

适于工业园区综合能源类项目的综合评价指标体系

钟依庐,王 路,郑 赟,印佳敏,郭子暄,李 震

(中国能源建设集团 广东省电力设计研究院有限公司,广州 510663)

Comprehensive evaluation index system for integrated energy system in industrial park

ZHONG Yilu, WANG Lu, ZHENG Yun, YIN Jiamin, GUO Zixuan, LI Zhen

(Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., China Energy Engineering Group, Guangzhou 510663, China)

摘要:完整、合理、集成、可执行的综合评价指标体系,是实现工业园区综合能源规划项目方案与决策最优化、保障项目效益的必要理论支持,而现有综合能源领域指标评价体系的综合集成性、通用均衡性、规划期可执行性等方面尚存在局限。以工业园区综合能源类规划项目为对象,基于对该类项目需求与采数条件进行研究与提炼,构建形成一套以“2类3层”为结构,兼顾整体表现综合评分与细节评估,覆盖技术特性、经济、环境等多评价方向的综合评价指标体系,并通过工业园区综合能源类项目典型案例检验、证明了该指标体系的合理性、可执行性与通用性,适用于从开发前期到运行后期中存在的综合评估需求,为该类项目的开发推广提供了有力支持。

关键词:综合能源;指标体系;分布式能源;项目综合评价

Abstract: A comprehensive evaluation index system, which is complete, reasonable and practical, is a necessary theory support for the optimization and benefit guarantee of integrated energy project in industrial park. However, in current energy field, most of present evaluation index systems are limited in comprehensiveness, equilibrium and feasibility. Based on analyzing requirements and conditions of integrated energy projects in industrial parks, the thesis builds a comprehensive evaluation index system with two-class-three-layer construction, covering evaluation sectors as technical performance, economic, environmental protection, etc. The comprehensiveness, equilibrium and feasibility of the evaluation index system are verified during case study, proving the index system as satisfactory support for the optimization and future development of integrated energy system in industrial parks.

Key words: integrated energy; index system; distributed energy; comprehensive evaluation

0 引言

在节能高效、绿色安全的主流趋势下,工业园区能源系统逐渐走向集约化、清洁化^[1-3,6-9]。在该类项目的规划过程中,利用合理综合评价指标体系,可预判项目潜能、支持优化决策,对效益保障、项目开发、政策拟定、机遇预判具有重要意义^[2-8,10-11]。综合能源类项目涉及面广、设施类型丰富、评价方向多样,很多文献就综合评价指标体系展开研究,如:文献[1]、文献[2]研究智能化供电网络评价,提出含互动性、先进性、成本、社会效益评价的评价体系;文献[3]基于序贯蒙特卡洛模拟,给出含能效、成本、质量、环境的综合能源评价体系;文献[4]提出“荷-网-源”协同控制降损评估体系;文献[5]构建针对天然气分布式能源系统的评价体系。然而现有成果尚具有优化空间,如:评价方向有限,通用性欠缺,难以直接应用;部分指标未量化,公正性尚需提升;未提出综合性指标,对项目整体表现评估欠直观;计算条件复杂,规划阶段难以

获取、评价工作难以执行。

针对工业园区综合能源项目规划缺乏完整、通用、可执行的指标体系的现状,本文从该类项目的评价需求出发,构建一套“2类3层”结构,含技术特性、经济、环境等评价方向的综合评价指标体系,并通过典型案例证实该体系的评价体现。

1 需求分析

分析项目的负荷与导向需求,归纳评价方向,是保障指标体系中指标完整性、必要性的基础。

1.1 负荷需求分析

负荷需求表征园区用能需求的客观特性,可影响配置设施,分析方向包括需求种类与变化特性。

(1) 需求种类主要可分为电、热与冷,通常存在大体量热、冷需求时,园区多能连供条件较好。

(2) 按变化特征,负荷可分为平稳型与浮动型:平稳型基荷占比高,负荷曲线较平稳,通常配置分布式供能源条件较好;浮动型基荷比低,负荷曲线变化明显,通常可配置储能、调峰机组或通过用户侧调控手段进行削峰填谷。

1.2 导向需求分析

导向需求表征项目所要达成的期望,主观性偏

收稿日期:2019-12-24;修回日期:2020-01-15

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFB0901305)

This work is supported by National Key Research and Development Plan(No.2016YFB0901305)

高,主要类别如下。

(1) 经济类:追求高收益或低成本,以高耗能园区更为突出。

(2) 环境类:追求高效、低耗、绿色等,当前常见期望可用供能清洁化与废能回收实现。

(3) 可靠类:常见于用能稳定、停运经济损失大的园区,可通过引入分布式源、储能等来实现。

(4) 智慧类:通常要求对某概念或技术进行推广,多见于示范型园区,对二次系统要求较高。

2 指标体系构建与解析

由需求分析知:负荷需求影响配置设施的类型(生产、传输、存储及使用)、运行方式;导向需求可直接反映项目评价方向(经济、环境、可靠、创新)。基于需求分析成果,本文提出针对工业园区综合能源项目的指标体系如图1所示。

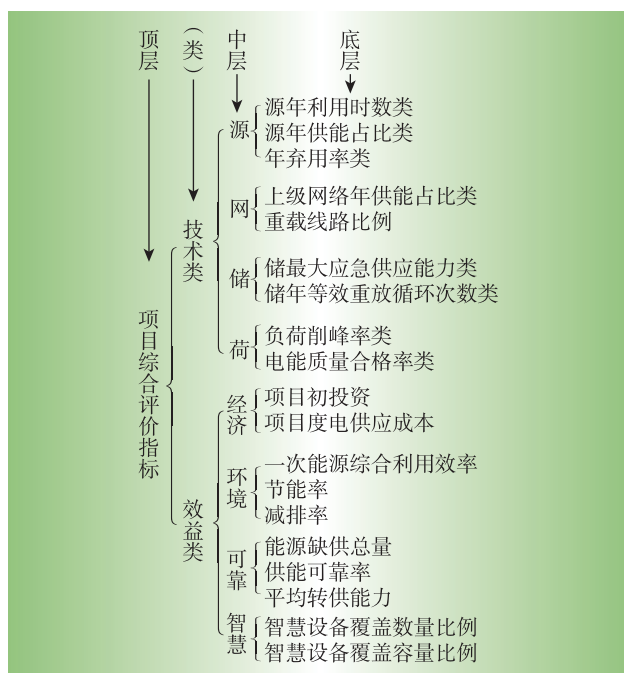


图1 工业园区综合能源项目评价总指标体系

Fig. 1 General index system of integrated energy system in industrial park

2.1 结构说明

本文构建指标体系以“2类3层”为基本结构。

(1) 2类

除顶层指标外,对应需求的客观与主观,指标分为技术类和效益类,仅提升体系的逻辑与可读性,不含具体参数值。

(2) 3层

全部指标按从属关系划分为顶层、中层、底层:顶层指标表征项目综合表现,参数包括评分;中层指标为定性指标,表征项目在指定评价方向上的表现,参

数包括评分、权重;底层指标为定量指标,表征项目在指定考核项目上的表现,是获取顶层、中层指标数值的基础,含参数包括测算值、参考值、评分、权重。

(3) 层间关系

3层体系中,顶层指标为全部中层指标的上层指标;每个中层指标与其下含的全部底层指标关系同理。上层指标数值由其直接下含的下层指标的评分与权重决定,通用公式如式(1)所示。

$$S_{up} = \sum_{i=1}^I \varepsilon^i \times S^i \quad (1)$$

式中: S_{up} 为上层指标计算结果; I 为该上层指标含下级指标数量; ε^i 为该上层指标下第 i 项下级指标的权重; S^i 为该上层指标下第 i 项下级指标评分值。

2.2 顶层指标

顶层指标值表征项目整体表现,公式同式(1)。

2.3 中层指标

中层指标值由其下含的底层指标评分与权重决定,公式同式(1)。体系含中层指标8个。

2.3.1 技术类

对应项目配置的能源设施,包含源指标、网指标、储指标、荷指标。

(1) 源指标:评判园区内分布式能源点的规模达标水平、投建合理性、区域自给率贡献等。

(2) 网指标:评价该能源系统对外部能源输入的依赖程度、区内能源网络布局合理性等。

(3) 储指标:评判园区内储能的规模水平、投建合理性、负荷削峰贡献等。

(4) 荷指标:表现园区内用户需求转化到能源系统输出端呈现出的特性,评判通过综合能源实现的主网需求容量缩减水平、建设投资、扩建需求及设施利用率,用户通过缩减容量电费所能节省的用能支出,或能源管理、需求侧响应等贡献。

2.3.2 效益类

效益类中层指标对应项目的人为期望,包含经济指标、环境指标、可靠指标、智慧指标。

(1) 经济指标:表征园区能源系统在资金投入、现金收益等经济相关方面形成的效益,通常作为核心评价方向之一,可评价项目的资金需求、盈利能力,辅助投资决策。

(2) 环境指标:表征能耗、弃能、排污量等环境相关效益,可量化综合能源在节能、清洁、可持续上的优势,可助获得更多政策支持与客户群。

(3) 可靠指标:表征园区能源系统对园区能源需求满足情况及能源供应稳定持续性相关的效益,多见于对供能可靠性要求高、供能中断造成损失大的园区。

(4) 智慧指标:表征能源系统对先进、智能、创新的现代化能源设备的应用情况,侧重于对智能化程度和系统控制的便捷性、互动性进行表述。

2.4 底层指标

底层指标为定量指标,由计算获得具体数值,且在应用时可适当调整,代表性的主要如下。

2.4.1 源指标类

(1) 源年利用时数类:表征源设施的年利用率,越大则配置合理性更高,通用算法如式(2)所示。

$$N_h^{\text{sour}} = E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}} / C^{\text{sour}} \quad (2)$$

式中: sour 为源设施代号; N_h^{sour} 为该设施年最大利用小时数; $E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}}$ 为该设施年总供能量; C^{sour} 为该设施配置容量。

(2) 源年供能占比类:表征源设施对园区供能的贡献程度,越大则自给率更高、清洁化率更高,通用算法如式(3)所示。

$$\text{Perc}_{\text{out}}^{\text{sour}} = E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}} / (E_{\text{ann}}^{\text{load}} + E_{\text{ann}}^{\text{loss}}) \quad (3)$$

式中: sour 为源设施代号; $\text{Perc}_{\text{out}}^{\text{sour}}$ 为该设施年供能占比; $E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}}$ 为该设施年总供能量; $E_{\text{ann}}^{\text{load}}$ 为园区用户年用能总量; $E_{\text{ann}}^{\text{loss}}$ 为园区能源系统年总传输损耗。

(3) 年弃用率类:表征可再生能源的弃用程度,越小则可再生能源实际利用水平更高、配置合理度更高,通用算法如式(4)所示。

$$\text{Perc}_{\text{aban}}^{\text{type}} = (E_{\text{ann}}^{\text{typeDC}} - E_{\text{ann}}^{\text{typeAC}}) / E_{\text{ann}}^{\text{typeDC}} \quad (4)$$

式中: sour 为源设施代号; $\text{Perc}_{\text{aban}}^{\text{sour}}$ 为该设施所采集的可再生能源的年弃用率; $E_{\text{ann}}^{\text{typeDC}}$ 为该设施年直流侧电量; $E_{\text{ann}}^{\text{typeAC}}$ 为该设施年交流侧电量。

2.4.2 网指标类

(1) 上级网络年供能占比类:表征园区用能对上级能源网络供能的依赖程度,越小则供能自主性更高、抗外部风险能力更强,通用算法如式(5)所示。

$$\text{Perc}_{\text{out}}^{\text{grid}} = E_{\text{out-ann}}^{\text{grid}} / (E_{\text{ann}}^{\text{load}} + E_{\text{ann}}^{\text{loss}}) \quad (5)$$

式中: grid 为上级网络代号; $\text{Perc}_{\text{out}}^{\text{grid}}$ 为该网络年供能占比; $E_{\text{out-ann}}^{\text{grid}}$ 为该网络年总供能量; $E_{\text{ann}}^{\text{load}}$ 为园区用户年用能总量; $E_{\text{ann}}^{\text{loss}}$ 为园区能源系统年总传输损耗。

(2) 重载线路比例:表征园区输电线路重载水平,越小则小值为系统稳定性更高、扩建需求越小,通用算法如式(6)所示。

$$\sigma^{\text{vlev}} = n_{\text{over}}^{\text{vlev}} / n_{\text{total}}^{\text{vlev}} \quad (6)$$

式中: vlev 为电压等级代号; σ^{vlev} 为重载线路比例; $n_{\text{over}}^{\text{vlev}}$ 为该电压等级重载线路数量(出现负载80%以上); $n_{\text{total}}^{\text{vlev}}$ 为该电压等级线路总数。

2.4.3 储指标类

(1) 储最大应急供能能力类:表征储设施应急供能能力,越大则供能保障性、抗外部风险能力越强,通用算法如式(7)。

$$C_{\text{emer}}^{\text{sour}} = \sum_{i=1}^{N^{\text{sour}}} C_{\text{emer-i}}^{\text{sour}} \quad (7)$$

式中: sour 为储设施类型代号; $C_{\text{emer}}^{\text{sour}}$ 为园区全部该类

储设施所能实现的最大应急供能能力; N^{sour} 为园区中该类型储设施的总数; $C_{\text{emer-i}}^{\text{sour}}$ 为第 i 个该类型储设施的最大应急供能能力,通常等同最大有效蓄能量。

(2) 储年等效重放循环次数类:表征储设施自身的年利用率,越大则配置合理性更高,通用算法如式(8)所示。

$$N_{\text{cd}}^{\text{sour}} = E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}} / C^{\text{sour}} \quad (8)$$

式中: sour 为储设施代号; $N_{\text{cd}}^{\text{sour}}$ 为该设施年最大充放循环次数; $E_{\text{out-ann}}^{\text{sour}}$ 为该设施年总供能量; C^{sour} 为该设施的可利用配置容量。

2.4.4 荷指标类

(1) 负荷削峰率类:表征综合能源系统或指定设施的削峰作用,越大则稳定性贡献、提升上级能源系统利用率效果、延缓上级能源系统扩建需求水平、帮助用户回避峰期高额电价水平的效果越好,通用算法如式(9)所示。

$$\text{Perc}_{\text{loadP}}^{\text{elem}} = (P_{\text{loadP}}^{\text{elem-ref}} - P_{\text{loadP}}^{\text{elem-exa}}) / P_{\text{loadP}}^{\text{elem-ref}} \quad (9)$$

式中: elem 为负荷类型代号; $\text{Perc}_{\text{loadP}}^{\text{elem}}$ 为该负荷削峰率; $P_{\text{loadP}}^{\text{elem-exa}}$ 为综合能源系统或指定设施投入后,考核年该类负荷的峰值; $P_{\text{loadP}}^{\text{elem-ref}}$ 为未投入时同年该类负荷的峰值(通常为估算值)。

(2) 电能质量合格率类:表征园区用户所获得电能的质量水平,越大则稳定性更高,通用公式如式(10)所示。

$$\beta_{\text{qua}} = T_{\text{qua}} / T_{\text{total}} \quad (10)$$

式中: qua 为电能质量考核项代号,通常为电压或频率的代号; β_{qua} 为该项的合格率; T_{total} 为考核时间周期长度; T_{qua} 为该考核项在该时间周期中合格的总时长。

2.4.5 经济指标类

(1) 项目初投资:表征项目所需的一次投入,可判定项目预算、作为投资决策参考,越小则投入需求、合作需求越少,通用算法如式(11)所示。

$$\text{Cos}^{\text{inv}} = \sum_{i=1}^{N^{\text{fac}}} (\text{Cos}_i^{\text{inc-fac}} \times \varepsilon_i^{\text{fac}}) \quad (11)$$

式中: Cos^{inv} 为项目初投资; N^{fac} 为项目子系统总数量; $\text{Cos}_i^{\text{inc-fac}}$ 和 $\varepsilon_i^{\text{fac}}$ 分别为子系统项目 i 的设备初投资与占该工程投资的比例。

(2) 项目度电供应成本:表示项目在将售热、售冷等其他收入记为成本回收的情况下,项目全周期中供应每度电所需的成本,越小则经济性越好、盈利能力越强,通用算法如式(12)所示。

$$\text{Cos}^{\text{pu-elec}} = \left(\frac{\text{Cos}^{\text{inv}}}{T_{\text{life}}} + \text{Cos}_{\text{ann}}^{\text{mo-fuel}} + \text{Cos}_{\text{ann}}^{\text{depr}} - \text{Inc}_{\text{ann}}^{\text{TD}} \right) / E_{\text{out-ann}}^{\text{elec}} \quad (12)$$

式中: $\text{Cos}^{\text{pu-elec}}$ 为项目度电供应成本; Cos^{inv} 为项目初

投资; T_{life} 为项目生命年限; $\text{Cos}_{\text{ann}}^{\text{mo-fuel}}$ 为项目每年运行、维护及燃料支出; $\text{Cos}_{\text{ann}}^{\text{depr}}$ 为年折旧费用; $\text{Inc}_{\text{ann}}^{\text{TD}}$ 为项目由多能联供售热、售冷等得到的年投资抵扣量; $E_{\text{out-ann}}^{\text{elec}}$ 为项目年供电总量。

2.4.6 环境指标类

(1) 一次能源综合利用效率: 表征指定边界范围内, 对输入边界能量的利用效率, 越大则能效、节能水平越高, 通用算法如式(13)。

$$\eta_{\text{uti}}^{\text{spec}} = \frac{\sum_{i=1}^{N^{\text{out}}} E_i^{\text{T-out}}}{\sum_{j=1}^{N^{\text{in}}} E_j^{\text{T-in}}} \quad (13)$$

式中: spec 为边界代号; T 为指定时间周期代号; $\eta_{\text{uti}}^{\text{spec}}$ 为该边界内的一次能源综合利用效率; N^{out} 为输出该边界的能量类型数量; $E_i^{\text{T-out}}$ 为输出该边界的能量类型 i 在该周期内的输出量; N^{in} 为投入该边界的能量类型数量; $E_j^{\text{T-in}}$ 表示输出该边界的能量类型 j 在该周期内的输出量。

(2) 节能率: 表征项目节约标煤消耗的贡献, 越大则节能水平更高, 通用公式如式(14)。

$$\eta_{\text{save}}^{\text{spec}} = (Q_{\text{sc}}^{\text{ref}} - Q_{\text{sc}}^{\text{exa}}) / Q_{\text{sc}}^{\text{ref}} \quad (14)$$

式中: spec 为边界代号; $\eta_{\text{save}}^{\text{spec}}$ 为该边界节能率; $Q_{\text{sc}}^{\text{ref}}$ 为常规系统作用时该边界年标煤消耗量; $Q_{\text{sc}}^{\text{exa}}$ 为综合能源系统或指定设施发挥作用之后该边界年标煤消耗量。

(3) 减排率: 表征项目对供能环境成本的削减水平, 越大则减排、清洁化水平越高, 通用公式如式(15)一式(17)。

$$\eta_{\text{emi}}^{\text{spec}} = (C_{\text{ann}}^{\text{poll-ref}} - C_{\text{ann}}^{\text{poll-exa}}) / C_{\text{ann}}^{\text{poll-ref}} \quad (15)$$

$$C_{\text{ann}}^{\text{poll-ref}} = \sum_{i=1}^{N^{\text{fuel}}} \left(\sum_{j=1}^{N^{\text{poll}}} (Q_{i-\text{ann}}^{\text{fuel-ref}} \times e_{i,j-\text{pu}}^{\text{poll}} \times c_{j-\text{pu}}^{\text{poll}}) \right) \quad (16)$$

$$C_{\text{ann}}^{\text{poll-exa}} = \sum_{i=1}^{N^{\text{fuel}}} \left(\sum_{j=1}^{N^{\text{poll}}} (Q_{i-\text{ann}}^{\text{fuel-exa}} \times e_{i,j-\text{pu}}^{\text{poll}} \times c_{j-\text{pu}}^{\text{poll}}) \right) \quad (17)$$

式中: spec 为边界代号; $\eta_{\text{emi}}^{\text{spec}}$ 为该边界内减排率; $C_{\text{ann}}^{\text{poll-ref}}$ 为该边界内没有综合能源系统或指定设施发挥作用的情况下的年排放治理成本; $C_{\text{ann}}^{\text{poll-exa}}$ 为发挥作用之后得到年排放治理成本; N^{fuel} 为该边界所消耗全社会燃料种类数量; N^{poll} 为该边界对全社会产生污染物数量; $Q_{i-\text{ann}}^{\text{fuel-ref}}$ 为该边界内没有综合能源系统或指定设施发挥作用的情况下, 燃料 i 的年消耗量; $Q_{i-\text{ann}}^{\text{fuel-exa}}$ 为发挥作用之后, 燃料 i 的年消耗量; $e_{i,j-\text{pu}}^{\text{poll}}$ 为消耗每单位燃料 i , 污染物 j 的排放量; $c_{j-\text{pu}}^{\text{poll}}$ 为排放每单位污染物 j 产生的治理成本。

2.4.7 可靠指标类

(1) 能源缺供总量: 表征供能缺额, 越小则可靠性更高、缺供影响力越弱, 通用公式如式(18)。

$$\text{ENS} = \sum \left(\int_{t_{\text{bla}-i}}^{t_{\text{rec}-i}} p_{\text{load-bla}}^{\text{est}-i} dt \right) \quad (18)$$

式中: ENS 为年能源缺供总量; $p_{\text{load-bla}}^{\text{est}-i}$ 为第 i 次停电事故期间停用用户负荷需求对应时间的预测曲线; $t_{\text{bla}-i}$ 表示第 i 次停电事故起始时刻; $t_{\text{rec}-i}$ 表示第 i 次停电事故结束时刻。

(2) 供能可靠率: 表征实际供能时间占比, 越大则供能稳定性、可靠性更高, 通用公式如式(19)一式(21)。

$$\text{SAT} = N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-actu}} / N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-need}} \quad (19)$$

$$N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-actu}} = N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-need}} - \sum t_i^{\text{ann-bla}} \quad (20)$$

$$N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-need}} = N_{\text{user}} \times T_{\text{ann}} \quad (21)$$

式中: SAT 为年供能可靠率; $N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-actu}}$ 为用户实际年用能小时总数; $N_{\text{hour}}^{\text{ann-use-need}}$ 为用户需求年用能小时总数; $t_i^{\text{ann-bla}}$ 为用户 i 在全年所经历的停供总时长; N_{user} 为用户总数; T_{ann} 为时间周期(8 760 h)。

(3) 平均转供能力: 表征项目互补供能的能力水平, 越大则供能互补性、灵活性更高, 通用公式如(22)。

$$A_{\text{trans}}^{\text{ave}} = \text{ave} \left(\left[(C_{\text{add}}^{\text{ALL}} - C_{\text{add}}^i) / C_{\text{nor}}^i \right] \right) \quad (22)$$

式中: $A_{\text{trans}}^{\text{ave}}$ 为平均转供能力; ave 为取平均值函数; $\left[(C_{\text{add}}^{\text{ALL}} - C_{\text{add}}^i) / C_{\text{nor}}^i \right]$ 为元素对应园区含主网在内的能源供应端的转供能力指标集合; $C_{\text{add}}^{\text{ALL}}$ 为全部能源供应端在保障常规运行的情况下具有的富余供能能力之和; C_{add}^i 为供能端 i 在保障常规运行的情况下具有的富余供能能力; C_{nor}^i 为供能端 i 常规运行下的出力水平。

2.4.8 智慧指标类

(1) 智慧设备覆盖数量比例: 表征智慧设备推广程度, 越大则推广度越高, 通用公式如式(23)。

$$\Psi_{\text{num}}^{\text{intl}} = N_{\text{tag-num}}^{\text{intl}} / N_{\text{tag-num}} \quad (23)$$

式中: $\Psi_{\text{num}}^{\text{intl}}$ 为智慧设备覆盖数量比例; $N_{\text{tag-num}}^{\text{intl}}$ 为该智慧设备的作用对象数量; $N_{\text{tag-num}}$ 为该类型作用对象总数。

(2) 智慧设备覆盖容量比例: 表征智慧设备作用影响力, 越大则影响力越大, 通用公式如式(24)。

$$\Psi_{\text{cap}}^{\text{intl}} = C_{\text{tag}}^{\text{intl}} / C_{\text{tag}} \quad (24)$$

式中: $\Psi_{\text{cap}}^{\text{intl}}$ 为智慧设备覆盖容量比例; $C_{\text{tag}}^{\text{intl}}$ 为该智慧设备的作用对象总容量; C_{tag} 为类作用对象总容量。

2.5 评分方法

顶层与中层指标的评分方法如式(1), 底层指标评分采用线性评分方式, 基于同类项目经验、期望值、政策要求等信息, 设立满分 100 与最低分线 0 所对应的指标参考数值, 再将指标计算值与参考值对比获得评分, 通用公式如式(25)所示。

$$S^{\text{test}} = S^{\text{min}} + \frac{S^{\text{max}} - S^{\text{min}}}{V^{\text{max}} - V^{\text{min}}} \times (V^{\text{test}} - V^{\text{min}}) \quad (25)$$

式中: S^{test} 为指标得分值; V^{test} 为指标数值; S^{max} 为满分值, V^{max} 为其对应的指标参考值; S^{min} 为最低分

值, $V^{\min}$ 为其对应的指标参考值。

2.6 评价流程

应用本文构建的指标体系时,需分析项目评价需求,筛选评价方向与底层指标并分配权重,基于同类项目均值、常规系统表现及政策要求等设定评分参考值,经园区采数,计算底层指标,经式(25)获得底层评分,再经式(1)逐层上推,最终获得项目的综合评价结果。评价流程如图2所示。

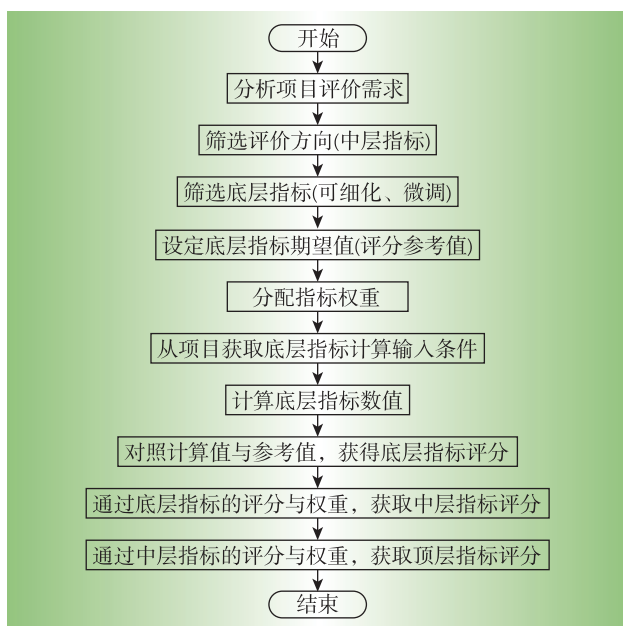


图2 项目指标评价流程示意图

Fig. 2 Process diagram of assessment of project indicators

3 案例分析

本文以广州某工业园区综合能源示范项目作为指标体系应用案例。该园区负荷以电(65.26 MW)与高温蒸汽(27.3 t/h, 250 °C, 2.5 MPa)为主,在上级电网的供能保障下,以提升能源自给率、减少标煤消耗与污染为目标,以天然气能源站(28.8 MW)为核心热电联供,以生物质电厂(24 MW)、分布式光伏(26 MWp)辅助供能。由此可知,该项目配置以源、网为主,效益考核方向为经济与环境。

基于项目情况,本文从指标体系中筛选源指标、网指标、经济指标、环境指标,筛选出8项底层指标进行计算,参考值由项目建设目标给出,权重结合德尔菲法与层次分析法确定(方法见文献[12]),输入条件由园区提供。中层指标及源指标与环境指标下含的底层指标,权重计算评价因子判定矩阵分别如式(26)、式(27)、式(28),计算结果与其他评价指标基本设定如表1。

$$A_{\text{mid}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.333 & 3 & 0.5 \\ 1 & 1 & 0.333 & 3 & 0.5 \\ 3 & 3 & 1 & 1.5 \\ 2 & 2 & 0.666 & 7 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$A_{\text{sour}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.75 \\ 1 & 1 & 0.75 \\ 1.333 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$A_{\text{envi}} = \begin{bmatrix} 1 & 1.333 & 3 & 1.333 & 3 \\ 0.75 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.75 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

表1 案例项目评价指标设定汇总表

Table 1 Summary of project evaluation indexes setting

中层指标 (权重)	底层指标 (权重)	满分 参照值	线性 系数	通用 公式	备注
源 (14.29%)	本地清洁保障供能比例% (权重30%)	75	222.22	式(3)	针对天然气能源站
	本地可再生供能比例% (权重30%)	30	133.33	式(3)	针对分布式光伏与生物质电厂
	本地可控源利用时数h (权重40%)	6 000	0.013	式(1)	针对天然气能源站
网 (14.29%)	外部电网供能占比% (权重100%)	20	-200	式(5)	针对上级电网且只考虑供电比例
经济 (42.86%)	度电供应成本元/kWh (权重100%)	0.4	-114.3	式(13)	售热蒸汽收入抵扣成本
环境 (28.57%)	一次能源利用效率%(权重40%)	80	222.22	式(13)	从上级电网购买的电量需折算成发电厂标煤消耗
	节能率%(30%)	40	100	式(14)	—
	减排率%(权重30%)	40	100	式(15)	统计污染包括 CO ₂ , SO ₂ , NO _x , 粉尘

采用前文给出的计算公式与评价流程,可得到该项目底层指标计算及评分结果如表(2),中层及顶层指标评分结果如表(3)。由计算结果可知:

(1) 项目整体综合评分达到79.31,良好水平,综合表现满足预期,示范价值与提升空间并存。

(2) 项目主要优势在于高自给率(由网指标)与高环境效益(由环境指标):抗上级网络事故、意外风险能力强,供能保障较好,适于推广至一类负荷占比高的园区;清洁能源供能比例高,能源利用效率、节能、减排水平高,具有良好的环境示范意义。

(3) 项目主要不足在于盈利能力(由经济指标)。结合本地可控源利用时数指标可知,天然气能源站的年利用时数较低,可能由配置容量过大、或实际负荷不达预期所致,进而导致当前燃料与设备价位下售热回收投资能力不足。由此,未来同类项目可考虑适量缩小能源站规模占比、跟随负荷分批建设、或等待气价及设备价格下调后建设等方式来规避该经济性问题。

表2 底层指标计算及评分结果

Table 2 Base-level-index calculation and scoring results

所属中层指标	底层指标	权重/%	数值	评分/分
源	本地清洁保障供能比例/%	30	69	86.67
	本地可再生供能比例/%	30	22	89.33
	本地可控源利用时数/h	40	3221	62.95
网	外部电网供电占比/%	100	23	94
经济	度电供应成本/(元·kWh ⁻¹)	100	0.72	63.43
环境	社会一次能源利用效率/%	40	76	91.11
	节能率/%	30	63	100
	减排率/%	30	86	100

表3 上级指标评分结果汇总表

Table 3 Upper-level-index scoring results

顶层指标		中层指标		
名称	评分/分	名称	权重/%	评分/分
项目综合指标	79.31	源指标	14.29	77.98
		网指标	14.29	94
		经济指标	42.86	63.43
		环境指标	28.57	96.44

4 结束语

本文为满足工业园区综合能源类项目在规划阶段综合效益估算、方案综合比选等需求,基于项目评价需求分析,构建以“2类3层”为主干结构的综合评价指标体系,可单值量化项目表现便于多目标择优,也可呈现指定考核条目的具体表现便于优劣势分析,兼顾能源供应、传输、存储及用户端口设施进行技术评估,以及经济、环境、可靠、智慧效益期望评估,并根据规划阶段实际采数条件给出了全部指标的定量计算公式。经案例应用证实,本文提出的指标体系填补了工业园区综合能源类项目规划阶段理论到实际的断层,突破常规评价体系的通用性局限,在不同工业园区综合能源项目中可移植性高,对项目前期开发、设施规划、投资决策具有重要支持意义。D

参考文献:

- [1] 张红斌,李敬如,杨卫红,等. 智能电网试点项目评价指标体系研究[J]. 能源技术经济, 2010, 22(12): 11-15.
ZHANG Hongbin, LI Jingru, YANG Weihong, et al. Study on the evaluation indicator system of the pilot project of smart grid[J]. Energy Technology and Economics, 2010, 22(12): 11-15.
- [2] 张健,蒲天骄,王伟,等. 智能电网示范工程综合评价指标体系[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 5-9.
ZHANG Jian, PU Tianjiao, WANG Wei, et al. A comprehensive assessment index system for smart grid demonstration projects[J]. Power System Technology, 2011, 35(6): 5-9.
- [3] 白牧可,唐巍,吴邦旭. 用户侧综合能源系统评估指标体系及其应用[J]. 分布式能源, 2018, 3(4): 43-46.
BAI Mu, TANG Wei, WU Bangxu. Evaluation indexes of user side integrated energy system and its application[J]. Distributed Energy, 2018, 3(4): 43-46.
- [4] 陈征,李长海,徐杰彦,等. 荷-网-源协调控制后电网降损能效评估指标体系[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(3): 5-10.
CHEN Zheng, LI Changhai, XU Jieyan, et al. Assessment index system of grid loss reduction an energy efficiency after load-network-source coordinated control[J]. Power Demand Side Management, 2016, 18(3): 5-10.
- [5] 白树伟,甘中学. 分布式能源系统综合评价方法及评价指标[J]. 煤气与热力, 2016, 36(1): 31-36.
BAI Shuwei, GAN Zhongxue. Comprehensive evaluation method and evaluation index system of natural gas distributed energy system[J]. Gas & Heat, 2016, 36(1): 31-36.
- [6] 代红才,李琼慧,汪晓露. 新能源与智能电网协调发展评价指标体系[J]. 能源技术经济, 2011, 23(5): 18-23.
DAI Hongcai, LI Qionghui, WANG Xiaolu. Research on the evaluation index system for coordinated development of new energy and smart grid[J]. Electric Power Technologic Economics, 2011, 23(5): 18-23.
- [7] 贾晨,吴聪,张超,等. 基于电热系统联合规划的城市商住混合区能源站优化配置[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 30-36.
JIA Chen, WU Cong, ZHANG Chao, et al. Optimum configuration of energy station in urban hybrid area of commerce and residence based on integrated planning of electricity and heat system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6): 30-36.
- [8] EBRAHIMI M, KESHAVARZ A, JAMALI A. Energy and energy analyses of a micro-steam CCHP cycle for a residential building[J]. Energy & Buildings, 2012, 45(1): 202-210.
- [9] 贾宏杰,王丹,徐宪东,等. 区域综合能源系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(7): 198-207.
JIA Hongjie, WANG Dan, XU Xiandong, et al. Research on some key problems related to integrated energy systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(7): 198-207.
- [10] 潘冰,杨柳. 一种计及风光储的虚拟电厂多目标调度控制模型[J]. 电器与能效管理技术, 2019(21): 56-62.
PAN Bing, YANG Liu. A Multi-objective scheduling control model for virtual power plant considering wind and solar energy[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2019(21): 56-62.
- [11] 刘晓静,王汝英,魏伟,等. 区域智慧能源综合服务平台建设与应用[J]. 供用电, 2019, 36(6): 34-38.
LIU Xiaojing, WANG Ruying, WEI Wei, et al. Construction and application of the regional smart energy integrated service platform[J]. Distribution & Utilization, 2019, 36(6): 34-38.
- [12] 邓雪,李嘉铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
DENG Xue, LI Jiaming, ZENG Haojian, et al. Analytic hierarchy process weight calculation method analysis and application research[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.

作者简介:

钟依庐(1993),女,湖南长沙人,硕士,主要从事区域能源、用户侧能源设施等工作及研究。

(责任编辑 柴明哲)