

# 基于 AHP-熵权法热源企业成本影响因素的研究

乔庆玲

北京建筑大学 城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

**摘要:** 热源作为集中供热系统的核心组成部分, 热源成本直接关系到集中供热系统的经济性、用户的供热费用。探索构建科学合理的热源企业成本影响因素评价模型, 为热源企业成本控制提供有效的解决方案。运用文献分析法、德尔菲法确定评价指标体系, 引入层次分析法、熵权法组合赋权确定各指标权重。研究得出热源企业成本受政策、经济、环境和管理 4 个维度, 12 个关键因素共同影响。其中, 能源价格政策、原材料费用、市场供需关系、技术创新、人才队伍建设是影响热源企业成本的最主要影响因素。针对五个重要影响因素, 提出有效控制成本措施的建议。

**关键词:** 热源企业; 成本影响因素; 层次分析法; 熵权法; 组合赋权

## The Research on Cost Influencing Factors of Heat Source Enterprises based on AHP-entropy Weight Method

Qingling Qiao

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, 100044, China

**Abstract:** The heat source, as the core component of a district heating system, directly affects the economic viability of the system and users' heating costs. To explore the construction of a scientific and reasonable evaluation model for cost-influencing factors in heat source enterprises, this study aims to provide effective solutions for cost control. Using literature analysis and the Delphi method, an evaluation index system was established, and a combined weighting approach incorporating the Analytic Hierarchy Process (AHP) and entropy weight method was applied to determine the weights of each indicator. The research reveals that the costs of heat source enterprises are influenced by four key dimensions—policy, economy, environment, and management—comprising 12 critical factors. Among these, energy price policies, raw material costs, market supply-demand dynamics, technological innovation, and talent development are identified as the most significant factors affecting costs. Based on these five key influences, targeted recommendations are proposed to enhance cost control measures.

**Keywords:** heat source enterprises; cost influencing factors; analytic hierarchy process; entropy weight method; combination weighting

## 0 前言

集中供热作为城市基础设施的重要组成部分, 其效率与可持续性日益成为社会各界关注的焦点。城市集中供热系统组成包括热源、热网和用户三部分, 其中热源是集中供热系统的核心<sup>[1]</sup>。热源不仅为整个系统提供热量, 还直接影响着供热系统的经济性, 随着热源成本增高, 整个供热系统的成本增高, 用户所支付供热费用也会增高, 因此亟须深入研究影响热源企业成本的各种因素从而优化热源企业的成本。关于城市集中供热定价成本与供热企业成本的管理与控制, 国内外学者对此做了不少的研究。霍魁武等, 针对城市集中供热定价成本问题, 通过分析城市集中供热的特征、价格管理现状提出了政策建议<sup>[1]</sup>。王海鸿等, 分析了现行供热价格形成机制、税收和补贴政策对低碳供热的影响, 并提出了促进供热行业低碳化转型和可持续发展的建议<sup>[2]</sup>。生欣针对供热企业成本管理与控制中存在的问题进行了分析, 提出了相关的优化措施, 以提升供热企业的成本管理效率<sup>[3]</sup>。李淑静,

提出了积极收取取暖费用、加强管理费用控制、降低热能损耗等对策, 强调通过有效管理降低供热成本<sup>[4]</sup>。郑忠海等人围绕城市供热方式的综合评价问题, 提出供热系统能量转换效率 (ECC) 指标, 并采用层次分析法 (AHP) 构建了包含能耗、经济和环境三个方面的评价体系, 以供热的能源、经济、环境 (3E) 效益为决策目标, 对 28 种典型供热方式进行系统评价<sup>[5]</sup>。张骏、许国春、高颖艳对热电联产大温差长距离供热项目的供热成本影响因素进行深入探讨, 并据此提出热价设定的合理建议<sup>[6]</sup>。李琦, 武旭丹聚焦于供热系统中热源热量生产的优化难题, 本研究提出了一种基于 ADHDP 算法的热源总供热量优化调控策略<sup>[7]</sup>。苏丹针对当前新环境下供热企业的成本管理进行深入剖析, 并提出通过强化成本管理的创新手段, 以增强供热企业的经济收益<sup>[8]</sup>。Lin, J (Lin, Ding)、Lin, BQ (Lin, Bosnian) 在 Heat tariff and subsidy in China based on heat cost analysis 聚焦于供热系统改革, 评估中国的供热费率和供暖补贴提出基于热电总成本中供热成本的分析的算法<sup>[9]</sup>。

一方面,大部分学者集中于对集中供热领域直接运营成本管理、定价机制的分析,对间接成本如制造费用、期间费用等分析不够深入;另一方面,现有研究采用的评价方法存在一定的局限性,未能对热源企业成本各个影响因素之间的相互作用进行探讨研究。鉴于此,本研究选取具体的实际项目为案例探讨热源企业成本影响因素的问题,除了采用文献分析法、德尔菲法建立评价指标体系和层次分析法确定指标权重,引入熵权法,并将层次分析法与熵权法组合赋权确定组合权重,此方法将定性与定量分析相结合,避免了评价结果偏倚,优化了热源企业成本影响因素的评价模型并提出对策和建议。

## 1 资料与热源企业成本影响因素评估方法

### 1.1 资料来源

本研究选取的热源企业成本影响因素评价指标主要来源于:①国内外供热企业成本影响因素的相关文献;②对热源企业经营管理专家、能源领域专家、行业监管专家、政策专家、热源企业设备工程师、电气工程师、燃料供应商以及高校教授或研究机构相关专家进行访谈,归纳得出热源企业成本影响因素评价指标。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 德尔菲法

德尔菲法是一种通过多轮专家调查来达成共识的预测方法,整理计算专家的评分数据,以确定各项指标的权重<sup>[10]</sup>。本研究遴选了 10 名专家进行德尔菲法咨询,以确保研究的有效性和实用性。选取:① 10 年以上供热领域相关工作经验;②本科及以上学历;③高级及以上职称;④愿意配合完成两轮问卷调研。通过问卷星的形式开展了两轮专家咨询,邀请专家对各项指标重要性和可行性按照李克特量表进行打分(5 分为非常重要;4 分为重要;3 分为一般重要;2 分为不重要;1 分为非常不重要),汇总整理后反馈给各位专家,供各位专家参考并提出新的修改意见,最终根据专家反馈意见确定热源企业成本影响因素评价指标体系。

#### 1.2.2 层次分析法(AHP法)

层次分析法(AHP法)<sup>[11-12]</sup>通过定性与定量相结合的方式,为多目标复杂问题提供决策支持,是针对多目标复杂问题的定性与定量相结合的权重确定方法。建立比较判断矩阵对所有相关联的因素实施两两之间的相对重要性评估,计算出矩阵的最大特征值,进行一致性检验。满足  $CR < 0.1$ ,说明判断矩阵达到一致性标准<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.3 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法,它通过数据的离散性来确定权重,避免了主观赋权的偏见和不确定性<sup>[14]</sup>。评估指标的离散性越大,权重就越大。

#### 1.2.4 层次分析法、熵权法组合赋权

层次分析法、熵权法组合赋权<sup>[15]</sup>首先运用层次分析法确定各个指标的主观权重,其次通过熵权法计算各个指标的

客观权重,最后采用组合赋权法得出热源企业成本影响因素评价指标的综合权重<sup>[16]</sup>。

### 1.3 统计学方法

本研究使用 Excel2019、SPSS27.0 软件进行统计分析,计算各指标的积极系数、权威程度、变异系数、Kendall's W 系数等,使用 SPSSAU 软件构建层次分析模型、计算各级指标权重,并进行一致性检验,使用 Excel2019 软件计算各指标的熵权权重和组合权重。

## 2 算例分析

本研究以河北省石家庄市 A 企业为例。A 企业为石家庄市一家中型热电联产企业,供热面积 2900 余万平方米,全部以燃煤(燃煤占比 100%)为主要热源的企业。

### 2.1 德尔菲法

#### 2.1.1 专家遴选情况

10 名专家中,男性 7 人(70.00%),女性 3 人(30.00%);年龄为 45~55 岁(90.00%);硕士学历 8 人(80.00%),博士学历 2 人(20.00%);正高级职称 5(62.50%),副高级职称 3 人(37.50%);从事供热领域工作 10 年及以上 8 人(80.00%),工作年限在 20~30 年 4 人(50.00%)。

#### 2.1.2 积极系数

通过问卷的回收率衡量专家积极系数。本研究共进行了两轮专家函询,每轮发放 10 份问卷,每轮回收有效问卷 10 份,共收回有效问卷 20 份,问卷回收率达 100%。表明专家对本研究的重视度和参与度极高,显示出非常高的积极性<sup>[17]</sup>。

#### 2.1.3 权威程度

通过熟悉系数(Cs)和判断系数(Ca)的平均值计算所得。当 Cr 值大于 0.7 时,表明专家的信用度较高<sup>[18]</sup>。第一轮专家咨询中,Cr 值为 0.84,第一轮专家咨询中,Cr 值为 0.87,第一轮、第二轮 Cr 值均高于 0.7,表明专家的权威程度较高,研究结果可靠。

#### 2.1.4 变异系数

体现专家协调程度的主要参数,CV 值越小,专家意见越集中。在函询中删除变异系数较高的指标,保留变异系数低的指标。

#### 2.1.5 协调程度

Kendall's W 系数用于衡量专家意见的集中趋势和协调程度。Kendall's W 系数的值越大,表明专家意见的趋同程度越高。两轮专家咨询 Kendall's W 系数分别为 0.889 和 0.916,均 P 小于 0.01,表明专家意见在两轮咨询中保持一致,所构建的评估指标体系具有较高的可靠性,可用于后续研究<sup>[17]</sup>。

#### 2.1.6 确定评价指标体系

通过对专家打分情况进行分析,运用界值法对指标进行筛选,将满足重要性与可行性判断界值标准的指标纳入指标体系,最终构建 4 个一级指标和 12 个二级指标的热源企业成本影响因素指标体系,见表 1。

第一,政策因素。能源价格政策直接影响热源企业成本。煤炭价格上涨增加燃料成本,降低利润;价格稳定或下降虽

有利于经营，但可能降低能源利用效率。环保政策增加运营成本，推动技术创新以减少污染物排放，但也可能因煤炭供应减少而提高燃料成本。补贴政策则通过环保补贴、税收减免等手段，降低热源企业的运营成本，促进技术创新和提高能源利用效率。

第二，经济因素。热源企业供热相关成本包括原材料成本、水电费、工资及福利、制造费用和期间费用。原材料成本（如煤、天然气等）是占比最大的部分，受市场供需和政策调控影响显著。工资及福利主要是人工费用，涵盖生产人员工资、奖金、津贴及福利；制造费用包括设备折旧费、修理费和其他费用；期间费用包含管理费、销售费和财务费用。

第三，环境因素。环境因素中市场供需关系和技术创新影响热源企业成本。市场需求的变化可能促使热源企业加大环保投入。热源企业应对环保法规的挑战，不断投入资金进行环保技术和产品的研发。这些技术和产品包括更高效的污染物处理设备、清洁能源替代方案等。

第四，管理因素。管理因素对于热源企业成本的影响是多方面的。员工成本控制意识直接影响能源利用效率、设备维护成本和生产效率，人才队伍建设通过技术能力、管理能力、员工培训与发展以及人才流失等方面影响企业的成本。

表 1 热源企业成本影响因素评价指标体系

一级指标	二级指标	
	指标名称	指标解释
政策因素 B1	能源价格政策 B11	政策对能源价格形成机制、市场供需关系以及企业成本和收益的综合影响
	环保政策 B12	环保政策实施效果
	补贴政策 B13	政府通过财政补贴手段支持行业
经济因素 B2	原材料费用 B21	天然煤、天然气
	水电费 B22	水费、电费
	工资及福利 B23	企业人工成本
	制造费用 B24	折旧、修理、其他费用
	期间费用 B25	管理、营业、财务费用
环境因素 B3	市场供需关系 B31	供给与需求间动态平衡状态
	技术创新 B32	技术研发、创新能力和技术应用

表 3 热源企业成本影响因素评价体系及权重

一级指标	组合权重	二级指标	层次分析法	熵权法	组合赋权法	排序
政策因素 B1	0.5339	能源价格政策 B11	0.6742	0.0905	0.1906	1
		环保政策 B12	0.1479	0.059	0.0273	10
		补贴政策 B13	0.1779	0.0611	0.034	9
经济因素 B2	0.4359	原材料费用 B21	0.5992	0.0975	0.1824	2
		水电费 B22	0.0351	0.1015	0.0111	12
		工资及福利 B23	0.0912	0.0918	0.0262	11
		制造费用 B24	0.1713	0.1105	0.0592	7

管理因素 B4	员工成本管理意识 B41	员工在成本管理方面认知水平、参与度和行为表现
	人才队伍建设 B42	人才吸引、培养、使用和激励

## 2.2 层次分析法确定指标权重

本研究邀请 10 位热源企业经营管理专家、能源领域专家、行业监管专家、政策专家、热源企业设备工程师、电气工程师、燃料供应商以及高校教授或研究机构相关专家等对因素的重要程度进行两两对比后打分。打分按 T.L.Saaty1~9 标准，见表 2<sup>[9]</sup>。使用 SPSSAU 软件计算各位专家对一级指标和二级指标判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{max}$ 、一致性指标 CI 和指标层一致性检验指标 CR，得出指标对应权重。一致性检验  $CR \leq 0.1$ ，判断矩阵达到一致性标准。权重如表 3 所示。

表 2 1~9 标准评分表

取值	含义
1	指标 i 与指标 j 具有相同的重要程度
3	指标 i 比指标 j 稍微重要
5	指标 i 比指标 j 明显重要
7	指标 i 比指标 j 非常重要
9	指标 i 比指标 j 极端重要
2, 4, 6, 8	两个指标重要程度对比介于以上程度中值

## 2.3 熵权法确定指标权重

采用熵权法，通过线上线下相结合的形式向 10 位专家发放问卷，回收 10 位专家对影响热源企业成本因素的重要程度打分的问卷，并用 excel2019 计算出熵值，得到一级指标（政策因素，经济因素，环境因素，管理因素）权重和二级指标权重。其中经济因素中，选取河北省石家庄市 A 企业（以燃煤为主要热源的企业）2021—2023 年热源成本。权重如表 3 所示。

## 2.4 层次分析与熵权法组合赋权确定组合权重

组合赋权将 AHP 和熵权法的权重向量分别归一化，然后相乘或相加，得到组合权重如表 3 所示<sup>[20]</sup>。

热源企业成本各影响因素的重要程度排名为能源价格政策 0.1906，原材料费用 0.1824，市场供需关系 0.1393，技术创新 0.1158，人才队伍建设 0.984，员工成本管理意识 0.803，制造费用 0.0592，期间费用 0.0354，补贴政策 0.0340，环保政策 0.0273，工资及福利 0.0262，水电费 0.0111。

一级指标	组合权重	二级指标	层次分析法	熵权法	组合赋权法	排序
环境因素 B3	0.0156	期间费用 B25	0.1032	0.1103	0.0354	8
		市场供需关系 B31	0.4928	0.0905	0.1393	3
		技术创新 B32	0.5072	0.0731	0.1158	4
管理因素 B4	0.0146	员工成本管理意识 B41	0.4609	0.0558	0.0803	6
		人才队伍建设 B42	0.5391	0.0584	0.0984	5

### 3 结论

本研究通过层次分析法 (AHP) 与熵权法组合赋权的方法, 从政策、经济、环境、管理四个维度系统识别了影响热源企业成本的 12 项关键因素, 并构建了综合指标体系。通过以 A 企业为例进行实证分析, 采用 AHP-熵值法对各影响因素进行权重量化, 热源企业成本影响因素排名前 5 位的分别为能源价格政策, 原材料费用, 市场供需关系, 技术创新, 人才队伍建设。针对关键影响因素提出具体如下成本控制策略。

①稳定能源价格。能源是热源企业核心生产要素, 其价格政策直接影响生产成本。政府提高能源价格, 企业成本增加; 降低价格则成本降低。能源价格波动还会通过原材料和物流成本间接影响企业成本。因此, 政府应稳定能源价格, 保障产业链良性循环。

②严格控制原材料费用。原材料价格变动直接影响热源企业成本。企业需关注价格动态, 加强供应链管理, 推进技术创新与节能降耗, 以降低成本。

③了解市场供需关系。热源企业需通过市场调研和用户反馈深入了解市场需求变化趋势, 据此调整生产计划和销售策略。同时, 利用大数据分析预测市场供需变化, 提前做好准备。

④加强技术创新。热源企业应推动技术创新与研发, 采用高效环保的热源技术和设备, 提升供热效率与质量, 优化运营成本, 增强市场。

⑤人才队伍建设。企业要加强人才队伍建设, 吸引和培养具有创新精神与专业技能的人才。这些人才能推动技术研发和产品创新, 提升技术水平与竞争力。凭借专业知识和经验, 他们可精准调整燃料燃烧效率、优化设备运行, 减少设备磨损, 精准管控供热成本, 助力企业高效运营。

本研究为热源企业优化成本管理提供了科学依据和实践参考, 同时为相关企业在制定成本管控措施时提供了有价值的决策支持, 具有重要的理论意义和实际应用价值。

#### 参考文献:

[1] 霍魁武, 王志诚. 城市集中供热定价成本及价格监管问题研究[J]. 价格理论与实践, 2021(S1): 59-61.

[2] 王海鸿, 胡润青, 窦克军, 等. 促进供热行业低碳化发展的政策机制研究[J]. 中国能源, 2022, 44(2): 45-51.

[3] 生欣. 探析供热企业成本管理与控制问题[J]. 财讯, 2024(11): 101-103.

[4] 李淑静. 供热企业成本管理问题研究[J]. 知识经济, 2019(30): 64-65.

[5] 郑忠海, 付林, 狄洪发, 等. 利用层次分析法对城市供热方式的综合评价[J]. 暖通空调, 2009, 39(8): 96-98.

[6] 张弢, 许国春, 高颖艳. 大温差长输供热项目供热成本影响因素分析和热价定价建议[J]. 价值工程, 2020, 39(27): 28-30.

[7] 李琦, 武旭丹. 基于ADHDP的热源供热优化控制[J]. 信息与控制, 2017, 46(5): 627-633+640.

[8] 苏丹. 新形势下供热企业的成本管理研究[J]. 上海商业, 2024(1): 163-165.

[9] Lin J, Lin BQ. Heat tariff and subsidy in China based on heat cost analysis[J]. Energy Economics, 2018(71): 411-420.

[10] 刘伟涛, 顾鸿, 李春洪. 基于德尔菲法的专家评估方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(S1): 189-191+204.

[11] 孙栓柱, 陈克, 李益国, 等. 基于区间粗糙数层次分析的冷热电联产系统综合性能评价方法[J]. 热力发电, 2020, 49(4): 131-137.

[12] 杨子娴, 谭羽非, 张甜甜, 等. 基于层次分析法的北方农宅供热能耗评价指标体系及分析[J]. 建筑科学, 2021, 37(6): 20-27.

[13] 杨海柱, 王鹏, 于波. 基于层次分析法的供热项目优化研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2019, 38(5): 80-86.

[14] Zhang Y, Xue WW. Sustainability Assessment of Water Resources Use in 31 Provinces in China: A Combination Method of Entropy Weight and Cloud Model[J]. Public Health, 2022(19): 12870.

[15] 刘瑶, 宋红, 徐沛. 基于AHP-熵权法的装配式建筑成本影响因素研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(S1): 150-154.

[16] 张蓓, 谢昱姝, 白光, 等. 基于AHP-熵权法组合赋权的供热管网风险评估方法研究[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(12): 12-17.

[17] 翟飞, 向阳, 刘乃鹏, 等. 手术绩效评价模型构建研究——基于德尔菲法和组合赋权法[J]. 卫生经济研究, 2024, 41(10): 48-51.

[18] 许秋璇, 吴永和, 戴岭. 中小学校教育数字化转型成熟度评价指标体系构建及测度方法[J]. 电化教育研究, 2024, 45(3): 62-69.

[19] 庞银萍, 李帅, 刘浩, 等. 基于博弈论组合赋权一模糊综合评价法的铁路EPC项目进度影响因素研究[J]. 铁道标准设计, 1-11[2024-12-26].

[20] 贾开华, 于云霞, 范秀波, 等. 基于AHP-EWM综合赋权和TOPSIS法的多能互补系统综合评价[J]. 中国电力, 2023, 56(7): 228-238.