\dots,29$ ) 分别为  $Q_0$  关于  $C_n$  所取的量值。

(3)确定关联函数及关联度。绿色低碳社区评价指标  $C_n$  与绿色低碳社区评价等级  $N_i$  之间相关程度构成的关联函数表示为

$$\begin{cases} \rho(v_i, V_{ji}) = \left| v_i - \frac{(a_{ji} + b_{ji})}{2} \right| - \frac{(b_{ji} - a_{ji})}{2} \\ \rho(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{(a_{pi} + b_{pi})}{2} \right| - \frac{(b_{pi} - a_{pi})}{2} \end{cases} \quad (15)$$

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, v_{ji})}{|V_{ji}|} & v_i \in V_{ji} \\ \frac{\rho(v_i, V_{ji})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{ji})} & v_i \notin V_{ji}; -\rho(v_i, v_{ji}) \neq 0 \\ -\rho(v_i, v_{ji}) - 1 & v_i \notin V_{ji}; -\rho(v_i, v_{ji}) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

式中: $K_j(v_i)$  为第  $i$  个社区绿色低碳指标关于第  $j$  个绿色低碳等级的关联度,其大小可以反映待评价对象对某一具体绿色低碳等级的归属程度,数值越大表明关联度越大; $v_i$  为各绿色低碳指标  $C_i$  的量值; $V_{ji}$  为经典域中各绿色低碳指标规定的取值范围,即区间  $[a_{ij}, b_{ij}]$ ; $\rho(v_i, V_{ji})$  为  $v_i$  与  $V_{ji}$  之间的距离; $|V_{ji} = a_{ji} - b_{ji}|$  表示第  $i$  个绿色低碳指标关于第  $j$  个绿色低碳等级的经典域取值范围的大小; $v_{pi}$  为第  $i$  个绿色低碳指标节域的取值范围。

绿色低碳社区待评价事物  $N$  关于等级  $j$  的综合关联度表示为

$$K_j(R_x) = \sum_{i=1}^n \omega_i K_j(v_i) \quad (17)$$

式中: $K_j(R_x)$  表示待评价事物  $R_x$  关于等级  $j$  的关联系数; $\omega_i$  为各指标综合权重; $K_j(v_i)$  表示第  $i$  个指标关于第  $j$  个等级的关联度。

## 四、案例分析

青岛市作为全国首个“绿色城市”建设发展试点,在绿色城市中重点开展绿色低碳社区的建设,以便加快城市绿色高质量发展,深入实施城市更新行动。因此,为了验证本文所建立的社区绿色低碳水平评价模型的可行性,本文选取了青岛市拥有绿色低碳社区的五个区中具有代表性的社区进行评价模型的试评估,选取的五个社区均列入第一批山东省绿色社区。H 社区位于黄岛区,占地面积约 0.84 平方公里;B 社区位于市南区,占地面积约 0.61 平方公里,H 社区与 B 社区曾多次获得市级绿色社区荣誉称号。N 社区位于市北区,占地面积约 0.03 平方公里;S 社区位于崂山区,是青岛市首批一刻钟便民生活圈试点;C 社区位于李沧区。

### 1. 社区绿色低碳水平评价指标权重确定

(1)计算指标主观权重。制定社区绿色低碳水平评价指标的调查问卷,采用德尔菲法邀请 10 位专家对社区绿色低碳水平评价体系的 29 项评价指标的重要性程度进行赋值,根据 AHP 法确定评价指标的主观权重,并通过一致性检验后,得到社区绿色低碳水平评价体系指标的主观权重。

(2)计算指标客观权重。为了保证指标的客观权重更具有广泛性与普及性,通过实地调查以及向区域开发商、物业公司以及社区服务中心的工作人员征询获得相关数据,对数据进行标准化处理后,计算指标的信息量得到评价指标的客观权重。

(3)计算指标综合权重。根据式(11)对主客观权重进行计算得到评价指标的综合权重(表 1)。

### 2. 社区绿色低碳评价水平确定

(1)确定物元经典域和节域。通过研究国家和地方关于绿色低碳社区的相关标准及规范文件,咨询该领域内权威专家,结合社区实际情况,确定物元可拓模型的经典域和节域,并将社区绿色低碳水平划分为  $N_1$  (差)、 $N_2$  (较差)、 $N_3$  (中等)、 $N_4$  (良好)、 $N_5$  (优秀)五个等级(表 2)。

表 1 社区绿色低碳水平评价指标权重

二级指标	权重 (%)	三级指标	主观权重 (%)	客观权重 (%)	综合权重 (%)	排序
B <sub>1</sub>	9.669	C <sub>1</sub>	4.797	3.055	4.152	11
		C <sub>2</sub>	1.396	3.959	1.566	15
		C <sub>3</sub>	4.081	3.417	3.951	12
B <sub>2</sub>	4.469	C <sub>4</sub>	4.435	3.474	4.365	8
		C <sub>5</sub>	0.124	2.959	0.104	29
		C <sub>6</sub>	8.654	2.640	6.473	5
B <sub>3</sub>	15.158	C <sub>7</sub>	1.541	3.341	1.459	16
		C <sub>8</sub>	6.236	4.090	7.227	3
		C <sub>9</sub>	2.453	3.148	2.188	13
B <sub>4</sub>	3.365	C <sub>10</sub>	1.608	2.584	1.177	18
		C <sub>11</sub>	1.081	2.667	0.817	25
B <sub>5</sub>	1.180	C <sub>12</sub>	0.519	2.469	0.363	28
		C <sub>13</sub>	0.667	5.693	1.076	20
		C <sub>14</sub>	1.167	2.811	0.929	22
B <sub>6</sub>	4.174	C <sub>15</sub>	0.717	4.262	0.866	24
		C <sub>16</sub>	2.036	2.258	1.303	17
		C <sub>17</sub>	3.850	3.922	4.278	9
B <sub>7</sub>	21.727	C <sub>18</sub>	9.433	4.836	12.925	2
		C <sub>19</sub>	2.930	5.449	4.524	7
		C <sub>20</sub>	8.948	2.666	6.759	4
B <sub>8</sub>	29.776	C <sub>21</sub>	10.925	2.019	6.250	6
		C <sub>22</sub>	9.446	6.265	16.767	1
		C <sub>23</sub>	0.903	4.018	1.028	21
B <sub>9</sub>	2.737	C <sub>24</sub>	1.142	3.465	1.121	19
		C <sub>25</sub>	0.652	3.180	0.587	27
		C <sub>26</sub>	2.607	2.631	1.943	14
B <sub>10</sub>	7.744	C <sub>27</sub>	4.570	3.297	4.269	10
		C <sub>28</sub>	1.094	2.972	0.921	23
		C <sub>29</sub>	0.879	2.452	0.611	26

表 2 社区绿色低碳水平各指标的经典域与节域

指标	经典域					节域
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	(a <sub>pn</sub> , b <sub>pn</sub> )
C <sub>1</sub> (%)	[0,10)	[10,20)	[20,30)	[30,40)	[40,50)	(0,50)
C <sub>2</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>3</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>4</sub> (%)	[0,10)	[10,20)	[20,30)	[30,45)	[45,55)	(0,55)
C <sub>5</sub> (个)	[0,2)	[2,4)	[4,6)	[6,8)	[8,15)	(0,15)
C <sub>6</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>7</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>8</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>9</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>10</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>11</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>12</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>13</sub> (tCO <sub>2</sub> e/人)	(2.79,3.29]	(2.29,2.79]	(1.79,2.29]	(1.29,1.79]	(0.79,1.29]	(0.79,3.29)
C <sub>14</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>15</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>16</sub> (次/年)	[0,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,10)	(0,10)
C <sub>17</sub>	(2,3]	(1.5,2]	(1.2,1.5]	(0.8,1.2]	(0.5,0.8]	(0.5,3)
C <sub>18</sub> (m <sup>2</sup> /人)	[0,10)	[10,13)	[13,16)	[16,19)	[19,25)	(0,25)
C <sub>19</sub> (m <sup>2</sup> /人)	[0,20)	[20,25)	[25,30)	[30,35)	[35,40)	(0,40)
C <sub>20</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>21</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>22</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>23</sub> (%)	[0,85)	[85,90)	[90,95)	[95,98)	[98,100)	(0,100)
C <sub>24</sub> (个)	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,10)	(0,10)
C <sub>25</sub> (%)	[0,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(0,100)
C <sub>26</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>27</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>28</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)
C <sub>29</sub>	[75,80)	[80,85)	[85,90)	[90,95)	[95,100)	(75,100)

(2)计算社区各绿色低碳指标的关联度。根据已确定的各指标权重、经典域和节域的数值,按式(15)和式(16)计算社区各绿色低碳指标的关联度。为进一步对比各社区绿色低碳水平,对照社区绿色低碳水平等级划分标准,得到各社区一级评价指标的关联度等级(图3)。

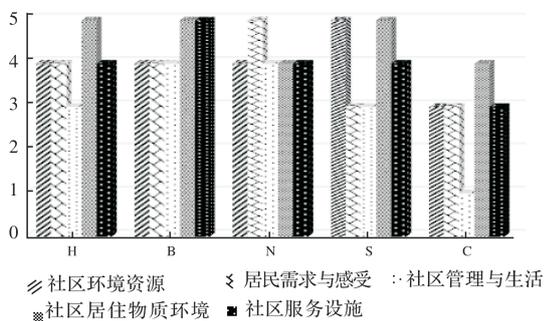


图3 五个社区绿色低碳水平一级指标关联度等级

由图3可知,各社区绿色低碳水平的一级指标关联度等级存在一定差异。

(3)社区绿色低碳水平的确定。根据式(17)计算待评物元等级的综合关联度,得到各社区的综合关联度(表3)。

表3 社区绿色低碳水平各等级综合关联度及评价结果

社区	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	评价结果
H社区	-0.635	-0.556	-0.529	-0.125	-0.076*	优秀
B社区	-0.629	-0.588	-0.575	-0.124	-0.071*	优秀
N社区	-0.591	-0.504	-0.425	-0.099*	-0.165	良好
S社区	-0.644	-0.521	-0.320	-0.192	-0.118*	优秀
C社区	-0.388	-0.279	0.020*	-0.062	-0.366	中等

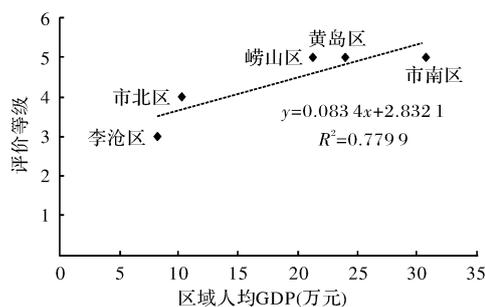
注:\*为该社区所处评价等级的标记。

由表3可以看出,黄岛区H社区、市南区B社区、崂山区S社区绿色低碳水平处于优秀等级,且市南区B社区的优秀等级关联度最大,市北区N社区处于良好等级,李沧区C社区处于中等等级。

### 3. 评价结果分析

(1)社区绿色低碳水平与地方经济发展水平有着显著的正相关性。为了探讨社区的绿色低碳水平与地方经济发展水平的关系,本文以各地区居民人均GDP数据表征地方经济发展水平,分析地方经济发展水平与区域内社区绿色低碳水平的关联性,通过相关性分析得到线性拟合结果,判定系数 $R^2 = 0.7799$ ,趋向1,线性拟合程度较高(图4)。从图4可以看出,不同区域内的社区绿色低碳水平与地方

经济发展水平有着显著的正相关性,经济发展水平较高的行政区社区绿色低碳水平明显高于其他行政区。



注:虚线为样本点最佳拟合函数图象。

图4 地方经济发展水平对社区绿色低碳水平的线性拟合结果

(2)不同社区绿色低碳水平对比分析。在社区环境资源方面,崂山区S社区处于优秀等级,黄岛区H社区、市南区B社区、市北区N社区处于良好等级,李沧区C社区则相对较差,处于中等等级。相对于其他社区而言,S社区内的绿化环境关注度更高,社区内的生活垃圾处理及旧物回收设施也更多。

在居民需求与感受方面,N社区相对较高,处于优秀等级,H社区和B社区处于良好等级,S社区和C社区处于中等等级。N社区位于市北区,虽是青岛的老城区,人口密集,也多为老旧建筑,但社区居民多为原住民,居民的社交、舒适度需求满意度都较高,且社区鼓励居民积极参与社区治理,设置居民意见箱,居民生活中遇到的问题都能以较快速度得到解决,居民的参与感与归属感也更高,但在社区治安管理方面尚存有整治空间。

在社区管理与生活方面,5个社区的关联度等级都较低,相对较好的B社区和N社区也仅为良好等级,C社区更是处于差等级。各区对低碳生活、低碳管理的关注度都不高。

在社区居住物质环境方面,H社区、B社区、S社区3个优秀等级的社区要明显优于另外2个社区。3个社区的新建绿色建筑达标率、基础设施海绵化改造比例、清洁能源普及率等指标值都较高。

在社区服务设施方面,B社区处于优秀等级,H社区、N社区处于良好等级,C社区处于中等等级。B社区经历过多次设施改造,社区内的教育、医疗卫生、养老福利、文化体育设施都相比较其他社区更为健全。

## 五、结论和建议

### 1. 结论

(1) 基于居住者视角,结合人居环境理论五大系统,从社区环境资源、居民需求与感受、社区管理与生活、社区居住物质环境以及社区服务设施五个维度构建了绿色低碳社区评价指标体系,并将构建的社区绿色低碳水平评价模型应用于实践,验证了模型的科学性和可行性。

(2) 通过分析,社区的绿色低碳水平与区域经济发展水平呈显著的正相关性。一般而言,经济发展水平越高,社区绿色低碳水平越高。

### 2. 建议

(1) 针对绿色低碳综合水平高,并且各维度评级都较为均衡的社区,在社区管理方面应关注已制定低碳政策的落实,增加人均公共绿地面积,提高绿化覆盖率,着力提升社区环境品质。同时,引导公众积极参与社区的绿色环保行动,激发居民自主管理的意识,提高居民的归属感与参与感,使社区居民能够自发参与社区绿色低碳行动。而评级为良好的社区应该将改进的关注点放在提升居民安全性需求满意度上,加强社区安全管理。

(2) 针对综合评价较低,各维度指标值都不高的社区,首先应综合整治社区的绿化环境,如进一步对社区街道中乱堆乱放和私搭乱建的问题进行处理,对随手乱丢垃圾、不文明停车等现象进行集中整治;其次加强对社区居民在电力和燃气等方面的节能管理,使居民养成自觉的低碳生活习惯;还应注重社区内公共设施的建设与管理,推广建造绿色建筑和基础设施的海绵化改造。

(3) 注重完善社区低碳管理机制,增加低碳宣传教育频次。利用现代信息化、智能化的技术合理构建社区的低碳管理机制和碳排放信息管理系统,进一步优化社区的人居环境,打造幸福宜居的绿色低碳社区。

### 参 考 文 献

[1] 邹永华,陈紫薇. 未来社区建设的理论探索[J]. 治理研究,2021,37(3):95-103.

[2] 张喆,钱秉玺. 寻找理想与现实的平衡——基于美国LEED-ND评估体系与实践的思考[J]. 城市规划,

2017,41(11):102-110.

[3] 王钦,白胤,王伟栋. 国内外绿色社区评价体系对比研究[J]. 建筑与文化,2020(11):138-140.

[4] 王文卉,张建. 基于住户体验的住区宜居性评价体系构建及应用研究——以北京居住区为例[J]. 建筑学报,2021(S2):53-59.

[5] 池彦彦,龚虹. 基于安全需求的既有住区适老化改造策略[J]. 建筑经济,2023,44(3):24-30.

[6] BAI Y, ZHANG W, YANG X, et al. The framework of technical evaluation indicators for constructing low-carbon communities in China[J]. Buildings, 2021, 11(10):1-21.

[7] 王凌,聂明睿,陈奕如. 既有社区公共空间绿色评价研究[J]. 南方建筑,2022,214(8):40-49.

[8] 石龙宇,许通,高莉洁,等. 可持续框架下的城市低碳社区[J]. 生态学报,2018,38(14):5170-5177.

[9] 赵清. 城市社区生态化有机更新策略研究[J]. 城市发展研究,2022,29(6):32-35.

[10] 钱艳,任宏. 公私合作模式下绿色社区项目利益相关者共同治理研究[J]. 城市发展研究,2018,25(3):148-151,156.

[11] 马一翔,尚嫣然,冯雨. 北方社区碳排放的空间影响因素分析——以烟台市为例[J]. 城市发展研究,2022,29(4):118-124.

[12] 陈双,赵万民,胡思润. 人居环境理论视角下的城中村改造规划研究——以武汉市为例[J]. 城市规划,2009,33(8):37-42.

[13] 李想,周绍文. 人居环境科学视角下城中村更新改造[J]. 城市建筑,2021,18(8):29-31,124.

[14] 魏宗财,张园林,张玉玲,等. 保障房住区人居环境品质评价与提升策略[J]. 规划师,2017,33(11):30-38.

[15] 杨晴青,高岩辉,杨新军. 基于扎根理论的乡村人居环境系统脆弱性-恢复力整合研究——演化特征、路径与理论模型[J]. 地理研究,2023,42(1):209-227.

[16] 于光玉,李勤,程伟. 乡村振兴视角下宜居村镇建设策略研究——以山东省淄博市双杨镇为例[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版),2019,38(4):44-49.

[17] 庄贵阳,周枕戈. 高质量建设低碳城市的理论内涵和实践路径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版),2018,18(5):30-39.

[18] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.

[19] 付琳,张东雨,杨秀. 低碳社区评价指标体系研究[J]. 环境保护,2019,47(15):39-46.

[20] 王文卉,张建. 基于住户体验的住区宜居性评价体系

- 构建及应用研究——以北京居住区为例[J]. 建筑学报, 2021(S2): 53 - 59.
- [21] 董晓峰, 史培艺, 陈鹭, 等. 宜居生态社区系统评价研究及对健康社区营建的启发——以北京市海淀区北下关街道典型社区为例[J]. 城市发展研究, 2020, 27(9): 96 - 106.
- [22] 姜洪庆, 尹心桐, 梁伟研, 等. 广州市越秀区既有城市住区公共服务设施适老化评价研究[J]. 城市发展研究, 2020, 27(10): 125 - 133.
- [23] 张鹏, 周恩毅, 刘启雷, 等. 基于 AHP 法的高校科研人员创新成果转化绩效评价指标体系研究[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版), 2019, 38(2): 49 - 56.
- [24] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method[J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7): 763 - 770.
- [25] 高华建, 李小冬. 基于物元可拓模型的建筑业高质量发展评价研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(11): 85 - 89.

## Evaluation Research on Green and Low-carbon Community Based on the Theory of the Sciences of Human Settlements

ZHU Xue-xin, ZHANG Yan-jie, SHAN Fa-jia

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

**Abstract:** In order to promote green urban renewal and build sustainable green and low-carbon residential communities, this paper is a scientific assessment of the green and low-carbon levels of communities based on the theory of the sciences of human settlements. Firstly, an evaluation framework for community green and low-carbon level is constructed and a system of evaluation index is established from the perspective of livability of residents. By using the subjective-objective combined weighting method of AHP and CRITIC, the comprehensive weights of the evaluation indicators are calculated and a community green low-carbon level assessment model is developed based on matter-element extension. Finally, this assessment model is applied to typical green low-carbon communities in each district of Qingdao. The results show that the green low-carbon levels of the community vary in different districts of Qingdao. In the selected communities, the green low-carbon levels of Community B in Shinan District, Community H in Huangdao District and Community S in Laoshan District are relative high, which are all at an excellent level, while the green low-carbon levels of Community N in Shibe District and Community C in Licang District are good and medium, respectively, which are positively correlated with the level of local economic development in different administrative districts. Furthermore, corresponding countermeasures and suggestions are put forward for communities with different green and low-carbon levels.

**Key words:** theory of the sciences of human settlements; green low-carbon community; AHP-CRITIC method; matter-element extension model

【编辑 高婉炯】