

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.002

考虑电动汽车行驶特性的工业园区电动汽车 充电设施规划

李阳, 吴伟杰, 林勇, 高崇, 吴亚雄, 何璇
(广东电网有限责任公司电网规划研究中心, 广州 510030)

摘要: [目的]为响应国家节能环保的号召, 促进新能源汽车推广与应用, 各地市政府不断加大政策支持力度, 有力推动了电动汽车充电基础设施发展, 随着国内大型工业园区日益增多, 提前合理布局电动汽车充电基础设施对推动园区电动汽车快速发展具有重要意义。[方法]分析了电动汽车充电特性和行驶特性, 然后建立了充电设施建设成本和充电成本的综合最优模型, 考虑地理信息系统根据充电设施网格化规划布局方法, 采用 Pareto 求解算法提高了充电设施寻优布局效率; 其次, 针对不同充电时间和充电成本, 对电动汽车充电设施投资回收期进行对比分析。[结果]研究表明: 获得了地区充电设施布局规划建设的最优方案, 达到提升充电设施设备利用效率, 提高投资效益的作用。[结论]通过对珠三角某工业园区充电站规划的实例进行对比分析, 表明了本次规划方案的可行性和有效性。

关键词: 工业园区; 电动汽车; 行驶特性; 帕累托求解; 投资效益

中图分类号: TM761; U469.72

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0007-08

Electric Vehicle Charging Facilities Planning in Industrial Parks Considering the Driving Characteristics of Electric Vehicles

LI Yang, WU Weijie, LIN Yong, GAO Chong, WU Yaxiong, HE Xuan

(Grid Planning & Research Center, Guangdong Power Grid Corporation, CSG, Guangzhou 510030, China)

Abstract: [Introduction] In response to the call of national energy-saving and environmental protection, and to promote the promotion and application of new energy vehicles, local governments have steadily increased policy support, which has strongly promoted the development of charging infrastructure for electric vehicles. With the increasing number of large industrial parks in China, the rational layout of charging infrastructure for electric vehicles in advance will promote the power supply in the parks. The rapid development of electric vehicles is of great significance. [Method] The charging characteristics and driving characteristics of electric vehicles were analyzed, and then a comprehensive optimal model of charging station construction cost and charging cost was established. Considering the grid layout method of charging facilities based on Geographic Information System, the Pareto algorithm was adopted to improve the optimization of charging facilities. Secondly, according to different charging time and charging cost, the investment pay-back period of electric vehicle charging facilities was compared and analyzed. [Result] The results show that the optimal plan of regional charging facilities layout and construction is obtained, which can improve the utilization efficiency of charging facilities and equipment, improve the investment efficiency, and enhance charging facilities. [Conclusion] The feasibility and validity of this planning scheme are demonstrated by comparing and analyzing the case of charging station planning in an industrial park in the Pearl River Delta.

Key words: industrial park; electric vehicle; driving characteristics; pareto; investment returns

收稿日期: 2018-10-22 修回日期: 2018-12-09

基金项目: 广东电网公司科技项目“基于多能耦合的综合能源协同规划及应用技术研究”(GDKJQQ201601202)

随着全球石油资源的日益紧缺, 对节能减排方面的需求和研究日益增多^[1-3]。电动汽车以其优良的环保性能, 引起了国内外政府和企业的重重

视,动力电池技术和电动汽车的发展也初具规模。根据国家电动汽车发展建设规划方案,到2020年,新能源电动汽车生产能力将达200万辆,累计产销量将超过500万辆^[4-7]。根据《广东省电动汽车充电基础设施专项规划(2016—2020)》的相关要求,广东电网公司计划至2020年,争取建成充电站193座,充电桩1309个。在此基础之上,科学合理的电动汽车充电站规划成为了电动汽车普及与推广的基础。通过合理的充电设施布局,能够在减少充电过程对电网的冲击负荷影响的同时,最大限度的节约充电站建设的投资和充电者的充电成本。充分协调各方面发展的因素,实现资源的最优配置。根据国家智慧工业园区开展节能环保的要求,提前开展充电设施的布局,对电动汽车普及推广的意义尤其重大。

文献[8]为了提高充电站的覆盖率和服务率,文中基于出行链思想对出行者空间行为特性进行分析,建立了电动汽车空间充电需求模型,以充电需求为衡量站址合理性的指标之一进行站址优化。文献[9]针对城市快速充电桩规划发展情况,提出了一种以建设和运营成本最小为目标的计算方法。文献[10]采用基于蒙特卡罗模拟的方法来计算电动汽车的充电负荷,然后综合考虑微网的经济效益和环境效益,建立一种微电网的优化调度的数学模型,并提出了一种改进的粒子群算法对该数学模型进行求解。文献[11]针对多数充电设施规划以大型专用充电站为主,不能全面考虑各类电动汽车的充电需求,且缺少对小区域内分散充电桩规划研究的问题,提出了基于用地类型重新划分的充电桩设施网规划方法。文献[12]针对目前智能用电条件下智能小区的需求侧响应问题,提出了一种聚类行为用户的需求侧响应机制。文献[13]出了一种含新能源接入的电动汽车有序充电分层控制策略,提出的分层控制策略,具有良好可扩展性,可因地制宜融合多种控制策略,实现削峰填谷目标。

本文首先分析电动汽车充电的特性和行驶特性,然后建立充电站建设成本和充电成本的综合最优模型,考虑地理信息系统根据充电设施网格化规划布局方法,并采用Pareto求解算法提高了充电设施寻优布局效率。其次,针对不同充电时间和充电成本,对电动汽车充电设施的投资回收期进行对比分析,并获得地区充电设施布局规划建设的最优方

案,达到提升充电设施设备利用效率,提高投资效益的作用。最后,通过对珠三角某工业园区充电站规划的实例对比分析,表明了本次规划方案的可行性和有效性。

1 电动汽车充主要行驶特性分析

根据目前国内工业园区电动汽车示范和推广进程,新能源电动汽车主要在公交车、出租车、物流环卫、公务和私人领域进行应用。因此,本文将电动汽车类型主要分为这四大类型开展研究。

1.1 电动公交车

电动公交车包括纯电动公交车与插电式混合动力公交车,对公交车而言,对充电站的需求受其运行时间间隔、耗电量、电池续航能力等因素影响,纯电动公交车可考虑快充和慢充结合的方式,而混合动力公交则以慢充为主。电动公交车行驶行程相对固定,周期性的往返于公交停车厂,根据上下班高峰调整发车密度,其余时间发车密度较低,大部分公交车在夜间停运,主要可利用夜间6h左右时间进行充电,根据需要也可在日间发车时间间隙进行充电,根据广东省电动汽车充电基础设施专项规划统计公交车年平均里程约7万km。

1.2 电动出租车

电动出租车一般为纯电动车,出租车如果选用电动汽车,其对充电速度的需求决定于其交接班制度,一班制可选择慢充为主,而两班制则应选择快充为主。出租车行驶区域通常在一定范围内,司机可利用吃饭时间和晚间休息时间进行充电,晚间可集中在交流慢充桩进行充电,白天在分散式直流快充桩进行充电,根据统计出租车年平均里程约10万km。

1.3 电动物流环卫车

电动物流车、环卫车等行业专用车为充电式纯电动车。电动出租车一般为纯电动车。其对充电速度的需求决定于其服务范围和使用频率,由于服务范围有限,夜间工作可能性较小,可选择交流慢充为主,分散式直流快充为辅进行充电。根据统计物流环卫车年平均里程约4万km。

1.4 电动公务与私人车

电动公务与私人乘用车包括纯电动与插电式混合动力两大类,对于电动公务车以及私家车而言,主要以慢充为主,快充为辅。其中电动公务车一般

执行公务使用, 在公务人员完成工作之后停于固定场所, 一般有固定的行车时间和路线, 周末和夜间持续出行时间概率不大, 因此可利用非工作时间进行充电。私人电动车出行目的一般在居住区、工作区和商业休闲区域, 根据统计公务与私人乘用车年平均里程约 1.5 万 km。各类型电动汽车行驶特性如表 1 所示。

表 1 电动汽车行驶特性表

Tab. 1 The results of different approaches for electric vehicle

车型	动力	年均行驶里程 / 万 km	平均电耗 / [kWh · (100 km ⁻¹)]	年耗电量 / (MWh · 辆 ⁻¹)
公交车	纯电动(充电)	7.0	130	91.0
公交车	混合动力	7.0	65	45.5
出租车	充电式纯电动	1.0	18	18.0
物流环卫等专用车	纯电动	4.0	20	8.0
公务乘用车	纯电动	1.5	20	3.0
公务乘用车	混合动力	1.5	10	1.5
私人乘用车	纯电动	1.5	20	3.0
私人乘用车	混合动力	1.5	10	1.5

2 电动汽车充电设施规划模型建立

根据电动汽车充电行驶特性和充电特性, 本文建立以电动汽车充电设备投资成本最低、充电时间最省、充电费用最低为目标函数, 如下式所示:

$$\min F = (f_1, f_2, f_3) \quad (1)$$

式中: F 为目标函数值; f_1 为电动汽车充电设施的年投资运行费用; f_2 为电动汽车用户年充电时间成本; f_3 为电动汽车用户年充电费用成本; 供电企业和充电设施投资建设企业可根据最优的市场、调度和运维需求, 制定出最优的充电设施布局方案。目标函数数学表达式如下:

$$f_1 = \sum_{i \in I} K_i \{ T_1(N_i) \left[\frac{r_0(1+r_0)^{n_i}}{(1+r_0)^{n_i} - 1} \right] + T_2(N_i) \} \quad (2)$$

式中: I 为被选充电站点的集合; K_i 为候选站点, 若在候选站 i 处建立充电站时, 则候选站址 K_i 赋值为 1, 否则为 0; N_i 为待建候选充电站的数量; r_0 为贴现率; n_i 为充电站 i 的折旧年限; $T_1(N_i)$ 为充电站 i 的初始投资费用; $T_2(N_i)$ 为充电站 i 的年运行和维护费用。

$$f_2 = 365 \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \in J} \lambda_{ij} d_{ij} n_{ij}}{V} \quad (3)$$

式中: λ_{ij} 为两点之间的曲折系数, 一般取值在 1.0 ~ 1.4 之间, λ_{ij} 值越小表明两点之间交通越便利; d_{ij} 为充电汽车到充电站两点之间的直线距离; n_{ij} 为充电汽车来充电站 i 的数量; V 为充电汽车平均行驶速度。

$$f_3 = 365 \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \in J} \lambda_{ij} d_{ij} n_{ij}}{U} \quad (4)$$

式中: f_3 为电动汽车用户年充电费用成本; U 为充电汽车的单位耗电量。

同时, 由于电动汽车充电设备是非线性负荷, 考虑到充电时谐波对电网的影响, 保证电网运行安全和电能质量。模型建立必须满足下列约束条件:

1) 考虑到变压器容量有一定的限制, 充电站中所有充电机总容量不得大于变压器容量。

$$\gamma \sum_{j=1}^n s_j \leq s_{\max} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中: s_i 为每个充电机的容量; s_{\max} 为变压器最大容量; n 为充电机总个数; γ 为充电机充电同时率。

2) 考虑到充电站对电能质量的影响, 无功补偿需满足一定的限制条件。

$$Q_{\min} \leq \sum Q_i \leq Q_{\max} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中: Q_i 为各充电站无功容量; Q_{\min} 和 Q_{\max} 分别为充电站无功补偿的上下限。

3) 受充电机容量限制, 电动汽车必须满足最大充电功率约束条件。

$$\eta \sum_{i=1}^n P_i \leq P_{\max} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中: p_i 为同一时刻各充电汽车的充电功率; p_{\max} 为充电站的最大功率; η 为充电同时率。

4) 受节点电压上下限的约束, 电压幅值必须满足如下要求。

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

式中: V_i 为某充电节点的电压幅值; V_{\min} 和 V_{\max} 分别为充电站节点电压的最高与最小幅值上下限。

5) 受馈线电流的约束条件限制, 馈线电流值同时需要满足下式要求。

$$|I_i| \leq I_{\max} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

式中： I_i 为某充电站配电系统中电流值； I_{\max} 为配电系统电流值的上限。

3 电动汽车充电设施规划布局模型

3.1 Pareto 求解算法

Pareto 最优解也称帕累托效率，是博弈论中的重要概念，现已广泛应用于工程、经济和社会科学各个领域。通过差分进化算法求解 Pareto 最优，求解过程中收敛速度快，需设置的参数较少，结果稳定，能快速获得一组目标函数最优的 Pareto 最优集。

本文根据实际情况，采用差分进化算法求得园区电动汽车充电设施规划方案的 Pareto 最优解集。求解的关键步骤如下：

1) 电动汽车充电设备信息获取。通过节点支路矩阵构建充电设施路径拓扑关系；设置决策变量 X ，变量 X 选择的初始范围为 $X_0 \in \{0, 1\}$ ，若取值为 1 表示选择在该区域进行充电，若取值为 0 表示不选择在该区域进行充电，决策变量表示为 N_u 维向量，且 N_u 为充电设备的数量。

2) 对算法参数进行差异化配置：参数包括选择 M 个适应度高个体进行初始值设定，初始种群规模 M_p ，变异因子 p_m 和交叉因子 p_c ，迭代次数 Q_m ，制定目标函数阈值 $\delta^{[14-15]}$ 。

3) 变异和交叉操作

变异操作是模拟生物进化的过程，在进化的过程中因为一些偶然因素发生的突变情^[16]。变异操作的方法是指考虑一定的变异率 p_m ，通过选择某随机的基因进行位置的改变。而交叉操作是指选定某交叉概率 p_c ，通过选择随机的某两组染色体进行基因的相互交换。在实际操作过程中，为迅速获得大范围的极值点，可以采取在种群进化初期适当增大交叉概率值；随着进化次数的增加，寻优算法已经逐渐接近极值点，可以采取在种群进化后期逐渐减少交叉概率，加快算法收敛过程。同理，变异概率在种群进化初期起到作用较小，而在进化后期为保持种群的多样性，可以逐渐增大变异概率值，尽可能更快速获得所有的极值点。

通过以上分析可得交叉概率和变异概率取值类似于 S 型曲线，取值初期有所增长，经过一段时间增长速度逐渐放慢，最后达到一定的饱和值。可以

采用 sigmoid 函数 $[f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}]$ 来模拟 S 型曲线。

这样交叉概率可以采用公式 $P_c(x)$ 来表示，而变异率可以采用公式 $P_m(x)$ 来表示：

$$P_c(x) = P_c \times \frac{1}{1 + e^{x-N/2}} \quad (10)$$

$$P_m(x) = P_m \times \frac{1}{1 + e^{N/2-x}} \quad (11)$$

4) 对约束条件进行校验。园区的重要用户，为尽可能的减少充电设施投资，发挥充电设施最大效益，根据电池续航能力有限的特性，可采用广度优先算法，对充电线路的联通性进行一定的判断，在不满足联通性条件下，根据最小的路径来寻求续航的充电站/桩，开展电动汽车充电设施建设和配套电网充电设施投资规划方案建设。

5) 生成 Pareto 最优解集。根据上述方案获得最优值，开展目标函数优先值方案比选，对优秀个体进行进行遗传迭代，在试验方案中个体 $V_{\text{cros},t}^{g+1}$ 和原有个体 $V_{g,t}^{g+1}$ 之间开展选择优势方案作为子代个体，其中 $V_{\text{cros},t}^{g+1}$ 作为试验方案中种群 V_{cros}^{g+1} 标的第 t 个个体， $V_{g,t}$ 为目标函数第 t 个个体方案。

6) 根据上述方法输出电动汽车充电设施布局规划最优方案。根据迭代次数来判断是否计算结束，若未达到迭代次数则返回，开展变异、交叉操作重新开始计算；若完成进化则停止计算迭代，采用精英保留策略帕累托法制和获得最优解，输出电动汽车充电设施布局规划方案。

3.2 电动汽车充电协同规划服务管理平台

充电运营决策管理是基于对电动汽车充电站和分散充电桩进行充电监控的基础上实现对充电设备的充电运营集中管理，完善运营管理相关的支撑业务的管理机制，并提供对监控、运营、经营等多方面的数据分析。其流程如图 1 所示。

充电设施运营服务管理平台以充电设施硬件设备为基础，集成充电设施 APP 管理系统、交通信息系统、充电设施用户信息、充电汽车日常行驶特性等多种海量数据，实现数据统一存储、交换和管理等功能，为充电设施规划和运营提供辅助决策方案，为用户制定出更为高效可行的充电服务方案，降低供电企业和用户充电时间成本，减少重复建设，最大程度上提高充电桩的利用效率，满足用户出行需求。

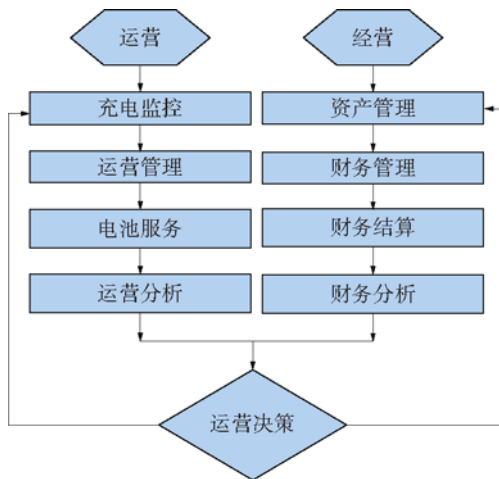


图 1 充电设施运营服务决策流程

Fig. 1 Charging facilities operation service decision process

3.3 地理信息系统技术

地理信息系统(GIS)自 20 世纪 60 年代产生以来,目前已经基本成熟,在电力系统行业应用广泛。GIS 系统能够进行数据的及时采集,及时更新地理信息数据属性,为规划设计人员和决策人员提供可视化服务^[17]。

Voronoi 图又称泰森多边形,由俄国数学家 M. G. Voronoi 提出,并将其推广并广泛应用^[18]。由于 Voronoi 图与大自然中许多结构有着十分相似的结构,在气象、测绘、地质、考古学、生态学等领域有广泛的应用。近年来,随着 Voronoi 图概念的发展,Voronoi 图理论成果的解决了在计算机图形学中寻找最近点、最短路径方面的问题,尤其是在地理信息系统(GIS)、城市规划、地理设备选址方面应用广泛。在电力系统规划中,也常用于变电站和新能源等方面的选址和定容方面的研究。

如图 2 所示,Voronoi 图假设平面上若干个离散的点 $P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 的集合,由于 Voronoi 图具有最邻近性特性,任一点以相同速向外生长扩展,直到彼此相遇后形成若干个多边形,且 Voronoi 图的交点是这些边的图的外切圆圆心。可以看出,Voronoi 图边的交点与周围相邻的几个顶点距离是最远的。在本文充电站规划研究中,这些顶点代表充电站站址,且空心圆半径越大,说明所需要提供充电汽车越多,越有可能成为新建充电站的规划站址。

综上所述,在进行充电站选址规划的过程中,

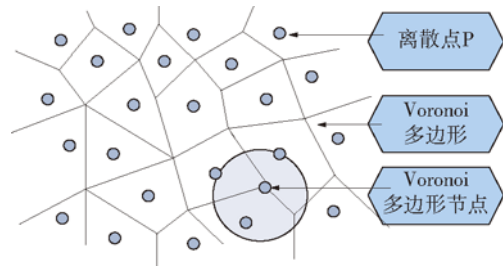


图 2 Voronoi 拓扑关系示意图

Fig. 2 Schematic diagram of Voronoi topological relationship

通过基于 Voronoi 图理论的地理信息系统技术,对新建充电站址进行选择。选取原则主要为对河流、绿地等均属于不适宜建站区域予以淘汰,然后采用图中空心圆半径最大,所需提供充电需求最大的点,作为充电站建站的最优位置,进行最优位置排序。

3.4 考虑 GIS 系统的充电设施网格化规划布局

基于区域地理位置实际情况,将配电网充电设施分布划分为 3 个供电层级和多个供电分区。其中第一层网格主要为 110 kV 变电站开展网格化规划,主要以 110 kV 层级开展大型充电站布局规划;第二层网格以 10 kV 网架为基础,主要开展 10 kV 层级分散式直流快充充电桩布局规划;第三层网格以低压配变台区为单位组成网格,主要开展 0.4 kV 层级分散式交流慢充桩布局规划。

通过网格化规划方案提前预留线路走廊,结合城市道路建设,进一步优化资源利用,达到区域充电设施布局合理分布,减少对电网的负荷冲击,提高充电设施利用率,合理的充电设施规划布局方案。

根据网格化规划思路,参考充电设施的规模容量大小将充电设施布局划分为不同电压等级,结合供电局电网网格划分情况,选择具备相应负荷容量的网格匹配相应的充电基础设施建设规模,实现与电网的协调与发展,便于统一规划和运维。基于地理信息系统的网格化规划布局方案如图 3 所示。

3.5 计算流程图

综上,得到充电设施规划布局流程如图 4 所示。

4 算例分析

通过构建上述模型,以珠三角某大型工业园区实际电动汽车规划来进行分析计算。该规划区面积

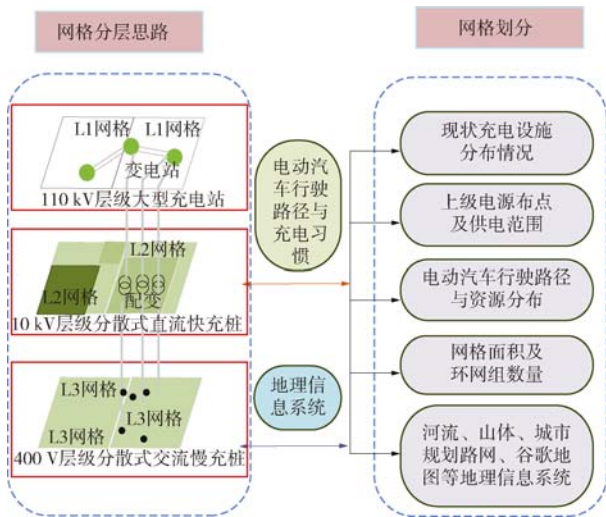


图3 基于地理信息系统的网格化规划布局

Fig. 3 The grid division based on Geographic Information System

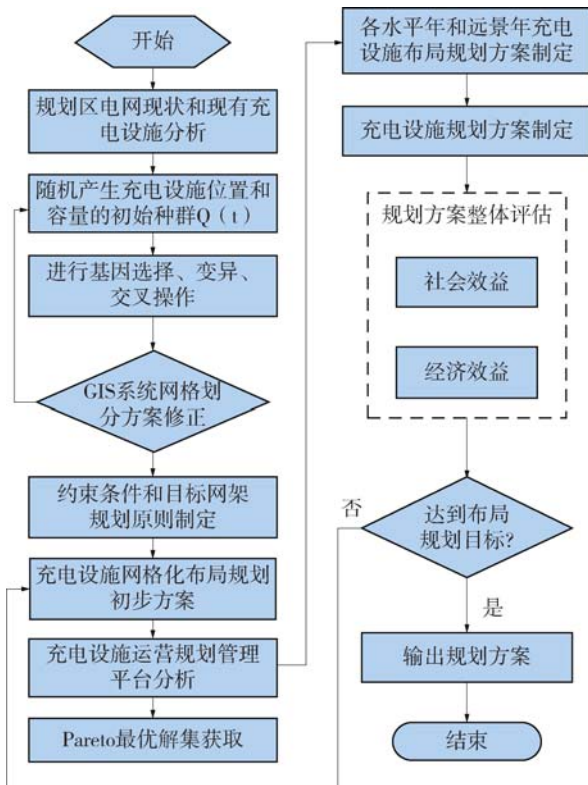


图4 方案流程图

Fig. 4 Flow chart of algorithm

约 124.6 km² 主要用地性质为住宅、酒店和公寓，配套设施有部分绿地、商业圈、公园等。

4.1 充电车辆需求确定

在根据当地政府对推动新能源汽车发展“车桩联动、桩站先行”的原则，适度超前规划建设充电设施。根据不同类型电动汽车充电需求，遵循“市

场主导、快慢互济”技术导向，分类合理布局充电设施，以自用、专用充电设施为主导，形成充电设施建设网络，基本覆盖车辆日常行驶区域，保证车辆在行驶范围内能及时快速找到充电设施对车辆进行充电。到 2030 年，该园区新能源车合计为 3 740 辆。其中，新能源公交车、新能源出租车、新能源物流环卫车、私人 and 公务新能源乘用车分别约为 105 辆、480 辆、240 辆 565 辆、2 350 辆。规划区充电设施发展规划方案如表 2 所示。

表 2 规划区充电设施发展规划方案

Tab. 2 The social benefits of electric vehicles

充电设施	直流桩/kW	数量/个	交流桩/kW	台数/台	服务车辆/辆	规划/座
公交车充电站	100	50	0	0	100	2
出租车充电站	40	50	0	0	100	4
物流、环卫车充电站	7	50	40	5	50	8
城市公共充电站	40	20	0	0	20	12
私人充电桩	0	0	7	1	1	2 350

4.2 充电设施发展规划方案

根据政府提供的资料统计，考虑投资需求，对不同充电需求时间电动汽车充电设施规划投资回收期进行测算如表 3 所示。其中，考虑公交车充电站平均日充电时间 12 h，投资回收期约为 3 年，资产周期最大收益为 6 668 万元；公共充电站平均日充电时间 7.5 h，投资回收期约为 10 年，资产周期最大收益为 170 万元；分散式直流充电桩平均日充电时间 7.5 h，投资回收期约为 6 年，资产周期最大收益为 38.44 万元；分散式交流桩平均日充电时间 12 h，投资回收期约为 2 年，资产周期最大收益为 11.05 万元；因此，园区考虑优先建设公交车充电站，逐步建设公共充电站和分散式直流公共充电桩。

采用本文构建模型，主要参数设置为，其中 f_1 投资运行费用为充电设施建设年费用，初步估算充电设施运行年份为 20 年； f_2 为电动汽车用户年充电时间成本，其中交流充电桩平均充电时间为 3~5 h，交流充电桩平均充电时间为 0.5~1.5 h， f_3 为电动汽车用户年充电费用成本，每公里单位耗电量取 10~15 kW，充电单价为每度 0.6~1.65 元。

表 3 不同充电时间方案下电动汽车充电设施规划投资回收期

Tab. 3 The results of different approaches for electric vehicle charging station planning in different weight coefficients

设施类型	充电桩配置数量	设施平均日 充电时间/h	年充电电量/ (万 kWh)	年收入/ 万元	投资回收 周期/年	资产周期 最大收益/万元
公交车充电站	25 × 100 kW 直流快充	6	547.50	219	9	1 193.67
		8	730.00	292	6	3 018.67
		12	1 095.00	438	3	6 668.67
公共充电站	10 × 40 kW 直流快充	3	32.85	16.43	—	-445.64
		5	54.75	27.38	—	-124.16
		7.5	82.13	41.06	10	170.30
分散式直流桩	40 kW 直流快充	4.5	4.93	2.46	—	-2.63
		5.5	6.02	3.01	11	11.06
		7.5	8.21	4.11	6	38.44
分散式交流桩	7 kW 交流慢充	4	1.02	0.20	10	0.83
		8	2.04	0.41	3	5.94
		12	3.07	0.61	2	11.05

并结合本次寻优算法, 基于区域地理信息系统, 规划本区域公交车充电站 2 座, 出租车充电站 4 座, 以 110 kV 电压等级接入电网; 物流环卫充电站 8 座、城市公共充电站 12 座, 以 10 kV 电压等级接入电网; 私人充电桩按“一车一桩”进行配置, 主要以 0.4 kV 电压等级接入电网。

通过对电动汽车主要行驶特性进行分析, 建立了充电站建设成本和充电成本的综合最优模型, 采用 Pareto 求解算法提高了充电设施寻优布局效率, 基于大数据管理系统建立电动汽车充电运营管理模型, 对不同充电时间和充电成本情况下, 电动汽车充电设施投资回收期进行对比分析, 获得地区充电设施布局规划建设的最优方案, 达到提升充电设施设备利用效率, 提高投资效益的作用, 能较好的满足园区电动汽车充电需求。考虑电动汽车节能减排

效益与传统汽车单位油耗、电动汽车单位电耗以及电网的电源结构密切相关。如表 4 所示, 根据表 4 测算结果, 预计每年可节省燃油 6 255 t, 减少 CO₂ 排放 2 815 t, 拉动动力电池产值约 243.3 万元, 电动汽车产值约 3 630.5 万元。

5 结论

本文首先分析了电动汽车充电特性和行驶特性。然后, 建立了充电站建设成本和充电成本的综合最优模型, 考虑地理信息系统根据充电设施网格化规划布局方法, 采用 Pareto 求解算法提高了充电设施寻优布局效率; 针对不同充电时间和充电成本, 对电动汽车充电设施投资回收期进行对比分析, 获得地区充电设施布局规划建设的最优方案, 达到提升充电设施设备利用效率, 提高

表 4 规划区新能源汽车发展社会经济效益

Tab. 4 The social benefits of electric vehicles development in demonstration area

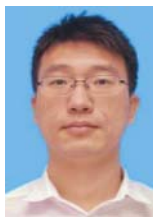
车 型	年平均行驶 里程/万 km	百 km 平均 油耗/L	百 km 平均 电耗/kWh	每吨燃油 体积/L	新增电动 汽车/辆	节省 燃油/t	节排 CO ₂ /t	动力电池 产值/万元	电动汽车 产值/万元
公交车	7.0	35	130	1 378.36	106	1 399.76	629.89	39.38	105.00
出租车	10.0	8	18	1 378.36	245	1 408.38	633.77	12.13	242.66
物流环卫等专用车	4.0	10	20	1 378.36	368	1 067.94	480.57	46.00	368.00
公务乘用车	1.5	10	20	1 378.36	565	461.03	207.46	28.24	564.86
私人乘用车	1.5	10	20	1 378.36	2350	1 918.04	863.12	117.50	2 350.00
合 计	—	—	—	—	3 631	6 255.00	2 815.00	243.30	3 630.50

投资效益的作用。最后,通过对珠三角某工业园区充电站规划的实例进行对比分析,表明了本次规划方案的可行性和有效性。本次研究未考虑电动汽车储能充放电技术,充电设施发展政策变化的影响对园区充电设施布局影响分析,后续开展电动汽车参与电力市场优化调度等分析研究工作,值得今后深入重点研究。

参考文献:

- [1] 李志伟,赵书强,刘应梅.电动汽车分布式储能控制策略及应用[J].电网技术,2016,40(2):442-450.
LI Z W, ZHAO S Q, LIU Y M. Control strategy and application of distributed electric vehicle energy storage [J]. Power System Technology, 2016, 40(2): 442-450.
- [2] 陈雷,卢斯煜.电动汽车充电对住宅小区配电网的影响研究[J].南方能源建设,2018,1(5):51-58+97.
CHEN L, LU S Y. Research on the influence of electric vehicle charging on distribution network of residential district [J]. Southern Energy Construction, 2018, 1(5): 51-58+97.
- [3] XUE Y S, WU J, XIE D L. Multi-agents modelling of EV purchase willingness based on questionnaires [J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2015, 3(2): 149-159.
- [4] 叶楚天.动力电池及充电基础设施技术发展对电动汽车能量补给方式的影响研究[J].南方能源建设,2017,2(4):69-72.
YE C T. Research on the influence of power battery and charging infrastructure technology on the energy supply mode of electric vehicles [J]. Southern Energy Construction, 2017, 2(4): 69-72.
- [5] MOHSENIAN-RAD A H, WONG V W S, JATSKEVICH J R, et al. Autonomous demand-side management based on game theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1(3): 320-331.
- [6] 彭显刚,林利祥,刘艺,等.计及电动汽车和可再生能源不确定因素的多目标分布式电源优化配置[J].电网技术,2015,39(8):2188-2194.
PENG X G, LIN L X, LIU Y, et al. Multi-objective optimal allocation of distributed generation considering uncertainties of plug-in electric vehicles and renewable energy sources [J]. Power System Technology, 2015, 39(8): 2188-2194.
- [7] 刘兴杰,杜哲,严道,等.考虑电动汽车智能充放电的独立微网优化配置[J].电网与清洁能源,2017,39(2):87-94.
LIU X J, DU Z, YAN X, et al. Optimal sizing for stand-alone microgrid considering EV smart charge discharge [J]. Power System and Clean Energy, 2017, 39(2): 87-94.
- [8] 徐青山,蔡婷婷,刘瑜俊,等.考虑驾驶人行为习惯及出行链的电动汽车充电站站址规划[J].电力系统自动化,2016,40(4):59-65.
XU Q S, CAI T T, LIU Y J, et al. Location planning of charging stations for electric vehicles based on drivers behaviors and travel chain [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(4): 59-65.
- [9] 李嘉逸,张宏刚,夏雪,等.市内电动汽车快速充电设施的最优规划[J].电力建设,2017,38(1):17-22.
- [10] 张明光,周灿.含电动汽车的微网的智能优化调度[J].电网与清洁能源,2016,32(12):100-113.
- [11] 段庆,孙云莲,张笑迪,等.电动汽车充电桩选址定容方法[J].电力系统保护与控制,2017,45(12):88-93.
- [12] 陆俊,朱炎平,彭文昊,等.计及用电行为聚类的智能小区互动化需求响应方法[J].电力系统自动化,2017,42(12):54-61.
- [13] 占恺峤,胡泽春,宋永华,等.含新能源接入的电动汽车有序充电分层控制策略[J].电网技术,2016,40(12):3689-3695.
- [14] 葛海麟,陈皓勇,刘飞.基于遗传算法的区域电力和供热系统优化[J].南方能源建设,2017,4(1):25-30+37.
- [15] 丁明,石雪梅,等.基于遗传算法的电力市场环境电源规划的研究[J].中国电机工程学报,2017,45(12):88-93.
- [16] 汤晓青,刘辉,范宇青,等.基于改进多目标遗传算法的实时发电市场优化调度研究[J].电力系统保护与控制,2017,45(17):65-71.
- [17] 王家耀.地理信息系统的发展与发展中的地理信息系统[J].中国工程科学,2011,11(2):33-35.
- [18] 曹昉,孟琦斌,苗培青,等.基于改进加权Voronoi图和遗传算法的变电站规划[J].电网技术,2015,39(2):511-516.

作者简介:



LI Y

李阳(通信作者)

1987-,男,湖北孝感人,工程师,硕士,主要从事电力系统规划、新能源技术方面的研究工作(e-mail) 272198814@qq.com。



WU W J

吴伟杰

1979-,男,广东新会人,高级工程师,硕士,主要从事电力系统规划工作(e-mail) wuweijie@gd.csg.cn。

(责任编辑 高春萌)