

DOI:10.12158/j.2096-3203.2022.02.007

多站融合选址综合评估研究

张小莲, 李恒聪, 胡淇, 周千浔, 沈柏宇, 向嘉琪

(南京工程学院电力工程学院, 江苏 南京 211167)

摘要:多站融合通过融合变电站、光伏电站、充电站等站点功能实现多能源优势互补,但其选址评估中须兼顾多站点影响因素,选址评估权重设计中各单站特性指标权重设计困难,共性指标对各单站影响程度具有差异。为此,文中提出了多站融合选址评估指标体系的构建方法,实现了多个站点指标融合。同时,设计了基于层次分析法的组合权重计算方法,以多站融合指标体系为基础,按单站求出各自所有指标的权重,再设计多站融合的单站的权重,将2种权重结合得到所有指标的组合权重;进一步利用模糊综合评价法对候选站址的各指标进行评分,经过计及权重的综合评价选出最优站址。通过算例验证了所提评估体系和方法的有效性。

关键词:多站融合;选址评估;指标体系;组合赋权;层次分析法;模糊综合评价法

中图分类号:TM715

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2022)02-0053-07

0 引言

多站融合是变电站、数据中心、充电站、光伏电站以及5G基站等多个站点之间的相互融合,涉及面广,影响因素多。

目前对于多站融合选址评估体系的研究较少,但单站评估体系的研究已较为成熟。在变电站选址评估方面,文献[1]考虑了变电站地形、地质条件,城市总体规划,电网负荷和潮流分布,电网现状,电网高压走廊分布等因素,利用层次分析法建立了选址评估指标体系;文献[2]在层次分析法的基础上添加灰色关联分析法,进行组合赋权,一定程度上弥补了单一方法存在的不足,但指标体系考虑的因素并不完善;文献[3]在专业领域内进行了问卷调查,并充分考虑各方面影响因素,补充了技术要求这一关键指标,使指标体系更加全面。在其他站点选址评估方面,文献[4]建立了以电力资源、地质灾害、气候条件、网络资源、人才环境、区域位置六大要素为核心的数据中心评价指标体系;文献[5]将交通网和配电网综合考虑在内,对充电站选址评估体系进行研究;文献[6]考虑太阳辐射量、规划控制、交通可达性、电网接入、生态保护等约束条件与规划原则,筛选出了合适的光伏电站备选场地;文献[7]提出了宏观与微观相结合的方法,考虑成本、用户覆盖率、用户态度等因素,使5G基站选址评估体系更加合理。

由上述分析可知,现有研究大多是单一站点的

选址评估,多站融合站点难以直接沿用。多站融合选址评估面临两方面难点:一是构建能兼顾多个单站影响因素的指标体系,二是设计指标权重。某些特性指标仅为某个单站的重要影响因素,而其他站点并不受该指标影响,因而设置为大权重或小权重均无法体现其影响程度;指标体系中共性指标对每个单站的影响程度也存在差异,因而共性指标应按各单站需求进行差异化赋权。

因此,文中综合考虑各单站选址评估影响因素,构造了一个全新的多站融合选址评估指标体系,并提出了基于层次分析法和模糊综合评价法的多站融合选址综合评估方法,采用以9/9~9/1为标度的层次分析法计算指标权重,并利用模糊综合评价法对候选站址进行评分。在权重计算中,针对各单站共性指标与特性指标的差异化问题,提出组合权重的方法,既保证了指标体系的整体性,又将5种单站考虑在内,保证了计算结果的合理性。

1 多站融合选址评估指标体系

1.1 单个站点选址影响因素分析

(1) 变电站。变电站选址影响因素大致可分为经济、技术、人文社会、环保等。在技术层面,变电站选址重点考虑线路走廊、电网架构、负荷中心距离、进出线条件、电能质量、电能损耗、负荷增长率、供电现状等^[8-10]。

(2) 数据中心。数据中心重点考虑的影响因素包括气温气候、能源现状、供电现状、运营商骨干节点、通信情况、市场需求、冷却条件、隔音条件等^[11-14]。

(3) 充电站。充电站需要考虑的影响因素主要在用户侧,包括充电站与交通网络的距离、交通便

收稿日期:2021-11-05;修回日期:2022-02-01

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK202010-34)

捷度、车流量大小、供电可靠性、当地补贴政策等^[15-18]。

(4) 光伏电站。光伏电站重点考虑太阳资源和基础条件,包括太阳辐射量、光照时间、建筑高度、大气质量、可用面积、屋顶承载力、补贴情况等^[19]。

(5) 5G 基站。5G 基站重点考虑的影响因素包括基站位置与高度、干扰源分布、话务热点分布、信号覆盖情况等^[20-23]。

1.2 多站融合选址原则

(1) 节约资源原则。建设多站融合不仅要节约经济成本,追求经济效益最大化,还要充分利用土地资源。在城市用地日益紧张背景下,尽可能提高土地及材料的使用率尤为重要。

(2) 环境保护原则。多站融合生产建设过程中可能产生电磁辐射、噪声污染、水污染^[24]。减少污染排放、实现环境保护是绿色可持续发展的基础,故环境保护是多站融合选址的重要原则之一。

(3) 和谐社会原则。开展多站融合选址研究时,要结合城市发展规划,保证与城市发展建设规划的一致性,实现投资的可拓展性,提高利用价值。多站融合建设的目的是服务于民,因此要重视当地居民的民意。

(4) 便捷性原则。在多站融合选址建设过程中,为保障正常生产和运输,应尽量设立在交通发达地区。在大大减少变电站进站公路建设的同时,也可减少建设材料的运输成本,进而减少变电站的建设投资。

(5) 全面考虑原则。建设多站融合要从总体的角度来考察站址选择问题。多站融合的选址不能仅考虑单一站点影响,而应考虑多站中各单站影响因素的制约。因此建设前须充分、全面考虑。

1.3 选址评估指标体系

1.3.1 选址评估体系构建方法

多站融合选址评估指标体系的构建流程见图 1。文中采用目标层、准则层和指标层 3 级结构,依照多站融合选址原则,得到负荷中心距离、地块情况、业务预测、交通运输、环境保护、市政配套条件、外部环境、经济成本 8 项准则层指标。在各准则层引申出单站的细化指标,各单站的特性指标予以保留,共性指标则进行适当合并。

1.3.2 指标体系

根据 1.3.1 节的构建方法,对多站融合影响因素进行全方位分析,形成较为完整的多站融合选址评估指标体系,如表 1 所示。其中,目标层为多站融合选址,准则层包含 8 个指标,将准则层细化后,得

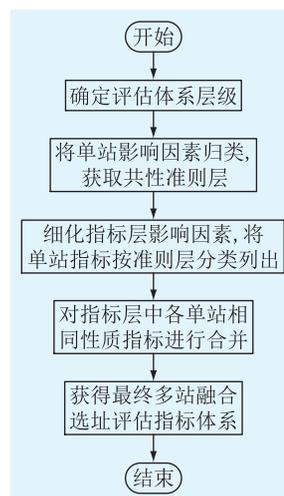


图 1 多站融合选址评估指标体系构建流程

Fig.1 Construction process of evaluation index system of multi-station integration location

到 30 个指标层指标。

表 1 多站融合选址评估指标体系

Table 1 Evaluation index system of multi-station integration location

准则层指标	指标层指标
负荷中心距离 A ₁	与用户距离 B ₁₁
	输配电线路投资 B ₁₂
	电能损耗 B ₁₃
地块情况 A ₂	用地现状 B ₂₁
	用地规划 B ₂₂
业务预测 A ₃	用户数量预测 B ₃₁
	业务量预测 B ₃₂
交通运输 A ₄	与交通网络距离 B ₄₁
	材料运输 B ₄₂
	抢修、维修道路 B ₄₃
环境保护 A ₅	电磁辐射 B ₅₁
	噪声污染 B ₅₂
	水污染 B ₅₃
	对保护区影响 B ₅₄
	对周围居民影响 B ₅₅
市政配套条件 A ₆	线路走廊 B ₆₁
	电网容量 B ₆₂
	社会经济 B ₆₃
	供电现状 B ₆₄
	通信情况 B ₆₅
外部环境 A ₇	地质条件 B ₇₁
	地理条件 B ₇₂
	大气质量 B ₇₃
	空间位置 B ₇₄
	太阳资源 B ₇₅
	社会环境 B ₇₆
经济成本 A ₈	地块价格 B ₈₁
	拆迁成本 B ₈₂
	建设成本 B ₈₃
	运营成本 B ₈₄

2 多站融合选址综合评估方法

基于第1章设计的多站融合选址评估指标体系,首先,采用层次分析法计算指标体系组合权重以及多层指标综合后的最终权重;其次,采用模糊评价法对候选站址进行评分;最后,结合指标体系最终权重和候选站址评分进行模糊综合评价,得到最终得分,选出最优站址。

2.1 基于层次分析法的组合赋权

层次分析法是将复杂的多目标决策问题作为一个系统,将目标分解为多个目标或准则,进而分解为多指标的若干层次,据此完成多目标、多方案的优化决策^[25-26]。因此,为解决多站融合选址评估指标体系权重设计中特性指标以及共性指标影响程度的差异化问题,文中提出基于层次分析法的组合赋权方法。

2.1.1 指标权重

将多站融合选址评估指标体系用于单站选址评估,设计每个单站对应的指标权重,称为“指标权重”。针对特性指标的处理方法为:受特性指标影响的单站按该项特性指标的重要程度赋权,不受该项特性指标影响的单站,其权重设为0;针对共性指标的处理方法为:共性指标权重按其各个单站影响程度独立赋权。

文中采用各方面性能都较好的9/9~9/1分数标度法进行指标权重的计算。将每一层评估指标的重要性进行两两比较,构造判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 。建立判断矩阵时,各指标重要性标度值按同等重要、稍微重要、明显重要、非常重要、绝对重要依次表示为9/9,9/7,9/5,9/3,9/1。

通过对判断矩阵进行分析,得到权重集,其步骤如下。

(1) 将判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 每一列进行归一化处理:

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

(2) 将处理过的矩阵按行相加:

$$B_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

(3) 将 B_i 进行归一化处理得到权重 w_i :

$$w_i = B_i / \sum_{i=1}^n B_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

根据求得的判断矩阵最大特征值,计算一致性指标,然后进行一致性检验。查表获得随机一致性指标后得出检验系数,若检验系数小于0.1,则一致性检验通过。

$$K_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$K_{CR} = \frac{K_{CI}}{K_{RI}} \quad (5)$$

式中: K_{CI} 为一致性指标; λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值; n 为判断矩阵阶数; K_{CR} 为检验系数; K_{RI} 为随机一致性指标。

2.1.2 站点权重

根据多站融合选址时各单站的优先次序设计各单站的选址权重,称为“站点权重”。虽然多站融合同时整合了多个站点,但其重要程度有一定差异。变电站仍为多站融合的主体,在选址过程中应重点考虑变电站选址影响因素,其他单站则以负荷需求来判断其重要性,据此设定权重。采用层次分析法根据负荷需求对各单站进行两两比较,得到站点权重 $\mathbf{x}_{\text{site}} = [x_{\text{sub}} \ x_{\text{data}} \ x_{\text{ch}} \ x_{\text{PV}} \ x_{\text{5G}}]$ 。

2.1.3 指标组合权重

以单个指标为单位,将上述计算所得的各单站指标权重与各站点权重相乘,获得该项指标的“组合权重”。

$$\mathbf{W}_{\text{com}} = [w_{\text{sub}} \ w_{\text{data}} \ w_{\text{ch}} \ w_{\text{PV}} \ w_{\text{5G}}] \mathbf{x}_{\text{site}}^T \quad (6)$$

式中: \mathbf{W}_{com} 为组合权重; w_{sub} 为变电站指标权重; w_{data} 为数据中心指标权重; w_{ch} 为充电桩指标权重; w_{PV} 为光伏站指标权重; w_{5G} 为5G基站指标权重。

2.1.4 最终权重

将求得的A级准则层与其对应的B级指标层组合权重相乘,获得指标层对目标层权重,作为指标层“最终权重”。

$$\mathbf{W}_f = \mathbf{W}_{\text{Acom}} \mathbf{W}_{\text{Bcom}} \quad (7)$$

式中: \mathbf{W}_f 为最终权重; \mathbf{W}_{Acom} 为A级准则层组合权重; \mathbf{W}_{Bcom} 为B级指标层组合权重。

2.2 候选站址的模糊综合评价

模糊综合评价法^[27]是一种定性与定量相结合的方法,通过多位专家对候选站址的指标层进行模糊评价,并进行量化来获取方案得分。

首先构建评价矩阵 \mathbf{R} 。专家对候选站址按指标层进行评价,建立评语集 $U = \{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{差}\}$,得到评价矩阵 \mathbf{R} :

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1 \\ \mathbf{R}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{R}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: $r_{n1}, r_{n2}, r_{n3}, r_{n4}$ 分别为第 n 个指标中优、良、中、差4类评语的占比。

然后给优、良、中、差赋值为 $\mathbf{V} = [4 \ 3 \ 2 \ 1]$,将

指标层最终权重矩阵与评价矩阵、评语集赋值列向量相乘,求得得分 S :

$$S = W_F R V^T \quad (9)$$

式中: W_F 为指标层各指标最终权重 W_i 组成的矩阵。

3 算例分析

文中以某大型城市为例,拟将 2 个候选站址建设成为包含变电站、数据中心、充电站、光伏电站以及 5G 基站的多站融合站点。2 个候选站址分别为 35 kV 海潮变电站和高阳变电站。其中,海潮变电站与高阳变电站的水文气象和防洪防震条件相同:平均气温 16.8 °C,最高气温 36.0 °C,最低气温 -5.7 °C,平均降水量 1 035.7 mm,平均风速 3.2 m/s;防汛设施按百年和千年一遇防洪标准设置,抗震设防烈度为 7 度。两站址周围交通情况良好,其中海潮变电站临近大桥、地铁站、内环高架桥、客运站;高阳变电站地处江边,接近主干道、轮渡站。两站址周围用户较多,其中海潮变电站周围住宅区较多,位于商圈,车流量大;高阳变电站附近较多写字楼,临近大型购物广场。海潮变电站占地面积 1 500 m²,无电气设备,仅有变电站土建部分;高阳变电站占地面积为 1 650 m²,变压器容量为 3×40 MV·A。

详细信息为后续 3.2 节专家评分提供依据。如水文气象对应“地理条件 B_{72} ”、防洪防震对应“地质条件 B_{71} ”、交通情况对应“与交通网络距离 B_{41} ”以及周围用户对应“用户数量预测 B_{31} ”。

3.1 指标权重计算

采用层次分析法对各指标的重要程度进行比较,获得初始判断矩阵。以准则层为例,先计算站点权重,设计如式(10)所示的判断矩阵,计算获得此时 $x_{site} = [0.245 \ 0.214 \ 0.207 \ 0.151 \ 0.183]$,再计算各单站准则层指标权重,各单站准则层指标相对重要程度排序如表 2 所示。

表 2 各单站准则层指标重要性
Table 2 Importance of criteria level index of single station

单站	准则层指标重要程度排序
变电站	$A_8 > A_1 > A_6 > A_7 > A_4 > A_5 > A_3 > A_2$
数据中心	$A_6 > A_8 > A_3 > A_5 > A_4 > A_7 > A_1 > A_2$
充电站	$A_3 > A_8 > A_1 > A_6 > A_4 > A_2 > A_7 > A_5$
光伏电站	$A_7 > A_6 > A_4 > A_5 > A_1 > A_2 > A_8 > A_3$
5G 基站	$A_8 > A_5 > A_7 > A_3 > A_4 > A_6 > A_1 > A_2$

文中多站融合以变电站为主体,变电站的经济成本指标最重要;而数据中心对供电可靠性要求较高,其市政配套条件指标最重要;充电站是多站融

合的主要利益站点,所以充电站的业务预测指标最重要;太阳能资源的多少直接影响了光伏电站的发电量,所以光伏电站的外部环境指标最重要。

$$A_{site} = \begin{bmatrix} 9/9 & 9/8 & 9/8 & 9/5 & 9/7 \\ 8/9 & 9/9 & 9/9 & 9/6 & 9/8 \\ 8/9 & 9/9 & 9/9 & 9/7 & 9/8 \\ 5/9 & 6/9 & 7/9 & 9/9 & 8/9 \\ 7/9 & 8/9 & 8/9 & 9/8 & 9/9 \end{bmatrix} \quad (10)$$

依据表 2 中准则层指标的重要程度,列出判断矩阵,求得各单站准则层指标权重,将站点权重和指标权重组合后得到组合权重,结果如表 3 所示。

表 3 A_1-A_8 组合权重
Table 3 Combination weight of A_1-A_8

站点	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
变电站	0.145	0.099	0.105	0.119	0.115	0.137	0.120	0.160
数据中心	0.106	0.102	0.133	0.118	0.123	0.153	0.116	0.149
充电站	0.137	0.114	0.141	0.114	0.110	0.131	0.114	0.139
光伏电站	0.107	0.089	0.077	0.147	0.111	0.187	0.200	0.082
5G 基站	0.105	0.093	0.124	0.124	0.133	0.122	0.131	0.168
组合权重	0.122	0.100	0.118	0.123	0.118	0.144	0.132	0.143

同理可得指标层各指标组合权重。将准则层组合权重与指标层组合权重相乘,可得指标层对目标层最终权重,结果如表 4 所示。

表 4 指标层对目标层最终权重
Table 4 The final weight of index layer to target layer

指标	最终权重	指标	最终权重
与用户距离 B_{11}	0.037	线路走廊 B_{61}	0.021
输配电线路投资 B_{12}	0.049	电网容量 B_{62}	0.026
电能损耗 B_{13}	0.036	社会经济 B_{63}	0.018
用地现状 B_{21}	0.038	供电现状 B_{64}	0.049
用地规划 B_{22}	0.063	通信情况 B_{65}	0.030
用户数量预测 B_{31}	0.059	地质条件 B_{71}	0.035
业务量预测 B_{32}	0.059	地理条件 B_{72}	0.039
与交通网络距离 B_{41}	0.037	大气质量 B_{73}	0.010
材料运输 B_{42}	0.046	空间位置 B_{74}	0.010
抢修、维修道路 B_{43}	0.036	太阳资源 B_{75}	0.010
电磁辐射 B_{51}	0.034	社会环境 B_{76}	0.019
噪声污染 B_{52}	0.025	地块价格 B_{81}	0.027
水污染 B_{53}	0.027	拆迁成本 B_{82}	0.037
对自然保护区影响 B_{54}	0.026	建设成本 B_{83}	0.042
对周围居民影响 B_{55}	0.030	运营成本 B_{84}	0.025

3.2 候选站址的综合评估及分析

采用 2.2 节的模糊综合评价方法分别对 2 个候选站的指标层进行评分(相关标准见附录 A)。通过分析可知,海潮变电站周围有较多住宅和商家,车流量大,而高阳变电站附近仅有写字楼和购物广

场,因此海潮变电站在用户数量预测和业务量预测指标得分较高,而高阳变电站对周围居民影响指标得分较高。海潮变电站周围交通网络发达,因此与交通网络距离指标得分较高。海潮变电站是土建站,而高阳变电站是现役变电站,因此高阳变电站输配电线路投资、线路走廊、建设成本指标得分较高。根据候选站址概况,可获得两者的评价矩阵(见附录B)。

由式(10)求得各准则层指标分数,相加后得到候选站址最终得分 S ,如表5所示。

表5 候选站址得分

得分项	海潮变电站	高阳变电站
负荷中心距离 A_1	0.338	0.337
地块情况 A_2	0.335	0.292
业务预测 A_3	0.419	0.330
交通运输 A_4	0.394	0.329
环境保护 A_5	0.424	0.435
市政配套条件 A_6	0.448	0.405
外部环境 A_7	0.330	0.340
经济成本 A_8	0.384	0.407
最终得分 S	3.072	2.875

由表5求得各指标层对目标层最终权重平均值 $\bar{W} = 0.033$,海潮变电站在与用户距离、用地规划、用户数量预测、业务量预测、与交通网络距离、材料运输、供电现状等几项权重高于平均值的重要指标中得分略高于高阳变电站,从而最终得分高于高阳变电站。因此,海潮变电站较适合作为多站融合建设点。

通过调研发现某地区已建成的始信路多站融合试点在站点类型、业务量、交通条件和基础设施等方面与海潮变电站有诸多相似之处,体现了海潮变电站成为多站融合建设站点的可行性,反映文中所提指标体系、选址评估方法的合理性。

4 结论

文中分析了多站融合选址时需要考虑的各项影响因素,研究了多站融合选址评估方法,并对某城市实际候选站址进行了综合评估。文中主要贡献和结论如下:

(1) 提出多站融合选址评估指标体系的构建方法,充分调研各单站选址评估影响因素,构建完成指标体系,较为全面地涵盖了多站融合选址影响因素。

(2) 采用基于分数标度 $9/9 \sim 9/1$ 的层次分析

法计算权重,针对各单站存在特性指标和共性指标权重难以设定的问题,设计了组合权重计算方法,既保持指标体系整体性,又满足不同单站选址需求的差异性。

(3) 多站融合的指标权重一般根据单站中该指标对站点的影响程度来确定,站点权重须根据多站融合规划的主体功能或主导负荷需求进行设置。

(4) 评估候选站址时,最终权重较大的指标应作为重点考察指标。具有大权重的指标分数越高,则候选站址综合得分越高,越适合成为多站融合站址。

本文得到江苏省大学生创新创业训练计划项目(202111276142H)资助,谨此致谢!

附录见本刊网络版(<https://www.epet-info.com/dlgejs/home>)。

参考文献:

- [1] 冯建林. 基于层次分析法的变电站选址问题研究:以220 kV丰稔变电站为例[D]. 广州:华南理工大学,2018.
FENG Jianlin. Research on substation location planning problems based on analytic hierarchy process: a case study on Fengren substation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [2] 李长或. 220 kV变电站项目选址综合评价研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.
LI Changyu. Comprehensive evaluation study 220 kV electric power substation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [3] 张旭. 变电站项目选址评价研究[D]. 天津:天津大学,2017.
ZHANG Xu. Study on evaluation of substation site location[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.
- [4] 吴志昂,张学斌,王学军,等. 数据中心布局选址要素及评价模型研究[J]. 电信工程技术与标准化,2021,34(8):16-20.
WU Zhiang, ZHANG Xuebin, WANG Xuejun, et al. Research on key elements and evaluation model of data center location[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(8): 16-20.
- [5] 贾鉴,陈芳芳,应飞祥,等. 考虑配电网和交通网的电动汽车充电站规划研究[J]. 电工技术,2019(16):141-143,149.
JIA Jian, CHEN Fangfang, YING Feixiang, et al. Research on electric vehicle charging station planning considering distribution network and traffic network[J]. Electric Engineering, 2019(16): 141-143, 149.
- [6] 吴九兴,程久苗. 光伏电站选址规划研究:以芜湖市为例[J]. 鲁东大学学报(自然科学版),2019,35(1):59-65,89.
WU Jiuxing, CHENG Jiuxiao. Site selection planning of photovoltaic power station: a case study of Wuhu city[J]. Journal of Ludong University (Natural Science Edition), 2019, 35(1): 59-65, 89.
- [7] 郑俊杰,王先峰,罗顺湖. 面向5G移动通信的基站选址方法

- 及优化策略研究[J]. 电信网技术,2017(11):71-74.
- ZHENG Junjie, WANG Xianfeng, LUO Shunhu. Research on base station location method and optimization strategy for 5G mobile communication[J]. Telecommunications Network Technology,2017(11):71-74.
- [8] 柯清华. 唐山夏官营 220 KV 变电站选址综合评价研究[D]. 北京:华北电力大学,2018.
- KE Qinghua. The study on fuzzy comprehensive evaluation on Tangshan summer camp 220 KV substation project[D]. Beijing:North China Electric Power University,2018.
- [9] QIN C X,LI B D,SHI B,et al. Location of substation in similar candidates using comprehensive evaluation method base on DHGF[J]. Measurement,2019,146:152-158.
- [10] 赵思雯,叶鹏,姚天昊,等. 基于 AHP 和熵权法赋权的变电站选址研究[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版),2017,13(3):244-252.
- ZHAO Siwen, YE Peng, YAO Tianhao, et al. Substation location based on AHP and entropy weight method[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science),2017,13(3):244-252.
- [11] 张子仪,蔡泽祥,郭采珊,等. 面向泛在电力物联网的分布式云数据中心优化选址[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(3):36-42.
- ZHANG Ziyi, CAI Zexiang, GUO Caishan, et al. Optimization of distributed cloud computing data center layout for ubiquitous power Internet of Things [J]. Power System Protection and Control,2020,48(3):36-42.
- [12] 钟景华.《数据中心设计规范》GB 50174—2017 解读——数据中心分级与选址[J]. 工程建设标准化,2017(12):14-18
- ZHONG Jinghua. Interpretation of "data center design specifications" GB 50174-2017; data center classification and site selection[J]. Standardization of Engineering Construction,2017(12):14-18.
- [13] 王雅晴. 基于层次分析法的数据中心选址研究——以 T 公司为例[D]. 对外经济贸易大学,2020.
- WANG Yaqing. Based on analytic hierarchy process of data center location research-taking T company as an example[D]. University of International Business and Economics,2020.
- [14] 杜先波,陈国琳,唐一铭,等. 多站融合型数据中心交直流供电模式对比分析[J]. 电力需求侧管理,2021,23(1):84-89.
- DU Xianbo, CHEN Guolin, TANG Yiming, et al. A comprehensive comparison between DC and AC power supply modes of data center in multi-station integration [J]. Power Demand Side Management, 2021,23(1):84-89.
- [15] 杨宇. 城市共享新能源汽车选址——分配研究:以徐州市区为例[D]. 徐州:中国矿业大学,2019.
- YANG Yu. Urban shared new energy vehicle location-assignment research: taking Xuzhou city as an example [D]. Xuzhou:China University of Mining and Technology,2019.
- [16] 陈梦涛,张兆君,谭风雷,等. 电动汽车充电站多阶段选址规划[J]. 电力工程技术,2017,36(6):117-121.
- CHEN Mengtao, ZHANG Zhaojun, TAN Fenglei, et al. Multi-stage location planning of electric vehicle charging station[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6):117-121.
- [17] 刘铭周,肖杨. 基于 AHP 的电动汽车充电站选址模糊综合评价模型[J]. 中国新技术新产品,2018(14):4-5.
- LIU Mingzhou, XIAO Yang. Fuzzy comprehensive evaluation model for location selection of electric vehicle charging station based on AHP[J]. New Technology & New Products of China,2018(14):4-5.
- [18] 倪凯旋. 基于分布式博弈的电动汽车充电站最优调度方法[J]. 供用电,2020,37(2):79-84.
- NI Kaixuan. Optimal scheduling of electric vehicle charging station based on distributed game[J]. Distribution & Utilization,2020,37(2):79-84.
- [19] 李付林. 影响光伏电站选址布局的因素分析[J]. 经济研究导刊,2019(36):21-22,34.
- LI Fulin. Analysis of factors affecting the location and layout of photovoltaic power plants[J]. Economic Research Guide,2019(36):21-22,34.
- [20] 康灵坡. 5G 基站站址规划策略研究[J]. 电子世界,2021(16):9-10.
- KANG Lingpo. Research on site planning strategy of 5G base station[J]. Electronics World,2021(16):9-10.
- [21] 庞慧,周丽莉. 基于 5G 网络的边缘数据中心与大数据中心的选址[J]. 电子技术与软件工程,2020(1):5-6.
- PANG Hui, ZHOU Lili. Location selection of edge data center and big data center based on 5G network[J]. Electronic Technology & Software Engineering,2020(1):5-6.
- [22] 姜文博,冀飞,张怡全.《上海市 5G 移动通信基站布局规划导则》详解[J]. 上海信息化,2020(12):17-22.
- JIANG Wenbo, JI Fei, ZHANG Yiquan. Detailed explanation of "Shanghai 5G mobile communication base station layout planning guidelines" [J]. Shanghai Informatization, 2020(12):17-22.
- [23] 袁通,高厚磊. 基于 5G 通信的城市配电网分布式纵联保护策略研究[J]. 供用电,2021,38(5):10-16.
- YUAN Tong, GAO Houlei. Research on distributed pilot protection of urban distribution network based on 5G communication[J]. Distribution & Utilization,2021,38(5):10-16.
- [24] 李峰,赵爱莲,戴峥,等. 多站融合工程环境影响因素研究[J]. 电力科技与环保,2021,37(3):53-57.
- LI Feng, ZHAO Ailian, DAI Zheng, et al. Research on environmental impact factors of multi-functional integrated substation [J]. Electric Power Technology and Environmental Protection,2021,37(3):53-57.
- [25] 颜湘武,赵帅帅,董清,等. 电动汽车充电机性能综合评估[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(1):164-171.
- YAN Xiangwu, ZHAO Shuaishuai, DONG Qing, et al. Comprehensive evaluation of electric vehicle charger performance[J]. Power System Protection and Control,2020,48(1):164-171.
- [26] 朱晔,刘欣,慕小斌,等. 基于层次分析和风险熵权的多站

融合综合能源系统多指标综合评估[J/OL]. 电测与仪表: 1-10[2021-11-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.12-02.th.20220114.1628.005.html>.

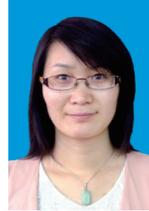
ZHU Ye, LIU Xin, MU Xiaobin, et al. Multi-index comprehensive evaluation of multi-station integrated energy system based on analytic hierarchy process and risk entropy weight[J/OL]. Electrical Measurement and Instrumentation: 1-10 [2021-11-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.th.20220114.1628.005.html>.

[27] 吴国沛,张行,王红斌,等. 用户可中断负荷特性模糊综合评估策略研究[J]. 供用电,2020,37(3):78-83.

WU Guopei,ZHANG Hang,WANG Hongbin,et al. Research on

fuzzy comprehensive evaluation strategy of user interruptible load characteristics [J]. Distribution & Utilization, 2020, 37 (3):78-83.

作者简介:



张小莲

张小莲(1985),女,博士,副教授,研究方向为风力发电技术、微电网控制技术、智能电网(E-mail:zhangxl530@163.com);

李恒聪(1995),男,硕士在读,研究方向为智能电网、能源互联网;

胡淇(2000),男,学士在读,研究方向为能源互联网。

Comprehensive location evaluation of multi-station integration

ZHANG Xiaolian, LI Hengcong, HU Qi, ZHOU Qianxun, SHEN Baiyu, XIANG Jiaqi
(School of Electrical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: Multi-station integration realizes the optimal usage of multiple energy by integrating the functions of substations, photovoltaic power stations, charging stations and other stations, but the location evaluation needs to take into account the influence factors. In the location evaluation weight design, it is difficult to design characteristic indices and common indices for each single station. The common indexes have different degrees of influence on each single site. To solve the problem, a method for the construction of multi-station integration location evaluation index system is designed. Also, the integration of each single station indices is realized. At the same time, the combination weight calculation method based on the analytic hierarchy process and multi-station index system is designed. Firstly, the weights of all indices are calculated for all single stations. Then the weights of the single station are designed. Finally, two weights are combined to get the combination weights of all indices. The fuzzy comprehensive evaluation method is used to score each index of the candidate sites, and the optimal site is selected after a comprehensive evaluation considering the weight. The effectiveness of the proposed evaluation system and method is verified by an example.

Keywords: multi-station integration; location evaluation; index system; combination weight; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation method

(编辑 陆海霞)

附录 A

表 A1 指标层评价标准

Table A1 Evaluation criteria of index layer

指标层	优	良	中	差
输配电线路投资	现有电缆线路充足	现有电缆线路较多	现有电缆线路较少	无电缆线路
电能损耗	考虑变压器损耗、站用电损耗、建筑物节能	考虑变压器损耗、站用电损耗	考虑变压器损耗	未考虑损耗
用地现状	未用地	公共设施用地	住宅用地	特殊用地
用地规划	已取得规划区批复	正在办理规划区批复	正在申请规划区批复	未取得规划区批复
与交通网络距离	临近省道、主干道、铁路等交通网络	与交通网络距离小于 2 km	与交通网络距离小于 5 km	远离交通网络
材料运输	水路、铁路、公路	铁路、公路	仅公路	运输困难
抢修、维修道路	道路宽度 4.5 m, 长度 150 m	道路宽度 4 m, 长度 200 m	道路宽度 3.5 m, 长度 250 m	道路宽度 3 m, 长度 300 m
电磁辐射	电磁远低于国家标准	电磁低于国家标准	电磁略高于国家标准	电磁高于国家标准
噪声污染	≤45 dB	≤50 dB	≤55 dB	≥55 dB
水污染	污水达到一级排放标准	污水达到二级排放标准	污水达到三级排放标准	无污水处理系统
对自然保护区影响	周围无自然保护区	对自然保护区产生细微影响	影响自然保护区	处于自然保护区
对周围居民影响	居民支持率 ≥80%	居民支持率 ≥65%	居民支持率 ≥50%	居民支持率 ≤50%
线路走廊	存在大量线路走廊	新建部分线路走廊	新建大量线路走廊	周围没有线路走廊
社会经济	一线城市	二线城市	三线城市	四线城市
供电现状	供电可靠性高	供电可靠性较高	供电可靠性良好	供电可靠性差
通信情况	良好的有线无线通信	有良好的无线通信, 可架设有线通信	仅可无线通信	无法通信
地质条件	站址场地类别为 I 类	站址场地类别为 II 类	站址场地类别为 III 类	站址场地类别为 IV 类
大气质量	高于一级标准	介于一级标准与二级标准之间	达到二级标准	低于二级标准
太阳能资源	年辐射量 6 700~8 370 MJ/m ²	年辐射量 5 400~6 700 MJ/m ²	年辐射量 4 200~5 400 MJ/m ²	年辐射量 4 200 MJ/m ² 以下
地块价格	≤90% 预算	≤95% 预算	≤100% 预算	≥110% 预算
拆迁成本	≤90% 预算	≤95% 预算	≤100% 预算	≥110% 预算
建设成本	≤90% 预算	≤95% 预算	≤100% 预算	≥110% 预算
运营成本	≤90% 预算	≤95% 预算	≤100% 预算	≥110% 预算

附录 B

$$\mathbf{R}_H = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.4 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_G = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (B1)$$

其中,行表示每个末级指标的模糊评价,共 30 个末级指标;列表示专家对该指标评定等级的占比,分别为优、良、中、差 4 个评语的占比。