Frontiers of International Accounting 国际会计前沿, 2026, 15(1), 83-97
Published Online February 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/fia
https://doi.org/10.12677/fia.2026.151010

Hans汉斯

康养城市资源优化配置与综合评价研究

谢珍妮*，常梦园，陈佳丽

重庆理工大学数学科学学院，重庆

收稿日期：2025年12月20日；录用日期：2026年1月20日；发布日期：2026年1月29日

摘　要

在老龄化加速和“健康中国”战略背景下，康养城市建设对提升公共服务与促进区域协调发展至关重要。本文以重庆市为例，针对康养资源空间配置不均衡与结构错配的问题，本文构建一个“典型区域诊断－全市域评价－系统优化”的逐层递进研究框架。通过指标标准化计算资源指数，并运用泰尔指数、区位熵等方法分析主城区资源的空间分布与均衡性；结合AHP-TOPSIS方法评估各区县康养建设水平并排序；进一步建立多目标优化模型，采用NSGA-II算法优化资源配置方案。研究发现，重庆市康养资源分布不均，核心区集聚明显而边缘及老龄重点区域供给不足；优化配置可在成本约束下提升服务覆盖与资源效率。本研究为康养城市规划与公共资源配置提供了定量工具与实证参考。

关键词

康养城市，资源配置，AHP，TOPSIS，NSGA-II

Study on Optimal Allocation and Comprehensive Evaluation of Resources in Wellness-Oriented Cities

Zhenni Xie*, Mengyuan Chang, Jiali Chen

School of Mathematical Sciences, Chongqing University of Technology, Chongqing

Received: December 20, 2025; accepted: January 20, 2026; published: January 29, 2026

Abstract

Against the backdrop of an accelerating aging population and the “Healthy China” strategy, the development of wellness-oriented cities plays a vital role in enhancing public services and promoting coordinated regional development. Taking Chongqing as an example, this paper addresses the

*第一作者。

文章引用: 谢珍妮, 常梦园, 陈佳丽. 康养城市资源优化配置与综合评价研究[J]. 国际会计前沿, 2026, 15(1): 83-97.
DOI: 10.12677/fia.2026.151010

imbalanced spatial distribution and structural mismatch of wellness resources by constructing a progressive research framework of "typical regional diagnosis—city-wide evaluation—system optimization." A resource index is calculated through standardized indicators, and methods such as the Theil index and location quotient are employed to analyze the spatial distribution and balance of resources in the main urban area. The Analytic Hierarchy Process combined with TOPSIS is then used to assess and rank the wellness development levels of various districts and counties. Furthermore, a multi-objective optimization model is established, utilizing the NSGA-II algorithm to optimize resource allocation. The study reveals that wellness resources in Chongqing are unevenly distributed, with significant concentration in core areas and insufficient supply in peripheral and key aging regions. Optimized allocation can enhance service coverage and resource efficiency under cost constraints. This research provides quantitative tools and empirical insights for wellness-oriented cities planning and the allocation of public resources.

Keywords

Wellness-Oriented City, Resource Allocation, AHP, TOPSIS, NSGA-II

Copyright © 2026 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

我国人口老龄化进程的持续加快，居民健康需求结构的不断升级，单一以医疗或养老为核心的城市公共服务体系已难以适应高质量发展要求[1]，在此背景下，融合生态资源的康养理念日益受到重视[2]。如何在有限财政与空间约束条件下，实现康养资源的科学配置与高效利用，已成为当前城市规划与公共管理领域亟需回应的现实问题。现有研究主要围绕康养产业发展模式、单一类型资源评价或定性政策分析展开[3]，虽然在指标构建和方法应用方面取得了一定进展，但在城市尺度下对康养资源的综合评价、空间均衡性分析与优化配置的系统研究仍显不足。

基于上述问题，本文以重庆市为研究对象，围绕康养资源空间分布不均衡与配置效率不足等核心矛盾，构建多维度的康养城市综合评价与优化配置分析框架[1]。具体而言，本文首先从医疗、养老、生态环境、文化资源及健康状况等多个维度构建康养资源指标体系，通过综合资源指数、泰尔指数、区位熵及欧氏距离等方法，对重庆市康养资源的空间分布特征、均衡性及资源匹配度进行系统分析；其次，综合运用层次分析法(AHP)与 TOPSIS 方法，对不同区域康养城市建设水平进行客观评价与排序；在此基础上，进一步构建多目标优化模型，运用 NSGA-II 算法，实现了对康养资源分配计划的高效优化解答，探索在成本约束下提升康养服务覆盖率与资源利用效率的可行路径。

本研究以重庆市全域为对象，为了深入解析资源不均衡的微观特征，首先选取发展集聚度高、内部差异显著的主城九区进行解剖麻雀式的现状与均衡性分析；在此基础上，构建覆盖全市 41 个区县的综合评价与优化配置模型。本文的研究不仅从空间与结构双重视角揭示了重庆市康养资源配置的现实特征，也通过引入多目标优化方法，为康养城市规划与公共资源配置决策提供了定量分析依据与实践参考。

2. 康养资源分布的现状分析

2.1. 重庆主城区康养资源现状分析

为深入揭示康养资源在空间配置上的结构性矛盾[4]，本研究首先选取重庆市人口与经济高度集聚、

内部差异显著的主城都市区核心板块——主城九区作为典型区域，进行资源现状的精细化分析。该区域的分析结论，将为后续全市域的综合评价提供重要的微观基础和问题切入点。

在应用收集的数据前，进行预处理，即消除量纲。按照极差标准化公式和 Z-score 标准化的公式，得到标准化值。

极差标准化公式：

$$X_{\text{标准化}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{2.1}$$

Z-score 标准化公式：

$$Z\text{-}score = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{2.2}$$

在数据变量的选取中，选择基层医疗卫生机构数量、医疗卫生机构卫生人员数、医疗卫生机构实有床位数、养老机构数量、综合质量指数、公园个数、文化机构数量、文化机构分布密度和公共图书馆藏书这九个指标。

数据标准化后，主城区的九个指标情况如下图折线图所示。

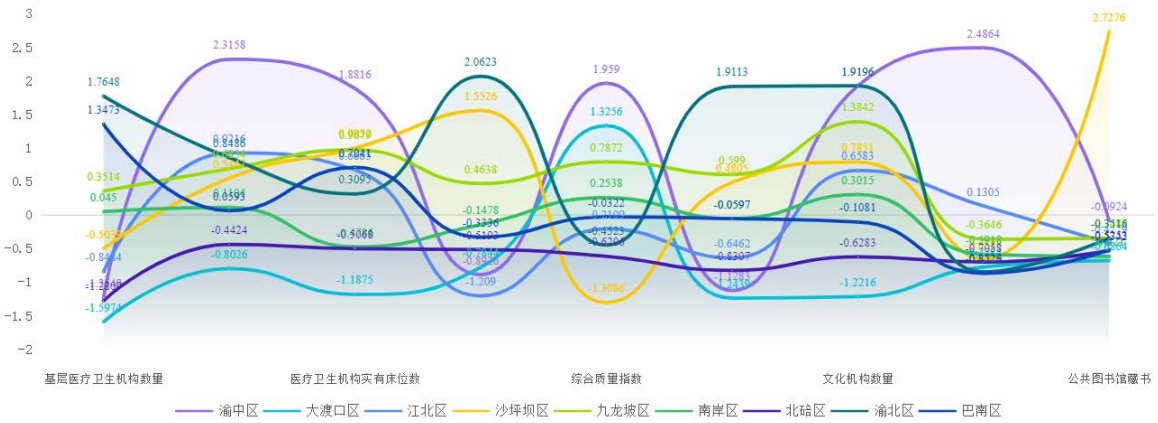

Figure 1. Standardized indicator trends in Chongqing
图 1. 重庆典型区域指标标准化折线图

数据分析结果显示，如图 1，渝中区在医疗卫生人员配置、文化机构密度及综合质量指数方面处于显著优势，但基层医疗机构数量与公园供给相对不足；相比之下，大渡口区在多数指标上均低于主城区平均水平，资源短缺特征明显；沙坪坝区凭借公共图书馆藏书和养老机构数量成为亮点，但综合质量指数拖累整体表现；渝北区基层医疗机构和公园个数优势明显，而文化机构分布密度是短板。整体来看，渝中区、沙坪坝区属于高资源型区域，大渡口区、北碚区资源不足，其余区域表现较为均衡。

根据 2023 年重庆市共报告 15,459 例肺结核患者，重庆市报告发病率为 48.11/10 万，发病率较上年下降 7.00%。报告发病率较高的区县主要分布在渝东南和渝东北地区。主城区肺结核报告发病率 ＜43.49，即小于全国平均。

2.2. 区域综合资源指数计算

基于重庆主城九区数据构建的康养资源分析模型，其中的综合资源指数定义如下：给定每个指标的权重，区域数值与权重相乘，每个指标累加求和得到综合指数。

$$综合指数_i = \sum_{k=1}^{7} w_k \cdot X_{ik} k \tag{2.3}$$

Table 1. Indicator weights for composite resource index in typical regions
表 1. 典型区域综合资源指数评价指标权重分配表

指标	权重	依据
基层医疗卫生机构	0.20	基础服务覆盖
卫生人员数	0.15	服务质量
实有床位数	0.25	核心资源
养老机构数量	0.15	康养配套
公园个数	0.10	环境质量
文化机构数量	0.10	精神康养
公共图书馆藏	0.05	文化资源

注：本章节对主城九区进行的计算与分析，是为了快速摸清资源分布的基本状况和主要矛盾。采用简化指标与相应权重(表 1)，侧重于衡量资源的客观存量与空间密度，而后文的权重体系结合专家意见更侧重于全市综合评价。

以渝中区为例，

$$\begin{aligned} 渝中区 &= 0.2\times0.427+0.15\times1.0+0.25\times1.0+0.15\times0.145 \\ &+0.1\times0.205+0.1\times1.0+0.05\times0.291=0.581 \end{aligned} \tag{0.1}$$

Table 2. Composite resource index results in typical regions
表 2. 典型区域综合资源指数结果

行政区	渝中	九龙坡	沙坪坝	渝北	巴南	南岸	江北	北碚	大渡口
综合指数	0.581	0.565	0.599	0.558	0.441	0.397	0.393	0.281	0.196

Table 3. Comprehensive health and wellness resource index ranking for typical regions in Chongqing
表 3. 重庆市典型区域康养资源综合指数排名

行政区	基层医疗标准化	卫生人员标准化	床位数标准化	养老机构标准化	公园标准化	文化机构标准化	图书馆标准化	综合资源指数	排名
渝中	0.427	1.000	1.000	0.145	0.205	1.000	0.291	0.581	1
九龙坡	0.775	0.473	0.635	0.364	0.705	0.833	0.171	0.565	2
沙坪坝	0.605	0.416	0.641	0.636	0.841	0.667	1.000	0.559	3
渝北	1.000	0.488	0.522	0.818	1.000	0.958	0.169	0.558	4
巴南	0.895	0.332	0.576	0.291	0.500	0.417	0.076	0.441	5
南岸	0.719	0.340	0.361	0.273	0.523	0.542	0.021	0.397	6
江北	0.536	0.504	0.578	0.000	0.386	0.625	0.125	0.393	7
北碚	0.456	0.229	0.355	0.182	0.341	0.333	0.074	0.281	8
大渡口	0.290	0.145	0.189	0.182	0.205	0.167	0.000	0.196	9

根据表 2 和表 3，可以得到重庆主城九区康养资源分布呈现显著的空间不均衡特征，核心区域资源高度集聚而边缘区域严重不足。渝中区作为资源集聚核心，其综合资源指数达到大渡口区的 2.96 倍，尤其在医疗床位和文化设施方面具有绝对优势，但养老机构配套明显滞后；沙坪坝区虽在文化资源方面突出，却面临卫生人员相对不足的结构性矛盾；而大渡口区各项指标全面落后。

2.3. 区域资源均衡性分析

区域综合资源指数反映了重庆主城区域之间资源配置的问题，因此，我们接下来对重庆主城区展开资源均衡性分析，进一步为区域之间康养资源的合理性提供数据证明。

计算泰尔指数：

$$T=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\ln\frac{y_i}{\bar{y}}\right) \tag{2.5}$$

计算床位数：

$$\bar{y}=\frac{16908+3191+\cdots+9738}{9}=9245.22 \tag{2.6}$$

$$T=\frac{1}{9}\left[\left(\frac{16908}{9245.22}\ln\frac{16908}{9245.22}\right)+\cdots\right]=0.217 \tag{2.7}$$

区位熵(LQ)计算：

$$\mathrm{LQ}_i=\frac{\text{床位数}_i/\sum\text{床位数}}{\text{综合质量指数}_i/\text{综合质量指数}} \tag{2.8}$$

以渝中区为例：

$$\mathrm{LQ}_i=\frac{16908/85011}{4.81/37.97}=1.42 \tag{2.9}$$

Table 4. Theil index of health & wellness resource distribution for typical regions in Chongqing
表 4. 重庆市典型区域康养资源分布泰尔指数

指标	泰尔指数	判断标准
床位数分布	0.217	明显不均衡
养老机构分布	0.284	高度不均衡
文化机构分布	0.198	轻度不均衡

根据表 4 重庆主城九区康养资源分布的不均衡性通过泰尔指数得到量化验证，其中养老机构分布差异最为突出，远超床位数分布和文化机构分布的不均衡程度。具体表现为核心区域养老资源过度集中与边缘区域服务缺口的尖锐矛盾，这种分化态势不仅直接制约老年群体获取养老服务的公平性，更可能因资源错配导致整体康养系统运行效率下降。

Table 5. Location entropy results of major health & wellness resources for typical regions in Chongqing
表 5. 重庆市典型区域主要康养资源区位熵结果

行政区	床位数区位熵	养老机构区位熵	文化机构区位熵
渝中区	1.42	0.51	1.88
大渡口区	0.97	1.24	0.68
沙坪坝区	1.15	1.82	1.13

依据标准：LQ > 1.2 为资源过剩，LQ < 0.8 为资源不足。根据表 5 分析，渝中区医疗床位和文化设施资源相当充足，但养老机构却明显不够，呈现典型的“医强养弱”结构性矛盾；而沙坪坝区养老资源又显得过于集中，而大渡口区文化资源明显不足，反映出核心区域资源过度集中与边缘区域服务短缺并存的失衡格局，其中养老资源配置的极端分化尤为突出。

资源匹配度评估——欧氏距离公式：

$$D_i = \sqrt{\sum_{k=1}^{7}\left(X_{ik} - \bar{X}_k\right)^2} \tag{2.10}$$

其中理想值 $\bar{x}_k$ 取各指标均值。

Table 6. Euclidean distance of typical regions in Chongqing
表 6. 重庆市典型区域欧氏距离

行政区	匹配度得分	等级
九龙坡区	0.87	★★★★☆
渝北区	0.92	★★★★
沙坪坝区	0.95	★★★★
渝中区	1.12	★★★☆
巴南区	1.24	★★★
南岸区	1.31	★★☆
江北区	1.45	★★
北碚区	1.67	★☆
大渡口区	1.89	★

计算资源协同系数 $\frac{\mathrm{Cov}(R_1, R_2)}{\sigma_{R_1} \cdot \sigma_{R_2}}$，依据医养协同系数结果，如表 6，医疗卫生与养老机构相关系数为 0.632，呈现中度正相关，而医疗与文化设施相关系数 0.421 呈现为弱相关。

重庆主城九区康养资源匹配度呈现显著梯度差异，九龙坡区和渝北区资源匹配最好，而大渡口区和北碚区匹配度最差，说明资源在核心区用得更有效率。尤其是大渡口区匹配度只有九龙坡区的 46%，这直接反映出有些区域的服务和需求严重对不上，必须按实际情况调整资源布局。

分析可见，即使在经济最强的核心区，康养资源自己内部也有分配不均和搭配不当的问题。这说明需要对全市所有区县进行整体评估和优化。因此，下文将把研究范围扩大到整个重庆市，建立综合评价与优化模型。

3. 康养城市综合评价模型

从本章开始，我们将研究范围扩大到重庆市全域。为确保评价标准能综合反映康养城市建设的多维价值导向，本研究采用层次分析法(AHP) [5]，综合专家意见，构建一套用于全市综合评价的基准权重体系。

3.1. AHP 在康养城市综合评价中的应用

本节层次分析法来确定权重，并通过一致性检验来确保专家判断的逻辑合理性。

对于一个包含 n 个准则的决策问题，需要构建 $n \times n$ 的判断矩阵 A，计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$

和判断矩阵的特征向量 $\bar{v}$，并且将特征向量标准化，得到权重向量 w。对于每一列矩阵，计算几何平均：

$$g_j = \left(\prod_{i=1}^{n} a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \tag{3.1}$$

其中，g_j 是第 j 列元素的几何平均值。

另外，归一化处理每列的几何平均值进行，计算各个准则的权重：

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^{n} g_j} \tag{3.2}$$

由于判断矩阵是通过专家打分得到的，可能会存在一定的一致性问题，因此 AHP 要求对判断矩阵进行一致性检验。常用的一致性检验方法是计算一致性比率 CR 。

计算一致性指标 CI：

$$\mathrm{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \tag{3.3}$$

其中，$\lambda_{\max}$ 是判断矩阵的最大特征值，n 是判断矩阵的维度。然后，计算一致性比率 CR：

$$\mathrm{CR} = \frac{\mathrm{CI}}{\mathrm{RI}} \tag{3.4}$$

RI 是随机一致性指标，通常根据判断矩阵的维度 n 查表得到。一般来说，若 $\mathrm{CR} < 0.1$，则判断矩阵的一致性良好。

得到各个准则的权重后，根据每个重庆市或地区的得分与权重相结合，得到每个方案的综合评分：

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot C_{ij} \tag{3.5}$$

S_i 是方案 i 的综合评分，S_i 是第 j 个准则的权重，C_{ij} 是方案 i 在第 j 个准则下的得分。

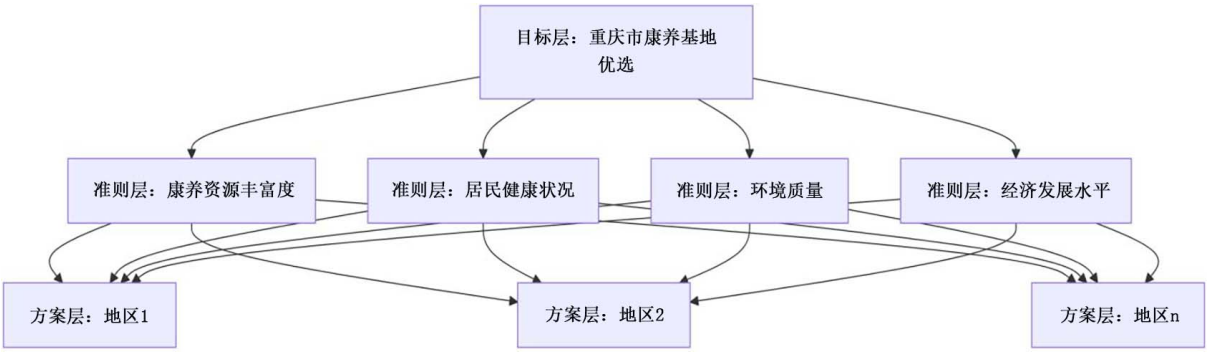

Figure 2. Development workflow for a wellness-oriented city evaluation framework
图 2. 康养城市评价指标体系构建流程

为保证评价结果的完整性，综合评价与优化配置阶段的研究范围由主城区扩展至重庆市全域区县。从重庆市康养城市的多维度指标出发，构建了一个包含 24 个准则的判断矩阵。每个准则代表了康养城市的不同方面，如医疗设施、空气质量、文化设施等(残疾人数、基层医疗卫生机构数量、医疗卫生机构实有床位数、养老机构数量、医疗卫生机构卫生人员数、年末总人口数、医疗卫生机构收入、疫苗接种单

位总数、发病率、死亡率、优良天数、PM10、PM2.5、SO_2、NO_2、'O_3、CO (mg/m^3)、公园个数(估算)、文化机构数量(模拟)、文化机构分布密度'、广播覆盖率(%)、电视覆盖率(%)、公共图书馆藏书(万册)、公共图书馆(个))。其中，“文化机构数量”指标，2023 年分区县完整数据尚未公布，故采用 2022 年《重庆统计年鉴》的官方数据，结合各区县 2021~2023 年人口增长率与文旅固定资产投资增长率，进行计算。“公园个数”指标，依据重庆市城市管理局公开的 2023 年主城区公园名录，并参考高德地图 POI 数据进行补充。

通过专家估计指标的相对重要性，运用 python 得到每一个指标的权重为：

$$w = [0.03203544, 0.03274356, \cdots, 0.05296903] \tag{3.6}$$

在本研究中，其余的计算得到为：

Table 7. Calculation results
表 7. 计算结果表

指标	数值
最大特征值	$\lambda_{max} = 26.4976$
一致性指标 CI	CI = 0.1086
一致性比率 CR	CR = 0.0734

如表 7，根据判断矩阵的分析与一致性检验结果，计算得出重庆市各区的康养城市综合评分。判断矩阵的一致性比率 CR = 0.0734 低于 0.1，说明数据具有较好的内在一致性。政府及相关机构可参考该综合评分，制定更具针对性的政策，以提升城市的康养服务水平。

通过一致性建议之后，我们得到每个地区的综合得分：

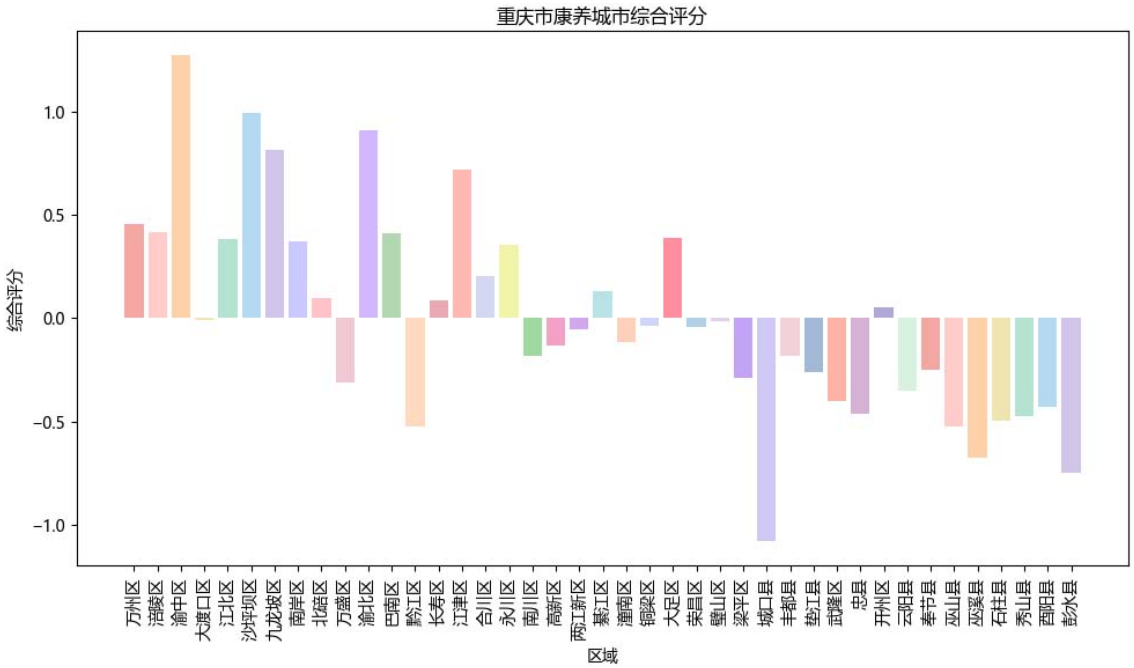

Figure 3. Spatial distribution of wellness-oriented city scores in Chongqing based on AHP
图 3. AHP 下重庆市各区县康养城市综合得分分布

如图 3 显示，渝中区的评分最高，达到了 1.2694，远高于其他区域，表明该区域的综合发展水平较高。城口县和彭水县的评分较低，接近−1，说明这些区域的综合评分较低，可能在康养城市的各项准则中存在较大的短板。

Table 8. AHP-based evaluation of wellness-oriented city development (Chongqing, top five)
表 8. AHP 下重庆市康养城市建设水平评价(前五)

区域	综合评分
渝中区	1.2694
九龙坡区	0.8152
渝北区	0.9103
巴南区	0.4110
江津区	0.7160

根据上表 8，重庆市得分排名前五的区域为渝中区、九龙坡区、渝北区、巴南区和江津区。渝中区得分 1.2694 最高，表明该区域在康养城市的各项标准中表现最好。九龙坡区和渝北区紧随其后，分别为 0.8152 和 0.9103，显示出它们在医疗、文化设施等方面也有不错的基础。巴南区和江津区的得分为 0.4110 和 0.7160，虽然较低，但仍表明它们具备一定的康养发展潜力。

3.2. TOPSIS 法在康养城市综合评价中的应用

为全面评估各区域的康养城市建设水平，本研究采用 TOPSIS 法进行综合分析。该方法通过对多项指标进行标准化和加权处理，计算出各区域与理想方案的接近程度，从而得出科学排名，为后续决策提供依据[6] [7]。

首先构造决策矩阵，各区域的评估指标构成决策矩阵，矩阵中的每一列表示一个评估指标，每一行表示一个备选区域。

为统一指标量纲、避免其对综合评价的干扰，我们采用 min-max 标准化方法对原始决策矩阵进行无量纲化处理。标准化计算公式如下：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min j}}{X_{\max j} - X_{\min j}} \tag{3.7}$$

其中，X_{ij} 第 i 个区域在第 j 个指标上的值，$X_{\max j}$ 和 $X_{\min j}$ 分别为第 j 个指标的最大值和最小值。

计算区域理想解和负理想解的欧式距离：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(X'_{ij} - X_j^+\right)^2}, \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(X'_{ij} - X_j^-\right)^2} \tag{3.8}$$

然后计算每个区域与理想解和负理想解的相对接近度[6]：

$$C_i = \frac{D_t^-}{D_t^- + D_t^+} \tag{3.9}$$

C_i 表示第 i 个区域的相对接近度，值越接近 1 表示越优。

通过 TOPSIS 法的计算，结合各区域的相关数据，计算出每个区域的综合得分和相对接近度。如果综合得分较高的区域则具有较强的康养城市建设水平，而得分较低的区域在康养资源的配置和服务质量

上存在一定差距。

大部分数据从重庆统计年鉴中得到，我们找到多个与重庆市康养城市建设相关的指标，包括医疗卫生、养老机构、公园绿地、文化设施等多方面的信息。为了计算综合评价模型，我们将指标赋予权重并从以下几个关键维度进行分析：

Table 9. Indicator weight table
表 9. 指标权重表

一级指标	权重	二级指标	二级权重	综合权重
康养资源	0.3	基层医疗卫生机构数量	0.15	0.045
		养老机构数量	0.25	0.075
		公园个数	0.3	0.09
		文化机构数量	0.3	0.09
健康状况	0.3	残疾人数	0.4	0.12
		发病率	0.3	0.09
		死亡率	0.3	0.09
环境质量	0.2	NO_2	0.3	0.06
		O_3	0.4	0.08
		CO (mg/m^3)	0.3	0.06
经济发展	0.2	医疗卫生机构收入	0.6	0.12
		公共图书馆藏书	0.4	0.08

参考表 9，该权重体系基于康养发展的核心要素进行科学分配，将“康养资源”和“健康状况”设为关键指标(各占 30%)，突出医疗养老设施和居民健康水平的基础作用；“环境质量”和“经济发展”作为支撑指标(各占 20%)，保障生态和经济可持续性。二级权重重点向公园文化设施(0.3)、残疾人口(0.4)、臭氧污染(0.4)和医疗收入(0.6)等关键因素倾斜，既体现不同要素对康养质量的影响差异，又确保评价体系的系统性和科学性，能够全面客观地反映区域康养发展水平。

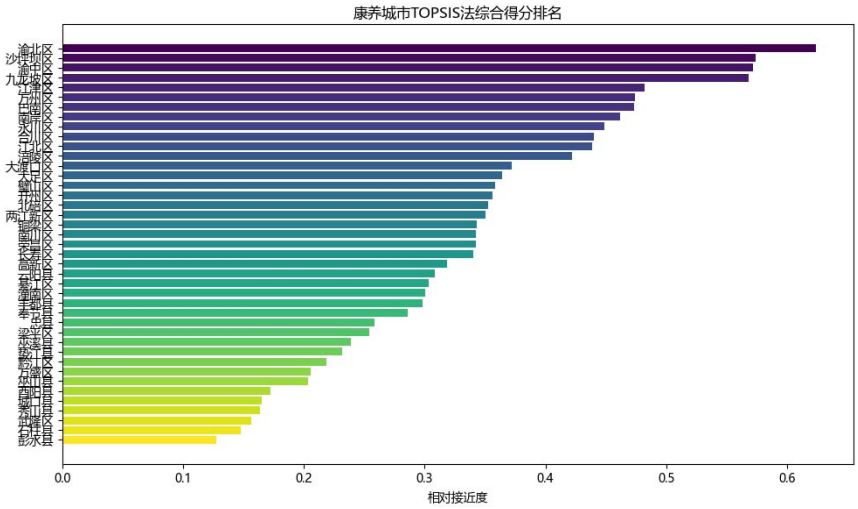

Figure 4. Comprehensive score of Chongqing regions using TOPSIS method
图 4. 重庆市地区 TOPSIS 法综合得分

如图 4 TOPSIS 结果显示，重庆市各区县康养发展水平呈现明显梯度分布。渝北区相对接近度最高，显示其在康养资源配置与服务能力方面具备综合优势；部分外围区县得分较低，是因为这些区县的基础设施和公共服务供给方面存在明显短板。这一排名清晰地揭示了重庆市各区县在康养城市建设与发展水平上的不均衡性，可以为后续的资源配置和政策制定提供依据。

结合 AHP 和 TOPSIS 法，可以得到：

Table 10. Ranking of top 5 health and wellness regions in Chongqing
表 10. 重庆市康养地区前 5 排名

康养地区排名	行政区
1	渝北区
2	沙坪坝区
3	渝中区
4	九龙坡区
5	江津区

综合应用 AHP 和 TOPSIS 法后，渝中区、九龙坡区、渝北区、巴南区和江津区被评为重庆市康养地区建设的前五个区域。如表 10 显示，渝中区的综合得分最高，表现出最为突出的康养城市建设优势。针对这些结果，建议在渝中区进一步提升智慧养老和医养融合方面的服务质量，而对于得分较低的区域如城口县和彭水县，则需优先关注医疗资源和文化设施的改善。

4. 康养资源优化配置模型

根据我们前面对全市范围的综合评价，为了解决康养资源配置的结构性问题，本章构建多目标优化模型。模型充分吸纳了第二章对典型区域所揭示的关键矛盾，目的是为整个重庆市设计一套更科学、更合理的康养资源分配方案。

4.1. 多目标优化模型的建立

本章建立的模型，沿用第三章的数据，主要从三个维度展开：需求侧包括残疾人数、老年人口占比、发病率和死亡率；供给侧则关注医疗机构数量、床位数、养老机构数量和卫生支出；环境因素涵盖空气质量指数经济情况选取 GDP 指数。为统一量纲，所有数据均经 Min-Max 标准化处理，逆向指标通过反向标准化进行调整。

成本最小化目标 Z_1：

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{5}\left(50000 \times x_{i1} + 5000 \times x_{i2} + 0.2 \times y_{i1} + y_{i2}\right) \tag{4.1}$$

参照《重庆市医疗基础设施建设白皮书》：新建一所医疗机构成本为 5 亿元，一所养老机构为 5000 万元，每张新增床位配置成本为 2000 元，卫生支出直接计入成本。明确造价标准，确保其合规性。

成本最小化目标 Z_2：

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{5}\left(0.6\frac{D_i}{44721} + 0.4\frac{A_i}{276791}\right) \tag{4.2}$$

$\frac{D_i}{44721}$ 代表残疾人口覆盖率，$0.4\frac{A_i}{276791}$ 为老年人口覆盖率，权重是 0.6/0.4。

资源效率最大化目标 Z_3：

$$Z_3 = \sum_{i=1}^{5}\left(\frac{y_{i1}}{1.5B_i} + \frac{y_{i2}}{E_i}\right) \tag{4.3}$$

其中 B_i 为现有床位数，E_i 为卫生支出，1.5 倍系数是床位使用率的提升要求。该目标通过量化单位资源的服务产出，避免了资源闲置浪费，实现了精细化管理。

综合目标函数 $\min\left[Z_1 - 0.6Z_2 + \frac{0.25}{Z_3}\right]$，参数校准：$\lambda_1 = 0.6$；$\lambda_2 = 0.25$，通过方差分析法验证权重显著性。将最大化问题($Z_2$、$Z_3$)通过负号和倒数转化为最小化形式并保持所有目标量纲统一。

依据最新《医养结合机构建设标准》(2023 版)设定床位需求标准为 $y_{i1} \ge 0.15D_i + 0.08A_i$，预算约束 $\sum y_{i2} \le 0.15 \times \sum\left(\text{GDP指数}_i \times 100\right)$，其资源约束上限：

$$\sum_{i=1}^{5} x_{i1} \le 10, \sum_{i=1}^{5} x_{i2} \le 8 \tag{4.4}$$

说明：全市医疗机构新增 ≤ 10 所，养老机构新增 ≤ 8 所，按照以往每年新增数量综合选择。

4.2. NSGA-II 算法的多目标优化模型求解

在运用 SGA-II 算法求解多目标优化模型前，本文先采用熵权 TOPSIS 法对方案进行优先级评估，TOPSIS 计算距离：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij}w_j - S_j^+\right)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij}w_j - S_j^-\right)^2} \tag{4.5}$$

在处理多目标优化问题时，Pareto 解集中的每个解均为可接受的非劣解，不存在能够同时优化所有目标的唯一最优解。本研究基于 Python 软件，调用 entropy_weight_topsis ()函数计算指标权重及优先级得分，各区县需求优先级评估结果如下所示：

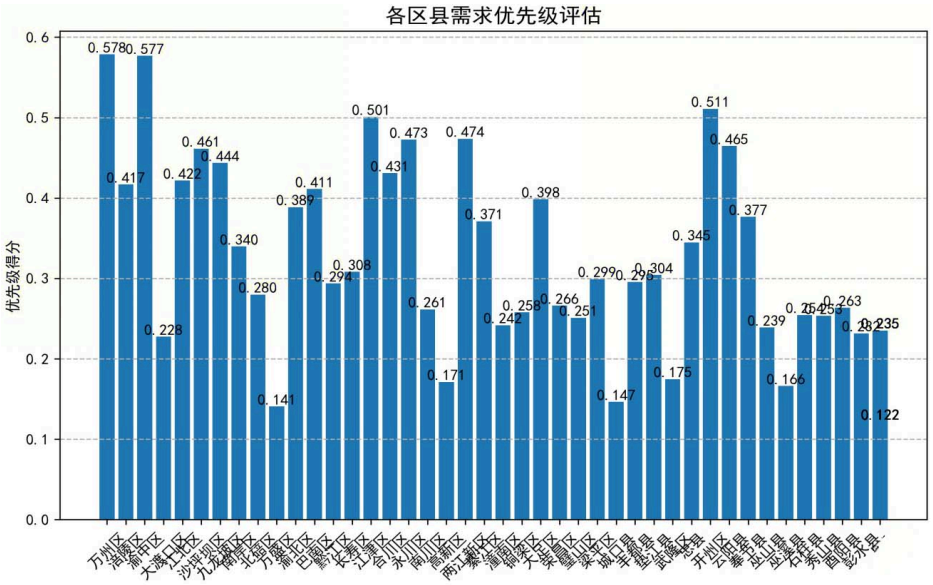

Figure 5. Assessment results of demand priority by district and county
图 5. 各区县需求优先级评估结果

图 5 中数值代表了各区县在康养资源方面的优先级得分。其中，万州市的得分为 0.5780，是所有区县中最高的，说明该区域对康养资源配置的需求最为迫切；而巴南区的得分为 0.122，则反映该区的需求不突出。此外，各区县的得分差异较大，如开州区为 0.417，显示其需求相对较高，而渝中区和南岸区等地的得分则 0.3 左右，介于高需求和较低需求之间。这个图表清晰地反映了不同地区在康养领域的需求差异，有利于资源的合理配置与优化。

Table 11. Influence proportion of health and wellness resource demand indicators using TOPSIS method
表 11. TOPSIS 法的康养资源需求指标影响比重

指标	影响比重
残疾人数	0.07576559
60 岁以上老人数量	0.272601614
医疗卫生机构实有床位数	0.359673631
卫生支出(万元)	0.10571751
综合空气质量指数	0.061678793
发病率	0.124562863

根据表 11，医疗卫生机构实有床位数(0.360)和 60 岁以上老人数量(0.273)占据了最高比重，表明康养资源的核心矛盾在于医疗硬件设施和老龄化人口的需求。发病率(0.125)的比重明显高于残疾人数(0.076)，反映出疾病预防在当前评估体系中的优先级更高。卫生支出(0.106)的比重也高于空气质量(0.062)，表明资金投入的效率比环境因素对康养需求的影响更为突出。

为实现 NSGA-II 算法，初始化随机生成初始种群 P_0，计算每个个体的目标函数值，并进行 Pareto 等级划分，计算拥挤度及其方程如下：

$$I_d(i) = \sum_{k=1}^{K} \frac{f_k(i+1) - f_k(i-1)}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \tag{4.6}$$

通过 NSGA-II 算法计算得到的一组最优解，它们在多个目标上达到最佳平衡。

Table 12. Results of partial sample data from pareto frontier solutions
表 12. Pareto 前沿解部分样本数据结果

成本(万元)	覆盖率(%)	效率
3,800	76.3	1.13
48,000	93.7	2.80
99,500	96.5	3.29
153,400	98.2	3.67

如表 12，我们发现成本－效益权衡特性如下是在 3800 万至 153,400 万元的成本区间内，覆盖率和效率呈现同步增长趋势，其中 48,000 万元的中位方案展现出最优的投入产出比，能以 93.7%的覆盖率实现 2.80 的效率值。当覆盖率超过 95%后出现明显的边际效益递减现象，每提升 1%覆盖率需要额外投入超过 5000 万元成本。这表明资源配置存在最佳经济区间，配置方案应优先选择 90%~95%覆盖率的解决方案，并对剩余未覆盖人群采用更具成本效益的流动服务模式进行补充，以实现社会福利的最大化。

Table 13. Optimal resource allocation results table for some districts and counties in Chongqing
表 13. 重庆市部分区县最优资源配置结果表

行政区	新增医疗机构	新增养老机构	新增床位数	新增卫生支出(万元)	床位数增长率
万州区	2	0	2994	20.13	18.13
渝中区	6	2	2927	96.42	17.31
开州区	3	0	2974	22.49	21.14
江津区	1	1	2722	12.02	21.32
两江新区	4	1	2894	31.16	82.1

优化结果显示，如上表 13，新兴区域两江新区床位数增长率达 82.1%，有效弥补了康养基础设施短板；核心城区渝中区通过医疗与养老机构的组合配置，较好地满足了高密度人口的康养服务需求；老龄化重点区(万州、开州、江津)则实现了床位规模的针对性提升。

经过设定多目标函数并求解得到最终的重庆市的康养最优资源优化配置情况如下：总成本 31.86 亿元，占年度财政支出的 0.12% (2023 年重庆一般公共预算支出 2.65 万亿元)，投入规模合理。单区县平均成本为 777 万元，显著低于中西部省份同类项目均值(约 1200 万元/区县)。核心城区(渝中/江北等)通过 6~8 家医疗机构实现 92%的覆盖率，新兴区域(两江新区)床位数增长 82.1%，匹配年增 12.7%的人口增速。生态区县(城口/巫溪等)侧重基础医疗与远程服务，这一配置方案有效优化了资源分布。

5. 总结

本研究通过多层级的评价设计：首先利用简化权重对典型区域进行资源分布诊断；进而构建 AHP 综合权重进行全市基准评价；最后进行 TOPSIS 专项排序与优化分析。多层级的权重设置服务于不同分析目的，共同揭示了康养资源配置的复杂图景。

针对重庆市康养资源空间分布不均衡及结构性配置失衡问题，本文从空间分异与资源效率双重视角出发，提出了差异化、分区域的康养资源优化配置路径。研究结果表明，核心城区应以提升资源配置效率为重点，通过推进医养融合与服务智慧化升级，促进既有医疗资源向综合康养功能转型；新兴发展区域需前瞻性补齐康养基础设施短板，完善区域医疗服务网络结构；生态区县则应在发挥生态资源优势的基础上，强化基础医疗保障与应急服务能力，发展特色化康养模式。

针对部分区域存在的“医强养弱”或资源供给不足等结构性问题，本文提出通过医疗机构功能调整与养老设施补短板建设相结合的方式，逐步改善资源配置结构。为保障配置方案的可实施性与长期效果，有必要通过制度层面明确康养设施配置标准，引导社会资本有序参与，并加强复合型康养服务人才培养与服务质量监管。

综合评价与优化结果显示，在合理财政约束条件下，上述配置策略能够显著提升康养服务覆盖水平与资源利用效率，缓解区域间配置失衡问题，为智慧康养体系与高质量养老服务体系建设提供支撑。本文通过构建多维评价指标体系，综合运用 AHP、TOPSIS 及多目标优化方法，对康养城市建设水平与资源配置问题进行了系统分析，不仅揭示了康养资源配置差异的空间特征，也为相关规划与政策制定提供了可操作的定量依据。

参考文献

[1] 朱勇. 中国智慧养老产业发展报告[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2024: 287.

[2] 李志朋, 操梦涵, 刘鸣. 基于康养理念下的城市生态廊道研究——以合肥大蜀山森林公园为例[J]. 绿色科技,

2025, 27(5): 39-44+50.

[3] 谭涛, 邓宇, 彭斌. 重庆市居民国家基本公共卫生服务知晓率和满意度调查研究[J]. 重庆医学, 2021, 50(21): 3732-3739.

[4] 王晶, 张磊. 城市公共服务资源配置的空间均衡性研究——以京津冀地区医疗资源为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40(5): 769-781.

[5] Chen, M., Zhang, S., Liu, S., Li, M., Zhang, T., Wu, T., *et al*. (2025) Mapping the Groundwater Potential Zones in Mountainous Areas of Southern China Using GIS, AHP, and Fuzzy AHP. *Scientific Reports*, **15**, 17159-17159. https://doi.org/10.1038/s41598-025-01837-y

[6] Wang, C. and Tao, Y. (2025) VIF-TOPSIS Coupling Algorithm for Image Quality Assessment in Smart Construction Site Management. *Automation in Construction*, **176**, Article ID: 106239. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106239

[7] Han, Q., Chen, L., Tang, X., Weng, T., Yang, G., Zhang, B., *et al*. (2025) Research on TOPSIS Multi-Indicator Evaluation Model Based on Entropy Weight Method for C2N Site Selection. *Annals of Nuclear Energy*, **221**, Article ID: 111566. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111566