

电动汽车充电服务项目建设评估体系研究

孙彦章, 文建光, 侯哲晖, 邓学飞, 陈 帅*

国网山西省电力公司, 山西 太原

Email: cs_119119@163.com

收稿日期: 2020年12月7日; 录用日期: 2020年12月24日; 发布日期: 2020年12月31日

摘 要

为制定出科学的电动汽车充电服务项目评价体系, 综合研究充电服务项目的影响因素, 本文从经济、社会、规划和环境四个方面, 设计了包含15个指标的充电服务项目评价体系, 并对指标进行说明。然后通过层次分析法确定出一级指标和二级指标权重。最后通过分析指标权重发现投资回收期、网点建设成本、网点到变电站距离、网点充电负荷、居民接受度和市场规模以及周边环境破坏程度7项指标在充电项目评价体系中最重要的, 并为充电服务项目评估提出相应建议。该评价体系有利于提升评估决策的科学性和可靠性水平。

关键词

电动汽车, 充电服务项目建设, 层次分析法, 评价体系

Research on the Evaluation System of the Construction of Charging Service Project of Electric Vehicle

Yanzhang Sun, Jianguang Wen, Zhehui Hou, Xuefei Deng, Shuai Chen*

State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan Shanxi

Email: cs_119119@163.com

Received: Dec. 7th, 2020; accepted: Dec. 24th, 2020; published: Dec. 31st, 2020

Abstract

In order to design a scientific evaluation system of charging service project of electric vehicle and

*通讯作者。

文章引用: 孙彦章, 文建光, 侯哲晖, 邓学飞, 陈帅. 电动汽车充电服务项目建设评估体系研究[J]. 现代管理, 2020, 10(6): 1115-1122. DOI: 10.12677/mm.2020.106135

to completely analyze the influence factors of charging service project, this paper constructs an evaluation system of charging service project containing 15 factors, from the aspect of economy, society, planning and environment, and explains these factors. Afterwards, by using the Analytic Hierarchy Process, this paper determines the weights of the first level evaluating indicators and the second level evaluating indicators. Then, 7 factors are found to be the most important in the charging project evaluation system with some recommendations about evaluation system of charging service project attached. The factors are investment payback period, service net's construction cost, distance from service net to electricity substation, service net's charging load, residents' acceptability, market scale, as well as the damage degree of surrounding environment of service net. The evaluation system is helpful to improve the scientificity and reliability of evaluation decision of constructing the charging service project of electric vehicle.

Keywords

Electric Vehicle, Construction of Charging Service Project, Analytic Hierarchy Process, Evaluation System

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来电动汽车在我国快速发展,截至2020年年中,全国新能源汽车保有量上升至417万辆,中国已经成为全球最大的电动汽车市场。电动汽车数量的迅速增加使得电动汽车充电服务的需求急剧上涨。电动车充电站不仅是构成电动车基础设施的关键环节,而且它的推广更是电动汽车在今后更大范围流行的先决条件[1]。为满足充电需求,充电桩的建设如火如荼地开展起来。尤其是2020年初在国家提出的“新基建”倡导下,充电桩作为“新基建”的重要一环,迎来新一轮发展机遇。国家能源局数据表明,全国各类充电桩的保有量在2020年6月下旬涨至132.2万台,数量跃居各国首位。

2. 文献综述

当前,我国学者对电动车充电服务的选址评价研究已经取得了一定成果。毕军等(2016)把灰色关联分析和熵权法结合,以充电站运营服务为切入点,针对充电站运行、用户、影响电网和交通的程度三个方面构建评价体系,其缺陷在于没有考虑到经济因素[1]。黄小庆等(2014)在评估充电站运营时着重考虑客户满意度的因素[2]。谢超(2018)认为充电站建站时分析城市不同功能区的特征对保障建设充电站的经济效益和电网的稳定程度有重要影响[3]。徐帆等(2009)在充电站网点选择的评价体系中侧重于电动车充电方面,认为电动车充电的方式、时间、场所条件和技术等是充电站选址的影响因素[4]。姚龙(2015)建立了一种充电站选址的最优模型,采用模糊评价法对算例优化求解,结果表明模型有一定可行性[5]。刘广等(2018)使用粗糙集理论评价充电站的规划,但在经济指标下的人力资源成本指标和建设管理指标下的员工管理指标存在重复的可能性[6]。冯超等(2020)在设计有关充电站合理性指标时,在交通、经济、建设技术之外还考虑到充电站对电网、环境和社会三个方面的影响[7]。李滨等(2020)基于判断矩阵检验修正的方法评价有关社会服务类车辆的充电站选点,把不同类型车的需求层面纳入评价体系[8]。乔明娅等(2020)基于模糊综合评价法发现经济因素是影响新能源物流车的充电站选址的最重要因素[9]。盛锐等(2020)针对充电站服务能力提出了一种动态评价方法,并使用广义熵权法和基于因子分析的层次分析法用

来提升权重分析的全面性[10]。魏玲(2016)在多层次灰色评价方法基础上把气温及天气因素对充电设施的影响考虑进站址评价体系[11]。刘志鹏等(2012)设计出一种充电站的规划模型,在筛选站址时采用了结合地理因素与服务半径的方法,以充电站规划阶段内的投资、运维、网损成本最少为目标[12]。

鉴于目前种类繁多的评价内容,本文以便于运营方评估的角度,主要围绕评价内容构建电动汽车充电服务项目建设的评价体系,并基于层次分析法[5] [7] [10] [13]对各指标的权重进行分析,经过全面、综合的考虑,通过科学性、合理性和可行性的指标设计提高项目网点建设选取的水平,为充电服务项目在盈利、社会考量、布局和环境影响等方面指明评价方向。

3. 电动汽车充电服务项目建设评价体系

3.1. 指标体系的设计

电动汽车充电服务项目建设是新形势下城市建设的一个重要环节,它受到诸多因素的影响。本文结合电动汽车充电服务项目的特点,对其影响因素进行综合考虑分析,设计出一个易于理解、相对全面的和可操作性强的充电服务评估指标体系及流程,可有效地提升评估决策合理性。最后,以充电服务项目运营者的角度出发,主要从影响电动汽车充电服务项目的经济、社会、规划、环境四个方面来考虑该项目的评估,构建了包含 15 个指标的评价体系,具体内容如表 1 所示。

Table 1. Evaluation system of construction of charging service project

表 1. 充电服务项目建设评估体系

| | 一级指标 | 二级指标 |
|----------------|------|-----------|
| 充电服务项目建设评价指标体系 | 经济指标 | 投资回收期 |
| | | 网点建设成本 |
| | | 运营成本 |
| | | 设备维护费 |
| | 社会指标 | 可支配收入 |
| | | 附近居民接受度 |
| | | 服务半径 |
| | | 区域市场规模 |
| | 规划指标 | 网点到变电站距离 |
| | | 周边交通便捷程度 |
| | | 网点充电负荷承受度 |
| | | 充电行驶距离 |
| | 环境指标 | 与城市规划适应度 |
| | | 地理环境状况 |
| | | 周边环境破坏程度 |

3.2. 指标内涵及选取

3.2.1. 经济指标

第一方面是经济指标。因为电动汽车充电服务项目是一项商业活动,所以经济属性是首当其冲需要被考虑的因素。由于利润产生的本质是收入与费用之间的差额,换句话说,只有当收入大于费用时才有

利润否则就是亏损。因此,需要从收入和费用两方面来深入考虑经济指标。经济层面设计四个二级指标:投资回收期、网点建设成本、运营成本、和设备维护费。

投资回收期指的是电动汽车充电服务项目从投入资金的日期开始计算,直到项目产生的净收入能够覆盖其投入资金所用时间长短。

网点建设成本按照建设顺序分为如下三部分。一部分是因土地拆迁、购买和充电服务网点考察以及施工建设图纸设计而产生的资金投入。第二部分是由购买配电设施造成的费用,其中包括变压器、配电箱还有充电设施等。第三部分是网点厂房建设和设备安装费用等。

运营成本是在充电服务项目网点运营过程产生的费用,涵盖充电设备的电能消耗成本[14]、租赁土地的成本、向网点员工支付的薪水和购电费用等等。

设备维护费是指由于定期必要地维护充电设施、前文所述的配电设施、其他网点相关设备引起的费用。充电服务网点的设备维护费包括设备维修、保养、更新和检测的成本,还有因此衍生出的支付给维修人员的人工费、交通费等。

3.2.2. 社会指标

为了提升评估体系的全面性,这项指标以社会层面衡量充电服务项目,因为社会因素会对电动汽车充电服务项目的运行是否顺利具有深远的影响。社会层面设计四个二级指标:可支配收入、附近居民接受度、服务半径、区域市场规模。

可支配收入。研究发现,有较强的正相关态势在某区域的电动车保有量和目标区域人均可支配收入之间[15]。充电服务网点的充电需求受网点所在周围区域购买力影响,而购买力是可支配收入的体现。如果充电项目目标区域的人均可支配收入程度越高,那么将来该目标区域居民采办电动车概率越高,相应的充电需求也会随之增加。

附近居民接受度直接影响到充电服务项目的建设可行性。充电项目服务网点会对周边居民造成一定程度的影响,例如在充电服务网点建设和后期维护过程中会产生噪声以及网点充电设施的运行会带来电磁辐射等等。服务网点越靠近住宅区越应该重视附近居民接受度。

服务半径是指从网点到它提供充电服务的最远点的距离。充电网点服务半径的设置会造成社会影响。过大的服务半径无法满足充电需求,反之,过小的服务半径会使充电网点使用率下降,导致社会资源的浪费[13]。所以,充电网点应该有合适的服务半径以响应客户的充电需求。

区域市场规模是指服务网点所在区域的电动汽车及充电服务的规模。运营方可依据区域市场的电动汽车保有量及充电需求量的变化情况作出及时调整。在区域市场低迷时压缩业务,避免损失。在市场活跃时,可以果断抓住时机,扩大业务量与范围,获得更大的盈利空间。

3.2.3. 规划指标

本文依据充电服务网点的特性,从交通、电力以及用户等方面综合考虑指标的构建。规划层面设计五个二级指标:网点到变电站距离、周边交通便捷程度、网点充电负荷承受度、充电行驶距离、与城市规划的适应度。

网点到变电站距离是评估网点到变电站空间距离远近的指标,该指标会对电损和供电可靠程度产生影响,所以该指标是所有充电服务提供商选址的重要考量[4]。选择的网点离变电站越靠近,电力供应的稳定性也越强,则该网点越理想。

周边交通便捷程度与到网点充电的车辆数量密切相关,也是选址时需要注意的必要条件。便捷程度高低的考虑因素包括:网点出入站口附近的道路状况、交通流量、机动车车道数、路面平坦程度、驶离车道的路口数目等等。

网点充电负荷承受度。充电服务网点的运行会导致区域用电负荷大幅度攀升，其结果是严重影响网点所在区域的输电网、配电网的稳定与安全性。所以网点建设前有必要评价现有电网对未来可能新增用电量的承受度。

充电行驶距离是指电动车用户为了在充电站充电而行驶的距离。充电行驶距离越短用户消耗的无效时间和电能越少[16]。

与城市规划的适应度，该指标衡量网点是否适应城市规划要求。充电网点的选择要符合网电区域的建设规划、路网规划等。如果充电服务网点建设不满足所在区域各种规划要求会导致无效的投资损失。所以运营方应结合城市发展规划对网点进行合理的选择。

3.2.4. 环境指标

现如今，环境保护的程度是衡量经济、社会发展的一项重要指标。充电服务项目选址不仅要考虑地理环境对网点的影响而且还要注重网点对周边生态环境可能造成的负面影响。所以，环境层面设计两个二级指标：地理环境状况和周边环境破坏程度。

充电服务网点建设前应该考察网点地理环境，如果地理环境不理想，比如土壤疏松、地形不平坦等，会导致网点的施工难度和成本增加，也不利于后期维护。同时，网点周围需要避开易燃易爆地点，把危险隐患降到最低。

周边环境破坏程度。电动汽车充电服务网点可能会在建设和运营环节上对周边环境造成容易不利的影 响。项目应该避免在生态环境脆弱或绿化率高的地点建设网点，否则会导致水土流失加剧、甚至环境恶化的严重后果。

4. 基于 AHP 法的指标权重设计

4.1. 指标权重设计

本文主要针对充电服务项目的实际情况进行评估，为明确充电服务项目评估的重点，采用层次分析法对指标权重进行分析。层次分析法是一个简单实用的决策方法，它所需的定量数据信息较少，且比较适合于评价指标复杂的目标系统。该方法与本文评价所面临的情况相符，所以选取层次分析法评价充电服务项目。

使用层次分析法计算时首先要找到所评价问题的总目标，将目标问题层次化，按照指标选择原则从几个角度对总目标进行分层分析，再按照这些因素间的相互关系将整个指标分为几类，构建一个多层次分析模型，最后将该问题归结为最底层相对总目标比较优劣的排序问题。充电服务项目按照层次分析法的基本原理和步骤计算本文评价指标权重的具体过程如下所示：

① 构建判断矩阵

建立了电动汽车充电服务项目指标层次结构后，需要确定各层次中的因素对上一层次相关因素的权重。以字母 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 分别代表经济指标、规划指标、社会指标、环境指标四个一级指标。构造判断矩阵 A_1 ：

$$A_1 = \begin{pmatrix} & U_1 & U_2 & U_3 & U_4 \\ U_1 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ U_2 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ U_3 & a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ U_4 & a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

a_{ij} 表示专家对指标 a_i 和 a_j 的相对重要性的打分。

② 利用比例标度法确定指标重要程度

将所得到的判断矩阵 A_1 进行量化, 依据表 2 常用的 1~9 比例标度法则, 经过专家打分, 比较各指标之间的重要程度, 得到判断矩阵 A_1 , 建立的判断矩阵表 3。

Table 2. Proportional scaling method
表 2. 比例标度法则

| 重要程度 a_{ij} | 描述 |
|---------------|--------------------------------------|
| 1 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, 具有同样重要性 |
| 3 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, i 比 j 略重要 |
| 5 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, i 比 j 重要 |
| 7 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, i 比 j 很重要 |
| 9 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, i 比 j 极端重要 |
| 2, 4, 6, 8 | 本层次指标 i 与指标 j 相比, 处于两相邻判断的中间值 |

Table 3. Judgment matrix A_{11} of first-level indicators
表 3. 一级指标的判断矩阵 A_{11}

| A_1 | U_1 | U_2 | U_3 | U_4 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| U_1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| U_2 | 0.5 | 1 | 2 | 3 |
| U_3 | 0.333 | 0.5 | 1 | 2 |
| U_4 | 0.25 | 0.333 | 0.5 | 1 |

③ 利用几何平均值法排序权重

先按行将判断矩阵 A_1 各元素连乘并开 j 次方即求各行元素的几何平均值 m_i , 再把 m_i ($i = 1, 2, \dots, j$) 归一化, 即求得指标。

在判断矩阵 A_{11} 中:

U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 的权重: $w_1 = 0.467$, $w_2 = 0.278$, $w_3 = 0.16$, $w_4 = 0.095$ 。

④ 一致性检验

根据公式 $\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij} W_j}{W_i}$, 对权重进行一致性检验。

在判断矩阵 A_{11} 中:

判断 $C.I. = 0.045$, $R.I. = 0.9$, $C.R. = C.I./R.I. = 0.05 < 0.1$, 通过一致性检验。

所以, 一级指标的权重为(0.467, 0.278, 0.16, 0.095)。综上所述, 一级指标权重按经济维度、规划维度、社会维度、环境维度的顺序, 一级指标权重为 0.467, 0.278, 0.16, 0.095。

二级指标权重是指二级指标对上一层级的指标的贡献程度, 权重的计算方法和前文一级指标相同, 在此不再赘述。以经济指标 U_1 为例, 设投资回收期、网点建设成本、运营成本和设备维护费指标分别为 U_{11} 、 U_{12} 、 U_{13} 、 U_{14} , 然后利用比例标度法构造判断矩阵, 用几何平均值法排序权重, 一致性检验通过后, 求得权重为(0.4, 0.3, 0.2, 0.1)。同样, 按照此方法可以求得所有二级指标的权重。

Table 4. Index weight of construction of charging service project
表 4. 充电服务项目建设指标权重

| | 一级指标 | 一级指标权重(W_i) | 二级指标 | 二级指标权重(W_{ii}) | 最终权重($W_i * W_{ii}$) |
|----------------|------|-----------------|-----------|--------------------|------------------------|
| 充电服务项目建设评价指标体系 | 经济指标 | 0.467 | 投资回收期 | 0.4 | 0.1868 |
| | | | 网点建设成本 | 0.3 | 0.1401 |
| | | | 运营成本 | 0.2 | 0.0934 |
| | | | 设备维护费 | 0.1 | 0.0467 |
| | 社会指标 | 0.16 | 可支配收入 | 0.2 | 0.032 |
| | | | 附近居民接受度 | 0.3 | 0.048 |
| | | | 服务半径 | 0.2 | 0.032 |
| | 规划指标 | 0.278 | 市场规模 | 0.3 | 0.048 |
| | | | 网点到变电站距离 | 0.3 | 0.0834 |
| | | | 周边交通便捷程度 | 0.2 | 0.0556 |
| | | | 网点充电负荷承受度 | 0.3 | 0.0834 |
| | | | 充电行驶距离 | 0.1 | 0.0278 |
| | 环境指标 | 0.095 | 与城市规划适应度 | 0.1 | 0.0278 |
| | | | 地理环境状况 | 0.4 | 0.038 |
| | | | 周边环境破坏程度 | 0.6 | 0.057 |
| | | | | 合计 | |

4.2. 指标权重结果分析

经分析发现,充电设施建设评估主要考虑经济因素。这其中重点关注投资回收期以及网点建设成本。投资回收期的权重最大,是首要应该考虑的指标。如果充电服务项目的投资回收期越长,那么项目所面对风险越大。反之,回收期越短,项目风险越小。因此,只有当投资回收期在一个合理的、同时也是出资方可接受的范围之内的话,那么充电服务项目的风险才是较小的,同时也是值得投资的。此外,网点建设成本的权重是 0.1401,在各类指标中位列第二。据前文投资回收期的解释可知,总成本直接影响投资回收期,换言之,总成本影响着回本时间,而网点建设初始成本在总成本占比最大。因此该指标对项目的盈利能力有极为重要的影响。

其次重要的是规划指标。在规划指标内,网点到变电站距离和网点充电负荷承受度最重要,两指标的权重都是 0.0834,在所有指标中并列第三,重要性显而易见。这两个因素都与电力有关,充电服务项目运营方在网点选择、建设时需要加强对这两指标的重视程度,防止给电网稳定性和安全性带来隐患。

在评估社会指标时,市场规模和附近居民接受度不可忽视。项目运营方在评估时需要密切留意电动车充电行业市场趋势,做出正确的决策,也要努力避免服务网点给居民带来的不利影响,这样无论是对社会、客户、还是运营方自己都有利。

尽管环境指标的权重与其他三类相比最低,但是项目周边环境破坏程度的影响不容忽视。充电服务项目一定要避免只考虑经济效益而以破坏环境为代价。同时应该全方位、多领域地关注充电服务任何一个环节有可能出现的环境问题,切实做到保护环境。

5. 结论

本文首先从经济、社会、规划和环境四个方面选取了 15 个评价指标建立了电动汽车充电服务项目评

价体系, 各项指标的权重经由层次分析法计算出。本文对全部指标的重要性做了排序, 对充电服务项目评估具有一定指导意义。研究发现投资回收期、网点建设成本、网点到变电站距离、网点充电负荷承受度、居民接受度和市场规模以及周边环境破坏程度 7 项指标在 15 项指标中最重要, 建议充电服务项目建设评估重点关注上述七个指标。但是, 运营方在评估充电服务项目建设时, 不能因为经济指标权重大而忽视其他指标的影响, 运营方也要关注规划、社会和环境指标。总的来说, 本文为电动汽车充电服务项目建设评估提供了科学合理的依据, 使充电服务项目建设评价更加科学化。

参考文献

- [1] 毕军, 张伟, 王永兴, 杨超, 张廷. 电动汽车充电站运营服务评价建模研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2016, 38(5): 602-606.
- [2] 黄小庆, 杨秀, 肖波, 刘易珠, 曹一家. 考虑客户满意度的电动汽车充电站运营状态评估[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(10): 96-101.
- [3] 谢超. 北京不同功能区电动汽车充电站选址方法及决策支持系统[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
- [4] 徐帆, 俞国勤, 顾林峰, 等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 37(10): 1678-1682.
- [5] 姚龙. 基于层次分析法和模糊评价法的电动汽车充电站选址研究[J]. 黑龙江电力, 2015, 37(4): 313-317.
- [6] 刘广, 曾成碧, 苗虹. 基于粗糙集的电动汽车充电站规划综合评价[J]. 现代电力, 2018, 35(1): 55-60.
- [7] 冯超, 周步祥, 林楠, 李阳, 夏榆杭. Delphi 和 GAHP 集成的综合评价方法在电动汽车充电站选址最优决策中的应用[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 25-29.
- [8] 李滨, 陈嘉程, 严康, 陈碧云. 社会服务类汽车充电站选点规划评价体系构建与应用[J/OL]. 电力系统及其自动化学报: 1-11[2020-12-25]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000586>
- [9] 乔明娅, 王登登. 新能源物流车专用充电站选址评价研究[J]. 浙江万里学院学报, 2020, 33(1): 26-30+59.
- [10] 盛锐, 唐忠, 薛佳诚. 多指标下 EV 充电站服务能力动态评价方法[J/OL]. 中国电机工程学报, 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20201106.1005.003.html>, 2020-11-17.
- [11] 魏玲. 基于多层次灰色评价方法的新能源电动汽车充电设施选址的研究[J]. 南昌大学学报(理科版), 2016, 40(3): 225-228.
- [12] 刘志鹏, 文福拴, 薛禹胜, 辛建波. 电动汽车充电站的最优选址和定容[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(3): 54-59.
- [13] 王静苑. 基于 FAHP 的电动汽车充电站选址评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春理工大学, 2018.
- [14] 王欢林. 电动汽车充电站选址定容研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [15] 张丽园, 张云川. 城市加油站的商圈选址研究[J]. 物流技术, 2015, 34(8): 116-119.
- [16] 张成, 滕欢. 电动汽车充电站规划模型及评价方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(1): 49-52.