

综合能源服务水平评价的 ANP 方法

迟福建¹, 葛磊蛟², 汪宇倩², 何平¹, 王哲¹, 李桂鑫¹

(1. 国网天津市电力公司, 天津 300055;

2. 天津大学电气自动化与信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 综合能源服务是电网企业未来业务转型的重要方向。针对综合能源服务水平影响因素多而定量分析难的问题, 本文中提出了一种基于网络层次分析法(ANP)的综合能源服务水平综合评估方法。首先, 从管理水平、经济效益、运营效果、社会影响、可持续发展水平 5 个方面构建了综合能源服务水平综合评价指标体系, 共包含 5 个一级指标和 16 个二级指标; 其次, 为实现综合评价, 选用 ANP 方法求解所提出的综合能源服务水平评价指标的对应权重; 最后, 通过典型案例分析, 获知综合能源服务水平综合评估过程中, 经济效益和运营效果为一级指标中的关键因素, 二级指标中的能源转换效率、网络综合损耗程度、用户舒适度和地区经济影响水平是重要指标, 以期为未来综合能源服务提供商的运营和发展提供借鉴。

关键词: 综合能源服务系统; 服务水平; 综合评估; 指标权重

DOI: 10.12067/ATEEE1902023

文章编号: 1003-3076(2020)05-0066-08

中图分类号: TM7

1 引言

随着分布式储能、微电网、电动汽车的不断接入, 云计算、大数据、物联网、移动互联网和人工智能等技术的迅速发展, 能源互联已成为时代发展的必然趋势, 综合能源服务应运而生^[1-5]。相比于传统能源服务, 综合能源服务不仅实现了石油、煤炭、天然气等多种能源资源的整合, 还能够提供以客户为中心开展的运营、投资、工程等多种服务^[6,7]。

欧洲已经投入了大量资金和人力成本开展综合能源服务的相关研究^[8,9], 我国也积极从事相关技术开发和规划设计^[10,11]。文献[12]提出了一个多目标优化模型, 其中包含代表电力和燃气网络利益的目标以及分布式区域供热和制冷单元, 以协调参与综合能源系统的各方利益。文献[13]构建了分布式能源系统的指标评价矩阵, 证明光伏系统在运营成本、节约能源和减少环境有害物质排放等方面具有很大优势。文献[14]通过构建统一的度量标尺, 从技术、经济、效率、可靠性等方面展开研究和调查, 较为全面地评价综合能源系统的各个环节。文献

[15]将区域综合能源系统的内部能源之间的耦合关系纳入区域综合能源系统的综合评估要素中, 主要从能源、装置、配电网和用户方面选取评估指标。

目前, 已有文献主要集中于综合能源服务的技术开发、规划设计和稳态分析, 对其服务水平评价方面的研究相对较少^[16,17], 可再生能源消纳、能源系统全面规划等问题仍有待解决^[18]。鉴于现阶段关于综合能源服务水平的评估指标体系尚不完善, 本文着眼于综合能源服务的管理水平、经济效益、运营效果、社会影响和可持续发展水平, 将多重因素纳入考虑范畴, 构建一个综合能源服务水平的评估指标体系, 结合模糊综合评价法, 通过网络层次分析法 (Analytic Network Process, ANP) 实现对综合能源服务水平的综合评价, 并获取其评价过程中的各级关键指标, 以期为传统电网公司就综合能源服务商的决策、投资、施工管理等提供建议。

2 综合能源服务水平的评估指标体系

随着分布式能源、天然气、电热能、交通等能源系统的相互融合, 综合能源服务被赋予了更加重要

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0903300)、国家电网公司科技项目(SG-ZX2018-01)

作者简介: 迟福建(1979-), 男, 内蒙古籍, 高级工程师, 硕士, 研究方向为电力系统规划与运行;

葛磊蛟(1984-), 男, 湖北籍, 讲师, 博士, 研究方向为智能配用电、大数据等(通讯作者)。

的意义。高质量的服务管理水平是综合能源服务系统高效工作的保障,经济效益是发展综合能源服务项目的根本目的,运营效果是衡量综合能源服务的重要指标,良好的社会影响是其在新时代背景下需要承担的社会责任,可持续发展是顺应时代发展的必然要求。

为了具体全面地掌握综合能源服务的运行情

况,对综合能源服务水平进行合理化、系统化的评估,本文立足于综合能源服务规划建设至运行维护的各个环节,综合考虑管理水平、经济效益、运营效果、社会影响、可持续发展水平等多项原则,构建了一个综合能源服务水平的评估指标体系,详细指标如表 1 所示。

表 1 综合能源服务水平的评估指标体系

Tab.1 Evaluation index system for integrated energy service level

一级指标	二级指标	评价内容
管理水平 A	前期准备工作 A_1	服务流程中的各项控制、管理工作及时效情况
	建设管理水平 A_2	
	流程对接效率 A_3	
经济效益 B	投资运维成本 B_1	对项目的投资是否合理使用和运营维修成本高低的评价
	财务效益完成率 B_2	与流程对接前比较,项目规划设计的指标效益实现程度的评价
	国民经济贡献率 B_3	综合能源服务项目对国民经济的净贡献情况
运营效果 C	能源转换效率 C_1	不同类型能源在服务项目中的贡献
	网络综合损耗程度 C_2	综合能源网络的损耗情况,体现了能源供给可靠性和经济性
	配电网负荷率 C_3	评价配电系统承受大负荷运行的能力及设备是否得到最大利用
	平均故障率 C_4	在单位工作时间内设备的平均故障率
社会影响 D	能源需求率 D_1	多种能源是否能够被用户消费及用户的用能体验
	舒适度指数 D_2	消费者对能源服务的满意度
	地区经济影响水平 D_3	综合能源建设对当地经济的推动影响
可持续发展水平 E	可再生能源渗透率 E_1	清洁能源的使用情况
	环境污染排放水平 E_2	颗粒物、碳氮氧化物等排放物水平的改善情况
	社会资源浪费改善程度 E_3	多种能源对接综合管理之后资源浪费情况的变化

2.1 管理水平 A

综合能源服务将能源供应方、能源转化、能源存储及能源传输到最后用户的用电服务等环节的信息整合于一体。管理水平直接反映了能源系统服务机制和服务架构的合理性,其评价影响因素主要包含前期准备工作 A_1 、建设管理水平 A_2 和流程对接效率 A_3 ,实现了对服务流程中各项控制、管理工作以及时效情况进行评价。

(1)前期准备工作 A_1 。该指标反映了工作人员对综合能源服务系统的资料准备情况以及对相关项目的了解程度。相关资料及项目细节愈清晰,前期准备工作越充分,若项目所有涉及可研、详细设计、工程施工、运行维护等资料准备齐全,则其评价得分为满分。

(2)建设管理水平 A_2 。该指标反映了综合能源服务系统的相关设备及人员配置情况,其建设管理水平与设备性能和管理人员质量成正比。

(3)流程对接效率 A_3 。该指标反映了综合能源服务中能源供应、能源转化、能源存储、能源传输等

环节的所需时间,对接耗时越少,流程对接效率越高。

2.2 经济效益 B

经济利益最大化是众多企业致力于追求的目标,因而选取投资运维成本 B_1 、财务效益完成率 B_2 、国民经济贡献率 B_3 三个指标作为经济效益评价的主要标准。

(1)投资运维成本 B_1 。该指标反映了建成综合能源服务企业所投入的先进设备投资成本及运维成本之和。其计算公式为:

$$B_1 = M_d + M_o \quad (1)$$

式中, M_d 为建成综合能源服务企业投入先进设备的投资成本; M_o 为综合能源服务企业的运维成本。

(2)财务效益完成率 B_2 。该指标反映了项目规划设计的指标效益实现程度,是企业综合能源服务流程绩效最直观的表现。其计算公式为:

$$B_2 = \frac{B_s}{B_g} 100\% \quad (2)$$

式中, B_s 为该能源项目实际完成的指标效益; B_g 为

该能源项目规划设计的指标效益。

(3) 国民经济贡献率 B_3 。该指标反映了财政方面综合能源服务项目对国民经济的净贡献。其计算公式为:

$$B_3 = \frac{B_p}{B_c} 100\% \quad (3)$$

式中, B_p 为指定综合能源服务项目的经济收益; B_c 为同期的国民经济效益。

2.3 运营效果 C

高标准的能源服务流程设计是电力公共事业的支柱之一, 其运营效果关系着社会的安全和稳定。运营效果主要从能源转换效率 C_1 、网络综合损耗程度 C_2 、配电网负荷率 C_3 和平均故障率 C_4 对其进行评价。

(1) 能源转换效率 C_1 。该指标反映了能源转换设备所输出的可利用能量相对其输入能量的比值, 是整个流程、内部能源结构是否合理的重要依据。其计算公式为:

$$C_1 = \frac{Q_i}{Q_o} 100\% \quad (4)$$

式中, Q_i 为能源转换设备的输入能量; Q_o 为能源转换设备的输出能量。

(2) 网络综合损耗程度 C_2 。该指标反映了综合能源网络的损耗情况, 是体现能源供给可靠性和经济性的重要指标。其计算公式为:

$$C_2 = \frac{Q_l}{Q_t} 100\% \quad (5)$$

式中, Q_l 为综合能源网络的损耗能量; Q_t 为综合能源网络的初始传送能量。

(3) 配电网负荷率 C_3 。该指标反映了配电系统承受大负荷运行的能力及设备是否得到最大利用。其计算公式为:

$$C_3 = \frac{L_a}{L_m} 100\% \quad (6)$$

式中, L_a 为配电系统在指定时间内的平均负荷; L_m 为配电系统在指定时间内的最大负荷。

(4) 平均故障率 C_4 。该指标反映了在单位工作时间内发生故障的设备数目与参与运行的设备总数之比。其计算公式为:

$$C_4 = \frac{N_f}{N_t} 100\% \quad (7)$$

式中, N_f 为单位工作时间内故障设备数目; N_t 为单位工作时间内投入运行的设备总数。

2.4 社会影响 D

综合能源服务旨在给企业或普通居民用户提供更优质高效、灵活可靠的能源服务, 提高用户的生活工作质量。无论是社会企业还是个人的工作都离不开能源的使用, 合理的能源供应可以帮助清除地区发展过程中的障碍, 推进区域经济的发展进程。可以通过对能源需求率 D_1 、舒适度指数 D_2 和地区经济影响水平 D_3 这三个指标实现对社会影响指标的评价。

(1) 能源需求率 D_1 。该指标反映了多种能源是否能够被用户消费及用户的用能体验。其计算公式为:

$$D_1 = \frac{E_x}{E_T} 100\% \quad (8)$$

式中, E_x 为特定区域内用户所消耗的能源总量; E_T 为特定区域所提供的能源总量。

(2) 舒适度指数 D_2 。该指标反映了消费者对多种能源服务的满意度, 加热、通风、冷却装置最能影响感官舒适度, 本文用其代表整体的用能舒适度。其计算公式为:

$$D_2 = \frac{T_d}{T_m} 100\% \quad (9)$$

式中, T_d 为空调负荷的当前温度; T_m 为用户设置的空调负荷的目标温度(可选取指定时期内的典型数值)。

(3) 地区经济影响水平 D_3 。该指标反映了综合能源建设对当地经济的推动影响。其计算公式为:

$$D_3 = \frac{B_p}{B_z} 100\% \quad (10)$$

式中, B_p 为指定综合能源服务项目的经济收益; B_z 为服务项目覆盖地区的同期经济收益。

2.5 可持续发展水平 E

能源环境的可持续是发展综合能源的一个重要目标。可再生能源渗透率 E_1 、环境污染排放水平 E_2 、社会资源浪费改善程度 E_3 是用来评估能源可持续发展潜力的重要指标。

(1) 可再生能源渗透率 E_1 。该指标反映了可再生能源发电使用量在综合能源服务项目总消耗电量中所占的比值。其计算公式为:

$$E_1 = \frac{E_d}{E_c} 100\% \quad (11)$$

式中, E_d 为综合能源服务项目中可再生能源的发电使用量; E_c 为项目的总消耗电量。

(2)环境污染排放水平 E_2 。该指标反映了因多种能源使用造成的颗粒物、碳氮氧化物等污染排放放在当地污染排放量中的占比。其计算公式为:

$$E_2 = \frac{P_z}{P_w} 100\% \quad (12)$$

式中, P_z 为综合能源引起的污染排放量; P_w 为特定区域内的整体污染排放量。

(3)社会资源浪费改善程度 E_3 。该指标反映了多种能源对接综合管理之后资源浪费情况的变化。其计算公式为:

$$E_3 = \frac{P_q - P_h}{P_q} 100\% \quad (13)$$

式中, P_q 为项目执行前的能源污染排放量; P_h 为综

合能源项目实施后的能源污染排放量。

3 ANP 评估方法

为全面考虑综合能源服务水平评价系统中各元素之间的相互关系,构建如图 1 所示的 ANP 评价指标网络模型。该模型由控制层和网络层构成,控制层包括问题目标及决策准则,所有的决策准则均被认为是彼此独立的,且仅受目标元素支配;网络层各项指标之间不是独立的,而是存在复杂的影响关系,这种影响关系基于是否存在“有影响-没有影响”与“有影响-有影响”的关系。若指标间相互影响,则通过双向箭头连接这两个指标;若两指标之间的影响是单向的,则用单向箭头表明其中的影响关系。

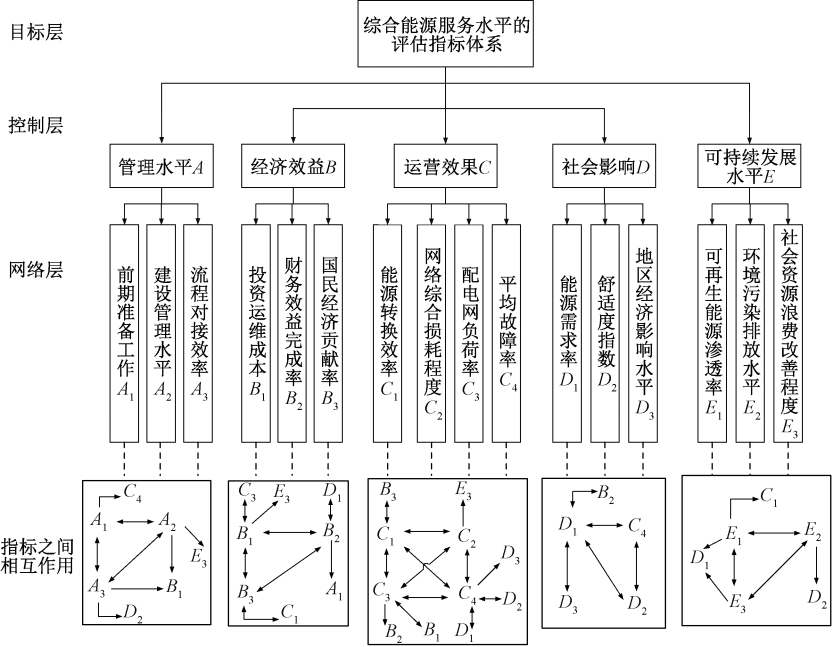


图 1 综合能源项目绩效评价模型

Fig.1 Comprehensive evaluation model of integrated energy project performance

3.1 评价指标论域 X 和等级论域 Y 的建立

令评价指标论域 $X = \{A, B, C, D, E\}$, 相应的评价等级论域 $Y = \{\text{很差}, \text{差}, \text{一般}, \text{好}, \text{很好}\}$ 。

3.2 基于 ANP 评价模型的求解

为解决指标之间的相互交叉影响,本文采用 ANP 方法来求解各级指标所对应权重,具体步骤如下。

(1)建立判断矩阵

邀请 N 名专家分别对每项指标的相对重要性作出判断,使用 9 级标度法^[19]构造判断矩阵,其中 9 级标度法的评分标度如表 2 所示。

表 2 判断矩阵的标度定义

Tab.2 Scale definition of judgment matrix	
标度值	标度含义
1	i 元素与 j 元素同等重要
3	i 元素与 j 元素稍微重要
5	i 元素与 j 元素明显重要
7	i 元素与 j 元素强烈重要
9	i 元素与 j 元素极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间标度值
倒数	若 i 元素与 j 元素之间的比标度为 a_{ij} , 则 j 元素与 i 元素之间的比标度为 a_{ji}

(2) 求解最大特征值和一致性检验

由于每位专家的判断和评价都带有主观性,这对判断矩阵造成的影响不容忽视,因此还需对判断矩阵进行一致性检验。需要得到判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和一致性比率 $C.R.$,其计算公式如下:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nw_i} \quad (14)$$

$$C.R. = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{RI(n-1)} \quad (15)$$

式中, BW 为判定矩阵每一列数值之和; n 为判断矩阵的阶数; CI 为一致性指标; RI 为随机一致性指标; $C.R.$ 为一致性比率。当 $n=1$ 或 2 时, CI 为 0 ,此时判断矩阵完全一致;当 $n \geq 3$ 时,再继续求解 $C.R.$ 。若 $C.R. \leq 0.1$,则判断矩阵满足一致性要求,表明 w_i 的估计在可以接受的范围内,反之,则需进一步调整判断矩阵,直到其通过一致性检验。随机一致性指标 RI 的取值如表 3 所示。

表 3 平均随机一致性指标 RI

Tab.3 Average random consistency indicator RI								
n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

(3) 计算超矩阵、加权超矩阵及极限矩阵

网络层的指标之间并非完全独立,它们之间可能存在单向或者双向的影响作用,因此需要将所有指标之间的相互影响关系的权重组成矩阵。利用 Super Decisions 软件,输入判断矩阵,便可以自动构造超矩阵,其任意一个列向量 W_{ij} 表示网络层的元素组 B_i 中各元素对元素组 B_j 中各元素的影响程度排序向量,每个元素组所对应的排序向量即加权超矩阵的权重系数,可进一步生成加权超矩阵,并得到最终的极限超矩阵,其任何一列就是最后要得到的重要性排序的权重。

(4) 指标权重分布测度结果分析

判断对综合能源服务流程对接绩效评价体系的相对重要性权重分布是否合理,使用的指标权重合理性验证公式为:

$$H = - \sum_{r=1}^m w_r \log_r w_r \quad (16)$$

式中, $H=0$ 表示只有一个指标等于 1,其他的权重为 0; $H=1$ 表示所有的指标权重都相等,几乎没有任何分别;当 $0 < H < 1$,且分布在 $(0,1)$ 靠中间的部分,不偏向任何一端,表明评估体系的指标权重分布是合理的。如果指标数量较少且指标之间的区分度较

小, H 值应该处在 $[0.5,1)$ 并且更倾向于 1 的范围内;反之,如果指标数量众多, H 值应该更小,一般在 0.5 左右。

4 案例分析

通过分析建立的评估指标体系,管理水平、经济效益、运营效果、社会影响、可持续发展水平这 5 个一级指标之间可以视为相互独立,仅受到各级微观指标的影响。但二级指标不再是两两相互独立,而是彼此间可能存在单向或双向的影响。

基于综合能源服务水平评价的 ANP 模型,本文设计了咨询调查问卷,用于确定各级指标的相对重要性。为确保可行性与合理性,构建由 10 位经验丰富的国家电网工作人员和 5 位高校教授组成的评估小组,进行问卷调查,对结果去除偏离大多数人判断的极差值,选择众数作为最终结果,有效避免了评价结果的片面性及过于主观性。

依照指标定义,控制层的 5 个一级指标可以视为彼此独立,专家组依据 9 级标度法对其进行评分,可得到控制层指标间的判断矩阵,并通过 Super Decisions 软件求取指标对应的权重,详细数据如表 4 所示。

表 4 控制层指标间的判断矩阵及权重向量

Tab.4 Judgment matrix and weight vector between control layer indicators						
	A	B	C	D	E	W
A	1	1/4	1/4	1/3	1	0.073
B	4	1	1	3	5	0.360
C	4	1	1	3	3	0.325
D	3	1/3	1/3	1	5	0.176
E	1	1/5	1/3	1/5	1	0.067

结合式(14)和式(15)可得: $\lambda_{\max} = 5.237$, $CI = 0.059$, $RI = 1.12$, $C.R. = 0.023 < 0.1$,判断矩阵通过一致性检验。

网络层的指标权重是在控制指标的重要性程度下进行确定的,需要考虑控制指标下的网络层元素之间的相互影响关系(见图 1)。与控制层的权重计算方法一样,网络层指标的权重计算应构建网络层元素组的判断矩阵,并对其进行一致性检验,详细的计算数据如表 5~表 9 所示。

据表 5 可得: $\lambda_{\max} = 3.037$, $CI = 0.019$, $RI = 0.58$, $C.R. = 0.032 < 0.1$,管理水平判断矩阵通过一致性检验。

表 5 管理水平判断矩阵及权重向量
Tab.5 Management level judgment matrix
and weight vector

<i>A</i>	<i>A</i> ₁	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>W</i>
<i>A</i> ₁	1	1/3	3	0.258
<i>A</i> ₂	3	1	5	0.637
<i>A</i> ₃	1/3	1/5	1	0.105

表 6 经济效益判断矩阵及权重向量
Tab.6 Economic benefit judgment matrix
and weight vector

<i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>W</i>
<i>B</i> ₁	1	1	5	0.455
<i>B</i> ₂	1	1	5	0.455
<i>B</i> ₃	1/5	1/5	1	0.091

表 7 经营效果判断矩阵及权重向量
Tab.7 Management effect judgment matrix
and weight vector

<i>C</i>	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> ₃	<i>C</i> ₄	<i>W</i>
<i>C</i> ₁	1	1/4	1/4	1/3	0.078
<i>C</i> ₂	4	1	1	3	0.383
<i>C</i> ₃	4	1	1	3	0.383
<i>C</i> ₄	3	1/3	1/3	1	0.156

表 8 社会影响判断矩阵及权重向量
Tab.8 Social impact judgment matrix and weight vector

<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>W</i>
<i>D</i> ₁	1	1/3	1/5	0.105
<i>D</i> ₂	3	1	1/3	0.258
<i>D</i> ₃	5	3	1	0.637

表 9 可持续发展水平判断矩阵及权重向量
Tab.9 Sustainable development level judgment
matrix and weight vector

<i>E</i>	<i>E</i> ₁	<i>E</i> ₂	<i>E</i> ₃	<i>W</i>
<i>E</i> ₁	1	3	2	0.528
<i>E</i> ₂	1/3	1	1/3	0.140
<i>E</i> ₃	1/2	3	1	0.333

据表 6 可得: $\lambda_{\max} = 3.030$, $CI = 0.015$, $RI = 0.58$, $C.R. = 0.026 < 0.1$, 经济效益判断矩阵通过一致性检验。

据表 7 可得: $\lambda_{\max} = 4.080$, $CI = 0.032$, $RI = 0.93$, $C.R. = 0.034 < 0.1$, 经营效果判断矩阵通过一致性检验。

据表 8 可得: $\lambda_{\max} = 3.038$, $CI = 0.019$, $RI =$

0.58, $C.R. = 0.033 < 0.1$, 社会影响判断矩阵通过一致性检验。

据表 9 可得: $\lambda_{\max} = 3.060$, $CI = 0.030$, $RI = 0.58$, $C.R. = 0.052 < 0.1$, 可持续发展水平判断矩阵通过一致性检验。

为了构造综合能源服务水平评价的各指标的未加权超矩阵, 将表 4~表 9 的计算结果进行了整合, 运用 Super Decisions 软件, 计算加权超矩阵和极限超矩阵, 结果如表 10 所示。在不失一般性的情况下, 选取极限矩阵的其中一列, 作为各阶段最底层指标的相对重要性权重: $W = (0.00761, 0.00260, 0.03752, 0.10331, 0.02232, 0.01325, 0.15201, 0.14550, 0.04213, 0.04543, 0.07412, 0.13398, 0.15022, 0.05905, 0.00890, 0.00206)$ 。

表 10 综合能源服务水平评价权重表

一级指标	指标权重	二级指标	局部权重	全局权重
<i>A</i>	0.073	<i>A</i> ₁	0.258	0.007612
		<i>A</i> ₂	0.637	0.0026
		<i>A</i> ₃	0.105	0.037514
<i>B</i>	0.360	<i>B</i> ₁	0.455	0.103307
		<i>B</i> ₂	0.455	0.022315
		<i>B</i> ₃	0.091	0.013246
<i>C</i>	0.325	<i>C</i> ₁	0.078	0.152012
		<i>C</i> ₂	0.383	0.145496
		<i>C</i> ₃	0.383	0.042131
		<i>C</i> ₄	0.156	0.045431
<i>D</i>	0.176	<i>D</i> ₁	0.105	0.07412
		<i>D</i> ₂	0.258	0.13398
		<i>D</i> ₃	0.637	0.150222
<i>E</i>	0.067	<i>E</i> ₁	0.528	0.059052
		<i>E</i> ₂	0.140	0.0089
		<i>E</i> ₃	0.333	0.002063

参照表 4 中的数值, 使用指标权重合理性的验证公式来分别计算 5 个准则层权重的分布值。鉴于准则层仅有 5 个维度, 因此得到准则层权重的合理性度量值 $H = 0.877$, 是在合理范围内的, 虽然准则层的权重值差别较小, 但不超出允许范围。

然后进一步计算网络层各元素组的指标权重的值: $H_A = 0.194$, 同理可计算出 $H_B = 0.637$, $H_C = 0.639$, $H_D = 0.341$, $H_E = 0.161$ 。

由于本文研究的评价系统只有 16 个指标, 每个指标的指标权重值 H 必然在一个很小的范围内, 计算结果表明, 指标权重值均分布在 0.4 左右, 表明网

络层的指标权重分布相对来说是合理的。此外,比较准则层的权重离散程度,可以发现: $H_E > H_A > H_D > H_B > H_C$ 。其中, H_D 和 H_A 的相对重要性权值的差值相对而言比较大, H_B 和 H_C 在一般范围内,离散程度差异最小的 H_C 与最大的 H_E 之间差值为0.478。

由于该评价系统的准则层的指标只有5个,各层指标的相对重要性权值差异也非常明显,这说明基于ANP的综合能源服务水平评价指标的权重测量结果是在合理范围内的,并且具有客观性和指导意义。

5 结论

综合能源服务水平评价涉及经济、环境、技术等多个方面,对其进行全面的考评非常重要。本文构建了基于ANP的综合能源服务水平评价指标体系,并依次进行打分、计算权重、检验等一系列流程。

(1)综合能源服务水平评价的一级指标相对重要性为:经济效益>运营效果>社会影响>管理水平>可持续发展水平。其中经济效益和运营效果的权重都在30%以上,说明综合能源服务关注的重点在于服务带来的经济效益和运营效果。

(2)在二级指标中,能源转换效率、网络综合损耗程度、用户舒适度指数和地区经济影响水平都是关键指标,所占比重都在13%以上,应该受到综合能源服务商的重视。

参考文献 (References):

- [1] 朱永强, 赵娜, 王福源, 等 (Zhu Yongqiang, Zhao Na, Wang Fuyuan, et al.). 能源互联网中多种储能的协调 (Coordination of energy storage in Energy Internet) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2018, 37 (3): 10-16.
- [2] Koutsoukis N C, Siagkas D O, Georgilakis P S, et al. On-line reconfiguration of active distribution networks for maximum integration of distributed generation [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2017, 14 (2): 437-448.
- [3] 李盛伟, 李鹏飞, 白星振, 等 (Li Shengwei, Li Pengfei, Bai Xingzhen, et al.). 计及储能和用户响应响应的并网型微网优化调度模型 (An optimal scheduling model for networked microgrid considering energy storage and user demand response) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2018, 37 (9): 51-58.
- [4] Win T Y, Tianfield H, Mair Q. Big data based security

- analytics for protecting virtualized infrastructures in cloud computing [J]. IEEE Transactions on Big Data, 2018, 4 (1): 11-25.
- [5] Ni J, Zhang K, Lin X, et al. Securing fog computing for internet of things applications: Challenges and solutions [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20 (1): 601-628.
- [6] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等 (Yu Xiaodan, Xu Xian-dong, Chen Shuoyi, et al.). 综合能源系统与能源互联网简述 (Comprehensive energy system and Energy Internet) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 2016, 31 (1): 1-13.
- [7] Maccarty N A, Bryden K M. An integrated systems model for energy services in rural developing communities [J]. Energy, 2016, 113: 536-557.
- [8] 吴建中 (Wu Jianzhong). 欧洲综合能源系统发展的驱动与现状 (Driving force and current situation of integrated energy system development in Europe) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2016, 40 (5): 1-7.
- [9] Qadrdan M, Chaudry M, Wu J, et al. Impact of a large penetration of wind generation on the GB gas network [J]. Energy Policy, 2010, 38 (10): 5684-5695.
- [10] 封红丽 (Feng Hongli). 国内外综合能源服务发展现状及商业模式研究 (Current situation and business model of integrated energy services at home and abroad) [J]. 电器工业 (China Electrical Equipment Industry), 2017, (6): 35-42.
- [11] 曹重 (Cao Zhong). 南方电网开展综合能源服务的实践及成效 (Practice and effectiveness of integrated energy services in China Southern Power Grid) [J]. 电力需求侧管理 (Power Demand Side Management), 2016, 18 (3): 1-4.
- [12] Kou Y N, Zheng J H, Li Zhigang, et al. Many-objective optimization for coordinated operation of integrated electricity and gas network [J]. Journal of Modern Power Systems & Clean Energy, 2017, 5 (3): 350-363.
- [13] 张涛, 朱彤, 高乃平, 等 (Zhang Tao, Zhu Tong, Gao Naiping, et al.). 分布式冷热电能源系统优化设计及多指标综合评价方法的研究 (Research on optimum design and multi-index comprehensive evaluation of distributed thermoelectric and cooling energy system) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2015, 35 (14): 3706-3713.
- [14] 李洋, 吴鸣, 周海明, 等 (Li Yang, Wu Ming, Zhou Haiming, et al.). 基于全能流模型的区域多能源系统若干问题探讨 (Discussion on some problems of regional multi-energy system based on omnipotent flow model)

- [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2015, 39 (8): 2230-2237.
- [15] 陈柏森, 廖清芬, 刘涤尘, 等 (Chen Baisen, Liao Qingfen, Liu Dichen, et al.). 区域综合能源系统的综合评估指标与方法 (Comprehensive evaluation indicators and methods of regional integrated energy systems) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2018, 42 (4): 174-182.
- [16] 徐志勇, 张徐东, 曾鸣, 等 (Xu Zhiyong, Zhang Xudong, Zeng Ming, et al.). 基于 ANP 的多层次模糊综合评价法的电网建设项目后评价研究 (Research on post-evaluation of power grid construction project based on ANP multi-level fuzzy comprehensive evaluation method) [J]. 华东电力 (East China Electric Power), 2009, 37 (3): 488-491.
- [17] 毕伟, 申建, 刘鸣, 等 (Bi Wei, Shen Jian, Liu Ming, et al.). 基于互联网+的综合能源管理平台方案的研究 (Research on the scheme of integrated energy management platform based on Internet +) [J]. 电测与仪表 (Electrical Measurement and Instrumentation), 2018, 55 (S1): 80-84.
- [18] 贾宏杰, 王丹, 徐宪东, 等 (Jia Hongjie, Wang Dan, Xu Xiandong, et al.). 区域综合能源系统若干问题研究 (Research on several problems of regional integrated energy system) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2015, 39 (7): 198-207.
- [19] T. L. 萨蒂 (Saaty T L). 网络层次分析法原理及其应用 (The principle and application of network analytic hierarchy process) [M]. 北京: 北京理工大学出版社 (Beijing: Beijing Institute of Technology Press), 2015.

ANP method for evaluating level of integrated energy services

CHI Fu-jian¹, GE Lei-jiao², WANG Yu-qian², HE Ping¹, WANG Zhe¹, LI Gui-xin¹

(1. State Grid Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300055, China;

2. School of Electrical Information and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Integrated energy service is an important direction of future business transformation of power grid enterprises. Aiming at the problem that there are many factors affecting the comprehensive energy service level and it is difficult to quantitatively analyze them, this paper proposes a comprehensive evaluation method of the comprehensive energy service level based on ANP. Firstly, a comprehensive evaluation index system of comprehensive energy service level is constructed from five aspects: management level, economic benefit, operation effect, social impact and sustainable development level, which includes 5 first-level indicators and 16 second-level indicators. Secondly, in order to achieve comprehensive evaluation, ANP method is used to solve the corresponding weight of the proposed comprehensive energy service level evaluation index. Through the analysis of typical cases, it is known that the economic benefit and operation effect are the key factors among the first-level indicators, and the energy conversion efficiency, network comprehensive loss, user comfort and regional economic impact are the important indicators among the second-level indicators, so as to provide reference for the operation and development of future integrated energy service providers.

Key words: integrated energy service system; service level; comprehensive evaluation; index weight