



移动扫码阅读

毕傲睿,黄舒雅,张雯雯,等.基于集对分析的天然气分布式能源系统适用性评估研究[J].能源环境保护, 2022, 36(6):94-100.

BI Aorui, HUANG Shuya, ZHANG Wenwen, et al. Applicability evaluation of the natural gas distributed energy system based on set pair analysis[J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(6):94-100.

基于集对分析的天然气分布式能源系统适用性评估研究

毕傲睿^{1,2}, 黄舒雅³, 张雯雯¹, 蒋陈雨¹, 江松⁴

(1. 淮阴工学院 管理工程学院, 江苏 淮安 223003; 2. 西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055; 3. 淮安天山外国语学校, 江苏 淮安 223300; 4. 西安建筑科技大学 资源工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:为了评估天然气分布式能源系统在实际推广过程中的效益合理性,研究了适用性评估模型,基于系统特征、经济、能效、环境等多个角度构建了适用性指标体系,采用集对分析理论对语义划分评估等级进行综合建模,应用层次分析法计算指标权重并通过计算判断最终适用等级,以西安某酒店为例加以验证。结果表明:评估结果的可参照性高,经济性和环境性是影响目前系统适用性的关键因素;与传统供能相比,天然气分布式能源系统的节能率为12.35%,节能减排效果显著且充分发挥了阶梯供能的优势;年度运行费用下降额和简单投资回收期分别为508.61万元和6.61年,在低气价区域推广的获益价值更高。

关键词:分布式能源;适用性;推广;集对分析;综合评估

中图分类号:X382

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)06-0094-07

Applicability evaluation of the natural gas distributed energy system based on set pair analysis

BI Aorui^{1,2}, HUANG Shuya³, ZHANG Wenwen¹, JIANG Chenyu¹, JIANG Song⁴

(1. Faculty of Management Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China; 2. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. Huai'an Tian Shan Foreign Language School, Huai'an 223300, China; 4. School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to evaluate the benefit rationality of the natural gas distributed energy system in the process of promotion, the applicability evaluation model was studied. The applicability index system was built from system characteristics, economy, energy efficiency, environment and other aspects. Set pair analysis theory was used to build a comprehensive model for semantic classification evaluation grade. The analytic hierarchy process was applied to calculate the index weight. The final applicable level was determined by calculation and verified taking a hotel in Xi'an as the example. The results showed that the evaluation results were great reference. Economy and environment were the key factors affecting the applicability of the current system. Compared with the traditional energy supply method, the energy saving efficiency of the natural gas distributed energy system was 12.35%. The system saved energy significantly and gave full play to the advantages of stepped energy supply. The reduced annual operating cost was 5.086 1 million yuan and the simple payback period was 6.61 years. The promotion of natural gas distributed energy system obtained higher benefits in low gas price areas.

收稿日期:2022-09-14;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:江苏省高校哲学社会科学基金项目(2022SJYB1931);江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究项目(21KJB620008);国家自然科学基金项目(52104146);陕西省社会科学基金(2020R005);淮阴工学院大学生创新创业训练计划资助项目(202211049306XJ)

第一作者简介:毕傲睿(1987—),男,江苏淮安人,博士,讲师,主要研究方向为能源设施应用与优化。E-mail:bar126@163.com

Key Words: Distributed energy system; Applicability; Promotion; Set pair analysis; Comprehensive evaluation

0 引言

天然气分布式能源 (Distributed Energy Resource, DER) 系统是在采用清洁能源和提高常规能源利用率的背景下提出的一种供能技术^[1], 在发达国家使用较早, 而在国内处于战略规划和推广应用的阶段。由于目前我国一次能源消费仍以煤炭为主, 清洁能源消费比例还较低^[2-3], 为抑制环境恶化和维护经济的可持续发展^[4-5], 使用天然气分布式能源系统有着重要的现实意义, 因此天然气分布式能源系统在国内具备较大的开发潜力^[6]。

目前, 国内对天然气分布式能源已进行了部分研究。张涛等^[7]调研了不同地区、不同建筑的能源负荷需求, 获得了影响分布式能源系统经济学的因素。晁亮亮等^[8]以内部收益率为指标建立了天然气分布式能源系统的经济评价模型并分析了在有无补贴政策下系统的投资回报。王雁凌等^[9]研究了天然气分布式能源项目的补贴机制, 提出了基于内部收益率的分阶段补贴测算模型, 并分析了获益情况。吴凯槟等^[10]重点研究了分布式能源在环保方面的敏感性问题, 分析了 CO_2 、 NO_x 等的减排对收入和环境的影响。张吉等^[11]综合比较了天然气分布式能源系统与火力发电厂的优势以及对区域大气环境的影响。李波等^[12]基于不同市场类别研究了天然气分布式能源的开发条件, 提出地市级大型早期市场应推广分布式能源项目的结论等。虽然目前天然气分布式能源系统在技术层面已成熟, 但在应用层面还需给出综合性意见以便推广使用, 因此本文针对天然气分布式系统的整体适用性进行评估方法的研究。

天然气分布式系统的适用性需要针对使用对象考虑多方面因素, 并结合定量准则进行综合性评估, 但分布式能源系统的设备结构复杂, 其能效、经济、环保等特性交互影响使得实现精确评估较为困难。因此, 本文从经济性、能效性、环境性、可靠性、能质性 5 个维度出发, 构建适用性评估体系, 考虑指标间互相关性的影响, 应用集对分析理论建立天然气分布式能源系统的适用性评估模型, 为天然气分布式能源系统的实际推广建设提供参考。

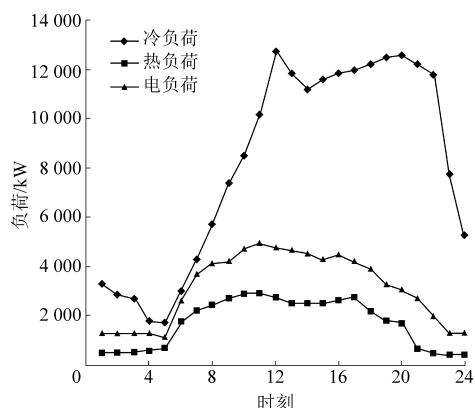
1 研究对象与方法

1.1 研究对象

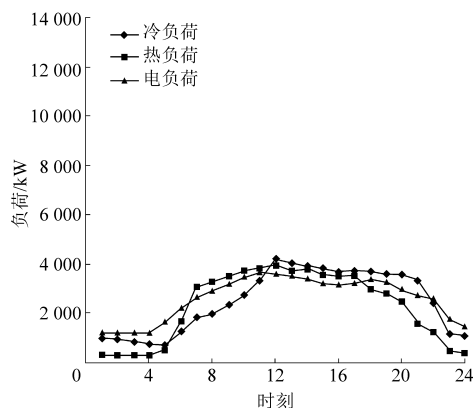
陕西省天然气资源丰富, 随着“气化陕西”工

程等行动的推进, 需要利用天然气代替部分煤炭供能, 天然气分布式能源系统正是重点推行的解决方式。西安某星级酒店占地面积 1.5 万 m^2 , 建筑面积 12.4 万 m^2 , 现为节能减排、缓解用电紧张以及改善投资效益, 拟对其进行天然气分布式能源系统规划改造。

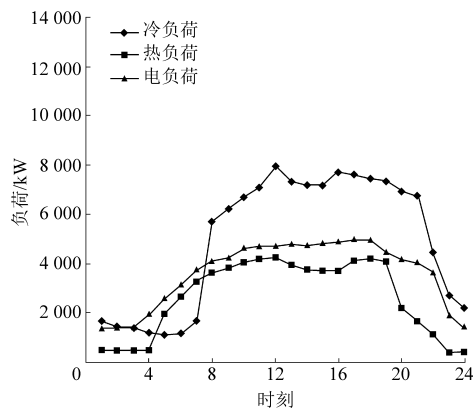
根据该酒店历史能耗数据及设备运行记录绘制不同时节单日冷热电负荷示意曲线如图 1 所示。



(a) 夏季典型日



(b) 冬季典型日



(c) 过渡季典型日

图 1 单日冷热电负荷曲线

Fig.1 Curves of cooling electric load and thermal electric load

已有研究表明热电比大于 1.5 时宜采用燃气轮机与蒸汽余热锅炉形式^[13],因此对该酒店采用燃气轮机、余热锅炉和吸收式制冷机组的热电联供系统,系统的工作运行流程示意图和设备性能参数分别如图 2 和表 1 所示。

1.2 分析方法

1.2.1 分布式能源系统适用性评估体系

(1) 评估指标

从天然气分布式能源系统的物质流、资金流和能量流进行考虑,确定影响适用性的因素,建立系统评估指标体系如图 3 所示。

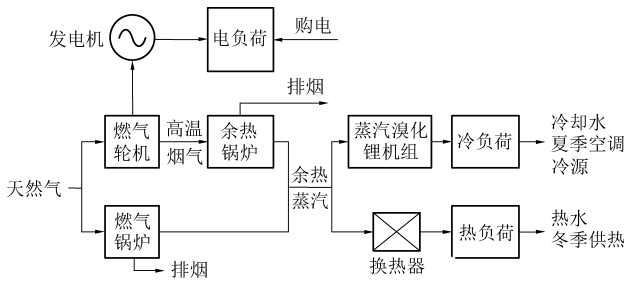


图 2 天然气分布式能源系统工作示意图
Fig.2 Flow diagram of the natural gas distributed energy system

表 1 设备性能参数
Table 1 Parameters of the equipment

1.燃气轮机	发电功率/kW	燃烧温度/℃	燃烧热耗/ (kJ·(kW·h) ⁻¹)		排气温度/℃	燃料流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)
	1 854	980	13 846		573	764
2.余热锅炉	排烟温度/℃	余热利用率/%	烟气温 度/℃	饱和蒸汽 温度/℃	额定蒸汽流 量/(t·h ⁻¹)	额定蒸汽压力/MPa
	110	81.66	577	170	6	1.25
3.蒸汽溴化锂制冷机	制冷量/kW	蒸汽消耗/(t·h ⁻¹)	蒸汽压力/MPa	每天运行时间/h	年运行天数/d	
	1 800	1.9	0.6	8	120	
4.燃气锅炉	排烟温度/℃	设计热效率/%	额定蒸汽压力/MPa	额定蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	饱和蒸汽温度/℃	
	90	93	1.25	15	193	

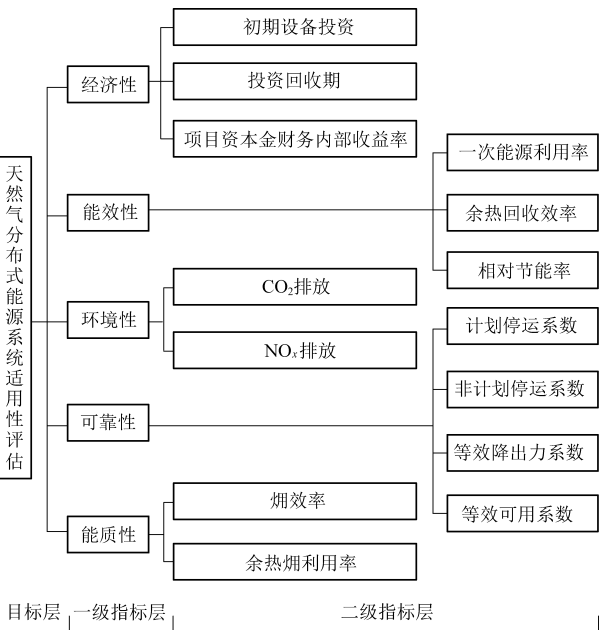


图 3 天然气分布式能源系统适用性评估指标
Fig.3 Applicability evaluation indexes of the natural gas distributed energy system

一级指标中,经济性指标集是从资金流的角度体现天然气分布式能源系统的设备投资、能耗成本等信息。能效指标集是从能量流的角度体现

系统热力学性能,反映了系统主要流程、相关设备的能源利用情况及能效水平。环境性指标集体现了国家环保政策对系统排污量的强制性控制程度。可靠性指标集考查了系统能源供给的可靠性。能质性指标集从热力学第二定律考查系统能量的可利用程度。

二级指标中,初期设备投资指系统最初的硬件设备总投资费用;投资回收期是系统投产后获得的收益总额达到投入的投资总额所需要的年限;资本金财务内部收益率是指系统项目在整个计算期内各年财务净现金流量的现值之和等于零时的折现率;一次能源利用率指系统输出能量与一次能耗量的比值;余热回收率指系统可回收利用的余热资源占余热总资源的比例;相对节能率指系统节约能耗相对于火力发电系统、燃煤锅炉等传统供能系统下能耗的比值;计划停运系数是系统计划停运小时与统计期间小时的比值;非计划停运系数是指非计划停运小时与统计期间小时的比值;等效降低出力系数是给定时间内系统的降低出力等效停运小时与该给定时间比值的百分数;等效可用系数指系统可用小时减去降低出力

等效停运小时与系统统计期间小时的比例;烟效率指系统中烟的转换、利用和损失情况;余热烟利用率指系统可回收利用的余热资源中烟的利用效率。同时系统的污染物主要来源于燃气轮机、燃气锅炉等,包括 NO_x 和 CO_2 。

(2) 评估等级

普通人进行判别时有效区别的数量在 5~9 之间^[14],基于《“十四五”节能减排综合工作方案》以及《中国节能减排行业发展战略及十四五规划建议报告》等资料将分布式能源系统的适用性评估结果分为 5 个等级,语言表达分别为:

I 级:特别适合,与传统供能方式相比节能减排效果、经济效益可观(例如标煤节能 15% 以上,投资回收期 5 a 以下);

II 级:比较适合,与传统供能方式相比节能减排效果可观、经济效益可取(例如标煤节能 15% 以上,投资回收期 5 a 以上);

III 级:适合,与传统供能方式相比节能减排效果、经济效益可取(例如标煤节能 0~15%,投资回收期 5 a 以上);

IV 级:不太适合,与传统供能方式相比节能减排效果、经济效益无明显优势(例如标煤节能 0~5%,投资回报率低),需要不断政策性补贴进行维持。

V 级:特别不适合,节能减排效果、经济效益远不如传统供能方式。

1.2.2 分布式能源系统适用性评估模型

(1) 集对分析理论

基于评估指标和评估等级,采用集对分析理论建立评估模型^[15],针对系统适用性评估指标和评估等级之间的复杂关系,集对分析建模如下:

① 存在集合 A, B 是一个集对,此时 A 和 B 为适用性评估指标和评估等级, A, B 的联系度 μ 计算如下:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F_1}{N}i_1 + \frac{F_2}{N}i_2 + \cdots + \frac{F_m}{N}i_m + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式(1)中: N 为集对包含的特征总数; S, P, F_m 分别为两个集合共同特征数、对立特征数以及既不共同也不对立的特征数, $S/N, F_m/N, P/N$ 分别称作集对的同一度、差异度、对立度; i 为差异度系数,取值 $[-1, 1]$, j 为对立度系数。

② 由于系统包含多个评估指标,而各指标的影响效果各不相同,因此需要对各评估指标作集对分析,得到第 n 项指标的联系度 μ_n 。为综合反

映所有评估指标的影响,需要考虑各评估指标联系度的权重以计算平均联系度 μ_a :

$$\mu_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_n \mu_n) \quad (2)$$

式(2)中: n 为特征数量, w_n 为 μ_n 的权重。

(2) 指标权重确定

由式(2)可知计算 μ_a 的关键是指标权重 w_n ,权重关系到最终评估结果的可靠性,本文应用 AHP 法计算权重^[16]。

① 构造判断矩阵

$$H = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中: H 为判断矩阵, x_{ij} 为指标 x_i 相对于 x_j 的相对重要性值, $i, j=1, 2, 3, \cdots, n$ 。

② 计算重要性排序

根据判断矩阵求最大特征根对应的特征向量:

$$H \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (4)$$

式(4)中: $\lambda_{\max}$ 为最大特征根, w 为对应特征向量, w 通过归一化为各评估指标的权重分配,即权值。

③ 一致性检验

得到的权值是否合理需要进一步对判断矩阵进行一致性检验:

$$CR = CI/RI \quad (5)$$

式(5)中: CR 为判断矩阵的一致性比值; CI 为一般一致性指标; $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$; RI 为平均随机一致性指标,查表得到。

(3) 级别判断方法

使用级别特征值来判断适用性等级,计算方法如下:

$$s = \sum [a \cdot 1 + b_1 \cdot 2 + b_2 \cdot 3 + \cdots + b_{K-2} \cdot (K-1) + c \cdot K] \quad (6)$$

式(6)中: $a, (b_1, b_2, b_3, \cdots, b_{K-2}), c$ 为最终联系度中的同一度、差异度和对立度。可知特征值范围为 $[1, K]$, 1 表示最好情况, K 表示最坏情况,因此特征值对应级别的认定方式如下: 1 级: $[1, 1.5)$, 2 级: $[1.5, 2.5)$, $\cdots$, $K-1$ 级: $[K-1.5, K-0.5)$, K 级: $[K-0.5, K]$ 。

2 结果与分析

由图 2 可知,燃气轮机通过消耗天然气输出机械功带动发电机组发电,所发电负荷满足酒店

自耗,不足电量从电网购买;余热锅炉回收燃气轮机排出热量并将产生的蒸汽用于冬季直接供暖和作为夏季蒸汽型溴化锂制冷机组的驱动热源;当余热不足时,可由燃气锅炉补足。从图 1 中可知,酒店内冬季典型日用电最高负荷为 3 750 kW,夏季用电最高负荷为 5 000 kW,因此需要 2 台燃气轮机设备,发电量能够全部被酒店自耗,无需蓄能设备。具体运行时昼日需开启燃气轮机、余热锅炉、蒸汽溴化锂机组和燃气锅炉各 2 台,夜晚只需开启 1 台燃气轮机和 1 台余热锅炉即可满足负荷需求;在某些高峰时段还需开启 1 台燃气锅炉提供额外的蒸汽需求。

2.1 指标权重赋值

邀请专家给出指标相对重要性值见表 2。计算一级指标层各权重值分别为:0.295 3、0.071 9、0.379 9、0.090 5、0.162 4;一致性比例值: $CR = 0.084\ 7 < 0.1$,满足一致性检验^[17],说明权重有效可取,最终求得权值见表 3。

表 3 指标权值

Table 3 Weight values of indexes

指标	权重	指标	权重	指标	权重
初期设备投资	0.098 4	相对节能率	0.024 0	NO _x 排放	0.190 0
投资回收期	0.098 4	CO ₂ 排放	0.190 0	计划停运系数	0.022 6
财务内部收益率	0.098 4	炯效率	0.081 2	非计划停运系数	0.022 6
一次能源利用率	0.024 0	余热炯效率	0.081 2	等效降低出力系数	0.022 6
余热回收率	0.024 0	等效可用系数	0.022 6	/	/

各指标实际值和归一化值见表 4。其中初期投资参考相关案例设定最大心理数额为 4 000 万元,投资回收期一般为 4~10 a,财务内部收益率以保守

表 2 一级指标层相对重要性

Table 2 Relative importance of the first-level index layer

指标	经济性	能效性	环境性	可靠性	能质性
经济性	1	4	1/2	6	2
能效性	1/4	1	1/3	1/2	1/3
环境性	2	3	1	3	4
可靠性	1/6	2	1/3	1	1/3
能质性	1/2	3	1/4	3	1

2.2 计算评估结果

对指标进行评估等级划分。考虑到实际合理性,设初期设备投资、投资回收期、财务内部收益率符合为高斯分布,分别以(0, 0.022 7]、(0.022 7, 0.157 6]、(0.157 6, 0.840 2]、(0.840 2, 0.976 1]、(0.976 1, 1]区间划分为 5 个等级;其余指标则均匀划分。此外,需注意初期设备投资、投资回收期、CO₂排放、NO_x排放、计划停运系数、非计划停运系数、等效降低出力系数属于成本型指标,其他指标属于效益型指标。

经验值设最大为 10%,CO₂和 NO_x以常规燃煤火力发电的排放量为基准:CO₂最大为 813 g/(kW·h), NO_x最大为 2.68 g/(kW·h)。

表 4 指标实际值和归一化值

Table 4 Actual values and normalization values of the indexes

指标	实际值	归一化值	指标	实际值	归一化值
初期设备投资/万元	2 939.95	0.735 0	NO _x 排放/(g·(kW·h) ⁻¹)	1.04	0.374 1
投资回收期/年	6.61	0.565 0	计划停运系数/%	4.57	0.045 7
财务内部收益率/%	8.08	0.808 0	非计划停运系数/%	0.31	0.003 1
一次能源利用率/%	78.96	0.789 6	等效降低出力系数/%	0.53	0.005 3
余热回收率/%	81.66	0.816 6	等效可用系数/%	94.59	0.945 9
相对节能率/%	19.30	0.193 0	炯效率/%	48.00	0.480 0
CO ₂ 排放/(g·(kW·h) ⁻¹)	580	0.713 4	余热炯效率/%	79.9	0.799 0

基于各指标值和评估等级,建立指标联系度:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j & x \in [S_1, +\infty] \\ \frac{x - S_2}{S_1 - S_2} + \frac{S_1 - x}{S_1 - S_2}i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j & x \in [S_2, S_1] \\ 0 + \frac{x - S_3}{S_2 - S_3}i_1 + \frac{S_2 - x}{S_2 - S_3}i_2 + 0i_3 + 0j & x \in [S_3, S_2] \\ 0 + 0i_1 + \frac{x - S_4}{S_3 - S_4}i_2 + \frac{S_3 - x}{S_3 - S_4}i_3 + 0j & x \in [S_4, S_3] \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + \frac{x - S_5}{S_4 - S_5}i_3 + \frac{S_4 - x}{S_4 - S_5}j & x \in [S_5, S_4] \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 1j & x \in [0, S_5] \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 分别为1到5级分级的极限值, x 为指标实际值。根据式(1)和(2)以及指标权重计算得联系度: $u_a = 0.178i + 0.353 \ 2i_1 + 0.362 \ 2i_2 + 0.178 \ 2i_3 + 0j$ 。进一步由式(6)计算得到判断结果为: $s = 2.683 \ 8$,为III级适合。

2.3 结果分析

该酒店进行天然气分布式能源适用性评估结果为:2.683 8级适合,可认为从节能减排、投资收益等角度值得投资改造。同时从权值分析发现对适用性影响较大的指标集为经济性和环境性,分析如下:

(1)环境性指标权值最大,表明分布式系统在该酒店的运行以节能减排为重,由前述数据计算可得该分布式系统的年有效发电时间为6 214.56 h,有效年发电量2 304.36 万(kW·h),年供饱和蒸

汽8万t,热电比为2.42,计算出耗能数据见表5。可知该系统可以减小1 735.26吨标准煤(tce),节能率为12.35%,相当于减排CO₂4 811.00 t,NO_x65.07 t,SO₂:131.4 t,环保效益显著。

表5 能耗数据

	耗能		折算标准煤/tce	
	传统	分布式	传统	分布式
耗电量/万(kW·h)	0	635.64	0	781.20
耗气量/万Nm ³	198.04	949.58	2 404.80	11 530.80
耗煤量/t	16 305.97	0	11 642.46	0
总计	/	/	14 047.26	12 312

(2)经济性一般包含:初投资年等值费用、耗能费用和维护费用。取年利率为0.07,设备使用年限为15 a,西安市天然气均价约2.3元/Nm³,电价0.714 6元/(kW·h)。根据冷热电负荷估算传统单独供能方式需费用3 530.53万元,计算各项费用具体见表6,可以看出分布式能源系统的年度运行费用低于传统供能方式,简单投资回收期约6.61 a,经济效益可观。

同时需要注意的是对于经济效益,本文相关指标数据是在假设不含政府投资奖励、优惠贷款、减免税收以及温室气体减排政策支持的前提下得到的。因此若包含上述各项优惠政策,最终适用性评估结果必然更加可取,也表明初期推广天然气分布式能源系统的应用需要各级政府在法律法规、融资补贴等方面给予一定支持。

表6 分布式系统年运行费用

Table 6 Annual operating cost of the distributed energy system

设备	额定容量/kW	初投资成本/(元·kW ⁻¹)	维护成本/(元·(kW·h) ⁻¹)
燃气轮机	2 318	5 533	0.03
余热锅炉	700	1 100	0.002 16
蒸汽溴化锂制冷机	2 908	1 070	0.009 70
燃气锅炉	700	800	0.002 16
相关运行费用/万元			
初投资等值费用	368.61	维护费用	15.05
总出投资费用	3 357.11	年度运行费用	3 021.92
耗能费用	2 638.26	简单投资回收期	6.61 年

3 结 论

在推广建设清洁能源供能系统的背景下,本文研究了天然气分布式能源的适用性评估模型,

通过实例计算与分析得到以下结论:

(1)建立了天然气分布式能源系统适用性评估体系,包含经济性、能效性、环境性、可靠性、物质性5方面特性的指标集,有效反映了使用天然

气分布式能源系统时需要关注的影响因素。

(2)集对分析理论能够处理分布式系统指标间互相关性的影响,级别特征值考虑了所有隶属单位对联系度的贡献度,精确了系统整体适用性评估的结果。

(3)环境性和经济性对系统适用性的推广建设具有较大影响,与传统供能相比天然气分布式能源系统的节能率为12.35%,年度运行费用减少508.61万元,简单投资回收期6.61 a。

参考文献

- [1] 王雁凌,李蓓,崔航.天然气分布式能源站综合价值分析[J].电力系统自动化,2016,40(1):136-142.
WANG Yanling, LI Bei, CUI Hang. Comprehensive value analysis for gas distributed energy station [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40 (1): 136-142.
- [2] 魏巍贤,马喜立.能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J].中国人口·资源与环境,2015,25(7):6-14.
WEI Weixian, MA Xili. Optimal policy for energy structure adjustment and haze governance in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25 (7): 6-14.
- [3] 滕吉文,乔勇虎,宋鹏汉.我国煤炭需求、探查潜力与高效利用分析[J].地球物理学报,2016,63(12):4633-4653.
TENG Jiwen, QIAO Yonghu, SONG Penghan. Analysis of exploration, potential reserves and high efficient utilization of coal in China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 63 (12): 4633-4653.
- [4] 杨建红.中国天然气市场可持续发展分析[J].天然气工业,2018,38(4):144-151.
YANG Jianhong. Analysis of sustainable development of natural gas market in China [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38 (4): 144-151.
- [5] 贾林娟.低碳经济发展影响因素及路径设计[J].科技进步与对策,2014,31(3):26-29.
JIA Linjuan. The influence factors and path design of low carbon economic development [J]. Science and Technology Progress and Policy, 2014, 31 (3): 26-29.
- [6] 李琼慧,叶小宁,胡静,等.分布式能源规模化发展前景及关键问题[J].分布式能源,2020,5(2):1-7.
LI Qionghui, YE Xiaoning, HU Jing, et al. Outlook and critical issues of large-scale development on distributed energy resources [J]. Distributed Energy, 2020, 5 (2): 1-7.
- [7] 张涛,胡泽春,张丹阳.楼宇综合能源系统容量配置优化[J].电力建设,2019,40(8):3-11.
ZHANG Tao, HU Zechun, ZHANG Danyang. Study on optimal capacity planning of building integrated energy system [J]. Electric Power Construction, 2019, 40 (8): 3-11.
- [8] 晁亮亮,刘青荣,阮应君.天然气分布式能源系统的能源价格策略研究[J].热能动力工程,2017,22(6):7-11+129.
CHAO Liangliang, LIU Qingrong, RUAN Yingjun. Study on energy price strategy for natural gas distributed energy system [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2017, 22 (6): 7-11+129.
- [9] 王雁凌,徐丹蕾,马洪宇,等.天然气分布式能源分阶段补贴机制[J].电力系统自动化,2018,42(4):202-207.
WANG Yanlin, XU Danlei, MA Hongyu, et al. Mechanism of subsidy by stages for natural gas distributed energy resource [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42 (4): 202-207.
- [10] 吴凯槟,许朝阳,邱泽晶,等.燃气分布式能源的多目标敏感性分析研究[J].中国电力,2016,49(4):141-145.
WU Kaibin, XU Chaoyang, QIU Zejing, et al. Multi-objective sensitivity analysis of gas-fired distributed energy resource [J]. Electric Power, 2016, 49 (4): 141-145.
- [11] 张吉,魏子章,孙晓蓉,等.分布式能源站对区域大气环境影响分析[J].城市环境与城市生态,2013,26(1):18-21.
ZHANG Ji, WEI Zizhang, SUN Xiaorong, et al. Impact of distributed energy stations on regional atmospheric environment [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2013, 26 (1): 18-21.
- [12] 李波,张科,王丹,等.省域天然气市场开发策略探析——以陕西省为例[J].天然气工业,2016,36(3):144-119.
LI Bo, ZHANG Ke, WAGN Dan, et al. Development strategies of provincial natural gas markets in China: A case study of Shaanxi Province [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36 (3): 144-119.
- [13] 何吉民.天然气热电联产项目模拟分析及评价方法的研究[D].上海:上海交通大学,2006:30-31.
- [14] Miller G A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information [J]. Psychological Review, 1956, 63 (2): 81-97.
- [15] 赵克勤,宣爱理.集对论——一种新的不确定性理论与应用[J].系统工程,1996,14(1):18-23.
ZHAO Keqin, XUAN Aili. Set pair theory: A new theory method of non-define and its applications [J]. Systems Engineering, 1996, 14 (1): 18-23.
- [16] 金菊良,魏一鸣,付强,等.计算层次分析法中排序权值的加速遗传算法[J].系统工程理论与实践,2002,22(11):39-43.
JIN Juliang, WEI Yiming, FU Qiang, et al. Accelerating genetic algorithm for computing rank weights in analytic hierarchy process [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2002, 22 (11): 39-43.
- [17] 李勇,丁日佳,王如燕,等.AHP判断矩阵的一致性检验与修正[J].统计与决策,2007,23(8):29-30.
LI Yong, DING Rijia, WANG Ruyan, et al. Consistency check and correction of judgment matrix in analytic hierarchy process [J]. Statistics and Decision, 2007, 23 (8): 29-30.