

基于电动汽车运行大数据的车网互动用户画像研究

文/赵锴¹ 施开发¹ 张翔¹ 叶晟¹ 张文杰² 付亚同²

1. 国网上海市电力公司嘉定供电公司；2. 上海市新能源汽车公共数据采集与监测研究中心

电动汽车作为绿色出行交通工具是应对能源危机和环境污染的有效途径之一，在实现“双碳”目标的进程中至关重要。随着电动汽车保有量的不断增加，大规模电动汽车入网充电会对电网的安全运行带来威胁。同时，车网互动可以释放电动汽车作为一种柔性负荷资源、分布式储能设备的潜力，为电网提供调峰填谷、参与电网需求侧响应等服务，对保证电网安全运行意义重大。为了更好地发挥电动汽车资源的聚合调控作用，需要对电动汽车出行行为、充电行为特性以及可调潜力特性等展开研究。首先，基于真实的车辆运行数据，构建基于XGBoost的车辆用途识别模型，将用户划分为不同类别，其次对不同类别用户参与车网互动进行画像分析以及可调潜力分析，研究结果可以为电动汽车集群参与电网调度提供重要依据。

随着全球经济的高速发展，化石能源短缺和环境危机也愈发严重，而碳排放作为加剧全球变暖的重要因素之一，其对环境的影响十分显著。如何减少对碳排放和降低化石燃料的依赖已经成为世界各国关注的热点问题^[1]。2020年，国家主席习近平提出“30·60目标”，即“中国将力争2030年前达到二氧化碳排放峰值，努力争取2060年前实现碳中和”^[2]。以电动汽车（Electric Vehicle，EV）为代表的新能源汽车代替传统燃油汽车，是实现“双碳目标”的必然选择，也是应对能源危机和环境污染的有效途径之一^[3]。

车网互动（Vehicle to Grid，V2G）是指电动汽车及充换电基础设施与电网之间的信息与能量交互过程，车网互动可进一步划分为单向负荷调节和双向充放电两类主要互动模式^[4-5]。根据公安部的数据，截至2023年底我国新能源汽车保有量达

2 041万辆，占汽车总量的6.07%。随着新能源汽车规模的不断扩大、渗透率的不断增加，其强随机性的充电负荷会对电力系统尤其是配电网的稳定运行产生较大影响。在此背景下，可将EV视为一个好的移动储能单元，使用V2G技术与电网进行友好互动，不但可以降低或消除EV对电力系统产生的不利影响，还可以使EV参与到系统的辅助服务市场中，对提高电力系统的稳定性，降低电网峰谷差，增加新能源发电消纳有着积极意义^[6]。

当前电动汽车用户出行行为研究，充电行为研究，参与车网互动研究不断增多。文献[7—10]利用标定的不同等级道路的电动汽车电池电量消耗函数，由此基于出行距离，考虑出行链，设计蒙特卡洛模拟，仿真模拟车辆行驶的SOC消耗，基于设定的SOC阈值，判断是否要进行充电。文献[11]根据出行距离及充电起始时间进行建模，得到电动汽车

基金项目：国网上海市电力公司科技项目（B30931230002）

充电负荷时间分布。文献[12—14]利用出行链理论归纳出家用电动汽车出行规律，对电动汽车的充电需求分布进行建模。文献[15—19]剖析出行链理论下EV出行需求，结合价格信号引导EV车主参与充放电调度服务，针对用户的用车维度需要进行用户综合满意度、电能需求度等指标的定量化输出。文献[20]重点梳理了电动汽车参与调峰辅助服务市场的交易方式、市场交易策略、可调节容量和充放电控制策略等方面的研究成果。但EV可调节容量的刻画与预测仅提到相关影响因素以及运用仿真模拟进行预测，缺乏车辆实际运行数据分析方面的研究成果。文献[21]基于高斯过程回归的电动汽车集群灵活性的概率预测，提出基于高斯过程回归的EV集群灵活性的概率预测方法，并利用实际充电数据进行仿真验证，所提方法能从电量和功率两个方面比较准确地预测EV集群的充电灵活性。文献[22]针对电动汽车无序充电行为影响综合能源系统运行经济性的问题，提出一种考虑电动汽车SOC的弹性电价需求响应综合能源系统优化调度策略。

上述研究为电动汽车使用行为特征和参与优化调度建模做出一定的贡献，但也存在一定的局限性。电动汽车的大量真实运行数据由于数据的私密性原则难以获取，很多研究过程中电动汽车的数据样本量较少或来源单一、缺少多种用途类型电动汽车的考虑，导致建模结果与实际可能存在较大差异。因此，本文提出一种基于大规模电动汽车真实运行数据研究用户的使用行为，采用数据驱动的方法来解决电动汽车使用行为难刻画等问题，并区分私家通勤车、出租车和网约车三类不同用户，解析车辆使用行为特征的差异。基于此，对电动汽车进行可调度特征识别，为电动汽车参与车网互动、优化电网调度等提供重要依据。

数据准备

研究的数据来自上海市新能源汽车公共数据采集与监测研究中心提供的上海市纯电动乘用车运行数据，时间维度为2023年12月1日—12月31日，数据平均每30 s上传一次，包括车辆行驶里程信息和行驶时间信息、车辆的位置信息、电池剩余电量状态（State of Charge，SOC）等。

本文聚焦充电行为发生在上海市嘉定区域的纯电动车辆，进行出行、充电、停留特性研究以及车辆的可调度性潜力研究。需要对数据先进行预处理，首先将车辆数据切分为次行出行数据、次行充电数据，并提取充电片段，提取原则为车辆处于静止状态，车辆SOC增加；其次，依据充电地点的经纬度坐标，筛选位于嘉定地区的充电事件，得到研究样本数据集。

经过上述数据预处理后，包含总计约9.1万辆纯电动乘用车，总出行981万次，总出行里程3.7亿km，充电次数共计62.7万次，总充电量1 469万kW·h，其中快充次数32.4万次，占比52%；快充电量691万kW·h，占比47%。

用户分类

电动汽车用户的使用行为具有时空特征，不同用户的时空特征具有差异性。因此，为更加合理且精细化分析用户的行为，有必要将用户分为私家车、网约车和出租车。首先，根据车辆所属出租车公司，标签出租车，约1.3万辆；其次，对剩余的7.8万辆进行车辆用途识别。基于车辆运行数据，结合机器学习等大数据分析处理技术，从车辆静态信息和动态信息两方面着手，利用私家车商用的典型属性，构建了车辆多维特征指标。从车辆品牌、车辆级别、品牌级别、日均行驶里程、日均行驶时长、出行时区、轨迹相似度和出勤率等角度进行网约车判别，构建基于XGBoost的分类识别模型，利用Isotonic回归进行校准，经模型选择、参数优化和概率校准后，当前网约车识别模型交叉验证准确率达94.9%，查准率达91.9%，F1分数为93.4%。根据以上模型，分析样本分为私人5.3万、网约车2.5万以及出租车1.3万，如图1所示。

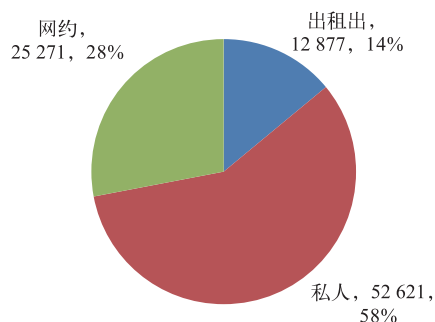


图1 电动汽车用户分类

电动汽车用户参与车网互动画像分析

1. 电动汽车用户出行特征分析

1.1 日出行时刻

日出行时刻，即车辆每天每次出行开始的时间。从分布情况看，私人车辆呈现较为明显的早晚高峰出行态势，7:00—8:00、16:00—17:00出行次数比例相对较高，分别占该类用户总出行次数的14%、15%；出租车和网约车出行分布形态较为相似，6:00—7:00以及12:00—17:00出行比例较高，如图2所示。

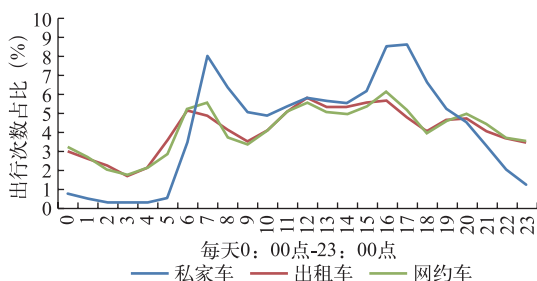


图2 日出行时刻分布

1.2 日均出行里程

日均出行里程，即样本车辆2023年12月累计出行里程与实际累计出行天数的比值。总样本用户日均出行里程为146.1 km，私家车、出租车和网约车分别为65.3 km、276.1 km和248.1 km。私人用户日均出行里程在0~50 km、50~100 km区间分别占比37%、51%；出租车和网约车主要集中在200 km以上，如图3所示。

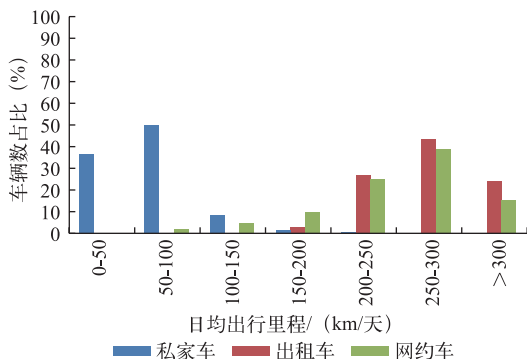


图3 日均出行里程分布

1.3 日均出行时长

日均出行时长，即样本车辆2023年12月累计出行时长与累计出行天数的比值。总样本用户日均出行时长为5.7 h，私家车、出租车和网约车分别为2.3

h、11.3 h和9.9 h。私人用户日均出行时长在0~2 h、2~4 h区间分别占比47%、49%；出租车和网约车出行时长较长，主要集中在10 h以上，分别占比71%、58%，如图4所示。

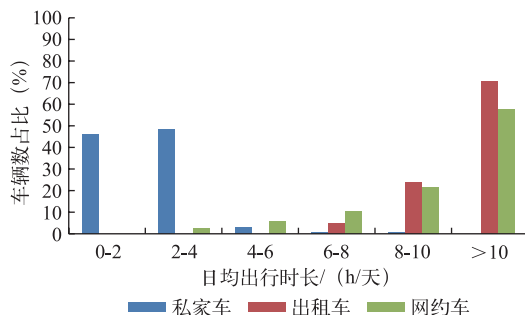


图4 日均出行时长分布

1.4 百公里电耗

百公里电耗，即样本车辆行驶每百公里的耗电量。所有样本百公里电耗均值为17.5 kW·h/100 km，私家车、出租车和网约车分别为18.4 kW·h/100 km、16.4 kW·h/100 km、16.1 kW·h/100 km。从分布来看，15~20 kW·h/100 km区间车辆比较集中，私家车、出租车和网约车分别占各自比例为54%、84%和68%，如图5所示。

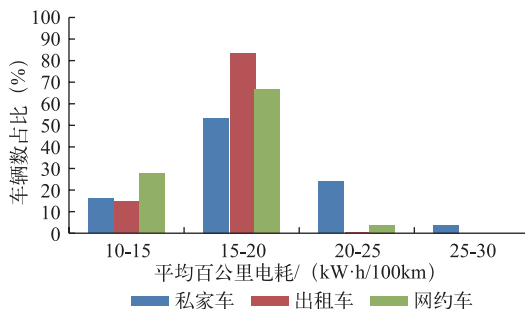


图5 百公里电耗分布

2. 电动汽车用户充电特征分析

2.1 充电场景

根据车辆的停留及充电情况识别车辆的充电场景。首先将车辆停留时长≥120 min的数据识别为长时间有效停留点，其次用DBSCAN算法聚类有效停留点，聚为一类的点根据经纬度的平均值得到固定停留点，最后结合车辆是否发生充电行为、并结合公共场站的信息等对车辆充电地进行识别，分为场站快充、居家慢充、工作地慢充和场站慢充。

私人用户主要以居家慢充为主，充电量占比55%，其次为场站快充、工作地慢充；出租车和网

约车充电偏好均以场站快充为主，分别占各自比例为95%、80%，见表1。

表1 各类用户不同充电场景充电量占比

充电场景	私家车 (%)	出租车 (%)	网约车 (%)
居家慢充	55	4	18
场站快充	28	95	80
场站慢充	7	0	1
工作地慢充	10	0	1
合计	100	100	100

2.2 日充电时刻

日充电时刻，即样本车辆2023年12月每天每次充电的开始时间。从不同用户类别来看，私人用户充电行为主要发生在22：00，出租车和网约车在白天午后（11：00—15：00）会出现补电情况，另外网约车在22：00呈现充电小波峰，如图6所示。

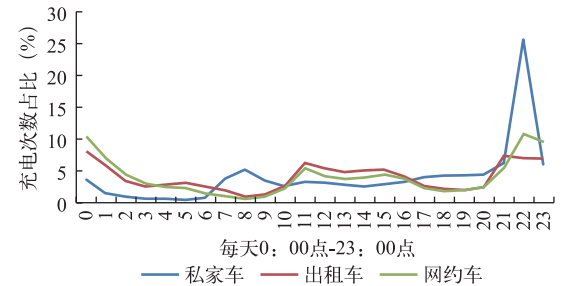


图6 日充电时刻分布

2.3 单次充电时长

单次充电时长，即每次充电开始到充电结束的时长。所有样本用户单次平均充电时长2.7 h。私家车、出租车和网约车单次平均充电时长分别为3.8 h、1.0 h和1.8 h。私人发生充电总次数33.7万次，其中居家慢充次数占比55%；出租车发生充电总次数9.8万次，其中场站快充占比95%；网约车发生充电总次数19.2万次，其中场站快充占比78%。因此，由于不同用户充电偏好不同导致充电时长差异明显。

表2 各类用户不同充电场景充电次数比例

用户类别	场站快充 (%)	场站慢充 (%)	工作地慢充 (%)	居家慢充 (%)	总计 (%)
私家车	24	9	12	55	100
出租车	95	1	0	4	100
网约车	78	2	1	19	100

从单次充电时长的分布来看，出租车和网约车由于以快充行为为主，因此单次充电时长主要集中

在2 h以内，充电次数占比分别为96%、80%；私人用户单次充电时长在2 h以内占比36%，2~6 h占比55%。

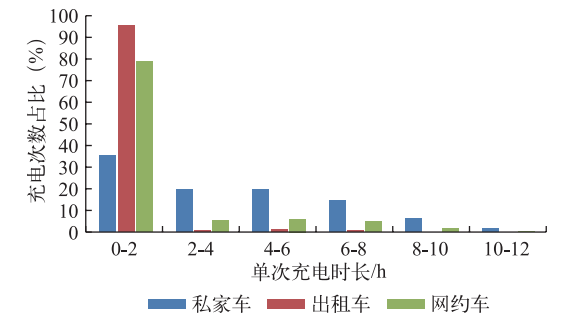


图7 单次充电时长分布

从分充电场景来看，场站快充场景下，单次充电时长均值约1 h；工作地慢充和居家慢充场景较为相似，单次充电时长均值在4~5 h，见表3。

表3 各类用户不同充电场景单次平均充电时长

用户类别	场站快充/h	场站慢充/h	工作地慢充/h	居家慢充/h	总计/h
私家车	0.9	4.4	4.3	4.9	3.8
出租车	0.8	1.9	4.8	4.9	1.0
网约车	1.0	3.7	4.8	5.0	1.8
总计	0.9	4.2	4.4	4.9	2.8

2.4 日均充电频次

日均充电频次，即样本车辆2023年12月累计充电次数与累计出行天数的比值。所有样本日均充电频次均值为1.0，即大约每天充一次电，其中私家车、出租车和网约车日均充电频次均值分别为0.4、2.0、1.6，即私人用户每2~3天充一次、出租车和网约车约每天充2次。从分布来看，68%的私人车辆日均充电频次为0~0.5；而出租车、网约车每天充电一次及以上分别累计占比96%、91%，如图8所示。

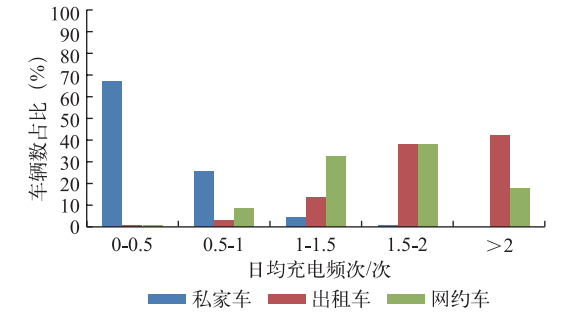


图8 日均充电频次分布

3. 电动汽车用户V2G可调潜力分析

3.1 可调时间

根据上述统计，样本车辆日均出行时长为小时5.7 h，即全天约18.3 h处于未行驶状态。其中，次均充电时长2.7 h，则剩余15.6 h为“闲置”的停车时间，可视为调度时间。其中，私人用户停车时间为17.9 h，在时间上更具有灵活性，如图9所示。

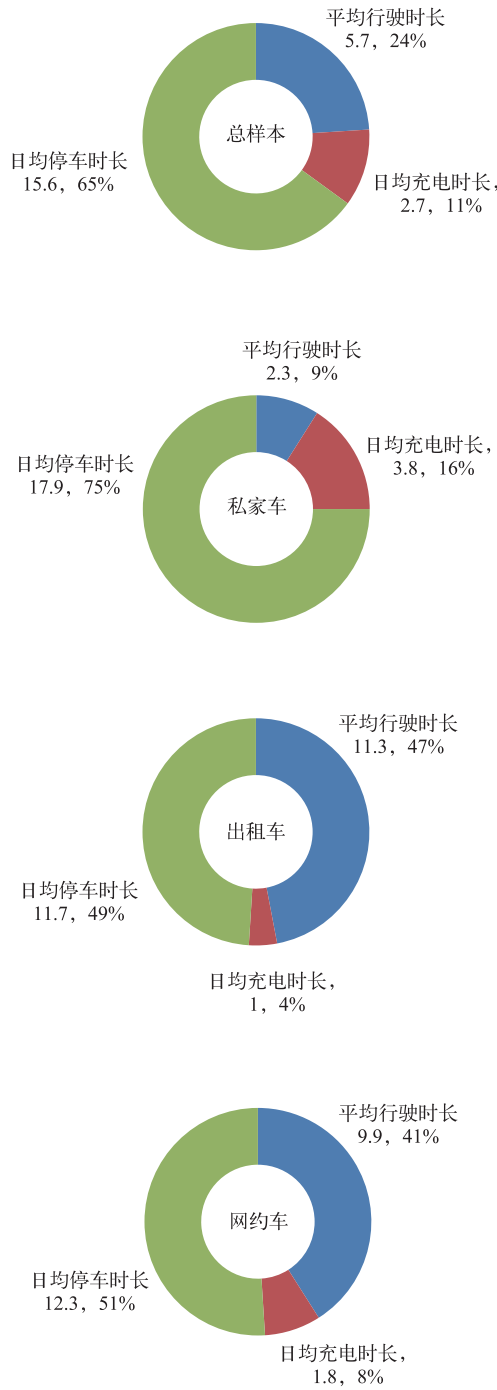


图9 各类用户日平均行驶、充电、停车时间分布

3.2 可调容量

根据上述统计，样本车辆平均百公里电耗为17.5 kW·h/100 km，日均行驶里程均值为146.1 km，则日均耗电量约为25.6 kW·h。同时，在满足上述出行需求的前提下，假设放电深度不低于30%SOC，若车辆发挥储能作用，则其可提供的日放电电量达18.6 kW·h。按此类推计算，私人用户可调电量为34.4 kW·h。

可见，除了满足出行需求外，新能源汽车尤其是私人用户具备更灵活的“富余”容量并作为可储能设施参与电网调度。未来随着电池容量及续航里程的提升，新能源汽车可调度的充放电容量将更高。

通过对以上新能源汽车出行、充电行为的综合分析后，可以得到私家车、出租车和网约车三类用户类型参与电网调度潜力的总结，见表4。

表4 各类用户预留电量、耗电量、可调电量均值

用户类别	电池容量/(kW·h)	百公里电耗/(kW·h/100 km)	日均里程/km	耗电量/(kW·h)	最低预留电量/(kW·h)	可调电量/(kW·h)
私人	66.3	18.4	65.3	12.0	19.9	34.4
出租车	54.8	16.4	276.1	45.3	16.4	/
网约车	60.7	16.1	248.1	39.9	18.2	2.6
总样本	63.1	17.5	146.1	25.6	18.9	18.6

结束语

2023年12月，国家发改委、国家能源局、工信部和市场监管总局联合印发《关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见》，旨在充分发挥新能源汽车在电化学储能体系中的重要作用，巩固和扩大新能源汽车发展优势，支撑新型能源体系和新型电力系统构建。本文基于真实的车辆运行数据，并考虑不同类型用户的差异，对电动汽车进行可调性特征识别，以期为大规模电动汽车参与电网调节示范工程提供重要依据。

参考文献

[1] 国家能源局. 实施电能替代推动能源消费革命：解读《关于推进电能替代的指导意见》[J]. 中国经贸导刊, 2016(18) : 51-52.

- [2] 胡鞍钢. 中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报: 社会科学版, 2021, 21(3): 1-15.
- [3] 吴添, 欧训民, 林成涛. 从消费者的视角分析纯电动城市客车的生命周期成本[J]. 汽车工程, 2012, 34(12): 1150-1154.
- [4] CPUC. Final report of the California joint agencies vehicle- grid integration working group[R]. California: CPUC, 2020.
- [5] UK. GOV. Role of vehicle-to-X energy technologies in a net zero energy system: call for evidence[R]. UK: UK. GOV, 2021.
- [6] 许珊, 李扬. 引导电动汽车有序充放电的峰谷电价时段优化模型[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(5): 11-15.
- [7] 蒋林洳, 万伟江, 丁霄寅, 等. 一种基于直接蒙特卡洛法的电动汽车充电负荷模型[J]. 供用电, 2018(4): 20-25.
- [8] ZHANG K, TIAN Y, SHI S, et al. Electric vehicle charging demand forecasting based on city grid attribute classification[C]//2021 11th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES). IEEE, 2021: 592-597.
- [9] WANG H, ZHAO D, CAI Y, et al. Taxi trajectory data based fast-charging facility planning for urban electric taxi systems[J]. Applied Energy, 2021(15): 1-14.
- [10] 余樨源. 考虑时空分布特性的电动汽车充电需求预测与充电策略研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [11] ASHTARI A, BIBEAU E, SHAHIDINEJAD S, et al. PEV charging profile prediction and analysis based on vehicle usage data[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(1): 341-350.
- [12] 张美霞, 蔡雅慧, 杨秀, 等. 考虑用户充电差异性的家用电动汽车充电需求分布分析方法[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(2): 154-163.
- [13] 王冬, 刘继春, 曹芷健, 等. 考虑驾驶人出行链的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(6): 1-9, 52.
- [14] 周翔, 陈杰军, 谢培元, 等. 基于效用最大化原则的电动汽车充电站负荷特性分析方法[J]. 电测与仪表, 2018, 55(4): 1-8.
- [15] 陈艺灵, 吕志鹏, 周珊. 基于云端协同的电动汽车多目标优化调度[J]. 供用电, 2022, 39(4): 17-24.
- [16] 王敏, 吕林, 向月. 计及V2G价格激励的电动汽车削峰协同调度策略[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(4): 27-33, 85.
- [17] 刘日亮, 李晓露, 杜建, 等. 基于智能电网架构模型的营配调贯通一体化模型构建方法[J]. 电力信息与通信技术, 2022, 20(7): 18-25.
- [18] 刘子伟, 陈杰, 陈鑫, 等. 基于成本约束的动态最优电动汽车充电[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(11): 94-101.
- [19] 武小梅, 冯琪劲, 严干贵, 等. 基于双层优化的电动公交车有序充电策略[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(1): 119-126.
- [20] 白泽洋, 巨健, 姜炎君, 等. 电动汽车参与电网调峰的关键技术研究综述[J]. 电力需求侧管理, 2022, 24(6): 25-31.
- [21] 刘子腾, 孙烨, 张沛超, 等. 基于高斯过程回归的电动汽车集群灵活性的概率预测[J]. 电力需求侧管理, 2024, 26(3): 9-14.
- [22] 胥栋, 叶傲霜, 张少迪, 等. 基于电动汽车价格弹性需求响应的综合能源系统优化调度[J]. 电力需求侧管理, 2023, 25(4): 73-79.