

# 我国石油化工合同能源管理项目风险评价研究

吴志炯<sup>1,2</sup>, 董秀成<sup>1\*</sup>

1 中国石油大学(北京)工商管理学院, 北京 102249

2 中国石油宁夏石化公司, 银川 750026

\* 通信作者, xiuchengdong@163.com

收稿日期: 2016-11-04

**摘要** 本文研究的目的是为我国石油化工合同能源管理(Energy Performance Contracting, EPC)项目风险评价提供一种方法。EPC源于20世纪70年代中期的美国, 在国外发展了40多年, 且发展得非常迅速。1997年, 作为一种先进的能源管理模式, EPC引入中国。经过近20年, 尽管其在国内得到迅速发展, 但在我国石油化工行业推广应用过程中却较为迟缓。本文通过文献分析和问卷调查, 构建了我国石油化工合同能源管理项目风险指标体系, 并采用层次分析法的改良法-G1赋权法和模糊综合评价法, 对宁夏石化公司实施的合同能源管理项目风险进行实证评价。

**关键词** 合同能源管理; 石油化工; 项目; 风险评价; G1赋权法; 模糊综合法; 指标体系

## 0 引言

合同能源管理(Energy Performance Contracting, EPC; 在国内又称EMC)发源于上世纪70年代中期的美国, 是一种基于市场的节能新机制<sup>[1]</sup>, 作为一种先进的能源管理模式, 在国外发展已近40年的历史, 发展迅速, 特别是在美国、加拿大、欧洲和日本等国家或地区, EPC已发展成为一种新兴的节能产业<sup>[2]</sup>。1997年, 在国家发改委同世界银行的推动下, 正式将合同能源管理模式引入中国<sup>[3]</sup>。经过近20年, 尽管合同能源管理在国内得到迅速发展, 但在推广应用过程中, 仍然存在节能政策、信息沟通、融资、技术、测量计量等障碍, 这些障碍的存在使得合同能源管理项目实施面临诸多不确定性。如何科学合理地识别、评价和控制风险, 是影响节能服务公司持续发展的现实问题。我国合同能源管理起步不久, 各方面数据比较欠缺。中国石油、中国石化、中海油和中石化等几大石

化企业对节能非常重视, 但石化行业实施合同能源管理方面的成功案例较少<sup>[4]</sup>。本文通过文献分析, 在问卷调查多个石油化工企业内外熟悉合同能源管理专家意见的基础上, 建立了合同能源管理项目风险指标体系, 并采用层次分析法的改良法-G1赋权法<sup>[5]</sup>和模糊综合评价法<sup>[6]</sup>, 对宁夏石化公司实施的合同能源管理项目风险进行评价。

## 1 我国合同能源管理项目风险评价研究现状

合同能源管理(EPC)引入我国近20年, 在国内还处于发展阶段, 节能政策、法律、市场、融资、技术、测量计量等障碍的存在, 使得合同能源管理项目实施面临诸多风险。2007年, 胡珀建立了合同能源管理项目的风险评价指标体系, 应用灰色多层次评价模型进行风险评估, 并提出风险控制对策<sup>[7]</sup>; 2009年, 刘德军、吕林运用层次分析法和模糊数学评价相结合的方法

引用格式: 吴志炯, 董秀成. 我国石油化工合同能源管理项目风险评价研究. 石油科学通报, 2017, 01: 151-160

WU Zhijiong, DONG Xiucheng. Risk evaluation research of China's petrochemical Energy Performance Contracting projects. Petroleum Science Bulletin, 2017, 01: 151-160. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.01.015

法,对合同能源管理项目的进行了风险评估,并开展了效益评价<sup>[6]</sup>;周亮通过建立WBS分解,刻划风险评价指标体系,运用层次分析法和模糊综合评价法,开展了合同能源管理风险评估<sup>[8]</sup>;2011年,董荫运用了层次分析法,建立基于层次分析的合同能源管理风险评估模型,并对该模型进行一致性检验<sup>[9]</sup>;2011年,朱纯宜、王永祥做了基于模糊层次分析法的合同能源管理项目风险综合评价<sup>[10]</sup>;2012年,梁伟贤进行了合同能源管理项目的融资与风险研究<sup>[11]</sup>;2012年,曾鸣、陈春武等进行了合同能源管理项目全生命周期风险评估研究<sup>[12]</sup>;2013年,黄志焯、张跃松、韩玥探讨了合同能源管理项目的风险识别与综合评价<sup>[13]</sup>;2013年,宁国睿通过SWOT分析法和WBS分解法对合同能源管理项目风险进行了识别,建立了相应的风险指标体系,采用主观评分法和风险坐标法进行了合同能源管理项目的风险管理研究<sup>[14]</sup>;2013年,喻蕾分析并建立了合同能源管理项目风险指标体系,运用构建的灰色多层次评价模型,开展项目风险评估,并进行了收益分配研究<sup>[15]</sup>;2014年,吴琦、谭玉茹分析了合同能源管理项目的风险来源,并建立风险指标体系和数学模型,进行实例分析,提出了一种较为实用的合同能源管理风险评估方法<sup>[16]</sup>;2016年,王安民、别付冉通过模糊感知图(FCMs)和模糊层次TOPSIS算法结合,进行合同能源管理项目风险评估<sup>[17]</sup>。

上述专家开展了合同能源管理项目风险管理方面的研究,但在确定风险指标权重时采用层次风险法(AHP)较多,由于合同能源管理项目风险指标涉及范围大,风险因素多,所建立的判断矩阵往往难以通过一致性检验,可能会导致评价指标权重系数之间的排序关系错乱,不利于进行下一步分组计算,最终会导致权重结果不理想。针对上述问题,我国东北大学郭亚军教授于2002年提出了一种新的主观赋权法-G1赋权法,该方法对AHP进行了有效改进,在指标权重的确定过程中既不需要构造判断矩阵,也不需要进行一致性检验,并减少了矩阵计算量,有利于处理多指标多因素评价指标的权重确定,具有较强的操作性和适用性<sup>[5]</sup>。另外,由于合同能源管理在国内发展不足20年,我国石油化工合同能源管理应用不足10年,可获取的基础数据更少,文献中未见有关风险评估方面的研究,而模糊综合评价是建立在模糊数学基础上的,对受多因素影响的事物做出全面评价的一种系统评价方法,应用面广,对主观指标、客观指标都适用,所以本文仍然选择模糊评价法对我国石油化工合同能源管理项目风险进行综合评价。

## 2 我国石油化工合同能源管理项目风险评估方法

国内合同能源管理项目风险评估通常采用灰色多层次评价法<sup>[7,13]</sup>、模糊层次评价法<sup>[6-8,10,12,15-16]</sup>、主观评分法和风险坐标图法<sup>[14]</sup>、模糊感知图(FCMs)和模糊层次TOPSIS算法结合的方法<sup>[17]</sup>等,本文建立基于模糊综合评价-G1赋权法的合同能源管理项目的风险评估。

### 2.1 G1赋权法确定风险评估指标权重

郭亚军教授对层次分析进行有效改进后,这一新的主观赋权法-G1赋权法,减少了计算量且不需要一致性检验,在确定风险评估指标权重时,主要包括4个步骤:

#### (1) 确定唯一序关系

定义1:依据重要程度,若同一层级评价指标 $X_i$ 大于或者不小于某个评价价值 $X_j$ 的时,则标记为 $X_i \geq X_j$ , (其中 $\geq$ 代表大于或者等于)。

定义2:依据重要程度,若同一层级评价指标 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ 相对某个评价价值存在如下关系式时:

$$X_i \geq X_j \geq \dots \geq X_k \quad (\text{其中 } i, j, k=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

则称之为该评价指标之间按照“ $\geq$ ”的关系建立相应的序关系。

#### (2) 确定相邻指标的相对重要程度关系

对相邻的评价指标 $X_k$ 和 $X_{k-1}$ 进行两两比值判断,可以依照决策者关于评价指标重要程度之比:

$$r_k = w_k - \frac{1}{w_k}, \quad \text{其中 } (k = m, m-2, \dots, 3, 2) \quad (2)$$

#### (3) 计算权重系数 $w_k$

$$w_m = \left( 1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1}, \quad \text{且 } w_k - 1 = r_k \cdot w_k,$$

$$\text{其中 } (k = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2) \quad (3)$$

#### (4) 专家组对权重系数的确定

假设专家组有 $n$ 个决策者,分别给出不同的序关系和不同重要程度之比值,则对于评价指标 $X_j$ 的权重系数为:

$$w_j = \frac{n_1}{n} w_j^1 + \frac{n_2}{n} w_j^2 + \dots + \frac{n_l}{n} w_j^l,$$

$$\text{其中, } \sum_{s=1}^l n_s = n, \quad (s = 1, 2, \dots, l), \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

## 2.3 模糊综合评价

### (1) 模糊综合评价模型及步骤

模糊综合评价是建立在模糊数学基础上的,对受多因素影响的事物做出全面评价的一种系统评价方法,其基本步骤如下:

#### 1) 建立风险评价因素集

$$\text{因素集 } U = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$$

$$\text{子因素集 } A_n = \{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{nm}\} \quad (5)$$

#### 2) 建立评价集

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} \quad (6)$$

#### 3) 建立权重集

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (7)$$

各权重满足如下条件:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad w_i \geq 0 \quad (8)$$

#### 4) 单因素模糊评价

单因素模糊评价指的是确定某一因素隶属于评价集元素的程度,由此构成单因素评价集。以各单因素评价集为行可构造出如下单因素评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中,  $r_{nm}$  表示的是第  $n$  个因素隶属于第  $m$  个评语  $v_m$  的程度。

#### 5) 模糊综合评价

单因素评价矩阵的每一行因素乘以相应的权数就能得到模糊综合评价结果,公式如下:

$$B = (w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$= (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

$$\text{即 } b_j = \sum (w_i r_{ij}) (j=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

其中,  $b_j$  为模糊综合评价指标。

## 3 我国石油化工合同能源管理项目风险识别与评价

本文以中国石油宁夏石化公司实施低温余热回收合同能源管理项目为例,进行风险评价。2013年6

月,宁夏石化公司(甲方)与北京某节能服务公司(乙方)经过友好协商,签订合同并同意采用国际通行的合同能源管理(EMC)的模式,由乙方投资3159万元,对公司化肥装置低温余热实施回收利用,并于当年采暖期投入使用。该项目建设余热回收装置2套,回收宁夏石化公司化肥一厂和化肥二厂的低温余热,分别用于厂区及家属区的采暖。项目实施后共可回收余热量25.38MW,减少采暖蒸汽用量39.1t/h,年节约蒸汽量约13.4万t;年回收余热量约31.3万GJ。

### 3.1 我国石油化工合同能源管理项目风险识别

节能服务公司(ESCO)与客户(或用能单位)签订合同,并为其提供节能项目用能状况的诊断、设计、融资、设备采购、改造、施工、安装调试、人员培训、运行管理、节能量测量和验证等服务并保证节能量或节能率,用能单位保证以节能效益向节能服务公司支付项目投资和合理利润,该市场化节能机制在具体合同能源管理项目实施过程中,会面临诸多风险。因此,节能服务公司就要针对开展的节能项目,进行必要的风险识别和评价,并根据评价结果开展必要的风险应对工作。

石油化工合同能源管理项目风险识别,是指对石油化工合同能源管理项目实施过程中存在的各类风险因素进行鉴别、整理与分类的过程,其目的在于为石油化工合同能源管理项目风险评价奠定基础。我国石油化工合同能源管理项目起步较晚,各方面数据比较欠缺,适合用定性识别法进行风险识别。因此,本论文综合采用核对表分析和专家咨询法对我国石油化工合同能源管理项目风险因素进行识别。在确定核对表分析的过程中,吴琦、谭玉茹提供了很好的借鉴<sup>[6]</sup>,识别期间合同能源管理领域富有经验的专家也给出了很好意见建议。由于国内大多数合同能源管理项目模式为效益分享型,且在宁夏石化公司实施的5个合同能源管理项目都是效益分享型,本论文围绕与合同能源管理项目有关的节能公司、节能项目(合同能源管理项目)、客户(用能单位)进行风险识别。图1为我国石油化工合同能源管理项目风险识别流程,通过该流程可得出主要风险因素如下。

#### (1) 节能公司因素

合同能源管理作为一种基于市场的节能新机制,国内宏观经济运行状况不佳,国家节能政策的变化,有关节能法律法规的健全与否,会对节能公司产生相应的影响。节能公司管理者的素质、人力资源的储备工作,会影响节能公司的运营状况。针对节能项目,节能方案设计不当,轻则不能发挥项目应有的节能潜

力,重则导致投资失败。所以,节能公司自身面临宏观经济运行风险、节能政策法规风险、管理者素质风险、人力资源储备风险和节能方案设计风险。

### (2) 节能项目(合同能源管理项目)因素

节能服务公司与用能单位以合同能源管理模式签订合同后,如果未及时及时获得项目融资,不能保证项目正常流动资金,会存在项目融资风险;节能项目运营期间,通货膨胀发生较大变化,项目设备材料采购、支付人工成本等发生较大变化,存在通货膨胀风险;能源价格变化会导致客户能耗结构发生重大变化,或造成项目节能效益评估结果和利益分成发生变化,最终影响项目收益,节能项目存在能源价格变化风险;节能项目存在技术选择不当,购买的节能设备性能差、质量不过关、成本高时,存在节能技术选择风险;选择节能技术未经过推广应用,存在节能效果风险;分包商施工作业管理能力、技术水平不能满足项目需要,会发生工程质量和延误工期等工作质量风险事件,节能项目存在分包商工作质量风险;节能设备因自身或维保不正常,存在节能设备运行风险;节能计量设施不完好或精度不够,会存在节能量计量风险;节能结果和评估标准未得到合作双方的共同认可等,存在节能效果和评估风险。节能项目自身风险可以归纳为融资风险,通货膨胀风险,能源价格变化风险,技术选择与采购风险,分包商工作质量风险,设备运行风险,节能技术效果风险,节能量计量风险,评估标准和结果认可风险。

### (3) 客户(或用能单位)因素

对于本文中的客户(或用能单位),在项目运营过

程中阶段,由于经济环境变化或行业结构调整,随之会影响客户主营业务,客户会存在主营业务变更风险;客户在项目实施或运营过程中,对节能项目管控乏力,项目管理能力风险;客户财务运营不佳,使公司可能无法按期支付投资者预期收益而面临的风险;客户不认可、不承认节能效果,也会使项目面临节能效益分享风险。客户风险可以归纳为主营业务变更风险,项目管理能力风险,财务运营风险,节能效益分享风险。

根据上述节能公司、节能项目、用能单位的分析识别,可以建立我国石油化工合同能源管理项目风险评价指标体系如图2。

## 3.2 建立项目风险评价因素集

如图2,决策目标 $U$ 为合同能源管理项目风险评价,根据风险指标体系建立各层因素集。

因素集 $U=\{A_1, A_2, A_3\}=\{\text{节能公司自身风险, 节能项目自身风险, 客户风险}\}$

子因素集

$A_1=\{B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{15}\}=\{\text{宏观经济运行风险, 节能政策法规风险, 管理者素质风险, 人力资源储备风险, 节能方案设计风险}\}$

$A_2=\{B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}, B_{25}, B_{26}, B_{27}, B_{28}, B_{29}\}=\{\text{融资风险, 通货膨胀风险, 能源价格变化风险, 技术选择与采购风险, 分包商工作质量风险, 设备运行风险, 节能技术效果风险, 节能量计量风险, 评估标准和结果认可风险}\}$

$A_3=\{B_{31}, B_{32}, B_{33}, B_{34}\}=\{\text{主营业务变更风险, 项}$

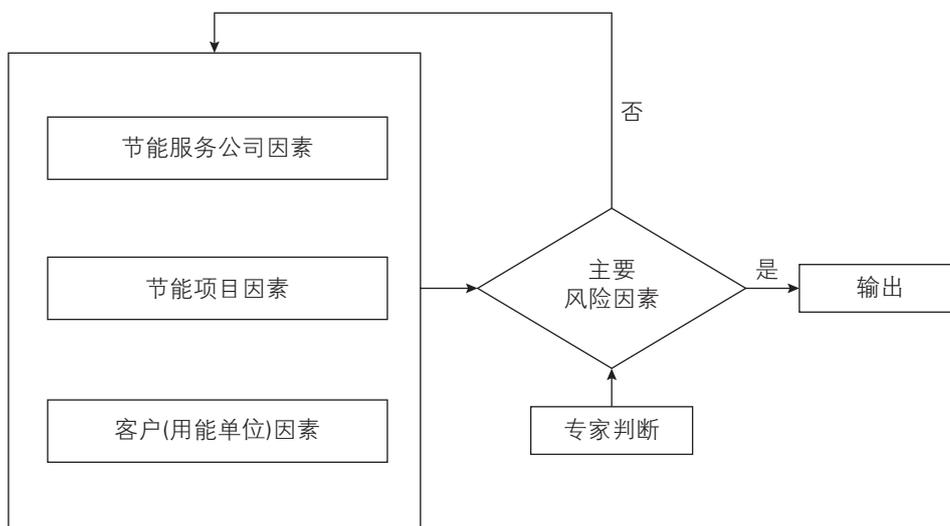


图1 合同能源管理项目风险识别流程图

Fig. 1 Risk identification flowchart of EPC project

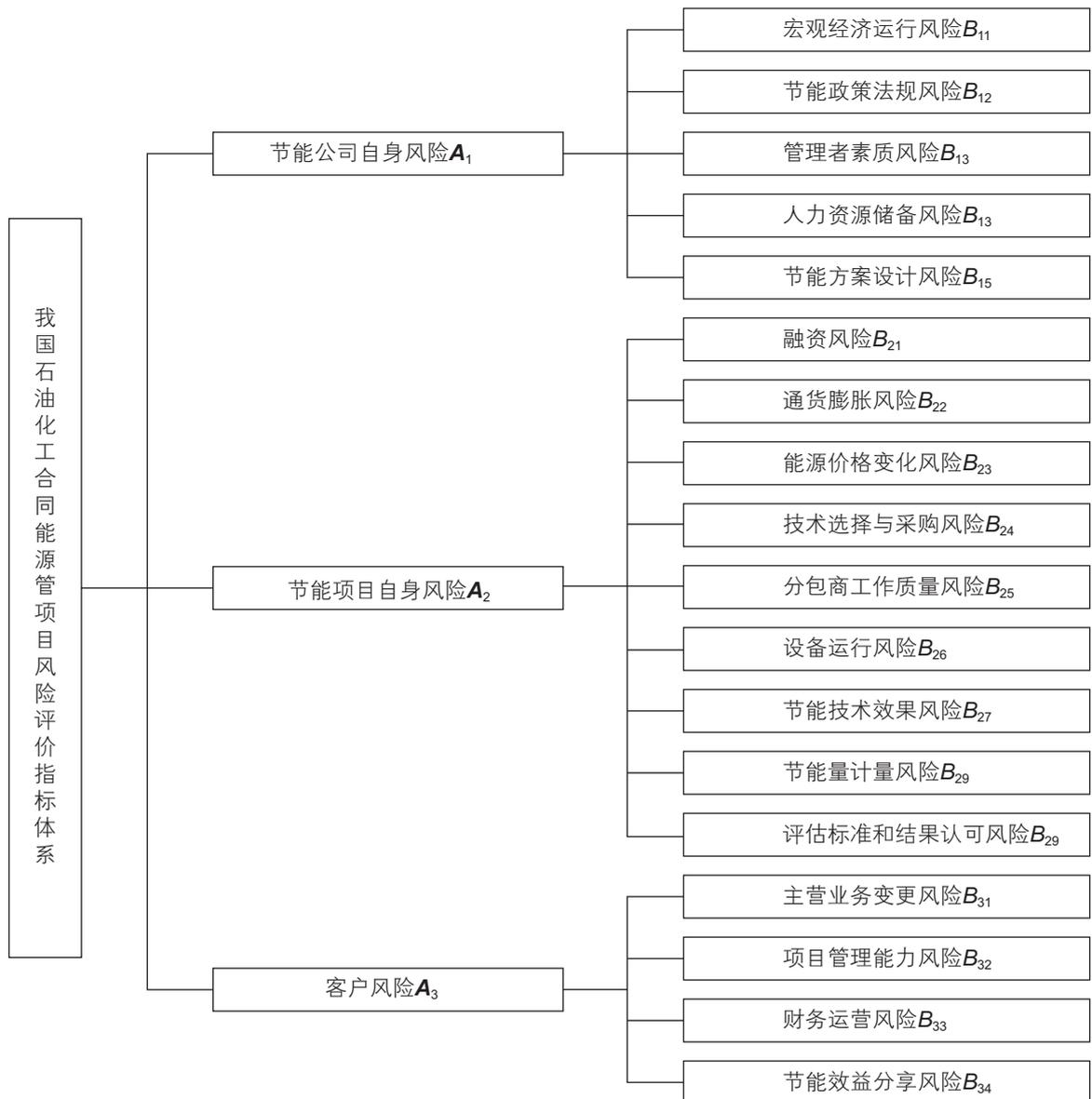


图 2 我国石油化工合同能源管理项目风险评价指标体系  
Fig. 2 Risk index system of China's petrochemical EPC project

目管理能力风险，财务运营风险，节能效益分享风险}

### 3.3 建立项目风险评语集

根据合同能源管理具体情况，设定合同能源管理项目风险评语集为： $V=\{\text{风险低，风险较低，风险中等，风险较高，风险高}\}$ ，赋予各元素相应的风险量化值，即 $V=\{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ ，如表 1 所示。

### 3.4 G1 赋权法主观权重的确定

本文采用专家咨询法，发放了 20 份调查问卷，主要来自在石油化工企业从事合同能源管理项目节能

公司、用能单位(石油化工企业)和相应合作方的专家，对相应风险指标进行排序和对相邻指标之间的重要程度赋值，根据专家反馈结果，进行加权平均和数据处理，最终形成了较为合理的排序和赋值结果，由于数据处理过程较为复杂，不叙述具体的计算和处理过程。

#### (1)确定序关系和相邻指标之间重要程度赋值

首先，确定 3 个一级指标的序关系并对相邻指标之间重要程度赋值；其次，依次对各一级指标对应的二级指标进行排序和重要性赋值；最后，统计 3 个专家组的唯一排序和重要程度赋值见表 2。

(2) 计算各级指标权重系数

对第1专家组一级指标进行权重系数计算。根据公式(3)和  $R=(1.8, 1.3)$ ，可以计算得出：

$$\sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i = 1.8 \times 1.3 + 1.3 = 3.64$$

$$w_1 = w_m = \left( 1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1} = (1 + 3.64)^{-1} = 0.216$$

$$w_2 = w_1 \times 1.3 = 0.280, w_4 = w_3 \times 1.8 = 0.504$$

则一级指标节能公司自身风险( $A_1$ )、节能项目自身风险( $A_2$ )和客户风险( $A_3$ )的权重，即  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  分别为 0.216、0.280 和 0.504。

按照此方法，同理可以得出3个一级指标下各个二级指标以及第2、3专家组各级指标权重，并根据公式(4)，计算专家组综合权重数据见表3。

3.5 确定各因素的隶属度

根据已建立的合同能源管理(EPC)项目风险评价指标体系，采用专家打分法对B层各指标进行评价，

得到相应的隶属度。

通过对10位专家对B层各指标评价统计处理，得到各因素隶属度见表4。

同时可获得专家评价的各子集单因素隶属度矩阵：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.40 & 0.30 & 0.10 & 0 \\ 0.10 & 0.10 & 0.20 & 0.40 & 0.20 \\ 0 & 0.20 & 0.50 & 0.30 & 0 \\ 0.60 & 0.40 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.20 & 0.70 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.70 & 0.20 & 0 & 0.10 & 0 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.10 & 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.30 & 0.60 \\ 0 & 0 & 0.20 & 0.70 & 0.10 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.20 & 0.70 \\ 0 & 0 & 0 & 0.20 & 0.80 \\ 0.10 & 0.80 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.80 & 0.20 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表1 项目风险评语元素集

Table 1 Element set of project risk reviews

$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
风险低	风险较低	风险中等	风险较高	风险高
0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

表2 唯一排序和重要程度赋值表

Table 2 Unique ranking and importance assignment

专家组	A/B层序列关系	相邻重要程度赋值
第1专家组(7人)	$A_3 > A_2 > A_1$	1.8, 1.3
	$B_{15} > B_{12} > B_{13} > B_{11} > B_{14}$	1.6, 1.5, 1.2, 1.1
	$B_{29} > B_{24} > B_{23} > B_{28} > B_{27} > B_{25} > B_{21} > B_{22} > B_{26}$	1.3, 1.6, 1.2, 1.4, 1.1, 1.2, 1.4, 1.4
	$B_{33} > B_{31} > B_{32} > B_{34}$	1.2, 1.5, 1.3
第2专家组(7人)	$A_2 > A_3 > A_1$	1.7, 1.6
	$B_{13} > B_{11} > B_{15} > B_{14} > B_{12}$	1.4, 1.5, 1.5, 1.1
	$B_{27} > B_{25} > B_{21} > B_{22} > B_{26} > B_{23} > B_{24} > B_{28} > B_{29}$	1.5, 1.5, 1.2, 1.2, 1.4, 1.2, 1.3, 1.1
	$B_{33} > B_{32} > B_{31} > B_{34}$	1.4, 1.5, 1.6
第3专家组(6人)	$A_2 > A_1 > A_3$	1.3, 1.2
	$B_{15} > B_{11} > B_{13} > B_{14} > B_{12}$	1.5, 1.1, 1.4, 1.2
	$B_{27} > B_{24} > B_{26} > B_{25} > B_{28} > B_{29} > B_{21} > B_{22} > B_{23}$	1.4, 1.3, 1.2, 1.2, 1.2, 1.3, 1.2, 1.1
	$B_{31} > B_{33} > B_{32} > B_{34}$	1.4, 1.3, 1.2

表 3 专家组指标权重

Table 3 Expert group index weight

A/B层	第 1 专家组	第 2 专家组	第 3 专家组	最终权重
节能公司自身风险 ( $A_1$ )	$w_1=0.216$	$w_1=0.188$	$w_1=0.319$	$w_1=0.238$
节能项目自身风险 ( $A_2$ )	$w_2=0.280$	$w_2=0.511$	$w_2=0.415$	$w_2=0.390$
客户风险 ( $A_3$ )	$w_3=0.504$	$w_3=0.301$	$w_3=0.266$	$w_3=0.372$
宏观经济运行风险 ( $B_{11}$ )	$w_{11}=0.028$	$w_{11}=0.048$	$w_{11}=0.058$	$w_{11}=0.043$
节能政策法规风险 ( $B_{12}$ )	$w_{12}=0.050$	$w_{12}=0.019$	$w_{12}=0.031$	$w_{12}=0.035$
管理者素质风险 ( $B_{13}$ )	$w_{13}=0.033$	$w_{13}=0.067$	$w_{13}=0.053$	$w_{13}=0.049$
人力资源储备风险 ( $B_{14}$ )	$w_{14}=0.025$	$w_{14}=0.021$	$w_{14}=0.038$	$w_{14}=0.028$
节能方案设计风险 ( $B_{15}$ )	$w_{15}=0.080$	$w_{15}=0.032$	$w_{15}=0.087$	$w_{15}=0.068$
融资风险 ( $B_{21}$ )	$w_{21}=0.017$	$w_{21}=0.066$	$w_{21}=0.019$	$w_{21}=0.032$
通货膨胀风险 ( $B_{22}$ )	$w_{22}=0.012$	$w_{22}=0.055$	$w_{22}=0.016$	$w_{22}=0.026$
能源价格变化风险 ( $B_{23}$ )	$w_{23}=0.037$	$w_{23}=0.033$	$w_{23}=0.015$	$w_{23}=0.029$
技术选择与采购风险 ( $B_{24}$ )	$w_{24}=0.059$	$w_{24}=0.027$	$w_{24}=0.056$	$w_{24}=0.049$
分包商工作质量风险 ( $B_{25}$ )	$w_{25}=0.020$	$w_{25}=0.098$	$w_{25}=0.036$	$w_{25}=0.048$
设备运行风险 ( $B_{26}$ )	$w_{26}=0.008$	$w_{26}=0.046$	$w_{26}=0.043$	$w_{26}=0.030$
节能技术效果风险 ( $B_{27}$ )	$w_{27}=0.022$	$w_{27}=0.148$	$w_{27}=0.079$	$w_{27}=0.077$
节能量计量风险 ( $B_{28}$ )	$w_{28}=0.031$	$w_{28}=0.021$	$w_{28}=0.030$	$w_{28}=0.028$
评估标准和结果认可风险 ( $B_{29}$ )	$w_{29}=0.076$	$w_{29}=0.019$	$w_{29}=0.025$	$w_{29}=0.044$
主营业务变更风险 ( $B_{31}$ )	$w_{31}=0.149$	$w_{31}=0.058$	$w_{31}=0.152$	$w_{31}=0.123$
项目管理能力风险 ( $B_{32}$ )	$w_{32}=0.099$	$w_{32}=0.086$	$w_{32}=0.084$	$w_{32}=0.091$
财务运营风险 ( $B_{33}$ )	$w_{33}=0.179$	$w_{33}=0.121$	$w_{33}=0.109$	$w_{33}=0.141$
节能效益分享风险 ( $B_{34}$ )	$w_{34}=0.077$	$w_{34}=0.036$	$w_{34}=0.070$	$w_{34}=0.063$

表 4 隶属度

Table 4 Degree of membership

指标	低风险	较低风险	中等风险	较高风险	高风险
宏观经济运行风险 ( $B_{11}$ )	0.20	0.40	0.30	0.10	0
节能政策法规风险 ( $B_{12}$ )	0.10	0.10	0.20	0.40	0.20
管理者素质风险 ( $B_{13}$ )	0	0.20	0.50	0.30	0
人力资源储备风险 ( $B_{14}$ )	0.60	0.40	0	0	0
节能方案设计风险 ( $B_{15}$ )	0	0	0.10	0.20	0.70
融资风险 ( $B_{21}$ )	0.70	0.20	0	0.10	0
通货膨胀风险 ( $B_{22}$ )	0.60	0.30	0.10	0	0
能源价格变化风险 ( $B_{23}$ )	0.10	0.10	0.20	0.60	0
技术选择与采购风险 ( $B_{24}$ )	0	0	0.10	0.30	0.60
分包商工作质量风险 ( $B_{25}$ )	0	0	0.20	0.70	0.10
设备运行风险 ( $B_{26}$ )	0	0	0.10	0.20	0.70
节能技术效果风险 ( $B_{27}$ )	0	0	0	0.20	0.80
节能量计量风险 ( $B_{28}$ )	0.10	0.80	0.10	0	0
评估标准和结果认可风险 ( $B_{29}$ )	0.80	0.20	0	0	0
主营业务变更风险 ( $B_{31}$ )	0	0	0.20	0.70	0.10
项目管理能力风险 ( $B_{32}$ )	0	0.20	0.70	0.10	0
财务运营风险 ( $B_{33}$ )	0	0	0.10	0.30	0.60
节能效益分享风险 ( $B_{34}$ )	0.20	0.70	0.10	0	0

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.35 & 0.20 & 0.35 & 0.10 \\ 0 & 0.20 & 0.70 & 0.10 & 0 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.30 & 0.60 \\ 0.20 & 0.70 & 0.10 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### 3.6 建立模糊综合评价数学评价模型

根据前文构建的风险指标体系、模糊权重和隶属度确定,本文合同能源管理项目风险评价模型的建立,依据公式(10)、(11)可以计算各阶段风险的评价值和风险系数。

计算节能公司自身风险( $A_1$ )的评价值:

$$\begin{aligned} B_1 &= (w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}, w_{15}) \cdot R_1 \\ &= (0.043, 0.035, 0.049, 0.028, 0.068) \cdot \\ &\quad \begin{bmatrix} 0.20 & 0.40 & 0.30 & 0.10 & 0 \\ 0.10 & 0.10 & 0.20 & 0.40 & 0.20 \\ 0 & 0.20 & 0.50 & 0.30 & 0 \\ 0.60 & 0.40 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.20 & 0.70 \end{bmatrix} \\ &= (0.028\ 9, 0.041\ 7, 0.051\ 2, 0.033\ 0, 0.007\ 0) \end{aligned}$$

归一化处理后:

$$B_1 = (0.178\ 6, 0.257\ 7, 0.316\ 4, 0.204\ 0, 0.043\ 3)$$

同理可得

节能公司自身风险( $A_1$ )的风险系数:

$$U_1 = B_1' \cdot V^T = (0.178\ 6, 0.257\ 7, 0.316\ 4, 0.204\ 0, 0.043\ 3) \cdot \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{bmatrix}$$

= 0.435 1

$$\begin{aligned} B_2 &= (w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}, w_{25}, w_{26}, w_{27}, w_{28}, w_{29}) \cdot R_2 \\ &= (0.032, 0.026, 0.029, 0.049, 0.048, 0.030, 0.077, \\ &\quad 0.028, 0.044) \cdot R_2 \\ &= (0.078\ 9, 0.048\ 3, 0.028\ 7, 0.119\ 1, 0.116\ 8) \end{aligned}$$

$$B_2 = (0.201\ 4, 0.123\ 3, 0.073\ 3, 0.304\ 0, 0.029\ 81)$$

$$\begin{aligned} B_3 &= (w_{31}, w_{32}, w_{33}, w_{34}) \cdot R_3 \\ &= (0.123, 0.091, 0.141, 0.063) \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.35 & 0.20 & 0.35 & 0.10 \\ 0 & 0.20 & 0.70 & 0.10 & 0 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.30 & 0.60 \\ 0.20 & 0.70 & 0.10 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.012\ 6, 0.105\ 4, 0.108\ 7, 0.094\ 5, 0.106\ 0)$$

同理,可计算得到其它2个阶段的评价值 $B_2$ 、 $B_3$

和相应的风险系数 $U_2$ 、 $U_3$ ,进行二级模糊评判,确定合同能源管理项目总目标 $U$ 层的风险系数:

$$\begin{aligned} U &= W \cdot R^T \\ U &= (0.238, 0.390, 0.372) \cdot \begin{bmatrix} 0.435\ 1 \\ 0.574\ 9 \\ 0.582\ 4 \end{bmatrix} \\ &= 0.544\ 4 \end{aligned}$$

对照表1中定义的风险评语集,可以判断宁夏石化公司实施的低温余热回收合同能源管理项目的总目标风险属于中等稍高一点,需要节能服务公司在项目实施过程中,要引起一定的关注和防控。节能公司自身风险、节能项目自身风险和客户风险3个一级指标风险系数分别为0.435 1、0.574 9和0.582 4,节能公司自身风险属于中等稍低、节能项目自身风险和客户风险属于中等稍高。结合表3和表4,二级18个指标中财务运营风险( $B_{33}$ )、主营业务变更风险( $B_{31}$ )、项目管理能力风险( $B_{32}$ )、节能技术效果风险( $B_{27}$ )、技术选择与采购风险( $B_{24}$ )、设备运行风险( $B_{26}$ )、分包商工作质量风险( $B_{25}$ )、节能方案设计风险( $B_{15}$ )、节能政策法规风险( $B_{12}$ )和管理者素质风险( $B_{13}$ )10个指标是导致风险结果的主要指标,需要节能服务公司尽可能降低这些主要指标发生的可能性,避免风险等级上升,给项目的顺利实施带来不利的影响。

## 4 结论及建议

本文在合同能源管理文献研究的基础上,通过问卷调查,建立了合同能源管理项目风险评价指标体系,构建了模糊综合改良层次法(G1赋权法)风险评价模型,并通过宁夏石化公司低温余热回收合同能源管理项目进行评价,得出该项目的总目标风险系数为0.544 4,风险等级处于中等稍高一点,需要节能服务公司引起一定的关注和防控。

项目风险应对策略根据发生的可能性和造成损失程度,一般采取风险回避、风险转移、风险降低和风险接受4种策略,实际应对过程有可能采取单个应对策略或多个应对策略的组合。由于本文研究项目总目标系数和3个一级风险系数都处于中等左右,一般不会采取风险回避策略,针对上文的10个指标,建议节能服务公司采取如下措施:①要多关注和分析客户财务运营状况,尽可能按照合同条款约定时限,主动出具对方需要的、符合规范要求发票,及时收回阶段性应收账款;②根据客户(或用能单位)主营业务变化情况,主动沟通,保证节能基准(运行装置或设施的负

荷率); ③加强与客户的沟通, 保证项目实施能够的到客户管理人员对项目的大力支持; ④项目投入运行就要开展节能设施运行参数指标的对标管理工作, 尽可能多方协调, 尽快调整节能技术相关指标达到设计值; ⑤节能技术选择一定达到同行业先进水平且技术相对要成熟, 采购设备要选用有资质、信誉度高的优秀供应商; ⑥由于客户不同程度地参与了项目的建设调试, 设备运行转包给客户(或用能单位), 客户可以协调本单位资源, 节能设备可以得到及时的维护保养; ⑦要选用有资质、可靠合格的分包商(尽可能选用熟悉客户现场作业的分包商), 明确施工进度和要求, 开展必要的监督和考评; ⑧如果节能服务公司实力有限,

节能方案设计最好考虑委托资质信誉好的设计公司; ⑨做好对国家节能政策法规的研判, 积极争取和享受国家有关节能政策法规在融资、财政补贴和税收等方面的优惠; ⑩建立完善的组织结构和考评激励政策, 吸引、培养和组建高素质的管理团队, 为节能服务公司项目决策及管理, 提供可靠保证。

另外, 节能服务公司在节能效益分享时, 既要考虑投资与收益对等原则, 又要考虑收益与分享对等原则, 还要考虑互惠互利、公平及信息透明的原则。总之, 通过双方共同努力, 对项目各阶段风险进行有效控制, 最终能达到合同能源项目实现互利双赢的目的。

## 参考文献

- [1] 高青松, 彭丹. 合同能源管理研究进展及评述[J]. 环境保护与循环经济, 2015, (1): 4-10. [GAO Q S, PENG D. Progress and review on Energy Performance Contracting research [J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2015, (1): 4-10.]
- [2] 吕荣胜, 王建. 中外合同能源管理应用发展对比研究及启示[J]. 中外能源, 2011, 16(8):22-27. [LÜ R S, WANG J. Comparative study and enlightenment on the application and development of Energy Performance Contracting in China and foreign countries[J]. Sino-Global Energy, 2011, 16(8):22-27.]
- [3] 王树茂. 合同能源管理在我国的发展及存在的问题[J]. 中国能源, 2008, 30(2):21-23. [WANG S M. The development and existing problems of Energy Performance Contracting in China[J]. Energy of China, 2008, 30(2):21-23.]
- [4] 董志勇, 邢定峰, 王明勇. 石化行业合同能源管理模式研究[J]. 能源与节能, 2013, 89(2):10-20. [DONG Z Y, XING D F, WANG M Y. An Energy Performance Contracting method in petrochemical industry[J]. Energy and Energy Conservation, 2013, 89(2):10-20.]
- [5] 刘建, 郑双忠, 邓云峰, 等. 基于G1法的应急能力评估指标权重的确定[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(1):30-33. [LIU J, ZHENG S Z, DENG Y F, et al. Weight determination of indexes in evaluation of emergency response ability based on G1[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(1):30-33.]
- [6] 刘德军, 吕林. 合同能源管理项目的风险与效益评价[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(1):20-23. [LIU D J, LÜ L. Evaluation of risk and benefit in energy management contract project[J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(1):20-23.]
- [7] 胡珀. 合同能源管理项目的风险管理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2007. [HU B. Study on risk management of contract energy management project[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2007.]
- [8] 周亮. 合同能源管理风险评价研究[D]. 上海: 复旦大学, 2009. [ZHOU L. Research on risk evaluation of energy management contract [D]. Shanghai: Fudan University, 2009.]
- [9] 董荫. 合同能源管理风险评估指标体系探析—基于层次分析法[J]. 现代商贸工业, 2011, 23(3):48-49. [DONG Y. Discussion on risk assessment index system of Energy Performance Contracting Based on AHP[J]. Modern Business Trade Industry, 2011, 23(3):48-49.]
- [10] 朱纯宜, 王永祥. 基于模糊层次分析法的合同能源管理项目风险综合评价[J]. 价值工程, 2011, 30(19):301-302. [ZHU C Y, WANG Y Q. Comprehensive risk evaluation of Energy Performance Contracting based on Fuzzy AHP[J]. Value Engineering, 2011, 30(19):301-302.]
- [11] 梁伟贤. 合同能源管理项目的融资与风险研究[D]. 北京: 清华大学, 2012. [LIANG W X. Research on the finance and risk of Energy Performance Contracting project[D]. Beijing: Tsinghua University, 2012.]
- [12] 曾鸣, 陈春武, 段凯彦, 等. 合同能源管理项目全生命周期风险评估研究[J]. 华东电力, 2012, 40 (10): 1666-1670. [ZENG M, CHEN C W, DUAN K Y, et al. Life cycle risk assessment for energy management contract Project[J]. East China Electric Power, 2012, 40 (10): 1666-1670.]
- [13] 黄志焯, 张跃松, 韩玥. 合同能源管理项目的风险识别与综合评价[J]. 工程管理学报, 2013, 27(1):48-52. [HANG Z Y, ZHANG Y S, HAN Y. Risk identification and comprehensive evaluation in Energy Performance Contracting projects in China[J]. Journal of Engineering Management, 2013, 27(1):48-52.]
- [14] 宁国睿. 合同能源项目的风险管理[D]. 大连: 大连海事大学, 2013. [NING G R. The risk management of contract energy management Project[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.]

- [15] 喻蕾. 合同能源管理项目风险评价与收益分配研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013. [YU L. The research on risk evaluation and income distribution of Energy Performance Contracting project[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013.]
- [16] 吴琦, 谭玉茹. 一种合同能源管理风险评价方法研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(24):32-37. [WU Q, TAN Y R. A evaluation method for risk assessment of energy management contract [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(24):32-37.]
- [17] 王安民, 别付冉. 基于混合方法的合同能源管理项目风险评估[J]. 技术与创新管理, 2016, 37(1):32-38. [WANG A M, BIE F R. A hybrid approach to risk evaluation on the project of Energy Performance Contracting [J]. Technology and Innovation Management, 2016, 37(1):32-38.]

---

## Risk evaluation research of China's petrochemical Energy Performance Contracting projects

WU Zhijiong<sup>1,2</sup>, DONG Xiucheng<sup>1</sup>

*1 School of Business Administration, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China*

*2 Petrochina Ningxia Petrochemical Company, Yinchuan 750026, China*

**Abstract** This paper's purpose is to provide a method for the risk evaluation of China's petrochemical Energy Performance Contracting (EPC) projects. EPC which originated in the United States in the middle of 1970s developed rapidly over 40 years. In 1997, EPC was introduced into China as an advanced energy management mode. For nearly 20 years, EPC has been developing rapidly in China. However, in the petroleum and chemical industries of China the process of EPC is slow. Through literature analysis and questionnaire survey, the risk index system of China's petrochemical EPC projects has been constructed. Based on this, an improved G1 weighting method and fuzzy comprehensive evaluation method are applied to evaluate the risk of the EPC project of the Ningxia Petrochemical Company.

**Keywords** Energy Performance Contracting; petrochemical; projects; risk evaluation; G1 weighting method; fuzzy comprehensive evaluation; index system

**doi:** 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.01.015

(编辑 付娟娟)