

使用层次分析法 (AHP) 进行产品竞争力评估

■ 梁奉熙 丁茂臻 段云戈 王叶懋

随着基础设施建设速度的放缓，机械行业竞争加剧，产品性能和成本效益成为企业成功的关键。本文应用 AHP 评估挖掘机型号竞争力，选取工作重量、发动机功率、铲斗容量、燃油消耗和价格为核心指标，利用 Python 和 Excel 分析数据。结果表明，AHP 能有效整合多项指标，为企业战略规划和产品优化提供可靠参考，助力提升行业竞争力。

一、引言

(一) 背景

中国建筑设备市场预计未来 5 年将以 5.55% 的年复合增长率从 500 亿美元增至 680 亿美元，市场竞争随之加剧。为保持竞争力，企业需提升产品性能并优化成本结构。作为行业焦点，挖掘机的性能、成本和需求平衡直接影响企业地位。本文应用 AHP 构建评价模型，为企业提供科学的竞争力评估工具。

(二) 当前局限性

评估产品竞争力需考虑多个相关或冲突的指标，如提高工作效率可能增加燃油消耗，降低成本可能影响性能。传统评估方法难以全面反映多指标间的复杂关系，难以提供客观参考。

(三) 研究目的

本文旨在构建 AHP 竞争力评估框架，以分析不同挖掘机型号的市场竞争力。通过 Python 和 Excel，对工作重量、发动机功率、铲斗容量、燃油消耗及价格等关键指标进行评估，提供适用的量化分析工具。

二、理论背景

(一) AHP

AHP 由 T.L.Saaty 提出，被用于解决复杂决策问题。AHP 将复杂系统问题分解出层次结构，再逐层分析。AHP 通过成对比较量化主观判断，为决策提供依据。

(二) AHP 架构

AHP 方法通过成对比较来确定每个因素在实现决策目标方面的重要性。成对比较通常使用 1~9

的等级制，以量化每两个因素之间的相对重要性。

“1”表示两个因素具有同等的重要性。

“3”表示一个因素比另一个因素稍微重要。

“5”表示一个因素比另一个因素重要。

“7”表示一个因素明显比另一个因素更重要。

“9”表示一个因素极其重要，显著超过另一个因素。

通过这种方式，本文将主观判断进行量化，以确保决策过程尽可能具有一致性和客观性。

1. 优先级综合

AHP 利用特征向量法计算权重矩阵，体现各因素在目标实现中的重要性。

2. 一致性检查

AHP 通过一致性比率 (CR) 检查判断可靠性。CR<0.1 表示一致性良好，否则需调整比较矩阵，以确保判断的合理性和模型的可靠性。

三、方法论

(一) 标准选择

挖掘机竞争力评价指标的选择对于 AHP 模型的有效性至关重要。在咨询行业专家并查阅相关文献后，本文选择了以下 5 项指标。

1. 工作重量 (WO_min,n1)

该指标用于衡量稳定性和重载能力。工作重量越大，稳定性越强，但燃油消耗和运输成本也会增加。

2. 发动机功率 (MP_min,n2)

该指标影响作业效率，高功率可以提升性能，但会增加燃油和维护成本。

3. 铲斗容量 (SV_min,n3)

该指标决定处理量，容量越大效率越高，但可能影响灵活性。

4. 燃料消耗 (FC_max,n4)

燃油消耗是运营成本和环境影响的关键因素。较低的燃油消耗不仅会降低运营成本，还有助于减少排放，符合可持续发展的要求。

5. 价格 (PRICE_max,n5)

定价影响销量，较低价格通常带来更高销量。

(二) AHP 模型的实现过程

1. 构建判断矩阵

判断矩阵是 AHP 中的关键步骤之一，用于量化各标准之间的相对重要性。在本文中，判断矩阵是根据对五个关键指标（工作重量、发动机功率、铲斗容量、燃油消耗和价格）的两两比较构建的。比较结果反映了每个标准在实现评估产品竞争力的总体目标方面的相对重要性。矩阵采用 Saaty 量表填充，如公式 (1) 所示，其中值为 1 表示同等重要，值越高表示一个标准比另一个标准更重要。

$$A_1 = \begin{bmatrix} \frac{n_1}{n_1} & \frac{n_1}{n_2} & \frac{n_1}{n_3} & \frac{n_1}{n_4} & \frac{n_1}{n_5} \\ \frac{n_2}{n_1} & \frac{n_2}{n_2} & \frac{n_2}{n_3} & \frac{n_2}{n_4} & \frac{n_2}{n_5} \\ \frac{n_3}{n_1} & \frac{n_3}{n_2} & \frac{n_3}{n_3} & \frac{n_3}{n_4} & \frac{n_3}{n_5} \\ \frac{n_4}{n_1} & \frac{n_4}{n_2} & \frac{n_4}{n_3} & \frac{n_4}{n_4} & \frac{n_4}{n_5} \\ \frac{n_5}{n_1} & \frac{n_5}{n_2} & \frac{n_5}{n_3} & \frac{n_5}{n_4} & \frac{n_5}{n_5} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中，元素 $\frac{n_i}{n_j}$ 表示第 i 项标准与第 j 项标准的重要性比例，其中 i 和 j 分别代表矩阵中的行和列。

2. 计算标准权重

标准权重采用几何平均法计算，如公式 (2) 所示。

$$Weights = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (2)$$

式中， C_i 是矩阵第 i 行的几何平均值。几何平均值的计算过程如下。

第一，计算每一行元素的乘积。将每一行中的所有元素相乘。

第二，求 n 次方根。对每一行元素的乘积取 n 次方根（其中 n 是标准的数量）。

第三，归一化。将每个 C_i 除以所有 C_i 的总和，以确保所有权重的总和为 1。

3. 一致性检查

为了确保成对比较的可靠性，进行一致性检验。一致性指数 (CI) 和一致性比率 (CR) 计算如公式 (3) 和公式 (4) 所示：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中， λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值； RI 为随机指数，随判断准则个数的变化而变化； $CR < 0.1$ 表示一致性较好。

随机一致性指标如表 1 所示，当准则数为 1~7 时， RI 的值依次为 0、0、0.52、0.89、1.12、1.26、1.36 等。 CR 值通过将 CI 除以 RI 获得，若 $CR < 0.1$ ，判断矩阵即被认为具有良好的 consistency。

表 1 随机一致性指数

N	1	2	3	4	5	6	7	……
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	……

4. 数据规范化

在多标准决策过程中，规范化是关键的第一步，目的是将不同单位的数据转换为统一的刻度，使各标准可以在相同的尺度上进行比较。在本文中，所选标准包括工作重量、发动机功率、铲斗容量、燃料消耗和价格。这些标准的计量单位各不相同（例如，重量以千克为单位，功率以千瓦为单位，价格以美元为单位），因此，需要对数据进行规范化处理。

规范化在 AHP 方法中至关重要，因为它将所有标准转化为相同的尺度，从而便于进行有意义的比较和汇总。规范化的方法取决于标准的性质，标准可能是“有益的”指标（即偏好较高的值）或“无益的”指标（即偏好较低的值）。

5. 方法规范化

第一，有益标准（如铲斗容量、发动机功率）指的是值越高表示性能越好的指标。对于这类标准，采用公式 (5) 进行规范化处理：

$$NormalizedValue = \frac{ActualValue}{MaximumValue} \quad (5)$$

该公式将数据缩放到 0~1 的范围，其中 1 代表最佳性能。

第二，无益标准（如价格、燃料消耗）指的是值越低表示性能越好的指标。对于这类标准，采用公式 (6) 进行规范化处理：

$$NormalizedValue = \frac{MinimumValue}{ActualValue} \quad (6)$$

该公式将数据缩放到 0~1 的范围，其中 1 代表最佳性能。

6. 计算竞争力指数

每种挖掘机型号的竞争力指数是通过将每个标准的归一化值进行加权和来计算的。

首先，标准值的标准化。该函数使用上文讨论过的标准化方法对每个标准值进行标准化。

其次，对每个标准化值进行指数变换，以放大

它们之间的差异。这一步对于那些标准值间的微小差异可能对竞争力产生重大影响的情景特别有用。具体而言，指数变换可以进一步突出优劣差异，使得其在竞争力指数的计算中更具代表性。指数变换后的计算公式如式(7)所示：

$$Factor = e^{\frac{(WO_{norm} + MP_{norm} + SV_{norm}) \times 5}{3}} \cdot e^{(FC_{norm} \times 5)} \cdot e^{(CM_{norm} \times 5)} \cdot e^{(PRICE_{norm} \times 5)} \quad (7)$$

式中， WO_{norm} 代表工作重量， MP_{norm} 代表发动机功率， SV_{norm} 代表铲斗容量， FC_{norm} 代表燃料消耗， CM_{norm} 代表成本， $PRICE_{norm}$ 代表价格的标准化值。

每个标准化值通过指数变换，得到了对应的“变换系数” ($Factor$)。该系数能够有效增强某些指标对竞争力的影响权重，确保在微小的差异下仍能体现重要指标的作用。

最后，将各变换系数按权重求和，以计算每种挖掘机型号的最终竞争力指数。加权总和是将每个变换系数乘以其对应的标准权重 W_i 然后求和得出的，计算公式如式(8)所示：

$$CompetitivenessIndex = \sum_{i=1}^4 W_i \times Factor_i \quad (8)$$

式中， $CompetitivenessIndex$ 表示最终的竞争力指数， W_i 表示通过 AHP 过程确定的第 i 个标准的权重。此权重反映了各标准在总目标中的相对重要性。通过加权求和计算得出的竞争力指数能够全面反映各挖掘机型号的综合表现。

四、结果

AHP 分析结果揭示了挖掘机型号在相对竞争力上的重要作用。发动机功率和铲斗容量较大的型号通常得分更高，表明这些指标对提升整体竞争力的作用显著，尽管燃油消耗可能偏高，但其较高的功率和效率在性能导向的市场中具备优势。

相反，价格低和燃油消耗少的型号在这两项上表现良好，但在其他关键指标上有所妥协，导致整体竞争力偏低。这表明，单纯追求低价格或低能耗无法显著提升竞争力。在多标准决策中，决策者需在性能与成本间找到平衡，以符合市场需求。换言之，仅依靠单一标准难以全面反映竞争力，必须在多项性能指标间取得平衡，才能在市场中发挥更大优势。

五、结语

(一) 总结与贡献

本文成功应用 AHP 评估挖掘机型号的竞争力，选取多个关键标准，全面反映了建筑机械行业的复杂需求。通过结合 AHP 与数据规范化处理，本文提供了结构化、量化的多标准决策框架，有效整合各项性能标准，系统评估不同型号的相对竞争力，为决策者提供实用的参考工具。

本文的主要贡献在于开发出一个强大的分析框架，用于评估建筑机械行业各类产品的竞争力。通过结合 AHP、Python 编程和 Excel 数据处理，提出实用性强的评估工具，帮助决策者优先考虑性能标准并做出前瞻性决策。该框架不仅适用于评估挖掘机，还可推广至其他多标准决策场景，为产品优化和战略决策提供支持。

(二) 局限性和未来展望

尽管本文验证了 AHP 方法的有效性，但仍存在局限性。第一，成对比较依赖主观判断，可能出现偏差；第二，标准选择可能受决策者偏好影响。未来可以考虑将 AHP 与其他决策工具（如模糊逻辑、机器学习）结合，以提升模型的稳健性和准确性。此外，在数据收集上，未来可探索更多数据来源，以增强模型的适用性与推广性。

作者简介：梁奉熙，河北工业大学国际教育学院，本科在读，研究方向为机械设计及其自动化；丁茂臻，河北工业大学，本科在读，研究方向为机械设计制造及其自动化；段云戈，河北工业大学，本科在读，研究方向为电气工程及其自动化；王叶懋，拉彭兰塔—拉赫蒂理工大学，本科在读，研究方向为电气工程及其自动化。