

# 基于 G1-C-OWA 算子组合赋权的县级医院 改扩建影响因素评价

宋文宇<sup>1</sup>, 庞玉成<sup>2</sup>

(1. 烟台大学 土木工程学院, 山东 烟台 264005; 2. 济宁医学院, 山东 济宁 272067)

**摘要:** 县级医院改扩建是提升区域医疗服务能力的关键环节。为应对县级医院改扩建过程中普遍面临的建筑老化、流程冗余及资源配置失衡等问题,亟需建立一套科学的综合评价体系以优化决策。文章基于医疗工艺流程,运用WSR(物理-事理-人理)系统方法论构建一个包含3个维度、15项指标的评价体系。通过结合G1序关系分析法与C-OWA算子进行组合赋权,并依据专家调查数据综合确定各指标权重,最终构建评价模型并完成检验和实例验证。研究表明:1)在关键指标中,患者满意度与社区反馈、医疗功能单元布局合理性、建筑空间弹性扩展能力的权重位列前三;2)所构建模型稳定性良好,平均鲁棒性指数达95.28%;3)县级医院改扩建应优先聚焦于功能布局合规性、应急能力建设与患者服务优化,并针对性强化物流自动化与科室协同,以规避功能性冗余,提升整体成本效益。

**关键词:** 县级医院改扩建; 医疗工艺流程; WSR系统方法论; 组合赋权

**中图分类号:** TU246.1; TU71

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-8993(2026)04-0082-05

**doi:** 10.13402/j.gcjs.2026.04.046

## Evaluation of influencing factors of county-level hospital renovation and expansion based on G1-C-OWA operator combination weighting

SONG Wengyu<sup>1</sup>, PANG Yucheng<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Yantai University, Yantai 264005, Shandong, China;

2. Jining Medical University, Jining 272067, Shandong, China)

**Abstract:** The renovation and expansion of county-level hospitals is a key step in enhancing regional medical service capacity. To address challenges such as building aging, process redundancy, and resource allocation imbalances in the process, there is an urgent need to establish a scientific comprehensive evaluation system to support decision-making. Based on medical process flows, this paper applies the WSR (Wuli-Shili-Renli) systems methodology to construct a comprehensive evaluation system consisting of three dimensions and fifteen indicators. By combining the G1 order relation analysis method with the C-OWA operator for combined weighting, and based on expert survey data, the weights of each indicator are comprehensively determined. The model is subsequently validated through testing and case studies. The research shows that: 1) Among the key indicators, patient satisfaction and community feedback, the rationality of medical functional unit layout, and the elastic expansion capacity of building space rank as the top three in terms of relative weight; 2) The constructed model exhibits strong stability, with an average robustness index of 95.28%; 3) The renovation and expansion of county-level hospitals should prioritize compliance in functional layout, enhancement of emergency capacity, and optimization of patient services, while specifically strengthening logistics automation and inter-departmental coordination to avoid functional redundancy and improve overall cost-effectiveness.

收稿日期: 2025-07-05

作者简介: 宋文宇(2001—),男,硕士,研究生,从事医院建筑更新方面的研究。

通信作者: 庞玉成(1977—),男,博士,正高级工程师,从事医院建设管理方面的研究。

**Key words:** county-level hospital renovation and expansion; medical process flow; WSR systems methodology; combined weighting

县级医院作为基层医疗服务的核心载体,其改扩建工程的安全性及功能适配性直接关系区域公共卫生服务质量。当前,我国县级医院普遍面临建筑老化、流程冗余与资源配置失衡等问题,亟需建立系统性评价体系以指导改扩建决策。针对我国县级医院建设工程存在建筑老化、无法满足人民日益增加的医疗需求、医疗设施落后、契合国家城市更新政策等特点,近年来,许多国内学者对县级医院改扩建进行了相关研究。余海钊<sup>[1]</sup>运用 CiteSpace 对 1 535 篇国内医院建筑领域文献进行知识图谱分析,揭示了绿色医院建设、综合性医院建设、人性化设计及 BIM 技术应用这四大研究热点。王晶等<sup>[2]</sup>从城市有机更新视角出发,系统总结了医院建筑改扩建面临的场地、功能、交通、运行及能耗等问题,并提出了合理规划分期、灵活布局、急慢分设、新老共存及绿色生态等设计策略。雷飞亚等<sup>[3]</sup>基于层次分析法构建了医院改扩建项目风险评价指标体系,将风险划分为技术、工期、安全、成本 4 类共 14 个二级指标,通过权重计算区分非常重要、重要和次要风险因素,并提出了针对性的风险应对措施。孙鹏等<sup>[4]</sup>以 B 医院改扩建工程建设项目绩效评价为例,构建医院改扩建工程建设项目的绩效评价体系,利用改进层次分析法,量化了老旧医院改扩建工程建设项目各层次指标的相对重要性,为医院改扩建评价提供参考。

以上研究虽在项目管理维度取得一定成果,但普遍忽视了医疗建筑的特殊性:作为服务人本健康的特殊公共建筑,其功能布局需严格遵循医疗工艺流程。本研究引入 WSR 系统方法论(物理-事理-人理)<sup>[5]</sup>,基于以人为本的思想,围绕医疗工艺流程构建起多维度的综合评价体系。在赋权方法上,针对传统层次分析法(AHP)依赖专家经验易产生主观偏差的局限,采用 G1 序关系分析法与 C-OWA 算子进行组合赋权:通过 G1 法构建指标序关系保证专家经验的有效传导,再运用 C-OWA 算子对极端权重值进行平滑处理,利用组合赋权进行优势互补。同时,本研究将进一步通过山东

省金乡县某医院改扩建项目(省级优选工程)实证验证模型有效性。该方法既能强化医疗工艺专业性在评价体系中的核心地位,又可通过算法优化提升权重分配的客观性与稳健性,以期为新时代医院建筑改扩建提供更科学系统的决策工具。

## 1 评价模型建立

县级医院建筑改扩建工程呈现施工环境约束性强、医疗工艺技术标准严苛、多部门协同管理复杂度高等典型特征,众多因素互相影响交错复杂。通过对县级医院建筑改造的所受影响进行深入的剖析,本文利用系统化的 WSR 方法论作为指导框架,强调从物理、事理、人理 3 个核心维度出发,对县级医院改扩建进程中的关键影响因素予以识别。通过文献阅读进行归纳总结,最终形成包含 3 个维度、15 个指标的全面且科学的县级医院建筑改扩建影响因素评价指标体系<sup>[6]</sup>,并进行编号,如表 1 所示。

## 2 权重计算方法介绍

### 2.1 基于 C-OWA 算子赋权法确定指标合理性权重

C-OWA 算子是一种混合权重分配方法,它将概率论和 OWA(Ordered Weighted Averaging)算子结合起来,以减小主观性对评价结果的影响<sup>[7]</sup>。计算步骤如下。

(1) 邀请  $n$  位专家对指标打分(0~10 分),得到评分集合  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_{(n)}\}$ 。

(2) 降序排列得有序集合  $B' = \{b_{(1)}, b_{(2)}, \dots, b_{(n)}\}$ , 其中:  $b_{(1)} \geq b_{(2)} \geq \dots \geq b_{(n)}$ 。

(3) 计算指标绝对权重:

$$\omega_j = \sum_{k=1}^n a_j \cdot b_k \quad (1)$$

式中:  $b_k$  为降序排列的专家评分;  $a_j$  为组合数加权的分配系数。

(4) 归一化得相对权重:

$$\omega_j^* = \frac{\omega_j}{\sum \omega_j} \quad (2)$$

式中:  $\omega_j$  为指标绝对权重;  $\omega_j^*$  为归一化之后的相

表 1 基于医疗工艺流程的县级医院改扩建影响因素评价指标体系

| 维度    | 指标名称               | 具体描述                                        |
|-------|--------------------|---------------------------------------------|
| 物理(W) | 医疗功能单元布局合理性 $W_1$  | 评价科室间空间布局协同性(如急诊与影像科距离),量化科室间最短路径长度、交叉流线发生率 |
|       | 医疗设备与工艺流程匹配度 $W_2$ | 根据设备配置标准(如手术间与麻醉机配比),结合设备维护成本、使用率及患者流量适配性评估 |
|       | 建筑空间弹性扩展能力 $W_3$   | 衡量改扩建区域模块化设计水平(隔墙可拆改率)、预留设备安装空间占比           |
|       | 能源与环保设施效能 $W_4$    | 包括单位面积能耗、医疗废弃物处理系统覆盖率、自然采光与通风达标率等           |
|       | 物资仓储与物流自动化水平 $W_5$ | 评价智能物流设备配置比例及配送时效性                          |
| 事理(S) | 医疗流程标准化程度 $S_1$    | 通过如术前评估流程标准化率、医护人员培训考核通过率量化流程规范性            |
|       | 患者流线优化指数 $S_2$     | 综合患者周转率、平均停留时间、错科就诊率                        |
|       | 信息流集成度 $S_3$       | 评估数据集标准化率、电子病历共享规范符合性、跨系统交互响应速度             |
|       | 应急流程冗余设计 $S_4$     | 衡量“平疫结合”病区转换时效、备用电源启动时间、突发疫情下床位扩容能力         |
|       | 科室协同效率 $S_5$       | 各个功能单元间协作机制成熟度,通过反映多学科会诊响应时间、检查检验结果互认率      |
| 人理(R) | 医疗安全风险控制率 $R_1$    | 量化年度医疗事故数、消防设备检测完成率、隐患整改率,结合安全投入占预算比例       |
|       | 患者隐私保护等级 $R_2$     | 评价诊室隔音性能、独立候诊区覆盖率、电子叫号系统信息屏蔽功能              |
|       | 医护人员工作负荷指数 $R_3$   | 基于人均诊疗面积、移动距离、设备操作便捷性,结合职业暴露防护设施完备性评估       |
|       | 无障碍设施完备性 $R_4$     | 包括无障碍通道覆盖率、智能导诊系统适配性(如语音导航)                 |
|       | 患者满意度与社区反馈 $R_5$   | 患者就医体验(标识清晰度、候诊舒适度)及周边居民对改扩建影响的评价。          |

对权重。

2.2 序关系法 (G1 法)

层次分析法是确定指标权重的常用方法。当评价体系涵盖的指标数量较多时,该方法会暴露出计算过程繁琐且复杂度高的问题。郭亚军教授<sup>[8]</sup>在层次分析法的基础上提出了序关系法。作为一种改进型层次分析方法,G1法因无需构建判断矩阵及开展一致性检验,其计算流程更为简洁,且具备良好的鲁棒性。该方法基于影响因素的排序来确定权重,尤其适用于模糊赋值评估场景<sup>[9]</sup>。

利用 G1 法进行赋权的具体步骤如下:

- (1) 专家对同维度指标排序:  $x_1 > x_2 > \cdots > x_n$ 。
- (2) 按规则确定相邻指标相对重要度  $r_j^i$  (表 2)。
- (3) 从末位指标逆向计算权重:

表 2  $r_j^i$ 赋值参考

| $r_j^i$ | 含义                               |
|---------|----------------------------------|
| 1.0     | 指标 $x_{(j-1)}$ 与指标 $x_j$ 具有同等重要性 |
| 1.2     | 指标 $x_{(j-1)}$ 比指标 $x_j$ 稍微重要    |
| 1.4     | 指标 $x_{(j-1)}$ 比指标 $x_j$ 明显重要    |
| 1.6     | 指标 $x_{(j-1)}$ 比指标 $x_j$ 非常重要    |
| 1.8     | 指标 $x_{(j-1)}$ 比指标 $x_j$ 极端重要    |

$$w = \left(1 + \sum_{k=2}^n \prod_{i=k}^n r_i^i\right)^{-1}$$

(3)

$$w_{j-1} = r_j w_j (j = n, n-1, \cdots, 2)$$

(4)

2.3 组合赋权

引入博弈论思想,通过建立组合权重和各权重间离差极小化<sup>[10]</sup>,实现指标权值的最优赋值<sup>[11]</sup>。计算步骤如下。

- (1) 组合权重定义为

$$\omega = \sum_{i=1}^m u_i \omega_i \tag{5}$$

式中:  $u_i$  为组合系数;  $\omega_i$  为第  $i$  种方法的权值向量。

(2) 求解最小离差优化问题:

$$\min \sum_{i=1}^m \left| \sum_{j=1}^m u_j \omega_j - \omega_i \right|^2 \tag{6}$$

其最优解满足线性方程组:

$$\sum_{j=1}^m u_j (\omega_i, \omega_j) = (\omega_i, \omega_i) \tag{7}$$

式中:  $i = 1, \dots, m$ 。

(3) 归一化组合系数:

$$u_i^* = u_i / \sum_{k=1}^m u_k \tag{8}$$

(4) 最优组合权重:

$$\omega^* = \sum_{i=1}^m u_i^* \omega_i \tag{9}$$

3 综合权重计算

3.1 模型权重计算

请 10 位涵盖医疗建筑设计、医院后勤、科室主任及高校教师等背景的专家, 确定指标取值并分析其序列关系与重要度。根据式(1)(2)计算 C-OWA 算子权重, 评价各指标合理性, 同时根据式(3)(4)利用 G1 法确定各指标重要性权重, 最后结合式(5)~(9), 利用 C-OWA 算子修正 G1 法权重, 避免主观因素过强, 确定各指标的综合权重, 如表 3、4 所示。

表 3 基于医疗工艺流程的县级医院改扩建中各维度权重

| 指标名称 | 综合权重/% |
|------|--------|
| W 维度 | 30.60  |
| S 维度 | 32.60  |
| R 维度 | 36.70  |

3.2 结果分析

根据表 2、3 进行数据分析, 得出结论如下。

(1) 综合权重平衡主观与客观评价。C-OWA 算子权重对 G1 法权重进行了有效修正, 降低了单一主观赋权的偏差。例如, 在维度层面,  $R$  维度的 G1 权重(38.50%)通过 C-OWA 算子修正后下降至 36.7%(综合权重), 表明专家群体对  $R$  维度的主观高估倾向被客观数据部分削弱, 但仍保持其重要性地位。

表 4 基于医疗工艺流程的县级医院改扩建中各指标权重

| 指标名称               | 综合权重/% |
|--------------------|--------|
| 患者满意度与社区反馈 $R_5$   | 8.525  |
| 医疗功能单元布局合理性 $W_1$  | 8.328  |
| 建筑空间弹性扩展能力 $W_3$   | 7.721  |
| 应急流程冗余设计 $S_4$     | 7.638  |
| 医疗流程标准化程度 $S_1$    | 7.455  |
| 患者流线优化指数 $S_2$     | 7.369  |
| 医疗安全风险控制率 $R_1$    | 7.359  |
| 医疗设备与工艺流程匹配度 $W_2$ | 7.160  |
| 医护人员工作负荷指数 $R_3$   | 6.469  |
| 无障碍设施完备性 $R_4$     | 6.336  |
| 科室协同效率 $S_5$       | 5.894  |
| 能源与环保设施效能 $W_4$    | 5.655  |
| 患者隐私保护等级 $R_2$     | 4.832  |
| 信息流集成度 $S_3$       | 4.758  |
| 物资仓储与物流自动化水平 $W_5$ | 4.500  |

(2) 核心维度权重分布均衡。 $W$ 、 $S$ 、 $R$  三维度综合权重集中(30.6%~36.7%),  $R$  维度(36.7%)最高, 体现医疗设施改造最重要的核心是以人为本。

(3) 关键指标权重特征。患者满意度与社区反馈( $R_5$ )、医疗功能单元布局合理性( $W_1$ )等权重占比较高, 表明患者体验、空间效率、应急能力与安全管控是核心矛盾。

(4) 潜在方向。物资仓储与物流自动化( $W_5$ )、信息流集成度( $S_3$ )等指标权重相对较低, 提示需结合成本效益审慎投入。

3.3 模型敏感性分析

通过鲁棒性分析, 本研究构建的权重体系表现出良好的鲁棒性, 平均鲁棒性指数达 95.28%, 两种方法确定的权重差异被有效控制, 维度结构稳定。

3.4 实例验证

山东省金乡县某医院改扩建项目(总投资 19.3 亿元, 床位 1 600 张)作为省级优选项目, 验证了评价体系的科学性:

(1) 高权重指标优先落地: 针对患者满意度( $R_5$ )部署全域智能服务终端, 患者就医便捷透明, 满意度大幅提升; 优化医疗功能布局( $W_1$ )使急诊-影像科动线缩短; 通过模块化结构强化空间弹性



( $W_3$ ), 可改造空间占比提升; 依托 2 000  $m^2$  医共体指挥中心提升应急能力( $S_4$ ), 建立平急转换机制。

(2) 低权重指标精准控制: 对物流自动化( $W_5$ )仅定向部署 AGV 小车, 节约成本。对前 4 位高权重指标( $R_5/W_1/W_3/S_4$ )的重点投入, 直接提升医疗服务质量与应急能力。低权重指标(如  $W_5$ )的有限投入规避了功能性冗余, 节约预算。该案例证实了本文核心结论——基于权重的分级投入可规避资源错配(如未盲目采购高精设备), 优先保障患者流程、空间弹性及应急能力, 实现民生价值最大化。

#### 4 结论与建议

(1) 本研究基于 WSR 系统方法论, 构建了涵盖物理、事理、人理 3 个维度的县级医院改扩建评价体系, 并通过 G1 法与 C-OWA 算子组合赋权优化了权重分配机制。

(2) 本研究建立的量化评价体系, 其核心价值并非在于“发现”诸如功能布局合理性( $W_1$ )、患者满意度( $R_5$ )等关键因素, 而在于通过科学的组合赋权方法, 量化了这些因素在县级医院改扩建决策中的相对优先级。避免“经验主义”分歧、优化有限资源配置。

(3) 县级医院建筑改扩建过程中首先应当解决能不能用(代表指标为医疗功能单元布局合理性), 和合不合规(代表指标为医疗流程标准化程度), 好不好用(代表指标为患者满意度与社区反馈); 其次应当聚焦县级医院在突发公共卫生事件中的应急响应与处置效能, 全面提升县级医院的韧性服务能力(代表指标有建筑空间弹性扩展能力、应急流程冗余设计); 再者流程效率与设备适配情况(代表指标有患者流线优化指数、医疗设备

与工艺流程匹配度等)直接影响医院日常运营成本与服务质量。最后, 县级医院改扩建的本质应当是用有限预算实现民生价值最大化, 故能源与环保设施效能、物资仓储与物流自动化水平等指标需结合县域经济水平适度前瞻, 避免过度设计。

#### 参考文献:

- [1] 余海钊. 基于 CiteSpace 的我国医院建筑领域文献挖掘研究[J]. 工程建设, 2020, 52(8): 1-5.
- [2] 王晶, 周涛. 城市有机更新视角下的医院建筑改扩建问题与设计策略[J]. 城市建筑, 2025, 22(4): 160-164.
- [3] 雷飞亚, 林诚, 黄文博, 等. 基于层次分析法的医院改扩建项目风险分析与管理研究[J]. 工程管理学报, 2025, 39(2): 129-134.
- [4] 孙鹏, 王晓轩, 薛飞, 等. 医院改扩建工程建设项目绩效体系构建及评价研究[J]. 住宅与房地产, 2024(26): 89-91.
- [5] 王楠, 吴露, 任临君, 等. 基于 WSR 系统论的医院后勤管理效能提升策略与实践探索[J]. 医院管理论坛, 2025, 42(3): 17-20.
- [6] 赵大仁, 刘蓓, 吴雪莲, 等. 基于模糊联合综合方法的四川省中医医院医疗质量评价研究[J]. 现代医院管理, 2024, 22(6): 12-16; 21.
- [7] 何强龙, 符云峰, 侯金坤, 等. 基于 WSR 与 C-OWA 的超高层建筑施工安全风险评价[J]. 江西建材, 2024(10): 429-431.
- [8] 王学军, 郭亚军. 基于 G1 法的判断矩阵的一致性分析[J]. 中国管理科学, 2006(3): 65-70.
- [9] 史佳枫, 顾冲时. 基于 G1-C-OWA 法组合赋权的堤防工程安全评价[J]. 水力发电, 2023, 49(7): 39-44; 106.
- [10] 陈妍, 徐水太. 基于组合赋权-云模型的绿色建筑项目全寿命周期风险评价[J]. 工程建设, 2025, 57(5): 86-94.
- [11] 杨帅, 都锋. 利用 COWA 修正 G1 法研判煤矿安全管理主控因素[J]. 能源技术与管理, 2022, 47(6): 115-116.