

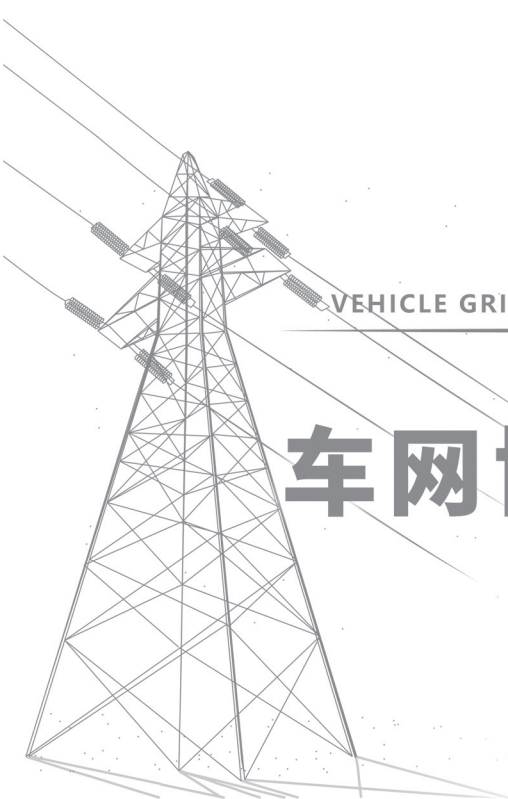
VEHICLE GRID INTEGRATION GUIDEBOOK

车网协同能力建设指南

车百智库 自然资源保护协会



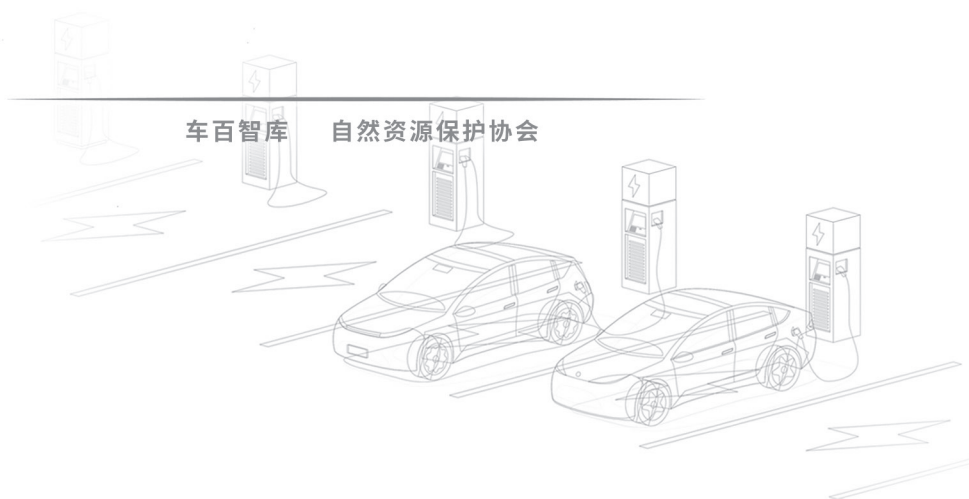
地址：北京市海淀区清华科技园搜狐网络大厦4层07室
电话：+86 010 82158701
网址：www.ev100plus.com
Add: 4F 07, SOHU.com Internet Plaza,
Tus Park, Haidian District, Beijing
Tel: +86 010 82158701
Web: www.ev100plus.com



VEHICLE GRID INTEGRATION GUIDEBOOK

车网协同能力建设指南

车百智库 自然资源保护协会



前言

车百智库是一家由中国电动汽车百人会联合权威机构、产业链头部企业共同发起成立的专业研究机构，主要围绕汽车电动化、智能化、网联化、绿色化以及能源变革、交通变革、城市变革等多个方向开展研究。

本研究报告属阶段性研究成果，仅供参考。数据引用、观点收集、研究论据等暂未逐一注明出处，由于部分信息来自外部，且未与企业一一核对，对一些企业的分析如不准确，以实际情况为准。

课题组

中国电动汽车百人会车百智库

张永伟 朱 晋 熊 英 牟雨薇 何慧娟 刘 茜 李松哲 吴 曦

自然资源保护协会 清洁电力项目组

游梦娜 王万兴 刘明明 陈艺昕 邹以宁

致 谢

此报告由中国电动汽车百人会撰写，自然资源保护协会支持。特别感谢中国电力企业联合会、中国能源研究会可再生能源专委会、国网电动汽车服务有限公司、上海需求响应中心、国网北京电科院、清华四川能源互联网研究院新能源汽车储能研究所、长城汽车、蔚来汽车、宁德时代、特来电、ABB、华商三优公司、ENEL X 对本项目的支持。

感谢 Energy Foundation China 对本研究的支持。

摘要

双碳目标下，电力系统将呈现“双高”特性——高比例新能源、高比例电力电子设备接入。发电侧新能源发电具有随机性、波动性，负荷侧电气化水平提升，用电预测难度也增加，双向不确定性将加剧电力系统功率平衡压力。电动汽车作为电网用户侧灵活性资源，高质量地参与车网协同，能更好地保障补电需求的满足、电网的稳定运行，以及可再生能源的消纳。

推动车网协同参与主体的多元化，打通车桩网端技术、产品、标准等方面存在的阻碍，设计实用、可操作的用户侧参与策略，充分发挥电动汽车作为电网灵活性资源的作用，对于车网协同规模化推广至关重要。终端用户积极参与电动汽车与电网协同项目，可以有效提高公众对电动汽车作为需求侧资源重要性的认识和接受程度，有助于车网协同项目的推广，为相关研究和政策提供更多的经验与反馈，提升车网协同的质量。

本报告旨在为车企、充电服务运营商和能源服务公司提供有效学习工具，帮助聚合商主体熟悉车网协同的意义、工作方式、车桩网端软硬件条件、商业模式、最佳实践，以及如何调动终端用户积极性等。

我国目前仍缺乏支持车 - 桩 - 网互联的开放、标准化的通信协议体系，需要优化现有车 - 桩充电国家标准，加强车网协同开放标准体系的建设，统筹提高通信网络安全性。在车网协同的调度实施过程中，可从电网、充电桩、电动汽车三大因素计算可调度容量理论值，建立以稳定性和经济性最优为目标的多目标联合优化模型，实施调度优化规划，并通过车网协同管理平台，将各方利益最大化、运行

效率最优化。

在车网协同商业模式方面，负荷聚合商的价值在于整合分散的电动汽车提供电力辅助服务，电力辅助服务分成是软件平台的重要盈利来源，适当的分成比例将建立起持续的商业模式。无补贴电力辅助服务价格水平下，软件平台很难实现盈利。V2G 试点项目较智能有序充电成本激增，V2G 充电桩成本占大头，更难实现盈利。建议根据市场规则，挖掘商业模式。微网层面，鼓励电动汽车参与电力现货市场与分布式发电就近交易。配网层面，推动居民区峰谷电价，私家车停驶时间比较长，扩大峰谷价差，用户进行有序充电的动力更大，也能更好地补偿 V2G 模式下电池的损耗。大电网层面，一是积极推动电力现货市场发展；二是扩大第三方辅助服务试点范围，鼓励电动汽车参与调频、备用等新型辅助服务，增厚收益水平。推动多方共赢，按补偿成本和合理收益的原则，明确电网企业、电动汽车车主、充电运营商等各方收益分享方式。

用户引导需从电网调度需求、充电设施、电动汽车出行充电特性及参与意愿多角度综合考量。建议加强用户引导，培养用户习惯。完善基础设施建设，加大智能充电桩推广，确保电动汽车无障碍接入电网。需求响应市场以政府补贴为主；结合需求响应和辅助服务市场特点，开展常态化车网协同业务，让用户逐渐“熟悉”电力市场特性，培养用户习惯与规律性的行为。持续宣传车网协同的社会效益和环境效益，给绿电消纳用户颁发绿色充电证书，提升电动汽车用户的参与自豪感和荣誉感。

目 录

- 一、电动汽车与电网协同意义 1
 - (一) 电动汽车大规模推广及无序充换电对电力系统的挑战 3
 - (二) 车网协同发展现状与意义 3
 - (三) 车网协同的政策环境 7
- 二、车网协同的车桩网端支撑 9
 - (一) 电网调度能力 11
 - (二) 车型开发 14
 - (三) 充电设施改造与新建 16
 - (四) 车网协同通信协议 16
- 三、车网协同的商业模式 19
 - (一) 国内外典型商业试点案例 21
 - (二) 车网协同产品设计、技术要求、适用场景 28
 - (三) 车网协同的商业模式 29
 - (四) 聚合商定位与系统架构 33
- 四、用户运营与用户引导 35
 - (一) 电动汽车用户参与电网调度的用户画像 37
 - (二) 规模化电动汽车用户参与调度的可调度容量评估及调度实施 44
 - (三) 用户引导 51
- 五、推动车网协同的政策建议 55
- 参考文献 59

图目录

图 1 电动汽车与电网协同发展	4
图 2 2020-2035 电动汽车的储能容量	7
图 3 电动汽车参与需求响应的流程（以天津为例）	11
图 4 电动汽车参与需求响应所需技术支持	12
图 5 车网协同实时调度流程	14
图 6 某 V2G 车型开发规划	15
图 7 车网协同通信协议	17
图 8 国家电网北京公司 - 华商三优优易充有序充电奖补激励方案	22
图 9 华北省间调峰市场业务流程图	23
图 10 国家电网北京试点试验结果	23
图 11 丹麦 PARKER 项目试验方案	26
图 12 丹麦 PARKER 项目资金结算示意图	26
图 13 软件平台抽成为 30%、20%、10% 时：不同电力辅助服务价格下项目收益 情况	31
图 14 不同电力辅助服务价格下 V2G 项目收益情况	32
图 15 聚合软件平台的系统架构	34
图 16 新能源私家车日平均行驶、充电、停车时间分布（24 小时占比）	37
图 17 新能源私家车预留电量、充电量、富余电量分布	38
图 18 北京市典型的电力日负荷曲线	38
图 19 北京市分时销售电价	39
图 20 蔚来换电站日均换电次数的时刻分布	40
图 21 日均行驶时刻分布	42
图 22 日均充电时刻分布	42
图 23 日均行驶里程和日均行驶时长	42
图 24 行驶起始 SOC 和充电 SOC	43
图 25 快充慢充的日均充电时刻分布	43

图 26 电动汽车用户参与电网调度的“车桩网”控制模式	45
图 27 第 i 个桩对应的电动汽车参与有序充电的并网时段示意图	46
图 28 第 i 个桩对应的电动汽车参与双向充放电中放电调度的并网时段示意图	46
图 29 电动汽车参与电网调度的可调度容量匹配及调整	49
图 30 电动汽车参与调度实施优化规划	50
图 31 车网协同用户引导示意图	54

表目录

表 1 中国车网协同部分场景	5
表 2 分阶段不同车型的电动汽车电池容量设定	6
表 3 2035 年不同类型汽车的充电负荷以及储能容量预测	6
表 4 不同省市电动汽车参与需求响应的规则对比	12
表 5 车型开发方案对比	15
表 6 车桩通信：通信协议以及缺口	17
表 7 桩 - 电力需求响应平台主要代表	18
表 8 PARKER 项目单向调频服务收入	27
表 9 PARKER 项目双向调频服务收入（FCR-N 及 FCR-D）	27
表 10 成本构成	30
表 11 北京市蔚来一代和二代换电站对比	40
表 12 各类电动汽车用户参与电网调度潜力	44
表 13 有序充电 V1G 和双向充放电 V2G 可调度容量理论值评估	47

电动汽车与电网 协同意义

双碳目标下，电力系统将呈现“双高”特性——高比例新能源、高比例电力电子设备接入。发电侧新能源发电具有随机性、波动性，负荷侧电气化水平提升，用电预测难度也增加，双向不确定性将加剧电力系统功率平衡压力。电动汽车作为电网用户侧灵活性资源，高质量地参与车网协同，能更好地保障补电需求的满足、电网稳定运行，以及可再生能源消纳。

（一）电动汽车大规模推广及无序充换电对电力系统的挑战

过去数年，我国电动汽车产业取得了快速的发展，充换电基础设施也不断完善。根据公安部统计，截至 2021 年底，全国新能源汽车保有量达 784 万辆，其中纯电动汽车保有量 640 万辆，占新能源汽车保有量的 81.63%。根据中国充电基础设施促进联盟统计，截至 2021 年底，中国累计建成各类充电桩 261.7 万台，其中公共充电桩 114.7 万台，私人随车配装充电设施为 147 万台，换电站超 1400 座。根据中国电动汽车百人会预测，新能源汽车产业仍将快速发展，到 2035 年，中国纯电动汽车保有量保守情景下有望达到 1.3 亿辆，激进情景下将达到 1.7 亿辆，其中纯电动私家车约 1.5 亿辆；到 2035 年，激进情境下公桩将达到 320 万台，私桩 5800 万台，换电站将增至 15000 座。

电动汽车大规模推广及无序充换电将重塑电力负荷曲线，并对地方配电网形成冲击：1) 电动汽车无序充电的时间集聚性导致负荷增长，特别是集中在负荷高峰期充电，将加剧电网负荷峰谷差，加重电力系统运行负担。2) 电动汽车无序充电的地理集聚性造成地方配电网局部过载问题，尤其是居民小区和公共快充站。3) 电动汽车作为大功率、非线性负荷，大量无序充电的电动汽车接入电网将影响电网的电能质量^[1]。

在汽车高比例电动化和快充普及的情境下，电动汽车无序充电将导致 2030 年和 2035 年电网峰值负荷可能增加 12%-13.1%。配电变压器受到电动汽车无序充电的影响最大，当城市新能源汽车数量增长提速且快充占比相对较高时，部分地区的电源装机容量、输电线路容量可能出现缺口^[2]，^[3]。

（二）车网协同发展现状与意义

双碳目标下，电力系统将呈现“双高”特性——高比例新能源、高比例电力电子设备接入。发电侧新能源发电具有随机性、波动性，负荷侧电气化水平提升，用电预测难度也增加，双向不确定性将加剧电力系统功率平衡压力。电动汽车作

为电网用户侧灵活性资源，高质量地参与车网协同，能更好地保障补电需求的满足、电网稳定运行，以及可再生能源消纳。

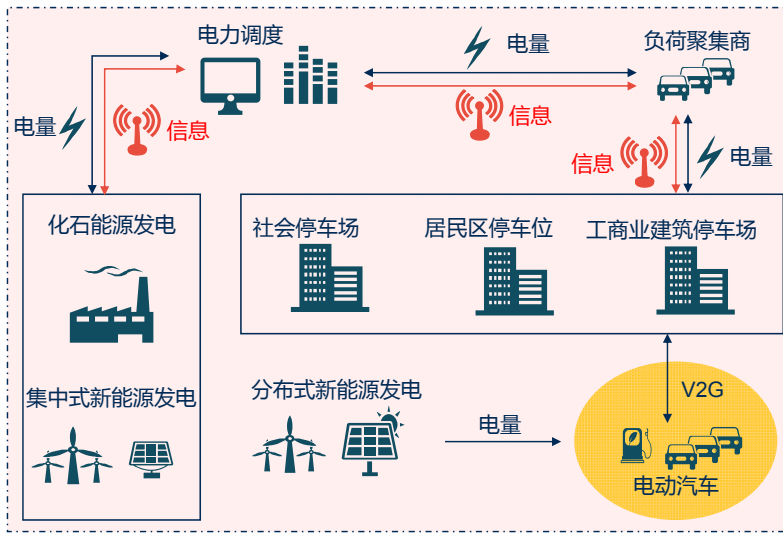


图 1 电动汽车与电网协同发展

车网协同工作的开展，是以有序充电和 V2G 作为技术手段，负荷聚合商代理电力公司组织、引导电动汽车用户，去参与配网服务、调峰辅助服务、需求响应与绿电交易^[4]。现阶段围绕配网局部重载问题，全国已有许多省市在小区、写字楼、工业园区等场景开展了有序充电、V2G 试点，有效推动负荷峰谷差降低。在与大电网互动层面，华北调峰辅助服务市场已聚合了 3.6 万个充换电站，累计调节能力达到 1165MW，同时河北、山西、山东、江苏、浙江等地已经开发或正在筹建调峰辅助市场；山东、江苏、浙江、上海、天津等地也开展了电动汽车参与需求响应市场的试点；参与的绿电交易可以分为两类，一类是跨省跨区绿电交易，属于中长期市场，另一类是省内或分布式绿电交易，属于短期或现货市场。已有 10 余个省市开展了绿电交易试点，截至 2021 年底交易绿电电量 28.54 亿千瓦时。小区、园区、充电场站等场景也在积极探索光储充微网协同，利用建筑屋顶和停车位顶棚、空闲区域布局分布式光伏和储能。

表 1 中国车网协同部分场景

定义	运营机构	准入条件	交易方式	交易周期	收益/红利传导
需求响应	由政府主管部门和电网企业发布需求响应通知，通过用户自主调节或智能调控，改变用电行为，促进电力供需平衡、保证电网经济稳定运行。	负荷聚合商主要有聚合容量要求，在需求响应管理平台完成注册，代理的充电站（桩）应具有独立的营销户号或具有国家认可的计量检定机构检测合格的计量装置。	采用政府定价或集中申报、统一出清的方式组织开展。	按需开展。目前需求响应原则上 1 天不多于 2 次、累计不超过 4 小时；实时需求响应原则上每年度不超过 10 次，1 次不超过 30 分钟。	政府主管部门核定实际响应量及补贴金额，通过减免电费或现金补贴的方式发放至终端用户和聚合商。聚合商与电动汽车用户或运营商根据合同约定进行结算。
辅助服务	包括一次调频、自动发电控制、调峰、无功调节、备用、黑启动等。现阶段主要参与负荷侧调峰辅助服务市场。	准入条件主要包括独立法人机构、调节容量门槛、最大充放电功率门槛、数据传输要求、独立用电户号等要求，并在运营机构完成注册。	集中申报、统一出清。	中长期以月度为周期，月前组织次日辅助服务交易；短期以日为周期，日前组织次日辅助服务交易。	负荷聚合商收益为市场运营机构发放的调峰服务费，对于终端用户以降价、返利等经济激励的方式，引导用户参加负荷调节，将红利传导至终端用户；对于被代理的运营商，负荷聚合商根据协议与被代理的负荷运营商分配收益。
跨省跨区绿电交易	省级交易中心通过交易平台组织开展绿电交易工作，主要负责管理运营交易平台，提供市场注册、交易申报、结算依据、信息发布等服务；电力调度机构主要负责安全校核等工作。	准入条件主要包括聚合电量、计量条件（大多数求用户需具备独立营销户号），并在电力交易平台完成注册。	双边协商、集中竞价、挂牌交易。	月度、季度、年度。	电网企业按月将负荷聚合商（售电公司）购入电价和目录电价差额作为代理服务费支付给负荷聚合商（售电公司）；将目录电价和结算电价差额作为交易红利退补到电动汽车运营商电费户号下。电动汽车运营商通过开展运营活动将红利最终传导至电动汽车用户。

1. 降低对电力系统的冲击

假设电动乘用车充电功率为 7 千瓦，电动出租车、轻微型物流车充电功率为 30 千瓦，电动公交车和中重型货车充电功率为 120 千瓦，且至 2035 年充电功率维持不变。同时，动力电池技术的进步也促使各类车型的储能能力也在逐年提升。根据我国电池技术路线图能量密度目标，对不同车型的电池容量作如下设定：

表 2 分阶段不同车型的电动汽车电池容量设定

		2020	2025	2030	2035
电池容量 (千瓦·时/辆)	乘用车	50	65	80	90
	客车	160	172	200	230
	轻微型货车	100	108	135	150
	中重型货车	280	300	330	360

根据以上假设分析，到 2035 年，我国电动汽车的总充电负荷将达到 1987 吉瓦，全国电动汽车的储电容量将达到 168 亿千瓦·时。有序用电降低对负荷影响主要通过价格引导和智能充电管理实现，有望使充电负荷下降 20%~70%。

假设私家车日行驶里程为 55 千米，V2G 放电至电池电量的 30%截止，那么 2035 年私家车日用电量为 6.8 千瓦·时/辆，V2G 潜力将达到 89 亿千瓦·时。若对电动汽车这种分布式移动储能装置进行有效利用，按照 0.5 元/(千瓦·时)估计，私家车 V2G 的总市场规模达约 45 亿元。

表 3 2035 年不同类型汽车的充电负荷以及储能容量预测

	私家车	出租车	公交车	其他客车	轻微型货车	中重型货车
保有量 (万辆)	15125	525	110	137.5	1250	82.5
充电功率 (千瓦)	7	30	120	120	30	120
充电负荷 (吉瓦)	1059	157.5	132	165	375	99
储能容量 (亿千瓦·时)	136	4.7	2.5	3.2	18.8	23.0

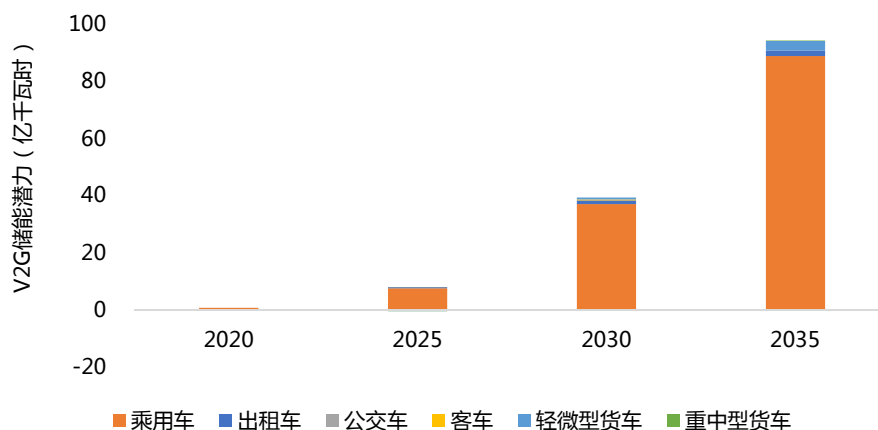


图 2 2020-2035 电动汽车的储能容量

2. 助力清洁能源消纳

构建以新能源为主体的新型电力系统，是电力行业服务碳达峰、碳中和的重要责任和使命。2030 年风电、光伏发电总装机要达到 12 亿千瓦以上，新能源大规模开发，高比例并网，发电性随机性很强，功率预测困难，给电网运行控制带来严峻挑战。新能源汽车恰恰是柔性可调的负荷，新能源发电和新能源汽车的实时对接和供需匹配，将提高绿电在终端消费的比例^[5]。大电网下配合源荷互动，对电动汽车进行智能集群的调控，将促进消纳可再生能源；分布式光伏、风电快速发展，通过链接电动汽车充放电，可以实现就近消纳。

（三）车网协同的政策环境

目前，我国政府对车网协同的政策支持已由早期的较为笼统、概括的表态深化到更为详细、初步具备可操作性、可执行性的具体政策。《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》明确提出加强新能源汽车与电网（V2G）能量互动，鼓励地方开展 V2G 示范应用，促进新能源汽车与可再生能源高效协同，奠定了电动汽车与电网融合发展的大方向。2021 年 7 月，国家发改委及国家能源局出台《关于加快推动新型储能发展的指导意见》，明确提出鼓励电动汽车等分散式用户侧储能设施发展。2022 年 1 月，发改委、能源局等多部委发布《关于进一步提升电

电动汽车充电基础设施服务保障能力的实施意见》，推进车网互动技术创新与试点示范。加速推进车网互动试验测试与标准化体系建设。鼓励推广智能有序充电。加快开展智能有序充电示范小区建设，逐步提高智能有序充电桩建设比例。各地价格主管部门要抓好充电设施峰谷电价政策落实。

各省市针对如何促进新能源汽车与新能源融合发展以及新能源汽车的进一步智能化发展方向上出台了本地的配套政策。上海市、陕西省、福建省福州市、广东省、天津市、山西省等地区已出台针对性的需求响应文件，将新能源汽车纳入电力市场需求响应方案中，明确了负荷聚合商市场准入条件、响应过程、响应效果评价与补贴核发等关键信息，但需求响应能力指标的合理性和可操作性仍有待验证。智能有序充电技术目前正进入推广阶段，上海市率先推动了智能充电桩的发展，推出了一系列本地技术标准、补贴政策，也一定程度上表明了地方政府的决心。

2

车网协同的车桩 网端支撑

车网协同关键体系分了五大步，第一步是互联互通，第二步是负荷资源管理，第三步是与电网的分级协同调控，第四个是负荷实时响应，最后是用户引导和推荐，以实现配网下多桩协同，平缓用电峰谷，大电网下配合源荷互动，消纳可再生能源。

(一) 电网调度能力

1. 车网协同运行机制

以电动汽车参与需求响应为例，各个区域根据负荷结构特征或者能源产业布局规划，对响应资源的挖掘侧重不一样，以陕西、山西、浙江等为代表的地区已开启电动汽车参与需求响应，并发布了相关规则。比如天津从响应类型和规模、参与条件、补贴标准、基线负荷、实施流程以及效果评估和补贴资金核发等方面制定了电力需求侧管理办法。

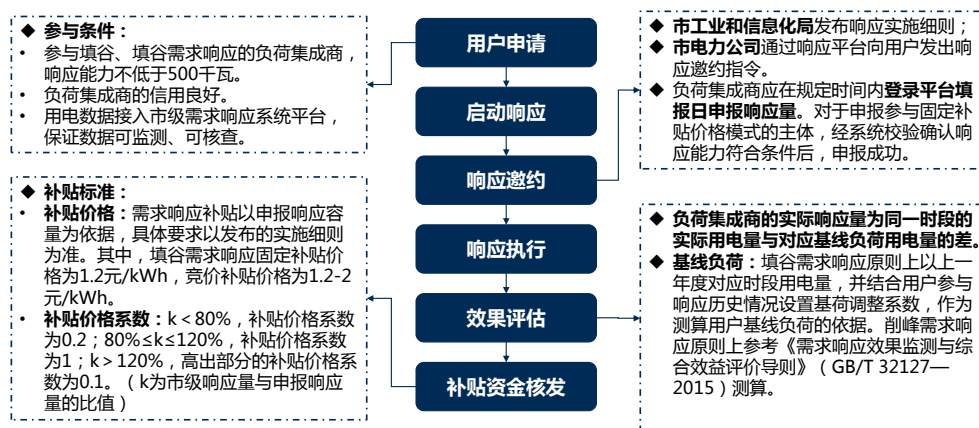


图 3 电动汽车参与需求响应的流程（以天津为例）

由于各地区负荷特性差异性以及产业布局不同，电动汽车参与需求响应在准入门槛、响应类型、补贴门槛以及补贴标准等方面的规则不尽相同，天津、陕西、浙江、华北、广东、山东以及山西地区对参与用户做了明确的响应容量要求，浙江还提出了响应时间不小于 30 分钟的时间限制。整体来看，各地区的响应类型主要集中在调峰，补贴门槛为单次实际响应量不低于申报容量的 50%。但由于各地区电力市场规则差异性，电动汽车参与需求响应的补贴标准呈现明显差异。

表 4 不同省市电动汽车参与需求响应的规则对比

	天津	陕西	浙江	华北	广东	山东	福建省福州市	山西
准入门槛	响应能力≥500千瓦	响应能力≥2000千瓦	响应能力≥1000千瓦，响应时间≥30分钟	调节电力≥10MW；调节电力≥30MWh	注册资金≥500万 响应能力≥2000千瓦	削峰能力≥400千瓦 填谷能力≥200千瓦	容量315kVA及以上	容量不少于100MW； 响应容量不少于10MW
响应类型	削峰+填谷	削峰	削峰+填谷	调峰	削峰+填谷	削峰+填谷	削峰+填谷	调峰
补贴门槛	对于连续多日开展的填谷需求响应，首个有效响应日实际响应量低于日申报响应量的50%，则此次需求响应补贴按0计算	单次实际响应量低于申报响应量80%的不享受补偿	当实际负荷响应率低于50%时，响应无效，不予补贴	第三方独立主体未按时申报价格，按照申报价格为0元/MWh参与调峰市场出清	负荷聚合商实际响应量低于应总量的50%，视为未执行响应指令	低于中标容量80%的，不享受电能补偿费用。低于中标容量20%的，视为未执行响应指令	响应时段最大负荷高于基线最大负荷或响应时段平均负荷高于基线平均负荷，且其差值大于协议响应量的50%，视为无效响应。实际响应容量占单次申报响应量的比例<50%，不予补贴。	由负荷聚合商聚合负荷运营在批发市场中，采用“月度挂牌预出清价格、日前确定弃限电需求与响应、日内计量需求响应效果、互动电量为月结”的方式开展需求侧响应交易与执行
补贴标准	填谷固定价格1.2元/kWh；竞价1.2-2元/kWh 削峰以实际细则为主	时间≤120分钟，为5-25元/kWh次 时间>120分钟，为8-35元/kWh次	日前削峰：4元/kWh；竞价出清 小时/分钟/秒级：年度4元/kWh电量补贴+0-0.25元/kWh月/0-1元/kWh月/0-0.1元/kWh月 容量补贴 填谷：年度电量补贴+5元/千瓦日容量补贴	第三方独立主体申报价格上限为600元/MWh 广东	削峰：0-5元/kWh 填谷：0-2元/kWh	需求响应容量补偿价格≤2元/kWh月； 削峰需求响应电能补偿费用：实际有效响应电量按照固定价格结算 填谷需求响应电能补偿费用：0.4-0.8元/kWh	用户实际响应量占协议响应量的比例50-80%，补贴价格1.2元/千瓦时；用户实际响应量占协议响应量的比例>80%，补贴价格2元/千瓦时	

电动汽车参与需求响应需要众多技术作为支撑：储能技术可以解耦能量的生产和消耗，在需求响应中用户侧的电、热、冷系统的耦合程度很高。储能技术的支撑尤为重要；负荷聚合技术可以将中小用户的需求响应资源聚合起来参与多能需求响应；电动汽车参与需求响应下的信息与通信技术能够支撑交易及结算过程；电力计量技术可以准确计量采集和存储需求响应技术下的用户数据；智能控制技术可以实现需求响应技术下的能源协调控制；自动需求响应技术可以完全不依赖人工操作，靠信号触发需求响应实施程序自动调度负荷等。

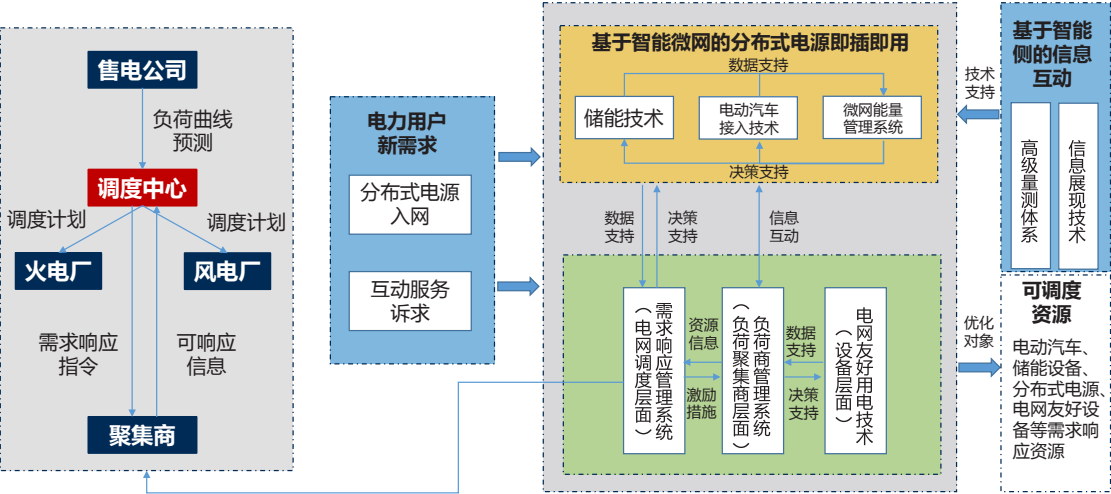


图 4 电动汽车参与需求响应所需技术支持

2. 电网调度能力

现阶段车网协同需众多技术做支撑，包括电力调度技术、计量技术、信息和通信技术以及智能控制技术。首先，在电力调度技术方面，由于调控模型、平台计算能力、通信协议的问题导致调控精度较低，且用户难以获取调节信息。第二，在电力领域电力计量技术采集存储并分析用户端数据，采集数据的及时性、有效性和传输数据的快速性、可靠性关系到需求响应结果认定的精确度。目前智能电表最普遍采用的是自动远程抄表、双向计费的功能。但如何对双向流动的能量进行合理的计量，如何对电动汽车提供的电网服务进行结算，也是需要解决的问题。第三，随着分布式可再生能源以及储能、电动汽车等分布式能源的发展，传统的单一的通信方式不能满足智能用电可靠性与传输能力的要求，需要多元化的通信方式作为补充，以适应分散的多元能源系统结构。其次，充电基础设施互联互通水平有待加强，不同的通信接口和协议阻碍了电网的统一协调调度。最后，电动汽车参与需求响应需要对进行协调控制，智能控制技术是指在无人干涉情况下，具有一定的自主驱动实现目标控制的技术，是控制理论的高级发展阶段。目前智能控制技术在能源管理系统、电网友好型设备等方面应用广泛。但电动汽车充电行为随机性较大，对大规模电动汽车充电负荷进行准确控制和判断难度较大。

车网协同实时调度主要包括调控模型、通讯协议以及平台的数据存储和计算的能力三方面关键问题。实时功率调控主要步骤为：首先由电网将调节值指令调度下发给充电运营商的复合聚合平台，然后由复合聚合平台再将指令进行分解，再下发给充电运营平台，由充电运营平台执行功率调控，最后充电运营平台再将执行的结果反馈给聚合平台，同时把结果反馈给调度中心。但是，在国网实际调度过程中，调度的精准度较差，一方面是充电桩的实际功率可调模型维护不准确，另一方面由于车的充电行为随机性大，影响了调度准确度。为了提高调度精度，需要协同好平台间技术规范，明确调节速率、调节精度、可调容量等；此外，还需要优化通信协议，满足功率控制功能、可调节模型参数配置等。最后，平台侧的数据和存储和计算能力也是影响调度技术的重要因素，需要从数据的写入、查询能力着手，提升平台的技术能力。

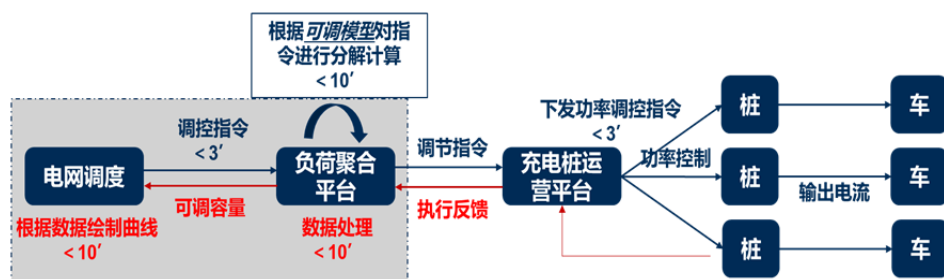


图 5 车网协同实时调度流程

车网协同应用涉及分享配电网负荷信息，可能威胁配电网的安全稳定运营。解决该问题通常有两种举措：一是通过立法或出台数据共享标准等方式，允许脱敏后的配电网负荷信息（如用电负荷的上限等）与负荷集成商共享。例如，欧盟能源监管委员会要求，配电网运营商在不威胁配电网安全的条件下分享脱敏后的配电网运行数据，以支持智能电网应用的开发。二是有条件的充电运营商，也可直接读取本地配变台区的数据。目前，国内电网的通信组网服务主体仍为大型电厂与工业用户，缺乏面向用户侧分布式资源的实时监测、调度连接与计量结算。而目前大型电厂或用户的通信组网方式，投入成本过高，如江苏省以光纤专用通道将大型用户接入到电网智能调度系统中，提供秒级、毫秒级两套独立通信通道，支持需求响应、调频等电网侧服务。这种高投入的专用光纤组网方式，不适于包括充电桩（站）在内的大量、分散的小型用户侧资源。随着电力市场改革的推进、市场参与者主体的多元化，有必要考虑 4G、5G 等低成本的通信通道与计量结算方式，以便大量用户侧资源参与电力市场。例如，国内部分区域电力辅助服务市场正试点通过 4G 公网，由负荷聚合商代理电动汽车参与交易。

（二）车型开发

目前国内部分乘用车企业已经开发了 V2G 车型，采用直流充电技术，依据 27930 修订版通信协议。

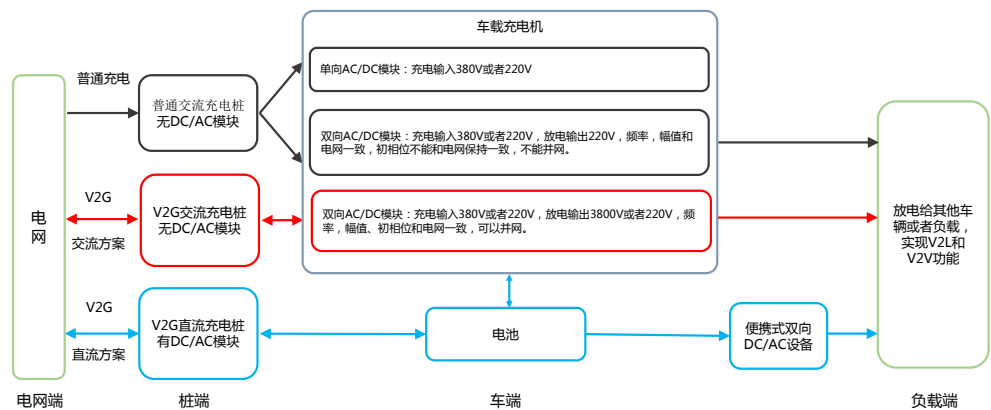


图 6 某 V2G 车型开发规划

资料来源：长城汽车

表 5 车型开发方案对比

项目	优点	缺点	国外情况
交流方案	站在 V2G 产业链角度，如果每台 V2G 车都配套一台 V2G 桩，交流方案成本低于直流方案。	1.国内车载充电机和充电桩没有通讯协议不利于控制； 2.慢充直流化趋势，车端可能取消车载充电机； 3.产业链配套方面，目前无相关产业链公司开发 V2G 车载充电机和 V2G 交流充电桩。	国外大多数试点采用了直流方案。
直流方案	1.电池和充电桩存在通讯协议便于控制； 2.整车硬件不需要变动，只需软件变动。	实现 V2L 和 V2V 功能，需要使用便携式双向 DC/AC 设备或者使用车载充电机（双向 AC/DC 模块）。	

资料来源：长城汽车

V2G 模式下对动力电池循环寿命要求更高，车企也在探索车电分离模式下的实现路径。虽然动力电池技术经济指标提升很快，V2G 模式下动力电池仍是制约瓶颈。车主对动力电池损耗比较担忧，同时也增加了车企的质保成本。车电分离模式下，电池不属于用户，属于持有电池的资产方，能抵消消费者对于放电带来的电池寿命影响的担忧。不过在目前我国车辆公告、税务等政策管理下，非换电车型难以剥离电池资产。放电策略主要围绕放电倍率、环境温度、DOD（放电深度）使用区间等方面做优化。

（三）充电设施改造与新建

国家电网和南方电网作为我国电网主体，积极探索车网协同前景。国网电动在有序充电方面，已完成无感有序充电技术的研发和交流有序充电桩的研制、制定有序充电的标准规范；在 V2G 方面，已完成 V2G 应用平台及小功率 V2G 直流充电桩的开发，并与国内主机厂联合开展了 V2G 功能定制车的研发。截止 2021 年 9 月，国家电网已在北京、上海等 18 个省市建设超 12 万个有序充电桩，覆盖 1 万多个居民社区，服务车主 15 万名，转移高峰电量 432 万千瓦时；国家电网华北分部在国内首次将 V2G 充电桩资源纳入华北电力调峰辅助服务市场并正式结算。南方电网自 2017 年开始进行有序充电试点，截止 2021 年 3 月，已投资 50 个充电站，改造约 500 台充电设施。

早期，单向有序充电主要通过分时电价政策^[6]鼓励新能源汽车用户谷时充电。但单纯基于峰谷电价机制的有序充电虽然在一定程度上能够转移并降低充电负荷峰值，但“削峰填谷”的效果有限，还可能在深夜电价谷时的开始时刻，形成另一个充电负荷峰值^[7]。因此，单向有序充电由分时电价逐渐发展为智能有序充电。我国有序充电技术相对成熟，已进入大规模示范应用阶段。

目前电动汽车 V2G 功能还不能直接接入电网对电网放电，示范多处于向楼宇、工业园区放电。国内已研制并投运 7kW、15kW、60kW 直流充放电桩。相比智能有序充电桩，V2G 充放电桩主要是增加了双向功率模块，按双向功率模块成本增量 100 元/kW。

（四）车网协同通信协议

全球范围看，主流的车桩间（充电）连接接口是 CCS、ChadeMo2.0、GB/T 20234.3，通信协议是 IEC 61851、欧洲 ISO 15118-2、德国 DIN 70721、GB/T 27930（直流）；桩与运营平台间开放的通信协议 Ocpp1.6，是基于 WebSocket 方式（前后端数据交换）及 json 数据格式。现阶段电网与桩、桩与车之间主要是单向的能量传输，除了 ChadeMo2.0 对 V2G 有协议支持，其他协议对 V2G 的支持正在制定中。

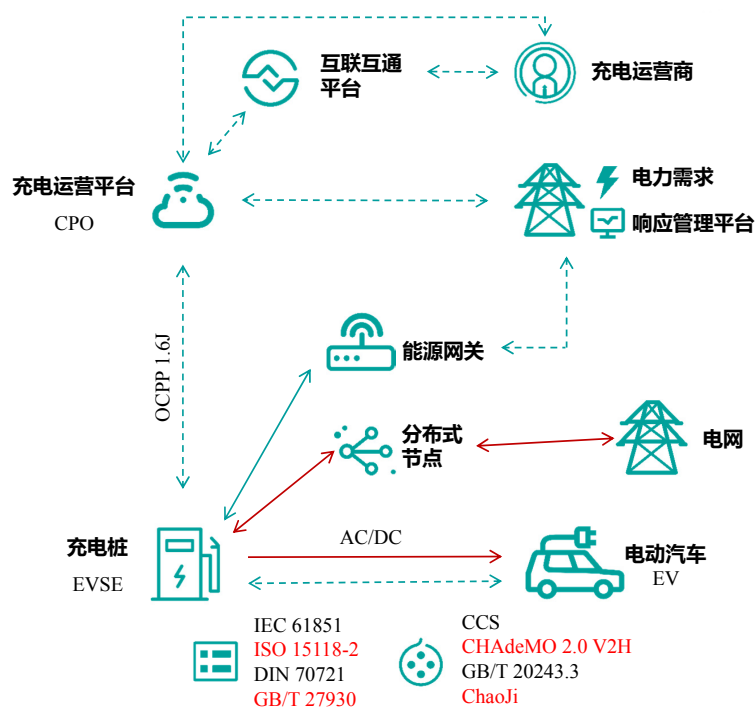


图 7 车网协同通信协议

车桩间的通信协议。现行的国标充电接口版本是 2015 版本，标委会正在推进整个接口演进，既有 Chaoji 制定，又有 27930 新版本修订。全球主流标准来看，都存在缺口，并都把这些缺口作为弥补、升级的方向。全球车桩通信标准都在朝着 V2G 架构进行演进，为桩与电力需求平台间的更高层级通信创造了底层协议上的支持。

表 6 车桩通信：通信协议以及缺口

国家	通信协议	缺口	演进方向
中国	GB/T 27930-2015	加强充电安全 提升充电功率	ChaoJi 27930 修订
美国	SAE J1772	即插即充	
欧盟	DIN 70121 ISO/IEC 15118-2	V2X（含 V2G） 无线充电	ISO 15118-20
日本	CHAdeMO	加强信息安全 动态功率调节 多立约凭证	ChaoJi

桩与电力需求响应平台通信。中国 2018 年发布 DL/T 1867，这是电网需求响应平台与设备、聚合平台之间的通讯规约与通讯协议，主要描述聚合平台与需求响应平台的云对云的通讯协议，通讯安全上采取了比较通用的 tls 加密，并且数据传输要符合 T/CEC208 的数据安全要求。DL/T 1867 设计过程参考了 OpenADR 2.0，而数据格式上采用了更加轻量化、对开发更友好的数据格式 JSON。国内的应用主要是在桩企平台/聚合平台与电网平台之间的互联互通。美国 2000 年开始推进需求响应平台、设备、分布式能源管理侧的通讯协议。目前已经演进到了 2.0b 版本，数据安全上是通过 OpenADR ALINES 去发布整个安全通讯规约的指导，并且采用了 public key infrastructure-公钥的签发机构去保证了所有的充电设备，在 ven 里面与服务器间的通讯规约，连接与数据传输都能在这套 kpi 的管控下，并进行双向数据加密。数据格式采用通用的 xml 语言，相对 json 冗余。德国大型车企、能源协会主导总线的起草与制定，通过 BSI 德国信息安全局发布整套的公私钥管理机制，从充电桩、能源网关、能源管理平台的协议进行安全把控，数据格式兼容了 2 种。

三种架构对于电力需求响应平台的部署与桩企的配合，最轻量化、部署速度、普及难度、门槛低的就是平台与平台之间的通信（即中国的 DL/T 1867）。美国的架构更强调电网与子管理系统之间的通信，即设备（节点）到平台的通信；德国更倾向于推进 smgw 统一采集充电设备、分布式能源系统信息，再传输到更高级的电网需求响应平台。

表 7 桩-电力需求响应平台主要代表

国家	通信规约	通信安全	数据格式	连接架构
中国	DL/T 1867	T/CEC 208 TLS	JSON	桩企平台/聚合平台连接电网需求响应管理平台
美国	OpenADR 2.0b	OAA PKI TLS	XML	充电设备连接电网需求响应平台
德国	EEBUS	BSI PKI TLS	XML/JSON	充电设备连接智能电表网关

车网协同的商业模式

在商业可行性验证阶段，项目的收益来源主要为电力辅助服务费。在实行峰谷电价差的地区，电动汽车车主也可获得峰谷价差收益，但由于峰谷价差仅依赖当地峰谷电价的施行及电动汽车本身具备的充电时间选择功能，峰谷价差收益很难成为聚合中间商的收益来源。

（一）国内外典型商业试点案例

1. 有序充电

（1）分时电价

峰谷电价差价较大的情况下，分时电价可为车主提供足够的动力调整充电安排。但分时电价仅依靠当地电力系统设定的电价及电动汽车软件自带的充电时间控制功能，第三方聚合商的作用并不突出。

（2）电力辅助服务

获取电力辅助服务收益的有序充电基于智能有序充电技术。海外典型案例为 WeDriveSolar 项目；国内典型案例为国家电网北京试点。

WeDriveSolar 项目在挪威乌得勒支地区开展，是全球少有的采用真实共享车队且将光伏和智能有序充电结合的项目。参与试验的各方为：（1）WeDriveSolar 汽车共享平台；（2）智能充电商 Jedlix，负责协调虚拟发电厂。（3）雷诺，提供车型。

WeDriveSolar 项目的试验方案为：共享电动汽车车队由汽车共享平台 WeDriveSolar 整合，再接入智能充电商 Jedlix 的充电网络。Jedlix 的充电网络将会根据电网电压和共享汽车行驶特征智能选择充电策略，以在确保满足车队运行需求的前提下¹，尽可能地在光伏过剩的时间充电。

We Drive Solar 项目的费用结算方式：汽车共享平台 We Drive Solar 向参与试验的共享电动汽车提供充电套餐，以吸引用户：99 欧元/2500 公里每月或 196 欧元/5000 公里²每月的充电套餐，其中 99 欧元的套餐比当地其他套餐略微便宜。汽车共享平台 We Drive Solar 及智能充电商 Jedlix 根据车队和电网的情况，向当地电网平衡服务提供商 Eneco Energy Trade 竞价。智能充电功能可为单车提供 211 欧元/年的收益；而对于智能充电商 Jedlix 而言，当业务扩大到 1500 辆电动

¹ We Drive Solar 项目的试验车队为真实运营的共享车队，因此智能充电商 Jedlix 将保证最低行驶起始 SOC 至少为 33%（对应单次行驶里程约 100km），且当电动汽车在上次行程结束后重新连接到充电站时，电动汽车将在下个用户使用前的半小时内锁定充电。

² Smart Solar Charging 项目每月 5000 公里套餐的费用比当地其他公司提供的同样业务价格略高。

汽车时，才能实现盈亏平衡。

国家电网北京公司聚合北京地区私人充电桩资源，参与华北省间调峰市场。充电桩平台控制方案为在非调控时段（7：00-12：30、16：00-次日 0：30）以 2.8kW 启动充电并保持低功率慢充，在调控时段（日间 12：30-16：00、夜间 0：30-7：00）由平台下发指令自动提高至 7kW 满功率充电，用户无需操作。针对充电桩用户，项目提供“度电补贴+首充奖励、赠送延保等额外奖励”，参考现行居民充电电价 0.4733 元/度，将度电补贴从 0.1 元/kWh 分期递增至 0.4 元/kWh。有序充电激励验证时间为 2020 年 9 月 11 日至 12 月 12 日，以 14 天为一个周期，共连续开展 7 个周期。充电桩拥有者还可通过平台将空闲时段的充电桩共享给其他电动汽车车主，并获得出租收益。同时，平台作为负荷侧市场主体，接入华北省间调峰市场，根据自身情况竞价。截止目前，平台在两次省间日前市场出清中均中标，最大电力分别为 2.379 万千瓦、2.330 万千瓦，中标价格分别为 290 元/MWh、400MWh。



图 8 国家电网北京公司-华商三优优易充有序充电奖补激励方案

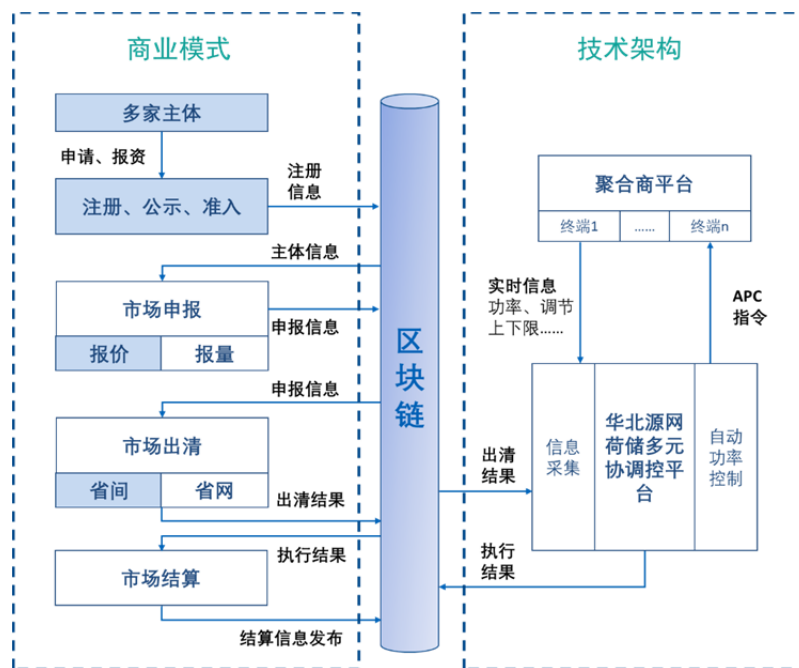


图 9 华省级间调峰市场业务流程图

通过 7 个周期的验证，在奖补激励成效方面发现：（1）奖补激励可有效引导用户参与有序充电。随着激励活动的推广，参与有序充电用户占比、有序充电次数占比及有序充电电量占比整体呈递增趋势。其中，有序充电用户占比由 13.8% 提升至 48.9%，有序充电电量由 3.6 万 kWh 提升至 19.1 万 kWh。这表明用户对有序充电接受程度逐步提高，用户参与有序充电意愿明显提升。（2）度电补贴 0.3 元/kWh 对用户吸引力较强。当第 5 期的 0.2 元/Wh 提高至第 6 期 0.3 元/kWh 时，有序充电用户占比从 34.07% 提高至 47.01%，效果明显。

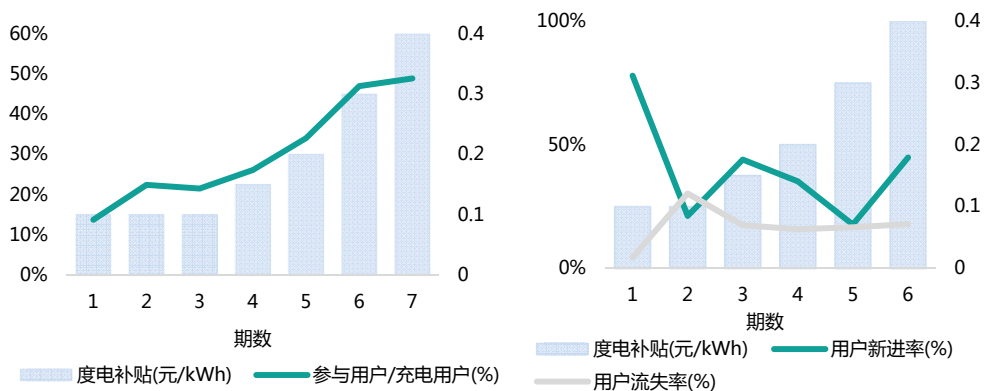


图 10 国家电网北京试点试验结果

(3) 需求响应

上海需求响应试点依托国网上海虚拟电厂运营体系开展。调度需求触发后，上海市虚拟电厂管理与运营监控平台将调度指令发布到负荷集成商平台，再由负荷集成商平台依据虚拟电厂规定的参与方式进行需求响应。目前上海需求试点为需求响应方提供削峰 3 元/填谷 1.2 元每度电的基础补贴，再根据通知时间给予 0.8-3 倍的补贴系数，如实时响应提供 3 倍基础补贴，30 分钟内响应提供 2 倍基础补贴。试点资金来源为尖峰电价收益，正积极推动资金来源多元化。以往上海需求响应试点将补贴以电费抵扣的方式全额发放给用户，负荷集成商不参与分成，今后将尝试把费用直接补贴到负荷集成商，再分配到用户，让负荷集成商更加有驱动力。

2. V2G

国内外只有少数机构进行 V2G 项目示范。根据 V2G HUB 网站统计，截止 2021 年 8 月，海外有 86 项 V2G 试点示范项目，其中示范内容多以 V2B、V2L 为主，真正并网案例较少。V2G 试点主要集中在欧洲（56 项）、北美地区（20 项），项目主要目的为技术验证（78 个项目的首要目标为验证 V2G 项目技术可行性），2020 年起开启的 3 个项目已推进到商业可行性验证阶段。中国 V2G 试点示范项目则已开展了约 40 项。

全球来看，已公布商业模式或运行模式的 V2G 项目可按电动汽车取得收入/补贴的规则分为两类：支付固定优惠与支付浮动优惠。支付固定优惠的项目为电动汽车提供固定费率的补贴或固定优惠充电价格，有的提供免费 V2G 充电器。支付浮动优惠的典型案例分析为丹麦 PARKER 项目，为项目带来浮动收益。

(1) 支付固定优惠

可分为电动汽车提供固定费率的补贴、提供固定的优惠充电价格或免费 V2G 充电器三类。CITY-ZEN 项目向连接在 V2G 充电桩的电动汽车提供每小时 10 欧分的固定费率补贴，这项补贴由公共财政支持。GridMotion 项目、JUMPSMARTMAUI 项目向电动汽车提供免费充电器，而 INVENT 项目则提供免费充电器、停车地及免费充电服务。我国中再大厦车网互动示范站也采取该模式。

中再大厦车网互动示范站于 2020 年 6 月投运，是全国首个商业运营的 V2G

充电站。中再大厦为北京的工商业园区，其在地下停车场设置了 9 个 V2G 桩，具备 V2G 功能的电动车可在用电高峰时放电给大厦供能。车主将电动车与互动桩连接后，V2G 平台根据车主需求及大厦需求自动充放电。中再大厦示范站公示的价格表显示，充电电价在用电低谷时段（晚上 11 点到次日早上 7 点）为 0.3023 元/千瓦时，高峰时段（上午 10 点到下午 3 点，下午 6 点到晚上 9 点）为 1.4167 元/千瓦时，平时段为 1.2884 元/千瓦时。电动汽车在峰时放电，放电价格为 0.7 元/千瓦时。在谷充峰放的模式下，车主每度电能赚近 4 毛钱。假设电动车电池容量为 52 千瓦时，扣除上下班路途所需电量之后，每次放电量约 30 千瓦时，净收益 12 元。

（2）支付浮动优惠

丹麦 PARKER 项目是全球领先的 V2G 商业化项目，覆盖多车型车队以验证 V2G 技术的跨车型兼容性。该项目参与方包括：（1）项目负责方：丹麦技术大学；（2）车队提供方：日产（提供 LEAF 车型、Evalia 车型）、PSA 集团（提供标致 iOn 车型）、三菱汽车（提供欧蓝德 PHEV 车型）；（3）V2G 充电器提供方：Enel X 公司；（4）聚合软件平台提供方：Nuvve 公司；（5）出资方：丹麦能源商 Frederiksberg Forsyning。

丹麦 PARKER 项目设计了两个车队，主要为丹麦国家电网 Energinet 提供全天候频率调节服务。其中，Frederiksberg Forsyning 车队为真实运营的车队，由 10 辆日产 e-NV200 货车构成，行驶规律为工作日上午外出服务客户、下午返回基地，平均每天有 17 个小时的市场参与时间；Parker Reference configuration 车队在专用测试环境下进行测试，包括对不同品牌电池容量不同的多个车型的兼容性测试。

试验方案为：试验车辆通过 Enel 的 V2G 充电器（10kW 双向直流充电器）连接到 Nuvve 的 V2G GIVe™平台。一旦车辆插入充电器，Nuvve 的软件就会自动控制车辆的充放电。Nuvve V2G GIVe™平台将获取接入汽车的动态电池容量信息及驾驶需求，通过算法计算出可参与调频服务的容量，并据此在向 NEAS 能源公司³投标，最终为丹麦国家电网 Energinet 提供频率调节服务。在接到电网指令后，Nuvve V2G GIVe™平台将使用优化程序以不同的功率调度各个电动汽车。

³ NEAS 能源公司是丹麦国家电网 Energinet 的频率调节服务商之一。

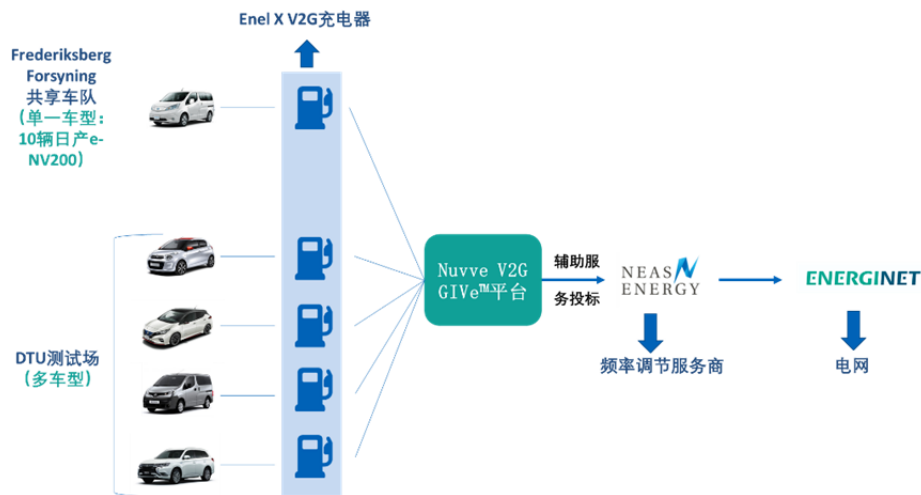


图 11 丹麦 PARKER 项目试验方案

以 Frederiksberg Forsyning 车队为例说明丹麦 PARKER 项目的费用结算方式：丹麦国家电网 Energinet 根据其频率调节的公开价格和获得的服务量向 NEAS 支付频率调节费用，NEAS 则向 Nuvve 软件平台支付频率调节服务费用。Nuvve 软件平台向参与试验的电动汽车车队支付频率调节服务费用，同时收取信息通讯服务费。电动汽车车队向充电桩公司 Enel X 支付电费、V2G 充电桩费用，并且向日产支付汽车费用⁴。

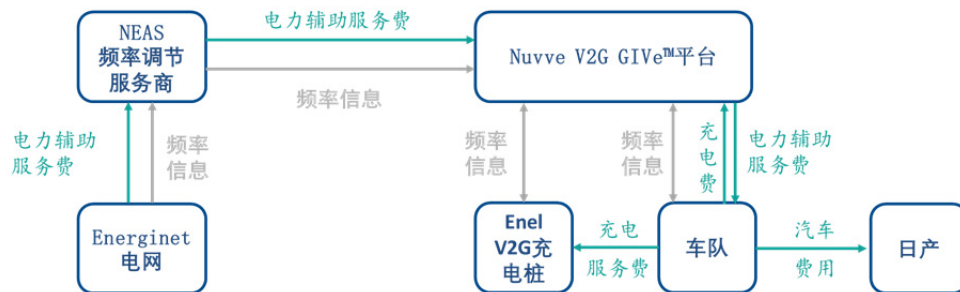


图 12 丹麦 PARKER 项目资金结算示意图

项目潜在收益主要包含三个方面⁵：

1) **峰谷电价价差**。丹麦于每年 10 月至次年 3 月执行分时电价，电价差异为 0.5114 DKK/kWh，假设单个汽车电池容量为 25 千瓦时，因此若将充电行为从高

⁴ Smart Solar Charging 项目每月 5000 公里套餐的费用比当地其他公司提供的同样业务价格略高。

⁵ PARKER 项目最终报告中认为其潜在收入可来源有 7 种，本指南中选择主要的三个方面共 5 种进行介绍。未介绍的 2 种潜在收益来源为减碳收入、aFRR 服务收入。

峰时期移到非高峰时期，每辆车每年将节省 $0.5114 \text{ DKK/kWh} \times 25 \text{ kWh} \times 365/2 = 2333 \text{ DKK}$ 。

2) 单向调频服务收入。单向电动汽车可以通过在给定设定值附近调制充电来支持频率调节。当充电功率为 10kW、设定值为 5kW 时，电动汽车可将+5kW 调节至 10kW(下调)或将 5kW 调节至 0kW(上调)。电动汽车在频率调节的支持下同时充电。当电池充满时，电动汽车没有能力继续提供调频服务。假设单个电动汽车电池容量为 40kWh，平均每天行驶 100 公里，能耗为 4 公里消耗 1kWh 电能，则每天消耗约 25kWh。假设充电功率为 5kW，则需 5 小时充满电池。根据丹麦国家电网 Energinet 的官方价格，丹麦电网为 00:00 到 05:00 之间的单向调频服务支付的平均价格最高，因此假设电动汽车每日在 0:00-05:00 充电，预估其收益。

表 8 PARKER 项目单向调频服务收入（假设充电时间为 0:00-5:00）

	调频服务平均价格 (€/per MW/h)	充电功率 (kW)	充电时长 (h)	当年收益
2017 年	39.94	5	5	€39.94/1000 per kW/h*5h*5kW*365=€364/year/car
2018 年	56.74	5	5	€356.74/1000 per kW/h*5h*5kW*365=€517/year/car

3)双向调频服务收入。丹麦 PARKER 项目向东丹麦电网提供正常情形下的调频服务 FCR-N 及干扰情形下双向调频服务 FCR-D，向西丹麦电网提供一级频率调节服务 PFR。这三项频率调节服务均根据丹麦国家电网 Energinet 的公开价格计算年收益。

表 9 PARKER 项目双向调频服务收入（FCR-N 及 FCR-D）

时间	服务价格（单位： €/MWh-h）			年收入（€/车）		
	FCR-N	FCR-D	PFR	FCR-N	FCR-D	PFR
2017 年	27.88	7.45	25.26	1710.72	457.13	1549.95
2018 年	40.52	19.56	31.70	2486.31	1200.20	1945.11

项目的成本包括能源成本、充电过程中的能量损耗。Frederiksberg Forsyning 车队的行驶里程约为 250 公里/月，电动汽车的能源效率约为 5-6 公里/kWh，送

回电网的能源约为 350 kWh/月，V2G 充电器效率约为 70%；单车电池额定容量为 24kWh，可用容量约为 21kWh。车队用于交通的能源消耗量约为 45kWh/月，V2G 充电器的总能耗约为 $(45+350)/70\%=564\text{kWh/月}$ ，充电器总损耗约为 169 千瓦时/月，FCR-N 服务总损耗约为 159kWh/月。消耗电力的成本为 1 DKK/kWh，返送电力的成本为 0.2 DKK/kWh。另外，电池性能退化及折旧也是重要的成本因素，但丹麦 PARKER 项目未考虑。

参与丹麦 PARKER 项目的车辆平均提供了总计 1.3 万小时的服务，平均收入为 1860 欧元/年。预期利润从最好情况下的 2304 欧元/年下降到最坏情况下的 -955 欧元/年，表明收益水平对一些因素（FCR 价格、V2G 充电器成本和效率、当地电力成本和电池性能退化）高度敏感。

（二）车网协同产品设计、技术要求、适用场景

车网协同产品设计需要解决的问题是如何设计机制使得电动汽车安全有效地为电网提供辅助服务以及如何激励电动汽车用户参与。值得注意的是，车网协同是基于当地电网的需求进行的，因此进行车网协同项目应首先识别出当地电网所需的电力辅助项目、需求量及需求时间，再结合当地电力辅助市场机制及电动汽车车主出行特征进行产品设计。

当前电网调峰呈现出“一日两难”（夜间低谷、午间平峰）问题加剧的特征。目前电力辅助交易品种相对单一，多为调峰服务，调频服务较少，且调峰辅助服务交易主要集中在深度调峰及启停调峰两个品种^[8]。调峰服务主要为负荷低谷期，由火电机组在可再生能源过剩时减少出力，并补偿火电机组一些费用。调频服务的目的将电力系统频率变动保持在允许偏差范围内（ $50\pm0.2\text{Hz}$ ）。调频服务重点关注系统可靠性，对参与设施的要求较高，目前主要由发电机组提供，对调节速度、调节精度、响应时间等有较高要求，一般一次调频主动持续一小段时间（秒级），待由自动发电控制（AGC）提供二次调频（分钟级）。目前，电动汽车参与调频的可靠性仍有待验证。因此，目前电动汽车可提供的电力辅助服务为调峰、削峰、填谷。

（三）车网协同的商业模式

在商业可行性验证阶段，项目的收益来源主要为电力辅助服务费⁶。在实行峰谷电价差的地区，电动汽车车主也可获得峰谷价差收益，但由于峰谷价差仅依赖当地峰谷电价的施行及电动汽车本身具备的充电时间选择功能，峰谷价差收益很难成为聚合中间商的收益来源。

商业可行性验证阶段的起步时期，对电动汽车用户提供的收益应为固定的（包含峰谷价差及电力辅助服务费），以尽可能降低电动汽车用户的理解难度，调动电动汽车用户的参与积极性。商业模式被广泛理解后，可将电动汽车用户的收益与电力辅助市场相结合，提供浮动收益。

1. 激励手段

（1）峰谷价差

峰谷价差是电动汽车车主的重要收益来源之一，但很难作为聚合中间商的收益来源。目前我国各地区峰谷电价差水平不同，居民生活用电峰谷价差平均值在 2：1 以下，工商业用电峰谷价差平均值在 3：1 以下。未来，我国峰谷电价差距将进一步加大，有利于车网协同的推广。根据国家发改委于 2021 年 7 月 29 日公布《关于进一步完善分时电价机制的通知》，我国各地将加大居民及工商业峰谷价差的比例至少为 3：1，其中电力系统峰谷差率超过 40%的地方的峰谷电价价差原则上不低于 4：1。

假设每辆纯电动私家车每天行驶里程为 55km、电耗为 16kWh/100km，则日消耗电量为 8.8kWh，按目前峰谷电价差 1 元/千瓦时测算，则每年（365 天）可获得 3212 元收益；假设未来峰谷电价差达到 1.5 元/千瓦时，则每年可获得 4818 元收益。

⁶由于聚合中间商也可提供公共桩充电服务，因此可加收充电服务费。但服务费的收取仅提供公共充电服务有关、与车网互动无关，不构成增量收益，故本指南不将服务费收益作为聚合中间商的收益来源。

(2) 电力辅助服务与需求响应

国内不少地区针对电动汽车参与电力辅助或需求响应出台了补贴政策。按照 1 元/kWh 补贴价估算削峰/填谷服务价格。假设智能有序充电模式下，日消耗电量由削峰或填谷方式进行补能，则日响应量为 8.8kWh，若每年 90%时间进行响应，则每年可获得 2890.8 元收益。假设 V2G 模式下，单车带电量为 50kWh，放电 SOC 最大深度为 40%，正常行驶里程下每天一充一放，放电价格为 1 元/kWh，则每天放电 30kWh，充电 38.8kWh，每年可获得 22600.8 元收益。

该项收益可由聚合中间商及电动汽车用户分配。部分进行需求响应或虚拟电厂试点的地区为削峰填谷支付 0-5 元不等的补贴。值得注意的是，目前电力辅助市场上，无补贴情况下，电网为火电机组调峰支付的价格多在 0.1-0.3 元区间，因此，若当地无补贴政策或补贴政策结束，电力辅助服务的收入可能锐减。

2. 成本构成

车网协同模式下，不同的参与主体，面对的成本构成也不一致。

表 10 成本构成

主体	成本构成
负荷聚合商	市场营销费用，如引导用户参与辅助服务的营销活动策划费用；日常运营支出、平台使用费等
运营商	电费成本、充电运营费用（如引导用户充电的费用）、平台使用费等
平台服务商	平台研发费用、平台迭代费用、平台运维费用等
电动汽车车主	动力电池衰减、充电电费、时间成本等

3. 盈利测试

以运营商为研究对象，并假设运营商充当聚合商的角色，测算不同商业模式下的经济性。

商业模式 1：智能有序充电，不参与电力辅助服务

收入由峰谷价差构成，成本由智能有序充电桩构成。假设峰谷价差为 1 元

/kWh，每辆纯电动私家车每天行驶里程为 55km、电耗为 16kWh/100km，日消耗电量为 8.8kWh，则每年可获得 3212 元收益。而单个智能有序充电桩成本约为 3000 元/台，回收期小于 1 年。这说明在智能有序充电桩增量成本不大的情况下，峰谷价差的实行将对大多数电动汽车用户提供足够的参与有序充电的动力。但该商业模式下，电动汽车仍为规模小、分散、接入点环境复杂的充电负荷，增加了电网运行复杂度。

商业模式 2：智能有序充电+电力辅助服务

峰谷价差收入仍由电动汽车用户享有，聚合中间商通过提供电力辅助服务获得收入，且电力辅助服务收入可与电动汽车用户分成。成本为智能有序充电桩成本及聚合软件平台成本。智能有序充电桩成本可采用“谁所有谁承担”原则进行分配，若聚合中间商承担充电桩成本，则该桩为公共桩，可收取充电服务费作为收益。该种模式与商业模式 1 相比，增量收入来自于电力辅助服务费，增量成本为聚合软件平台成本。

假设充电桩、聚合软件平台寿命均为 8 年，测算不同软件平台分成比例和不同电力辅助服务价格情形下的接入 1000 桩的聚合软件平台的收益。其他关键假设为：每天交易电量为 8.8kWh，一年中 90%的天数参与电力辅助服务。

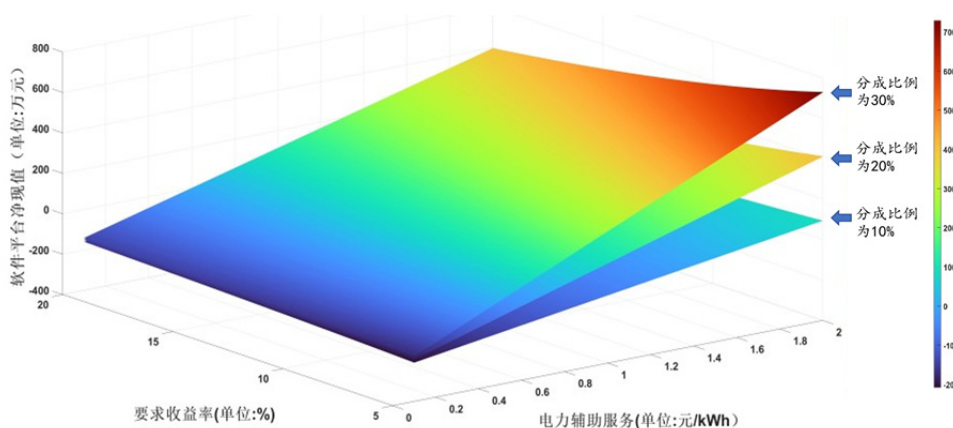


图 13 软件平台抽成为 30%、20%、10%时：不同电力辅助服务价格下项目收益情况

软件平台的根本价值在于整合分散的电动汽车提供电力辅助服务，因此电力辅助服务分成是软件平台重要的盈利来源。分成比例越高，软件平台实现盈利所需的电力辅助服务价格越低，也越容易实现盈利。适当的分成比例将建立起持续

的商业模式。由于软件平台的边际成本较低，电动汽车接入的边际收入高于边际成本，因此软件平台自身要做大规模，通过规模化摊平成本。在无补贴的 0.1-0.3 元电力辅助服务价格水平下，软件平台很难实现盈利。

商业模式 3：V2G+电力辅助服务

在该种商业模式下，充电过程中的峰谷价差收入仍由电动汽车用户享有，电力辅助服务收入可由聚合中间商、电动汽车用户共享。放电过程中可产生放电收入，该项收入可由聚合中间商、电动汽车用户共享，或由电动汽车用户独享。目前尚未形成市场化或规模化的放电价格；少数 V2G 试点中放电价格高于谷电、低于峰电，假设放电价格为 0.7 元/kWh。

成本主要由 V2G 充电桩成本、电动汽车电池损耗和聚合软件平台成本构成。假设 V2G 充电桩价格为 1 万元/台，电动汽车电池损耗为 0.5 元/kWh，聚合软件平台开发成本为 400 万元，维护成本及通信费为每年 90 万元。

其他关键假设：电动汽车单车带电量为 50kWh，每日平均电耗为 8.8kWh，SOC 放电最大深度为 30%，每天一充一放，一年中 90%的天数参与电力辅助服务，则每天放电量为 26kWh，充电量为 35kWh。

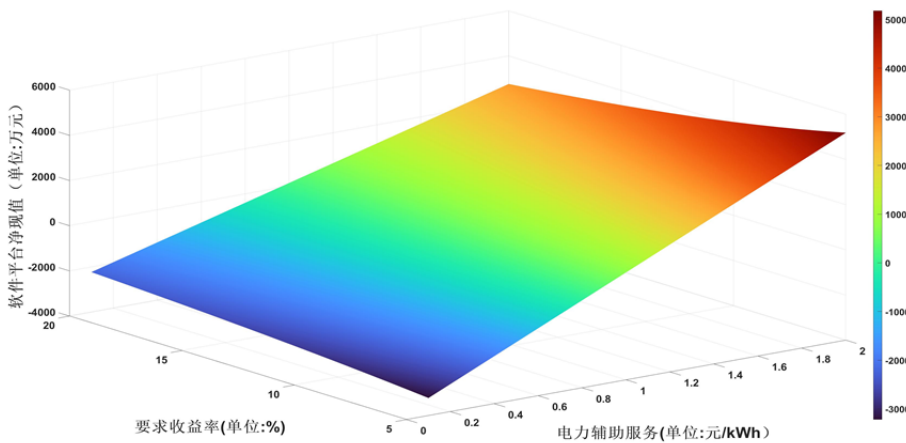


图 14 不同电力辅助服务价格下 V2G 项目收益情况

从以上分析可以看出，V2G 试点项目较智能有序充电成本增加 7-8 倍，V2G 充电桩是成本激增的主要原因。V2G 模式下参与电力辅助交易的电量是智能有序充电模式下的数倍，从而导致电网需要支付更多的电力辅助费，加大财政补贴压力。同时，在电网调峰需求有限且调峰能力充足的情况下，若 V2G 进一步增加调

峰资源，可能导致 V2G 参与调峰的频率降低、中标量和中标价格下降。

（四）聚合商定位与系统架构

聚合中间商是车网协同运营模式中最重要的角色之一。聚合中间商通过对每个电动汽车用户行为分析建立每个用户的需求预测模型，基于对电动汽车充放电负荷的实时监测和在线控制，向电网提供电力辅助服务，并根据电网指令优化电动汽车用户的充放电行为。电动汽车充电服务也可由充电服务商提供。聚合商应打通车桩数据，构建智慧充电网络服务平台及数据处理中心，厘清目标电力辅助服务的成本与收益，向电动汽车用户提供具备吸引力的价格套餐。潜在的聚合中间商包括车队（如公交车队、出租车队、共享车队、物流车队）、充换电运营商、电网下属企业、专业第三方负荷集成商。关键技术是充换电需求/放电能力预测：基于电动汽车用户的充换电行为、用户出行习惯、电动汽车电池模组荷电状态、充放电电价、气候、环境等因素，对电动汽车的充放电需求及变化趋势进行预测。

聚合中间商的软件平台需要实现的功能包括车桩侧的电力负荷计量、监控及聚合优化功能和电网侧的电力交易及结算。聚合软件平台的系统构架从下至上依次分为感知控制层、网络传输层、数据平台层、应用创新层^[9]。

1. 云端：物联网平台具备广泛协议的南向接入能力，通过构建桩、车、储能等物模型，为各类设备提供接入和管理的功能，支持即插即用。同时提供基于规则引擎的北向开放接口，支撑行业客户灵活扩展、升级充电服务业务和各类增值服务业务。

2. 管道：接入层采用 Wi-Fi 6、HPLC、以太网等有线无线通信技术，满足充电场站各类终端高可靠、低延时通信的接入需求。回传层采用无线回传网络或 Internet 专线回传网络，为充电场站远程智能化管理提供高可靠、大带宽的网络通道，保障业务的实时性和良好的用户体验。

3. 边缘：边缘侧网关基于硬件平台化、软件 APP 化的设计理念，针对充电网与能源网智能互动、业务灵活扩展、系统持续演进等需求，实现网关功能软件定义。同时，边缘计算网关可与高性能边缘智能模块协同，实现充电桩远程运维、充电场站智能化管理、负荷预测、故障智能分析功能。

4. 终端：采用多容器技术设计的充电桩智能控制器，实现了底层操作系统与容器中应用软件解耦，容器中应用软件资源可配置，因为应用软件造成的软件故障不会影响到底层操作系统安全运行。同时容器之间也可实现故障隔离，大幅提升充电桩在线率。由于管理通道直接管理底层操作系统，云端管理平台能够在充电桩智能控制器应用程序死机的情况下，对容器和容器内的应用进行远程停止、重启、升级等操作。



图 15 聚合软件平台的系统架构

来源：《智慧充电桩物联网技术白皮书》，华为、南方电网

用户运营与用户引导

在实现电动汽车用户参与电网调度时，需要充分考虑电动汽车用户参与电网调度的能力和意愿。对电动汽车用户进行分层/分类，精细化用户运营，合理分配资源，有针对性地开展运营工作，提高用户使用体验，增加用户粘性，实现提升用户规模和扩大用户价值的目标。

（一）电动汽车用户参与电网调度的用户画像

1. 电动汽车用户的可调度性

可调度的时间：据 2020 年统计数据^[10]，新能源私家车日均行驶时长为 1.58 小时，全天 22.42 小时处于未行驶状态，其中私家车次均充电时长为 3.15 小时，充电时长远小于其未行驶时长，则剩余 19.27 个小时为“闲置”的停车时间，可视为可调度时间。而且，从接入电网的车辆数量看^[11]，一天中不同时段接入电网的电动汽车数量也较少，仅占静止停放的电动汽车数量的 3%至 10%。无论日间还是夜间，私家车在时间和数量上均具有灵活性。

可调度的充放电容量：2020 年紧凑型新能源轿车的百公里耗电量平均值为 14.1kWh/100km，私家车的日均行驶里程主要集中在 50km 以内，以搭载 45kWh 电量的纯电动私家车为例，则该私家车日充电量约为 7.05kWh。在满足上述出行需求的前提下，假设放电深度设定不低于 30%SOC，若私家车发挥储能作用，其可提供的日放电量达到 24.45kWh。可见，除了满足出行需求外，电动汽车已具备“富余”容量并可作为储能设施参与电网调度。未来随着电池容量增大及续航里程增加，电动汽车可调度的充放电容量将更高。

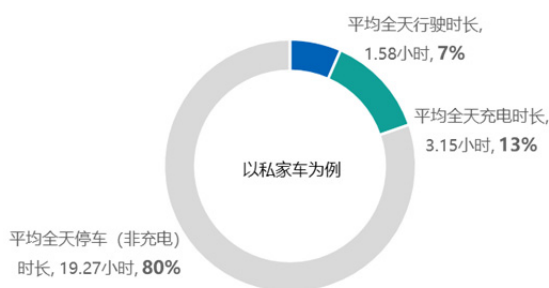


图 16 新能源私家车日平均行驶、充电、停车时间分布（24 小时占比）

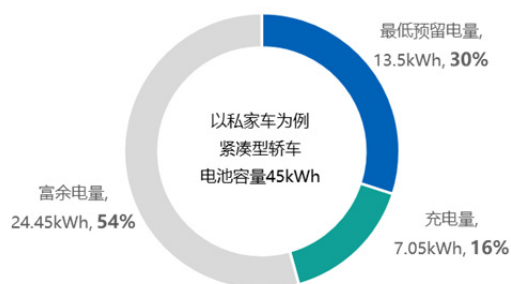


图 17 新能源私家车预留电量、充电量、富余电量分布

2. 电网负荷特征

根据国调中心提供的北京市电力日负荷曲线，在工作日，基本是在凌晨 4:00 左右为负荷谷值，凌晨 1:00 至早上 6:00 为负荷低值，从早上 6:00 之后用电负荷逐步提升，上午 9:00 至晚上 21:00 持续有较大的用电需求，午间 14:00 至 15:00 附近形成小波谷，晚上 22:00 之后负荷逐步减小。在非工作日，早上 6:00 之后用电负荷缓慢增长，上午 10:00 至晚上 21:00 的用电负荷高值较工作日的负荷整体明显减少，变化趋势相似。

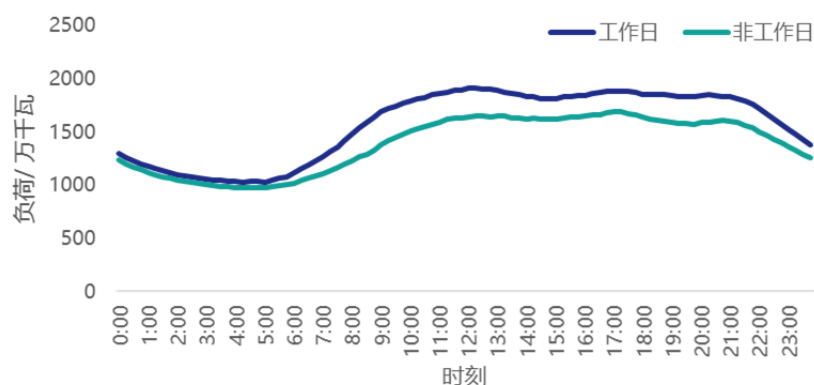


图 18 北京市典型的电力日负荷曲线

以北京市为例的 2021 年销售电价及分时电价时段^{[12], [13]}。分时电价将直接影响电动汽车用户的用电成本，在一定程度上能够引导电动汽车用户调整充电时间、鼓励用户将灵活性动力电池资源参与电网调度平衡。但是，分时电价的引导需综合考虑不同类型用户的用电灵活性和电力需求价格弹性。用电灵活性是用户用电行为对时段的依赖程度，直接影响“能不能”调节用电。由于电动汽车目前

仍存在里程焦虑，电动汽车用户参与电网调度的前提条件是满足行驶里程需求。电力需求价格弹性是用户对电价的敏感程度，反映了用户“想不想”调整用电。经济层面上，用户是否响应分时电价政策，取决于收益与成本的相对大小。需要考虑用电成本占总成本的比例，通过调整成本及收益，达到用户的“心理”阈值。基于分时电价的峰谷价差应结合用户用电灵活程度，价差水平需要能够激励有调整能力的负荷从峰时段向谷时段转移，又能避免缺少灵活性的用户用电成本大幅上升。同时，要充分考虑电动汽车用户的用电类型结构，以平均需求价格弹性或以主要用电群体的需求价格弹性作为依据，分析价差变化对用电量变化的影响，以确定合理的分时电价范围^[14]。

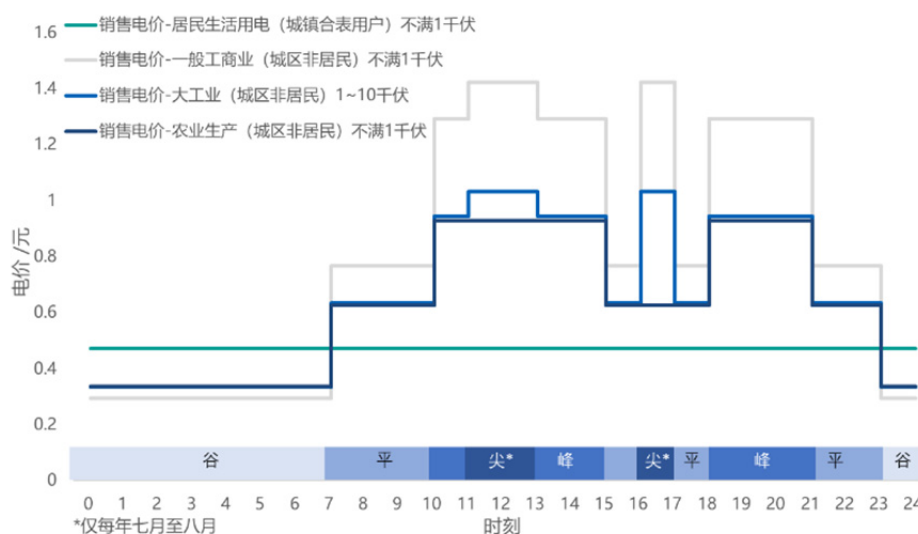


图 19 北京市分时销售电价

3. 充电设施特征

充电桩等充电基础设施是连接电动汽车负荷聚合商和电动汽车的桥梁，实现车网协同必须有充电设施的参与及支持。

充电桩分为交流充电桩和直流充电桩，常见交流充电桩主要有 3.5KW(16A/220V) 和 7KW(32A/220V)，多运用在慢充模式，主要面向一般私人乘用车，常见于家庭车库、住宅小区、大型集中停车场等车辆保有量比较稳定的场所。直流充电桩功率一般达到 10kW 以上，常见的直流桩功率在 30KW 至 120KW。直流充电桩输出的电压和电流调整范围大，可实现快充的要求。目前国内外汽车生产厂商与充电桩生产企业正在研发大功率充电桩。

换电模式主要指通过集中型充电站对大量电池进行集中存储、集中充电、统一调配，并对电动车提供电池更换服务。换电模式可以最大程度地减少用户的等待时间，具有方便性和快捷性。分析统计蔚来 APP 上北京市六环以内的 26 个换电站在 9 月初的日换电次数，其中，26 个换电站包含 7 个二代换电站和 19 个一代换电站。和一代换电站相比，二代换电站的电池数量更多、换电能力更强。从早晨 6:00 开始由于出行需求增加，换电需求开始不断增多，上午 9:00 至夜间 21:00 均有较大的换电强度。由于晚高峰的车辆行驶特性，在傍晚 18:00 换电次数有小波谷，而在晚高峰之前的下午时段，用户换电的需求较大。从晚上 21:00 之后，换电强度逐渐减少，夜间凌晨 0:00 至 5:00 的换电强度相对很小。可见，换电站白天的换电强度较大，一般以运营需求为主，而在凌晨的换电低谷，可以有一定的电池灵活性参与电网调度。

表 11 北京市蔚来一代和二代换电站对比

	一代换电站	二代换电站
换电站数量	19	7
电容量 KVA	320	1250
电池数量	5	13
服务能力	120 次/天	312 次/天
平均电池配备容量*	70kWh*4 + 100kWh*1	70kWh*9 + 100kWh*4

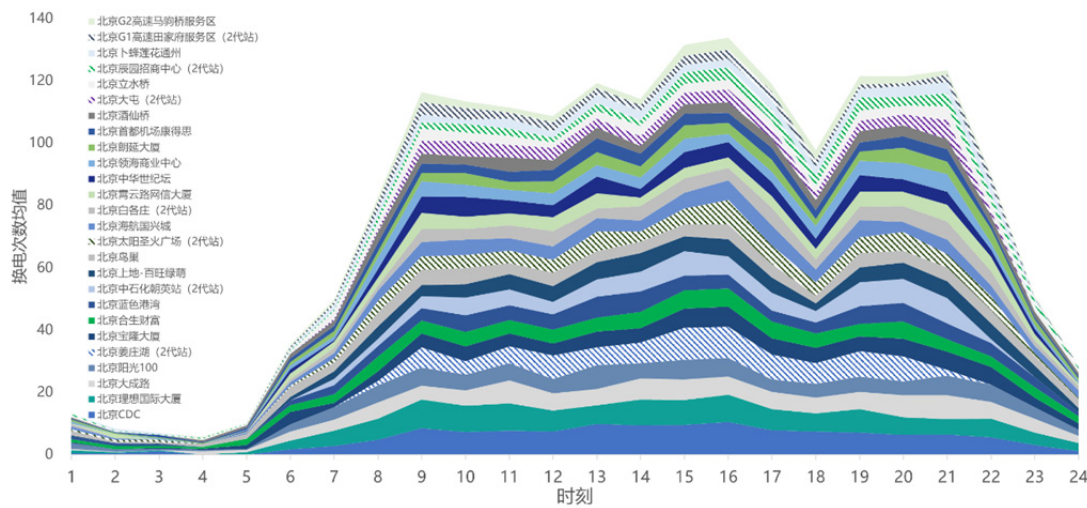


图 20 蔚来换电站日均换电次数的时刻分布

在上海市需求响应试点案例^[15]中，对私人桩、专用桩和换电站三类充电设施参与电力需求响应的竞争力进行了对比，三类充电设施参与电力需求响应的能力存在差异。电动汽车接入私人桩的时间通常在傍晚至凌晨，更加适合参与负荷填谷，专用桩和换电站可实现相对集中管理，对调度指令的响应率也较高。在需求响应资源量方面，私人桩和专用桩的规模潜力较大，需要提前设计激励机制，加大私人桩和专用桩的资源潜力挖掘力度。换电站参与需求响应的能力取决于换电站的综合管控能力。

4. 电动汽车出行充电特性

作为交通运输工具之一，电动汽车的用途和种类很多，不同类型电动汽车用户的行驶特征和充电特征均有所差异，整理分析《中国新能源汽车大数据研究报告 2020》中全国私家车、网约车、出租车、物流车和公交车 5 类汽车用户的 2019 年出行和充电数据如下所示。

从日均行驶时刻分布可知，私家车在早 8 点和晚上 17:00 形成早晚小波峰，夜间行驶占比很低。网约车和出租车的行驶时刻没有明显的波峰，白天 7:00 至晚上 21:00 均有稳定的行驶比例。夜间 22:00 至凌晨 1:00 有较小的行驶占比。物流车行驶时刻以中午 12:00 至 13:00 为界，形成了两个比较显著的波峰，峰值分别在 10:00 和 15:00，凌晨 0:00 至 5:00 行驶占比很低。公交车在凌晨 0:00 至 4:00 行驶比例很低，从凌晨 5:00 开始的行驶比例有所提高，白天 7:00 至 17:00 比例较为平稳。

从日均充电时刻分布可知，私家车充电以夜间和凌晨为主，从下午 17:00 开始充电增加至凌晨，凌晨 0:00 之后开始充电降低。网约车和出租车在凌晨 0:00 至凌晨 5:00 充电相对较为集中，充电时刻形成了两个小波谷，分别是以早上 8:00 为最低点的大波谷和以晚上 18:00 为最低点的小波谷，行驶繁忙时刻充电行为会很少。物流车充电高峰在晚上 20:00 至 24:00，从凌晨开始逐渐降低，早上 8:00 为最低值，白天有少量低水平充电需求，在下午 17:00 之后快速提升。公交车充电时刻呈现 W 形状，在中午 12:00 形成小波峰，凌晨 5:00 和下午 17:00 为充电波谷，但下午 17:00 波谷很浅，晚上 21:00 之后公交车充电开始迅速增加。

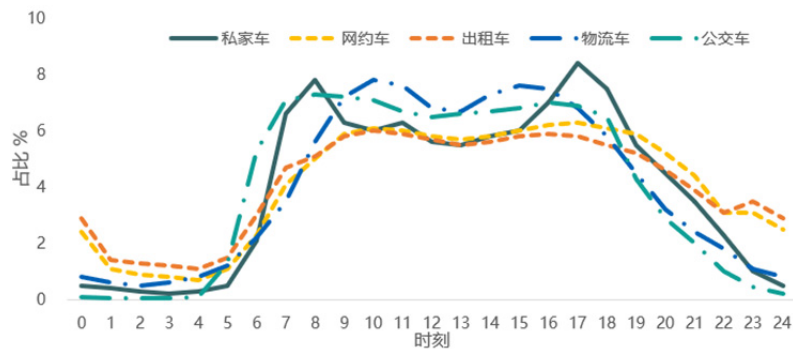


图 21 日均行驶时刻分布

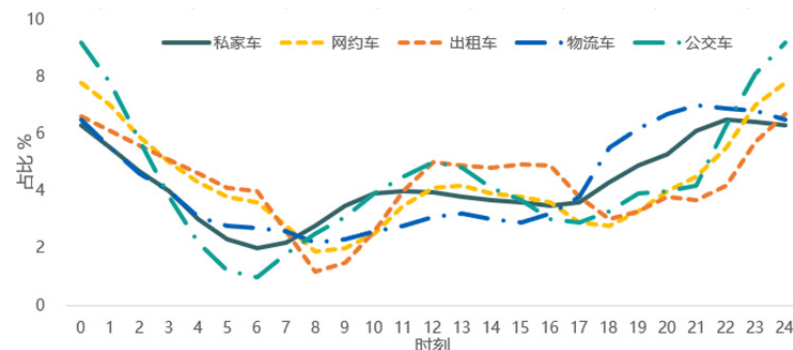


图 22 日均充电时刻分布

私家车的日均行驶里程较小，而网约车、出租车和公交客车的日均行驶里程较大。日均行驶里程大，则车辆本身所需求的充电电量和次数会响应较多。日均行驶时长与日均行驶里程有相同趋势。不同类型车辆的充电起始 SOC 均大于 30%，而行驶起始 SOC 均大于 60%。物流车和公交车由于规范充电，充电起始 SOC 和行驶起始 SOC 均处于高位值。

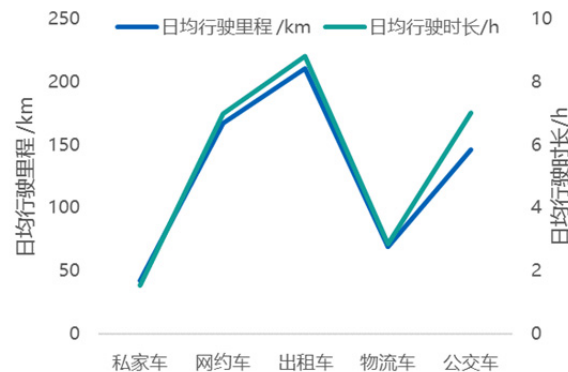


图 23 日均行驶里程和日均行驶时长

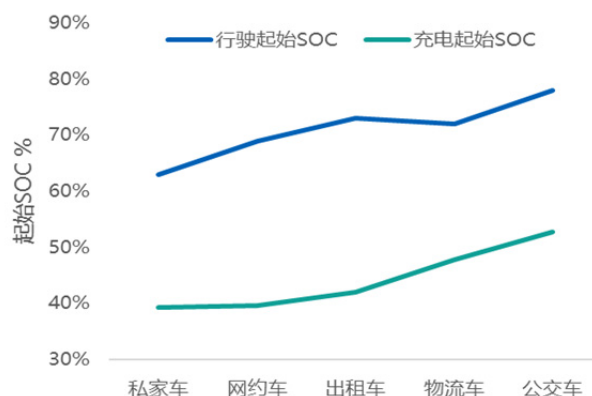


图 24 行驶起始 SOC 和充电 SOC

根据快充/慢充的日均充电时刻分布对比，私家车白天快充比例比慢充高，夜间以慢充为主。网约车和出租车白天业务量更大，白天以快充为主，慢充比例很低，夜间有部分车在运营，夜间也有一定的快充需求，慢充主要集中在夜间和凌晨时段。物流车和公交车白天以快充为主，夜间以慢充为主，夜间也有一定比例的车辆运行，存在一定的快充需求。

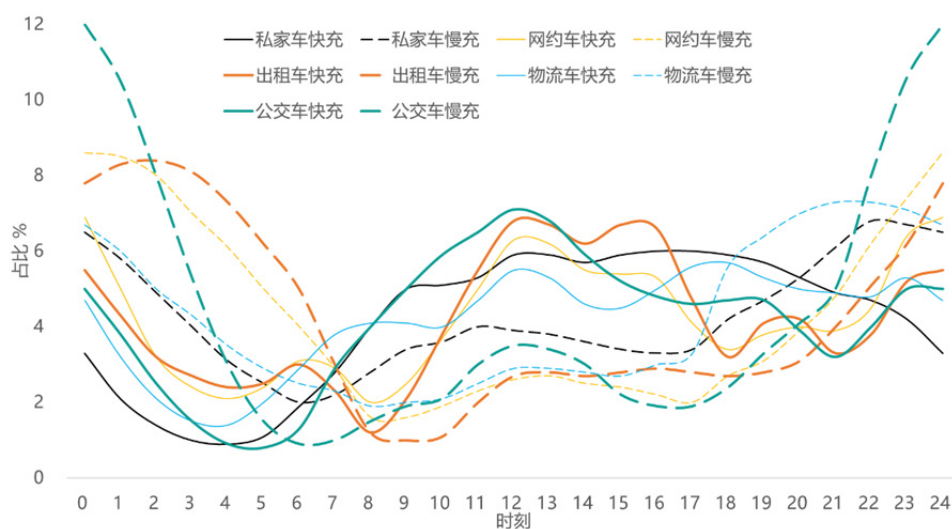


图 25 快充慢充的日均充电时刻分布

5. 用户画像分析

通过对电网负荷、充电设施以及电动汽车的综合分析之后，可以得到不同场

景下各类电动汽车用户的参与电网调度潜力总结。

表 12 各类电动汽车用户参与电网调度潜力

用户类型	私家车	私家车 商务车	网约车 出租车*	物流车 公交车**	换电站
充电桩分布集中区域	住宅小区	办公场所	商业场所	物流车场\ 公交车场	指定区域
充电设备	私人桩	专用桩	私人桩\专用桩\ 公共桩	专用桩	集中型充电站
充电设施主要类型	小功率交流	小功率交流	小功率交流 大功率直流	小功率交流 大功率直流	大功率直流
行驶/运行集中时间	早晚高峰	早晚高峰	白天至凌晨	白天	白天
充电集中时间	夜间	白天	全天	全天	全天
快充比例	低	低	高	高	高
电池容量	小	小	小	大	大
价格敏感度	低	低	低	高	高
V1G 参与潜力	高（夜间）	高（白天）	高（夜间）	高（夜间）	高（夜间）
V2G 参与潜力	高（夜间）	高（白天）	低（全天）	低（全天）	有限

备注：*出租车仅考虑单班运营出租车，对于双班运营电动出租车，充放电调度参与性很低。

**运营车辆如公交车、物流车未考虑备用车辆，对于有备用车辆的运营车队，将具备很高的充放电灵活性。

（二）规模化电动汽车用户参与调度的可调度容量评估及调度实施

1. 可调度容量的理论值评估

电力调度中心监控电网实时潮流信息，根据预测结果加电网实时潮流（负荷）分布，提前将电网调度需求告知给电动汽车负荷聚合商。负荷聚合商监控并获取充电桩和电动汽车实时数据，评估可调度容量将其上报给电力调度中心。最终，根据调度指令完成充放电的执行，电动汽车通过充电桩，与负荷聚合商进行能量交换，以达到削峰填谷的目的。在“车桩网”控制模式中，电动汽车用户参与电

网调度的可调度容量由电网、充电设施及电动汽车所决定。

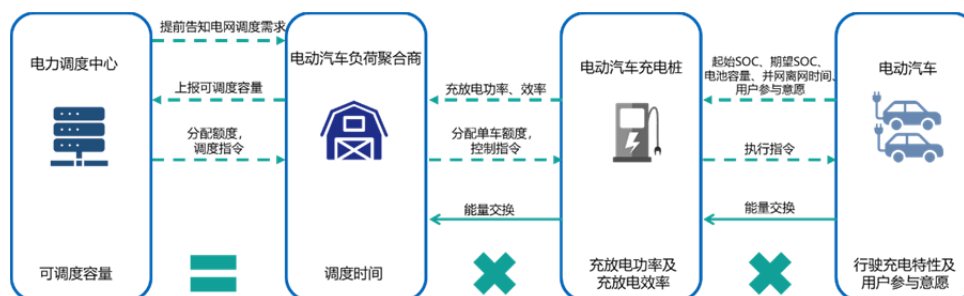


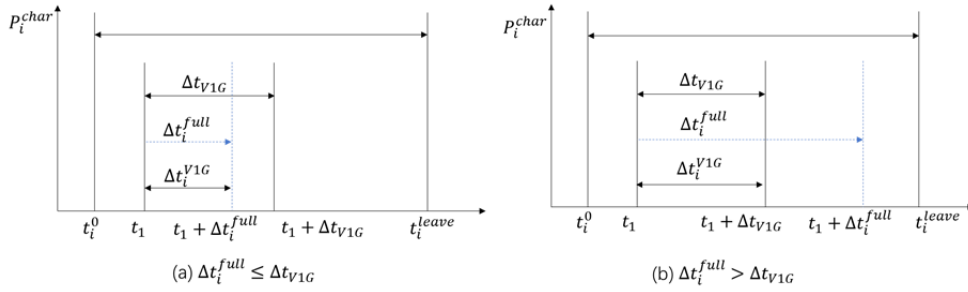
图 26 电动汽车用户参与电网调度的“车桩网”控制模式

(1) **网-调度需求。**根据电力调度中心的调度需求，负荷聚合商在电网高负荷时引导电动汽车进行放电，在电网低负荷时引导电动汽车进行充电。调度需求的起始时间和调度时长与电动汽车的出行充电特性匹配后，将会直接影响电动汽车判断是否能够参与调度。

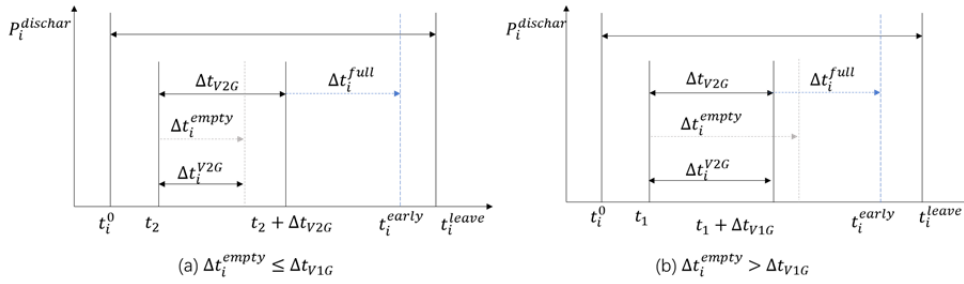
(2) **桩-充放电功率及效率。**电动汽车是以充电桩等充电设施为媒介参与电网调度，电动汽车参与电网调度的前提条件是充电桩具备智能充放电的硬件条件。不同充电桩的充放电功率及效率存在差异，交流慢速充电、快速直流充电、电池更换等不同充电方式也将直接影响电动汽车参与电网调度的能力。

(3) **车-出行充电特性及用户参与意愿。**电动汽车的并入电网时刻、离开电网时刻、充电起始电量、离网需求电量、电池种类、电池容量等出行充电特性都是判断其是否能够参与电网调度的重要依据。同时，由于不同车型用户的车辆用途及行驶需求存在明显，其参与调度的能力也各不相同。另外，调度收益、电价补贴、放电对电池寿命影响等因素对于电动汽车用户的参与意愿度均有着直接影响。

对于有序充电 V1G 模式下，电网与电动汽车之间能量是单向流通的，负荷聚合商通过充电桩对电动汽车的进行充电控制，使电动汽车在负荷低谷期充电。假设电动汽车在并网后不会立即开始自动充电，而是在有序充电的开始充电时刻 t_1 之后进行充电电荷。而且，电动汽车需要尽量全程参与有序充电时间段，电动汽车在达到期望电量时自动停止充电。


 图 27 第 i 个桩对应的电动汽车参与有序充电的并网时段示意图

在双向充放电 V2G 模式下，电动汽车与电网之间可进行能量的双向流动，负荷聚合商通过充电桩引导电动汽车进行充放电控制，使电动汽车在电网负荷高峰期进行放电。考虑到充放电次数会影响电池寿命及车辆保值率等因素，假设电动汽车统一先放电再充电，并且在结束放电之后立即开始充电，在达到期望电量时自动停止充电。


 图 28 第 i 个桩对应的电动汽车参与双向充放电中放电调度的并网时段示意图

根据参与有序充电 V1G 及双向充放电 V2G 的电网、充电设施、电动汽车、约束条件、参与调度意愿等输入量，可以计算得到可调度总功率、时间、总电量等可调度容量理论值。在计算模式中，各输入量的定义为：

(1) 调度开始时刻 t_1 和 t_2 及调度时长 Δt_{V1G} 和 Δt_{V2G} 由电力调度中心根据电网负荷预测结果加电网实时潮流（负荷）分布提供。

(2) 根据不同的场景，确定电动汽车类型，充电桩数量 N^{t_1} 和 N^{t_2} 为场景内有效充电桩计数。充电功率 p_i^{char} 和放电功率 $p_i^{dischar}$ 以及充电和放电效率 η_i 为各充电桩 i 的基础规格参数信息。

(3) 每辆电动汽车的并网时间 t_i^0 、离网时间 t_i^{leave} 、初始电量 $SOC_i^{t_i^0}$ 等为用户

出行及充电数据。由于电动汽车用户的出行和充电行为具有不确定性，关于电动汽车负荷预测的方法主要分为两大类，一类为基于历史负荷数据，建立负荷变动规律的数学模型进行预测。另一类为从电动汽车用户的出行和充电行为分布规律出发，建立起电动汽车充电行为和需求的概率模型，运用统计学的概率抽样方法得到未来某一天电动汽车的充电负荷分布曲线。

(4) 关于电动汽车是否能够参与电网调度的约束条件，针对有序充电，根据有序充电调度时刻 t_1 和充电调度时长 Δt_{V1G} ，基于电动汽车的出行充电数据，计算并判别电动汽车是否能够参与有序充电 $\lambda_i^{t_1, \Delta t_{V1G}}$ ；针对双向充放电，根据双向充放电的放电调度时刻 t_2 和调度时长 Δt_{V2G} ，基于电动汽车的出行充电数据，计算并判别电动汽车是否能够参与双向充放电 $\lambda_i^{t_2, \Delta t_{V2G}}$ 。

(5) 电动汽车用户参与有序充电的调度意愿 d_i^{V1G} 为基于充电成本的参与意愿度，双向充放电的调度意愿 d_i^{V2G} 为基于电池放电次数对电池损耗成本、放电收益、充电成本的参与意愿度。

表 13 有序充电 V1G 和双向充放电 V2G 可调度容量理论值评估

输入/ 输出	对象	有序充电 V1G 模式	双向充放电 V2G 模式
输入量 (1)	电网	有序充电的开始时刻 t_1 ； 有序充电 V1G 的调度时长 Δt_{V1G} ；	双向充放电 V2G 中放电的开始时刻 t_2 ； 双向充放电 V2G 中放电的调度时长 Δt_{V2G} ；
输入量 (2)	充电 设施	在 t_1 时刻所有桩的数量 N^{t_1} ； 每个桩 i ； 桩的充电功率 P_i^{char} ； 桩的充电效率 η_i ；	在 t_2 时刻所有桩的数量 N^{t_2} ； 每个桩 i ； 桩的放电功率 $P_i^{dischar}$ ； 桩的充电功率 P_i^{char} ； 桩的充放电效率 η_i ；
输入量 (3)	电动 汽车	第 i 个桩对应电动汽车的并网时刻 t_i^0 ； 电动汽车的期望离网时刻 t_i^{leave} ； 电动汽车的离网时刻的期望电量 SOC_i^{need} ； 电动汽车的并网时刻的初始电量 $SOC_i^{t_i^0}$ ； 电动汽车的电池容量 C_i ；	第 i 个桩对应电动汽车的并网时刻 t_i^0 ； 电动汽车的期望离网时刻 t_i^{leave} ； 电动汽车的离网时刻的期望电量 SOC_i^{need} ； 电动汽车的并网时刻的初始电量 $SOC_i^{t_i^0}$ ； 电动汽车的最小允许电量 SOC_i^{min} ； 电动汽车的电池容量 C_i ；

输入/ 输出	对象	有序充电 V1G 模式	双向充放电 V2G 模式
输入量 (4)	约束 条件	第 i 个桩的电动汽车是否能够参与有序充电调度 $\lambda_i^{t_1, \Delta t_{V1G}}$ ，包括两个方面的约束： 一是充电电量的约束，即有序充电的结果能够使电动汽车电量满足车主离网的需求； 二是充电时间的约束，即有序充电要在电动汽车接入电网期间进行。	第 i 个桩的电动汽车是否能够参与双向充放电调度 $\lambda_i^{t_2, \Delta t_{V2G}}$ ，包括三个方面的约束： 一是放电电量的约束，即双向充放电中放电的结果是不能低于最小允许电量； 二是充电电量的约束，即放电结束后进行充电的结果是使电动汽车电量满足车主离网的电量需求； 三是充放电时间的要求，即双向充放电要在电动汽车接入电网期间进行。
		第 i 个桩的电动汽车参与有序充电 V1G 调度的意愿度 d_i^{V1G} 为基于充电成本的参与意愿度	第 i 个桩的电动汽车参与双向充放电 V2G 放电的意愿度 d_i^{V2G} 为基于电池放电次数对电池损耗成本、放电收益、充电成本的参与意愿度
输出量 (1)	可调度 总功率	所有充电桩参与有序充电 V1G 的功率总和 $P_{total-V1G}^{t_1, \Delta t_{V1G}} = \sum_{i=1}^{N^{t_1}} P_i^{char} \times \eta_i \times \lambda_i^{t_1, \Delta t_{V1G}} \times d_i^{V1G}$	所有充电桩参与双向充放电 V2G 放电的功率总和 $P_{V2G}^{t_2, \Delta t_{V2G}} = \sum_{i=1}^{N^{t_2}} P_i^{dischar} \times \eta_i \times \lambda_i^{t_2, \Delta t_{V2G}} \times d_i^{V2G}$
输出量 (2)	参与调 度时间	第 i 个桩的电动汽车参与有序充电 V1G 的时间 Δt_i^{V1G} ： $\Delta t_i^{V1G} = \begin{cases} \Delta t_i^{full}, \Delta t_i^{full} \leq \Delta t_{V1G} \\ \Delta t_{V1G}, \Delta t_i^{full} > \Delta t_{V1G} \end{cases}$ 第 i 个桩的电动汽车从初始电量到期望电量所需的最短充电时间 Δt_i^{full} ： $\Delta t_i^{full} = \frac{(SOC_i^{need} - SOC_i^{t_0}) \times C_i}{P_i^{char} \times \eta}$	第 i 个桩的电动汽车参与双向充放电 V2G 放电的时间 Δt_i^{V2G} ： $\Delta t_i^{V2G} = \begin{cases} \Delta t_i^{empty}, \Delta t_i^{empty} \leq \Delta t_{V2G} \\ \Delta t_{V2G}, \Delta t_i^{empty} > \Delta t_{V2G} \end{cases}$ 第 i 个桩的电动汽车从初始电量到最小电量所需的最短放电时间 Δt_i^{empty} ： $\Delta t_i^{empty} = \frac{(SOC_i^{t_0} - SOC_i^{min}) \times C_i}{P_i^{dischar} \times \eta_i}$
输出量 (3)	可调度 总电量	所有充电桩参与有序充电 V1G 的电量总和 $W_{total-V1G}^{t_1, \Delta t_{V1G}} = \sum_{i=1}^{N^{t_1}} P_i^{char} \times \eta_i \times \lambda_i^{t_1, \Delta t_{V1G}} \times d_i^{V1G} \times \Delta t_i^{V1G}$	所有充电桩参与双向充放电 V2G 放电的电量总和 $W_{total-V2G}^{t_2, \Delta t_{V2G}} = \sum_{i=1}^{N^{t_2}} P_i^{dischar} \times \eta_i \times \lambda_i^{t_2, \Delta t_{V2G}} \times d_i^{V2G} \times \Delta t_i^{V2G}$

2. 电动汽车参与电网调度实施

电动汽车负荷聚合商接收到电力调度中心的调度需求后，负荷聚合商将控制

区域内可用电动汽车及充电桩的信息采集、统计，包括车辆接入位置、可用时间、电池实时状态、充放电功率等，计算得到电动汽车参与调度的可调度容量的理论值，并与电力调度中心的调度容量的目标值进行匹配及调整。电动汽车负荷聚合商一般会与电力调度中心签订契约，若负荷聚合商未能响应电力调度中心的调度需求，则可能受到电网对其收益的惩罚。

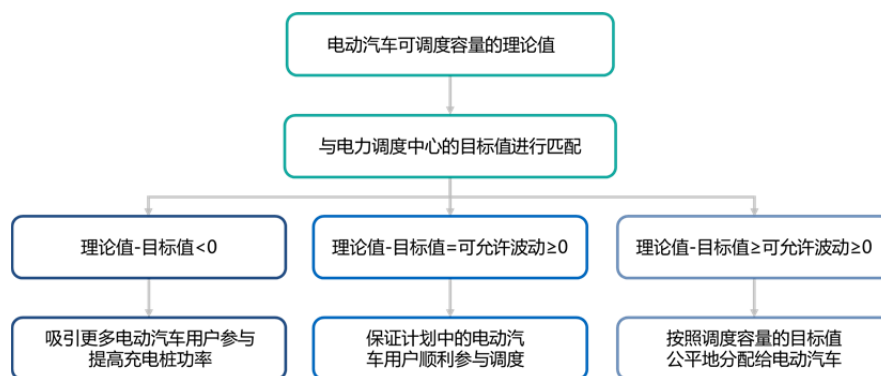


图 29 电动汽车参与电网调度的可调度容量匹配及调整

采取合理有效的调度优化规划策略以实现最优分配，主要是涉及稳定性和经济性两方面目标。稳定性是指通过电动汽车参与电网调度，不仅可以减小电网频率波动偏差，还可以实现削峰填谷。稳定性的研究主要包括稳定电网频率、减少负荷峰值、减少局部负荷峰谷差、可再生能源消纳等方面。经济性是指合理调度电动汽车的充放电过程，不仅可以降低电动汽车的充电成本，而且电动汽车用户或负荷聚合商等各方可以获得一定的经济收益。经济性的研究包括支出成本最小化、用户收益最大化、电力网络中能量合理分配等问题，主要从电网、负荷聚合商和电动汽车用户的成本和收益不同角度来分析经济性收益。

针对控制策略的研究，除了建立以稳定性和经济性为目标，还需要考虑用户侧和电网侧的约束条件，用户侧主要包括用户日常出行需要、电动汽车电池可用容量、电池寿命、充放电功率等约束，电网侧主要包括线路功率、电网运行等约束。由于优化问题是多维度、多变量的时间离散组合，基于约束条件，应建立以稳定性和经济性最优为目标的多目标联合优化模型，采用多目标优化算法或蚁群算法、粒子群算法、人工鱼群算法、遗传算法等智能算法，并利用各类大数据处理平台和智能软件进行模拟仿真得到最优策略。

电动汽车参与电网调度的调度实施，需要充分结合电网侧、负荷聚合商侧、电动汽车用户侧的客观及主观因素影响，例如，不同能源结构（煤电资源以及风

电、光伏、水电、地热等可再生能源分布），不同消费结构（特大城市、超大城市、大城市、中小城市、乡镇、农村等），不同微观场景（住宅小区、办公园区、商业场所、换电站、公交物流集中场站、矿山港口封闭区域等），不同服务模式（有序充电、双向充放电、快充、慢充、换电等），不同电动汽车用户类型（私家车、网约车、出租车、物流车、公交车、专用车等）等。

通过电动汽车参与调度实施优化规划，实现电力调度中心、负荷聚合商、电动汽车用户多方位的需求满足和利益最大化的目标，并激励更多的电动汽车用户参与电网调度。

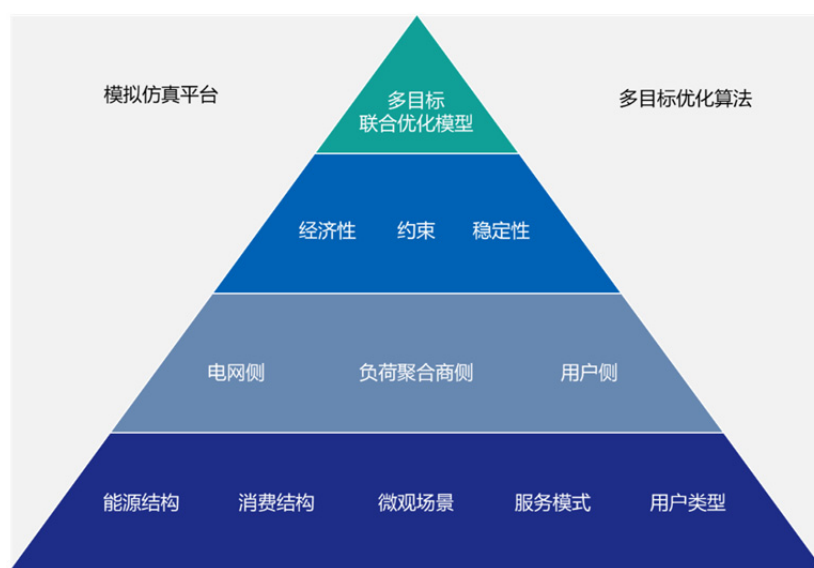


图 30 电动汽车参与调度实施优化规划

目前电动汽车参与电网调度处于发展初期，电动汽车用户参与电网调度的数量和规模都较有限，电动汽车用户参与的能力“能不能”和意愿“想不想”均还有待大力挖掘。

电动汽车用户参与电网调度的能力主要与行驶充电行为强相关。现阶段电动汽车推广存在着里程不足、充电桩数量有限等挑战。随着电动汽车技术的发展进步，电动汽车用户参与电网调度的硬件能力将不断完善。电动汽车的充放电行为需要以用户出行为前提，虽然充放电行为在时间及空间上存在一定不确定性，但是电动汽车的用户行为满足统计学规律，通过平台或软件模拟可以获取或者预估电动汽车行驶充电信息。

针对用户参与意愿，主要受用户支出和收益、电池损耗成本的影响。作为参与电网调度的收益来源，终端电价与电力市场补偿水平直接影响用户充电成本和调度收益，需要寻求峰谷电价差、调度补贴的最优解来提高电网调度的经济性。另外，电池损耗成本是影响双向充放电参与意愿的重要因素，随着电池技术进步和电池成本降低，以及电网调度的硬件设施规模化推广，双向充放电的参与率也会进一步改善。

因此，在实现电动汽车用户参与电网调度时，需要充分考虑电动汽车用户参与电网调度的能力和意愿。对电动汽车用户进行分层/分类，精细化用户运营，合理分配资源，有针对性地开展运营工作，提高用户使用体验，增加用户粘性，实现提升用户规模和扩大用户价值的目标。负荷聚合商在对电动汽车参与电网调度进行集中控制时，需要兼顾各参与者的目标需求，完成含采集、统计、分析、上传、接收和发配指令等各种任务，实现负荷聚合商与电力调度中心、充电桩等基础设施及电动汽车的协同。负荷聚合商在电动汽车用户参与调度的全过程中，需要具备信息管理、可调度容量预测、充放电控制策略优化、能量管理等多种功能，通过平台协同运行，将各方利益最大化、运行效率最优化。

（三）用户引导

用户引导教育可以从借鉴营销理论 4p 理论，从产品(Product)、价格(Price)、渠道(Place)、推广(Promotion)四维度，提升用户价值、增加用户收益、加强用户便利、优化用户沟通。

1. 从产品角度，完善硬件设施及软件平台，提升用户价值

在硬件设施方面，普及智能化充电桩，更新存量充电桩。目前车桩比仍有较大局限性，缺乏充电桩的电动汽车用户无法参与车网协同。现有的存量充电桩主要以交流慢充为主，缺少通讯和反向放电模块，不能完成有序充电和双向充放电的执行。另外，从用户使用习惯角度出发，当车辆抵达充电区域后，用户一般会立即插枪充电，不会等到车网协同时间段，再次人为进行插枪充电。因此，为培养电动汽车用户建立主动参与车网协同的惯性思维，首要措施为完善充电桩等充电设施的基础建设，健全充电标准，加大智能化充电桩的推广，并推动存量充电

桩的更新工作，为电动汽车用户提供参与车网协同的必要硬件条件。

在软件平台方面，完善用户参与软件平台，实现跨平台数据共享。开发交互性友好的人机交互平台或 APP 平台，让用户能够以最少输入量、最便捷方式参与车网协同。将电网、负荷聚合商、充电设施、电动汽车等跨平台数据在软件平台中共享，充分利用大数据挖掘用户潜力，打通用户参与车网协同的数据障碍。为了培养电动汽车用户符合车网协同需求的充电习惯，负荷聚合商可根据电力调度中心的调度需求，提前以 App 推送或短信的形式告知用户调度需求，并提前预约用户调度的起止时间，既有利于保障参与车网协同的用户数量，确保电力需求响应顺利进行，也便于用户综合统筹出行需求，最大程度地参与车网协同。

2. 从价格角度，挖掘经济效益和额外效益，增加用户收益

在经济效益方面，收益计算及获取透明化，建立多激励方式的用户激励体系。大多数用户购买电动汽车以满足出行需求为主，尚未对车网协同的经济收益形成清晰认知。负荷聚合商可以在 APP、官网上发布车网协同的收益计算工具，用户输入车辆基本信息、行驶里程、出行时间等信息后，便可直观获取收益预估。另外，完善收益传导机制，通过政策层面约束，让用户可获取的收益信息透明化，有利于激发用户主动参与车网协同的积极性。同时，在搭建用户激励体系的过程中，针对不同电动汽车用户，充分挖掘用户的有效激励形式，确认用户行为和激励的有效连接方式，常见的用户激励手段包括酬金、积分、排名、勋章、头衔、成就等，分为快捷变现型和累积成就型。采用多激励方式，提高用户收益，保持用户的活跃度，激励更多用户长期参与。在额外效益方面，加大宣传社会效益和环境效益，完善用户成长体系。电动汽车用户参与车网协同，除了获得直接的经济收益，还会产生积极的社会效益和环境效益。社会效益即车网协同可以优化实现电网平滑输出、削峰填谷等。环境效益即可以实现能源结构优化、可再生能源消纳、参与碳中和，为环境保护贡献力量。在用户成长体系中，建立社会效益和环境效益的无形价值，转化无形价值为如绿化、节能、减碳等用户可见的社会或环保形式，提升电动汽车用户的参与自豪感和社会责任感。常见的用户成长体系包括用户等级系统、会员系统、积分系统等，通过引导用户的行为，建立用户的成长路径，促使低价值用户向高价值用户的转化，提高用户的活跃率和留存率。

3. 从渠道角度，采取分步实施和简化参与，加强用户便利

在分步实施方面，由易到难递进式实施，夯实群众基础。充电行为是电动汽车的必然行为，每位电动汽车用户均会有充电行为，且有序充电不会对电池寿命产生影响。目前各类电动汽车用户参与有序充电的潜力较大，且接受度高、易方便实施，第一步可以大力推广有序充电，培养用户参与车网协同的习惯。待电池技术不断进步，电池容量和循环寿命不断提升，车电分离、电池质保延长等政策条件成熟时，双向充放电 V2G 受限于电池的影响将逐渐减弱。未来电动汽车保有量不断增大，V2G 潜力有较大的挖掘空间，将成为车网协同的下阶段主力发展目标。在有序充电的良好群众基础上，再进一步推广双向充放电，能更好地便于用户接受并参与双向充放电。另外，针对不同电动汽车用户定制实施方案，对于行驶时间长、充电时间短的在目的地充电的车辆，可以优先开展有序充电。对于出行规律性强的专用车辆，可以基于行驶计划与电网互动，结合用户特点选择最佳参与方式。

在简化参与方面，考虑由负荷聚合商集中控制或全权接管，调动多相关方参与推广。目前参与车网协同需要用户自行操作，涉及充电、行驶、电池、充电桩等各参数，操作及计算较为复杂。为了便于用户快速简单参与，确保负荷聚合商完成电力调度中心的既定任务和收益预期，负荷聚合商可以与用户进行签约，设定用户参与最低频次，确保车网协同有序进行。私家车用户可以选择自行控制或者由负荷聚合商进行接管，车辆运营企业（如公交、出租等）可将与动力电池的相关业务统一授权由负荷聚合商管理。在满足用户出行行驶的前提下，由负荷聚合商统一集中控制，用户可以快捷方便参与并享有激励。

4. 从推广角度，加强宣传推广和互动交流，优化用户沟通

在宣传推广方面，多维度宣传车网协同，开展多样化用户活动。现阶段电动汽车用户的关注点主要集中在保障充电，对于车网协同基本处于关注少、不了解的阶段。负荷聚合商可以通过 App、官网等，联合新闻媒体、整车厂、电网、协会联盟等多渠道宣传电动汽车用户参与车网协同的好处，如减少充电成本、增加用户收益、解决充电难、缓解电网负荷等优势。通过政府主导及电力公司引领，实现全社会共同参与。同时，开展多样化的契合度较高的用户活动，例如车主有奖征集、邀请用户体验、汽车调度比赛等，充分调动用户积极性和参与性。

在互动交流方面，采用多途径答疑解惑，建立用户社区。负荷聚合商可以在App 或官网上设置单独的车网协同互动模块或服务热线，并与住宅小区物业或办公园区物业等多方合作。当电动汽车用户对车网协同的参与模式、收益清算、充电桩智能化更新等各方面存在疑惑时，为用户清晰展示车网协同方案，随时为用户解答疑虑，促进与用户沟通交流，获取用户对车网协同的信任及认可。同时，及时收集用户评价的反馈，并快速地根据用户的反馈做出优化调整。通过对用户兴趣进行挖掘，建立用户社区，完善互动机制，形成车网协同的用户朋友圈。

在车网协同的用户引导中，需要充分保障用户权益，改善用户体验，促进用户使用，做到车网协同从用户角度出发，发展依靠用户，成果由用户共享，达到产品好、推广好、服务好、效果好的目标。



图 31 车网协同用户引导示意图

推动车网协同的政策建议

微网层面有大量互动机会，鼓励电动汽车参与分布式发电，就近交易。配网层面扩大峰谷价差，用户进行有序充电的动力更大，也能更好地补偿 V2G 模式下电池的损耗。大电网层面，一是积极推动电力现货市场发展，未来电动汽车的集成商或者运营商能够直接参与现货市场，市场化电价机制将有效引导电动汽车促进消纳新能源；二是扩大第三方辅助服务试点范围，鼓励电动汽车参与调频、备用等新型辅助服务，增厚收益水平。推动多方共赢，按补偿成本和合理收益的原则，明确电网企业、电动汽车车主、充电运营商等各方收益分享方式。

加强高循环寿命动力电池技术攻关。整车生产企业、电池生产企业与研究机构应开展车网协同工况下的动力电池衰减测试，结合动力电池运营监控平台及大数据分析，优化电池管理系统及相关充放电策略，放电倍率尽可能小，比如 0.1C、0.2C。加强高循环寿命动力电池技术攻关，区分车载电池的行驶与电网放电状态，推动电池质保政策改革，将常规质保与行驶公里数挂钩，提供基于 V2G 循环次数的质保。探索车电分离模式下，通过剥离电池资产，打消车主参与 V2G 的顾虑。

完善有序充电、V2G 功能支持。调整直流充电的信息交互方式，支持有序充电；增加对充放电服务选择、充放电限值等信息交互内容，调整硬件回路，支持 V2G；加强身份认证与网络安全功能，桩端 OTA 升级包，应用桩管理平台通过安全链路下发。充电设备要能够采集到电网参数（频率、功率、支持有功调度）；双向充放电的方向，充放电功率的决策权在电网端；协议传输过程中，车作为负载只传递限制，而非需求值。考虑借助软件解决方案⁷，化解支持车网协同功能但无法实现车桩“向后不兼容”的问题，既避免新老系统不适配，也为未来技术升级提供扩展空间。推动小功率直流化技术应用。

遵循市场规则，挖掘商业模式。微网层面有大量互动机会，鼓励电动汽车参与分布式发电交易。配网层面完善充电峰谷电价差，私家车停驶时间比较长，落实峰谷电价差政策，细化电价峰谷时间范围，能激励用户更有动力进行有序充电，也能更好地补偿 V2G 模式下电池的损耗。大电网层面，一是积极推动电力现货市场发展，未来电动汽车的集成商或者运营商能够直接参与现货市场，并基于市场化电价机制有效引导电动汽车促进消纳新能源；二是扩大辅助服务试点范围，鼓励电动汽车参与调频、备用等新型辅助服务，增厚收益水平。推动多方共赢，按补偿成本和合理收益的原则，明确电网企业、电动汽车车主、充电运营商等各方收益分享方式。进一步调度负荷聚合商积极性，为电动汽车用户提供额外的能源管理、设备维护、节能等增值服务，利用平台所积累的海量数据，深度推进智能用电业务的开展。

加强用户引导，培养用户习惯。完善基础建设布局，加大智能充电桩推广，确保电动汽车无障碍接入电网。需求响应市场以政府补贴为主，并不是连续性市场，辅助服务单价较低，市场具有一定连续性，结合需求响应和辅助服务市场特点，开展常态化车网协同业务，让用户逐渐“熟悉”电力市场特性，培养用户习

⁷由用户通过充电 APP 选择是否放电，然后由后台充电管理平台告知桩是否放电指令。

惯与规律性的行为。持续宣传车网协同的社会效益和环境效益，给绿电消纳用户颁发绿色充电证书，提升电动汽车用户的参与自豪感和荣誉感。

参考文献

- [1] 王军亮, 李永, 李建设,等. 电动汽车充电对电网安全风险影响及管控措施研究[J]. 发电技术, 2018, 39(5): 21-27.
- [2] 世界资源研究所. 新能源汽车如何更友好地接入电网系列一: 中国新能源汽车规模化推广对电网的影响分析[R], 2020.
- [3] 世界资源研究所, 国网能源研究院. 电动汽车发展对配电网影响及效益分析[R], 2018.
- [4] 国网电动汽车服务有限公司. 电动汽车与电网协同实践最新进展[R]. 2021.
- [5] 特来电新能源股份有限公司. 电动汽车充电网技术白皮书[R]. 2021.
- [6] 国家发展改革委. 关于电动汽车用电价格政策有关问题的通知. 2014
- [7] 世界资源研究所. 新能源汽车如何更友好地接入电网系列二: 中国电动汽车与电网协同的路线图与政策建议[R]. 2020.
- [8] 袁家海, 席星璇. 我国电力辅助服务市场建设的现状与问题[J]. 中国电力企业管理, 2020.03: 34-38.
- [9] 南方电网电动汽车服务有限公司, 华为技术有限公司. 智慧充电桩物联网技术白皮书[R]. 2021.
- [10] 王震坡, 等. 中国新能源汽车大数据研究报告 2021 [M]. 北京:机械工业出版社, 2021.
- [11] 薛露露, 刘坚, 王颖, 等. 新能源汽车如何更友好地接入电网系列二-中国电动汽车与电网协同的路线图与政策建议[R]. 北京:世界资源研究所 WRI, 2020: 5-6.
- [12] 国网北京市电力公司. 非居民峰谷分时电价时段是如何划分的[EB/OL]. http://www.bj.sgcc.com.cn/html/main/col6/column_6_1.html, 2021-09-01.
- [13] 国家电网公司. 北京市销售电价表(2021 年 1 月)[EB/OL]. <https://osg-web.sgcc.com.cn/osgweb/SupportdetailItems?partNo=P050301&id=5142490972d8420086470440bebcbb68>, 2021-09-07.
- [14] 张超. 分时电价要做到因地制宜. 中国能源报[N], 2021-08-23(11).

^[15] 张永伟, 朱晋, 熊英, 等. 电动汽车与电网互动的商业前景—上海市需求响应试点案例研究报告[R]. 北京: 自然资源保护协会 NRDC, 2020.