

# 基于数字画像的综合能源系统技术推广应用评价方法

梁琛, 马喜平, 董晓阳, 李亚昕, 罗利, 徐瑞

国网甘肃省电力公司电力科学研究院, 兰州 730050

**摘要** 综合能源系统(integrated energy systems, IES)打破了各种终端能源网络间的界限, 对其技术推广应用进行综合评价是推动 IES 发展建设的重要环节。针对 IES 技术范畴广、影响因素多、评价指标繁杂的问题, 结合运筹学综合评价理论和数字画像技术, 建立 IES 技术推广应用评价模型和方法。该评价模型以海量监测数据及 IES 运行数据为基础, 从环境、性能、经济、社会等维度生成多源特征评价标签体系, 融合多方面 IES 技术推广应用信息, 构建完整、多维的 IES 技术画像; 根据专家打分、IES 原始数据重要信息特征筛选, 通过层次分析法(AHP)-熵权法主客观结合的赋权方法对标签赋权, 精细化计算权重形成精准刻画 IES 技术画像的轮廓。选取上海临港国家级 IES 示范项目以及北方某园区级 IES 项目为算例进行评估验证, 结果证明本模型和方法在工程应用方面具有适用性, 可为 IES 设计建设及关键技术推广应用提供参考。

**关键词** 综合能源系统; 画像技术; 技术推广应用; 评价体系; 标签赋权

在国家“双碳”目标推动下, 电能终端能源消耗中的份额逐步提高, 清洁能源大规模使用和综合能源利用效率提升, 成为各能源部门有效发掘节能减排潜力的重要技术手段<sup>[1]</sup>。电制氢、电动汽车充放电设备、高效蓄冰等终端电能消费新技术不断涌现, 不仅对电网安全高效运行提出新要求, 更是对

探索、创新设计与之相适应的管理模式和推广应用机制提出新挑战。对此, “十四五”电力发展规划明确指出: 锚定“双碳”目标, 早日实现能源改革<sup>[2]</sup>。随着能源、电力、用户之间的关系愈发紧密, 综合能源系统(integrated energy system, IES)通过多能互补, 有效促进节能减排, 已成为能源领域重要技术方向

收稿日期: 2022-12-25; 修回日期: 2023-02-23

基金项目: 国网公司总部科技项目(5400-202117406A-0-0-00)

作者简介: 梁琛, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化及电网降损节能技术, 电子信箱: 13919349809@163.com

引用格式: 梁琛, 马喜平, 董晓阳, 等. 基于数字画像的综合能源系统技术推广应用评价方法[J]. 科技导报, 2024, 42(17): 97-110;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.12.02037

和发展趋势<sup>[3]</sup>。

为推进 IES 发展建设,需要对其技术推广应用构建科学有效的评估体系做保障。IES 相较于传统电力系统有较大差别,具有多能量耦合和互补特征<sup>[4]</sup>,打破能量流动障碍,通过协同运行控制大幅度提升能源利用效率<sup>[5]</sup>,推动大规模可再生能源消纳,成为优化能源结构、助力“双碳”目标的重要抓手<sup>[6]</sup>。然而,由于 IES 中应用新技术涵盖领域广、品类繁杂<sup>[7]</sup>,使得对各类新技术的统一管理成为实现其高效利用的关键,从而为未来关键技术推广起导向作用。

国家“十四五”规划提出:“以数字化转型为整体,推动生产模式、生活方式和治理模式的转型”<sup>[8]</sup>,数字化改造将促进高质量能源系统建设,其数据要素是电力行业数字化转型的核心。随着 IES 不断发展建设,“源-网-荷-储”多环节数据采集频度不断提高、分析维度不断扩展,IES 运行特性和技术特性愈加复杂。数字画像技术的发展,为 IES 技术特性分析提供了更加直观、简洁的展现方式<sup>[9]</sup>。目前,数字画像技术已在电力用户负荷特性分析方面开展了初步研究和应用。王飞飞等<sup>[10]</sup>基于海量电能质量监测数据,创建完整的画像标签系统,可准确量化用户电能质量和能耗水平;张宇帆等<sup>[11]</sup>基于海量能耗数据,以电力用户为主体,通过提取用户特征信息和能耗行为数据,形成用户画像标签,分析不同用户行为多样化特征,支持电力企业制定差异化电力服务;周李等<sup>[12]</sup>构建基于 PQMS 的用户画像,形成用户精细化能源质量服务的基础;叶海峰等<sup>[13]</sup>使用离散编码模型来辨识用户异常能耗行为,创建异常能耗画像,并为用户复杂能耗管理提供支持;沈岩等<sup>[14]</sup>通过设备画像技术,对变压器设备全景标签相关性进行分析,形成设备状态评估优化方案。

上述研究在用户画像、电力设备特性分析方面取得良好的效益,为电力企业开展精细化运营管理提供基础支撑,但对于 IES 等相关技术的画像构建方面,尚且匮乏。因此,可根据 IES 实际采集和运行数据挖掘标签化模型构建技术画像,借助大数据手段全方面分析技术水平和特征,勾画精细化、全面化的 IES 技术画像,以便深入了解 IES 发展建设和技术特征,提高 IES 技术推广科学管理水平,实现产业

结构和管理模式的转变<sup>[15]</sup>,也为大数据环境下 IES 资源高效利用提供创新服务模式<sup>[16]</sup>。此外,在传统 IES 评价模型基础上融入数字画像,全面、深度、精准刻画环境、性能、经济、社会维度开展评价已成为新趋势,且更具备工程应用性和适用性。

多维度标签权重求解是实现画像精细化刻画的关键,IES 运行特性分析与评估属于多属性群决策问题,主要任务是确定评估标签的相应权重。Maraver 等<sup>[17]</sup>采用层次分析法和综合评估分析法,主观地分析了 IES 经济成本、管理成本和碳排放;冯晓梅等<sup>[18]</sup>对 IES 环境可行性通过生命周期评估方法进行验证,受限评估仅涉及单一方面,难以满足实际应用需求;韩中合等<sup>[19]</sup>基于层次分析对 IES 的技术、经济、环境等方面进行评价,但决策专家的先验知识和自身经验具有较强的主观随机性,在实际应用中有一定局限性;王继业等<sup>[20]</sup>采用熵权法评估一次能源利用、年成本、碳排放等指标,客观地研究工程适用性,但更加注重指标的客观权重,使得评价结果难以满足决策者期望,且通常评价指标数量不足,影响评价准确度。与主观权重法相比,客观权重法是基于客观数据确定权重值,但容易违背决策者的主观意愿或无法准确表现规划目标。为规避主客观权重确定方法的不足,可将 2 种方法结合形成综合权重法来确定评价权重。此外,已有的 IES 评价体系往往聚焦于选取电力相关指标,将技术性能和社会效益等维度纳入评价体系的研究相对缺乏,难以解决 IES 技术范畴广、影响因素多、评价指标繁杂的问题,使得如何结合数字画像对其运行特性及技术特征开展综合评价,成为未来的新趋势和技术难点。

针对上述问题与挑战,本研究综合考虑 IES 发展建设现状与运行技术特征,以 IES 运行海量数据及调查检测数据为基础,从节能环保、技术性能、经济效益、社会效益 4 个维度建立评价标签体系,构建面向 IES 技术特性及推广应用分析的数字画像评价标签库;融合多方面 IES 技术推广应用信息,构建出完整、多维的 IES 技术画像;根据专家打分、IES 原始数据重要信息特征筛选,通过层次分析法(AHP)-熵权法主客观结合的赋权方法对标签赋

权,精细化计算权重形成精准刻画 IES 技术画像的轮廓。最后,选取上海临港地区国家级 IES 示范园区为算例进行评估验证,验证本研究所提模型和方法在工程应用方面的适用性。

## 1 基于画像技术的 IES 技术评价框架

### 1.1 IES 技术画像数据来源

目前,各电力部门正在实现经营融合、互相贯通工作,整合和共享基础数据生产系统和营销系统,支持配电业务,画像技术将在全面实施智能能源分配和消耗管理方面发挥愈发重要的作用。电网公司构建的数据中台可完成海量数据的存储、清洗、计算与汇总,通过构建统一的数据系统,支撑快速开发基于标准系统的数据服务,具备高可用性和高可重用性,成为“数智融合”开展 IES 技术数字画像研究的数据基础<sup>[21]</sup>。

能源互联网作为未来的发展方向,通过“大、云、物、移、智、链”等先进计算处理技术、通信技术,实现更多设备互联和人机交互,以电网为中心进行实时数据交换,为全行业 and 更多市场参与者提供价值服务<sup>[22]</sup>。为 IES 提供基础数据源,将物联网信息采集、大数据计算分析与画像技术有效结合,根据

技术属性、对社会稳定程度、对环境危害程度、经济效益等方面进行分析,辅助 IES 精准管理的同时,也为 IES 技术推广应用、提升电力产品运营水平和供电服务质量提供支撑<sup>[23]</sup>。

### 1.2 IES 技术画像框架研究

电力技术画像分析是建立在海量监测数据基础上,通过对技术模型和数据统计,从技术模型出发,给出技术画像标签,分析不同技术的差异特征,提取不同技术的适用性,为电力部门对关键技术进行科学有效管理提供参考<sup>[24]</sup>。

对此,面向 IES 技术范畴广、影响因素多、评价指标繁杂等问题,以及画像技术、数智融合新趋势,提出精细刻画 IES 技术特性的数字画像。IES 技术数字画像框架如图 1 所示,主要分为 3 层:数据层、画像服务层和应用层。数据层是分析和应用其他 2 层的数据基础,主要是对 IES 运行环境及结果进行收集与分析。画像服务层作为画像技术的核心,主要是通过构建 IES 画像标签体系,分析采用技术对 IES 运行效益的影响。其中标签库管理主要是针对标签生成后的存储、更新等功能,技术在一段时间内可能会出现新突破,此时需要将标签库中的标签更新,适应现有技术的行为特征<sup>[25]</sup>。应用层则起进一步应用画像结果的作用,如为推广评价、智

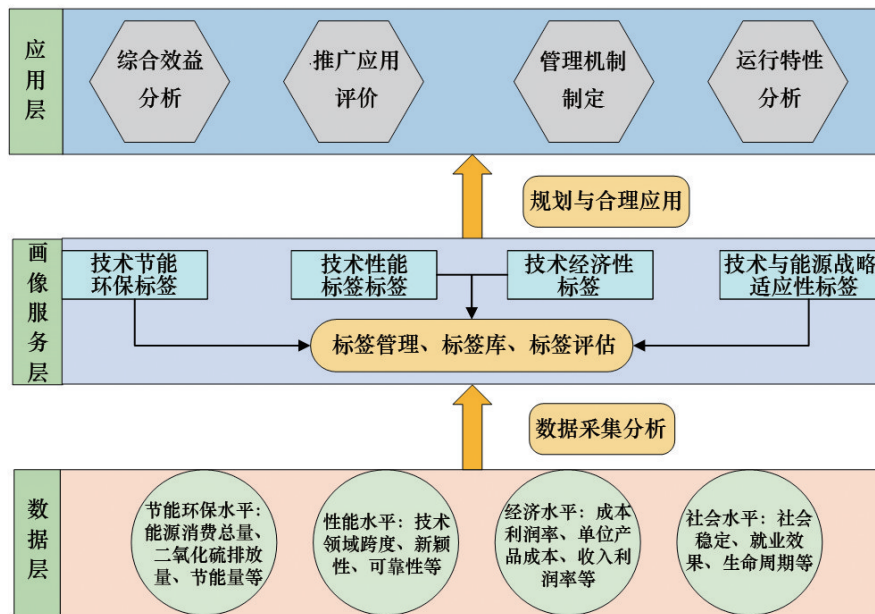


图 1 IES 技术数字画像框架

能互动等相关系统提供依据。

总体研究路线:首先,对采集数据进行整理,所采集的数据类型主要有 IES 状态监测、环境监测、专家评价打分、IES 运行数据及外部数据;然后,基于数据特征筛选建立标签模型,标签模型主要分为节能环保、性能、经济和社会等;最后,对 IES 标签模型采用 AHP-熵权法进行权重计算,形成能够精准刻画 IES 发展建设和运行特性的技术画像轮廓,并逐项分析各关键标签对 IES 运行与发展建设的影响。

### 1.3 标签库构建

IES 技术画像构建最关键部分是根据多源特征电力大数据来定义标签。通过将环境数据、IES 运行数据、用户用能数据等进行有机整合,以“标签”形式,精准地描绘出完整技术信息,从而构建多维度、立体化全景技术画像,使电力企业能够精确获取技术属性、社会满意程度等精细特征<sup>[26]</sup>,强化 IES 技术经营管理,提高技术推广综合效益。从技术层面看,基于大数据的 IES 技术画像构建分为 3 步:第一步是挖掘终端数据信息库,如内部采集信息和运行数据;第二步是清洗采集的数据,根据其功能进行分类处理;第三步是构建技术画像,包括准确识别技术变量、量化技术静态数据和动态行为评估、确定技术标签库等<sup>[27]</sup>。IES 技术标签属性系统的构建流程如图 2 所示。



图 2 IES 标签属性系统的构建流程

### 1.4 标签库管理

标签提取来源于各个业务系统,数据抽取后,经过清洗、提取,制定标签规则,根据规则从数据中提取对应标签;打完标签后要经过评价分析,可适当改变标签规则;最后将标签应用于综合效益分析、推广应用评价、管理机制制定、运行特性分析等业务系统中,在应用过程中可收集使用反馈意见,进而调整标签规则和更新标签<sup>[28]</sup>。标签全生命周期管理如图 3 所示。

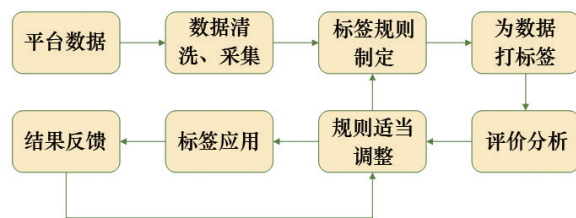


图 3 标签库管理

## 2 IES 技术画像标签库构建

### 2.1 典型 IES 系统结构

IES 系统典型结构如图 4 所示,其能量转换设备为典型的热电联产机组,包括 1 个燃气轮机和余热锅炉以及 1 个用于冰蓄冷的空调机组;储能设备包括储电、储热、储气;负荷包括电力负荷、气负荷、热负荷和冷负荷,其能量转换设备包括燃气轮机和余热锅炉构成的典型热电联产机组和冰蓄冷空调;储能设备包括电储能、蓄热罐和储气罐;负荷包括电负荷、气负荷、热负荷和冷负荷<sup>[29]</sup>。

### 2.2 IES 综合评价标签体系建立

构建技术评价标签体系,有助于 IES 发展建设及对技术特性进行精细刻画。本研究利用画像技术对 IES 标签进行分类、筛选和比较,最后构建基于图像技术的 IES 评价标签系统。从节能环保、性能、经济、社会 4 个高级标签,建立 IES 多维度标签体系。标签系统基于环境效益、技术性能、经济和社会效益,作为高级标签,并进一步设立中级标签和基础标签。其中,节能环保维度有 3 个中级标签;性能维度有 6 个中级标签,6 个基础标签;经济维度有 2 个中级标签,4 个基础标签;社会维度有 3

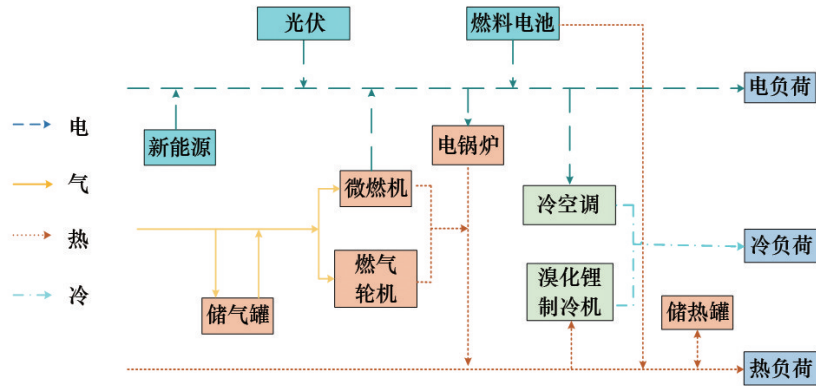


图4 园区综合能源系统

个中级标签,3个基础标签。完整体系共包含16个评价标签,包括环境保护、性能、经济、社会,后续将对各标签定义及计算过程进行详细分析<sup>[30]</sup>。

### 2.3 节能环保标签

对于传统发电系统而言,污染物或温室气体主要来源于燃烧煤矿。由于IES主要是在燃气轮机发电、内燃机发电、购买电网电量等环节上产生污染物及温室气体<sup>[31]</sup>,近年来环境污染、全球变暖等问题备受关注。因此,本研究将节能量和污染物排放量纳入环境维度标签体系中,重点考虑了二氧化硫排放量。

#### 1) 能源消费总量。

能源消耗总量是指某一地区不同行业和企业消耗的能源总量。一般而言,煤炭消耗量越大,系统能源的环保性越低,天然气消耗量越大,这可以更好地反映系统能源的环保程度<sup>[32]</sup>。

$$B_{21} = \sum a \quad (1)$$

式中, $a$ 为终端能源消费量折合标煤之和(tce); $B_{21}$ 为能源消费总量。

#### 2) 二氧化硫排放量。

$$B_{22} = M \times S \times 0.8 \times 2 \times (1 - n) \quad (2)$$

式中, $B_{22}$ 为二氧化硫年排放总量(t); $M$ 是原煤年耗热量(t); $S$ 为硫产生率(%);0.8为二氧化硫的转化率;2为转化为二氧化硫后增加的比例; $n$ 为脱硫率(%)。

脱硫锅炉取具体测量值,无脱硫锅炉取0;如果没有获得煤的含硫量数据,则脱硫率暂按1.2%计算<sup>[33]</sup>。

#### 3) 节能量。

$$B_{23} = (g - h) \times i \quad (3)$$

式中, $g$ 为上年度万元工业总产值(tce/万元); $h$ 为本年度万元工业总产值(tce/万元); $i$ 为报告期营业收入(万元); $B_{23}$ 为营业收入(可比价)节能量(tce)。

### 2.4 性能标签

性能标签主要评价IES技术集成能力、技术路径和应用程序是否处于领先地位;技术评估即充分评价和估计技术性能、应用技术产生的收益、可靠性和风险性,以及对环境、生态的影响。结合我国IES研究现状,按照系统性、可行性、创新性原则,进行定性、定量评价。

性能标签主要从复杂性、时效性、成熟度考虑。以中级标签为基础,构建描述技术性能的画像高级标签,并对技术进行宏观分类,为IES发展建设和规划运行等提供依据,具体分为6个中级标签和6个基础标签。其中,复杂性包括:技术领域跨度、可借鉴度;时效性包括:新颖性、差距性;成熟性包括:成果风险、可靠性,如表1所示。

### 2.5 经济标签

经济标签包括成本标签、收入标签。其中,成本标签包括成本利润率和单位产品成本,利润标签包括售价比和收入利润率,如表2所示。

成本利润率:标签越高,表明IES为获得更多收入而支付的价格越低,成本控制越好,使用该技术获得的盈利能力越强,进步性越明显。单位产品成本指单位产品的平均生产成本。产品的单位成本不仅反映IES的管理水平,还反映其生产水平和

表1 性能维度中的评估标签

中级标签	基础标签	分数
技术领域跨度	学科种类数目	10~12:5分;8~9:4分;6~7:3分;4~5:2分;2~3:1分;1:0分
可借鉴度	各年引文量 <sup>[34]</sup>	100篇及以上:5分;80~99篇:4分;60~79篇:3分;40~59篇:2分;20~39篇:1分;19篇及以下:0分
新颖性	技术使用至评价的时间	6年及以上:1分;5~6年:2分;4~5年:3分;3~4年:4分;2~3年:5分;1~2年:6分
差距性	该技术使用时间与其他相似技术投入时间差	6年及以上:6分;5~6年:5分;4~5年:4分;3~4年:3分;2~3年:2分;1~2年:1分
成果风险性	成果风险等级	高:1分;中:3分;低:5分
可靠性	发生故障的概率	≥20%:0分;15%~20%:1分;10%~15%:2分;5%~10%:3分;<5%:4分

表2 经济类别中的评估标签

中级标签	基础标签	计算方法
成本标签	成本利润率	成本利润率=利润/成本费用×100%
	单位产品成本	单位产品成本=总产品成本/产品总数
收入标签	售价比	售价比=新技术后产品价格/原技术产品价格
	收入利润率	收入利润率=利润/收入×100%

技术储备能力。标签越低,说明采用技术越先进。

售价比是采用新技术后的产品价格与采用原技术后的产品价格之比。比率越大,采用新技术增加能源服务产品收入的效益就越大,与同类技术相比,作用更突出。

收入利润率是指 IES 实现的总利润与同期销售收入的比率,直接反映了销售收入和利润之间的关系,并间接反映了技术进步对 IES 运营盈利能力的作用。标签权重越高,说明 IES 销售收入获取利润的能力越强,采用的技术也就越先进<sup>[35]</sup>。

## 2.6 社会标签

在社会就业方面,在采用有助于解决劳动力过剩地区就业问题的新技术之后,将会创造新的就业机会;在劳动力短缺地区,动员从事其他工作的劳动力将影响生产,负面影响显而易见。其次,消除当地不发达劳动力有助于节省劳动力资源并缓解部分地区劳动力短缺,但将在劳动力过剩地区造成就业问题产生负面影响。社会标签用于说明先进技术对 IES 当地产生的影响,如表 3 所示。

表3 社会类别中的评估标签

中级标签	基础标签	分数
就业效果	促进技术相关领域发展,促进就业	是:5分;否:2分
社会稳定	顺应国家政策、社会发展的稳定度	是:5分;否:2分
生命周期	具有持久性(是否符合国家长远战略发展)	是:5分;否:2分

除此之外,还包括该技术发展能否顺应国家发展政策,响应国家号召,促进社会稳定等方面。

显然,对于定量指标,可直接通过信息采集系统所获得的统计数据计算指标特征值,而对于定性指标,则需要专家根据系统运行数据、项目规划方案、同类 IES 运行情况以及国家政策、现有技术等资料,结合专家自身经验并参考评分依据给出最终分数。在标签分析过程中,使用定量和定性相结合

的方法对每个标签进行分类并提供合适的分数,为评估方法应用提供基础。

## 3 IES 技术画像综合评价方法

### 3.1 层次分析法

AHP 法计算主观权重步骤如下。

1) 建立判断矩阵。

在成对比较  $n$  个评价指标后,使用  $a_{ij}$  量表进行量化,  $a_{ij}$  的具体值参考可在表 4 中获得,以获得评估矩阵  $A$ :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \cdots & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \cdots & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & \cdots & \frac{\omega_n}{\omega_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2) 计算在准则下标签的相对权重。

满足条件的正互反阵的最大特征根大于零,相应特征向量将归一化为权向量,即每个元素在单个级别上的权重值。相对重要性标度如表 4 所示。

表 4 相对重要性标度

等级	定义
1	$i$ 元素与 $j$ 元素同等重要
3	$i$ 元素比 $j$ 元素略重要
5	$i$ 元素比 $j$ 元素更重要
7	$i$ 元素比 $j$ 元素非常重要
9	$i$ 元素比 $j$ 元素绝对重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	$j$ 元素对 $i$ 元素的重要性,与前面 $i$ 对 $j$ 的重要性标度恰好相反

由于每位专家的判断和评价都带有主观性,这对评估矩阵的影响不容忽视,有必要检测评估矩阵的一致性。评估矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  和一致性比率  $CR$ ,其计算公式如下:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nw_i} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{RI(n - 1)} \quad (6)$$

式中,  $BW$  是每个评估矩阵列的值之和;  $n$  是评估矩阵阶数;  $CI$  为一致性标签;  $RI$  为随机一致性标签;  $CR$  为一致性比率;  $w_i$  为评估值。

当  $n$  为 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  $CR$ 。若  $CR \leq 0.1$ , 则判断矩阵满足一致性要求, 表明  $w_i$  的估计在可接受范围内, 反之则需进一步调整判断矩阵, 直到其通过一致性检验。随机一致性标签  $RI$  的取值如表 5 所示。

表 5 平均随机一致性标签  $RI$

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8
$RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

### 3.2 熵权法客观赋权模型

假设终端能源消费新技术  $a = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ , 各技术的综合评价标签体系为  $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。新技术  $a_i (i=1, 2, \dots, m)$  在标签  $u_j (j=1, 2, \dots, n)$  下的属性值为  $a_{ij}$ , 设决策矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ,  $H = (1, 2, \dots, h)$ ,  $K = (1, 2, \dots, k)$ 。通常, 标签类型一般有效益型和成本型, 为减小不同评价方面对最终评估结果的影响, 属性标签必须是无量纲处理<sup>[36]</sup>。对于效益型属性, 一般可令:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \quad (7)$$

对于成本型属性, 令:

$$r_{ij} = \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \quad (8)$$

最终得到矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ , 称其为无量纲化评估矩阵。

1) 计算属性标签  $j$  的熵  $E_j$ 。

$$E_j = \frac{1}{\ln k} \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij}), j = 1, 2, \dots, h \quad (9)$$

式中,  $j=1, 2, \dots, h$ ,  $1/\ln k$  是一个常数, 与样本数量多少有关;  $r_{ij}$  取值为  $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 。

2) 信息偏差度。

$$d_j = 1 - E_j \quad (10)$$

3) 标签权重计算。

$$\omega_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j} \quad (11)$$

### 3.3 主客观集成赋权模型

层次分析法和熵权法都有其优势和缺点, 针对 IES 技术评价体系, 结合两者优点将其中级标签、基础标签权重耦合, 得到它们的综合耦合权重。综合耦合权重计算不仅考虑了主客观权重, 还考虑了主客观权重差异的特点, 很好结合了层次分析法和熵权法的优势, 能更全面、科学地对 IES 技术评价标签进行综合权重计算。

通过式 (12) 获取第  $i$  个中级标签的综合耦合权

重 $p_i$ ,则有:

$$p_i = \frac{\alpha_i \cdot \omega_i + \beta_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \omega_i + \beta_i \cdot \mu_i} \quad (12)$$

$$\alpha_i = \frac{\omega_i}{\omega_i + \mu_i}$$

$$\beta_i = \frac{\mu_i}{\omega_i + \mu_i}$$

式中: $\omega_i$ 为第 $i$ 个中级标签通过层次分析法所得权重, $\mu_i$ 为第 $i$ 个中级标签通过熵权法所得权重, $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 为中间变量。

## 4 算例分析

### 4.1 基础数据

为促进电力消费,各地区积极响应国家政策,积极推动终端用电电气化技术发展及应用创新,提高能源利用效率。本研究选取上海临港国家级示范项目(简称“临港项目”)和北方某园区级 IES 示范项目(简称“北方项目”),绿色能源系统建设内容较为复杂,涵盖风电、光伏等能源供应及储能形式;采用太阳能集热、高效空气源热泵、热管复合空调等多种节能技术。此外,临港项目构建建筑群能效管理平台、智能微网管理系统及智能能源管控系统的同时,打造科技低碳示范的绿色三星级建筑,点

面结合,统筹策划。

临港项目所在区域平均气温 16.5℃,采光面积 2 万 m<sup>2</sup>,太阳能资源丰富。年平均日照 1422.4 h;屋顶光伏容量约 1574 kW;混合储能系统磷酸铁锂容量为 100 kW×2 h,超级电容器容量为 100 kW×10 s,铅酸蓄电池容量为 150 kW×1 h。负荷约 3.8 MW,热负荷约 2.98 MW,冷负荷约 2.47 MW,系统用户年能耗约 4586.25 MW·h,可再生能源自给率不低于 40%。

北方项目所在区域平均气温 13.2℃,采光面积 2.89 万 m<sup>2</sup>,太阳能资源更为充足,年平均日照 1542.5 h;屋顶光伏容量约 2332 kW;储能系统铅酸蓄电池容量为 230 kW×1 h。负荷约 5.9 MW,热负荷约 3.58 MW,冷负荷约 2.56 MW,系统用户年能耗约 4048.25 MW·h,可再生能源自给率约为 32%。

### 4.2 综合能源技术标签库构建

IES 技术综合评价重要环节是建立面向对象的评价标签体系。标签具有代表性,既能以较为丰富的数量涵盖整个系统,也可避免选择影响较大的标签,减少评估过程中的重复计算,使整个评估体系更加科学和全面,适合 IES 技术评估和分析。

本研究针对临港项目和北方项目 IES 系统构建了 4 个维度共计 16 项标签综合评价体系,如表 6 所示,从节能环保、性能、经济、社会共 4 个方面进

表 6 IES 技术评价标签体系

高级标签	中级标签	基础标签	编号
性能	技术领域跨度	学科种类数目	X <sub>1</sub>
	可借鉴度	年引文量	X <sub>2</sub>
	新颖性	该项技术自投入使用至评价时的时间周期	X <sub>3</sub>
	差距性	该技术使用时间与其它相似功能技术投入时间差	X <sub>4</sub>
	成果风险性	成果风险等级	X <sub>5</sub>
	可靠性	发生故障的概率	X <sub>6</sub>
社会	就业效果	促进技术相关领域发展,增加就业岗位	X <sub>7</sub>
	社会稳定	顺应国家政策、社会发展的稳定度	X <sub>8</sub>
	生命周期	持久性	X <sub>9</sub>
节能环保	能源消费总量		X <sub>10</sub>
	二氧化硫排放量		X <sub>11</sub>
	节能量		X <sub>12</sub>
经济	成本	成本利润率	X <sub>13</sub>
		单位产品成本	X <sub>14</sub>
	收入	售价比	X <sub>15</sub>
		收入利润率	X <sub>16</sub>

行全面分析、评论。经济标签是指建立和运行该 IES 所需的各种费用,是投资者、决策者首要考虑的内容;性能标签可以了解技术对 IES 运行的可靠程度,是否促进 IES 发展,提高能源利用效率;环境标签可以评估方案的环境效益,是否符合当前国家节能减排政策基础,是否符合绿色、低碳、环保的主流意识;社会标签是指 IES 中是否符合国家发展政策,响应国家号召,是否促进 IES 中应用新技术的发展,增加社会就业,是否有利于社会长期发展。

在实际多标签分类问题中,标签之间并非完全独立,存在一定依赖或互斥关系。考虑标签之间成对关联关系,例如:相关和不相关标签,从而将多标签分类转换为排序问题。对于  $N$  个标签,构建  $N(N-1)/2$  个标签对,为每个标签对构建二分器,将属于标签的样本看作正类样本,否则为负类样本,忽略其他样本,对每个二分器预测值进行投票,对每个标签添加虚拟标记,将其作为测试样本与各标签相关/不相关划分点,将排序的投票结果划分为该样本的相关和不相关标签,最终给出样本所属标签集合,并根据标签与样本的相关度给出类别标签顺序。

基于 IES 系统评价的 AHP 模型,本研究设计了

咨询调查问卷,用于确定各级标签的相对重要性。为确保可行性与合理性,构建由 10 位经验丰富的电网公司员工和 5 位电力领域专家组成的评估专家小组,进行问卷调查,对各标签进行打分,将一些没有评分标签的重要性与其他标签进行比较,专家据此评估每个指标的相对重要性。删除偏离大多数人评级的范围值,并选择模式作为最终效果。其特点是集中专家的知识 and 经验,确定每个标签权重,通过不断地反馈和修改获得满意结果,有效避免了评价结果片面性及过于主观性。设立专家评估小组采取的具体步骤如下。

- 1) 将每个未确定权重的标签相关数据和确定权重的统一规则发送给选定专家,并要求他们独立提供每个标签的权重值。
- 2) 取得结果并计算每个标签重量的平均值和标准偏差。
- 3) 将计算结果和补充信息返回给专家,并要求所有专家重新确认权重。
- 4) 重复上述步骤 2 和 3,直到每个标签的权重与其平均值之间差值不超过预定义标准,各专家的观点基本一致,以此时各标签权数的均值作为该标签权重。除专家评分外,部分标签数据见表 7。

表 7 基础数据

高级标签	中级标签	基础标签	编号	临港项目数据	北方项目数据
节能环保	能源消费总量		$X_{10}$	100.4 t	145.3 t
	二氧化硫排放量		$X_{11}$	2.4 t	3.1 t
	节能量		$X_{12}$	20.8 t	26.7 t
经济	成本	成本利润率	$X_{13}$	66%	71%
		单位产品成本	$X_{14}$	2.65 万元	2.43 万元
	收入	售价比	$X_{15}$	2.2	2.5
		收入利润率	$X_{16}$	46%	48%

#### 4.3 基于层次分析法权重计算

判断矩阵的准确获取影响层次分析法权重计算结果的可信度<sup>[37]</sup>。结合层次分析法(AHP)判断

矩阵的标度值,通过描述标签间相对重要程度的评估矩阵,算出高级标签权重如表 8 所示,中级标签权重如表 9 所示,基础标签权重如表 10 所示。

表 8 AHP 的高级标签权重

高级标签	权重(临港项目)	权重(北方项目)
节能环保标签	0.2234	0.2453
性能标签	0.1625	0.1415
经济标签	0.4874	0.4723
社会标签	0.1266	0.1409

表9 AHP的中级标签总得分以及权重

编号	中级标签	得分(临港)	权重(临港)	得分(北方)	权重(北方)
X <sub>1</sub>	技术领域跨度	13	0.0318	10	0.0245
X <sub>2</sub>	可借鉴度	19	0.0450	14	0.0332
X <sub>3</sub>	新颖性	22	0.0540	12	0.0295
X <sub>4</sub>	差距性	17	0.0445	10	0.0262
X <sub>5</sub>	成果风险性	51	0.1206	59	0.1395
X <sub>6</sub>	可靠性	65	0.1773	69	0.1882
X <sub>7</sub>	就业效果	20	0.0454	24	0.0545
X <sub>8</sub>	社会稳定	43	0.0993	48	0.1108
X <sub>9</sub>	生命周期	45	0.1183	49	0.1288
X <sub>10</sub>	能源消费总量	17	0.0410	19	0.0458
X <sub>11</sub>	二氧化硫排放量	19	0.0448	21	0.0495
X <sub>12</sub>	节能量	18	0.0431	19	0.0455
X <sub>13</sub>	成本	25	0.0601	18	0.0433
X <sub>14</sub>	收入	31	0.0749	36	0.0870

表10 AHP的基础标签及权重

编号	中级标签	得分(临港)	权重(临港)	得分(北方)	权重(北方)
X <sub>1</sub>	学科种类数目	13	0.0355	5	0.0137
X <sub>2</sub>	年引文量	19	0.0372	6	0.0117
X <sub>3</sub>	技术使用至评价的时间	22	0.0427	12	0.0233
X <sub>4</sub>	该技术与其他相似技术投入时间差	17	0.0405	5	0.0119
X <sub>5</sub>	成果风险等级	51	0.1856	65	0.2365
X <sub>6</sub>	发生故障的概率	65	0.1287	23	0.0455
X <sub>7</sub>	促进技术相关领域发展,增加就业岗位	20	0.0602	25	0.0753
X <sub>8</sub>	顺应国家政策、社会发展的稳定度	43	0.1000	48	0.1116
X <sub>9</sub>	持久性	45	0.1646	46	0.1683
X <sub>10</sub>	成本利润率	35	0.0891	37	0.0942
X <sub>11</sub>	单位产品成本	12	0.0256	16	0.0341
X <sub>12</sub>	售价比	17	0.0326	21	0.0403
X <sub>13</sub>	收入利润率	21	0.0576	25	0.0686

通过层次分析法得到各级标签的权重,并通过一致性检验,即表明生成的判断矩阵满足一致性检验。通过观察分析,可知各位专家对于技术可靠性、持久性和成果转化风险给出的权重较大,说明对于该IES的可靠性、成果转化风险给予更多关注。此外,电力专家除了关注技术基础评价标签(如新颖性、差距性等)外,对于IES技术是否可靠,即社会性标签也成为他们关注的重点,也为地方政府响应国家“双碳”战略目标,推进IES发展建设和关键技术推广应用提供参考。经济标签中的单位产品成本标签并未得到足够关注,也体现了IES作为新兴技术和未来主流,目前的经济性尚且不足,

随着未来IES建设和运营成本的降低,将逐步由示范阶段走向大规模推广应用。

此外,对临港项目和北方项目的各级标签权重值进行横向对比可知,在技术基础评价,例如年引文、新颖性、差距性等方面,临港项目明显优于北方项目;在经济性方面,例如单位产品成本、成本利润等,临港项目明显弱于北方项目。究其原因,是由于临港项目作为国家级示范项目,以新技术、新理念示范应用为主要目标,财政补贴较高,除了商业运营外还结合科研、试验、展示等目标,应用了大量新技术,例如燃料电池、多类型混合储能等,使得技术新颖性明显提升,但一定程度上导致成本升高、

经济效益下降。相比之下,北方项目建设时间晚,且以企业投资和商业运营为主,更加注重运行的稳定性和经济性,对于新技术应用方面尚且不足,但经济效益明显提升。

#### 4.4 基于熵权法权重计算

根据临港 IES 3 年(2019—2021 年)运行数据,所采用终端能源技术自身运行参数,标签系统评价通过熵权法实现,得到权重如表 11、表 12 所示。

表 11 中级标签熵权法权重

编号	中级标签	标签属性	最终权重(临港)	最终权重(北方)
X <sub>1</sub>	技术领域跨度	正向	0.0701	0.0621
X <sub>2</sub>	可借鉴度	正向	0.0620	0.0464
X <sub>3</sub>	新颖性	正向	0.0672	0.0323
X <sub>4</sub>	差距性	正向	0.0813	0.0574
X <sub>5</sub>	成果风险性	负向	0.0691	0.0780
X <sub>6</sub>	可靠性	正向	0.0682	0.0781
X <sub>7</sub>	就业效果	正向	0.0701	0.0902
X <sub>8</sub>	社会稳定	正向	0.0839	0.0969
X <sub>9</sub>	生命周期	正向	0.0747	0.0912
X <sub>10</sub>	能源排放总量	正向	0.0813	0.0632
X <sub>11</sub>	二氧化硫排放量	负向	0.0646	0.0514
X <sub>12</sub>	节能量	正向	0.0751	0.0854
X <sub>13</sub>	成本	负向	0.0668	0.0887
X <sub>14</sub>	收入	正向	0.0654	0.0787

表 12 基础标签熵权法权重

编号	三级标签	标签属性	权重(临港)	权重(北方)
X <sub>1</sub>	学科种类数目	正向	0.0749	0.0243
X <sub>2</sub>	年引文量	正向	0.0662	0.0132
X <sub>3</sub>	技术使用至评价的时间	正向	0.0718	0.0632
X <sub>4</sub>	该技术使用时间与其他相似功能技术投入时间差	正向	0.0869	0.0690
X <sub>5</sub>	成果风险等级	负向	0.0738	0.0631
X <sub>6</sub>	发生故障的概率	负向	0.0774	0.1020
X <sub>7</sub>	促进技术相关领域发展,增加就业岗位	正向	0.0749	0.0931
X <sub>8</sub>	顺应国家政策、社会发展的稳定度	正向	0.0896	0.0989
X <sub>9</sub>	持久性	正向	0.0798	0.0873
X <sub>10</sub>	成本利润率	正向	0.0726	0.1032
X <sub>11</sub>	单位产品成本	负向	0.0749	0.1032
X <sub>12</sub>	售价比	正向	0.0774	0.09021
X <sub>13</sub>	收入利润率	正向	0.0798	0.08929

为了对临港项目和北方项目 IES 的运行状态、效益进行科学合理评估,结合层次分析法和熵权法,获取二级标签的综合耦合权重。最终综合耦合权重结果如表 13、表 14 所示。

通过对表 13、表 14 中标签综合权重分布情况进行分析可以发现,高级标签中性能标签的占比最大,社会标签其次,其余标签的差别较小但差距不大。性能标签下可靠性的权重最大,成果转化风险

其次。这说明 IES 技术评估体系中,对于是否具有可靠性比较看重,此外节能环保标签中,能源消费总量、节能量、二氧化硫排放量是尤其关键的环节,这是 IES 技术助力落实“双碳”目标的关键,对于后续绿色能源 IES 建设有重要参考价值。

然而,对于其他一般性评价标签,如经济方面,作为 IES 评价的常用标签,往往是决策者最先关注的标签之一,尤其是北方项目评价标签中,更加重

表 13 基于 AHP 和熵权法的中级标签最终耦合权重

高级标签	中级标签	编号	耦合权重(临港)	耦合权重(北方)
性能	技术领域跨度	X <sub>1</sub>	0.0545	0.0483
	可借鉴度	X <sub>2</sub>	0.0514	0.0385
	新颖性	X <sub>3</sub>	0.0575	0.0276
	差距性	X <sub>4</sub>	0.0640	0.0452
	成果风险性	X <sub>5</sub>	0.0954	0.1077
	可靠性	X <sub>6</sub>	0.1377	0.1577
社会	就业效果	X <sub>7</sub>	0.0566	0.0728
	社会稳定	X <sub>8</sub>	0.0864	0.0998
	生命周期	X <sub>9</sub>	0.0950	0.1160
节能环保	能源消费总量	X <sub>10</sub>	0.0635	0.0494
	二氧化硫排放量	X <sub>11</sub>	0.0529	0.0421
	节能量	X <sub>12</sub>	0.0594	0.0676
经济	成本	X <sub>13</sub>	0.0596	0.0792
	收入	X <sub>14</sub>	0.0660	0.0795

表 14 基于 AHP 和熵权法的基础标签最终耦合权重

高级标签	编号	各级子标签	综合耦合权重(临港)	综合耦合权重(北方)
性能	X <sub>1</sub>	学科种类数目	0.0569	0.0185
	X <sub>2</sub>	年引文量	0.0510	0.0102
	X <sub>3</sub>	技术使用至评价的时间	0.0557	0.0491
	X <sub>4</sub>	该技术使用时间与其它相似功能技术投入时间差	0.0660	0.0524
	X <sub>5</sub>	成果风险等级	0.1407	0.1203
	X <sub>6</sub>	发生故障的概率	0.1001	0.1319
社会	X <sub>7</sub>	促进技术相关领域发展,增加就业岗位	0.0625	0.0777
	X <sub>8</sub>	顺应国家政策、社会发展的稳定度	0.0870	0.0960
	X <sub>9</sub>	持久性	0.1252	0.1370
经济	X <sub>10</sub>	成本利润率	0.0747	0.1062
	X <sub>11</sub>	单位产品成本	0.0570	0.0786
	X <sub>12</sub>	售价比	0.0586	0.0684
	X <sub>13</sub>	收入利润率	0.0645	0.0721

视单位产品成本和收入利润,也说明了经济效益是推动一项技术从局部示范到大范围推广应用的重要驱动力;对于社会环节,往往缺乏足够重视,之后的绿色能源 IES 设计者和建设者需更加注重就业效果、社会稳定,从而建设成为以人为本、智能化、信息化、体现绿色及能源电力特色的综合性 IES。

## 5 结论

基于数字画像技术建立了 IES 综合效益和技术推广应用的多维度评价标签体系,并以上海临港

地区国家级示范项目和北方某园区级 IES 为例开展综合评价,取得如下成果。

1) 基于数字画像技术,充分考虑国家“双碳”战略和“新型电力系统”建设需求下不同终端能源消费技术之间的生命周期、通用性、技术特性和推广应用需求,创新性地构建 IES 技术画像,为形成 IES 新技术项目推广管理机制,规划 IES 新技术孵化路线提供核心理论支撑。

2) 在 IES 技术标签权重计算中,基于 AHP 的主客观结合赋权方法,其相比于单一赋权方法在指标权重取上更加客观公正,既兼顾决策者喜好,

又可避免主观因素干扰,通过对指标间影响因素更系统、全面地分析,所获指标权重更加准确,从而为 IES 技术推广应用提供科学量化依据。

3) 在实际算例分析中,选取了临港国家级示范项目和北方某园区级示范项目,具有较强的代表性,既代表不同地域对 IES 技术需求的区别,亦有效验证了 IES 技术从示范到推广应用过程中各项指标的变化情况和不同阶段发展需求,对于 IES 技术的推广应用形成较为典型的样板。

后续将进一步结合知识图谱技术,构建 IES 中各类新技术之间的关联互动关系和技术发展演化路径,形成“数智融合”下的新技术推广应用管理机制,从而为“再电气化”背景下各类终端能源消费新技术落地应用和 IES 项目发展建设提供参考。

#### 参考文献(References)

- [1] 方斯顿,赵常宏,丁肇豪,等.面向碳中和的港口综合能源系统(一):典型系统结构与关键问题[J].中国电机工程学报,2023,43(1):114-135.
- [2] 张旋,张玉敏,吉兴全,等.计及电-气-热综合能源系统的输配协同优化调度[J].电网技术,2022,46(11):4256-4270.
- [3] 曾鸣,刘英新,周鹏程,等.综合能源系统建模及效益评价体系综述与展望[J].电网技术,2018,42(6):1697-1708.
- [4] 郭创新,丁筱.综合能源系统优化运行研究现状及展望[J].发电技术,2020,41(1):2-8.
- [5] 丁曦,张笑演,王胜寒,等.双碳目标下考虑最优建设时序的区域综合能源系统低碳规划[J].高电压技术,2022,48(7):2584-2596.
- [6] 吕佳炜,张沈习,程浩忠,等.考虑互联互通的区域综合能源系统规划研究综述[J].中国电机工程学报,2021,41(12):4001-4021.
- [7] 郭艳飞,任雪桂,鞠力,等.基于层次分析法的综合能源系统能效评估方法研究及应用[J].电力科学与技术学报,2018,33(4):121-128.
- [8] 习近平.关于《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》的说明[J].经济,2020(12):16-20.
- [9] 汪颖,喻梦洁,卢宏,等.基于最大互信息的干扰源类型识别及电能质量需求画像技术[J].电力系统自动化,2022,46(9):171-181.
- [10] 王飞飞,周少华,韩迎军.基于大数据技术的电力用户画像分析[J].山西电力,2019(4):26-29.
- [11] 张宇帆,艾芊,肖斐,等.数据驱动电能质量分析现状及其支撑技术与展望[J].电力自动化设备,2018,38(11):187-196.
- [12] 周李,赵露君,高卫国.稀疏编码模型在电力用户异常用电行为探测中的应用研究[J].电网技术,2015,39(11):3182-3188.
- [13] 叶海峰,罗颖婷,许海林,等.基于画像的变压器精细化管理管控策略研究[J].微型电脑应用,2019,35(2):67-69.
- [14] 沈岩,李东东,林顺富.碳中和背景下的工业用户综合用能指标体系多维画像方法[J].中国电力,2022,55(11):91-96.
- [15] 刘姜.基于大数据的用户画像构建方法与运用探究[J].科技创新与应用,2022,12(9):139-142.
- [16] Ren H B, Wu Q, Ren J X, et al. Influence analysis of climate condition on the optimal adoption of distributed energy resource systems in China[J]. Advanced Materials Research, 2013, 805-806: 595-598.
- [17] Maraver D, Sin A, Royo J, et al. Assessment of CCHP systems based on biomass combustion for small-scale applications through a review of the technology and analysis of energy efficiency parameters[J]. Applied Energy, 2013, 102: 1303-1313.
- [18] 冯晓梅,张瑞雪,李骥,等.建筑多能源系统优化评价方法研究[J].建筑节能,2020,48(11):45-50.
- [19] 韩中合,祁超,向鹏,等.分布式能源系统效益分析及综合评价[J].热力发电,2018,47(2):31-36.
- [20] 王继业,季知祥,史梦洁,等.智能配用电大数据需求分析与应用研究[J].中国电机工程学报,2015,35(8):1829-1836.
- [21] 王利利,张琳娟,许长清,等.能源互联网背景下园区用户画像及成熟度评价模型研究[J].中国电力,2020,53(8):19-28.
- [22] Nasraoui O, Soliman M, Saka E, et al. A web usage mining framework for mining evolving user profiles in dynamic web sites[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2008, 20(2): 202-215.
- [23] 李家桐,谢宁,王承民,等.基于CHP机组碳排放分析的综合能源系统低碳调度优化方法[J].智慧电力,2024,52(6):31-37.
- [24] 朱石剑.电力用户综合能效评估及系统研发[D].天津:天津大学,2019.
- [25] 吴柯蓉.基于大数据分析方法的电力95598服务质量提升研究[D].南宁:广西大学,2021.

- [26] LeRouge C, Ma J, Sneha S, et al. User profiles and personas in the design and development of consumer health technologies[J]. *International Journal of Medical Informatics*, 2013, 82(11): e251–e268.
- [27] Al-Shamri M Y H. User profiling approaches for demographic recommender systems[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2016, 100: 175–187.
- [28] 任德军, 刘自发, 高峰, 等. 考虑碳交易机制与需求响应的园区综合能源系统电热协同运行优化研究[J]. *热力发电*, 2022, 51(3): 119–130.
- [29] 罗洋. 基于AHP-熵权法的综合能源系统多指标评价研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2021.
- [30] 黄子硕, 于航. 不确定规划思维下社区能源规划指标初探[C]//2014(第九届)城市发展与规划大会. 天津: 中国城市科学研究会, 2014: 1–4.
- [31] 张涛, 朱彤, 高乃平, 等. 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[J]. *中国电机工程学报*, 2015, 35(14): 3706–3713.
- [32] 谢晔. 火电企业二氧化硫排放量核算方法研究: 以浙江省为例[J]. *低碳世界*, 2017(11): 14–15.
- [33] 曾建勋. 技术先进性评价的文献计量法[J]. *情报知识*, 1987, 7(4): 29–32.
- [34] 高艳红, 杨建华, 杨帆. 技术先进性评估指标体系构建及评估方法研究[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(5): 138–142.
- [35] 鞠立伟. 需求响应参与清洁能源集成消纳与效益评价模型研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- [36] 刘杰杰, 夏玮, 刘子杰, 等. 基于熵权法-层次分析法的蒸汽吞吐评价指标构建[J]. *节能*, 2022, 41(3): 8–16.
- [37] 孟建辉, 高凯, 韩冰, 等. 适用于大规模新能源直流外送方案的评价体系及评估方法[J/OL]. *华北电力大学学报(自然科学版)*, 1–10 [2024-07-08]. <https://link.cnki.net/urlid/13.1212.TM.20240627.1742.002>.

## An evaluation method of technology popularization and application of integrated energy system based on digital portrait

LIANG Chen, MA Xiping, DONG Xiaoyang, LI Yaxin, LUO Li, XU Rui

Electric Power Research Institute of State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China

**Abstract** Integrated energy system (IES) has broken the boundaries between various terminal energy networks. Comprehensive evaluation of its technology popularization and application is an important step to promote the development and construction of IES. To cope with the problems of IES such as technology's wide scope, large number influencing factors, and complicated evaluation indexes, an evaluation model and method of IES technology's popularization and application are established by combining operation research comprehensive evaluation theory and digital portrait technology. Based on massive monitoring data and IES operation data, the evaluation model generates a multi-source feature evaluation label system regarding to environment, performance, economy and society, and integrates the popularization and application information from many aspects to build a complete and multidimensional IES technology portrait. According to expert scoring and important information feature screening of IES original data, a method combining subjective and objective analytic hierarchy process (AHP-entropy weight method) is used to assign weights to the labels, and the contour of IES technical portrait is formed by fine weight calculation. Finally, the national IES demonstration project in Shanghai Lingang and a park level IES project in the north are selected as examples for evaluation and verification. Results show that the model and method proposed in this paper are applicable in engineering applications and can provide reference for design and construction of IES and promotion and application of key technologies.

**Keywords** integrated energy system; portrait technology; technology promotion and application; evaluation system; label empowerment ●



(责任编辑 赵庆圆)