



2018年9月



电动汽车储能市场 及激励机制研究

研究报告



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

致谢

此报告由国家发改委能源研究所、国家可再生能源中心、自然资源保护协会合作撰写。特别感谢苏州工业园管委会、上海合煌能源科技有限公司、国网苏州供电公司、中关村储能联盟和星星充电对本研究提供了数据及信息支持。清华大学胡泽春副教授、北京丘隅咨询有限公司执行董事李立理、中国汽车工程学会项目总监郑亚莉、中科院物理所李泓教授、中国电科院惠东教授、彭博新能源财经（BNEF）高级分析师寇楠楠对项目提出了宝贵意见和建议，在此表示感谢。

课题组

刘 坚 国家发改委能源研究所 国家可再生能源中心

金亨美 自然资源保护协会

唐 莉 上海合煌能源科技有限公司

朱肖晶 国网苏州供电公司

龚海华 国网苏州供电公司

自然资源保护协会 项目组

游梦娜

李玉琦

王万兴

刘明明

周晓竺

感谢 ClimateWorks Foundation 对本研究的资金支持。

目录

一、研究背景	06
二、电动汽车储能市场	08
(一) 应用市场分析	08
(二) 市场驱动因素	13
三、研究方法	15
(一) 情景分析	15
(二) 用户问卷调查	15
(三) 学习曲线及平准化成本	16
(四) 案例分析	16
四、研究过程与结论	17
(一) 动力电池成本下降预测	17
(二) 电动汽车储能接受度调查	19
(三) 电动汽车储能效果评估	23
(四) 市场及价格机制分析	27
五、政策建议	35
(一) 市场准入	35
(二) 商业模式	35
(三) 充放电价	36
(四) 用户宣传	36
(五) 研发示范	36
附件一 用户参与度调研表	38

执行摘要

不同于传统燃油车，电动汽车与电网彼此天然联通，即是电能消费终端，又是位于电网末梢的储能单元，大规模的电动汽车参与储能无疑将给电力系统运行方式乃至能源转型带来深刻影响。随着中国电动汽车日益普及，电动汽车正越来越多地通过电力需求响应¹、V2G^{1 2}、电池更换³、退役电池储能⁴等方式参与电力系统储能服务。国家发改委 2018 年 7 月印发《关于创新和完善促进绿色发展价格机制的意见》，其中明确提出鼓励电动汽车提供储能服务并通过峰谷价差获得收益⁵。可以说，如何发掘电动汽车的储能潜力已日益被各界关注。

本报告在《电动汽车储能潜力与经济性研究》的基础上，对促进电动汽车储能的市场环境及激励政策进行了研究，并通过案例分析评估了大规模电动汽车参与储能所带来的价值和存在的障碍。研究发现：

1. 负荷低谷充电是近期电动汽车储能实现经济价值的直接途径，其参与电力需求响应、提供电力辅助服务及消纳可再生能源并无明显技术障碍。

2. 目前电动汽车用户对储能认知较为有限，一般消费者对动力电池寿命存在顾虑，而动力电池能量密度的提高和成本降低将显著提升电动汽车参与储能的经济性和用户接受度。

3. 电动汽车充电负荷具有分布散、规模小、不规律的特点，其参与电力系统储能存在市场准入、规模门槛、计量计费等方面的制约。

4. 聚合服务和平台化接入势必成为电动汽车储能的关键。车辆服务商、充电运营商、负荷集成商等市场主体可根据自身条件通过分时电价、实时电价、灵活套餐等方式聚合车辆资源并代表分散用户参与市场交易。

¹ V2G: Vehicle to grid，即电动汽车与电网的双向互动。

基于上述研究发现，本报告在市场准入、商业模式、价格机制、用户宣传和技术研发等五方面提出了政策建议：

1. 明确电动汽车储能的市场身份与地位，降低电动汽车储能参与市场的功率容量门槛，完善电动汽车充放电计量并允许电动汽车通过聚合集成的方式参与电力系统服务。

2. 鼓励各类第三方市场主体通过商业模式创新汇聚电动汽车参与储能服务，加快住宅、办公地点充放电平台建设，研究制定平台化资源参与电力市场的交易规则、责任和义务。

3. 落实电动汽车充电峰谷电价政策，减少转供电加价，降低第三方运营商上游购电成本；释放第三方自主定价空间，在公交车、物流车、公务车等运营较为规律的车队中探索更为灵活的充放电价格机制。

4. 加大电动汽车储能宣传力度，提高电动汽车储能的市场接受度，将累计放电量纳入电池质保参考因素。

5. 加大长寿命动力电池研发力度，推动动力电池与储能电池技术的协同发展。

总而言之，电动汽车储能的发展还需政策和商业模式的完善。一方面，要通过政策修订降低电动汽车参与市场交易的门槛；一方面，要通过商业模式的创新提升电动汽车储能与参与电力市场的能力。

当前电动汽车储能处于发展初期，具体实施过程利益相关方众多、制约因素复杂，应鼓励具备条件的地方先行先试，通过开展电动汽车参与电力需求响应等试点工作，探索电动汽车储能参与电力系统运行的商业模式和应用价值，并结合试点摸索经验、逐步推广。

一、研究背景

发展大规模新型储能是我国能源绿色转型的必然选择。我国传统储能资源有限，全国探明抽水蓄能资源仅 1.5 亿千瓦，不足国内电力装机十分之一，加之国内天然气发电、库容式水电等传统调峰资源贫乏，难以支撑电力清洁转型巨大储能需求。虽然近年来电化学储能技术得到一定发展，但其装机规模不足抽水蓄能的 2%，不足以在短期内实质填补储能供应缺口。

电动汽车储能的概念早在上世纪 90 年代就被国外学者提出，在技术可行性、经济性、运营模式、标准规范等被后续研究逐步论证^{6, 7, 8}。限于早期电动汽车数量有限和较高的电池成本，国外电动汽车储能一直处于技术研发和示范阶段。

电动汽车的普及和电池成本不断下降为中国发展电动汽车储能提供了机遇。目前中国已成为全球最大电动汽车产销及保有量市场，电动汽车总量约占全球三分之一⁹。2017 年我国电动汽车销量为 77.7 万辆¹¹，占全部汽车销量的比重达到 2.68%，在全球率先步入对传统燃油汽车规模替代阶段。产能的迅速扩张也推动了电池成本的下降，政府的目标是到 2020 年动力电池系统成本降至 1 元 / 千瓦时¹⁰，相比 2015 年水平下降 60%。

随着技术的进一步成熟，电动汽车未来有能力在乘用车领域完全替代基于燃油的内燃机汽车，进而在全国形成上亿辆保有量。《电动汽车储能潜力及经济性研究》预计若 2030 年全中国累计推广电动汽车 1 亿辆，则电动汽车储能能力就可达到 5000GWh 以上，数倍于国内探明抽水蓄能资源潜力。如此大规模的储能资源将有力支撑高比例可再生能源下的电力系统日内调峰需求，大幅缓解困扰行业已久的弃风、弃光问题。伴随着电源结构清洁化，电动汽车全生命周期排放也将因此大幅降低，消解目前仍一定程度存在的电动汽车环境争议。

11 含插电式混合动力汽车和纯电动汽车。

然而，目前推广电动汽车储能仍面临市场门槛、技术经济性及用户意愿方面的障碍。首先，当前储能行业整体尚且处于市场培育和模式探索阶段，电动汽车储能在面临更多市场门槛的同时，也受到固定储能技术和其他灵活性资源的市场竞争。第二，高续航和低成本电池是大规模推广电动汽车储能的前提条件，且电动汽车参与电力系统运行的可靠性需要车辆数量作为支撑，而目前动力电池技术水平和车辆规模还无法满足电力辅助服务对频繁充放电和调度可靠性的需求。第三，电动汽车储能可能存在较大的用户接受度的问题，即参与储能车辆的交通出行自由度或将受到一定影响，且用户对电动汽车储能的成本缺乏量化评估。因此，本研究尝试通过案例分析和用户调研的方式，评估电动汽车储能的实际市场规模、分析技术进步对市场规模的影响，并提出释放市场潜力的政策建议。

二、电动汽车储能市场

（一）应用市场分析

电动汽车有序充电，即在满足电动汽车充电需求的前提下，运用经济或技术措施引导、控制电动汽车充电行为，是目前技术成熟、成本较低的电动汽车储能方式。电动汽车有序充电与电力需求响应颇有相似之处，两者的商业运行都依赖于价格机制与政策环境。虽然理论上电动汽车也可通过参与需求响应的方式实现电力系统调频功能，但目前比较理想的调频主体是具有放电特性、可控性强且响应速度快的发用电资源^{III}。调频服务对电动汽车数量和充电管控技术都有较高要求，电动汽车参与调频服务的效果缺乏实际示范验证。此外，储能调频经济性取决于电力辅助服务政策。虽然近来各地纷纷对《两个细则》^{III}进行修订，将储能纳入管理细则，同时鼓励通过引入市场机制提供辅助服务，但就具体实施情况看，目前调峰辅助服务推进较快（如东北、山东、陕西、福建、新疆、甘肃等地），而调频辅助服务市场机制推进相对缓慢（仅山西）。虽然部分地区提出将储能纳入调峰辅助服务市场交易主体，但目前采用电化学储能进行系统级调峰的商业运营项目仍然较少，对于电动汽车而言门槛显然较高。

相比电力辅助服务，负荷低谷充电的市场价值更易捕捉。通过错峰充电，电动汽车用户充电成本得以降低，电力系统也将获得削峰填谷收益。在美国，主要公共事业公司都对电动汽车充电设计了专门价格机制以引导用户充电行为。价格设计往往对负荷低谷（如夜间和凌晨时段）充电给予明显电价优惠。图1列举了美国10家公共事业公司的分时充电价格及对应时段，如纽约爱迪生联合电气（Con Edison）凌晨低谷时段充电价格仅为1美分/千瓦时，其他时段充电价格为21美分/千瓦时；又如南加州爱迪生（SCE）、

III 《并网发电厂辅助服务管理实施细则》和《发电厂并网运行管理实施细则》。

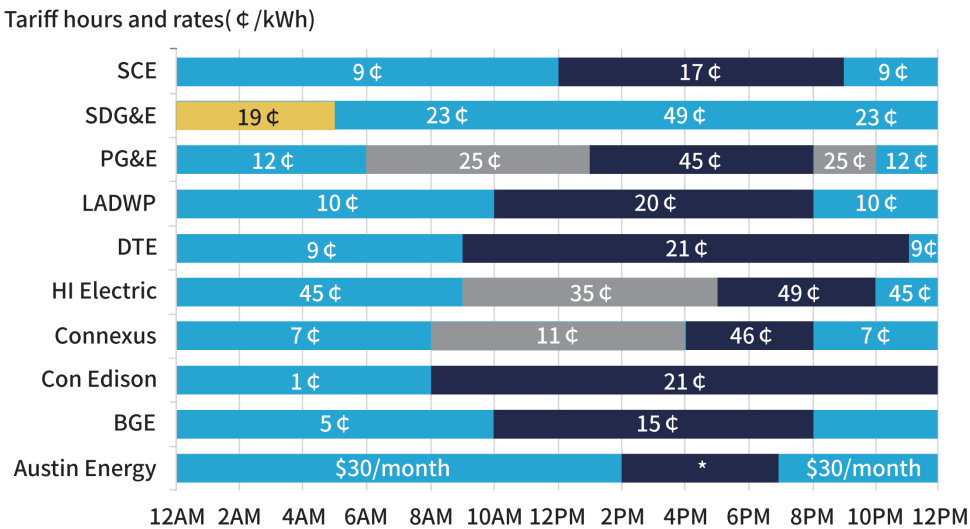


图 1 美国 10 家公共事业公司电动汽车分时充电价格
来源：彭博新能源财经（BNEF）

圣地亚哥燃气与电力公司（SDG&E）和太平洋燃气与电力公司（PG&E）等加州三家公共事业公司，峰谷充电价格比分别为 1.9，2.6 和 3.8，有明显的分时充电价格引导充电行为的特征¹²。

错峰充电的市场潜力与收益取决于当地峰谷电价差价。2016 年 4 月，国务院提出推进工商用电同价，允许大型商贸企业参与电力直接交易，开展商业用户自主选择执行商业平均电价或峰谷分时电价试点¹³。据不完全统计，继国家发改委 2018 年 4 月发布《关于降低一般工商业电价有关事项的通知》后，全国 34 个省（直辖市、自治区）中，有 16 个省市发布了峰谷电价表，21 个省市调整了一般工商业电价^{IV}，其中 13 个省市执行峰谷电价^V。在未公布调价方案的省市中，共有 3 个省执行峰谷电价^{VI}。图 2 为部分省市工商业峰谷分时电价，其中北京、广东、江苏峰谷电价差较大，山西、河北、宁夏峰谷电价差较低。然而需要注意的是，电动汽车用户往往因转供电等原因无法享受峰谷电价，且对于公共充电场所，电动汽车用户除电价外还需支付充电服务费及停车费。

IV 包括江苏、浙江、河北、山西、安徽、福建、山东、河南、湖北、广东、海南、贵州、云南、陕西、内蒙古、广西、宁夏、北京、天津、上海、重庆。
V 分别是北京、广东、海南、河北、河南、江苏、宁夏、陕西、山西、上海、天津、云南、浙江。
VI 分别是甘肃、青海、新疆。

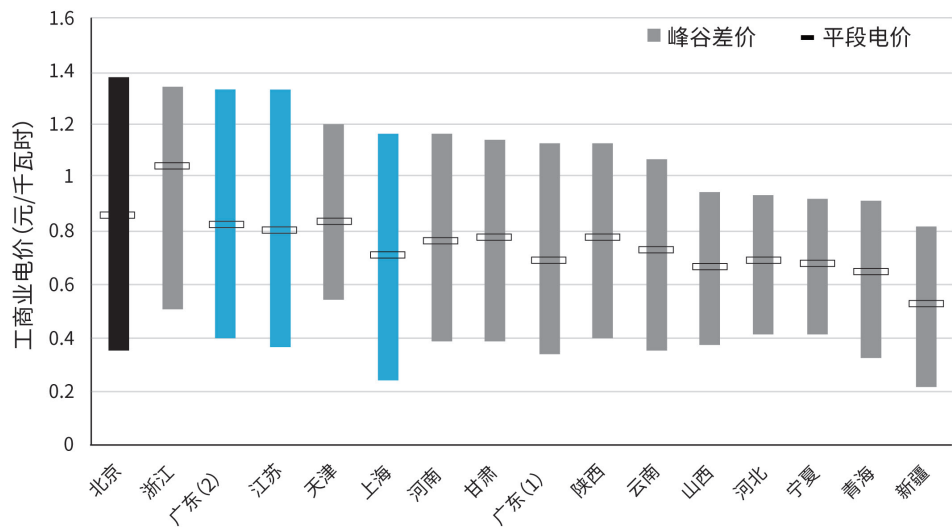


图2 各地工商业峰谷分时电价

注：图中数据为不满1千伏一般工商业峰谷分时电价；广东（1）：云浮、河源、梅州、韶关、清远；广东（2）：广州、珠海、佛山、中山、东莞；上海市参照两部制夏季峰谷电价；云南省参照枯水期峰谷电价。

由于各地峰谷电价水平不同，电动汽车采用错峰充电的经济价值存在较大差异，不同车型电量消费也将影响电动汽车错峰充电综合收益。表1对比了乘用车、物流车、客车三类车型在北京、宁夏两地进行峰谷错峰和平谷错峰充电的用车生命周期收益情况。对于乘用车，进行错峰充电的单车全生命周期收益在0.6万元（宁夏平谷错峰充电）到2.4万元（北京峰谷错峰充电）之间；对于客车，单车收益更是高达15.8万元（宁夏平谷错峰充电）到64.8万元（北京峰谷错峰充电）。

表1 北京、宁夏两地各类车型错峰充电经济价值

		百公里电耗 (千瓦时)	年行驶里程 (公里)	使用年限 (年)	峰谷差收益 (元)	平谷差收益 (元)
北京	乘用车	15	15000	10	24286	11835
	物流车	25	30000	8	80953	39450
	客车	100	60000	8	647621	315600
宁夏	乘用车	15	15000	10	11875	5938
	物流车	25	30000	8	39584	19792
	客车	100	60000	8	316674	158337

除降低电量成本外，对于经营性集中式充换电站，电动汽车错峰充电也将带来显著的容量价值。根据现行充电价格政策，对于电网经营企业直接报装接电的经营性集中式充换电设施用电，执行大工业用电价格，而社会公共停车场中设置的充电设施用电执行“一般工商业及其他”类用电价格。目前，大部分地区的一般工商业用电都是单一收费制，而大工业用电为电度电价+基本电价的两部制收费。基本电价包括最大需量和变压器容量两种，企业可根据自身需求选择。总体而言大工业用电的平段电价普遍低于一般工商业用电的平段电价，当用电需求稳定、基本电价摊销后，大工业用电价格仍普遍低于一般工商业电价，且对于用户而言，2025 年前报装充电设施暂免收基本电费，但实际高峰充电势必增加系统成本，长期而言分时充电的容量价值不容忽视。图 3 为全国各地需量电费水平，不难看出电动汽车有序充电将为降低北京、上海、湖北及沿海省份需量电费带来显著价值。

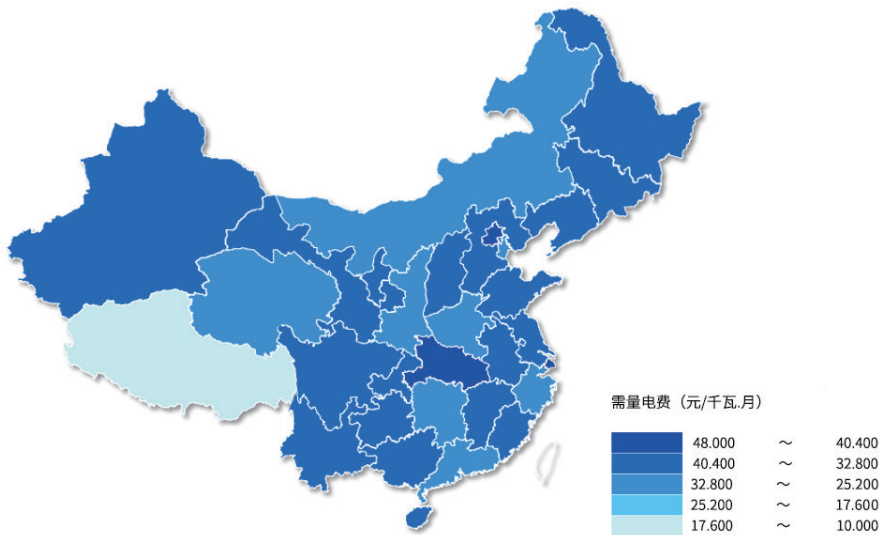


图 3 全国各省（直辖市、自治区）需量电费水平

随着动力电池成本持续下降，电动汽车或将可以通过放电的方式实现更高的电力系统应用价值。例如在分布式发电方面，国家发改委、国家能源局印发《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》，明确三种市场交易模式和过网费水平，同时文件鼓励分布式发电项目安装储能设施，提升供电灵活性和稳定性。在增量配电市场放开的格局下，结合分布式光伏、储能和电动汽车的售电主体将集发售配用多角色于一身，孕育商业模式创新。

(二) 市场驱动因素

如果价格是推动电动汽车储能市场的外部因素，那么电池成本降速、电池技术路线以及用户意愿便是驱动电动汽车储能市场发展的内在动力。

在国内企业投资扩产、并购重组热潮下，动力电池市场竞争加剧，而跨国企业进入中国市场，也正在加速动力电池成本下降。2013 年到 2017 年，动力电池成本下降超过 2/3，到 2018 年上半年镍钴锰三元锂电池包成本下降至 1.4-1.5 元 / 瓦时，磷酸铁锂电池包成本下降至 1.45-1.55 元 / 瓦时。另一方面，受电池需求带动，国内钴价自 2017 年开始快速上涨，年内涨幅将近 1 倍，2018 年钴价先升后降持续波动，上游材料成本的不确定性和下游补贴退坡迫使电池制造企业进一步降低成本。

电动汽车动力电池技术路线选择也将影响电动汽车储能效果。2018 年上半年动力电池以三元和磷酸铁锂电池为主，三元电池应用偏重于电动乘用车，磷酸铁锂电池在各类车型均有所分布，电池外形以方形和圆柱形为主，各类车型均有所分布。随着市场对车辆续航要求不断提高，动力电池能量密度水平进步明显。目前，磷酸铁锂电池单体能量密度达到 160Wh/kg，系统可达 130Wh/kg，采用镍钴铝（NCA）体系的 18650 单体能量密度已达到 240Wh/kg，系统能量密度可达 150Wh/kg。此外，受上游钴资源稀缺影响，高镍正极材料体系也日益受到其他企业关注，国内三元正极材料正在开始向镍钴锰（NCM622/811^{VII}）过渡，软包电池单体能量密度已达到 220-240Wh/kg（NCM622）。

2018 年新能源汽车补贴标准对高比能量动力电池车辆的补贴力度进一步加大，对于动力电池系统的质量能量密度高于 160Wh/kg 的车型给予 1.2 倍补贴系数，而低于 105Wh/kg 则不再给予补贴¹⁴。差异化的补贴政策显然加剧了技术路线分化，高能量密度镍钴锰三元材料电池已成为新能源汽车乘用车主流技术。磷酸铁锂电池具有循环寿命长的优势，且不存在钴、镍等上游资源供给约束，未来成本下降空间较大，其在商用车和储能领域中的应用仍然具有优势。但随着政策对能量密度等电池技术指标的支持门槛日益提高，磷酸铁锂在乘用车动力电池市场中或将存在竞争压力，也为电动乘用车参与储能带来挑战。

VII 镍钴锰正极材料三种元素的摩尔比为 6: 2: 2 或 8: 1: 1。

虽然电池成本和电价水平可以在一定程度上反映电动汽车储能的经济性，但其最终效果仍取决于电动汽车用户参与电力系统服务的意愿。以往研究表明，电动汽车主要服务于交通出行部门，消费者自然优先考虑车辆的出行功能，若电动汽车参与储能影响到车辆的正常使用，该模式显然难以被消费者接受；另也有研究表明，电动汽车充电行为与出行服务相分离，在车辆停驶时段内对电动汽车充电时间的选择和调整并不会影响用户的出行行为，因此电动汽车充电灵活调节空间相比传统电力负荷更大¹⁵。表2从项目建设、运行和管理三个角度，对比了电动汽车与工业、服务业和住宅用户参与需求响应的差异。相比之下，电动汽车需求响应项目在建设和运行过程中有较明显的成本优势，但在调度管理上存在一定不确定性。电动汽车充电负荷分布散、不规律、功率小，但也有一定数据通讯和平台运营优势。当然，用户参与有序充电的意愿水平受车型种类、用户行为等众多因素影响，难以通过传统经济性研究方法准确量化分析，需结合用户接受度综合评估，本研究第四章将对此具体介绍。

表 2 各类需求响应资源特点对比

	建设	运行	管理
工业	低成本：已安装负荷控制设备	高成本：影响生产计划	难度低：单位数量少，调度对工业负荷较熟悉
服务业	中成本：需增设负荷控制系统	中成本：制冷、加热等负荷具备一定管控空间	难度高：新增注册用户
住宅	高成本：设备分散导致高安装成本	中成本：制冷、加热等负荷具备一定管控空间	难度高：新增注册用户
电动汽车	低成本：具备远程控制供能	低成本：停车时段充电控制几乎不影响车辆出行	不确定：新增注册用户，平台条件

综上所述，目前动力电池续航能力仍然有限，而电动汽车 V2G 储能势必牺牲车辆续航乃至电池循环寿命，若这种牺牲开始影响车辆出行需求，电动汽车储能势必难以推行。其次，电动汽车动力电池技术路线也将最终影响电动汽车储能前景。当前提升能量密度是动力电池研发的首要目标之一，但由于电池材料的技术进步往往存在“木桶效应”，即提升某一方面性能势必牺牲其他方面性能，一味提升能量密度势必会影响循环寿命等其他电池参数的进步速度，进而影响电动汽车储能效果。另一方面，相比其他传统储能方式，电动汽车储能具有明显的规模优势，且随着电池成本下降和电力市场改革的深化，电动汽车储能的商业价值也将逐步显现。

三、研究方法

（一）情景分析

电动汽车数量增速不仅将决定电动汽车储能规模，产能扩张还将影响动力电池成本的下降速度。本课题将首先采用情景分析的方法预测未来电动汽车数量规模，再通过学习曲线的方法预测电池成本下降速度。

2017 年 9 月，工业和信息化部表示已启动燃油汽车退出时间表研究。同月，工业和信息化部、财政部、商务部、海关总署、质检总局联合公布了《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》，要求 2019-2020 年汽车企业新售电动乘用车积分占比分别达到 10% 和 12%，但燃油汽车退出的具体时间表或电动汽车数量规模仍有待明确。本研究基于燃油汽车退出销售市场的时间，采用 BASS 扩展模型预测电动乘用车数量规模变化趋势（研究方法参见前期项目《电动汽车储能潜力及经济性》报告的附件部分）。

（二）用户问卷调查

对于每辆电动汽车而言，其实际可用的储能规模很大程度取决于车主意愿。但以往大部分相关研究忽略了行为因素¹⁶，在 2015-2017 年发表相关文献中，仅有不足 4% 考虑了用户意愿因素¹⁷。绝大多数分析假设电动汽车用户将完全响应充电价格或接受系统调度提供储能服务^{18, 19}，这些分析因而也无法反映用电价格、电力市场机制、电池成本等因素对电动汽车用户参与电力系统运行产生的影响。在有限考虑用户意愿的研究中，部分研究发现一些用户可能会将更多利用可再生能源电力纳入参考因素²⁰，另一些研究则发现用户可能存在用车自由度、隐私等层面的担忧而需要通过一定的经济激励予以补偿^{21, 22}。

为评估电动汽车参与储能运行的实际效果，本项目计划通过问卷调研的方式来研究国内电动汽车用户对储能充放电服务的真实意愿。问卷设计的核心是尝试从动力电池技术成熟度和经济性水平两个角度来衡量电动汽车参与电力系统运行的经济可行潜力。具体而言，电动汽车储能实际储能效果将同时取决于用户对动力电池寿命损耗的容忍度以及对电力系统补偿的接受度。问卷调查将分车型（私家车、商务车、物流车、出租车、公交车）展开，收集信息包括每位用户的车型、电池容量、续航里程、年均行驶里程、预计换车周期（年）、以及通过电动汽车参与电力系统服务的意愿（车辆寿命及预期收益）。结合问卷调研结果，报告绘制了电动汽车储能接受度 - 电池成本曲线。问卷具体内容请见附件一。

（三）学习曲线及平准化成本

本项目在前期项目《电动汽车储能潜力及经济性》单一情景经济性分析的基础上，采用学习曲线及储能平准化成本的方式分析多情景下电动汽车储能经济性变化。

“双积分”政策及燃油汽车退出时间表显然会影响电动汽车市场渗透速度和动力电池产量，进而影响电池成本下降速度。本研究因此按燃油汽车 2030 年、2040 年、2050 年和保守情景（2030 年电动汽车销量市场占比 1/3）四种情景预测动力电池成本下降趋势。

（四）案例分析

电动汽车储能可对电力系统产生多重价值。本研究将结合具体案例，通过分析当地电力电量平衡对比研究电动汽车储能在降低电力负荷峰谷差和可再生能源电力消纳两方面的作用。研究还将通过分析电动汽车储能与其他负荷侧固定储能以及分布式发电之间的差异，为相关充放电政策建议提供支撑。

四、研究过程与结论

（一）动力电池成本下降预测

中国电动汽车产业发展势如破竹并引领全球交通电动化潮流。2017 年中国电动乘用车保有量超过 120 万辆，遥遥领先美、日、德等传统汽车工业强国²³（图 4）。截至 2018 年 6 月底，全国新能源汽车保有量达到 199 万辆，工业和信息化部宣布启动燃油汽车退出时间表研究工作无疑为电动汽车的发展提供了更大市场空间。

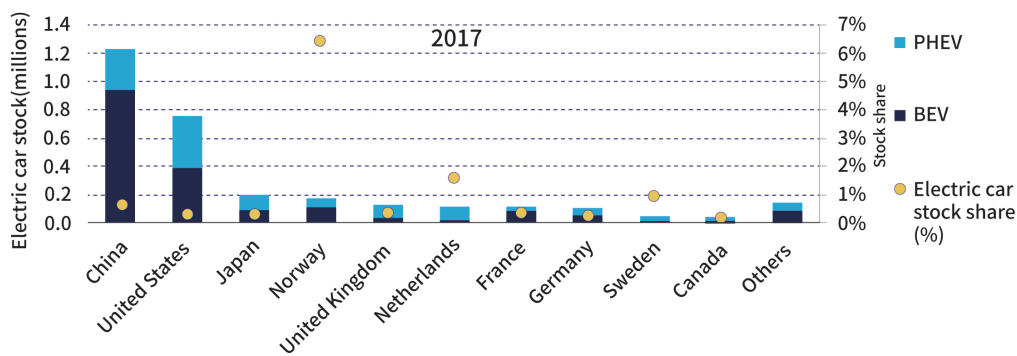


图 4 2017 年全球主要国家电动乘用车保有量
数据来源：国际能源署

电动汽车市场规模将直接影响动力电池成本下降速度。为此，本研究分四种情景，即燃油乘用车分别在 2030、2040、2050 年退出销量市场以及保守情景（2030 年电动汽车销量市场占比 1/3）下，分析不同燃油车退出情景对电池对动力电池成本下降的促进作用。

如图 5 所示，燃油汽车越早退出意味着电动汽车保有量增速越快，其更高的累计电池产量也将加快动力电池成本下降速度。在上述四种情景中，2030 年预测的电动汽车保有量在 7500 万至 1.5 亿辆间，累计动力电池产量分别达到 1800-6100GWh。

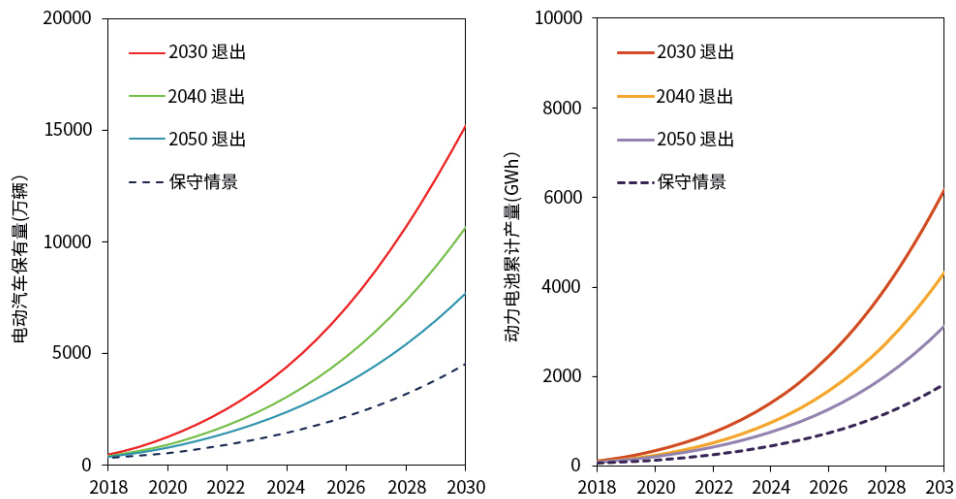


图 5 燃油汽车 2030-2050 年退出下电动汽车保有量及动力电池累计产量（2018-2030）

本研究按学习曲线预测动力电池成本将下降，即采用非线性回归分析拟合四种情景动力电池累计产量增加与投资成本下降关系^{VIII}，研究得到 2030 年动力电池包成本约 0.3-0.48 元 / 瓦时（图 6），约为 2018 水平的 25%-40%。

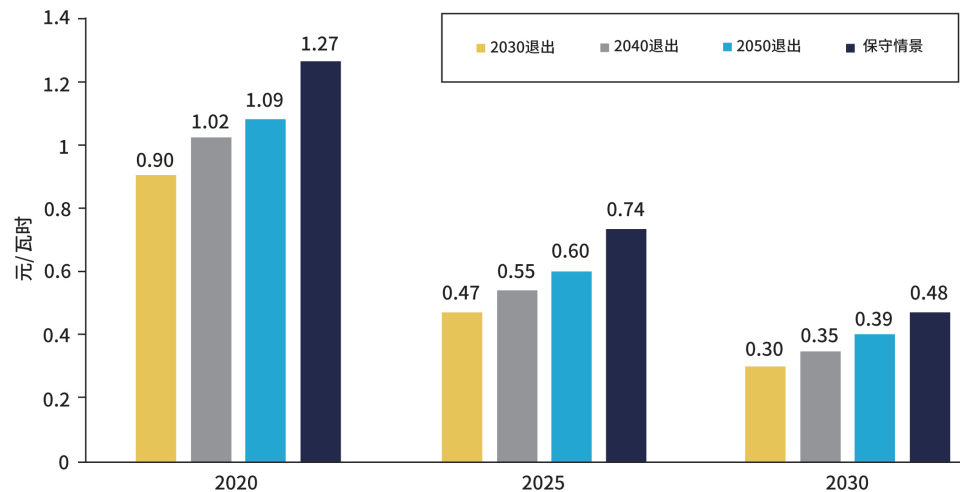


图 6 四种燃油车退出情景下动力电池成本（2018-2030）

VIII 具体研究方法见《电动汽车储能技术潜力及经济性研究》中“2.2 技术经济性”部分。

(二) 电动汽车储能接受度调查

动力电池成本下降意味着电动汽车储能的经济性将不断显现，但电动汽车的实际储能效果还直接受用户接受度的制约。为评估消费者对电动汽车储能的接受度，本研究在苏州市针对五类车型共 114 位电动汽车用户开展了一轮问卷调研，具体车型包括私家车 49 辆、商务车 17 辆、出租车 27 辆、物流车 15 辆和公交车 6 辆，其中纯电动汽车 84 辆，插电式混合动力汽车 30 辆。问卷对电动汽车用户车型参数、出行行为以及参与有序充电和 V2G 的意愿度进行了调查。除公交车外，4 类车型技术参数如图 7 所示，其中私家车车型参数分布较宽，涵盖超过 100 千瓦时电池 /500 公里续航的纯电动车型和纯电动续航 50 公里的插电式混合动力车型。因车型数量较少，商务车、物流车、出租车车型参数分布较为集中。

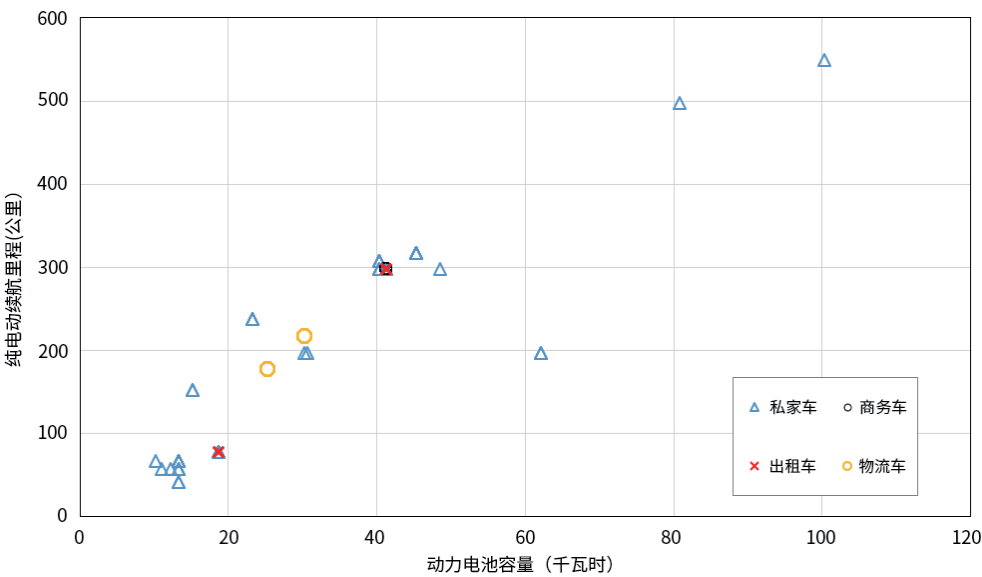


图 7 问卷调研四类电动汽车技术参数

受访者对有序充电和 V2G 的接受度问卷结果如图 7 所示。有序充电方面，私家车用户接受度相对较高，一半以上（53%）私家车用户愿意在不降低

电池使用寿命的前提下获取充电费用降低；其次为商务车和物流车用户，接受度分别为 35% 和 33%；出租车和公交车用户接受度较低，分别为 15% 和 17%。V2G 方面，各类车型接受度普遍偏低，其中商务车用户接受度比例相对最高，愿意考虑以电池寿命下降来换取补偿的受访者占比为 29%，其他各类车型接受度在 20% 以下，其中出租车用户接受度仅为 4%。

通过分析问卷结果不难发现，用户对电动汽车储能接受度的高低与电动汽车车型种类有直接关系。对于私家车、商务车而言，出行 / 运营强度、续航能力要求相对较低，充电量需求较小，停车时间较长，调整充放电的弹性较大，对电动汽车储能亦能表现出较高接受度；相反，虽然出租车、公交车用户充电量需求较大，但运营强度同样较高，且大多已通过低谷充电降低电费，进一步调节充放电的空间十分有限，用户对有序充电或 V2G 的态度也更为消极（图 8）。

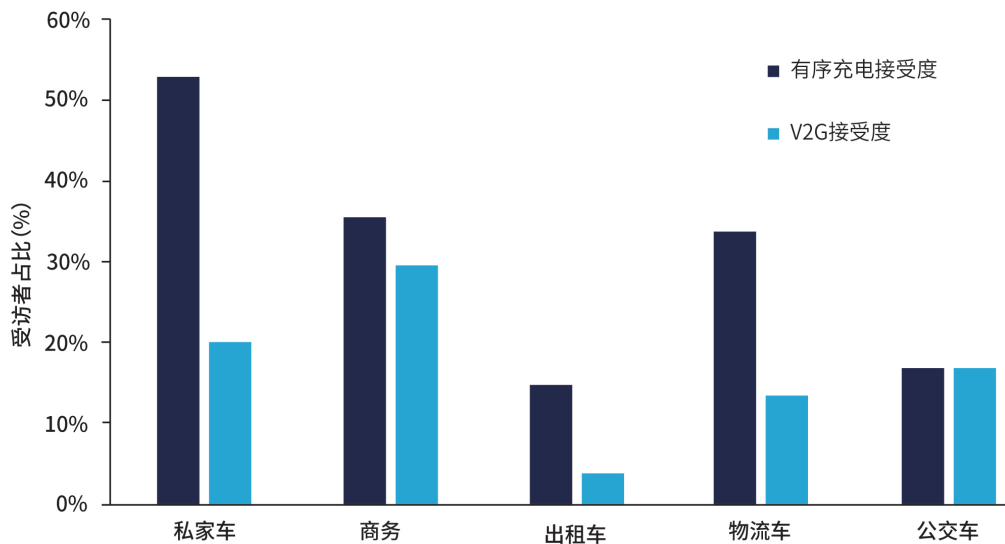


图 8 各类车型有序充电及 V2G 接受度

相比有序充电，参与 V2G 还将导致电池寿命折损的成本。显然，用户对于 V2G 的接受度也会因电池成本的变化而改变。当电池成本较高时，车辆参与电力系统储能的单位成本就更高，用户的实际接受度就偏低；当电池成本明显下降时，V2G 的成本也会随之下降，用户的接受度也因此有所提升。

本文针对两类 V2G 接受度相对较高两类用户（私家车、商务车）绘制了 V2G 接受度与电池成本的关系（图 9）。图中横轴代表电动汽车电池参与储能的平准化成本，即将电池成本摊入其全寿命周期吞吐电量所得到的单位千瓦时放电成本；纵轴为 V2G 接受度。研究假设电动汽车通过提供 V2G 进行峰谷差充放电单位千瓦时获利 1 元，其与储能平准化成本的差即为用户所能得到的净收益。

由图 9（左）可知，当净收益在 0.2 元 / 千瓦时以下时（储能平准化成本 0.8 元 / 千瓦时以上），电动私家车用户储能接受度不足 5%；当净收益提升至 0.8 元 / 千瓦时以上时（储能平准化成本 0.2 元 / 千瓦时以下），用户接受度接近 20%。当收益水平较高（净收益在 0.8 元 / 千瓦时以上，或储能平准化成本在 0.2 元 / 千瓦时以下）时，商务车用户对储能的宽容度较高，总体接受度约 30%（如图 9 右），但当收益水平下降后，其储能接受度也快速下降，并趋近于零。

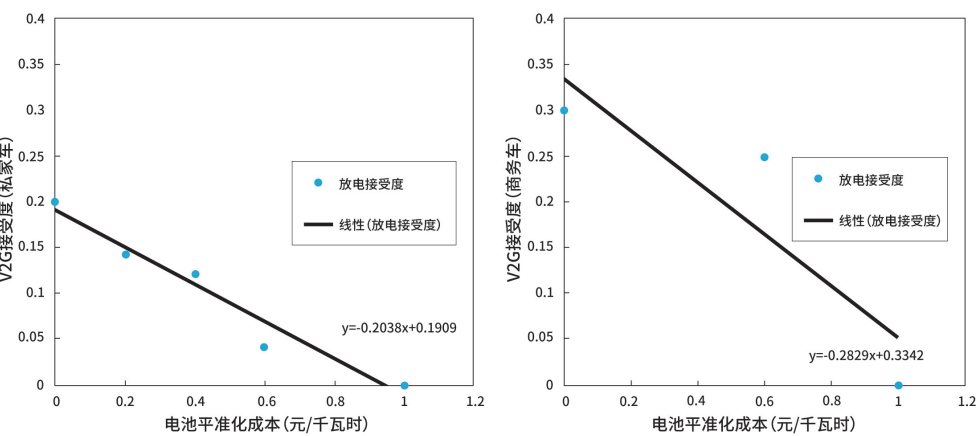


图 9 电池成本与私家车、商务车 V2G 接受度

由此可见，电动汽车储能的理论潜力与实际效果之间存在一定差距。如私家车用户对有序充电的接受度最高，但表示接受的受访者也仅占一半。各类车型对电动汽车储能的接受度也呈现出较大差异。私家车、商务车用户对电动汽车储能的接受度要明显高于出租、公交等运营车辆，且大部分运营车辆已通过响应峰谷电价参与电力系统调峰，进一步提供储能服务的空间较小。即使电动汽车 V2G 可以给用户带来净收益，各类车型用户对 V2G 的接受度仍然有限。

需要注意的是，上述分析仍是基于当前电动汽车续航里程及电池容量所得出的结果，随着上述两个指标水平不断进步，电动汽车用户的储能接受度有望显著提升。根据《节能与新能源汽车技术路线图》预测，到 2020 年动力电池系统比能量达到 250 瓦时 / 千克，循环寿命达到 3000 次；之后因技术路线的升级，到 2030 年动力电池系统比能量将进一步达到 350 瓦时 / 千克，循环寿命达到 4000 次。以电动乘用车百公里电耗 15 千瓦时计算，2020 年和 2030 年面市的相同电池重量的电动车型全生命周期充放电吞吐量分别可满足 80 万公里和 150 万公里累计续航需要。根据机动车使用年限及行驶里程参考值 60 万公里计算，2020 年和 2030 年扣除道路出行放电量后每辆电动汽车 V2G 的理论潜力可分别达到 12 兆瓦时和 130 兆瓦时。这意味着在 2020 年和 2030 年电动车型可分别提供总电量吞吐的 25% 和 60% 的充放电服务，且并不会影响动力电池的工作寿命。由此可见，随着动力电池技术水平的提升（能量密度和循环寿命），电动汽车用户参与储能的经济性将逐步显现。按现有分阶段目标逆向递推，动力电池有望在 2020 年前就具备通过剩余电量吞吐能力进行储能的可能性（图 10）。

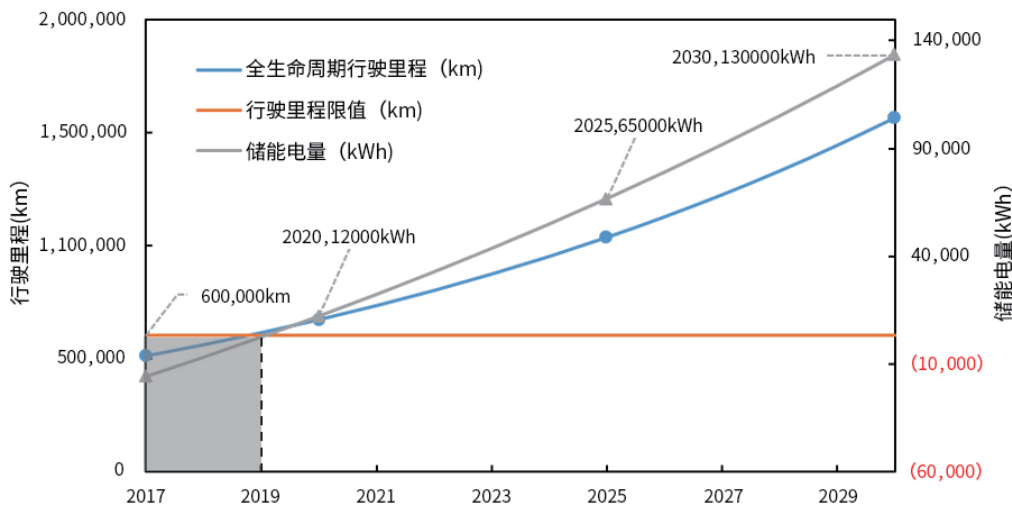


图 10 电动汽车全生命周期续航里程与储能电量的关系

（三）电动汽车储能效果评估

众多研究表明电动汽车作为分布式灵活负荷和储能设施具有广阔的发展潜力。电动汽车储能可通过参与辅助服务和需求侧响应等方式满足可再生能源发电并网的调峰需要。虽然受系统需求及电池性能的影响，电动汽车储能的经济效益有所不同，但不存在明显的技术障碍。特别是随着未来电力系统中可再生能源发电比重的不断提高，传统的具有较强调节性能的发电机组（如火电、调节性水电等）在电源结构中的占比会逐步下降，电动汽车储能将成为电力系统重要的灵活调节资源。当然，电动汽车储能效果受电动汽车用户行为、可再生能源发电特性、电网原始负荷等因素的影响，这些因素在不同地区又有较大差异。因此，本节选取苏州市为研究对象，分析电动汽车储能实际应用效果。

目前苏州市汽车保有量规模超过 350 万，在北京、成都、重庆和上海之后，位居全国第五。截止 2017 年底，苏州市新能源汽车总上牌量为 11461 辆。2018 年 5 月，苏州市经信委印发了《关于 2018 年新能源汽车推广应用和充电设施建设目标的通知》²⁴ 明确 2018 年苏州将推广应用新能源标准车 9000 辆，充电桩建设 2245 个，预计到 2018 年底全市新能源汽车数量有望突破 2 万辆。2017 年底全国汽车保有量 2.17 亿辆，按照 2030 年全国千人汽车保有量 300 辆计算，届时汽车保有量将超过 4 亿辆，增幅 84%。假设苏州市汽车保有量增速与全国一致，则 2030 年苏州市汽车保有量将达到 640 万辆。根据《节能与新能源汽车技术路线图》预测，2030 年全国新能源汽车保有量达到 8000 万辆，占汽车保有量约 20%。若苏州市新能源汽车渗透率与全国水平一致，则 2030 年全市新能源汽车保有量为 128 万辆。若 2030 年电动乘用车在全部新能源汽车中的比重提升到 50%，则电动乘用车数量将达到 64 万辆。如苏州电动汽车储能接受度问卷调查结果所示，不同电动汽车车型意愿有所差异，其中乘用车用户意愿相对较高，因此本节聚焦电动乘用车储能。

苏州市是国内首个用电负荷超 2000 万千瓦的地级市。2017 年全市用电量突破 1500 亿千瓦时，用电量在全国城市排名第二，仅次于上海。2017

年全市用电负荷高峰出现在 7 月，峰值超过 2500 万千瓦，其中 40% 为降温用电，夏季调峰压力巨大。根据苏州市供电公司预测，到 2020 年全市负荷高峰将达到 2796 万千瓦，到 2025 年增加到 3080 万千瓦，其间负荷年增长率达到 1.8%。若保持该增速，则 2030 年负荷将达到 3367 万千瓦，相比 2017 年增长 35%。我们选择 2017 年 6 月 15 日苏州地区电网负荷曲线作为基准，其负荷峰值为 1829 万千瓦，假设增幅同为 35%，则 2030 年当日负荷峰值将达到 2469 万千瓦（上午 10:15，图 11）。若 64 万辆电动乘用车随机充电^{IX}，则叠加电动汽车充电负荷后，全网负荷高峰将由上午转移至傍晚 19:15，负荷峰值为 2584 万千瓦。

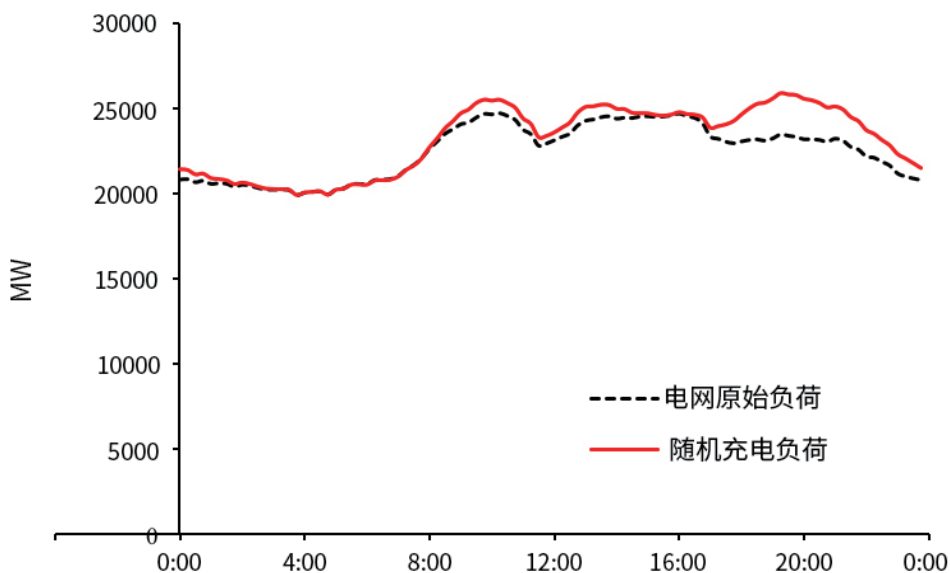


图 11 2030 年苏州夏季电网原始负荷及电动汽车随机充电负荷曲线

目前苏州地区发电以火电为主，其中煤电装机 1745 万千瓦，占全部发电装机 85%，光伏、风电装机分别为 33.7 万千瓦和 3.5 万千瓦，波动性可再生能源发电比重为 1.8%。根据 2015 年全国建设用地统计报告，苏州市建设用地面积为 444 平方公里，光伏可利用面积为 93.24 平方公里，按照平均 10 平方米安装 1 千瓦分布式光伏系统计算，苏州市光伏装机潜力为 932 万千瓦，若到 2030 年开发强度为 60%，则光伏装机量将达到

IX 随机充电：车辆接入电网后立即充电，直至电池充满。随机充电行为参考南京城市与交通规划设计研究院公司、悉地（苏州）勘察设计顾问公司对苏州典型地点用车及停车行为调研结果进行假设。

559 万千瓦。因此，本文假设 2030 年苏州电动汽车保有量为 128 万辆，其中乘用车 64 万辆，光伏装机 559 万千瓦。

电动乘用车有序充电^x的比例参考苏州电动汽车储能接受度调查结果即乘用车数量的 53%，即 33.9 万辆。表 3 为无序和有序充电方式下电网净负荷峰谷差对比。可见不论是有序还是随机充电，引入电动汽车都会拉大电网负荷峰谷差，对电力系统消纳光伏发电带来更大压力。但相比随机充电，有序充电一定程度降低了电网负荷高峰并在凌晨（电网原始负荷低谷）和午间（净负荷低谷）带来更多用电需求，减轻了电网调峰压力。

表 3 随机充电与有序充电净负荷峰谷差

	随机充电				有序充电		
净负荷高峰（MW）	27040	出现时间	19:15	26438	出现时间	19:15	
净负荷低谷（MW）	19934	出现时间	3:45	21153	出现时间	6:00	
峰谷差（MW）	7106				5285		

由于可在负荷高峰进行放电，电动汽车 V2G 可在有序充电基础上进一步降低电网调峰压力。本文 V2G 采用苏州电动汽车储能接受度调查结果，即 64 万辆电动乘用车中 20% 车辆（12.8 万辆）参与 V2G，33% 车辆（21.1 万辆）参与有序充电，得到电动汽车 V2G 充电负荷曲线（图 10）。相比单纯有序充电，结合 V2G 的电动汽车充电情景下电网峰谷差降低至 419 万千瓦，相比有序充电峰谷差进一步缩小 110 万千瓦（表 4）。

表 4 电动汽车 V2G 净负荷峰谷差

	V2G		
净负荷高峰（MW）	25481	出现时间	19:15
净负荷低谷（MW）	21295	出现时间	7:15
峰谷差（MW）	4186		

x 有序充电：此处特指尽可能在电网净负荷低谷时段充电。

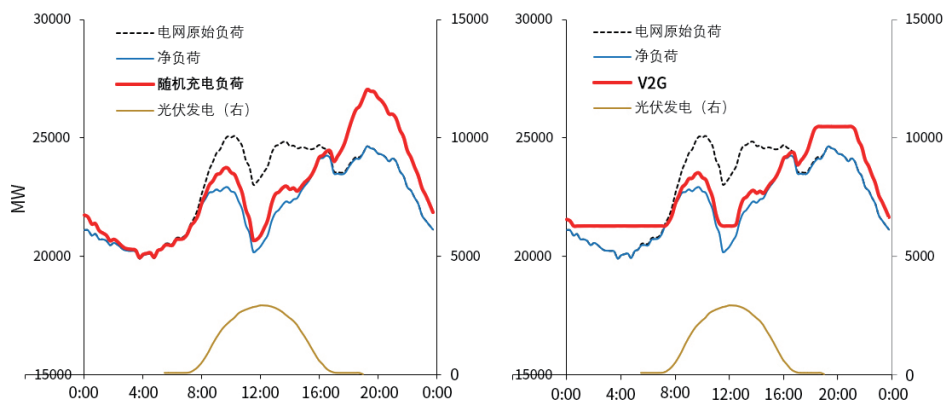


图 12 2030 年苏州电动汽车 V2G 下电网负荷

因此我们可以发现，即使用户参与度有限（仅考虑 50% 电动乘用车）也将带来可观的电动汽车储能规模，其对降低电网负荷峰谷差及光伏等可再生能源弃电都将起到重要作用。

但我们在电动汽车储能接受度问卷过程中也发现，当前电动汽车用户对电动汽车储能的认识有限，对电动汽车储能的接受度普遍偏低。研究发现各类车型中，乘用车、商用车、物流车参与电动汽车储能相对可行，而接受有序充电或 V2G 的公交车、出租车不足受访用户的 20%。究其原因，除对电动汽车储能不了解外，用户还存在两方面忧虑：1) 对正常用车行为的约束；2) 对车辆质保的影响。第一点对于公交车、出租车尤为明显，此类车型运营时间长、充电需求高、停车时间短，且车辆运营方已普遍根据当前峰谷电价进行了充电时间优化，进一步挖掘灵活充电的空间相对有限。第二点关乎所有参与 V2G 的电动汽车用户，受访用户普遍担心车辆向电网放电会影响车企对车辆正常使用的认定，继而影响车辆质保。

尽管如此，我们认为参与电网储能将会给电动汽车用户带来明显效益，特别是随着车辆续航不断提高和电池成本的持续下降，电动汽车储能的净收益还将进一步显现。但是如何平衡车辆在交通出行与储能服务中的角色还有待商业模式创新予以破解。

(四) 市场及价格机制分析

目前电动汽车储能的主要障碍包括：

第一，虽然电动汽车参与电力系统辅助服务和需求侧响应技术可行，但要实现上述服务，势必一定程度牺牲充放电自由度。当前电动汽车续航里程（电池容量）仍偏短，一旦参与电力系统调度或将进一步限制电动汽车出行灵活性。

第二，电动乘用车交流充电功率普遍低于 10 千瓦，相比工厂、楼宇等兆瓦级需求响应资源规模较小。参与电力调度的分布式需求响应资源往往存在响应率的要求，即为确保需求响应的可靠性，必须保持一定的接入容量能够时刻在线。由于电动汽车出行存在一定的随机性，且单车容量相对有限，这就要求参与需求响应的电动汽车数量必须达到较大规模。

第三，电力市场机制及电价政策无法充分激发电动汽车灵活充放电潜力。考虑到储能技术在减少电网发输配用各环节基础设施升级成本以及节能减排的效益，通过合理的补偿价格和政策设计，电动汽车储能在电力系统中具有很大应用潜力。虽然国家自 2014 年以来出台一系列扶持性电价政策，通过鼓励电动汽车享受大工业电价、峰谷分时电价等方式，降低电动汽车充电成本、引导电动汽车参与电力系统储能（表 5），但政策在实际执行过程中却难以充分落地，不论在住宅小区还是在公共停车场，电动汽车用户将同时面临充电成本高和价格信号缺失的问题^{25, 26}。长期来看，不顺畅的价格信号传导将严重限制充电运营商参与电力市场的能力，不利于发挥电动汽车储能价值。

表 5 电动汽车充电政策

时间	政策	内容
2014 年	国家发改委《关于电动汽车用电价格政策有关问题的通知》	鼓励电动汽车在电力系统用电低谷时段充电。

2018 年	国务院《政府工作报告》	一般工商业电价平均降低 10%。
	国家发展改革委《关于降低一般工商业电价的有关事项的通知》	商业综合体等经营者应按国家规定销售电价向租户收取电费，相关共用设施用电及损耗通过租金、物业费、服务费等方式协商解决；或者按国家规定销售电价向电网企业缴纳电费，由所有用户按各分表电量公平分摊。
	国家发展改革委《清理规范电网和转供电环节收费有关事项的通知》	一些地方的商业综合体、产业园区、物业、写字楼等转供电环节存在不合理加价现象，国家多次降低一般工商业电价的措施未能得到有效传递和落实，必须采取有力措施清理规范，确保降价成果真正惠及终端用户。对于具备改造为一户一表条件的电力用户，电网企业要主动服务，尽快实现直接供电，并按照目录销售电价结算。
	国家发展改革委《关于创新和完善促进绿色发展价格机制的意见》	鼓励电动汽车提供储能服务，并通过峰谷价差获得收益。

以苏州工业园为例，我们对工业园五家充电运营商在居民区、工业园区、公共机构、企事业单位、大型建筑配建停车场、大型文体设施、写字楼等共计 428 处公共充电场所的收费情况进行了调研（表 6）。在 297 处明确电费与服务费分开收取的充电场所中，采用全固定计价（电费、服务费皆以固定费率征收）为 281 处，占比高达 94.6%。在 281 处电费和服务费以固定费率收取的充电场所中，最低合计费费用为 1.2 元/度，最高合计费用为 2.05 元/度，平均合计费率为 1.47 元；在 16 处分时计价充电场所中，最低合计费用为 0.32 元，最高合计费用为 1.55 元，平均合计费用为 1.05 元。可见，低谷充电具有明显的价格优势，但目前固定电价仍为充电运营企业主要电费征收方式，峰谷分时价格信号无法充分传递至电动汽车用户，对用户充电行为的引导作用相当有限。因此，首先应落实电动汽车充电峰谷分时电价政策，引导充电服务商按分时价格与电动汽车用户结算电费。

表 6 苏州工业园公共充电设施费率统计

样本总量	428				
电费/服务费 分别计价	297	电费/服务费 统一计价	65	不明 ¹	66
电费/服务费分别计价中（297）					
全固定计价	样本量	281	含分时计价 ₂	样本量	16
		元/千瓦时			元/千瓦时
电价	最高	1.8	电价	最高	1.37
	最低	0.66		最低	0.32
	平均	1.0133		平均	0.7612
服务费	最高	0.84	服务费	最高	0.6
	最低	0		最低	0
	平均	0.4568		平均	0.2869
合计	最高	2.05	合计	最高	1.55
	最低	1.2		最低	0.32
	平均	1.4701		平均	1.048

1. 充电场所未明确免收服务费或将充电服务费与电费一同收取；
2. 充电价格、服务费其中一项为分时计费。

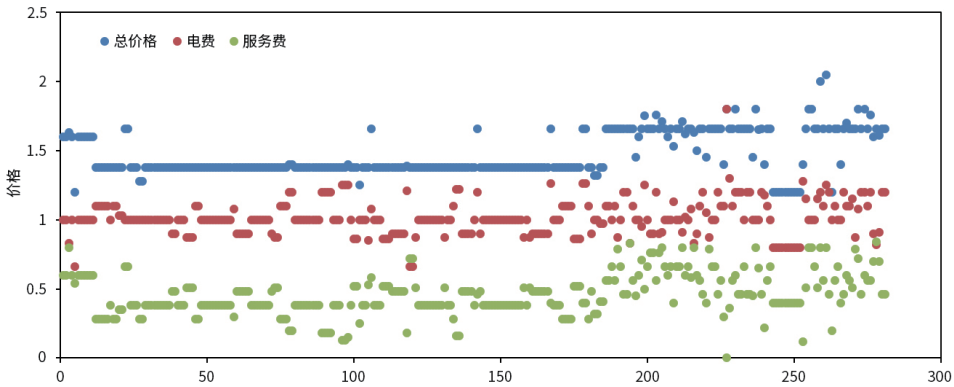


图 13 苏州工业园固定计价充电场所价格分布

图 13 为苏州工业园 281 处固定计价充电场所的价格分布情况。不难看出，各个充电运营商在面向终端用户时已开始尝试采用差异化的定价策略。其中电费和服务费两者之间存在一定的联动关系，即充电运营商往往在保持总充电价格不变的前提下，动态调整电费和服务费的相对比重，这也意味着电动汽车相比其他用电负荷而言具有更大的灵活调价空间。

当前电动汽车与用户侧储能和需求响应资源面临相似问题。相比传统电力资产，用户侧储能和需求响应资源存在分布散、容量小的特点。以储能为例，当前储能参与电力辅助服务需要同时满足最小功率容量和最短放电时间条件，这无疑限制了储能参与市场交易的规模。规模门槛问题对于电动汽车而言可能更为明显，按照储能的准入标准^{xi}，必须汇聚数百乃至上千辆电动汽车才能形成符合资质的功率容量，这对于单个充电场所普遍仅有 10-20 个充电桩的充电资源分布现状来看显然门槛过高。

对此，国外已经开始尝试开展政策调整。为鼓励电动汽车等分布式需求响应资源参与电力市场，美国 PJM 电网曾于 2014 年修订了需求响应资源准入规则²⁷：1. 允许经审核的非电网企业电表纳入需求响应电力计量（避免新增计量账户）；2. 允许分散资源以聚合方式纳入电网调度；3. 将原先需求响应最小容量门槛从 0.5MW 降低至 0.1MW（约 10 辆电动汽车即可组成一个需求响应单元）。准入规则的改变大幅带动了负荷集成商参与 PJM 电力辅助服务的积极性，电动汽车充电服务商可通过汇聚平台下分散在不同地点电动汽车资源，选择参与附加值更高的电力市场交易。

表 7 国外电动汽车储能方式及价值评估

储能方式	地区	价值评估	评估方式	来源
需求响应	加州	1026 美元/年	试点项目	BMW USA, 2016
V2G 调频	美国中大西洋地区	1800 美元/年	试点项目	Markel et al., 2015
V2G 调频	加州	2520 美元/年	试点项目	Gorguinpour, 2013

xi 国家能源局，《促进电储能参与“三北”地区电力辅助服务补偿（市场）机制试点工作的通知》。

需求响应+V2G 调频 (3.3kW)	华盛顿	750 美元/年	研究 测算	Markel et al., 2015
V2G 调频 (1.3kW)	纽约	277-837 美元/年	研究 测算	White & Zhang, 2011
V2G 调频 (10 kW)	纽约	2200-2500 美元/年	研究 测算	White & Zhang, 2011
需求响应	纽约	78 美元/年	研究 测算	MJ Bradley, 2015
V2G 调频 (二次备用)	德国	976 美元/年	研究 测算	ICCT, 2017
V2G 调频, 3.7kW	德国	550 美元/年	研究 测算	ICCT, 2017
V2G 调频 (二次备用)	德国	610-785 美元/年	试点 项目	ICCT, 2017
需求响应	西班牙	163 美元/年	研究 测算	Madina et al., 2016
有序充电调频	西班牙	280 美元/年	研究 测算	Madina et al., 2016
需求响应	京津唐	80 人民币/千瓦时/年	研究 测算	国家发改委能源所, 2017
退役电池	京津唐	358 人民币/千瓦时/年	研究 测算	国家发改委能源所, 2017
V2G	京津唐	144 人民币/千瓦时/年	研究 测算	国家发改委能源所, 2017

然而，若要实现上述电动汽车储能价值，除需有反映储能价值的价格信号外，还需建立便于电动汽车参与的市场环境。如苏州案例所示，红色曲线代表 12.8 万辆电动汽车 V2G 的充放电调节量，可等效认为储能电站通过凌晨充电、傍晚和午间放电实现了系统调峰。但电动汽车是一种分散接入资源，即使在放电高峰（19:30），平均单车放电功率也仅为 7 千瓦，若以平均每处充电场站安装 10 座充电桩计算，其合计功率远远低于目前储能参与电力辅助服务（MW 以上）和灵活负荷参与需求响应（约 200kW）的一般要求。此外，由于充放电主要集中在凌晨和傍晚，且参与电力系统储能存在最低放电时间要求，住宅和办公地点等停车时段更长的场所也因此是汇聚电动汽车储能的关键资源。

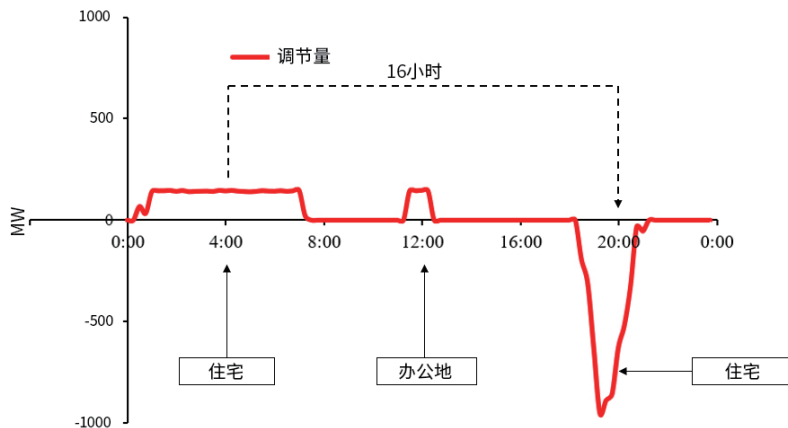


图 14 电动汽车 V2G 调节效果与关键资源点

分散的电动汽车用户参与电力市场交易，不论在专业知识还是在信息获取方面都面临门槛问题，且分散交易势必对电动汽车用户行为带来过多限制，影响用户响应度。而第三方中间商可通过综合服务套餐整合分散的电动汽车充电资源和改变电动汽车充电行为，不仅降低了分散用户进入市场的门槛，也提升了其从批发电力市场竞得低边际成本电量（如风电、太阳能发电）的能力。在传统运营模式下，中间商从售电商或批发市场购电，计入充电设施投资及其他运维成本后，向电动汽车用户收取电费及服务；而在电动汽车储能模式下，中间商可将购电成本、充电设施投资、运维等成本一同打包，再根据批发市场电价、辅助服务价格、需求响应补偿价格的变化情况设计针对分散电动汽车用户的综合服务套餐，从而引导分散电动汽车用户的充电行为，以获取电力市场附加值更高的服务收益。

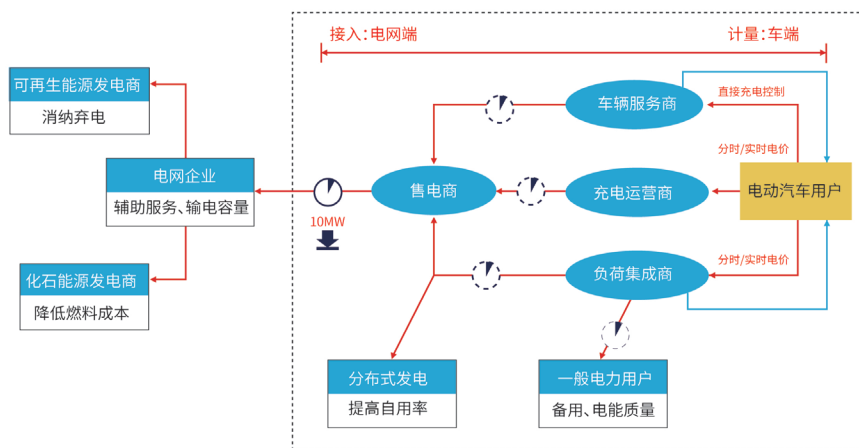


图 15 中间商充电运营模式示意图

图 15 列举了三种潜在的聚合中间商，即车辆服务商（包括公交 / 出租车队、共享车队、物流车队等）、充电运营商（充换电投资运营企业）、负荷集成商（如需求响应聚合平台等）。三种中间商可通过直接充电管控和电价引导的方式对分散车辆实现汇聚，其中充电价格机制又包括峰谷分时电价和实时电价两类。

峰谷分时电价机制对一天不同时段设定不同电价，也可按周或季节设定差异化价格。定价往往秉持收入中性的原则且平均电价仍然反映边际发电成本。目前市场上绝大多数电动汽车和充电设备都支持分时充电计量。美国加州圣地亚哥公共事业公司的分时充电价格试点中 80% 的充电负荷转移至午夜至凌晨 5 点低谷时段（Cook 等，2014²⁸），而实施分时充电的用户每年节省的充电成本在 200 到 450 美元之间（Berkheimer, 2015²⁹; Salisbury & Toor, 2015³⁰）。分时电价在电动汽车数量较少时简单有效，但随着电动汽车数量提升，预先设定峰谷分时电价也可能在电价下降瞬间引发短时集中充电行为，进而带来新的调峰压力。

实时电价（动态电价）可根据电力批发市场的价格变化、当下输电容量及可再生能源发电情况实时调整价格水平。实时电价可有效解决峰谷分时电价下“二次高峰”问题，且能与波动性可再生能源形成有效互动。挪威及美国圣地亚哥都开展了日前充电定价的试点（^{31, 32}）。但实时电价存在一定用户接受度的问题，有必要在引入中间方将用户影响降低到最小的同时，将电动汽车电力系统价值最大化。

除价格设计本身外，当前充电计量方式对电动汽车储能也存在一定限制。目前对于公共充电桩，安装在电网计量电表下的比例不足 1/3，其余超过 2/3 充电桩安装在物业方计量电表下；对于私人充电桩，安装于物业电表下的充电桩比例更高^{XII}。随着公共充电桩向集中式大容量方向发展，电网电表直接计量的充电桩比例有望提高，但广泛分布于住宅、办公地点的私人充电桩仍面临较大市场准入问题。由于电动汽车充电设施充电放电功率较小，往往分布于关口计量表后与其他用电负荷共同计量计价。电动汽车储能若要通过频繁充放电参与电力需求响应或辅助服务等活动就需将电动汽车从其他用电负荷中剥离，从而准确计量电动汽车本身的充放电变化。因此，在充电设施上游增设电网电表或在关口电表中对桩端计量数据进行实时核减是将电动汽车储能纳入经济调度的必要条件。

XII 苏州充电运营企业访谈。

总而言之，电动汽车储能商业模式的形成有赖于市场准入、价格机制及计量规则的完善，一方面要确保电动汽车储能拥有参与市场交易的地位与身份，一方面要提升电动汽车参与市场的规模与能力，从而确保价格信号能够顺畅地传递至车辆用户。需要注意的是，汇集电动汽车参与电力市场交易属于电力增值服务，电网企业应为第三方企业提供必要的电力接入、监测计量服务，从而营造公平竞争的市场环境。与充电基础设施建设类似，在电动汽车储能发展初期，电网公司可基于电动汽车储能的环境社会与环境价值的考虑，先期开展电动汽车储能商业模式探索，同时引领社会资本参与电动汽车储能的投资与运营，以加快产业发展和商业模式成熟。

五、政策建议

为加快电动汽车储能推广，应在市场准入、商业模式、价格机制、用户宣传、技术研发方面提前进行政策布局。

（一）市场准入

首先应明确电动汽车储能的市场身份与地位，鼓励将电动汽车资源纳入当前需求响应、储能资源进行管理；第二，根据电动汽车充电特性和充电基础设施分布情况，适度降低电动汽车储能参与市场的功率容量门槛；第三，允许电动汽车通过聚合集成的方式参与电力系统服务，制定第三方以平台方式参与电力市场交易的规则，明确第三方参与市场交易的责任和义务，为电动汽车平台化接入营造政策环境；第四，完善电动汽车充放电计量，尤其在住宅和办公地点，通过增设电网电表或实时核减负荷有效区分电动汽车充放电负荷与一般用电负荷，为电动汽车储能参与电力系统服务提供技术条件。

（二）商业模式

对于电动汽车用户个体而言，车辆出行具有更高优先级，直接与电网达成储能协议的难度较大。要充分释放分散的电动汽车储能潜力，提高电动汽车储能效率，位于电动汽车用户与电网之间的中间方必然起到重要作用。该中间方可通过价格设计激励电动汽车用户参与电力系统储能服务，同时也能最大程度保留用户个体出行自由度。车辆服务商、充电运营商、负荷集成商都是潜在的电动汽车储能中间方，其中车辆服务商对车辆运营有充分调度能力，最有能力将电动汽车充电与车辆运行协同优化；充

电服务商掌握硬件接口和充电用户资源，可通过改变充电技术及设施布局的方式影响用户充电行为；负荷集成商拥有平台优势，可通过“虚拟电厂”方式跨地域整合充电资源。实践中三类主体也可根据自身条件和市场环境展开优化组合，最大程度优化电动汽车储能成本与收益。

（三）充放电价

充电价格将成为衔接电动汽车用户与电网的根本手段。目前充电运营商普遍面临转供电加价和峰谷电价信号传导不畅的问题，导致上游购电成本居高不下，且无法有效激发电动汽车储能潜力。因此，应加快落实电动汽车充电峰谷电价政策，减少转供电加价，降低第三方运营商上游购电成本。面向电动汽车个人用户时充电运营商可打破目前电动汽车充电通常所采用的固定价格模式，在充电价格设计中考考虑更为灵活的定价机制，如在深入研究电动汽车用户价格响应度的基础上，制定符合自身需求的动态定价策略；其次，将充电电费与充电服务费有机结合，为实时定价营造更大调节空间；第三，在公交车、物流车、公务车等运营较为规律的车队中探索更为灵活的充放电价格机制。

（四）用户宣传

本研究在调研过程中发现，一般电动汽车用户对有序充电、V2G 等电动汽车储能方式普遍缺乏认知，大多数受访者也反映出对电池寿命和质保的担忧。而实际上，车辆有序充电并不会对电池寿命产生影响，V2G 带来的影响也将随着电池容量和循环寿命的提升逐渐减弱。从经济性来看，电动汽车储能所带来的价值收益也可弥补甚至超过电池老化成本，并探索车电分离的运营方式。因此，应加大电动汽车储能宣传力度，让普通消费者对电动汽车有序充电和 V2G 有更加客观的认识；同时建议改变当前整车及电池按照固定年份或累计行驶里程的质保政策，将累计放电量纳入电池质保参考因素，并探索车电分离的运营方式。

（五）研发示范

近年来动力电池成本下降有力带动了锂电池储能的商业推广，未来动力电池技术路线的选择也将直接影响电动汽车储能前景。若动力电池与储能电池技术路线产生分化，动力电池技术研发在对其储能领域应用的协同效应将会减弱。就当前趋势看，动力电池研发正转向高镍三元正极材料、硅碳负极材料等高比能量、长续航技术路线，而对循环寿命等储能应用关键参数的关注度相对较低。技术路线的分化将制约两个产业的协同发展效果，长此以往，动力电池研发进展对储能电池技术进步的推动作用将不断下降。对于车用动力电池技术研发而言，随着车辆共享商业模式推广和无人驾驶技术的不断成熟，未来电动汽车和动力电池的使用强度都有上升趋势，提高循环寿命无疑是动力电池和储能电池的共同需求。因此，应在提升电池能量密度的同时，加大长寿命动力电池研发力度，推动动力电池与储能电池技术的协同发展。

附件一 用户参与度调研表

电动汽车用户 V2G 意愿调查问卷
一、您是_____电动汽车用户。
A. 私家车
B. 公务或商务车
C. 出租车
D. 物流车
E. 公交车
二、您的电动汽车信息：
1. 电动汽车车型：_____（如北汽 EV200）
2. 电池容量：_____千瓦时
3. 单次充电续航里程：_____公里
三、您每车每年的行驶公里数_____公里。
四、您预期的换车周期为_____年。
五、若可通过改变充电时间或向电网放电获得现金收益，且您的车辆具备放电功能，您是否会考虑通过改变充电时间或放电获取现金收益？
A: 愿意在不降低电池效能的前提下，获取充电费用降低
B: 不愿意
C: 不愿意的原因是充电时间延长
D: 不愿意的原因是电池效能降低
E: 愿意考虑以电池效能下降来换取补偿
六、若“五”您选择的是 E，那么您每放电 1 度电，获得 1 元收入，您的可容忍的电池放电老化成本为：
A: 0.2 元或以下，即净收益 0.8 元以上
B: 0.4 元，即净收益 0.6 元
C: 0.6 元，即净收益 0.4 元
D: 0.8 元，即净收益 0.2 元
E: 只要净收益大于零，即可考虑放电

参考文献

- ¹ 上观新闻 . 从被动接受指令到主动举手 “认购” 指标, 上海开展大规模 “填谷” 式电力需求响应 .
<https://www.jfdaily.com/news/detail?id=93512>
- ² 盐阜大众报 . 全球环境基金 “风电车” 项目将在盐启动 . <http://www.jswwm.com/9661/201511/t2515023.shtml>
- ³ 腾讯汽车 . 换电行不行得通? 力帆首座集中式能源站将一试究竟 . <http://auto.qq.com/a/20161102/030481.htm>
- ⁴ 中国储能网 . 比亚迪签约欧洲布局储能市场 退役电池的未来 ?
<http://www.escn.com.cn/news/show-533142.html>
- ⁵ 国家发展改革委 . 《关于创新和完善促进绿色发展价格机制的意见》
- ⁶ Kempton, W. & Tomić, J., 2005. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. J. Power Sources 144, 280–294 (2005).
- ⁷ Lund, H. & Kempton, W., 2008. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. Energy Policy 36, 3578–3587.
- ⁸ Kempton, W. & Letendre, S. E., 1997. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. Transp. Res. D. 2, 157–175
- ⁹ 国际能源署 . 《全球电动汽车展望 2017》 .
- ¹⁰ 工信部、发改委、科技部、财政部 . 《促进汽车动力电池产业发展行动方案》 .
- ¹¹ 董振斌, 王文, 周珏, 赵亮, 屈高强, 董晓晶 . 需求响应参与系统频率调节研究综述 . 电力需求侧管理 . 第 19 卷第 4 期 . 2017 年 7 月 .
- ¹² 彭博新能源财经 (BNEF) , U.S. Utilities Offer Multiple Electric Car Charging Rates. <https://about.bnef.com/blog/u-s-utilities-offer-multiple-electric-car-charging-rates/>

- 13 《关于深入实施“互联网+流通”行动计划的意见》
- 14 财政部、工业和信息化部、科技部、发展改革委《委关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》财建〔2018〕18号
- 15 国家发改委能源研究所、自然资源保护协会、上海合煜科技,《电动汽车在上海市电力系统中的应用潜力研究》.
- 16 Sovacool, B. K., Axsen, J. & Kempton, W. The future promise of vehicle-to grid (V2G) integration: a sociotechnical review and research agenda. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 42, 377–406 (2017).
- 17 Sovacool, B. K., Noel, L., Axsen, J. & Kempton, W. The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Environ. Res. Lett.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9c6d> (2017).
- 18 Lund, H. & Kempton, W. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. *Energy Policy* 36, 3578–3587 (2008).
- 19 Druitt, J. & Früh, W.-G. Simulation of demand management and grid balancing with electric vehicles. *J. Power Sources* 216, 104–116 (2012).
- 20 Axsen, J. & Kurani, K. S. Connecting plug-in vehicles with green electricity through consumer demand. *Environ. Res. Lett.* 8, 1–8 (2013).
- 21 Bailey, J. & Axsen, J. Anticipating PEV buyers’ acceptance of utility controlled charging. *Transp. Res. A* 82, 29–46 (2015).
- 22 Parsons, G., Hidrue, M., Kempton, W. & Gardner, W. Willingness to pay for vehicle to grid (V2G) electric vehicles and their contact terms. *Energy Econ.* 42, 313–324 (2014).
- 23 国际能源署.《全球电动汽车展望 2018》
- 24 苏州市政府.《关于下达 2018 年新能源汽车推广应用和充电设施建设目标的通知》. 苏新汽工办〔2018〕7号. http://www.zfxxgk.suzhou.gov.cn/sjjg/szsjhxxhwyh/201805/t20180514_980376.html
- 25 中国能源报. <http://www.china-nengyuan.com/news/111164.html>
- 26 中国汽车报. http://www.cnautonews.com/jrtt/201707/t20170710_544230.htm
- 27 Forward Market Operations, PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market

Operations (Norristown, PA: PJM, August 21, 2014). Accessed October 30, 2014:
<http://www.pjm.com/~media/documents/manuals/m11.ashx>

²⁸ Cook, J., Churchwell, C., & George, S. (2014). Final Evaluation for San Diego Gas & Electric's Plug-in Electric Vehicle TOU Pricing and Technology Study. Nexant, Inc. & San Diego Gas & Electric. Retrieved from [https://www.sdge.com/sites/default/files/documents/1681437983/SDGE_EV_Pricing %26 Tech Study.pdf](https://www.sdge.com/sites/default/files/documents/1681437983/SDGE_EV_Pricing%26_Tech_Study.pdf)

²⁹ Berkheimer, J., Tang, J., Boyce, B., & Aswani, D. (2014). Electric Grid Integration Costs for Plug-In Electric Vehicles. SAE Int. J. Alt. Power 3, No. 1. Retrieved from <http://papers.sae.org/2014-01-0344/>

³⁰ Salisbury, M. & Toor, W. (2016). How Leading Utilities are Embracing Electric Vehicles. Southwest Energy Efficiency Project (SWEET). Retrieved from http://www.swenergy.org/data/sites/1/media/documents/publications/documents/How_Leading_Uilities_Are_Embracing_EVs_Feb-2016.pdf

³¹ Davis, K.W. (2014). Utility2Utility: NTE (Norway). Intelligent Utility Magazine, 6 (Issue 4).Retrieved from <http://energycentral.fileburstcdn.com/IntelligentUtilityMagazine/2014/JulAug14.pdf>

³² California Public Utilities Commission (CPUC). (2013b, July 11). Resolution E-4595.Retrieved from <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M071/K731/71731238.pdf>

联系我们

自然资源保护协会 (NRDC)
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编: 100026
电话: +86-10-5927 0688
www.nrdc.cn