

新能源物流车充电站设施选址评价模型研究

周鹏程, 吴南南, 曾 鸣
(华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206)

摘要: 随着新能源物流车广泛地用于城市物流配送领域, 提出了一种针对电动汽车充电站选址的评价模型。首先综合考虑经济、社会、技术等因素, 构建了不同类别的充电站设施选址的评价指标体系。其次, 通过定性与定量相结合的分析, 建立了基于组合赋权法的设施选址评价模型。在此基础上, 通过某物流企业的备选充电站址的相关数据进行了算例验证, 并对各备选方案进行了对比分析。结果证明了所提方法的有效性, 为物流企业科学、合理地进行充电站选址提供了决策支撑。

关键词: 电动物流车; 充电站选址; 评价指标体系; 组合赋权; 对比分析

中图分类号: U469.2 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)06-0056-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.06.013

Research on Evaluation Model for Location Selection of Electric Logistics Vehicle Charging Station

Zhou Pengcheng, Wu Nannan, Zeng Ming

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: As the new energy logistics vehicles are widely used in the urban logistics and distribution field, an evaluation model for location selection of electric vehicle charging stations is proposed. First of all, considering economics, society and other factors, the evaluation index system for location selection of different types of charging station facilities is constructed. Secondly, through the combined qualitative and quantitative analysis, an evaluation model for location selection of facilities based on combination weighting method is established. On this basis, an example is verified by the relevant data of an alternative charging station of a logistics enterprise, and comparative analysis of each alternative is carried out. The results prove the effectiveness of the proposed method, which provides a decision support for the scientific and reasonable location of charging station.

Key words: electric logistics vehicle; location selection of charging station; evaluation index system; combination weight method; comparative analysis

0 引 言

近年来, 中国多个城市陷入“雾霾危机”。汽柴油燃烧产生的尾气已成为城市占比最高的污染源, 尤其是货运业的原油消费量惊人, 发展新能源货运势在必行。在“2016年全国货运行业年会”上, 众多专家讨论了物流电动化的发展现状及趋势。随着环境污染加剧和电商快递业务转型升级, 新能源物流车(electric logistics vehicle, ELV) 逐渐成为物流公司的首选^[1-2]。科学合理的充电站选址对于ELV能

否满足客户个性化配送服务来说至关重要, 对物流企业降低运输成本、提高规模效益具有现实意义。

国内外针对电动汽车充电站设施选址研究的文献较多, 主要集中于对选址评价、布局规划、定容优化策略等方面。文献[3]建立了基于空间聚类和多层次模糊评估的电动汽车充电站选址模型。文献[4]研究了直觉模糊环境下社区电动汽车充电站选址决策优化。文献[5-6]分别考虑削峰填谷和计及碳排放, 构建了电动汽车充电站多目标选址定容规划模型。此外, 文献[7-8]提出基于云重心理论的电动汽车充电站选址规划评估方法, 将定量和定性指标进行处理并建立了云模型。上述研究虽对电动汽车充电站构建了不同的选址模型, 但未涉及具

基金项目: 国家自然科学基金(51507061); 国家电网公司科技项目(SCEPRI-KJB-KJ(2017)2766); 国家电网公司科技项目(NY71-18-004)

体应用场景研究,前期也缺少对充电站选址合理性的综合评价分析。

鉴于此,在前人工作的基础上开展了将电动汽车充电站选址问题应用于ELV的研究。首先,考虑经济、社会等因素,构建了充电站设施选址的评价指标体系。其次,通过定性与定量相结合的分析,建立了基于层次分析法(analytics hierarchy process, AHP)、熵值法、最小二乘法组合赋权的ELV充电站选址评价模型。最后,通过某物流企业的备选充电站址的相关数据进行了算例验证,对各备选方案进行了对比分析。

1 构建评价指标体系

1.1 指标选取思路

针对ELV充电站设施选址研究,在保证物流车自身充电需量的前提下,满足客户个性化配送服务的需求。充电站在选址时需要考虑经济、社会等因素的影响,具体解释如下。

1) 经济因素。该因素是指充电站建设总费用和投资回收期,包括土地投入、工程建设、运行维护等成本。选取建设运维成本 A_{11} 、投资回收期 A_{12} 作为经济因素的评价指标。

2) 社会因素。对ELV充电站选址产生影响的普遍因素,主要包括土地资源利用 A_{21} 、交通便利度 A_{22} 、服务半径和能力 A_{23} 。

3) 技术因素。主要考虑电能质量和用电量是否能满足ELV的充电需求,设备利用率是否能降低车辆充电时间成本。选取电能质量和用电量 A_{31} 、充电站设备利用率 A_{32} 作为技术因素的评价指标。

4) 规划因素。充电站选址的定容规划会受到路网、电网和城市整体规划等限制,选取与城市规划协调性 A_{41} 作为规划因素的评价指标。

1.2 指标体系设计

综合考虑上述影响因素,从中选取了8项指标构建了充电站选址评价指标体系,如表1所示。

2 基于组合赋权法的充电站选址评价模型

通过定性与定量相结合的分析,综合AHP法、熵值法、最小二乘法进行权重组合优化,建立ELV

充电站选址评价模型。

表1 充电站选址最优决策A评价指标体系

一级指标	二级指标
经济因素 A_1	建设与运维成本 A_{11}
	投资回收期 A_{12}
社会因素 A_2	土地资源利用 A_{21}
	交通便利度 A_{22}
	服务半径和能力 A_{23}
技术因素 A_3	电能质量和用电量 A_{31}
	充电站设备利用率 A_{32}
规划因素 A_4	与城市规划协调性 A_{41}

2.1 AHP法

AHP法是一种将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次权重决策的分析方法,既包含了专家对指标重要性的主观判断,又遵循了指标间的客观关系^[9]。具体步骤如下:

1) 在考虑上、下层逻辑关系的基础上,将每一个上层元素与下层元素之间进行两两判断,并构造出判断矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times m}$ 。

2) 针对判断矩阵中的元素进行归一化处理,计算判断矩阵的特征值 $\lambda_{ij} = \sum_{i=1}^m (B\psi)_i / m\psi_i$ 与特征向量 $\bar{\psi}_i = \psi_i / \sum_{i=1}^m \psi_i$,其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

(3) 检验判断矩阵的随机一致性比例 R_C 是否满足 $R_C < 0.1$,若满足则通过一致性检验。 $R_C = I_C / I_R$,且 $I_C = (\lambda_{ij} - n) / (n - 1)$,其中 I_C 为一致性检验指标, I_R 为平均随机一致性指标, n 为判断矩阵的阶数。

4) 利用同一层次单排序的结果,从上到下逐层进行排序。

2.2 熵值法

熵值法是根据各指标传输给决策者的信息量大小来确定权重的方法。如果评价指标的信息熵越小,则该指标提供的信息量越大,权重应该越高。具体步骤如下:

1) 假设 m 为评价指标个数, n 表示备选站址数量, x_{ij} 是样本 i ($i \leq n$)相对于评价属性 j ($j \leq m$)的预设值,指标数据矩阵为 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ 。

2) 令 \bar{x}_j 为各评价指标的最优值,其中若 j 为正指标,则 \bar{x}_j 越大越好;若 j 为负指标表示越小越好。 x_{ij} 相对于 \bar{x}_j 的接近度用矩阵 D_{ij} 表示,并对其进行归一化处理,得 $d = (d_{ij})_{n \times m}$ 。

3) 分别求解 m 个评价指标的条件熵 E_j ,并对其

进行归一化处理,得到关于各评价指标重要性的熵值 $e(d_j) = (1/\ln n) E_j$ 。

(4) 分别确定 m 个评价指标的权重值 $\lambda_{2j} = (1/n - E_j) [1 - e(d_j)]$, 其中 $0 \leq \lambda_{2j} \leq 1$, $\sum_{j=1}^m \lambda_{2j} = 1$, 且 $E_j = \sum_{i=1}^n e(d_j)$ 。

2.3 最小二乘法

考虑到上述主观与客观赋权下的指标权值偏差越小越好,采用最小二乘法对权重进行综合优化,构成组合赋权模型。

$$\min Z(\omega) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{ [(\lambda_{1j} - \omega_j) d_{ij}]^2 + [(\lambda_{2j} - \omega_j) d_{ij}]^2 \} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \quad \omega_j \geq 0 \quad (2)$$

式中: $Z(\omega)$ 为主客观权重偏差; ω_j 为最小二乘法综合优化后的组合权重。

2.4 求解流程

基于已建立的 ELV 充电站选址评价模型,对评价指标进行确定和量化分析。具体求解流程基于地市级进行配网投入产出综合评价,并进行效益对比分析:

1) 为便于比较,消除指标间的单位和量级差异的影响,对指标矩阵进行规范化处理。

2) 进行组合赋权。通过 AHP 法和熵值法分别计算评价指标权值,采用最小二乘法进行综合优化得出组合权重。

3) 确定指标的隶属度函数类型。参数间的函数关系可采用二次函数、指数函数以及对数函数等形式拟合分析。其中,三次函数的拟合程度最高,二次与三次函数的拟合程度相近。考虑到 ELV 充电站选址的评分关系的复杂性,采用二次函数 $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$ 作为备选方案与评价指标的评分函数。其中 y 为评价得分, x 为评价指标值, a_2 、 a_1 分别为一、二次项系数, a_3 为随机误差项。

4) 计算备选方案评价得分。根据评分函数对各备选方案指标进行打分,并加权求出每层指标得分。按照评价指标组合权重得出城区内各备选站址的整体得分。

3 算例分析

3.1 基础数据

为验证所提模型的实用性,选取某市物流企业拟选 ELV 充电站址作为研究对象,对备选方案的实际指标数据进行综合评价。基础数据如表 2 所示。

表 2 拟选方案评价指标基础数据

评价属性	评价指标	方案 A	方案 B	方案 C
经济因素	工程总成本/万元	592	434	537
	投资回收期/a	6.7	5.7	7.3
社会因素	土地资源利用/%	58.7	56.4	63.2
	交通便利度/%	89.0	89.9	86.9
	物流服务效益/%	98.2	96.1	95.7
技术因素	年用电量/(MW·h)	2 423.6	2 937.1	2 697.4
	设备利用率/%	63.3	65.9	69.4
规划因素	规划协调性/%	73.6	70.6	72.1

3.2 算例求解与结果分析

基于建立的充电站选址评价指标体系,通过综合赋权法计算权重系数,权值结果如表 3 所示。

表 3 评价指标组合权重计算结果

评价指标	AHP 法权重	熵值法权重	组合权重
A_{11}	0.134	0.160	0.143
A_{12}	0.156	0.108	0.134
A_{21}	0.056	0.081	0.068
A_{22}	0.167	0.107	0.136
A_{23}	0.141	0.161	0.153
A_{31}	0.101	0.128	0.118
A_{32}	0.092	0.133	0.114
A_{41}	0.153	0.122	0.134

由表 3 可知,交通便利度、服务半径和能力、电能质量和用电量这 3 个指标的权重较大,土地资源利用所占权重最小,这与物流企业配送中心选址和 ELV 充电站选址所考虑的实际原则相一致。

对基础数据进行无量纲化处理,基于组合权重计算结果,求得各评价指标值。根据确定评分函数曲线 $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$ 的系数,计算充电站选址评价指标得分,计算结果如表 4 所示。

为分析比较各备选方案指标间的差异,采用雷达图对备选方案评价得分进行进一步说明,如图 1 所示。

显然,方案 C 的整体评价较为均衡,但各项指标得分普遍较低。方案 A 的物流服务半径和能力、与城市规划协调性两项指标得分值相对较高,表明

表 4 充电站选址评价指标得分 ($a_1 \approx 76$; $a_2 \approx 36$; $a_3 \approx 69$)

一级指标	二级指标	方案 A		方案 B		方案 C	
		指标值	得分	指标值	得分	指标值	得分
A_1	A_{11}	0.106 4	73.4	0.117 8	74.3	0.109 3	73.8
	A_{12}	0.104 1	73.6	0.106 4	74.3	0.102 2	73.5
A_2	A_{21}	0.052 2	71.5	0.051 1	71.2	0.053 3	71.8
	A_{22}	0.112 4	73.7	0.113 2	74.3	0.109 1	73.3
	A_{23}	0.127 9	75.5	0.125 5	74.7	0.121 4	73.5
A_3	A_{31}	0.092 4	73.0	0.095 9	73.6	0.094 2	73.1
	A_{32}	0.085 8	72.6	0.087 7	73.1	0.089 0	73.5
A_4	A_{41}	0.108 4	75.2	0.103 7	74.0	0.106 7	73.4

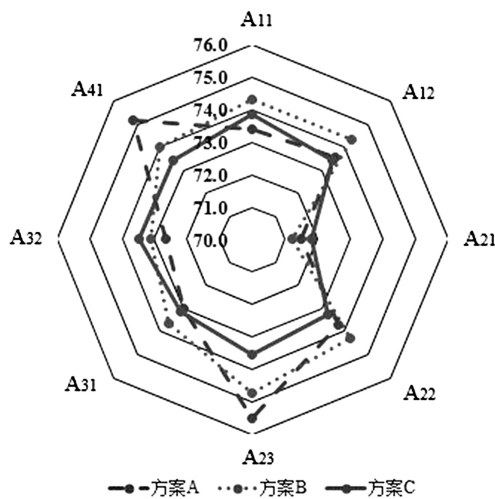


图 1 备选方案评价得分

该方案将有效迎合城市规划和满足客户服务需求,但建设成本较大。方案 B 虽在土地资源利用方面得分最低,但该方案建设成本少、投资回收期短、交通便利且年用电量最高,这说明方案 B 更能满足企业利益需求。

4 结 语

针对 ELV 充电站设施选址评价问题,提出了一种基于组合赋权法的充电站选址评价模型。在充分考虑经济、社会等 4 个因素的基础上,从中选取了建设与运维成本、交通便利度等 8 项指标构建了评价指标体系。通过算例实证发现,科学合理的 ELV 充电站选址评价研究可以降低企业的建设成本,有效满足客户配送服务需求和城市规划布局要求。算例结果验证了所提出方法的有效性,为物流企业更好地进行 ELV 充电站选址评价提供了决策支撑。

参考文献

[1] 刘慧,陶君成,潘林. 纯电动物流车规模商业化机遇、

挑战及策略[J]. 商业经济研究,2017(8):79-80.

[2] 李英,李惠. 基于价值网络的电动物流车商业模式创新研究[J]. 科技管理研究,2017,37(4):219-225.

[3] Meng W. Location of Electric Vehicle Charging Station Based on Spatial Clustering and Multi-hierarchical Fuzzy Evaluation [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2017, 34(1): 89-96.

[4] Yunna W, Chao X, Chuanbo X, et al. A Decision Framework for Electric Vehicle Charging Station Site Selection for Residential Communities under AN Intuitionistic Fuzzy Environment: A Case of Beijing [J]. Energies, 2017, 10(9): 1270.

[5] 所丽,唐巍,白牧可,等. 考虑削峰填谷的配电网集中型充电站选址定容规划[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(7): 1052-1060.

[6] 陈光,毛召磊,李济沅,等. 计及碳排放的电动汽车充电站多目标规划[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(17): 49-53.

[7] 彭泽君,兰剑,陈艳,等. 基于云重心理论的电动汽车充电站选址方法[J]. 电力建设, 2015, 36(4): 1-7.

[8] 吴翠玉,张美霞,陈海燕,等. 电动汽车充电站规划研究[J]. 陕西电力, 2016, 44(11): 31-37.

[9] 周鹏程,吴南南,曾鸣. 考虑投入产出关联关系的配网效益评价研究[J]. 山东电力技术, 2017, 44(12): 1-5.

作者简介:

周鹏程(1991),硕士研究生,主要研究综合能源系统、能源互联网;

吴南南(1994),硕士研究生,主要研究电动汽车规划、电力经济技术管理;

曾鸣(1957),教授、博士生导师,主要研究能源互联网、综合能源系统。

(收稿日期:2018-07-25)