

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2011.07.007

燃气冷热电三联供项目 前期论证评估体系的建立

- 北京建筑工程学院 (100044) 黄学敏 詹淑慧 程建锋
□ 太原市燃气设计有限公司 (030024) 郑玉龙
□ 中国市政工程华北设计研究总院 (300074) 黄 葵

摘 要: 对燃气冷热电三联供项目进行前期论证是非常重要的。本文根据国家政策和三联供项目应用情况,采用模糊综合评估法,构建了项目前期论证评估体系;可辅助决策者从战略高度评价燃气冷热电三联供项目的可行性、选择项目的启动时机。

关 键 词: 冷热电三联供系统 可行性 模糊数学

The Establishing of the Comprehensive Evaluation Index System for the Preliminary Argument Stage of the Project of the Combined Cooling, Heating and Power

Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing (100044) Huang Xuemin , Zhan Shuhui , Cheng Jianfeng
Gas Design Corporation of TaiYuan Shanxi (030024) Zheng Yulong
North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin (300074) Huang Kui

Abstract: Taking a preliminary argument before the launching of the CCHP system is necessary. This article sets up a assessment system for the preliminary argument by fuzzy comprehensive evaluation method according to national policies and CCHP projection application, and it makes decision-makers to make the diagnoses of the feasibility and seize the launching opportunity from the strategic height

Keywords: the system of the Combined Cooling, Heating and Power the feasibility the Fuzzy Mathematics

根据国务院发展改革委员会2007年发布的《天然气利用政策》,小型燃气冷热电三联供系统在我国天然气利用中属“优先发展”。虽然有国家政策的指引和扶植,但推广和发展燃气冷热电三联供系统(简称“三联供系统”)作为一项系统工程,往往因为缺乏具体的目标、规划指导和项目可行性评价标准,使决策者和投资方产生各种疑问和困惑。已建项目中也存

在负荷需求计算失误和配套设施(消防、电力及燃气等)设计冲突等情况。因此,对三联供系统项目进行前期论证评估,以做出科学决策成为必须。

本文运用层次分析法和模糊数学等数值分析方法,并参考《市政公用工程设计文件编制深度规定》、《燃气冷热电三联供工程技术规程》及具体三联供项目可行性研究报告文本,尝试建立三联供项目

前期论证的评估体系。

1 燃气冷热电三联供项目前期论证评估体系

1.1 项目前期论证评估体系的指导意义

借助项目评估组及专家组成员，按照各自对项目的分析判断分别对各指标进行评判打分，通过模糊数学的方法计算出该项目的所得分值，根据分值的大小定量论证该项目是否具备开发的条件以及条件具备的成熟度，有助于决策者科学地安排项目的总体进度。

1.2 项目前期论证评估体系的架构

遵循构建体系的结构化原则，参照实际三联供项目建设环境，采用二级指标模糊综合评估法，对三联供项目建立评估体系：

1.3 项目前期论证评估体系指标解析

项目前期论证最关注的就是三联供项目所处的主客观环境，主要包括3个方面：

(1) 项目内部及周边配套的市政设施和可再生能源的现状和规划；

(2) 项目冷热电负荷大小及需求特性；

(3) 项目是否符合当前的能源及产业发展政策。

借此，设立一级评判因素集={配套条件完善度，负荷（冷热电）需求特性，产业政策符合度}，及二级评判因素集，如配套条件完善度={市政配套完善度，可再生能源可有效利用程度}等，如图1。

1.3.1 项目开发配套条件

配套条件主要考虑该项目内部及周边的市政配套和可再生能源两方面的现状和规划。

通常，市政配套设施主要关注的是：供燃气、供热、供电、供水、供冷、通讯及有线电视及网络等市政配套。

可再生能源主要关注的是：地热、土壤、地表水、地下水、湖水、太阳能、生物质能及氢能等。

1.3.2 能源负荷需求特性

一定规模的稳定热（冷）负荷、电与热(冷)负荷之比在0.5~2.5之间及年总体运行小时数在4 000h以上是三联供机组应用的理想负荷特性^[1]。

由稳定的几百万平方米的集中供热系统（DHS）和/或几万冷吨（RT）的区域供冷系统（DCS）和50MW以上发电机组容量所形成集成规模化的分布式能源系统（DES）系统，可使三联供系统经济性大大改善。

电与热（冷）负荷之比在0.5~2.5之间被认为是相对比较理想的负荷匹配比例，此比例正与现有CCHP系统设备的技术特性（安全可靠、技术先进性及维护方便性等）相一致。

年总体运行小时数在4 000h以上被认为才能够快速缩短投资回收期。

本层主要指标功能是评估项目实际负荷特性与理想负荷特性的接近程度，完全可以借用建筑物的设计负荷，即根据每平方米的冷热电负荷设计指标来计算建筑物的总冷热电负荷，对结果产生误差处于可控范围内。

基本符合上述负荷特性的用户类型如下：城区商业中心、公用事业、中小型制造业工业园区及新开发的城区和房地产小区等^[2]。

1.3.3 产业政策

产业政策符合度重点关注的是：能源价格体系和

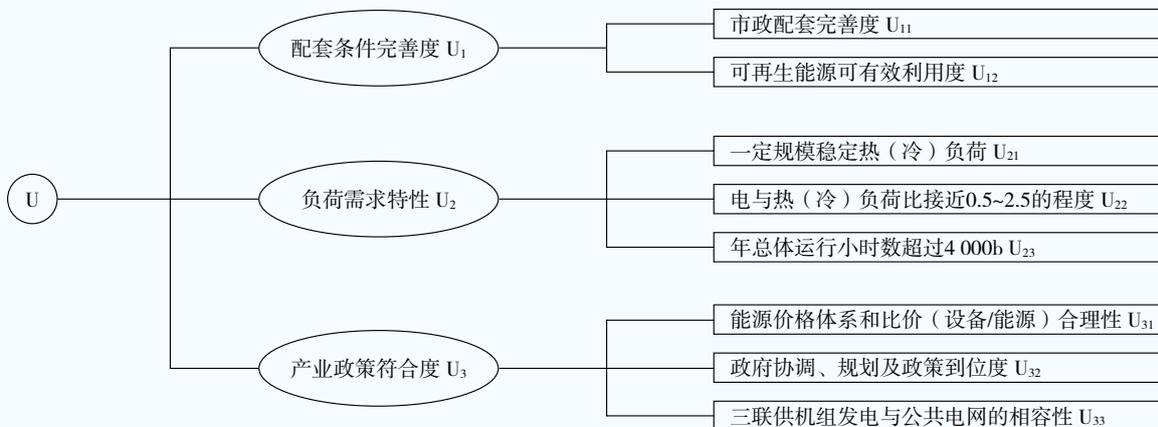


图1 项目前期论证评估因素集

比价(设备/能源)的合理性、政府的协调、规划及政策到位度及CCHP机组发电与公共电网的相容性^[3]。

能源价格体系和比价(设备/能源)的合理性主要考虑的是:电价—天然气价的影响、价格和比价的地区差异、天然气—电价的定价机制及冷、热价格^[3]。

其中,价格和比价的地区差异:由于各区域发展不平衡,天然气和电的输送距离和费用不同。西部能源资源丰富,东南沿海能源匮乏,价格都比西部地区贵很多,但是三联供所需核心设备大都产于沿海地区,比价(设备/能源)比西部有优势,综合考虑,东部沿海更有利于用高效节能的联供项目。

政府的协调、规划及政策应主要考虑:统筹规划保证集成优化规模效应、电力直供、税收优惠及天然气气价及其供应保障^[3]。

当地政府应将DES/CCHP纳入到国家的电力规划、天然气发展规划、城市化规划和具体的城市建设规划中^[4]。

三联供机组发电与公共电网的相容性:三联供机组与公共电网的并网,提高了整个供电系统的可靠性。同时不可否认,大量的并网必然对电力系统的电网稳定性、网损、电能质量、瞬间负荷以及继电保护产生不良的影响。但是,并网运行将越来越普遍^[5]。因此,应尽快研究并制定出并网的规程和导则,以提高三联供机组发电与公共电网的相容性^[6]。

2 模糊综合评价方法

2.1 模糊综合评价的理论依据

模糊变换原理和最大隶属度原则。

2.2 模糊综合评价步骤^[7]

(1) 建立综合评价因素集

$$U=\{U_1, U_2, \dots, U_n\}。$$

(2) 建立评语集

$V=\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, \dots\}$ ={好, 较好, 中等, 较差, 差}。在评估中,按百分制可将其划分为表1所示

表1 评估等级给分表

等级分值	很好	较好	一般	较差	很差
分值F	90~100	70~89	60~69	40~59	0~39

示的5个等级。

取相应等级的参数向量为: $E=\{95, 80, 65, 50, 20\}^T$ 。

(3) 确立评价因素的权重

评价因素的权重系数体现了各因素在因素集中的重要程度,具有模糊性。权重 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $a_m \in [0, 1]$, 且 $a_1+a_2+\dots+a_m=1$ 。本文采用层次分析法确定权重。

(4) 确立评价因素的隶属度

首先对U集中 U_i 作单因素评判,从因素 U_i 来确定评语集 V_j ($j=1, 2, 3, \dots, m$)的隶属度 r_{ij} ,这样就得到一个 U_i 的单因素评判集 $R_i=\{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{im}\}$,R就反应了U、V之间存在的某种模糊约束关系:

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

(5) 评价结果向量化

评价结果 $B=A \cdot R$ 。

(6) 评价结论

通过计算评估分值 $F=B \cdot E^T$,得出评估结论。

2.3 层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称AHP) 确定权重^[8]

层次分析法首先把问题层次化,然后建立一致判断矩阵,它表示针对上一层某评价元素,本层次评价元素之间相对重要性的比较。因素之间的比较采用表2所示的标度方法,如某层有评价因素 $\{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_j, \dots, U_n\}$,这一层中因素 U_i 与 U_j 比较结果为 b_{ij} 。

表2 两两因素比较标度取值

相对重要程度	定义	解释
1	同等重要	目标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 同样重要
3	略微重要	目标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 略微重要
5	相当重要	目标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 重要
7	明显重要	目标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要
9	绝对重要	目标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 绝对重要
2, 4, 6, 8	介于两重要程度之间	

由此可构造出判断矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & 1 & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

根据专家评判，填写判断矩阵，求出判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 所对应的特征向量 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ，并将此特征向量归一化，归一化处理后的向量元素排序即为各评价因素的重要性排序，同时也是权重分配值。

需要对判断矩阵的质量考察，即对矩阵进行一致性检验，为了检验矩阵的一致性，需要计算其一致性指标CI，定义：

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

当随机一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$ ，则判断矩阵具有满意的一致性，否则调整判断矩阵。

表3 平均随机一致性指标

阶数n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

3 案例分析

利用二级指标模糊综合评估法，对已经建设运行的三联供系统项目进行评价、分析，已判断评估方法的实用性。

3.1 项目概况

某金融服务区作为北京市金融后台服务区之一，按照功能定位，园区计划用5年-8年时间，建设成为基础设施完备、金融后台与商业服务并重的国际化金融服务基地，同时注重生态环境建设，形成公园式的产业集聚区。

北京市正在进行能源结构战略调整，“无煤化”、“低碳化”是未来北京的发展目标。决策者拟在该园区范围内拟选用以三联供系统为主的综合能源解决方案，解决园区内的全部冷、热负荷和部分电负荷。

3.2 建立评估因素集

见图1。

3.3 评估因素的权重集计算

首先计算一级因素的权重集 $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 。参照表2，各因素两两比较，“负荷需求特性”比“配套条件完善度”相当重要，取5分；“配套条件完善度”比“产业政策符合度”明显重要，取7分；“负荷需求特性”比“产业政策符合度”略微重要，取3分。由此可得判断矩阵：

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 3 \\ 5 & 1 & 7 \\ 1/3 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

其最大特征值 $\lambda_{\max} (=3.0649)$ 对应的特征向量为 $A = (0.2, 1.0, 0.1)$ ，经归一化处理后得 $A = (0.2, 0.7, 0.1)$ ，即为第一级指标的权重 $\{a_1, a_2, a_3\}$ ，并通过了判断矩阵的一致性检验。

同理还可以算出第二级各因素的权重 $B_1 = \{0.8, 0.2\}$ ， $B_2 = \{0.6, 0.3, 0.1\}$ ， $B_3 = \{0.3, 0.6, 0.1\}$ ，限于篇幅，在此不再赘述。

3.4 模糊综合评价

项目评价组及专家组成员共10名，按照对项目的分析判断分别对8个二级因素进行评判，确定因素等级隶属度，如表4所示。

由上表可知各因素二级指标评价矩阵为：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

由 $C_i = B_i \cdot R_i$ ，可得二级评价结果，将其归一化处理后得：

$$C_1 = (0.36, 0.30, 0.24, 0.1, 0) ;$$

$$C_2 = (0.50, 0.26, 0.16, 0.09, 0) ;$$

$$C_3 = (0.38, 0.20, 0.12, 0.23, 0.07) 。$$

由此结果构成一级指标评价矩阵为：

表4 该金融服务区联供项目前期论证体系的模糊综合评判表

一级指标	权重	二级指标	权重	等级				
				很好	较好	一般	较差	很差
配套条件完善度	0.2	市政配套完善度	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1	0
		可再生能源可有效利用程度	0.2	0.2	0.3	0.4	0.1	0
能源需求特性	0.7	一定规模稳定热(冷)负荷	0.6	0.6	0.2	0.2	0	0
		电与热(冷)比接近0.5~2.5的程度	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1
		年总体运行小时数超过4 000h	0.1	0.3	0.6	0.1	0	0
产业政策符合度	0.1	能源价格体系和比价合理性	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2
		政府协调、规划及政策到位度	0.6	0.4	0.2	0.1	0.3	0
		三联供机组发电与公共电网相容性	0.1	0.5	0.2	0	0.2	0.1

$$R = (C_1, C_2, C_3)^T = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.30 & 0.24 & 0.10 & 0 \\ 0.50 & 0.26 & 0.16 & 0.09 & 0 \\ 0.38 & 0.20 & 0.12 & 0.23 & 0.07 \end{bmatrix}$$

由 $D=A \cdot R$, 可得出一级评价结果为 $D=(0.46, 0.26, 0.17, 0.11, 0.01)$, 按照评语集等级给分原则, 得出该项目总得分:

$$F = D \cdot E^T = (0.46, 0.26, 0.17, 0.11, 0.01) \cdot (95, 80, 65, 50, 20)^T = 81.25$$

对照评估等级给分表: $81.25 \in [70, 89]$, 评价的结果为较好等级, 说明该项目的开发主客观条件成熟度很高。

3.5 评价结论

该金融园区启动三联供系统为主的综合能源解决方案主客观条件已完全具备, 开发时机已相当成熟。

4 结论

(1) 启动三联供项目前期论证非常重要的, 本评估指标体系适用于燃气小型三联供系统项目前期的论证、评价。

(2) 二级指标模糊综合评估法应用于三联供项目的评估时, 评判因素及取值简单、明确, 结论清晰、科学, 避免人为因素的影响。

(3) 借助本评估体系定量分析、论证三联供项目是否具备开发的条件以及条件具备的成熟度, 可以

辅助决策者从战略高度判断项目的可行性, 在适宜的时间启动三联供项目的建设, 并科学合理地安排项目的总体进度; 辅助投资者安排资金合理利用。

参考文献

- 1 华贲, 左政. 分布式能源站在广东的发展前景分析[J]. 工厂动力, 2004; 2: 1~6
- 2 郝彦琼, 李清, 高春梅. 北京市推广应用天然气热电冷联供的可行性分析[J]. 城市燃气, 2005; (8): 16~19
- 3 华贲, 龚婕. 分布式冷热电联供能源系统经济性分析[J]. 天然气工业, 2007; 26(7): 118~120
- 4 华贲, 左政, 杨艳利. 分布式能源系统对中国天然气下游市场开拓的重要性[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2006; 2(2): 97~103
- 5 朱民. 关于分布式能源供电系统与电力系统并网的探讨[J]. 科技创新导报, 2008; 18: 49~50
- 6 胡学浩, 陈斌. 中国分布式冷热电联产发展现状及其并网问题[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2005; 1(2.3): 7~12
- 7 刘增良. 模糊数学技术与应用选编[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1997: 85~87
- 8 赵焕臣. 层次分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 112~113